



PROTEZIONE CIVILE
Presidenza del Consiglio dei Ministri
Dipartimento della Protezione Civile

REGIONE
TOSCANA



CONFERENZA DELLE REGIONI E
DELLE PROVINCE AUTONOME

Attuazione dell'articolo 11 dalla legge 24 giugno 2009, n.77

MICROZONAZIONE SISMICA

Relazione tecnica illustrativa

Regione Toscana

Comune di Barberino di Mugello



Soggetto realizzatore



Gennaio 2015

INDICE

INDICE.....	1
1. Introduzione.....	2
1.1. Panoramica sugli studi sismici esistenti (livello 1 e livello 3).....	2
1.2. Aggiornamento del Livello 1 degli Studi di Microzonazione Sismica.....	3
2. Aree di studio.....	4
3. Indagini realizzate e pregresse.....	4
3.1. Studi di Microzonazione Sismica di Livello 1 e 3.....	4
3.2. Dati di archivio.....	5
3.3. Indagini svolte per l'aggiornamento della Microzonazione Sismica di Livello 1.....	5
4. Pericolosità di base e eventi di riferimento.....	7
5. Quadro geologico e geomorfologico.....	9
6. Modello del sottosuolo: analisi delle nuove aree di indagine.....	10
6.1. Buttoli.....	10
6.2. Cornocchio.....	11
6.3. Mangona.....	12
7. Elaborati cartografici.....	14
7.1. Tavola 1: Carta delle indagini.....	14
7.2. Tavola 2: Carta geologica.....	15
7.3. Tavola 3: Carta geologico-tecnica.....	17
7.4. Tavola 4: Carta delle frequenze fondamentali dei depositi.....	19
7.5. Tavola 5: Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica.....	21
8. Verifica della suscettibilità alla liquefazione.....	24
9. Individuazione della Classe di Qualità.....	30
10. Bibliografia.....	31

1. Introduzione

1.1. **Panoramica sugli studi sismici esistenti (livello 1 e livello 3)**

Gli elementi prioritari per la valutazione degli effetti locali e di sito, con l'obiettivo della riduzione rischio sismico, sono la ricostruzione del modello del sottosuolo in termini di geometrie geologiche e strutturali e la parametrizzazione dinamica dei terreni: tali elementi costituiscono il fondamento degli studi di microzonazione sismica svolti da Regione Toscana in collaborazione con il Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale dell'Università di Firenze secondo le specifiche tecniche definite negli Indirizzi e Criteri di Microzonazione Sismica (ICMS) e nelle Istruzioni Tecniche per le indagini geologico-tecniche, geofisiche e geotecniche, statiche e dinamiche, finalizzate alla valutazione degli effetti locali nei comuni classificati sismici della Toscana (Programma VEL), oltre che nelle specifiche tecniche regionali (DGRT 261/2010 e ss). A scala comunale (o meglio sub-comunale, come vedremo) gli studi di MS hanno l'obiettivo di individuare le zone in cui le condizioni locali possono modificare le caratteristiche del moto sismico atteso o possono produrre deformazioni permanenti per le costruzioni, infrastrutture e ambiente.

Nel dettaglio, gli studi di livello I hanno consentito - partendo dalle conoscenze acquisite nel tempo tramite le indagini sismiche e geotecniche collegate al programma VEL oltre ad una ampia banca dati di indagini di base presente negli archivi regionali e provinciali - di suddividere il territorio in microzone qualitativamente omogenee dal punto di vista del comportamento sismico, rappresentate nella Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS).

Nel successivo livello 3 invece si è proceduto alla realizzazione della analisi di risposta sismica locale bidimensionale in corrispondenza di 12 sezioni geologico-tecniche rappresentative del modello di sottosuolo negli abitati di Barberino capoluogo, Cavallina e Galliano (a cura dell'Università degli Studi di Firenze), presentando i risultati in termini di fattore di amplificazione sismica (FH); ne consegue una rappresentazione cartografica del territorio suddiviso in classi sulla base del valore crescente di FH.

Per una revisione di dettaglio di tali studi, svolti nel biennio 2011-2013, si rimanda alle rispettive relazioni tecniche finali di sintesi, a cura del Coordinamento Regionale di Prevenzione Sismica.

1.2. Aggiornamento del Livello 1 degli Studi di Microzonazione Sismica

L'amministrazione comunale di Barberino, su indicazione e cofinanziamento regionale, ha proceduto a incaricare Geotecno di adeguare gli esistenti studi di livello 1 - svolti da Regione Toscana - alle vigenti specifiche tecniche nazionali (definite negli ICMS del Dip. Nazionale di Protezione Civile) e specifiche tecniche regionali (DGRT 971/2013). In sintesi sono stati individuati i seguenti obiettivi:

- incrementare il quadro conoscitivo della risposta sismica del terreno mediante la realizzazione di nuove indagini (4 stendimenti di sismica a rifrazione, 45 misure di microtremore a stazione sismica, 10 prove penetrometriche statiche);
- estendere le aree di studio ai centri urbani minori di Buttoli, Cornocchio e Mangona, non contemplati in precedenza;
- approfondire la valutazione della suscettibilità al rischio di liquefazione in due porzioni del territorio comunale individuate negli studi precedenti come potenzialmente critiche;
- adeguare la restituzione digitale dello studi agli "Standard di rappresentazione e archiviazione informatica versione 3.0" predisposti dalla Commissione tecnica per la Microzonazione Sismica del Dip. Naz. di Protezione Civile.

2. Aree di studio

In aderenza al programma VEL, alle indicazioni presenti negli ICMS e in continuità con quanto già svolto, gli studi sono stati condotti nei seguenti centri urbani:

- Barberino capoluogo e Cavallina
- Galliano
- Montecarelli
- Santa Lucia
- Buttoli
- Cornocchio
- Mangona

Le nuove aree sono state delimitate individuando un “congruo intorno” rispetto all’agglomerato urbano esistente, in alcuni casi esiguo, sulla base di criteri di significatività geomorfologica e geologico-strutturale in prospettiva di possibile amplificazione sismica.

3. Indagini realizzate e pregresse

3.1. Studi di Microzonazione Sismica di Livello 1 e 3

Il comune di Barberino è stato indagato, nell’ambito degli studi specifici del programma VEL+DOCUP, dal Servizio Sismico Regionale mediante le indagini riportate nella tabella seguente, la cui ubicazione è mostrata nella Carta delle Indagini (Tav.1) e i certificati allegati nel relativo archivio digitale:

Indagini eseguite nel corso del Programma VEL e DOCUP nel comune di Barberino

AREA DI INDAGINE	Sondaggi geognostici	Prove downhole	Sismica a rifrazione	Prove penetrometriche
area urbana “Capoluogo”	9	9	9	0
frazione “Cavallina”	5	5	1	0
frazione “Galliano”	3	3	3	1

Inoltre, su incarico del Coordinamento Regionale di Prevenzione Sismica, il Dipartimento di Scienze della Terra dell’Università di Firenze ha eseguito una campagna di misurazioni strumentali di rumore sismico avvalendosi di n.10 stazioni sismiche triassiali installate nell’area

del Capoluogo; la loro ubicazione è riportata nella Carta delle Indagini (Tav.1) e nella Carta delle Frequenze (Tav.4).

3.2. Dati di archivio

Per incrementare l'accuratezza della definizione del modello geologico del sottosuolo è stata svolta una accurata ricognizione nelle banche dati geognostiche presenti in rete sui principali siti istituzionali di riferimento, oltre all'archivio cartaceo a disposizione dell'amministrazione comunale.

E' stato così possibile raccogliere un'ingente quantità di dati di base proveniente principalmente dai DB di Regione Toscana e della Provincia di Firenze, dall'archivio "Indagini del sottosuolo" di ISPRA, per un totale di 637 indagini distribuite su 257 siti, rappresentati nella Carta delle Indagini (Tav.1) e nel geodatabase correlato.

3.3. Indagini svolte per l'aggiornamento della Microzonazione Sismica di Livello 1

Il programma del presente studio, definito di concerto con il Servizio Sismico Regionale, ha integrato le indagini mediante le prove riportate nella tabella seguente, la cui ubicazione compare nella Carta delle Indagini (Tav.1) e nella Carta delle Frequenze (Tav.4) e i risultati riportati in allegato alla presente relazione:

Indagini eseguite nel corso del presente aggiornamento degli Studi di Microzonazione Sismica - Livello 1 del Comune di Barberino

AREA DI INDAGINE	Stendimenti di sismica a rifrazione	Misure di rumore sismico
area urbana "Capoluogo"		6
frazione "Cavallina"		4
frazione "Galliano"		11
frazione "Montecarelli"	1	5
frazione "Santa Lucia"	1	5
frazione "Mangona"		4
frazione "Buttoli"	1	5
frazione "Cornocchio"	1	5

Inoltre sono state realizzate n.10 prove penetrometriche statiche spinte fino alla profondità massima di 15 metri dal p.c., o comunque fino al raggiungimento delle condizioni di rifiuto

strumentale, finalizzate alla verifica di suscettibilità alla liquefazione di quelle aree del territorio comunale già individuate come potenzialmente a rischio.

Le indagini di nuova realizzazione, svolte da GEOTECNO (misure di rumore a stazione singola), da TRIGEO (stendimenti di sismica a rifrazione in onde P e SH) e da EMMEELLE (prove penetrometriche) sono contrassegnate nelle tavole e negli allegati dalla sigla "GEO" seguita dall'Id progressivo e dalla tipologia (es. GEO2_PSH, GEO66_HVSR, GEO1_CPT); la certificazione delle indagini sismiche e delle misure di frequenza è contenuta nell'apposito allegato. Per l'approfondimento sul rischio di liquefazione si rimanda al relativo paragrafo della presente relazione.

4. Pericolosità di base e eventi di riferimento

La mappa di pericolosità sismica di riferimento per il territorio nazionale (MPS04), entrata in vigore con l'Ordinanza PCM 3519/2006, descrive la pericolosità sismica attraverso il parametro dell'accelerazione massima attesa su suolo rigido e pianeggiante con una probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni. Tale studio considera il territorio comunale di Borgo San Lorenzo a pericolosità media-alta, con valori di a_{max} compresa tra 0,175g e 0,225g.

Le specifiche dei terremoti avvenuti nella zona e registrati nel database del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (progetto "CPTI04") sono compatibili con le assunzioni che stanno alla base della mappa citata, con una magnitudo massima registrata pari a 6,18 relativa all'evento sismico del 29 giugno 1919 con epicentro nei pressi di Vicchio; a tal proposito si riporta nella tabella seguente l'esito dell'interrogazione svolta nel citato archivio CPTI04 per un'area circolare di raggio 20 km intorno al centro urbano del capoluogo.

Principali eventi sismici registrati a Barberino secondo la banca dati del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI04)

Area circolare con centro C (43.997, 11.241) e raggio 20 km a partire dal -217/01/01 fino al 2004/12/31																							
N	Tr	Anno	Me	Gi	Or	Mi	Se	RE	Rt	Np	Imx	Io	TI	Lat	Lon	TL	Maw	Daw	TW	Mas	Das	TS	Msp
238	DI	1542	6	13	2	15		Mugello	CFTI	47	90	90		44	11.38	A	5.91	0.10		5.90	0.15		5.90
293	DI	1597	8	3	23	40		Mugello	CFTI	24	75	75		43.98	11.43	A	5.22	0.13		4.88	0.20		5.06
308	DI	1611	9	8	22	10		Scarperia	CFTI	4	75	70		44.02	11.37	A	5.13	0.24		4.75	0.36		4.94
492	CP	1729	6	23				FIRENZE	POS85			60		43.833	11.25		4.83	0.26		4.30	0.39		4.53
500	CP	1731	12					MONTALE	POS85			65		44	11		5.03	0.33		4.60	0.49		4.80
561	CP	1762	4	15	22	30		BORGO S. LORENZO	POS85			70		44	11.333		5.17	0.30		4.80	0.45		4.99
582	CP	1771	8	13				CAMUGNANO	POS85			60		44.167	11.167		4.83	0.26		4.30	0.39		4.53
804	CP	1835	2	6	18	50		BORGO S. LORENZO	POS85			70		43.933	11.383		5.17	0.30		4.80	0.45		4.99
846	DI	1843	10	25	3	22		VERNIO	DOM	14	75	70		44.072	11.144	A	5.22	0.23		4.88	0.34		5.06
941	DI	1864	12	11	17	40		MUGELLO	DOM	9	70	70		44.042	11.282	A	5.11	0.21		4.72	0.31		4.92
1162	CP	1890	5	4	12	9		S. PIERO	POS85			55		44	11.25		4.63	0.13		4.00	0.20		4.25
1315	DI	1899	6	26	23	17	22	Valle del Bisenzio	CFTI	135	70	70		43.9	11.12	A	5.09	0.11		4.68	0.17		4.88
1569	CP	1912	8	15	23	50	30	VERNIO	POS85			55		44.05	11.167		4.63	0.13		4.00	0.20		4.25
1684	DI	1919	6	29	15	6	13	Mugello	CFTI	269	90	90		43.95	11.48	A	6.18	0.05		6.18	0.05		6.18
1863	DI	1931	9	5	1	26		FIRENZUOLA	DOM	24	70	65		44.057	11.367	A	5.09	0.01		4.69	0.02		4.89
1868	CP	1931	12	15	3	31	22	BORGO S. LORENZO	POS85			60		43.967	11.383		5.00	0.09		4.55	0.14		4.76
1946	DI	1939	2	11	11	17		MARRADI	DOM	31	70	70		44.002	11.431	A	5.17	0.10		4.80	0.15		4.99
2028	CP	1949	3	9	4	16	30	FIRENZUOLA	POS85			60		44.1	11.383		4.78	0.15		4.23	0.22		4.46
2097	CP	1956	4	26	3		3	PASSO FUTA	POS85			60		44.15	11.317		4.95	0.09		4.47	0.14		4.68
2155	DI	1960	10	29		9		MUGELLO	DOM	37	70	70		43.981	11.403	A	4.93	0.10		4.44	0.15		4.66
2208	DI	1964	9	5	21	9		RONCOBILACCIO	DOM	22	50	50		44.138	11.233	A	4.95	0.09		4.48	0.13		4.69
2264	CP	1969	2	15	8	54	39	BARBERINO	POS85			40		44.083	11.283		4.54	0.14		3.86	0.21		4.12
2328	CP	1973	11	7	17	6	17	BORGO S. LORENZO	POS85			65		43.983	11.417		4.84	0.24		4.31	0.35		4.54

