

**PROGETTO TECNOPRIMI  
RAPPORTO FINALE**

**TECNOLOGIE DI INTERESSE GENERALE**

**NUOVE TECNOLOGIE  
PER IL *MADE IN ITALY***

**31 LUGLIO 2008**



---

# INDICE

Struttura del rapporto .....	5
PARTE I - Quadro di riferimento.....	7
PARTE II - Il sistema moda .....	17
PARTE III - Il sistema <i>Design</i> .....	51
PARTE IV - L'illuminotecnica.....	67
PARTE V - I Materiali .....	89
PARTE VI - I Sistemi di produzione.....	155



---

# STRUTTURA DEL RAPPORTO

Questo rapporto, dedicato all'analisi delle prospettive dell'innovazione tecnologica per le produzioni del *Made in Italy*, è articolato in sei parti.

La **Parte I** presenta un quadro di riferimento macroeconomico dei settori industriali riconducibili al *Made in Italy* con attenzione alle modalità diverse e particolari con cui in essi ha luogo il processo di innovazione. Alcune aree tecnologiche coinvolte sono di carattere orizzontale, cioè trasversali e comuni ai diversi settori (fondamentalmente si tratta delle tecnologie dei materiali strutturali e dei sistemi di produzione), mentre altre sono verticali, specifiche dei singoli settori produttivi. In relazione alla grande varietà dei settori del *Made in Italy* e delle relative caratteristiche tecniche ed economiche, il rapporto prende in considerazione in modo approfondito i tre settori più significativi: il sistema moda, il sistema dell'arredo e *design* e il sistema dell'illuminotecnica: a questi sono dedicati, rispettivamente, le **Parti II, III e IV**.

La **Parte V** riguarda le tecnologie orizzontali dei materiali strutturali. Essa comprende un quadro generale dei fattori che agiscono sull'innovazione nelle tre principali classi: i metalli e le leghe, i vetri e i ceramici e i materiali a base polimerica, con particolare attenzione per quest'ultima. La **Parte VI** è dedicata ai sistemi di produzione, considerati come insieme di tecnologie di processo trasversali impiegate in tutti i settori del *Made in Italy*.



---

PARTE PRIMA

# QUADRO DI RIFERIMENTO

(a cura di Gianfranco Colitti)

1. <i>Made in Italy</i> : eccellenza e innovazione.....	7
2. Le specializzazioni produttive del <i>Made in Italy</i> .....	8
3. Le dimensioni di impresa.....	11
4. Le tendenze competitive.....	12
5. L'innovazione nel <i>Made in Italy</i> .....	13

## 1. MADE IN ITALY: ECCELLENZA E INNOVAZIONE

Con l'espressione "*Made in Italy*" si designa una varietà assai ampia di prodotti, percepiti come tipici del nostro paese. Sotto il profilo della composizione settoriale e merceologica il *Made in Italy* non ha una sua ben precisa e definita identità, includendo un insieme piuttosto vasto ed eterogeneo di settori e comparti del manifatturiero, tra i quali è difficile trovare particolari nessi tecnologici e merceologici.

Secondo una interpretazione largamente accettata, le componenti principali del *Made in Italy* sono: il "sistema moda", il "sistema arredo-casa" e l'"alimentazione mediterranea". Si tratta nell'insieme di beni e prodotti che, oltre a costituire una parte rilevante dei consumi degli italiani, rappresentano, in maniera significativa, espressioni e simboli del gusto e delle tradizioni nazionali. A questi tre macro settori, che costituiscono il cuore del *Made in Italy*, va aggiunto un insieme di produzioni strumentali rientranti nella cosiddetta "meccanica allargata", che coprono un'estesa tipologia di impianti, macchine e attrezzature destinate ai vari settori del *Made in Italy* come, ad esempio, le macchine utensili, in tutta la loro diversificazione settoriale (macchine per l'industria tessile, calzaturiera, per la lavorazione dei metalli, del legno, ecc.).

Per molti di questi settori l'Italia occupa posizioni di *leadership* tecnologica e commerciale di rango internazionale, che le consentono di mantenere solidi vantaggi nell'interscambio mondiale. In sostanza, il *Made in Italy* esprime, nelle sue diverse componenti e manifestazioni, la cultura ed i caratteri dell'italianità e i suoi prodotti finiscono per rappresentare significativi simboli dell'immagine che il nostro Paese vanta a livello mondiale.

Infine, in una concezione allargata di *Made in Italy* vanno comprese le molteplici produzioni e lavorazioni intermedie (prodotti chimici, materie plastiche, materiali) che compongono le diverse filiere produttive dalle materie prime ai prodotti finali e concorrono ad aumentare il valore aggiunto di filiera.

Le produzioni italiane di eccellenza che costituiscono attualmente il *Made in Italy* hanno radici profonde nel complesso di fattori culturali, politici ed economici, che hanno configurato il sistema produttivo del nostro Paese, fino ad acquisire la sua attuale fisionomia. Oggi, come in passato, le soluzioni più innovative e sofisticate espresse dal *Made in Italy* derivano dalla domanda generata da esigenze di carattere socio-culturale e politico-economico, che si sovrappongono alla necessità elementari, quali procurarsi il cibo o proteggersi dalle intemperie con i vestiti.

Ci si può limitare a esemplificare questo legame accennando alle capacità artistiche, tecniche e artigianali nel periodo rinascimentale, testimonianza delle radici lontane del *Made in Italy*, da sempre centrato su alte capacità tecnologiche nel campo dei materiali e dei processi manifatturieri, sulla qualità funzionale ed estetica dei prodotti, nell'orientamento verso l'alta gamma del mercato.

L'espressione *Made in Italy* è divenuta qualcosa di ben più importante di un semplice marchio d'origine: è diventata un sinonimo di *leadership* nel *design*, di qualità e affidabilità, universalmente riconosciute. Una sorta di marchio collettivo, che richiama alla mente l'immagine esclusiva delle produzioni italiane, la creatività dei nostri imprenditori e lo stile di vita italiano.

Il *Made in Italy* ha conquistato il mondo, presentandosi come un concetto in grado di veicolare un valore aggiunto, una qualità forte, un connubio tra bello e funzionale. Sono così nati e si sono sviluppati marchi e linee cui è associato un concetto di prodotto di qualità e di contenuti estetici accessibile al grande pubblico.

La qualità, la creatività e la componente estetica sono le armi del *Made in Italy*, ma queste da sole non sono più sufficienti.

Tutti ovunque imitano il nostro "*Made in*" e riescono anche a migliorarne il livello qualitativo: così l'obiettivo è diventato la "continua innovazione", espressione ormai divenuta simbolica del modo di competere.

Le nuove sfide della globalizzazione, tra cui spicca in modo particolare la crescente concorrenza della Cina e di altri competitori asiatici nelle produzioni manifatturiere in cui l'Italia si è specializzata, pongono oggi degli interrogativi sul futuro dello sviluppo del nostro Paese e obbligano a una verifica delle strategie aziendali e di sistema.

Nello stesso tempo appare evidente che i settori in cui l'Italia si è specializzata presentano oggi tassi di crescita inferiori rispetto a quelli di altri settori a più elevato contenuto di tecnologia. In questo quadro mondiale in rapido cambiamento, ci si chiede se in futuro saranno ancora sufficienti all'Italia i soli settori tradizionali del *Made in Italy* per conseguire un'adequata crescita economica.

Ci si trova di fronte, in definitiva, a grandi cambiamenti, se non addirittura a sconvolgimenti dell'economia mondiale, e quelle che abbiamo qui appena accennato sono solo alcune delle principali sfide che attendono le produzioni tipiche del *Made in Italy*.

## 2. LE SPECIALIZZAZIONI PRODUTTIVE DEL *MADE IN ITALY*

Le specializzazioni produttive del *Made in Italy* rientrano in quattro grandi aree di attività manifatturiera, in cui l'Italia è posizionata ai vertici mondiali. Esse sono:

- abbigliamento-moda;
- arredo-casa;
- automazione-meccanica;
- alimentari e bevande.

Le 4 "A" dell'eccellenza manifatturiera italiana rappresentano un insieme di attività produttive, i cui dati salienti sono sintetizzati nella Tabella 1.



**Tabella 1 - Il *Made in Italy* manifatturiero in sintesi (dati 2001).**

Settori	Abbigliamento moda	Arredo casa	Automazione meccanica	Alimentari e bevande	Totale
Numero di imprese	108.164	93.948	141.620	66.936	410.668
Numero di addetti	891.210	494.644	1.334.913	446.785	3.167.552
Incidenza sull'occupazione manifatturiera nazionale	18,2%	10,1%	27,3%	9,1%	64,7%
Esportazioni (miliardi di euro)	50,5	17,8	68,6	14	150,9
Incidenza sull'export manifatturiero nazionale	19,0%	6,7%	25,8%	5,3%	56,8%
Importazioni (miliardi €)	21,8	5,1	27,1	17,0	70,9
Saldo commerciale (miliardi €)	28,7	12,7	41,5	-3	80,0

Le principali specializzazioni del *Made in Italy* alla data dell'ultimo censimento (2001) occupavano complessivamente oltre 3 milioni di addetti, pari al 65% circa dell'occupazione manifatturiera nazionale, le imprese attive erano oltre 410mila. Il loro contributo alle esportazioni superava il 55% con un saldo di 80 miliardi €.

L'automazione - meccanica è il settore che presenta il maggior contributo all'*export* (26% del totale *export* manifatturiero), seguito dal tessile abbigliamento (19%), mentre il settore alimentari e bevande (5%) ha un saldo con l'estero negativo per 3 miliardi €.

La Tabella 2 presenta uno spaccato dell'occupazione nelle principali categorie e settori di specializzazione del *Made in Italy*, dal quale emergono per ordine di grandezza i contributi forniti dall'automazione-meccanica e dall'abbigliamento-moda, seguiti da quelli dell'arredo-casa e dell'alimentare.

**Tabella 2 - *Made in Italy*: Imprese e addetti per sottosettori (2001)**

Settori	Imprese	Addetti	N. Addetti per Impresa
alimentari e bevande	66.936	446.785	6,7
abbigliamento-moda di cui:	108.164	891.210	8,2
• tessile e abbigliamento	73.344	609.629	8,3
• cuoio, pelletteria, calzature	22.808	206.829	9,1
• di cui, calzature	13.220	138.592	10,5
• occhiali e montature	902	19.235	21,3
• oreficeria e gioielleria	10.486	50.012	4,8
arredo-casa:	93.948	494.644	5,3
• mobili	33.218	209.851	6,3
• lampade	2.181	19.628	9,0
automazione-meccanica di cui:	141.620	1.334.913	9,4
• prodotti in metallo	95.852	695.705	7,3
• macchine e app. meccanici	42.235	602.139	14,3
<b>TOTALE SETTORI DEL "MADE IN ITALY"</b>	<b>410.668</b>	<b>3.167.552</b>	<b>7,7</b>

Osservando il numero medio di addetti per impresa, argomento che verrà trattato anche oltre, va sin da ora messa in evidenza la modesta dimensione media delle imprese del *Made in Italy*. Fanno eccezione i due comparti degli occhiali e montature (con 21,3 addetti per impresa) e le macchine e apparecchi meccanici (14,3), che, non a caso, hanno manifestato negli anni maggiori capacità competitive sul mercato internazionale. Resta comunque un dato medio per le imprese del *Made in Italy* (7,7 addetti per impresa) del tutto inadeguato alle sfide che il mercato globalizzato sta ponendo a queste produzioni.

#### *Il sistema abbigliamento-moda*

Il sistema abbigliamento-moda comprende 4 grandi settori:

- il tessile-abbigliamento;
- le pelli-calzature-pelletteria;
- l'occhialeria;
- l'oreficeria-gioielleria.

L'occupazione complessiva in queste 4 filiere risultava, in base ai dati del censimento 2001, di 891 mila addetti, pari al 18,2% del totale nazionale, con 108mila imprese. L'*export* nello stesso anno è stato di 50,5 miliardi € (19% dell'*export* nazionale), con un saldo con l'estero positivo per 28,7 miliardi. Il settore tessile-abbigliamento è quello che fornisce al sistema abbigliamento-moda il maggiore contributo di addetti (609mila nel 2001), seguito da cuoio-pelletteria-calzature (207mila), dall'oreficeria-gioielleria (50mila), dall'occhialeria (19mila). Nell'ambito del comparto cuoio-pelletteria-calzature spicca il settore delle calzature con oltre 138mila addetti.

#### *Il sistema arredo-casa*

Nel 2001 l'insieme dei principali settori dell'arredo-casa occupava oltre 494mila addetti, pari al 10% del totale degli addetti manifatturieri. Le imprese erano quasi 94mila. Nello stesso anno le esportazioni sono state di 17,8 miliardi € con un saldo attivo con l'estero di 12,7 miliardi €. In base ai dati del Censimento 2001 la filiera del mobilio assorbiva il maggior numero di occupati (quasi 210 mila, che salgono a 228mila con le lampade e l'illuminotecnica).

#### *Il sistema automazione-meccanica*

L'automazione-meccanica è una parte fondamentale del *Made in Italy*, con valori anche più importanti dell'area abbigliamento-moda sia per numero di imprese, addetti, *export* e saldo commerciale attivo con l'estero. Nel 2001 i principali settori dell'automazione-meccanica contavano più di 141mila imprese e oltre 1 milione e 330mila addetti, pari al 27,3% dell'occupazione manifatturiera nazionale. L'*export* ha raggiunto nello stesso anno i 68,6 miliardi € con un rilevante attivo commerciale di 41,5 miliardi €. L'automazione-meccanica si compone di due grandi sotto-settori: quello della lavorazione di prodotti in metallo (circa 696mila addetti) e quello delle macchine e apparecchi meccanici, che conta 602mila addetti, ripartiti in un gran numero di comparti: pompe, valvole, rubinetteria, ingranaggi, fornaci e bruciatori, altre macchine per impieghi generali (tra cui quelle per il confezionamento e l'imballaggio), tutta la vasta gamma delle macchine utensili e industriali, gli apparecchi per uso domestico, ecc.. Le imprese erano, rispettivamente, oltre 95mila per i prodotti in metallo e oltre 42mila per il comparto macchine, con una dimensione media di addetti per impresa rispettivamente di 7,3 e 14,3.

#### *Il sistema agro-alimentare*

La quarta "A" dell'eccellenza produttiva italiana è costituita dal comparto agro-alimentare. Nel solo settore manifatturiero gli addetti coinvolti nella produzione di alimenti e bevande erano,

nel 2001, 447mila occupati in circa 67mila imprese. Le esportazioni nello stesso anno furono di 14 miliardi €, con un deficit di 3 miliardi, essendo il nostro Paese forte importatore di prodotti come carni, pesce, latticini.

### 3. LE DIMENSIONI DI IMPRESA

Dai dati della Tabella 3 (censimento 2001) risulta che le imprese manifatturiere attive in Italia erano complessivamente 542.876, di cui oltre 530mila, cioè il 97,7%, costituito da piccole imprese (da 1 a 49 addetti), le medie imprese (da 50 a 499 addetti) erano 11.810, mentre le grandi (oltre i 500 addetti) risultavano solo 579.

<b>Tabella 3 - Numero di imprese manifatturiere in Italia (settori del <i>Made in Italy</i> e altri settori) distribuite per dimensione di impresa (dati 2001)</b>										
	piccole imprese (1-49 addetti)		medie imprese (50-499)		grandi imprese (500 e oltre)		totale generale		imprese con oltre 100 addetti	
	Num.	%	Num.	%	Num.	%	Num.	%	Num.	%
Settori del "Made in Italy"	402.904	98,1	7.514	1,8	250	0,1	410.668	100,0	3.012	0,7
alimentari e bevande	66.075	98,7	810	1,2	51	0,1	66.936	100,0	416	0,6
abbigliamento-moda	105.880	97,9	2.224	2,1	60	0,1	108.164	100,0	811	0,7
arredo-casa	92.913	98,9	1.007	1,1	28	0,0	93.948	100,0	364	0,4
automazione-meccanica	138.036	97,5	3.473	2,5	111	0,1	141.620	100,0	1.421	1,0
altri settori manifatturieri	127.583	96,5	4.296	3,2	329	0,2	132.208	100,0	2.170	1,6
<b>TOTALE INDUSTRIA MANIFATTURIERA</b>	<b>530.487</b>	<b>97,7</b>	<b>11.810</b>	<b>2,2</b>	<b>579</b>	<b>0,1</b>	<b>542.876</b>	<b>100,0</b>	<b>5.182</b>	<b>1,0</b>

I settori del *Made in Italy* presentano una struttura dimensionale sostanzialmente simile a quella degli altri settori manifatturieri. Le imprese che contano oltre 100 addetti erano al 2001 solo poco più di 3mila e solo 250 quelle con più di 500 addetti. Il settore "automazione-meccanica" presenta una lieve differenza per quanto riguarda le medie imprese (da 50 a 499 addetti), che rappresentano il 2,5% del totale contro una media del settore *Made in Italy* dell'1,8% e del totale manifatturiero del 2,2%.

Considerando le medie imprese manifatturiere da 100 a 499 addetti, si osserva che nel 2001 esse erano in Italia complessivamente 4.603, di cui 2.762 (cioè il 60% del totale) risultavano attive nelle 4 aree di eccellenza del *Made in Italy*:

- 365 nell'alimentare-bevande;
- 336 nell'arredo-casa;
- 751 nell'abbigliamento-moda;
- 1.310 nell'automazione-meccanica.

Queste 2.762 medie imprese "strutturate" del *Made in Italy* affiancano 250 grandi imprese (con oltre 500 addetti) attive negli stessi settori, per un totale di 3.012 imprese con più di 100 addetti.

L'occupazione generata da questo gruppo di imprese "strutturate" era nel 2001 di circa 803mila addetti, cioè il 25,4% di quella complessiva dei settori manifatturieri del *Made in Italy*.

Emerge quindi una "questione dimensionale" che, soprattutto alla luce delle nuove dinamiche competitive innescate dai processi di globalizzazione, non è più considerata un fattore positivo (il noto teorema del "piccole è bello") ma un fattore di debolezza competitiva.

Va peraltro ricordata una peculiarità del settore manifatturiero italiano che, in una certa misura, attenua gli effetti della insufficiente dimensione di impresa. Ci si riferisce alla distribuzione territoriale delle imprese manifatturiere italiane e al loro modello di localizzazione in *distretti in-*

*dustriali*, fenomeno che non trova riscontro in simili proporzioni in nessun altro paese del mondo. Secondo l'ISTAT i *distretti* sono 199, altre fonti ne portano il numero sino a 220; in particolare, 96 sono quelli attivi nei settori del *Made in Italy*, con oltre 850mila addetti.

#### 4. LE TENDENZE COMPETITIVE

Nell'arco dell'ultimo ventennio il *Made in Italy* è cresciuto a un tasso piuttosto sostenuto, tanto che nel 1996, dopo un periodo di “boom” del nostro *export* a cui avevano giovato certamente le cosiddette *svalutazioni competitive* della lira, l'Italia era giunta a essere il terzo paese del mondo per saldo commerciale attivo dopo Germania e Giappone. Nel 2002 era già scesa al 16° posto per poi uscire dalla classifica dei primi venti Paesi nel 2003. In breve, il nostro saldo attivo, che era stato di 34,9 miliardi € nel 1996, è sceso a 1,6 miliardi nel 2003. I dati relativi all'*import-export* del *Made in Italy* nel periodo 2002-7 sono riportati in Tabella 4.

Tabella 4 - Saldo commerciale con l'estero del <i>Made in Italy</i> (anni 2002-7, valori in miliardi €)						
Anni	Totale bilancia commerciale	Alimentari e bevande	abbigliamento moda	arredo casa	automazione meccanica	totale settori del <i>made in italy</i>
2002	7,8	2,7	26,7	13,3	50,2	92,9
2003	1,6	2,2	23,5	12,3	50,5	88,5
2004	-1,2	2,2	23,1	12,3	57,7	95,3
2005	-9,4	2,6	21,9	11,8	60,3	96,6
2006	-20,5	3,0	21,8	12,4	67,3	104,5
2007	-9,4	3,1	22,2	12,5	75,2	113,0

Le cause di questo peggioramento sono da ricercarsi soprattutto ai seguenti fattori concomitanti:

- l'impatto negativo del rafforzamento dell'euro sulle nostre esportazioni, proporzionalmente assai superiore al vantaggio di poter acquistare materie prime ed energia con un cambio più favorevole;
- il sensibile peggioramento del nostro interscambio verso la Germania e altri paesi del Nord Europa: il rallentamento dei consumi e degli investimenti in questi paesi europei ha frenato notevolmente le esportazioni italiane, che, ricordiamo, si dirigono per il 53% circa verso l'UE a 15;
- la crescente concorrenza “asimmetrica” dei paesi emergenti dell'Asia, soprattutto della Cina, che ricorrono sempre più a pratiche di *dumping*, di contraffazione e falsi;
- il cambiamento dei modelli di consumo delle famiglie, che dai tradizionali beni per la persona e la casa (in cui il *Made in Italy* è forte) hanno indirizzato i propri consumi verso i prodotti dell'ICT, quali computer, cellulari, elettronica di consumo, ecc. (in cui il nostro paese è invece poco presente).

L'*export* italiano, dopo la severa crisi del 2004-2005, che ha colpito in modo particolare il tessile-abbigliamento e le calzature, ha mostrato segni di sensibile ripresa nella seconda metà del 2006 e nel 2007. In particolare il 2007 è stato un anno piuttosto positivo per il commercio estero italiano: il *surplus* commerciale delle “4 A” ha toccato un nuovo massimo storico di 113 miliardi €. Il *surplus* è stato trascinato principalmente dall'automazione-meccanica, il cui saldo positivo è aumentato da 67,3 a 75,2 miliardi € (+11,7%), mentre gli altri settori hanno sostanzialmente tenuto i risultati del 2006. Questa sensibile ripresa delle esportazioni del settore meccanica, che i primi dati del 2008 sembrano confermare, anche se in un quadro economico complessivo meno

brillante, testimoniano la ripresa di competitività dell'industria italiana: durante gli anni di difficoltà essa ha saputo innescare processi di ristrutturazione e di riposizionamento strategico, i cui frutti sono appunto evidenziati dalla ripresa dell'*export*.

## 5. L'INNOVAZIONE NEL MADE IN ITALY

### *L'investimento in R&S*

Quando si osservano le classifiche per i principali indicatori scientifici e tecnologici stilati dall'OECD o da altre organizzazioni internazionali, l'Italia si colloca sempre nella parte bassa. Ma ciò che più è preoccupante è la dinamica discendente del rapporto tra investimenti in ricerca e sviluppo (R&S) e PIL: questo indice, infatti, è sceso dall'1,23% del 1991 all'1,1% del 2006, al contrario, invece, di quanto è accaduto in paesi come la Spagna, l'Irlanda e la Grecia, i quali, partiti da un rapporto R&S/PIL inferiore a quello dell'Italia, hanno poi intrapreso una dinamica ascendente. In generale, comunque, per quanto riguarda il nostro Paese, si è osservata negli ultimi anni una perdita di terreno rispetto alla media UE, e ancora nel 2006 l'Italia presentava un livello di spese in R&S inferiore a quello degli altri grandi Paesi della UE, a conferma che non è stata fatta una scelta di investimenti in R&S. Emerge quindi una anomalia per un Paese con il nostro livello di sviluppo economico: investiamo troppo poco in R&S, il che si riflette inevitabilmente sulla nostra dinamica tecnologica e sulla capacità innovativa.

Tra le molte cause del divario tra l'Italia e altri paesi avanzati nella spesa per R&S, alcune vanno segnalate perché sono rilevanti per spiegare la limitata spesa in R&S delle imprese:

- Il fattore dimensionale. Le *pmi* non hanno risorse sufficienti per costituire strutture formali di R&S: in primo luogo, mancano le risorse finanziarie sufficienti per affrontare progetti di R&S a produttività incerta e, comunque, differita nel tempo; in secondo luogo, perché spesso tali progetti richiedono una soglia minima di efficacia per poter essere profittevoli.
- Il fattore settoriale. I settori manifatturieri ad alto contenuto tecnologico hanno uno scarso peso nella nostra economia, peso che è andato storicamente calando anche per il declino di alcuni grandi gruppi nazionali attivi nell'elettronica e nella chimica-farmaceutica.
- La non rilevazione delle spese in R&S "informale" attuata dalle *pmi*. Gran parte della R&S industriale è probabilmente "sommersa", poiché la maggior parte delle piccole e medie imprese non ha nessun incentivo a farla emergere, e di conseguenza non viene contabilizzata.
- Occorre anche segnalare la difficoltà nel distinguere tra attività di R&S e attività a essa correlate (attività di formazione e addestramento, raccolta di dati, studi di fattibilità, disegno industriale, innovazione di modello, acquisizione di tecnologie da terzi, *marketing* di nuovi prodotti, ecc.), difficoltà che può determinare, come nel caso dell'attività di ricerca applicata e di sviluppo sperimentale che si svolge soprattutto nelle *pmi*, una sottostima degli investimenti in innovazione, specialmente per il nostro paese, la cui attività produttiva e innovativa è diluita in un numero elevatissimo di *pmi*. A tale riguardo va anche ricordato che il modello localizzativo proprio dei distretti industriali, caratterizzato dalla condivisione di servizi e *facilities* da parte di imprese affini per prodotto, tecnologia, cultura d'impresa, ha favorito in alcune aree la nascita di centri servizi specializzati nell'innovazione e nel trasferimento tecnologico alle imprese, soprattutto quelle di piccole e medie dimensioni. I centri servizi sorti all'interno dei distretti sono stati, alle volte, una risorsa importante per la competitività delle imprese ivi localizzate, in quanto mettono a disposizione delle *pmi* una gamma di servizi specialistici altrimenti difficilmente reperibili: dalla formazione, alla ricerca applicata e la messa a disposizione di laboratori di prova e analisi. È stato in sostanza un modo per esternalizzare e ottimizzare le funzioni di ricerca e innovazione da parte delle piccole e medie imprese del *Made in Italy*.

*La contraddizione del Made in Italy: innovazione senza ricerca*

Per le ragioni sopra esposte, quasi tutti gli indicatori, a partire dal semplice dato del rapporto R&S/PIL, evidenziano il cattivo posizionamento dell'Italia nella ricerca e nell'innovazione nel confronto con gli altri paesi ed in generale un livello di investimenti e di dinamica innovativo-tecnologica inferiore alla media della UE. A livello delle imprese, poi, sono i settori del *Made in Italy* quelli che meno investono in R&S (Tabella 5).

<b>Tabella 5 - Spesa per R&amp;S delle imprese per attività economica (anno 2004, valori in milioni €)</b>		
<b>SETTORI</b>	<b>TOTALE</b>	<b>%</b>
Alimentare	83,1	1,6
Tessile	40,0	0,8
Abbigliamento	13,1	0,2
Pelli e cuoio	15,5	0,3
Mobili	51,4	1,0
Macchine e impianti	798,2	15,2
SubTotale Made in Italy	1.001,3	19,1
Altre Manifatturiere	4.243,0	80,9
<b>TOTALE INDUSTRIA MANIFATTURIERA</b>	<b>5.244,3</b>	<b>100,0</b>

Complessivamente i settori del *Made in Italy* coprono nel 2004 solo il 19,1% del totale delle spese in R&S del settore delle imprese. Se si considera che esse rappresentano circa il 65% dell'occupazione manifatturiera, il quadro che emerge testimonia della scarsa propensione di queste imprese a investire in R&S. Il settore delle macchine e impianti assicura, da solo, il 15,2% delle spese in R&S, mentre agli altri tre settori del *Made in Italy* rimane un modestissimo 3,9%.

Eppure il nostro è un grande e moderno paese industriale.

Questa contraddizione di una bassa spesa in R&S e di ritardo scientifico-innovativo da un lato, e di alta e diffusa industrializzazione dall'altro, può essere spiegata considerando il fatto che l'Italia nel passato ha avuto successo più per l'imprenditorialità e l'innovatività spontanea che per la progettualità sistemica. L'innovazione, infatti, non discenderebbe necessariamente dalla R&S. Il "modello italiano" - espresso dal *Made in Italy* e dai Distretti industriali - è caratterizzato da una innovazione basata sulla ricerca informale legata più alla capacità imprenditoriale che all'innovazione di tipo scientifico-tecnologica.

L'innovazione italiana, in altri termini, appare sostanzialmente basata sull'imprenditore che sa promuovere una netta superiorità delle proprie produzioni nel campo del *design* o che sa acquisire tecnologia incorporata nei materiali e nelle macchine o sa integrare nei propri prodotti tecnologie sviluppate a livello internazionale, dilatandone le potenzialità e adattandole alle specificità emergenti dalla specializzazione settoriale.

Questa capacità del *Made in Italy* di produrre innovazione senza ricerca formale appare evidente anche dal fatto che l'Italia eccelle nell'indicatore relativo alla percentuale di prodotti nuovi o significativamente migliorati, introdotti sul mercato dalle imprese, con un posizionamento nettamente più elevato rispetto alla media europea.

Non appare quindi corretto pensare che le imprese del *Made in Italy* siano scarsamente innovative e ritenere che in passato esse siano sopravvissute nella competizione internazionale solo in



virtù delle svalutazioni competitive della lira e del sommerso. La *leadership* dell'Italia nell'*export* mondiale in questi settori rivela, al contrario, la loro elevata capacità innovativa.

Il recupero delle esportazioni italiane negli anni 2006 e 2007 dopo la crisi degli anni 2003 e 2004 ha messo in evidenza una rinnovata competitività internazionale delle produzioni italiane e ha, di conseguenza, contraddetto la tesi del declino irreversibile a cui sarebbe avviato il nostro sistema manifatturiero e dei Distretti industriali, e dell'ineluttabilità del predominio asiatico in molte produzioni manifatturiere tradizionali in cui l'Italia è specializzata.

Ciò che va ribadito è che se, da un lato, si può sostenere che le imprese del *Made in Italy* operano nei settori cosiddetti tradizionali, è d'altro lato altrettanto vero che esse operano non in maniera tradizionale e ripetitiva, ma introducendo continuamente elementi di innovazione soprattutto di tipo "informale".

### *Innovazione "design driven"*

Un aspetto davvero cruciale per il *Made in Italy* è la rilevanza che il *design* riveste in molti settori della nostra industria manifatturiera: non solo nella moda e nell'arredo-casa, ma anche in vari comparti dell'automazione-meccanica. In questi settori, il continuo sforzo di rinnovo dei modelli, delle collezioni e dei campionari ha la stessa importanza, ai fini di mantenere il vantaggio competitivo con le economie emergenti, che la spesa in R&S ha nei settori *high tech*. Ed è così che si è giunti a definire l'innovazione *design driven*, come quella particolare forma di innovazione che trova nel *design* la sua componente fondamentale.

Il *design* è una forma specifica di innovazione. Il *design* dei prodotti e/o servizi gioca un ruolo rilevante nell'innovazione dei prodotti e nella valorizzazione dell'immagine e del marchio che sia di valore. In questa prospettiva i *designers* diventano attori di un nuovo approccio culturale al *business*, dove la produzione deve essere in grado di sostenere i bisogni individuali del cliente a un livello socio/culturale elevato.

L'innovazione *design driven* è perciò fondata sia sulle risorse sociali e culturali di un territorio sia sul comportamento mutevole del consumatore. Spesso le imprese che operano nei settori industriali del *Made in Italy* sono caratterizzate dalla cooperazione con *designers* che accrescono la qualità dei prodotti delle imprese stesse e li arricchiscono di un'immagine sofisticata. In alcuni casi sono addirittura i *designers* stessi a creare e sviluppare le proprie imprese; in altri casi intraprendono una collaborazione di lungo periodo con un'impresa, influenzandone la produzione intera nonché le politiche di *marketing*.

È quindi possibile affermare che il modello innovativo italiano, o meglio la parte di successo del modello innovativo italiano, quella del *Made in Italy*, non può prescindere dall'investimento in innovazione di *design*.

Conviene infine sottolineare che nei prodotti in metallo e nelle macchine, che sono prodotti di tecnologia medio-alta, l'Italia è ormai seconda in Europa solo alla Germania e in diversi comparti l'ha affiancata o addirittura superata e questo in virtù di continue innovazioni propriamente tecnologiche nei prodotti. Nei comparti "orizzontali" dei sistemi di produzione e dei materiali, diversamente da quelli "verticali" dei beni finali, tuttavia, investimenti maggiori in R&S sono divenuti strategici per sostenere la competizione internazionale e anche per sostenere l'innovazione continua delle produzioni che li utilizzano.





---

## PARTE SECONDA

# IL SISTEMA MODA

(a cura di Gianfranco Colitti e PierGiuseppe Bullio)

<b>Sintesi e conclusioni .....</b>	<b>17</b>
<b>1. Quadro di riferimento generale .....</b>	<b>18</b>
1.1 Il quadro europeo.....	18
1.2 Il quadro italiano .....	19
<b>2. Le tecnologie del tessile-abbigliamento .....</b>	<b>34</b>
1.1 Quadro di riferimento.....	34
1.2 Tecnologie e innovazione nel settore tessile-abbigliamento .....	36
1.3 Le tecnologie delle fibre .....	36
1.4 Le tecnologie dei coloranti & ausiliari .....	39
1.5 Le tecnologie meccano-tessili .....	45
1.6 Le tecnologie di servizio .....	46

## SINTESI

Il sistema moda italiano ha attraversato in questi ultimi anni un periodo di profonda crisi di produzione a causa dell'affacciarsi sul mercato mondiale di nuovi paesi produttori caratterizzati da minore costo del lavoro. A questa nuova situazione il sistema moda italiano ha saputo rispondere positivamente mettendo in essere ristrutturazioni aziendali e nuove strategie competitive tendenti a riposizionare la produzione nazionale su segmenti di mercato a più alta qualificazione e valore, sfruttando appieno le capacità innovative e creative, anche legate al fattore moda. In sintesi, il sistema moda italiano nel 2007 contava oltre 58mila imprese con circa 513mila addetti, il suo fatturato ha superato i 54 miliardi di € e le esportazioni i 28 miliardi di €.

Il processo di globalizzazione ha profondamente mutato il *business* della moda: la componente “manifattura” del prodotto fisico ha perso di importanza a fronte di altre componenti immateriali (progettazione, *design*, comunicazione, strategie commerciali), che assumono sempre maggiore rilevanza nel quadro competitivo internazionale. Oltre a posizione di *leadership* nel campo della progettazione e del *design* dei prodotti di moda, il sistema moda italiano può vantare posizioni di vantaggio competitivo anche nel meccano-tessile e in alcune lavorazioni specialistiche nel campo dei coloranti e ausiliari e nei trattamenti finali dei prodotti tessili in grado di dare quel “tocco finale” di qualità, che poi è sfruttato appieno dai creativi e stilisti per la progettazione dei loro prodotti. Questa capacità innovativa trova fondamento nella rete di piccole imprese altamente specializzate e dotate di *know how*, costituito da grande conoscenza ed esperienza non facilmente trasferibile o replicabile in altri contesti industriali, tanto che iniziative di delocalizzazione produttiva messe in essere alcuni anni fa stanno ritornando sui loro passi per la difficoltà di reperire

nei nuovi paesi quella ricchezza e varietà di servizi specializzati, di cui un'impresa del sistema moda ha bisogno per competere sul mercato mondiale.

### *Il lavoro è diviso in due parti*

Nella **prima parte**, dopo aver definito i settori che compongono il settore moda, si descrive il quadro di riferimento economico e settoriale italiano, inquadrandolo nel nuovo contesto internazionale, mettendo in evidenza il ruolo dei paesi emergenti con le loro minacce competitive, ma anche con le opportunità che essi offrono alle imprese italiane. Un approfondimento è dedicato alla filiera del sistema moda, alle sue componenti dirette e indirette, in termini di funzioni, attività e specializzazioni, al fine di porre in evidenza la necessità di superare gli steccati settoriali e di ragionare invece in termini di fattori di competitività di filiera. Nella **seconda parte** si prende in esame il tema dell'innovazione nella filiera del tessile-abbigliamento (fibre, tessitura, coloranti e ausiliari, sistemi di produzione, servizi tecnologici) sia dal punto di vista dei nuovi materiali e/o dei nuovi processi, ma soprattutto dal punto di vista dell'innovazione *design driven*, di quella innovazione cioè determinata da fattori immateriali (contenuto di immagine, di moda, ecc.), che nel mercato globale vanno assumendo sempre più importanza e rilievo.

## CONCLUSIONI

Lo scenario che oggi si prospetta alle imprese del sistema moda è quello di una competizione internazionale sempre più agguerrita, che induce le imprese nazionali a ridefinire il proprio assetto strategico verso una articolazione di attività che superi la pratica manifatturiera, diventata, per molti segmenti del mercato, una sorta di *commodity* da acquistare o localizzare dove conviene, e consideri come strategici i nuovi contenuti *immateriali* (stile, moda, distribuzione, marchio, ecc.).

Il prodotto fisico, capo di abbigliamento o accessorio, ha visto ridursi il suo ciclo di vita e ha perso centralità rispetto al momento di *marketing* e di distribuzione, che oggi gioca un ruolo fondamentale. Chi sembra avere vantaggi competitivi oggi è l'impresa che non si focalizza più solo su alcune parti della catena del valore ma la presidia integralmente e sceglie di localizzarsi là dove esistano funzioni a elevato valore aggiunto. La necessità di superare i confini nazionali e orientarsi verso *target* di consumo più sofisticati per qualità, immagine, capacità di interpretare contenuti tecnici e valori immateriali del prodotto, impone alle imprese un salto di qualità nella direzione di una azienda multi-funzione dove le componenti immateriali e di servizio della filiera tendono ad acquisire importanza crescente.

## 1. QUADRO DI RIFERIMENTO GENERALE

### 1.1 Il quadro europeo

Nel corso dell'ultimo decennio il sistema moda (tessile, abbigliamento, pelle cuoio e calzature) è stato uno dei maggiori protagonisti del processo di globalizzazione dell'economia, che ha visto un profondo mutamento della geografia produttivo/commerciale del settore nella direzione di una crescita del ruolo dei paesi emergenti. In questo nuovo quadro di divisione internazionale del lavoro, l'apparato produttivo europeo ha dovuto affrontare un processo di razionalizzazione e riposizionamento competitivo, che ha inciso significativamente sulle dinamiche di sviluppo del settore. Ad esempio, nel periodo che va dal 1993 al 2004, la produzione del sistema moda europeo è diminuita mediamente del 3,3% all'anno, con una riduzione di quasi un terzo della forza lavoro del settore. Analogamente, nel periodo che va dal 1999 al 2003 la quota dell'Europa a 15 sul totale delle esportazioni mondiali è scesa dal 30,5% al 28,7% e quello dell'America del Nord è sceso

dal 6,2% del 1999 al 4,2% del 2003. Nonostante questa fase di declino, il sistema moda continua a rappresentare una parte importante dell'economia manifatturiera europea. Complessivamente, nella UE a 25 i comparti moda "tessile, abbigliamento, pelletteria, calzature e concia", realizzano 73 miliardi € di valore aggiunto e occupano poco più di 3 milioni di lavoratori (Tabella 1 relativa all'anno 2002). Il settore rappresenta all'interno dell'apparato manifatturiero UE a 25 circa 8,6% dell'occupazione e poco più del 4% del valore aggiunto.

**Tabella 1 - Il sistema moda in Europa (UE25) - anno 2002**

	Occupazione		Valore aggiunto	
	migliaia di unità	% totale industria	in milioni di €	% totale industria
Tessile	1.056	2,9	31.794	1,8
Abbigliamento	1.475	4,1	28.084	1,6
Pelletteria e calzature	548	1,5	12.870	0,7
<b>TOTALE SISTEMA MODA</b>	<b>3.079</b>	<b>8,6</b>	<b>72.767</b>	<b>4,1</b>

In tale contesto l'Italia si trova in una posizione preminente. Il sistema moda italiano occupa infatti la prima posizione sia per numero di addetti (circa 1/5 del totale europeo) che per reddito prodotto (circa 1/3 del totale).

## 1.2 Il quadro italiano

### *Produzione e vendite*

In questo nuovo contesto di crescente apertura delle economie nazionali e di forte protagonismo dei paesi emergenti, anche il sistema moda italiano evidenzia una chiara difficoltà a difendere il suo posizionamento competitivo. Nell'ultimo quinquennio (2001 – 2005), il sistema moda ha infatti fatto registrare una forte riduzione sia della produzione e del fatturato (sceso da quasi 96 miliardi € nel 2001 a poco più di 80 miliardi nel 2005, diminuzione del 17%) che di vendite all'estero (diminuite dell'11%). Questa criticità del sistema moda emerge in modo evidente anche dal confronto con l'andamento medio dell'aggregato manifatturiero il quale, pur segnando una riduzione della produzione (-5,9% tra il 2001 e il 2005), realizza una leggera crescita del fatturato (+3,5%) e dei flussi commerciali verso l'estero (+7,4%). Come risulta dalla Tabella 2, nessuno dei comparti del sistema moda è uscito indenne da questo *trend* negativo. Infatti, nei cinque anni dal 2001 al 2005, tessile, abbigliamento e pelletteria, segnano una perdita sia della produzione che del fatturato. L'unico dato in controtendenza è quello delle vendite all'estero di prodotti dell'abbigliamento che, diversamente dagli altri comparti, resta pressoché fermo ai livelli del 2001 (+1%).

**Tabella 2 - Sistema moda Italia; dinamica % della produzione, fatturato ed export nel periodo 2001-2005**

	Anno	Tessile	Abbigliamento	Pelletteria e Calzature	Totale attività manifatturiere
Produzione	2001/2005	-17%	-22%	-29%	-5,9%
	2005/2004	-4%	-12%	-9%	-2,5%
Fatturato	2001/2005	-23%	-5%	-12%	3,5%
	2005/2004	-7%	-6%	0%	0,8%
Export	2001/2005	-17%	1%	-14%	7,4%
	2005/2004	-5%	4%	-2%	4,2%

*Gli scambi con l'estero*

Per il sistema moda, che destina all'*export* quasi la metà del suo fatturato, l'andamento degli scambi con l'estero rappresenta un indicatore essenziale per ricostruire un quadro dei risultati di competitività.

I dati relativi ai flussi commerciali del sistema moda italiano sono riportati nella Tabella 3.

<b>Tabella 3 - Sistema moda Italia; flussi commerciali verso il resto del mondo nel periodo 2001-2005</b>				
		<b>Valore 2005</b>	<b>Variazione 2005/2001</b>	
		<b>(in milioni €)</b>	<b>in valore</b>	<b>in %</b>
Tessile	<i>import</i>	6.986	-486	-7%
	<i>export</i>	13.942	-2.923	-17%
	saldo	6.956	-2.437	-26%
Abbigliamento	<i>import</i>	8.191	1.927	31%
	<i>export</i>	12.037	166	1%
	saldo	3.846	-1.761	-31%
Pelletteria e calzature	<i>import</i>	6.484	33	1%
	<i>export</i>	12.479	-2.086	-14%
	saldo	5.995	-2.118	-26%
	<i>import</i>	21.662	1.473	7%
Totale Sistema moda	<i>export</i>	38.459	-4.843	-11%
	saldo	16.797	-6.316	-27%
	<i>import</i>	244.482	23.499	11%
	<i>export</i>	285.224	19.733	7%
<b>TOTALE ATTIVITÀ MANIFATTURIERE</b>	saldo	40.742	-3.765	-8%

Complessivamente, nel periodo 2001-2005, la combinazione di fattori, quali il rafforzamento dell'euro sul dollaro, l'avanzare della concorrenza dei paesi a basso costo del lavoro, e il diffuso rallentamento dei consumi in Europa (principale area di sbocco dei prodotti del sistema moda italiani), ha determinato una diminuzione dell'*export* di 4,8 miliardi € (-11% rispetto al 2001), portando il valore delle vendite all'estero a poco più di 38 miliardi.

Nel contempo, si è assistito a una crescita delle importazioni del 7%, che hanno spinto il valore complessivo dei prodotti moda acquistati all'estero vicino ai 22 miliardi €.

Questa divergenza nella dinamica dei flussi commerciali ha naturalmente indebolito la posizione netta dell'Italia, che è scesa del 27% portando il saldo commerciale attivo del settore moda a poco meno di 17 miliardi €.

Diverso è il comportamento dei tre macro comparti del settore. L'abbigliamento, infatti, riesce a difendere la sua presenza all'estero (+1% la variazione dell'*export* nel periodo 2001-2005), mentre tessile e pelletteria arretrano rispettivamente del 17% e del 14%.

Il confronto tra comparti rileva invece una situazione diversa dal lato delle importazioni, in cinque anni cresce in valore del 31% l'acquisto di prodotti dell'abbigliamento dall'estero; mentre per la pelletteria e il tessile si registrano variazioni meno marcate e poco distanti dai risultati del 2001.

La Tabella 4 riporta i dati dello scambio commerciale del sistema moda per macroaree geografiche.

<b>Tabella 4 - Sistema moda Italia; scambi commerciali verso l'estero per macro aree geografiche</b>								
	<b>Import</b>			<b>Export</b>			<b>Saldo</b>	
	<b>anno 2005</b>		<b>var. 05/01</b>	<b>anno 2005</b>	<b>var. 05/01</b>		<b>2005</b>	<b>2001</b>
	<b>Milioni €</b>	<b>Quota %</b>	<b>%</b>	<b>milioni €</b>	<b>Quota %</b>	<b>%</b>	<b>Milioni €</b>	
UE15	5.381	24,8	-7,7%	17.503	45,5	-15,8%	12.122	14.972
UE25	6.522	30,1	-8,3%	19.338	50,3	-15,8%	12.816	15.859
Europa centro orientale	5.151	23,8	5,6%	6.899	17,9	7,8%	1.747	1.517
TOTALE EUROPA	11.721	54,1	0,9%	27.490	71,5	-7,9%	15.768	18.234
Africa	1.529	7,1	-9,0%	1.172	3,0	-8,7%	-357	-396
America settentrionale	242	1,1	-14,5%	3.620	9,4	-31,4%	3.379	4.993
America centro meridiana	568	2,6	-32,5%	405	1,1	-33,2%	-162	-235
Asia centrale	1.697	7,8	17,4%	248	0,6	35,4%	-1.450	-1.263
Asia orientale	5.477	25,3	53,4%	4.623	12,0	-9,4%	-853	1.530
Resto del mondo	428	2,0	-43,0%	901	2,3	-10,0%	472	250
<b>TOTALE</b>	<b>21.662</b>	<b>100</b>	<b>7,3%</b>	<b>38.459</b>	<b>100</b>	<b>-11,2%</b>	<b>16.797</b>	<b>23.114</b>

I dati evidenziano che l'arretramento delle vendite all'estero, benché ampiamente generalizzato, può essere imputato in larga parte a una perdita di competitività nell'area dell'UE a 15 e nel mercato Nord americano.

I paesi della UE a 15, che ancora oggi rappresentano il 45% del fatturato all'estero del sistema moda italiano, hanno infatti registrato nel periodo 2001-2005 una riduzione dell'*export* pari al 16% (che corrisponde a una perdita in valore di 3,3 miliardi €). Tra i paesi UE dove si registra un arretramento, la Germania, primo mercato per l'Italia, è quello nel quale si accusa la perdita più grave del valore delle vendite (oltre 2 miliardi €, pari al -33%).

Sempre in Europa, un andamento delle vendite in controtendenza riguarda i paesi dell'Europa orientale, dove in cinque anni l'*export* è aumentato dell'8%, diventando il secondo mercato (con una quota del 18% delle esportazioni dall'Italia) dopo l'area occidentale.

La costante crescita della capacità di consumo di quest'area dell'Europa sta diventando una interessante opportunità per il sistema moda, e questo trova conferma nella forte espansione degli acquisiti provenienti dalla Russia che nel 2005 è diventato un importante mercato di sbocco per l'Italia con un valore pari a 1,4 miliardi € (+32% rispetto al 2001).

L'Europa, oltre a essere la principale area di sbocco delle vendite all'estero della filiera dei prodotti italiani, rappresenta anche il primo mercato di provenienza delle importazioni con una dimensione pari al 50% del totale. A trainare le vendite verso l'Italia sono i paesi dell'area centro orientale anche grazie a un processo di delocalizzazione di imprese Italiane.

L'andamento delle vendite verso il Nord America ha registrato, in cinque anni, una riduzione del 31% e il valore complessivo delle vendite è sceso a 3,6 milioni € (pari a una quota sul totale *export* del 9,4%). Questa forte perdita di posizioni sul mercato americano può essere spiegata dal rapporto di cambio sfavorevole all'euro. Ciò nonostante non si può non notare che questa riduzione dell'*export*, esprime la difficoltà delle imprese a sviluppare una strategia efficace di penetrazione commerciale verso quello che ancora oggi rappresenta il principale mercato del mondo.

Nella stessa direzione sono andati gli scambi con l'America centro meridionale. Anche in questo importante mercato l'Italia arretra diminuendo l'*export* del 33% e portando il valore delle esportazioni a 400 milioni €.

Un'altra area che si inserisce prepotentemente nella nuova geografia degli scambi dell'Italia verso il resto del mondo è l'Asia orientale (Tabella 5).

Il tratto che emerge in modo evidente è l'intensificazione delle importazioni dall'area orientale da cui oggi proviene il 25% delle importazioni (5,4 miliardi €). Come noto, questo risultato è da attribuire largamente alla Cina, una paese che per effetto della liberalizzazione (giunta alla sua realizzazione definitiva nel 2005) è riuscito a capitalizzare un vantaggio competitivo basato sulla combinazione di una significativa tradizione tessile, un'ampia capacità produttiva e uno straordinario vantaggio sui costi. Grazie a queste condizioni l'industria cinese in soli cinque anni è riuscita a raddoppiare le vendite verso l'Italia. Come risulta dalla Tabella 5, la penetrazione di prodotti cinesi verso il mercato italiano è aumentata nel quinquennio del 91% (da 2262 a 4321 milioni €).

A fronte di questa progressione dell'*import* non è corrisposto una accelerazione delle esportazioni sufficienti a compensare la posizione commerciale dell'Italia verso la Cina. Pur in una dinamica di crescita (+25% nel periodo 2001-2005, e in particolare +174% del comparto abbigliamento), le vendite sul mercato cinese si fermano infatti a 461 milioni €. Una distanza rispetto al volume delle importazioni che si traduce in un saldo negativo per quasi 3,8 miliardi €.

La ricostruzione dei flussi commerciali per area geografica restituisce un quadro abbastanza chiaro delle specificità della presenza internazionale del sistema moda Italia. Un tratto che emerge in modo evidente è senza dubbio la concentrazione delle vendite del settore verso l'Europa occidentale a fronte di una debole presenza dei prodotti italiani sui mercati extra UE, sia quelli di più antica industrializzazione come l'America del Nord, sia quelli di nuovo sviluppo e oggi in forte crescita (Asia e America del Sud). Senza dubbio, questo sbilanciamento verso i paesi dell'Europa occidentale, i cui mercati sono meno dinamici di quelli asiatici e americani, mette in luce un importante fattore di criticità che sta frenando la crescita del settore.

Tabella 5 - Sistema moda Italia: scambi commerciali tra Italia e Cina						
	2001		2005			
	Valori (milioni di €)	Quota %	Valori (milioni di €)	Quota %	Var.% 2005/2001	Quota % sul totale flussi commerciali con l'estero
<i>Import</i>						
Tessile	624	27,6	1.133	26,2	82%	16,2%
Abbigliamento	933	41,2	1.952	45,2	109%	23,8%
Pelletteria e calzature	705	31,2	1.236	28,6	75%	19,1%
<i>Subtotale sistema moda</i>	2.262	100,0	4.321	100,0	91%	19,9%
<i>Export</i>						
Tessile	160	43,5	196	42,5	22%	1,4%
Abbigliamento	20	5,6	56	12,2	174%	0,5%
Pelletteria e calzature	188	50,9	209	45,4	11%	1,7%
<i>Subtotale sistema moda</i>	369	100,0	461	100,0	25%	1,2%
<i>Saldo</i>						
Tessile	-463	..	-938	..	..	..
Abbigliamento	-912	..	1.896	..	..	..
Pelletteria e calzature	-518	..	-1.026	..	..	..
<b>TOTALE SISTEMA MODA</b>	<b>-1.893</b>	<b>..</b>	<b>-3.860</b>	<b>..</b>	<b>..</b>	<b>..</b>



Una situazione che è possibile ricondurre in via prioritaria ad almeno tre ragioni: la *prima*, attiene alla insufficiente dimensione delle aziende del settore per accedere a un livello di risorse finanziarie e di *know how* manageriale e operativo, adeguati a sviluppare una strategia di internazionalizzazione commerciale anche nella direzione di quelle aree di consumo extra UE dove non si realizzano quei vantaggi di relazione dati da una maggiore prossimità geografica e culturale. Una *seconda* ragione riguarda un problema di asimmetria della concorrenza che prende forma non solo per effetto di differenziali di costo che spesso si allargano per effetto di vere e proprie forme di *dumping*; ma anche per effetto di un sistema di regole tariffarie e non tariffarie che di fatto configurano un ostacolo alla pratica della reciprocità commerciale prevista dal WTO.

Una *terza* ragione, che senz'altro aiuta a capire il ritardo della presenza commerciale extra UE, può essere rintracciata in una impostazione strategica largamente diffusa tra le imprese del sistema moda che per lungo tempo hanno attribuito alle aree di nuova industrializzazione principalmente un luogo dove delocalizzare la produzione per capitalizzare i differenziali di costo dei fattori, trascurando invece le potenzialità commerciali di quei mercati.

### *Imprese e occupazione*

La flessione delle vendite e della produzione nonché l'impegno di molte imprese ad adeguare la configurazione strategico-organizzativa rispetto ai cambiamenti del contesto competitivo, non ha mancato di incidere in modo rilevante sui livelli occupazionali, riportati nella Tabella 6 per gli anni 2002 e 2007.

<b>Tabella 6 - Imprese e occupazione del sistema moda Italia</b>			
	<b>2002</b>	<b>2007</b>	<b>Var. %</b>
Imprese (n.)	71.082	58.004	- 18,4
Addetti (migliaia)	596,0	513,0	- 13,9
Addetti medi x azienda (n.)	8,4	8,8	

Nel corso di cinque anni il settore italiano della moda ha perso 83mila addetti, il che corrisponde a una riduzione del 13,9% rispetto ai livelli registrati nel 2002. Una situazione di straordinaria gravità se si pensa che nello stesso periodo la media del settore manifatturiero ha segnato un perdita occupazionale pari al 2%. Analogamente si è fortemente ridotto il numero di imprese operanti nel sistema moda Italia, diminuite in valore assoluto di oltre 13mila unità. Gli effetti dell'andamento recessivo della produzione e delle esportazioni negli anni 2001-2005 hanno innescato una profonda ristrutturazione del settore che ha certamente riguardato le imprese collocate sulle produzioni a minor valore aggiunto e con capacità competitiva. Si è trattato in sostanza di un processo di selezione che ha certamente contribuito a far assumere al sistema moda Italia una maggiore solidità e capacità competitiva, anche se la dimensione media per azienda, seppure cresciuta, si mantiene ancora su livelli inadeguati per competere sui mercati globalizzati.

La riduzione dell'occupazione non ha riguardato i comparti nella stessa misura: sempre nel periodo (2003-2007) l'occupazione è infatti diminuita del 14,2% nel Tessile (-29mila addetti) e del 6,1% nell'Abbigliamento (-25,2mila addetti). L'occupazione femminile è particolarmente rilevante nel settore. Rispetto a una media di presenza femminile nell'industria manifatturiera pari al 30%, il sistema moda registra una presenza femminile pari al 76% nelle confezioni, al 58% nel tessile e al 47% nelle calzature. Poco più di un terzo del totale delle donne occupate nella trasformazione industriale trova impiego nel settore moda.

È infine interessante rilevare che la presenza femminile è significativa anche nei ruoli imprenditoriali. Il settore della moda è l'unico in cui le imprenditrici (oltre 33.500, pari al 52%) sono

più degli imprenditori. Un risultato straordinariamente importante se si pensa che nella media dell'economia manifatturiera il dato si ferma al 23%.

### *La distribuzione territoriale dei distretti*

Come è ormai ampiamente noto i distretti rappresentano una caratteristica peculiare dell'industria manifatturiera italiana in quanto essi rappresentano un sistema di organizzazione dell'attività economica che ha contribuito in modo rilevante allo sviluppo e alla competitività dell'economia italiana. La natura stessa del distretto industriale, caratterizzata dalla condivisione di servizi e *facilities* da parte di imprese affini per localizzazione, prodotto, tecnologia, cultura d'impresa, ha favorito la nascita di centri servizi specializzati nell'innovazione e nel trasferimento tecnologico alle imprese, soprattutto quelle di piccole e medie dimensioni. I centri servizi sorti all'interno dei distretti sono stati una risorsa importante per la competitività delle imprese ivi localizzate, in quanto mettono a disposizione delle imprese locali, soprattutto le piccole, una gamma di servizi specialistici altrimenti difficilmente reperibili: dalla formazione, alla ricerca applicata e la messa a disposizione di laboratori di prova e analisi. Anche il sistema moda ha seguito una localizzazione territoriale tipica del modello "distretto industriale" che ha portato alla creazione di numerosi distretti specializzati per linee produttive nell'ambito della filiera del sistema moda: troviamo quindi i distretti cotonieri, lanieri, dell'abbigliamento, dei prodotti in pelle e fino ad un distretto specializzato nella produzione di bottoni. Difficile fornire dati quantitativi circa i distretti del sistema moda, le diverse fonti disponibili forniscono infatti dati e quantificazioni molto distanti tra loro, dovute soprattutto al fatto che la qualifica di "distretto" non è numericamente definita. Ad oggi i Distretti Industriali del Tessile e Abbigliamento che hanno ottenuto il previsto riconoscimento ministeriale sono 42: circa il 60% dell'occupazione e il 52% delle imprese del sistema moda è localizzato nei distretti industriali. La Tabella 7 riporta l'elenco dei distretti localizzati in Lombardia.

<b>Tabella 7 – Distretti del sistema moda localizzati in Lombardia</b>		
<b>Località</b>	<b>Provincia</b>	<b>Settore</b>
GALLARATE – BUSTO	VA	Tessile, Abbigliamento
COMASCO	CO	Tessile, Abbigliamento
VAL GANDINO	BG	Tessile, Abbigliamento
VAL SERIANA	BG	Tessile, Abbigliamento
VAL CAMONICA	BS	Tessile, Abbigliamento
BOTTICINO - BORGO S. GIACOMO	BS	Tessile, Abbigliamento
CASTEL GOFFREDO	MN	Tessile, Abbigliamento
POGGIO RUSCO	MN	Tessile, Abbigliamento
MEDE – LOMELLO	PV	Tessile, Abbigliamento
VIGEVANO	PV	Pelli, Cuoio, Calzature
BASSA BRESCIANA	BS	Pelli, Cuoio, Calzature
PARABIAGO	MI	Pelli, Cuoio, Calzature
TURBIGO	MI	Pelli, Cuoio, Calzature

L'elemento che caratterizza i distretti industriali è soprattutto il fatto che le conoscenze e le esperienze generate localmente da qualche impresa/soggetto all'interno del distretto si propagano rapidamente per contiguità tramite meccanismi di varia natura, quali la circolazione della forza lavoro, gli *spin-off* aziendali e i processi di imitazione delle innovazioni. Tuttavia, il recente processo di delocalizzazione produttiva, che ha interessato numerose aziende del settore, l'aumento



della competizione sui mercati internazionali, unitamente a fenomeni imitativi da parte di paesi in via di sviluppo, hanno notevolmente depotenziato la competitività della manifattura tradizionale dei distretti industriali italiani. In anni recenti, la progressiva presa d'atto di tale situazione ha portato la Regione Lombardia alla concezione più ampia dei "metadistretti", in cui la dimensione geografica continua a rivestire un ruolo importante seppur non strettamente codificata come nel caso dei tradizionali distretti industriali. Caratteristica delle aree meta distrettuali è la presenza di filiere produttive ove, ai rapporti di contiguità fisica tra le imprese, si sostituiscono i rapporti di rete e una crescente interazione tra imprese produttive, centri di ricerca e della conoscenza e attività di servizio della filiera. Nel 2001 la Regione ha proceduto ad una nuova configurazione territoriale dei distretti, riducendone il numero e introducendo 4 aree meta-distrettuali, due delle quali riguardano la *filiera moda* (tessuti, filati, confezioni, maglierie, macchinari tessili, pelle, occhiali) e la *filiera design*; le altre 2 riguardano le biotecnologie e l'ICT, in entrambi i casi con implicazioni significative per le attività del *Made in Italy*.

#### *Il contributo del sistema moda all'economia nazionale*

Pur in una fase di forte razionalizzazione il sistema moda italiano continua a giocare un ruolo da protagonista nel quadro della industria manifatturiera nazionale: i dati essenziali sono riportati nella Tabella 8. Il sistema contribuisce all'11,1% dell'occupazione, al 7,5% del valore aggiunto e all'8,1% delle esportazioni.

<b>Tabella 8 - Sistema moda Italia – Peso sull'industria manifatturiera (2007)</b>	
Produzione (2006)	7,1%
Valore aggiunto	7.5%
Occupazione	11.1%
Esportazioni	8,1%

Abbiamo visto il significativo contributo che il sistema moda dà al saldo commerciale con l'estero. Ma al di là di ciò, il valore del sistema moda diventa ancora più evidente se misurato rispetto al suo contributo ai settori, a monte e/o a valle, verso cui si rivolge per i suoi acquisti esterni di prodotti e servizi. Su questo versante, nell'ambito dell'industria manifatturiera, i dati delle tavole *input-output* offrono un quadro delle interdipendenze settoriali da cui emerge che il sistema moda rappresenta il principale mercato di sbocco dell'industria chimica (esclusa la farmaceutica) con 7,9 miliardi € di acquisti (pari al 17,2% del totale delle vendite di prodotti chimici).

Un'altra area dell'economia verso cui si registra un contributo importante del sistema moda per dimensione degli acquisti è quello dei servizi (Tabella 9).

<b>Tabella 9 - L'acquisto di servizi del sistema moda, escluse le utilities (milioni €)</b>	
Attività professionali	5.454
Prestazioni di tipo commercial	2.382
Intermediari finanziari, assicurazione e servizi ausiliari	1.778
Trasporti e servizi ausiliari	1.036
Attività immobiliari e servizi di noleggio	858
Alberghi, ristoranti e attività culturali e ricreative	564
Poste e telecomunicazioni	423
Altri Servizi	203
Computer e servizi connessi	178
<b>Totale servizi</b>	<b>12.876</b>

La spinta del settore verso una crescente attenzione ai contenuti immateriali del prodotto moda, l'allungamento della filiera verso il mercato al consumo attraverso una integrazione operativa con la distribuzione, l'allargamento operativo verso mercati extra nazionali, e una generale esigenza di migliorare gli standard di qualità dei processi e dei prodotti, sono tutti elementi che hanno generato un crescente fabbisogno di servizi esterni specializzati da parte delle imprese del sistema moda, le quali acquistano servizi, escluse le *utilities*, per 12,8 miliardi €.

Come risulta dalla Tabella 8, l'area del terziario dove si concentrano maggiormente gli acquisti è quella delle attività professionali con una spesa pari a 5,4 miliardi €.

Una posizione rilevante è occupata anche dai servizi di tipo commerciale (2,3 miliardi €), dai servizi finanziari (1,8 miliardi) e dalle attività di trasporto (poco oltre un miliardo).

### *Gli anni della crisi: le motivazioni*

Nel decennio degli anni '90 il sistema moda Italia si è trovato a dover fronteggiare la concorrenza di quei paesi provenienti da economie che iniziavano ad affacciarsi nel panorama internazionale.

La forte competizione aveva cominciato a farsi sentire già a partire dagli anni '70 con l'approdo sui mercati internazionali di paesi con un'abbondanza di manodopera a basso costo, alla cui concorrenza le economie più avanzate avevano reagito nel 1974 stabilendo un riassetto del commercio internazionale, che si era tradotto, per il tessile, con la stipula dell'*Accordo Multifibre*, grazie al quale i *leaders* mondiali del tessile abbigliamento, tra i quali ovviamente l'Italia, erano riusciti a mantenere inalterata la propria *performance* commerciale.

Gli anni '90 hanno visto il sorgere di una serie di eventi che hanno contribuito a stravolgere quello che era l'assetto competitivo della moda italiana, in particolare:

- la prepotente crescita della Cina tra i maggiori esportatori mondiali nell'industria del tessile - abbigliamento;
- la creazione del mercato unico europeo e la conseguente eliminazione dei vari contingenti all'*import*;
- l'accordo NAFTA del 1994 tra Stati Uniti Canada e Messico, favorendo gli interscambi nella regione, in particolar modo tra gli Usa ed il Messico;
- l'entrata in vigore nel 1995 degli accordi di Marrakesh, nell'ambito dell'*Uruguay Round*, in base ai quali venne stabilito per il tessile il piano di smantellamento degli *Accordi Multifibre*, da attuarsi tramite l'eliminazione con tappe progressive nell'arco di 10 anni (quindi entro il 2005) di tutte le limitazioni quantitative;
- l'eliminazione totale nel 1998 delle limitazioni all'*import* tessile da tutti i paesi dell'Europa orientale e il successivo avvio dei negoziati per il nuovo allargamento dell'Unione Europea, con l'entrata di numerosi paesi che contavano al loro interno circa due milioni di addetti nell'industria della moda.

Gli effetti di tali cambiamenti sono diventati dirompenti a partire dal nuovo secolo. Nel 2002 e nel 2003 la produzione e il fatturato del settore hanno fatto entrambi registrare delle forti perdite, con i comparti del tessile e della lavorazione della pelle a mostrare gli andamenti peggiori.

Nel 2005 si è giunti alla definitiva eliminazione dei contingenti all'*import*.

Questo fatto, insieme alla forte crescita dell'*import* cinese, cade forse nel peggiore momento possibile, caratterizzato da un quadro macroeconomico internazionale in netto deterioramento.

E, come era lecito attendersi, il peggioramento del quadro generale si è riflesso sulle vendite dei prodotti moda (già in netto calo in Italia, Francia e Germania).

*Gli anni della ripresa: 2006 e 2007*

Gli andamenti del fatturato e dell'*export* (variazioni %) del sistema moda italiano nel quinquennio 2002-2007 sono riportati nella Figura 1.

Dopo che per tre anni consecutivi fatturato e produzione del sistema moda Italia aveva segnato riduzioni anche significative, il 2006 segna infine un incremento del fatturato e dell'*export* rispettivamente dell'1,9% e del 3,7%.

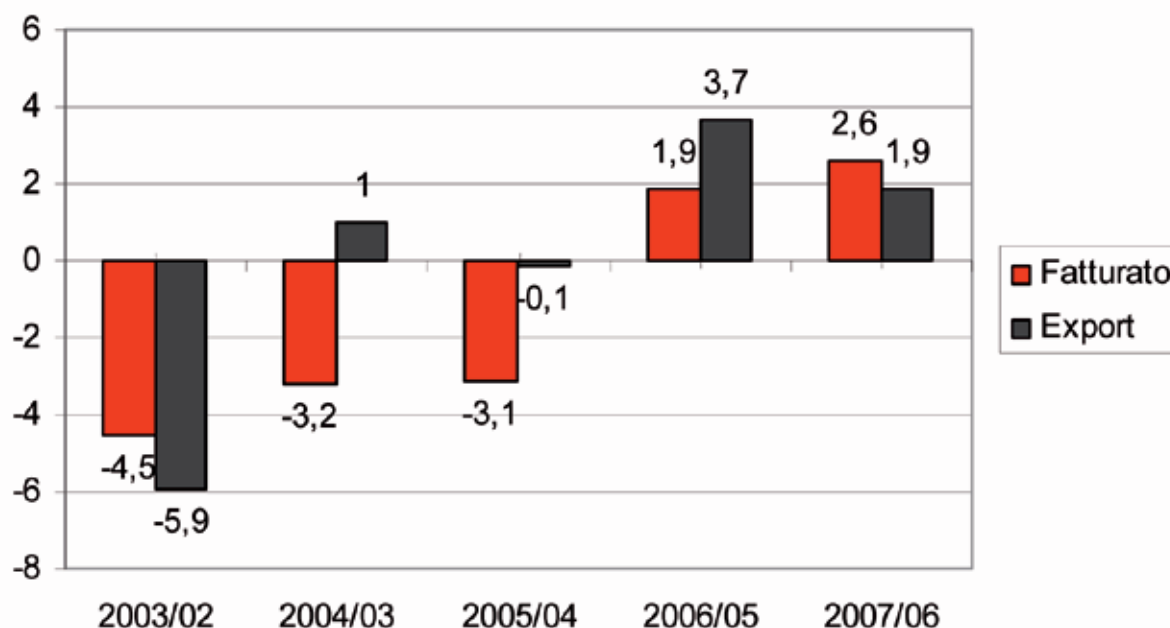
Significativo è l'andamento degli anni 2005 e 2004, in cui a una riduzione del fatturato del 3,1% e dell'*export* dello 0,1%, fa seguito il 2006 in cui si assiste a un forte incremento dell'*export* +3,7% e della produzione +1,9%. Nel 2007 il fatturato cresce ancora a un buon tasso +2,6% e l'*export* sale dell'1,9%.

Questi andamenti mettono in evidenza, da un lato, la pesantezza della crisi del sistema moda Italia negli anni 2002-2005, e dall'altro, che in questi anni le imprese hanno saputo avviare processi di ristrutturazione e di riposizionamento competitivo che hanno consentito loro di cogliere con prontezza i segnali di ripresa della domanda internazionale. Nel 2006 infatti la forte crescita delle esportazioni ha giocato un ruolo di traino su tutto il settore che è continuato ancora per buona parte del 2007.

Certamente gli anni di crisi hanno lasciato sul terreno parecchie vittime sia dal punto di vista del numero di imprese, sia da quello occupazionale, ma è tuttavia ipotizzabile che in quegli stessi anni il settore abbia saputo fare pulizia al suo interno, abbandonando posizioni non più sostenibili, e ritrovando quindi reali fattori di competitività che le imprese hanno saputo giocare non appena la domanda internazionale ha dato segni di ripresa.

Rimane la consapevolezza di un sistema che soffre dimensioni di impresa ancora insufficienti e che non facilitano il processo di ristrutturazione e riqualificazione in atto. A tale proposito conviene citare quanto diceva nel maggio dello scorso anno il Presidente di SMI-ATI (Associazione di categoria del sistema moda Italia) Paolo Zegna *“Da un paio d'anni gli imprenditori dell'industria tessile-abbigliamento-moda guardano al mercato con più ottimismo, mentre stanno lavorando*

**Figura 1 - Fatturato ed export – Var. % sull'anno precedente**



*duramente e intensamente per riposizionare verso le fasce medio-alte e alte delle loro produzioni, dove la concorrenza sul prezzo, determinata dal basso costo del lavoro delle produzioni provenienti dai paesi emergenti, risulta meno importante.*

*Le imprese maggiori hanno fatto da rompighiaccio sui mercati internazionali e, in particolare, su quelli emergenti, invertendo il trend negativo e trascinando parte delle imprese a esse collegate. L'auspicio che la ripresa interessi in modo più omogeneo l'insieme del settore, deve accompagnarsi con un ancor maggior impegno per tradurre velocemente in azione, come singole imprese e come sistema, i segnali e gli insegnamenti che ci vengono dall'attuale situazione di mercato".*

### *Struttura ed evoluzione della filiera "sistema moda"*

La crescita dell'importanza del contenuto immateriale del prodotto moda e la rilevanza assunta da componenti non strettamente industriali rende non più valido un approccio di analisi basato sulla nozione tradizionale di settore, e impone invece di accedere a un concetto più esteso di filiera moda. La filiera è infatti la chiave di lettura che consente di rappresentare l'effettiva articolazione di attività di produzione e servizi attraverso cui si realizza il processo integrato che genera il valore finale del prodotto.

Sulla base di questo criterio-guida, il sistema moda può essere rappresentato come un aggregato composto da tre grandi aree di attività:

- le *attività manifatturiere* che realizzano materialmente i prodotti;
- le *attività di servizio* che contribuiscono a conferire valore ai prodotti;
- le *attività di commercializzazione* e di *trade*.

All'interno della filiera, la componente manifatturiera comprende le varie fasi di lavorazione tipiche del tessile - abbigliamento e della concia e fabbricazione di prodotti in cuoio.

Le attività di servizio e le molteplici attività immateriali che contribuiscono a dare valore al prodotto possono essere classificate in quattro aree di attività:

- i servizi creativi e tecnici di progettazione dei prodotti;
- la comunicazione e l'editoria;
- le attività legate al *trade*, e più in generale, al rapporto con i clienti;
- i servizi di consulenza gestionali e organizzativi;

e in tre livelli di specializzazione, a seconda che siano:

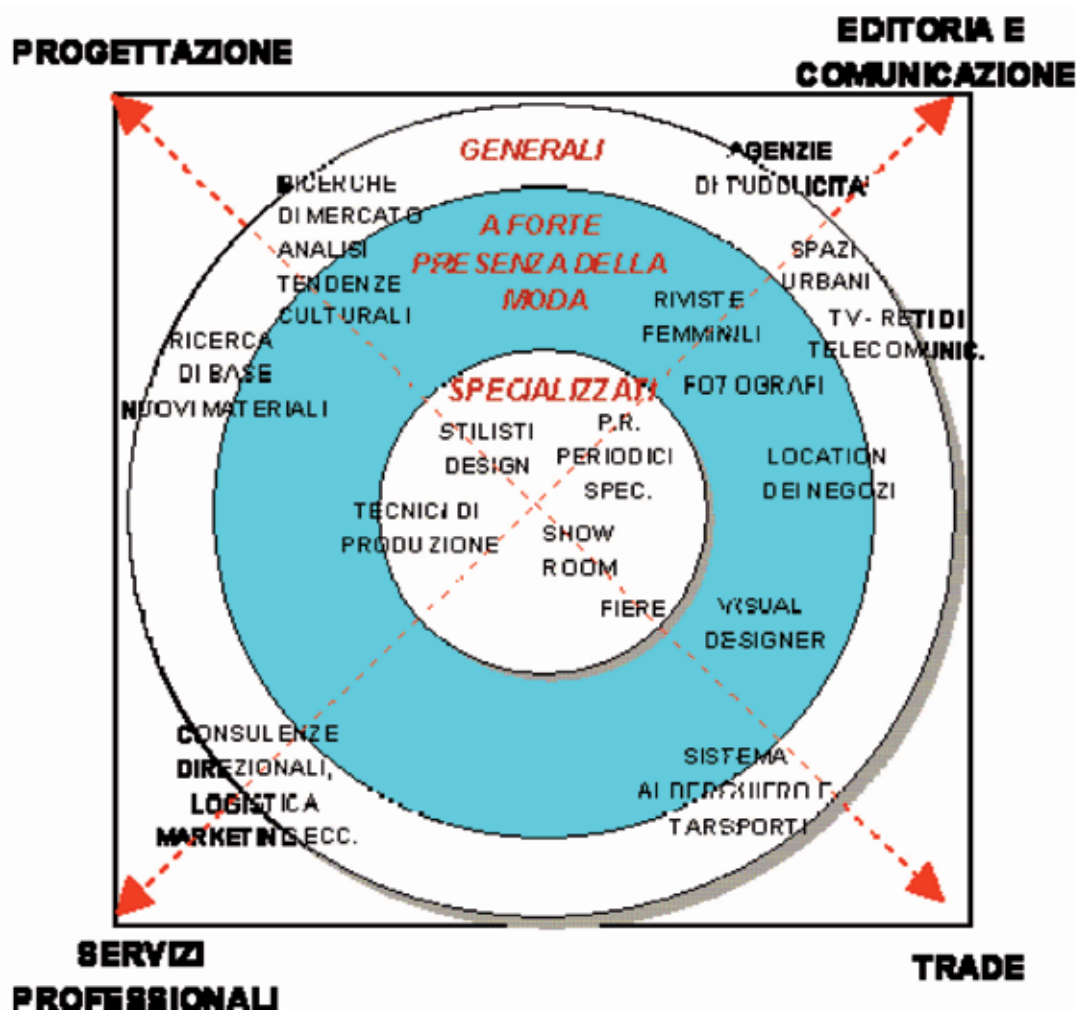
- *specializzati per la moda*, utilizzati esclusivamente (o quasi esclusivamente) dalle imprese del sistema moda (ad esempio, gli studi di stile, stampa specializzata, agenzie di modelle per le sfilate, organizzazione di fiere specializzate, ecc.);
- *a forte prevalenza della moda*, intensamente utilizzati dal sistema moda anche se non dedicati al settore in modo esclusivo (ad esempio, la stampa femminile, spazi per l'organizzazione di eventi, fotografi, società di analisi dei *trend* culturali, ecc.);
- *generalisti*, i servizi che ogni sistema metropolitano offre al sistema delle imprese (spazi espositivi, trasporti e centri per la logistica, reti di telecomunicazioni, servizi finanziari, consulenza, spazi di produzione culturale, ecc.).

Infine, la terza componente della filiera, quella della commercializzazione e del *trade*, sta assumendo un'importanza crescente nel processo di valorizzazione dei prodotti moda. La peculiare rilevanza del settore distributivo per la moda deriva dalla consistenza delle componenti immateriali di comunicazione e *immagine incorporate* nei prodotti, nonché dalla necessità di intercettare in modo sempre più efficace i continui mutamenti dei gusti dei consumatori.

In questa prospettiva, si assiste a un processo di strutturale ammodernamento del sistema distributivo nella direzione di formule più organizzate di *retail* dove accanto a un maggior investimento nella qualità del punto vendita, anche come luogo della comunicazione, il principale elemento di novità riguarda il rafforzamento dell'integrazione con la produzione fino in alcuni casi a realizzare un vero e proprio controllo di quest'ultima sui canali di vendita attraverso lo sviluppo di una rete dei negozi propri monomarca e in *franchising* o per mezzo di *joint-venture*.

Con questo rafforzamento della sinergia tra produzione e distribuzione, oggi diffuso principalmente nell'ambito delle imprese caratterizzate da marchi di prestigio, è stato infatti possibile moltiplicare i benefici di reddito per l'intero sistema grazie a una maggior capacità di controllo e coerenza dell'intero "teatro della rappresentazione dell'immagine" del prodotto e una maggior efficacia nell'interpretare i segnali deboli del consumatore che ha consentito di elaborare una risposta di prodotto e servizio commerciale coerente alle esigenze più consapevoli e sofisticate di quella fascia di consumatori - *target* principale del *Made in Italy* - che si è emancipata dall'acquisto di massa. Nella Figura 2 si riporta uno schema (fonte, Hermes Lab), che sintetizza le componenti della filiera del sistema moda, in cui i tre livelli di specializzazione formano la chiave di lettura e classificazione dei servizi destinati al sistema moda.

Figura 2 – Componenti della filiera del sistema moda



*Piccole imprese e globalizzazione*

Da più di un decennio l'apparato produttivo del sistema moda ha intrapreso un processo di implementazione del suo modello organizzativo nella direzione di un assetto industriale più coerente con le sfide della globalizzazione. In questo percorso si assiste a un investimento nella direzione di una concentrazione del sistema non solo attraverso la crescita dimensionale delle imprese ma anche attraverso lo sviluppo di aggregazioni nella forma di gruppi industriali. Questa tendenza, pur avendo ridotto il livello di frazionamento del sistema moda, non sembrerebbe aver modificato il suo assetto strutturale che infatti continua ad avere nelle micro e piccole imprese un suo asse portante. Infatti le sole micro imprese (meno di 9 addetti) assorbono il 27% dell'occupazione e il 15% del fatturato; un contributo che diventa il 48% dell'occupazione e 30% del fatturato quando si allarga la classe dimensionale fino a 19 addetti.

Il ruolo delle piccole imprese si ripete in tutti i comparti del sistema moda senza notevoli differenze. Vale anche la pena di considerare la propensione all'*export* nelle imprese del sistema moda a seconda della loro dimensioni di impresa (Tabella 10).

<b>Tabella 10 - Sistema moda: propensione all'export per dimensione d'impresa</b>	
<b>Classi di addetti</b>	<b>Export/fatturato</b>
1 – 9	22%
10 – 49	35%
50 – 249	48%
250 e oltre	58%
<b>TOTALE</b>	<b>42%</b>

Anche in questo caso si conferma in modo inequivocabile un rapporto di forte correlazione tra la dimensione d'impresa e la sua capacità di sviluppare una strategia di penetrazione commerciale sui mercati esteri. Nel sistema moda, infatti, le micro imprese presentano una propensione all'*export* del 22% mentre le imprese con più di 250 addetti presentano un indice che sale al 58%.

Si può pertanto affermare che la dimensione di impresa rappresenta ancora un importante freno al processo di internazionalizzazione del sistema moda.

