

ALLEGATO A

SPECIFICHE TECNICHE PER LA REDAZIONE DI UNO STUDIO DI MICROZONAZIONE SISMICA DI LIVELLO 4 IN TOSCANA

1. CARATTERISTICHE E FINALITÀ DEGLI STUDI

Uno studio di microzonazione sismica (di seguito MS) ha lo scopo di rappresentare a scala di dettaglio la distribuzione dei differenti livelli di amplificazione sismica locale e la ripercussione sulla pericolosità sismica dei differenti elementi di instabilità cosismica/post sismica presenti nel territorio oggetto di studio.

Come previsto dai vigenti Standard Nazionali, la microzonazione sismica può essere effettuata secondo livelli crescenti di approfondimento: da un livello prettamente qualitativo, proprio della MS1, al livello più avanzato, dove ogni aspetto di pericolosità sismica locale deve essere studiato mediante un approccio di tipo quantitativo.

- il livello 1 è un livello propedeutico ai veri e propri studi di MS, in quanto consiste in una raccolta di dati preesistenti, esecuzione di nuove indagini in situ e realizzazione di elaborati per suddividere il territorio in microzone qualitativamente omogenee;
- il livello 2 introduce l'elemento quantitativo associato alle zone omogenee, utilizzando ulteriori e mirate indagini, ove necessarie, e definisce una vera carta di MS, dove l'amplificazione viene definita mediante metodologie semplificate;
- il livello 3 restituisce una carta di MS con approfondimenti sulle tematiche presenti nell'area di studio.

La tipologia di MS richiesta nell'ambito del presente bando (inquadrate come livello 4) parte dal livello più elevato tra quelli proposti, con la finalità di quantificare ognuno degli aspetti di pericolosità sismica previsti del modello geologico-tecnico dell'area secondo il massimo grado di approfondimento previsto anche mediante l'utilizzo di metodologie di indagine geofisiche avanzate.

Pertanto, uno studio di MS4 può essere considerato come uno studio improntato secondo le modalità proprie del livello 3, ma dove ogni aspetto (a partire dalla definizione del modello geologico-tecnico dell'area) deve essere studiato mediante l'ausilio delle tecniche più approfondite tra quelle proposte dai vigenti Standard Nazionali.

Ciò al fine di eliminare, o perlomeno ridurre drasticamente, le incognite ancora presenti al termine delle analisi specifiche e, di conseguenza, la necessità di ricorrere ad una non trascurabile estrapolazione dei dati acquisiti che, sebbene guidata da parere esperto, rappresenta un elemento di criticità nella fase di validazione dei risultati acquisiti. A supporto di tale estrapolazione subentra anche la redazione di un modello geologico 3D di sottosuolo che, necessità di numerose informazioni e dati desunti da indagini geognostiche approfondite.

2. MODELLO GEOLOGICO DI SOTTOSUOLO

La definizione del modello geologico-tecnico alla base di uno studio di MS, a prescindere dal livello di approfondimento stabilito, deve essere perseguito mediante una sintesi di tutte le conoscenze geologiche presenti nell'area sia per quanto concerne l'assetto superficiale, sia per quanto riguarda la definizione delle geometrie sepolte, con particolare riferimento alla determinazione geometrica e parametrica del tetto del substrato sismico.

Tale ricostruzione si avvarrà del contributo congiunto della raccolta e corretta catalogazione dei dati pregressi e della realizzazione di indagini ex novo, programmate, di concerto con la struttura regionale competente, sulla base dell'esigenza di ridurre le incertezze sul modello.

Per quanto riguarda le **indagini di nuova realizzazione**, si precisa che i sondaggi geognostici dovranno essere eseguiti a carotaggio continuo (o eventualmente per alcuni tratti a distruzione) e finalizzati al raggiungimento del substrato sismico (se potenzialmente intercettabile entro 80-100m dal piano campagna) insistendo per almeno 5 metri all'interno dello stesso.

Il sondaggio dovrà consentire la successiva esecuzione di una prova down-hole (DH) in onde P ed SH con passo di 1m. Le fasi di acquisizione, interpretazione e restituzione dovranno essere coerenti con i vigenti Standard nazionali (ICMS, 2008) e regionali (Istruzioni Tecniche regionali).

Inoltre all'interno dei fori di sondaggio dovranno essere previste:

- prove SPT in foro (preferibilmente a punta aperta, se il terreno lo consente, in modo da poter effettuare le analisi granulometriche e le prove indice sui campioni prelevati)
- prelievi di campioni indisturbati su cui eseguire le opportune analisi di laboratorio statiche (solo in caso di problematiche di versante o in caso di terreni geotecnicamente scadenti) e dinamiche (quali ad es. Colonna risonante, taglio torsionale ciclico, e/o prove triassiali cicliche di liquefazione, ecc...).

Durante la perforazione, in corrispondenza di tratti monotoni da un punto di vista stratigrafico, sarà possibile procedere a distruzione di nucleo, previo assenso della struttura regionale competente.

In corrispondenza di ogni sondaggio andranno inoltre eseguite:

- almeno 2 misure H/V per la determinazione della frequenza fondamentale del sito;
- un'indagine di sismica di superficie, la cui tipologia sarà dipendente dal contesto sismostratigrafico dell'area (sismica a riflessione HR, sismica a rifrazione in onde P ed SH, tomografie elettriche ERT, indagini passive in array 2D, MASW, ESAC, MARV, etc..).

All'interno di alcuni sondaggi profondi, potrà essere anche prevista l'installazione di sensori sismici in foro (su bedrock sismico) e sensori in superficie, mediante la collaborazione con Enti di ricerca su richiesta della struttura regionale competente, al fine di stimare la funzione di amplificazione in modo sperimentale.

Il dato sismostratigrafico potrà essere esteso arealmente mediante esecuzione di analoghe indagini geofisiche di superficie.

Al fine di ricostruire l'assetto geometrico del tetto del substrato sismico (informazione di importanza non secondaria nella definizione dei parametri di input di un'analisi di risposta sismica 3D) si potranno pianificare campagne di acquisizione di rumore ambientale e/o di eventi sismici di limitata magnitudo (weak-motion).

In relazione poi alle eventuali zone di instabilità presenti dovranno essere approfondite tali tematiche mediante ulteriori indagini:

- ai fini della valutazione del potenziale di liquefazione, sarà necessario realizzare ulteriori prove CPT/CPTU/CPTE;
- ai fini delle valutazioni di stabilità di versante, saranno necessarie approfondite prove geognostiche di laboratorio;
- ai fini del riconoscimento delle faglie attive e capaci saranno da realizzare indagini di sismica a riflessione HR, tomografie geoelettriche ERT ed eventuali trincee paleosismologiche.

Tra gli elaborati obbligatori per uno studio di MS4 sarà necessario, infatti, presentare almeno la carta delle isobate del tetto del bedrock sismico/substrato roccioso (in formato pdf e shapefile)

La restituzione del modello geologico, e di conseguenza geologico-tecnico, dovrà avvenire secondo un assetto 3D. Per la realizzazione del **modello geologico 3D**, in questa prima fase sperimentale, si ritiene opportuno procedere con la seguente modalità :

- 1) definire, all'interno dell'area di studio, una griglia quadrata di maglia regolare, orientata N-S ed E-W con il lato non superiore a 100m¹;
- 2) all'interno di ogni cella deve essere presente almeno n. 1 verticale di indagine puntuale. Per **verticali di indagine puntuale** si intendono:
 - a) **verticali c.d. "reali"**- indagini geognostiche di varia natura, pregresse o di nuova realizzazione (sondaggi a cc o a distruzione, pozzi, prove penetrometriche, prove DH, prove MASW/ESAC, misure HVSR). Se le indagini sono lineari, quali ad esempio, le indagini di sismica a rifrazione/riflessione, tomografie ERT, ecc..., potrà essere definita una verticale nel punto mediano della linea (se il modello è omogeneo) o, in alternativa, 2-3 verticali per linea (se il modello non è omogeneo).
 - b) **verticali c.d. "virtuali"**- stratigrafie ipotizzate e condotte fino al raggiungimento del bedrock sismico/substrato roccioso ricavate dalle sezioni geologico-tecniche² debitamente implementate allo scopo di permettere la copertura delle celle prive di indagini.
- 3) per ciascuna verticale³ di indagine si dovranno inserire le informazioni relative a tipologia (Tipo_gt ai sensi degli standard MS 4.2), spessori (profondità top e bottom) e parametri forniti dalle indagini (Vp, Vs, peso di volume) delle **unità geologico-tecniche**⁴ attraversate. Tali unità saranno definite in relazione al modello geologico-tecnico di riferimento di tutta l'area (con riferimento alla cartografia geologico-tecnica per la microzonazione sismica - CGT) ed in coerenza con la suddivisione delle classi MOPS in ambito MS1. Potrebbe essere infatti necessario rivedere le classi MOPS del livello 1 e/o implementare nuove classi, con l'ausilio delle nuove indagini e delle nuove sezioni geologico-tecniche di dettaglio realizzate

¹ L'area su cui costruire il reticolato di celle, deve essere costruita solo nelle aree in cui sono presenti i depositi di copertura, mentre non deve essere applicata al substrato roccioso affiorante e/o sub-affiorante. La procedura predisposta è stata tarata e calibrata in relazione ad un contesto geologico-tecnico omogeneo ed uniforme; naturalmente in relazione alla maggiore complessità geologica dell'area in esame, sarebbe opportuno approfondire il quadro conoscitivo attraverso un maggior numero di indagini al fine di poter raggiungere un livello di attendibilità equiparabile a quello relativo ad un contesto geologico più complesso e conseguentemente si potranno anche prevedere dimensioni inferiori della maglia.

² Per una approfondita ricostruzione del modello geologico di sottosuolo 3D sarà necessario **redigere numerose sezioni geologiche-tecniche** tali da poter realizzare una griglia tridimensionale di sezioni, tra loro non necessariamente perpendicolari, necessarie a costruire il modello 3D. L'ubicazione e il numero delle sezioni geologiche potrà essere concordato con la struttura regionale competente.

³ Si fa presente che non tutte le indagini consentono di avere le medesime informazioni in termini di spessori, unità presenti, ecc... Ad es. la sola misura HVSR, consente eventualmente solo di individuare la profondità in cui e' presente il maggiore contrasto di impedenza tra copertura/substrato o entro la copertura. Allo stesso modo le indagini lineari di sismica a rifrazione/riflessione consentono di definire le profondità e le velocità sismiche ma non permettono di individuare le litologie presenti.

⁴ In questa accezione, per **unità geologico-tecnica** si intende un corpo arealmente esteso (sia verticalmente che lateralmente), anche costituito da litologie differenti (presumibilmente appartenenti alla medesima formazione geologica) che **presenta il medesimo comportamento sismico, ovvero che e' limitata da superfici che presentano un significativo contrasto di impedenza sismico.**

Sarà in questo caso quindi necessario prevedere una sintesi allo scopo di semplificare il modello (talvolta estremamente dettagliato), accorpendo quei terreni e quei substrati geologici che presentano caratteristiche tra loro simili, sotto il profilo delle caratteristiche sismo-stratigrafiche e litotecniche: Andrà posta particolare attenzione alla ricostruzione dei rapporti geometrici tra le varie unità, limitando la definizione di ulteriori unità geologico-tecniche a quei contesti in cui le caratteristiche del substrato geologico o dei depositi variano in maniera significativa (vedi esempio in fig.1 sottostante).