Adottando invece la metodologia proposta negli ICMS par. 2.8.2 per la determinazione della magnitudo di riferimento, si rileva come la zona in esame appartenga alla zona sismogenetica ZS915 alla quale viene assegnato un valore di magnitudo $M_{wmax} = 6,60$. Tale valore è stato utilizzato per le verifiche di suscettibilità a liquefazione (vedi paragrafo dedicato).

Per quanto riguarda infine l'assegnazione dei comuni a una delle quattro zone sismiche sulla base della suddetta mappa di riferimento, la classificazione sismica attuale della Regione Toscana approvata con Deliberazione di G.R.T n.421/2014 individua per il Comune di Barberino **Zona 2** con valore di $A_g/g > 0,15$.

5. Quadro geologico e geomorfologico

Le strutture geologiche del Comune di Barberino sono complesse e, per l'ampiezza del territorio, rappresentano un'importante campione delle geologia dell'Appennino Settentrionale. La loro articolazione e successione è stata descritta dettagliatamente nella "Relazione tecnica finale di sintesi" degli studi di microzonazione sismica (a cura di Regione Toscana e Università di Firenze, 2011), a cui si rimanda per eventuali approfondimenti (cap. 3). Il medesimo testo è stato usato come riferimento per la verifica e l'adeguamento del modello geologico, geofisico e geotecnico del sottosuolo (cap. 5), che risulta interamente confermato dalle nuove indagini eseguite. Vengono pertanto recepite nel presente lavoro le 9 sezioni geologiche allegate allo studio del 2011 utilizzate per la modellazione alla base del Livello 3, le cui tracce sono riportate nella Carta geologica (tav.2).

Diverso invece l'approccio utilizzato per la revisione dei principali elementi geomorfologici di interesse per il rischio sismico (movimenti di versante, corpi detritici, orli di scarpata e creste): i dati presenti nello studio di MS di Livello 1 sono stati singolarmente revisionati e confrontati con la banca dati nazionale IFFI e con quanto cartografato nei tematismi degli Strumenti Urbanistici comunali (carta geomorfologica). Essi vengono riportati nella Carta geologico-tecnica (Tav.3) e descritti nel dettaglio nel relativo capitolo.

6. Modello del sottosuolo: analisi delle nuove aree di indagine

6.1. Buttoli

L'area di Buttoli è collocata in contesto morfologico collinare (quote comprese tra 400 e 440 m s.l.m.), con un nucleo urbano costituito da poche abitazioni sparse.

L'assetto geologico locale è determinato dalla presenza di strutture tettoniche complesse, di tipo distensivo e compressivo, che mettono in contatto terreni appartenenti a successioni geologiche diverse. In generale la maggior parte del territorio studiato, il cui perimetro è stato scelto sulla base di criteri di cui al cap. 2, è caratterizzato da roccia in posto affiorante, talvolta con coperture di alterazione di spessore significativo (anche maggiore di 5 metri), cartografate nella Carta geologico-tecnica.

Nel dettaglio, la porzione sud della zona è caratterizzata da terreni litoidi per lo più stratificati appartenenti all'Unità di Monte Morello: la Formazione di Sillano viene a contatto tettonico con la Formazione di Monte Morello, sovrastante nella successione stratigrafica, per la presenza di una faglia normale ad andamento ONO-ESE. La parte settentrionale vede invece la Formazione dell'Acquerino, appartenente al Dominio Toscano, in sovrascorrimento sulla Formazione di Sillano, con contatto tettonico che attraversa tutta la porzione settentrionale e orientale dell'area. Gli spessori delle unità litologiche descritte sono ovunque notevoli e pertanto i contatti presenti in profondità non assumono rilevanza in chiave sismica.

L'unico elemento geomorfologicamente significativo presente nell'area di Buttoli è un ampio corpo di frana quiescente che si estende sul lato ovest della strada principale (Via Casaglia), impostato sui materiali litoidi e semilitoidi del Sillano per scivolamento traslazionale.

La redazione della Carta MOPS (Tav.5) si è basata, oltre su considerazioni di natura stratigrafica e geologico-tecnica, sull'esecuzione delle seguenti tipologie e quantità di indagini:

- n.1 stendimento di sismica a rifrazione in onde P e SH (GEO16_PSH)
- n.5 stazioni di misura di microtremore sismico (GEO24_HVSR, GEO25_HVSR, GEO26_HVSR, GEO27_HVSR, GEO32_HVSR)

L'ubicazione delle prove è stata scelta per indagare tutti i possibili contrasti di velocità sismica in grado di dar vita a fenomeni di amplificazione.

La linea sismica mette ben in evidenza il contatto tettonico, tramite faglia diretta, tra Formazione di Monte Morello e Formazione di Sillano: le Vs sono tra loro comparabili (Vs=700-750 m/sec) in quanto il Sillano è presente nella zona in facies litoide stratificata con buone caratteristiche meccaniche (**ALS** in carta geologico-tecnica). Il substrato litoide è coperto da uno spessore

importante di materiali detritici, la cui risposta sismica è comunque buona ($V_s=500-600$ m/sec): non ci si aspettano pertanto fenomeni importanti di amplificazione sismo-stratigrafica.

Tali considerazioni risultano confermate dai risultati delle elaborazioni HVSR eseguite sulle misurazioni di microtremore sismico, tutte caratterizzate dall'assenza di picchi ad eccezione della misura GEO25, ubicata appunto in corrispondenza delle coperture detritiche, dove si è individuata un picco per frequenza di amplificazione $f_0=7,4$ hz che può appunto corrispondere al contrasto tra terreni superficiali e substrato roccioso: si tratta comunque di un picco con ampiezza molto modesta ($H/V=2,4$) e pertanto associabile in prima battuta a scarsa amplificazione.

Le zone suscettibili di instabilità sono limitate all'area caratterizzata da fenomeni di scivolamento quiescenti (zona sud-ovest) descritta in precedenza.

6.2. Cornocchio

La frazione si ubica lungo la viabilità che conduce al Passo delle Croci, in ambiente geomorfologico di collina semi pianeggiante (quota 300 - 330 m s.l.m.) con acclività crescente nella parte meridionale (Vetta di Cornocchio, 370 m s.l.m.); come nel caso precedente, il nucleo urbano è appena riconoscibile.

L'elemento geologico peculiare è la presenza di un esteso affioramento di materiali litoidi e semilitoidi appartenenti alla Formazione di Sillano; nella parte settentrionale dell'area essi sono sormontati da una coltre superficiale di depositi alluvionali di modesto spessore (2-6 metri), a caratterizzazione mista coesivo-granulare.

Al margine nord della zona, in contatto tettonico per scorrimento con il sottostante Sillano, affiorano i litotipi rocciosi delle Arenarie del M.Falterona in facies per lo più pelitica ("Membro del Fosso di Valli" o FAL5 secondo i rilevamenti CARG e VEL).

Nella zona non si segnalano elementi geomorfologici significativi.

La redazione della Carta MOPS (Tav.5) si è basata, oltre su considerazioni di natura stratigrafica e geologico-tecnica, sull'esecuzione delle seguenti tipologie e quantità di indagini:

- n.1 stendimento di sismica a rifrazione in onde P e SH (GEO15_PSH)
- n.5 stazioni di misura di microtremore sismico (GEO20_HVSR, GEO21_HVSR, GEO22_HVSR, GEO23_HVSR, GEO33_HVSR)

L'ubicazione delle prove è stata scelta per indagare tutti i possibili contrasti di velocità sismica in grado di dar vita a fenomeni di amplificazione.

La linea sismica mette ben in evidenza il contatto, a profondità compresa tra 2 e 6 metri, tra le coperture alluvionali ($V_s < 300$ m/sec) e la sottostante Formazione di Sillano, la cui eterogeneità in termini litologici e meccanici è testimoniata dal range di variazione delle velocità sismiche (V_s compresa tra 600 m/sec e 800 m/sec). Il Sillano si configura quindi localmente come substrato sismico e sono ipotizzabili fenomeni di amplificazione stratigrafica per contrasto di impedenza sismica laddove esso risulta sovrastato dalla coltre alluvionale.

Tali considerazioni risultano confermate dai risultati delle elaborazioni HVSR eseguite sulle misurazioni di microtremore sismico, tutte caratterizzate dall'assenza di picchi ad eccezione della misura GEO20 e GEO33, ubicate appunto in corrispondenza delle alluvioni, dove si individuano picchi per frequenza di amplificazione di circa 10 hz che possono appunto corrispondere al contrasto tra terreni superficiali e substrato roccioso: si tratta comunque di picchi con ampiezza molto modesta ($H/V=2,6$ e $3,2$) e pertanto associabili in prima battuta a scarsa amplificazione.

6.3. Mangona

Il piccolo abitato di Mangona è ubicato nella porzione nord-occidentale del territorio comunale, in zona di alta collina caratterizzata da versanti ad acclività da media e elevata, a quote comprese tra 520 e 600 m s.l.m.

Il contesto geologico si riferisce al contatto tettonico normale (faglie dirette) tra la Formazione del Torrente Carigiola appartenente all'Unità M.Castel Guerrino (altrove note appunto come Arenarie del M. Castel Guerrino) e la Formazione dell'Acquerino, appartenente all'omonima Unità tettonica. In entrambi i casi si tratta di formazioni rocciose arenaceo-pelitiche di origine torbiditica, per lo più coperte da coltri superficiali di alterazione di spessore variabile.

Tali coperture possono dar luogo a fenomeni gravitativi di versante anche di grande estensione, come quello che coinvolge la parte centro-settentrionale del paese: si tratta di un corpo di frana quiescente importante a scala locale in prospettiva di rischio idrogeologico e sismico.

Da segnalare anche, nella parte inferiore del versante che scende verso il torrente Mangona, a nord del cimitero del paese, un'area morfologicamente stabile di limitata estensione in cui le coperture assumono spessori significativi.

La redazione della Carta MOPS (Tav.5) si è basata, oltre su considerazioni di natura stratigrafica e geologico-tecnica, sull'esecuzione delle seguenti tipologie e quantità di indagini:

- n.4 stazioni di misura di microtremore sismico (GEO28_HVSR, GEO29_HVSR, GEO30_HVSR, GEO31_HVSR)

L'ubicazione delle prove è stata scelta per indagare tutti i possibili contrasti di velocità sismica in grado di dar vita a fenomeni di amplificazione.

Nel dettaglio la misura GEO31, posta su roccia, non rileva picchi di amplificazione (risposta del substrato sismico); le altre sono invece collocate in corrispondenza dei corpi detritici superficiali e infatti individuano picchi per frequenza di amplificazione variabile tra 2,7 e 9,0 hz, che possono appunto corrispondere al contrasto a profondità variabili tra terreni superficiali e substrato roccioso: si tratta comunque di picchi con ampiezza molto modesta ($H/V < 2,6$) e pertanto associabili in prima battuta a scarsa amplificazione.

7. Elaborati cartografici

Per ogni area descritta al cap.1 lo Studio di Microzonazione Sismica è costituito da:

- **Carta delle indagini** (Tav.1)
- **Carta geologica** (Tav.2)
- **Carta geologico-tecnica** (Tav.3)
- **Carta delle frequenze fondamentali dei depositi** (Tav.4)
- **Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica** (Tav.5)

Fa eccezione la Tavola 2, realizzata per i soli due centri urbani principali di Barberino (inclusa la frazione di Cavallina) e Galliano.