Le asimmetrie tra piccole e grandi imprese non si esauriscono con il dato sull'*export*. Differenze importanti si riscontrano anche rispetto alla produttività (valore aggiunto per addetto) che nelle micro e piccole imprese si ferma a un livello che oscilla tra il 65 e il 75% della media nazionale. Una differenza che ovviamente diventa ancora più marcata se il confronto viene fatto con la categoria delle grandi imprese le quali hanno raggiunto una produttività del lavoro che supera del 100% le *performance* delle imprese più piccole.

È del tutto evidente, dai dati sin qui elaborati, che il sistema moda si presenta all'appuntamento della globalizzazione con una struttura produttiva in cui le micro e piccole imprese giocano ancora un ruolo troppo importante. Naturalmente, affinché questo non rappresenti un punto di debolezza del sistema è opportuno che gli elementi fondanti della strategia di sviluppo delle piccole imprese siano coerenti con i fattori su cui oggi si gioca la competizione del *Made in Italy* nel nuovo contesto globalizzato.

A questo riguardo la tesi ampiamente condivisa è quella che prefigura una riduzione dell'esposizione del settore da una concorrenza giocata sul prezzo attraverso una strategia che punti una via alta della competizione centrata sulla leva dell'efficienza operativa, dell'innovazione e dell'internazionalizzazione.

Ovviamente, in un quadro di concorrenza che coinvolge anche i paesi a basso costo del la-



voro, il successo di questa prospettiva di internazionalizzazione si gioca sul rafforzamento della qualità complessiva dell'attività dell'impresa. Rispetto a questo obiettivo, diventa fondamentale imprimere una accelerazione verso quelle politiche di avanzamento nella tecnologia, nell'organizzazione aziendale, nello sviluppo del prodotto e dei processi, nello sviluppo dei sistemi di commercializzazione, che complessivamente consentono di recuperare efficienza operativa e di valorizzare il prodotto sul mercato. Si tratta in sostanza di una strategia che tenda ad arricchire il prodotto del sistema moda Italia con componenti qualificate di servizio (tecnologia, *design*, qualità, commercializzazione e *marketing*, creatività, immagine, comunicazione, ecc.) che pongano il prodotto del sistema moda in grado di competere nei segmenti medio-alti e di qualità del mercato dove i fattori di successo sono quelli propri del *Made in Italy* e altri rispetto al semplice prezzo di vendita del prodotto.

Naturalmente, per implementare questa nuova strategia competitiva, le imprese dovranno spostare le loro maggiori attenzioni dagli aspetti operativi tutti concentrati sulle attività manifatturiere e accedere invece a un modello che ponga l'attenzione sulle componenti immateriali del prodotto moda aumentandone la componente di servizio rispetto a quella più autenticamente manifatturiera.

#### *Nuovi mercati e nuove strategie commerciali*

La filiera tessile-moda sulla quale l'industria nazionale ha costruito il proprio primato, era focalizzata sul prodotto, spinta dalla produzione e vincolata dalla tecnologia. Negli anni '70 e '80 le imprese della moda erano molto specializzate (uomo, donna, maglieria, confezione, ecc.), avevano competenze prevalentemente manifatturiere e acquisivano dall'esterno i servizi tipici del settore (stilismo, comunicazione, logistica, *marketing*, distribuzione). Negli anni '90 le logiche di *business* del comparto sono cambiate. La nuova filiera globalizzata si è focalizzata sul cliente (finale), quindi tirata dalla domanda, mentre la produzione è diventata, per molti segmenti del mercato, una sorta di *commodity* da acquistare o localizzare dove conviene.

Il prodotto fisico, capo di abbigliamento o accessorio, ha visto ridursi il suo ciclo di vita e ha perso centralità rispetto al marchio, ai servizi e alla distribuzione (negozi), che gioca oggi un ruolo fondamentale. Proprio dalla distribuzione vengono i nuovi campioni della filiera immateriale: imprese globali che, partendo dal punto vendita e dalle esigenze del cliente, hanno scardinato i vecchi modelli di *business* e la separazione tra produttori e distributori.

Anche le imprese nate come manifatturiere hanno internalizzato molte attività - stilismo, logistica, distribuzione, comunicazione - nel tentativo di rispondere alla sfida della velocità, della globalità e dell'orientamento al mercato lanciata dai nuovi competitori. Chi sembra avere vantaggi competitivi oggi è l'impresa che non si focalizza più solo su alcune parti della catena del valore ma la presidia integralmente e sceglie di localizzarsi là dove esistano funzioni a elevato valore aggiunto e talenti. Il processo di globalizzazione sta profondamente mutando il *business* della moda. La crescente presenza di produttori insediati nelle aree in via di sviluppo ha spiazzato le imprese delle economie avanzate sulle produzioni a basso valore aggiunto e di modesto contenuto tecnologico e *know how* creativo. In questo nuovo quadro, l'industria della moda italiana, per sottrarsi da una concorrenza internazionale particolarmente agguerrita e favorita da costi di produzione estremamente competitivi, sta ridefinendo il suo posizionamento strategico nella direzione di un allargamento della presenza sui mercati extra nazionali attraverso una produzione che per contenuto innovativo e qualità sia capace di attestarsi sulla fascia medio alta dei prodotti di moda.

Questo nuovo impianto strategico, oltre a imporre cambiamenti sostanziali nella sfera tipicamente manifatturiera, ha generato l'esigenza di privilegiare le funzioni di valorizzazione del prodotto sul mercato.

A questo riguardo va ricordato che il concetto della qualità, come leva su cui costruire il vantaggio competitivo di un'impresa deve essere affrontato su tre piani:

- quello delle caratteristiche tecniche e di *design*;
- quello commercial;
- quello della percezione del consumatore, ossia della capacità del prodotto di rispondere a quelle esigenze (espresse o latenti) che appartengono esclusivamente alla sfera socio - culturali della persona.

Rispetto a questi presupposti, la competenza e la qualità nella creazione e nella produzione rimangono quindi condizione necessaria ma certamente non sufficiente per garantire un vantaggio competitivo. Per cogliere l'intero vantaggio competitivo dato dalla qualità, è infatti essenziale che l'investimento in innovazione di prodotto (tecnica e *design*) sia guidato dalle opportunità di mercato.

In questa prospettiva la formalizzazione all'interno di un'impresa delle funzioni di *marketing* assumono un ruolo centrale per una buona *performance* di mercato. Ovviamente, occuparsi di *marketing* nelle imprese non significa solo fare comunicazione, ma anche essere in grado di analizzare il mercato e segmentare la clientela, decidere il posizionamento competitivo, scegliere i canali distributivi e sviluppare servizi che rafforzano le relazioni e il coordinamento tra canali di vendita e produzione.

Oltre a una maggiore conoscenza ed esperienza nelle metodologie di *marketing* le imprese hanno sviluppato due importanti elementi di innovazione strategica di approccio al mercato:

- lo sviluppo dei marchi;
- la riorganizzazione del rapporto con la distribuzione.

Larga parte delle imprese caratterizzate da marchi di prestigio hanno intrapreso una strategia di potenziamento del controllo sulla distribuzione attraverso lo sviluppo di una rete dei negozi propri e/o in *franchising*.

Questa strategia di integrazione con la distribuzione ha consentito alle imprese del sistema moda sia di recuperare redditività nella fase di commercializzazione al dettaglio, ma anche di garantirsi una maggiore stabilità di presenza sul mercato, di conoscenza diretta delle caratteristiche del consumatore e di controllo dell'intero "teatro della rappresentazione dell'immagine" del prodotto.

L'evoluzione del rapporto con la distribuzione ha riguardato soprattutto le imprese di grandi dimensioni in grado di sostenere gli ingenti investimenti di acquisizione e apertura dei punti vendita, mentre la platea delle piccole imprese, a causa di una scarsità di risorse e di un orientamento ancora oggi sbilanciato sul prodotto e meno al mercato, continua a essere carente da questo punto di vista.

L'accesso al mercato dei prodotti delle piccole imprese passa prevalentemente attraverso i canali tradizionali, ossia, la rete dei grossisti, il rapporto diretto con punti vendita al dettaglio indipendenti e il sistema delle fiere.

Questo schema di integrazione tra produzione e distribuzione, pur continuando a rappresentare un veicolo importante di accesso al mercato, oggi è in forte difficoltà in quanto il consumo si sta spostando sempre di più nella direzione o della grande distribuzione o del canale monomarca o comunque delle catene organizzate.

In questo contesto, per scongiurare il rischio di un isolamento delle piccole imprese diventa quindi una priorità la costruzione di un nuovo modello di accesso al mercato che sia coerente con l'evoluzione delle forme di consumo e dell'organizzazione del sistema distributivo.

Nell'esperienza dell'industria della moda un altro punto importante all'interno della strate-



gia di valorizzazione del rapporto con il mercato è stato l'investimento sui marchi. Negli ultimi anni quelle imprese che hanno scelto di collocarsi su prodotti innovativi hanno posto in essere una azione strategica che, pur continuando a guardare al prodotto nelle sue componenti moda e qualità, rivolge una particolare attenzione ad ampliare e consolidare il rapporto con il mercato utilizzando la leva del marchio come canale di immagine e riconoscibilità del prodotto.

La “marca” attraverso opportune azioni di comunicazione diventa quindi il mezzo con cui trasferire il prodotto sia nei suoi contenuti materiali (caratteristiche tecniche e di *design*) che nella sua componente di valori espressivi, comunicativi ed emozionali.

Naturalmente come per la pratica dell'accesso diretto al mercato, la questione che si apre per le piccole imprese è quella di superare l'ostacolo economico, organizzativo e dimensionale per garantirsi l'opportunità di usufruire dei benefici di competitività che assicura una politica di valorizzazione della qualità del prodotto attraverso la leva del marchio.

Lo scenario dunque che oggi si prospetta, è quello di una competizione internazionale che richiede un impegno a ridefinire il proprio assetto strategico nella direzione di una articolazione di attività che va ben oltre la pratica manifatturiera. La necessità di superare i confini nazionali e orientarsi verso *target* di consumo più sofisticati per capacità di interpretare contenuti tecnici e valori immateriali del prodotto, impone infatti anche alle piccole imprese un salto di qualità nella direzione di una aziende multi-funzione dove tutte le componenti immateriali e di servizio genericamente riconducibili all'area del *marketing* tendono ad acquisire importanza, in alcuni casi anche superiore a quella degli stessi prodotti.

Ovviamente, per superare il modello operativo tutto concentrato sulle attività manifatturiere e accedere a un sistema che segue il prodotto fino al mercato, l'impresa dovrà investire in un processo di adattamento culturale e sviluppo di competenze che, indubbiamente, la formazione potrà concorrere a supportare con successo.

#### *Punti di forza e di debolezza*

Da quanto detto in precedenza possiamo sinteticamente dare qualche indicazione circa i punti di forza e di debolezza con i quali il sistema moda Italia si presenta sulla scena della competizione globale.

##### *Punti di forza:*

- diffusa imprenditorialità;
- tradizione, sapere accumulato in settori caratterizzati dall'innovazione incrementale;
- integrazione socio-produttiva, distretti industriali;
- buona immagine e differenziazione di prodotto;
- capacità di cogliere le esigenze di un mercato in veloce mutamento;
- *know how* creativo, alta creatività nella definizione del prodotto;
- nuove strategie di impresa centrate su *marketing*, comunicazione, politica di marchio;
- investimenti sulla rete di vendita.

##### *Punti di debolezza:*

- piccola dimensione d'impresa ed elevata frammentazione;
- scarsa propensione a investimenti in ricerca e sviluppo e all'innovazione;
- difficoltà di reperimento di *manager* esperti e qualificati;
- compagine societaria ristretta, spesso a base familiare, scarso livello di delega delle responsabilità gestionali;
- insufficiente cultura finanziaria;
- sottocapitalizzazione e ampio ricorso all'indebitamento corrente.

### Strategie e Innovazione nel sistema moda

In questi anni il sistema moda Italia ha riconquistato nel mercato mondiale posizioni competitive che aveva in precedenza perduto. Per ottenere questi lusinghieri risultati esso ha subito una profonda trasformazione in seguito alla adozione di un complesso di obiettivi e strategie che opportunamente combinate, hanno ridato al settore una nuova capacità competitiva.

Nella Tabella 11 riportiamo molto sinteticamente sia gli obiettivi strategici sia le azioni che le imprese del sistema moda hanno opportunamente combinato.

<b>Tabella 11 – Obiettivi e azioni del sistema moda</b>	
<b>Obiettivi/Strategie</b>	<b>Focus/Obiettivi dell' Innovazione</b>
Riduzione costi Recupero/potenziamento di efficienza organizzativa mediante economie di scala	Flessibilità operativa, versatilità, (piccoli lotti) Controlli on line, sistemi di monitoraggio qualitativo. Ottimizzazione impianti e flussi produttivi Saturazione macchine riduzione tempi morti Assicurare tempi di consegna e parametri qualitativi Riduzione costi energia, cogenerazione energia elettrica Ricerca strategie di rete: <ul style="list-style-type: none"> <li>• condivisione di data-base e sistemi informatici,</li> <li>• cogestione impianti di depurazione</li> <li>• condivisione sistemi di trasporto merci</li> </ul> Mass customization e personalizzazione di prodotto
Valorizzazione aspetti immateriali del prodotto (design, moda, immagine, cultura, stile di vita)	Enfasi nella fase progettuale (design) e distributiva Modelli di progettazione creativa in partnership con i fornitori di materiali Sviluppo competenze progettuali (testing, sviluppo prototipi) Software di progettazione e archiviazione dei campioni Creazione di campionari "virtuali" on line Investimento sul marchio e sulla rete di vendita Comunicazione Sistemi di progettazione virtuale Strumenti di market intelligence Azioni/sistemi anticontraffazione, gestione della logistica e della tracciabilità (ad esempio, attraverso l'utilizzo di tecnologie RFID)
L'attività di R&S come condizione per il riposizionamento strategico dei prodotti	Nuovi materiali con prestazioni avanzate (traspiranti, antibatterici, conducibilità, sensori, ecc.) Tessili tecnici per usi industriali (edilizia, trasporti, ecc.) sanità Nuove fibre (nanotecnologie) Sistemi di cucitura antistress
Forte approccio a nuovi modelli distributivi internazionali	Investimento nella propria rete di vendita in tutte le capitali del mondo per essere più vicini al consumatore, studiarne i comportamenti, i gusti e le tendenze. Punti vendita monomarca (franchising) Accordi con grandi catene di distribuzione Valorizzare le specificità qualitative del prodotto Promozione/comunicazione prodotto/territorio

## 2. LE TECNOLOGIE DEL TESSILE-ABBIGLIAMENTO

### 2.1 Quadro di riferimento

Si è visto *supra* che l'industria italiana del sistema tessile-abbigliamento, che a seguito verrà denominata semplicemente "industria tessile", è una delle più significative realtà tra le attività

manifatturiere del nostro Paese. La sua vocazione principale è legata alla produzione di articoli (materiali semilavorati e capi finiti) per il comparto dell'*abbigliamento*, il settore più impegnativo nella competizione di mercato, ma pure il terreno dove è possibile ricavare preziosa notorietà commerciale, e (soprattutto) le quote più interessanti di valore aggiunto. Accanto a questa, altri due filoni sono particolarmente importanti e produttivi, quello del tessile per l'*arredamento* e, più in generale, di articoli per la casa e quello dei *tessili tecnici* industriali, un comparto per cui gli addetti ai lavori hanno individuato una dozzina di destinazioni d'uso prevalenti (si pensi solo a quanto "tessile" viene utilizzato nei mezzi di trasporto: auto, camion, aerei, barche, ecc.) e per cui è in corso un vero e proprio fenomeno di sostituzione dei materiali "tradizionali" con componenti tessili a maggiori prestazioni, in fatto di resistenza, leggerezza, duttilità, e *comfort*. Il settore dei tessili tecnici da ormai una dozzina d'anni aumenta con tassi di incremento superiori ad ogni altra specialità (oltre il 3% annuo), tanto che la fotografia del comparto effettuata nel Giugno 2007 al *Techtextil* di Francoforte evidenziava per l'Italia una quota vicina a 1/3 della produzione tessile totale.

### *Un sistema completo e integrato*

Il sistema tessile italiano, articolato in decine di migliaia di aziende ad alta specializzazione, ha il vantaggio di operare con una rete produttiva caratterizzata da elevatissima flessibilità, cui si accompagna una capacità di risposta rapida alle evoluzioni della domanda, sempre e comunque all'insegna di una effettiva e tangibile qualità dei prodotti. Ciò è reso possibile, più e meglio che in ogni altro paese al mondo, in quanto l'Italia è oggi la sola area tessile industrializzata che dispone di una filiera di lavorazione completa e integrata, fino alle minime specialità di nicchia e che può contare della disponibilità "in casa" di un comparto meccano tessile, esso pure fortemente avanzato in tutte le tecnologie di punta, che è al secondo posto al mondo per volumi di fatturato, dopo la Germania e all'avanguardia sotto il profilo tecnico-innovativo. I due settori, tessile e meccano tessile, operano infatti in stretta sinergia dei ruoli, con gli specialisti tessili che forniscono idee, richieste mirate, spunti originali, concetti applicativi ecc. ai loro colleghi costruttori, i quali usano i reparti di produzione come veri e propri laboratori di sviluppo per la messa a punto di nuove macchine, impianti e tecnologie di processo. E altrettanto si può dire nei confronti dei produttori di coloranti, ausiliari e prodotti chimici, parimenti in costante e proficuo contatto con i loro utenti più sensibili e accorti, specie nel campo estremamente impegnativo della "Nobilitazione" tessile: tanto che in questo settore gli esperti italiani sono riconosciuti come i primi al mondo, portando molta e preziosa linfa al successo internazionale del *Made in Italy*.

Le aziende tessili italiane di maggior valenza hanno infatti individuato tutta una serie di vantaggi determinanti correlati alla lodevole pratica di operare all'insegna dei criteri della massima qualità.

Così direttrici tecnologiche di nuova evidenza, che verranno descritte *ultra*, sono divenute dei "must" irrinunciabili, che si sono presto rivelati suscettibili di rapidi e proficui ritorni degli investimenti. Si tratta di continui processi di adeguamento che hanno comportato una metamorfosi nelle competenze richieste agli addetti in azienda, con il proliferare in ogni comparto di esperti nei diversi processi produttivi. I quali si sono così evoluti grazie ai sistemi di automazione e alla gestione a controllo computerizzato, riuscendo a ottenere una qualità finale del prodotto tessile impensabile fino a qualche anno fa.

In sintesi, nella produzione tessile è in corso un'evoluzione corrispondente ai cambiamenti in atto dagli inizi del XX secolo. Questo ha comportato, come si è evinto precedentemente e come vedremo nei paragrafi seguenti, la ricerca di nuove tecnologie, investimenti nella R&S e nella merceologia con nuovi campionari, i quali sono divenuti sempre più ricchi di materiali raffinati, esclusivi, funzionali, confortevoli, attrattivi per i consumatori di ogni ceto, nazionalità e reddito.

## 2.2 Tecnologie e innovazione nel settore tessile-abbigliamento

Il settore tessile poggia le proprie basi produttive su quattro componenti essenziali che, da sempre, rappresentano i filoni lungo i quali si sviluppa la filiera del tessile-abbigliamento.

- *Le fibre.* La prima componente è costituita dalla disponibilità di una grande varietà di fibre tessili - naturali, artificiali e sintetiche - lavorate pure (al 100%) o in mischia sapiente tra di loro per ottenere manufatti estremamente diversificati e pregiati.
- *Le macchine.* La seconda è rappresentata dalla gamma praticamente illimitata di macchine, impianti, strumentazioni e accessori, che i costruttori meccanotessili mettono a disposizione dell'industria in questione per usi specifici.
- *Gli ausiliari.* La terza invece è relativa ai prodotti indispensabili per la lavorazione delle materie prime, come coloranti, ausiliari e prodotti chimici di specialità, funzionali (in particolare) alla "Nobilitazione" di qualità.
- *I servizi.* Nella quarta componente è, invece, riunita la miriade di "dotazioni di servizio" (termine con cui si aggregano componenti di contorno di vario genere necessarie al sistema), la cui importanza sta assumendo un ruolo sempre maggiore nella produzione modernamente intesa, tanto da risultare spesso elementi fondamentali per fare la differenza sul mercato rispetto a concorrenti meno dotati e attrezzati nei dettagli.

Questi quattro "punti cardinali" sono oggetto di analisi nei successivi paragrafi.

## 2.3 Le tecnologie delle fibre

### Descrizione

Le fibre sono la materia prima indispensabile per produrre l'immensa gamma di articoli tessili usati dall'uomo per soddisfare una grande varietà di bisogni, da quelli essenziali del vestire alle moderne esigenze di molteplici funzionalità e *comfort* ricercate nel viver d'oggi.

Naturale, di conseguenza, che i consumi di fibre a livello mondiale siano in costante e apprezzabile incremento negli ultimi decenni, una crescita che è legata al continuo aumento della popolazione del pianeta, ma pure alla progressione (seppure mediamente lenta) del benessere generale delle popolazioni. È interessante rilevare che, uno degli indicatori utilizzati per valutare la qualità della vita e il livello di sviluppo di una nazione, è dato dall'indice del consumo pro-capite di fibre per abitante, che va da valori di 28/32 kg/persona nei paesi ad alta industrializzazione (Europa, Nord America, Giappone), per scendere a livelli inferiori agli 8 kg nei paesi emergenti.

Come già detto precedentemente, gli impieghi di manufatti tessili sono finalizzati a tre filoni applicativi principali, vale a dire abbigliamento (appena al di sotto del 40%), tessili per la casa (un po' meno del 30%), e tessili tecnici industriali, questi ultimi ormai superiori ad 1/3 del totale, e in crescita più celere rispetto agli altri due sbocchi citati per effetto dell'adozione dei nuovi tessili tecnici industriali in una miriade di applicazioni ad alte prestazioni in sostituzione di materiali convenzionali, quali metalli di vario genere, legno e suoi derivati, plastiche e compositi di ogni tipo. La grande famiglia delle fibre cosiddette "chimiche" (che ormai rappresentano circa i 2/3 del totale) sono state introdotte alcuni decenni orsono. Le prime fibre fatte dall'uomo (*man made*) sono apparse infatti all'inizio del XX secolo (le artificiali), mentre la produzione delle fibre sintetiche è iniziata nel 1938 in USA con l'invenzione del poliammide. Da allora lo sviluppo della produzione dei polimeri sintetici è proseguito con progressione inarrestabile, a partire dalla estensione delle varietà di materiali, con la creazione di fibre importantissime quali il poliestere, l'acrilica, il polietilene, e altre specialità messe a punto per fini specifici.

Una delle caratteristiche che hanno portato al predominio attuale delle fibre *man made* è infatti quella che si tratta di prodotti *engineered*, vale a dire che possono essere progettati a tavolino, e

modificati rispetto alla struttura di base allo scopo di ottenere caratteristiche tecniche e proprietà funzionali mirate.

Ne è conseguito che oggi (dati di fine 2006) le fibre chimiche sul mercato mondiale sfiorano il quantitativo di 40 milioni di tonnellate, mentre le fibre naturali nel loro insieme (cotone, lino, lana, seta, ecc.) arrivano a circa 28 milioni di tonnellate. Con una popolazione mondiale di circa 6,5 miliardi di persone, ciò equivale a un consumo medio pro-capite di quasi 11 kg/anno, mentre dall'inizio degli anni '90 la crescita del consumo annuo di fibre chimiche è stata del 4,3%, e per le naturali del 2,1%.

### *Stato dell'arte*

Come per altri settori merceologici ad ampio spettro di composizione, vi sono differenti tipi di approccio a una classificazione generale delle fibre tessili: per semplicità, esse sono divisibili in due categorie di base, e precisamente le materie prime di origine naturale e le fibre chimiche *man made*.

Appartengono al gruppo delle fibre naturali materie prime di differente origine, che vengono normalmente identificate quali prodotti di provenienza animale, vegetale e minerale. Quest'ultima serie di materiali ha indici di consumo decisamente modesti, per lo più finalizzati a ottenere manufatti di tipo tecnico-industriale, con impieghi per filtrazione, isolamento, insonorizzazione, in entità praticamente insignificanti rispetto ai volumi globali di fibre in uso per impieghi tessili di prioritaria rilevanza.

Diverso il caso delle fibre animali, la principale delle quali è la *lana*, ricavata dalla tosa del vello di pecore selezionate da migliaia di anni allo scopo: la razza più pregiata è la "merino", diffusa in Australia, Nuova Zelanda, Sud Africa, America del Sud in centinaia di milioni di capi. Come percentuale di consumo a livello mondiale, questa apprezzata fibra proteica conta all'incirca per il 3% del totale, ma in Italia (primo importatore delle qualità più fini e pregiate) gli impieghi arrivano a percentuali 10 volte maggiori, e costituiscono una materia prima di base per la produzione di parecchi tra gli articoli più esclusivi del *Made in Italy*, i quali sono in buona parte realizzati (specie per i manufatti più raffinati e costosi, quelli definiti di "fascia alta") in mischia intima con i peli naturali fini e finissimi ricavati dalla capra di Cashmere, e dai camelidi sud-americani che producono fibre del massimo pregio, quali alpaca, vigogna e guanaco.

Altro filamento tessile di origine animale è il filo serico, ricavato dai bozzoli del *Bombix Mori*, prodotto quasi esclusivamente in Cina (in una certa quota anche in Brasile), ma di cui l'Italia ha la *leadership* mondiale nella trasformazione in pregevoli tessuti per abbigliamento (anche per cravatte, *foulards*, sciarpe), e per arredamento destinato ad applicazioni di lusso al massimo livello.

Un piccolo animale domestico, il coniglio d'Angora, viene poi allevato per ricavarne un pelo che è tra le fibre più fini, tanto che è assai arduo da lavorare lungo la filiera tessile, per la bassa coesione e la scarsa tingibilità: permette comunque di ottenere manufatti eccellenti nella produzione di feltri e cappelli di ogni tipo, mentre è usato pure in mischia con la lana per realizzare capi morbidissimi, ed effetti "fantasia" molto particolari e inimitabili.

Torniamo adesso in Centro America, e precisamente in Perù, per passare al capitolo delle fibre naturali di origine vegetale, la principale delle quali è il *cotone*, materia prima cellulosica che nella zona costiera a sud di Lima è coltivata da millenni nella qualità definita *Pima*, la più esclusiva e pregiata, importata praticamente per intero in Italia per la trasformazione.

I paesi grandi produttori di cotone, una materia prima strategica quotata in borsa, sono nell'ordine, Cina, USA, India, Pakistan, Turchia e Brasile che producono complessivamente 110 milioni di balle da 453 libbre, pari ad 1/3 del totale del consumo di fibre tessili nel mondo.

Anche per il cotone, come per tutte le altre fibre sin qui citate, l'Italia non ha produzione al-



cuna, risultando un importatore al 100% di tali materie prime, che da noi vengono trasformate in mille applicazioni. Altro materiale cellulosico importante è il *lino*, la cui quantità d'uso è ridotta a impieghi di nicchia, ma di notevole risalto qualitativo: la sua bassa conducibilità termica ne fa infatti un componente insuperabile per articoli "freschi" per abbigliamento estivo, nonché per usi vari di lingerie (articoli da letto, fazzoletti, manufatti per bagno, ecc.). Completano la gamma delle fibre naturali cellulosiche materiali, quali *canapa*, *juta*, ed altre fibre cosiddette "liberiane" (estratte dal fusto: *librum*) con vari impieghi di specialità d'uso.

Le fibre chimiche *man made*, materiali non esistenti in natura, sono classificate in due grandi famiglie, le fibre artificiali e le fibre sintetiche. Per la precisione sono prodotte (e assimilabili a questo filone delle fibre chimiche) anche materie prime derivate da costituenti di natura inorganica, in particolare le fibre di vetro, le fibre metalliche e le fibre al carbonio, prodotte per usi speciali e applicate essenzialmente nelle realizzazioni di tessili tecnici industriali; si tratta, tuttavia, di materiali di nicchia. Sono definite fibre artificiali quelle ottenute a partire da una catena polimerica già esistente in natura, che è sempre e comunque cellulosa, componente-base di alberi, arbusti e pure piante di vario genere con fusto vegetale annualmente rinnovabile, ad esempio, il mais.

Il materiale di partenza, sminuzzato e disciolto in pasta fluida tramite prodotti chimici appositi (un tempo acidi forti, oggi solventi organici rispettosi dell'ambiente) viene "estruso" facendolo passare per apposite "filiere", dalle quali fuoriescono filamenti continui che poi vengono fatti rapprendere, essiccare e avvolgere in confezioni (bobine) atte a impieghi tessili, eventualmente anche tagliate a lunghezza di tipo cotoniero. Prodotti di questo genere sono le varie qualità di *rayon*, *viscosa*, *cupro*, *acetato*, che contano per circa il 2% sul totale dei consumi mondiali, e che sono usati per abbigliamento esterno, intimo, foderami, e anche in impieghi tecnici per le loro proprietà assorbenti (pannolini, strofinacci, ecc.).

Le fibre chimiche sono invece realizzate partendo da polimeri sintetici e coprono oltre il 60% del fabbisogno totale a livello mondiale. Questo gruppo viene nello specifico classificato in fibre polimerizzate (le più importanti delle quali sono il *polietilene*, *polipropilene*, *poliacrilico*, e *polivinilico*, ecc.), in fibre policondensate con il *poliestere* e la *poliammidica* come esponenti principali, la prima in termini di volume (circa 2/3 di tutte le fibre *man made*), e il *nylon* e consimili che prevalgono in fatto qualitativo in senso lato. A questa serie si aggregano anche prodotti denominati fibre poliaddizionate, materiali di nicchia ad alte prestazioni, come il *poliuretano* e l'*elastan*, componente base per produrre Lycra e materiali elastici del genere, sempre più di moda in abbigliamento.

### *Driver dell'innovazione*

Come si evince agevolmente, anche da una concisa descrizione come questa appena delineata, si tratta di un comparto a vastissimo spettro applicativo, che si è materializzato in una così ampia gamma di prodotti per l'enorme diversificazione delle destinazioni d'uso sviluppatesi per le crescenti e mutevoli esigenze del mercato.

Queste molteplici richieste da evadere sono correlate naturalmente a continui investimenti da parte dei produttori di fibre, i quali debbono adeguare costantemente la loro offerta, in particolare per i materiali di maggior qualità che consentono di ottenere forte valore aggiunto.

La chiave di tali sviluppi sta evidentemente nella ricerca, che non è esclusiva del campo delle specialità chimiche (dove pure è condotta molto attivamente, e con continui progressi e successi), ma partecipa anche all'evoluzione di macchine e impianti per nuove tecnologie di processo, finalizzate a ottenere proprietà superiori a quelle attuali, e nelle sinergie applicative realizzate con una estesa varietà di ausiliari e prodotti chimici, i quali (come vedremo successivamente) consentono alle fibre "normali" di acquisire funzionalità impensabili sino a qualche tempo addietro.

Non sorprende poi la segnalazione che forme di ricerca molto sofisticate vengano portate avanti con risultati premianti anche nel campo della genetica, un settore dove i ricercatori di Australia e Nuova Zelanda sono riusciti a mettere a punto incroci di ovini in grado di produrre fibre di lana con finezza mai sinora ottenuta. L'orientamento del consumatore moderno a privilegiare decisamente articoli sempre più fini e leggeri (a parità di altre proprietà a elevato tasso qualitativo, come morbidezza, elasticità, drappeggio, aspetto superficiale, ecc.) indirizza i produttori a ricercare sempre nuovi *target* in questa direzione, e ciò comporta un fermento di attività che nel suo insieme rappresenta il *trend* evolutivo negli anni a venire per i prodotti di maggior valenza intrinseca.

#### *Le principali traiettorie tecnologiche*

Le tendenze di avanzamento tecnologico nel campo delle fibre tessili si prospettano di grande potenzialità in alcuni sviluppi già in corso, e in celere affermazione in mercato.

Segnaliamo in particolare:

- *Leggerezza*: oltre a quanto menzionato come “*must*” nell’abbigliamento, nelle applicazioni industriali si aprono veramente nuovi orizzonti, basti constatare che con l’uso di quasi il 70% di componenti tessili il nuovo AIRBUS 380 europeo per la prima volta surclassa i progettisti americani, rimasti 10 anni indietro in tale specialità dell’aviazione moderna.
- *Attenzione all’ambiente*: uno dei progressi più vistosi è il processo di produzione di fibre artificiali non più dalla pasta di cellulosa ricavata da conifere (con ciclo di rimpiazzo di 15/20 anni), ma da fusti vegetali rinnovabili annualmente, come il mais.
- *Rivoluzione nel meccano tessile*: nell’ultimo lustro la tecnica di filatura compatta (o a condensazione) nel campo cotoniero ha ribaltato aspetti consolidati da circa 200 anni nella lavorazione con fusi ad anello (*ring*); e l’evoluzione continua, non solo in questo settore applicativo.
- *Tecnologie al plasma*: il trattamento di substrati tessili in ambienti ionizzati realizzati con macchine al plasma prospetta potenzialità ancora tutte da esprimere specie a favore dei processi di “Nobilitazione” su gran parte delle fibre in mercato.
- *Nanotecnologie*: questo è il campo che potrà veramente mutare la produzione tradizionale di materiali tessili in un futuro che è già cominciato. Le nanofibre, con unità di misura di un milionesimo di metro, si producono già con il processo di elettrofilatura, o con sistemi per applicare un flusso di microfibre su varie tipologie di substrati.

In conclusione si può dire che da tempo l’industria italiana sta impegnandosi efficacemente sulle frontiere di queste nuove tecnologie: una tappa fondamentale (che portiamo come esempio tra i parecchi possibili) è stata la messa in funzione alla Città Studi di Biella del LATT, vero e proprio parco tecnologico partito a fine 2005. Le attività di maggior rilievo dei progetti avviati nell’arco temporale intercorso da allora sono le seguenti:

- elettrofilatura di nano fibre;
- trattamenti al plasma;
- filatura a umido (bio-masse);
- tintura con fluidi supercritici;
- produzione di fibre ceramiche (processi sol-gel).

## **2.4 Le tecnologie dei coloranti & ausiliari**

### *Descrizione*

Trattare della specialità genericamente definita “Coloranti & Ausiliari” (cui vanno sommati gli elementi di produzione denominati nel loro insieme “Prodotti Chimici”), comporta l’ingresso nell’universo sofisticato del settore identificato come “Nobilitazione”.

Si considerano appartenere a questo comparto della filiera le attività di tintura, stampa e finissaggio, che costituiscono uno snodo vitale, realmente essenziale per mantenere nel nostro paese l'intera gamma di produzioni a monte della catena di lavorazione, vale a dire filatura e tessitura (sia su telai trama/ordito, che su macchine di maglieria). Il fatto è che le due ultime citate operazioni sono realizzate tramite processi più facilmente riproducibili anche in comprensori industriali emergenti, privi di tradizioni specifiche, e carenti di spiccata professionalità in senso lato. Come dimostra lo spostamento a oriente della produzione tessile per gli articoli che si possono considerare “*commodities*” (manufatti *standard*, di scarso valore unitario), oggi basta destinare investimenti mirati su impianti moderni, molto automatizzati, assistiti da un minimo numero di specialisti supervisor di reparto, per ottenere in Perù o in Sri-Lanka filati e tessuti sostanzialmente equivalenti a quelli realizzabili in Italia, a parità di materia prima. Completamente diversa è la realtà esistente nella sezione finale della filiera, il segmento dedicato a ottenere il “tocco finale”, che fa la differenza sul mercato, conferendo proprietà e caratteristiche tali da comportare l'ottenimento di valore aggiunto percepito dal consumatore. Entrando in questo campo ci ritroviamo in un universo produttivo molto disomogeneo, altamente specializzato, ricco di competenze peculiari (e gelosamente custodite in azienda), caratterizzato da eterogeneità di macchine e impianti in correlazione con la miriade di processi realizzati allo scopo. Chi lavora solo cotone, o lana, o seta, o fibre *man made*; chi tinge fiocco o *tops*, o filati, o tessuti, o capi confezionati; chi stampa (con diverse tecniche, funzionali a differenti risultati), chi rifinisce a secco o ad umido, ecc.

Approfondiremo tali situazioni, ma intanto configuriamo l'identikit di questo settore in Italia, dove il comparto della “Nobilitazione” tessile, nel 2006 rappresenta un'industria articolata in 1250 imprese specializzate, che occupano circa 35.000 addetti, realizzando un fatturato complessivo di 4,5 miliardi €.

Ne consegue una realtà media aziendale di medio-piccole dimensioni, con 25/30 addetti, e un fatturato societario compreso tra 3,5 e 4 milioni €: un limite apparente nel contesto del mercato globale odierno, ma anche un punto di forza correlato ad automatica flessibilità di esercizio. In questo mondo di colori, inventiva, espressioni originali di artigianato industriale, ciò che fa la differenza in Italia è un “saper fare” non scritto, basato sull'esperienza empirica ma di grande spessore tecnologico, al punto da essere riconosciuto come nettamente superiore in tutto il mondo tessile internazionale.

Una situazione di supremazia a livello globale, che, inoltre, nel periodo recente ha saputo amplificare il differenziale tra la propria (ormai conclamata) brillante realtà da primi della classe rispetto a concorrenti pur modernamente attrezzati in macchinari, ma decisamente inferiori per *know how*, esperienze a tutto campo, spirito innovativo, creatività.

Un quadro invidiabile, ma ultimamente gravato da un problema di costi in crescita a causa dello sbalorditivo incremento del prezzo del petrolio, materia prima di base per coloranti, ausiliari e prodotti energetici indispensabili ad alimentare imprese *energy-intensive*. Il settore, infatti, è fortemente energivoro, basti osservare che per tingere 1 kg di filato occorrono mediamente 200 litri d'acqua, 1 metro cubo di metano, e 2 kilowattora di elettricità: sono dati di tutta evidenza (e ben risaputi), ma che faticano ad essere accettati dai clienti come adeguamenti di tariffe, anche se si tratta delle grandi *griffes* della moda, che realizzano spesso profitti altissimi proprio grazie a “Nobilitazione sapiente”.

### *Stato dell'arte*

I coloranti e ausiliari, come accennato, sono prodotti che vengono ottenuti dalla chimica del petrolio (pur con le inevitabili eccezioni), e ciò a partire dall'avvio della rivoluzione industriale.

Precedentemente le fibre naturali, le sole disponibili sino ad allora, venivano colorate con



estratti naturali, ricavati da fiori, steli, frutti, composti tannici, piccoli animali (cocciniglia), particolare flora marina e molluschi (come la porpora dei fenici). Il colorante naturale più antico e diffuso è stato l'indaco, che fornisce un tono di blu intenso, tanto importante all'epoca da essere il primo colorante oggetto di ricerca di sintesi, progetto portato a buon fine agli inizi del secolo scorso. Poi il progresso in questo campo divenne inarrestabile, con la messa a punto di prodotti derivati dall'alizarina, dall'antrachinone e da una successiva serie infinita di componenti-base per le varie classi di coloranti sintetici. I quali sono suddivisi in categorie specifiche corrispondenti ai gruppi chimici caratterizzanti le varie materie coloranti, funzionali a creare la reazione di fissazione con adeguati gruppi di segno opposto presenti sulle fibre.

Questo, almeno, fino al periodo post-bellico, con i coloranti acidi, al cromo e metallizzati (addizionati di metalli speciali per esaltare la solidità) in grado di tingere lana, seta e fibre poliamidiche con ottimi risultati.

Mentre coloranti basici erano impiegati per applicazione su fibra acrilica, e su materiali naturali trattati precedentemente per fornire gruppi di "aggancio" (mordenti), in campo cotoniero venivano ampiamente usati coloranti diretti, così definiti per la proprietà di essere *adsorbiti* dal supporto tessile per saturazione del bagno con elettroliti. Queste ultime però risultavano tinte relativamente poco apprezzabili per la scarsa solidità a umido, e sono state successivamente rimpiazzate da una sofisticata categoria di prodotti denominati "coloranti reattivi", in quanto dotati di gruppi funzionali a ben fissarsi chimicamente con gli ossidrili della cellulosa (cotone *et similia*).

Nessuna reazione nel bagno di tintura invece, per le materie prime coloranti cosiddette a dispersione, che oggi dominano a livello dei consumi globali in quanto impiegati per la fibra più diffusa, il poliestere, e in minor misura anche per la poliammide e l'acrilica. In questo caso si tratta di coloranti insolubili in acqua, e pertanto prodotti in forma di materie finissime in grado di essere uniformemente disperse nel bagno di tintura e di qui "montare" sulla fibra per azione della temperatura adatta (145°C) a far rigonfiare il supporto tessile, reso così idoneo ad *adsorbire* la molecola del colorante disperso.

Altra categoria di prodotti insolubili è quella dei pigmenti, materiali inorganici che vengono addizionati di adeguati veicoli di fissazione (resine), grazie ai quali sono applicati alle fibre con processi di termofissazione ad alta temperatura (180°-210° C). I pigmenti sono pure impiegati per una forma di colorazione molto resistente, economica, ecologica, realizzabile solo sulle fibre *man made* nella fase iniziale della loro produzione, intervenendo sulla massa fusa prima che venga fatta passare attraverso le filiere di estrusione. Per tale ragione questo processo viene definito "tintura in massa" (o *solution dyeing*), e consiste nell'addizionare i pigmenti che vengono così intimamente conglobati nella "pasta" fusa da cui si ricaveranno i filamenti.

Il limite di questo sistema è che si possono ottenere solo (relativamente) pochi colori da produrre in grandi quantità, vale a dire l'esatto opposto di quella che è oggi la tendenza dominante del mercato dell'abbigliamento raffinato, ma diverso è l'approccio per applicazioni in arredamento, o per i tessili industriali di largo impiego, ad esempio, per fabbricare *moquettes* o tendoni per camion. Un ultimo cenno riguardo ai coloranti va dedicato all'indaco, usato in migliaia di tonnellate per la tintura dei tessuti Denim per i 3-4 miliardi di capi in jeans consumati annualmente nel mondo, tale colorante (insolubile) viene applicato con un processo di riduzione/ossidazione, rendendolo solubile per reazione con riducenti, impregnando il supporto da tingere, e facendolo ritornare insolubile (e quindi molto resistente) per reazione finale all'aria, o all'ossigeno. Coloranti applicati per ossi-riduzione (sul cotone) sono anche i ben noti *Indanthren* di eccelsa resistenza, superiori addirittura alla vita del supporto tessile su cui sono fissati.

Prendendo ora in esame la categoria praticamente illimitata degli ausiliari, iniziamo da una gamma entrata solo recentemente in mercato, e precisamente quella dei prodotti cosiddetti "fun-

zionali”, in grado cioè di fornire alle fibre proprietà antistatiche, antibatteriche, antifiama, e così via. Questi effetti possono essere conferiti inglobando additivi speciali alla massa di filatura delle fibre *man made*, oltre che, ovviamente, venire applicati successivamente su filati, tessuti, capi confezionati con adeguate tecnologie di processo in finissaggio, operazioni che così possono essere realizzate anche sulle fibre naturali.

Menzionando questi prodotti di “ultima generazione” (in auge da una decina d’anni) siamo in cima alla piramide degli ausiliari tessili, alla cui base commerciale sono invece saldamente insediate, per importanza e per quantitativi d’uso, categorie applicative che rispondono alle qualifiche di “tensioattivi” (imbibenti, detergenti, emulsionanti, disperdenti, ecc.), e di ausiliari per tintura. Questi ultimi corrispondono a definizioni quali equalizzanti, ritardanti, fissatori, ammorbidenti e così via, impiegati nella infinita gamma di processi che costituiscono la “Nobilitazione” tessile di oggi.

Un cenno conclusivo è rivolto alla classe applicativa degli enzimi, anche questi prodotti di impiego piuttosto recente, funzionali, oltre che per l’eliminazione degli incollaggi di orditura, a ottenere gli effetti di “usato/*delavé*” tanto di moda per i jeans a misura di “look giovane”.

### *I driver dell’innovazione*

Considerando quanto esposto su fibre e macchinari dedicati, e completando il quadro con gli accenni alla specialità dei coloranti e ausiliari, ne esce una varietà di potenziali combinazioni (relativamente ai processi in uso nell’industria tessile moderna) di entità sconfinata. Naturale, pertanto, che le innovazioni degne di questo nome siano recentemente e in ampia misura frutto delle sinergie tra operatori di punta dei vari settori considerati, come risultato maturato dalla sommaria tecnologica di competenze complementari.

I protagonisti di maggior rilievo in tale pratica innovativa sono stati ultimamente proprio gli specialisti chimici-coloristi delle grandi Case produttrici di Coloranti e Ausiliari, che hanno fornito ai responsabili delle imprese meccano-tessili prodotti progettati *ad hoc*, o selezionati da gamma pre-esistente, per superare i limiti convenzionali di particolari tecnologie di processo. Un esempio illuminante in questo campo è la tecnologia definita *Econtrol*, messa a punto da BASF con la collaborazione del costruttore Monforts, che si è dimostrata atta ad abbattere tempi di lavorazione, costi energetici e consumi d’acqua e di prodotti di ricetta nella tintura in continuo con coloranti reattivi. Tutta di matrice italiana, brevetto Paggi, è invece la rivoluzione vera e propria proposta con grande successo nella tintura discontinua secondo il metodo “a corda unica” per tessuti in maglia di tipo cotoniero, applicando un ciclo ridotto (di quasi il 50% in tempi e consumi) grazie a semplici accorgimenti di variazione dei metodi canonici in auge da decenni.

Si tratta di due casi emblematici di proficua collaborazione tra attori operanti sul medesimo piano, con una moltitudine di replicanti autonomi capaci di ottenere risultati meno noti e vistosi, ma del tutto apprezzabili intrinsecamente, in altri segmenti specialistici della complessa filiera dei processi di “Nobilitazione”.

Chiudiamo questa parte con una notazione riguardante la posizione della industria chimica italiana specializzata nel campo specifico: le produzioni di base sono ormai realizzate quasi interamente all’estero (Cina, Corea, Usa, Centro-Nord Europa), ma in casa nostra è vivace e importante la brillante realtà di imprese del settore, capaci di elaborare prodotti “su misura” veramente *high tech*, in fatto sia di pregevoli coloranti che di ausiliari sofisticati.

### *Le principali traiettorie tecnologiche*

Stante il fermento di attività di questo settore veramente avanzato dell’industria tessile attuale, segnaliamo solo alcuni sviluppi promettenti, la punta dell’*iceberg*:

- *Stampa digitale*: pur con alcuni limiti ancora difficili da superare riguardo alla “risoluzione” (rispondenza esatta dei colori tra lo schermo del computer e il risultato ottenuto sul tessuto), questa nuova tecnologia offre a stilisti e *designer* la possibilità di vedere l’esito finale senza la necessità (obbligata, nei sistemi pre-esistenti) di mettere in funzione il sistema produttivo: una vera rivoluzione, prossima a un successo universale.
- *Comfort* sugli scudi: il consumatore moderno pone le proprietà di *comfort* in netta prevalenza tra i “*must*” decisivi al momento della scelta d’acquisto: fenomeni quali il *body-size*, l’*active-wear*, gli *smart textiles* sono tendenze con grande futuro.
- *Rifiniture speciali*: per le bizzarrie (strapagate, e di diffusione molto rapida) imposte dalla moda di fascia alta c’è solo l’imbarazzo della scelta: stropicciature, gommature, bolle, tessuti doppi, spalmatura, calandrature, effetti metallizzati, sono il frutto della capacità inventiva di un artigianato industriale specialistico in travolgente sviluppo.
- *Prestazioni funzionali*: grazie all’applicazione di prodotti ausiliari di nuova generazione, comuni tessuti in fibre “normali” (sintetico, lana, cotone) vengono resi performanti con elevatissime proprietà antimacchia, coibenti, traspiranti, *easy care* alla manutenzione. Anche questi sono risultati di sinergie tra la chimica avanzata e gli operatori tessili raffinati.
- *Trattamenti con ozono*: con l’acqua che diviene elemento sempre più prezioso, sono molti gli orientamenti a ricercare nuovi sistemi di rifinitura in ambiente ozono, con l’ausilio di macchinario dedicato, che realizza il principio di nebulizzazione di tale gas. Il quale si fissa sul supporto tessile operando effetti di slavato/invecchiato (per jeans) sinora ottenibili solo con ripetuti processi di lavaggio *stone-wash*, o con enzimi di impegnativa manipolazione.

## 2.5 Le tecnologie meccano-tessili

### Descrizione

Sebbene nell’ultimo decennio la produzione di articoli tessili si sia spostata quantitativamente dall’area occidentale industrializzata (Europa ed USA) ai paesi asiatici, con Cina e India a dominare in modo netto, per quanto riguarda invece la costruzione di macchine tessili è ancora l’Europa a detenere la *leadership* nel settore. Su un valore totale del mercato mondiale stimato in circa 12 miliardi €, la quota delle nazioni europee che aderiscono al *CeMaTex* (*Comité Européen des Constructeurs de Machines Textiles*) organismo che indice ogni 4 anni la rassegna internazionale di riferimento, l’ITMA (*International Textile Machinery*), supera ancora il 60% della produzione complessiva. Al primo posto tra i costruttori meccanotessili a livello globale sono le imprese tedesche, che, nel 2006, hanno consolidato una quota del 30% sul totale, per un ammontare di 3.600 milioni €, seguite da quelle italiane con quasi 2.700 milioni € (circa 22%). Al terzo posto si colloca l’industria elvetica delle macchine tessili, per la quale è improbo fornire cifre e quote di produzione, stante i diversi risultati che si ottengono se si conteggiano le dotazioni effettivamente costruite in Svizzera, ovvero anche quelle delle molte società, specie tedesche, controllate tramite *holding*. Al quarto posto si colloca il Giappone, e al quinto (nonostante vistosi ridimensionamenti degli ultimi anni) il comparto francese, che ha realizzato sempre nel 2006, un giro d’affari vicino a 1 miliardo €.

Come già illustrato precedentemente, l’enorme complessità dei materiali e dei prodotti, che costituiscono l’industria tessile italiana, porta ad analoga e corposa diversificazione delle macchine, impianti e dotazioni di contorno costruiti in Italia da circa 350 imprese specializzate nel settore. Aziende che dispongono di una tecnologia di punta nel comparto, che in certi casi si identifica con una vera e propria *leadership* in ambito mondiale, la quale si materializza con la capacità di esportare una quota di circa l’80% del totale.

Naturalmente anche il mercato nazionale, forte di un'industria tessile con una filiera produttiva completa e integrata come nessun'altra al mondo, è un terreno importante di sbocco per i costruttori di macchine *Made in Italy*.

Giusto per fornire qualche dato significativo, va rimarcato che in Italia, nel 2005, sono in funzione circa 2.700.000 fusi di filatura ad anello (*long staples*), oltre 1.200.000 posizioni *short staples*, e più di 9.500 moderni telai per tessitura senza navetta. Per l'importantissimo comparto della "Nobilitazione" tessile (tintura, stampa e finissaggio) la varietà delle dotazioni di reparto è tale che non è possibile aggregare dati numerici specifici. Resta il fatto che in tale specialità i chimici-coloristi del nostro Paese sono ritenuti i primi al mondo, tanto che circa il 50% dei tessuti rifiniti in Italia non sono prodotti sul territorio nazionale, ma vengono inviati in Italia dall'estero per avere garanzia di un finissaggio di alto livello.

Chiudiamo questa sezione introduttiva indicando, nella Tabella 12, le categorie principali delle macchine costruite in Italia secondo una classifica di valori per fatturato specifico (dati 2006):

<b>Tabella 12 – Fatturato delle diverse categorie di macchine meccanotessili</b>	
	<b>€</b>
Macchine per filatura	650.000
Macchine per tessitura	630.000
Macchine per "Nobilitazione"	570.000
Macchine per maglieria	500.000
Macchine per stiro-lavanderia	280.000
Accessori e varie	50.000
<b>TOTALE</b>	<b>2.680.000</b>

Questa produzione viene realizzata con l'apporto di circa 25.000 addetti, che in larga parte sono autentici specialisti, sia impiegati nei reparti costruttivi interni delle società meccanotessili, sia operativi fuori sede (in Italia e all'estero) per le importantissime attività di installazione, messa in marcia, e assistenza.

#### *Stato dell'arte*

All'interno del sistema industriale di cui ci occupiamo a seguito, esistono settori del massimo interesse tecnico-commerciale al di fuori dei 5 macro-segmenti sopra indicati come classificazione generale. Stante la vastità della trattazione dell'argomento principale, essi sono però illustrati a parte: alcuni hanno trovato spazio nella sezione dedicata al tema coloranti/ausiliari (il laboratorio, e speciali strumentazioni di controllo), mentre altri sono descritti all'interno del paragrafo sulle tecnologie di servizio, in particolare gli impianti di condizionamento, di depurazione, di automazione e di gestione informatica dei processi, oltre che, quale tematica conclusiva, le attività finali di confezionamento.

Ciò premesso, come già per la gran parte delle aziende italiane dedicate al tessile, anche le imprese meccanotessili del nostro paese (salvo una minoranza di eccezioni) sono realtà societarie di taglia medio/piccola: circa la metà di esse non supera infatti i 5/6 milioni € di giro d'affari annuo, realizzato da 25/30 addetti, che generano un fatturato pro-capite di circa 200.000 €.

Questa articolazione strutturale assai parcellizzata, specie se si confronta con le situazioni corrispondenti dei maggiori concorrenti internazionali, consegue a due ragioni principali:

- le caratteristiche intrinseche di un settore di specializzazione (quale è il meccanotessile, nell'ambito dell'industria meccanica in generale), che portano le unità produttive a operare in

numerosi comparti merceologicamente distinti, in ognuno dei quali compete un numero di costruttori senz'altro elevato. Fenomeno cui corrisponde, peraltro un punto di forza del sistema, in quanto costituisce un fattore in grado di garantire all'utenza la possibilità di diversificare le fonti di fornitura, e di ottenere quindi un'offerta conveniente e personalizzata, spesso concretizzata in progetti "su misura";

- il frazionamento in molteplici realtà di ridotte dimensioni, connaturato alle tradizionali specificità di *governance* imprenditoriale delle società italiane, ma anche all'elevato numero di comparti che coprono la complessa filiera meccanotessile.

Non potendo pensare di operare sull'intera e molto diversificata catena tecnologica, i costruttori tendono a dedicarsi a uno specifico comparto, diversificando molto raramente la propria produzione in segmenti produttivi differenti dal principale. Questo comporta automaticamente una ricaduta estremamente positiva in fatto di livello delle competenze aziendali nel ramo di applicazione prescelto, determinando una cultura specifica costantemente in crescita grazie all'esperienza interna, e alle sinergie con l'utenza più qualificata del settore di operatività, ad esempio, nel comparto della "Nobilitazione", molte società italiane hanno raggiunto la consapevolezza della superiorità tecnologica conseguita rispetto ai concorrenti internazionali in fatto di prestazioni del prodotto (macchine e impianti), e della qualità complessiva dei servizi da loro offerti.

Un bel risultato, che le aziende in questione debbono però incessantemente alimentare e confermare con evoluzioni della gamma, o con continue innovazioni tecnologiche messe a punto per anticipare le esigenze del mercato.

### *I driver dell'innovazione*

Con cadenze molto meditate, frutto di decenni di esperienze e conferme con ricadute vantaggiose, queste novità ed evoluzioni sono proposte all'utenza di tutto il mondo tessile in occasione delle più importanti rassegne meccano-tessili internazionali. Vero e proprio faro nell'*iter* di sviluppo del comparto, la già citata ITMA che, ogni quattro anni funge da momento di verifica dello *status* tecnico-qualitativo delle case costruttrici, le quali nei grandi spazi espositivi attrezzati allo scopo si confrontano con i concorrenti attivi sullo scenario di mercato globale.

Nell'occasione vengono alla ribalta anche le diverse "politiche" messe in atto dalle varie imprese per procedere nello sforzo indispensabile di avanzamento della ricerca e dell'affermazione nella sfida competitiva. Da parte dei grandi gruppi internazionali la leva principale è affidata alla ricerca, effettuata con un congruo numero di specialisti, e con investimenti di tutto rilievo (5/8% su fatturati societari assai consistenti) mantenuti costanti nel lungo periodo. All'estero, specie in Germania e Svizzera, un ruolo decisamente significativo è rappresentato anche dalle attività specifiche svolte in sinergia con centri universitari e istituti tessili di motivata notorietà per i risultati raggiunti in decenni di milizia al fianco dell'industria. In Italia invece quest'ultimo fenomeno di collaborazione di alto livello scientifico, seppur esistente, ha una importanza minore, stante la diversa situazione strutturale delle aziende cui è stato accennato in precedenza.

Il modello "vincente" di sviluppo in casa nostra è principalmente legato a un processo di traino da parte della clientela più avanzata, i cui impulsi innovativi derivano spesso dalle necessità esplicite di risoluzione dei sempre nuovi problemi correlati alle mutevoli esigenze del mercato.

A tale domanda i costruttori del *Made in Italy* rispondono elaborando progetti riguardanti sia le tecnologie di processo, che il contenuto tecnologico dei prodotti. Nel primo caso sfruttano il vantaggio di avere a disposizione nei distretti specializzati, *aziende-partner* che operano all'avanguardia nel loro campo, veri e propri laboratori di ricerca applicativa, con la collaborazione di operatori esperti di grande competenza.



Riguardo al contenuto tecnologico del prodotto, è ormai un fatto assodato e incontrovertibile che la tecnologia incorporata nel prodotto messo a punto con l'impostazione "italiana", rappresenta automaticamente una fonte di differenziazione, di qualificazione specifica, e di flessibilità del prodotto stesso, sia che si tratti di singole macchine, o di complesse linee di lavorazione di ogni genere. Come si può rilevare da quanto espresso in proposito, è proprio in ragione del ruolo che l'avanzamento tecnologico gioca al fine del successo competitivo che le aziende tendono a sviluppare gli elementi concorrenziali al loro interno, e in modo autonomo, evitando così fughe di preziose anticipazioni, quando non veri e propri tentativi di imitazione, nei confronti delle soluzioni ritrovate con tanto acume, impegno, e perizia.

Inevitabile, in merito, un cenno al preoccupante fenomeno delle contraffazioni e delle imitazioni sfacciate (persino di marchi e denominazioni) di cui si ha periodicamente denuncia sul mercato nei confronti di concorrenti meno qualificati e decisamente scorretti.

### *Le principali traiettorie tecnologiche*

L'ITMA 2007 tenutasi lo scorso settembre a Monaco di Baviera ha fornito, abbondanti indizi sulle traiettorie tecnologiche di sviluppo dell'industria meccanotessile nel breve-medio periodo. La prossima edizione avrà luogo a Barcellona nel 2011, il pacchetto di offerta presentato in Germania dalle case espositrici, è stato messo a punto anche in sincronia con la cadenza quadriennale di questa fiera basilare per il comparto. Naturalmente occorre tener conto, nel prospettare le evoluzioni in aree specifiche, che la situazione di comprensori avanzati come quello europeo, e italiano in particolare, è sostanzialmente diversa dalle realtà tecniche e commerciali esistenti in paesi emergenti, come Cina, Asia sud-orientale, Sud America.

Ciò premesso, partiamo proprio da quest'ultima notazione per segnalare una tendenza significativa già ora nel nostro paese e destinata a una notevole affermazione, a fornire ai grandi gruppi produttori di articoli di moda d'eccellenza (quelli a massimo valore aggiunto) sempre nuovi "ferri del mestiere" funzionali a rifiniture innovative, realizzati da un artigianato industriale ormai solido, diffuso e rispondente allo scopo.

Siamo in un campo dove costruttori e utilizzatori ricorrono, al massimo, alla loro creatività, sfruttando al meglio le reciproche competenze per ottenere effetti fuori portata per la concorrenza meno specializzata e capace. Un esempio significativo può essere quello dei tessuti "increspati" delle recenti sfilate stilistiche, ottenuti con il metodo della "trama bagnata", che prevede l'impiego di fili inumiditi (da tessere su macchine predisposte a tale occorrenza), i quali successivamente in finissaggio a caldo si contraggono realizzando un originale ed inimitabile effetto superficiale molto pregevole.

Per quanto invece riguarda l'industria meccanotessile in generale evidenziamo, tra le tecnologie innovative:

- contenimento dei consumi di acqua e di energia. Si tratta dell'orientamento principale per tutti i settori della filiera, dalle macchine di preparazione agli impianti di "Nobilitazione" finale. "Save water & Energy" era lo *slogan* dell'ITMA, un filone cavalcato convintamente dai costruttori di riferimento, anche per le positive ricadute sull'impatto ambientale;
- de-responsabilizzazione degli addetti. La difficoltà crescente di reperire personale con formazione adeguata per la conduzione di macchine sempre più sofisticate porta a dotare gli impianti di sistemi di controllo e gestione il più possibile capaci di evitare inefficienze dovute a errori umani;
- esigenza di produttività. Specie nelle aree a elevato costo del lavoro, è importante contenere i costi grazie all'innovazione nelle macchine e nelle tecnologie di processo;
- integrazione con tecnologie di contorno. Rispetto ad alcuni anni orsono, l'applicazione sulle

linee di produzione tessile di sistemi elettronici, informatici, e di automatizzazione procede a passi da gigante, per via di tangibili vantaggi gestionali e qualitativi in tutte le tipologie di lavorazione lungo la filiera;

- applicazioni speciali. Tecnologie già da tempo adottate nella meccanica strumentale, ad esempio, l'impiego di *laser*, si stanno estendendo anche alla rifinitura tessile, con la possibilità di ottenere effetti speciali, di taglio, traforo (ricamo), decolorazione a piacere;
- sinergie con *Euratex*. Questo organismo europeo ha messo a punto piattaforme per lo sviluppo tecnologico congiunto (tessile e meccanotessile) supportate da mezzi finanziari cospicui dai quali parecchi costruttori pensano di ricavare linfa per lo sviluppo della ricerca.

## 2.6 Le tecnologie di servizio

Mirando al non agevole obiettivo di fornire una visione di sistema relativa all'attuale realtà dell'industria manifatturiera italiana impegnata nella produzione di articoli del sistema moda (ma anche dell'arredo-casa, e delle specialità tecnico-industriali), abbiamo sin qui offerto un quadro di riferimento generale, e presentato le tre filiere-chiave che supportano il settore. Lo scenario emerso da questa (pur concisa) illustrazione fornisce un quadro piuttosto preciso, funzionale a indicare anche i principali punti di forza, le direttrici basilari di sviluppo, e i traguardi potenziali da raggiungere nel breve periodo (3/4 anni).

Molto sinteticamente tale profilo delinea un'industria tessile italiana *leader* in molteplici comparti, in particolare, quelli dedicati alla fascia elitaria del mercato, non solo a livello nazionale ma anche nella competizione a tutto campo oggi esistente nell'economia globalizzata.

Una situazione che però non consegue alla mera sommatoria delle singole valenze di supremazia che sono state rilevate a proposito dell'impiego vincente delle fibre, di coloranti & ausiliari, e di macchinario dedicato; si tratta certamente di componenti fondamentali per prevalere sui concorrenti internazionali, ma che necessitano di alcuni ulteriori elementi di raccordo per far funzionare a dovere i delicati meccanismi che consentono di ottenere una effettiva superiorità.

Ne trattiamo a seguito, anticipando subito che è proprio su questo versante (meno facile da individuare nel suo autentico e discriminante valore) che l'industria del tessile *Made in Italy* si trova a fruire di un vantaggio competitivo che sempre più fa la differenza nella sfida, su tutti i fronti.

### *Le reti del sistema moda*

Nel nostro Paese infatti, frutto di tradizioni, esperienze, competenze e altre capacità anche immateriali (di organizzazione, comunicazione, creatività, ingegn timeria tecnica) esiste una rete di servizi e tecnologie di contorno che fungono da collante per mettere insieme i tasselli del mosaico complessivo di una produzione caratterizzata da quel "*must*" tecnico-qualitativo che ci viene ormai universalmente riconosciuto in forza dei risultati, conseguiti nel tempo, dal settore.

Prendiamo, ad esempio, la brillante realtà italiana delle *rassegne stilistiche* organizzate al cambio di stagione nelle nostre capitali della Moda (Milano, Firenze e Roma) per presentare le nuove collezioni: sia per i filati, che per i tessuti che per i capi confezionati si tratta di vetrine con un *appeal* senza pari per gli operatori internazionali, autentiche rampe di lancio sul mercato mondiale. Ebbene anche in questo campo manifestazioni come le sfilate milanesi dei nostri creativi di maggior lustro, appuntamenti "tessili" quali *Pitti Filati* e *Pitti Uomo* di Firenze, e le passerelle dell'alta moda indette a Roma risultano eventi di promozione e *marketing* per l'intera filiera produttiva italiana senza equivalenti rispetto all'offerta specifica di altri paesi europei, della Turchia e degli emergenti asiatici.

Un altro punto di forza del sistema nazionale sono poi le *associazioni di specialità*, organismi



che si incaricano di tutelare gli interessi delle varie aziende distribuite lungo la filiera, per fornire loro servizi di rilievo, per la formazione, le azioni di *lobby* sul governo, la promozione oltre confine, l'internazionalizzazione, ed esaltare le potenzialità con iniziative di indirizzo e sostegno, come le certificazioni di qualità, le sinergie nella ricerca, le pubblicazioni tecnico-scientifiche, ecc. Non possiamo dilungarci oltre in questo genere di sottolineature poste a evidenziare il fatto che oggi in Italia la manifattura in campo tessile si sia attrezzata di un robusto *plafond* "culturale". Sino a qualche decennio addietro il "*focus*" era incentrato sul processo produttivo in sé e per sé, mentre ora la situazione è evoluta. Si parla infatti di manifattura post-industriale (o nuova manifattura), per la quale il riferimento non è più il solo reparto di fabbricazione, ma il mercato moderno e la capacità di saper cogliere appieno le attese del consumatore, nonché la sapiente efficacia nel comunicare adeguatamente il valore dei propri prodotti, e nel poter cambiare l'offerta degli stessi in modo rapido e organizzato.

Ciò premesso, resta sempre il fatto che i manufatti devono essere di ottima qualità e dunque risulta basilare l'essere in grado di produrre meglio dei concorrenti, e per riuscirci, oltre ai capisaldi di lavorazione descritti nelle tre filiere tecnologiche di base, e ai supporti di servizio sopra indicati, occorre disporre di valide tecnologie di contorno, o di completamento, atte a dare massima funzionalità al sistema produttivo lungo l'intera e complessa *pipeline* di fabbricazione.

#### *Le strutture di servizio tecnico*

Questo tipo di attrezzature, a differenza dei macchinari e impianti precedentemente descritti, non aumentano di 1 metro o di 1 kg la capacità di fabbricazione in filatura, tessitura, lavorazione a maglia e rifinitura di fine linea. Ma nei moderni reparti *fully automated* sarebbe inconcepibile produrre i considerevoli quantitativi di filati, tessuti e capi confezionati che gli impianti sfornano spesso lavorando 24 ore al giorno, 7 giorni alla settimana, senza che i relativi processi non fossero puntualmente, accuratamente e continuamente sotto controllo per verificare la corrispondenza dei risultati rispetto ai *target* prestabiliti.

A parte queste forme insostituibili e tassative di controllo *on line*, le strumentazioni di laboratorio sono funzionali ad altri due principali attività di supporto alla produzione. La prima è di natura "progettuale-preventiva", volta a eseguire prove e campionature in scala ridotta prima di passare alla messa in funzione dei cicli industriali in reparto: tale attività è di speciale rilievo nel laboratorio di tintoria, per la messa a punto delle ricette più convenienti, sia per economia che per qualità dei risultati, e per avere la garanzia della perfetta rispondenza nelle macchine di produzione, secondo il principio ormai irrinunciabile del *right first time*.

Una seconda attività, di importanza non minore, è relativa alla verifica qualitativa delle proprietà e prestazioni ottenute sul manufatto finito per avere la certezza di aver raggiunto gli esiti tecnico-qualitativi ricercati, e poterli quindi certificare al mercato con etichettature, marchi di garanzia, indicazioni per i trattamenti di manutenzione dei capi, ecc..

Tali operazioni di verifica, collaudo, prova e controllo sono eseguite presso centri altamente specializzati, esistenti in Italia nei principali distretti tessili, tra i quali citiamo Textilia (presso la Città Studi di Biella), CentroCot (a Busto Arsizio), Stazione Sperimentale della Seta (a Milano), Tessile di Como (a Como), Tecnotessile (a Prato), e altri minori, come i numerosi laboratori e centri di servizio privati per le prove antinfiamma, ecc..

#### *Le tecnologie anticontraffazione*

Nelle medesime sedi vengono pure sviluppate importanti attività di supporto all'industria tessile italiana nella lotta alla contraffazione, vera e propria piaga con nefaste ricadute sul *business* complessivo e sul buon nome dei marchi più prestigiosi. A integrazione delle iniziative basate su

misure di ordine politico-normativo, esistono infatti anche approcci tecnologici di prevenzione, utilizzando metodi chimici, meccanici, elettronici (RFID), di marchiature visibili e invisibili. I più recenti e sofisticati sono i nuovi sistemi di sicurezza legale basati sulle tecniche seguenti:

- Marcatore *Cypher-Mark*, realizzato applicando molecole di DNA con sequenze-chiave;
- Tecnologia *ValiMark*, che prevede l'uso di pigmenti fluorescenti con frequenze di eccitazione e di emissione all'interno dello spettro visibile.

Altre azioni, meno sofisticate quanto ampiamente collaudate, sono svolte per la lotta alla frode commerciale da istituti creati dalle aziende specializzate di settore. Menzioniamo unicamente in questa sede le attività molto efficacemente svolte dal CCM (Cashmere & Camel Hair Manufacturers Institute), a tutela dell'effettiva qualità dei capi in cashmere e fibre nobili. Tale organismo preleva in mercato manufatti sospetti (per l'identità del produttore, o per prezzi improbabili) e li sottopone ad analisi qualitativa con microscopio a scansione. Alcuni risultati così riscontrati portano alla luce capi presentati come puro cashmere, ma che sono in realtà mischie di lane scadenti con acrilico, viscosa e altri materiali ancora.

Un'organizzazione italiana creata per affrontare il problema della lotta alla contraffazione da un prospettiva intersettoriale e interprofessionale è l'INDICAM (*Istituto di Centromarca per la Lotta alla Contraffazione*), con sede a Milano.

#### *Le tecnologie di salvaguardia ambientale e razionalizzazione dei consumi energetici*

Un'altra serie di attrezzature indispensabili alle lavorazioni tessili di filiera, sebbene non risultano unità capaci di aumentare la produzione quantitativa dei reparti, sono gli impianti di condizionamento e di depurazione delle acque e dei fumi reflui di processo. A differenza delle piccole dotazioni di laboratorio, qui siamo in presenza di attrezzature, a volte imponenti e assai costose sia per l'investimento iniziale che in fase di esercizio. Esse sono assolutamente necessarie, se si parte dalle condizioni tassative per cui in filatura e tessitura si deve operare con temperatura ambientale di 25° C. (+/- 2), e con un tasso di umidità del 75% (+/- 2). Fuori da tali limiti l'efficienza e la qualità della produzione decadono vistosamente, e pertanto i parametri suddetti vanno rispettati rigorosamente, in qualsiasi stagione dell'anno e in qualunque paese.

Discorso analogo riguarda il trattamento di depurazione delle acque, di ovvia e maggiore rilevanza per i reparti di "Nobilitazione" tessile, dove i consumi specifici sono imponenti. Alla luce delle esigenze di recupero, oggi indispensabili per la preoccupante carenza del prezioso liquido, questi impianti sono divenuti sempre più sofisticati e complessi, al pari di quelli per il trattamento dei fumi, funzionali a contenere l'impatto ambientale e il risparmio energetico.

#### *Le tecnologie ICT*

Le tecnologie ICT (*Information & Communication Technology*) sono oggetto di investimenti sempre più importanti nelle imprese tessili, che si prefiggono di operare con sistemi di organizzazione d'eccellenza. Gli imprenditori e i *manager* più attenti e accorti stanno privilegiando l'inserimento in azienda di questa tipologia di risorse informatiche, i cui capisaldi di miglioramento tecnico-gestionale-qualitativo sono ormai stati individuati nel dominio completo del flusso informativo. I dati rilevati su macchine e impianti debbono essere pienamente accessibili in tempo reale a chi ne ha l'autorizzazione per il trattamento, consentendo l'intercettazione immediata delle anomalie, la gestione consapevole degli errori, e la conduzione dei processi con precisione e rapidità. La validità di questi mezzi, veri e propri sistemi, di nuova concezione, per produrre, sta soprattutto nell'architettura del *software* adottato, che deve permettere elevata facilità di dialogo e di integrazione, fino a fornire una efficace sintesi dei principali dati relativi all'andamento della

gestione d'impresa intesa a 360 gradi. L'operatività di queste strutture ERP (*Enterprise Resource Planning*) può essere poi estesa fino a una elevata interattività di coinvolgimento dei fornitori e clienti, questi ultimi messi così in grado di avere accesso alle informazioni (monitoraggio) attinenti all'avanzamento della produzione loro dedicata, o al controllo delle esistenze di magazzino (per i fornitori), sia in Italia che all'estero.

### *Le tecnologie di automazione*

Una certa affinità con questi nuovi mezzi di supporto alla produzione la si trova in un altro campo nel quale, a partire dagli anni '90, l'industria tessile avanzata ha fatto passi da gigante, e precisamente nella specialità della robotizzazione e automazione dei processi. Premettiamo che tali tecnologie di enorme valenza gestionale e qualitativa sono risultate funzionali in particolare nei reparti in cui la manipolazione è riservata a confezioni *standard*, di peso e dimensioni non molto elevate.

Ma se si tratta di *material handling* dedicato a spole, rocche, scatole, oggi esistono impianti (specie in filatura e tintoria) in cui il *robot* preleva il materiale in oggetto dal magazzino, lo trasferisce lungo le macchine di ciclo in reparto, e lo consegna alla sezione di stoccaggio (o di spedizione) senza che vi sia intervento manuale alcuno. Questo offre comprensibili vantaggi in economia di mano d'opera, precisione nell'esecuzione dei processi, sicurezza per gli addetti, garanzia qualitativa dei risultati; tutto avviene sotto controllo computerizzato, con agevole riedizione dei cicli di lavorazione quando occorre.

Vantaggi parimenti rilevanti sono stati ottenuti anche nel settore delle macchine per il confezionamento dei capi, un altro campo applicativo che si presta molto bene all'impiego di sistemi automatici e informatizzati, al punto che numerose società del comparto, allettate negli anni '90 dalle sirene della produzione delocalizzata in Paesi a infimo costo della mano d'opera, sono tornate a produrre "in casa", anche per via degli innumerevoli problemi riscontrati nell'eseguire operazioni delicate di rifinitura con personale scadente.

Oggi i sofisticati sistemi CAD/CAM di specialità, supportati da *software* dedicati progettati "su misura", consentono alle aziende della confezione qualificata di ridurre i tempi e i costi legati alla produzione dei loro raffinati articoli di moda, in un contesto di aggiornamento permanente delle collezioni.

Tali sistemi, strumenti di supporto anche decisionale, definiti di *Product Lifecycle Management*, rendono estremamente affidabili i processi di sviluppo dei nuovi campionari, razionalizzando il ciclo di vita del prodotto, e assicurando una gestione impeccabile grazie alla sincronizzazione e alla tracciabilità del flusso delle informazioni, ottimizzando le modalità operative dell'impresa nel rapporto con fornitori e clienti.

Come avevamo già evidenziato in precedenza riguardo al rientro in Italia di molti filatori che erano andati a produrre all'Est con esiti disastrosi, anche la sezione manifatturiera della confezione *Made in Italy* è in buona parte ritornata, contribuendo indubbiamente alla inattesa rivincita del comparto manifatturiero nazionale, il quale a fine 2007 ha avuto una crescita di circa il 6% dell'*export*.

Questo vale per il manifatturiero in senso lato, ma se si tiene conto che in questo ambito specifico la produzione tessile primeggia in modo indiscusso, non è fuori luogo essere motivatamente ottimisti per il futuro di questa specialità tutta particolare che esalta l'eccellenza del *Made in Italy*.

---

## PARTE TERZA

# IL SISTEMA *DESIGN*

(a cura di Gianfranco Colitti e Carlo Magnoli)

<b>Sintesi e conclusioni .....</b>	<b>51</b>
<b>1. L'Industria italiana del mobile nel panorama internazionale .....</b>	<b>52</b>
<b>2. La struttura produttiva dell'industria italiana del mobile .....</b>	<b>54</b>
<b>3. Globalizzazione e nuove tendenze competitive .....</b>	<b>55</b>
<b>4. Le strategie possibili .....</b>	<b>57</b>
<b>5. Fattori trainanti dell'innovazione .....</b>	<b>59</b>
<b>6. Principali linee di sviluppo innovativo .....</b>	<b>64</b>

## SINTESI

L'industria italiana del mobile-arredamento si conferma come la terza nel mondo per produzione dopo Cina e Stati Uniti; essa conta oltre 36mila imprese, con un'occupazione di circa 330.000 addetti e una produzione di 32,5 miliardi €. A dimostrazione della rinnovata capacità competitiva del settore, le esportazioni nel 2007 hanno superato i 9,5 miliardi € (+5,8% sul 2006). In questi ultimi anni, il settore ha saputo riconquistare significative posizioni competitive sul mercato estero, ma è chiamato a confrontarsi con una produzione internazionale piuttosto agguerrita in grado di erodere quote di mercato anche sul mercato domestico. Il significativo aumento dell'*export* in questi ultimi anni è certamente un segnale positivo, che fa guardare con ottimismo al futuro di questo settore che, tuttavia, deve aumentare la sua capacità competitiva e di penetrazione dei mercati esteri soprattutto quelli extra europei, dove si concentrano ancora oltre i 2/3 delle esportazioni del mobile e arredamento italiano.

Lo scenario internazionale appare quindi estremamente dinamico e vanno emergendo fenomeni totalmente nuovi che indurranno le imprese del settore a rivedere il proprio approccio strategico al mercato.

### *Il lavoro è diviso in due parti*

Nella **prima parte**, si descrive il quadro di riferimento economico e settoriale del mobile italiano, con le sue caratteristiche strutturali (occupazione, dimensioni di impresa, distretti industriali). Si prendono poi in esame le nuove tendenze emergenti della domanda internazionale di mobili e arredamento, mettendone in luce le previsioni fortemente positive a livello mondiale, nel breve e nel medio termine, connesse sia alle tendenze di continua urbanizzazione e sviluppo abitativo, sia di forte crescita delle classi sociali medio alte.

Nella **seconda parte** si prendono in esame i *driver* dell'innovazione sia endogeni (nuovi materiali, nuovi processi, nuove concezioni e funzioni dell'arredamento), sia esogeni (direttive UE) su *ecodesign*, problemi di compatibilità e sostenibilità ambientale, riciclaggio.

## Conclusioni

Le imprese italiane del mobile e arredamento si sono storicamente qualificate come *leader* del mercato mondiale per la componente di *design*, di moda e di qualità dei loro prodotti, per il livello di servizio offerto, per l'estrema flessibilità operativa e di risposta alle esigenze della domanda.

Queste indubbie capacità competitive vanno ora fatte valere su di un mercato globale assai più esteso e dinamico di quello europeo. Nei prossimi anni la domanda mondiale di mobili e arredi sarà in forte crescita e in grado di costituire una grande opportunità di sviluppo del settore nazionale. A tale scopo sarà necessario per le imprese italiane definire nuove strategie competitive che valorizzino le caratteristiche di *design*, di qualità e di creatività delle loro produzioni, dando maggiore attenzione alle opportunità offerte dalle nuove tecnologie utilizzabili nel settore (materiali, ICT).

## 1. L'INDUSTRIA ITALIANA DEL MOBILE NEL PANORAMA INTERNAZIONALE

L'industria italiana del mobile è oggi al terzo posto nel mondo per valore della produzione, dopo Stati Uniti e Cina (Tabella 1). L'Italia è nel mondo il secondo paese esportatore di mobili, con una bilancia commerciale fortemente attiva. Grazie allo sviluppo delle esportazioni, il settore è riuscito a svilupparsi a ritmi superiori a quelli del settore manifatturiero nel suo complesso.

Tabella 1 - Quote % di produzione per Paese su totale mondo (2006)								
USA	Cina	Italia	Germania	Giappone	U.K.	Canada	Francia	India
21,2	17,5	8,0	6,7	4,0	3,4	3,3	3,1	2,8

Il settore del mobile-arredamento ha un ruolo di primo piano nell'industria italiana: esso infatti conta oltre 36mila imprese, con un'occupazione di circa 330.000 addetti. Il fatturato complessivo del settore ha superato nel 2007 i 32,5 miliardi € (+4,5% rispetto al 2006), mentre le esportazioni hanno raggiunto i 9,5 miliardi €. Da segnalare che la componente estera è quella che manifesta il maggior dinamismo: nel 2007 le esportazioni sono infatti aumentate del 3,9%, dopo che nel 2006 erano cresciute del 6,0%. Il mobile italiano inizia ad affacciarsi sui mercati esteri a partire dagli anni Sessanta, in coincidenza con l'avvio delle grandi fiere internazionali (per prima Colonia, in Germania, nel 1960, a cui l'anno successivo si aggiunse il Salone del Mobile di Milano). L'impatto con il mercato internazionale produsse notevoli stimoli positivi sulla produzione nazionale. In un tempo relativamente breve l'industria italiana del mobile è diventata un'industria *leader* nel mondo.