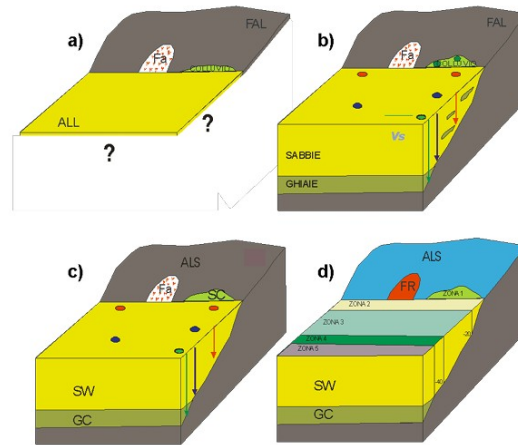


Fig.1 - fasi di elaborazione del modello 3D nell'ambito dello studio di microzonazione sismica: a) recupero cartografie esistenti; b) creazione modello geologico definitivo alla luce delle indagini esistenti e di nuova realizzazione (si noti la diversa perimetrazione della copertura colluviale a seguito del reperimento di nuove indagini); c) definizione del modello geologico-tecnico (si noti la scelta di accorpare alle sabbie i corpi lenticolari di ghiaie con limitata estensione areale e stratigrafica); d) Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica e rappresentazione di un modello 3D di sottosuolo.

4) la proiezione al suolo delle **verticali di indagine**⁵ dovrà essere inserita in uno shapefile con geometria puntuale denominato "**<cod ISTAT Provincia + cod. ISTAT Comune>_verticale_indagine.shp**" la cui tabella attributi dovrà contenere l'identificativo univoco dell'indagine per consentire l'associazione con gli attributi delle unità geologico-tecniche attraversate.

Nome campo	del	Tipo	Lunghezza	Descrizione	Valore esempio
ID_ind		String	15	Identificativo univoco indagine (cod ISTAT Provincia + cod. ISTAT Comune + "I" + n. identificativo indagine)	051001_I1
CoordX		Long integer	-	Longitudine del punto di indagine reale o virtuale (WGS84UTM33N)	322457
CoordY		Long integer	-	Latitudine del punto di indagine reale o virtuale (WGS84UTM33N)	4752655
QuotaZ		integer	4	Quota sul livello del mare del punto di indagine reale o virtuale (metri)	65

⁵ Per le motivazioni esposte nella precedente nota n.3, non tutte le verticali di indagine potranno essere inserite nello shapefile di cui al punto 4. Ad es. le misure HVSR non saranno tabellate ai fini della ricostruzione del modello 3D e resteranno solo come indagini puntuali.

Depth	Integer	4	Profondità (m) raggiunta dall'indagine	35
Azimuth	Integer	3	Angolo di inclinazione eventuale (gradi) dell'indagine rispetto alla verticale	0
ID_SPU	string	15	Inserire il codice "ID_SPU" identificativo del sito puntuale dell'indagine secondo gli standard MS 4.2	051001P10
ID_SLN	string	15	Inserire il codice "ID_SLN" identificativo del sito lineare dell'indagine secondo gli standard MS 4.2	051001L35
Tipo_Vert	string	4	Tipo di indagine verticale, reale (real) o virtuale (virt)	virt
Tipo_z	integer	4	Inserire il codice "Tipo_z" della zona MOPS secondo gli standard MS 4.2	2001

Tab.1 - Tabella attributi del file "<cod ISTAT Provincia + cod. ISTAT Comune>_verticali_indagine.shp"

5) Per gli spessori, parametri geofisici e geotecnici, caratteristiche geologico-tecniche e descrizione di ciascuna unità geologico-tecnica individuata nelle verticali di indagini, si dovranno riportare in un file denominato: "**<cod ISTAT Provincia + cod. ISTAT Comune>_attributi_unita_geol-tec.csv**"

Nome del campo	Tipo	Lunghezza	Descrizione	Valore esempio
ID_ind	string	15	Identificativo univoco indagine (cod. ISTAT Provincia + cod. ISTAT Comune + "I" + n. progressivo identificativo indagine)	051001_I1
ID_model	string	15	Identificativo del modello (cod. ISTAT Provincia + cod. ISTAT Comune + anno(aaaa) + "M" + progressivo numerico)	051001_2026_M1
ID_Unit	string	20	Identificativo Unità Sismo-stratigrafica (ID_Ind + "U" + n. progressivo identificativo dell'unità)	051001_I1_U1
Unit_prof_top	floating, 1	-	profondità rispetto al piano campagna del top dell'unità geologico-tecnica (metri) lungo la verticale	15,2
Unit_prof_bottom	floating, 1	-	profondità rispetto al piano campagna del bottom dell'unità geologico-tecnica (metri) lungo la verticale	25,5
Unit_Med_Tick	floating, 1	-	spessore medio dell'unità geologico-tecnica identificata (metri) rilevato nell'area di indagine	10,3
Unit_Vp	integer	4	Velocità delle onde P (valore medio per unità geologico-tecnica, lungo la verticale) espressa in m/sec	1800
Unit_Vs	integer	4	Velocità delle onde SH ⁶ (valore medio per unità geologico-tecnica, lungo la verticale) espressa in m/sec	450
Unit_P_vol	floating, 1	-	Peso di volume, valore medio assunto, (KN/m ³)	19,4
Unit_Cl_It	string	4	codice "Tipo_gt" della classe litologico-tecnica secondo gli standard MS 4.2	GM
Unit_F_geo	string	50	Sigla della formazione geologica di riferimento (rif. legenda CARG e legende VEL)	MAC

Tab.2 - Tabella campi del file "<cod ISTAT Provincia + cod. ISTAT Comune>_attributi_unita_geol-tec.csv"

⁶ In caso, all'interno della medesima unità geologico-tecnica, lungo la verticale, siano presenti valori di velocità delle onde SH significativamente differenti, può essere consigliabile prevedere unità separate.

6) A seguito della acquisizione di tutte le verticali di indagine puntuali (sia reali che virtuali), ad eccezione di quelle per le quali non è possibile stimare i parametri di cui alla tab.2, sarà possibile eventualmente ricostruire il modello 3D di sottosuolo, verificando la congruenza con le classi MOPS definite in ambito MS1, ricostruire una superficie del tetto del bedrock sismico/substrato roccioso e le colonnine geologico-tecniche delle verticali d'indagine in 3D⁷.

7) Gli elementi lineari presenti nell'area di studio (FAC e Sezioni Geologico-tecniche utilizzate per il modello 3D del sottosuolo) dovranno essere indicate in uno shapefile con geometria lineare denominato “<cod ISTAT Provincia + cod. ISTAT Comune>_Lines.shp” la cui tabella attributi dovrà contenere l'identificativo univoco dell' elemento lineare per consentire l'associazione con i relativi attributi.

Nome del campo	Tipo	Lunghezza	Descrizione	Valore esempio
ID_Line	string	15	Identificativo univoco elemento lineare (cod ISTAT Provincia + cod. ISTAT Comune +L”+ n. identificativo progressivo elemento lineare)	051001_L3
Tipo_Line	integer	4	Tipo di elemento lineare: traccia della Faglia Attiva e Capace (5000) o traccia della Sezione geologico-tecnica (8001)	5000
CoordX_A	Long integer	-	Longitudine del vertice A dell'elemento lineare (WGS84UTM33N)	322457
CoordY_A	Long integer	-	Latitudine del vertice A dell'elemento lineare (WGS84UTM33N)	4752655
CoordX_B	Long integer	-	Longitudine del vertice B dell'elemento lineare (WGS84UTM33N)	322446
CoordY_B	Long integer	-	Latitudine del vertice B dell'elemento lineare (WGS84UTM33N)	47526578

Tab.3 - Tabella campi del file “<cod ISTAT Provincia + cod. ISTAT Comune>_Lines.shp

8) gli attributi di ciascuna faglia attiva e capace, si dovranno riportare in un file denominato: “<cod ISTAT Provincia + cod. ISTAT Comune>_attributi_FAC.csv”

⁷ A titolo esemplificativo si segnala come possibile strumento di lavoro il plugin gratuito e open source per Qgis denominato “**Geoscience**”, progettato specificamente per la gestione e la visualizzazione di dati geologici, con un focus particolare sui sondaggi (drill holes). (<https://plugins.qgis.org/plugins/geoscience/>). Il plugin Geoscience consente di elaborare i dati grezzi dei sondaggi per renderli utilizzabili all'interno dell'ambiente GIS, con possibilità di visualizzare in tre dimensioni i log di sondaggio e creare delle sezioni geologiche. Tra le funzionalità avanzate si segnala la possibilità di creare sezioni (Sections) permettendo di visualizzare la correlazione tra i sondaggi. Oltre ai sondaggi, il plugin offre strumenti per gestire misure strutturali, griglie locali e impostazioni di grafica come la trasparenza del colore delle litologie. Per ulteriori dettagli si rimanda ai seguenti link:

https://qgis-in-mineral-exploration.readthedocs.io/en/latest/source/geological_data/plotting_drill_hole_traces/geoscience_plugin.html

https://qgis-in-mineral-exploration.readthedocs.io/en/latest/source/geological_data/plotting_drill_hole_traces/

<https://spatialintegration.com/>

Un'alternativa meno diffusa è rappresentata da “**OpenLog**”, plugin gratuito e open-source per QGIS destinato alla gestione dei dati di sondaggio. Si tratta di uno strumento più strutturato con focus sulla gestione completa di sondaggi e colonne stratigrafiche e log di dettaglio per ogni singolo foro. OpenLog utilizza database relazionali (come PostgreSQL/PostGIS o SQLite) per organizzare i dati geologici, permettendo una gestione strutturata di litologia, campioni e prove tecniche. OpenLog permette inoltre di visualizzare i punti dei sondaggi su una mappa, aggiungendo strumenti specifici per generare grafici verticali professionali delle stratigrafie. Può essere scaricato anch'esso dal Repository ufficiale dei Plugin di QGIS su – <https://plugins.qgis.org/plugins/openlog/>

Nome del campo	Tipo	Lunghezza	Descrizione	Valore esempio
ID_Line	string	15	Identificativo univoco elemento lineare (cod ISTAT Provincia + cod. ISTAT Comune +L"+ n. identificativo progressivo elemento lineare)	051001_L3
ID_model	string	15	Identificativo del modello (cod ISTAT Provincia + cod. ISTAT Comune + anno(aaaa) + "M"+ progressivo numerico)	051001_2026_M1
fault_code	integer	5	codice della Faglia Attiva e Capace (rif. Legenda ITHACA)	62100
fault_name	string	50	nome della Faglia Attiva e Capace (rif. Legenda ITHACA)	Firenze - Pistoia (inserire "nd" in mancanza di dati)
system_name	string	50	Nome del sistema a cui appartiene la FAC (rif. Legenda ITHACA)	Pistoia - Firenze System (inserire "nd" in mancanza di dati)
fault_type	integer	4	Cinematica della faglia: descrivere il movimento relativo dei blocchi rocciosi (normale, inversa o trascorrente). Utilizzare i codici "Tipo_el" relativi a a FAC attive e FAC potenziali secondo gli standard MS 4.2	5011
fault lenght	floating, 1	-	Lunghezza in superficie della linea di faglia individuata (m)	10,3
mean_strike	integer	3	Angolo (gradi) formato dalla linea di intersezione tra il piano del lineamento e un piano orizzontale, misurato rispetto al Nord geografico (di solito in senso orario, da 0° a 360°). Rappresenta l'orientazione orizzontale della struttura.	158
mean_dip	integer	2	angolo (gradi) di massima pendenza del piano della faglia rispetto al piano orizzontale. Il valore è compreso tra 0° (piano orizzontale) e 90° (piano verticale).	80
mean_dip_dir	string	5	Orientamento della massima pendenza rispetto ai punti cardinali	SW
DISL	floating, 1	-	Massima dislocazione sul piano di faglia principale (cm)	5,7

Tab.4 - Tabella campi del file "<cod ISTAT Provincia + cod. ISTAT Comune>_attributi_FAC.shp"

Si sottolinea che la ricostruzione del modello geologico di sottosuolo 3D da implementare a seguito dell'acquisizione e informatizzazione delle verticali di indagine, così come descritto nei punti precedenti, non è obbligatoria e riveste carattere sperimentale, pertanto sarà oggetto di modifiche e aggiornamenti che saranno contenuti in successive linee guida.