La scala di rappresentazione è pari a 1:5.000 per i tematismi previsti dalla commissione tecnica nazionale (tavv.1-3-5), 1:10.000 per gli altri (tavv.2-4).

7.1. Tavola 1: Carta delle indagini

Vengono riportate tutte le indagini realizzate per il presente studio, oltre alle indagini pregresse raccolte secondo quanto descritto al cap.3 ed utilizzate per la definizione del modello geologico e sismico locale.

Nel complesso i siti indagati risultano 257, per una disponibilità complessiva di più di 600 indagini. Tra di essi, si segnalano per il particolare interesse ai fini della definizione del rischio sismico:

- n.17 prove down-hole in foro di sondaggio (eseguite per il programma VEL)
- n. 17 stese di sismica a rifrazione (di cui 4 eseguite per il presente studio, 13 per il programma VEL)
- n. 56 misure di rumore sismico (eseguite per il presente studio e pregresse a cura dell'Università di Firenze)

La carta delle indagini viene proposta sia in forma cartacea che digitale (in formato GIS) utilizzando la simbologia e le specifiche tecniche per l'informatizzazione previste dalla "Commissione Nazionale per la Microzonazione Sismica" del Dipartimento nazionale di Protezione Civile. Tramite il sistema informativo territoriale predisposto è possibile accedere al database informativo delle indagini, redatto secondo le specifiche tecniche presenti negli

“Standard di rappresentazione e archiviazione informatica v.3.0”, e – tramite hyperlink – ai rispettivi certificati in formato digitale.

7.2. Tavola 2: Carta geologica

Si basa sulla revisione dettagliata della cartografie geologiche e geomorfologiche esistenti negli Strumenti Urbanistici Comunali, degli studi geologici regionali (programma VEL e progetto CARG), integrata da approfondimenti svolti a scala locale tramite rilievo di controllo e dall'analisi dei numerosi dati di base a disposizione (cfr. cap. 3). La tavola è stata predisposta per le aree di Capoluogo + Cavallina e Galliano, già oggetto - nell'ambito del progetto VEL - di ricostruzione del modello geologico profondo mediante le 9 sezioni riportate in allegato.

In generale, ricordando che l'assetto geologico locale delle nuove aree di studio (Mangona, Cornocchio e Buttoli) è descritto nel cap. 6, per le due zone rappresentate nella tavola si fa riferimento al modello geologico riportato nella Relazione tecnica finale di sintesi degli Studi di microzonazione sismica a cura di RT.

Le formazioni affioranti, al netto di coperture detritiche di spessore inferiore ai 3 metri non considerate rilevanti ai fini della microzonazione sismica, sono indicativamente sintetizzabili - dall'alto verso il basso - secondo lo schema seguente e di seguito descritte nel dettaglio.

COPERTURE	Depositi antropici Depositi di versante
SUCCESSIONE DEL MUGELLO	Depositi fluviali antichi e recenti Depositi del bacino fluvio-lacustre
DOMINIO LIGURE (terreni alloctoni)	Unità tettonica LEO Unità tettonica M.MORELLO
DOMINIO TOSCANO (terreni autoctoni)	Unità tettonica FALTERONA Unità tettonica ACQUERINO

DEPOSITI ANTROPICI E DI VERSANTE

- **RI:** riporti
- **a:** accumuli detritici di versante, principalmente derivanti dalla disgregazione fisico-meccanica dei materiali litoidi del substrato affiorante e degli orizzonti a prevalente componente granulare dei depositi fluvio-lacustri

- **a1a**: corpi di frana attivi
- **a1q**: corpi di frana quiescenti

DEPOSITI FLUVIALI DEL BACINO DEL MUGELLO

- **SIV**: depositi fluviali - attuali e terrazzati - a prevalente composizione sabbioso-ghiaiosa dell'alveo dei principali corsi d'acqua; sulla base dell'area di affioramento e dei rapporti stratigrafici vengono talvolta suddivisi in Unità di Sagginale (SIV1), Unità di Luco (SIV2) e Unità di Scarperia (SIV3). Gli spessori nell'area in esame sono generalmente compresi tra 5 e 10 metri.

DEPOSITI FLUVIO-LACUSTRI DEL BACINO DEL MUGELLO

- **MGO1_a**: facies prevalentemente argillosa dei depositi di riempimento del bacino, con frequenti intercalazioni di lignite e spessori dell'ordine di 100 metri.
- **MGO2_s**: facies prevalentemente sabbiosa proveniente da ambiente di delta conoide di bordo del bacino, affiora al piede dei rilievi in destra del Torrente Lora, a nord di Barberino, e al piedi dei rilievi in destra del Torrente Tavaiano a nord di Galliano.

UNITA' TETTONICA LEO

- **CCL**: Calcari a Calpionelle; calcari alternati a rari livelli argillitici, affiorano in una piccola finestra tettonica a nord-est di Galliano, insieme alle Breccie basaltiche e ofiolitiche (**BSTb**)

UNITA' TETTONICA MORELLO

- **MLL**: Formazione di Monte Morello; calcareniti, calcilutiti e marne, con rare arenarie selcifere, di provenienza torbiditica. In genere si presentano in sequenze di potenza elevata; affiorano nella parte orientale dell'area di Galliano in contatto con il sottostante SIL.
- **PTF**: Pietraforte; arenarie e peliti spesso intercalate in SIL, di origine torbiditica, affioranti nelle zone indagate solo in prossimità dell'invaso di Bilancino, a est dell'abitato di Cavallina
- **SIL**: Formazione di Sillano; argilliti e siltiti intercalate a calcari e calcari marnosi, spesso in strati intensamente deformati; sono presenti nell'area di Cavallina di sotto del depositi fluviali e a nord-est di Galliano.

UNITA' TETTONICA FALTERONA

- **GLG**: Marne di Galiga; marne siltose e argillose, sempre al contatto con il sottostante FAL3. Nelle aree studiate si riconoscono solo ai margini dell'abitato di Cavallina, in contatto stratigrafico con le sovrastanti alluvioni (SIV).
- **FAL3**: Arenarie del M. Falterona, nelle litofacies denominate "Membro di Montalto"; sequenze torbiditiche di arenarie, marne e peliti con assetto stratigrafico estremamente variabile e spessore complessivo di varie centinaia di metri. Affiorano diffusamente in corrispondenza dei rilievi di bordo bacino a sud di Cavallina.

UNITA' TETTONICA ACQUERINO

Depositi torbiditici di elevato spessore complessivo, costituito da alternanze arenaceo-pelitiche e pelitico-arenacee fino a peliti prevalenti. Suddivisi in base al rapporto A/P tra Membro arenaceo-pelitico (**AQR1**) e Membro pelitico-arenaceo (**AQR2**), affiorano in corrispondenza dei rilievi che bordano a est e a ovest la pianura alluvionale del Capoluogo e lungo la dorsale occidentale di Galliano. E' presente, subordinato per estensione di affioramento, un membro a composizione quasi esclusivamente pelitica costituito da marne e siltiti a stratificazione sottile (**AQR3**); costituisce parte dei rilievi posti a est di Barberino e del versante in sponda destra del Torrente Tavaiano a nord di Galliano.

Vengono inoltre individuati e distinti i principali allineamenti tettonici, diretti e rovesci, presenti nelle aree di studio, oltre a elementi morfologici quali creste e orli di scarpate di altezza significativa.

In particolare per quanto riguarda la tettonica distensiva l'elemento principale è costituito dalla faglia diretta attiva, ad andamento E-O e rigetto presunto di varie centinaia di metri, che borda a sud l'abitato di Galliano.

La tavola viene proposta sia in forma cartacea che digitale (in formato GIS). Vengono allegate alla tavola le 9 sezioni geologiche predisposte per il programma VEL e già utilizzate per gli studi di livello 1 di RT.

7.3. Tavola 3: Carta geologico-tecnica

Il tematismo articola i litotipi affioranti nelle 7 aree di studio in base al comportamento meccanico prevalente, suddividendo in prima analisi il substrato geologico dalle coperture; in accordo con le indicazioni degli Standard 3.0, per descrivere la litologia dei terreni è stato

utilizzato l'Unified Soil Classification System (leggermente modificato, ASTM, 1985), mentre le unità geologico-litotecniche del substrato vengono definite sulla base dei seguenti criteri:

- tipologia: lapideo, granulare cementato, coesivo sovraconsolidato, alternanza di litotipi;
- stratificazione, se esistente;
- grado di fratturazione o alterazione superficiale.

I terreni che caratterizzano il sottosuolo delle zone studiate sono stati quindi ricondotti alle seguenti unità:

COPERTURE

- **GC**: miscela di ghiaia, sabbia e argilla. L'unità caratterizza i corpi di frana, attivi e quiescenti
- **GM**: miscela di ghiaia, sabbia e limo. L'unità accomuna i depositi alluvionali antichi e recenti della successione del Mugello
- **GW**: ghiaie pulite, ghiaie e sabbie. A questa unità sono stati attribuiti i depositi di alterazione superficiale tipicamente collocati alla base dei rilievi
- **OL**: argille e limi organici. Corrisponde alla facies argillosa dei depositi fluvio-lacustri del Bacino del Mugello
- **SP**: sabbie pulite. Corrisponde alla facies sabbiosa di delta conoide dei depositi fluvio-lacustri del Bacino del Mugello

SUBSTRATO

- **LPS**: substrato lapideo stratificato. Appartengono a questa unità geotecnica la maggior parte delle formazioni che caratterizzano il substrato nel territorio studiato, ovvero tutte le sequenze torbiditiche della successione toscana e delle unità liguridi.
- **LP**: substrato lapideo non stratificato. Vi sono assegnati le Marne di Galiga, affioranti esclusivamente in prossimità di Cavallina, ed i Calcari a Calpionelle (individuati a nord di Galliano).
- **AL**: alternanza di litotipi con assenza di stratificazione. L'unità caratterizza tipicamente la Formazione del Sillano.
- **ALS**: alternanza di litotipi, stratificato. L'unità caratterizza tipicamente la Formazione del Sillano.
- **GR**: granulare cementato. Si è scelto di attribuire a questa unità le brecce basaltiche affioranti in prossimità degli abitati di Santa Lucia e - in misura minore - Galliano.

Per le definizioni riguardanti lo stato di attività dei versanti il riferimento è il progetto IFFI: si segnalano esclusivamente movimenti attivi e quiescenti tramite meccanismo di scivolamento. Infine, la tavola riporta anche le zone in cui vengono segnalate cavità sepolte legate alle attività - ormai esaurite - di estrazione della lignite: si tratta di quattro aree situate tra il Capoluogo e Cavallina, in zona pianeggiante. La perimetrazione è ricavata da specifici studi eseguiti per il Comune di Barberino da Geotecno.

7.4. Tavola 4: Carta delle frequenze fondamentali dei depositi

La tavola presenta i risultati delle elaborazioni svolte sulle 45 misure strumentali a stazione singola realizzate nell'ambito dei 7 centri urbani del Comune di Barberino, distribuite sul territorio seguendo i seguenti criteri:

- copertura areale della zona indagata
- associazione con le indagini sismiche a rifrazione eseguite per il presente studio e per il programma VEL
- correlazione con i principali litotipi presenti nel sottosuolo del territorio in esame, in modo da poter associare ogni orizzonte sismo-stratigrafico a specifiche frequenze di risonanza

A queste nuove stazioni si aggiungono le 11 postazioni fisse installate dal Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Firenze per la realizzazione degli studi di livello 3.

Per le modalità di realizzazione delle prove e la successiva definizione delle classi di affidabilità dello studio si fa riferimento allo studio redatto da Albarello e Castellaro, *Tecniche sismiche passive: indagini a stazione singola*, pubblicato in "Supplemento di Ingegneria Sismica" n.2/2011.

Le misure sono state condotte mediante sismografo a tre componenti "SARA SR04S3", dotato di velocimetro a 4,5 Hz, sempre su terreno naturale in condizioni di assenza di vento significativo e di pioggia, con frequenza di acquisizione pari a 100 Hz.

La possibilità di incorrere in contrasti di impedenza sismica posti a profondità significativa al di sotto della potente successione fluvio-lacustre del bacino del Mugello, oltre alla ricorrente presenza di rumore ambientale di origine antropica capace di "sporcare" il segnale, ha reso necessario condurre acquisizioni di lunga durata, quasi sempre pari a 40 minuti; infatti laddove si cerchino picchi di H/V a frequenza estremamente bassa, anche inferiore a 0,5 Hz, l'interferenza dei fenomeni transienti rende necessario un'operazione di maggiore "pulitura" del segnale con conseguente aumento delle finestre temporali a disposizione per l'elaborazione.

Tali finestre sono state in tutti i casi assunte pari a 20 secondi. Le operazioni di lisciamento si sono avvalse del metodo Konno-Ohmachi con tapering al 5% attraverso il software GeoExplorer HVSR v.2.0 (SARA electronic instruments srl).