Un ruolo fondamentale per tale successo è stato giocato dai distretti mobiliari, ove sono sorte realtà autonome e complementari: dall'azienda produttrice del mobile finito alla media azienda specializzata nella lavorazione di particolari materiali, dalla piccola azienda artigianale fornitore di specifici componenti o lavorazioni, sino all'artigiano modellista capace di realizzare il prototipo ai produttori di macchine per la lavorazione del legno. Come è noto il modello dei distretti ha consentito all'industria nazionale di crescere e svilupparsi anche in presenza di modeste disponibilità finanziarie e di investimento. Il modello vincente si è basato su alcuni fattori chiave che ne hanno determinato il successo, quali: alta frammentazione del ciclo di produzione tra aziende specializzate ciascuna in poche lavorazioni, ma integrate da accordi di collaborazione produttiva e commerciale; alta diffusione delle innovazioni tecnologiche e gestionali per effetto della contiguità territoriale e circolazione delle conoscenze; alta flessibilità produttiva e capacità di rispondere alle diverse esigenze della domanda internazionale in termini di personalizzazione dei modelli, centralizzazione di alcune funzioni strategiche (laboratori di prova e ricerca, marketing,



promozione) in centri servizi esterni organizzati su base territoriale. Le motivazioni della *leadership* della industria italiana del mobile e arredamento sono quindi da ricercarsi:

- nella componente di *design* dei prodotti, che ha posto la produzione nazionale all'attenzione del mercato mondiale; non a caso molti di questi prodotti sono esposti nei maggiori musei di arte moderna e *design* del mondo;
- nella qualità del prodotto (fatta soprattutto di buone prestazioni in termini di contenuto di moda, finiture ed innovazione di prodotto);
- nel livello di servizio (vasta gamma di prodotti offerti, capacità di adattare e personalizzare le varie produzioni alle esigenze dei consumatori dei singoli mercati, estrema flessibilità nel dimensionamento delle forniture, rapidità delle consegne);
- nel rapporto prezzo/qualità molto competitivo, grazie soprattutto alle economie di distretto (specializzazione, decentramento, competizione fra fattori produttivi ed imprese), alla flessibilità della forza lavoro e ad investimenti in macchinari avanzati.

Come altri settori del *Made in Italy* anche il mobile-arredamento ha recentemente attraversato un momento di difficoltà a causa della sua diminuita capacità competitiva con l'estero. Le esportazioni del settore che nel 2001 erano ammontate a 9,4 miliardi € sono infatti scese fino a 8,5 miliardi nel 2005, per poi risalire fino a 9,6 miliardi nel 2007 (Tabella 2).

<b>Tabella 2 - Mobili e arredamento – Andamento del commercio estero (milioni €)</b>			
<b>Anno</b>	<b>Export</b>	<b>Import</b>	<b>Saldo</b>
2001	9.440	1.051	8.389
2002	9.266	1.066	8.200
2003	8.688	1.105	7.583
2004	8.809	1.291	7.518
2005	8.545	1.453	7.092
2006	9.058	1.684	7.374
2007	9.587	1.899	7.688
<i>Tmac %</i>	+0,3%	+10,4%	

Va anche rilevato il diverso tasso di crescita dell'*export* rispetto all'*import*. Infatti il tasso di sviluppo medio composto è nel periodo 2001-2007 pari allo +0,3% annuo per le esportazioni e pari a +10,4% annuo per le importazioni. Il saldo con l'estero rimane fortemente attivo, ma è diminuito nel periodo dell'8,4%. Siamo quindi in presenza di un settore che, se da un lato ha saputo riconquistare significative posizioni competitive, dall'altro deve confrontarsi con una produzione internazionale piuttosto agguerrita in grado di erodere quote di mercato anche sul mercato domestico. Il significativo aumento dell'*export* in questi ultimi anni è certamente un segnale positivo, che fa guardare con ottimismo al futuro di questo settore; tuttavia, è necessario l'aumento della capacità competitiva e di penetrazione dei mercati esteri, soprattutto quelli extra europei.

Lo scenario internazionale appare infatti estremamente dinamico e vanno emergendo fenomeni totalmente nuovi, come dimostrano i dati relativi ai principali mercati di sbocco delle imprese italiane. Così, se si osserva la struttura delle esportazioni per paese di destinazione vediamo che oltre i 2/3 delle esportazioni del mobile e arredamenti italiano trovano destinazione nei mercati europei (Tabella 3). Ancora su livelli poco significativi si colloca il più grande mercato mondiale, cioè Stati Uniti e Canada, che dovrebbero contare ben di più dell'11,5%. Lo stesso dicasi dei mercati medio orientali e della stessa America centro meridionale che contribuisce con un modestissimo 1%. Anche il mercato giapponese propone una quota assai modesta e non coerente con l'impor-

tanza di quella economia. In questo caso valgono senz'altro le diversità dell'abitare e di concepire lo spazio abitativo e quindi l'arredamento, ma va anche sottolineato che il settore del mobile e dell'arredamento vanta posizioni di leadership anche nei comparti dei mobili per ufficio e per comunità e alberghi. Va infine sottolineato il contributo all'*export* che proviene dal mercato asiatico (4,2% del totale), a tale riguardo non va sottaciuto che il mercato asiatico è l'unico che presenta un saldo *import/export* negativo. Infatti ad un *export* di 356 milioni € si contrappone un *import* di 376 milioni €. Si tratta di un fatto da tenere nella giusta considerazione, perché potrebbe essere il segno dell'emergere di una concorrenza piuttosto agguerrita capace di creare difficoltà sui mercati esteri alla produzione italiana.

<b>Tabella 3 - Esportazioni di Mobili e arredamento per area di destinazione (anno 2005)</b>		
<b>Area geografica</b>	<b>milioni €</b>	<b>%</b>
UE	5.271	61,7
di cui: <i>Francia</i>	1.242	14,5
<i>Germania</i>	1.045	12,2
<i>U.K.</i>	1.110	13,0
<i>Spagna</i>	449	5,3
Altri Europa	1.312	15,4
di cui: <i>Russia</i>	508	5,9
USA + Canada	985	11,5
America centromeridionale	88	1,0
Medio Oriente	282	3,3
Asia	356	4,2
di cui: <i>Giappone</i>	138	1,6
Oceania	87	1,0
Africa	163	1,9
<b>Totale</b>	<b>8.545</b>	<b>100,0</b>

## 2. LA STRUTTURA PRODUTTIVA DELL'INDUSTRIA ITALIANA DEL MOBILE

L'industria italiana del mobile – arredamento, è composta per lo più da imprese di piccola e piccolissima dimensione, come risulta dalla Tabella 4. La modesta dimensione media (5,8 addetti per unità locale) è una caratteristica del settore, dove il numero di medie imprese (da 100 a 199 addetti) è ancora modesto (123 in numero) e altrettanto esiguo è il numero delle imprese di maggiori dimensioni (45 sono infatti le imprese con oltre 200 addetti), in cui trovano occupazione 14.680 addetti pari al 7,01% del totale.

<b>Tabella 4- Struttura produttiva dell'industria italiana del mobile-arredamento (2001)</b>				
	<b>Unità Locali</b>		<b>Addetti</b>	
<b>Classe Addetti</b>	<b>N.</b>	<b>%</b>	<b>N.</b>	<b>%</b>
1-19	33.835	94,55	110.753	52,94
20-49	1.403	3,92	41.214	19,70
50-99	378	1,06	26.118	12,49
100-199	123	0,34	16.423	7,85
200-249	17	0,05	3.645	1,74
250-499	23	0,06	7.831	3,74
500-999	5	0,01	3.204	1,53
<b>Totale</b>	<b>35.784</b>	<b>100,00</b>	<b>209.188</b>	<b>100,00</b>



L'industria del mobile è quindi, come peraltro la grande maggioranza dei settori manifatturieri del *Made in Italy*, caratterizzata dalla prevalenza di piccole e medie imprese, prevalentemente localizzate in alcuni distretti produttivi (Tabella 5): dove operano oltre 15mila aziende, che danno occupazione a oltre 110mila dipendenti diretti, a cui si debbono sommare le imprese di subfornitura, che ruotano attorno a questi nuclei produttivi.

**Tabella 5 - Principali distretti italiani del Mobile-Arredamento**

Località	N. Imprese	Addetti	Comuni	Specializzazione
Brianza	4.600	30.000	Cantù, Desio, Seregno, Lissone	Classico Design
Alto Livenza	1.300	18.000	Brugnera, Prata, Pasiano (PN) Motta di Livenza, Gaiarine, Mansuè (TV)	Cucine Salotti
Forlì	1.000	6.000	Castrocaro, Meldola, Predappio, Bertinoro	Imbottito
Quarrata	200	3.600	Quarrata (Pistoia)	Imbottito
Poggibonsi	1.300	13.000	Poggibonsi, Colle, S. Gimignano, Casole	Cucine
Pesaro	2.000	10.000	Montelabbate, Carboraldo, S. Angelo in Lizzola, Pesaro	Cucine
Teramo/Pescara	350	2.500	Teramo, Atri, Giulianova, Pescara, Tortoreto	Divani Cucine Mobili x ufficio
Matera/Altamura	450	14.000	Matera, Altamura, Santeramo in Colle, Bitonto, Gravina,	Imbottito
Bassano del Grappa	500	n.d.		Mobile d'arte
Bovolone, Cerea (VR)	3.400	n.d.		Mobile classico
Udine	1.200	14.000	Corno di Rosazzo, Manzano, S. Giovanni al Natisone	Sedie e componenti

### 3. GLOBALIZZAZIONE E NUOVE TENDENZE COMPETITIVE

Il processo di apertura e globalizzazione del mercato mondiale sta cambiando radicalmente il paradigma competitivo a cui le imprese hanno fatto riferimento fino a pochi anni fa. Da un lato, abbiamo una domanda interna di mobili che si apre sempre di più alle produzioni estere. Ad esempio, se nel 1997 le importazioni italiane di mobili incidevano per il 20% sulla domanda interna, nel 2006 questa percentuale è salita al 30%. D'altro lato si è assistito ad un vero e proprio *boom* della Cina, che dal 1997 al 2006 ha sestuplicato il consumo interno di mobili, diventando il 2° mercato più grande del mondo, dopo gli Stati Uniti, e ha decuplicato le proprie esportazioni, diventando il primo paese esportatore di mobili ed il 2° produttore mondiale.

Con un'immagine suggestiva, si dice che nel mercato del mobile e arredamento (ma riteniamo che valga anche per molti altri mercati del *Made in Italy*), si è passati da uno scenario che contemplava numerosi mercati più o meno separati e protetti, paragonati a tanti mari interni, ad un unico mercato mondiale: un grande oceano in cui le imprese devono ora navigare: "Dai mari interni al grande oceano". Ma l'immagine dell'oceano non porta solo con sé l'idea della pericolosità e della difficoltà di navigazione, essa induce anche, se non soprattutto, un'immagine di vastità e di dimensione. Le imprese sono quindi di fronte ad un unico enorme mercato in continua crescita

ed evoluzione che propone sempre nuovi spazi e motivi di successo e di sviluppo. Le recenti previsioni sull'evoluzione della domanda mondiale sono infatti straordinariamente positive. Il "mercato dell'abitare", pur suddiviso in mercato immobiliare e mercato dell'arredamento, soffre qualche rallentamento ma gode di una tendenza positiva pluridecennale. A livello globale il settore dell'arredamento non sembra mostrare segnali di crisi: il valore della produzione mondiale annuale di arredi è pari a circa 307 miliardi \$ (CSIL). Il mercato immobiliare è uno dei più solidi e sicuri, soprattutto se analizzato nel lungo periodo.

Il mondo, sia nelle regioni sviluppate sia in quelle ancora in via di sviluppo, sta confrontandosi con una continua urbanizzazione: secondo stime ONU, ogni mese sul pianeta si inurbano circa otto milioni di persone, ovvero ogni quattro settimane viene costruita una "nuova città" delle dimensioni di Londra.

Per portare questi dati su scala italiana, ciò significa che al mondo viene costruita una nuova Milano ogni settimana, e che circa il 15% di tale sviluppo è orientato al mercato di qualità e del lusso.

Parimenti sorprendente è constatare che, sempre su scala globale, la pur generosa offerta di nuovi fabbricati e di nuovi elementi di arredo non riesce a soddisfare pienamente la domanda. La popolazione mondiale tende a crescere ed a inurbarsi sempre più, sostenendo la domanda di nuove costruzioni.

L'Italia non è estranea a questo *trend*, e conosce una crescita continua nel settore dell'edilizia residenziale e per uffici. Tra il 1999 ed il 2005 la crescita del settore delle costruzioni è stata nettamente superiore a quella del PIL: gli investimenti in costruzioni sono aumentati in sette anni complessivamente del 22,9% a fronte di uno sviluppo del PIL dell'8,6%.

La continua crescita dell'edilizia genera strutturalmente una incessante domanda di elementi di arredo e *design*, che si innova qualitativamente - sotto la continua pressione di fattori sociali, demografici, economici, ambientali - potendo utilizzare le opportunità offerte dall'evoluzione delle tecnologie, particolarmente nei settori dei materiali e dell'ICT. Anche un settore apparentemente tradizionale, come quello dell'arredo d'interni, trova la possibilità di aumentare la propria competitività sui mercati internazionali attraverso l'integrazione nei prodotti delle nuove tecnologie. I vantaggi competitivi sembrano favorire sia i produttori, che beneficiano di ottimizzazioni durante la progettazione e produzione, sia gli utenti finali, che godono di una migliore fruibilità degli spazi e di una maggiore operatività domestica.

Si stima che entro il 2018 (tra 10 anni) quasi 4 miliardi di persone entreranno a fare parte della cosiddetta classe media, caratterizzata cioè da reddito medio, continuo e stabile e da un modello di consumo medio-alto. Sempre entro il 2018 si stima che la fascia dei "ricchi", persone cioè che possono vantare una ricchezza finanziaria superiore al milione di \$, sarà composta da oltre 23 milioni di persone, rispetto ai 9 milioni di oggi (+140%), di cui quasi il 50% localizzati nei cosiddetti paesi emergenti. Le imprese italiane del mobile e arredamento si troveranno quindi di fronte ad una domanda quantitativamente in forte espansione, localizzata in paesi non vicini ed in cui operano concorrenti di grandi dimensioni.

Queste considerazioni ci possono far comprendere la gamma di problemi e difficoltà che le imprese italiane del mobile e arredamento si trovano ad affrontare nel momento in cui dalla navigazione di mari interni la globalizzazione le spinge verso le vastità dell'oceano della domanda mondiale, dove si confrontano con imprese dalle dimensioni operative e finanziarie straordinariamente più grandi delle loro.

Per fronteggiare questo nuovo scenario competitivo le imprese italiane hanno tuttavia la possibilità di elaborare una gamma di possibili strategie competitive che valorizzino appieno i loro storici punti di forza basati su: qualità, *design*, immagine, innovatività e flessibilità.

#### 4. LE STRATEGIE POSSIBILI

Le aziende italiane del mobile-arredamento possono:

- essere il punto di riferimento internazionale del gusto, del bello e dell'*Italian style*;
- diventare il centro gravitazionale della cultura internazionale del *design*;
- essere il punto di riferimento e attrazione della produzione di eccellenza.

Qualità, eccellenza e *design* sono quindi i fattori di successo che indubbiamente le imprese italiane già possiedono e intorno a cui dovranno costruire le loro strategie competitive, ciascuna nel quadro della propria storia e dimensione operativa. Le possibili strategie di sviluppo, infatti, debbono tenere conto anche delle dimensioni di impresa.

Ad esempio, le PMI potrebbero costituire una base produttiva flessibile e altamente specializzata riconosciuta da tutti gli operatori internazionali e proporsi così al mercato come *leader* di specifiche nicchie di consumo o come specialisti OEM (*Original Equipment Manufacturer*), che si propongono soprattutto come subfornitori specializzati per le aziende più grandi.

Le imprese di maggiori dimensioni, già detentrici di marchio e di immagine di qualità, potrebbero invece valorizzare questi fattori proponendosi come *leader* del *design* e del lusso alla fasce più evolute di consumatori, investendo su: immagine, *design*, qualità.

##### *Il design come fattore di competitività*

Il primato storico dell'Italia nel *design* è universalmente riconosciuto. Le sue ragioni affondano le radici nella storia del Paese, il più ricco di risorse artistiche del pianeta, e specificamente in una tradizione di rapporto stretto con le arti decorative. Il *design* italiano nasce e si sviluppa in stretta relazione con le caratteristiche della struttura culturale e economica dei sistemi locali in cui il sistema produttivo nazionale tende ad articolarsi nel secondo dopoguerra e poi con maggior vigore a partire dagli anni settanta.

Lo sviluppo e l'identità del *design* nel nostro Paese è indissolubilmente intrecciato con il fenomeno produttivo del *Made in Italy*. Il *design* italiano è in primo luogo *design* del *Made in Italy*. La creatività del *Made in Italy* ha rappresentato dagli anni '60 fino agli anni '90 un'esperienza unica, che ha destato l'ammirazione (e l'imitazione) di tutto il mondo.

Il modello dei distretti nasce e si sviluppa parallelamente al successo delle produzioni del *Made in Italy*, ovvero di beni le cui caratteristiche sono profondamente dipendenti dalla cultura e dalla storia delle comunità locali. Infatti, uno dei tratti tipici della tradizione progettuale nazionale è la grande rilevanza che assumono le competenze e le pratiche innovative informali, stratificate nei localismi produttivi che costellano la geografia del Paese e assimilabili all'attività del *design* per quanto non riconosciute formalmente come tali.

A fianco di un *design palese*, inteso come sistema ufficiale delle attività e competenze che appartengono alla disciplina, opera un *design tacito*, costituito da pratiche e competenze assimilabili all'attività del *design*, pur non essendo riconosciute come tali, e che è storicamente radicato soprattutto nelle comunità locali. Caratteristica di questo modello è appunto il sodalizio che si crea tra progettisti d'avanguardia e imprese, che danno loro la possibilità di sperimentare e di innovare. Uno degli apici di questo modello è indubbiamente il distretto del mobile-arredo lombardo. Il ruolo fondamentale di tale modello è soprattutto quello di avere portato avanti negli anni una tradizione produttiva che ha elevato la conoscenza, il *design* e l'immaterialità a fattori produttivi e competitivi, costituendo, sedimentando e diffondendo un capitale culturale, sociale e relazionale, in grado di fare dell'Italia un sistema capace, oggi, di poter rispondere a una domanda di prodotti che si fa sempre più complessa.

Il *design* è una manifestazione significativa delle forme assunte dall'economia della conoscen-

za, ovvero di un'economia che non solo produce valore grazie all'iniezione di crescenti componenti di sapere scientifico, ma che produce senso: senso del lavoro, senso del consumo, senso dell'assolvimento dei ruoli assegnati dalle istituzioni sociali. Alla costruzione di questo mondo contribuisce un complesso sistema di intelligenza collettiva che si snoda dai singoli *designer* di prodotto alle imprese, dalle comunità professionali a tutti gli spazi in cui si manifestano interrelazioni tra saperi scientifici formalizzati e tradizioni locali. Questi diversi livelli contribuiscono a moltiplicare il valore dei significati associati a un prodotto che, conseguentemente, tende ad accrescere il proprio valore quanto più incorpora elementi immateriali.

Il vantaggio competitivo non è più solo legato a capacità tecniche esclusive, relative al prodotto (materiale) o al processo, ma è sempre più rivolto alla capacità di proporre un'idea, un'immagine estetica, comunicandone i contenuti in termini di stile. In questa logica prima che prodotti o prestazioni materiali si vendono significati, si vende l'*Italian style*. Bisogna, dunque, essere in grado di creare valore con l'estetica, il gusto, la partecipazione emotiva all'esperienza, il racconto, la qualità.

In questo contesto strategico il *design* rappresenta uno degli strumenti, in alcuni casi lo strumento principale, per moltiplicare le *chance* di affermazione del *Made in Italy* nel mondo.

I vantaggi competitivi che la globalizzazione mette in campo sono di importanza decisiva, in tutti i settori (con poche esclusioni), sia per i grandi che per i piccoli produttori. Da un lato entra in gioco la straordinaria ampiezza del mercato globale (di fornitura e di vendita) a cui ci si può riferire quando si guarda a un sistema composto, ormai, da miliardi di persone: un mercato del genere può consentire al produttore di massa di fare i grandi numeri di cui ha bisogno, ma può anche consentire al produttore di media o piccola dimensione, specializzato in una competenza e in un'idea di business molto particolare, di trovare, nel grande mercato, fornitori, distributori e consumatori interessati proprio alla sua differenza distintiva, valorizzando in questo modo il suo vantaggio competitivo specifico nella specializzazione prescelta.

Lo stesso si può dire per il crescente peso che i fattori immateriali (*design*, innovatività, pubblicità, qualità, flessibilità nel servizio al cliente, rapidità di risposta al mercato, ecc.) hanno ormai acquistato nella generazione del valore e del vantaggio competitivo. I produttori che si limitano a svolgere un ruolo manifatturiero, di trasformazione materiale, si trovano stretti in un ruolo insidiato dai produttori dei paesi emergenti.

La manifattura rimane un passaggio importante della *supply chain*, ma il suo apporto al valore complessivamente creato va misurato soprattutto in termini di rapidità e duttilità di risposta rispetto alle sollecitazioni provenienti dalle funzioni immateriali, che interagiscono direttamente col consumo finale e con gli intermediari a valle. Diventano di conseguenza importanti, nella competizione globale, la flessibilità, la creatività e il rapporto tra fornitori e clienti nella *supply chain*: tutte qualità immateriali, che hanno a che fare con le conoscenze incorporate nei prodotti, con le relazioni tra chi produce e chi usa, e con il servizio che l'offerta fornisce alla domanda.

Conoscenze, relazioni, servizi sono risorse immateriali, che hanno una logica di sviluppo del tutto diversa dalla produzione materiale, standardizzata, che oggi è riservata alle *commodities*. Nel campo dell'immateriale, si vende non il prodotto in sé, ma il significato che esso ha in relazione al contesto di chi lo vende e di chi lo usa.

Milano e la Lombardia rappresentano un'area d'eccellenza a livello mondiale, per quanto riguarda le risorse progettuali e i servizi di *design* per le imprese, capace di attrarre risorse e di intrattenere una fitta trama di relazioni con l'esterno, particolarmente a livello internazionale. Resta da dire che molta della sperimentazione e dell'innovazione di *design* generata all'interno del sistema, resta di natura tacita, non registrata. Si tratta di quella parte che riguarda più propriamente la ricerca messa in campo dalle imprese, soprattutto da quelle di piccole dimensioni, se-

condo modalità peculiari che hanno generato in passato il vantaggio competitivo dell'area ed uno dei suoi caratteri distintivi, modello di innovazione studiato e ammirato da ogni parte del mondo. I sistemi distrettuali e i loro meccanismi endogeni di generazione e di scambio di conoscenza hanno prodotto forme interessanti di promozione dell'innovazione a basso tasso di investimento e ad alto ritorno in termini di produttività. Tutto questo tuttavia non basta più di fronte alla rottura degli attuali equilibri della competizione globale. Oggi si richiedono sforzi superiori per sostenere i vantaggi competitivi delle aziende. Il passaggio da forme tacite di ricerca e innovazione a forme esplicite rappresenta il passaggio necessario.

## 5. FATTORI TRAINANTI DELL'INNOVAZIONE

Lo sviluppo tecnologico degli arredi per interni è attualmente sollecitato da numerosi fattori di cambiamento, che determinano importanti processi innovativi di prodotto e processo. I principali fattori da considerare sono indotti sia dall'evoluzione della domanda sia dalle opportunità offerte dalle nuove tecnologie.

I componenti più significativi del processo sembrano essere i seguenti:

- fattori collegati alla domanda:
  - problematiche ambientali e di gestione delle risorse;
  - cambiamento demografico ed evoluzione delle esigenze di spazio abitativo.
- fattori collegati all'offerta:
  - opportunità d'impiego di nuovi materiali;
  - integrazione tra progetto strutturale, architettonico, impiantistico e di arredamento;
  - modularizzazione e prefabbricazione personalizzabile dei componenti (*mass customization*).

### *Problematiche ambientali e di gestione delle risorse*

Il modello di sviluppo prevalente a livello mondiale verso una crescente urbanizzazione sembra comportare mutamenti tipologici degli spazi abitativi, che condizionano il mercato dell'arredamento in relazione alle esigenze di maggiore eco-sostenibilità dei prodotti. Il *design* può contribuire con la costruzione di nuovi prodotti per l'arredamento e l'illuminazione concepiti per ridurre i consumi di risorse, materiali ed energia. Il quadro normativo tendenziale a livello internazionale recepisce queste problematiche e spinge l'industria verso la certificazione di qualità e prestazioni. Il mondo dell'arredo e della progettazione degli interni è dunque chiamato a rispondere ad una sfida già affrontata da altri settori industriali tradizionali: mantenersi sul mercato garantendo a priori "sulla carta" prodotti sicuri, a basso consumo e ridotte emissioni nocive, ovvero di qualità certificata, con garanzia e "libretto di istruzioni", ancor prima di realizzarli.

In sintonia con queste considerazioni generali, le nuove direttive comunitarie prevedono che ogni progetto, sia esso di sviluppo industriale o di prodotto, debba certificare a priori la sostenibilità delle proprie prestazioni, ovvero sia in grado di dichiarare "sulla carta" il soddisfacimento di determinati requisiti prestazionali legati alla sostenibilità e alla eco-compatibilità. Questo orientamento è destinato a determinare profondi mutamenti sulla concezione dei prodotti e sulle tecnologie di produzione.

Così, negli ultimi anni i temi dello sviluppo sostenibile sono venuti a coinvolgere direttamente la progettazione e la produzione di prodotti che consumano energia: l'obiettivo è quello di mantenere un'elevata qualità dell'ambiente riducendo al contempo il consumo di risorse. L'Unione Europea ha inteso in primo luogo rivolgersi alle aziende produttrici e ai progettisti, chiamati a responsabilizzarsi circa le possibili conseguenze negative sull'ambiente determinati nel ciclo di vita dei prodotti da loro progettati. Ogni nuovo prodotto dovrà essere progettato e disegnato



secondo principi guida di sostenibilità identificati da una direttiva, che stimola l'utilizzo di *Eco-design*<sup>1</sup>, proposto come una nuova metodologia progettuale "obbligatoria" per il futuro. I prodotti ad alto consumo energetico saranno gradatamente messi fuori mercato, perché non verranno certificati come "vendibili". La logica è quella di chiedere al *designer* di includere nel *business plan* di progetto il costo di gestione, di manutenzione e di smaltimento in discarica dei prodotti. Sarà dunque necessario progettare l'impatto delle "esternalità negative" come rifiuti, emissioni inquinanti, smaltimento, ecc. - incorporandone i costi nel *business plan* dell'azienda produttrice. Precedentemente gli *standard* da soddisfare erano meramente "prescrittivi", ovvero, per ottemperare alle prescrizioni di legge, era semplicemente necessario soddisfare prescrizioni costruttive precise, che non obbligavano a monitoraggi successivi circa le effettive prestazioni ottenute. Il nuovo contesto normativo vede dunque cambiare gli *standard* da prescrittivi a prestazionali, ovvero in grado di garantire anche il risultato - la effettiva prestazione richiesta - e non semplicemente il processo. Sostanzialmente il nuovo approccio UE<sup>2</sup> si applica anche al settore residenziale e tiene conto delle esternalità negative lungo l'intero ciclo di vita del prodotto (produzione, uso e smaltimento), cioè situazioni nelle quali l'azione di un operatore causa vantaggi o danni ai consumatori e/o ad altri operatori non interessati dalla transazione, senza che per ciò si paghi un prezzo (senza passare attraverso una libera contrattazione di mercato). Le esternalità negative considerate con effetti negativi non programmati, riguardano in particolare quelle legate a consumi energetici e materie prime e agli impatti ambientali. Un esempio delle nuove soluzioni per l'arredo generate dalla necessità/opportunità di valorizzare gli scarti è il caso *Remade in Italy* (Box 1).

**Box 1: Nuove opportunità derivate da approcci innovativi alle problematiche ambientali e alla gestione delle risorse: il Re-Made in Italy (<http://www.remadeinitaly.it>)**

*Remade in Italy* è nato come progetto pilota di Regione Lombardia, coordinato da Cestec, e mirato ad assistere alcune imprese lombarde nello sviluppo di prodotti utilizzando materiale riciclato. Dal 2007, dopo l'adesione del Ministero dell'Ambiente, la partecipazione è aperta a tutte le aziende italiane.

*Remade in Italy* ha come obiettivo principale il supporto alle aziende e ai progettisti nello sviluppo di prodotti a ridotto impatto ambientale e realizzati con materiali di riciclo provenienti da plastica, carta, legno, alluminio, vetro e gomma, promuovendone la commercializzazione verso un pubblico sempre più vasto e attento.

Obiettivi dichiarati:

- individuare nuovi *concept* di progetto e realizzare prodotti d'eccellenza utilizzando materiali riciclati post-consumo;
- divulgare i risultati di progetto a livello internazionale attraverso mostre e convegni;
- coinvolgere il maggior numero di persone;
- organizzare incontri formativi per le imprese sul tema dell'*ecodesign*.

Sono già stati prodotti elementi di design per l'arredamento nati dall'impiego di materiali riciclati (<http://www.ecotool.it/ecodesign/ecodesign.htm>), la cui pubblicizzazione è in atto con mostre e attività internazionali di promozione, al fine di "andare oltre il *Made in Italy*": cioè capovolgere il pensiero comune, secondo cui gli oggetti realizzati con materiale riciclato siano antiestetici e brutti. Questa sfida sta trovando sempre più interesse anche in campo nazionale: dalla prima edizione del 2005 ad oggi, le aziende partecipanti si sono quintuplicate. Parallelamente all'esperienza italiana, l'approccio è stato adottato in altri paesi: così sono nate filiere parallele con oggetti *Remade in Argentina*, *Remade in Chile* e *Remade in Portugal*.

<sup>1</sup>[http://ec.europa.eu/enterprise/eco\\_design/directive\\_2005\\_32.pdf](http://ec.europa.eu/enterprise/eco_design/directive_2005_32.pdf)

<sup>2</sup>[http://ec.europa.eu/energy/efficiency/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/energy/efficiency/index_en.htm)

### *Cambiamento demografico ed evoluzione delle esigenze dello spazio abitativo*

L'analisi dell'evoluzione dell'arredamento implica la necessità di una riflessione sull'evoluzione sociale in atto e futura. Sia pur in maniera concisa, sembra necessario utilizzare un approccio interdisciplinare, che coinvolga alcuni aspetti sociologici e i principali dati demografici, destinati ad influenzare i futuri sviluppi del mercato dell'abitare.

Un fenomeno tipico delle società contemporanea è la costante crescita delle famiglie mononucleari. A Milano, ad esempio, una famiglia su due è costituita da un'unica persona, un residente su quattro vive solo e si registra un continuo aumento dei *single* tra i 25 e i 40 anni. I cosiddetti *single* costituiscono una importante quota di mercato, a cui l'industria di ogni settore sta indirizzando sempre più attenzione.

Quali sono le relazioni tra le nuove tipologie abitative emergenti e l'arredo? L'impatto principale, legato alla riduzione dello spazio disponibile nelle residenze, è che il *consumatore* richiede spazi *multifunzionali* anziché - come un tempo - *monofunzionali* (cioè destinati ciascuno ad un singolo uso).

Si pensi ad esempio alle trasformazioni spaziali che ha subito l'appartamento "tipo": dall'abitazione anni '70 costituita da molti piccoli vani ciascuno dei quali destinato ad un uso specifico (la cucina, la sala da pranzo, il salotto, ecc.) e separati da un lungo corridoio, si è passati ad una unica zona giorno, aperta ad una promiscuità di usi e pertanto potenzialmente di superficie più contenuta: si genera così una forte richiesta di elementi di arredo multifunzionali e multiuso. A titolo di esempio, il caso della cucina è illustrato nel Box 2.

#### **Box 2: La cucina: da "servizio" a elemento di arredamento**

La cucina, luogo "privato" e inaccessibile agli ospiti sino agli anni '80, è oggi un luogo di socializzazione, inserito negli spazi "pubblici" della casa, ovvero accessibili ai visitatori esterni. Per ragioni di costi e di differente stile di vita, la vita contemporanea destina sempre meno tempo alle attività svolte all'interno delle mura domestiche: l'abitazione sta diventando più "albergo" che "casa". Le mura domestiche sono più abitate durante le fasce orarie notturne, si socializza meno, si cucina meno.

Uno degli aspetti "fisici" di questo mutato comportamento sociale è rappresentato dalla cucina, che sino alla seconda metà del XX secolo era rigidamente separata e chiusa, mentre oggi è sempre più spesso integrata nelle zone giorno, ed è divenuta il vero luogo di socializzazione.

Il mercato del *design* e dell'arredamento sta rispondendo alle nuove mutate esigenze, proponendo sia cucine a vista, firmate, di cui farsi vanto, ovvero fortemente connotate da *design* di qualità, sia cucine integrate nel mobilio della zona giorno, a scomparsa. In entrambi i casi la cucina è parte della zona giorno, visibile agli ospiti. Non è dunque più un luogo "privato", chiuso e separato dal resto dell'abitazione.

L'ambiente domestico del futuro sarà caratterizzato da una fruizione dello spazio più flessibile con una crescente capacità di comunicazione tra gli oggetti contenuti nella casa e lo spazio circostante, conseguibile grazie alle potenzialità delle nuove piattaforme ICT.

### *Opportunità d'impiego di nuovi materiali*

L'innovazione nel campo dei materiali rappresenta un'opportunità di grande importanza per offrire al progettista d'arredi una alta flessibilità e una possibilità di differenziazione dei prodotti:



la ricerca di soluzioni tecniche d'avanguardia e di alta qualità, elemento essenziale per la competitività del *Made in Italy* dalle produzioni concorrenti dei paesi emergenti.

Inoltre, i materiali giocheranno un ruolo fondamentale nella sfida all'eco-compatibilità, che pone nuovi vincoli alla scelta dei materiali per l'arredamento, in parte anche tra loro contrastanti:

- utilizzazione di materiali riciclati e riciclabili;
- omomatericità per elementi di assemblaggio del prodotto al fine di agevolarne lo smaltimento;
- separabilità dei diversi materiali componenti l'oggetto.

I materiali compositi progettati specificamente per utilizzi mirati stanno rivelandosi potenziali *killer application* nel mercato globale: così come la tecnologia fotografica digitale si è rivelata essere una “*killer application*” rispetto al mercato tradizionale di rullini e stampe di fotografie e diapositive, alcuni materiali compositi stanno prepotentemente occupando alcuni settori.

Ad esempio il materiale polimerico Corian a base acrilica con tri-idrato di alluminio addizionato, prodotto da DuPont ([www.corian.it](http://www.corian.it)), è sempre più impiegato negli ambienti domestici, in quanto leggero e versatile pur essendo molto resistente e durevole: ad esempio, sta sostituendo tutti i piani cucina precedentemente realizzati in formica o laminato, andando ad erodere anche il mercato del marmo e del granito.

Un altro esempio è fornito da un materiale costituito da un pannello *sandwich* metallico (realizzato con una lamiera grecata di alluminio, sopra e sotto la quale sono incollate due lastre di alluminio) rivestibile con finiture personalizzabili ed utilizzabile nel campo dell'arredamento e della progettazione degli interni. Il pannello, chiamato Doluflex ([www.doluflex.it](http://www.doluflex.it)) e prodotto dalla Donati Group, consente molteplici usi, perché con un unico pannello si ottengono più prestazioni: strutturali, estetiche e legate alla maneggevolezza dovuta al minimo peso. La produzione di elementi di arredamento in Doluflex viene realizzata con Macchine a Controllo Numerico (CNC), che consentono di “snervare” la faccia interna del laminato, incidendo il disegno a richiesta, potenzialmente diverso volta per volta quindi personalizzabile, ma con costi da produzione industriale, perché semplicemente collegati al tempo di lavoro della macchina. La procedura realizzativa è piuttosto semplice: una volta incisa una faccia, esattamente come si realizzano un cubo o volumi complessi con un cartoncino, il pannello viene piegato tre volte e incollato sul quarto bordo, ottenendo forme conseguenti al disegno delle linee di taglio e un volume di metallo che mima l'unicità materia del pezzo unico, esteticamente quindi pregevole, perché senza giunture, ma al contempo estremamente leggero.

Quali sviluppi futuri si possono prefigurare per il mercato di tale tecnologia o di tecnologie analoghe? L'automobile è già dotata di sedili riscaldati: possiamo immaginare una casa riscaldata e raffrescata grazie all'arredamento o ai sistemi arredanti delle partizioni interne? L'automobile ha un interno in cui sono integrati molteplici sensori legati all'ITC o ai sistemi di gestione automatica: così alcuni sensori controllano la sicurezza ed attivano gli *airbags*, l'ABS controlla e dosa le frenate, ovvero previene le conseguenze di comportamenti errati. È possibile pensare ad un tale livello di integrazione nell'abitazione?

È già dimostrato che, ad esempio, il pannello in questione può essere “attivato”, ovvero all'interno della grecatura del *sandwich* possono essere pre-collocati tubi in rame, che consentono di realizzare controsoffitti o pareti radianti, inglobando nella tecnologia costruttiva anche il riscaldamento e il raffrescamento. Su tale pannello, che è strutturalmente portante e può fungere da pavimento o parete, possono essere incollate le finiture come marmo e legno, nello spessore dell'elemento possono essere collocati impianti elettrici e di illuminazione. Il prodotto descritto ed utilizzato, a titolo di esempio, appartiene ad un ambito di tecnologie già in uso, che hanno una

forte aspettativa di impiego nel mercato del *design* del futuro, permettendo di integrare più tecnologie in un unico prodotto (pareti, arredamento, impianto idraulico e impianto elettrico), multifunzionalità, e consentono anche grazie alla leggerezza ed alla versatilità di riconfigurare gli spazi interni come richiesto dalla domanda futura di ambienti interni. Tali tecnologie sono già utilizzate per realizzare interni di navi, di treni, e arredamenti a misura (il Museo del *Design* recentemente inaugurato in Triennale a Milano ha elementi di arredo realizzati con tale tecnologia).

L'arredamento, tramite l'incorporazione di tecnologie provenienti da altri settori, offre dunque enormi potenzialità di fagocitare ambiti di mercato di altri settori (ad esempio l'impiantistica). Si potrà forse "costruire" il *comfort* della casa, ribaltando il flusso dell'attuale filiera di mercato: dalla casa che determina l'arredamento all'arredamento che "amplia" e riconfigura la casa.

#### *Integrazione tra progetto strutturale, architettonico, impiantistico e di arredamento*

Gli osservatori del settore dell'arredamento individuano un percorso emergente per la progressiva "post-industrializzazione" del settore dell'arredamento, mirata alla personalizzazione del prodotto ed alla eco-certificazione, con l'obiettivo di realizzare prodotti di qualità certificata con consumi energetici certi e contenuti. Uno dei momenti critici nel processo progettuale dei componenti di arredamento è l'interazione con il progetto architettonico. Troppo spesso i due progetti sono sviluppati in fasi diverse e non risultano essere complementari. Sembra evidente l'orientamento verso una completa integrazione tra progetto strutturale, architettonico, impiantistico con il progetto di arredamento. Grandi imprese specializzate nell'arredamento di *design* a basso costo (ad esempio, IKEA) stanno manifestando interesse verso il mondo della progettazione digitale, mirata a simulare e verificare con un processo *software* tutte le fasi di progettazione, modularizzazione, produzione, assemblaggio, dis-assemblaggio, recupero dei materiali e ricomercializzazione degli stessi.

La progettazione e la produzione digitali offrono un ulteriore enorme vantaggio: la produzione "in serie", quindi a basso costo, di elementi "su misura", ovvero personalizzabili e di alta qualità. Ripetitività estetica e bassa qualità non avevano sinora permesso al settore dell'arredamento a basso costo di entrare nel mondo del *design*. La prefabbricazione tradizionale si è sempre avvalsa di processi di produzione "di massa", offrendo componenti standard simili tra loro e per questo a basso costo. La produzione digitale consente invece di "stampare" in tre dimensioni un file digitale, ovvero di produrre un pezzo speciale a costo di produzione di massa.

Il mondo digitale, che gioca già un ruolo fondamentale nella progettazione dei mezzi di trasporto -aeromobili, autoveicoli, imbarcazioni - sta gradatamente "contaminando" tutte le fasi della vita di un prodotto di *design*. Le fasi cruciali sembrano essere tre:

- la progettazione digitale: da tempo gli studi di progettazione usano sofisticati computer per disegnare in digitale, simulare le prestazioni con prototipi digitali, e spesso i disegni esecutivi vengono scambiati in formato elettronico;
- la produzione digitale con Macchine a Controllo Numerico (CNC), che consentono già oggi nel settore dell'arredamento di superare i limiti della prefabbricazione tradizionale, perché permettono di produrre su richiesta componenti e strutture speciali per le costruzioni, a costi industriali;
- la gestione digitale, che consente un maggior grado di automazione e domotica.

Tali nuovi processi "industrializzanti" aiutano a produrre, a costi industriali, ovvero di produzione di massa, elementi sempre più complessi su misura come arredamenti, rivestimenti, impianti, ambienti con forme e materiali personalizzabili. Da poco più di un decennio nella "filiera produttiva" dell'arredamento è iniziata la produzione industriale di componenti speciali, ovvero è

già iniziata una spontanea “post-industrializzazione di processo”. Come in un sistema bus, che si avvale di una struttura portante che funge da spina dorsale, a cui collegare i moduli, suscettibili di innovazione modulare, così il mobile diventa suscettibile di implementazioni successive. Si rende allora necessaria la perfetta integrazione tra il progetto d’arredo e il progetto impiantistico.

#### *Modularizzazione dei componenti*

La possibilità di gestire l’elemento d’arredo come un sistema modulare complesso, oltre a fornire la massima personalizzazione, consente di tenere sotto controllo aspetti molto importanti, quali il ciclo di vita e il dis-assemblaggio degli elementi, in linea con le richieste dell’*Ecodesign*. Questo approccio, da un lato consente, infatti, di calibrare la vita dei componenti in relazione alla loro funzione ed al loro grado di obsolescenza, analizzando i materiali, il loro grado di riciclabilità, e il loro deperimento; dall’altro, impone una maggior attenzione verso la progettazione del sistema in elementi finiti facilmente scomponibili, mirati, secondo quanto previsto dalla futura normativa comunitaria, al dis-assemblaggio di componenti con i seguenti obiettivi:

- la manutenzione;
- la sostituzione;
- il riutilizzo in nuovi prodotti;
- il riciclo di materiali eterogenei;
- il riciclo differenziato di diverse tipologie di materiale;
- la bonifica dopo la dismissione;
- la fase di pre-trattamento dei prodotti.

## **6. PRINCIPALI LINEE DI SVILUPPO INNOVATIVO**

Alcune delle principali linee di sviluppo tecnologico innovativo emergenti nel settore dell’arredamento sono orientate verso:

- l’integrazione di elementi cinetici e interattivi;
- la multifunzionalità;
- l’integrazione con l’elettronica e l’informatica.

#### *Elementi cinetici e interattivi*

Il mobile diviene un elemento “risolutore” dello spazio, e vi riesce grazie alla multifunzionalità. A titolo di esempio, si pensi alla poltrona di prima classe di un aeroplano: è sedia per il *relax*, che offre massaggi e intrattenimento interattivo con TV e radio, luogo di lavoro con spazio scrivania, è letto comodo ed è anche luogo confortevole con spazio adeguato dove consumare i pasti. La multifunzionalità è garantita dall’integrazione di funzioni cinetiche, ovvero dalla possibilità di modificare la forma dell’oggetto a seconda delle diverse esigenze durante la giornata.

Estendendo questo concetto all’intero settore dell’arredamento, il mobile dunque si potrà e dovrà adattare alle esigenze dell’utente, modificandosi e trasformandosi di volta in volta: la cucina cineticamente scompare e diviene un piano di appoggio nella zona giorno, il letto diviene in maniera automatica, a seconda delle ore del giorno, divano o zona *relax* grazie ad automatismi silenziosi e meccanizzati, la zona pranzo diviene zona ufficio, ecc..

Il cambiamento di forma e funzione avviene grazie a automazioni legate alle tecnologie ICT, regolato da *software* domotici, che si autoregolano a seconda del contesto e delle necessità dirette dell’utente. I problemi da superare in questo campo sono notevoli ed innumerevoli: primo tra tutti la difficoltà di utilizzare motori meccanici per le automazioni, che siano silenziosi e compatibili con i minimi livelli di rumorosità richiesti in ambiente domestico. Altri problemi sono relativi alla

manutenzione delle parti meccanizzate, che sono generalmente fragili e pesanti da movimentare. Alcune tecnologie hanno iniziato a rispondere a questi problemi, tra cui materiali leggeri e resistenti, automatismi silenziati con cuscinetti in materiale plastico, impianti BUS monocavo, che occupano meno spazio e sono riprogrammabili senza smontare l'intero sistema.

### *La multifunzionalità*

Il mobile del futuro dovrà essere flessibile e personalizzabile. Le tecnologie attuali - elettronica, simulazione digitale, nuovi materiali, nuovi sistemi di produzione - sono in grado di rispondere alla richiesta di modularità del *design*. Questo approccio è già ben sfruttato, per esempio, nel mondo dei computer o delle automobili, in grado di offrire prodotti personalizzati e personalizzabili in base non solo ai gusti dell'utilizzatore, ma anche alle diverse necessità ed esperienze d'uso. La modularità formale è dunque prodroma di quella funzionale: a titolo di esempio, si pensi che le nuove tecnologie hanno portato il telefono cellulare a soppiantare in poco tempo il mercato della fotografia digitale e dei lettori MP3, fagocitandone le funzioni. Ora addirittura esistono cellulari in cui l'utente stesso sceglie quale gadget montare in base alle proprie preferenze: se il cellulare tuttotfare è troppo costoso, l'utente può scegliere, in base alle sue esigenze, quale modulo aggiungere al corpo principale, grande quanto una carta di credito.

Questo approccio è già in uso nel settore dell'arredamento, dove elementi di arredo sono concepiti con modularità di fabbricazione, che consentono l'acquisto in fasi temporali successive e una riconfigurazione potenziale costante. IKEA, ad esempio, utilizza questi criteri per i divani, per le armadiature e le scaffalature, per i sistemi di illuminazione e per le cucine. Anche nella fascia alta del mercato alcuni produttori di cucine realizzano elementi, che possono essere impiegati singolarmente (stand alone) o assemblati. Spesso, come nel caso di prodotti di Merloni, Indesit, Stratocucine, i componenti sono dotati di automazioni e interfacce *touch screen* (*wired* e *wireless*) da coordinare in automatico con l'impianto elettrico (citofono, luci, ecc.) e idraulico (regolazione della temperatura). I prodotti arredanti vengono dunque messi in rete con l'ambiente domestico volta per volta, e in caso un prodotto sia integrato successivamente (come un piano di lavoro aggiunto successivamente ad una cucina), anche i sistemi digitali si allacciano a creare la rete interna "*intranet*" ICT. Come in un robot da cucina, dove l'utilizzatore sceglie cosa innestare a seconda dell'utilizzo, così il mobile d'arredo potrà essere in grado di poter essere implementato, non solo nella forma, ma anche nella funzione. È possibile prefigurare uno scenario futuro attraverso la descrizione di prototipi già realizzati:

- il piano cucina si apre solo quando necessario, e quando si chiude si autopulisce;
- il medesimo piano cucina può essere orientabile e può diventare un *touch screen* attraverso cui ordinare la spesa via internet;
- gli sgabelli spariscono nella struttura, che diventa schermo TV;
- la gamba del tavolo ospita il lettore CD.

### *L'integrazione con l'elettronica e l'informatica*

La perfetta integrazione tra i componenti dell'arredamento può svilupparsi su due livelli di interattività: l'interazione *macchina - macchina*, e l'interazione *macchina - uomo*.

Con il termine *interazione macchina - macchina* si intende, per esempio, la capacità di sfruttare gli "sprechi energetici" di un elemento per recuperarli in un altro contesto. Ad esempio, nella *Greenkitchen* della Whirlpool l'aria calda generata dal compressore del frigorifero viene utilizzata per scaldare l'acqua contenuta in un apposito serbatoio, che viene poi utilizzata dalla lavastoviglie. Il tutto al fine di ridurre i consumi energetici complessivi, a vantaggio dell'ambiente e dei costi per l'utente.

L'interazione macchina - uomo sviluppa appieno il tema dell'interattività, che sembra necessaria in virtù della contrazione spazio-temporale, cui è soggetta la società contemporanea: infatti, lo stile di vita e le esigenze dell'economia moderna hanno ridotto gli spazi e accorciato i tempi disponibili per le diverse attività umane. L'elemento d'arredo dunque può aiutare a risolvere queste criticità: non è più solo arredo, ma si pone al servizio dell'utente, comunica con l'utente, si auto-monitora, gli dice quanto consuma e regola i propri consumi. Ciò è reso possibile principalmente dalla possibilità di utilizzare collegamenti ad alta velocità (fibra ottica) con internet: l'arredo può essere in rete "esterna" - e non solo collegato alla rete interna "intranet" degli impianti, come descritto precedentemente. Gli elettrodomestici sembrano essere gli oggetti di *design* più prони all'interazione, come indicano i seguenti esempi:

- Il frigorifero che fa la spesa da solo, grazie ad un *touch screen*, su cui si registrano le priorità di prodotti necessari all'interno del frigo e ad una telecamera incorporata nel frigo che rileva quale dei prodotti ritenuti imprescindibili (come acqua, latte, frutta, verdura, carne, formaggio, ecc.) dall'utente manchino e quindi li ordina automaticamente al vicino supermercato via internet. I prodotti vengono consegnati al piano dal servizio clienti del supermercato: ciò consente all'utente di ridurre il tempo dedicato agli approvvigionamenti "base", e quindi di dedicarsi solo all'acquisto di alimentari "di corredo", scelti a seconda delle esigenze peculiari volta per volta.
- La lavatrice che si carica da sola dal cesto biancheria, separando automaticamente i capi per colore, e quindi seleziona il programma, la durata e la temperatura di lavaggio a seconda della natura del tessuto grazie a sensori incorporati.
- Il tavolo reattivo, che capisce dal comportamento degli utenti quale reazione reimpostata attuare. Per esempio, se al mattino appoggia tazze del caffè e biscotti sul piano, il tavolo invia un segnale, che apre automaticamente gli scuri delle finestre, ecc.. Ciò consente di beneficiare dei vantaggi dell'automazione in maniera personalizzata, ora per ora: non è necessario fare colazione ad una ora specifica. Il tavolo interattivo si comporta come un enorme *touch screen*, grazie alla tecnologia della retroproiezione, che consente non solo di interpretare il comportamento degli utenti, ma anche di fornire il giornale al mattino da leggere durante la colazione, di azionare gli impianti, alzare o abbassare la temperatura dei locali, gestire una video-conferenza (sul modello di *Skype*), accendere il riscaldamento dell'appartamento per il *week end* in remoto prima di partire, ecc.

---

PARTE QUARTA

# L'ILLUMINOTECNICA

(a cura di Gianfranco Colitti e Filippo Cannata)

<b>Sintesi e conclusioni</b> .....	67
<b>1. Quadro di riferimento</b> .....	68
1.1 Il quadro internazionale .....	68
1.2 Il quadro italiano .....	69
<b>2. Energia e illuminazione</b> .....	73
<b>3. Driver dell'innovazione</b> .....	75
3.1 Risparmio energetico e problematiche ambientali .....	75
3.2 Tendenze della domanda: progettazione integrata e <i>lighting design</i> .....	76
3.3 Il <i>Lighting Designer</i> .....	77
<b>4. Innovazione e Lighting</b> .....	78
4.1 Il futuro della luce .....	78
4.2 Le sorgenti luminose .....	78
4.2.1 Le lampade ad incandescenza e alogene .....	79
4.2.2 I LED .....	80
4.2.3 Gli OLED .....	82
4.2.4 Nuove lampade fluorescenti con ausiliari elettronici .....	83
4.2.5 Lampade ad alogenuri metallici di nuova generazione con bruciatore ceramico ed accenditore elettronico .....	83
4.3 I sistemi di controllo .....	84
4.4 Gli apparecchi illuminanti .....	86
<b>Bibliografia</b> .....	87

## SINTESI

Nel mercato globale degli apparecchi di illuminazione l'Italia è il secondo paese esportatore con una quota dell'11% e un tasso di crescita dell'8% annuo circa. La produzione italiana ha raggiunto nel 2006 i 2,2 miliardi di €, di cui il 54% esportati. Nel settore nazionale degli apparecchi per illuminazione operano circa 500 imprese con un'occupazione complessiva stimata al 2006 in 8.300 addetti. L'industria italiana è sostanzialmente assente nella produzione di sorgenti luminose, che è il comparto, dominato da imprese multinazionali, dove più dinamico è lo sviluppo tecnologico. Le imprese italiane operano invece nel settore degli apparecchi di illuminazione: i *leader* del mercato dispongono di propri centri di sviluppo e si dedicano alla applicazione di nuove sorgenti luminose ai propri prodotti, in un contesto di elevata caratterizzazione del manufatto sui contenuti estetici e di *design*.

*Il lavoro è diviso in tre parti*

Nella **prima parte**, si descrive il quadro di riferimento economico e settoriale degli apparecchi di illuminazione italiani.



La **seconda parte** prende in esame i *driver* dell'innovazione, con particolare riferimento a due recenti direttive UE che introducono la nuova metodologia progettuale *Ecodesign* finalizzata al risparmio energetico e alla salvaguardia ambientale, al riciclo e allo smontaggio, che si applica anche agli apparecchi di illuminazione (*design for assembly and disassembly*). A tale proposito va ricordato che i nuovi corpi illuminanti introdotti recentemente propongono notevoli problemi nella fase di riciclo, in quanto molti di essi contengono componenti nocivi per la salute.

Anche per l'illuminazione si sta sviluppando una nuova cultura progettuale attenta e coerente con i principi della sostenibilità, orientata verso:

- la riduzione dell'uso di energia elettrica necessaria;
- il miglioramento delle tecniche di gestione e controllo dei sistemi di illuminazione;
- i piani di manutenzione che tengono conto del problema dello smaltimento;
- l'utilizzazione di materiali riciclati o riciclabili;
- la gestione razionale dei periodi di accensione-spegnimento (in particolare nell'illuminazione urbana);
- la valorizzazione della luce naturale.

Nella **terza parte** il rapporto prende in esame le tendenze della domanda, la progettazione integrata e il *lighting design*, passando in rassegna le più recenti innovazioni introdotte nei corpi illuminanti descrivendone le caratteristiche essenziali, e l'impatto sulle soluzioni tecnologiche per l'illuminazione.

## Conclusioni

L'illuminazione non è considerata più come un complemento immobile, ma è diventata parte integrante dell'architettura e del *design*, per la sua capacità di mutare l'atmosfera degli ambienti. La nostra epoca è caratterizzata da una crescente sensibilità e attenzione per un uso più consapevole dell'ambiente e delle risorse naturali secondo una nuova concezione di sviluppo "sostenibile", che influenza direttamente lo sviluppo tecnologico del settore. Emerge quindi la nuova figura del lighting designer, o progettista della luce, per il quale sarebbe tuttavia necessario un maggiore impegno in fase di formazione. Le nuove sorgenti luminose applicate ai vari settori dell'illuminotecnica (ad esempio, illuminazione pubblica, illuminazione per uffici) possono già contribuire sensibilmente al risparmio energetico, a parità di illuminazione.

## 1. QUADRO DI RIFERIMENTO

Il sistema industriale illuminotecnico è articolato in tre aree: gli apparecchi di illuminazione, le sorgenti luminose, i sistemi di controllo. In considerazione del fatto che l'industria italiana è presente soltanto nel comparto degli apparecchi, a questi viene dedicato il quadro di riferimento internazionale e nazionale del settore.

### 1.1 Il quadro internazionale

Nel mercato globale degli apparecchi di illuminazione (lampade da soffitto, da muro, da tavolo) quattro paesi, Cina, Italia, Messico e Germania, coprono il 57% delle esportazioni mondiali, per un totale, nel 2005, di oltre 4.650 milioni \$. La Cina è il primo paese esportatore con una quota di circa il 27% e con un tasso di sviluppo delle esportazioni nel periodo 2001-2005 vicino al 10% annuo, mentre l'Italia costituisce il secondo paese esportatore con una quota di circa l'11% e con un tasso di crescita di circa l'8% annuo.



Il 48% delle importazioni mondiali è concentrato in quattro paesi: USA con il 29,5%, Germania con l'8,2%, Francia con il 5,4% e Regno Unito con il 4,9%. Il mercato giapponese invece occupa una quota di mercato alquanto modesta (2,5%). In sintesi, il mercato mondiale degli apparecchi di illuminazione è, a oggi, dominato, sia per la domanda che per l'offerta da un limitato gruppo di paesi.

## 1.2 Il quadro italiano

La Tabella 1 elenca in maniera sintetica i dati essenziali relativi all'andamento economico del settore degli apparecchi per illuminazione in Italia nel triennio 2004-2006.

<b>Tabella 1 - Apparecchi per illuminazione – Produzione, Import-Export (milioni €) (Fonte: Databank)</b>				
	<b>2004</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>	<b>Var % 05/06</b>
Produzione	1.915	2.000	2.195	+9,7
Import	251	274	298	+8,8
Export	979	1.052	1.185	+12,6
Domanda interna.	1.187	1.222	1.308	+7,0
Export/Produzione	51,1%	52,6%	54,0%	-
Import/Dom. int.	21,1%	22,4%	22,8%	-

### *La produzione*

Il settore italiano degli apparecchi di illuminazione ha mostrato nel 2006 un andamento decisamente positivo, con un incremento del fatturato del 9,7%. La produzione venduta è stimata in 2.195 milioni €, di cui 95 milioni rappresentano la quota di produzione realizzata all'estero. L'incidenza della produzione de-localizzata è dunque ancora modesta, circa 4%, ma in forte crescita rispetto al 2005 (+25%). Le esportazioni nel 2006 sono aumentate del 12,6% rispetto all'anno precedente, a fronte di un tasso di sviluppo di medio termine del 5-6%, confermando una crescita costante della loro quota sulla produzione (54% nel 2006 contro il 21% nel 2002). Anche le importazioni mostrano un incremento, seppure inferiore rispetto alle esportazioni, con un'incidenza sulla domanda interna nel 2006 al 22,8%, contro il 20,2% del 2002.

Gli apparecchi per illuminazione sono suddivisi in quattro comparti di prodotti (Tabella 2):

- apparecchi per interni: per abitazioni, uffici, stabilimenti industriali, magazzini, centri commerciali, ecc.;
- apparecchi per esterni: per aree stradali, autostrade, gallerie, parcheggi, parchi pubblici, impianti sportivi ecc.;
- apparecchi per illuminazione di emergenza destinati ad una funzione di sicurezza e/o di riserva;
- apparecchi per illuminazione scenografica: spettacoli, concerti ed eventi sia al chiuso che all'aperto.

<b>Tabella 2 - Apparecchi per illuminazione – Produzione per comparti; valore in milioni € e composizione % (Fonte: Databank)</b>							
	<b>2004</b>		<b>2005</b>		<b>2006</b>		<b>Var% 05/06</b>
	<b>Valore</b>	<b>%</b>	<b>Valore</b>	<b>%</b>	<b>Valore</b>	<b>%</b>	
Apparecchi per interni	1.201,0	63,0	1.282,0	64,1	1.425,0	64,9	+11,2
Apparecchi per esterni	439,0	22,6	442,0	22,1	480,0	21,9	+8,6
Apparecchi per illuminazione di emergenza	116,5	6,1	115,0	5,8	113,5	5,2	-1,3
Apparecchi per illuminazione scenografica	158,5	8,3	161,0	8,1	176,5	8,0	+9,6
<b>TOTALE</b>	<b>1.915,0</b>	<b>100,0</b>	<b>2.000,0</b>	<b>100,0</b>	<b>2.195,0</b>	<b>100,0</b>	<b>+9,7</b>

Il comparto degli *apparecchi per interni* si qualifica sia come il comparto di maggiore dimensione, sia come quello più dinamico. Rappresenta infatti quasi il 65% della produzione complessiva dell'intero settore e manifesta un tasso di crescita superiore alla media del settore. Per contro il comparto degli *apparecchi per illuminazione di emergenza*, che rappresenta anche il comparto più modesto, mostra un *trend* della produzione negativo nel triennio 2004-2006 passando da una quota del 6,1 a una del 5,2 del totale del settore.

Il comparto degli *apparecchi per illuminazione scenografica*, nonostante abbia registrato nel 2006 un sensibile sviluppo della produzione (+9,6% rispetto al 2005), ha visto ridurre all'8% il proprio peso sul totale della produzione del settore.

#### *Il commercio estero*

Il comparto degli *apparecchi per interni* si conferma anche nel commercio estero come quello più dinamico. La Tabella 3 evidenzia come le esportazioni, in questo ramo siano cresciute nel 2006 del 12,9%, con un valore di 811 milioni €, rappresentando così il 68,4% delle esportazioni totali del settore. Significativa è anche la crescita dell'*export* evidenziato dal comparto degli *apparecchi per illuminazione scenografica* con un incremento del 18,9%, mentre quello degli *apparecchi per illuminazione di emergenza* mostra sia un contenuto sviluppo delle esportazioni (+4,8%) sia una diminuzione delle importazioni (-1,1%).

<b>Tabella 3 - Apparecchi per illuminazione – Import-Export per comparti (milioni €)</b>				
	<b>2004</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>	<b>Var % 05/06</b>
<b>IMPORTAZIONI</b>				
- Apparecchi per interni	137,0	151,5	168,0	+10,9
- Apparecchi per esterni	64,5	69,0	71,0	+0,9
- Apparecchi per illuminazione di emergenza	11,0	13,5	12,0	-11,1
- Apparecchi per illuminazione scenografica	38,5	40,0	47,0	+17,5
<b>TOTALE</b>	<b>251,0</b>	<b>274,0</b>	<b>298,0</b>	<b>+8,8</b>
<b>ESPORTAZIONI</b>				
- Apparecchi per interni	650,0	718,5	811,0	+12,9
- Apparecchi per esterni	202,5	206,5	226,0	+9,4
- Apparecchi per illuminazione di emergenza	22,0	21,0	22,0	+4,8
- Apparecchi per illuminazione scenografica	104,5	106,0	126,0	+18,9
<b>TOTALE</b>	<b>979,0</b>	<b>1.052,0</b>	<b>1.185,0</b>	<b>+12,6</b>

La propensione all'*export* dei vari comparti si presenta elevata e significativamente in crescita per gli apparecchi per illuminazione scenografica (71,4%) e per gli apparecchi per interni (56,9%), mentre è stazionaria per gli apparecchi per esterni (47,1%) e contenuta per gli apparecchi per illuminazione di emergenza (19,4%), come risulta dalla Tabella 4.

<b>Tabella 4 - Apparecchi per Illuminazione – Propensione all'Export per comparti</b>			
<b>EXPORT/PRODUZIONE %</b>	<b>2004</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>
- Apparecchi per interni	54,1	56,0	56,9
- Apparecchi per esterni	46,1	46,7	47,1
- Apparecchi per illuminazione di emergenza	18,9	18,3	19,4
- Apparecchi per illuminazione scenografica	65,9	65,8	71,4
<b>TOTALE</b>	<b>51,1</b>	<b>52,6</b>	<b>54,0</b>

Le esportazioni italiane sono concentrate verso i paesi della UE a 25, ai quali, nel 2006, è stato destinato il 62,1% delle esportazioni totali, dato leggermente in diminuzione rispetto al 2005 (64,3%).

Dalla Tabella 5 si evince come la Spagna abbia aumentato nel 2006 la propria quota all'8,9%, così come la Russia che ha portato la propria quota dal 5,5% al 7,1%, mentre gli altri paesi europei registrano una flessione.

Stabile e sostanzialmente contenuta rispetto alla potenzialità del mercato è invece la quota di esportazione destinata al mercato USA (4,9%), così come quella destinata al mercato giapponese (1,3%); in riduzione è la quota destinata ai paesi Arabi e Medio Oriente, mentre è del tutto marginale l'*export* destinato alla Cina (0,4%).

<b>Tabella 5 - Apparecchi per illuminazione – Esportazioni per paese (% in valore)</b> (Fonte: Databank)		
	<b>2005</b>	<b>2006</b>
<b>UE a 25, di cui:</b>	64,3	62,1
- Francia	14,1	13,0
- Germania	10,3	9,9
- Spagna	8,7	8,9
- UK	6,7	6,4
- Benelux	6,4	6,2
<b>Europa orientale, di cui:</b>	9,5	11,7
- Russia	5,5	7,1
<b>Paesi Arabi e medio oriente</b>	7,7	7,1
USAs	4,9	4,9
Svizzera	3,2	3,1
Giappone	1,3	1,3
Cina	0,4	0,4
Altri	8,7	9,4
<b>TOTALE</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>

Le importazioni di apparecchi di illuminazione provengono prevalentemente dai paesi europei (61,9% del totale nel 2006), e in particolare da Germania (17,3%), Austria (12,6%) e Francia (10,2%). Il peso dell'*import* dai paesi UE è complessivamente stabile, sebbene si noti una riduzione delle importazioni dai paesi di più antica industrializzazione, mentre acquistano posizioni alcuni paesi dell'Est Europa.

Le importazioni dalla Cina si attestano sul 29%: i prodotti cinesi hanno acquisito un importante peso nel mercato, con articoli economici, mentre non appare significativa la concorrenza sulle fasce di qualità/prezzo medio alte.

#### *La domanda interna*

Come indicano i dati della Tabella 6, la dinamica della domanda interna mostra nel 2006 un incremento del 7%, a fronte di un incremento medio annuo nell'ultimo quinquennio del 3,9%.

<b>Tabella 6 - Apparecchi per illuminazione – Domanda interna per comparti (valori milioni €) (Fonte: Databank)</b>				
<b>Domanda</b>	<b>2006</b>		<b>Variaz. %</b>	
	<b>Valore</b>	<b>%</b>	<b>2005/06</b>	<b>2002/06*</b>
- Apparecchi per interni	782,0	59,8	+9,4	+4,0
- Apparecchi per esterni	325,0	24,8	+6,7	+5,0
- Apparecchi per illuminazione di emergenza	103,5	7,9	-3,7	+2,4
- Apparecchi per illuminazione scenografica	97,5	7,5	+2,6	+0,9
<b>TOTALE</b>	<b>1.308,0</b>	<b>100,0</b>	<b>+7,0</b>	<b>+3,9</b>

\*variazione media annua

La domanda interna del comparto degli apparecchi per interni ha mostrato nel 2006 una dinamica più accentuata rispetto alla media del settore, mentre gli apparecchi per illuminazione di emergenza ha presentato una contrazione in controtendenza con gli altri comparti.

Nel medio termine lo sviluppo della domanda ha riguardato il comparto degli apparecchi per esterni (+5% all'anno nel quinquennio) e gli apparecchi per interni (+4%), mentre gli altri due comparti hanno evidenziato tassi di crescita della domanda inferiori alla media del settore.

La composizione del mercato interno vede, dunque, una netta prevalenza degli apparecchi per interni che incidono sul totale per il 59,8%, seguiti dagli apparecchi per esterni con il 24,8%.

#### *Struttura e localizzazione produttiva*

Nel settore nazionale degli apparecchi per illuminazione operano circa 500 imprese con un'occupazione complessiva stimata al 2006 in 8.300 addetti. La struttura del settore è composta da un numero relativamente ristretto di grandi imprese, un centinaio di imprese medie e medio-piccole, mentre le restanti, circa 400, hanno dimensioni e strutture di tipo semi-artigianale e si concentrano soprattutto nella produzione di apparecchi decorativi per l'arredo di interni.

Nell'ambito dell'illuminotecnica qualificata e degli apparecchi per esterni operano un centinaio di imprese con un numero medio di addetti intorno alle 30 unità. La dimensione media per impresa del settore nel suo complesso è stimata intorno alle 17 unità.

Nella Tabella 7 sono elencate le principali imprese operanti nel settore degli apparecchi di illuminazione. Per ogni impresa viene riportato anche il numero di addetti, che si riferisce al numero totale di addetti dell'impresa, comprendendo quindi anche coloro che si occupano di altre lavorazioni e prodotti.

<b>Tabella 7 - Imprese principali del settore apparecchi di illuminazione</b>					
<b>N.</b>	<b>Nome</b>	<b>Addetti Totali</b>	<b>N.</b>	<b>Nome</b>	<b>Addetti Totali</b>
1	GEWISS	1.600	25	FIVEP	94
2	OSRAM	1.280	26	LUXIT	90
3	Beghelli	1.250	27	NORLIGHT	90
4	Targetti	1.200	28	Clay Paky	84
5	3M Italia	1.085	29	Reggiani	80
6	Ghidini Illuminazione	1.000	30	Viabizzuno	77
7	I Guzzini	700	31	AEC Illuminazione	69

segue

8	Artemide	667	32	FOS Nova	63
9	Disano	600	33	Luceplan	60
10	Philips	400	34	Coemar	57
11	FLOS	360	35	Zonca	56
12	3F Filippi	332	36	FAEL	55
13	OVA G. Bargellini	218	37	Mizar	55
14	DE.MA.FIN.	200	38	Fabbian Illuminazione	50
15	Leuci	200	39	Ing. Castaldi Illuminazione Srl	50
16	Performance in Lighting	173	40	Faeber Lighting System	49
17	G.E. Lighting System	150	41	NOVALUX	49
18	SBP	150	42	SURYA	46
19	Neri	133	43	SIMES	45
20	IVELA	128	44	Mereco Luce	42
21	Firme di vetro	107	45	DTS Illuminazione	40
22	Martini	107	46	Lince Energy	35
23	Lucente	102	47	Quattrobi	35
24	Venini	100	48	Leucos	30

Le imprese che superano la dimensione di 200 addetti sono solo una quindicina, tra imprese multinazionali e italiane.

### *Lo scenario competitivo*

La decisa ripresa che il settore ha segnato negli anni 2006 e 2007 è stata sostenuta dalla forte crescita delle esportazioni sia verso i mercati di tradizionale penetrazione commerciale (paesi europei), sia verso nuovi paesi (Russia e paesi dell'Est Europa). Sui mercati esteri la buona affermazione del prodotto *Made in Italy* si basa prevalentemente sulla qualità e sul *design* innovativo del prodotto come strumenti principali per contrastare la concorrenza di prodotti a basso prezzo e di modesto contenuto qualitativo. La valorizzazione degli aspetti estetici e di *design* è quindi una componente essenziale per non perdere quote di mercato, ma essa deve essere accompagnata da strategie tendenti a:

- dare crescente rilievo ai servizi di progettazione illuminotecnica, soprattutto per le soluzioni destinate al terziario, sulla base di soluzioni versatili, confort visivo, risparmio energetico e qualità illuminotecnica;
- potenziare l'attività di sviluppo orientata alla ricerca di nuove linee estetiche, nuovi materiali, prestazioni luminose e nuove sorgenti;
- potenziare la componente stilistica e di *design* soprattutto nei comparti degli apparecchi per esterni e per illuminazione di emergenza.

## **2. ENERGIA E ILLUMINAZIONE**

Il risparmio energetico è divenuto un tema strategico nello sviluppo tecnologico e commerciale del settore dell'illuminotecnica in relazione ai consumi di energia associati all'illuminazione. In Italia i consumi annui di energia elettrica per illuminazione sono stati di 50,8 TWh sul totale dei consumi di 309,8 TWh, pari cioè al 16,4%, come riportato nella Tabella 8.

**Tabella 8 – Consumi nazionali di energia elettrica (Fonte Terna)**

<b>Settore</b>	<b>Consumi totali (TWH/anno)</b>	<b>Consumi illuminazione (TWH/anno)</b>	<b>Rapporto illuminazione/ totale (%)</b>
Agricoltura	5,4	trascurabile	-
Industria	153,7	13,4	8,7
Terziario	77,7	21,9	28,2
di cui: Illuminazione Pubblica	6,1	6,1	100,0
Residenziale	66,9	9,4	14,1
TOTALE	309,8	50,8	16,4

Gli elevati consumi imputabili ai sistemi di illuminazione sono oggetto di attenzione da parte del Legislatore Europeo, che ha sviluppato normative mirate a bandire i prodotti a maggiore consumo energetico. Dopo la messa al bando, nel 2002, dei prodotti di classe D si è giunti, nel 2005, alla messa al bando dei prodotti di classe C. Gli effetti delle normative comunitarie sul mercato dei corpi illuminanti sono stati notevoli. La Tabella 9 riporta i dati relativi alla ripartizione percentuale del consumo di corpi illuminanti in Europa negli anni 2000-2004-2007.

**Tabella 9 - Consumo di corpi illuminanti (ripartizione % per classe)**

<b>Tipologia di corpi illuminanti</b>	<b>2000</b>	<b>2004</b>	<b>2007</b>
Classe C/D	65%	52%	4%
Classe B1/B2	11%	17%	47%
Elettronici	24%	31%	49%
TOTALE	100	100	100

I dati riportati indicano che la messa al bando dei corpi illuminanti delle classi C e D ne ha ridotto il consumo a un modesto 4%, facendo per contro nettamente aumentare quelli di classe B1/B2 e i corpi illuminanti elettronici, che insieme assicurano il 96% del mercato.

Nell'arco di due anni le lampadine a incandescenza, quelle più energivore, potrebbero sparire dal mercato europeo. Infatti, i principali produttori europei di lampadine, riuniti nell'associazione di settore *European Lamp Companies Federation*, hanno dichiarato di accettare il termine del 2011 fissato dai governi europei per la vendita di tale prodotto.

Nei 27 paesi membri dell'UE si vendono ogni anno circa 2,1 miliardi di lampadine a incandescenza, mentre il mercato di quelle fluorescenti, a basso consumo, è nettamente inferiore, assestandosi sui 180 milioni. La riduzione della metà delle lampadine inefficienti in Europa (oggi sono circa 3,6 miliardi) porterebbe a ridurre le emissioni di CO<sub>2</sub> in maniera drastica (circa 23 milioni annui di tonnellate), ottenendo così un notevole risparmio energetico, stimato intorno ai 7 miliardi €.

Sebbene si auspichi l'utilizzo sempre più intenso di lampadine a basso consumo, pur tuttavia esse pongono il problema del loro smaltimento. Il consorzio ECOLAMP (*consorzio per il recupero e lo smaltimento di apparecchiature di illuminazione*), il cui obiettivo principale è l'implementazione di un sistema di raccolta e smaltimento collettivo delle apparecchiature di illuminazione a fine vita, avverte infatti che tale tipo di lampade, se eliminate come un rifiuto qualunque, potrebbe provocare gravi danni all'ambiente. In una nota del consorzio si legge infatti "... il rovescio della medaglia delle nuove lampade a basso consumo è rappresentato dalla presenza di mercurio e



*polveri fluorescenti che sono sostanze nocive per la salute dell'uomo e inquinanti per l'ambiente tanto che, giunte a fine ciclo di vita, vengono classificate, sia per la normativa europea che italiana, rifiuti pericolosi ...*". Alla pericolosità, data dalla loro composizione, si aggiunge anche la fragilità essendo costituite per il 90% di vetro.

### 3. DRIVER DELL'INNOVAZIONE

Nel settore illuminotecnico, i principali fattori determinanti per l'innovazione sono:

- risparmio energetico e problematiche ambientali;
- tendenze di mercato, progettazione integrata e *lighting design*.

#### 3.1 Risparmio energetico e problematiche ambientali

Le problematiche inerenti al risparmio energetico, alla salvaguardia dell'ambiente e, più in generale, alla gestione delle risorse, hanno implicazioni destinate a influenzare il mercato dei corpi illuminanti.

Negli ultimi anni i temi dello sviluppo sostenibile hanno coinvolto direttamente la progettazione e la produzione di prodotti che consumano energia, con l'intento di ridurre il consumo di risorse, mantenendo un'elevata qualità dell'ambiente. L'Unione Europea ha inteso in primo luogo rivolgersi alle aziende produttrici e ai progettisti, chiamati a responsabilizzarsi circa le conseguenze dei loro progetti. L'Unione Europea ha emesso due direttive (2000/55 e 2005/32) finalizzate all'istituzione di un quadro per l'elaborazione di specifiche per la progettazione eco-compatibile dei prodotti che consumano energia. Esse introducono limiti e restrizioni nella progettazione di prodotti per illuminazione, prevedendo in futuro che i progetti di illuminazione e di realizzazione di corpi illuminanti dovranno certificare, a priori, la sostenibilità delle prestazioni, dichiarando "sulla carta" il soddisfacimento di determinati requisiti legati alla sostenibilità e alla eco-compatibilità.

Ogni nuovo corpo illuminante dovrà quindi essere progettato e disegnato secondo principi guida di sostenibilità identificati dalla Direttiva 2005/32/CE, che stimola l'utilizzo di una nuova metodologia progettuale chiamata *Ecodesign*. Tale direttiva nasce con l'obiettivo di istituire un programma quadro per l'elaborazione di specifiche per la progettazione eco-compatibile (*Ecodesign*) dei prodotti che consumano energia, tra i quali vi sono i prodotti di illuminazione per ufficio, per l'illuminazione pubblica e per l'illuminazione domestica.

Insieme al problema del risparmio energetico, un secondo, altrettanto importante, riguarda il riciclo degli apparecchi di illuminazione. (*design for assembly and disassembly*). I produttori di corpi illuminanti dovranno infatti porre attenzione al disassemblaggio degli elementi, che rappresenta uno dei requisiti richiesti dal Legislatore Europeo, in linea con le richieste dell'*Ecodesign*. La possibilità di "smontare" i corpi illuminanti per parti consente infatti di calibrare la vita dei componenti in relazione alla loro funzione e al loro grado di obsolescenza, analizzando i materiali, il loro grado di riciclabilità, e il loro deperimento. A tale proposito va ricordato, quanto accennato *supra*, che i nuovi corpi illuminanti introdotti recentemente propongono notevoli problemi nella fase di riciclo in quanto molti di essi contengono gas e componenti nocivi per la salute.

A titolo di esempio, vale la pena segnalare che i produttori, seguendo gli impulsi del mercato e i dettami delle normative, sono passati dalla produzione di corpi al neon, con bassa qualità dello spettro di luce, alla messa sul mercato di prodotti simili per tipologia, ma con una migliore qualità luminosa grazie a una tecnologia differente, impostata sulla fluorescenza, contenenti vapori di mercurio. Tali corpi illuminanti consumano molta meno energia e hanno una qualità cromatica

della luce molto superiore, ma una volta utilizzati presentano seri problemi di smaltimento a causa della presenza di vapori di mercurio. Per ovviare a questo problema i produttori si stanno dunque orientando verso corpi illuminanti di nuova tecnologia, come le *lampade lineari a LED super efficienti* (Figura 1).

**Figura 1 - Lampada lineare a LED super efficiente.**

---



Queste lampade raggiungono un rendimento del 100%, non necessitano di manutenzione e con 300 LED incorporabili in un'unica lampada si prestano a qualsiasi applicazione, perché tali mini LED sono disposti in un fascio luminoso di colore chiaro ed efficiente. Sono molto leggere, silenziose e quasi del tutto senza fili e si prestano ad essere impiegate pressoché ovunque: in ambienti di civile abitazione, in scuole e ospedali, fabbriche, negozi.

L'efficienza di queste lampade sfiora il 100%, poiché grazie alla particolare conformazione della lampada e della sorgente luminosa puntiforme e direzionata, la totalità del fascio luminoso raggiunge il piano di lavoro; inoltre il tempo di accensione è praticamente azzerato, poiché la lampada raggiunge all'istante le capacità luminose richieste e non richiede un periodo di riscaldamento o di raggiungimento di elevate temperature. Hanno una vita lunghissima, non emettono inquinanti e hanno bassi consumi energetici.

### **3.2 Tendenze della domanda: progettazione integrata e *lighting design***

Uno dei principali problemi da risolvere quando si progetta un corpo illuminante è l'ottenimento di una buona qualità della luce. Il mercato si sta dunque orientando verso corpi a basso consumo e a miglior qualità di spettro di luce.

La logica è quella di chiedere all'industria e ai *designer* di progettare tenendo conto anche dei costi di gestione, di manutenzione e di smaltimento in discarica dei prodotti. Emerge quindi la necessità di una progettazione integrata.