Allo stesso modo i contenuti di cui alle tabelle 1-2-3 e 4 potranno essere aggiornati, così come eventuali manuali d'uso e/o procedure tecniche per il soggetto realizzatore dello studio che saranno rese disponibili dal Settore regionale competente.

3. ANALISI DELL'AMPLIFICAZIONE SISMICA LOCALE

Di seguito si illustrano le modalità da seguire per la valutazione dell'amplificazione sismica nell'ambito di studi di Microzonazione Sismica di livello 4 in Regione Toscana e, conseguentemente, quali sono i prodotti di output richiesti e le procedure per un loro corretto utilizzo sia nella fase pianificatoria sia per la conseguente fase edificatoria.

La valutazione dell'amplificazione sismica dovrà prevedere la realizzazione di analisi di risposta sismica locale (in assetto 2D/3D) per le quali bisognerà definire un modello di input sismologico (selezione delle storie temporali di input), geometrico (determinazione dell'assetto geometrico sepolto e superficiale dei terreni interessati dallo studio di microzonazione sismica) e fisico-meccanico (parametrizzazione in chiave dinamica dei sismostrati oggetto delle analisi di RSL). Nel caso si opti per un approccio di tipo 2D, dovrà essere prevista l'esecuzione di analisi di RSL su tutte le sezioni realizzate per la definizione del modello geologico s.l.

3.1. Selezione delle storie temporali di input

Per quanto attiene alla definizione delle serie temporali da utilizzare come input sismologico, esse dovranno essere ricavate mediante l'utilizzo del software regionale SCALCONA 3.0 (SCALing of COmpatible Natural Accelerograms), scaricabile al link: <http://www.regione.toscana.it/-/accelerogrammi-di-riferimento-per-la-toscana>. Tale codice di calcolo è stato definito mediante la procedura messa a punto dall'Università di Pavia nell'ambito di un Accordo di Collaborazione Scientifica con la Regione Toscana (Zuccolo et al., 2011; Rota et al., 2012; Zuccolo et al., 2012; Zuccolo et al., 2014).

In particolare, per tutto il territorio toscano, è possibile selezionare differenti periodi di ritorno (ossia 30, 50, 72, 101, 140, 201, 475, 712 e 949 anni). Il periodo di ritorno ufficiale per la realizzazione di studi di MS4 sarà di 475 anni. Inoltre, per le motivazioni espresse nei prossimi paragrafi, le analisi di RSL andranno eseguite anche utilizzando una settupla di accelerogrammi naturali relativa ad un periodo di ritorno di 50 anni. La scelta di privilegiare settuple estratte mediante SCALCONA 3.0 (già utilizzato negli studi di MS3 realizzati in Toscana) deriva dalla necessità di avere omogeneità in termini di accelerogrammi di input, soprattutto per studi avanzati di MS di comuni attigui.

Dovranno essere scaricate settuple di accelerogrammi per i periodi di ritorno di 475 anni e 50 anni. Il primo periodo di ritorno è quello da utilizzare per le analisi di risposta sismica locale e per le eventuali analisi finalizzate alla parametrizzazione delle instabilità; sulla base di tali analisi andranno computati (secondo le modalità di seguito elencate) i fattori di amplificazione sismica.

La seconda analisi (periodo di ritorno pari a 50 anni) servirà per la fase finale, relativa alla stima degli spettri normalizzati caratteristici dell'area omogenea. L'estrazione delle serie temporali dovrà riferirsi alla sede comunale (qualora, come sovente accade, il centro abitato oggetto di studio sia capoluogo), oppure, nel caso di analisi condotte in corrispondenza di una frazione, bisognerà riferirsi al baricentro dell'area di studio.

Qualora dovessero insorgere problemi sull'utilizzo delle settuple estratte mediante il codice di calcolo SCALCONA 3.0 (una problematica potrebbe essere il superamento della soglia di deformazione volumetrica nelle analisi di RSL, se condotte mediante codici di calcolo operanti secondo un modello lineare-equivalente) sarà possibile rivolgersi ad altre procedure per l'estrazione degli accelerogrammi. Le storie temporali da utilizzare dovranno essere però di tipo naturale, poiché (come discusso in

seguito) una delle finalità di uno studio di MS4 in Toscana prevede anche un possibile utilizzo dei risultati di output in fase progettuale.

Per questa finalità, infatti, è necessario rimanere aderenti ai dettami delle vigenti NTC per le quali la stima dell'azione sismica di progetto mediante un approccio rigoroso (RSL) deve prevedere l'utilizzo in fase di input di storie temporali naturali. In alternativa, è possibile riferirsi a storie temporali sintetiche, le cui modalità di determinazione dovranno essere documentate in maniera dettagliata nella specifica relazione a corredo dello studio di MS4.

Il ricorso a differenti tipologie di definizione dell'input sismologico può essere effettuato anche per migliorarne le caratteristiche di idoneità in termini di spettrocompatibilità, sismocompatibilità e fattore di scala. Tale scelta andrà, comunque, concordata con l'Ufficio regionale preposto al coordinamento dello studio.

3.2. Definizione del modello geologico-tecnico di input

Il modello geometrico da sottoporre ad analisi di risposta sismica locale dovrà essere basato su una ricostruzione 3D dell'area di studio, con particolare riferimento alla determinazione dell'andamento sepolto del tetto del substrato sismico/roccioso e alle geometrie degli orizzonti significativi (cfr. nota 4) all'interno della copertura.

Il modello 3D dovrà essere documentato mediante gli idonei elaborati oltre che mediante un congruo numero numerose sezioni geologiche tali da poter realizzare una griglia tridimensionale di sezioni geologico-tecniche (cfr. nota 2), da rappresentare anche con un elaborato dedicato (**Carta delle sezioni geologico-tecniche**)

Le eventuali modifiche/schematizzazioni/semplificazioni necessarie per l'adattamento del modello geologico-tecnico 3D alla versione da sottoporre ad analisi di RSL andranno concordate tra il geologo responsabile dello studio di MS ed il tecnico incaricato delle analisi di RSL.

Inoltre, sempre in considerazione dell'assetto sismostratigrafico desunto dalla definizione del Modello Geologico di Riferimento, sarà scelto anche il tipo di approccio da utilizzare per le analisi di RSL. Solitamente le analisi di Risposta Sismica Locale per studi avanzati di MS vengono condotte utilizzando approcci di tipo lineare-equivalente. In alternativa, compatibilmente con la disponibilità di software specifici ed affidabili, sarà possibile esaminare l'amplificazione locale mediante approcci di tipo non lineare (con conseguente aumento dei parametri da utilizzare in fase di input e, quindi, delle indagini da realizzare).

Il modello di input delle analisi, nel caso sia agli elementi finiti, dovrà garantire una dimensione massima degli elementi compatibile la regola (Kuhlemeyer e Lysmer, 1973):

$$D_{max} = \lambda / k = (T V_s)/k \quad (1)$$

dove V_s è la velocità di propagazione delle onde di taglio (ricavata dalle indagini geofisiche dirette ed illustrate nei precedenti capitoli) e T è il periodo corrispondente alla più corta onda sismica propagabile e posto pari a 0.05s (frequenza massima propagata pari a 20Hz). Tale periodo è quindi il minor periodo per cui si può ritenere attendibile il dato di output. Il coefficiente k è stato posto pari a 8 (Lanzo & Silvestri, 1999).

3.3. Parametrizzazione in chiave dinamica dei terreni

L'esecuzione di analisi di risposta sismica locale prevede la parametrizzazione in chiave dinamica dei terreni oggetto di studio.

Qualora, come usualmente accade, si decida di ricorrere all'utilizzo di codici di calcolo operanti in ambito lineare-equivalente, sarà necessario ottenere, per ognuno dei sismostrati da modellare, i seguenti parametri:

- Valori di V_p (velocità di propagazione delle onde di compressione) e di V_s (velocità di propagazione delle onde di taglio). Il valore di V_s (come indicato nel precedente paragrafo) servirà anche per determinare la dimensione ottimale della mesh con cui verrà discretizzata la sezione da modellare;
- Pesì di volume dei litotipi in oggetto;

Curve di decadimento del modulo di taglio normalizzato $G(\gamma)$ e di incremento del rapporto di smorzamento $D(\gamma)$ utilizzate per simulare il comportamento non lineare dei terreni mediante il legame costitutivo lineare equivalente.

Tali curve sono definite mediante prove geotecniche di laboratorio in campo dinamico; in alternativa è possibile, conoscendo le caratteristiche litologiche del sismostrato in oggetto, estrapolare tali curve da banche dati nazionali o internazionali. A tal proposito, si segnala la banca dati specifica, disponibile sul portale delle indagini del Progetto VEL – Regione Toscana: <http://150.217.76.22/BancaDatiVEL/>

Per quanto riguarda la scelta dei parametri da utilizzare per le analisi di RSL (in tabella 5 viene riportato un esempio riferito ad uno studio di MS3 di un comune del Mugello) si ritiene opportuno che essi vengano determinati sulla base di un'analisi statistica relativa alle indagini poste in corrispondenza di ognuna delle sezioni da modellare. Tuttavia, in contesti di limitata estensione areale e/o in aree omogenee da un punto di vista sismostratigrafico, possono essere definiti valori medi univoci (per ogni sismostrato) da utilizzare per tutte le sezioni da analizzare.

In fase di predisposizione del modello di input, si raccomanda di provvedere alla determinazione di un elevato numero di punti di output, necessari per una completa analisi dei risultati e per la successiva fase di estrapolazione dei dati.

Come indicato precedentemente, sarà necessario effettuare due distinte analisi: la prima utilizzando una settupla di storie temporali relativa ad un periodo di ritorno di 475 anni e la seconda al periodo di ritorno di 50 anni.

La prima analisi sarà quella ufficiale dello studio di MS4, da cui saranno estrapolati tutti i prodotti dello studio di Microzonazione (tipicamente spettri di risposta elastici e Fattori di Amplificazione). La seconda analisi, come descritto in seguito, sarà utilizzata esclusivamente per acquisire spettri medi caratteristici da utilizzare nella fase finale dello studio (indicazioni e strumenti per la progettazione edilizia).

Tab.5 – Esempio di parametrizzazione dinamica necessaria per analisi di RSL bidimensionali secondo un modello lineare-equivalente

sismostrato	Vp (m/s)	Vs (m/s)	Rapporto di Poisson	Peso di volume (kN/mc)	Modulo di taglio G (kPa)	curve dinamiche G/G ₀ e D(%)
riporti (h)	455	185	0.40	17.0	59329	riporti_mugello
conoide (m)	1800	380	0.48	19.0	279765	conoidi_VEL
colluvioni (b8)	390	190	0.34	18.0	66260	colluvi_mugello
alluvioni (SIV1/SIV3)	1105	405	0.42	18.0	301062	alluvioni_sanpiero
detrito versante (a)	780	290	0.42	18.0	154362	ghiaie_rollins1998
lacustre (al2)	1605	435	0.46	19.0	366611	lacustre_mugello
arenarie (PLO)	3225	1195	0.42	23.0	3349167	linear 1%

3.4. Dati di output

L'esecuzione di analisi di risposta sismica locale consente l'acquisizione di molteplici parametri e strumenti di output. I più diffusi sono gli spettri di risposta elastici ed i fattori di amplificazione derivati dall'analisi degli spettri. In corrispondenza delle Zone di Rispetto per instabilità di versante (Z_{RFR}), andranno forniti anche gli accelerogrammi di output, necessari per l'esecuzione delle analisi di stabilità.

I fattori di amplificazione obbligatori da definire, secondo quanto espresso dai più recenti Standard Nazionali, sono i fattori di amplificazione in accelerazione (FA) determinati per 3 differenti intervalli spettrali: FA0105, tra 0.1s e 0.5s, FA0408, tra 0.4s e 0.8s ed FA0711, nell'intervallo 0.7s e 1.1s.