Gli spettri di rumore sismico acquisiti sono elaborati mediante la nota tecnica di Nakamura che, tramite la valutazione del rapporto sperimentale tra componenti orizzontali e componente verticale delle vibrazioni ambientali, permette di mettere in luce la presenza di fenomeni di risonanza sismica e consente una stima delle frequenze alle quali il moto del terreno può risultare amplificato a causa di questi fenomeni. Contestualmente la tecnica H/V può fornire anche indicazioni di carattere stratigrafico: a partire da un valore di frequenza di risonanza infatti, nota la V_s delle coperture, si può stimare la profondità dei riflettori sismici principali e dedurre quindi avere indicazioni di massima sul modello sismo-stratigrafico del sottosuolo.

Infine, sulla base della stima dell'ampiezza del picco fondamentale è possibile distinguere, in via del tutto qualitativa, le zone caratterizzate da alti contrasti di impedenza da aree caratterizzate da un minore contrasto.

La carta riporta l'ubicazione di tutti le stazioni acquisite con i rispettivi valori della frequenza fondamentale (f_0), quest'ultimi suddivisi in base a classi di frequenza, come suggerito dalle specifiche regionali, allo scopo di distinguere qualitativamente aree caratterizzate da assenza di fenomeni di risonanza significativi da aree caratterizzate dalla presenza di fenomeni di risonanza. Queste le classi individuate:

- "nessun picco": assenza di fenomeni di risonanza
- $f_0 = 0,1-2,0$ Hz
- $f_0 = 2,0-5,0$ Hz
- $f_0 = 5,0-10,0$ Hz
- $f_0 > 10,0$ Hz

in cui il valore di frequenza fondamentale risulta in linea di massima inversamente proporzionale allo spessore atteso di coperture sopra al substrato rigido, considerato sismicamente stabile.

I risultati ottenuti confermano e in alcuni casi integrano le conoscenze sismo-stratigrafiche del sottosuolo, costituendo un valido strumento aggiuntivo per la definizione delle zone sismiche nella carta MOPS (tavola 5).

In particolare si segnalano valori di frequenza fondamentale pari a 0 (assenza di picco) per tutte le misure ubicate su substrato rigido; la maggior parte delle misurazioni restituiscono frequenze fondamentali comprese tra 2,0 e 5,0 Hz, dove gli spessori di coperture sopra il substrato sono significativi.

Solo in due casi si hanno risonanze per frequenze superiori a 10 Hz, laddove le coltri detritiche e alluvionali hanno modesto spessore sopra ai terreni litoidi in posto.

In alcuni casi le elaborazioni mettono in luce la presenza di più picchi H/V: in questi casi, pur riportando nel certificato le valutazioni e i calcoli inerenti il picco ad ampiezza maggiore, è stata eseguita una scelta in favore della frequenza di risonanza considerata più significativa in chiave geologica e sismo-stratigrafica, segnalando questa nella carta delle frequenze.

Per ogni prova eseguita vengono forniti i file di acquisizione di campagna e un certificato riassuntivo della misura stessa, in cui si riportano:

- condizioni logistico-tecniche di acquisizione
- foto della strumentazione durante la misura
- spettro nelle tre componenti (E-O, N-S, Z)
- risultati dell'elaborazione HVSR mediante tecnica Nakamura con il valore del picco fondamentale e di eventuali picchi secondari; viene esplicitata anche la lunghezza della sequenza temporale analizzata rispetto alla durata complessiva dell'acquisizione
- grafico della persistenza (stazionarietà) e della direttività (isotropia) del valore di H/V
- valutazione della qualità statistica del risultato secondo i criteri SESAME (2004) per l'affidabilità della curva e del picco
- attribuzione della classe di qualità secondo le indicazioni di Albarello e Castellaro, (“Tecniche sismiche passive: indagini a stazione singola”, Supplemento di *Ingegneria Sismica* n.2/2011)

La tavola viene proposta sia in forma cartacea che digitale (in formato GIS).

7.5. Tavola 5: Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica

Obiettivo principale dello studio di Microzonazione Sismica di Livello 1, la carta MOPS suddivide il territorio urbano e periurbano in microzone sulla base della possibile occorrenza dei diversi fenomeni prodotti dall'azione sismica: in modo particolare vengono segnalate e

perimetrare le aree suscettibili di amplificazione sismica per cause topografiche e per contrasti di impedenza, oltre alle forme morfologiche instabili o potenzialmente generatrici di instabilità.

La carta è pertanto il risultato di una molteplicità di osservazioni geologiche, geomorfologiche e geofisiche, oltre che di acquisizioni di dati geognostici di base.

Aspetto cardinale della predisposizione della carta è l'individuazione dei litotipi, generalmente rocciosi, che costituiscano il substrato rigido (“bedrock sismico”) in cui la velocità di propagazione delle onde di taglio sia significativamente maggiore rispetto a quella delle sovrastanti coperture: avvalendosi del modello geologico del sottosuolo e delle indagini geofisiche effettuate sarà possibile giungere ad una stima – pur approssimativa – della profondità del substrato rigido rispetto al piano di campagna e del contrasto di impedenza atteso con le coperture sovrastanti.

Nelle aree esaminate il bedrock sismico viene sempre identificato con le formazioni litoidi del substrato roccioso: laddove pertanto esse si rinvergono in affioramento, o subaffioranti sotto coperture superficiali di alterazione inferiori ai 3 metri, con pendenze fino ai 15°, vanno a costituire le zone stabili (zona 1) della carta MOPS. Le aree di Buttoli, Cornocchio, Santa Lucia e (in misura minore) Mangona vengono assegnate per lo più a questa zona.

Le elevate pendenze medie che talvolta caratterizzano i rilievi montuosi e collinari delle aree in esame rendono frequenti porzioni di territorio in cui il bedrock affiorante viene classificato come “zona stabile suscettibile di amplificazione per effetti topografici” (zona 2); la maggior parte dell'area di Mangona e alcune zone a Santa Lucia e Montecarelli appartengono a questa zona.

La dettagliata ricostruzione del modello geologico del sottosuolo ha permesso poi di individuare ben 43 “zone stabili suscettibili di amplificazione sismica per contrasto di impedenza” tra substrato e coperture (zona 3 – zona 17), differenziate tra loro sulla base della successione sismo-stratigrafica, degli spessori presenti e dei valori di velocità Vs dei vari orizzonti. Esse caratterizzano la maggior parte del territorio di Barberino e Cavallina, Montecarelli e Galliano.

La descrizione particolareggiata delle zone sismiche è riportata nella legenda della Carta MOPS.

Infine, particolare attenzione viene dedicata alle zone instabili, in cui sono annoverate tutte le aree di instabilità di versante suddivise tra *frane attive* e *frane quiescenti*. Le prime sono estremamente rare, mentre numerose sono le aree ad instabilità quiescente, in parte descritte al capitolo 6 ed in parte nella relazione di sintesi dello studio precedente.

Nella tavola sono inoltre rappresentate le *aree a rischio di crollo* per la presenza di cavità sotterranee legate alle miniere di lignite (in analogia a quanto riportato nella carta geologico-

tecnica, vedi par.7.3) e le *aree a suscettibilità per liquefazione* suddivise tra rischio moderato e rischio alto; per la trattazione analitica di quest'ultime si rimanda al capitolo 8.

La carta riporta anche le principali forme morfologiche di rilevanza per i possibili effetti di amplificazione sismica: sono presenti alcune *creste* morfologiche, *orli di terrazzo e di scarpata* (in genere inferiori a 10 metri) e una *conoide alluvionale*, posta al piede del versante in sponda destra del Torrente Stura, in prossimità della zona industriale di Barberino (a nord-ovest del Capoluogo).

Infine, si segnala inoltre la presenza della *faglia attiva* di Galliano, ovvero l'allineamento tettonico di tipo normale che corre con allineamento E-O al margine meridionale del paese.

8. Verifica della suscettibilità alla liquefazione

Di concerto con gli uffici tecnici della Regione e del Comune di Barberino sono state individuate due aree a rischio di liquefazione potenzialmente elevato nelle quali eseguire uno studio di dettaglio sulla base delle caratteristiche geomeccaniche e sismiche dei terreni presenti nei primi 20 metri del sottosuolo. Le due aree si collocano in adiacenza ai corsi d'acqua della Sieve e della Lora nei tratti compresi tra il tracciato autostradale e l'invaso di Bilancino, in contesti per lo più di fondovalle o collinari.

Al fine di acquisire un numero di informazioni geologico-tecniche sufficienti per svolgere le verifiche è stata realizzata una campagna di indagini costituita da n.10 prove penetrometriche statiche (CPT), spinte fino alla profondità di 15 metri dal p.c. o comunque fino al raggiungimento delle condizioni di rifiuto strumentale. L'ubicazione delle prove, identificate con una numerazione del tipo "GEO2_CPT", è riportata nella seguente figura 1 e nella Carta delle indagini (tav.1): per ottenere una più ampia copertura del territorio e una maggior quantità di dati le verticali sono state integrate con alcune prove penetrometriche statiche presenti in archivio (anch'esse ubicate in figura 1), per un totale di n.28 prove suddivise tra le due aree di studio "Lora" e "Sieve".

L'analisi di suscettibilità a liquefazione è stata eseguita partendo dai seguenti assunti e criteri:

- magnitudo massima attesa pari a $M_{wmax} = 6,60$, in accordo con le indicazioni degli ICMS
- fattore di amplificazione al suolo come da modellazione sismica eseguita per gli studi di livello 3, pertanto variabile tra $FH=1,3$ e $2,5$
- tavola d'acqua collocata in via cautelativa a profondità di 3 metri dal p.c.

Di seguito riportiamo le 6 metodologie scelte per le verifiche, in accordo con gli uffici tecnici regionali e con quanto proposto da Facciorusso, Madiari e Vannucchi della Facoltà di Ingegneria di Firenze ("CONFRONTO TRA METODI SEMPLIFICATI DI STIMA DEL RISCHIO DI LIQUEFAZIONE DA PROVE CPT E CPTU", 2013).

1. NCEER (2001)

"Youd T.L., Idriss I.M., Andrus R.D., Arango I., Castro G., Christian J. T., Dobry R., Liam Finn W. D., Harder L. F. Jr., Hynes M.E., Ishihara K., Koester J.P., Laio S.S.C., Marcuson Iii W.F., Martin G.R., Mitchell J.K., Moriwaki Y., Power M S., Robertson P.K., Seed R.B., Stokoe Ii K.H. (2001) - Liquefaction resistance of soils: Summary report from the 1996 NCEER and 1998

NCEER/NSF workshops on evaluation of liquefaction resistance of soils. Jour. Geotech. Geoenviron. Eng., 127(10), pp. 817–833.

2. Robertson (2009)

Robertson, P.K., 2009. Interpretation of Cone penetration tests - A unified approach. Canadian Geotechnical Journal, 46, pp. 1337-1355

3. Idriss & Boulanger (2008)

Idriss, I.M., Boulanger, R.W., 2008. Soil liquefaction during earthquakes. Monograph MNO-12, Earthquake Engineering Research Institute, Oakland, CA, 261 pp

4. J&AI

Juang C.H., Ku C.S., Chen, C.C., 2010. Simplified model for evaluating soil liquefaction potential using CPTU, 2nd International Symposium on Cone Penetration Testing, Huntington Beach, CA, USA

5. Moss

Moss, R.E.S., Seed R.B., Kayen R.E., Stewart J.P., Der Kiureghian, Cetin, K.O., 2006. CPT-based probabilistic and deterministic Assessment of in situ seismic soil liquefaction potential. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, Vol. 132, N.8, pp. 1032-1051

6. AGI

AGI, Associazione Geotecnica Italiana, 2005. Aspetti geotecnici della progettazione in zona sismica. Linee Guida. Pàtron Editore.

I metodi differiscono nel calcolo di alcuni parametri necessari per la determinazione del fattore di sicurezza alla liquefazione (FSL): per i dettagli si rimanda al già citato rapporto.

Le elaborazioni sono svolte partendo dai valori di resistenza alla punta e resistenza laterale ottenuti in situ; i risultati vengono presentati e discussi sulla base del valore di LPI10, ovvero indice di liquefazione potenziale valutato nei primi 10 metri di profondità, escludendo la metodologia n.5 (Moss) la cui adattabilità ai modelli del sottosuolo italiani è ancora da verificare. Nella tabella seguente sono riportati in sintesi, per ciascuna verticale, i risultati ottenuti in termini di valore più elevato di LPI10.