Gli impianti elettrici di ultima generazione, già in uso sul mercato, come i sistemi BUS, permettono un collegamento in rete fra tutti i dispositivi dell'installazione elettrica che, resi intelligenti, possono scambiarsi informazioni attraverso un cablaggio, il "bus" appunto, per funzionare in maniera coordinata.

L'interazione tra i componenti può svilupparsi in due direzioni:

- interazione "corpo illuminante - macchina";
- interazione "corpo illuminante - uomo".

Per **interazione “corpo illuminante - macchina”** si intende la possibilità di fare interagire le sorgenti luminose con sensori di illuminazione al fine di garantire sempre il numero di *lux* (unità di misura per l'illuminamento) previsti e di risparmiare energia. Oltre a ridurre i consumi energetici complessivi, a vantaggio dell'ambiente e dei costi per l'utente, questa tecnologia consente anche di programmare scenari luminosi differenti nell'arco della giornata, garantendo luce “fredda” al mattino per facilitare la reattività e offrendo luce “calda” dopo il tramonto per favorire il relax.

Per **interazione “corpo illuminante – uomo”** si intende la capacità di ottenere risposte luminose “personalizzate”, oltre alla possibilità di dosare la quantità di luce a seconda della quantità di persone presenti nell'ambiente e alla loro posizione nello stesso.

### 3.3 Il *Lighting Designer*

Da qualche anno, studi e ricerche hanno dimostrato l'importante ruolo psicologico che la luce svolge nel nostro subconscio. Un numero sempre crescente di persone pone maggior attenzione al problema della distribuzione della luce nello spazio e sempre più spesso gli architetti sentono la necessità di rivolgersi a professionisti della progettazione della luce.

Per questi motivi è stata creata una nuova figura specialistica denominata *lighting designer*, ovvero un progettista della luce. Progettare la luce significa essere consapevoli di come la luce influenzerà lo spazio, di come questa si integrerà in modo armonioso con il contesto naturalistico o architettonico. È una forma di comunicazione, un linguaggio attraverso il quale si modellano gli spazi, si creano le ombre, si stabiliscono le priorità visive ecc. Si percepisce l'ambiente solo esclusivamente attraverso la luce e le relazioni che essa crea in funzione dell'intensità, delle ombre, dei chiaro-scuri.

Il ruolo del *lighting designer* è quello di considerare la luce secondo due aspetti importanti:

- scientifico-tecnico,
- creativo-artistico.

La prima fase del lavoro del *lighting designer* concerne la creazione di un'idea o *concept* da presentare al cliente. La seconda riguarda l'integrazione del progetto di illuminazione nella progettazione generale, la terza fase, infine è quella legata alla produzione della documentazione necessaria, attraverso disegni, tabelle, relazioni. Tutte le informazioni inerenti alle apparecchiature scelte vengono descritte e dettagliate, dalle fotometrie dei corpi illuminanti alle loro caratteristiche tecniche, dalle informazioni sulle sorgenti luminose a quelle dei sistemi di controllo e gestione. Conviene sottolineare che l'emergere di questa nuova figura professionale del *lighting design* avviene oggi in un contesto di conoscenze e di esperienze ancora poco sistematizzato e consolidato, anche in conseguenza dell'introduzioni sul mercato di continue innovazioni sui corpi illuminanti. Si fa quindi strada la necessità di una iniziativa di formazione ad alto livello che abbia come obiettivo da un lato, l'approfondimento e il consolidamento delle teorie, delle metodologie e delle tecniche del *lighting design*, e dall'altro, la formazione di nuove figure professionali. A tale riguardo esiste una proposta ancora informale dell'AIDI (*Associazione Italiana di Illuminazione*) per organizzare a Milano un *master* residenziale in *lighting design* che oltre a conseguire gli obiettivi di cui sopra si proponga di richiamare a Milano quanto di meglio possa esistere nel settore a livello di conoscenze e di professionalità. Tale iniziativa è suscettibile di incontrare l'interesse sia delle aziende del settore presenti a Milano (3 M, Artemide, Disano, OSRAM; Philips) sia del Comune di Milano che per quanto riguarda l'illuminazione pubblica e quella di uffici è uno dei principali potenziali utilizzatore di queste nuove conoscenze e tecnologie nel campo del *lighting design*.

## 4. INNOVAZIONE E LIGHTING

### 4.1 Il futuro della luce

La nostra epoca è caratterizzata da una crescente sensibilità e attenzione per un uso più consapevole dell'ambiente e delle risorse naturali secondo una nuova concezione di sviluppo "sostenibile". Anche per l'illuminazione si sta sviluppando una nuova cultura progettuale attenta e coerente con i principi della sostenibilità, orientata verso:

- la riduzione dell'uso di energia elettrica necessaria;
- il miglioramento delle tecniche di gestione e controllo dei sistemi di illuminazione;
- piani di manutenzione che tengono conto del problema dello smaltimento;
- utilizzazione di materiali riciclati o riciclabili;
- gestione razionale dei periodi di accensione-spegnimento (in particolare nell'illuminazione urbana);
- valorizzazione della luce naturale.

L'illuminazione non è considerata più come un complemento immobile, ma è diventata parte integrante dell'architettura e del *design*, per la sua capacità di mutare l'atmosfera degli ambienti.

Le principali tendenze dello sviluppo tecnologico nell'illuminotecnica sono rivolte ai tre comparti principali in cui si articola il settore: le sorgenti luminose, i sistemi di controllo, gli apparecchi di illuminazione, dei quali si dirà *ultra*.

È da notare che l'industria italiana è sostanzialmente assente nella produzione di sorgenti luminose, che è il comparto dove più dinamico è lo sviluppo tecnologico, dominato da imprese multinazionali (OSRAM e Philips).

Le imprese italiane operano sostanzialmente nel comparto degli apparecchi di illuminazione: i *leaders* del mercato (I Guzzini, Targetti, Artemide, Disano) dispongono di propri centri di sviluppo (Artemide e Disano in provincia di Milano) e si dedicano alla applicazione di nuove sorgenti luminose ai propri prodotti, soprattutto in un contesto di elevata caratterizzazione del prodotto sui contenuti estetici e di *design*.

### 4.2 Le sorgenti luminose

La scelta delle sorgenti luminose è il momento centrale della progettazione illuminotecnica. La selezione delle sorgenti avviene attraverso una valutazione dei seguenti parametri:

- *Efficacia* (rapporto *lumen/watt*): determina l'efficienza di conversione di energia elettrica in energia luminosa;
- *Temperatura di colore*: oggi si tende a preferire una colorazione "fredda (4000K) a una più "calda" (3000K);
- *Resa Cromatica*: sorgenti con CRI (indice di resa colore) <70 risultano notevolmente inadatte. CRI <60 inaccettabili; l'attenzione è rivolta a sorgenti luminose con CRI > 80;
- *Durata di vita della lampada*: la scelta si indirizza verso lampade di lunga durata per ridurre al minimo la manutenzione.

Le sorgenti oggi maggiormente diffuse oggi sono:

- le lampade a incandescenza;
- le nuove lampade fluorescenti con ausiliari elettronici;
- i LED;
- le lampade ad alogenuri metallici di nuova generazione con bruciatore ceramico ed accenditore elettronico.

**Figura 2 - lampada ad incandescenza attacco E27**

---

**Figura 3 - Lampada alogena dicroica IRC**

---



#### ***4.2.1 Le lampade a incandescenza e alogene***

Lampada ad incandescenza attacco E27 ha la forma e le dimensioni, facendo un balzo in avanti nella durata. (Figura 2). Oggi esistono sul mercato lampade a incandescenza con una vita di 10.000 ore. Sono ancora le sorgenti preferite, specialmente in ambito domestico e alberghiero, pur presentando gli inconvenienti tipici del filamento in tungsteno, quali la notevole emissione di raggi infrarossi e un alto rapporto lm/W.

I vantaggi che giustificano ancora il loro largo impiego sono diversi:

- buon adattamento alle diverse temperature esterne;
- nessun bisogno di ausiliari elettrici per funzionare;
- semplice controllo in intensità mediante l'impiego di sistemi di regolazione economici e diffusi sul mercato;
- eccellente resa cromatica;
- basso costo e assenza di mercurio.

Le lampade alogene (Figura 3) hanno avuto un notevole sviluppo nel corso degli ultimi anni, disfare le condizioni più difficili nelle applicazioni commerciali. Esse uniscono la notevole economicità e la maggiore intensità luminosa con l'eccellente qualità della luce. Con tale tecnologia si sono ottenuti vantaggi quali:

- durata media più che raddoppiata rispetto alle alogene standard (fino a 5000h);
- l'intensità luminosa e la percezione del colore rimangono costanti durante la vita della lampada;
- migliore protezione contro lo scolorimento da emissioni UV grazie al quarzo in tecnologia UV FILTER;
- grazie al ridotto carico termico delle lampade IRC, si possono impiegare lampade con potenza

- più bassa per ottenere la stessa quantità di luce, con riduzione dei costi per il condizionamento;
- fino al 45% in meno di potenza elettrica richiesta.

#### 4.2.2 I LED

Tra le nuove tecnologie, captatori di luce, un posto di primaria importanza spetta al LED (*Light Emitting Diode*), che hanno mutato radicalmente il modo di pensare all'illuminazione, passando dalla "cultura della lampadina" alla "luce digitale" e all' "interattività" (Figura 4).

Un LED è un dispositivo semiconduttore, che emette luce quando viene alimentato. La lunghezza d'onda (e quindi il colore) della luce può essere regolata utilizzando materiali semiconduttori e processi di fabbricazione diversi. Inoltre, la lunghezza d'onda propagata dalla luce emessa è relativamente ristretta, garantendo colori molto più puri. Attualmente, la maggior parte dei LED è costituita da materiali semiconduttori quali il nitrato di gallio (GaN).

I vantaggi dei LED dal punto di vista illuminotecnico sono i seguenti:

- durata di funzionamento (LED ad alta emissione arrivano a circa 50.000 ore);
- assenza di costi di manutenzione;
- elevato rendimento (se paragonato a lampade ad incandescenza e alogene);
- luce pulita perché priva di componenti IR e UV;
- facilità di realizzazione di ottiche efficienti in plastica;
- flessibilità di installazione del punto luce;
- colori saturi;
- possibilità di un forte effetto spot (sorgente quasi puntiforme);
- funzionamento in sicurezza perché a bassissima tensione (normalmente tra i 3 e i 24 Vdc);
- accensione a freddo (fino a -40°C) senza problemi;
- insensibilità a umidità e vibrazioni;
- assenza di mercurio.

Dal punto di vista applicativo i LED sono a oggi molto utilizzati quando l'impianto di illuminazione deve avere le seguenti caratteristiche:

- miniaturizzazione;
- colori saturi;
- effetti dinamici (variazione di colore RGB);
- lunga durata e robustezza;
- valorizzazione di forme e volumi.

La tecnologia LED apre le porte a sempre maggiori soluzioni di illuminazione, consentendo ad architetti e progettisti la realizzazione di scenari luminosi prima impossibili.

I LED sono sempre più utilizzati in ambito illuminotecnico in sostituzione di alcune sorgenti di luce tradizionali. Il loro utilizzo nell'illuminazione domestica è oggi possibile con notevoli risultati raggiunti grazie alle tecniche innovative sviluppate. Fondamentalmente il limite dei LED per questo tipo di applicazione è la quantità di luce emessa (flusso luminoso espresso in lumen), che nei modelli di ultima generazione per uso professionale si attesta intorno ai 120 *lumen* ma che nei modelli più economici raggiunge solo i 20 *lumen*. Una lampadina ad incandescenza da 60 W emette un flusso luminoso di circa 550 *lumen*. Inoltre i LED più luminosi sono ancora quelli a luce fredda con resa cromatica relativamente bassa.

Il loro utilizzo diventa invece molto più interessante in ambito professionale, dove il rendimento di 40-60 lm/W li rende una sorgente appetibile. Come termine di paragone basti pensare che una lampada a incandescenza ha rendimenti di circa 20 lm/W, mentre una alogena di 25 lm/W ed una fluorescente lineare fino a 104 lm/W. Altro loro limite nell'illuminazione funzionale è che



**Figura 4 – Esempi di LED**

---

**Figura 5 - Lampada Accent Led, attacco GU5,3**

---



le loro caratteristiche di emissione e durata sono fortemente condizionati dalle caratteristiche di alimentazione e dissipazione.

Nel 1996 fa la comparsa il LED bianco. In tempi ancor più recenti, anche i LED hanno potuto accedere al campo dell'illuminotecnica grazie a un'ulteriore conquista tecnologica, i LED ad alta efficienza o PowerLED, con potenze variabili da 1 a 5 W e con temperature di colore comprese tra 2800 e 3800° K ma anche di 5500° K. Questo prodotto di alta tecnologia (consumo veramente basso, luce bianca, bassissima emissione termica, intensità luminosa elevata, notevole efficienza, lunga durata) si prospetta, come è facile comprendere, estremamente interessante.

Il continuo miglioramento di prestazioni e la presenza sempre maggiore di nuove case costruttrici di LED ha portato a una vorticoso, anche se prevedibile, fase di mutamento nel panorama LED. Da parte del mercato, in base alle proprie specifiche esigenze, c'è una sempre maggior richiesta di personalizzazione dei prodotti e, soprattutto, una sempre maggior diversificazione di utilizzo del LED.

Fino a tempi recentissimi, il mercato utilizzava, nella maggioranza dei casi, una o due tipologie di LED. Attualmente la domanda sempre più specifica fa sì che la ricerca e la scelta siano fatte di volta in volta in base all'applicazione richiesta. Questo mutamento di scenario ha comportato per le aziende un'importante svolta nel modo di operare sul mercato oltre che nei processi produttivi.

Proporre linee complete per tutte le maggiori case produttrici di LED presenti sul mercato, ha significato ricerca, investimenti, capacità produttive e gestionali sempre maggiori. Un esempio è rappresentato dalle nuove lampade Accent Led (Fig. 5) della Philips con attacco GU5,3 a bassa tensione con riflettore ad alta potenza (MR16 GU5,3) o alle lampade a tensione di rete (GU10 ed E27) ideali per la sostituzione delle lampade ad incandescenza e alogene con riflettore.

Le lampade da 4W sono equiparabili a lampade alogene dicroiche da 20W. I nuovi apparecchi con tecnologia a LED, grazie all'enorme vantaggio in termini di resa (rapporto *lumen/watt*) e di dimensione, hanno determinato una rivoluzione nel mondo dell'illuminazione sia residenziale che pubblica.

Esempi emblematici dell'uso della tecnologia LED nell'illuminazione pubblica sono le esperienze positive di comuni come Raleigh negli USA o Scandiano (RE) in Italia. Per tali realizzazioni i consumi sono risultati inferiori di circa il 50%, a parità di illuminazione, sia rispetto ai tradizionali lampioni con lampade ai vapori di mercurio sia alle più recenti soluzioni ai vapori di sodio ad alta pressione.

Inoltre, la durata superiore alle 50.000 ore, unitamente ai ridotti costi di manutenzione, rende gli impianti con tecnologia a Led decisamente più vantaggiosi rispetto a quelli utilizzati fino ora.

Altro vantaggio evidente, riguarda il tempo di accensione, di fatto istantanea e la totale assenza di sfarfalli del fascio luminoso, che spesso caratterizza i tradizionali impianti di illuminazione stradale.

Le tecnologie all'avanguardia sono decollate con materiali nuovi insieme a un *design* di alto livello e a prestazioni attente al *comfort* e alla sostenibilità ambientale. Diversi sono gli esempi in cui prestazioni ecosostenibili grazie all'energia fornita da pannelli fotovoltaici sono state sapientemente integrate al *design* di apparecchi di pubblica illuminazione.

#### **4.2.3 Gli OLED**

La nuova frontiera dell'illuminazione parla sempre più di OLED (*Organic Light Emitting Diode*), dispositivi costituiti da polimeri organici che emettono luce quando attraversati da una debole corrente.

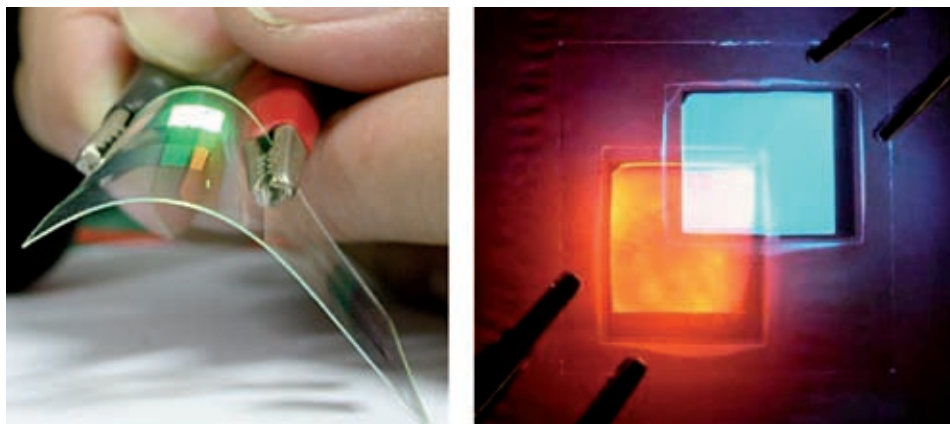
Gli OLED hanno il vantaggio di essere costruiti in pellicole ultrasottili ed essendo di natura organica possiedono le proprietà della plastica: leggeri, flessibili, adattabili a ogni forma e per numerosi impieghi, dall'arredo urbano all'illuminazione domestica o dagli ambienti speciali quali musei o sale espositive, al settore industriale (Figura 6).

Gli OLED, che potrebbero rivoluzionare il modo di illuminare i nostri ambienti, hanno potenzialmente costi ridotti e possono essere realizzati/stampati in base a un processo simile a quello utilizzato per i quotidiani. Il sistema è comunque ancora lontano dal trovare un'applicazione commerciale, ma rappresenta una delle più interessanti strade verso il futuro dell'illuminotecnica.

---

**Figura 6 – Esempi di OLED**

---



#### 4.2.4 Nuove lampade fluorescenti con ausiliari elettronici

Un'altra area di importante sviluppo tecnologico è quella del miglioramento delle prestazioni e del controllo delle sorgenti luminose a scarica. In particolare, per quanto riguarda le lampade fluorescenti, è stata introdotta sul mercato la nuova lampada fluorescente TL in grado di ridurre il consumo energetico e nel contempo capace anche di migliorare la resa cromatica delle lampade fluorescenti tradizionali. Essa può sostituire direttamente le lampade fluorescenti T8 preesistenti e fornire un risparmio energetico superiore al 10% unitamente a un'elevata qualità di illuminazione ( $R_a > 80$ ). Il flusso luminoso è simile a quello delle lampade fluorescenti tradizionali T8 Super 80 e superiore a quello delle lampade fluorescenti T8 Standard.

Se inoltre, contestualmente alle nuove lampade fluorescenti si utilizzano reattori elettronici, è ancora più sensibile il risparmio energetico, che può arrivare al 40%.

Queste lampade presentano inoltre un contenuto estremamente ridotto di mercurio (1,7 mg contro i 4mg contenuti nelle comuni lampade fluorescenti), e sono in corso ricerche per la produzione di lampade fluorescenti con assenza totale di mercurio.

#### 4.2.5 Lampade ad alogenuri metallici di nuova generazione con bruciatore ceramico ed accenditore elettronico

Le lampade ad alogenuri metallici di nuova generazione hanno raggiunto dimensioni ridottissime, consumi inferiori, rapporti lm/W maggiori, resa del colore ottimale e, da ultimo, l'enorme vantaggio di controllare e ridurre il flusso luminoso, grazie all'impiego di speciali alimentatori elettronici, fino al 60% del flusso totale, senza modificare la loro temperatura di colore e aumentandone la vita media. Le lampade ad alogenuri metallici di ridotte dimensioni, con attacco PGJ5 e G8,5 e bruciatore ceramico hanno consentito la realizzazione di corpi illuminanti di piccole dimensioni anche per la pubblica illuminazione (Figure 7-8).

Anche per le lampade ad alogenuri metallici oggi è possibile effettuare la riduzione del flusso luminoso; la Philips ha infatti prodotto la lampada *Master Color city white* che, con il reattore elettronico dimmerabile *HID- Dynavision 1-10V*, consente di regolare la luminosità della lampada con una variazione di potenza dal 100% al 50%, consentendo di aumentare la durata delle lampade fino al 30%.

Con l'uso di questa tecnologia, inoltre, si ha una maggiore sicurezza sulle strade, in quanto la riduzione uniforme del flusso luminoso di tutte le lampade contemporaneamente garantisce una illuminazione uniforme del piano stradale, evitando lo sgradevole e pericoloso effetto luci e ombre, che spesso si determina quando a una certa ora parte delle lampade vengono spente.

**Figure 7 e 8 – Esempi di lampade ad alogenuri metallici di dimensioni ridotte**



Un esempio di pubblica illuminazione a lampade ad alogenuri metallici con intensità luminose programmate da centraline di controllo per la gestione luci, è quello realizzato per il comune di Cerreto Sannita ( Benevento) che ha prodotto un risparmio energetico pari a circa il 40%.

### 4.3 I sistemi di controllo

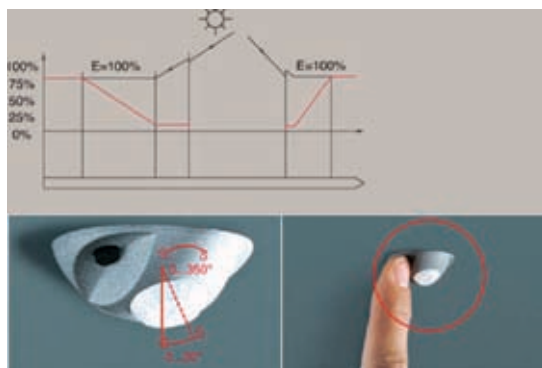
Sono uno strumento fondamentale per il *lighting designer*; offrono l'opportunità di controllare l'intensità e il colore delle sorgenti e insieme di ridurre drasticamente i consumi energetici. I vantaggi conseguibili con adeguati sistemi di controllo sono:

- il risparmio energetico;
- la riduzione del flusso luminoso di una sorgente con relativo aumento della vita: basta una lieve riduzione del flusso a provocare un sostanziale incremento della vita utile della lampada. Basti pensare alle sorgenti alogene con funzionamento a 12 V della durata di circa 4000 ore; con una semplice riduzione del 10% dell'intensità luminosa si ottiene un aumento della vita utile della lampada pari a circa il 50%;
- l'accensione e lo spegnimento *soft*, contribuisce a diminuire lo *shock* di accensione e conseguentemente determina un aumento della vita utile della sorgente luminosa;
- l'integrazione con altri sistemi tipo antincendio, sicurezza, allarme e emergenza, aumentando la sicurezza;
- il collegamento al computer per l'immediato monitoraggio di tutti i sistemi;
- la semplice programmazione delle accensioni e la eventuale riconfigurazione in caso di modifiche.

Si lega a questo lo sviluppo delle tecnologie dei sistemi di controllo degli impianti. L'idea dell'impianto intelligente o comunque programmabile, che consente di illuminare dove e quando serve, si va coniugando con la consapevolezza che i livelli di illuminazione sia domestica sia pubblica possono essere abbassati o comunque venire variati secondo regimi di funzionamento dinamico in relazione alla presenza degli utenti e alle condizioni ambientali.

L'innovazione tecnologica e la nuova sensibilità nei confronti della luce, intesa come fondamento progettuale dell'ambiente costruito, fanno peraltro intravedere anche una sempre più stretta integrazione dell'illuminazione con l'impiego di altri mezzi, che insieme alla luce contribuiscono alla costruzione degli ambienti artificiali. I nuovi sistemi di gestione della luce offrono al progettista la possibilità di adattare sul posto le diverse quantità di luce, e modularle in considerazione del variare della luce naturale all'esterno.

**Figura 9 – Esempio di sensori di regolamentazione della luce**



La variazione della luce artificiale in funzione di quella naturale è ottenuta *sensori* (Figura 9), che consentono di ottenere diversi vantaggi quali:

- l'accensione automatica delle lampade mediante rilevazione di presenza, qualora la luce diurna non sia sufficiente;
- lo spegnimento automatico dell'illuminazione, qualora non venga rilevata alcuna presenza o la luce sia sufficiente, con conseguente risparmio di energia elettrica;
- l'impostazione del livello d'illuminamento desiderato premendo semplicemente un pulsante incorporato nel sensore e stabilizzazione del valore prestabilito cioè, regolazione automatica in funzione della luce diurna; le variazioni dei livelli d'illuminamento avvengono in maniera graduale. In tal modo l'illuminazione si adegua all'attività svolta con l'utente che stabilisce il proprio livello d'illuminazione.

L'industria sta investendo molto sul miglioramento delle prestazioni e del controllo delle sorgenti luminose a scarica. Finora il funzionamento del tubo fluorescente T5 richiedeva un reattore adatto alla potenza della lampada, oggi il reattore elettronico Detec può invece regolare tutti i tubi fluorescenti di uguale lunghezza. È sufficiente una semplice sostituzione della sorgente luminosa perché il reattore riconosca e metta in funzione le sorgenti luminose con i corretti parametri elettrici. Uno spazio viene riqualificato adattando l'intensità luminosa al nuovo ambito di impiego con la semplice sostituzione dei tubi fluorescenti.

La possibilità di gestire, programmare l'illuminazione ottenendo diversi vantaggi come quelli precedentemente elencati ha determinato un notevole sviluppo dei sistemi di controllo anche per le sorgenti a LED. Fino a poco tempo fa, lo *standard* di controllo del segnale era affidato a un sistema analogico 0-10 V. Ora l'evoluzione dei LED in RGB (*Red, Green, Blue*), ossia in grado di generale tutti i colori dello spettro del visibile ha incrementato la diffusione di un protocollo di gestione analogico oggi molto diffuso (DMX) per la programmazione delle scene e dei colori. La diffusa adozione del sistema DMX-512 consente anche il controllo di molti altri dispositivi connessi all'illuminazione.

Altro sistema di gestione e controllo degli impianti di illuminazione è il sistema DALI (*digital adressable lighting interface*). Il sistema consiste in un protocollo standardizzato per il comando digitale dei reattori elettronici. Questo sistema è assistito da tutti i grandi produttori di reattori per sistemi di file continue e permette di comandare fino a 64 apparecchi d'illuminazione con reattori EVG; questi possono essere suddivisi in 16 gruppi, o addirittura in 64, se si usano sistemi di comando *Luxmate*. Tale flessibilità è a vantaggio di minori costi di manutenzione, specialmente nell'ambito del terziario, dove la continua metamorfosi spaziale si rende sempre più necessaria in funzione delle crescenti e diverse esigenze di lavoro.

#### 4.4 Gli apparecchi illuminanti

L'evoluzione delle sorgenti luminose, in termini di efficienza e di miniaturizzazione, ha determinato un enorme sviluppo nella produzione di corpi illuminanti.

Apparecchi per interni ed esterni hanno piccole dimensioni, si integrano con l'architettura, offrono enormi possibilità ai progettisti di lavorare con la "luce e non con apparecchi di illuminazione". Diverse aziende stanno rivolgendo la loro attenzione nella produzione di faretti a LED sia per interni che per esterni, a incasso o su binari, fissi o orientabili, tutti caratterizzati dalle dimensioni contenute e dal *design* innovativo (Figure 10, 11-12).

Dalle usuali armature stradali si è passati a corpi illuminanti in cui il *design* coniuga funzionalità, materiali, estetica e tecnologia, come l'apparecchio *Solar Tree* di Artemide (Figura 13)



Figure 10, 11 e 12 – Esempi di apparecchi illuminanti

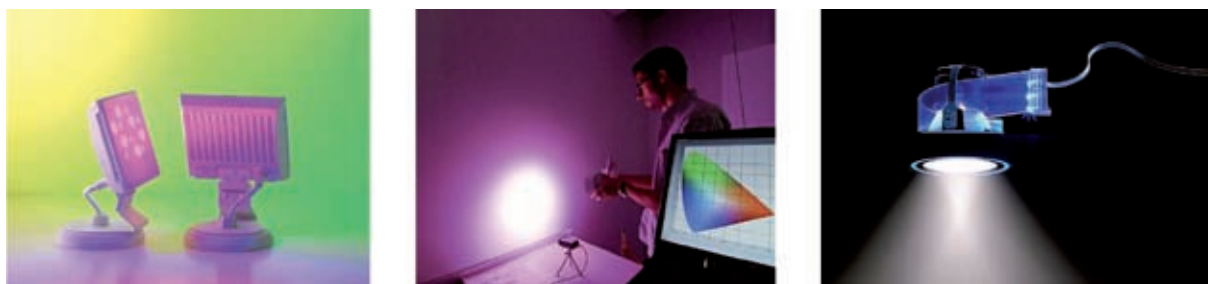


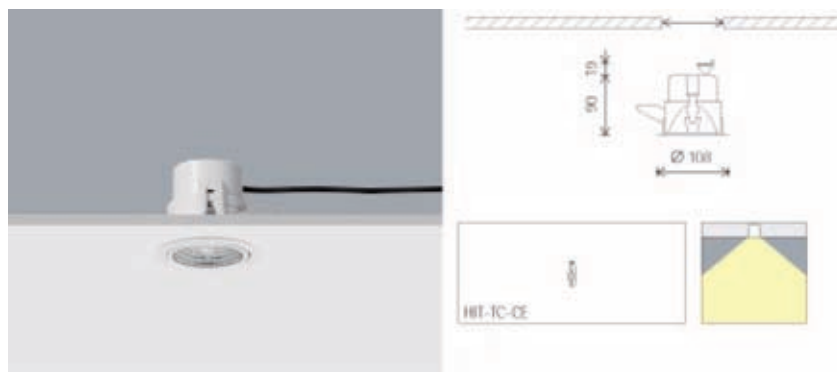
Figura 13 - *Solar tree* di Artemide



Figura 14 - *Palo Volta Tre* di Narboni per Aubrilam



Figura 15 – Esempio di faretto con lampada ad alogenuri metallici



oppure il palo *Volta Tre* (Figura 14) a emissione diretta dotata di 20 LED Luxeon da 1 W a luce bianco calda per un consumo complessivo di 26 W ed un'altezza di 5,6 m disegnato da Roger Narboni per Aubrilam.

Altro esempio di evoluzione dei corpi illuminanti determinato dall'innovazione delle sorgenti è rappresentato dalla nuova generazione di apparecchi a incasso per l'illuminazione di interni equipaggiati con la nuovissima sorgente ad alogenuri metallici del tipo HIT-TC-CE, in cui è risultata rivoluzionaria la combinazione di efficienza luminosa, dimensioni di incasso compatte, comfort visivo ed economicità.



I faretti impiegano lampade ad alogenuri metallici a contenuto consumo energetico, da 20 e 70W di potenza (Figura 15).

Altro aspetto importante riguarda il calore emesso dagli apparecchi, per esterno a incasso nel terreno, per i quali, ormai quasi tutte le aziende, pur in assenza di specifica norma, si stanno adoperando affinché la temperatura esterna degli apparecchi, sul vetro, sia contenuta al di sotto dei 60°C.

### **Bibliografia** per le parti I, II, III e IV

- Aldo Marchetti, Emilio Gramegna: Produttori di stile, lavoro e flessibilità nelle case di moda milanesi. Franco Angeli - 2007  
Camera di Commercio di Milano: Il sistema moda milanese – Ottobre 2007 - Servizio Studi e Supporto Strategico - a cura di Roberta Donzelli  
Camera di Commercio di Milano: Milano produttiva, 17° Rapporto – 2007  
Databank: Apparecchi di Illuminazione – Competitors – Agosto 2007  
Fondazione Edison: Bilancia commerciale italiana 2007 – dati provvisori. Quaderno n. 23 maggio 2008.  
ISTAT: Statistiche sull'innovazione nelle imprese, Anni 2002-2004 – Informazioni n. 1 – 2008  
Marco Fortis: Il Made in Italy nel nuovo mondo, Protagonisti, sfide, azioni. Ministero delle Attività Produttive, gennaio 2005.  
Milano di moda: Ipotesi di futuro: Impresa e Stato – Rivista della Camera di Commercio di Milano – n. 72 Luglio-Settembre 2005  
Progetto Equal Tessuto Locale: Industria tessile e della moda: nuovi scenari nuove professionalità. Vol. 1 a cura di Aurora Magni – Città Studi – Biella - 2007



---

PARTE QUINTA

# I MATERIALI

(a cura di Alberto Bonfiglioli, Antonio Casale e Maurizio Galimberti)

<b>Sintesi e conclusioni</b> .....	90
<b>1. Quadro di riferimento generale</b> .....	91
1.1 I Materiali. Definizione e limiti del campo di analisi .....	91
1.2 L'approccio tradizionale ai materiali .....	92
1.3 Il nuovo approccio ai materiali .....	93
1.4 Materiali con proprietà nuove o sostanzialmente modificate.....	96
1.5 L'evoluzione dell'industria dei materiali .....	98
1.6 Le "rivoluzioni" recenti nel campo dei materiali: il caso delle nanotecnologie .....	99
1.7 La convergenza con le biotecnologie, le tecnologie dell'informazione e le scienze cognitive (NBIC) .....	101
1.8 Fattori di innovazione nei materiali strutturali: problemi attuali e nuove opportunità ..	103
1.9 La matrice materiali-impieghi.....	108
<b>2. Metalli e leghe</b> .....	109
2.1 Importanza quantitativa e qualitative .....	109
2.2 Situazione attuale: le linee di ricerca e i progressi prevedibili.....	110
2.3 La domanda di materiali metallici nei settori convenzionali e i nuovi rapporti produttore/utilizzatore .....	111
2.4 Orientamenti della ricerca e progressi in atto .....	111
<b>3. Ceramiche e vetri</b> .....	112
3.1 Caratteristiche generali: analogie e differenze.....	112
3.2 I Ceramiche.....	112
3.2.1. Caratteristiche generali .....	112
3.2.2. Le produzioni tradizionali.....	114
3.2.3. I ceramiche avanzati: considerazioni generali .....	114
3.2.4. I ceramiche strutturali avanzati.....	115
3.2.5. L'innovazione: orientamenti di ricerca e progressi in atto .....	116
3.2.6. Alcune conclusioni.....	118
3.3 I Vetri.....	119
3.3.1. Caratteristiche generali .....	119
3.3.2. Struttura del settore .....	119
3.3.3. L'innovazione: linee di ricerca e progressi prevedibili .....	121
<b>4. Materiali polimerici</b> .....	125
4.1 Quadro di riferimento.....	125
4.1.1. Presente e futuro dei materiali polimerici .....	125
4.1.2. I polimeri come materie prime.....	126
4.1.3. Trasformazione e compounding dei polimeri .....	135
4.1.4. I compositi strutturali.....	139
4.2 Le principali filiere tecnologiche innovative.....	140
4.2.1. L'ottimizzazione dei materiali.....	140
4.2.2. Materiali nanocompositi .....	143
4.2.3. Biopolimeri .....	145
4.2.4. Principali settori applicativi .....	151

## SINTESI

Il *Made in Italy*, come ogni settore dell'economia, è condizionato dal comportamento dei materiali utilizzati: non c'è, in effetti, attività che non richieda supporti materiali (macchine, strutture, apparati di telecomunicazioni, ecc.). Le innovazioni nel campo dei materiali, quindi, incidono su tutti i settori consentendo il continuo miglioramento delle produzioni esistenti e dando luogo a nuove attività. Tali innovazioni, in particolare, sostengono la competitività del *Made in Italy* in modo dinamico, con un continuo adattamento dei rapporti qualità/prezzo sia alle nicchie più sofisticate sia alla domanda di massa differenziandosi, però, dalle produzioni concorrenti dei paesi di nuova industrializzazione. Negli ultimi decenni, i progressi sui materiali, ben diversi da quelli del passato anche molto recente, hanno reso possibile non solo le grandi innovazioni che configurano la fisionomia della società moderna, ma anche quelle indispensabili per rendere più competitive le produzioni tradizionali o per diversificarle in settori più dinamici. Tuttavia, per adottare i cambiamenti innovativi oggi necessari, non bastano più le tradizionali soluzioni "sicure" dei manuali. L'impresa, soprattutto quella tradizionale, dovrà adottare un nuovo approccio ai materiali basato sulla collaborazione stretta produttore-utilizzatore nonché sulle capacità applicative di conoscenze avanzate, che dovrà generare in proprio o attraverso competenze scientifico-tecnologiche esterne. Questo documento rappresenta un contributo per una migliore comprensione di tale approccio al fine di facilitare le scelte innovative che coinvolgono direttamente o indirettamente i materiali strutturali, che sono quelli di più diretto interesse per il *Made in Italy*. A tale scopo, si analizzano i profondi mutamenti avvenuti nel campo dei materiali, che permettono di rispondere a una domanda sempre più differenziata di beni e servizi, condizionata, più che in passato, da fattori ambientali e di economie di energia.

### *Il lavoro è diviso in tre parti*

Nella **prima parte** si disegna il quadro di riferimento, si definisce il campo di analisi e si descrivono i progressi avvenuti sino a oggi nel campo dei materiali, anche in considerazione della tradizione italiana delle produzioni di eccellenza e dei cambiamenti strutturali della moderna società industriale.

Questi cambiamenti hanno generato, tra tanti altri effetti, anche la tendenza alla "personalizzazione" dei prodotti, la quale comporta spesso modifiche sostanziali dei materiali conosciuti, l'impiego di altri interamente nuovi e un'appropriata gestione dei rifiuti con recupero di materiali ed energia. Il quadro si completa con un'analisi delle nanotecnologie che, oltre a consentire modifiche sostanziali del comportamento dei materiali, favoriscono la convergenza di diverse aree disciplinari, comprese quelle biologiche.

Nella **seconda parte** si discutono i fattori trainanti dell'innovazione nei materiali strutturali, che sono stati da sempre condizionati da vincoli legati all'ambiente e all'efficienza energetica. Si analizzano, in particolare:

- i materiali leggeri, che condizionano l'efficienza energetica delle strutture mobili;
- i materiali per le alte temperature, che condizionano l'efficienza delle macchine termiche;
- i fenomeni dissipativi - quali corrosione, attrito e usura -, che comportano elevati consumi di energia ed un notevole danno economico complessivo;
- il recupero di materiali ed energia dai rifiuti.

Nella **terza parte** si presentano a titolo esemplificativo le problematiche relative alle tre principali classi materiali: metalli e leghe, vetri e ceramiche, materiali strutturali e compositi a base polimerica, dedicando un *focus* particolare a quest'ultima classe per la sua particolare rilevanza per le produzioni tipiche italiane.

## Conclusioni

Le principali conclusioni dello studio sono le seguenti:

- l'innovazione nel campo dei materiali, che interessa direttamente o indirettamente ogni settore dell'economia, è un elemento essenziale per differenziare le produzioni *Made in Italy* da quelle concorrenti dei paesi di nuova industrializzazione;
- questo campo offre attualmente una varietà molto vasta di soluzioni tecnologiche capaci di rispondere a una domanda altamente innovativa, che spesso non riesce a esprimersi in maniera esplicita: tali soluzioni, peraltro, rappresentano opportunità per lo sviluppo di nuove attività, appropriate anche per la diversificazione di produzioni tradizionali poco competitive;
- la ricerca ed eventuale adozione di soluzioni ai problemi di materiali, richiedono oggi un approccio diverso da quello del passato anche recente; la tendenza, sempre più accentuata, alla "personalizzazione" dei prodotti impone soluzioni tagliate su misura, che rendono sempre meno netta la differenziazione tra produttore e utilizzatore di materiali: diventa quindi indispensabile una collaborazione tra questi soggetti molto più stretta che nel passato, anche recente. Sono necessarie inoltre nuove conoscenze che le imprese, specie quelle di minori dimensioni, dovranno acquisire attraverso opportune collaborazioni con università, enti scientifici o imprese di servizi tecnologici.

## 1. QUADRO DI RIFERIMENTO GENERALE

### 1.1 I Materiali. Definizione e limiti del campo di analisi

In questa sede verranno considerati gli elementi in grado di favorire l'adozione di innovazioni che coinvolgono direttamente o indirettamente i **materiali strutturali**, che sono quelli di impiego generale nei settori tradizionali del *Made in Italy*.

#### *Definizioni*

I materiali sono forme della materia di adeguata tenuta strutturale utilizzate nella costituzione delle cose. Oltre alla tenuta strutturale, ai materiali sono spesso richieste anche proprietà dette funzionali (ad esempio: ottiche, elettriche, chimiche, magnetiche, ecc.). Quando queste proprietà diventano prioritarie per rispondere ai requisiti posti al materiale, questo si dice "funzionale". Tra i materiali funzionali quelli "intelligenti" (*smart materials*), capaci cioè di reagire in modo prevedibile alle variazioni delle sollecitazioni o dell'ambiente in cui operano, hanno un elevato potenziale applicativo in molti settori (tessile e abbigliamento, imballaggio per alimenti, arredamento, costruzioni civili, trasporto, sanità, difesa), anche per le potenzialità collegate di riduzione dei consumi di energia e di ri-utilizzazione di scarti.

In ogni caso, è il carattere strutturale che qualifica come materiale qualsiasi forma della materia. Non rientrano in questa definizione i combustibili, i prodotti chimici o i generi alimentari né i gas e i liquidi in generale.

Il concetto è, comunque, assai complesso sì da rendere difficile anche un'univoca considerazione dei materiali nelle statistiche. Ad esempio, il legno è uno dei materiali più utilizzati ai fini strutturali, ma non rientra nella categoria dei materiali quando viene utilizzato come combustibile; molte sostanze, che vengono di solito qualificate come "materiali" nelle classificazioni merceologiche (ad esempio, metalli di lega, il cemento, la sabbia e la ghiaia, ecc.) sono in realtà materie prime, dalle quali vengono prodotti i materiali veri e propri utilizzati nella costituzione di manufatti. Il concetto stesso di materia prima ha un valore relativo: dalla materia "prima-prima" (ad esempio, il minerale) fino al prodotto finale esiste una catena di processi produttivi, in cui il

prodotto di un processo è la materia prima del processo successivo nella catena; dopo la vita utile i prodotti costituiscono i rifiuti, i quali non sono altro che la materia prima dei materiali da riciclo, detti anche materiali “secondari”.

### *Materiali tradizionali e nuovi materiali*

Tradizionalmente la società umana ha utilizzato materiali, di origine sia organica (come legno, fibre naturali, cuoio, gomma) sia inorganica (come pietre, metalli, vetro, ceramica). Dai primi del '900, si è assistito alla diffusione di altre famiglie di materiali, quali l'alluminio e le sue leghe e i polimeri sintetici. L'alluminio, all'epoca quasi sconosciuto, oggi è il metallo a più alto consumo dopo l'acciaio; i polimeri sintetici, che cominciano a diffondersi poco dopo, hanno raggiunto oggi un consumo che supera quello dell'alluminio.

Dalla metà del XX secolo, hanno fatto la loro comparsa numerosi materiali ad alto valore unitario, che hanno reso possibili le innovazioni che configurano la fisionomia del nostro tempo (ad esempio, costruzioni aeronautiche e spaziali, tecnologie dell'informazione, protesi e organi artificiali) e rappresentano soluzioni innovative anche in numerosi campi tradizionali, molti dei quali costituiscono la base del *Made in Italy*.

Le innovazioni, con ampie implicazioni socioeconomiche, rese possibili dalla disponibilità di materiali di recente creazione, hanno portato a sovra-enfatizzare l'espressione “nuovi materiali”: infatti, la distinzione tra materiali tradizionali e materiali nuovi è tutt'altro che netta. Oggi, infatti, quasi tutti i materiali utilizzati sono “nuovi”, nel senso che anche quelli più “tradizionali” rispondono a requisiti diversi rispetto al passato, così come sono diversi anche i processi di lavorazione, e i relativi criteri ambientali, di qualità e sicurezza.

In questa sede ci si limita a considerare i materiali la cui funzione sia prevalentemente strutturale: a titolo esemplificativo si farà uno specifico riferimento ai materiali a base inorganica, metalli e ceramici, mentre si rimanda ad altra sezione la trattazione dei materiali a base organica, plastici e compositi. In ogni caso, non si faranno distinzioni nette tra materiali nuovi e quelli tradizionali comunque modificati.

## **1.2 L'approccio tradizionale ai materiali**

### *Caratteristiche generali*

L'impiego dei materiali lungo i millenni ha reso necessaria una permanente ricerca di soluzioni adatte alle più svariate funzioni e condizionate da fattori socioculturali, ambientali (ad esempio, accesso alle fonti di materia prima, resistenza alle intemperie), funzionali e tecnologici (ad esempio, proprietà adatte alla funzione richiesta, lavorabilità). Le conoscenze necessarie si sono tradizionalmente sviluppate in modo prettamente empirico o artigianale, spesso inconsapevole. Il carattere particolare delle soluzioni raggiunte in questo modo ha contribuito a delimitare aree come la metallurgia, la ceramica, i vetri, i pigmenti, i polimeri sintetici, i materiali di origine organica come il legno, la carta, il cuoio, ecc., sviluppatesi con scarsi collegamenti tra loro.

D'altronde, le conoscenze ottenute mediante laboriose prove empiriche si sono consolidate in lunghi periodi di tempo, rendendo difficili i cambiamenti nelle modalità d'impiego dei diversi materiali. Le loro proprietà (ad esempio, resistenza meccanica, tenuta alle alte temperature o agli agenti atmosferici) furono per lungo tempo ritenute un punto fisso nella realizzazione di ogni oggetto, limitandone la funzionalità e le prestazioni. Di fronte alle infinite variabili che possono influenzare il comportamento di un materiale, l'esperienza accumulata nella lavorazione e nell'impiego era (e in larga misura lo è tuttora) una fondamentale garanzia di affidabilità. Sono numerosi, in effetti, i casi in cui cambiamenti apparentemente irrilevanti nell'impiego dei mate-



riali hanno avuto delle conseguenze negative quando non catastrofiche. Tra i casi più drammatici si possono citare quello delle navi statunitensi *Liberty*, che ebbero un ruolo importante nella seconda guerra mondiale, e dell'aereo britannico *Comet*, il primo velivolo a reazione destinato al trasporto regolare di linea. Nei *Liberty*, le saldature della scocca, adottata per ragioni economiche e di funzionalità, cedevano agli sforzi nel corso della navigazione, nei *Comet* l'inadeguata considerazione del fenomeno di fatica del metallo provocava il cedimento strutturale dell'aereo in volo. Anche in tempi recenti, la consapevolezza dei rischi associati alle oggettive difficoltà di prevedere adeguatamente il comportamento dei materiali ha portato a limitarsi alla "soluzione sicura" indicata dall'esperienza.

Queste caratteristiche dell'approccio tradizionale, sostanzialmente empirico, ai materiali hanno avuto due conseguenze importanti:

- la lentezza del progresso sui materiali, il cui comportamento è stato, in ogni epoca, un limite di fatto alla possibilità di realizzazione delle cose: per realizzare un oggetto, in effetti, i materiali erano un punto fisso della progettazione, la quale si adattava al loro comportamento, limitando le condizioni in cui l'oggetto stesso poteva essere utilizzato (temperature, sollecitazioni meccaniche, ecc.);
- la frammentazione del campo dei materiali in settori ben differenziati (metalli ferrosi e non, semiconduttori, polimeri sintetici, vetro, legno, fibre naturali o sintetiche, ecc.), ognuno dei quali con le proprie problematiche tecnologiche, commerciali e ambientali.

Il lento progredire dei materiali è diventato, soprattutto nella seconda metà del XX secolo, un ostacolo allo sviluppo di altri campi in cui le conoscenze scientifiche e tecnologiche si erano sviluppate molto più rapidamente. I materiali quindi devono rispondere a nuove esigenze rispetto al passato: ad esempio, operare sotto intenso irraggiamento nei reattori nucleari o sopportare in tutta sicurezza sollecitazioni termo-meccaniche e chimiche estreme (componenti strutturali di grandi velivoli, capsule spaziali, palette di turbine, grandi strutture *off shore*, ecc.) o funzionare in ambienti biologici (valvole cardiache, protesi). Lo sviluppo delle tecnologie dell'informazione e delle telecomunicazioni, poi, richiede complesse soluzioni con semiconduttori, materiali e vetri speciali. Anche settori tradizionali - quali la meccanica, il tessile, le costruzioni civili - presentano esigenze, che non sempre possono essere soddisfatte con tecnologie basate solo sull'esperienza consolidata sui materiali ben conosciuti.

### **1.3 Il nuovo approccio ai materiali**

Esiste attualmente una domanda in continuo aumento di soluzioni innovative, che devono essere adottate tempestivamente nel rispetto della sicurezza. Questa domanda e le conoscenze sulla fisica e la chimica della materia condensata che nel contempo progrediscono rapidamente hanno fatto emergere un nuovo approccio ai materiali, basato sulla conoscenza scientifica, che presenta differenze fondamentali da quello tradizionale. Le conseguenze di questo nuovo approccio sono di estrema importanza.

#### *La "scientifizzazione" del campo dei materiali*

Sino al XIX secolo, le conoscenze scientifiche intese nel senso moderno non hanno avuto un'incidenza importante nel campo dei materiali. È in quel secolo che cominciano a rendersi evidenti i contributi della chimica, che portano alla scoperta di nuovi elementi, tra cui l'alluminio, diventato nel secolo successivo, uno dei metalli di più largo impiego. D'altronde, i metodi analitici hanno consentito di stabilire e controllare la composizione dei materiali utilizzati. È ben

noto tuttavia che materiali della stessa composizione chimica, possono comportarsi diversamente dipendendo dai trattamenti termici o meccanici a cui sono stati sottoposti (ad esempio, lavorazione meccanica, tempera, ricottura).

La comprensione delle proprietà dei materiali avviene gradualmente dai primi decenni del '900 grazie ai progressi della fisica che, oltre a concetti fondamentali, ha fornito metodi e strumenti per studiare le strutture atomiche dei solidi, ma il legame tra struttura e comportamento dei materiali rimarrà scarsamente compreso per lungo tempo. È illustrativo che verso la fine degli anni '40, quando il corpo di conoscenze fondamentali della fisica e della chimica moderna era già sostanzialmente costituito, non esisteva ancora una spiegazione soddisfacente dell'indurimento di un pezzo di ferro martellato e del recupero della malleabilità mediante un opportuno riscaldamento, comportamenti conosciuti dai fabbri sin dall'antichità.

Il progresso delle conoscenze sui materiali si è rapidamente accelerato, grazie all'adozione sempre più accentuata delle conoscenze scientifiche (si vedano più oltre le Figure 2, 3 e 4 nell'ambito dell'analisi dei fattori di innovazione). Tuttavia, il contributo di queste ultime si manifesta in modo assai differenziato nelle diverse famiglie di materiali e dei processi di lavorazione. Basta considerare due casi estremi: le funzioni rispondenti alle necessità delle tecnologie dell'informazione (microprocessori, sistemi di immagazzinamento e trasmissione dell'informazione) e le funzioni prevalentemente strutturali. I materiali biocompatibili per protesi e organi artificiali, i materiali magnetici, i superconduttori, ecc., costituiscono situazioni intermedie tra questi due estremi.

Le tecnologie dell'informazione hanno bisogno di materiali con caratteristiche particolari relative alla conduzione di impulsi elettrici o luminosi, comunque inquadrabili in modelli teorici basati su principi fisici fondamentali. Senza un'appropriata conoscenza scientifica sarebbe stato impensabile scoprire e controllare le proprietà di questi materiali in modo di realizzare i *transistor*, i microprocessori, le memorie, i sistemi di trasmissione dell'informazione mediante la luce o correnti elettroniche. I materiali strutturali correnti (ad esempio, ceramici, vetro, metalli di svariato tipo, polimeri, legno, calcestruzzo), configurano una situazione diversa. Per questi materiali sono di prioritario interesse le proprietà meccaniche anche in condizioni estreme (ambiente chimicamente aggressivi, alte temperature, elevato rapporto resistenza meccanica/densità), che dipendono in maniera complicata dalla struttura atomica o molecolare dei materiali stessi. Di conseguenza, la "personalizzazione" a particolari esigenze rimane tuttora un problema difficile da affrontare sulla sola base delle conoscenze scientifiche. Così le modifiche ai materiali di uso corrente hanno continuato a essere perseguite in modo empirico, ma con un contributo scientifico sempre più rilevante, che agisce su due fronti principali:

- orientando le prove empiriche, con una sostanziale riduzione del numero di prove da realizzare;
- fornendo efficaci strumenti, operativi, di osservazione e controllo e metodi computazionali, che rendono possibili la simulazione di prove e processi, progettare molecole, e realizzare nuove forme di lavorazione quali, ad esempio, la prototipazione rapida, che facilita enormemente molte lavorazioni industriali, particolarmente quelle di formatura richiedenti stampi precisi.

#### *Ruolo dei metodi strumentali e computazionali.*

Questi metodi hanno dato e continuano a dare un contributo estremamente importante ai progressi del campo dei materiali, compresa la loro unificazione in base a concetti chimico-fisici fondamentali. La fisica computazionale ha permesso di utilizzare sempre più efficacemente le tecniche numeriche di simulazione e di progettazione di materiali tagliati su misura per particolare impieghi, di molecole o strutture profondamente modificate a livello delle distanze interatomiche. Per quanto riguarda la strumentazione, vanno segnalati tra gli strumenti più recenti e in rapida

evoluzione il microscopio di forza atomica (AFM) e il microscopio a scansione ad effetto tunnel (STM) che consentono generare immagini ad alta risoluzione di atomi o molecole nelle superfici inorganiche e polimeriche. Altri strumenti impiegati da molto tempo, come le apparecchiature di diffrazione di raggi X, i microscopi elettronici a trasmissione ed a scansione e diverse tipologie di spettrometri, sono stati di recenti notevolmente migliorate anche grazie a un uso intelligente dei mezzi informatici e di grandi apparecchiature quali i sincrotroni che forniscono sorgenti di radiazioni ad alta intensità.

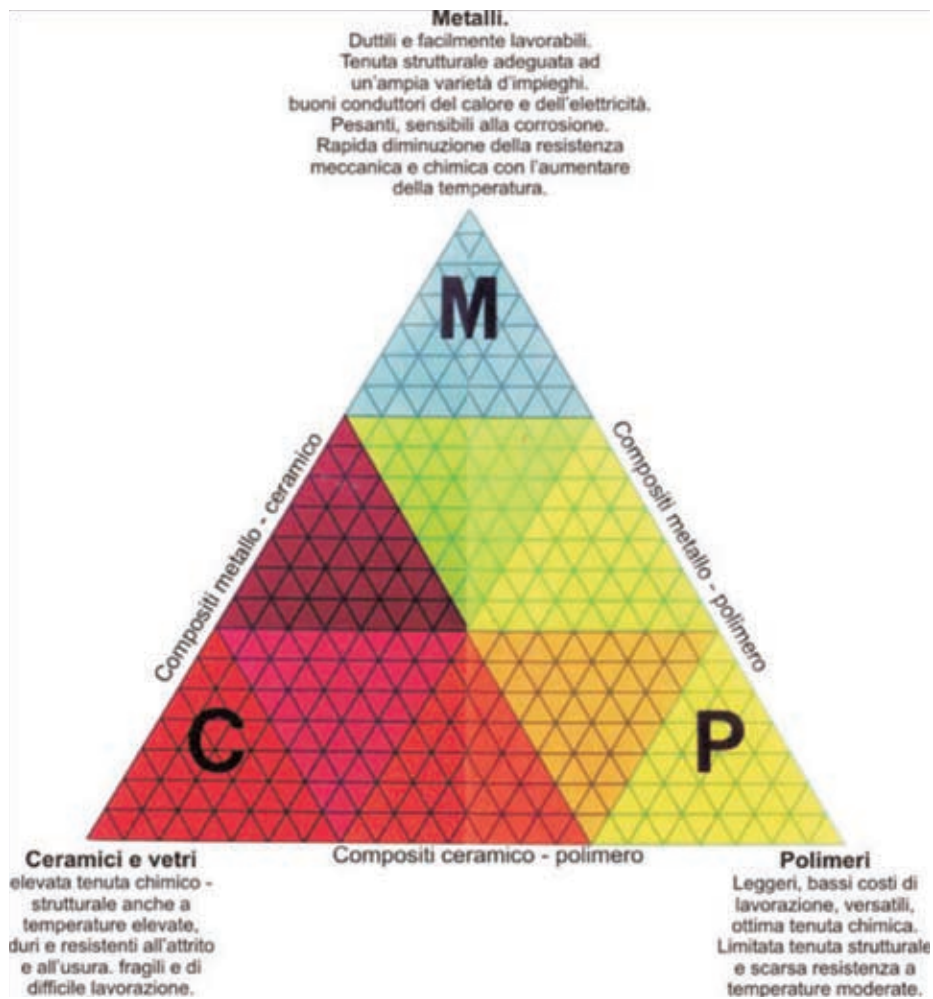
*Conseguenze del nuovo approccio.*

Sono fondamentalmente le seguenti:

- *unificazione del campo dei materiali e proliferazione dei materiali modificati o interamente nuovi.* Le conoscenze scientifiche, abbinate alla tradizione di empirismo, che dagli anni '60 compongono il campo multidisciplinare della "scienza dei materiali", permettono di considerare diverse aree, quali i metalli, i ceramici, i polimeri, ecc., sulla base di concetti fondamentali comuni riguardanti le forze di coesione, gli effetti elettronici, le strutture atomiche e molecolari, la termodinamica delle trasformazioni nei solidi. Diviene così possibile generare un gran numero di materiali con proprietà interamente nuove, ottenute sia modificando materiali conosciuti sia sintetizzando sostanze mai usate prima come materiale. Diventa per altro sempre più frequente l'uso di materiali compositi di vario tipo, che combinano materiali diversi in un'unica unità strutturale con proprietà differenti da quelle dei singoli materiali costituenti (Figura 1);
- *cambiamento concettuale nella proprietà dei materiali: da "punto fisso" della progettazione" a variabile sulla quale si può intervenire.* Chi progetta un oggetto tende sempre meno a pensare ai materiali come prodotti disponibili, "a proprietà fissate" e ben catalogate in qualche manuale. Si tende invece a considerare i materiali come parte di un processo integrato che va dai requisiti di costi, prestazioni, qualità e sicurezza imposti dalle funzioni a cui è adibito un oggetto, passando per tutte le fasi tecnologiche che richiede la sua realizzazione, dalla nascita allo smaltimento degli scarti di lavorazione e dell'oggetto stesso alla fine della sua vita utile.

Nella maggior parte delle realizzazioni correnti, il progettista usa ancora i materiali senza porsi direttamente il problema di modificarne le proprietà. Tuttavia, può contare oggi su una scelta molto più vasta, rispetto ad alcuni decenni fa, e ha a disposizione metodologie e conoscenze di base, che consentono di compensare in buona misura la mancanza di esperienza con i materiali ancora poco conosciuti. D'altronde, la distinzione tra produttore e utente dei materiali diventa sempre più sfumata, a causa della sempre più frequente necessità di "personalizzare" i materiali come parte delle soluzioni progettuali adottate.

**Figura 1 - Schema delle tendenze a sfruttare contemporaneamente i vantaggi di diverse famiglie di materiali abbinandoli in un'unica unità strutturale.**



Cambio concettuale nella considerazione delle proprietà dei materiali: da "punto fisso" della progettazione a variabile sulla quale si può intervenire in tempi sufficientemente brevi e con adeguati livelli di sicurezza. Attualmente si usano sempre più frequentemente compositi costituiti da due materiali, rappresentati sui lati del triangolo: metallo/ceramico (es. compositi di particelle ceramiche disperse in una matrice metallica, rivestimenti ceramici di pezzi metallici per renderli più resistenti all'attrito e all'usura); ceramici-vetro/polimero (es. parabrezza di un'automobile costituito da due lamine di vetro con in mezzo una lamina di polimero; rivestimenti polimerici di vetri antilaceranti; rivestimenti ceramici di film polimerici); polimero/metallo (es. pannelli leggeri di alluminio e polimero accoppiati; rivestimenti metallici di film polimerici). Soluzioni più diversificate potrebbero essere ottenute combinando più materiali, spostandosi, cioè all'interno del triangolo (Fonte: ALCOA Corp. Pittsburgh Pennsylvania, Stati Uniti).

#### 1.4 Materiali con proprietà nuove o sostanzialmente modificate

I materiali attivi (detti anche "intelligenti") sono materiali che cambiano le loro proprietà di fronte a stimoli termici, meccanici, ottici, elettrici, magnetici o chimici.

Tipicamente, le leghe metalliche dette "a memoria di forma" che, in risposta a uno stimolo termico, consentono a un oggetto deformato di tornare alla forma geometrica originale, o i solidi piezoelettrici e magnetostrittivi che reagiscono con una deformazione meccanica all'azione di un campo elettrico o magnetico, i rivestimenti superficiali dei vetri (che a seconda dell'intensità luminosa o dietro l'applicazione di un campo elettrico cambiano la trasparenza), i liquidi che variano drasticamente la loro viscosità con l'applicazione di campi elettrici o magnetici. Molte di queste caratteristiche sono conosciute da qualche decennio e la loro interpretazione ed eventuale

controllo si basa su conoscenze ben consolidate. Esiste già un impiego significativo di leghe a memoria e di materiali piezoelettrici ma, nell'insieme, il potenziale applicativo di questi materiali è molto vasto. Aprono, infatti, nuove prospettive alle realizzazioni di strutture capaci di reagire "intelligentemente" a sollecitazioni complesse, come quelle che si presentano negli arti artificiali oppure nei velivoli e nelle grandi strutture (ad esempio, ponti, grandi gru), dove consentirebbero di ridurre pesi e ingombri migliorando anche la sicurezza.

L'industria dell'auto è destinata a essere un grande consumatore di questi materiali, potendo essere utilizzati in sostituzione di una parte significativa dei motori attuatori. Attualmente, un'auto di serie può contenere oltre 50 di questi motori (pompe, tergilavatergicristallo, chiusura finestrini, ABS, ecc.) con un peso complessivo notevole, che potrebbe essere così sostanzialmente ridotto. L'uso esteso dei materiali attivi dipende da "quanta intelligenza" occorra per gestire il sistema in cui vengono utilizzati. Per sistemi in cui i materiali devono reagire a sollecitazioni complesse, quali il rilevamento, l'elaborazione dei segnali e la reazione del sistema, è necessario far ricorso a tecnologie cibernetiche molto sofisticate e comunque costose.

### *Materiali in stati estremi*

Molti dei requisiti posti attualmente ai materiali possono soddisfarsi solo mediante procedure estreme, altamente sofisticate, di preparazione e trattamento, utilizzando anche appropriati metodi di osservazione e controllo. Tali procedure e metodi, ritenuti sino a tempi recenti curiosità da laboratorio, sono diventati progressivamente più accessibili. Anche se non tutti i modi estremi sono ugualmente importanti dal punto di vista delle applicazioni pratiche, i materiali ottenuti tendono a diffondersi in quanto consentono di soddisfare funzioni altrimenti irrealizzabili. Si possono menzionare alcune applicazioni:

- *lavorazioni sotto alte pressioni.* Questa metodologia, ispirata ai processi della geologia profonda, sono state investigate dai primi decenni del XX secolo, ha dato risultati importanti quali la produzione su scala economica del diamante sintetico e di altri materiali duri d'interesse industriale;
- *solidificazione rapida e altri metodi di amorfizzazione di metalli.* L'estremizzazione in questo caso è la velocità di raffreddamento, le intense deformazioni meccaniche o l'interdiffusione termica di materiali cristallini disposti in strati sottili adiacenti. L'applicazione più conosciuta dei metalli ferrosi amorfi è nei trasformatori con perdite magnetiche e di correnti parassite inferiori a quelle dei trasformatori ordinari che utilizzano leghe ferro-silicio;
- *materiali nanostrutturati,* caratterizzati da grani estremamente piccoli di dimensioni di poche distanze interatomiche. La diffusione di questi materiali è condizionata dalla convergenza di discipline tecnologiche diverse, compresa la biologia (si veda *ultra*);
- *strati e rivestimenti superficiali estremamente sottili.* Un materiale in forma estremamente sottile possiede proprietà diverse da quelle del materiale massiccio e può quindi adempiere funzioni diverse, ad esempio, in dispositivi quali sensori e microprocessori. Tuttavia, l'impiego più diffuso di questi strati è per rivestire superficialmente le componenti ottiche o meccaniche, al fine di renderle più funzionali in svariate applicazioni, come la decorazione, il miglioramento della resistenza alla corrosione e all'attrito e l'usura, il controllo di proprietà ottiche, ecc. Le tecniche per realizzare i rivestimenti superficiali sono numerose e molte tra loro sono correntemente utilizzate in diversi settori produttivi, così da costituire un settore il cui fatturato nell'insieme delle economie industrializzate è dell'ordine dei diversi miliardi €. Gli operatori di questo settore offrono sul mercato sia il servizio di trattamento superficiale sia l'*hardware* di processo, oppure entrambi. Le conoscenze avanzate sulle nanostrutture possono trovare applicazioni per i trattamenti destinati a soddisfare i segmenti più innovativi di questi mercati;



- *quasi cristalli, con assi di simmetria pentagonale*. Fino alla scoperta nel 1980, si considerava che questo tipo di simmetria non potesse esistere nei solidi cristallini. Da allora, l'interesse di carattere scientifico per questi solidi è stato fondamentale. Di recente, si è cominciato a esplorare il potenziale applicativo dei *materiali quasicristallini*, derivante dalla loro durezza, dall'elevata resistività elettrica e dal basso coefficiente di attrito.

### 1.5 L'evoluzione dell'industria dei materiali

I materiali, insieme all'energia e all'informazione (nell'accezione più ampia che include le conoscenze scientifiche, tecnologiche, organizzative, gestionali, ecc.) sono indispensabili per la realizzazione di tutti i beni e servizi. Così, è esistita da sempre una forte correlazione tra le grandi trasformazioni socioeconomiche, da una parte, e i grandi cambiamenti tecnologici, i materiali utilizzati, le modalità d'uso dell'energia e i relativi riflessi sull'ambiente dall'altra. Attualmente, come in passato, sono in atto grandi mutamenti nel sistema dei materiali correlati alla trasformazione strutturale delle economie industrializzate, che segnano il passaggio da un modello basato su elevati consumi di materiali di base e di energia, a un modello basato sulla conoscenza. In relazione a tale trasformazione, l'offerta/domanda di materiali appare profondamente modificata rispetto al passato recente. Si verifica infatti, una riduzione strutturale del consumo di energia e di materiali di base per unità di reddito (consumo/PIL). Nel contempo, cresce rapidamente una domanda sempre più differenziata di beni e servizi, alla quale si deve rispondere con soluzioni altamente innovative che coinvolgono direttamente o indirettamente i materiali.

Questi, sia interamente nuovi sia risultanti da modifiche di materiali conosciuti, non solo rendono possibile lo sviluppo di campi altamente innovativi (aerospazio, microelettronica, telecomunicazioni, biomedicale, ecc.) ma rappresentano anche soluzioni innovative in numerosi campi più tradizionali (la meccanica - compresi l'automobile e gli elettrodomestici -, l'imballaggio, l'edilizia, il tessile e l'abbigliamento, ecc.). I cambiamenti nel campo dei materiali contribuiscono, quindi, al necessario rinnovamento del sistema produttivo, migliorando sostanzialmente la competitività nelle produzioni dei comparti tradizionali e fornendo nuove opportunità per diversificare in settori più dinamici, trainanti dello sviluppo.

I diversi settori industriali che compongono la vasta area dei materiali, appaiono così fortemente modificati. L'offerta/domanda, che fino a qualche decennio fa manifestava la prevalenza delle grandi imprese produttrici e di trasformazione di pochi materiali di massa a ampio uso, oggi appare molto variegata. In particolare:

- le produzioni di base, tendono a concentrarsi nell'ambito di poche grandi imprese transnazionali e/o a diversificare modificando processi, strutture organizzative e modalità gestionali, per rispondere in maniera agile alle fluttuazioni della domanda, nel rispetto di rigorosi criteri economici e ambientali, compreso il recupero di scarti di lavorazione e dei prodotti alla fine della loro vita utile. Questi cambiamenti sono facilitati attualmente dalle tecniche computazionali che consentono di simulare e progettare sia i processi (ad esempio, estrazione di un materiale da materie prime primarie e secondarie, formatura di metalli e di polimeri), sia l'hardware di processo (reattori chimici, stampi, ugelli, ecc.). Le attività di ricerca e sviluppo, tradizionalmente limitate nelle industrie di base devono quindi potenziarsi anche mediante una più ampia ed efficace collaborazione con università ed enti scientifici;
- molte imprese tendono a diversificare le loro lavorazioni di singoli materiali con l'abbinamento di materiali diversi in uniche unità strutturali, dando origine a materiali compositi di ampio impiego in numerosi settori produttivi, che rendono necessaria la collaborazione stretta tra produttori e utilizzatori;



- la crescita della domanda diversificata di beni e servizi ha favorito la nascita di numerose aziende medio-piccole, ad alta qualificazione tecnologica, sempre più spesso originate in ambito universitario, che tendono ad occupare nicchie di mercato ad alto valore aggiunto;
- il problema ambientale impone vincoli sempre più stringenti ai processi produttivi e ai prodotti. Ciò rende necessario riprogettare prodotti e processi per favorire sia il recupero di materiali alla fine della vita utile sia la riduzione delle emissioni dannose e la generazione di sfridi in tutte le fasi di lavorazione. È chiara anche la tendenza a sviluppare le applicazioni dei materiali secondari ottenuti da rottami; un problema quest'ultimo analogo a quello dello sviluppo di impieghi di materiali interamente nuovi (necessità dello sviluppo di impieghi, di criteri di qualità e di sicurezza, con relative normative, ecc.).

L'insieme di questi cambiamenti avvicina sempre di più produttori e utilizzatori. La progettazione di un prodotto, con i relativi processi di fabbricazione, tende a diventare una fase unica integrata con coinvolgimento diretto sin dalle fasi iniziali della progettazione stessa dei fornitori che quindi assumono un ruolo decisivo del materiale e delle soluzioni tecnologiche a esso collegate. La partecipazione attiva dei produttori di materiali consente loro, da un lato, di inserirsi in modo ottimale nella concezione dei prodotti finali e, dall'altro, di apprezzare tempestivamente le esigenze di frontiera del mercato e di stabilire rapporti preferenziali e di fidelizzazione dell'utilizzatore, diventato, per molti versi un *partner*.

## **1.6 Le “rivoluzioni” recenti nel campo dei materiali: il caso delle nanotecnologie**

### *Evoluzione e rivoluzioni nel campo dei materiali*

Nei paragrafi precedenti ci si è soffermati sulla rapida evoluzione dei materiali negli ultimi decenni, che contrasta con i progressi del passato, anche recente, molto più lenti di quelli di altre aree scientifiche e tecnologiche.

Questa evoluzione accelerata ha esercitato una grande influenza sullo sviluppo del sistema industriale ed economico. Senza tale evoluzione, le innovazioni che caratterizzano l'attuale fisionomia della società industriale sarebbero irrealizzabili.

In contrapposizione a questa evoluzione silenziosa, negli ultimi decenni si è assistito alla vistosa promozione di progressi scientifico-tecnologici in ogni campo.

Nel solo campo dei materiali numerosi progressi sono stati considerati di volta in volta “rivoluzionari”, verificando poi un impatto meno significativo di quello inizialmente pubblicizzato, ad esempio:

- la superconduttività, che avrebbe dovuto rinnovare profondamente l'industria elettrica, con notevoli risparmi di energia, riduzione di effetti sull'ambiente e implicazioni di vasta portata. Le applicazioni, tuttavia, rimangono per la maggior parte limitate a impieghi specifici, assai sofisticati, in aree quali la strumentazione scientifica e medica;
- i ceramici strutturali ampiamente promossi negli anni '80, con particolare riguardo agli impieghi nell'industria dell'auto che avrebbero dato origine a un nuovo settore industriale con un fatturato annuo in tutto il mondo di qualche miliardo \$. Questo non è avvenuto e l'uso dei ceramici strutturali rimane confinato a nicchie applicative in funzioni antiusura e di resistenza alle alte temperature.
- l'arseniuro di gallio e altri composti semiconduttori III-V avrebbero rivoluzionato l'industria elettronica generando inoltre un altro settore di fatturato di miliardi \$. Attualmente la microelettronica continua a essere basata sul silicio e le innovazioni radicali che si prospettano mirano a soluzioni diverse dall'arseniuro di gallio che viene utilizzato in specifiche nicchie.

Basta un rapido sguardo allo sviluppo scientifico del passato recente e meno recente per mettere in evidenza che non esistono relazioni causa-effetto più o meno dirette tra particolari progressi in qualche area della scienza o della tecnologia e grandi cambiamenti estesi nel sistema produttivo e sociale. Esiste, tutt'al più, una correlazione tra questi cambiamenti e la diffusione di certi progressi scientifico-tecnologici nel sistema produttivo, che si integrano ad altri in aree della conoscenza non sempre vicine. Il carattere "rivoluzionario" di un cambiamento non è quindi facilmente prevedibile e una sua promozione a priori, può danneggiare la credibilità da parte dei potenziali investitori.

### *Il caso delle nanotecnologie*

La manipolazione della materia su scala nanometrica - cioè negli ordini di grandezza delle distanze interatomiche in un solido - rende possibile numerose realizzazioni pratiche altrimenti inimmaginabili.

La considerazione della materia su una tale scala dimensionale, peraltro, tende a stabilire legami concettuali e metodologici tra forme diverse di organizzazione della materia stessa, sia inorganica sia vivente (vedi *ultra*). Il reale contributo delle nanotecnologie alla conoscenza e i potenziali effetti sullo sviluppo economico hanno risvegliato un grande interesse in tutti i paesi industrializzati, sia nelle strutture scientifico-accademiche sia nelle politiche della ricerca e dell'innovazione. In questo contesto, si considerano le nanotecnologie come un progresso ulteriore nel campo dei materiali e alcuni dei fattori che possono incidere sulla loro diffusione nell'intera economia.

### *Fattori che favoriscono la diffusione delle nanotecnologie nel sistema produttivo:*

- la loro pervasività, in gran parte collegata con gli effetti su diversi campi scientifico-tecnologici (materiali, medicina, tecnologie dell'informazione, ecc.). Un esempio illustrativo è l'interazione tra nanotecnologie e industria della strumentazione: mentre queste tecnologie creano una domanda di strumenti specifici, la domanda di strumenti sempre più sofisticati per applicazioni scientifiche, mediche e industriali, crea a sua volta una domanda significativa di soluzioni nano-tecnologiche;
- l'esperienza accumulata in ogni settore produttivo nell'adozione dei progressi recenti nel campo dei materiali, i quali saranno fortemente influenzati dalle nanotecnologie;
- la priorità riconosciuta alle nanotecnologie nelle politiche della scienza e dell'innovazione nei principali paesi industrializzati e in università, enti scientifici e imprese, che si traducono anche nei finanziamenti alla ricerca e sviluppo in questa area scientifico-tecnologica.

### *Fattori che possono ostacolare la diffusione:*

- fattori socioculturali ed economici. Questi fattori incidono in generale su tutti i cambiamenti altamente innovativi condizionandone la loro adozione diffusa e i riflessi sullo sviluppo. In particolare, la diffusione di innovazioni ad alto contenuto scientifico-tecnologico, diventerà più difficile in quelle culture industriali basate su produzioni a tecnologia medio-bassa, con una limitata propensione al rischio. Le politiche nazionali e gli organi preposti alla promozione dell'innovazione dovranno quindi agire in base a criteri originali, appositamente concepiti per ogni contesto socioculturale ed economico, in modo da abbassare le barriere economico-culturali all'adozione di innovazioni avanzate;
- fattori riguardanti l'ambiente, la salute umana e la sicurezza sul lavoro. Basta una rapida revisione della letteratura internazionale degli ultimi 25 anni per mettere in evidenza la sproporzione tra la mole dei lavori pubblicati sui più svariati aspetti delle nanotecnologie e il limitato numero di studi riguardanti i possibili effetti sulla salute umana e sull'ambiente. Solo nei primi

anni 2000 si comincia a trovare un numero significativo di studi con espliciti riferimenti a tali effetti. Tuttavia, e nonostante i progressi realizzati negli ultimi anni, la conoscenza sulla nocività di questi effetti e la possibilità di prevenirli è ancora scarsa. È carente, pertanto, il quadro legislativo e normativo per le applicazioni delle nanotecnologie, anche nei paesi più sviluppati, particolarmente attenti al rispetto di regole stringente in altri settori di attività (materiali, sanità, sicurezza e igiene del lavoro, chimica, farmaceutica). Sta di fatto che i materiali, i farmaci e le sostanze chimiche strutturati a livello nanometrico, hanno proprietà e comportamenti spesso molto diversi dalle sostanze regolamentate dalla legislazione e dalle normative vigenti. Un esempio per tutti: i nanotubi in carbonio sono certamente una forma del carbonio, ma per molti versi si comportano come l'amianto.

Queste carenze lasciano ampio spazio a dubbi e prevenzioni che possono rappresentare un ostacolo alla diffusione ampia delle nanotecnologie nel tessuto produttivo. Lo sviluppo di valutazioni scientificamente fondate dei possibili effetti delle nano-tecniche porterà a un'appropriata definizione del quadro legislativo-normativo, a livello internazionale, comunitario e nazionale. In particolare, appare urgente la considerazione degli effetti che possono emergere dal contatto diretto del corpo umano con nanoparticelle, pigmenti e stoffe contenenti componenti comunque derivati dall'applicazione di nanotecnologie.

## 1.7 La convergenza con le biotecnologie, le tecnologie dell'informazione e le scienze cognitive (NBIC)

### *La convergenza NBIC*

Nei primi anni 2000 si è cominciato a diffondere l'espressione *NBIC-converging technologies*, o semplicemente *converging technologies*, per indicare l'avvicinamento concettuale e metodologico tra nanotecnologia, biotecnologia, tecnologie dell'informazione e scienze cognitive. La convergenza tra le menzionate discipline va considerata su basi diverse rispetto a quelle della crescita *ordinaria* (*mundane*, in inglese) su piccola scala, di aree multidisciplinari o interdisciplinari. In realtà, un processo spontaneo d'integrazione (o convergenza) di diversi campi della conoscenza, non solo scientifica, è avvenuto in ogni epoca, in quanto è una strada obbligata per far fronte a problemi, compresi i fenomeni naturali, difficilmente trattabili nell'ambito degli schemi intellettuali di singole discipline scientifiche e non. Nel corso del XX secolo questa convergenza si è ulteriormente accelerata e fortemente accentuata come conseguenza della crescente varietà e complessità dei problemi della società moderna. Sono sempre più necessarie, in effetti, conoscenze ampie, in cui si sovrappongono concetti, metodologie e strumenti di diverse aree disciplinari. Senza una tale convergenza sarebbero impensabili non solo i progressi tecnologici più spettacolari come quelli nell'ambito spaziale, delle telecomunicazioni e delle scienze della vita, ma anche nei più svariati settori scientifici (comprese le scienze umane e sociali), industriali e di servizi.

In questo documento, la convergenza di diversi campi scientifici e tecnologici, viene considerata per la sua importanza nell'affrontare problematiche associate con cambiamenti altamente innovativi, come le nanotecnologie. Queste incidono anche su campi diversi da quello dei materiali e pongono comunque problemi riguardanti la materia vivente, che possono ostacolare la diffusione di soluzioni nanotecnologiche in ampie fasce di attività economica, come si è visto in precedenza. Una breve considerazione del caso della materia condensata permette di mettere in evidenza alcuni elementi, che sembrano indicare che la convergenza *NBIC* non è che una fase ulteriore di un processo continuo d'integrazione di conoscenze diverse, che si è verificato lungo tutta la storia umana. Da questa lunga esperienza possono trarsi indicazioni utili per l'attuale fase d'integrazione.

*La convergenza nel caso della materia condensata. Ruolo dei metodi strumentali.*

La considerazione della materia su una scala nanometrica – cioè dell'ordine delle distanze interatomiche in un solido - fornisce una base comune di analisi di diverse forme di organizzazione della materia stessa, sia inorganica sia vivente. In un paragrafo precedente, è stato discusso l'effetto unificatore di un approccio scientifico che permette considerare famiglie di materiali diversi sulla base di concetti fondamentali comuni, anche grazie a metodi strumentali e computazionali.

Questi metodi rappresentano un elemento fondamentale nella convergenza di discipline diverse che vanno oltre il campo dei materiali. È ben noto, dai primi decenni del '900, il contributo della diffrazione di raggi X, che ha consentito lo studio dettagliato delle relazioni struttura atomica/proprietà, sia della materia inorganica (minerali, metalli e leghe ferrose e non ferrose) sia di molecole che svolgono funzioni biologiche essenziali, come l'emoglobina, la penicillina, la vitamina B<sub>12</sub>, l'insulina, fino al caso della struttura a doppia elica del DNA.