Per ognuno dei punti di output, definiti in fase di input delle analisi di RSL, dovrà essere ricavato lo spettro di risposta elastico, come media dei 7 spettri di output relativi alle 7 storie temporali utilizzate come input sismologico. Tale spettro di output servirà anche a determinare i valori di FA.

Dopo aver rappresentato su apposito foglio di calcolo i suindicati prodotti di output, si procederà all'accorpamento degli stessi sulla base di criteri di similitudine grafica.

Infatti, nella MS1 l'omogeneità delle microzone individuate si basa su considerazioni stratigrafiche, coadiuvate da informazioni semplificate sul comportamento dinamico dei terreni (come ad esempio i valori di frequenza fondamentale del terreno derivanti dall'esecuzione di misure di rumore ambientale a stazione singola); nelle analisi di MS2, invece, l'omogeneità è fondata sul valore dei Fattori di amplificazione, stimati con metodologie semplificate. Per gli studi avanzati di MS3-4 tale l'omogeneità (alla base della zonazione proposta) è data da uno spettro medio, che rappresenta la risposta sismica di quella particolare porzione di territorio.

Oltre che in maniera grafica, l'accorpamento degli spettri può essere guidato anche dal confronto contemporaneo dei 3 FA. Due spettri simili, infatti, tenderanno ad avere tutti e 3 gli FA caratterizzati da valori simili tra di loro.

Come prima fase, si tenterà di accorpare univocamente gli spettri di output sulla base del valore del tipo_z (le caratteristiche stratigrafiche rappresentate nella carta delle MOPS).

Qualora tutti i gruppi di spettri individuati siano caratterizzati da una buona omogeneità, si procederà alla definizione dello spettro medio (da allegare anche in formato .txt secondo le procedure riportate dai vigenti Standard Nazionali) rappresentativo della microzona individuata come omogenea.

Poichè lo spirito di uno studio di MS (a prescindere dal livello raggiunto) è quello di perseguire la sintesi tra il necessario approfondimento ed una resa semplificata del risultato, visto che la sua

principale finalità è di natura pianificatoria e urbanistica, le microzone con spettri simili dovranno essere accorpate e lo spettro medio rappresentativo diventerà la media di tutti i singoli spettri di output.

Si tenga presente che da un punto di vista informatico tutti i poligoni omogenei di una carta di MS superiore al livello 1 devono avere un uguale valore del tipo_z; pertanto, per evitare poligoni di area molto piccola (ad esempio a valle della redazione della carta di MS senza considerare nell'estrapolazione il livello 1 di base), bisognerà far sì che l'estrapolazione sia guidata dall'informazione stratigrafica di base.

Qualora all'interno di uno stesso tipo_z la rappresentazione degli spettri di output non fornisca un andamento omogeneo, bisognerà comprenderne i motivi, realizzando le **microzone omogenee tramite partizione dei poligoni del livello 1**. Ad esempio, la figura 2 riporta l'esempio di una microzona (indicata con contorno blu) in cui, a seguito di analisi di RSL 2D, vengono definiti punti di output con relativo valore di FA0105 (simboli in verde). Come è possibile osservare, a fronte della medesima microzona e relativa caratterizzazione stratigrafica, esiste una elevata variabilità dei valori di FA che ha richiesto una suddivisione del poligono della MS1 in 5 classi di amplificazione.

3.5. Indicazioni della MS3 per la gestione della fase progettuale

Uno studio avanzato di MS restituisce una dettagliata definizione dell'azione sismica ed è possibile (in aggiunta a quanto previsto dagli ICMS) fornire per ogni microzona strumenti utili a rappresentare in quel determinato ambito areale l'azione sismica di progetto.

La metodologia (oggi operativa mediante Ordinanza n.55 nelle fasi di ricostruzione delle aree del Centro Italia colpite dai sismi del 2016) verte, quindi, sulla definizione di una procedura finalizzata alla definizione di spettri di risposta elastici normalizzati, direttamente derivanti dagli studi di microzonazione sismica e da utilizzare nelle fasi progettuali successive a quella pianificatoria.

A partire dallo spettro medio individuato mediante la procedura indicata nel precedente paragrafo, si potrà definire uno spettro normalizzato, definibile "caratteristico" del sito.

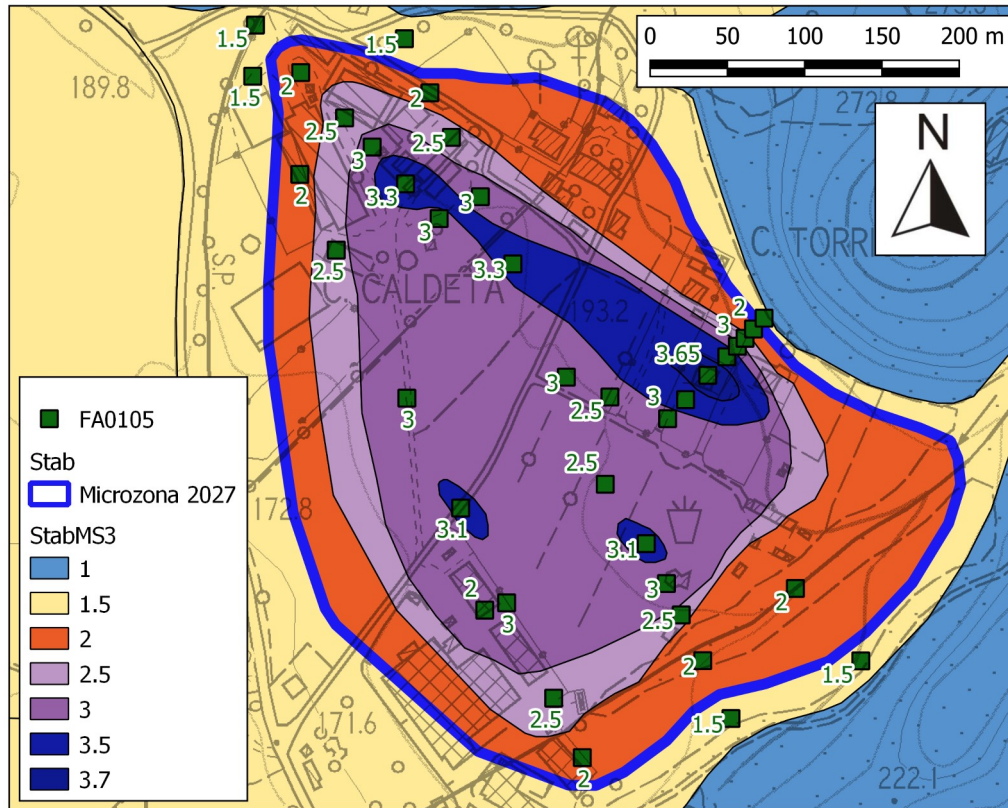


Fig.2 – Esempio di differenziazione in una MS3 di un’unica microzona omogenea in varie microzone a seguito di una distribuzione molto differenziata dei valori di FA0105.

La normalizzazione permette di definire sia uno spettro di forma simile a quelli semplificati di normativa sia, di conseguenza, i suoi parametri dipendenti (S , T_b e T_c), mentre i parametri indipendenti sono fissati, come noto, dalla localizzazione del sito e dalle scelte progettuali alla base della progettazione. La regolarizzazione dello spettro viene effettuata secondo le procedure illustrate negli ICMS 2008 e meglio specificate da Pergalani e Compagnoni (2013).

In sintesi, secondo tale metodo, dallo spettro medio si ricavano i valori di T_A (periodo per il quale è massimo il valore in accelerazione), S_A (valore medio dello spettro in accelerazione per periodi compresi tra $0.5T_A$ ed $1.5T_A$), T_V (periodo per il quale è massimo il valore in pseudovelocità), S_V (valore medio dello spettro in pseudovelocità per periodi compresi tra $0.8T_V$ ed $1.2T_V$).

Ricavati tali valori si determinerà l’estensione del plateau (tratto dello spettro con accelerazione costante) tenendo conto che $T_c = 2\pi \cdot (S_V/S_A)$ e $T_b = 1/3T_c$.

Noti i parametri indipendenti dalle condizioni di sito (a_g e T_d) è possibile, infine, ricavare il parametro S come a_{max}/a_g dove a_{max} è calcolata da analisi di risposta locale. Il parametro F_0 , indipendente dalle condizioni sismostratigrafiche del sito secondo l’approccio semplificato delle NTC2018, nel presente metodo viene reso, invece, dipendente dalle condizioni geologiche locali con valore pari al rapporto tra S_A ed a_{max} (accelerazione di ancoraggio dello spettro caratteristico).

Questo spettro si riferisce ad un periodo di ritorno di 475 anni e, pertanto, può essere paragonato allo spettro semplificato di normativa relativo all’azione sismica per lo Stato Limite di Salvaguardia della Vita (SLV) per un edificio “ordinario” (Vita nominale $V_N = 50$ anni e Classe d’uso $CU = II$).

Regolarizzato lo spettro è possibile produrre un file .txt in cui saranno indicati nelle prime 3 righe (header) i dati d'origine dello spettro ed i parametri indipendenti e dipendenti desunti a seguito della regolarizzazione dello spettro medio.

Oltre all'analisi "ufficiale" della MS, caratterizzata da un periodo di ritorno tipicamente di 475 anni, bisognerà realizzare analoghe analisi imponendo come input sismico accelerogrammi spettro-compatibili e sismo-compatibili per periodi di ritorno propri dello Stato Limite di Esercizio (di solito Stato limite di Danno, SLD), che nel caso specifico corrispondono ad un $T_r=50$ anni.

Operando con la medesima procedura precedentemente illustrata, sarà possibile ricavare spettri caratteristici normalizzati utilizzabili per rappresentare l'azione sismica allo SLE.

Infine, preme sottolineare alcune regole base per un corretto utilizzo degli spettri caratteristici:

- Si ritiene opportuno che tale approccio sia consentito per progetti caratterizzati al massimo da classe d'uso II (opere ordinarie). Per opere caratterizzate da classe d'uso superiore (opere strategiche e rilevanti) e ricadenti in aree definite a elevata pericolosità sismica sarà necessario rendere obbligatoria la verifica dell'azione sismica di progetto mediante adeguate analisi di risposta sismica locale;
- L'utilizzo degli spettri caratteristici dovrà essere vincolato alla verifica, a cura del professionista incaricato della stima dell'azione sismica di progetto, della conformità del modello di sottosuolo (in termini di affidabilità, significatività e rappresentatività delle analisi effettuate) in corrispondenza del sito di progetto con quello tipico della microzona, anche in riferimento alla quota di riferimento dell'opera in progetto (quota di imposta delle fondazioni);

L'uso degli spettri caratteristici dovrebbe essere, inoltre, subordinato al rispetto di un indice di qualità, opportunamente definito, che valuti la qualità degli studi in particolare in ragione della densità e qualità delle indagini geotecniche e geofisiche utilizzate per la definizione del modello di sottosuolo. Trattandosi, nel caso in oggetto, di studi di MS4, si ritiene che tale requisito sia valido a priori;

Se i valori dei periodi di ritorno di progetto corrispondono a quelli utilizzati per le analisi di MS4 sarà possibile utilizzare direttamente i dati presenti nel file .txt;

In alternativa, per piccole variazioni del periodo di ritorno (ad esempio il passaggio dall'azione sismica propria dello SLD a quella per SLO), assumendo quindi lo stesso grado di non linearità nel comportamento dei terreni, si potranno utilizzare i parametri dipendenti presenti nella "header" del file testo (S, F0, TB, TC) combinandoli con i parametri indipendenti (ag, TD) propri della scelta progettuale.