Sintesi delle verifiche di suscettibilità a liquefazione

zona	prova	classe MS3	Fa	Amax	Mwmax	LPI10	metodo
S	GEO1_CPT	3	1.3	0.2535	6.6	1.1	I&B
S	GEO2_CPT	3	1.3	0.2535	6.6	2.2	I&B
S	GEO3_CPT	3	1.3	0.2535	6.6	0	
S	GEO4_CPT	5	2	0.39	6.6	0.76	I&B
S	GEO5_CPT	5	2	0.39	6.6	3.1	I&B
L	GEO6_CPT	5	2	0.39	6.6	2.13	AGI
L	GEO7_CPT	5	2	0.39	6.6	2.29	AGI
L	GEO8_CPT	5	2	0.39	6.6	2.86	AGI
L	GEO9_CPT	6	2.5	0.4875	6.6	7.3	AGI
L	GEO10_CPT	4	1.5	0.2925	6.6	0	
L	CPT1_497	5	2	0.39	6.6	2.72	I&B
L	CPT1_914	5	2	0.39	6.6	2.31	I&B
L	CPT2_914	5	2	0.39	6.6	1.2	I&B
L	CPT1_2409	6	2.5	0.4875	6.6	14.03	I&B
L	CPT2_2409	6	2.5	0.4875	6.6	11.04	I&B
L	CPT3_2409	6	2.5	0.4875	6.6	6.8	I&B
S	Outlet_CPT1	5	2	0.39	6.6	3.04	I&B
S	Outlet_CPT2	5	2	0.39	6.6	5.9	I&B
S	Outlet_CPT3	5	2	0.39	6.6	2.45	I&B
S	CPT2_565	3	1.3	0.2535	6.6	0.25	I&B
S	CPT1_603	4	1.5	0.2925	6.6	0.39	I&B
S	CPT2_603	4	1.5	0.2925	6.6	3.78	I&B
S	CPT1_1130	5	2	0.39	6.6	2.59	I&B
S	CPT2_1130	3	1.3	0.2535	6.6	0.77	I&B
S	CPT3_1130	3	1.3	0.2535	6.6	0.64	I&B
S	CPT4_1130	3	1.3	0.2535	6.6	1.07	I&B
S	CPT2_1946	6	2.5	0.4875	6.6	0	
S	CPT1_2312	4	1.5	0.2925	6.6	0	

Avvalendosi della classificazione di potenziale liquefazione proposta da Sonmez (2003), si può in via preliminare attribuire a ciascuna verticale un livello qualitativo di suscettibilità, da “non liquefacibile” a “molto alto”; il diagramma a torta di figura 2 riporta la distribuzione delle prove eseguite nelle 5 classi sia globalmente che suddivise tra le due zone di studio: l’area “Lora” appare più suscettibile al rischio di liquefazione rispetto all’area “Sieve”.

Negli elaborati riportati in allegato viene rappresentato, questa volta per ciascuna prova eseguita, il risultato delle verifiche eseguite, in termini di $LPI10_{max}$, $LPI20_{max}$ e andamento con la profondità di LPI10.

A causa della scarsità di dati a profondità superiori a 15 metri dal p.c., si è scelto di escludere l’indice LPI20 dalla trattazione; è invece particolarmente utile considerare lo spessore complessivo di strati liquefacibili ΣH_L per ciascuna prova per determinare - laddove risulti $LPI > 2$ (rischio da moderato a molto alto) - la reale suscettibilità locale alla liquefazione. Dall’analisi comparata tra valori di LPI10 e ΣH_L si possono dunque individuare - anche solo a livello qualitativo - le verticali effettivamente a rischio liquefazione: in tal senso, d’accordo con i tecnici

degli uffici regionali, si è scelto di individuare sul territorio indagato “**zona a rischio moderato**” e “**zona a rischio alto**” adottando i seguenti criteri di classificazione applicati a ciascuna verticale analizzata:

- **zona di suscettibilità a liquefazione a rischio moderato:**

$$2 < LPI10_{max} < 5$$

$$LPI10 > 0 \text{ per } \Sigma H_L > 5 \text{ metri}$$

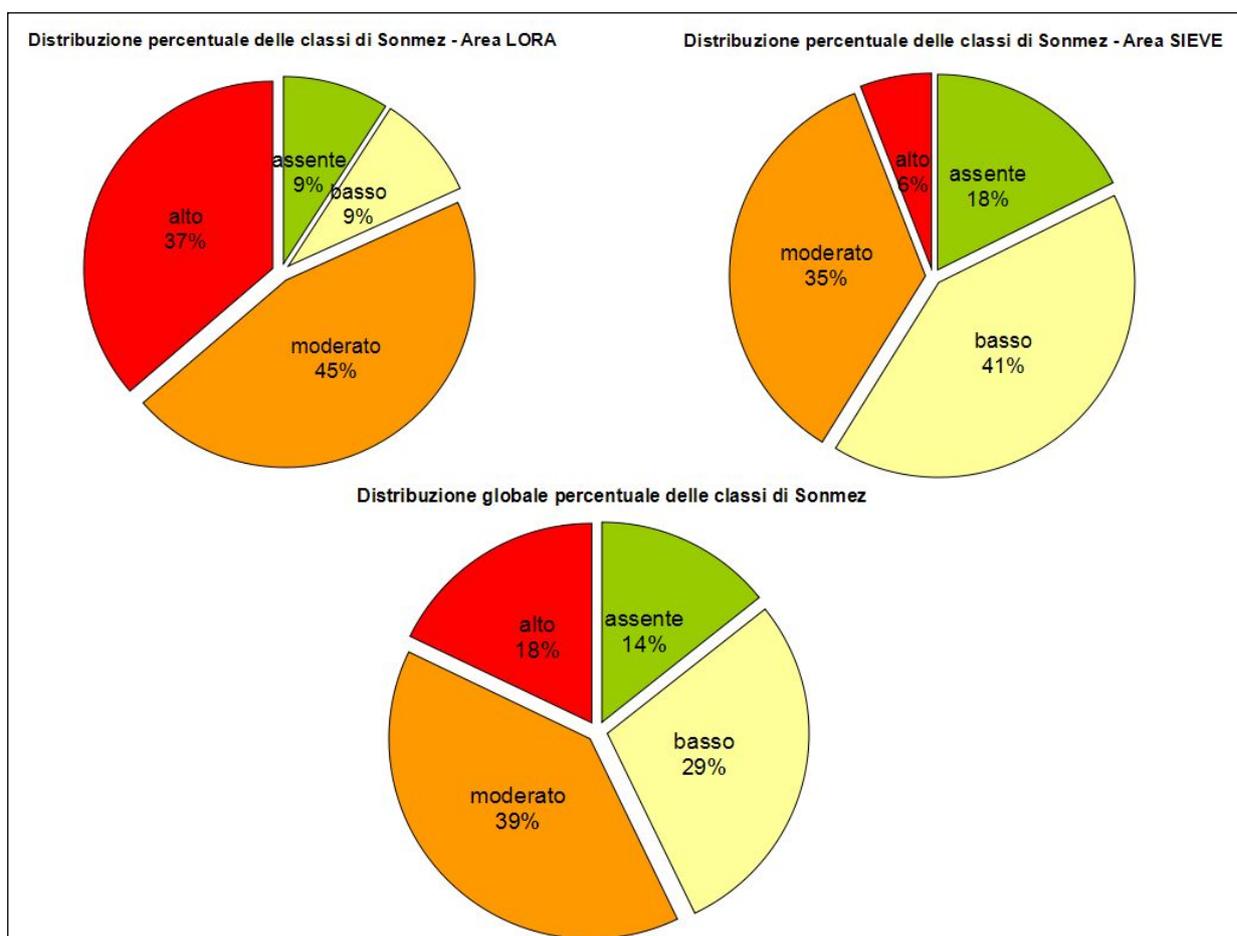
- **zona di suscettibilità a liquefazione a rischio alto:**

$$5 < LPI10_{max} < 15$$

Nella Carta MOPS (Tav.5) sono cartografate le zone di suscettibilità a liquefazione, ricavate secondo i criteri esposti.

Figura 2 - Distribuzione delle classi di potenziale liquefazione secondo Sonmez (2003)

LPI	Potenziale di liquefazione
0	Non liquefacibile ($FSL \geq 1.2$)
$0 < LPI \leq 2$	Basso
$2 < LPI \leq 5$	Moderato
$5 < LPI \leq 15$	Alto
$15 < LPI$	Molto alto



9. Individuazione della Classe di Qualita'

La procedura semiquantitativa per stabilire la classe di qualità dello studio eseguito, secondo le indicazioni dell'appendice 1 delle Specifiche tecniche regionali (DGRT 261/2011), si basa su n. 6 parametri (carta geologico-tecnica, sondaggi a distruzione, sondaggi a carotaggio continuo, indagini geofisiche, prove geognostiche, misure delle frequenze di sito) ai quali viene assegnato un peso; ogni parametro prevede 3 indicatori ai quali viene dato un punteggio che deve essere moltiplicato per il peso corrispondente. La somma dei valori dei parametri permette così di stilare una classifica di qualità:

- Classe A, valori superiori a 75%; indicazioni: nessuna, carta di livello 1 di ottima qualità;
- Classe B, valori intervallo (50%-74%); indicazioni: migliorare almeno uno dei parametri
- Classe C, valori intervallo (25%-49%); indicazioni: programmare indagini che mancano o che sono valutate di scarsa qualità;
- Classe D, valori inferiori a 25%; indicazioni: la carta di livello 1 è di scarsa qualità e non risponde ai requisiti minimi richiesti dagli ICMS e dalle suddette specifiche.

La valutazione eseguita si avvale di un foglio di calcolo messo a disposizione dal Servizio Sismico Regionale. I risultati, presentati nel dettaglio nel relativo allegato, assegnano all'aggiornamento dello Studio di Microzonazione Sismica di Livello 1 del Comune di Barberino **CLASSE B** (71,4%).