Riflessioni simili si possono fare per la microscopia elettronica in trasmissione o a scansione. I microscopi elettronici, dalla loro adozione sono stati ampiamente impiegati in studi d'interesse biologico. Hanno dato anche un importante contributo sperimentale nel campo della fisica e della chimica dei solidi e nella metallurgia fisica. Se entra nel campo della medicina, si può dire che tutti i metodi diagnostici attualmente in uso comportano la comprensione simultanea dei processi che avvengono all'interno del corpo umano e di quelli fisici e chimici fondamentali: dalle tradizionali radiografie alla moderna diagnosi per immagine quali le ecografie, la RMN (*risonanza magnetico-nucleare*), la PET (*Positron Emission Tomography*), l'OTC (*tomografia a coerenza ottica*), ecc.. Va aggiunto che tutti questi metodi diagnostici sono possibili anche grazie a un'integrazione sempre più accentuata di metodi computazionali.

*Nanotecnologie e convergenza.*

La visione della materia e la sua manipolazione su scala nanometrica tende a sfumare le differenze tra le diverse forme della materia stessa, anche vivente.

L'introduzione di una molecola o di una nanoparticella in una cellula vivente è un processo nano-biotecnologico, che può lasciare una traccia registrata nella memoria della cellula, così come *bit* di informazione nella memoria di un computer. La considerazione dei materiali su scala nanometrica, per importanti che siano i risultati che ne possono derivare, è del tutto insufficiente per trattare la materia vivente, i meccanismi di trasmissione ed elaborazione dell'informazione, le implicazioni sulla vita umana e la società.

Occorre, in effetti, il concorso di altre aree scientifico-tecnologiche, come quelle sintetizzate nell'acronimo *NBIC*: le nanotecnologie e le tecnologie biologiche dovrebbero consentire lo sviluppo di soluzioni più appropriate per i diversi campi. Considerando gli effetti sull'ambiente e la salute; le tecnologie dell'informazione e le scienze cognitive dovrebbero occuparsi del monitoraggio ed eventuale controllo dell'insieme degli effetti anche sulla sfera sociale, e favorire uno scambio di modelli di pensiero, compresi quelli dell'intelligenza artificiale e le reti neurali.

Nell'immediato un approccio basato su tale convergenza è una strada obbligata per lo sviluppo di applicazioni delle nanotecnologie che coinvolgono la materia vivente (ad esempio, in campo medico-farmacologico) e la valutazione e prevenzione di effetti sull'ambiente, l'igiene sul lavoro e la salute umana in generale.

Si dovrà quindi procedere secondo questo approccio anche per stabilire un quadro legislativo-normativo (oggi carente o addirittura inesistente), al quale si è già fatto riferimento. In particolare, appare urgente la considerazione degli effetti che possono emergere dal contatto diretto del corpo umano con nanoparticelle, pigmenti e tessuti contenenti componenti comunque derivati dall'applicazione di nanotecnologie.

*Alcune conclusioni.*

- La convergenza *nanotecnologie - biologia-tecnologie dell'informazione - scienze cognitive* ha un'importanza pratica immediata, a prescindere da implicazioni più vaste. Un approccio integrato, basato su tale convergenza appare, in effetti, indispensabile per affrontare problemi che possono ostacolare la diffusione delle nanotecnologie con un rischio potenziale per gli investimenti realizzati per il loro sviluppo.
- Anche se l'integrazione di diverse aree disciplinare é avvenuta lungo la storia in maniera spontanea, appare oggi necessario che la convergenza *NBIC* venga esplicitamente considerata nelle politiche della ricerca e dell'innovazione, con un'accurata valutazione dei suoi effetti e implicazioni.

**1.8 Fattori di innovazione nei materiali strutturali: problemi attuali e nuove opportunità***Fattori energetici e ambientali condizionanti l'innovazione*

I materiali impiegati in ogni epoca, sono stati direttamente o indirettamente condizionati dall'ambiente e dai consumi di energia. I materiali, in effetti, hanno origine da risorse naturali, che si estraggono dall'ambiente e, dopo essere passati attraverso tutte le fasi di lavorazione e di impiego, finiscono nell'ambiente sotto un'altra forma di risorse, che sono i rifiuti. In tutte queste fasi, “dalla culla alla tomba”, si consuma energia e si generano effetti sull'ambiente. Appare quindi chiaro come ogni società abbia privilegiato l'impiego di materiali disponibili nell'ambiente in cui era insediata e che poteva estrarre e lavorare con maggiore facilità, cioè con minore sforzo ovvero con economie di energia umana, animale o di qualsiasi altra origine.

I progressi tecnologici e socioeconomici hanno cambiato le modalità dei condizionamenti energetici e ambientali. L'estrazione di risorse naturali non è limitata alle vicinanze dei centri di lavorazione e di consumo, ma il trasporto, spesso su lunghe distanze, implica consumi di energia e genera effetti sull'ambiente che si aggiungono a quelli associati a tutte le fasi di lavorazione e di impiego, sempre più sofisticate, che accrescono il valore delle tecnologie e diminuiscono quello delle risorse naturali. Il risparmio energetico e la tutela dell'ambiente continuano però a interessare trasversalmente tutte le attività produttive e di consumo, e coinvolgono pesantemente i materiali sia per gli effetti derivanti della loro produzione e dal loro impiego, sia per le soluzioni che possono offrire per aumentare l'efficienza complessiva del sistema produttivo.

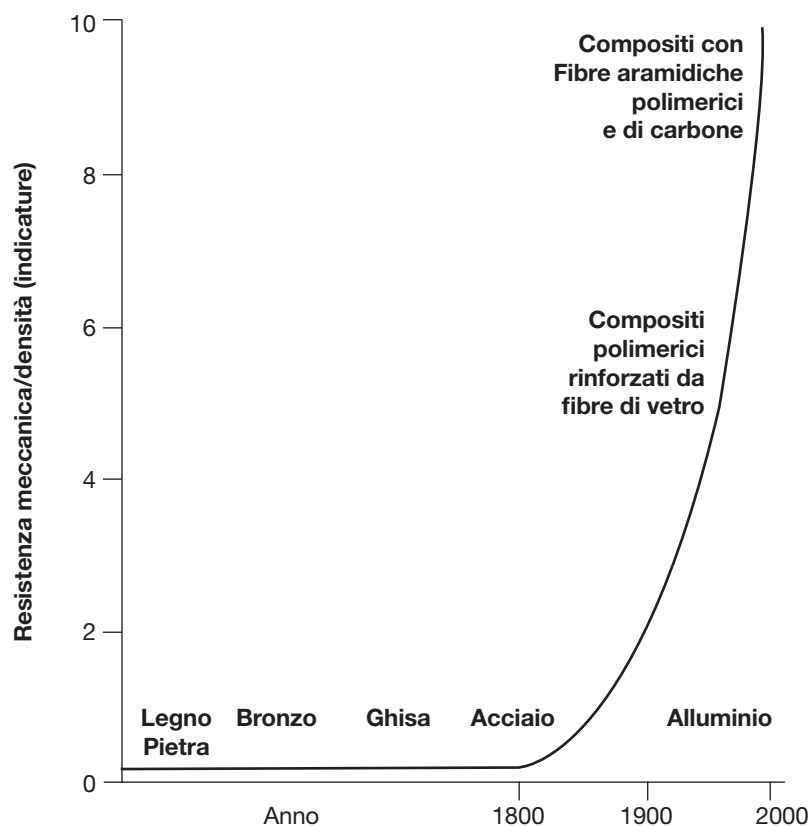
La necessità di ridurre i consumi di energia in numerose applicazioni, porta allo sviluppo di materiali che devono armonizzare resistenza meccanica e leggerezza. Esigenze sempre più stringenti, impongono ai materiali un comportamento, in ambienti molto diversi, caratterizzati sia da agenti naturali, sia da condizioni particolari, quali quelle di servizio ad alta temperatura o in mezzi biologici all'interno di esseri viventi. La gestione dei rifiuti, infine, impone altri vincoli per favorire il recupero di energia e la riutilizzazione di materiali.

Nei paragrafi successivi sono esemplificate queste problematiche condizionanti l'attuale sviluppo dei materiali.

*Resistenza meccanica e leggerezza*

Il rapporto tra la resistenza meccanica di un materiale (ad esempio, resistenza alla trazione, alla compressione, al taglio, alla frattura) e la sua densità condiziona pesantemente l'efficienza energetica delle strutture mobili. La Figura 2 schematizza la variazione di questo rapporto in funzione del tempo, dalla quale risulta chiaro il notevole progresso realizzato nella seconda metà del XX secolo. Le possibili risposte ai requisiti di resistenza e leggerezza variano molto dipendendo dalle prestazioni richieste al materiale e dal costo tollerabile nel particolare settore d'impiego. Ad

**Figura 2 - Aumento del rapporto resistenza meccanica/densità, di grande importanza per l'efficienza energetica delle strutture mobili.**



Fonte: A. Bonfiglioli, R. Galli

esempio, molti componenti dell'automobile potrebbero essere realizzati senza grandi difficoltà e a costi tollerabili, ma i costi possono aumentare significativamente a causa delle difficoltà organizzative e tecnologiche del recupero dei materiali composti dai rifiuti di lavorazione o dalle auto in rottamazione. I materiali leggeri (ad esempio, alluminio e le sue leghe) e ultraleggeri (come i compositi polimerici) hanno costituito tradizionalmente settori in cui prevalevano grandi imprese che operano su basi transnazionali. Attualmente però esistono numerose nicchie favorevoli alle piccole e medie aziende, che devono in ogni caso disporre di una considerevole capacità innovativa e di gestione della propria nicchia di mercato (ad esempio, componenti leggere per lo sport e il tempo libero, articoli ortopedici, componenti particolari per l'industria aeronautica).

#### *Resistenza alle alte temperature*

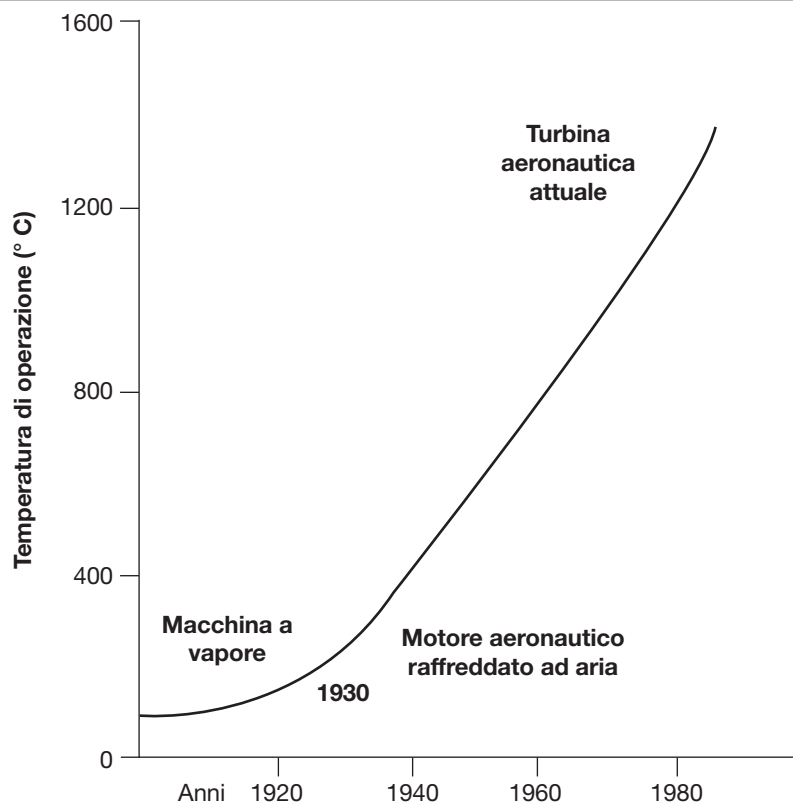
Il comportamento alle alte temperature dei materiali interessa, in maniera diretta, pochi settori ma che hanno comunque una grande importanza in quanto incidono primariamente sul rendimento delle macchine termiche e consentono di rendere più efficienti le trasformazioni di energia nonché il loro recupero da diversi processi industriali.

La Figura 3 rappresenta l'aumento della temperatura di operazione delle macchine termiche reso possibile dal progresso della tecnologia dei materiali.

Attualmente, i problemi più critici sono quelli delle turbine a gas per la propulsione aerea. Gran parte dell'economia del volo è fortemente condizionata dal rapporto potenza/peso della turbina, che migliora con l'aumento della temperatura di operazione (autonomia del volo, capa-



**Figura 3 - Aumento della temperatura di operazione delle macchine termiche reso possibile della tenuta chimica e strutturale dei materiali utilizzati.**



Fonte: A. Bonfiglioli, R. Galli

cità di carico, ecc.). Le componenti più sollecitate sono le palette della turbina, le quali vengono realizzate con leghe speciali - dette superleghe - generalmente a base di nichel, solidificate unidirezionalmente. Per il futuro si prevede di utilizzare sulle palette rivestimenti ceramici protettivi e, a più lungo termine, di sostituire le leghe metalliche con ceramici. Ciò richiederà però un intenso sforzo di ricerca per ridurre sostanzialmente la fragilità intrinseca di questi materiali.

Altri problemi, meno critici, si presentano nelle turbine per la generazione di energia elettrica e negli scambiatori di calore che consentono il recupero efficiente del calore ad alta temperatura da alcuni processi. Appare particolarmente importante il recupero di calore dall'incenerimento di rifiuti, che impone al materiale severe condizioni operative in ambienti fortemente aggressivi.

#### *Riduzione del consumo di materiali e di energia nei fenomeni dissipativi (corrosione, usura)*

Questi fenomeni provocano effetti economici di vasta portata e un elevato consumo di energia, sia diretto sia indiretto, attraverso i materiali destinati alla protezione delle strutture e al ripristino di quelle danneggiate. La riduzione di questi effetti é quindi della più alta priorità.

#### *Corrosione*

La corrosione é un fenomeno presente sotto diverse forme in molti materiali, compresi quelli che vengono impiantati all'interno del corpo umano, ma la sua rilevanza economica riguarda principalmente i metalli e, in particolare, l'acciaio. Studi realizzati in diversi paesi industrializzati coincidono nell'attribuire agli effetti complessivi della corrosione un costo annuo che si aggira

sul 2-4% del prodotto interno lordo. In Italia, è stato stimato che circa 8 milioni di tonnellate di acciaio all'anno vengono destinate a ripristinare i danni della corrosione. Attualmente il costo attribuito direttamente al danno per la corrosione dell'acciaio si è sensibilmente ridotto, grazie a misure di protezione sempre più efficaci, che rappresentano però un considerevole innalzamento dei costi. Lo sforzo di ricerca sulla corrosione e i criteri di gestione dell'intero ciclo produttivo e di impiego di manufatti, hanno consentito di realizzare, in buone condizioni di sicurezza, strutture *off-shore*, gasdotti e oleodotti interrati e sottomarini lunghi diverse migliaia di chilometri. Per un manufatto esposto alla corrosione, i parametri caratterizzanti questo fenomeno devono essere integrati in tutte le fasi del ciclo dalla progettazione alla fabbricazione, messa in opera e impiego. La lotta alla corrosione rimane comunque un problema prioritario dei materiali ed è anche un settore importante dal punto di vista delle opportunità di nuove iniziative.

Tuttavia, trattandosi di un campo ampiamente esplorato esistono già degli operatori di ben consolidata esperienza (ad esempio, produttori di vernici protettive, di anodi sacrificali e sistemi associati; società di ingegneria e di montaggio).

Rimane comunque uno spazio considerevole per laboratori e società di servizi specialistici che possono offrire, soprattutto alle piccole e medie aziende, l'assistenza necessaria per risolvere o prevenire problemi di corrosione che, se non adeguatamente considerati, possono provocare danni rilevanti alle loro produzioni.

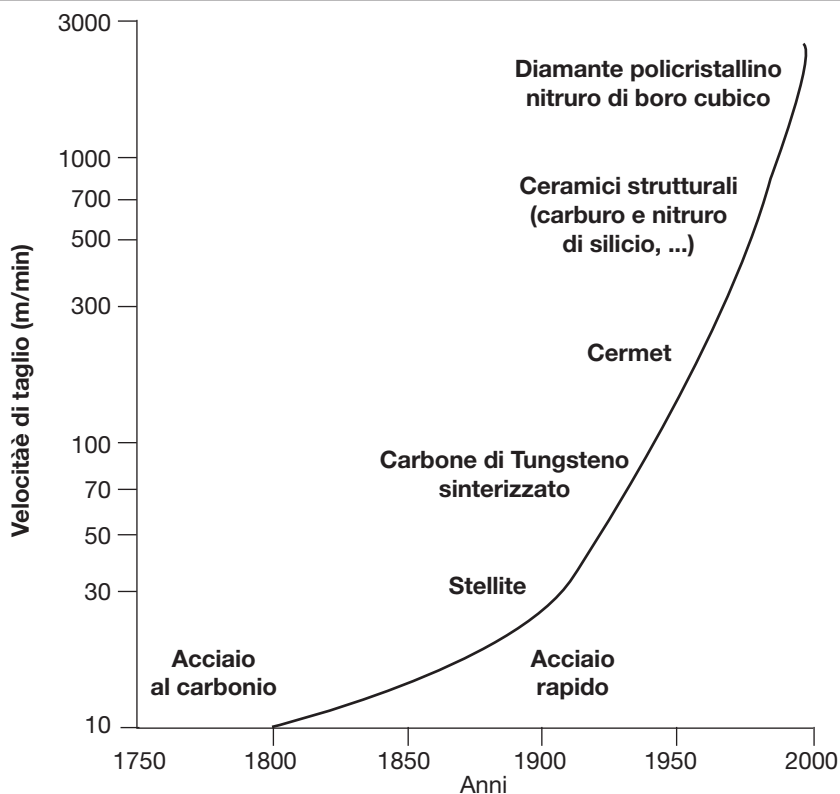
#### *Attrito e usura. Gli utensili di lavorazione e la velocità delle macchine utensili.*

Attrito e usura sono fenomeni molto diffusi nei più svariati settori. Si è potuto valutare sulla base di dati elaborati negli Stati Uniti e nel Canada che essi rappresentano, per una economia industrializzata, un danno economico annuo che si aggira sul 6% del prodotto interno lordo. Questo valore non si somma direttamente a quelli riscontrati nel caso della corrosione, in quanto può esistere una certa sovrapposizione degli effetti della corrosione stessa e di quelli attribuibili ad attrito e usura. Per quanto riguarda l'energia, negli stessi paesi è stato valutato che l'attrito e l'usura comportano un consumo che si aggira sul 10% del consumo nazionale di energia in fonte primaria. I problemi posti dai fenomeni di attrito e usura sono numerosi e di caratteristiche molto diverse. Le soluzioni da adottare per questi problemi possono variare tra quelle riguardanti i lubrificanti, dai più semplici ai più sofisticati, a quelle che coinvolgono direttamente i materiali utilizzati. Tra queste ultime sono da sottolineare l'uso di materiali duri o autolubrificanti, come i ceramici strutturali avanzati e i trattamenti di nobilitazione delle superfici dei materiali tradizionali.

La Figura 4 schematizza l'effetto dei progressi nel campo dei materiali, che hanno consentito di migliorare la risposta alle sollecitazioni termomeccaniche derivanti dalle forze di attrito che si esercitano sull'inserito di un utensile da taglio in una macchina utensile. Tali sviluppi hanno consentito di aumentare la velocità di taglio e la durata di vita dell'inserito anche nelle lavorazioni più difficili, facilitando l'automazione e la robotizzazione e l'aumento complessivo della produttività delle macchine utensili.

La soluzione ai problemi di attrito e usura può dare origine a numerose opportunità anche per piccole e medie aziende. Il settore degli utensili da taglio è in gran parte controllato da poche grandi imprese transnazionali, ma esistono nicchie ad alto valore aggiunto per utensili speciali con eventuali trattamenti superficiali. La realizzazione innovativa di sistemi sottoposti ad attrito e usura per diverse attività industriali (meccanica, tessile, cartaria, vetraria, lavorazioni di materiali abrasivi, ecc.) può rappresentare nicchie di attività estremamente interessanti. Un esempio è quello dei rivestimenti superficiali nel quale si possono sviluppare opportunità sia per la produzione di impianti di trattamento sia per la fornitura a terzi del servizio di rivestimento di utensili o altri manufatti.

**Figura 4 - Aumento della velocità di taglio nelle macchine utensili per diversi materiali dell'inserto taglienti.**



Fonte: A. Bonfiglioli, R. Galli

### *Compatibilità in ambienti biologici*

I materiali compatibili con gli ambienti biologici e il normale funzionamento dell'organismo umano, detti *biocompatibili*, costituiscono uno dei segmenti applicativi più interessanti dal punto di vista tecnologico e commerciale.

I *biomateriali* possono svolgere le più svariate funzioni, come dimostra il gran numero di prodotti oggi disponibili: protesi ortopediche e dentarie, impianti cardiovascolari (ad esempio, *pacemaker*, arterie artificiali), materiali per la rigenerazione di tessuti e di nervi, cateteri, suture, membrane, ecc..

A causa dell'enorme varietà delle condizioni chimiche, meccaniche, e biologiche in cui debbono funzionare, le classi di materiali utilizzate sono numerose: polimeri sintetici e di origine naturale, siliconi, metalli e leghe speciali, ceramici, vetri, carboni, ecc..

I biomateriali debbono essere sottoposti a *test* rigorosi, in un contesto in cui le regolamentazioni nazionali e internazionali si fanno sempre più stringenti.

In particolare la complessità di registrazione di un biomateriale tende ad avvicinarsi a quella di un farmaco, con costi molto elevati. Anche se questa situazione è più facilmente sostenibile dalle grandi imprese, la nascita di numerose nicchie ad altissimo valore aggiunto (ad esempio, in oftalmologia, in odontoiatria, nei materiali bioattivi), lascia spazi anche per aziende di minori dimensioni altamente sofisticate, dove fanno premio competenze integrate di biotecnologia e scienza dei materiali. I prodotti destinati a funzioni all'interno del corpo umano non sono generalmente inclusi nel *Made in Italy*: essi, tuttavia, rappresentano nel nostro paese un comparto produttivo estremamente importante.

### Valorizzazione della risorsa rifiuti

Il problema dei rifiuti, difficile da affrontare in tutto il mondo, é particolarmente critico in Italia. Ci si limita a segnalare qui gli aspetti che richiedono soluzioni tecnologiche innovative nel campo dei materiali, a monte e a valle dei rifiuti.

A *monte*, sono necessarie tecnologie di prodotto e processo al fine di:

- ridurre gli sfridi di lavorazione e facilitare nel contempo un loro più efficiente recupero;
- adottare un mix di materiali che faciliti il recupero e l'utilizzazione di materiali secondari provenienti dai prodotti rottamati alla fine della loro vita utile (*recycling oriented design*);
- favorire la biodegradabilità di prodotti difficilmente recuperabili alla fine della loro vita utile.

A *valle*, si dovranno prendere misure per la valorizzazione della risorsa rifiuto mediante nuove soluzioni che permettano:

- la raccolta dei rifiuti in modo di evitare miscele dannose di materiali diversi, che potrebbero anche far perdere i vantaggi acquisiti mediante la progettazione e lavorazione orientata al riciclaggio;
- il miglioramento dei processi estrattivi e favoriscano l'espansione degli impieghi del materiale secondario.

Il materiale secondario comporta in generale notevoli vantaggi sotto il profilo economico ed energetico (riduzione delle importazioni di materie prime e di materiali primari; investimenti e consumi energetici sostanzialmente ridotti). Ad esempio, la produzione di alluminio e di acciaio da rottami comporta, rispetto alla produzione primaria, un consumo di energia per unità di prodotto pari a circa il 5% e il 40%, rispettivamente. In Italia, circa il 50% del consumo nazionale di alluminio e di acciaio è soddisfatto con materiale secondario; il nostro paese, inoltre, è uno dei più efficienti nell'impiego di materiali stradali da riciclo. Nel caso dell'alluminio però il metallo secondario proviene dal recupero degli sfridi di lavorazione o "rottami nuovi". La situazione può essere migliorata ancora con un recupero più efficiente da "rottame vecchio" ovvero dai prodotti scartati alla fine della loro vita utile.

Il recupero di materiali ed energia, costituisce un settore di attività molto innovativo, per certi versi simile a quello dei nuovi materiali, ricco di opportunità anche per aziende medio-piccole. Il continuo incremento dei costi di smaltimento contribuirà, in effetti, non solo a un aumento sostanziale della produzione e dell'impiego dei materiali secondari di qualità. Si genereranno inoltre beni e servizi qualificanti spendibili anche sul mercato internazionale (ad esempio, ricerca, normativa e certificazione, tecnologia, ingegneria).

### 1.9 La matrice materiali-impieghi

I materiali e i loro impieghi possono essere schematizzati su un quadro matriciale in cui le diverse famiglie (metalli, ceramici, polimeri naturali ed artificiali, ecc.) si collocano nelle colonne e i settori d'impiego nelle righe.

Ogni settore impiega generalmente svariati materiali, modificati o interamente nuovi, che si combinano tra loro in modi diversi per rispondere a una domanda sempre più differenziata e sofisticata di beni e servizi, che include anche sistemi complessi come l'automobile, le costruzioni aerospaziali, le macchine e le più svariate strutture sia fisse che mobili.

La considerazione "verticale" di famiglie di materiali appare affine all'approccio tradizionale, secondo il quale queste famiglie si sono sviluppate in maniera quasi isolata una dall'altra e oggi devono comunque progredire secondo un nuovo approccio, basato su concetti scientifici fondamentali.

Il nuovo approccio, che permette di trattare su basi comuni le diverse famiglie di materiali e di processi di lavorazione, appare più affine alla considerazione “orizzontale” dei materiali (materiali per le tecnologie dell’informazione, per l’automobile, per l’industria elettromeccanica, per le industrie estrattive, per gli impianti in vivo, ecc.).

I progressi avvenuti secondo questi approcci saranno esemplificati nel seguito per tre famiglie di materiali: metalli e leghe, ceramici e vetri, materiali strutturali a base polimerica.

Metalli e ceramici hanno proprietà per molti versi complementari:

- i metalli sono generalmente buoni conduttori del calore e dell’elettricità, duttili, facilmente lavorabili e adatti a un’ampia varietà d’impieghi; ma sono anche sensibili alla corrosione e la loro tenuta chimica e strutturale diminuisce con l’aumentare della temperatura;
- i ceramici sono generalmente isolanti, resistenti all’attrito e all’usura e hanno un’elevata tenuta chimica e strutturale anche ad alta temperatura: essi sono, però, fragili e di difficile lavorazione.

In numerose applicazioni quindi potranno trovarsi notevoli vantaggi nella combinazione di più tipi di materiale, sia a livello macroscopico (apparati o sistemi con pezzi metallici, ceramici, polimerici) e microscopico (rivestimenti superficiali di materiali metallici, compositi), sia a livello atomico (formazione di fasi intermetalliche con caratteristiche ceramiche).

## 2. METALLI E LEGHE

### 2.1 Importanza quantitativa e qualitativa

I dati elaborati dall’*U.S. Bureau of Mines*, prima del 1995, consentono di stimare che nella seconda metà del XX secolo, il consumo dei metalli nelle moderne economie industrializzate rappresentava il 3% del consumo totale di materie prime non alimentari per abitante (di cui circa il 2,7 corrisponde ai metalli ferrosi e il resto a tutti gli altri metalli). Questa percentuale si deve confrontare con poco più del 5% del legno, circa il 40% di materiali lapidei (sabbia, ghiaia e pietra) e circa il 40% alle materie prime energetiche. Sempre nello stesso periodo il tonnellaggio prodotto di pietra, sabbia e ghiaia superava di circa 10 volte quello complessivo dei minerali dei tre metalli a più alto consumo (ferro, alluminio e rame).

I metalli e loro leghe hanno, tuttavia, un’importanza qualitativa, sia sotto il profilo socioeconomico sia sotto quello scientifico-tecnologico, che non è paragonabile a nessuna altra famiglia di materiali. Non ultimo, la lavorazione dei materiali metallici costituisce un indicatore storico-culturale del livello di sviluppo delle antiche civiltà.

I metalli hanno dato origine a grandi industrie, quali la siderurgia, quelle dell’alluminio e del rame. Nonostante la contrazione strutturale dei consumi dei metalli e altri materiali di base, le industrie menzionate continuano a rappresentare cospicui investimenti, elevati livelli occupazionali e attivi scambi internazionali di materie prime e materiale lavorato. Le operazioni che portano dalle materie prime ai prodotti finali comportano elevati consumi di energia ed effetti sull’ambiente di notevole entità.

Per quanto riguarda gli aspetti tecnologici, è noto dall’antichità che le proprietà dei metalli, quali la duttilità e la temperatura di fusione medio-alta, consentono forme di lavorazioni, difficilmente realizzabili con altri materiali (formatura per deformazione plastica, fusione, alligazione, saldatura, lucidatura, taglio e altre lavorazioni con diversi tipi di utensili e macchine, facilità di recupero e riutilizzazione). Essendo buoni conduttori di elettricità, poi, i metalli hanno reso possibile la seconda rivoluzione industriale collegata all’elettrificazione.

È meno riconosciuto l’importante ruolo che hanno avuto i metalli nell’adozione dell’approccio

scientifico ai materiali. I metalli sono, in effetti, i solidi più semplici, in cui è più agevole l'adozione di un tale approccio, facilitando non solo l'uso più efficiente e affidabile dei metalli stessi ma anche lo sviluppo di una varietà ben più ampia di materiali, tra cui i semiconduttori che hanno reso possibile le moderne tecnologie dell'informazione. La semplicità dei materiali metallici, in effetti, consente di illustrare meglio il modo con cui le conoscenze scientifiche hanno contribuito a modificare l'antico campo dei materiali con effetti estesi sull'intero sistema socioeconomico.

## **2.2 Situazione attuale: le linee di ricerca e i progressi prevedibili**

L'insieme delle conoscenze di base scientifica maturate sino alla seconda metà del '900 ha generato una dinamica di cambiamento che incide sia sull'offerta sia sulla domanda dei metalli e leghe, anche grazie a un quadro normativo sempre più definito e stringente. Tali conoscenze, peraltro, stanno portando a progressi con caratteristiche ben diverse da quelli risultanti dalla ricerca sui soli materiali metallici, tipica della tradizione metallurgica del '900.

I progressi avvenuti nella metallurgia vengono solitamente illustrati con le soluzioni altamente innovative adottate in settori a tecnologia avanzata (ad esempio, nucleare, aerospaziale, strumentazione scientifica, impianti biomedici), che hanno senza dubbio una notevole importanza qualitativa. Tuttavia, questi progressi si sono tradotti anche in innovazioni tecnologiche, organizzative e gestionali nell'industria metallurgica e nei settori di impiego dei metalli (meccanica, chimica, agroindustriale, produzione e distribuzione di combustibili ed energia elettrica, costruzioni civili, impiantistica, cantieristica, ecc.), con un effetto complessivo più rilevante di quello dei settori avanzati.

I settori a tecnologia avanzata costituiscono un caso a sé, poco rappresentativo dell'insieme delle realtà produttive metallurgiche. Possono anche generarsi ricadute tecnologiche su settori più tradizionali; queste, insieme ai loro effetti pratici, sono difficilmente prevedibili. Tali settori, pertanto, non saranno trattati ulteriormente nel seguito.

## **2.3 La domanda di materiali metallici nei settori convenzionali e i nuovi rapporti produttore/utilizzatore**

L'attuale domanda di materiali metallici da parte dei settori convenzionali è molto varia: da quella di massa generata da grandi settori di consumo a quella più specifica di acciai e leghe speciali per la realizzazione di componenti meccaniche, elettromeccaniche e di processo. Anche l'offerta di materiali metallici si è molto diversificata, grazie anche alle conoscenze scientifiche che hanno permesso un notevole miglioramento dei processi e lo sviluppo di un'ampia varietà di prodotti metallurgici adatti per caratteristiche e costi a impieghi molto diversi. Pure i metalli ritenuti meno pregiati quali gli acciai utilizzati in tondini, lamiere, carpenteria metallica e altre strutture correnti, hanno oggi delle proprietà fortemente migliorate consentendo di ridurre diametri e spessori, facilitando le lavorazioni (formatura, saldatura, ecc.) e il controllo della corrosione.

Nei settori convenzionali sussiste ancora una chiara distinzione tra produttori e utilizzatori di metalli ma le relazioni tra loro è diventata ben più stretta che in passato. Infatti, l'attuale domanda di beni e servizi, sempre più differenziata, rappresenta per gli utilizzatori, l'impiego di materiali metallici diversi di quelli con cui erano familiari. La selezione dei prodotti metallurgici adatti ai diversi impieghi è quindi più complessa. Anche nelle fasi prettamente operative, quindi, sarà necessaria una forte interazione produttore/utilizzatore, sia per una migliore comprensione dell'informazione fornita dai produttori e delle normative a cui tali prodotti rispondono, sia per trasmettere ai produttori stessi le informazioni raccolte durante la pratica operativa dell'utilizzatore.



## 2.4 Orientamenti della ricerca e progressi in atto

Per i metalli, come per altri materiali, la ricerca continuerà a orientarsi secondo le traiettorie generali precedentemente indicate, sempre più condizionate dalla necessità di ridurre i consumi energetici e gli effetti nocivi sull'ambiente, lungo l'intero ciclo dei prodotti, dall'estrazione delle materie prime naturali allo scarto dopo la vita utile dei prodotti stessi.

Per i materiali metallici e i loro impieghi strutturali, si possono prevedere, nell'immediato, miglioramenti sostanzialmente incrementali sia nei processi che nei prodotti. Sono invece meno prevedibili nel breve periodo cambiamenti radicali che rappresentino grandi investimenti in impianti concettualmente diversi da quelli attuali o nello sviluppo di impieghi interamente nuovi. Così le ricerche continueranno a muoversi su due livelli in parte sovrapposti: il primo fisiologico, prevalentemente orientato verso assistenza all'esercizio e ai clienti; il secondo, più avanzato, orientato allo sviluppo di cambiamenti più radicali comprese diversificazioni e riconversioni anche in campi differenti della metallurgia. La ricerca fisiologica sui processi continuerà a contribuire a ulteriori miglioramenti della sicurezza e della qualità dell'ambiente di lavoro nonché alla riduzione dei consumi di energia, di scarti di lavorazione e degli effetti nocivi sull'ambiente esterno. Per i prodotti metallurgici strutturali si tenderà principalmente al conseguimento di migliori prestazioni meccaniche e chimiche anche ad alta temperatura in modo di rendere più agevole ed efficiente la lavorabilità, aumentare ulteriormente il rapporto resistenza/peso, e migliorare la resistenza e il controllo della corrosione in diverse atmosfere.

Per quanto riguarda la ricerca avanzata, svolta da imprese, università ed enti scientifici, appare chiaro oggi che essa procede su un fronte ben più ampio di quello dei singoli materiali. Infatti, l'immenso patrimonio di conoscenze scientifiche accumulato e i metodi strumentali e computazionali disponibili, hanno avuto un effetto unificatore del campo dei materiali favorendo la sostituibilità tra materiali diversi e il loro uso combinato in svariate forme di materiali compositi. Sta di fatto, peraltro, che in quasi tutte le università del mondo i dipartimenti di metallurgia sono stati sostituiti dai dipartimenti di scienze dei materiali, di chiara impronta multidisciplinare.

La conoscenza di singoli materiali mantiene tutta la sua rilevanza e le nanotecnologie contribuiranno sicuramente a generare cambiamenti più radicali. Ad esempio, i metalli in cui i cristalliti o grani che li compongono sono di dimensioni nanometriche (100 volte inferiori alle dimensioni dei grani di un metallo corrente) possono avere una resistenza meccanica 4/5 volte superiore di quella degli stessi metalli con le microstrutture usuali. Una tale considerazione, tuttavia, risulta del tutto insufficiente. Nel passato recente, infatti, la necessità di alleggerire le strutture ha portato alla sostituzione di acciai, ottoni e bronzi da leghe leggere in numerosi impieghi. Oggi sono queste ultime a essere sostituite da compositi polimerici ultraleggeri oppure sono i rivestimenti superficiali ceramici che rendono i pezzi metallici più resistenti all'attrito, all'usura e all'attacco chimico ad alta temperatura.

Appare quindi necessario orientare la ricerca di soluzioni innovative secondo un approccio integrato in cui progettazione e materiali di diversa natura e origine, nuovi e tradizionali, si combinano in modo da ottenere un prodotto di costo e prestazioni appropriate, valutate, così come i consumi energetici e ambientali, lungo l'intero ciclo di vita dei prodotti, dalla culla alla tomba e successiva reincarnazione sotto forma di materiali e prodotti diversi. Seguendo questo approccio si dovranno trovare, in particolare, soluzioni progettuali che riducano gli sfridi di lavorazione e facilitino il recupero di materiali ed energia dai prodotti scartati alla fine della loro vita utile (*recycling oriented design*).

In conclusione, va sottolineata l'importanza, soprattutto per le imprese medio-piccole utilizzatrici di materiali convenzionali, di mantenere uno sforzo continuato di formazione che consenta ai

loro operatori di sostenere una stretta collaborazione con i produttori di materiali, con gli organi preposti alla definizione e controllo delle normative. Anche le imprese piccole, inoltre, dovranno essere in grado di interagire con gruppi di ricerca di università ed enti scientifici, in modo di assorbire tempestivamente le conoscenze necessarie al continuo rinnovamento delle loro produzioni.

### **3. CERAMICI E VETRI**

#### **3.1 Caratteristiche generali: analogie e differenze**

Le due famiglie dei vetri e dei ceramici hanno elementi comuni. Entrambe danno origine a una varietà ampia di prodotti, i materiali sono costituiti per la maggior parte da ossidi e silicati naturali abbondanti e ampiamente distribuiti sulla crosta terrestre e hanno origini ancora più antiche di quelle dei metalli. Sia i ceramici che i vetri, sono stati utilizzati da sempre in applicazioni strutturali generalmente meno impegnative di quelle dei metalli, e la complessità delle loro strutture ha reso più difficile il loro sviluppo in base a concetti e metodi di osservazione scientificamente fondati.

Anche se la complessità di ceramici e vetri ha reso difficile distinguere i progressi cruciali come quelli elencati per i metalli, le modalità con cui si esercitano le forze di coesione tra i loro atomi e le strutture a cui danno origine sono oggi sufficientemente conosciute. Così, da una parte si possono spiegare le caratteristiche ben note dei materiali di queste due famiglie (bassa conducibilità del calore e dell'elettricità, durezza, fragilità, alta resistenza agli agenti atmosferici e chimici in generale) e, dall'altra, produrre materiali di queste famiglie nuovi o modificati che influenzano o rendono possibile lo sviluppo di settori tecnologici più avanzati (ad esempio, elettronica, telecomunicazioni, laseristica, elettrotecnica).

Tuttavia, gli impieghi quantitativamente più importanti continuano a essere quelli usuali di lontana origine (laterizi, sanitari, vasellame, servizi da tavola, oggetti decorativi, contenitori, vetrature per le case e per mezzi di trasporto). La produzione dei vetri e dei ceramici è incentrata sulla fabbricazione di prodotti finiti o comunque vicini all'uso finale. Si tratta quindi di industrie di prodotto, che comportano, in generale, investimenti più contenuti di quelli della metallurgia primaria. L'innovazione sui processi produttivi e sugli impieghi dei ceramici e vetri, come nelle altre famiglie di materiali con funzioni strutturali, continuerà a essere orientata, con modalità diverse, secondo traiettorie sempre più condizionate dalla necessità di ridurre ulteriormente i consumi di energia e gli effetti sull'ambiente compresi quelli che incidono sulla qualità dell'ambiente di lavoro.

Al di là di queste analogie e similitudini, ceramici e vetri presentano aspetti molto diversi e saranno trattate separatamente.

### **3.2 I Ceramici**

#### **3.2.1. Caratteristiche generali**

I ceramici costituiscono una delle famiglie più vaste e antiche di materiali, a cominciare dalla pietra e dalle argille. Essi possono differire tra loro non solo per le specie chimiche di cui sono costituiti, ma anche per la stessa specie che può dare origine a forme così diverse come un mattone refrattario o un rubino.

Tradizionalmente i ceramici si sono ottenuti da risorse naturali mediante procedure originalmente più semplici di quelle relative ai metalli (ad esempio, lavorazione della pietra e delle argille), mentre le loro proprietà sono state meno controllabili. L'immagine tuttora più diffusa dei

ceramici è quella dei materiali per la costruzione e per uso domestico (laterizi, piastrelle, sanitari, servizi da tavola, vasellame, ecc.) oppure quella dei rivestimenti resistenti al calore o all'attacco chimico (*enamel*). Nella seconda metà del '900, alla vasta famiglia dei ceramici tradizionali si è aggiunta una varietà, quasi ugualmente vasta, di nuovi ceramici, che presentano proprietà più nobili e aprono prospettive di applicazione del tutto diverse. Sono i cosiddetti ceramici avanzati o ad alta tecnologia.

I limiti tra ceramici tradizionali e ceramici avanzati non sono sempre netti. Molti nuovi ceramici non sono che varietà o forme di sostanze ben conosciute come l'allumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) o altri ossidi, costituenti tipici dei ceramici tradizionali: in questi casi le principali differenze risiedono nella qualità delle materie prime utilizzate (ad esempio, purezza, varietà allotropica, ecc.) e nelle modalità di lavorazione (ad esempio, dimensioni e uniformità della granulometria della polvere utilizzate). Molti altri ceramici avanzati sono costituiti da altri ossidi oppure sono specie chimiche come carburi, boruri, azoturi, ecc., ben conosciuti ma raramente considerati come materiali sino a tempi recenti.

Nei ceramici in generale le forze di coesione tra gli atomi costituenti si esercitano secondo due modalità che generalmente coesistono nello stesso materiale anche se, dipendendo dei casi, una di esse prevale sull'altra. La coesione in questi materiali deriva sia dall'attrazione elettrostatica tra ioni con carica elettrica opposta (legame ionico), sia da una ripartizione particolare degli elettroni esterni di atomi vicini che configura il cosiddetto legame covalente. I solidi in cui prevale questo tipo di legame, tendono a comportarsi, per certi versi, come una molecola molto stabile: il diamante ne è un esempio estremo. Ciò si traduce nelle proprietà più frequentemente riscontrate nei ceramici: temperatura di fusione, indeformabilità e bassa reattività chimica.

Queste caratteristiche che fanno il pregio di questi materiali, ne sono anche la loro debolezza; infatti, l'unione tra grani di un aggregato policristallino (forma sotto la quale un solido viene più frequentemente utilizzato) è, nel caso dei ceramici, più difficile che per i metalli. I grani dei ceramici, in effetti, si uniscono grazie a un processo di sinterizzazione che lascia spazi vuoti, rendendo fragile il solido così formato e favorendo un comportamento meccanico relativamente poco riproducibile.

Benché le proprietà dei ceramici rispondano alle caratteristiche generali sopra segnalate, essi possono presentare situazioni molto diverse, a seconda delle specie chimiche di cui sono costituiti, del loro grado di purezza, delle modalità di lavorazione e di tante altre variabili non tutte ben individuate. Il comportamento dei ceramici quindi può variare entro margini molto ampi. Ad esempio, le proprietà meccaniche sono solitamente molto più variabili di quelle dei metalli; mentre spesso i ceramici sono isolanti termici ed elettrici, esistono ceramici che conducono il calore e l'elettricità meglio di alcuni materiali metallici; i ceramici si considerano chimicamente inerti anche ad alta temperatura ma molti sono vulnerabili all'ossidazione; alcuni presentano proprietà elettriche singolari quali la ferroelettricità e la piezoelettricità, altri sono caratterizzati da proprietà magnetiche ed ottiche non meno singolari. A questa varietà di proprietà e comportamenti si è aggiunta la superconduttività, scoperta in alcuni ceramici nel 1986, che valse il premio Nobel ai due scopritori. I ceramici superconduttori offrono un vantaggio importante rispetto alle leghe superconduttrici conosciute dai primi del '900: mentre in queste la resistenza elettrica tende ad annullarsi a temperature molto basse, l'annullamento avviene nei ceramici a temperature considerevolmente più alte facilitando quindi lo sviluppo di applicazioni pratiche.

È chiaro che le applicazioni potenziali di materiali che presentano una così vasta varietà di situazioni sono praticamente illimitate e possono interessare numerosi settori dell'economia, ben al di là di quelli tradizionali che hanno consolidato l'immagine dei ceramici come materiale da destinare ad applicazioni meccanicamente poco impegnative.

In una prima analisi, si può fare una distinzione grossolana tra le produzioni tradizionali e quelle basate sui ceramici avanzati. Tuttavia, le logiche tecnologiche, industriali e di mercato delle varie produzioni incluse in ognuna di queste categorie, benché con similitudini e qualche sovrapposizione, possono essere molto diverse e, in non pochi casi, costituire settori a se stanti.

### **3.2.2. Le produzioni tradizionali**

Queste produzioni si concentrano in diversi segmenti produttivi. I più importanti in Italia sono: laterizi, piastrelle, ceramica sanitaria, stoviglie e ceramica a uso ornamentale, materiali refrattari e ceramica tecnica. Si menzionano di seguito alcuni elementi caratterizzanti questi segmenti:

- piastrelle: 207 aziende, con un totale di circa 28.000 addetti e un fatturato complessivo di 5.700 milioni €;
- ceramica sanitaria: 51 aziende con un totale di circa 5.000 addetti e un fatturato complessivo di 450 milioni €;
- stoviglie e ceramiche a uso ornamentale: 20 aziende con circa 2.500 addetti e un fatturato complessivo di 3760 milioni €;
- materiali refrattari: 38 aziende con un totale di 2.500 addetti e un fatturato complessivo di 430 milioni € (*Fonte: Associazione dell'Industria Ceramica Italiana, dicembre 2006*);
- i laterizi: si può stimare che il fatturato complessivo di queste produzioni potrebbe aggirarsi sul miliardo €;
- la ceramica tecnica che comprende una varietà di prodotti destinati a diversi settori industriali (ugelli, passafiltri, piastre, rocchetti, filtri, tubi, pezzi isolanti elettrici, ecc.): anche se quantitativamente questo segmento è meno rilevante di quelli sopraelencati, ha un'indiscutibile importanza qualitativa, in quanto i prodotti sono tecnologicamente più sofisticati, e apre la strada allo sviluppo di ceramici strutturali avanzati.

Molte unità produttive e artigianali con una produzione complessiva importante, sfuggono spesso ai rilevamenti statistici o non aderiscono alle associazioni di categoria. I dati precedentemente citati quindi si riferiscono solo a una parte delle produzioni di questo settore. Tali dati mettono comunque in evidenza:

- la varietà della produzione;
- la sua rilevanza quantitativa: secondo i dati citati l'occupazione e il fatturato ammontano complessivamente a 38.000 addetti (escludendo quelli nei segmenti dei laterizi e della ceramica tecnica) e a quasi 8.000 milioni €, di cui una parte significativa si realizza con le esportazioni.

### **3.2.3. I ceramici avanzati: considerazioni generali**

La situazione è più complessa di quella delle produzioni tradizionali: i materiali utilizzati sono spesso poco conosciuti dai potenziali utilizzatori; molti dei processi produttivi sono in fase sperimentale o si svolgono comunque su piccola scala; gran parte dei possibili impieghi non sono ancora sufficienti. È difficile quindi far riferimento a un settore industriale caratterizzato da relazioni offerta/domanda relativamente ben definite o da parametri quantitativi che potrebbero distinguerlo (fatturato, occupazione, ecc.). La situazione, peraltro, varia molto a seconda dei paesi.

In molti paesi si svolgono attività di ricerca, anche di altissimo livello, sui ceramici avanzati. Sono pochi però quelli in cui si può riconoscere una produzione significativa di questi materiali o un'attività di sviluppo dei loro impieghi. Sta di fatto che attualmente la domanda più rilevante proviene da industrie ad altissima tecnologia, quali l'elettronica o l'aerospaziale, le cui attività più qualificanti, compresa la ricerca, sono localizzate nei paesi tecnologicamente più evoluti. È quindi in questi paesi che si concentra la maggior parte delle attività produttive e

di sviluppo che facilitano anche la messa a punto di prodotti ceramici per altri settori più convenzionali. Queste attività diventano quindi interessanti sia per grandi gruppi industriali (ad esempio, ALCOA, Hitachi, Asahi Glass, Corning), che hanno creato divisioni o filiali specializzate nella produzione e nello sviluppo di prodotti ceramici, sia per piccole imprese ad alta tecnologia, spesso *spin-off* universitari o enti scientifici.

Nei paesi dove le attività industriali ad altissima tecnologia sono più limitate o addirittura inesistenti, la domanda reale o potenziale di ceramici avanzati, appare più diversificata. Acquisisce, in effetti, un maggior peso la domanda di altre varietà di ceramici che potrebbero trovare una più diretta applicazione in industrie convenzionali (meccanica ed elettromeccanica, compresi l'auto e gli elettrodomestici, chimica e metallurgia, l'*hardware* di processo, tessile, ecc.). Questa domanda rimane comunque molto limitata, potendo essere soddisfatta da piccole unità produttive locali oppure attraverso l'importazione.

Gli impieghi dei ceramici avanzati possono schematicamente dividersi in funzionali e strutturali (ovviamente la distinzione non è netta)

Tra gli impieghi a carattere prevalentemente funzionale si devono menzionare:

- nell'industria elettronica: substrati e *packaging* dei circuiti integrati, rappresentano la voce di consumo quantitativamente più rilevante. La sostanza più utilizzata è l'allumina di alta qualità ma sono importanti anche altri ceramici ossidici e non ossidici come il carburo di silicio;
- nell'elettrotecnica di consumo, compresi componenti di elettrodomestici: che utilizzano materiali ferroelettrici e piezoelettrici, come il PZT (*zirconato-titanato di piombo*), che ha sostituito in gran parte il più tradizionale titanato di bario;
- nell'industria dell'auto e nelle celle combustibili come supporto di catalizzatori;
- una varietà di altri materiali vengono impiegati nella costituzione di sensori, laser, supporto di catalizzatori, elettroliti solidi. Di recente si stanno aprendo prospettive assai interessanti per i ceramici superconduttori, che rimangono per il momento in fase sperimentale.

### 3.2.4. I ceramici strutturali avanzati

Questa famiglia di ceramici merita una particolare considerazione per il potenziale applicativo nel sistema produttivo italiano, costituito prevalentemente da industrie convenzionali. Essa rappresenta inoltre un esempio di esagerato ottimismo scientifico-tecnologico, che ha portato alla previsione di grandi consumi ed elevate cifre d'affari, rivelatasi poi infondata. Sta di fatto che le importanti applicazioni nel settore dell'auto (motori, turbina a gas) previste negli anni 1980 che avrebbero dovuto comportare un effetto di trascinamento su altri settori, non si sono sviluppate nonostante lo sforzo finanziario privato e pubblico realizzato principalmente in Giappone e Stati Uniti. Anche se i consumi previsti appaiono nella realtà fortemente ridimensionati, i ceramici strutturali conservano tutto il loro interesse per numerosi settori industriali, compreso quello dell'auto che può contribuire con consumi più rilevanti favorendo la riduzione dei costi.

I ceramici strutturali hanno proprietà comuni a molti ceramici di uso corrente quali la durezza, la tenuta chimico-strutturale anche in mezzi corrosivi e ad alta temperatura, la resistenza all'attrito e all'usura. Le caratteristiche dei ceramici strutturali, però, sono molto più spinte e riproducibili così da configurare una categoria a sé stante. Le principali sostanze base di questi ceramici sono: l'allumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) che è la più utilizzata, la zirconia ( $\text{ZrO}_2$ ), il carburo di silicio ( $\text{SiC}$ ), il nitruro di silicio ( $\text{Si}_3\text{N}_4$ ) e la famiglia complessa chiamata sialon ( $\text{Si-Al-O-N}$ ). Queste sostanze vengono lavorate in modo da dare origine a prodotti quali: manufatti monolitici ottenuti il più delle volte per consolidamento delle polveri mediante pressatura e trattamenti termici opportuni; rivestimenti superficiali di pezzi metallici per renderli più resistenti all'attrito o all'attacco chimico; particelle e fibre per rinforzare altri ceramici o altri materiali.



Le proprietà dei prodotti ceramici, qualsiasi sia il modo con cui essi vengano ottenuti, dipenderanno certamente dalla specie chimica di base, ma sono le modalità di fabbricazione dei diversi prodotti che condizionano fortemente il loro comportamento. Ad esempio, l'allumina viene ampiamente utilizzata in molti prodotti ceramici sia tradizionali che strutturali. Per questi ultimi tuttavia la qualità della polvere di partenza (purezza, granulometria molto fine e di uniformità controllata) e i processi utilizzati per il suo consolidamento sino a diventare un solido monolitico, sono molto diversi.

Le caratteristiche sopra menzionate dei ceramici strutturali rappresentano notevoli vantaggi nei seguenti impieghi:

- componenti antiattrito o sottoposti a forte usura (*wear parts*) quali: guarnizioni e rivestimenti per pompe; cuscinetti; matrici di estrusione; ugelli per macchine sabbiatrici; "passafilili" per l'industria tessile; componenti di macchine nell'industria della carta;
- inserti per la lavorazione con macchine utensili di materiali metallici e lapidei (ad esempio, marmi e graniti). I ceramici si utilizzano già in questo settore sia come inserti monolitici sia come rivestimenti superficiali di inserti fatti in altri materiali;
- componenti di processo sottoposti a forti sollecitazioni chimiche e termo meccaniche quali bruciatori e scambiatori di calore per servizio ad alta temperatura, di particolare interesse in sistemi di recupero del calore da rifiuti operanti con "combustibili sporchi" in generale;
- componenti in contatto con metalli liquidi, sali fusi o altri mezzi aggressivi;
- protesi e altre componenti di uso biomedico e veterinario;
- corazzature leggere adatte all'elicoteristica militare e alle protezioni individuali.

I ceramici hanno sempre lo svantaggio della loro fragilità, che rende anche difficile la progettazione con questi materiali. Esistono però alternative che permettono di prevedere una riduzione progressiva di questa caratteristica negativa. Va sottolineato, invece, un vantaggio rispetto ad altri materiali duri o resistenti alle alte temperature con cui vi può essere concorrenza (ad esempio, diamante, carburo di tungsteno cementato con cobalto, superleghe): i ceramici non sono vincolati da materie prime costose, potenzialmente scarse o di difficile accesso.

Sono molti i settori industriali per i quali i ceramici strutturali possono costituire soluzioni a problemi tecnologici di notevole rilevanza con implicazioni energetiche, ambientali e operative che incidono sulla competitività. Basti pensare alla riduzione degli interventi di manutenzione o alla loro trasformazione in interventi programmati, sia nei prodotti sia nei processi di fabbricazione. Serve, tuttavia un intenso sforzo di sviluppo degli impieghi dei ceramici strutturali. Ciò implica una stretta collaborazione tra i diversi attori che intervengono sia nelle fasi di produzione di componenti ceramici, sia in quelle del loro impiego a cominciare dalla progettazione dei prodotti finali.

### **3.2.5. L'innovazione: orientamenti di ricerca e progressi in atto**

Conviene tenere ben distinte le innovazioni nei settori tradizionali da quelle nei ceramici avanzati.

#### **I settori tradizionali**

Si possono prevedere solo cambiamenti incrementali nei processi e nei prodotti, entrambi strettamente collegati. Nei processi si tenderà ad abbassare ulteriormente i costi mediante soluzioni ingegneristiche che riducano i consumi di energia e gli effetti nocivi sull'ambiente interno ed esterno (ad esempio, recupero di calore, automazione degli impianti, macchine di maggiore produttività ed efficienza). Si tenderà ugualmente a migliorare la qualità dei prodotti mediante



controlli rapidi e accurati sulle materie prime e delle diverse fasi del processo. Per quanto riguarda i prodotti, questi dovranno rispondere tempestivamente ai requisiti estetici, strutturali e di isolamento termo-acustico derivanti da criteri architettonici innovativi. Sia per i processi che per i prodotti, un aspetto importante è il continuo adeguamento al quadro normativo nazionale, comunitario e internazionale, anche in considerazione del fatto che una parte consistente delle produzioni tradizionali si orienta al mercato estero.

Questi cambiamenti comportano spesso l'adozione di nuove soluzioni impiantistiche che non richiedono all'operatore ceramico uno sforzo di ricerca e sviluppo. Non sono molti, peraltro, gli operatori di questo settore che siano in grado di sostenere un tale sforzo, neanche nel caso dei cambiamenti specifici sul materiale e sui prodotti. Nonostante questo limite, gran parte della produzione ceramica italiana ha un altissimo livello qualitativo (tecnico, estetico e artistico) internazionalmente riconosciuto, da attribuire, anzitutto, alle capacità degli operatori. Va riconosciuto anche il contributo scientifico-tecnologico di alcuni istituti specializzati. Da menzionare, in particolare:

- il Centro Ceramico di Bologna, gestito da un consorzio universitario a cui aderiscono, oltre che l'università locale, l'Unione Regionale delle Camere di Commercio dell'Emilia Romagna, l'Associazione Nazionale Cooperative Produzione Lavoro, la Confederazione Nazionale dell'Artigianato e due associazioni di categoria afferenti a CONFINDUSTRIA: ANDIL (Associazione Nazionale degli Industriali dei Laterizi) e Confindustria ceramica (Associazione Nazionale dei Produttori di piastrelle di ceramica, materiali refrattari, sanitari, stoviglie e ceramica per usi industriali);
- l'ISTEC (Istituto di Scienza e Tecnologia dei Materiali Ceramici), afferente al CNR, con sede principale a Faenza e una unità distaccata, a Torino presso l'area di ricerca del CNR. Presso l'ISTEC si svolgono attività di ricerca, formazione anche a livello universitario. Il 70% delle attuali risorse è indirizzato ai ceramici avanzati e il rimanente ai ceramici tradizionali e beni culturali. Il trasferimento tecnologico (contratti di assistenza, consulenze anche per l'accesso ai finanziamenti, indagini settoriali, divulgazione e promozione), costituisce una parte molto significativa dell'insieme di attività dell'Istituto;
- nel bacino di Faenza, si svolge una attività di sistema estremamente importante per un settore quale è la ceramica tradizionale. Oltre all'ISTEC, in effetti, nell'area sono presenti numerose istituzioni culturali: scuole e istituti di vario grado con indirizzi specifici sui diversi aspetti artistici e tecnologici della ceramica, il Museo Internazionale delle Ceramiche, che raccoglie la più ampia collezione di ceramiche di ogni tempo e paese, l'Ente Ceramica che promuove e tutela l'Artigianato Artistico. Esiste, d'altronde, un'intensa attività fieristica e di mostre e concorsi progettuali a carattere artistico, storico, didattico, retrospettivo.

### **I ceramici avanzati**

Esiste una domanda quantitativamente rilevante di materiali ceramici avanzati che risponde, principalmente, alle logiche dell'industria elettronica anche sotto il profilo dell'innovazione alla quale, peraltro, contribuisce in maniera rilevante. Le problematiche innovative relative a queste domande non saranno quindi trattate in questa sede.

Ci si concentrerà, invece, sull'innovazione nel caso dei ceramici strutturali che in Italia possono avere un interesse industriale più diretto da due punti di vista:

- le possibili applicazioni nei settori più importanti dell'economia Italiana;
- la possibilità reale di sviluppare, con investimenti limitati un settore industriale costituito da piccole unità produttive, eventualmente *spin-off* universitari ed enti scientifici, oppure di gruppi industriali in grado di sostenere un adeguato sforzo di ricerca.

In ogni caso occorreranno capacità gestionali che consentano di utilizzare le competenze scientifico-tecnologiche esistenti nel Paese. Oltre l'ISTEC, sono numerosi i gruppi universitari ed enti scientifici che possono contribuire in diversi aspetti specifici dei processi e dello sviluppo degli impieghi. Non sembrano esistere, quindi, oggettive barriere allo sviluppo di un settore di ceramici strutturali, sia sotto il profilo dell'offerta che sotto quello della domanda.

Lo sforzo d'innovazione (necessariamente con un alto contenuto di ricerca), dovrà essere diretto, prioritariamente, a un miglioramento sostanziale del rapporto costo/prestazioni dei manufatti o dei rivestimenti superficiali ceramici. Per un particolare materiale e una data tipologia di prodotto, il miglioramento di questo rapporto significa procedere contemporaneamente nella direzione di:

- l'ottenimento di un prodotto sempre meno fragile, più affidabile, e meno costoso, con possibilità di modificare gli attuali processi favorendo le economie di scala man mano che si sviluppi la domanda;
- la riduzione dei costi associati alla qualità della produzione e ai controlli necessari. Questi due fattori incidono pesantemente sul costo finale sia per i controlli stessi sia per l'alta percentuale di rigetto;
- lo sviluppo degli impieghi che non può essere fatto secondo le abituali regole del *marketing*.

È necessario, infatti, capire in profondità, su solide basi tecniche, le esigenze del potenziale utente, che spesso non ha alcuna familiarità con questi materiali. Sarà necessario un notevole sforzo di assistenza al potenziale utilizzatore di componenti o trattamenti superficiali ceramici nella progettazione dei sistemi contenenti queste componenti, nella fabbricazione, nella previsione dei futuri interventi di manutenzione e nei controlli di qualità e sicurezza.

L'insieme dello sforzo innovativo deve orientarsi, in sintesi, a innescare un circolo virtuoso che porti *dall'aumento dei consumi alla riduzione dei costi*. A questo fine possono contribuire in forma radicale:

- le modifiche nella produzione di manufatti ceramici mediante consolidamento delle polveri, sostituendo quelle micrometriche usuali con nanopolveri. Queste modifiche sono attualmente in fase sperimentale ma si evidenziano grandi vantaggi potenziali. L'uso di nanopolveri permette di ottenere manufatti che pur conservando la durezza e la resistenza alle temperature elevate proprie dei ceramici, diventano meno fragili e acquisiscono una notevole duttilità che facilita la fabbricazione. Per manufatti in allumina sono state riportate riduzioni del tempo complessivo di fabbricazione da circa 10 ore a 20 minuti. Si verifica inoltre una drastica riduzione dei rigetti nei controlli con il conseguente miglioramento del rendimento produttivo. I vantaggi segnalati non tengono però conto dei possibili effetti delle nanopolveri sulla salute umana e sulla sicurezza sul lavoro, che potrebbe impedire il loro uso o comportare elevati costi di protezione;
- l'impiego dei ceramici nell'industria dell'auto: benché i consumi in questa industria saranno ben lontani da quelli previsti negli anni '80, va tenuto conto del volume di produzione di questa industria. Basterà, infatti, impiegare una piccola quantità di ceramici per veicolo anche in una frazione modesta della produzione autoveicolista, per aumentare notevolmente il consumo di questi materiali, favorendo le economie di scala (oggi inesistenti) e la diffusione verso altre industrie.

### 3.2.6. Alcune conclusioni

I ceramici, tradizionali e strutturali avanzati, hanno una grande importanza per l'Italia, anche in considerazione della contrazione della produzione di materiali di massa, quali i metalli ferrosi e non. La ceramica tradizionale ha nel nostro paese una ben consolidata tradizione di qualità che

dovrebbe rinnovarsi mediante interventi ingegneristici e di ricerca, che migliorino la loro competitività sui mercati internazionale sia sotto il profilo dei costi sia sotto quello della qualità e delle prestazioni dei prodotti. Le competenze scientifico-tecnologiche disponibili in organizzazioni specializzate con una consolidata esperienza nel settore, avranno un ruolo sempre più importante in tale rinnovamento.

Anche i ceramici strutturali avanzati, per il momento poco sviluppati, hanno un grande interesse potenziale. Essi rappresentano la possibilità reale di costituire con investimenti moderati un settore industriale ad altissimo valor aggiunto e, nel contempo, contribuire con soluzioni tecnologiche avanzate alla produttività e competitività di numerosi settori produttivi e di servizi di grande rilievo per l'economia italiana. Occorrerà però un grande sforzo, soprattutto gestionale, che consenta di utilizzare le notevoli competenze scientifico-tecnologiche esistenti nel Paese e in Europa al fine di sviluppare sia le capacità produttive realizzando un sempre migliore rapporto costo/prestazioni sia gli impieghi nei numerosi settori potenzialmente interessati.

### 3.3 I Vetri

#### 3.3.1. *Caratteristiche generali*

Il vetro comune è uno dei materiali con cui il grande pubblico è più familiarizzato. Tuttavia esso riceve un'attenzione piuttosto modesta nella letteratura internazionale sui materiali, nelle strategie nazionali e nel mondo scientifico-accademico. Anche le analisi statistiche ed economiche su questo materiale sono più scarse (in numero e generalmente anche nei contenuti) di quelle relative, ad esempio, ai metalli compresi i più rari.

I vetri si producono da una miscela contenente come componente principale la sabbia – ossido di silicio - altri ossidi (i più frequenti sono quelli di sodio, calcio, e boro) e una proporzione elevata di rottame di vetro, proveniente dalla lavorazione del materiale o da prodotti scartati alla fine della loro vita utile.

La composizione di questa miscela varia a seconda delle applicazioni, che richiedono spesso anche l'aggiunta di altri composti per decolorare oppure conferire diversi colori o proprietà particolari (più spiccata trasparenza e lucentezza, miglior resistenza meccanica, ecc.). La miscela, tenuta fusa in appositi forni generalmente a 1500/1600°C, raffreddandosi, aumenta gradualmente la sua viscosità sino a diventare un solido, senza presentare una transizione netta liquido-solido come avviene nella maggior parte dei solidi. La massa vetrosa, a temperature sufficientemente alte, può essere lavorata mediante diverse tecniche per dare origine, una volta solidificata, a diversi prodotti. Nel vetro “solido”, l'organizzazione degli atomi componenti è molto più vicina a quella dei liquidi o dei polimeri che a quella dei solidi cristallini. Si tende a dire quindi che il vetro è “amorfo”.

#### 3.3.2. *Struttura del settore*

Nella classificazione merceologica corrente, i vetri costituiscono un macrosettore suddiviso in tre grandi settori: vetro cavo, vetro piano e vetro tecnico. Il vetro cavo riguarda principalmente la produzione di bottiglie e altri contenitori e rappresenta tra il 55% e il 65% della produzione di vetri nei paesi della UE. Il “vetro piano” riguarda invece le vetrature per l'edilizia e per i mezzi di trasporto, superando il 25% della produzione. Il vetro tecnico, infine, è un settore eterogeneo che include una varietà molto ampia di produzioni diverse (“lana di vetro” per l'isolamento termoacustico, fibre per materiali compositi, vetro ceramico, vetri per componenti elettriche e per illuminotecnica, fibre ottiche e componenti per le telecomunicazioni, vetri ottici compresi componenti per laseristica, ecc.).

Rimangono altri segmenti quali il vetro per servizi da tavola e per l'oggettistica artistica e di decorazione, in gran parte costituiti da officine artigianali, spesso altamente creative, che operano secondo logiche tendenzialmente più vicine a quelle delle attività artistiche che a quelle industriali. Le caratteristiche tecnologiche-produttive e di commercializzazione così come le strategie di sviluppo e dell'innovazione dei diversi settori e segmenti differiscono significativamente.

### **Il vetro cavo**

Questo settore è fortemente influenzato dalle scelte dell'industria alimentare e delle bevande. La produzione attualmente avviene con tecnologie ben consolidate e macchine veloci di adeguata efficienza che comportano investimenti moderati, accessibili anche ad operatori di dimensioni medio-piccole. Il settore, tipicamente di massa, è molto sensibile alle abitudini e ai comportamenti nonché alle promozioni della suddetta industria. Così, le bottiglie in vetro, che per molto tempo sono prevalse tra tutti gli altri possibili contenitori per la distribuzione al dettaglio di bevande e altri liquidi, oggi sono sostituite per molti prodotti con contenitori in altri materiali (lattine metalliche, i compositi "tetrapak", PET e altre materie plastiche).

Tuttavia, per molti liquidi i contenitori in vetro rimangono ancora i preferiti, grazie alla loro tenuta chimico-strutturale del materiale che consente una migliore conservazione del contenuto e a ragioni di tipo culturale che possono rendere poco accettabile contenitori in materiali diversi (ad esempio, per i vini e oli di qualità). I contenitori in vetro che, dopo l'uso costituiscono un'aliquota significativa dei rifiuti urbani, hanno anche vantaggi sotto il profilo energetico e ambientale. Il riutilizzo (vuoto a rendere), riduce sostanzialmente il consumo di energia per litro di bevanda consumata. D'altronde, il recupero dei rottami di vetro e il suo uso nel processo di produzione dei contenitori, può contribuire a un'ulteriore riduzione del consumo di energia (vedi *ultra*). Esistono tuttavia degli svantaggi, e alcuni cambiamenti di carattere relativizzano alcuni dei vantaggi appena menzionati, quali il peso dei contenitori in vetro e le difficoltà organizzative di sistemi di riutilizzo.

### **Il vetro piano**

Il settore del vetro piano richiede investimenti più consistenti di quelli per i contenitori, è tecnologicamente più complesso, e deve rispondere ai requisiti dell'edilizia nonché a quelli del settore dell'auto e di altri mezzi di trasporti, che impongono un maggior impegno innovativo.

Quasi tutto il vetro piano viene oggi prodotto mediante il processo detto *float* sviluppato dalla società inglese Pilkington Brothers Ltd. La società avviò il primo impianto industriale operante con questo processo nel 1959 e i suoi vantaggi rispetto ai precedenti modi di produzione furono riconosciuti in tutto il mondo.

Il processo consiste sostanzialmente nel riversare la massa vetrosa fusa di composizione su un bagno di stagno fuso sotto atmosfera controllata. Si ottiene così, senza lucidatura o altre operazioni, un nastro di vetro perfettamente piano con facce parallele di ottime caratteristiche ottiche e buone proprietà meccaniche. Una volta solidificato e sottoposto ad adeguati trattamenti termici per ridurre le tensioni accumulate durante la solidificazione, il nastro viene tagliato in lastre di dimensioni opportune, che costituiscono il "vetro di base". Questo viene poi trasformato, sia dagli stessi produttori sia da produttori indipendenti, in una varietà di prodotti destinati ai mezzi di trasporto, all'edilizia e all'arredamento.

I mezzi di trasporto contengono una complessa componentistica a base vetraria che include vetri antischegge e antilaceranti per parabrezza, lunotto posteriore e vetrature laterali, specchi retrovisori, vetri per fari, tettucci ecc. In edilizia, invece, il vetro viene utilizzato nelle finestre, nei rivestimenti esterni delle facciate con funzioni strutturali e di isolamento termico; in partico-

lari edifici, e nelle protezioni antivandalismo e antiproiettili (utilizzate anche in alcuni mezzi di trasporto). L'arredamento, comporta una domanda di gran lunga inferiore a quella degli altri due settori e comprende vetri colorati o non destinati a specchi, vetrine e altri mobili.

Anche se tutti questi prodotti sono a base vetraria, le caratteristiche di molti di loro richiedono diverse forme di accoppiamento con altri materiali, ad esempio:

- le caratteristiche antilaceranti e antischegge dei parabrezza richiedono un composito costituito da due lamine di vetro con in mezzo uno strato sottile di polimero trasparente (generalmente polivinilbutirale). Nelle protezioni, invece, si utilizzano multistrati in cui si alternano strati di vetro e di polimero trasparente;
- l'isolamento termico di edifici con facciate vetrate è garantito da pannelli compositi costituiti da due lastre di vetro unite tra loro e di opportuni sigillanti e disidratanti in modo da creare un'intercapedine perfettamente stagna contenente aria disidratata. Le lastre sono inoltre rivestite superficialmente mediante tecniche fisiche sofisticate da opportuni estratti di composti metallici per controllare i flussi di calore senza penalizzare la trasparenza.

## **Il vetro tecnico**

Anche se diversi segmenti del vetro tecnico hanno una grande rilevanza qualitativa per la loro incidenza in settori tecnologicamente avanzati è, nel complesso, quantitativamente meno significativo degli altri due settori.

Ogni segmento costituisce un caso a sé stante con poche analogie con gli altri due grandi settori. Tra i segmenti quantitativamente più rilevanti si possono menzionare: il vetro fibroso per isolamento termoacustico e le fibre per rinforzare i materiali compositi oggi ampiamente utilizzati; le fibre ottiche e la componentistica per l'illuminotecnica e l'elettronica industriale e di consumo (ad esempio, bulbi e schermi di svariato tipo per televisori e computer, sistemi industriali ed apparecchiature mediche). Anche se questi segmenti comportano operazioni su una scala significativa, le modalità produttive e commerciali sono qualitativamente e quantitativamente diverse di quelle dei due grandi settori trattati nei paragrafi precedenti.

Altri segmenti del vetro tecnico riguardano prodotti destinati a mercati molto specifici: parliamo dei vetri per l'equipaggiamento di laboratori chimici e biologici che, pur rimanendo di dimensioni contenute, rappresentano oggi un mercato in espansione. Altri prodotti, a carattere sostanzialmente funzionale, comportano notevoli progressi tecnologici.

Ad esempio, dispositivi planari per DVD/CD e componenti per le telecomunicazioni; dispositivi e schermi a cristalli liquidi fatti in vetri liberi di componenti nocivi quali gli ossidi di arsenico e antimonio; elementi ottici per olografia e altri dispositivi speciali; polveri e paste di vetro applicabile nelle fabbricazioni di componenti per l'elettronica di consumo, schede di circuiti impressi, film spessi per circuiti integrati ibridi. Si tratta però di produzioni di nicchia, e loro espansione o le possibili ricadute sul vetro cavo e il vetro piano, sono difficili oggi da prevedere.

### **3.3.3. L'innovazione: linee di ricerca e progressi prevedibili**

La chiara differenziazione tra i settori che compongono il macrosettore del vetro implica anche delle differenze sostanziali nelle logiche della ricerca e dell'innovazione.

Come per altri materiali strutturali, queste logiche saranno sempre più condizionate dalla necessità di ridurre i consumi energetici e gli effetti nocivi sull'ambiente nell'intero ciclo dei prodotti.

Altri cambiamenti, derivanti soprattutto dalle caratteristiche funzionali dei vetri, si traducono in progressi su altri settori, tra cui il più importante è quello delle tecnologie dell'informazione e delle telecomunicazioni che incidono sull'intero sistema socio-economico.



## Contenitori in vetro

Si possono prevedere oggi solo cambiamenti incrementali, sia nel processo produttivo sia nei prodotti, conseguibili con un'attività d'ingegneria di processo che si tradurrà anche in ulteriori ottimizzazioni delle macchine attuali. Per quanto riguarda i prodotti (le bottiglie) è difficile immaginare cambiamenti importanti se non la sostituzione del vetro con altri materiali, i cui benefici sono tutt'altro che scontati.

I cambiamenti che possono risultare in un vantaggio per il vetro sotto il profilo energetico-ambientale, possono emergere dalla gestione dell'intero ciclo dei contenitori, dalla produzione al trasporto sino al dettagliante e rientro in vetreria dopo le eventuali riutilizzazioni. La maggior parte delle operazioni di questo ciclo non dipendono direttamente dall'industria del vetro e dovrebbero essere oggetto di una convincente promozione e di un'effettiva regolamentazione. Sta di fatto che un'appropriata gestione del ciclo può produrre risparmi di energia di gran lunga superiori a quelli ottenibili con ulteriori ottimizzazioni del processo e delle macchine.

Dati rilevati in Italia e in altri paesi europei negli ultimi decenni, consentono di comparare i consumi di energia con contenitori in diversi materiali e stimare il risparmio energetico realizzabile sia con il riutilizzo delle bottiglie in vetro, sia con l'aumento del rottame nella miscela vetrificabile. Infatti, il consumo di energia per litro di liquido che arriva al consumatore in una bottiglia in vetro da 1 litro utilizzata una sola volta è, a parità di altre condizioni, superiore del 20% al consumo energetico con una bottiglia in PET e supera di oltre il 50% il consumo di energia con un contenitore tetrapak. Tuttavia, se la bottiglia in vetro viene utilizzata almeno due volte, il consumo di energia diventa uguale a quello con la bottiglia in PET; sarà invece necessario utilizzarla più di 5 volte per arrivare a un consumo energetico uguale a quello del tetrapak. Il passaggio di un sistema come quello adottato attualmente in Italia, con scarso riutilizzo delle bottiglie in vetro, a un altro in cui la metà delle bottiglie in circolazione si utilizzerebbe almeno 5 volte, comporterebbe un risparmio di un'ingente quantità di energia, equivalente a quella utilizzata nell'industria metallurgica primaria e di trasformazione del nostro paese. Un tale risparmio però appare irrealizzabile in quanto il riuso delle bottiglie non troverebbe sufficiente accettazione da parte della popolazione e delle catene di distribuzione (si veda *Vetro cavo. Bottiglie ed altri contenitori*).

Appare più realizzabile, anche non senza difficoltà, l'aumento del contenuto di rottame nella miscela vetrificabile. Per realizzare tale aumento, però, è necessario un netto miglioramento della raccolta differenziata delle bottiglie utilizzate, anche per colore, che si realizza già in altri paesi europei. Raddoppiando il contenuto attuale (30-35%) si otterrebbe un risparmio di energia complessivo (materie prime, processo, trasporto) di circa il 15%.

## Vetro piano per i mezzi di trasporto e l'edilizia

Anche in questo settore, le innovazioni prevedibili sono perlopiù di carattere incrementale. Esiste tuttavia una domanda reale di cambiamenti innovativi ben più importanti di quelli sul vetro cavo.

Dopo l'avvio del primo impianto industriale basato sul processo *float* nel 1959, si è assistito a un'intensa attività innovativa di tipo incrementale rivolta al suo miglioramento e all'ottimizzazione anche attraverso economie di scala. Oggi questa tecnologia è da ritenere molto vicina alla maturità, anche considerando l'automazione assai spinta delle operazioni, tuttavia non si vedono alternative a questo processo, almeno nel futuro prevedibile. Si continuerà quindi con ulteriori ottimizzazioni del processo e degli impianti sia sotto il profilo dell'economia (compresa quella energetica e ambientale) che sotto quello della qualità del prodotto. Queste ottimizzazioni, tuttavia, comportano un insieme assai complesso di cambiamenti tecnologici e gestionali che sono avvenuti o avvengono in continuazione. Ad esempio: il recupero di calore per riscaldare le materie



prime in letto fluido, l'automazione sempre più spinta (che implica anche una più approfondita conoscenza del processo su basi scientifiche per intervenire in tempo reale sui fattori che possono alterare la qualità del prodotto), un uso efficiente dell'energia elettrica – indispensabile per i vetri colorati - che in alcune fasi del processo deve aggiungersi all'energia termica consentendo risparmi significativi del consumo specifico di energia e la riduzione delle emissioni di inquinanti, quali SOx, NOx e polveri.

Le innovazioni sui prodotti, appaiono concettualmente più complesse in quanto devono rispondere tempestivamente a esigenze tecnologiche ed economiche imposte, principalmente, dall'industria dell'auto. Le esigenze del settore dell'edilizia, d'altro canto, vanno ben al di là dei semplici vetri per finestre, rendendo necessarie soluzioni tecnologiche raggiungibili mediante l'applicazione di metodi fisici sofisticati per la loro produzione e controllo.

Per l'industria dell'auto, il cambiamento innovativo nei prodotti a essa destinati, tende prioritariamente a raggiungere un delicato compromesso tra condizioni contrastanti nel rigoroso rispetto di rigidi schemi di sicurezza, tempo e costo. Per esempio:

- diminuzione del peso delle vetrature con conseguente calo di spessori; aumento della visibilità con il conseguente aumento delle superfici vetrate (e quindi anche di peso); aumento della sicurezza che richiede oltre che il miglioramento della qualità ottica, un incremento della resistenza meccanica e delle caratteristiche antilaceranti ed antischegge (in contrasto con la diminuzione degli spessori);
- contributo della superficie vetrata alla resistenza meccanica e all'inerzia torsionale delle vetture. Questo requisito strutturale, assai nuovo per il vetro, deriva dalla generale riduzione di pesi e spessori delle carrozzerie;
- forme sempre più complesse rispondenti a criteri estetici e aerodinamici, in contrasto con i requisiti di una migliore qualità ottica e meccanica;
- utilizzo delle superfici vetrate per altre funzioni (schermo dell'eccessiva luminosità, antiabbagliamento, riscaldamento, antenna radio, ecc.);
- integrazioni di componenti ausiliari (specchietti, guarnizioni in poliuretano incorporate, ecc.) per facilitare l'assemblaggio robotizzato delle carrozzerie.

Nonostante il peso relativamente elevato delle componenti in vetro non è prevedibile, per il momento, la loro sostituzione con altri materiali. Si può prevedere, invece, che le risposte ai requisiti dell'industria dell'auto e la generazione di nuove proposte da parte dell'industria vetraria comporteranno, principalmente, ulteriori cambiamenti incrementali. Per il breve termine appare possibile la sostituzione delle vetrature laterali con altre più leggere in composito vetro-polimero, l'adozione di vetri antiappannamento con rivestimenti superficiali conduttori dell'elettricità e, nell'insieme, un'integrazione sempre più spinta con altri materiali o la realizzazione di parti della carrozzeria con vetratura incorporata. Tra i cambiamenti per il medio/lungo termine, sembra probabile l'adozione di: vetri elettrocromici che offrono la possibilità di variare elettricamente la trasparenza; vetri con rivestimento superficiale nanostrutturato di  $\text{TiO}_2$  che le conferisce capacità autopulente; vetri per la proiezione olografica dei dati (*head up display*); tettucci con rivestimenti fotovoltaici per contribuire alla climatizzazione dell'abitacolo.