Tab. 6 – Parametri dipendenti relativi agli spettri di risposta caratteristici (Tr=50 anni), desunti a seguito del processo di normalizzazione. Da Gruppo di Lavoro Fivizzano (2017)

Microzonazione sismica di 3°livello - SLU (Tr=475 anni)

Spettri caratteristici delle microzone stabili - parametri

ag = 0.200g, T*c = 0.279s					
microzona	F0 (-)	S (-)	Tb (s)	Tc (s)	Td (s)
A	2.518	0.929	0.107	0.320	2.343
B	2.430	1.201	0.087	0.261	2.560
C	2.819	1.349	0.079	0.238	2.680
D	3.026	1.582	0.077	0.232	2.866
E	3.052	1.612	0.104	0.311	2.889
F	3.102	1.854	0.101	0.302	3.083
G	3.091	1.977	0.114	0.341	3.181
H	3.263	2.049	0.116	0.349	3.239
I	3.335	2.202	0.120	0.361	3.361
L	3.240	2.499	0.119	0.358	3.599

3.6. IL PARAMETRO H_{SM}

La zonazione del territorio sulla base dei valori di FA (per i tre intervalli spettrali previsti) non rappresenta in maniera “completa” la pericolosità sismica reale di un’area e non permette eventuali confronti tra aree diverse anche nell’ambito di uno stesso Comune, se molto esteso.

Infatti, il solo valore di FA (a prescindere dalle differenti modalità di determinazione del parametro) indica la propensione all’amplificazione di una determinata porzione di territorio ma non tiene conto della pericolosità di base. Territori aventi lo stesso valore di FA ma differente pericolosità di base avranno una pericolosità sismica “totale” differente.

Il nuovo parametro sintetico proposto è denominato H_{SM} (H=Hazard, SM=Seismic Microzonation) ed ha come caratteristica più importante la confrontabilità, a scala regionale e nazionale, della pericolosità sismica di base integrata con l’amplificazione locale.

H_{SM} è normato nelle Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da amplificazioni. Versione 2.0 (2022), dove è definito per ogni classe di intervalli di periodo come:

$$H_{SM}=FA_{Tn}*(ASI_{UHS}/\Delta T) \quad (2)$$

dove ASI_{UHS} (Acceleration Spectrum Intensity, Von Thun et al., 1988) è il valore integrale dello Spettro a Probabilità Uniforme (UHS, Uniform Hazard Spectrum), che deriva dagli studi della pericolosità sismica di base (GdL MPS, 2004), per TR=475 anni, nel relativo intervallo di periodo Tn (T1= 0.1-0.5s; T2=0.4-0.8s; T3=0.7-1.1s);

FA_{Tn} è il Fattore di Amplificazione, calcolato con metodi semplificati o avanzati, negli intervalli di periodo Tn e mediante un input sismico congruo con lo spettro a Probabilità Uniforme della pericolosità di base.

ΔT è l'ampiezza dell'intervallo di integrazione (0.4 s);

H_{SM} è quindi funzione del rapporto $ASI_{UHS} / \Delta T$, e dunque dell'accelerazione spettrale media nell'intervallo di periodo considerato, di ampiezza costante e pari a 0.4 s, e del coefficiente FAT_n che è il valore di FA degli studi di MS (dal livello 2 a salire) nello stesso intervallo di periodo.

La procedura proposta nelle suindicate Linee Guida è tarata sulla definizione di H_{SM} a partire da studi di $MS2$, in cui non si ha a disposizione nè un gruppo di terremoti di input nè uno spettro di output rappresentativo dell'amplificazione media della microzona omogenea.

Poichè in uno studio di $MS4$ saranno adottate le tecniche più avanzate per la stima dell'amplificazione sismica, attraverso l'esecuzione di analisi di RSL e con la produzione di spettri medi rappresentativi dell'amplificazione locale per l'area di riferimento, è possibile ottenere il parametro H_{SM} in maniera più rapida e semplice rispetto alla procedura indicata nelle Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da amplificazioni.

Infatti, poichè in uno spettro di output sono già presenti sia l'amplificazione locale sia la pericolosità di base, sarà sufficiente determinare l'integrale dello spettro in pseudoaccelerazione (PSA) e dividerlo per il valore di $\Delta T = 0.4s$ senza necessità di una stima ad hoc del parametro ASI_{UHS} .

Pertanto, la formula di riferimento sarà:

$$H_{SM} = \frac{\int_{T_1}^{T_2} PSA dt}{\Delta T} \quad (3)$$

La determinazione del parametro H_{SM} permette la definizione di classi di valore, la cui versione originale, riportata nelle Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da amplificazioni, è la seguente:

Tab. 7 – Classificazione originale di H_{SM} per i 3 intervalli di periodo

Intervalli di periodo	Classificazione H_{sm} (g)			
	Basso	Medio	Alto	Molto alto
$T1_{(0.1-0.5)}$	≤ 0.21	0.22-0.54	0.55-0.85	≥ 0.86
$T1_{(0.4-0.8)}$	≤ 0.14	0.15-0.34	0.35-0.55	≥ 0.56
$T1_{(0.7-1.1)}$	≤ 0.09	0.10-0.22	0.23-0.35	≥ 0.36

Tab. 8 – Proposta di classificazione di H_{SM} per i 3 intervalli di periodo operata in regione Toscana

Intervalli di periodo	Classificazioni H_{sm} (g)					
	Basso	Medio-basso	Medio	Medio-alto	Alto	Molto alto
$T1_{(0.1-0.5)}$	≤ 0.21	0.22-0.38	0.39-0.54	0.55-0.70	0.71-0.85	≥ 0.86
$T1_{(0.4-0.8)}$	≤ 0.14	0.15-0.24	0.25-0.34	0.35-0.45	0.46-0.55	≥ 0.56
$T1_{(0.7-1.1)}$	≤ 0.09	0.10-0.16	0.17-0.22	0.23-0.29	0.30-0.35	≥ 0.36

4. VALUTAZIONE DELLE INSTABILITÀ

Per quanto riguarda le principali instabilità presenti in uno studio di MS, si riportano di seguito alcune indicazioni principali sulle indagini di esplorazione del sottosuolo da eseguire e sulle modalità operative, rimandando ai vigenti Standard Nazionali in materia per le informazioni di dettaglio.

4.1. Faglie attive e capaci

Per quanto riguarda lo studio delle FAC, sarà necessario, dopo aver consultato le principali banche dati nazionali e regionali in materia, pianificare l'esecuzione di indagini sismiche a riflessione HR (High Resolution) in direzione perpendicolare alla traccia della faglia, al fine di stabilirne le caratteristiche geometriche e l'estensione dell'"area perturbata".

Tali indagini dovranno permettere di stabilire, confermata l'esistenza di tale elemento di pericolosità, l'estensione dell'area instabile (buffer) da utilizzare nella rappresentazione della problematica nella cartografia specifica e la quantificazione del parametro DISL (massima dislocazione).

L'indagine sismica a riflessione potrà essere coadiuvata dall'esecuzione di indagini di tomografia elettrica (ERT) ed è propedeutica all'esecuzione (previa verifica di fattibilità logistica) di una eventuale trincea paleosismologica mediante la quale acquisire le informazioni sismotettoniche e cinematiche della faglia.

In linea generale, per la valutazione e l'ubicazione delle faglie attive e capaci, e' opportune fare riferimento ai seguenti documenti:

- studi scientifici regionali prodotti nell'ambito degli accordi di collaborazione scientifica con il CNR-IGG di Firenze, finalizzati alla realizzazione della cartografia sismotettonica regionale;
- Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da Faglie Attive e Capaci - FAC (DPC, versione 1.0, Giugno 2015).

4.2. Instabilità di versante

L'individuazione delle aree instabili per frana deve restituire, nella carta geologico-tecnica e nella conseguente carta delle MOPS, un quadro coerente con il PAI di riferimento.

In uno studio di livello 4 sarà necessario sottoporre tutte le aree instabili per presenza di fenomeni gravitativi quiescenti ed inattivi ad analisi di stabilità, da condursi in campo dinamico e volte a definirne lo spostamento permanente. Ne deriva che tutte le aree instabili per frana saranno zone di rispetto (ZR_{FR}) nella carta di MS3.

Pertanto, in assenza di dati e/o monitoraggi pregressi, sarà necessario eseguire le indagini apposite al fine di acquisire i parametri di input necessari per le suindicate analisi, quali le geometrie sepolte ed i parametri geotecnici di rottura (coesione ed angolo di attrito interno), oltre che gli accelerogrammi di input che saranno selezionati a valle della fase di analisi della risposta sismica locale.

In linea generale per approfondimenti in merito all'instabilità di versante, si dovrà fare riferimento alla "Linea Guida per la gestione del territorio in aree interessate da instabilità di versante sismoindotte" (DPC, versione 2.1, Gennaio 2018).

4.3. Liquefazione

Per quanto riguarda gli aspetti relativi alla valutazione del potenziale di liquefazione dei terreni, si fa riferimento alle *“Linea guida per la Gestione del territorio in aree interessate dalla liquefazione”* (DPC, versione 1.0, Marzo 2017) ed in generale alla manualistica e alle linee guida regionali, nazionali ed internazionali disponibili in materia.

Ciò premesso, nell’ambito di uno studio approfondito di livello 4, in riferimento alle analisi areali del potenziale di liquefazione si descrive di seguito la procedura da seguire.

1) Esame del contesto geologico-tecnico di riferimento.

Mediante l’acquisizione e consultazione del quadro conoscitivo esistente desunto dagli studi di MS1 e MS3 già disponibili – comprensivi delle eventuali prescrizioni già inserite in ambito urbanistico -, dovranno essere individuate preliminarmente tutte le aree per le quali non è possibile escludere a priori la problematica della liquefazione. Tale valutazione speditiva, dovrà essere effettuata essenzialmente mediante criteri qualitativi: criteri geologici, storici⁸, geotecnici e/o granulometrici⁹ e si potrà fare riferimento ad analisi di laboratorio esistenti, stratigrafie note, prove penetrometriche disponibili.

In questo contesto preliminare, ai fini di effettuare uno screening, si ricorda come l’EC8 e le NTC 2018 prevedano i seguenti casi di esclusione¹⁰:

- a) accelerazione massima attesa al piano campagna (in campo libero) minore di 0,1g;
- b) profondità media stagionale della falda superiore a 15m dal p.c.;
- c) depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N1)_{60}^{11} > 30$ oppure $qc_{1N}^{12} > 180$;
- d) distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella figura 3.

In riferimento al suddetto punto d), ferma restando la necessità di una preventiva valutazione della rappresentatività del dato puntuale riferito al singolo campione rispetto alla totalità della successione stratigrafica evidenziata del sondaggio, si sottolinea come la granulometria dei terreni suscettibili alla liquefazione è estremamente variabile (generalmente dalle ghiaie ai limi non plastici), come dimostrato da diversi studi presenti in letteratura (Rollins et al., 2021; Bray & Sancio, 2006; Andrews & Martin, 2000; Idriss & Boulanger, 2008; Boncio et al., 2018; Boncio et al., 2020) e ampiamente confermato dalle casistiche reali. Pertanto, il criterio di esclusione basato sulla granulometria non può essere considerato da solo un parametro affidabile per le analisi di suscettibilità alla liquefazione.

Nell’ambito di questa analisi di screening preliminare, si consiglia l’utilizzo di abachi (vedi fig.4) disponibili in letteratura (Andrews & Martin, 2000 e Bray & Sancio, 2006) per una prima valutazione della suscettibilità a liquefazione dei terreni a grana fine, basati sulla determinazione dei limiti di Atterberg, del contenuto d’acqua e della percentuale di argilla.

8 Ovvero connessi con l’età del Deposito. I terreni geologicamente "vecchi" (Pleistocene o precedenti) sono più stabili grazie a processi di cementazione e consolidazione naturale mentre il rischio è maggiore riguardo ai depositi Olocenici.

9 I depositi monogranulari, quali ad es. Le sabbie eoliche o di depositi sabbiosi alluvionali recenti, sono più critici per la problematica di liquefazione mentre per i depositi terrazzati ed eluvio-colluviali di versante la liquefazione è meno probabile. Inoltre e’ da tenere presente come i terreni con contenuto in argilla superiore al 15% o IP>12% presentino particelle fini coesive che generalmente impediscono il collasso della struttura granulare.