Firenze, gennaio 2015

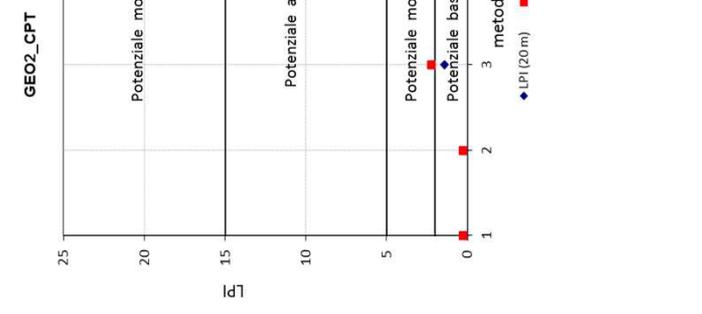
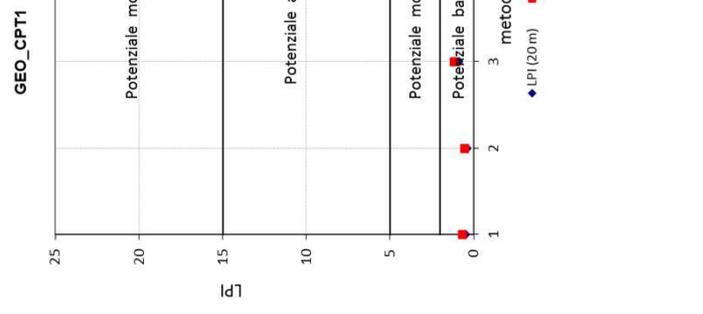
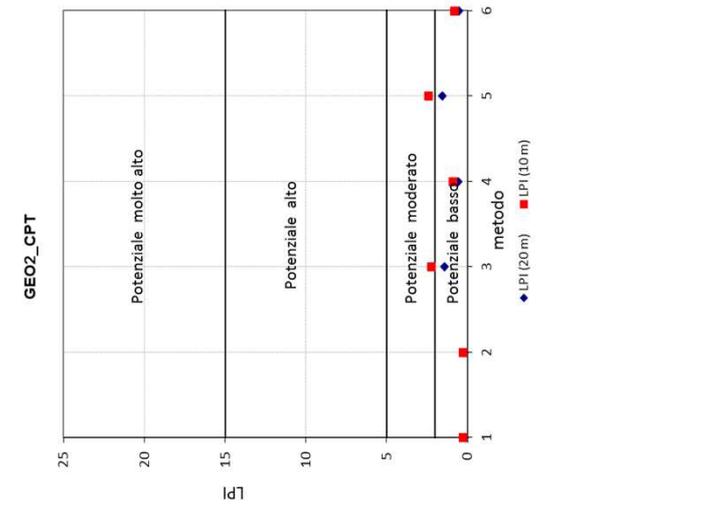
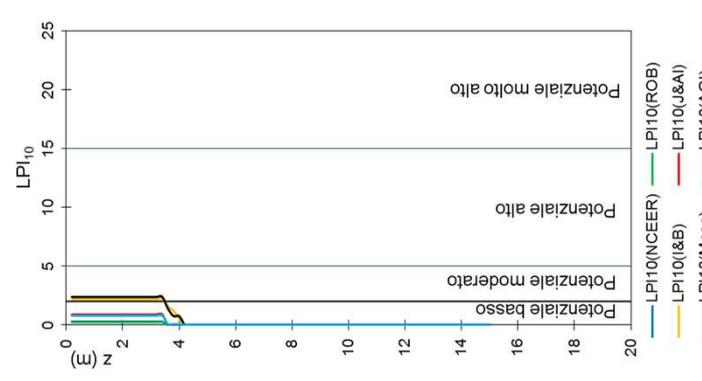
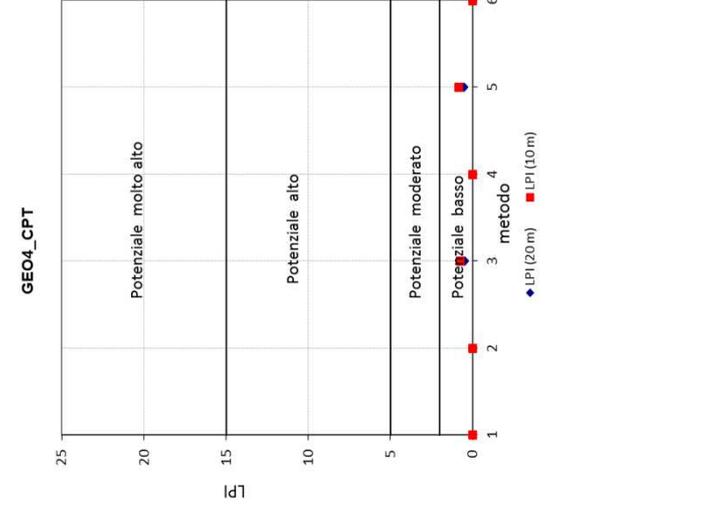
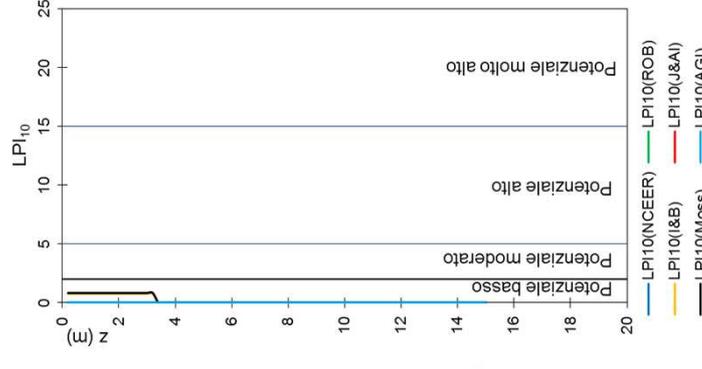
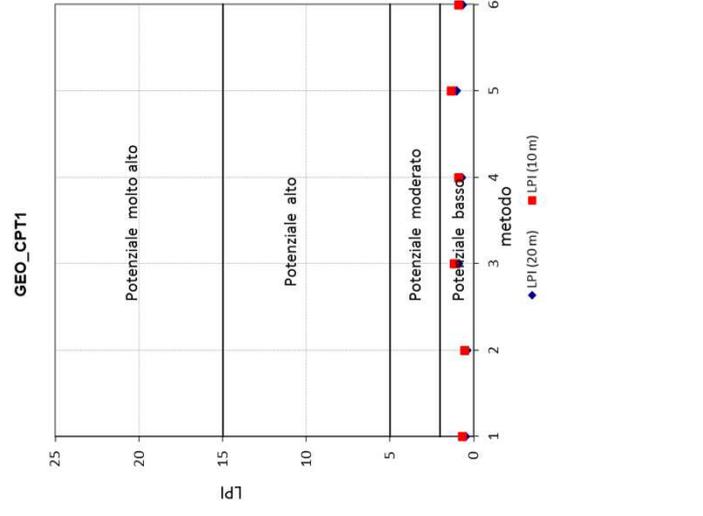
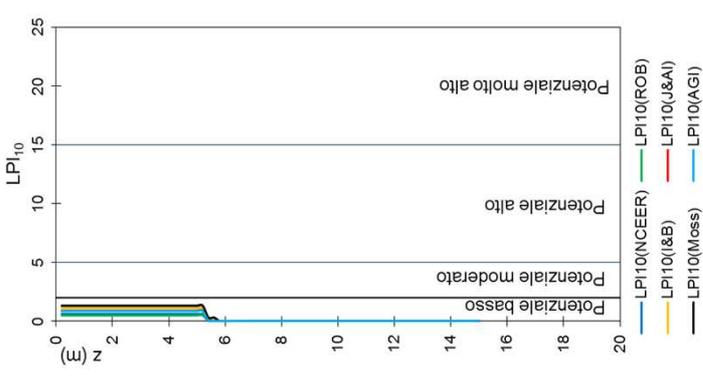
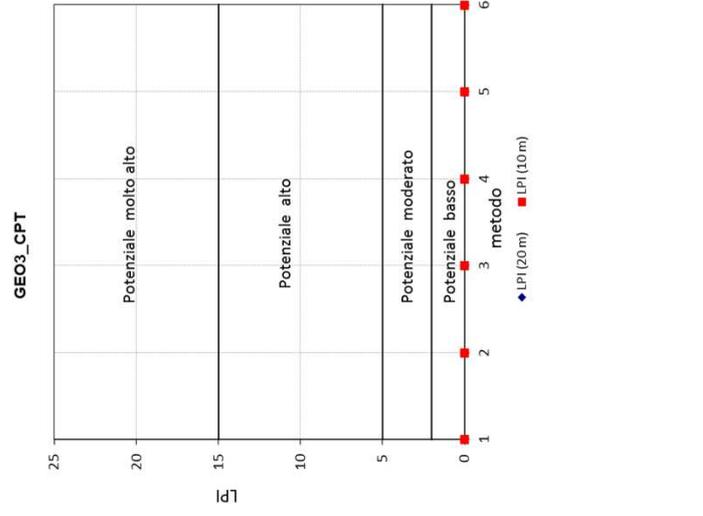
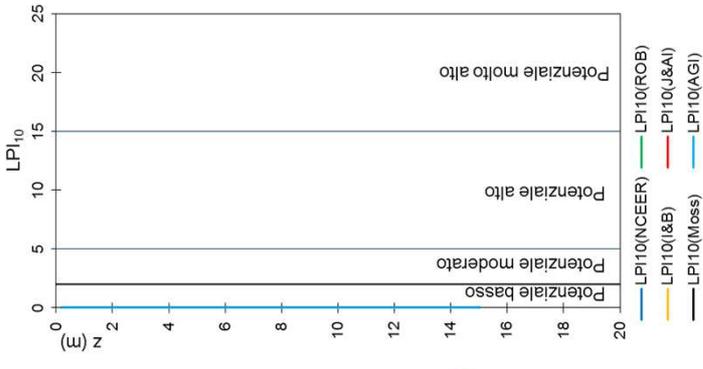
GEOTECNO Studio Associato

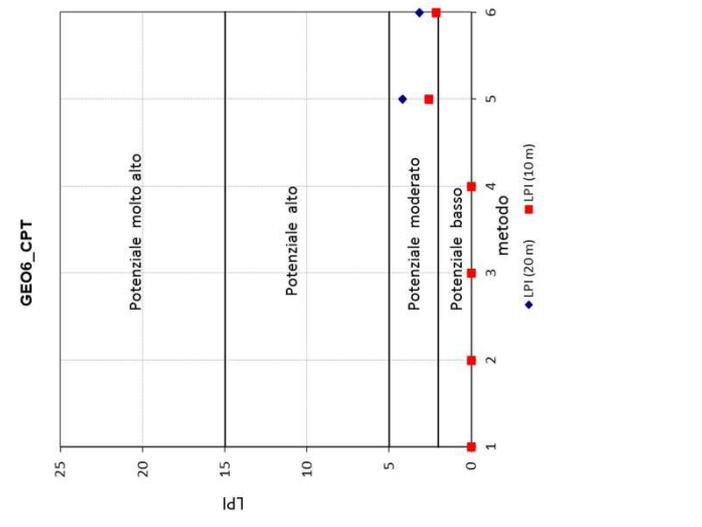
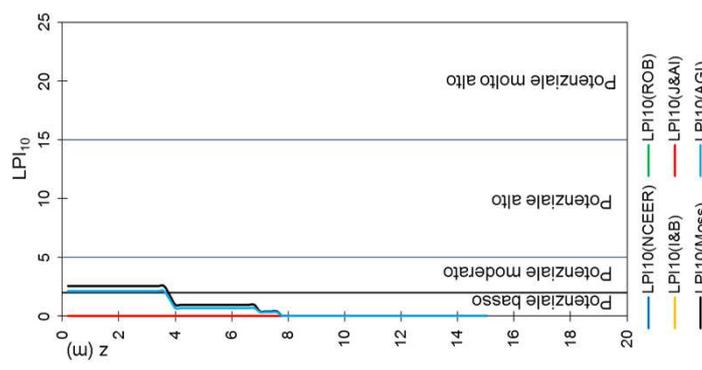
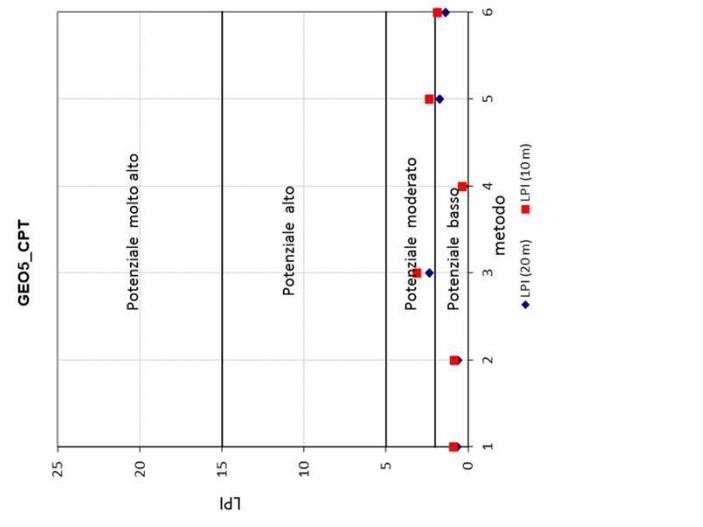
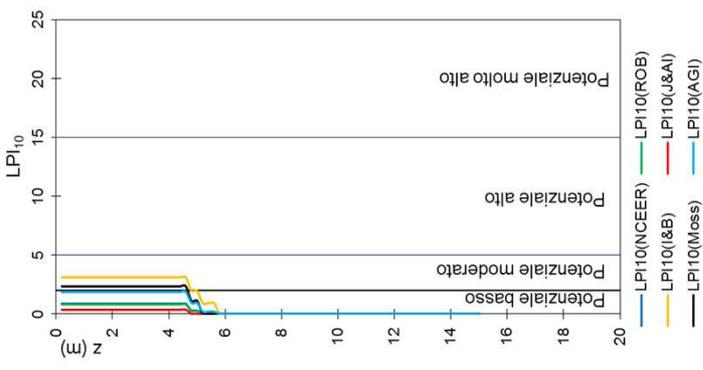
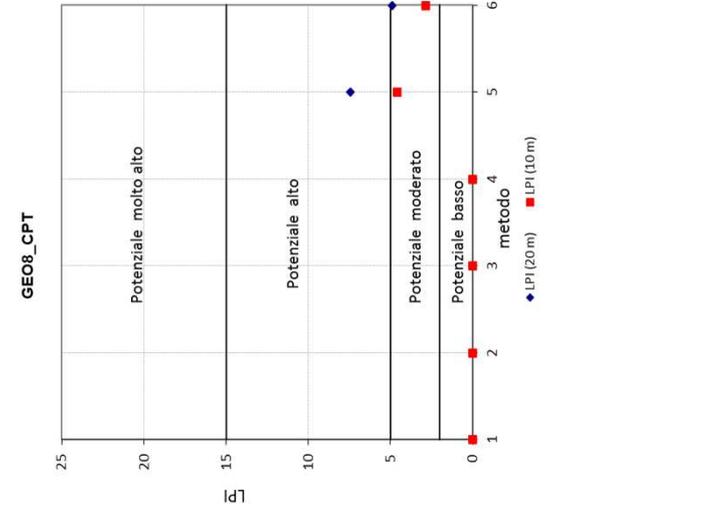
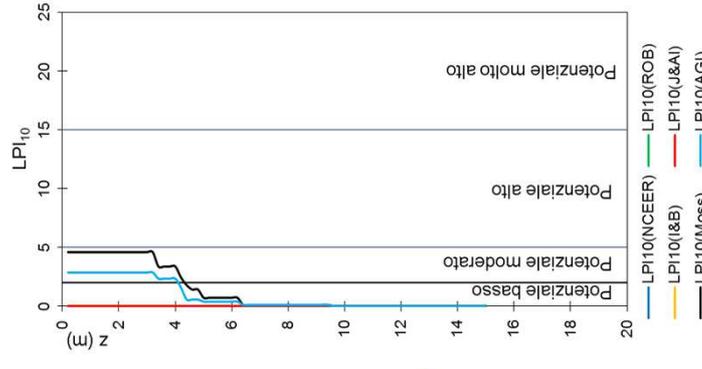
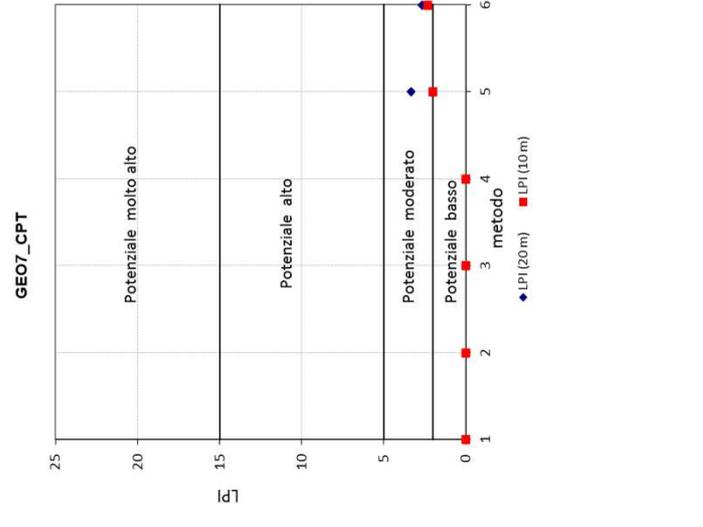
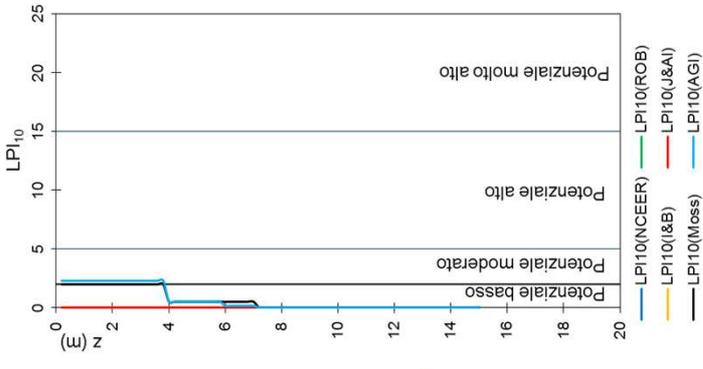
10. Bibliografia