Anche per lo sviluppo dei cambiamenti incrementali, occorrerà un sostenuto sforzo di ricerca, indispensabile, d'altronde, per cogliere i possibili benefici della ricerca avanzata realizzate in altri settori tra i quali quello del vetro tecnico.

- Per l'edilizia, il cambiamento innovativo può apparire meno evidente rispetto al settore dell'auto. Tuttavia, anche in questo segmento sono avvenuti cambiamenti di grande importanza. Le innovazioni più rilevanti derivano da progetti architettonici, che comportano l'adozione di

grandi superfici vetrate che devono garantire tenuta strutturale e capacità d'isolamento termico. Questi benefici si ottengono, particolarmente nelle facciate, mediante le doppie vetrate e i rivestimenti superficiali delle lastre di vetro che permettono di controllare i flussi termici agendo:

- a. sulla trasmissione del calore attraverso lo spessore del vetro, che è ben più accentuata che nella muratura;
- b. la trasmissione della radiazione calorica, sia dall'esterno (provocando il riscaldamento eccessivo degli ambienti in estate) che dall'interno (favorendo la dispersione verso l'ambiente esterno in inverno).

La dispersione di calore rimane comunque un limite all'impiego del vetro in grandi superfici e le innovazioni prevedibili tenderanno a migliorare sostanzialmente la capacità d'isolamento senza ridurre la luminosità degli ambienti.

Sono necessari ulteriori progressi per migliorare tale capacità. Le soluzioni che appaiono oggi più convenienti sono:

- doppie vetrate in cui l'aria dell'intercapedine viene sostituita da altri gas o addirittura dal vuoto consentendo dimezzare la dispersione di calore con le attuali doppie vetrate;
- trattamenti superficiali di vetri colorati nella massa vetrosa che possono offrire, oltre che un miglior isolamento termico, molte possibilità sotto il profilo estetico e architettonico;
- sostituzione delle attuali tecniche dello *sputtering* per i rivestimenti superficiali con tecniche CVD (*chemical vapor deposition*), che danno risultati di qualità inferiore ma possono abbassare i costi, produrre film più resistenti e semplificare notevolmente le operazioni. Il rivestimento potrebbe, in effetti, realizzarsi ad alta temperatura direttamente sul nastro di vetro float appena formato;
- a più lungo termine potranno avere grande importanza i vetri attivi elettrocromici a trasparenza variabile, che faciliterebbe la gestione luminosa ed energetica, automatizzata e i vetri autopulenti rivestiti da pellicole nanostrutturate.

### **Vetro tecnico**

A causa della vasta varietà dei prodotti relativi a questo settore, alcuni dei quali sono stati menzionati nel paragrafo relativo al *Vetro Tecnico*, è difficile fare un'analisi previsionale dei possibili sviluppi per il settore nel suo insieme. Mentre le forme fibrose del vetro per isolamento termoacustico e per rinforzi nei materiali compositi possono considerarsi prodotti maturi, le fibre ottiche ammettono ancora cambiamenti importanti quali l'adozione di vetri a base di ossido di bismuto drogato con erbio che consente comunicazioni in banda più larga di quelle delle fibre abituali e offre una migliore tenuta termica e chimico-strutturale.

Le produzioni di nicchia o comunque di dimensioni assai ridotte destinate all'elettrotecnica, alla microelettronica, alle telecomunicazioni, alla strumentazione medica e scientifica, ecc. danno origine a un'ampia gamma di prodotti, spesso tagliati su misura per i singoli clienti, in cui il vetro è sostanzialmente un materiale funzionale, che risponde alla domanda fortemente variabile di questi settori molto dinamici. Non è quindi possibile nell'ambito di questo lavoro, incentrato peraltro sui materiali strutturali, fare previsioni sulla ricerca e innovazione di tali prodotti e i relativi processi di produzione.

Sia i cambiamenti negli attuali prodotti, sia lo sviluppo di prodotti interamente nuovi, richiedono notevoli investimenti nella ricerca. Questa situazione favorisce le grandi società vetrarie, che operano anche nei settori più convenzionali quali il vetro piano (Asahi Glass, Corning, Pilkinton), che si trovano così nelle migliori condizioni per valorizzare i risultati della ricerca di punta nei loro prodotti tradizionali.

## 4. MATERIALI POLIMERICI

### 4.1 Quadro di riferimento

#### 4.1.1. *Presente e futuro dei materiali polimerici*

##### **I materiali polimerici: una presenza fondamentale per le attività umane**

“*Plastica, l'avvenire del mondo è nella plastica!*”, questo si sentiva dire Dustin Hoffmann nel film “*Il Laureato*”, da un industriale. Negli anni '60 del secolo scorso il futuro dei materiali polimerici appariva radioso, in grande espansione. E da un punto di vista industriale, la produzione dei materiali plastici appariva destinata a numeri impressionanti. Ma è stato così? La risposta non può che essere sì. Ed è, e sarà ancora così? Vediamo di chiarire la situazione.

I polimeri di origine naturale, componenti essenziali della biomassa, esistono da sempre sulla faccia della terra. Ma il primo polimero sintetico è apparso agli inizi del 1900, la natura molecolare di un polimero è stata scoperta negli anni '30 e la progressione della produzione industriale comincia dagli anni '50. Il volume della produzione mondiale di polimeri ammonta oggi a ben più di 250 milioni di tonnellate, i polimeri sono il materiale con il più alto tasso di crescita negli ultimi cinquant'anni trovando applicazione in tutti gli aspetti della vita dell'uomo.

Ci si può chiedere perché i polimeri siano oggi un materiale fondamentale per ogni attività umana. La ragione sta nelle loro proprietà fisico-meccaniche, che si esprimono con una caratteristica comune, unico vero *fil rouge* che accomuna il mondo dei polimeri: la *bassa densità*, che rende, ad esempio, i polimeri di sintesi sovente preferibili ad altri materiali, accoppiata alla flessibilità che consente di ottenere con essi una assai più vasta gamma di prestazioni rispetto a qualsiasi altra famiglia di materiali.

##### **I polimeri come *commodities***

I polimeri sono dunque materiali assai diffusi, tanto da poter essere considerati vere e proprie *commodities*; essi si articolano in tre macrocategorie: termoplastici, termoisolanti ed elastomeri. I più importanti sono i termoplastici, con 5 famiglie dominanti, che lasciano uno spazio limitato ai polimeri di nicchia *specialties*. Ma anche gli elastomeri (le gomme), seppure con volumi inferiori, forniscono prestazioni irrinunciabili, basti pensare al mondo dei pneumatici.

Le difficoltà di affermazione di nuovi polimeri di massa dipendono, da un lato, dai risultati brillanti conseguiti dagli innovatori che hanno introdotto in passato i polimeri di massa con caratteristiche tali da soddisfare reali e vaste esigenze del mercato e, dall'altro, dallo sviluppo delle tecniche di *compounding*, ovvero di miscelazione con altri polimeri e ingredienti, che consentono di adattare al massimo le proprietà del materiale alle esigenze del manufatto finale.

La situazione che si è venuta sviluppando potrebbe essere riassunta dall'espressione “*si vendono prestazioni*”: molto limitati sono lo spazio e il tempo, cioè non vi è ritorno economico, per sviluppare un materiale nuovo *per sé* e quindi cercare le possibili sue applicazioni. Inversamente, la tendenza fondamentale della tecnologia è quella di perseguire prestazioni sempre più specializzate attraverso la modifica dei materiali esistenti (cioè attraverso il *compounding*) o sviluppando materiali *ad hoc* di nicchia.

##### **Il *compounding* e i materiali compositi**

Lo sviluppo di materiali compositi, attraverso miscelazione di polimeri con altre sostanze, e di polimeri speciali per applicazioni di nicchia ha così portato i materiali polimerici a soddisfare richieste sempre più avanzate. Di conseguenza, non si è sviluppata la tendenza a produrre polimeri funzionalizzati per larghe applicazioni ma, piuttosto, quella che parte da polimeri di base già

affermati e disponibili su larga scala per migliorarne le proprietà attraverso opportune addittivazioni. I compositi presentano il vantaggio chiave di essere vicini alla prestazione finale: “Gli *high performance polymers* e i *functional polymers* sono destinati a sparire dall’industria chimica.

L’applicazione dei *functional polymers* deve essere realizzata dalle industrie che controllano l’*end market*. Il profitto è realizzato dal manufatto che si basa sul polimero, piuttosto che dal polimero stesso” (MACROIUPAC, Varsavia, 2000).

Il contesto attuale dei materiali polimerici appare dunque chiaro:

- polimeri di massa disponibili come materiali di riferimento;
- la prestazione richiesta dal manufatto finale come *driving force* dell’innovazione;
- il *compounding* e i materiali compositi strutturali come risposta più vicina alla prestazione finale del manufatto;
- spazio ridotto per nuovi polimeri di nicchia per altissime prestazioni.

Dove va l’innovazione? Il sistema scientifico e tecnologico, in particolare il mondo industriale, segue alcune direttrici principali sia per la produzione di nuovi polimeri sia per le attività di *compounding*:

- ha sviluppato azioni di miglioramento continuo di materiali e prodotti già esistenti;
- ha individuato e applicato gli approcci tecnologicamente più *drop-in* possibili;
- ha sviluppato tecnologie per aumentare al massimo la produttività.

Questo approccio, foriero di innovazione incrementale, risponde sostanzialmente all’esigenza di soddisfare efficacemente le esigenze tecniche ed economiche della domanda. Ma sono state anche individuate linee di sviluppo, che almeno potenzialmente possono portare a innovazioni radicali: si tratta soprattutto degli approcci *nano* e *bio*, che verranno discussi in seguito. Sarebbe comunque sbagliato considerare mondi separati queste due linee di sviluppo innovativo: ambedue si calano nella realtà descritta, e rispondono a esigenze emergenti della domanda.

#### 4.1.2 I polimeri come materie prime

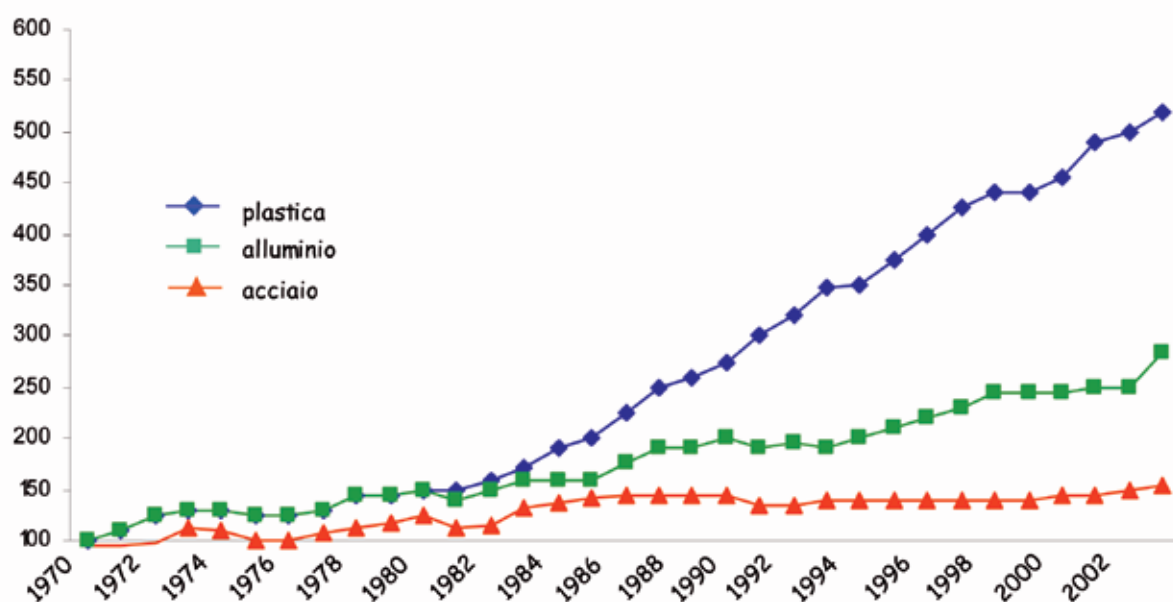
##### Il mercato

I polimeri sono materiali irrinunciabili per le attività umane, siano essi di origine naturale o prodotti di sintesi. È banale infatti ricordare che se il metano con un solo atomo di carbonio è un gas, idrocarburi con una decina di atomi di carbonio sono liquidi e diventano cere se il numero degli atomi raddoppia, è solo quando si formano catene con migliaia di atomi, cioè solo quando si arriva a formare un polimero, che si ottengono proprietà fisico-meccaniche utili per applicazioni strutturali. Tali interessanti proprietà si esprimono con la caratteristica costante, della bassa densità, che rende i polimeri di sintesi sovente preferibili ad altri materiali.

I numeri imponenti che descrivono il mondo dei polimeri confermano questo dato di fatto. La stima del consumo mondiale dei polimeri è pari a oltre 250 milioni di tonnellate (2005). I dati riportati in Tabella 1 si riferiscono alle materie plastiche e indicano una crescita di quasi 5 volte in 30 anni. A questi si aggiungono il consumo di gomme, superiore ai 15 milioni di tonnellate, e di resine termoindurenti, superiore ai 10 milioni di tonnellate nella sola Europa Occidentale.

Tabella 1 - Consumo mondiale di polimeri termoplastici (in milioni di tonnellate).	
Anno	Consumo
1976	50
1989	100
2002	200
2005	235

Figura 5 - Consumo di plastica, alluminio e acciaio dal 1970 al 2003.



Le materie plastiche sono il materiale con il più alto tasso di crescita negli ultimi decenni, come risulta dalla Figura 5.

Le materie plastiche hanno dunque avuto uno sviluppo continuo dal 1950 a oggi, valutato prosimamente al 10% all'anno (*PlasticsEurope*) e per il futuro è previsto ancora un tasso di crescita elevato (5-6% all'anno). Il continuo sviluppo dei materiali polimerici ha subito rallentamenti solo in occasione delle crisi petrolifere (prima metà degli anni '70 e inizio anni '80) per poi prontamente riprendere; vi è ormai una correlazione lineare fra il tasso di sviluppo di un paese e il consumo di materiali polimerici: si stima una media mondiale di consumo pro capite pari ad almeno 25 kg, che arriva fino a 90 – 100 kg nei paesi industrializzati.

Il mercato europeo rappresenta oggi il 24% di quello mondiale, circa 53 milioni tonnellate, e si prevede che manterrà un tasso di sviluppo annuale nei prossimi anni intorno al 3%. I mercati tradizionali, quali appunto Europa e USA, perderanno così quote di mercato a favore dei paesi emergenti. Per quanto riguarda l'Italia, la domanda è stata nel 2004 di 8 milioni di tonnellate (*Plastics Europe*). Negli anni 2000 si è verificata una forte diminuzione del tasso di crescita fino ad arrivare a un dato negativo nel 2005 (-0,4%), inferiore anche al tasso del PIL. Questa tendenza è stata messa in relazione sia alla crisi economica, sia al fenomeno del *transplantating*, cioè al trasferimento all'estero di molte produzioni di base. Negli anni 2006 e 2007 si è avuta una risalita, collegata alla ripresa economica. Un dato noto è che la bilancia dei pagamenti, per quanto riguarda la produzione dei polimeri, è molto negativa. Il tasso di importazione è stato stimato sul 70% dei consumi, a fronte di una esportazione del 17%.

Da notare, inoltre, che una notevole parte dei polimeri prodotti in Italia viene realizzata in impianti appartenenti a società straniere.

### La situazione italiana

L'industria italiana del settore è caratterizzata da pochi grandi attori, per lo più di proprietà straniera, e da una estesa rete di piccole e medie imprese. In particolare, l'Italia è in una posizione debole nella produzione di polimeri: tra i primi 50 gruppi chimici mondiali attivi nel settore



materie plastiche, l'Italia è presente soltanto con tre gruppi: Polimeri Europa, Mossi & Ghisolfi, Radici. La bilancia *import/export* è negativa, mentre è in una posizione di forza nel settore della trasformazione dei polimeri e in particolare delle macchine per trasformare.

Del resto, mentre la produzione è caratterizzata dalla grande dimensione degli attori, nella trasformazione è invece possibile esprimersi da protagonisti anche con dimensioni medie se non piccole. Le produzioni del *Made in Italy*, punto di forza dell'economia italiana, trovano in moltissimi casi un sostegno fondamentale nelle capacità dell'industria dei materiali, soprattutto a base polimerica, per la realizzazione di manufatti prestigiosi di altissima qualità. Peraltro, la dimensione aziendale piccola consente con grande difficoltà la realizzazione di progetti di innovazione, soprattutto di innovazione radicale. In Italia esistono in molti settori centri di assoluta eccellenza sul piano scientifico e su quello industriale. Classico è l'esempio della scoperta del polipropilene (PP) isotattico del Premio Nobel Giulio Natta, con l'applicazione industriale da parte della Montedison. Malgrado l'Azienda che produce il PP (insieme ad altre poliolefine) sia passata di proprietà tante volte (oggi è LyondellBasell), il Centro Ricerche ove avviene la ricerca strategica sui catalizzatori e sui prodotti è tuttora in Italia, a Ferrara. Il livello di eccellenza di questo Centro è dovuto essenzialmente a due ragioni:

- l'alto livello scientifico, che risale al *team* creato intorno a Natta, ma che ha saputo mantenersi per tanti anni a livello altissimo dai punti di vista scientifico, tecnologico e delle applicazioni industriali;
- la simbiosi fra ricerca fondamentale, applicata e sviluppo tecnologico grazie, fra l'altro, alla dimensione di impianti pilota e che praticamente riproducono le condizioni industriali. Detta simbiosi, come già detto, fu fin dalle origini la *fingerprint* dell'attività di ricerca sulla catalisi Ziegler-Natta.

L'*imprinting* italiano al polipropilene, così, non è venuto meno. L'80% del PP nel mondo è prodotto con la tecnologia sviluppata in Montedison, Himont e Montell.

In molti centri universitari sono presenti aree di assoluta eccellenza, cui la piccola dimensione e la mancanza di mezzi non consentono spesso di esprimersi come potrebbero. Un esperimento assai interessante che sta venendo avanti sono le Cattedre accademiche finanziate dall'industria che, con investimenti pluriennali, perseguono diversi positivi obiettivi:

- portare problematiche reali e attuali dell'industria;
- sviluppare un unico linguaggio;
- portare insegnamenti aggiornati;
- garantire un rapporto intenso con le imprese industriali, soprattutto con quelle di minori dimensioni, che hanno difficoltà nel mantenere un adeguato aggiornamento scientifico;
- fungere da centro di ricerca e sviluppo in outsourcing per le imprese.

### Quali polimeri?

I polimeri più diffusi sono dunque le materie plastiche. Ci sono circa 20 diversi gruppi di materie plastiche, ognuno dei quali è composto da distinti gradi commerciali. Cinque sono le famiglie di largo volume, nell'ordine: Polietilene (PE), Polipropilene (PP), Polivinilcloruro (PVC), Polietilentereftalato (PET), Polistirene (PS). I consumi annui di PE e PP arrivano intorno a 50-60 e 30-40 milioni di tonnellate, il PVC intorno ai 30, mentre 10 è il valore di riferimento per PET e PS.

Fra le gomme, la Gomma Naturale è sempre quella più diffusa ed è il più importante polimero idrocarburico da fonte rinnovabile, con un consumo mondiale intorno a 8 milioni di tonnellate. La Gomma Stirene - Butadiene da processo in emulsione è sempre la spina dorsale dell'industria della gomma sintetica, seguita dalla Gomma Butadiene. Come si vedrà, l'esigenza di un minore



impatto ambientale da parte dei pneumatici sta portando a un maggior consumo di gomma SBR da processo in soluzione. I volumi coinvolti sono intorno a 4 e 3 milioni di tonnellate, rispettivamente, per le gomme SBR e BR. Fra le resine termoindurenti, poliuretatiche e amminiche e quindi fenoliche sono le più diffuse, con consumi pari, nella sola Europa Occidentale, a circa 3 milioni di tonnellate per le prime due e 1 milione per le resine fenoliche.

## Il contesto industriale

La situazione dei principali polimeri termoplastici può essere così riassunta:

- alto costo delle fonti da cui i polimeri derivano, a partire dal barile di petrolio;
- esplosione della domanda, in particolare a seguito dello sviluppo dei paesi emergenti asiatici, con il conseguente rischio di *shortage*;
- aumento del prezzo dei polimeri e dei prodotti da essi derivati;
- impianti di produzione sempre più grandi e sovente oggetto di processi di delocalizzazione, dal mondo occidentale all'Estremo oriente; a questo proposito è da sottolineare che il già ricordato aumento dei costi dei prodotti petroliferi comporta la necessità di aumentare il volume degli impianti per ridurre l'incidenza dei costi fissi.

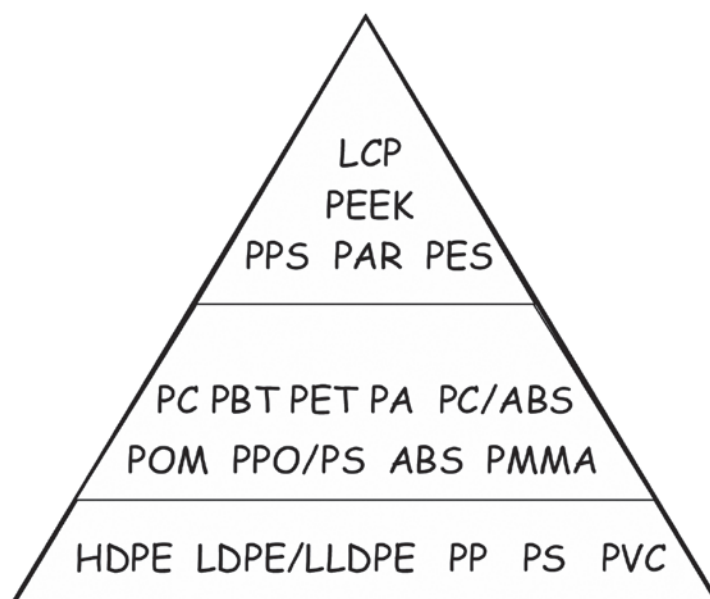
I produttori di polimeri si trovano dunque attualmente con condizioni al contorno favorevoli: sì alto costo del petrolio, ma anche altissima domanda fino a non poter soddisfare tutte le richieste. Così i produttori diventano sempre più di grandi dimensioni, attraverso fusioni e anche integrazione con le aziende che a monte gestiscono le materie prime idrocarburiche.

I polimeri termoplastici sono dunque sempre più visti come materie prime da cui partire per arrivare alle prestazioni che il mercato richiede.

## Polimeri di massa tradizionali e nuovi polimeri di nicchia

La Figura 6 riporta la nota "piramide dei polimeri", con la previsione elaborata nel 1975 per la fine del secolo scorso. Si pensava che i principali polimeri termoplastici avrebbero lasciato il posto ai cosiddetti *engineering plastics*, cioè a materiali con sempre migliori proprietà.

**Figura 6 - Presenza sul mercato di commodities e specialties. Previsione del 1975 per il 1995.**



Oggi sappiamo che i fatti non sono andati così. A fronte di queste previsioni i consumi a livello mondiale hanno avuto la seguente ripartizione: *Commodities* 87%, EP (tecnopolimeri) 12%, HPTP (polimeri speciali) 1%. Nell'esplosione del consumo dei polimeri, i protagonisti sono i materiali termoplastici più importanti: PE, PP, PVC, PET, PS.

Perché non si sviluppano nuovi polimeri di massa? Nel dettaglio, possono essere identificati diversi motivi:

- i costi di R&S sono ingenti, in relazione all'individuazione di nuovi monomeri e allo sviluppo di nuovi catalizzatori;
- gli aspetti brevettuali sono problematici, con frequenti battaglie legali fra produttori;
- le strutture produttive dei polimeri di massa, per le loro grandi dimensioni, non hanno la flessibilità per accogliere i nuovi gradi. Peraltro, i costi di investimento hanno sempre inciso in maniera rilevante sul costo totale del polimero finito (65-70%). La necessità di sfruttare al massimo gli impianti comporta dunque, come conseguenza, maggior cautela nella produzione di gradi speciali;
- il *time to market* dei nuovi polimeri non si giova dell'esperienza dei polimeri già diffusi;
- i nuovi polimeri competono con polimeri consolidati, di grandi volumi e quindi con applicazioni di massa;
- i nuovi polimeri non riescono ad entrare in modo *drop-in* nella cornice tecnologica esistente: i trasformatori sono perlomeno restii a modificare le condizioni di trasformazione, prima ancora delle macchine.

In sintesi, le imprese si sono rese conto che il prezzo elevato degli HPTP impedisce una massiccia sostituzione dei materiali tradizionali e che i polimeri speciali possono occupare solo nicchie ad alta specializzazione in cui, in molti casi, l'elevato valore aggiunto non è comunque sufficiente a coprire i costi di ricerca, sviluppo e produzione. Il secondo fattore che consiglia prudenza è legato alle incertezze sui prezzi dei prodotti petroliferi, materia prima per la maggior parte delle materie plastiche. In altre parole, si è affermata la consapevolezza che i polimeri più importanti già disponibili sono in grado di soddisfare le prestazioni fondamentali richieste ad un materiale polimerico. È vero che i polimeri più importanti hanno proprietà a volte difficilmente superabili, e qui basterebbe citare l'indice di isotatticità del PP (ormai pari a 99%). Ma fundamentalmente sono stati sviluppati approcci alternativi per raggiungere le prestazioni richieste: in primis il *compounding* arrivando alla preparazione di materiali compositi.

### **Le gomme: materiali *sold out* e richiesta di prestazioni difficili**

Un aspetto tipico della produzione di elastomeri è l'impiego di processi in soluzione, per motivi strettamente connessi con la natura del materiale. Molti elastomeri sono infatti dotati di *tackiness*, cioè di adesività. È impossibile pensare di produrli in fase gas, senza una notevole quantità di un supporto, per esempio una carica rinforzante. Inoltre, la catalisi Ziegler-Natta, all'origine di gomme importanti quali BR, IR, EPDM, non può essere utilizzata in emulsione acquosa. Ecco dunque che negli ultimi anni sono stati sviluppati impianti di produzione di EPDM in fase gas con nero di carbonio (tecnologia in origine Carbide) oppure in soluzione ad alta temperatura (*Dow-Dupont*, ora *Dow*) per alta efficienza del processo.

Volendo analizzare lo spazio per l'innovazione per i materiali elastomerici, la situazione può essere vista come più favorevole, grazie ai volumi più contenuti ed alle richieste a più alto valore aggiunto che i materiali gommosi si trovano a fronteggiare. Va sempre ricordato che la principale applicazione è quella nei pneumatici e dunque le richieste per nuovi materiali elastomerici vedono come *driving force* una maggiore sicurezza, migliori prestazioni e minore impatto ambientale.

*Driving force* e principali azioni per l'innovazione dei materiali polimerici fino a qui ricordati verranno discussi più oltre nella sezione dedicata.

## **L'innovazione nei polimeri come materie prime**

### *I materiali termoplastici di maggiore diffusione*

Nel settore dei materiali termoplastici di maggiore diffusione, quali le poliolefine, c'è comunque spazio per sviluppare la sintesi di nuovi polimeri, a partire anche da nuovi approcci di catalisi.

L'esperienza ha però dimostrato che non c'è spazio per partire *from the scratch* con una nuova catalisi che richieda una nuova cornice tecnologica e che implichi modifiche più o meno invasive dall'impianto di produzione fino alla trasformazione lungo tutta la filiera. Il mondo delle poliolefine ha allora reagito mettendo in pratica percorsi che portano a variazioni in qualche misura minori di polimeri consolidati piuttosto che a strutture polimeriche radicalmente nuove:

- lo sviluppo *drop-in* di nuovi catalizzatori eterogenei;
- le tecnologie *high throughput*;
- la nuova catalisi *single site*.

### *Sviluppo drop-in di nuovi catalizzatori*

Nel caso del PP si sviluppano nuovi componenti dei sistemi catalitici eterogenei, i *donor*, che consentono di ottenere nuove proprietà del polimero finale, ma utilizzano la medesima cornice tecnologica.

### *Tecnologie ad alta produttività*

La chimica combinatoriale e le cosiddette tecnologie automatizzate *high throughput* vengono sempre più utilizzate per selezionare nuovi sistemi catalitici, data la loro altissima efficienza nel valutare le correlazioni fra la struttura di decine di *chemicals* e le proprietà molecolari del polimero ottenuto.

### *La nuova catalisi single site*

Gli ultimi anni del secolo scorso sono stati caratterizzati dall'impiego su scala industriale della nuova generazione di catalisi per poliolefine nota come "catalisi *single site*". Questa catalisi è in grado di generare nuove strutture macromolecolari e viene impiegata soprattutto per il mondo del PE, in particolar modo per i copolimeri con 1-olefina (LLDPE).

La nuova catalisi *single site* è in grado di dare vita a polimerizzazioni quasi viventi, che preparano copolimeri a blocchi di etilene e propilene, mentre miscele di opportuni catalizzatori alternano lungo la stessa catena sequenze cristalline ed elastomeriche. Tali scoperte sono ancora di interesse squisitamente scientifico oppure su scala al massimo pre-commerciale.

### *Polimeri di nicchia di successo*

Come già detto, i polimeri nuovi trovano applicazione in nicchie di mercato ad alto valore aggiunto. Alcuni esempi significativi vengono, di seguito, riportati.

### *Polimeri delle ciclolefine*

La nuova generazione di catalizzatori Ziegler-Natta, la cosiddetta generazione *single-site*, è stata utilizzata per la preparazione di omo/co-polimeri delle ciclolefine con applicazioni nel settore biomedicale e dell'ottica avanzata.

*Il nuovo polistirene sindiotattico*

La nuova generazione di catalizzatori Ziegler-Natta *single-site* è stata anche utilizzata per la sintesi di polistirene sindiotattico, polimero ad alta temperatura di fusione e alta rigidità con notevolissime potenzialità come materiale nanoporoso per intrappolare *guest* in modo selettivo.

*La polimerizzazione radicalica vivente*

Questo esempio abbina l'innovazione nella catalisi, la catalisi radicalica, e l'ottenimento di polimeri di nicchia. Strutture polimeriche controllate contenenti gruppi funzionali vengono infatti ottenute controllando la propagazione radicalica, con applicazioni ancora nel settore biomedicale, ma anche in quello del coating ad alto valore aggiunto.

**Famiglie di polimeri***Polietilene, PE*

Gli LLDPE con proprietà migliorate sono l'esempio di maggior successo di applicazione della nuova catalisi *single site* per poliolefine. È la migliore distribuzione del comonomero in catena a portare alle migliori proprietà. Nel campo di LLDPE per film ciò consente di espandere i volumi dei modificati C6 (esene) e C8 (ottene) a scapito del C4 (butene), grazie alle elevate prestazioni meccaniche e di processabilità.

Lo sviluppo di materiali multimodali ad alta rigidità ( $d = 0,96$ ) consente una espansione delle applicazioni di HDPE ad alto valore aggiunto quali soffiaggio di parti di grandi dimensioni e tappi ad alta resistenza chimica e alta barriera con conseguente abbassamento degli spessori e dei pesi dei manufatti. Le sempre più alte densità consentono, inoltre, di ottenere semilavorati (quali ad esempio film soffiati e tubi) con minori spessori e più alte prestazioni.

*Polipropilene, PP*

Come già ricordato, per quanto riguarda la catalisi l'orientamento prevalente riguarda lo sviluppo di agenti modificanti dei catalizzatori Ziegler-Natta (*donor*), che possano essere utilizzati nella medesima cornice tecnologica, dal supporto del catalizzatore stesso all'impianto di polimerizzazione, e perseguendo miglioramenti della macrostruttura del polimero per applicazioni comunque di largo volume. Ad esempio, Basell (ora LyondellBasell) ha sviluppato i dieteri come *donor* per una stretta distribuzione dei pesi molecolari (DPM) per applicazione nel settore delle fibre. Altra famiglia di *donor* è quella dei succinati, che producono invece larga DPM per la produzione di materiali eterofasici con migliore bilancio rigidità/impatto.

È senz'altro il caso di sottolineare che le nuove famiglie di *donor* sono partite dai dieteri, che sono nati nell'Istituto Donegani di Novara (ai tempi Montedison) e sono stati in buona misura sintetizzati presso il Politecnico di Milano, Istituto G. Natta. Gli ultimi esempi nascono nel Centro Ricerche Natta di Ferrara, che rimane il motore dello sviluppo di nuova catalisi e nuovi prodotti, indipendentemente dai cambiamenti nella proprietà dell'azienda.

*Nuove Poliolefine*

Vengono qui riassunte alcune linee di sviluppo di nuovi prodotti poliolefinici.

È in atto una tendenza allo sviluppo di nuovi tipi da utilizzare in sostituzione del PET e del PS nell'imballaggio rigido, nei settori delle bottiglie e della termoformatura. Questi materiali presentano, oltre alla trasparenza, anche una più alta resistenza all'impatto (eterofasici trasparenti).

Per il settore automobilistico l'orientamento è verso materiali sempre più rispondenti all'obiettivo di "ritiri zero" e con caratteristiche fisico-meccaniche allineate a quelle delle poliammidi

caricate e di altri tecnopolimeri. I materiali ad alto contenuto di vetro sostituiranno i metalli nel settore automobilistico consentendo la riduzione di peso, e quindi di consumi di carburante. Per questo settore proseguirà anche lo sviluppo di materiali “soffici” per interni con l’obiettivo del soft touch (*comfort* e simulazione pelle). Nei settori del film biorientato e delle fibre l’orientamento è verso materiali a più elevata processabilità (aumento della velocità delle linee) e migliorate proprietà meccaniche (riduzioni spessori).

#### *Polivinilcloruro, PVC*

Anche per questi polimeri è previsto uno sviluppo di nuovi materiali per il settore edilizia (profili porte e finestre, tubi e raccordi).

#### *Polistirene, PS*

Verranno sviluppati nuovi tipi di espanso per l’edilizia per rispondere alle nuove esigenze (vedi *supra*) e nuovi materiali a migliorata trasparenza e resistenza per il settore imballaggio.

#### *Poliammidi, PA*

Le nuove linee di sviluppo riguardano materiali e tecnologie per la produzione di manufatti con migliori prestazioni sia dal punto di vista tecnico che economico nei settori auto ed E/E. Si stanno impostando ricerche indirizzate verso tipi ad alta fluidità e verso miglioramenti delle prestazioni (in particolare quelle a lunga catena come il PA11) a contatto con il biodiesel.

#### *Poliacetali, POM*

Le ricerche vengono indirizzate verso il miglioramento della stabilità termica degli omopolimeri, e la riduzione emissioni di VOC per rientrare nella normativa VDA.

#### *Polibutilentereftalato, PBT*

Analogamente a quanto avviene per altri tecnopolimeri, gli obiettivi più a breve termine riguardano la ricerca di materiali a maggiore fluidità (riduzione ciclo 25%) e di autoestinguenti senza alogeno (Br) e metalli pesanti. È prevedibile un incremento dei consumi nel settore trasporti per il continuo sviluppo dei componenti elettronici.

#### *Polimetilmetacrilato, PMMA*

Un primo obiettivo sarà la ricerca del miglioramento della resistenza all’urto, mantenendo le caratteristiche di trasparenza e resistenza all’invecchiamento per il settore auto. Sono attesi anche sviluppi nel medicale, settore di nicchia, ma di alto valore aggiunto.

### **La Polimerizzazione radicalica controllata**

Ci riferiamo qui a una tecnica di polimerizzazione e non a un tipo particolare di polimero. È vero però che con la CRP vengono essenzialmente prodotti i polimeri contenenti gruppi polari, tradizionalmente prodotti con la “radicalica non controllata”, che quindi possono essere visti come una famiglia di polimeri.

La polimerizzazione radicalica vivente è dunque la nuova frontiera della polimerizzazione promossa da radicali che porta all’ottenimento di polimeri dalla struttura controllata. È una svolta scientifica importante nel mondo della polimerizzazione. È ben noto, infatti, che una delle reazioni più tipiche per una propagazione radicalica è il trasferimento del centro attivo che propaga la crescita della catena polimerica, cioè il trasferimento di catena, che porta a polimeri con distribuzione ampia di pesi molecolari e, a volte, anche con ramificazioni. È chiaro allora quale

profondo mutamento sia intervenuto nella struttura dei polimeri potendo controllare e prevenire il trasferimento di catena. Per queste ragioni la sigla con la quale si indica questo tipo di polimerizzazione è CRP: *Controlled Radical Polymerization*. Le idee e le applicazioni sono assai numerose e hanno già trovato in molti casi sviluppo su scala commerciale. Vi è qui da sottolineare la possibilità dell'approccio *drop-in*: i monomeri sono spesso tradizionali, così come le condizioni e gli impianti di polimerizzazione. Dal punto di vista delle strutture macromolecolari, i copolimeri a blocchi sono stati senz'altro fra i più studiati e sviluppati. Per citare solo alcuni esempi di applicazioni della radicalica vivente: composti anfifilici con blocco idrofilo e blocco idrofobo per veicolare farmaci nell'organismo, *array* per analisi di DNA, polimeri a blocchi come adesivi e compatibilizzanti, come disperdenti di pigmenti in vernici e inchiostri e come compatibilizzanti di polimeri immiscibili ed ancora applicazioni per il *coating* di *wafer* siliconici e per processi di *imaging* elettrofotografici. È stato fondato un consorzio fra molte aziende, alcune delle quali di grandi dimensioni per lo sviluppo industriale di una delle tecniche di polimerizzazione radicalica vivente, la ATRP (*Atom Transfer Radical Polymerization*).

### Gli Elastomeri

Le gomme diene sono da sempre quelle più importanti nel settore dei materiali elastomerici, grazie alla loro applicazione di largo volume nelle mescole per pneumatici. Con la crescita delle economie asiatiche (India, Cina) tali materiali hanno vissuto e stanno vivendo un periodo di *shortage*, caratterizzato dall'aumento dei prezzi. Nel settore delle gomme, è sempre utile ricordare che il materiale più diffuso deriva da fonte naturale, rinnovabile: si tratta della gomma naturale, che ha un consumo annuo pari a circa 8 milioni di tonnellate e le cui piantagioni sono un bell'esempio di impianto *sold out*. Le novità più significative riguardano la gomma stirene-butadiene (SBR). Il prodotto da catalisi radicalica in emulsione è tuttora la spina dorsale del mondo delle gomme, ma la gomma SBR da catalisi anionica in soluzione sta acquistando sempre più importanza e quote di mercato. La *driving force* è il ruolo strategico di tale gomma per il risparmio energetico e una mobilità sostenibile. Da circa una ventina d'anni si sono infatti affermate le cosiddette *green tyres*, cioè i pneumatici a bassa resistenza al rotolamento, il cui battistrada è costituito da una miscela che contiene silice. Un'interazione positiva fra silice ed elastomero idrocarburico viene realizzata attraverso agenti di accoppiamento la cui reazione con l'elastomero, di tipo radicalico, aumenta la propria efficienza in presenza di doppi legami reattivi, quali quelli vinilici inseriti in catene nella giusta quantità grazie alla sola catalisi anionica, che funziona appunto in soluzione.

Le nuove frontiere delle gomme più importanti per diffusione, applicate nei pneumatici, sono dunque caratterizzate dalla modifiche strutturali:

- per produrre mescole per un più alto risparmio energetico, con attività di ricerca centrata nella fase di catalisi;
- per garantire una più alta impermeabilità, anche attraverso la preparazione di particolari materiali compositi, ad esempio, fra gomma alogenobutile e poliammidi, con attività di ricerca centrata nella fase di trasformazione. *Fil rouge* di qualsiasi innovazione nel settore dei pneumatici e dunque risalendo la filiera, in quello degli elastomeri principali componenti delle loro mescole, è migliorare le prestazioni con un sempre minore impatto ambientale e sempre più garanzie per la sicurezza.

Nel caso delle gomme sature, anche dette gomme termoplastiche, quali le gomme etilene/propilene EP(D)M, esse mostrano una delle poche applicazioni di successo della nuova generazione *single site* della catalisi Ziegler-Natta: i prodotti Nordell IP, ottenuti in soluzione ad alta temperatura, realizzando dunque un vecchio obiettivo per un impianto in soluzione di EP(D)M, il lavorare



ad alta temperatura per consentire un facile riciclo del diene D non reagito. Anche qui, dunque, tutta la filiera risulta coinvolta, dalla fase della catalisi a quella delle applicazioni di una nuova famiglia di EP(D)M. Come è noto, il mondo degli elastomeri è in effetti il regno della formulazione, con mescole che contengono anche fino a 15 ingredienti diversi e che vedono la gomma ad una concentrazione pari a circa il 50% in peso. La *driving force* dell'innovazione in questo ambito è ancora una volta il minore impatto ambientale, nel rispetto anzitutto della stringente normativa REACH (*Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals*) e delle ulteriori richieste che gli utilizzatori finali propongono. Un esempio di largo volume è l'eliminazione dell'olio aromatico e dei metalli pesanti dalle mescole battistrada per pneumatici.

## Le nuove sfide tecnologiche

### *La frontiera "bio"*

Come verrà discusso più oltre, la frontiera "bio" nel settore dei polimeri segue due direttrici di sviluppo principali:

- produzione di polimeri tradizionali, a partire però da monomeri da fonti rinnovabili (ad esempio monomeri da fermentazione microbiologica di biomasse);
- polimeri innovativi ottenuti da fonti rinnovabili direttamente o polimerizzando monomeri da fonti rinnovabili.

### *Il ciclo di vita dei materiali*

Un fattore trainante dell'innovazione anche nel settore dei polimeri è collegato alla questione ambientale e alla necessità di un approccio che tenga conto del loro impatto lungo l'intero ciclo di vita del materiale: ciò vuol dire essenzialmente considerare nuovi elementi, quali il bilancio energetico per la produzione dei materiali e le tecnologie di fine vita (recupero, riciclo, valorizzazione energetica).

### *L'autoriparazione dei materiali (self-healing/self repairing)*

I materiali autoriparabili offrono una adeguata protezione contro potenziali danni che si formano durante la loro utilizzazione: degradazione per azione di agenti esterni chimici o fisici o per ripetute sollecitazioni meccaniche. Sono state sviluppate delle tecniche che consentono la riparazione sia spontanea che indotta. Questi sistemi sono potenzialmente molto utili in applicazioni nel settore aereo e aerospaziale, ma le potenzialità ovviamente sono molto più ampie. Il *metodo spontaneo* prevede l'incorporazione di microsfele cave riempite con monomeri saldanti: quando una microfrattura incontra una microsfera, questa si apre rilasciando il monomero che riempie la microfrattura e, in presenza di un catalizzatore, polimerizza saldando le due facce della frattura. Il *metodo indotto*, principalmente collegato con rotture della catene per azioni esterne con conseguente caduta di caratteristiche, si basa sull'aggiunta al polimero di sostanze in grado di ricombinare i frammenti di catena. Studi sono stati fatti su PPO e policarbonato. In entrambi i casi gli agenti riparanti sono sostanze inorganiche che vengono incorporate nel polimero durante la preparazione.

## 4.1.3 Trasformazione e compounding dei polimeri

### L'industria della trasformazione

È opportuno partire da questo aspetto, non solo perché evidentemente è di importanza basilare, ma anche perché l'Italia ha un ruolo rilevante nel panorama europeo nel comparto industriale

della costruzione macchine per la trasformazione dei materiali polimerici e della trasformazione stessa. Infatti, per quanto riguarda l'industria della trasformazione, il fatturato globale è stimato (*Plastics Consult*) in 16,6 milioni € con una produzione di circa 7,5 Miot e un livello di esportazione del 31%, a fronte di una importazione, calcolata sulla produzione, dell'8%. Un problema rilevante è che il 59,5% delle aziende sono di piccole dimensioni (meno di 20 addetti).

Anche per quanto riguarda il settore della costruzione macchine la bilancia è nettamente in positivo. Nel 2006, a fronte di una produzione valutata 3700 milioni €, la quota dell'esportazione ha superato il 58%, a fronte di una importazione del 16% (fonte *Assocomaplast*). Carente è però la ricerca tecnologica e di processo. In effetti l'industria italiana della trasformazione e costruzione macchine è formata prevalentemente da piccole e medie imprese: il 60% delle società ha meno di 20 addetti, dimensione che non permette una adeguata azione di R&S.

### **Il mondo del *compounding***

Il *compounding* svolge un ruolo imprescindibile per impartire qualità migliori al materiale polimerico, portarlo alle caratteristiche richieste per le prestazioni per le quali è disegnato, promuovere innovazione. Il *compounding* deve dunque essere inteso come la modifica dei materiali polimerici attraverso le seguenti azioni:

- fusione o rammollimento;
- eventuale miscelazione con altri polimeri;
- additivazione con ingredienti specifici;
- omogeneizzazione.

Gli obiettivi del *compounding* riguardano il miglioramento delle proprietà di uno o più polimeri di partenza, partendo da polimeri preferibilmente di larghi volumi e basso costo, dando dunque più valore aggiunto ai polimeri di origine e producendo un materiale il più possibile vicino alla prestazione finale, in un'ottica di rispondenza alle normative ambientali sempre più stringenti.

I vantaggi chiave del *compounding* sono i seguenti:

- costo limitato degli investimenti industriali, peraltro non specifici;
- investimenti inferiori a quelli di un impianto di produzione polimeri;
- versatilità nell'uso di diversi polimeri e additivi;
- valorizzazione dell'esperienza dei produttori;
- possibilità di "avvicinarsi" al manufatto;
- velocità nel conseguimento delle prestazioni obiettivo;
- possibilità di modificare e migliorare drasticamente le proprietà del polimero di partenza;
- rapidità nel conseguimento di obiettivi tecnico - economici;
- tecnologia *drop-in* anche per materiali innovativi.

In particolare, è importante sottolineare: la versatilità, l'approccio tecnologicamente *drop-in* e i ridotti investimenti necessari.

### **I polimeri termoplastici nel *compounding***

La Tabella 2 riporta le percentuali dei polimeri più comuni che vengono utilizzati dopo il *compounding* con altri ingredienti.

I dati si riferiscono all'Europa Occidentale agli inizi del 2000.

La percentuale media, stimata tenendo conto dei consumi dei singoli polimeri, è dunque vicina al 20%. Il volume totale di termoplastici che va in *compound*, stimato nel 2001, è pari a circa 7 milioni di tonnellate.

È evidente che, per uno stesso polimero termoplastico, è il tipo di applicazione che determina

la necessità o meno di passare attraverso un'additivazione. Ad esempio, il polipropilene - destinato a film, fibre, rafia, estrusione e soffiaggio - non richiede particolari additivazioni, mentre quello per stampaggio deve raggiungere proprietà meccaniche ed estetiche (rigidità, colore, stabilizzazione, ecc.), che richiedono un'importante aggiunta di ingredienti.

<b>Tabella 2 - Percentuale di materiali termoplastici utilizzati nel compounding.</b>	
<b>Tipo di polimero</b>	<b>% in Compound</b>
PE	8
PP	11
PVC	27
PS	12
PET	2
ABS / SAN	89
PA	72
PC	46
PBT	91
Acetaliche	12
PPO	100
PMMA	26
Altri	86
Media	17

### **Le gomme nel *compounding***

Non esiste gomma che non venga utilizzata dopo *compounding* con molteplici altri ingredienti. In molti casi le gomme vengono anche utilizzate in *blend* fra di loro. Rinforzo, reticolo stabile fra le catene, stabilità agli agenti atmosferici e facile processabilità, sono le principali proprietà che devono essere raggiunte grazie all'additivazione.

Come già ricordato precedentemente, l'innovazione nella sintesi di nuovi elastomeri, quali la gomma SBR da processo in soluzione, vede proprio come *driving force* una migliore interazione con la carica rinforzante.

### **Gli operatori del *compounding***

Nel mondo operano circa 2000 *compounders*, dei quali circa il 35% (dato al 2002) è localizzato in Europa. In Italia la maggior parte dei *compounders* (quasi il 90%) sono operatori indipendenti, che dunque trovano la loro ragione di business nel dare valore aggiunto attraverso il *compounding* ai polimeri di partenza forniti dai produttori di resine.

### **Il mondo della formulazione**

La tematica del *compounding* implica necessariamente quella della formulazione.

Qui gli aspetti evidentemente più rilevanti sono:

- gli ingredienti utilizzati;
- la scienza e tecnologia della formulazione.

Le Tabelle 3 e 4 riportano gli ingredienti da utilizzare nel caso di *compounding* con materiali termoplastici ed elastomerici, rispettivamente.

**Tabella 3 - Ingredienti per il compound dei materiali plastici.**

Additivo	% Peso	% Valore
Cariche e rinforzi	49	3
Additivi per Performance	26	71
Modificanti polimerici	6	10
Pigmenti, Coloranti	19	16

**Tabella 4 - Ingredienti per mescole elastomeriche.**

Ingrediente	Phr in mescola	Prezzo (Euro/tonn)
Nerofumo	30 – 80 *	800
Silice	20 – 70 *	850 - 1050
Zolfo	1 – 6	1300
Acceleranti (sulfenammide)	1 – 3	2950
ZnO	1 – 8	2000

Un aspetto appare rilevante da sottolineare e riguarda gli additivi che danno valore aggiunto al materiale composito e non solo in termini prestazionali. La vera sfida qui è governare il *compound* dal punto di vista della scienza e tecnologia della formulazione.

Molta formulazione può ancora essere considerata una *black art*. Si sente decisamente il bisogno di un più alto grado di approccio scientifico tra gli operatori dei vari settori coinvolti. Molti aspetti fondamentali del comportamento di un materiale composito non sono ancora spiegati: basti citare il meccanismo di rinforzo e di dissipazione di energia di un materiale composito elastomerico. Molti operatori formulano i materiali compositi fondamentalmente senza curarsi delle interazioni che vengono a crearsi fra gli ingredienti, ma puramente aggiungendoli in base alla loro funzione primaria: rinforzante, stabilizzante, ecc. Non esistono, se non in casi rari, corsi e scuole di formazione sulla tematica della formulazione. Ed è praticamente assente l'attenzione alla complessa chimica allo stato solido che presiede a questa vastissima serie di combinazioni.

Fra i punti essenziali su cui costruire conoscenze scientifiche vi sono anche l'influenza dei parametri di processo (*residence time*, *shear*, temperatura, ecc.) sulle caratteristiche dei prodotti ottenuti. In questo contesto il *reactive processing* può giocare un ruolo essenziale, perché permette di utilizzare la stessa apparecchiatura come reattore di processo e macchina di miscelazione. Si vede come sia necessaria una interazione tra chimici, ingegneri e fisici, mentre la scuola italiana della scienza macromolecolare è ancora troppo legata alla "chimica", in cui si posiziona nel mondo ad altissimi livelli. Dapprima in Germania e successivamente in Francia, si sono costituiti centri che affrontano queste problematiche. In Italia si sta muovendo solo ora qualcosa.

### **Il mondo delle macchine di *compounding***

Come dimostrato dalle bilance dei pagamenti largamente positive, l'industria italiana di costruzione macchine, così come quella della trasformazione, occupano un ruolo molto importante sul mercato mondiale.

Questi risultati sono stati conseguiti grazie alle elevate conoscenze interne di tipo meccanico e tecnologico, integrate con la conoscenza sui materiali tipica dei produttori di polimeri. Nel passato, il travaso di conoscenza a trasformatori e costruttori di macchine avveniva attraverso l'azione dei grandi gruppi (assistenza tecnica e collaborazione con i centri ricerca). Oggi queste società, con le poche eccezioni sopra citate, debbono appoggiarsi ai grandi gruppi stranieri produttori di polimeri, anche se è da sottolineare che la tendenza verso le vendite *on line* riduce l'azione di assistenza diretta.

Come noto, mescolatori in discontinuo e in continuo, sono i protagonisti dell'attività di *compounding*. Partendo dal mondo del discontinuo e quindi, dal punto di vista della macchina, dal Banbury, la novità più rilevante può essere vista come l'introduzione dell'*intermix* per miscelare opportunamente gli elastomeri con la silice. Il mondo del continuo è il regno degli estrusori.

In particolare, l'estrusore bivate corotante (*Twin Srew Extruder*, TSE) si sta trasformando sempre più da una "semplice" macchina di *compounding*, in un vero e proprio reattore nel quale, attraverso un processo di estrusione reattiva, è possibile non solo miscelare in modo ottimale ingredienti diversi, ma soprattutto realizzare reazioni chimiche che portano alla modifica della matrice di partenza ed anche polimerizzazioni, ovviamente soprattutto policondensazioni.

La Tabella 5 riassume le principali tendenze nel mondo delle tecnologie di *compounding*.

<b>Tabella 5 - Tendenze principali nel mondo delle tecnologie di <i>compounding</i>.</b>	
<b>Banbury</b>	
Maggiori capacità di mixing: <i>intermix</i> per gomma e silice	
<b>Estrusori</b>	
Sempre maggiori portate	
Sempre maggiori energie	
L'estrusore come un reattore chimico: estrusione reattiva	
Polimerizzazioni in estrusore	
<i>Compounding</i> in estrusore sia di materiali termoplastici che di mescole elastomeriche	

#### 4.1.4 I compositi strutturali

Questa sezione è dedicata ai compositi strutturali a matrice polimerica, costituiti cioè da una fase dispersa con caratteristiche meccaniche superiori a quelle della matrice. In questo ambito è opportuno fare una ulteriore distinzione. Nel settore materie plastiche, infatti, i polimeri termoplastici, addizionati di cariche minerali o di fibre tagliate, vengono considerati come tipi speciali (polimeri rinforzati e caricati) nell'ambito delle diverse famiglie di polimeri. Il termine compositi, nell'uso comune, viene di solito riservato a matrici a base di polimeri termoindurenti o termoplastica con rinforzi continui.

#### Mercato: volumi e settori applicativi

Le aziende italiane che operano nel settore dei materiali compositi sono state stimate (Asso-compositi) in circa 380 con un fatturato di circa 2,5 miliardi €, di cui 500 relativi alle materie prime. Anche questo settore vede la partecipazione di aziende di piccole dimensioni. Infatti il 44% ha non più di 15 addetti e l'87% è sotto i 100 addetti. L'industria di trasformazione italiana presenta punte di eccellenza per diversi tipi di tecnologie di trasformazione e settori applicativi così come la ricerca scientifica è eccellente in molte Università e negli enti pubblici. Da segnalare il Politecnico di Milano, che si è attrezzato per lo studio di carichi pesanti e di sollecitazioni di tipo ciclico (fatica) o ambientale (stazioni climatiche) su manufatti anche di grande dimensione.

I materiali più diffusi che interessano questa sede, sono quelli a matrice polimerica. Le fibre più usate sono quelle di vetro, di carbonio e aramidiche. È interessante notare che negli ultimi anni si è avuto uno sviluppo notevole delle fibre ad alte prestazioni, ovvero fibra di carbonio e fibre aramidiche. Gli usi della fibra di carbonio, che ha raggiunto una produzione mondiale di 30.000 tonn/anno, riguardano principalmente i settori aeronautico, che è in grande sviluppo, e dello sport, che risulta invece stabile. Il settore sportivo oggi utilizza il 27% delle fibre di carbonio a livello mondiale.

Come conseguenza di queste applicazioni, l'uso delle fibre ad alte prestazioni rappresenta il 3% della quantità, ma il 40% del valore.

### **Principali settori applicativi con potenzialità di innovazione**

Rispetto ai materiali termoplastici i settori di sbocco sono numerosi e non esiste un settore dominante. I settori di maggior interesse riguardano i trasporti, l'aeronautica/spaziale, la nautica e le costruzioni.

I compositi strutturali a matrice termoindurente sono noti da tempo e hanno trovato applicazione in numerosissimi settori: nautica, difesa, sport, edilizia. Per la versatilità legata alla loro struttura (possibilità di modifiche alla matrice, alla fase dispersa, tecnologia di produzione continua o discontinua) hanno sempre visto un continuo sviluppo di applicazioni e di tecnologie. I punti di debolezza riguardano le difficoltà nello sviluppo di linee totalmente automatizzate e l'impatto sull'ambiente, in particolare in relazione alla necessità di utilizzare monomeri per la fase finale di reticolazione, con conseguenti emissioni durante il processo produttivo.

### **L'innovazione nei compositi strutturali**

#### *Dove va l'innovazione?*

Le principali *driving force* per l'innovazione sono identificabili sia per materiali cosiddetti tradizionali che per materiali avanzati.

Per i materiali "tradizionali": l'automazione dei processi, la riduzione dell'impatto ambientale, il riciclo di materiali post-consumo.

Per i materiali "avanzati": la realizzazione di compositi con nuove combinazioni, l'integrazione fra materiale composito e processo di produzione, la modellazione come strumento predittivo.

Nel caso dei prodotti "tradizionali" la maggiore spinta alla ricerca viene da diverse linee, legate dalla necessità di ridurre i costi e di rispondere alle sempre più pressanti richieste di tipo ambientale quali:

- miglioramento delle tecniche di produzione attraverso l'automazione (processo AFP, *automated fibre placement*) e l'eliminazione dell'impiego delle autoclavi;
- miglioramento delle tecniche di produzione per soddisfare le sempre più stringenti norme di carattere ambientale;
- ricerca di tecniche di riciclo di manufatti post-consumo; la presenza di rinforzi in elevata percentuale e la presenza di resine termoindurenti hanno sempre reso difficile la riciclabilità.

Parallelamente si stanno sviluppando prodotti e manufatti sempre più finalizzati ad applicazioni estremamente critiche. In questi casi il binomio prodotto/applicazione è sempre più stringente. Sono in corso anche studi per sviluppare modelli, che consentano la progettazione di compositi strutturali basati su rinforzi tridimensionali, utilizzando sia tessuti tridimensionali sia cuciture trasversali di materiali laminati per incrementare la proprietà meccaniche del materiale composito sollecitato da stati di sforzo tridimensionali.

## **4.2 Le principali filiere tecnologiche innovative**

### **4.2.1 L'ottimizzazione dei materiali**

#### **L'ottimizzazione delle caratteristiche dei polimeri tradizionali: solo innovazione incrementale?**

È sempre più diffusa in campo industriale l'esigenza di disporre di materiali ottimizzati per ogni singola applicazione e di porre attenzione alle problematiche relative al recupero. Così,



l'orientamento sempre più spinto al mercato sta indirizzando la ricerca, piuttosto che verso l'introduzione di innovazioni radicali, verso obiettivi a medio/breve termine e lo sviluppo di nuove applicazioni. In realtà si potrebbe opinare che sia il concetto di innovazione a essere cambiato: in questi anni si sono sviluppati "prodotti" o "prodotti/servizi" fortemente innovativi, in quanto svolgono funzioni nuove o svolgono in maniera più soddisfacente funzioni tradizionali. Esse non compaiono tra le innovazioni radicali soltanto perché i modi di classificare l'innovazione sono stati superati dalle nuove modalità con cui si presenta.

### **L'innovazione continua**

Per perseguire un continuo miglioramento delle prestazioni dei materiali esistenti, gli indirizzi prevalenti riguardano:

- la scelta dei materiali più idonei per una specifica applicazione dal punto di vista delle caratteristiche fisiche, sensoriali e di processabilità;
- l'ottimizzazione della progettazione con l'obiettivo di:
  - tener conto dei processi di trasformazione e delle modifiche strutturali/morfologiche indotte dai processi stessi;
  - ridurre gli spessori al minimo;
  - concentrare più funzioni in un unico manufatto, sfruttando la versatilità dei materiali polimerici, con grande semplificazione nelle operazioni successive;
  - tener conto delle esigenze di riciclo.

Un aspetto importante di questo orientamento della ricerca comporta il coinvolgimento non solo, come un tempo, dei grandi gruppi industriali che potevano contare su elevate risorse di R&S, ma anche di tutta la filiera che comprende l'industria di trasformazione e quella di costruzione delle macchine. Così, lo sviluppo e l'innovazione vanno configurandosi come un'attività integrata, che tiene contemporaneamente conto:

- dei prodotti;
- delle tecnologie di trasformazione;
- delle applicazioni.

Lo spostamento dell'interesse dalle materie prime/prodotti allo sviluppo di un ciclo integrale per la realizzazione di manufatti nuovi, o riprogettati nella nuova ottica, riduce fortemente la differenza tra *commodities* e tecnopolimeri. Questa prospettiva può rendere molto difficile trovare il giusto equilibrio tra la *ricerca di base*, necessaria per il continuo progredire delle conoscenze e per garantire il futuro dell'industria, e quella *applicata*, necessaria per garantire la sopravvivenza dell'industria e per la creazione delle risorse richieste dalla ricerca di base. In particolare appare illusorio ritenere, soprattutto nei settori nuovi, di poter svolgere bene la fase applicativa senza disporre di forti conoscenze di carattere fondamentali.

### **Le nuove linee di sviluppo per l'innovazione continua nelle materie plastiche**

Sulla base di queste considerazioni, le prevedibili linee dello sviluppo delle materie plastiche riguardano pertanto:

- studio di nuovi prodotti con modifiche in massa (copolimerizzazione, funzionalizzazione, nuovi catalizzatori), *compounding* (leghe e miscele, *reactive processing*, nuovi additivi e rinforzanti) e trattamenti superficiali (compatibilità, barriera, biocompatibilità): queste tecniche non richiedono grandi investimenti impiantistici, ma conoscenze scientifiche, e permettono di sfruttare al meglio gli impianti esistenti;
- intensificazione della ricerca su fisica, *engineering*, tecnologia: sviluppo di caratterizzazioni

per applicazioni strutturali: *ageing*, fatica, *creep*, permeabilità con studi di correlazione proprietà/struttura;

- studio di tecnologie di trasformazione: effetti su morfologia/proprietà, progettazione di parti con affinamento delle tecniche basate sull'impiego del calcolatore, sviluppo di linee in gradi di realizzare manufatti a partire da differenti materiali;
- studio delle tecnologie di finitura secondarie: verniciatura, rivestimenti, assemblaggi, ecc.;
- attenzione alle sempre più pressanti esigenze di carattere ecologico e ambientale: progettazioni per il recupero, riutilizzo e nobilitazione di scarti, riciclo chimico.

### **Le prestazioni sensoriali**

Nell'ottica della nuova strategia per introdurre materiali/manufatti innovativi, le caratteristiche sensoriali acquistano una rilevante importanza. Questo approccio viene perseguito sia dagli utenti sia dai produttori dei materiali. Le finiture estetiche, gli effetti superficiali, le tonalità di colore e il tatto vengono considerati strumenti essenziali per differenziare e dare maggior valore agli oggetti. Molti gruppi importanti hanno realizzato serie di materiali polimerici specifiche, ad esempio:

- GE ha sviluppato la serie *Visualfax*;
- Basell la serie *Softell*;
- Bayer la serie *Fantasia*;
- Maip la serie *(i)ncanto*;
- Merck nuove serie di colori.

Questo aspetto è molto importante, perché consente di valorizzare le tipiche produzioni *Made in Italy*, in molti settori basati su *design*, valori estetici e prestazioni tecniche.

### *La gestione dei dati*

Un aspetto importante per lo sviluppo di nuovi prodotti, per quanto riguarda sia la sintesi sia il *compounding*/trasformazione, è rappresentato dall'utilizzo di tecniche statistiche (*chemiometria*) per l'impostazione di programmi di ricerca. In entrambi i casi, infatti, il numero delle variabili possibili è elevato.

L'impiego delle tecniche statistiche, nella fase di impostazione dei programmi di ricerca ed in quella di elaborazione dei dati ottenuti, consente una ottimizzazione dei risultati e una riduzione, anche drastica del numero delle prove, e quindi dei costi di sviluppo.

### **Il ciclo di vita**

Un aspetto sempre più rilevante riguarda lo studio del ciclo di vita dei manufatti realizzati con materiali a base polimerica. La termovalorizzazione rimane nella maggior parte dei casi la soluzione più valida dal punto di vista tecnico ed economico. Le materie plastiche, in ultima analisi, sono derivate dal petrolio, che ha avuto un proprio ciclo di vita aggiuntivo, prima di essere utilizzato come combustibile.

Esistono ovviamente alcuni esempi dove la facilità di raccolta e separazione ha portato al riutilizzo economico degli scarti (ad esempio, bottiglie di PET) o dove la costituzione chimica del polimero consente un recupero del monomero (ad esempio, poliammide). Tuttavia, non è da sottovalutare la tendenza secondo cui, sotto la pressione della necessità di realizzare risparmi di risorse, le norme e gli obiettivi sul riciclo diverranno sempre più stringenti. Tradizionalmente il riciclo dei materiali è sempre stato affrontato empiricamente da piccole società non strutturate per condurre veri e propri progetti di innovazione. In particolare è necessario approfondire lo studio di tutte le possibilità di recupero, da quello chimico a quello meccanico. Per quanto riguarda que-

st'ultimo punto, vanno segnalate le ricerche finalizzate a sviluppare sia additivi che preservino dalla degradazione durante l'uso, sia additivi che, aggiunti nella fase di riciclo, consentano di ripristinare le caratteristiche originali. Il punto di arrivo dovrebbe essere quello, almeno per quanto riguarda gli scarti industriali, di riuscire a produrre materie plastiche con una consistente quantità di riciclato con caratteristiche certificate uguali (o vicine) a quelle dei polimeri vergini.

#### **4.2.2 Materiali nanocompositi**

##### **I nanocompositi polimerici**

I nanocompositi sono materiali caratterizzati dalla presenza di particelle disperse, aventi una o più dimensioni dell'ordine dei 100 nm o meno, che influenzano sostanzialmente le proprietà del materiale composito. Le grandi potenzialità delle nanotecnologie e dei nanomateriali sono state già tratteggiate nella parte generale sui *Materiali* di questo documento. Qui ci si riferisce in particolare agli sviluppi tecnologici nel campo dei nano materiali a base polimerica. Il mercato dei materiali nanocompositi è ancora piuttosto limitato, ma le previsioni di crescita annuale si attestano intorno al 18 al 25% nei prossimi anni, con un andamento accelerato per i termoplastici, che rappresentano circa il 77% del mercato. Il mercato potrebbe raggiungere le 500.000 t/a nel 2009 (Argonne Natl. Lab.). I materiali nanostrutturati non sono necessariamente una scoperta recente: in realtà sono dei nostri giorni la capacità di riconoscere le nanostrutture così come la consapevolezza delle loro proprietà e anche la capacità di governarle e di costruirne sempre più di nuove.

Vale la pena fare qui un paio di esempi illuminanti. La miscela di un pneumatico può sembrare un materiale vetusto e forse anche rozzo. Ma la carica rinforzante in essa contenuta, come il vecchio nero di carbonio, è sicuramente nanostrutturata e dunque va a dare vita, da più di un secolo, a un materiale nanocomposito. La verità qui è che se si vuole dare rinforzo si deve usare una carica nanostrutturata ed è così anche per la silice, introdotta recentemente nelle mescole per pneumatici per favorire una minore dissipazione di energia. La gomma rinforzata è dunque un materiale nanocomposito da sempre. Oggi però si può disegnare il materiale, vederlo e controllarne le proprietà “giocando” con gli atomi e le loro interazioni.

Pertanto una cosa è la “consapevolezza nano” di materiali già noti da tempo, e un'altra è lo sviluppo di nuovi materiali nanocompositi. Ma le spinte all'innovazione valgono sia per i nanomateriali “tradizionali” sia per i nuovi materiali. Tornando all'esempio delle mescole elastomeriche per pneumatici, la spinta all'innovazione deriva soprattutto dall'esigenza di un minore impatto ambientale: minore dissipazione di energia e dunque minore emissione di CO<sub>2</sub> e minore abrasione dei battistrada del pneumatico con minore produzione di polveri sottili.

##### **I nanocompositi innovativi**

Nuovi tipi di nanocariche sono ampiamente studiate e sviluppate, di diverse morfologie e dimensioni (D). Esse sono:

- nanocariche lamellari di spessore nanometrico (1D): argille (fillosilicati) cationiche o anioniche: montmorilloniti o idrotalciti e sepioliti;
- nanotubi di carbonio, nanofibre e whiskers (2D);
- nanoparticelle di carbonio o di silice, POSS Polyhedral Oligomeric Silsesquioxanes (3D).

Queste nanocariche sono oggetto di tanta attività di ricerca nel mondo. Perché? *In primis* per la loro forma e dimensione. Appaiono infatti come nano-fibre con la possibilità di dare alto rinforzo senza presentare le criticità di discontinuità con la matrice tipiche delle cariche tradizionali. In particolare, le nanocariche lamellari possono dare un alto rinforzo in due direzioni, cosa non possibile a fibre quali la fibra di kevlar e di vetro.

Date dunque la forma e la dimensione nanometrica, queste nuove nanocariche consentono di ottenere, con un quantitativo ridotto rispetto alle cariche tradizionali (3-5% rispetto a 30-40%), un miglioramento sensibile delle caratteristiche meccaniche, termiche, di permeabilità, di resistenza chimica, ottiche. Questi miglioramenti, peraltro, in particolare per quanto riguarda le caratteristiche meccaniche, non appaiono ancora robusti rispetto a quelli che ci si ottengono con altre agenti rinforzanti e, soprattutto, a quelli che ci si potrebbe aspettare dalla teoria del rinforzo.

Altri aspetti interessanti, anche dal punto di vista della ecosostenibilità, riguardano:

- la facile riciclabilità ed il risparmio energetico anche nella fase di trasformazione;
- l'autoestinguenza: *nel breve periodo* la riduzione sostanzialmente del contenuto di additivi autoestinguenti, normalmente utilizzati inquinanti e nocivi (ad es. alogenati); *nel medio termine*, è prevedibile la loro eliminazione.

### Nanocariche lamellari

Le nano cariche lamellari sono sicuramente quelle più studiate in letteratura e più sviluppate industrialmente. Oggi si usano essenzialmente montmorilloniti, di cui esistono diversi produttori industriali, tra cui uno italiano (Laviosa). I fillosilicati commerciali utilizzabili, già modificati per favorire la compatibilizzazione delle molecole di polimero con le lamelle, hanno un prezzo che si aggira sui 5 €/kg. I vantaggi fino ad ora riportati riguardano il rinforzo meccanico (con le criticità già prima riportate) e l'impermeabilità. Una larga diffusione di queste nanocariche non si è però riscontrata, a causa della competizione, nel bilancio costi – benefici, con le cariche tradizionali.

A causa comunque di morfologia e dimensioni delle nanocariche, i nanocompositi presentano dei vantaggi “collaterali” molto importanti nella realizzazione di manufatti stampati quali:

- brillantezza;
- isotropia;
- minor svergolamento;
- ridotti cicli di stampaggio;
- minor influenza della linea di giunzione;
- assenza di colorazione (utilizzando nanocariche sintetiche).

Come si può notare, queste caratteristiche possono consentire notevoli risparmi e libertà di progettazione nella realizzazione di manufatti complessi e l'ottenimento di manufatti con ottime proprietà sensoriali.

### Nanotubi di carbonio

Recentemente si stanno sempre più studiando i nanotubi di carbonio per la loro capacità di conferire proprietà di conducibilità alle materie plastiche ma anche a strati di *coating* senza determinare caduta di tenacità. Il prezzo attuale è sempre molto elevato (150 €/kg), ma esistono impianti industriali di produzione che possono far prevedere sensibili diminuzioni di prezzo. Bayer, ad esempio, ha un obiettivo a medio termine di 50 €.

Questi materiali possono inoltre conferire ai polimeri caratteristiche di conducibilità tali da permettere la verniciatura per elettroforesi o per la realizzazione di circuiti stampati o altri sistemi elettrici ed elettronici. Dato il basso livello di carica non si ha l'effetto negativo sulla resistenza all'urto che invece presenta il nerofumo.

### Le linee di sviluppo

Le principali linee di ricerche sui nanocompositi sono le seguenti:

- tecniche di caratterizzazione. Esse debbono consentire di seguire il livello di dispersione della

nanocarica a livello macro; le tecniche oggi utilizzate non consentono di fornire informazioni relative alla distribuzione spaziale della nanocarica o alla morfologia della struttura;

- ottimizzazione sistemi di produzione. Le nanocariche possono essere incorporate nella matrice per polimerizzazione *in situ*, da soluzione o da fuso (*melt blending*). In particolare, per quest'ultima tecnica, che è quella più flessibile e facilmente applicabile, è necessario approfondire l'influenza delle condizioni operative (tempi di residenza, temperatura, tipo ed entità delle sollecitazioni) sulle caratteristiche dei prodotti ottenuti e sulla riproducibilità del processo;
- studio di modificanti organici delle nanocariche per favorire la compatibilizzazione con i diversi polimeri matrice e migliorarne la resistenza termica;
- studio di agenti compatibilizzanti da usare nel caso di polimeri che, per la loro natura chimica, rendono non sufficiente la sola modifica della nano carica;
- verifica delle proprietà nel tempo legate a possibili fenomeni di coalescenza (studi di fotossidazione, termossidazione, invecchiamento);
- Sintesi di nanocariche sintetiche per consentire l'ottenimento di caratteristiche particolari ed evitare i problemi tipici delle cariche minerali naturali.

### Principali settori applicativi

Le maggiori applicazioni dei nanocompositi oggi riguardano il settore trasporti. Un esempio già presente su scala commerciale è quello di un nano-composito con matrice termoplastica (polipropilene) e un'argilla come carica nano. Recentemente, la General Motors e i *partners* Basell, Southern Clay Products e Black-hawk Automotive Plastics hanno annunciato la realizzazione di parti esterne della carrozzeria di un furgone con nanocompositi a base di olefine termoplastiche (TPO) e di silicati stratificati. Un nanocomposito TPO con solo il 2.5% di silicato stratificato è più resistente e molto più leggero di parti con 10 volte la quantità di *filler* di talco tradizionale: il risparmio in peso può raggiungere il 20%. Su una base volumetrica, le parti in nanocomposito costano circa quanto i TPO convenzionali perché se da un lato è necessaria una nuova strumentazione per la miscelazione delle parti, dall'altro lato è necessario meno materiale per produrle. Nel complesso, il vantaggio in peso può avere un impatto significativo dal punto di vista dell'impatto ambientale e della riciclabilità del materiale. È stato riportato che un largo uso di questi nanocompositi leggeri da parte dei produttori di veicoli statunitensi potrebbe consentire notevolissimi risparmi di combustibili durante il ciclo produttivo, e quindi ridurre le relative emissioni di anidride carbonica. Per le loro caratteristiche di stampabilità e brillantezza (vedi vantaggi collaterali) sono stati utilizzati per lo stampaggio di diverse parti. Sabic Innovations (ex GEP) ha sviluppato dei tipi che consentono la verniciatura in linea. Altre applicazioni importanti utilizzano le proprietà barriera, ad esempio, sempre nel settore trasporti, sono state studiate parti per il trasporto del carburante. Altre applicazioni riguardano l'imballaggio (film e bottiglie) e il rivestimento cavi a base di EVA (*Etilene Vinil Acetato*) con nano cariche. Un settore estremamente promettente è rappresentato dall'utilizzo delle nanocariche per migliorare le caratteristiche superficiali dei manufatti: *coating*, adesivi, ecc. Malgrado gli esempi citati di applicazioni industriali, il settore non ha avuto lo sviluppo atteso, considerato il potenziale teorico. Anche i prezzi, che oggi si aggirano sui 5 €/kg, non consentono di ottenere prodotti economicamente competitivi rispetto ai rinforzi tradizionali, pur considerando il più basso peso specifico.

#### 4.2.3 Biopolimeri

##### I biopolimeri

È innanzitutto necessario definire cosa si intenda per "biopolimeri". In effetti le interpretazioni oscillano tra polimeri biodegradabili e polimeri di origine naturale. Questa ambiguità può crea-

re equivoci tra gli utenti e si possono creare problemi non solo nell'analisi delle prospettive di sviluppo di mercato o nella raccolta di dati statistici ma anche, fatto molto importante, a livello legislativo.

Oggi l'interpretazione più condivisa è quella suggerita dall'*European Bioplastics Association*, che include tra le bioplastiche sia i materiali biodegradabili, indipendentemente dalla materia prima utilizzata, sia i polimeri da fonte rinnovabile, indipendentemente dal livello di biodegradabilità. In questo documento tratteremo dunque di biopolimeri alla luce di questa premessa.

All'interno delle classi generali di biopolimeri è possibile identificarne un tipo particolare: i polimeri bioassorbibili; si tratta di polimeri molto importanti per le applicazioni biomedicali che possono essere assorbiti ed eliminati da un sistema biologico senza effetti secondari. I biopolimeri più utilizzati per queste applicazioni sono i derivati dell'acido lattico e dell'acido glicolico e i relativi copolimeri, oltre a PHB e PCL.

### **L'interesse per i biopolimeri**

I biopolimeri rappresentano un'area con grande possibilità di sviluppo, perché uniscono elevate potenzialità tecniche ed ecosostenibilità, dal punto di vista sia delle materie prime sia del recupero a fine vita. Mentre inizialmente il maggior interesse era rivolto ai polimeri biodegradabili - poiché i maggiori settori di utilizzo riguardavano l'agricoltura, il *catering* e l'imballaggio -, più recentemente si è verificata una grande svolta nel settore: oggi, infatti, si considera più importante l'utilizzo di materie prime da fonti rinnovabili.

La possibilità di effettuare un riciclo dei biopolimeri viene sempre più considerato con interesse. Ovviamente per alcuni settori applicativi - quali l'agricoltura, il *catering*, i sacchetti per la raccolta differenziata e l'imballaggio - la caratteristica della biodegradabilità rimarrà sempre fondamentale. Un significativo interesse industriale per i biopolimeri non può ancora prescindere da un aiuto legislativo.

Il bilancio costi/benefici non è ancora favorevole e lo sviluppo del settore è condizionato da norme che ne favoriscano l'utilizzo, mosse dai vantaggi per l'ambiente ma anche dal timore di un possibile ulteriore significativo incremento dei prezzi dei prodotti petroliferi. Gli esempi disponibili non sembrano però andare, perlomeno univocamente, in questa direzione. Recentemente, infatti l'Unione Europea ha bocciato una legge francese che imponeva l'obbligo di biopolimeri per la produzione di *shoppers*.

### **Processi di produzione**

Mentre i processi di produzione dei polimeri petrolchimici biodegradabili - come PCL, EVOH, poliesteri alifatici/aromatici e poliesteri alifatici - sono ben noti, è utile passare in rassegna i principali processi di produzione dei biopolimeri da risorse rinnovabili:

- utilizzo di polimeri naturali che possono essere modificati, ma rimangono sostanzialmente immutati come, ad esempio, i polimeri da amido;
- produzione per fermentazione di biomonomeri che vengono successivamente polimerizzati (ad esempio, PLA);
- produzione in microorganismi o in prodotti agricoli geneticamente modificati (ad esempio, PHA);
- produzione da bio-monomeri e monomeri fossili.

I primi due processi sono largamente utilizzati. In particolare, nel secondo caso, sono in corso ricerche o investimenti per sviluppare monomeri "tradizionali" da fonte rinnovabile (metacrilato, etilene, propilene, dioli, ecc.). Il terzo sembra essere ancora lontano dall'uso per la produzione a



livello industriale, a causa dei costi elevati, anche se recentemente si sono avuti importanti investimenti in USA, Cina, Brasile. Nel quarto, che è in parte collegato al secondo, stanno investendo massicciamente DuPont e altre grandi aziende.

L'utilizzo di polimeri o di monomeri esistenti in natura è noto da tempo, come dimostra il caso spesso dimenticato, della Gomma Naturale. In passato sono stati messi a punto prodotti con ottime caratteristiche (esteri della cellulosa, PA 11), ma sono rimasti di nicchia in seguito allo sviluppo dei polimeri petrolchimici, di costo molto più contenuto. In alcuni settori, come il *coating*, derivati di polimeri da fonti rinnovabili sono comunque usati da sempre: i derivati della cellulosa (la "nitro") sono leganti importanti nel mondo del *coating*.

## Il mercato dei biopolimeri

Il mercato dei biopolimeri può essere oggi considerato ancora di nicchia. La domanda globale è stimata a poco più di 340.000 tonnellate nel 2008, ma è prevista sestuplicare entro il 2011 (*European Bioplastics*), con un incremento notevole della quota delle bioplastiche da risorse naturali, non biodegradabili, che passeranno dal 12% attuale al 38% nel 2011.