10 E’ sufficiente che si verifichi almeno una delle 4 circostanze, per omettere le analisi di liquefazione

11 Valore di resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (SPT) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 Kpa

12 Valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (CPT) normalizzata da una tensione efficace verticale di 100 kPa

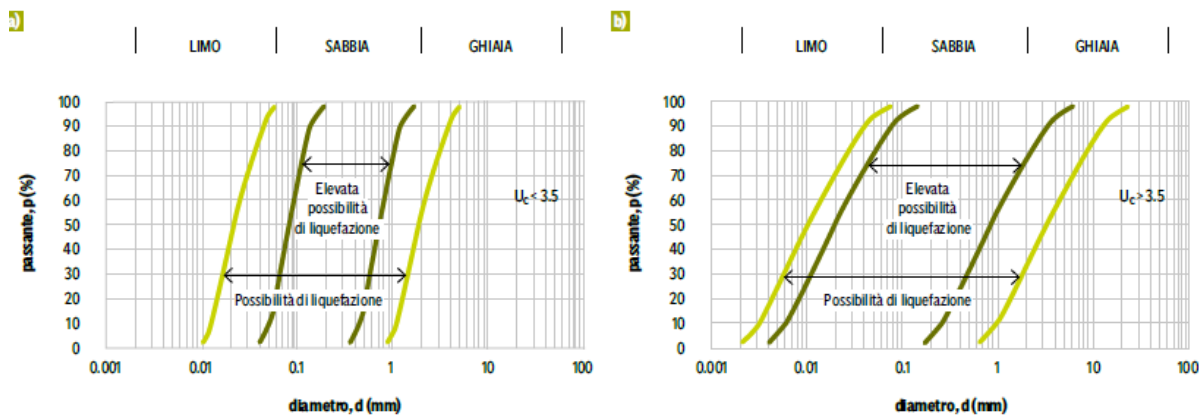


Fig.3 - Fusi granulometrici per la determinazione della suscettibilità a liquefazione di un terreno:
a) nel caso di terreni in cui il coefficiente di uniformità $U_c < 3.5$;
b) nel caso di terreni con $U_c > 3.5$ (AGI, 2005)

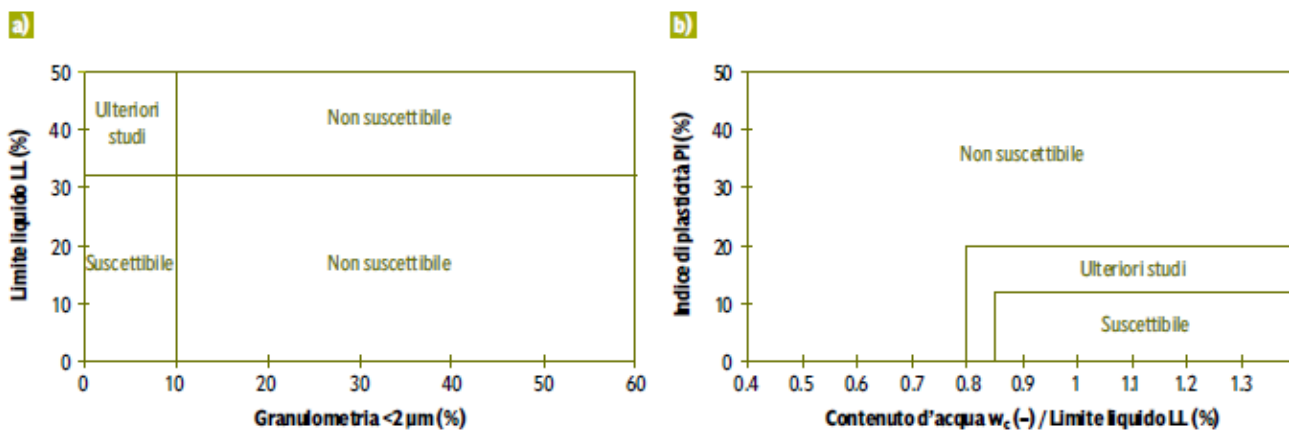


Fig.4 – Abachi per la stima della suscettibilità di un terreno alla liquefazione mediante prove di laboratorio

Inoltre, per una valutazione preliminare delle aree da sottoporre ad approfondimenti specifici in ambito MS4 per le analisi di suscettibilità a liquefazione, può essere utile fare riferimento al diagramma di flusso riportato nella figura seguente (Fig.5).

A conclusione della fase di screening preliminare, il soggetto realizzatore dello studio di MS4 sarà in grado di escludere le aree per le quali non si verificano le condizioni per la liquefazione e conseguentemente potrà perimetrare le aree per le quali sono necessari approfondimenti di cui al successivo punto 2;

2) Approfondimenti per la stima areale del potenziale di liquefazione dei terreni.

Nelle aree per le quali, sulla base delle valutazioni di cui al punto precedente, sono da realizzare approfondimenti per la stima del potenziale di liquefazione a livello areale, si dovranno acquisire tutte le prove CPT/CPTU/CPTe già disponibili e realizzare nuove prove penetrometriche statiche da ubicare in modo omogeneo nelle porzioni di areali non coperte, in modo da raggiungere una copertura totale¹³ all'interno dell'areale selezionato.

Per ogni verticale di indagine dovranno essere realizzate le analisi del potenziale di liquefazione mediante **metodologie semplificate** standard finalizzate alla stima del fattore di sicurezza F_s lungo la verticale di indagine e alla stima del potenziale di liquefazione LPI, in funzione della quale sarà perimetrata la zona di suscettibilità/rispetto alla liquefazione (vedi Fig.6).

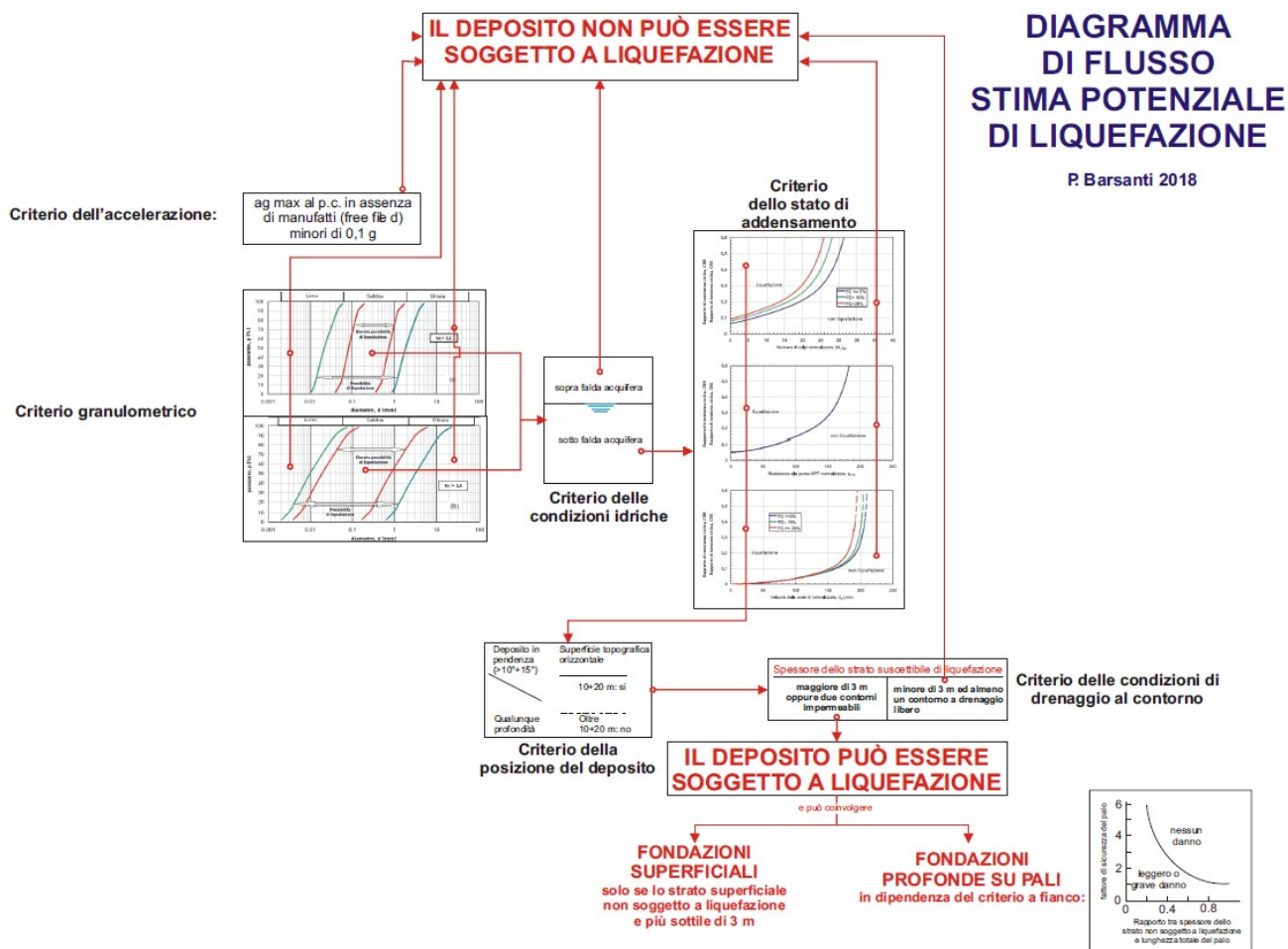


Fig. 5 – Diagramma di flusso per una valutazione di screening preliminare per le analisi di liquefazione dei terreni

Il **Fattore di sicurezza F_s** è definito dal rapporto CRR/CSR in cui CRR rappresenta la resistenza del terreno alla liquefazione, mentre CSR lo sforzo di taglio indotto dal terremoto. Il fattore di sicurezza viene definito lungo ogni verticale di indagine analizzata e, alla profondità in cui esso risulti minore di

13 Per copertura totale, si intende indicativamente di poter disporre di almeno una verticale ogni 250-300m

1 (o di 1.2 come previsto dalla normativa di riferimento¹⁴), il terreno è considerato suscettibile di liquefazione.

Per la valutazione del **rischio di liquefazione** si utilizza l'indice di potenziale di liquefazione LPI definito come segue:

$$LPI = \int_0^{z_{crit}} F(z) \cdot w(z) dz$$

dove:

- Z_{crit} rappresenta la profondità critica, ovvero la profondità oltre la quale possono ragionevolmente escludersi fenomeni di liquefazione. Tale profondità è assunta pari a 210m (Iwasaki, 1982), ma alcuni autori indicano anche profondità inferiori (10-15m).
- $w(z)$ è una funzione che definisce l'influenza della profondità dal piano di campagna
- $F(z)$ rappresenta il fattore di sicurezza FSL