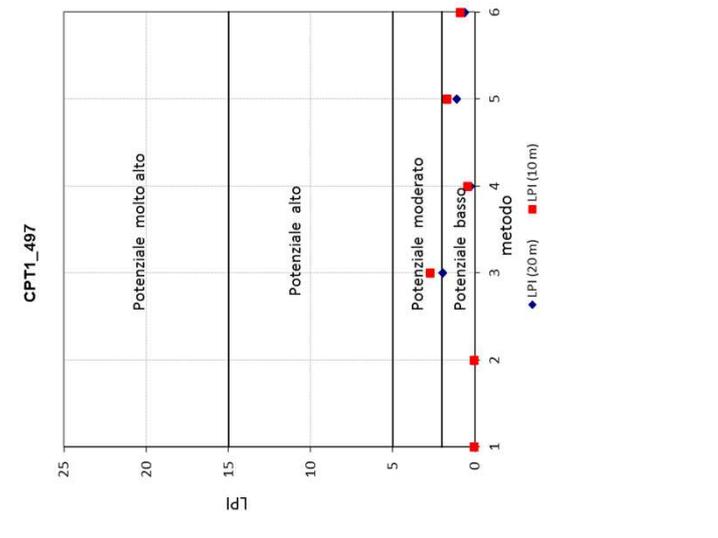
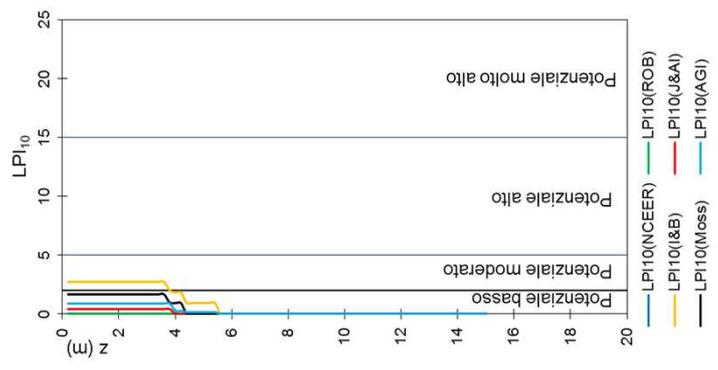
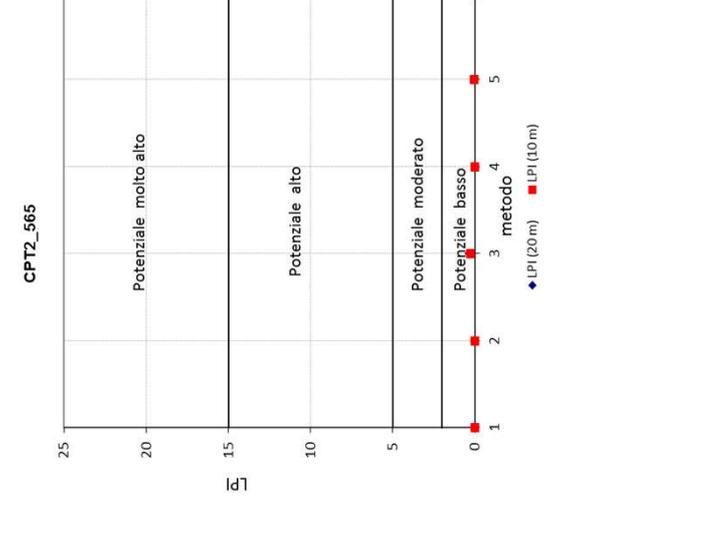
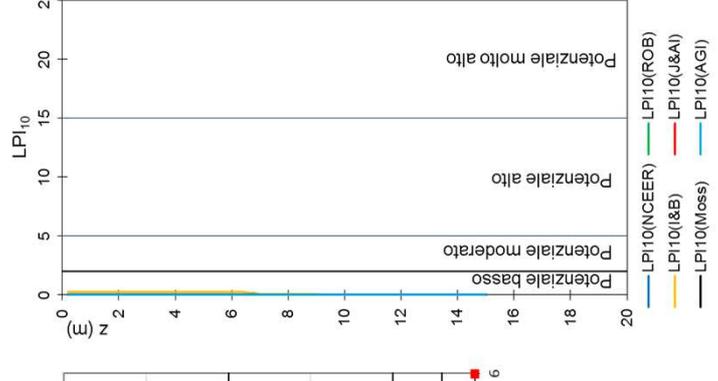
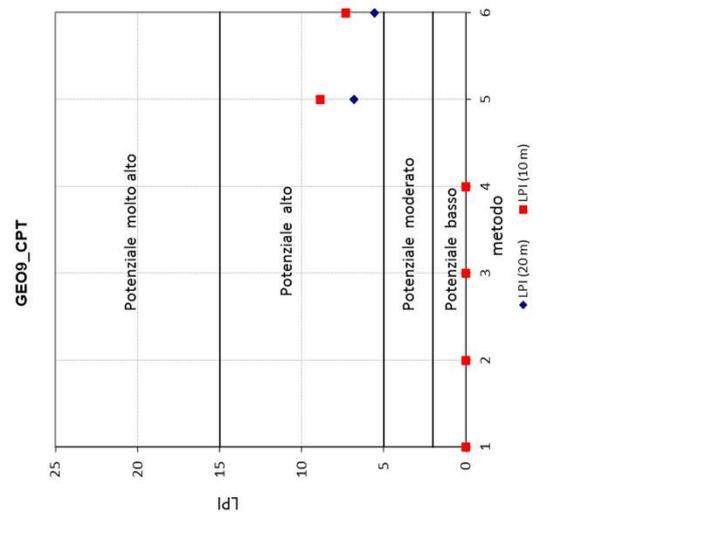
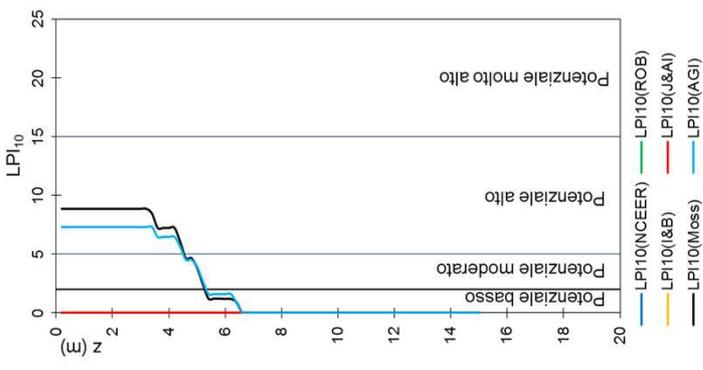
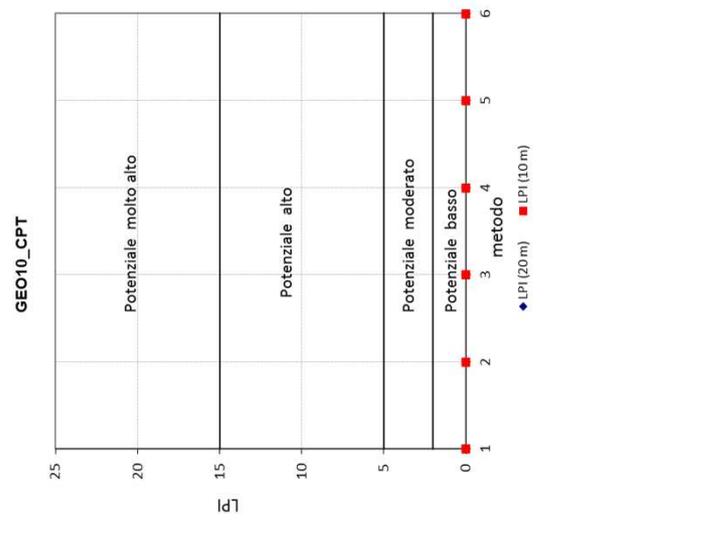
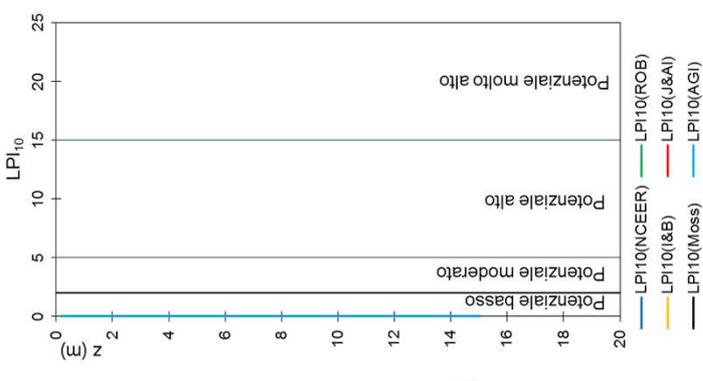
- Servizio Sismico Regionale (2007) - Istruzioni tecniche per le indagini geologiche, geofisiche, geognostiche e geotecniche per la valutazione degli effetti locali nei comuni classificati sismici della Toscana, volume 5. Legende per la realizzazione della cartografia geologica, geomorfologica e litologicotecnica per le aree del Mugello. *Regione Toscana Programma VEL*
- Albarello D. (2011) – Indagini geofisiche di superficie a supporto della progettazione del modello geologico. *Atti del Seminario "Indagini e tecniche di microzonazione sismica di livello 1 e applicazioni in sede di pianificazione territoriale"*.
- Albarello D., Castellaro S. (2011) - Tecniche sismiche passive: indagini a stazione singola. *Supplemento di Ingegneria Sismica n.2.*
- AA.VV. (2011) - Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica, vol. I-II-III, Dipartimento della Protezione Civile Presidenza del Consiglio dei Ministri.
- Commissione Tecnica per il monitoraggio degli studi di Microzonazione Sismica (2011) – Standard per la stesura della carta delle indagini v1.5.
- Coordinamento Regionale Prevenzione Sismica (2012) - Comune di Barberino di Mugello, Studio di Microzonazione Sismica. Relazione tecnica finale di sintesi. *Regione Toscana U.T. Genio Civile.*
- AA.VV (2012) - Microzonazione sismica sperimentale del Comune di Barberino di Mugello. *Università degli Studi di Firenze, Dipartimento di Scienze della Terra.*
- Coordinamento Regionale Prevenzione Sismica (2012) - Vademecum operativo per la redazione delle indagini e studi di MS di livello 1. *Regione Toscana U.T. Genio Civile.*
- Coordinamento Regionale Prevenzione Sismica (2013) - Comune di Barberino di Mugello, Studio di Microzonazione Sismica di livello 3. Relazione tecnica finale. *Regione Toscana U.T. Genio Civile.*
- Commissione Tecnica per il monitoraggio degli studi di Microzonazione Sismica (2013) – Standard di rappresentazione ed archiviazione informatica v3.0.
- Coordinamento Regionale Prevenzione Sismica (2013) - Redazione delle specifiche tecniche regionali per l'elaborazione di indagini e studi di microzonazione sismica all.A. *Regione Toscana U.T. Genio Civile.*
- Facciorusso J., Madiari C., Vannucchi G. (2013) - Confronto tra metodi semplificati di stima del rischio di liquefazione da prove cpt e cptu. *Università degli studi di Firenze, Facoltà di Ingegneria.*