In un recente rapporto (2005) della Commissione Europea viene riportata un'analisi dettagliata sul possibile sviluppo del mercato dei biopolimeri in Europa, prendendo in considerazione tre differenti scenari: rispettivamente con e senza supporto di strumenti e di politiche per agevolare l'incremento (P&M) e in presenza di uno sviluppo medio e alto dell'economia. Da questa analisi risulta che nel 2020, nel caso più favorevole, il mercato delle bioplastiche potrebbe raggiungere 3 milioni tonnellate pari al 4,3% del mercato globale delle materie plastiche. La prospettiva futura del mercato europeo di bioplastiche (*European Bioplastics*) prevede 0,3-0,8 milioni tonnellate per il 2010 e di 2-5 milioni tonnellate per il 2020.

È interessante notare che il potenziale di sostituzione dei biopolimeri viene stimato nel 33% della produzione totale di polimeri dalla Commissione Europea e intorno al 5-10% dall'*European Bioplastics Association*.

L'interesse in Italia per le bioplastiche è dimostrato dal fatto che nel 2007 nell'ambito della Federazione Gomma Plastica si è costituito il gruppo Biopolimeri, che già conta una quarantina di aziende.

## Sviluppo dei biopolimeri e driver dell'innovazione

I fattori condizionanti lo sviluppo dei biopolimeri sono:

- costi di produzione;
- disponibilità di materia prima;
- possibilità di applicazioni industriali o strutturali;
- sviluppo formulativo – biocompositi – *weathering*;
- biodegradabilità/compostabilità manufatti di elevato spessore (se accettato il principio della riciclabilità questo fattore perde peso);
- sostegno legislativo e normativo.

### Costi di produzione

Il prezzo dei biopolimeri è oggi più elevato rispetto a quelli dei polimeri tradizionali. Già in passato i biopolimeri avevano visto le loro quote di mercato erose dai polimeri petrolchimici. Secondo stime recenti, i prezzi dei biopolimeri sono scesi di circa 5 volte rispetto a 10 anni fa, ma sono ancora da 2 a 3 volte più alti rispetto a quelli dei petropolimeri. Ovviamente questi prezzi variano in funzione del tipo di polimero e della scala produttiva. Recentemente, per cercare di superare questo problema, oltre agli studi per migliorare impianti e processi, si sta sviluppando la

tendenza a stringere accordi tra industrie produttrici di polimeri e industrie agricole per produrre biopolimeri o biomonomeri a prezzi competitivi (*bioraffinerie*). Alcuni esempi recenti riguardano la DuPont, la Novamont, la Metabolix, la Rohm and Haas.

### *Disponibilità di materia prima*

Il problema della disponibilità della materia prima per biopolimeri è strettamente correlato alle problematiche di produzione dei biocarburanti, che notoriamente pone problemi complessi sul piano economico, sociale e ambientale, e crea in prospettiva un'incognita sull'effettiva disponibilità di materia prima per sviluppi di ampie proporzioni. Diverso è il caso dell'utilizzo di materiale lignocellulosico, da scarti agricoli e forestali, dove non si pongono i problemi indicati, ma si incontrano ancora grandi difficoltà sul piano delle tecnologie di conversione.

### *Sviluppo formulativo*

Per raggiungere l'obiettivo di una penetrazione importante dei biopolimeri sul mercato, uscendo da applicazioni di nicchia, è necessario estenderne l'uso alla realizzazione di beni con ampi mercati (settori trasporto, elettro/elettronico/elettrodomestici, ecc.). Ciò implica un importante sforzo di ricerca e sviluppo verso lo sviluppo formulativo, che consenta l'ottimizzazione di biopolimeri per specifiche applicazioni, analogamente a quanto avvenuto per i polimeri tradizionali.

Questo punto richiede lo studio e lo sviluppo di bioadditivi e *biofillers* o formulazioni ecologicamente compatibili, che consentano di eliminare le caratteristiche negative dei biopolimeri esistenti (ad esempio, fragilità, bassa resistenza termica, degradazione termica, ecc.) o di migliorarne le prestazioni per renderli adatti per beni durevoli o applicazioni strutturali. Oggi sono presenti sul mercato dei produttori di *masterbatches*, che forniscono additivi specifici per biopolimeri.

Ad esempio, il PLA (*Polylactic acid*) presenta dei problemi per quanto riguarda la resistenza termica e la fragilità che ne condizionano le possibilità applicative. Per quanto riguarda la prima caratteristica sono state sviluppate delle tecnologie che consentono un significativo miglioramento attraverso l'incremento della velocità di cristallizzazione (uso di agenti nucleanti eterogenei o di piccole quantità di d-lattide). Contemporaneamente si ottiene anche un miglioramento delle proprietà di barriera, utili, per esempio, per sviluppare bottiglie per bevande gasate. In alternativa la resistenza termica può essere migliorata attraverso l'utilizzo di biofibre. Con questa tecnica è possibile raddoppiare la resistenza termica (DTUL da 60 a 120°C) e il modulo (da 4000 a 8000 MPa) del polimero.

La scarsa resistenza all'urto è stata superata studiando specifici agenti urtizzanti, che consentono di migliorare la resistenza all'urto senza influire su trasparenza (Sukano, Rohm and Haas).

Tra i tipi speciali messi a punto da *compoundatori* e trasformatori ci sono da segnalare i gradi resistenti all'idrolisi, i gradi resistenti alla fiamma senza l'uso di agenti tossici, quelli a memoria di forma e tipi che conducono il calore. In particolare questo ricerche hanno consentito alla NEC di estendere l'uso di biopolimeri nel settore elettrico/elettronico.

Altri punti di ricerca importanti riguardano:

- la processabilità di questi materiali, in relazione alla loro sensibilità all'umidità e alla temperatura, con conseguente ottimizzazione delle linee di trasformazione;
- i processi di finitura (saldatura, incollaggio, verniciatura, marcatura *laser*, metallizzazione, assemblaggio meccanico, ecc).

L'utilizzo di biopolimeri nella realizzazione di beni durevoli richiede inoltre uno studio approfondito delle loro caratteristiche di durabilità/invecchiamento per esposizione all'esterno e all'interno. La ricerca si orienta verso lo studio delle correlazioni tra caratteristiche di degrada-

bilità/compostaggio e invecchiamento. D'altra parte è diffuso l'orientamento verso il riciclo del PLA, che permette un miglior utilizzo delle risorse che non il compostaggio.

### *Il riciclo*

L'allargamento dei campi applicativi pone anche il problema della degradabilità/compostabilità o riciclabilità di manufatti biopolimerici di spessore adeguato ai beni durevoli. Nel breve termine, dati i bassi volumi, esiste il rischio della contaminazione delle linee *standard* di riciclaggio, che non sono attrezzate per raccogliere le bioplastiche. È necessario quindi affrontare il problema della compatibilità tra polimeri (ad esempio polimeri da amido/PE per il problema *shoppers*, imballaggi o PLA/PET per il problema bottiglie). Nel caso specifico del recupero delle bottiglie si sta studiando la possibilità della separazione delle bottiglie di PLA da quelle di PET con sensori UV. In alternativa sono necessari studi per valutare la compatibilità tra i due polimeri. Altre aree di studio riguardano le problematiche inerenti il riciclo meccanico dei singoli polimeri o un loro possibile riciclo chimico.

### *Biodegradabilità/compostabilità di manufatti*

Nel caso di manufatti stampati a iniezione è probabile la necessità di sviluppare modifiche delle linee di compostaggio. È opportuno ricordare che le norme richiedono limiti precisi in termini di dimensioni e contenuti. In particolare:

- il livello di accettazione è pari al 90% di biodegradabilità da raggiungere in meno di 6 mesi;
- la massa dei residui del materiale di prova con dimensioni > 2 mm (disintegrabilità) deve essere inferiore al 10% della massa iniziale dopo 3 mesi di compostaggio con rifiuti organici;
- il contenuto massimo accettato nell'ammendante di materie plastiche con diametro tra 3,3 e 10 mm deve essere inferiore allo 0,05%; non sono ammesse materie plastiche con dimensioni superiori ai 10 mm.

Questi parametri sono stati fissati tenendo in considerazione lo spessore degli *shoppers* o dei film per imballaggio. È difficile possano essere rispettati per manufatti di qualche millimetro. Non è, ancora chiarito se questi requisiti possano essere rispettati dopo macinazione.

### **Biocompositi a base di fibre naturali**

Le *bioplastiche* sono materiali strutturali "marginali". L'aggiunta di fibre di rinforzo migliora le loro proprietà termiche, meccaniche, strutturali e l'assorbimento di umidità, consentendone l'utilizzo anche in applicazioni strutturali. Il controllo dell'orientamento delle fibre "ottimizza" le proprietà. Se si vogliono produrre polimeri rinforzati biodegradabili è necessario ricorrere all'uso di fibre naturali.

Aggiungendo il 20% di Kenaf, ad esempio, è possibile raddoppiare la resistenza termica ed il modulo del PLA.

D'altra parte l'utilizzo di fibre naturali è una scelta dell'industria dell'auto anche per polimeri petrolchimici. Le fibre naturali sono largamente disponibili e hanno il vantaggio di costare poco, di avere una bassa densità e caratteristiche simili a quelle delle fibre inorganiche. Rispetto a queste, sono meno abrasive durante i processi di trasformazioni. Presentano però ancora molte problematiche che debbono essere affrontate a fondo. Innanzitutto una certa variabilità da lotto a lotto e da sito produttivo, tipica dei materiali naturali. Oggi, infatti, le applicazioni note prevedono l'utilizzo delle fibre naturali come *mat* con i polimeri che funzionano da legante. Presentano, inoltre, un elevato assorbimento d'acqua. Le fibre, inoltre, necessitano di un idoneo trattamento superficiale per migliorare la bagnabilità e assicurare l'adesione delle biofibre alle diverse matrici

biopolimeriche. È quindi necessario studiare l'appretto più idoneo per ogni coppia di fibra/biopolimero. Dalla letteratura le strategie di modificazione riguardano:

- il trattamento con alcali o silani;
- l'uso di poliolefine maleate;
- l'esplosione con ammonio;
- il *bleaching*, plasma, *grafting*, acetilazione.

Durante il *processing* le fibre presentano altre problematiche che debbono essere affrontate e risolte, quali:

- formazione di polvere durante la macinazione delle fibre e successiva densificazione, che determina: incostanza della granulometria del prodotto, problemi di dosaggio nel *compounding*, otturazione dei fori della filiera;
- fenomeni di termodegradazione e ingiallimento delle fibre che richiedono, per essere ridotti al minimo, l'utilizzo di bassi livelli di sollecitazione e tempi di residenza;
- presenza di sostanze volatili e acqua che richiede un efficace degasaggio nel *compounding* e necessità di essiccamento del *compound* prima della successiva fase di trasformazione (stampaggio, estrusione) per il rapido riassorbimento di umidità.

### Principali settori applicativi dei biocompositi

I biocompositi sono ancora in uno stato iniziale di introduzione, con campi applicativi ipotizzabili tipici dei prodotti rinforzati. NEC ed Unitika hanno sviluppato carcasse di telefoni cellulari a base di PLA rinforzato con fibre di Kenaf. Esistono altri esempi di compositi sviluppati utilizzando biopolimeri. La stessa NEC ha sviluppato un materiale composito conduttivo per componentistica elettronica a base di PLA e di fibra di carbonio. Con il 10% di fibra, secondo la NEC, sarebbe possibile raggiungere la stessa conducibilità dell'acciaio inossidabile. Il gruppo italiano Polynt ha sviluppato un *compound* termoindurente (SMC) Bio-Dur a base di risorse rinnovabili (oli epossidati estratti da piante oleose), esenti quindi da stirene.

### Stato dell'arte in Italia

In Italia dal punto di vista produttivo esistono le esperienze consolidate di Novamont, uno dei leader mondiali del settore, per i biopolimeri da amido, e di Mazzucchelli per quelli da esteri da cellulosa. La Novamont ha anche acquistato il *know how* della Eastman per poliesteri aromatici/alifatici.

Nel 2007 è stata creata a Bologna una società (Bio-on), che ha l'obiettivo di produrre PLA da melasso e sughi densi di canna da zucchero e barbabietole, sottoprodotti di altri processi industriali. È previsto l'avvio di un impianto industriale per il 2009. La stessa società è impegnata anche in ricerche sul PHA.

Dal punto di vista della ricerca di base esistono esperienze presso alcune università (Pisa, Bologna, Modena/Reggio) e istituti del CNR. Presso l'Università di Milano è allo studio la produzione di polimeri per via microbiologica. Esistono anche esperienze estese nel campo applicativo, particolarmente nel settore dell'imballaggio alimentare.

Un altro interessante esempio di possibili nuove applicazioni è dato dalla Coopbox Europa, che ha sviluppato un imballaggio in atmosfera protettiva utilizzando film di PLA rivestiti con  $\text{SiO}_x$ . La Leoplast, società specializzata in imballaggi per cosmetici, ha sviluppato una linea (*Vegetal Plastic*), realizzata per stampaggio a iniezione basata su PLA e con *masterbatch* di colori minerali e vegetali.

Infine, da segnalare due grandi gruppi italiani, interessati allo sviluppo di biocarburanti, e quindi potenziali operatori nei biomonomeri.

#### **4.2.4 Principali settori applicativi**

Vengono di seguito presi in considerazione i settori più significativi per l'innovazione dei materiali polimerici e compositi: trasporti, edilizia, imballaggio, energia, *coating*.

##### **Trasporti**

I diversi settori dei mezzi di trasporto sono grandi utilizzatori di materie plastiche e compositi, e sono caratterizzati da notevoli tassi di sviluppo del mercato.

##### *Auto*

Le continue esigenze di riduzione dei consumi richiedono un alleggerimento delle vetture, che può essere ottenuto grazie ai materiali plastici. Il continuo sviluppo della componentistica auto è inoltre determinato dall'obiettivo fondamentale di integrare più funzioni. Per i componenti, sia esterni che sottocofano, si ricorre ai termoplastici rinforzati per la loro maggior facilità di lavorazione. È possibile prevedere sviluppi molto importanti nella sostituzione dei vetri e l'uso di pannellature di plastica. Un razionale utilizzo di questi materiali richiederebbe un diverso sistema delle linee di montaggio, che ovviamente non è realizzabile a breve per modelli di grande sviluppo. Per quanto riguarda la vetreria la ricerca si orienta anche verso materiali con idonei rivestimenti anti-graffio, che potrebbero richiedere l'ottimizzazione di trattamenti superficiali avanzati (sistemi al plasma, ecc.). Altri sviluppi riguardano polimeri conduttori (a nanotubi di carbonio) per la realizzazione di parti verniciabili in linea e la componentistica elettronica (conducibilità, resistenza termica). Nel settore auto si stanno sperimentando manufatti realizzati con fibre naturali. D'altra parte l'uso di legno in polvere per le pannellature interne delle porte è una metodologia consolidata.

##### *Pneumatici*

Il pneumatico è un prodotto fondamentale per il settore trasporti. I fattori trainanti per l'innovazione sono la riduzione dell'impatto ambientale, la sicurezza, le prestazioni. Uno degli obiettivi centrali dell'innovazione tecnologica dell'automobile riguarda la riduzione dei consumi di carburante e di conseguenza delle emissioni di CO<sub>2</sub>. Un contributo importante al conseguimento dell'obiettivo è legato all'utilizzo di pneumatici che dissipino poca energia garantendo ugualmente elevate condizioni di sicurezza. In questo contesto giocano un ruolo fondamentale sia il disegno del pneumatico sia materiali con una migliorata interazione fra gomma e carica, perseguibile anche grazie a nuovi elastomeri funzionalizzati. Un minore impatto ambientale si raggiunge anche eliminando sostanze critiche, quali oli aromatici e metalli pesanti: ciò richiede studi di chimica e fisica dello stato solido, perché la sostituzione di un elemento in un sistema complesso quale una miscela per pneumatici implica la comprensione della sua funzione e la valutazione delle conseguenze complessive sulle prestazioni indotte dalle sostanze alternative. Una sfida che sta per aprirsi in questo contesto riguarda i nuovi materiali nanocompositi: come utilizzare, ad esempio, cariche lamellari per mescole elastomeriche con alta impermeabilità ed elevate prestazioni dinamiche? Sicurezza vuol dire anche la conoscenza in tempo reale dello stato del pneumatico. Sensori in grado di comunicare con il guidatore vengono sempre più frequentemente inseriti nel manufatto. È da sottolineare qui l'importanza dei rivelatori dello stato di gonfiaggio del pneumatico stesso, assai sovente insufficiente e quindi fonte di maggior consumo di carburante e di cattivo controllo della vettura.

##### *Aeronautica*

È noto che recentemente la Boeing ha sviluppato un nuovo modello di aereo che prevede l'utilizzo di materiali compositi a fibra di carbonio per parti essenziali. La leggerezza e la resistenza



di questi materiali consentono di ridurre significativamente i consumi senza mettere a rischio la sicurezza.

Un'azienda italiana, Alenia, ha realizzato parti fondamentali quali le due sezioni centrali della fusoliera e i timoni di coda. Visto il successo di questo progetto, altre case aeronautiche hanno deciso di sviluppare dei modelli analoghi. Lo sviluppo in queste applicazioni richiede ricerche sempre più approfondite, considerata la criticità dell'applicazione. È prevedibile che le conoscenze acquisite sui materiali e sulle metodologie di caratterizzazione per questa applicazione estremamente difficili possano essere utilizzate in settori meno critici e di più largo consumo (autoveicoli, nautica, ecc).

### **Edilizia e costruzioni**

L'edilizia è il secondo settore di consumo (12%) delle materie plastiche ed è caratterizzato da un forte potenziale di sviluppo.

Si sta sempre più sviluppando l'uso dei compositi avanzati sia per la riabilitazione/riparazione delle costruzioni che per la realizzazione di elementi strutturali in calcestruzzo in sostituzione delle barre di acciaio. Questo tipo di applicazioni sono diffuse all'estero, ma non ancora in Italia: ciò apre spazi per portare l'Italia a livello mondiale attraverso mirati progetti di ricerca. Nel primo caso si usano compositi a matrice epossidica rinforzati con fibra di carbonio per le loro elevate caratteristiche meccaniche e la facilità di messa in opera. Al Politecnico di Milano esiste un punto di eccellenza e sono in corso studi avanzati in questo settore, per quanto riguarda il trasferimento delle sollecitazioni dalla struttura metallica al carbonio.

Negli studi si valuta anche la resistenza dell'adesivo che può essere la parte più critica. Considerata la criticità dell'applicazione e la necessità di elevate capacità progettuali, il CNR si è reso promotore di una iniziativa volta a sviluppare delle linee guida per la progettazione, esecuzione e collaudo degli interventi di riabilitazione su diversi materiali (CNR-DT200/2004). Attualmente si stanno effettuando ricerche per comprendere le variazioni di durabilità del rinforzo per effetto di azioni cicliche e ambientali. Analogo progetto è stato impostato per la realizzazione di barre in materiale composito in sostituzione di quelle di acciaio. Il materiale composito presenta diversi vantaggi rispetto all'acciaio, quali la resistenza alla corrosione e la trasparenza elettromagnetica. Lo sviluppo successivo potrebbe riguardare la realizzazione di strutture interamente costituite da materiali compositi (ponti, travi reticolate). Anche in questo caso il CNR ha pubblicato un documento che fornisce informazioni su progettazione, esecuzione e controllo (CNR-DT203/2006). Anche per quanto riguarda le fognature, si sta allargando l'uso di tubazioni in vetroresina per esterni. Un altro interessante aspetto è rappresentato da tecnologie per la riparazione di tubazioni già installate in calcestruzzo utilizzando compositi.

Esiste inoltre una crescente domanda di edifici efficienti sotto il profilo energetico, sia per pressioni di tipo ecologico che di costi (aumenti prezzi petrolio). Ad esempio, per quanto riguarda i serramenti, la WDMA (*Windows and Doors Manufacturing Association*) ha rivisto tutte le specifiche del settore.

Vengono presi in esame tutti gli aspetti dell'applicazione quali l'efficienza energetica, la durata dei materiali (sia per interni che per esterni), la resistenza in ambienti sfavorevoli, (...). Anche l'aspetto della coibentazione degli edifici richiede materiali innovativi o modificati per rispondere alle nuove richieste sul risparmio energetico.

### **Imballaggio**

È uno dei settori di maggior importanza e in continua evoluzione e miglioramento.

Le più innovative linee di ricerca riguardano lo sviluppo di imballaggi attivi e intelligenti per



il settore alimentare. I primi sono imballaggi che consentono di raggiungere prestazioni oggi non raggiungibili per quanto riguarda la sicurezza e le proprietà sensoriali, nel rispetto della qualità complessiva dell'alimento. I secondi consentono di avere informazioni sulla ritenzione delle caratteristiche qualitative durante la conservazione e il trasporto. Oggi questi tipi di imballaggi, largamente usati in USA e in Giappone, non sono permessi in Europa. È in corso un'azione presso la CE per ottenere l'avvallo al loro utilizzo. L'eventuale approvazione di una tale normativa aprirebbe prospettive molto interessanti. Altre aree di sviluppo riguardano la riduzione degli spessori (con conseguente necessità di materiali con migliori prestazioni) e lo sviluppo di imballaggi monodose. Cresce anche l'interesse, se non ancora una chiara domanda di mercato, per un imballaggio completamente biodegradabile, il che vuol dire abbinare al supporto bio anche l'inchiostro per la sua decorazione. Lo sforzo di ricerca è in questo caso rivolto a individuare sia la versione biodegradabile di tutti i componenti dell'inchiostro sia ad assicurare la loro compatibilità relativa e soprattutto con il supporto.

## Energia

Il settore energetico è notoriamente sottoposto a una forte spinta innovativa, che coinvolge i materiali utilizzati per la realizzazione di componenti di macchine e impianti destinati al settore. Ciò coinvolge naturalmente anche i materiali polimerici e compositi, che entrano in innumerevoli componenti. Tra le innovazioni in via di sviluppo è da segnalare l'uso di nuovi materiali per pale eoliche di grandi dimensioni. I maggiori produttori europei stanno lavorando intensamente per migliorare le prestazioni delle pale sia attraverso una riprogettazione aerodinamica, sia mettendo a punto materiali più leggeri, rigidi e resistenti, che usano compositi a base di fibre pregiate, quali fibre di carbonio e fibre aramidiche. Polimeri ad alte prestazioni, ancora di nicchia, sono richiesti anche per il funzionamento delle celle a combustibile così come delle celle fotovoltaiche.

## Coating

Con il termine *coating*, si indicano nel loro complesso i vari prodotti che vengono applicati per realizzare finalità protettive, decorative e/o funzionalizzanti su vari tipi di supporto: metalli, legno, materie plastiche, carta, vetro, cemento e superfici interne ed esterne delle costruzioni. È importante sottolineare i *trend* prospettici di questo settore. Le vernici e le pitture hanno e avranno una funzione essenzialmente protettiva e decorativa. Gli inchiostri, accanto alla tradizionale funzione decorativa, vanno sempre più sviluppando il ruolo di veicoli di funzioni ad alto valore aggiunto. In un'indagine recente fra gli attori del mondo del *coating*, finalizzata ad identificare le *driving forces* di Ricerca e Sviluppo le richieste crescenti dei clienti per prestazioni a più alto valore aggiunto sono state indicate dal 36% del *panel* di riferimento, mentre il 22% ha sottolineato la necessità di nuove tecnologie. La pressione di nuove normative e la necessità di riduzione costi sono state invece indicate rispettivamente dal 17% e dal 14%. Risulta dunque l'immagine di un mondo ove la Ricerca e Sviluppo è chiamata a innovare tecnologie e prodotti per corrispondere a una pluralità di istanze tecnico/economiche.

Concentrando l'attenzione sui materiali, le tematiche "Nano" e "Bio" costituiscono le linee guida della ricerca più avanzata. È interessante notare come l'approccio "nano" abbia trovato un più felice sviluppo nel mondo del *coating* piuttosto che nelle applicazioni nel *bulk* in una matrice polimerica.

Qui è necessario approfondire le tematiche relative a una dispersione efficace e stabile delle nanocariche. Per fare alcuni esempi di nano-ingredienti applicati con successo, il nano  $\text{TiO}_2$ -rutile è utilizzato sia come pigmento che come filtro UV, il nano- $\text{TiO}_2$  nella versione anatase ha anche funzione *self cleaning* e *anti-pollution* per le superficie. Le nanosfere di silicio forniscono

un aumento di resistenza allo *scratch* e all'abrasione, oltre che di durezza e impermeabilità, pur mantenendo viscosità bassissime e perfetta trasparenza. La nanoallumina impartisce al *coating* proprietà analoghe al nano  $\text{TiO}_2$ , con un indice di rifrazione più alto, le nanoparticelle di argento e di ossidi di rame o di stagno drogato con argento hanno funzione antimicrobica e fungicida. Dal punto di vista della disponibilità di materiali, la R&S nell'area "Bio" è in una fase senz'altro meno avanzata rispetto ai "nano-materiali". Se da un lato sono già reperibili in commercio inchiostri commestibili, come anche inchiostri ottenuti sostanzialmente da fonti rinnovabili, l'obiettivo della biodegradabilità è senz'altro più difficile. Come resine e leganti, si lavora su derivati della cellulosa, altre famiglie di carboidrati, nuovi monomeri acrilici con carboidrati come sostituenti, leganti naturali a base di acidi resinici.

Pigmenti e coloranti naturali di origine minerale (ossidi), vegetale (ad esempio, l'indigo) e animale (ad esempio, la cocciniglia) sono sempre più studiati per aprire nuove frontiere applicative, sebbene siano oggi reperibili a diverso livello di disponibilità. È già stata citata la crescente richiesta di un *coating* bio nel settore dell'imballaggio. Così come sono state citate le frontiere dell'imballaggio attivo ed intelligente, cioè dell'imballaggio che interagisce, rispettivamente, con il prodotto contenuto e con il suo fruitore.

In tale prospettiva, l'inchiostro è il veicolo di elezione, per portare sul substrato tanto i principi attivi quanto gli elementi di "comunicazione". Particolare rilievo stanno assumendo le applicazioni di sistemi combinati costituiti da inchiostri "intelligenti", stampati con diverse tecniche, e da opportuni rilevatori.

Solo per fare alcuni esempi, sono stati sviluppati inchiostri che contengono frammenti di DNA in microcapsule e che, una volta depositi, consentono di identificare in modo evidentemente univoco il soggetto analizzato, attraverso una semplice "penna" e l'evidenza di un semplice viraggio di colore.

Inchiostri elettricamente conduttivi sono usati per stampare elementi o strutture che possono essere poi lette attraverso vari tipi di *detector*. In questo settore, i polimeri organici conduttivi vengono sviluppati in formulazioni caratterizzate dall'utilizzo di diversi materiali coerenti con le proprietà desiderate, quali ad esempio i nanotubi di carbonio. Inchiostri olografici, magnetici ed anche capaci di interagire a diversi livelli con fonti *laser*. E ancora, pigmenti "invisibili" che propongono forti colori quando esposti a luce solare o lampada ultravioletta; o pigmenti che cambiano colore in funzione della temperatura, oppure a seconda dell'angolo di osservazione nella luce visibile. Ma vi sono anche inchiostri che diventano visibili se osservati attraverso filtri di polarizzazione.

In Italia vi sono centri di ricerca sul *coating* noti a livello internazionale così come valide aziende di medie dimensioni, ma la competizione globale avviene con grandi gruppi industriali, dotati di ben maggiori risorse per l'innovazione.

---

PARTE SESTA

# I SISTEMI DI PRODUZIONE

(a cura di Marco Bianco)

<b>Sintesi e conclusioni</b> .....	155
<b>1. Quadro di riferimento</b> .....	157
1.1 Profilo del settore.....	157
1.2 Situazione italiana.....	159
1.3 Fattori di innovazione .....	165
<b>2. Tecnologie prioritarie di interesse generale</b> .....	168
2.1 Tecnologie per elevata produttività.....	168
2.2 Tecnologie a basso impatto ambientale e alta ergonomia.....	171
2.3 Robotica.....	173
2.4 Sistemi per taglio e giunzione.....	175
2.5 Sistemi per formatura .....	178
2.6 Sistemi per trattamento superficiale.....	182
2.7 Sistemi per microlavorazioni .....	184
2.8 Sistemi e tecnologie di assemblaggio .....	186
2.9 Tecnologie per controllo e gestione dei sistemi.....	189

## SINTESI

I sistemi di produzione sono un bene intermedio della catena produttiva indispensabile per produrre qualsiasi manufatto industriale. Sono caratterizzati da una grande trasversalità applicativa e hanno stretti legami e ripercussioni sull'automazione, l'elettronica, la mecatronica e la robotica. Costituiscono un'area fondamentale del *Made in Italy*, come testimoniano l'elevato numero di addetti a livello nazionale, il fatturato ragguardevole e la quota di quest'ultimo destinata all'esportazione. Il progresso tecnologico nel campo dei beni strumentali è da sempre notevole e continuo, ma, in un contesto come quello attuale, dove si assiste a profondi mutamenti provocati dalla globalizzazione dei mercati e dalla comparsa di nuovi produttori in paesi sinora assenti in questo settore, è richiesto un ulteriore e più intenso sforzo tecnologico di innovazione, pena la perdita delle posizioni acquisite. Solo le imprese che sapranno proporre macchine con elevato contenuto innovativo e con alto grado di personalizzazione potranno continuare a proporsi e a essere vincenti sul mercato mondiale.

L'obiettivo di questo lavoro è quello di identificare e definire le richieste che la domanda di mercato pone ai sistemi di produzione, contribuendo quindi a delineare una serie di approcci tecnologici in grado di individuare le tecnologie prioritarie, che, se opportunamente sviluppate, possono offrire le soluzioni in grado di consentire alle aziende italiane di rispondere in modo efficace a queste richieste.

#### *Il lavoro è diviso in due parti*

Nella prima parte si descrive il quadro di riferimento. Si illustra il profilo del settore, con le sue caratteristiche e i suoi bisogni, si disegna la situazione italiana, in termini di mercato, occupazione, *export*, attori di ricerca e sviluppo, e infine si delineano i fattori di innovazione che, sulla spinta dei *driver* di sviluppo e delle richieste di mercato, cercano di dare una risposta tecnologica appropriata a queste richieste.

Questa analisi è supportata da schemi e matrici, che sintetizzano le correlazioni tra i *driver* e le tecnologie da sviluppare, riassumendo le caratteristiche di trasversalità o verticalità di ciascuna, ed evidenziando il grado di convergenza da tecnologie unitarie a tecnologie generali.

Nella seconda parte si analizzano nel dettaglio le tecnologie prioritarie individuate, ovvero:

- le tecnologie per elevata produttività, necessarie per rispondere alle pressanti richieste in questa direzione;
- le tecnologie a basso impatto ambientale, fondamentali per mantenere le posizioni nei mercati evoluti;
- la robotica, soprattutto in termini di miniaturizzazione e intelligenza a bordo macchina;
- i sistemi per taglio e giunzione, che si confrontano con le nuove tecnologie di saldatura;
- i sistemi per formatura, con particolare attenzione verso l'idroformatura;
- i sistemi di trattamento superficiale, che devono confrontarsi con i nuovi processi di trattamento, anche su scala nanometrica;
- i sistemi per microlavorazioni, che devono dare risposte adeguate all'attuale richiesta di miniaturizzazione dei manufatti;
- le tecnologie di assemblaggio, punto di convergenza di molte lavorazioni;
- le tecnologie per il controllo e la gestione dei sistemi, fondamentali per la qualità dei manufatti prodotti e per la sicurezza degli operatori.

#### **Conclusioni**

- L'innovazione tecnologica nel settore dei sistemi di produzione è fondamentale, perché è un fattore determinante per permettere a questa importante area del *Made in Italy* di rimanere competitiva, sia verso i concorrenti tecnologicamente avanzati, sia nei confronti delle economie emergenti, che hanno nel basso costo della manodopera la loro arma vincente.
- È necessario un salto di qualità nel modo di innovare, che porti a dedicarsi non più solamente allo sviluppo o al miglioramento di prodotto, ma ad azioni concertate di vera e propria ricerca in grado di generare conoscenze su tematiche di elevata complessità che si sviluppano sul medio-lungo periodo. Ciò passa attraverso una maggiore interazione con i centri di ricerca, anche mediante condivisione degli obiettivi in progetti a partenariato misto pubblico-privato.
- In questo modo sarà fattivamente possibile sviluppare quelle tecnologie in grado di dare maggiore produttività, elevare la qualità dei manufatti fabbricati con i sistemi di produzione, aumentare il livello di personalizzazione delle macchine, nel pieno rispetto della sicurezza per gli operatori e dell'ambiente.

## 1. QUADRO DI RIFERIMENTO

### 1.1 Profilo del settore

Il settore dei sistemi di produzione, cioè macchine e sistemi per la produzione di prodotti finali o intermedi o per la costruzione di altre macchine, viene talvolta erroneamente considerato un comparto “maturo” e quindi non suscettibile di innovazioni rilevanti; questo giudizio deriva probabilmente dal fatto che, facendo parte del panorama industriale oramai da molto tempo, non è soggetto a quelle mutazioni e accelerazioni repentine tipiche di settori giovani o giovanissimi, come l’elettronica, l’informatica, ecc. Se però si guarda a esso in modo attento, si nota come l’evoluzione tecnologica al suo interno sia continua e profonda, generando un miglioramento tecnologico costante e rilevante. Il dinamismo propositivo e progettuale che caratterizza l’insieme di aziende ed enti di ricerca, che lavorano in questo comparto, è notevole, così come è elevato il livello di competitività, sia a livello mondiale sia a livello nazionale.

Questa evoluzione continua e spontanea, unita al quadro economico positivo del settore (come emergerà più avanti), porta spesso a ritenere che il comparto dei sistemi di produzione sia in grado di autogarantire, proprio in virtù del suo stato di salute odierno, il suo successo e non abbia quindi bisogno di interventi a sostegno dello sviluppo tecnologico; in realtà è vero il contrario, perché il successo di domani si basa sulla ricerca e sviluppo di oggi. Il concetto che un settore oggi in salute non abbia bisogno di supporto al suo sviluppo è errato e questo è sottolineato da molti operatori industriali e scientifici che lavorano nei sistemi produttivi.

D’altra parte il settore soffre di alcuni fattori di freno, tipici comunque anche di altre aree industriali, che rendono difficoltoso mantenere e accrescere la sua competitività e, conseguentemente, la sua capacità di contribuire in modo positivo al prodotto interno lordo. Questi fattori sono:

- piccole dimensioni aziendali
- sottocapitalizzazione e difficoltà nel reperimento delle risorse finanziarie
- limitata capacità nella gestione della conoscenza
- difficoltà nel gestire la presenza e i servizi su mercati lontani
- difficoltà di integrazione ottimale delle aziende nella catena di generazione del valore
- forte influenza delle “condizioni al contorno” derivanti dalle normative e leggi, dalle contingenze geopolitiche e macroeconomiche, da aspetti sociali, dal mercato finanziario, dagli aspetti energetici e connessi con le materie prime.

Sono quindi necessarie azioni che aiutino le aziende a fronteggiare, traendone il massimo vantaggio, una situazione complessa e ad alta variabilità, come quella che contraddistingue il mercato manifatturiero mondiale. Una caratteristica importante del settore dei sistemi di produzione è il suo stretto legame con aree tecnologiche quali l’automazione, l’elettronica, la mecatronica e la robotica: costituisce cioè un macrosettore, tecnologico e produttivo, che comprende in varia misura queste aree, ne utilizza i risultati più rilevanti ed è fattore al tempo stesso del loro avanzamento tecnologico, in un ciclo sinergico virtuoso e continuo. Inoltre va sottolineato che i sistemi di produzione sono utilizzati praticamente in tutti i settori della produzione manifatturiera.

La filiera relativa a questo settore è notevolmente articolata, tuttavia è possibile individuare al suo interno alcune macrocategorie distinte e caratterizzate da specifiche necessità tecnologiche.

Vi sono i costruttori di sorgenti primarie, ovvero le macchine che forniscono la “tecnologia primaria” (ad esempio, il *laser*, il plasma, l’elettroerosione, ecc.), sulla quale si imposta il sistema di produzione: questa componente della filiera ha soprattutto necessità di sviluppo di materiali nuovi o con proprietà migliori e di nuove metodologie progettuali in grado di aumentare la produttività della sorgente; inoltre avverte la necessità di ridurre i costi delle sorgenti e l’impatto ambientale

che queste possono generare nell'esecuzione del processo. Vi sono poi i costruttori dei sistemi di movimentazione e delle varie parti elettromeccaniche, i quali richiedono tecnologie in grado di aumentare la precisione dinamica e diminuire la massa strutturale, senza precludere le caratteristiche di resistenza meccanica (leghe metalliche innovative, materiali compositi, tecnologie di microlavorazione, ecc). Anche qui le problematiche di riduzione costo sono molto avvertite.

A fianco dei costruttori di sistemi vi sono i costruttori dei dispositivi di controllo di processo e di prodotto: si tratta della sensoristica in grado di rendere il più possibile "intelligente" il sistema di produzione, conferendogli un *plus* di indiscutibile valore. Le necessità preponderanti di questa categoria riguardano la miniaturizzazione dei componenti e un maggior grado di precisione e di risoluzione, sia meccanica che ottica, dei processi di controllo, nonché una diminuzione del costo della sensoristica stessa. A valle di queste tre categorie vi è poi l'area degli integratori: infatti solo alcuni grandi gruppi uniscono insieme la costruzione di sorgente, movimentazione e il loro assemblaggio; più spesso vi sono aziende che montano, magari con progettazione propria, i vari componenti del sistema di produzione, costituendo quindi un attore vero e proprio della filiera. Le necessità avvertite sono prettamente relative a metodologie di assemblaggio innovative, semplificative, meno costose, a volte miniaturizzate. Allo stesso livello di importanza vi sono le problematiche di sicurezza e di ergonomia del sistema.

L'ultimo anello della filiera è costituito dagli utilizzatori finali, che possono essere sia centri di servizio per lavorazioni conto terzi, sia i costruttori dei beni industriali finali: entrambi hanno necessità di prodotti o processi continuamente migliori sotto il profilo tecnologico, uniti a una riduzione del costo di fabbricazione dell'oggetto e a un suo impatto ambientale ridotto o nullo.

Si è già accennato all'evoluzione tecnologica pressoché continua che caratterizza il comparto dei beni strumentali. Il fattore fondamentale che genera questa evoluzione risiede nella richiesta del tipico acquirente dei beni strumentali, richiesta che non mette più al primo posto tra i criteri di scelta il costo del bene stesso, ma che si concentra invece sempre più spesso sulle prestazioni, quali rapidità, precisione e flessibilità, che esprimono una domanda di forte contenuto tecnologico innovativo: ciò è dovuto al fatto che la disponibilità di sistemi di produzione evoluti contribuisce notevolmente a ridurre i propri costi produttivi. Un secondo aspetto altrettanto importante è legato alla disponibilità, da parte dei costruttori, di personalizzare il sistema: la personalizzazione costituisce infatti ormai non più un'eccezione, ma quasi una regola, perché consente al cliente finale di approcciare il mercato offrendo flessibilità, versatilità e possibilità di dare qualche cosa in più rispetto allo *standard*, fattori che diventano sempre più l'unica arma per combattere i bassi costi (ma anche la qualità per ora non eccelsa) delle economie emergenti. Ma questa necessità di personalizzazione implica inevitabilmente nuove scelte progettuali e soluzioni non convenzionali: personalizzare significa quindi, necessariamente, innovare.

In questo contesto la gran parte degli operatori del settore sono fortemente motivati, nel medio periodo (cioè un orizzonte temporale che va da tre a cinque anni), alla ricerca di nuove soluzioni in grado di soddisfare queste esigenze. Emerge però anche l'esigenza di un salto di qualità nel modo di perseguire l'innovazione. Infatti sinora la ricerca è stata condotta soprattutto a livello di singola azienda e su tematiche di breve periodo: nella maggior parte dei casi più che di ricerca vera e propria si deve parlare di sviluppo di prodotto volto a innovazioni incrementali, fondamentale anch'esso, ma sempre più insufficiente se non è accompagnato da una innovazione profonda e radicale. Si rende quindi necessario basare tale sviluppo su una capacità di ricerca autonoma e su collegamenti con centri di ricerca, sia privati che pubblici, in grado di apportare le componenti di conoscenza necessarie. Questo significa però innalzare il livello degli obiettivi dell'innovazione, innalzamento che genera il superamento di quella soglia di complessità, e di relativo costo, oltre la quale non si può più sopperire unicamente con risorse interne.



E allora da alcuni anni è sentita in modo sempre più forte la necessità di disporre di conoscenze su tematiche di elevata complessità, che si sviluppino necessariamente sul medio e sul lungo periodo; ciò anche a costo di condividere con altri tali conoscenze, partecipando possibilmente in prima persona a progetti che sviluppino tematiche di proprio interesse e condotte con coordinamento nazionale o internazionale. La disponibilità di queste conoscenze è ritenuta vitale per il futuro di questo settore, perché senza di essa diminuiscono sostanzialmente le possibilità di competere nel futuro prossimo; è infatti opinione unanime che competere solo sul piano dei costi significa perdere in partenza. Un ulteriore elemento di riflessione riguarda la formazione: infatti il livello di scolarità e di esperienza specifica richiesto nel campo dei sistemi di produzione è mediamente più elevato rispetto ad altri comparti industriali, e questo vale praticamente per tutte le figure professionali che afferiscono al settore, compresi gli operatori manuali. Questo significa necessariamente migliorare ulteriormente il rapporto tra gli attori della filiera dei beni strumentali e tutte le componenti del mondo formativo: anche se vi sono casi eccellenti di collaborazione tra industria e scuola, sembra attualmente mancare una politica a livello centrale in grado di emanare delle effettive linee guida.

La collaborazione con il mondo formativo non riguarda solamente il livello universitario, che rimane comunque al primo gradino di importanza, ma implica anche un maggior dialogo con gli istituti tecnici; questi potrebbero infatti diventare, in presenza di un dialogo continuo e strutturato con le aziende, un serbatoio di manodopera qualificata per le specifiche richieste industriali, che non avrebbe problemi per un rapido inserimento nel mondo del lavoro.

È quasi superfluo sottolineare l'importanza del connubio tra una buona formazione e la creazione di conoscenza, dalla quale si genera lo sviluppo tecnologico che costituisce la migliore arma per contrastare efficacemente la concorrenza dei paesi emergenti (come la Cina e, in un domani più remoto, altri dell'area asiatica).

Da questo quadro introduttivo emerge inequivocabilmente il fatto che le esigenze di innovazione del settore dei sistemi di produzione sono reali, hanno un notevole peso e sono anche molto differenziate, vista la vastissima tipologia di operazioni da effettuare e, conseguentemente, di macchine atte a svolgere queste operazioni.

## 1.2 Situazione italiana

### *Mercato e occupazione*

Il settore dei sistemi di produzione ha un peso notevole, nei paesi industrializzati, sia come incidenza sul PIL, sia come numero di occupati. Queste affermazioni valgono pienamente anche per l'Italia: i sistemi di produzione costituiscono infatti uno dei punti di forza della nostra economia. Il nostro paese è, storicamente, ma anche secondo i più recenti dati statistici, nella rosa dei maggiori produttori mondiali di beni strumentali, insieme a Germania, Giappone e Stati Uniti. A questo gruppo di paesi *leader* si sta ultimamente affiancando la Cina, anche se per ora con un livello qualitativo e di affidabilità inferiore. Ma il dinamismo di questo paese, unito ai bassissimi costi di produzione ne fa un concorrente temibile, per l'industria nazionale, nella prospettiva temporale di medio periodo (3-5 anni). L'industria italiana della meccanica strumentale è composta da un elevato numero di settori, che, raggruppati in Associazioni, trovano la loro rappresentanza in FEDERMACCHINE, la Federazione Nazionale delle Associazioni dei produttori di beni strumentali, la quale raccoglie le seguenti associazioni:

- ACIMAC: macchine e attrezzature per ceramica
- ACIMALL: macchine per la lavorazione del legno
- ACIMGA: macchine per l'industria grafica, cartaria e affini

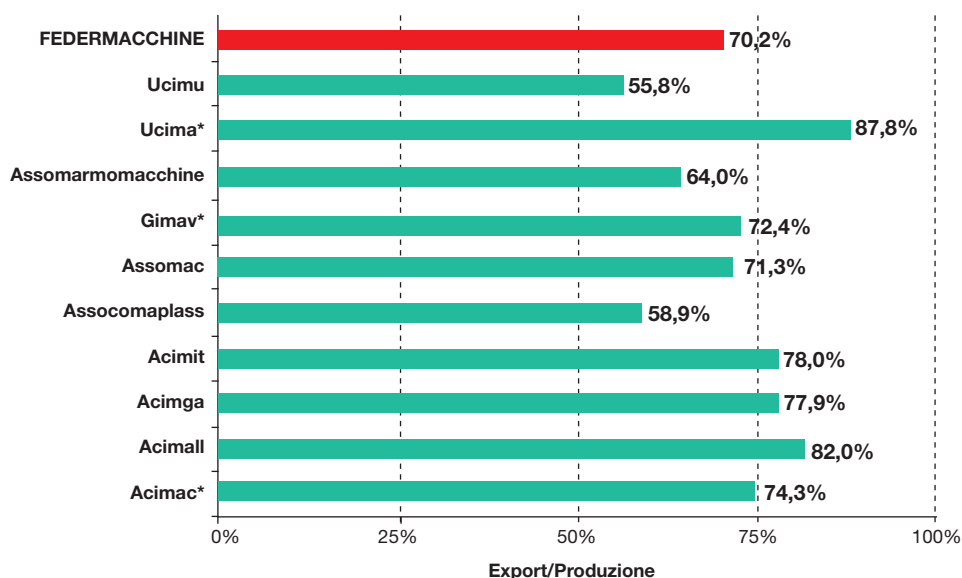
- ACIMIT: macchine per l'industria tessile
- ASSOCOMAPLAST: macchine e stampi per materie plastiche e gomma
- ASSOMAC: macchine per calzature, pelletteria e conceria
- GIMAV: macchine e accessori per il vetro
- CONFINDUSTRIA MARMOMACCHINE ASSOMARMOMACCHINE: macchine e attrezzature per la lavorazione delle pietre naturali
- UCIMA: macchine per confezionamento e imballaggio
- UCIMU – SISTEMI PER PRODURRE: macchine utensili, robot e automazione
- UNACOMA: macchine agricole.

Per quanto riguarda i dati di mercato italiani, il 2006 (dati di preconsuntivo) è stato un anno di forte ripresa per il settore dei beni strumentali. La domanda interna, dopo anni di recessione, ha registrato un deciso incremento e le esportazioni, rimaste quasi ferme nel 2005, sono tornate a crescere a ritmi sostenuti. Anche le importazioni hanno tratto vantaggio dall'espansione del mercato. La Tabella 1 riporta i dati più significativi dell'ultimo triennio, insieme con le variazioni percentuali:

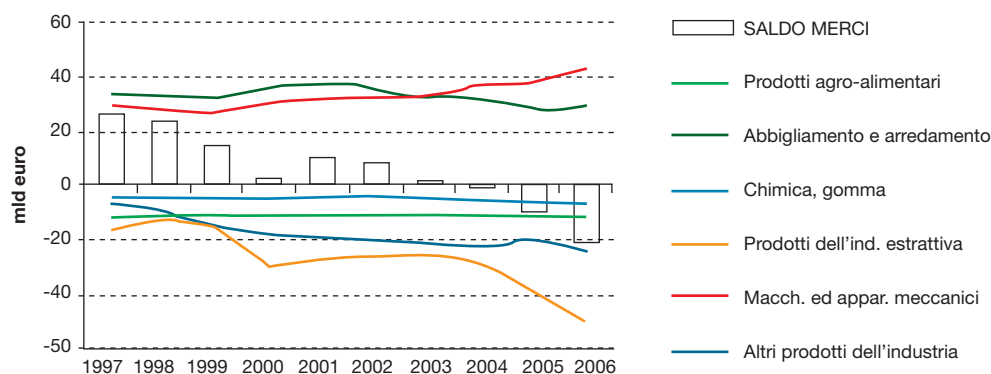
<b>Tabella 1 - Evoluzione del settore 2004-06 (2006*: dati preconsuntivi)</b>					
	2004	2005	2006*	05/04	06/05
Produzione	21.663	21.402	23.386	-1,2%	+9,3%
Export	14.926	15.108	16.425	+1,2%	+8,7%
Consegne interne	6.737	6.294	6.961	-6,6%	+10,6%
Import	3.559	3.581	3.920	+0,6%	+9,5%
Consumo apparente	10.296	9.875	10.881	-4,1%	+10,2%

Fonte: Progetto MADE IN ITALY - Scheda di sintesi FEDERMACCHINE

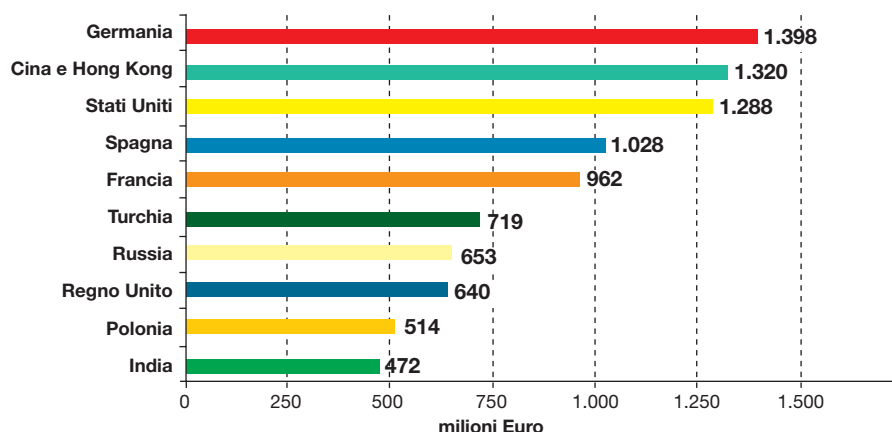
**Figura 1 - La propensione all'export per comparto nel 2006**



Fonte: Progetto MADE IN ITALY - Scheda di sintesi FEDERMACCHINE

**Figura 2 - I saldi commerciali settoriali italiani nel decennio 1997-2006**

Fonte: Progetto MADE IN ITALY - Scheda di sintesi FEDERMACCHINE

**Figura 3 - I primi 10 paesi clienti nel 2006**

Fonte: Progetto MADE IN ITALY - Scheda di sintesi FEDERMACCHINE

Il valore della produzione è cresciuto del 9,3%, attestandosi a 23,4 miliardi €.

Le esportazioni hanno raggiunto il valore di 16,4 miliardi (+8,7% sull'anno precedente), che costituisce il nuovo record per il settore.

Le consegne interne, vero punto dolente degli ultimi anni, sono cresciute in doppia cifra (+10,6%), sfiorando i sette miliardi. La ripresa del mercato interno (+10,2%, per un valore di quasi 11 miliardi) ha favorito anche gli importatori, le cui vendite sono aumentate del 9,5%, giungendo a 3,9 miliardi €.

Una caratteristica distintiva dell'industria italiana costruttrice di sistemi di produzione è la forte propensione all'*export*, che nel 2006 ha raggiunto il 70,2% del fatturato (Figura 1). Tutti i settori hanno un rapporto tra fatturato ed esportazioni superiore al 50%, come si vede dalla Tabella successiva, con punte massime di 87,8% (costruttori di macchinari per confezionamento e imballaggio) e di 82% (macchine per la lavorazione del legno).

Questo porta a un saldo positivo della bilancia commerciale del settore, che è l'unico, con quello del tessile/abbigliamento, a raggiungere questo obiettivo (tra l'altro con continuità e in controtendenza con l'andamento nazionale), come si evince dalla Figura 2.

Lo stesso *export* si articola su scala mondiale (Figura 3), sia verso i paesi tradizionalmente industrializzati, sia verso quelli emergenti e in forte crescita che, pur avendo un ampio mercato

per i prodotti finali e, sempre di più, una forte industria produttrice, non hanno ancora la capacità di progettare e realizzare autonomamente i propri mezzi di produzione più sofisticati.

La crescita del fatturato si è riflessa sull'occupazione, come evidenziato dalla Tabella 2; in particolare va sottolineato che nel 2006 si è interrotto un *trend* di diminuzione occupazionale che durava da tre anni.

<b>Tabella 2 - Addetti per settore</b>			
<b>Addetti</b>			
	<b>2005</b>	<b>2006</b>	<b>var. 06/05</b>
Acimac	6.495	6.938	6,8%
Acimall	12.000	12.000	0,0%
Acimga	7.300	7.300	0,0%
Acimitt	22.040	20.892	-5,2%
Assocomplast	12.300	12.500	1,6%
Assomac	6.200	6.050	-2,4%
Gimav	4.500	4.500	0,0%
Assomarmomacchine	10.000	11.300	13,0%
Ucima	16.900	16.800	-0,6%
Ucimo	31.330	31.340	0,0%
Unacoma	39.700	39.700	0,0%
<b>Federmacchine</b>	<b>168.765</b>	<b>169.320</b>	<b>0,3%</b>
Fonte: Dati di settore FEDERMACCHINE.			

### ***Attori di ricerca e sviluppo***

Si è visto che tra i settori più interessati alla realizzazione di programmi di ricerca e sviluppo, quello della produzione di beni strumentali è forse uno dei più interessanti, in ragione del fatto che il nostro paese produce ed esporta con successo prodotti di medio-alto livello tecnologico.

In Italia sono effettivamente presenti, e sono piuttosto apprezzate a anche livello internazionale, competenze di tipo teorico e di tipo sperimentale-applicativo, che si collocano sia sul piano pubblico, e sono i centri di ricerca universitari, dei politecnici, del CNR, sia sul piano privato, dove vi sono i centri di ricerca ad azionariato industriale e le aziende di maggiore dimensione.

#### ***Il livello universitario e degli enti pubblici***

Per tradizione e formazione culturale, alcune Università ed Enti Pubblici italiani sono altamente qualificati per produrre risultati eccellenti, anche dal punto di vista applicativo.

I centri più rappresentativi sono i seguenti:

- ITIA-CNR, Istituto per le Tecnologie Industriali e Automazione di Milano, parte del Dipartimento di Sistemi di Produzione del Consiglio Nazionale delle Ricerche. L'Istituto svolge attività di ricerca scientifica e sviluppo tecnologico finalizzate alla competitività e alla sostenibilità del settore manifatturiero in Italia ed Europa. L'Istituto opera in collaborazione con Imprese, Università, Centri di Ricerca e Istituzioni nell'ambito di Programmi, Progetti e Contratti Industriali Nazionali, Europei ed Internazionali.

Le attività di ITIA-CNR nel campo dei beni strumentali riguardano la ricerca scientifica e tecnologica, i servizi per l'industria e l'innovazione, la gestione di programmi e progetti internazionali, unitamente ad attività formative e di studi strategici.

- Università. Le due università italiane con maggiori esperienze di ricerca sui sistemi di produzione e tecnologie collegate sono il Politecnico di Milano (diffusa in tutti i dipartimenti di Ingegneria e in particolare in quello di Meccanica) e il Politecnico di Torino (Dipartimenti di Sistemi di Produzione ed Economia Aziendale, di Automatica ed Informatica, di Meccanica): la loro importante tradizione e il loro livello di eccellenza sono naturalmente connessi al contesto del Nord Italia, caratterizzato da un forte tessuto industriale di produzione di beni strumentali, di livello internazionale e competitivo sui mercati globali.

### *Il livello industriale*

I principali centri di ricerca ad azionariato industriale che svolgono attività di innovazione e sviluppo nel campo dei sistemi di produzione sono i seguenti:

- Centro Ricerche FIAT (CRF) di Orbassano (TO), che si occupa soprattutto dello studio relativo alle problematiche dei veicoli e, più in generale, della mobilità e dei trasporti. Particolarmente rilevanti sono le attività nel campo dell'automazione dei sistemi, della sensoristica di controllo processo, della gestione produttiva ottimale dei sistemi, dell'ergonomia di macchina e, non ultima, delle tecnologie per ridurre l'impatto ambientale dei sistemi di produzione.
- Centro Sviluppo Materiali (CSM) di Castel Romano (RM), attivo nel campo della siderurgia e dello sviluppo di materiali diversificati, con le relative tecnologie di fabbricazione, trasformazione e utilizzo. Ha una notevole esperienza nel settore della formatura dei materiali (sia come idroformatura, sia come tecniche di deformazione meccanica) e della relativa sistemistica industriale, nonché nel campo ambientale, a livello di processo e di impiantistica.
- Centro Ricerche Tecnologie Meccaniche (RTM) di Vico Canavese (TO), di dimensione minore rispetto ai precedenti, che si occupa di tecnologia laser industriale, con studio e realizzazione di sistemistica speciale per applicazioni customizzate. Ha una notevole esperienza nel campo della sensoristica di controllo di processo industriale.

Nell'ambito degli studi economici, va citato il Centro Studi di Federmacchine, che raccoglie ed elabora i dati di settore, elaborando statistiche e valutazioni a livello di produzione, fatturato, esportazione, occupazione.

Per quanto riguarda invece le aziende industriali va sottolineato che le risorse impiegate per ricerca e sviluppo sono a un livello abbastanza elevato: emerge infatti chiaramente la propensione delle aziende a utilizzare l'innovazione come variabile competitiva di primaria importanza. Mediamente le aziende investono percentuali cospicue del fatturato, stimate sino al 10%, in attività che portano al miglioramento del prodotto o del processo. Questa percentuale è riferita sia ad attività di ricerca e sviluppo sia a investimenti di tipo innovativo. Tuttavia in molti casi predominano le azioni relative allo sviluppo di prodotto rispetto a quelle di ricerca vera e propria.

Le strategie di innovazione che le aziende italiane del settore si propongono sono orientate soprattutto all'aumento di produttività e alla diminuzione dei costi dei prodotti realizzati dalle loro macchine. Tali obiettivi sono perseguiti mediante l'aumento di qualità e con programmi di aumento delle risorse. Data la piccola dimensione, tipica delle aziende nazionali, sono però poche quelle che hanno sviluppato o hanno in corso programmi di ricerca strutturati e di ampio respiro, in collaborazione con *partners* esteri o partecipando a programmi internazionali: tra queste si colloca sicuramente il gruppo COMAU, che, per storia e dimensioni, ha una tradizione di ricerca e sviluppo consolidata. Le numerose *pmi* hanno programmi più finalizzati al breve periodo e su

tematiche di limitato impatto, anche se non mancano eccezioni virtuose. Questo ha comportato, e comporta tuttora, un certo grado di rischio, in relazione alla conoscenza, molte volte empirica e spesso non adeguatamente quantitativa, delle tecnologie di progettazione e dei processi coinvolti, in particolare di quelli innovativi. Un indicatore preoccupante, che testimonia questa visione per certi aspetti limitata, riguarda la minore presenza di aziende italiane nei progetti dei Programmi Quadro finanziati dalla CEE rispetto a quella di paesi di dimensione economica simile all'Italia, o di paesi più piccoli ma più intraprendenti da questo punto di vista, come l'Olanda o i paesi scandinavi; questa è una caratteristica comune al panorama industriale nazionale e anche il settore dei sistemi di produzione non sfugge a questa tendenza.

È infine opportuno e doveroso sottolineare il concetto di aree di eccellenza come possibile obiettivo in ambito italiano da porsi in un'ottica medio-lunga. Si tratta di poli integrati tra industria, ricerca e formazione, dove vi è uno scambio reciproco e continuo tra aziende e centri di ricerca, sia per le attività di innovazione che le aziende commissionano ai centri, sia per la nascita di *spin-off* aziendali, generati dalla fuoriuscita (pilotata e non traumatica) di ricercatori dai laboratori con l'obiettivo di portare sul mercato innovazioni di un certo rilievo. A questo si affianca la presenza di strutture formative, sia universitarie sia di istituti tecnici, che dialogano con le aziende vicine (ad esempio, programmando specifici *stage* aziendali nell'ultimo anno di formazione) e le riforniscono continuamente di manodopera qualificata e formata in accordo con le loro esigenze.

Un modello concreto di riferimento è senza dubbio la rete tedesca dei *Fraunhofer*, dove molto spesso il centro di ricerca insediato in quell'area è il fulcro di una rete di imprese di eccellenza. In Italia tutto questo manca in modo organico, benché vi siano aree del paese, ad esempio, le quattro grandi regioni dell'Italia del Nord, dove vi sarebbero i presupposti di partenza, costituiti da una forte concentrazione industriale e dalla presenza di importanti centri di ricerca, per creare una rete con queste caratteristiche.

#### *Strumenti di finanziamento per la ricerca*

È utile riassumere il quadro dell'incentivazione alla ricerca e all'innovazione entro il quale si collocano le aziende italiane produttrici di beni strumentali. Questa incentivazione si articola essenzialmente su tre livelli: il livello comunitario, quello nazionale, quello locale.

Il primo si esprime soprattutto con i *Framework Programs* (FP) pluriennali che l'UE emana periodicamente, i quali sono strutturati in varie macroaree, che rappresentano le esigenze di sviluppo ritenute più importanti per la comunità europea. I Sistemi di Produzione hanno sempre fatto parte delle attività finanziate nei vari FP; anche nell'attuale 7° FP, sono compresi nella macroarea Cooperazione e, al suo interno, nella linea "*nanoscienze, nanotecnologie, tecnologie dei materiali e processi di produzione*", con una presenza, più marginale, anche nelle linee Energia, Trasporto, Spazio, dove lo sviluppo dei relativi processi e prodotti innovativi spesso si affianca alla ricerca di sistemi produttivi innovativi.

La presenza delle aziende italiane in questi programmi è di un certo rilievo, ma potrebbe essere maggiore; si avverte in particolare la necessità di una partecipazione più concertata tra il mondo industriale e quello della ricerca, in modo da poter cogliere al meglio le opportunità, potenzialmente molto rilevanti, che la partecipazione a questi progetti può generare. Per quanto riguarda invece il livello nazionale, il dato di fondo è che in Italia si è sempre più ridotta (in alcune aree del paese praticamente esaurita) l'incentivazione alla ricerca industriale. La conseguenza pratica è che le aziende del settore hanno lavorato, e lavorano tuttora, prevalentemente con risorse autofinanziate. Comunque l'interesse delle aziende dei sistemi produttivi allo sviluppo di proprie tematiche condotte con coordinamento nazionale è sempre stato notevole ed è testimoniato, in



passato, nella partecipazione ai Progetti Finalizzati del CNR, nonché al Programma Nazionale di Ricerca “Sistemi di Produzione Innovativi” e, di recente, al bando tematico del Ministero dell’Università e Ricerca (MUR) riguardante le idee progettuali del Programma Nazionale della Ricerca 2005-2007. Questo bando ha raccolto anche un certo numero di esigenze, proprie dei Sistemi di Produzione, emerse dal “Repertorio delle Tecnologie Prioritarie” censito da AIRI. Una nuova opportunità si apre con il Progetto di Innovazione Industriale *Made in Italy* di Industria 2015 (Ministero dello Sviluppo Economico), che ha emesso un bando nel marzo 2008 destinato a progetti innovativi inerenti anche il settore dei sistemi produttivi.

Infine il livello territoriale (regioni, province, in alcuni casi comuni o enti camerali) è quanto mai frammentato, ma, in una situazione di carenza a livello centrale, è seguito con molto interesse dalla aziende del settore. In particolare le regioni, con i Documenti Unici di Programmazione (DOCUP) sono quelle che più consentono alle aziende di proporre progetti di ricerca e sviluppo sulle problematiche di proprio interesse. In alcune regioni si sono recentemente articolate linee operative che prevedono progetti con l’aggregazione tra più aziende e tra centri di ricerca e, in alcuni casi, addirittura la transnazionalità, ricalcando in tale modo la filosofia più propria della ricerca finanziata dallo Stato o dall’Unione Europea.

### 1.3 Fattori di innovazione

I fattori di innovazione nel settore dei Sistemi di Produzione sono veramente molteplici, differenziati e di notevole rilevanza; questa rilevanza riguarda sia il profilo tecnologico, sia quello delle risorse necessarie per conseguirli.

Si è detto nel profilo del settore quanto nell’ambiente sia avvertita la necessità di disporre di conoscenze sulle tematiche di sviluppo, sia nel medio periodo che nel lungo periodo. Una ulteriore necessità riguarda la gestione di queste conoscenze, gestione che dovrebbe consentire alle aziende sia di formalizzare la conoscenza in loro possesso, accumulata in anni (o decenni) di pratica e presenza sui mercati, sia di generarne di nuova sulla base dei bisogni dei clienti (che sono in continua evoluzione) e sulla spinta di attività di ricerca e sviluppo interne, svolte con entità esterne come università, centri di ricerca, clienti e fornitori.

È possibile tentare di raggruppare le problematiche di innovazione del settore secondo criteri di similarità, almeno fino a un certo livello, in modo da poterle studiare con un approccio di carattere generale, con la possibilità poi di applicarle ai casi specifici senza sviluppi particolareggiati.

Questo può essere fatto partendo dal presupposto che tutti i sistemi produttivi sono composti da sottosistemi con funzioni ben definite, ciascuno dei quali può essere trattato separatamente al fine di aumentarne le prestazioni; successivamente ai miglioramenti conseguiti sui sottosistemi si possono prendere in esame le esigenze di integrazione d’insieme, con l’obiettivo finale di ottenere sistemi produttivi caratterizzati da aumenti di prestazioni concrete e operative.

I principali fattori di innovazione relativi ai sistemi di produzione sono quindi raggruppabili, sia per tematiche trasversali (le prime due e le ultime due nell’elenco che segue), che per tematiche verticali (le rimanenti). È opportuno sottolineare che queste tematiche non hanno una correlazione univoca con i settori relativi alle varie associazioni di categoria (collegate ad aree di prodotto ben definite), perché le esigenze che rappresentano sono spesso tipiche di più settori e quindi ciascuna di esse può incidere su una molteplicità di linee di macchine.

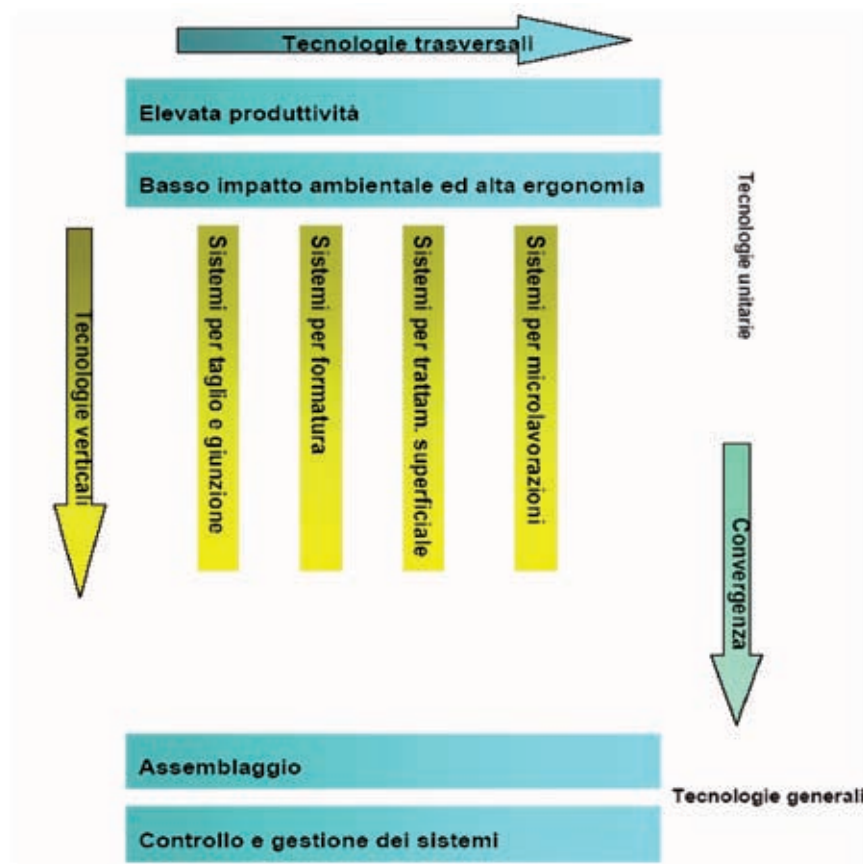
Queste tematiche sono riassumibili come accennato di seguito:

- negli ultimi anni, a causa della grande estensione dell’automazione, la velocità di esecuzione dei processi è sempre più incrementata. Questo richiede la disponibilità di sottosistemi funzionali costituiti da strutture, sia fisse che mobili, con elevata rigidità e leggerezza, atte a

seguire, velocemente e con precisione, traiettorie complesse; di conseguenza la configurazione delle macchine deve essere adattata a queste esigenze;

- le problematiche ambientali costituiscono un vincolo sempre più stringente, sia per vincoli legislativi, sia per esplicita richiesta dei clienti; questo si riflette inevitabilmente sullo sviluppo di macchine che riducano l'impatto ambientale. Un discorso analogo riguarda l'ergonomicità della postazione di lavoro;
- la robotica, cioè la scienza che studia macchine e automi in grado di eseguire operazioni complesse interagendo con l'ambiente circostante, dovrà sviluppare robot con maggiore grado di miniaturizzazione e con un più ampio contenuto di intelligenza a bordo, per poter rispondere alle richieste di maggior precisione e più elevato livello qualitativo dei manufatti che provengono dal mondo industriale;
- nel campo dei processi di taglio e giunzione, sia quelli tradizionali e affermati, sia soprattutto quelli di adozione più recente e che magari non sono ancora stati introdotti estensivamente, c'è la necessità di una maggiore comprensione dei meccanismi di base, per poterli industrialmente sfruttare al meglio mediante la costruzione di sistemi in grado di esplicarne tutte le potenzialità;
- per quanto riguarda le tecniche di formatura, queste si possono distinguere in tradizionali e innovative (ad esempio, idroformatura). Le prime necessitano di un miglioramento e una razionalizzazione della conoscenza del processo stesso, mediante la messa a punto dei parametri fisici che interessano le simulazioni numeriche oggi disponibili; questo si riflette sulla progettazione dei relativi sistemi produttivi. Le seconde richiedono, oltre a quanto appena espresso, anche lo sviluppo di nuove macchine modulari e flessibili. Anche le lavorazioni finalizzate a ottenere forma e dimensione del pezzo finale, minimizzando i cicli di lavorazione stessa, stanno ormai affermandosi in molti settori trainanti: questo richiede l'integrazione delle relative tecnologie nelle macchine utensili per lavorazione di asportazione;
- il settore dei trattamenti superficiali vede una continua evoluzione dei processi di lavorazione, dovuta all'affinamento di tecnologie esistenti, all'affermazione di nuove tecniche, alla richiesta di processi di finitura, trattamento, rivestimento a basso impatto ambientale. Tutto questo genera una continua innovazione dei relativi sistemi di produzione, che deve tener conto delle nuove tecnologie e della disponibilità, sempre più richiesta, di macchine in grado di abbinare la tecnologia di trattamento direttamente sul centro di lavoro;
- la miniaturizzazione dei componenti è un *trend* in continua crescita, anche per ridurre i consumi (ad esempio, nel campo dei trasporti): questo richiede l'abbinamento di tecnologie innovative di microlavorazione (*laser* di ultima generazione, microstereolitografia, microelettroerosione, ecc.) con la macchina utensile e richiede altresì la soluzione delle relative problematiche di accuratezza di posizionamento, elevata risoluzione, precisione di interpolazione;
- nel campo degli assemblaggi e delle relative macchine e attrezzature vi sono da studiare e sviluppare ulteriormente i processi elementari di assemblaggio di componenti, sia in materiali metallici che compositi. Questa esigenza nasce soprattutto dalla produzione di manufatti di piccola / media serie, caratterizzati da elevata complessità e flessibilità;
- infine, come sorta di punto d'arrivo del percorso delineato dalla sequenza di tecnologie appena descritte, vi è l'esigenza di introdurre estesamente nei sistemi produttivi i sottosistemi di controllo di processo, soprattutto in forma adattativa, con l'obiettivo di migliorare la qualità dei prodotti tramite l'autoregolazione del processo produttivo.

Da queste considerazioni sono state enucleate alcune tecnologie prioritarie di interesse generale per i Sistemi di Produzione. Esse sono rappresentate nella Figura 4, che evidenzia la loro sequenza, la caratteristica di trasversalità o di verticalità di ciascuna e la convergenza delle tec-

**Figura 4 - Correlazioni tra tecnologie verticali e trasversali****Tabella 3 - Matrice di correlazione tra tecnologie e motivazioni dell'innovazione.**

Sistemi di produzione motivazioni per l'innovazione				
Motivazioni Tecnologie	Aumento qualità manufatti prodotti	Riduzione costo manufatti prodotti	Rispetto normative ambientali	Sicurezza
1. Tecnologie per elevata produttività		xx		
2. Tecnologie a basso impatto ambientale ed alta ergonomia			xx	xx
3. Sistemi per taglio e giunzione	xx	X		x
4. Sistemi per formatura	xx	xx	x	
5. Sistemi per trattamento superficiale	xx		xx	
6. Sistemi per microlavorazioni	xx		x	
7. Sistemi e tecnologie di assemblaggio		xx		xx
8. Tecnologie per controllo e gestione dei sistemi	xx	X		

xx = Alta priorità; x = Media priorità

nologie “unitarie” (cioè rappresentative di una determinata area tecnologica di innovazione o di una determinata problematica) verso quelle “generali” (applicabili a più aree tecnologiche ed a diverse problematiche e, quindi, ad una molteplicità di sistemi produttivi). È anche interessante considerare le correlazioni tra i *driver*, cioè le motivazioni di base dalle quali partono le richieste di innovazione, e le tecnologie prioritarie sopra riportate nella Figura 4. Tale correlazione è riportata nella seguente matrice di Tabella 3. Come si può vedere le varie tecnologie prioritarie rispondono, dal punto di vista tecnologico, a richieste che riguardano il miglioramento della qualità e delle prestazioni dei prodotti e la riduzione del loro costo; è presente però anche una risposta a richieste inerenti l’ambiente e la sicurezza.

Infine va segnalato un aspetto che non rientra in questa matrice, ma che ha una rilevanza non secondaria: si tratta delle implicazioni sociali, relative all’occupazione, collegate allo sviluppo delle tecnologie prioritarie. In prima battuta si sarebbe portati a pensare che tecnologie che consentono la realizzazione di macchine più produttive e più automatizzate abbiano come inevitabile conseguenza una diminuzione della manodopera nell’intero comparto dei sistemi di produzione, ma in realtà non è così per due motivi. Una prima ragione risiede nel fatto che il rafforzamento della competitività, atteso dalle tecnologie prioritarie indicate, si riflette anche in una maggior produzione e vendita di macchine, che a sua volta, significa maggiore occupazione: quindi maggiore automazione e miglior tecnologia non significano necessariamente meno addetti. Un secondo motivo, non meno importante del precedente, è legato al pericolo di delocalizzazione dei processi produttivi a basso contenuto tecnologico in paesi a minor costo di manodopera. È una tendenza strisciante ma costante: un esempio tipico sono i processi di saldatura manuale, che migrano massicciamente verso i paesi dell’Europa orientale. Un modo efficace per contrastare questa tendenza sta proprio nella messa a punto di sistemi e macchine in grado di eseguire processi che richiedono addetti con alta professionalità, non presenti in quei paesi, e questo passa necessariamente attraverso lo sviluppo di innovazioni tecnologiche. È quindi evidente che il settore dei sistemi di produzione deve sviluppare innovazione non solo per ragioni di competitività di mercato, ma anche di sostegno dell’occupazione, che significa difesa dei posti esistenti e innalzamento del livello professionale degli addetti.

## 2. TECNOLOGIE PRIORITARIE DI INTERESSE GENERALE

### 2.1 Tecnologie per elevata produttività

#### *Descrizione*

Tra gli aspetti più importanti che caratterizzano la competitività sui mercati internazionali dei sistemi di produzione vi sono il continuo incremento di produttività (richiesto dalla clientela per soddisfare a sua volta la produzione crescente dei manufatti finali), l’elevato livello qualitativo che i prodotti realizzati con queste macchine devono avere, la sempre maggiore attenzione ai costi del bene strumentale stesso.

È quindi necessario, per soddisfare questi requisiti, ripensare continuamente le macchine, sviluppando, sinergicamente con le università e i centri di ricerca industriali, nuove architetture, nuove metodologie di progettazione e nuove tecnologie. Queste azioni devono consentire da un lato un rilevante incremento della produttività delle macchine e, dall’altro lato, la possibilità di cogliere le nuove opportunità che derivano dalla richiesta di manufatti con forti contenuti innovativi e magari realizzati con tecnologie e materiali non convenzionali.

Per quanto riguarda espressamente l’aumento di produttività due fattori di forte innovazione sui quali si concentrano la ricerca e lo sviluppo sono l’alta velocità di taglio o *High Speed Cutting*

(HSC) delle macchine e la riduzione dei tempi di movimentazione degli assi macchina, che si traduce in una diminuzione dei tempi improduttivi nei processi di lavorazione.

L'HSC comporta modifiche importanti e consistenti nel meccanismo di taglio dei materiali metallici e non, con indubbi vantaggi in termini di migliore qualità e maggiore produttività e risparmio. La riduzione dei tempi di movimentazione degli assi macchina permette invece ai centri di lavoro di nuova concezione di essere competitivi, in termini di produttività, con le tradizionali trasferte, pur mantenendo caratteristiche di elevata flessibilità. Questi nuovi centri di lavoro infatti sono dotati di mandrini speciali, con movimentazione degli assi a motori lineari e cinematiche parallele, con periferiche dedicate e sistemi di controllo in grado di supportare nuove tecniche di lavorazione (*circular machining*) e utensili multi-funzione. Queste innovazioni fanno sì che l'era della trasferta multi-mandrino sia a una svolta: i *layout* produttivi dei prossimi anni saranno strutturati a centri di lavoro o a moduli di trasferta mono-mandrino a motori lineari.

Lo sviluppo di macchine con elevate velocità di spostamento e soprattutto elevate accelerazioni comporta la riduzione delle masse in movimento, che non deve però pregiudicare la necessaria rigidità strutturale; questa riduzione è finalizzata alla precisione di posizionamento, che non deve risentire di forze di varia natura, in particolare quelle di inerzia.

Questa tecnologia prioritaria, dato il suo carattere di forte trasversalità, interessa praticamente tutti i settori che afferiscono alle associazioni rappresentate da Federmacchine.

### *Motivazioni per lo sviluppo*

La motivazione di fondo che richiede di sviluppare adeguatamente le tecnologie capaci di aumentare la produttività dei sistemi di produzione risiede nel mantenimento, e possibilmente nel miglioramento, della competitività di questi sistemi sui mercati internazionali. Si è detto nella parte "Mercato e occupazione" quanto i prodotti italiani siano apprezzati e venduti oltre confine, con un sostanzioso contributo positivo sulla bilancia commerciale tecnologica: questi risultati possono essere consolidati e migliorati solamente con azioni che portino ad effettivi incrementi di produttività e flessibilità. In particolare è avvertita nei sistemi di produzione la necessità di introdurre tecnologie dei materiali che utilizzino al massimo le caratteristiche di resistenza e di rigidità, senza la penalizzazione di un eccesso di massa: questa richiesta viene soprattutto dai settori della robotica e delle macchine operatrici (tutte, ma in particolare nelle fresatrici, nelle macchine *laser* di taglio o saldatura e nelle macchine per l'industria del legno), dove l'elevata produttività è un fattore determinante per mantenere o aumentare la competitività.

Per il conseguimento di questi obiettivi è indispensabile svolgere azioni pianificate di ricerca e sviluppo, sia sulla macchina stessa che sui materiali con i quali è costruita; questa ricerca spesso non può essere condotta completamente in azienda, con risorse, umane ed economiche solo interne, ma deve necessariamente avvalersi del contributo di strutture *ad hoc*, dotate di strumenti e attrezzature idonee. Inoltre deve essere compito della ricerca saper trovare, per ogni tipologia di sistema produttivo, il bilanciamento ottimale tra produttività e flessibilità.

I benefici in caso di successo saranno duplici: sul piano economico saranno mantenute le buone posizioni di mercato attuali, mentre, sul piano dell'occupazione, questo mantenimento genererà un incremento del grado di competenza e di cultura specifica nei nuovi occupati.

### *Stato dell'arte nazionale e internazionale*

L'Italia, come valore e qualità del contenuto tecnologico e innovativo dei beni strumentali completi, occupa una posizione di primo piano nel contesto europeo e mondiale, mentre, sul piano della componentistica, è costretta da tempo, e continua a esserlo attualmente, a importare i componenti di maggior valore.



Gli enti di ricerca italiani, nel campo delle tecnologie necessarie per aumentare la produttività delle macchine, sono sotto-dimensionati e la loro collaborazione con il mondo industriale è tuttora carente, nonostante gli sforzi in atto. Si avverte la necessità di una collaborazione più efficace tra aziende ed enti di ricerca, ma si avverte soprattutto, da entrambi i versanti, una certa mancanza di tradizione in tal senso.