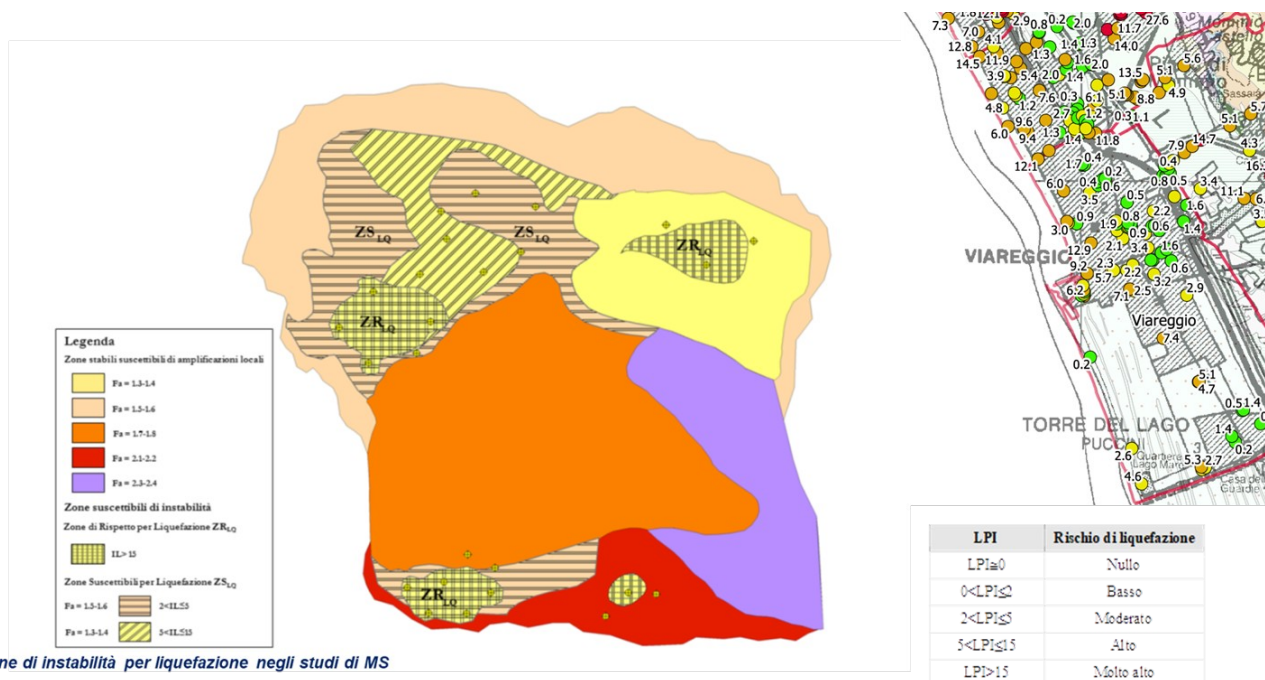


Fig. 6– Rappresentazione delle zone di suscettibilità/rispetto per la liquefazione in relazione alla classificazione del LPI (Sonmez, 2003)

¹⁴ Su questo aspetto e' opportuno fare chiarezza. Il metodo di Iwasaki 1982 assume valore di soglia fisso di $F_s = 1$ come valore rigido per la liquefazione e una classificazione del termine LPI prevedendo il valore di 5 come soglia tra il basso rischio di liquefazione e il moderato. Invece il piu' aggiornato e recente (e quindi piu' raccomandato) metodo di Sonmez 2003, assume come valore di soglia $F_s > 1,2$ per la liquefazione ed una funzione variabile tra 0,95 e 1,2; inoltre la classificazione del termine LPI prevede il valore di 2 (anziché 5) come soglia tra il basso rischio di liquefazione e il moderato. Quindi e' opportuno, una volta scelto il metodo, che la classificazione LPI sia omogenea rispetto alla scelta della metodologia per la stima del Fs. Inoltre, vi sono poi una serie di soluzioni ibride che portano a risultati differenti. Ad es. le Linee Guida per la liquefazione degli ICMS prevedono una classificazione LPI di Sonmez ma una valutazione del FSL con Iwasaki ed inoltre vi sono alcune altre pubblicazioni che prevedono la classificazione di Sonmez e la valutazione del Fs utilizzando Sonmez modificato (inserendo cioè il valore soglia a 1.25 (mutuato da EC8) al posto di 1.2 oppure il limite a 1.4.

Per la **classificazione del rischio di liquefazione** si adotta la classificazione di Sonmez 2003.

LPI	rischio di liquefazione
$\cong 0$	nullo
$0 < LPI \leq 2$	basso
$2 < LPI \leq 5$	moderato
$5 < LPI \leq 15$	alto
$LPI > 15$	molto alto

Per quanto riguarda le **metodologie semplificate** adottate, queste dovranno essere ufficialmente riconosciute e dovranno essere scelte tra le seguenti metodologie basate sull'utilizzo delle prove CPT/CPTU/CPTE:

- Robertson e Write (1998, 2004, 2009);
- Idriss e Boulanger¹⁵ (2008);
- Youd et al., (2001);
- Boulanger & Idriss¹⁵, (2014),
- Juang (2006, 2010)

La scelta dei vari metodi dovrà basarsi su considerazioni critiche sia in riferimento alla tipologia di terreno presente nel sito, sia in funzione della valutazione dei risultati in ottica conservativa. In generale è consigliabile operare mediante confronto di differenti metodologie ed è opportuno l'utilizzo della metodologia di Robertson e Write come punto di partenza, in quanto è la metodologia più diffusa e applicata anche a livello internazionale. In presenza di materiali di transizione e/o intermedi (ovvero limi o sabbie limose) la metodologia di Idriss e Boulanger offre generalmente risultati più realistici¹⁶, mentre per terreni granulari sabbiosi puliti è certamente più consigliabile il classico metodo di Robertson & Write.

Nell'ambito di queste metodologie, tra i vari aspetti di rilievo, è importante tener conto dei fattori correttivi per i materiali fini (FC)¹⁷ e dei fattori correttivi per l'utilizzo diretto delle prove CPTm¹⁸.

E' inoltre opportuno, per studi approfonditi su aree estese, calibrare la correlazione tra I_c e FC che risulta molto variabile e sito-specifica, usando campioni prelevati con sondaggi attigui e analisi di laboratorio.

¹⁵ Tale metodologia è in generale raccomandata per la robustezza del database di riferimento

¹⁶ Questo perchè la metodologia di I&B ricalibra in modo più accurato la correzione per il contenuto di fine (FC), rispetto al metodo di Robertson che funziona bene per le sabbie pulite ma che invece presenta una correzione del contenuto di fine (FC) con un grado di dispersione molto alto risultando non conservativo con l'aumentare del contenuto dei fini.

¹⁷ Il calcolo del Contenuto di Fine (FC) è il passaggio più critico e dibattuto nelle metodologie CPT. Poiché la prova penetrometrica non preleva campioni, la percentuale di limo e argilla deve essere stimata attraverso correlazioni empiriche basate sul comportamento meccanico del terreno. Il metodo di R&W non stima direttamente la percentuale di fine in senso granulometrico stretto, ma utilizza l'indice di comportamento del suolo I_c per correggere la resistenza della punta. Se I_c aumenta (terreno più fine), la resistenza q_{c1N} viene incrementata tramite un fattore di correzione K_c per ottenere una resistenza equivalente di "sabbia pulita" $q_{c1N,cs}$. Il metodo di I&B invece, a differenza di Robertson, richiede esplicitamente il valore di FC (preferibilmente da prove di laboratorio). Se i dati di laboratorio non sono disponibili, viene suggerito l'utilizzo di una formulazione diversa che si basa su un termine additivo Δq_{c1N} per il calcolo della resistenza equivalente $q_{c1N,cs}$ (anzichè moltiplicativo come nel caso di RW). Il metodo di Juang 2010 infine non applica alcun fattore correttivo per il calcolo del contenuto di fine (FC).

¹⁸ Generalmente i risultati della suscettibilità alla liquefazione ottenuti dalla prove CPTm risultano generalmente sottostimanti (f_s desunto da prova CPTm è sistematicamente superiore a f_s desunto da prova CPTU/CPTE) rispetto a quelli desunti dalle prove CPTU/CPTE. Pertanto è necessario utilizzare fattori correttivi (basati su I_c , f_s oppure solo su Q_{c1Ncs}) come indicato da Madiati et al. 2016

3) Raccomandazioni sulla scelta dei parametri di input

Prioritariamente, in funzione della categoria di sottosuolo ipotizzata per l'area in esame, dovrà essere stimato il parametro relativo alla " a_{max} "¹⁹. Si fa presente che tale parametro rappresenta l'unica condizione che, se soddisfatta (ovvero se a_{max} è inferiore a 0.10g), consente l'esclusione a priori delle analisi di liquefazione. Nella figura di seguito (fig.7) è rappresentata la distribuzione areale di a_{max} nel territorio regionale.

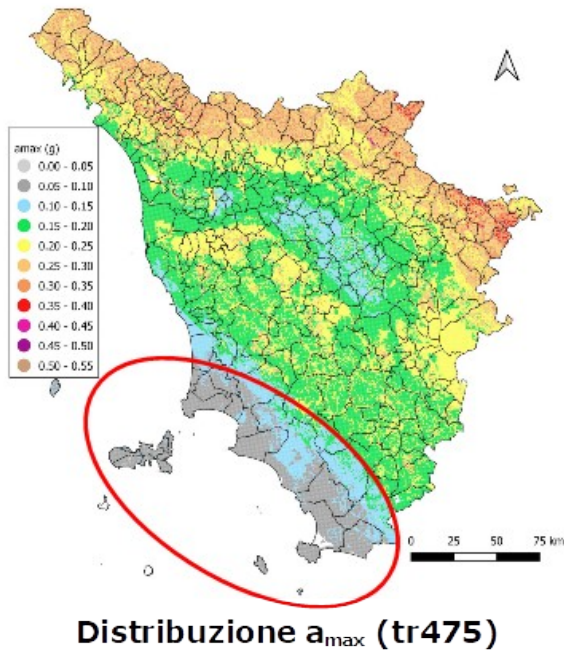


Fig.7 – Mappa di distribuzione di a_{max} per un tempo di ritorno di 475 anni

Per quanto concerne la stima del livello di **falda**, vista l'importanza che riveste la stima del valore di profondità della falda per le verifiche a liquefazione, è necessario che tale parametro sia definito con accuratezza.

A tal fine si può far riferimento a:

- studi/rilievi areali della superficie piezometrica (anche desunti dagli SU e aggiornati)
- rilievi di falda puntuali (misure di falda da pozzi).

Le misure da utilizzare per la stima del livello di falda sono quelle relative al periodo di morbida (vedi fig.8).

¹⁹ Accelerazione massima attesa al piano campagna in assenza di manufatti (in condizioni di campo libero) per un tempo di ritorno di 475 anni

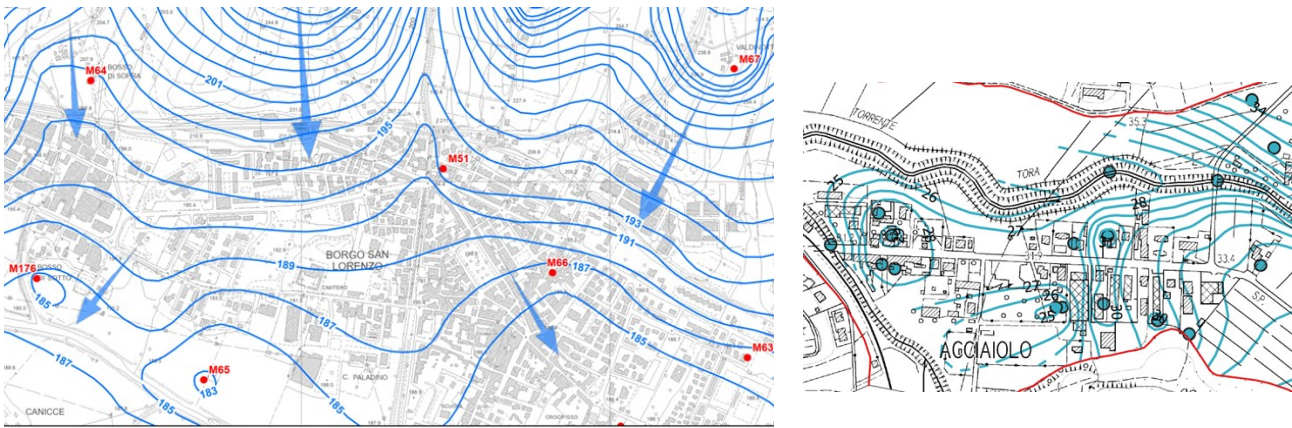


Fig.8 – Esempi di mappe della superficie di falda

Inoltre, in merito alla selezione del valore di *magnitudo di riferimento* per le verifiche di suscettibilità a liquefazione, si rimanda alla procedura “Analisi Territoriale della suscettività di liquefazione dei suoli in riferimento alla pericolosità sismica di base a livello regionale” (07-2022), approvato con Deliberazione di G.R.T. n.785/2025 (Allegato 3) in cui sono riportate indicazioni specifiche desunte da un recente studio scientifico condotto in collaborazione con il DISTAV dell’Università di Genova.