Per quanto riguarda la situazione all'estero va detto che, per quanto riguarda la macchina completa, la qualità del prodotto non è molto diversa da quella italiana, mentre sulla componentistica si nota un certo vantaggio rispetto ai prodotti nazionali, situazione che porta, come appena detto, a importare i componenti a maggior tecnologia.

È però nettamente migliore (in particolar modo in Germania) il livello di collaborazione tra enti di ricerca, i quali hanno dimensioni, competenze e peso culturale molto buoni o addirittura eccellenti, e industrie, con ricadute rilevanti e produttive: questo è un elemento su cui riflettere, perché potrebbe, in chiave futura, avvantaggiare notevolmente la concorrenza estera.

### *Tendenze future*

Le tendenze future, riguardanti le attività mirate ad aumentare la produttività delle macchine, vanno essenzialmente in due direzioni.

Un primo aspetto è legato all'utilizzo avanzato delle proprietà dei materiali innovativi, sia in termini di materiale vero e proprio che della sua disposizione spaziale. A questo proposito vi sono alcune interessanti linee di sviluppo:

- i materiali compositi più avanzati, a matrice sia polimerica che metallica, saranno applicati in modo molto più esteso nelle strutture dei sistemi produttivi; attualmente in Italia questi materiali stanno trovando solo sporadica applicazione nel mondo dei beni strumentali;
- un altro campo di forte interesse e potenziale sviluppo riguarda l'impiego di materiali alveolari, delle schiume di alluminio e dei materiali cellulari, utilizzabili per strutture in acciaio, in leghe leggere e miste; parallelamente andranno sviluppate opportune tecniche di collegamento, basate su brasatura, saldatura laser ed incollaggio.

Questi materiali hanno inoltre interessanti proprietà di isolamento termico, che consentono sostanziali riduzioni del flusso termico dalle sorgenti alle strutture, con conseguente incremento della precisione della macchina e/o riduzione dei tempi di andata a regime. Infine questi materiali possiedono interessanti proprietà di isolamento acustico.

Per tutti questi materiali sono da individuare e caratterizzare le interfacce di collegamento tra strutture e strutture o componenti, in maniera da non vanificare, con cedimenti e sollecitazioni localizzate, gli effetti positivi che si ottengono.

- un terzo filone di ricerca riguarda le tecnologie dei cosiddetti materiali "intelligenti", che inglobano filtri di Bragg in fibra ottica, per la misura localizzata di temperature e deformazioni, oppure sensori di varia natura (quali accelerometri, termometri, ecc.). Questo permette, utilizzando le grandezze fisiche misurate, un miglior controllo delle macchine: un esempio è legato alla correzione delle distorsioni dovute alle forze di lavoro, di inerzia o le derivate termiche.

Per ottenere i migliori risultati possibili dall'utilizzo di tutti questi materiali innovativi è necessario applicare a essi, in modo esteso, i metodi FEM (*Modellizzazione ad Elementi Finiti*). Inoltre vanno realizzati campioni significativi di questi materiali e delle loro interfacce di collegamento, campioni che vanno provati sperimentalmente per determinarne le caratteristiche statiche e dinamiche, le quali andranno ottimizzate in funzione anche del notevole effetto di smorzamento conseguibile.



Un secondo aspetto di ricerca futura, soprattutto per le macchine ad asportazione di truciolo, riguarda l'esame e la valutazione, a livello di progetto funzionale e avamprogetto della macchina, mirate all'introduzione di tecnologie combinate, flessibili e multi-processo, che hanno l'obiettivo di ridurre i tempi di lavorazione; una possibile applicazione consiste nella tornitura abbinata a trattamenti superficiali (ad esempio, la tornitura assistita *laser*, resa oggi possibile dalle ridotte dimensioni raggiunte dalle sorgenti *laser* a diodi), alla fresatura e alla finitura. Il concetto della flessibilità multiprocesso è comunque trasversale e presente in varie altre tecnologie prioritarie.

## **2.2 Tecnologie a basso impatto ambientale e alta ergonomia**

### *Descrizione*

L'elevata efficienza delle risorse produttive è alla base dello sviluppo tecnologico e sostenibile di qualsiasi comparto industriale, compreso quindi quello dei sistemi di produzione. In questo contesto di efficienza rientrano anche l'attenzione per tutte le tecnologie e le soluzioni in grado di ridurre o minimizzare l'impatto del ciclo produttivo sull'ambiente, così come l'attenzione per la qualità del posto di lavoro, intesa come criteri di ergonomia e sicurezza (attiva e passiva).

Nei paesi avanzati, che costituiscono ancora attualmente il bacino di sbocco più rilevante per i produttori nazionali di beni strumentali, l'inasprimento delle norme e delle leggi a tutela dell'ambiente è continuo e costante: i limiti delle emissioni in atmosfera, di scarico in acqua, di raccolta e smaltimento controllato dei rifiuti industriali sono più bassi, in alcuni casi anche di alcuni ordini di grandezza, rispetto ai decenni scorsi.

Parallelamente, in un contesto che richiede lo sviluppo di nuovi criteri progettativi è sempre più avvertita la necessità di creare il posto di lavoro in modo da riportare l'uomo al centro del processo produttivo, adattando quest'ultimo all'uomo e non viceversa.

Sono quindi necessari strumenti e metodi di supporto che consentano di orientare l'evoluzione dei sistemi produttivi, nel medio-lungo termine, in modo che, oltre a soddisfare le maggiori richieste di produzione efficiente e flessibile, abbiano un ridotto impatto ambientale e un maggiore risvolto sociale.

A questo proposito, per anticipare il rispetto delle normative emergenti e fornire alle industrie le soluzioni innovative e le necessarie metodologie di supporto, vanno emergendo due principali linee di sviluppo delle tecnologie:

- la prima riguarda sistemi di produzione capaci di eseguire lavorazioni meccaniche efficienti con ridotto impatto ambientale, per avere una riduzione immediata delle emissioni derivanti dalla produzione dei beni di consumo, per il contenimento dei costi di lavorazione e per incrementare la flessibilità;
- la seconda è legata all'ergonomia e alla qualità ambientale del posto di lavoro in fabbrica, esigenza ormai diffusa in tutte le aziende, che richiede la messa a punto di strumenti e dispositivi di ausilio al lavoro manuale.

### *Motivazioni per lo sviluppo*

Le motivazioni di base che portano allo sviluppo di tecnologie per ridurre l'impatto ambientale dei sistemi produttivi e migliorarne l'ergonomia sono principalmente due.

La prima, legata all'impatto ambientale, è prettamente economica: infatti la proposta al mercato di macchine a basso impatto ambientale costituisce una leva competitiva importante nei riguardi dei prodotti dei paesi emergenti, sicuramente meno costosi, ma, allo stato attuale, molto carenti sotto questo profilo. Questo obiettivo tecnologico, quindi, consente di mantenere o migliorare le posizioni di mercato già conquistate nei paesi a economia evoluta.

La seconda, riguardante l'ergonomicità e la sicurezza del posto di lavoro ha, anche alla luce di recenti e gravi casi di infortuni sul lavoro, un risvolto più sociale, che tende giustamente a privilegiare su tutto le condizioni degli operatori, ma che, in ultima analisi, diventa anch'esso economico. Infatti il miglioramento di questi aspetti dei beni strumentali è costantemente richiesto dai mercati evoluti, fonte di fatturato primario per le aziende italiane del settore, e quindi nuovamente diventa un fattore determinante di competitività.

Inoltre va sottolineato che l'offerta di prodotti mirati a un severo rispetto delle norme ambientali e di sicurezza e a un superamento delle abituali linee di sviluppo limitate a prospettive di solo efficienza produttiva potranno far nascere industrie specializzate, che a loro volta potranno generare fatturato e manodopera qualificata.

#### *Stato dell'arte nazionale e internazionale*

Alla luce di quanto appena descritto è quindi evidente che le strutture delle macchine operatrici devono essere progettate e costruite per poter rispondere a seri criteri di efficienza energetica, basso impatto ambientale ed ergonomicità.

Per quanto riguarda la situazione italiana va sottolineato che questi aspetti sono attualmente affrontati non sempre in modo sistematico: non esistono infatti approfonditi studi e linee guida di progettazione, che aiutino lo sviluppo di macchinari ed impianti realmente innovativi da questo punto di vista.

All'estero la situazione inizia a essere diversa, poiché si sta diffondendo il principio dell'efficienza di processo ottenuta tramite l'ottimizzazione ecologica ed ergonomica della produzione.

#### *Tendenze future*

Le tendenze future, in relazione all'impatto ambientale e all'ergonomicità delle macchine, sono improntate ad alcune linee di azione, le quali daranno risultati tangibili nell'arco dei prossimi anni.

Per quanto riguarda l'impatto ambientale, va considerato che nel settore delle lavorazioni per asportazione di truciolo la ricerca industriale mondiale è ormai chiaramente indirizzata verso due obiettivi prioritari: lavorazioni ad alta velocità (tematica già affrontata e descritta nella tecnologia prioritaria precedente) e lavorazioni a secco, o perlomeno a minima quantità di lubrificante. La possibilità di applicare in modo estensivo queste due innovazioni permetterebbe una riduzione, stimata sino al 60%, dei consumi energetici della macchina, oltre a consentire una notevole diminuzione dei costi di lavorazione.

Per conseguire questi obiettivi la ricerca dovrà necessariamente abbracciare, in maniera intersettoriale, il mondo dell'utensileria, delle attrezzature e delle macchine utensili. È infatti indispensabile una progettazione integrata della macchina, dell'utensile, delle attrezzature e dei sistemi accessori; questa progettazione integrata, se applicata efficacemente, avrà una ricaduta diretta sulla riduzione dei consumi energetici, rendendo possibili, nel concreto, processi di lavorazione ecologici ed economicamente sostenibili. Sarà anche necessario disporre di metodi sperimentali (oltre a quelli di analisi teorica) per valutare la reale efficacia della sostituzione delle lavorazioni a maggiore dispendio energetico con tecnologie in grado di offrire le stesse performance, ma con maggiore risparmio energetico.

Un aspetto positivo di queste azioni deriva senza dubbio dalla sinergia proveniente dalla comunanza di obiettivi con altri settori industriali: le metodologie per l'analisi dell'efficienza energetica dei processi produttivi sono infatti utilizzate in molti comparti produttivi e non solo per i beni strumentali. È quindi prevedibile un dialogo e uno scambio reciproco di informazioni e risultati con altri settori manifatturieri.

Nel caso dell'ergonomia di fabbrica è cospicua l'attività in corso per ottemperare le attuali normative e linee guida dettate dalle regole comunitarie, ma rimane ancora molto da fare soprattutto nell'ambito della progettazione del posto di lavoro. Per le linee di produzione, ma più in generale per tutte le postazioni di lavoro in fabbrica, sarà necessario sviluppare criteri di progettazione ergonomica che portino a una situazione di maggior benessere del lavoratore; questa progettazione dovrà includere gli aspetti di oggettivazione del carico di lavoro, dell'affaticamento, della salubrità e qualità dell'aria.

Va sottolineato inoltre che un ambiente di lavoro che consente maggior benessere per il lavoratore può avere ricadute positive anche sul miglioramento delle prestazioni di processo; questo concetto risulta trasversale a numerosi comparti produttivi. Si tratta di un tema di grande attualità, che si sta diffondendo in ambito internazionale, ed è oggetto di numerosi studi e valutazioni.

Le tecniche di oggettivazione delle postazioni di lavoro e di monitoraggio delle attività lavorative da sviluppare, che vanno dalla valutazione posturale, alla valutazione degli sforzi nella movimentazione di carichi sospesi, all'applicazione di forze con azioni ripetute, rappresentano anche la strada migliore per incrementare l'efficienza dei processi produttivi ed elevare lo *standard* qualitativo del prodotto uscente.

In parallelo a questo aspetto di primaria importanza, dovranno essere considerate le condizioni del microclima industriale in prossimità della macchina operatrice: un tipico esempio è costituito dalle postazioni di saldatura, nelle quali il microclima è affetto da fumi e, a volte, da irraggiamento. Ma vi sono molti casi di lavorazioni, con microclima di bassa qualità e potenzialmente dannoso per l'operatore, sui quali l'attività di ricerca futura dovrà concentrarsi in modo primario.

## 2.3 Robotica

### *Descrizione*

La robotica è il settore tecnico-scientifico che, mediante lo studio dei comportamenti degli esseri intelligenti, cerca di sviluppare metodologie che permettano alle macchine, dotate di opportuni sensori atti a percepire l'ambiente circostante e a interagire con esso, di eseguire dei compiti specifici. È una disciplina relativamente nuova, generata dall'obiettivo di costruire strumenti che possano liberare l'uomo da compiti troppo faticosi, noiosi o pericolosi.

Anche se la robotica è una branca prettamente ingegneristica, in essa confluiscono molte discipline tecnico-scientifiche, quali, ad esempio, l'automazione, la meccanica, l'elettronica, l'informatica, la fisica. Questo si traduce in una sua ampia e trasversale diffusione, che non si limita alle applicazioni industriali, anche se queste ultime sono la parte più importante, ma ha notevoli risvolti in settori quali la medicina, la domotica, il restauro, ecc.

Il fatto di sollevare l'essere umano da tutta una serie di operazioni ha però dato luogo anche delle ripercussioni inaspettate, perché la robotica, oltre a evitare alle persone compiti gravosi o ripetitivi, viene anche vista, perlomeno in alcune situazioni dove l'abilità e l'intelligenza umana vengono ancora considerate insostituibili, come un fattore in grado di togliere visibilità alla persona, sminuendone le sue capacità.

Come già accennato, l'utilizzo consistente della robotica è avvenuto soprattutto in quei settori, principalmente industriali, ma non solo, dove l'operatore umano è soggetto a condizioni di lavoro faticose (mansioni dell'industria pesante), pericolose (ambiente minerario o altri ambienti ostili) o ripetitive (catena di montaggio industriale). Ma, oltre a rendere il lavoro umano più gradevole, la robotica ha indubbiamente generato un consistente aumento della produttività manifatturiera, contribuendo fortemente alle produzioni di largo consumo.

Ha inoltre aumentato, in alcuni casi in misura significativa, le prestazioni dei prodotti finali,

grazie alla maggior precisione, al maggior controllo e alla diminuzione degli errori nell'esecuzione delle varie operazioni di fabbricazione che l'uso dei robot consente.

Una delle caratteristiche più importanti su cui si basa il successo e la larga diffusione della robotica è senz'altro l'intelligenza a bordo macchina, cioè tutta la possibile sensoristica, meccanica, ottica, termica, ecc., in grado di rendere il robot capace di eseguire operazioni anche complesse analizzando la realtà circostante e interagendo in tempo reale (si pensi, ad esempio, alle problematiche di controllo di prodotto o di processo).

Infine una interazione non secondaria della robotica è quella relativa all'utilizzo di materiali nuovi e intelligenti, che possono rendere i robot più resistenti, più leggeri e veloci, più performanti: in questa ottica sviluppi importanti sono attesi dall'applicazione delle nanotecnologie alla robotica.

### *Motivazioni per lo sviluppo*

Una delle motivazioni fondamentali per una attività di ulteriore sviluppo della robotica riguarda la richiesta, pressante in moltissimi comparti industriali, della diminuzione del costo dei manufatti finali, richiesta che può essere soddisfatta proprio mediante l'utilizzo massiccio di robot sempre più intelligenti e in grado di eseguire operazioni sempre più complesse. Questo è vero soprattutto nelle produzioni di largo consumo, che non possono unicamente fare leva sull'elevata qualità, ma devono necessariamente offrire prodotti a un costo accessibile alla gran parte dei consumatori.

In parallelo vi è poi anche la richiesta di prodotti con prestazioni e qualità sempre migliori, che possono essere assicurate solo da macchine dotate di elevata precisione operativa e di intelligenza a bordo della macchina stessa.

Infine anche per la robotica vale, ancora più che per altre tecnologie prioritarie, il concetto di contribuire a frenare la delocalizzazione produttiva verso i paesi emergenti: è chiaro che produzioni evolute e di altissima qualità, come è appunto la costruzione di robot sempre più sofisticati e intelligenti, possono essere eseguite solo in un contesto di elevata professionalità, attualmente carente in quei paesi. Lo sviluppo della robotica in ambito nazionale può quindi contribuire a mantenere sul nostro territorio una produzione importante, che dà lavoro ad un consistente numero di persone altamente qualificate.

### *Stato dell'arte nazionale e internazionale*

A livello nazionale vi sono poche aziende di robotica medie o grandi e comunque la loro dimensione è minore rispetto alle loro analoghe a livello europeo o mondiale; inoltre, al loro interno, la parte prettamente dedicata alla robotica vera e propria è minoritaria. Vi sono invece molte aziende di piccole dimensioni, e in questo la robotica non si differenzia dal panorama medio italiano.

Si può affermare che, a livello industriale, in Italia vi è una buona situazione per quanto riguarda le macchine di nicchia, mentre lo stesso non si può dire per le macchine di grande diffusione. Va però sottolineato un punto di forza relativo alle prime: sono quelle più suscettibili di evoluzione tecnica e dove il valore aggiunto è maggiore.

A livello internazionale una delle nazioni *leader* è il Giappone, dove la robotica ha una notevole tradizione, che però è finalizzata soprattutto al mercato interno e molto meno all'*export*. L'altro paese di riferimento è la Germania, dove invece è preponderante la quota di robot esportata in tutto il mondo.

Per quanto riguarda invece il settore della ricerca, va detto che l'Italia ha alcuni punti di eccellenza, soprattutto nel CNR e in alcuni atenei, che rappresentano però situazioni abbastanza isolate

in un panorama generale non eccelso. La situazione migliore si ha, nuovamente, in Giappone e in Germania; vi sono poi gli USA, dove si hanno forse le punte di eccellenza e di sviluppo migliori in assoluto, ma che rimangono confinate principalmente al settore militare, notoriamente chiuso e impermeabile verso l'esterno, mentre il settore industriale non eccelle ed è costretto ad importare le macchine più evolute.

### *Tendenze future*

Sono molteplici gli studi in corso, a vari livelli di sperimentazione e di complessità, sulla robotica. Questi studi sono la diretta conseguenza delle richieste che provengono dai diversi settori dove la robotica viene utilizzata.

Una tendenza futura tra le più importanti, già attualmente in atto, ma sulla quale si sta lavorando intensamente, riguarda la miniaturizzazione dei robot. Il concetto che sta alla base di questo sviluppo è che per produrre componenti piccoli, o per eseguire operazioni su dimensioni piccole, è necessario avere un robot piccolo: questo è vero non solo per il mondo industriale, che richiede in moltissimi campi una riduzione delle dimensioni degli oggetti, ma anche, ad esempio, in medicina, sia a livello chirurgico che diagnostico. In questa corsa alla miniaturizzazione c'è una forte interazione con i laboratori di meccanica avanzata.

Un altro aspetto di sviluppo è relativo all'intelligenza a bordo dei robot, che dovrà mettere in grado questi ultimi di eseguire lavorazioni più precise (in questo senso la meccanica è oramai al limite) e di permettere un ulteriore aumento della produttività industriale. Intelligenza significa dotare i robot dei sensori più sofisticati, a livello meccanico, ottico, termico, ecc. per potere eseguire operazioni sempre più complesse. È evidente che questo aspetto di sviluppo implica una forte sinergia con l'optoelettronica.

Infine non va dimenticato l'utilizzo dei nuovi materiali per la costruzione di futuri robot più leggeri, resistenti, duraturi. I nuovi materiali consentiranno migliori prestazioni ai robot stessi, con conseguente migliore qualità dei manufatti prodotti e con applicazioni, industriali e non, oggi non possibili. Particolari e importanti ricadute in questa direzione sono ipotizzabili dai nanomateriali, che potrebbero realmente consentire un salto qualitativo notevole nella costruzione di robot con caratteristiche innovative. Naturalmente tutto questo significa lavorare a stretto contatto con i centri di ricerca della fisica e della chimica e dell'ingegneria dei materiali.

## **2.4 Sistemi per taglio e giunzione**

### *Descrizione*

Questi sistemi costituiscono una parte rilevante dei beni strumentali, perché i processi e le tecnologie di taglio e giunzione sono molteplici e vi è di conseguenza una notevole varietà di macchine in grado di eseguirli a livello produttivo.

Le azioni di ricerca e sviluppo in corso in questo campo sono numerose e riguardano molte delle macchine che eseguono questi processi. Una considerazione di base è relativa al fatto che, benché la conoscenza teorica e quella sperimentale-applicativa accumulate sino a oggi siano imponenti (soprattutto nei processi ad asportazione di truciolo), vi sono significativi tentativi in corso, soprattutto all'estero, tendenti alla loro razionalizzazione mediante modellizzazione fisico-matematica e successiva convalida mediante verifica sperimentale. A livello della macchina che esegue il processo, questi studi hanno conseguenze e ricadute essenzialmente sulle caratteristiche degli utensili, in particolare quelli di forma, a causa del loro costo elevato e della bassa produttività, e sul grado di finitura ottenibile dopo il processo.

Criticità, sempre dovute a bassa produttività e costo elevato, si riscontrano nei sistemi per la



fresatura, la levigatura e la finitura superficiale, mentre vi è un forte interesse nelle macchine per la lavorazione delle lamiere metalliche e in particolare per i processi di taglio e saldatura, nei quali il valore aggiunto non è dato dal materiale in sé, ma dal processo di trasformazione.

Per quanto riguarda l'asportazione di truciolo c'è un forte interesse per approfondire le applicazioni del *dry cutting* con lubrificazione minimale, perché da esso ci si attendono indubbi vantaggi di tipo ecologico e probabili vantaggi economici, legati all'incremento di produttività e alla semplificazione delle macchine.

Nei sistemi *water jet* per il taglio (anche tridimensionale) di materiali metallici, non metallici, compositi e alveolari, sono richieste applicazioni pilota che consentano di delinearne al meglio le possibili applicazioni in funzione delle sue peculiarità.

Nel campo dei processi termici di taglio e saldatura accanto a quelli più tradizionali, come l'ossitaglio e l'arco elettrico, ve ne sono altri, come il plasma (in particolare quello innovativo ad alta densità), il *laser* e il fascio elettronico con caratteristiche fortemente innovative (soprattutto gli ultimi due in saldatura); ma tutti sono accomunati dal fatto di avere molte problematiche ancora insolte sulle quali è necessario migliorare le conoscenze.

Come è già stato accennato le problematiche di taglio e giunzione, e quindi delle relative macchine, non sono solo o soprattutto relative ai materiali metallici, ma interessano anche le lavorazioni di materiali quali le plastiche, i compositi, il legno, le macchine dell'industria tessile e, in minor misura, quelle per la carta.

Per quanto riguarda la giunzione va inoltre sottolineato che non vi sono solo i processi e le macchine per giunzione fisica (fusione, brasatura, ecc), ma anche quelle per giunzione mediante incollaggio, molto importanti nell'industria del legno ma anche in altri settori, e quelle per giunzione meccanica (*clinching*, rivettatura, ecc), che rivestono un notevole ruolo nell'industria meccanica in generale.

Come si vede da questa descrizione il panorama delle problematiche esistenti e dei miglioramenti necessari è quanto mai variegato; ne consegue una forte richiesta di azioni di ricerca e sviluppo a livello industriale.

### *Motivazioni per lo sviluppo*

Le motivazioni sono molteplici e sono una diretta conseguenza delle esigenze descritte nel punto precedente.

Un aspetto fondamentale è quello economico: infatti lo sviluppo di tecniche di simulazione dei processi di taglio e giunzione e la loro validazione sperimentale può portare verso un loro utilizzo ottimale (obiettivo al momento distante dall'essere raggiunto), arrivando a ottenere componenti di costo minore e/o di qualità migliore.

Va inoltre sottolineato, sempre a proposito dell'aspetto economico, il fatto che alcuni processi, da considerarsi come più assestati e maturi, come l'asportazione di truciolo o la saldatura ad arco, si stanno spostando verso i paesi in via di industrializzazione, con ritmo sempre più accelerato. Solo l'adozione di tecniche raffinate, in grado di portare un tangibile incremento delle prestazioni offerte, può invertire o rallentare la tendenza a questa delocalizzazione, che ha già oggi pesanti risvolti economici e occupazionali.

Un'altra motivazione è legata al fatto che alcuni processi, potenzialmente più economici, più produttivi o in grado di dare una qualità migliore, continuano a rimanere sottoutilizzati, rispetto alle loro potenzialità, per l'attuale non dominabilità causata da una conoscenza incompleta. La loro adozione potrebbe essere determinante per la riduzione dei costi produttivi, unitamente al miglioramento della qualità dei prodotti.

Per quel che concerne i sistemi di saldatura *laser*, sia di materiali metallici, sia, più recente-



mente, di materie plastiche, le motivazioni per lo sviluppo derivano dalla sempre maggiore richiesta industriale di messa a punto di nuovi prodotti con caratteristiche tecnologiche non ottenibili con tecniche tradizionali di saldatura.

Gli sviluppi della conoscenza nei processi esaminati possono dar luogo, nel medio-lungo periodo, ad applicazioni industriali di buon livello tecnologico, con la possibile affermazione di sistemi produttivi di nuova generazione e con un significativo incremento del fatturato e dell'occupazione di elevato livello.

#### *Stato dell'arte nazionale e internazionale*

In Italia il miglioramento della conoscenza di base dei processi di taglio e giunzione e delle relative macchine di produzione continua a essere perseguito in maniera sporadica rispetto alle potenzialità possibili, generando una situazione di diffusa carenza. Questo è essenzialmente dovuto al fatto che gli interessi aziendali rimangono, per vari motivi contingenti, molto legati all'immediato, mentre le tematiche in oggetto richiedono studi e sperimentazioni su un periodo medio-lungo. Tuttavia esiste un patrimonio di *know how* non indifferente, detenuto da centri di ricerca pubblici e privati, che potrebbe dare luogo, se applicato e trasferito diffusamente e concretamente al mondo industriale, a risultati rilevanti.

Per quanto riguarda la situazione all'estero, da quanto appare nella letteratura tecnico-scientifica e dalle relative realizzazioni, lo studio dei processi è piuttosto attivo nei paesi più industrializzati, grazie a una diversa concezione della ricerca applicativa e tecnologica a medio-lungo periodo. In particolare in Germania vengono molto studiati i processi di taglio ad alta velocità, il *dry cutting* e il taglio di materiali non-metallici con sorgenti non convenzionali come il *water jet*, mentre i processi di saldatura ibrida, cioè con macchine che combinano simultaneamente due diverse tecnologie (ad esempio, *laser* e arco), iniziano a essere applicati in modo significativo in campo aeronautico, che da sempre fa da apripista all'introduzione delle innovazioni.

Un commento a parte merita la giunzione di materie plastiche con tecnologia *laser*, dove in Italia, a fronte di una domanda crescente, vi sono pochi laboratori che stanno dedicando risorse a questa tematica. All'estero, soprattutto in Germania e Svizzera, c'è una notevole attività sperimentale; inoltre vi sono costruttori di sistemi laser dedicati e si sta diffondendo la cultura di progettare *ad hoc* componenti plastici innovativi saldati laser, che sono spesso oggetto di brevetto.

#### *Tendenze future*

Gli sviluppi in corso sono rivolti in diverse direzioni, sia teoriche che sperimentali. A livello teorico continuerà e aumenterà, per tutti i tipi di processi, lo studio della loro fenomenologia, soprattutto usando la modellistica fisico-matematico-numerica e la validazione sperimentale dei modelli, con l'obiettivo di migliorarne la conoscenza; i risultati di questi sforzi avranno ricadute positive anche sui relativi sistemi per la messa in produzione di questi processi.

A livello sperimentale, sui sistemi di *dry cutting* con lubrificazione minimale è necessaria un'attività di studio e ottimizzazione, in particolare per la fresatura e per la finitura superficiale mediante abrasivi. Per quanto riguarda invece i sistemi di taglio di materiali metallici e non, mediante tecnologie *laser*, plasma e *water-jet*, saranno eseguite attività di approfondimento, soprattutto in relazione ai processi fluidodinamici di asportazione del fuso o della materia disgregata, in relazione agli specifici meccanismi di asportazione termica o abrasiva.

Nel settore delle macchine per saldatura molta attenzione sarà riservata alle problematiche legate, in varia misura, alla non-conoscenza dell'evoluzione termica e metallurgica, la quale determina effetti indesiderati come decadimento delle proprietà di resistenza, tensioni interne residue e variazioni di geometria del pezzo, a causa dei ritiri e delle deformazioni indotte.

Una linea di azione particolare riguarderà le applicazioni cosiddette ibride, che combinano insieme i vantaggi di due tecnologie di saldatura e che vanno sempre più affermandosi.

Una delle applicazioni più emblematiche riguarda, specialmente per la saldatura continua di componentistica in lega leggera, la combinazione della tecnologia *laser* con tecniche più convenzionali, come la saldatura ad arco. La prima è caratterizzata da elevate velocità di processo, produttività, qualità, ripetibilità, flessibilità e riconvertibilità degli impianti, nonché da ridotte distorsioni. La seconda, in particolare il processo MIG/MAG, semplifica l'adduzione di materiale, ma non permette velocità di lavorazioni elevate e comparabili a quelle offerte dal *laser*, dà luogo a una zona di fusione di notevole larghezza con relativa bassa penetrazione e conseguenti elevate distorsioni e, infine, non è sempre facilmente applicabile alle grandi produzioni di serie.

Grazie ai notevoli progressi nel campo dei controlli e nella qualità delle sorgenti, sia *laser* sia ad arco, è già oggi possibile accoppiare con una certa efficacia i due processi su macchine ibride.

L'obiettivo è duplice: da una parte si ottiene un effetto sinergico, in grado di compensare le reciproche carenze di processo, dall'altra si ha un aumento del grado di libertà dell'intero processo di saldatura.

Tuttavia permangono una serie di problematiche che richiedono una notevole attività sperimentale per la loro risoluzione. Per quanto riguarda l'accoppiamento delle sorgenti *laser* a stato solido con le sorgenti MIG è necessaria sia una ottimizzazione di queste ultime, con l'obiettivo di adattarne la dinamica del ciclo di corrente alle varie leghe da saldare (leggere e non), sia una messa a punto di *software* dedicati a integrare in maniera ottimale le due tecniche. Invece per l'accoppiamento delle sorgenti *laser* CO<sub>2</sub> con il MIG, occorre lavorare sull'integrazione delle teste ottiche *laser*, sul *software* (che dovrà essere adattato ai vari tipi di acciaio da saldare nel processo integrato) e sulla validazione dei sistemi ibridi.

Anche nel caso dell'accoppiamento *laser*-TIG è necessaria un'attività di studio e validazione dei sistemi che integrano le due tecniche, attività che dovrà affrontare alcune problematiche relative alla messa a punto di teste opportune e ai cicli di corrente di ciascuna tecnologia.

Infine va fatto un accenno ai sistemi di saldatura *laser* di materie plastiche. È un processo che inizia a trovare reali applicazioni industriali e che presenta caratteristiche di elevata precisione, bassa invasività termica nei confronti del componente, facile riconfigurabilità del sistema di saldatura e possibilità di saldare materiali difficilmente saldabili con le tradizionali tecnologie di giunzione termica. Occorre però, per massimizzarne le potenzialità, un notevole lavoro sperimentale per comprendere appieno la fenomenologia del processo, specialmente in relazione alle diverse geometrie della giunzione, che si riflettono in una diversa conformazione dei sistemi di serraggio e delle modalità di saldatura. Inoltre queste diverse geometrie richiederanno a loro volta l'adattamento della sensoristica di controllo del processo. Come ultimo punto va citata la necessità di sviluppare sistemi specifici, al momento non disponibili, per l'applicazione di pigmenti nel caso di saldatura di materiali trasparenti.

## 2.5 Sistemi per formatura

### *Descrizione*

La richiesta di una sempre maggiore personalizzazione dei prodotti, unita alle possibilità di finalizzarli per i differenti mercati e di rinnovare la gamma con maggiore frequenza, richiede un rinnovamento sia nel modo di concepire e progettare il prodotto, sia nelle tecnologie di fabbricazione, sia nei sistemi di produzione.

Questa richiesta è in piena sintonia con la tendenza allo sviluppo di tecnologie di messa in forma dei materiali per componenti sempre più vicini alla forma finale, caratterizzate da flessi-

bilità e investimenti ridotti. Questa tendenza rappresenta una percentuale oramai consistente del fatturato del settore e delle attrezzature connesse, erodendo porzioni significative alle tecnologie tradizionali.

Una richiesta comune e diffusa nelle tecnologie di formatura riguarda la semplificazione delle attrezzature non specifiche, il cui elevato investimento spesso costituisce un vincolo all'applicazione di nuove tecnologie.

Si stanno riscoprendo tecnologie note, ma sinora poco utilizzate, come l'idroformatura, che consiste nell'utilizzare la pressione di un fluido per deformare tubi o lamiere. La sua applicazione pratica, che inizia a diventare conveniente, è ostacolata dalla limitata esperienza diretta, dalla carenza di *know how* di processo e dalla mancanza di linee guida per una progettazione *process oriented* dei prodotti.

L'idroformatura di lamiere, confrontata allo stampaggio di lamiera convenzionale, consente una riduzione fino al 50% degli investimenti per gli stampi, con una più elevata qualità superficiale e dimensionale. Inoltre consente di utilizzare in modo flessibile le stesse attrezzature per lamiere con diversi spessori e materiali. L'elevato tempo ciclo fa oggi supporre un utilizzo riservato alle produzioni di nicchia; ma, a medio termine, il campo di applicazione dovrebbe ampliarsi, insieme con lo sviluppo di nuovi sistemi di controllo del processo.

L'idroformatura di bi-lamiere offre anch'essa una potenziale riduzione degli investimenti rispetto allo stampaggio convenzionale, con un tempo ciclo inferiore rispetto all'idroformatura di lamiere singole; questa variante di processo si caratterizza per un grado di flessibilità ancora più elevato, con la possibilità di trattare contemporaneamente lamiere di spessori e materiali dissimili. Invece l'idroformatura di tubi consente di ottenere prodotti di forma complessa, altrimenti non ottenibili con tecnologie convenzionali. A livello di scomposizione sono possibili grosse semplificazioni (nei componenti autoveicolistici un unico tubo idroformato può sostituire diversi componenti assemblati), che si traducono in riduzione degli investimenti per gli stampi, riduzione del numero delle operazioni di assemblaggio e riduzione del tempo ciclo complessivo; il tutto abbinato a elevata qualità superficiale e dimensionale. I potenziali vantaggi si hanno in particolare sui bassi volumi produttivi, grazie alla riduzione di investimenti specifici.

Un'altra area nel settore della formatura riguarda i sistemi di piegatura flessibili e di profilatura, dove vengono utilizzati utensili *standard*, variamente componibili, per piegare sviluppi di lamiera di varia forma iniziale. Questa tecnologia consente di passare da una produzione a un'altra con bassi investimenti specifici. La profilatura a rulli è un'operazione di piegatura continua nella quale un nastro di lamiera, o anche un foglio, viene deformato a freddo da una serie di rulli coniugati, disposti in *tandem*, fino a ottenere la sezione desiderata. Questo procedimento è ideale per la produzione di profilati di grande lunghezza (teoricamente infinita) o in grande quantità, abbattendo notevolmente tempi e costi di lavorazione. Integrando nel ciclo di fabbricazione operazioni di punzonatura o altre lavorazioni meccaniche si possono ottenere elementi strutturali e modulari di facile assemblaggio. Infine i processi di lavorazione *Near Net Shape* permettono di ottenere, come si desume dal loro nome, la forma e le dimensioni del pezzo finito con il minimo delle lavorazioni. Tali processi sono principalmente basati su tecnologie di deformazione e stanno già avendo un significativo impatto sulle applicazioni nel settore automobilistico (specialmente quelle legate alla produzione di parti per motori a scoppio e trasmissioni, nonché in sistemi di sterzo, sospensioni e elementi strutturali del veicolo) e aeronautico; ma nel prossimo futuro essi consentiranno di produrre una vasta gamma di prodotti industriali senza ricorrere a operazioni di asportazione di truciolo nel processo di sgrossatura, e riducendo al minimo necessario la finitura per mezzo di utensili. I vantaggi principali del loro utilizzo sono una riduzione dei costi e delle fasi necessarie per lo svolgimento del processo e un aumento della produttività e della qualità dei prodotti realiz-

zati. Queste tecnologie saranno in grado di modificare il profilo di domanda di macchine utensili, soprattutto nel campo automobilistico, spostandolo verso il mondo della deformazione.

#### *Motivazioni per lo sviluppo*

Lo sviluppo tecnologico associato a tecniche di simulazione dei vari processi di formatura e alla loro validazione sperimentale, può portare certamente a un loro migliore utilizzo industriale, consentendo di fabbricare componenti di costo minore e di qualità migliore.

Inoltre, come nella tecnologia precedente, va sottolineato che alcuni di questi processi si stanno spostando verso i paesi in via di industrializzazione, che sfruttano essenzialmente il vantaggio derivante dal basso costo della manodopera. Questa tendenza, che ha ripercussioni negative su fatturato e occupazione, può essere arrestata solo con azioni di miglioramento tecnologico.

Per quanto riguarda le metodologie *Near Net Shape* il loro sviluppo e la loro integrazione con macchine utensili, per lavorazioni di asportazione ad alta efficienza e alta precisione, permetterebbe un sensibile accorciamento della catena produttiva di numerosi componenti meccanici, soprattutto nel settore automobilistico. Questo garantirebbe un aumento di competitività del nostro sistema manifatturiero e permetterebbe inoltre di ridurre il consumo di materia prima e di energia necessarie per le lavorazioni. A questo riguardo è notevole il potenziale legato alla riduzione dell'impatto ambientale di queste lavorazioni, soprattutto per il fatto che nella catena di produzione che le ingloba sarebbe semplice introdurre anche altre tecnologie innovative e a basso impatto ambientale, come ad esempio, la tempra per rettifica.

#### *Stato dell'arte nazionale ed internazionale*

A livello nazionale, nel campo dell'idroformatura non c'è una situazione di dominanza o di livello confrontabile con la situazione europea e americana. I costruttori italiani di presse non dispongono di tali prodotti a catalogo, mentre tra i centri di ricerca vi sono solamente studi su casi sporadici e su problematiche limitate. Tra le tecnologie *Near Net Shape*, solo quelle legate alla forgiatura di precisione e alla sinterizzazione (metallurgia delle polveri) vedono, nel nostro paese, una attività di ricerca degna di nota. Le altre tecnologie che ricadono in questa classe di lavorazioni non sono ancora oggetto, in Italia, di un approfondito lavoro di ricerca e sviluppo che abbia l'obiettivo di mettere a punto processi di pronta applicazione industriale.

Ben diversa è la situazione all'estero. Per quanto riguarda l'idroformatura, al momento la posizione dominante nello sviluppo della tecnologia è mantenuta dall'industria tedesca, dove viene esercitata una posizione di *leadership* nel campo dell'idroformatura di sezioni chiuse. Una notevole spinta si sta registrando inoltre nel settore dell'idroformatura da lamiera, dove la maggior complessità delle geometrie e i vincoli di costo presenti nelle produzioni di nicchia, sempre più interessanti nel settore auto, si scontrano con la proposta di soluzioni produttive complesse e pesanti anche dal punto di vista finanziario. In questo paese sono presenti più costruttori, di grandi dimensioni, di impianti di idroformatura. Sempre in Germania, anche le tecnologie *Near Net Shape* sono oggetto di numerose attività di ricerca e sviluppo, orientate verso la messa a punto e la loro introduzione nell'industria, nonché verso lo sviluppo di nuove metodologie di lavorazione. Questo circolo virtuoso è alimentato continuamente dalla fattiva cooperazione tra le industrie di macchine utensili, gli utilizzatori (specie quelli del settore automobilistico) e alcuni istituti di ricerca legati al *Fraunhofer*.

#### *Tendenze future*

Una necessità sentita a livello generale in tutto il settore dei sistemi per formatura, che costituirà certamente una linea di tendenza, consiste nel progettare macchine il più possibile modulari,

scomponendone le funzioni in modo da riconfigurare e integrare al meglio attrezzature sottoutilizzate.

Gli obiettivi sono: riduzione dei costi di produzione, minimizzazione dei tempi per l'avvio di nuove produzioni, possibilità di gestione di *mix* produttivi molto variabili facilitando la saturazione delle linee.

La validazione e l'utilizzo di queste nuove metodologie progettuali consentiranno di ottenere il massimo beneficio dalle tecnologie descritte in precedenza. Particolarmente rilevanti in questo contesto saranno le seguenti linee di sviluppo:

- integrazione tra le attività CAD-CAM-CAE-CAPE, con la simulazione degli aspetti logistici e l'applicazione di tecniche di realtà virtuale, anche immersiva;
- sviluppo di strumenti e metodologie per la valutazione del costo di fabbricazione e assemblaggio di componenti da produrre con le tecnologie selezionate;
- sviluppo di metodologie di progettazione *process oriented* per ottenere il massimo beneficio di prestazione da una data soluzione tecnologica.

A livello di idroformatura si potrebbe aprire uno scenario di progresso interessante per l'industria italiana, a patto che si inneschi una concreta collaborazione tra mondo della ricerca e aziende, nello sviluppo e nella realizzazione di sistemi flessibili, sia per consentire alla stessa macchina di cambiare rapidamente produzione, sia per estenderne il campo di applicazione verso tutte le soluzioni potenzialmente convenienti. Questo può essere ottenuto attraverso una semplificazione delle attrezzature che, attraverso lo sviluppo di sistemi dedicati, consentano il recupero di presse esistenti, sviluppando cuscini e stampi "intelligenti" e riconfigurabili attraverso l'utilizzo di sistemi di automazione e controllo opportuni.

Inoltre l'integrazione delle attrezzature con i sistemi di taglio a valle (ad esempio, *laser*), potrà realmente consentire una ulteriore diffusione della tecnologia, in particolare verso l'idroformatura per lamierino sottile, in cui i parametri relativi ai costi e ai tempi ciclo sono particolarmente critici.

Per quanto riguarda invece i sistemi di piegatura flessibili e di profilatura, nel settore degli stampi sono prevedibili due linee di ricerca. La prima riguarda lo sviluppo di soluzioni a basso costo, per diminuire l'impatto dei costi di investimento, sia nel caso delle piccole serie di produzione che nelle fasi di prototipazione; questo sarà ottenuto attraverso l'utilizzo di matrici povere (cemento, leghe basso-fondenti ecc.) eventualmente rivestite. La seconda concerne il miglioramento delle metodologie e delle conoscenze per lo stampaggio di materiali alto-resistenziali, che pongono problemi nuovi e molto impegnativi relativi alla durata e alla necessità di lubrificazione. In questo settore tutti i benefici delle nuove tecnologie automatizzate di taglio e dei materiali per gli utensili possono provocare evoluzioni interessanti. Lo sforzo di ricerca e sviluppo dovrà quindi considerare con estrema attenzione gli stampi, sia per formatura a caldo che a freddo.

Le tecnologie di prototipazione, di *rapid manufacturing* e di attrezzaggio rapido dovranno essere sviluppate sia nel caso delle attrezzature (ad esempio, sinterizzazione *laser*), che dei materiali costituenti (resine e polveri).

I trattamenti superficiali, tra cui i rivestimenti, degli stampi per deformazione sia a caldo che a freddo, dovranno avere l'obiettivo di rendere sempre minore l'impiego di lubrificante, sia per le problematiche di impatto ambientale, sia per l'impatto economico sui cicli di fabbricazione.

Infine le tecnologie *Near Net Shape*, opportunamente supportate da attività di ricerca e da *tool* informatici atti ad assistere gli utilizzatori, saranno in grado di modificare il profilo di domanda (specie quello proveniente dal settore automobilistico) di macchine utensili, spostandolo verso il mondo della deformazione.



## 2.6 Sistemi per trattamento superficiale

### *Descrizione*

Le tecnologie e, di conseguenza, i sistemi produttivi relativi alle problematiche di trattamento e modifica delle proprietà superficiali sono veramente molteplici; questo è infatti uno dei settori caratterizzato da una grande varietà di applicazioni, che ricadono trasversalmente sui diversi settori dell'industria manifatturiera. Basti pensare alle applicazioni di tempra superficiale, di rivestimento, sia con film sottile che spesso, alle modifiche più disparate di alcune proprietà della superficie, come la variazione della rugosità, dell'indice di rifrazione, della modifica della composizione chimica dei primi strati di materiale, ecc. L'importanza dei sistemi di trattamento superficiale non è limitata al settore meccanico, ma ha forti e crescenti applicazioni nel campo tessile, cartario e ceramico.

Nel settore dei trattamenti superficiali vi è sempre stato, e continua tuttora, un notevole sviluppo tecnologico, dovuto proprio alla diffusione appena menzionata: gli utilizzatori chiedono pressoché continuamente nuove implementazioni tecnologiche, che si riflettono in modifiche e miglioramenti dei sistemi produttivi. Inoltre nascono con una certa frequenza nuove tipologie di macchine, in grado di applicare i nuovi processi tecnologici messi a punto nei laboratori: emblematico, a questo proposito, è il campo delle applicazioni delle nanotecnologie, che richiedono sia modifiche sostanziali dei sistemi esistenti, sia spesso sistemi produttivi concettualmente nuovi.

Un altro elemento di stimolo e guida all'innovazione è la richiesta di sistemi in grado di eseguire i processi industriali di trattamento superficiale con un impatto ambientale tendente a zero. Ad esempio, nel campo dei trattamenti galvanici questa tendenza è motivata non solo dalle normative ambientali sempre più stringenti, ma anche dalla richiesta del cliente stesso, sempre più attento, nei mercati evoluti, a un prodotto che non danneggi l'ambiente.

Inoltre sono in forte sviluppo i sistemi di tipo ibrido, che combinano cioè due diverse tecnologie di trattamento superficiale, sfruttandone gli elementi di sinergia e complementarità. È un concetto non esclusivo di questo settore (si veda quanto già detto nel paragrafo relativo ai sistemi di giunzione), ma che trova qui la sua maggior applicazione.

Su tutte queste considerazioni si innestano poi le richieste di riduzione di costo, sia come sistema in sé, sia come dispositivo in grado di eseguire processi più economici, senza per questo penalizzarne la qualità e la affidabilità.

### *Motivazioni per lo sviluppo*

Le motivazioni che giustificano un impiego di risorse dedicate allo sviluppo dei sistemi per trattamento superficiale sono essenzialmente due.

Il primo è di ordine economico ed è comune a varie altre tecnologie prioritarie: si tratta cioè di evitare che si creino le condizioni che portano a delocalizzare le attività in paesi a minor sviluppo tecnologico, con perdita di fatturato e di posti di lavoro. Questo pericolo può essere contrastato con azioni di sviluppo, sia di processo, sia sistemistico, che riducano per quanto possibile la dipendenza dai costruttori esteri, avviando o rafforzando in Italia quei settori di nicchia di costruzione di sistemi o sottosistemi di trattamento. Questo avrebbe ripercussioni positive anche nei centri di applicazione del servizio di trattamento, troppo spesso in mano ai grossi costruttori esteri di impianti.

Il secondo motivo è prettamente ambientale. Alcune applicazioni di trattamento superficiale (i processi galvanici in primo luogo, ma non soltanto questi) sono percepite come fonte di inquinamento dell'aria e dell'acqua; benché molto sia stato fatto e si stia facendo per ridurre questo impatto, c'è ancora spazio per ulteriori e incisive azioni in questo senso. Questo si riallaccia anche al



punto precedente: infatti, per trattenere nel nostro paese molte applicazioni di trattamento superficiale, è fondamentale che, in presenza di vincoli ambientali sempre più stringenti, si favoriscano quegli sviluppi tecnologici che consentano di minimizzare l'impatto sull'ambiente, altrimenti, se le lavorazioni rimangono troppo inquinanti, vengono semplicemente spostate in paesi che non hanno la nostra stessa sensibilità.

### *Stato dell'arte nazionale e internazionale*

Il settore dei trattamenti superficiali ha una buona diffusione in Italia, con un notevole numero di addetti. Questa diffusione è però limitata al livello dei terzisti e degli utilizzatori, mentre mancano del tutto i costruttori di grandi dimensioni che, non va dimenticato, sono quelli che dettano in larga misura gli sviluppi tecnologici delle macchine e dei processi. Sono presenti alcuni costruttori di nicchia di sistemi di trattamento, o di loro sottoparti; spesso questi costruttori sono emanazione dei centri di servizio, che decidono di modificare in proprio i sistemi *standard* di costruzione estera.

A livello di ricerca vi è nel nostro paese un buon numero di centri, sia pubblici che privati, che eseguono attività di trattamento superficiale, che si concentrano però soprattutto sul processo in sé, senza apportare sviluppi significativi sulla parte sistemistica.

A livello europeo la situazione è a un livello superiore, soprattutto in Germania, Svizzera e Regno Unito, dove, oltre a numerosi centri di ricerca sui processi di trattamento, sono presenti importanti grandi costruttori di impianti che sono spesso i propulsori degli sviluppi a tutto campo in questo settore, con azioni sinergiche tra sistemi produttivi, processi applicativi, materiali.

Per quanto riguarda infine le applicazioni e i sistemi inerenti alle nanotecnologie, i *leader* a livello mondiale si trovano negli USA, con presenze più ridotte, ma significative, in Giappone e Germania.

### *Tendenze future*

Vi sono diversi filoni di sviluppo dai quali ci si attendono risultati concretamente applicabili in ambito industriale nei prossimi anni.

Il primo, sicuramente uno dei più importanti, riguarda i sistemi ibridi, che applicano in modo combinato due tecnologie, con l'obiettivo di cogliere gli aspetti più vantaggiosi di ciascuna, superandone le limitazioni applicative. Ad esempio, l'attività di abbinamento della tecnica *laser* con le quelle PVD e CVD, già in atto, sarà ulteriormente sviluppata, con prevedibili risultati in termini di processi di deposizione innovativi e più produttivi. Ulteriori abbinamenti, al momento non prevedibili, potrebbero nascere nei prossimi quattro-cinque anni, dando luogo a tipologie di rivestimento o di trattamento nettamente migliorate rispetto alle attuali.

L'utilizzo sempre più diffuso dei nanomateriali avrà notevoli ripercussioni sui sistemi di deposizione, che dovranno essere basati su criteri progettuali nuovi, in modo da consentire l'utilizzo di polveri o fluidi con caratteristiche strutturali (sia chimiche che fisiche) non presenti negli attuali materiali commerciali; in particolare, per i sistemi di rivestimento basati su proiezione termica, si dovranno perfezionare, o sviluppare *in toto*, apparati di adduzione che, pur garantendo le attuali prestazioni produttive, non vadano a modificare e a impoverire queste caratteristiche strutturali.

Questo determinerà una collaborazione più stretta tra i costruttori dei sistemi e i tecnologi dei materiali, che al momento è basata su contatti episodici e non inquadrati in una filosofia di sviluppo progettuale condivisa.

Un ulteriore elemento di sviluppo futuro è legato alla reale e diffusa affermazione industriale dei processi di trattamento termico e di rivestimento localizzato con tecnologia *laser*. Questi processi, già sviluppati da anni in molti laboratori di ricerca, hanno sino a oggi stentato a prendere

piede soprattutto a causa della complessità e agli ingombri dimensionali dei *laser* a gas di elevata potenza, necessari per una produttività soddisfacente; con l'avvento di sorgenti a stato solido più potenti, affidabili ed economiche si avrà uno sviluppo consistente di sistemi nei quali il *laser* sarà montato direttamente sul centro di lavoro. Sarà necessario risolvere tutti i vari problemi di interfacciamento tra macchina utensile e *laser*, ma già oggi si vedono i primi concreti risultati, con vari centri di servizio tedeschi che propongono questa possibilità e con un interesse crescente anche in Italia.

Infine un'attenzione crescente sarà dedicata alle problematiche di tipo ecologico, trasversali a molti sistemi di trattamento superficiale. In particolare saranno implementati i vari sottosistemi di raccolta e contenimento di materiali e fluidi esausti, che saranno sviluppati con approcci innovativi in modo da ridurre o minimizzare l'impatto, sia sull'ambiente, sia sugli operatori. Uno dei settori in cui questa attività di sviluppo sarà più forte è quello dei trattamenti galvanici, dove saranno richiesti sistemi in grado di annullare totalmente le emissioni in aria e in acqua.

## 2.7 Sistemi per microlavorazioni

### *Descrizione*

Nel settore industriale è in atto traiettoria tecnologica continua e crescente verso la miniaturizzazione dei componenti. Essa è dovuta sia al fatto che l'elevato numero di dispositivi per prestazioni accessorie, ma oramai irrinunciabili, presenti su molti prodotti di largo consumo (si pensi all'automobile) impone una riduzione delle loro dimensioni, sia a motivi di carattere ambientale, poiché componenti più piccoli richiedono meno energia per essere movimentati; una terza motivazione è legata alla bassa invasività: è questo il caso della salute umana, ma anche di molte applicazioni industriali dove le ridotte dimensioni consentono di inserire, ad esempio, microsensori per il controllo di qualità in tempo reale. Tutto questo ha generato una vera e propria rivoluzione: si riesce oggi ad abbinare in uno spazio ridottissimo sistemi che consentono di ottenere migliori o nuove funzionalità o di migliorare la gestione dei processi. Anche le previsioni di mercato sono in netta crescita, grazie alla grande applicabilità dei sistemi e alla loro forte espansione.

La necessità di una miniaturizzazione sempre più elevata dei dispositivi può essere soddisfatta con varie tecnologie, tra loro in parte concorrenti, ma soprattutto complementari. Le tecniche di stereolitografia sono largamente affermate da anni per la realizzazione di componentistica elettronica di pregio. Le stesse tecniche di deposizione e di rivestimento, soprattutto come film sottile e, ultimamente, con nanomateriali, stanno evolvendo verso processi e macchine in grado di eseguire trattamenti su componenti ridotti o su aree molto limitate di un macrocomponente. Inoltre si va affermando in questi ultimi anni la tecnologia *laser* di ultima generazione, cioè sorgenti *laser* capaci di generare impulsi di ridottissima durata e di elevatissima potenza di picco. Questa tecnica ha caratteristiche di elevata competitività ed è in grado di soddisfare esigenze di lavorazione sempre più spinte. Molte delle proprietà che la rendono particolarmente appetibile per l'industria sono strettamente correlate alla tipologia di sistema in cui la sorgente viene integrata.

### *Motivazioni per lo sviluppo*

La motivazione fondamentale è prettamente competitiva ed è connessa al fatto che le microlavorazioni rientrano pienamente nel campo delle alte tecnologie. È presumibile che nel prossimo futuro vi sarà un posizionamento (per certi versi già in atto) che, una volta avvenuto sarà difficilmente ribaltabile; in altre parole se l'industria italiana dei sistemi produttivi sarà estromessa dalle prime posizioni per quanto riguarda le macchine per microlavorazioni, difficilmente potrà poi recuperare posizioni.

Una seconda motivazione riguarda, come già accennato nella descrizione, l'aspetto ambientale: tutto quanto è di dimensioni ridotte comporta un minor consumo di materia prima e di energia, sia per produrlo, sia per movimentarlo. L'esempio principale riguarda i trasporti, dove l'aumento continuo di servocomponenti, sia per ragioni di sicurezza che di *comfort*, porta a un aumento del peso globale dei veicoli, con conseguente incremento dei consumi, che può essere efficacemente contrastato avendo a disposizione componenti miniaturizzati.

Per quanto riguarda poi espressamente i sistemi *laser*, il loro sviluppo nel campo delle microlavorazioni deriva dalla richiesta da parte del mercato, soprattutto meccanico, elettronico e medicale, di livelli di miniaturizzazione dei dispositivi che richiedono a loro volta lavorazioni di precisione compatibili con tempi di processo competitivi a livello industriale. Inoltre le nuove applicazioni di cui l'industria ha necessità e i materiali correlati, che sono spesso a elevato grado di innovazione (compositi, semiconduttori con film sottile, leghe metalliche pregiate, vetro e quarzo, metalli duri) richiedono la messa a punto di processi complessi con conseguente sviluppo e realizzazione di macchine non *standard*. La tecnologia *laser* di ultima generazione, ovvero le sorgenti caratterizzate da impulsi energetici ultrabrevi (inferiori a 100 nanosecondi) è quella che meglio risponde a questi requisiti grazie alla sua flessibilità e trasversalità.

#### *Stato dell'arte nazionale e internazionale*

Per quanto riguarda i sistemi *laser*, a livello nazionale attualmente sono disponibili macchine *laser* più o meno standard di marcatura e microsaldatura, mentre per processi quali microforatura, microtaglio e microincisione al momento la tecnologia non è in grado di realizzare macchine *ad hoc*. È in corso una notevole attività sperimentale da parte di alcuni laboratori di ricerca soprattutto a carattere universitario; è carente tuttavia l'anello di congiunzione per una ingegnerizzazione che si traduca in uno sbocco industriale.

In Europa (in particolare Germania e Gran Bretagna) esistono forti competenze, sia a livello di ricerca che di aziende produttrici, in grado di soddisfare le richieste innovative di mercato. Come già accennato in precedenza vi è il forte rischio che, in assenza di attività specifica in questo campo, l'Italia perda irreversibilmente competitività in un settore destinato ad assumere una importanza crescente.

Per quanto riguarda altre tecnologie, quali stereolitografia e microrivestimenti, a livello nazionale non sono presenti costruttori rilevanti di sistemi per queste applicazioni; solo nel campo dei rivestimenti alcuni fornitori di servizio costruiscono parti dedicate a specifiche applicazioni di nicchia che assemblano poi sui sistemi *standard* di produzione estera.

#### *Tendenze future*

La sistemistica per microlavorazioni *laser* dovrà rispondere alla richiesta di assicurare flessibilità, accuratezza di posizionamento, elevata risoluzione, precisa interpolazione ed elevata velocità degli assi. Affinché queste macchine siano in grado di soddisfare tutte queste proprietà sarà necessario eseguire una notevole attività di ricerca applicata, volta a sviluppare tematiche di architettura sistemistica, strutturale e di componentistica relativa.

Occorrerà innanzitutto definire architetture complete dei sistemi, definendo prestazioni e caratteristiche di tutti i sottosistemi da sviluppare e delle interfacce, meccaniche, elettriche e SW, per la realizzazione di strutture modulari e facilmente riconfigurabili.

Inoltre sarà necessario realizzare strutture estremamente rigide, sia staticamente che dinamicamente.

Tali requisiti possono essere ottenuti mediante una progettazione assistita dalla simulazione agli elementi finiti. Queste strutture dovranno prevedere tutte le interfacce meccaniche per gli altri

sottosistemi e dovranno garantire per ciascuno di essi la precisione e ripetibilità necessarie anche a seguito di operazioni di riattrezzaggio.

I relativi sistemi, tipicamente multi-assi, dovranno essere composti da tavole a risoluzione e accuratezza micrometriche, dotate di un'area di lavoro e di una velocità sufficientemente elevate da renderle flessibili per le più svariate applicazioni.

Una ulteriore tematica di sviluppo futuro riguarda la progettazione e realizzazione di sistemistica e componentistica ausiliaria dedicata (ad esempio, specifiche teste da taglio, *glove box* per atmosfera controllata, ecc.).

Tutte queste attività prevedono infine l'integrazione delle varie parti. La componente più onerosa e complessa è sicuramente l'interfaccia logica dei sottosistemi, ovvero lo sviluppo di *software* dedicati in grado di gestire contemporaneamente sia le movimentazioni, sia tutti i comandi remoti dei sistemi ausiliari.

Per quanto riguarda i sistemi per stereolitografia va osservato che, in base alle richieste provenienti dall'industria elettronica, questi hanno già raggiunto un livello notevole di precisione. Tuttavia la disponibilità futura di nuovi materiali e di tecnologie sia nuove, sia esistenti ma migliorate, potranno generare un ulteriore aumento della precisione di lavorazione di queste macchine.

Infine sui sistemi per rivestimenti con film sottili è prevedibile una notevole attività di sviluppo derivante dall'impiego di nanomateriali: le macchine che più saranno toccate da questa ricerca riguardano le tecnologie PVD, CVD, *Cold Spray*.

## 2.8 Sistemi e tecnologie di assemblaggio

### Descrizione

In ambito industriale è sempre più avvertita l'esigenza di colmare una delle lacune dell'automazione industriale: il fissaggio di pezzi meccanici, di materiali metallici e non metallici, condotto nell'ambito di sistemi produttivi caratterizzati da lotti di piccole dimensioni e da elevata variabilità del *mix* produttivo. Sino a ieri questi elementi erano tipicamente costituiti da lamierati e parti ricavate da lavorazioni meccaniche; oggi si assiste a un'evoluzione di prodotto, che porta ad avere una presenza forte e diversificata dei materiali, con la comparsa dei materiali compositi (fibra di carbonio con resine epossidiche polimerizzate) e di strutture ibride, in cui il metallo e il composito sono presenti e uniti tra loro in modi estremamente diversificati. Questa tendenza, ancora agli inizi, diventerà predominante nei prossimi anni in diversi settori manifatturieri.

Esempi di tale necessità si hanno già in campi quali l'aeronautico, il ferroviario e, per certe produzioni di piccola serie, anche l'automobilistico; in quest'ultimo caso un esempio interessante è costituito dall'esigenza di sistemi di bloccaggio innovativi per la saldatura *laser* di lamiere metalliche zincate sovrapposte, dove sono richiesti sistemi di bloccaggio che consentano la formazione di uno spazio fra le lamiere tale da permettere la fuoriuscita dei vapori di zinco senza richiedere operazioni aggiuntive rispetto a quelle dei processi attuali.

Riferendosi poi al settore aeronautico, si ha la necessità di automatizzare assemblaggi di componenti di grandi dimensioni, ma in lotti costituiti da pochi pezzi, caratterizzati dalla presenza del materiale composito e materiale metallico. Tali strutture sono tipicamente costituite da elementi di rinforzo sia longitudinali (longheroni, correntini) che trasversali (centine alari, ordinate di fusoliera) e, pur sfruttando appieno le caratteristiche intrinseche del materiale composito che permette una buona integrazione degli elementi strutturali di rinforzo, rimangono pur sempre molti elementi da assemblare in modo meccanico tradizionale. Vi è quindi la richiesta di automatizzazione di operazioni, quali posizionamento, bloccaggio, lavorazione (foratura, alesatura, applicazione di sigillanti) nell'ambito di un più grande flusso di montaggio della struttura.

In una tale situazione la rapidità di riconfigurazione costituisce un fattore basilare per una migliore ed efficiente utilizzazione dell'impianto. Mentre il problema dell'adattamento delle macchine che eseguono le lavorazioni di asportazione di truciolo è stato ampiamente affrontato e risolto in maniera soddisfacente (si pensi agli FMS, alle celle di lavorazione, ecc.), e sono già stati avviati degli studi per ovviare alle situazioni in cui il montaggio robotizzato risulta inadeguato, il fissaggio dei pezzi meccanici è ancora eseguito impiegando metodologie manuali; l'utilizzo delle attrezzature automatiche è riservato agli ambiti produttivi che prevedono la realizzazione di grandi lotti di pezzi uguali o molto simili tra loro.

Anche le soluzioni costruttive delle attrezzature rispecchiano questa situazione. Infatti è ampiamente diffuso, anche nei più sofisticati FMS, l'utilizzo di attrezzature dedicate allo specifico pezzo o realizzate utilizzando sistemi di fissaggio modulari, il cui assemblaggio avviene comunque manualmente ed esternamente al sistema che compie le lavorazioni. Quest'ultimo fatto può essere riscontrato anche nelle fasi di fissaggio del pezzo da parte dell'attrezzatura, dove di solito il pezzo viene fissato manualmente, per mezzo dell'attrezzatura, a un apposito *pallet*, esternamente all'FMS, e, successivamente, l'insieme costituito da *pallet*, attrezzatura e pezzo viene inviato alla lavorazione, mediante il sistema di movimentazione.

Questi aspetti causano, oltre all'inefficienza del sistema produttivo in presenza di lotti piccoli e di composizione variabile, tutta una serie di costi logistici, di gestione e di acquisizione delle attrezzature.

Una loro stima globale, in tutti i differenti settori produttivi, non è ancora stata eseguita; ma è comunque sufficiente notare che il costo di acquisizione delle attrezzature da utilizzare su un FMS può superare il 20% del valore del sistema stesso.

Una situazione analoga può essere riscontrata nell'ambito della progettazione dei sistemi di fissaggio. Il problema di riferire, orientare e bloccare correttamente il pezzo all'interno del volume di lavoro della macchina, viene normalmente risolto utilizzando l'esperienza acquisita nel tempo dai cosiddetti attrezzisti. Anche qui si sente fortemente l'esigenza di razionalizzazione e di automatizzazione.

### *Motivazioni per lo sviluppo*

Lo sviluppo di tecniche di automazione degli assemblaggi per prodotti di piccola/media serie è giustificato innanzitutto dalla necessità di rendere i manufatti più competitivi e flessibili; in secondo luogo vanno considerati gli indubbi vantaggi indotti in termini di qualità del prodotto.

Vale poi anche in questo caso quanto già affermato in molte delle tecnologie descritte in precedenza, ovvero che i prodotti e i processi assestati si stanno spostando verso i paesi di nuova industrializzazione e quindi solo adottando tecniche sempre più sofisticate si potrà contrastare questa tendenza alla delocalizzazione.

Nei prodotti ad alto contenuto tecnologico, quali, ad esempio, l'aeronautico, l'importanza della loro realizzazione con metodi che garantiscano qualità elevata associata a costi di fabbricazione sostenibili dal mercato è un possibile metodo per accrescere il valore aggiunto del prodotto stesso e, in ultima analisi, anche per stimolare la crescita tecnologica del sistema industriale con possibili e notevoli sbocchi di mercato.

La capacità di tali sistemi di trattare materiali tradizionali (metallici) e innovativi (compositi e/o ibridi composito-metallo) risulta in linea con l'attuale *trend* di prodotto, che tende a incrementare in modo significativo i materiali innovativi nei prodotti ad alto contenuto tecnologico.

Infine va considerato che gli sviluppi dell'*hardware*, del *software* e della sensoristica per il controllo dei processi, sia a livello puntuale operativo, sia a livello di macro processo applicabile alle attività di assemblaggio dell'intero prodotto, saranno dominanti nei prossimi anni.



Se questi obiettivi saranno raggiunti sono prevedibili rilevanti benefici per il settore, sia dal lato economico che dell'occupazione, prevalentemente ad alto livello di scolarità ed esperienza. Alcuni campi nei quali il sistema Italia eccelle, come l'automazione industriale e la realizzazione di strutture ad alto contenuto tecnologico, potranno essere ulteriormente rafforzati da queste applicazioni sinergiche e integrate dell'innovazione.

#### *Stato dell'arte nazionale e internazionale*

Nel corso degli ultimi 20 anni sono state condotte numerose ricerche nell'ambito delle attrezzature flessibili di fissaggio. Queste ricerche sono avvenute soprattutto all'estero (USA, Germania e Giappone *in primis*), ma anche in Italia si è eseguita una apprezzabile quantità di lavoro in questa direzione.

Tuttavia non si è giunti, al momento in nessuna parte del mondo, a soluzioni di diffusa applicazione industriale. Alcuni risultati sono stati ottenuti nel settore aeronautico, che come spesso accade ha fatto da guida allo sviluppo, utilizzando sistemi a depressione per il fissaggio flessibile di pannelli per ali e fusoliere.

Il campo di applicazione delle tecnologie flessibili di assemblaggio a grandi assiemi che prevedano al loro interno materiali compositi è ancora praticamente tutto da esplorare.

#### *Tendenze future*

Nel prossimo futuro si tenderà a un'ampia applicazione industriale delle tecnologie di assemblaggio poiché le soluzioni sviluppate sinora, tese all'aumento della flessibilità del fissaggio (per esempio, le attrezzature a cambiamento di fase o a forma adattabile) sono a un livello di diffusione sporadico e non apprezzabile nel tessuto industriale.

Nella progettazione dei sistemi di fissaggio sono prevedibili sviluppi basati sulla formalizzazione della conoscenza degli attrezzisti e sul suo successivo utilizzo da parte di sistemi esperti. Al momento si può affermare che, salvo rarissime eccezioni, tale approccio è rimasto confinato nell'ambito accademico, a causa della notevole complessità e costo dell'acquisizione, formalizzazione e implementazione della conoscenza necessaria e all'elevato costo di acquisto e gestione dei calcolatori da utilizzare per la progettazione.

Sarà quindi necessario sviluppare metodologie risolutive del problema del fissaggio dei pezzi durante la lavorazione, basate, ad esempio, su tecniche di intelligenza artificiale. Esse potranno essere sviluppate traendo origine da modelli esistenti (come il modello di Asada & By) ma dovranno essere in grado di gestire una più ampia varietà di forme geometriche, di rappresentare meglio gli aspetti fisici del problema (ad esempio, l'attrito) e, soprattutto, di individuare, partendo dalla geometria del pezzo e dalle forze applicate, i punti di contatto tra pezzo e attrezzatura che garantiscono la minimizzazione delle forze di contatto. Queste metodologie dovranno poter essere applicate con facilità anche su macchine diffuse e relativamente poco costose.

Un'altra linea di sviluppo riguarderà la progettazione e la successiva realizzazione di attrezzature caratterizzate da una struttura radicalmente diversa da quella tradizionalmente utilizzata, il cui funzionamento si basa sulle considerazioni fatte durante la realizzazione del relativo modello matematico, consentendo quindi di compiere la fase di riconfigurazione in maniera autonoma, in base ai dati calcolati dal modello matematico stesso. Oltre alla autoriconfigurabilità, tali attrezzature saranno caratterizzate da una notevole facilità di carico e scarico del pezzo da lavorare, da una rapidità di esecuzione del bloccaggio del pezzo, da facile pulizia e manutenzione. Inoltre saranno costituite, per quanto possibile, da elementi modulari e standardizzati e saranno comandate mediante personal computer.

Una ulteriore linea di sviluppo è legata alla integrazione, nel sistema produttivo, della sua at-



trezzatura e del relativo modello matematico di bloccaggio. Con questa soluzione, l'elaborazione della configurazione ottimale di fissaggio potrà essere svolta sia *off-line*, utilizzando il calcolatore dell'attrezzatura soltanto per la gestione della fase di riconfigurazione, che *on-line*, utilizzando il calcolatore suddetto anche per l'individuazione della configurazione. I dati geometrici potranno essere acquisiti anche con l'utilizzo di sistemi di visione, i quali dovranno essere relativamente semplici e, soprattutto, interfacciabili con il *personal computer* dell'attrezzatura.

Questo metodo è particolarmente indicato per quei sistemi produttivi caratterizzati da ampia variabilità del *mix* produttivo e da grande varietà di prodotti. La elaborazione della configurazione di bloccaggio dovrà essere, in questo caso, condotta *on-line*, anche per poter sfruttare, in presenza di un sistema di visione sufficientemente preciso, la possibilità di gestire le tolleranze di forma dei pezzi sviluppando, per ciascuno di essi, il fissaggio più idoneo. Sia in questo caso che nel precedente, i dati relativi alle forze esercitate sul pezzo durante le lavorazioni sono contenute in appositi *data-base*. Il sistema potrà a sua volta essere interfacciato con un altro che ne utilizza il modello matematico per la definizione dei fissaggi all'interno della fase di individuazione e pianificazione delle lavorazioni. I dati geometrici, in questo caso, sono ricavati dalle rappresentazioni CAD (*Computer Aided Design*) dei pezzi da fissare, mentre i moduli di definizione delle lavorazioni forniranno i dati relativi alle forze esercitate sul pezzo. In questo caso, la definizione dell'attrezzatura avviene *off-line*, durante l'utilizzo del CAPP (*Computer Aided Process Planning*). Questo tipo di soluzione sarà particolarmente indicata per le aziende caratterizzate da una alta integrazione informativa tra le fasi di progettazione, pianificazione e produzione.

## 2.9 Tecnologie per controllo e gestione dei sistemi

### Descrizione

Il controllo in tempo reale dei parametri principali dei vari processi produttivi è un aspetto fondamentale, sia per assicurare una elevata qualità del manufatto che viene prodotto, sia per ridurre significativamente i costi del processo stesso.

Nelle produzioni di grande serie controlli specifici e sistematici possono evitare o minimizzare gli scarti e ridurre le condizioni vincolistiche di varia natura. Nelle produzioni di piccola serie o addirittura personalizzata, possono contribuire a ridurre i tempi e i costi mediante l'accesso a banche dati e mediante il controllo della correttezza dello svolgimento del processo.

Il controllo e la gestione dei sistemi di produzione sono strettamente legati con le problematiche dell'automazione industriale, che è pervasiva in quasi tutti i settori industriali e ha per questo ha molte applicazioni vincenti. L'automazione industriale gioca un ruolo chiave nello sviluppo dei processi produttivi, perché consente una produzione con livelli qualitativi costanti, una migliore produttività, la riduzione dei costi e dei tempi di produzione, l'aumento della flessibilità, la riduzione degli scarti, una migliore conformità alle normative ambientali e di sicurezza. Inoltre ha ricadute sul risparmio energetico (e più in generale sulle risorse) e sulla manutenzione predittiva, che permette di mantenere in buono stato gli impianti, migliorandone le prestazioni e la governabilità. Il termine automazione industriale ha recentemente assunto un significato più ampio, ovvero di sistemi integrati che comprendono i processi di produzione, i sistemi di automazione e i sistemi informativi gestionali ed è indicata come CIM (*Computer Integrated Manufacturing*).

Si avverte ultimamente l'esigenza verso un'automazione flessibile, in grado di consentire una piena integrazione tra l'automazione/controllo del processo e della produzione e i sistemi di supporto alla produzione; questa integrazione spinta rappresenta il driver dei sistemi MES (*Manufacturing Execution System*), che permettono di interfacciare i sistemi dedicati alla produzione e quelli di supporto alla produzione (si possono quindi indicare come sistemi di *business automa-*

tion). Un altro settore strettamente correlato con la gestione dei sistemi è quello della sensoristica intelligente, cioè tutti quegli strumenti, attuatori, misuratori, ecc., che rendono indipendente dall'operatore il controllo dei processi di fabbricazione, con livelli di produttività e di qualità altrimenti non ottenibili. Particolare attenzione va verso la sensoristica industriale *wireless* e verso i dispositivi di visione più evoluti, che consentiranno un notevole salto di qualità nel controllo di prodotto e di processo.

Tutte le macchine utensili e i sistemi di produzione attuali, per qualsiasi applicazione, a parte qualche rara eccezione, hanno dei sistemi di controllo cosiddetti "ad anello aperto". La filosofia alla base di questo concetto considera a priori il processo come ben noto e ripetitivo, cercando di renderlo il più possibile tale mediante una serie di vincoli imposti.

Nei processi più tradizionali come la formatura (soprattutto stampaggio a caldo e a freddo, imbutitura, idroformatura, tranciatura, stampaggio di polveri) e l'asportazione di truciolo (tornitura, fresatura, rettifica ecc.), si possono adattare le condizioni operative alla reale situazione istantanea mediante l'applicazione di opportuni sensori, i quali possono misurare temperature, forze, momenti, pressioni, vibrazioni, parametri di finitura superficiale, oppure grazie a tecniche di visione in tempo reale, oppure ancora mediante l'elaborazione dei dati istantanei, sia con tecniche tradizionali, sia utilizzando quelle neurali e *fuzzy logics*. In questo modo è possibile arrivare a ridurre l'informazione a pochi parametri significativi, che consentono di interpretare adeguatamente lo stato reale del processo e, conseguentemente, di apportare le opportune correzioni con l'azionamento degli attuatori di processo e l'impiego di materiali intelligenti.

Le ricadute attese da questa tecnologia possono trovare applicazione pratica in molti settori dell'industria italiana dei sistemi di produzione, poiché il controllo e la gestione dei sistemi produttivi sono importanti in tutti i comparti.

### *Motivazioni per lo sviluppo*

Nel paragrafo precedente si è accennato agli aspetti qualitativi e di costo conseguenti all'adozione di tecniche di controllo del processo eseguito dalla macchina. Le motivazioni fondamentali, che portano a dover sviluppare adeguati controlli dei sistemi di produzione, sono quindi essenzialmente economiche, in quanto la miglior qualità dei manufatti, la riduzione degli scarti e dei costi produttivi sono fattori chiave per aumentare la redditività dei processi e, in ultima analisi, per contribuire al mantenimento della competitività dei produttori di beni strumentali. Va sottolineato che opportuni sistemi di controllo intelligenti sono parte di quel valore aggiunto tecnologico che, come si è detto più volte, consente di combattere i prodotti provenienti dai paesi emergenti, prodotti che, da questo punto di vista, risultano attualmente poco competitivi.

Inoltre lo sviluppo di sensoristica sofisticata può contribuire a generare nuova occupazione di elevata scolarità, sia nelle aziende che la producono, sia in quelle che la introducono sulle macchine. Non sembra perciò sussistere alcun dubbio sul fatto che gli sviluppi della sensoristica e del *software* di controllo dei processi, sia a livello puntuale realizzativo, sia di macrogestione di tutte le attività aziendali, diventeranno sempre più dominanti nei prossimi anni.

### *Stato dell'arte nazionale e internazionale*

In campo nazionale gli sviluppi di sistemistica di controllo di processo sono rimasti, e continuano a esserlo, abbastanza agli inizi. Questa situazione non ha permesso di ottenere al momento risultati apprezzabili, nemmeno a livelli intermedi. È da sottolineare però la tendenza a investire sempre più risorse in questo settore, non solo a livello aziendale, ma anche da parte della ricerca pubblica e privata. A livello europeo la situazione non sembra essere diversa per quanto riguarda il controllo puntuale di processo, fatta eccezione per alcune applicazioni specifiche in Germania.

È comunque prevedibile, nei prossimi anni, un consistente sviluppo a livello mondiale di vari *tools* di gestione globale dei processi produttivi, dovuto alla presenza di grandi produttori di *software*, sia di base che applicativo, negli USA e alle ricadute su larga scala di specifiche realizzazioni per l'aerospazio. Questo scenario dovrebbe far convergere anche in Italia gli sforzi in questa direzione.

### *Tendenze future*

Vi sono vari filoni di ricerca e sviluppo sui quali si focalizzerà l'attenzione nei prossimi anni. Per quanto riguarda le macchine e i robot, una delle applicazioni più interessanti è relativa alla necessità della correzione automatica dei cedimenti, in base alle forze e ai momenti agenti sulle macchine: la correzione automatica è opportuna per ottenere una maggior precisione del processo, in modo da migliorarne la qualità e la ripetibilità.

Anche i processi termici, pur se meno noti sul piano concettuale, potranno essere monitorati con queste tecniche; si utilizzeranno principalmente sensori ottici a radiazione integrale o a lunghezze d'onda specifiche, visualizzazioni all'infrarosso, sensori di temperatura senza contatto, ecc.. Il principio sarà sempre quello di usare tecniche di sintesi dei dati e di autoapprendimento da processi aventi uno svolgimento, tecnico e temporale dei vari stadi, giudicato corretto.

Per il collaudo e la messa in opera di macchine medio-grandi la ricerca si orienta verso lo sviluppo di sensori di posizione volumetrici, in grado garantire la calibrazione delle macchine in tempi ridotti, sia in fase costruttiva che di manutenzione. Inoltre, in senso controllistico saranno richieste metodologie di assemblaggio di macromoduli *software*, basate su architetture tra loro collegate, con richiamo e collegamento tra di esse mediante icone, dotate di autodiagnostica e capaci di accettare e integrare i controlli *on-line* dei processi.

Sarà anche necessario esplorare i probabili sviluppi nel campo del *software* dedicato a integrare progettazione, lavorazione e montaggio, usando le tecniche della realtà virtuale applicate alle seguenti attività:

- esplorazione della forma degli oggetti progettati;
- eventuale calcolo FEM;
- verifica della funzionalità e della contabilità;
- simulazione del processo di lavorazione con relative banche dati e delle varie fasi realizzative;
- ottimizzazione della forma degli utensili e loro riduzione numerica;
- simulazione delle fasi di montaggio e del prodotto finito.

Infine sta assumendo una notevole importanza il controllo via *software* della variabilità di posizionamento dei componenti in lavorazione mediante attrezzature *ad hoc* basate su sensori di visione. Questo significa che bisognerà, cioè, integrare nel *loop* di controllo sia la variabilità delle tolleranze dei componenti stessi, sia la variabilità di posizionamento delle attrezzature.

Per quanto riguarda la gestione dei prodotti, si possono prevedere sviluppi del *software* per la simulazione e l'ottimizzazione basato su reti per lo scambio di informazioni tra fornitori, venditori e clienti, nonché per la raccolta delle varie necessità di approvvigionamento, fabbricazione, fornitura e assistenza.

È quindi prevedibile che l'attività futura in questo settore affronterà tematiche quali:

- sensoristica di processo;
- sensoristica di posizione e volumetrica;
- tecniche di elaborazione e sintesi dei dati;
- integrazione del *software* a tutti i livelli delle fasi produttive;
- linguaggi di programmazione a livello evoluto;
- reti di comunicazione tra ambiente produttivo e ambienti esterni.