4) Modalità di perimetrazione

Per quanto concerne la modalità di perimetrazione delle **zone di suscettibilità (ZS_{liq}) e/o rispetto (ZR_{liq})** alla liquefazione si fa riferimento agli standard di natura grafica e alle legende previste all’interno degli “Standard di Rappresentazione e Archiviazione Informatica” redatti dal DPC (versione 4.2, Dicembre 2020).

Tutte le verticali di analisi del potenziale di liquefazione dovranno essere riportate nella cartografia delle indagini utilizzando la seguente simbologia con codice “AL” (Fig.9).

Inoltre, in caso siano previsti estese analisi di liquefazione su areali si consiglia di prevedere l’elaborazione di un cartografia specifica per l’analisi della suscettibilità a liquefazione, come nell’esempio di seguito (Fig.10).



Fig. 9 – Rappresentazione delle verticali di analisi di liquefazione all’interno della cartografia delle indagini

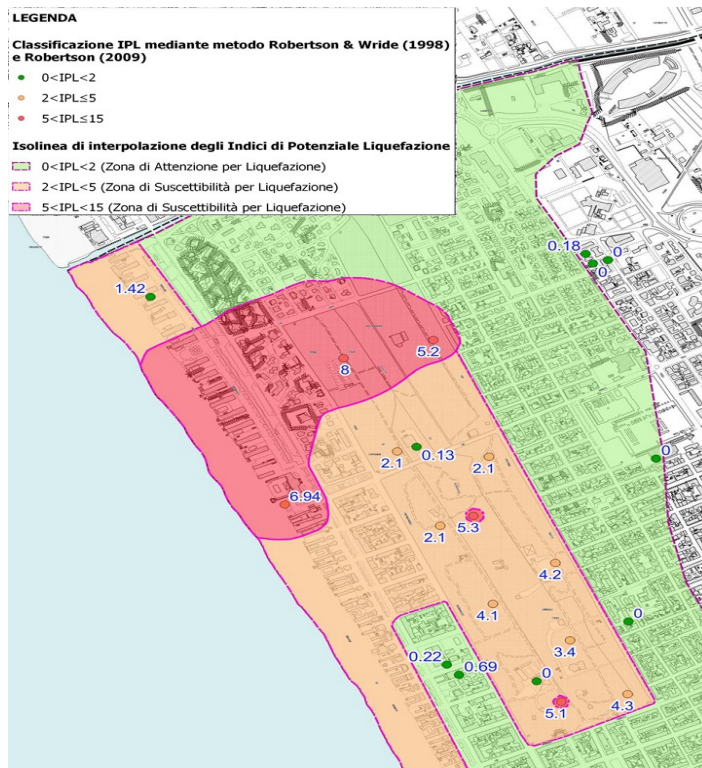


Fig. 10 – Estratto di una cartografia di distribuzione areale del potenziale di liquefazione dei terreni

4.4. Altre instabilità

Per quanto riguarda le altre tipologie di instabilità da considerare nell'ambito di studi approfonditi di MS4 (Cavità sotterranee e fenomeni di densificazione indotta dall'azione sismica) si faccia riferimento, per la tipologia di indagini geologiche da effettuare e per le procedure di analisi e rappresentazione, ai rispettivi Standard Nazionali, ovvero le Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da Cavità Sotterranee (CS) e le Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da Densificazione indotta dall'Azione Sismica (DAS).

5. Prodotti finali

Lo studio di Microzonazione sismica di livello 4 dovrà essere costituito dalle seguenti indagini e dati minimi, elaborazioni e prodotti finali riassunti nella successiva **tabella di sintesi**.

<p style="text-align: center;">INDAGINI MINIME OBBLIGATORIE</p>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Programmazione ed esecuzione di nuove indagini per la definizione e ricostruzione del modello geologico di sottosuolo in ottica 3D, mediante prevalentemente sondaggi geotecnici profondi e prove down-hole in foro, prove penetrometriche CPT/CPTU/CPTE/SPCT, indagini sismiche a rifrazione e riflessione di superficie e altre metodologie avanzate
<p style="text-align: center;">ANALISI ED ELABORAZIONI</p>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Elaborazioni per la ricostruzione del modello 3D di sottosuolo (eventuale) ✓ Analisi numeriche di risposta sismica locale, in assetto 2D/3D per la valutazione delle amplificazioni sismiche e/o deformazioni permanenti
<p style="text-align: center;">PRODOTTI FINALI OBBLIGATORI</p>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ carta geologica in scala 1:2.000-10.000 ✓ carta geologico-tecnica (comprensiva di tracce di ubicazione delle sezioni) ✓ carta delle indagini (Standard MS 4.2) ✓ carta delle frequenze fondamentali (Spec. Tecniche MS di Reg. Toscana) ✓ sezioni geologico-tecniche ✓ carte delle sezioni geologico-tecniche ✓ carta delle MOPS ✓ carta e shapefile delle isobate del tetto del bedrock sismico e/o carta delle isobate del tetto del substrato roccioso ✓ carta e shapefile delle isobate delle coperture sismiche ✓ carta di Microzonazione sismica di livello 4 ✓ carta HSM ✓ carta di distribuzione degli spettri ✓ cartografia di distribuzione del LPI per la liquefazione (eventuale) ✓ carta delle verticali di indagini ✓ shapefile puntuale delle verticali _d'indagine ✓ file degli attributi delle unità geologico-tecniche ✓ shapefile degli elementi lineari (FAC e sezioni) ✓ file degli attributi degli elementi lineari ✓ modello 3D: superfici, volumi (eventuale) ✓ Database per archiviazione indagini e studio MS4 (secondo gli standard MS 4.2) ✓ relazione sulle indagini di nuova esecuzione ✓ relazione tecnica illustrativa dello studio

La **relazione tecnica illustrativa** dovrà rappresentare in maniera completa le varie fasi dello studio ed i risultati acquisiti. In particolare, si ritiene necessario che la relazione riporti un paragrafo sul modello geologico di riferimento con indicazione e commento dei differenti assetti sismostratigrafici (colonnine relative ai differenti tipo_z).

Inoltre, nella sezione relativa agli studi di RSL alla base della redazione della carta di MS, dovrà essere documentata la fase di analisi in tutte le sue fasi (definizione dei parametri di input, rappresentazione dei risultati, modalità di estrapolazione e risultati acquisiti).

6. Soggetti coinvolti nello studio di MS4

La MS di livello 4 è costituita da una serie di attività differenziate in relazione alle metodologie e alle procedure utilizzate, al differente contesto geologico-tecnico di riferimento, ai livelli di approfondimento richiesti per lo studio e agli obiettivi da raggiungere. Rappresenta quindi uno studio di tipo multidisciplinare che coinvolge differenti professionalità tecniche (geologi, geofisici, ingegneri...), ognuno con un ruolo e con competenze differenti.

Pertanto e' necessario che il Soggetto realizzatore, per le motivazioni soprariportate, dovrà/potrà necessariamente essere costituito da un **gruppo di lavoro** (di seguito GdL) costituito da differenti professionalità, con diverse competenze e a cui collegare differenti attività al fine di pervenire ad uno studio completo di MS.

Sarà necessario prevedere al suo interno le seguenti figure:

- un geologo abilitato, con esperienza professionale pregressa nello svolgimento di studi di MS, che dovrà coordinare tutto il GdL, redigere le cartografie di microzonazione sismica del livello 4 e definire il modello 3D di sottosuolo;
- un geologo abilitato o un ingegnere, con esperienza professionale e conoscenza approfondita dei software per la ricostruzione 3D del sottosuolo e la definizione di modelli geologici;
- un geologo con conoscenza approfondita nel settore geofisico che coordinerà le indagini geognostiche e geofisiche avanzate, da realizzare a cura di Imprese specializzate nel settore;
- un tecnico con comprovata esperienza nell'utilizzo di codici di calcolo di tipo bi/tridimensionale. La condizione minima per la determinazione di tale requisito è la partecipazione a corsi di formazione inerenti le analisi di risposta sismica locale 2D/3D e microzonazione sismica di terzo livello, che saranno organizzati in ambito regionale.

Più in generale, dovrà inoltre essere presente un responsabile e/o referente unico per lo studio di MS che dovrà coordinare tutte le attività nel rispetto delle specifiche tecniche richieste e della tempistica ed in funzione delle risorse economiche stanziare. Per la selezione dei soggetti facenti parte il GdL, si rimanda ai criteri che saranno inseriti negli atti amministrativi regionali.

7. Modalità di recepimento degli studi di MS4 negli strumenti urbanistici vigenti

Si specifica inoltre che la redazione della Cartografia di Pericolosità Sismica prevista nell'ambito degli adempimenti previsti dal **Reg.5R/20** si baserà sulla distribuzione del parametro FA01-05, così come definito dagli studi di MS4. Qualora vi fossero aree caratterizzate generalmente da spessori di copertura notevoli e da valori di FA01-05 bassi (≤ 1.4) con gli altri fattori ad alto periodo elevati (> 1.4), tali aree andranno chiaramente identificate e segnalate in relazione, poiché costituenti una sottoclasse della pericolosità S2 (cap. 3.6.5 del reg. 5R/20).

In merito alla trasposizione delle zone individuate per la **liquefazione** nella classe di pericolosità sismica locale, si consiglia di:

- inserire all'interno della classe di **pericolosità sismica locale molto elevata S4**, i terreni soggetti a liquefazione dinamica le cui aree, sulla base delle analisi semplificate realizzate, sono state perimetrate come ZR_liq (quindi con $IL > 15$) e come ZS_liq con indice di liquefazione $IL > 5$;
- inserire all'interno della classe di **pericolosità sismica locale elevata S3**, i terreni soggetti a liquefazione dinamica (con basso rischio) le cui aree, sulla base delle analisi semplificate realizzate, sono state perimetrate come ZS_liq con indice di liquefazione $2 < IL < 5$ ed eventuali ulteriori aree potenzialmente soggette a liquefazione, quali le ZA_liq, se esistenti.

Infine si prescrive che una volta approvati i presenti studi di MS4 dalla Regione Toscana, dovranno essere recepite ed integrate all'interno del Quadro Conoscitivo degli Strumenti Urbanistici vigenti; pertanto sarà necessario provvedere ad una Variante a tali Strumenti per recepire tali integrazioni.

8. Modalità di controllo e certificazione degli studi

La Regione Toscana effettuerà controlli nei confronti del "Soggetto Realizzatore", in differenti fasi, nel corso dell'avanzamento dello studio di MS, attraverso riunioni periodiche e/o sopralluoghi tecnici e si riserva di richiedere integrazioni di indagini qualora ne ravvedesse la necessità. Il "Soggetto Realizzatore" è obbligato a eseguire quanto richiesto, indipendentemente dall'entità del finanziamento concesso. Tali funzioni di controllo nei confronti del "Soggetto Realizzatore", hanno il compito di poter consentire una supervisione generale circa il livello di conoscenza acquisito nel corso degli studi, il modello geologico tecnico di sottosuolo, il modello di calcolo adottato ed i risultati conseguiti. Nel corso del controllo sul livello di conoscenza acquisito e la stima relativa al livello di qualità raggiunto, la Regione Toscana potrà fare riferimento al documento nazionale relativo alla procedura semi-quantitativa per la qualità della carta di microzonazione sismica.

Gli studi di MS, una volta consegnati dal "Soggetto Realizzatore" e revisionati dalla Regione Toscana, verranno poi inviati alla "Commissione Tecnica Nazionale per la Microzonazione Sismica" che fornirà il **parere relativo alla congruità con gli "Standard di Rappresentazione e Archiviazione Informatica"** redatti dal DPC.

Una volta acquisito il parere della Commissione, la Regione Toscana provvederà ad approvare gli studi effettuati certificando che i "Soggetti Realizzatori" hanno rispettato le specifiche tecniche regionali per la MS, gli ICMS, nonché le ulteriori clausole contrattuali.