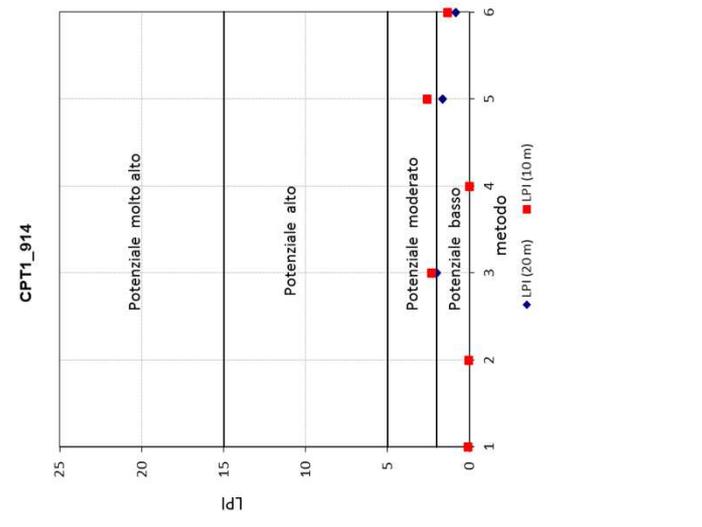
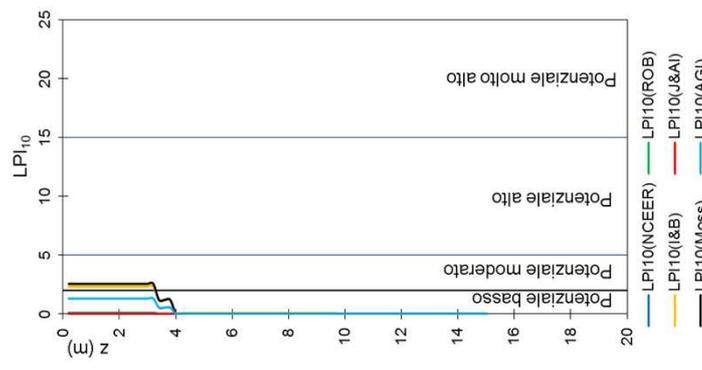
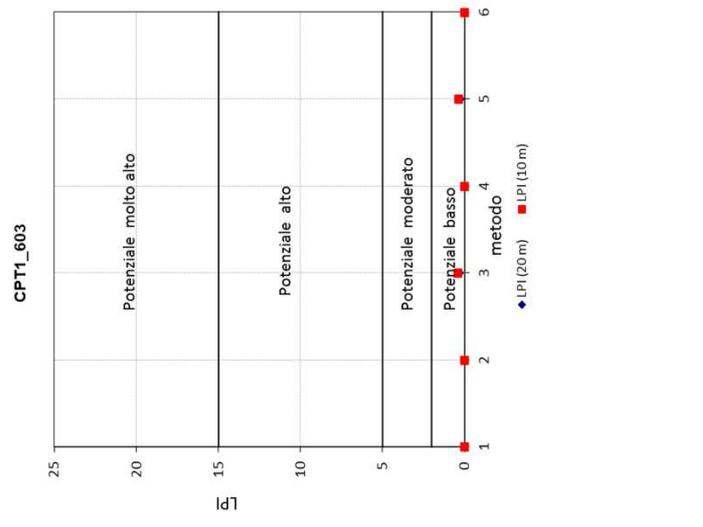
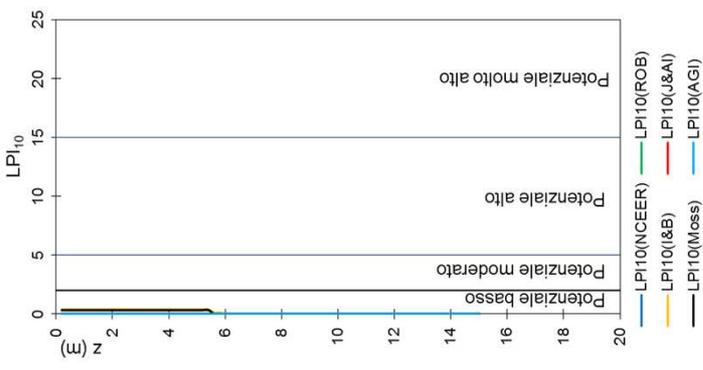
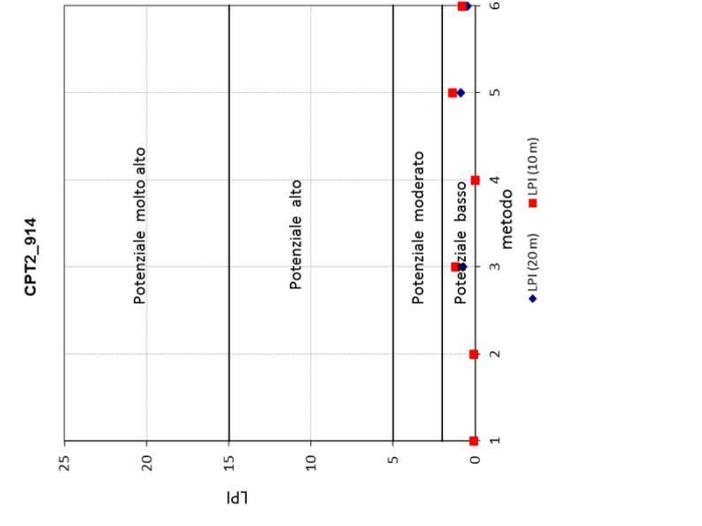
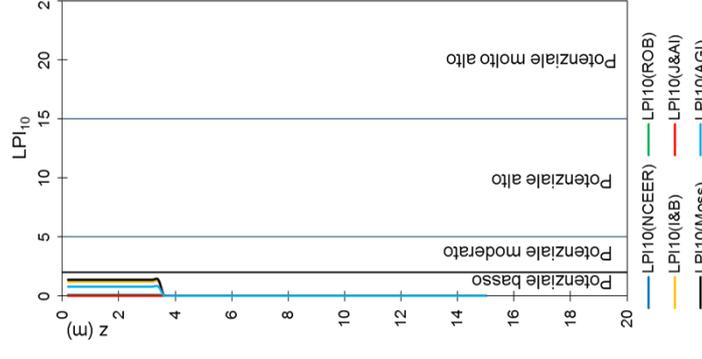
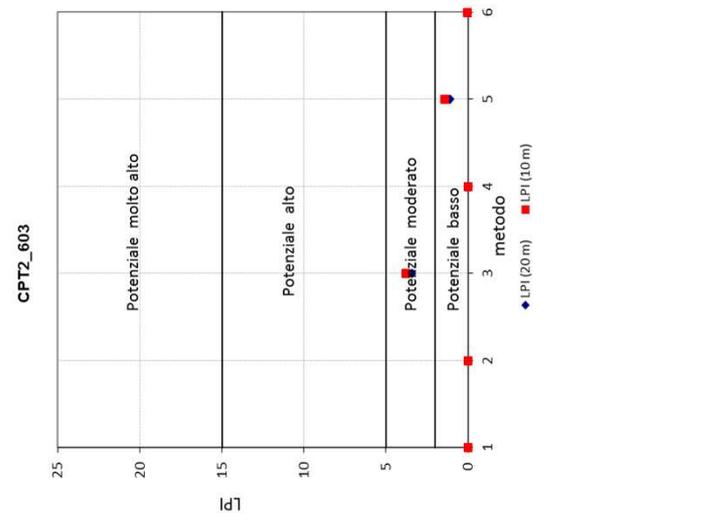
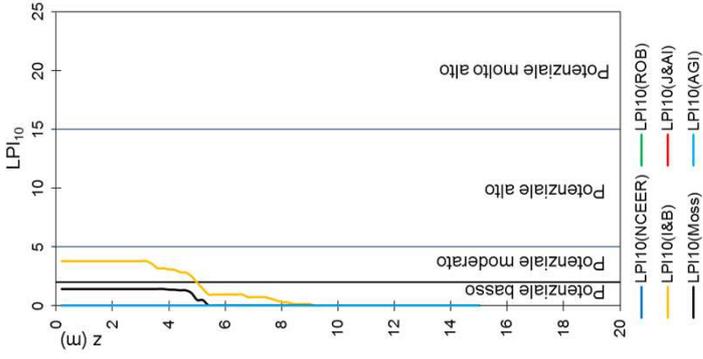
Appendici

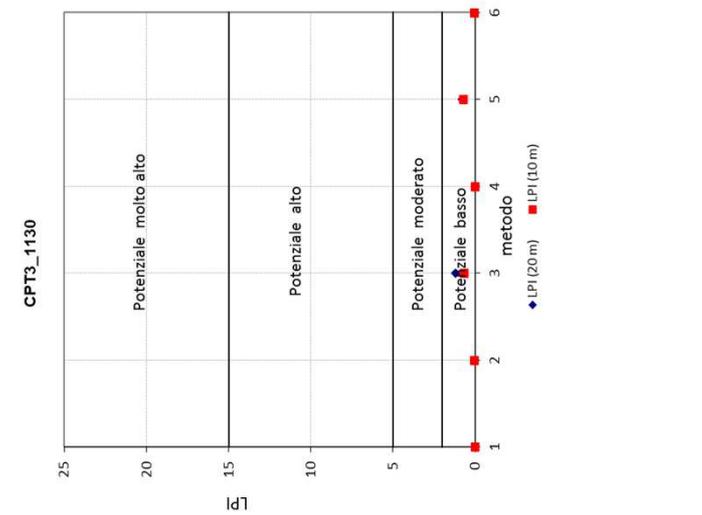
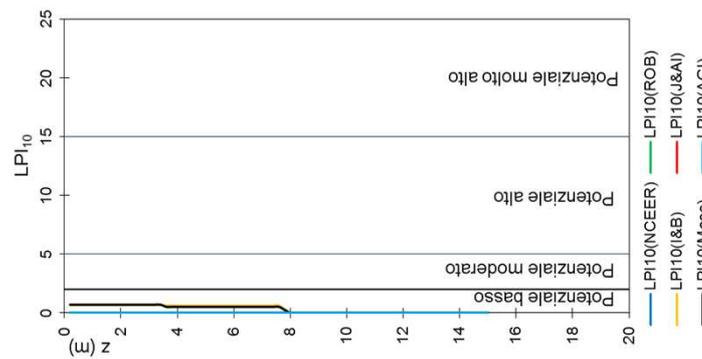
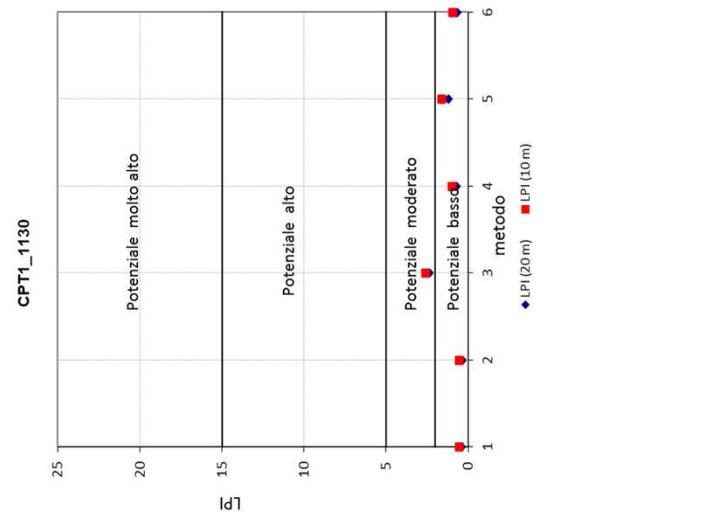
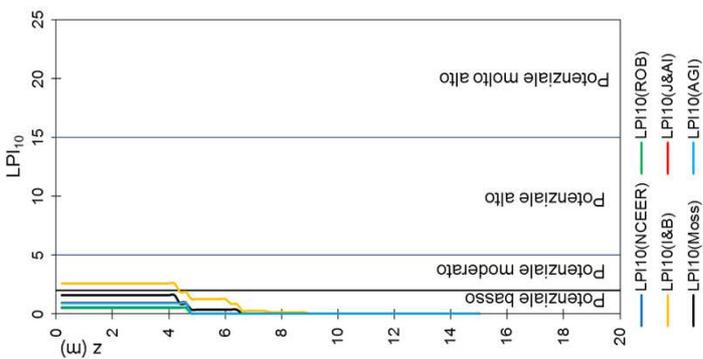
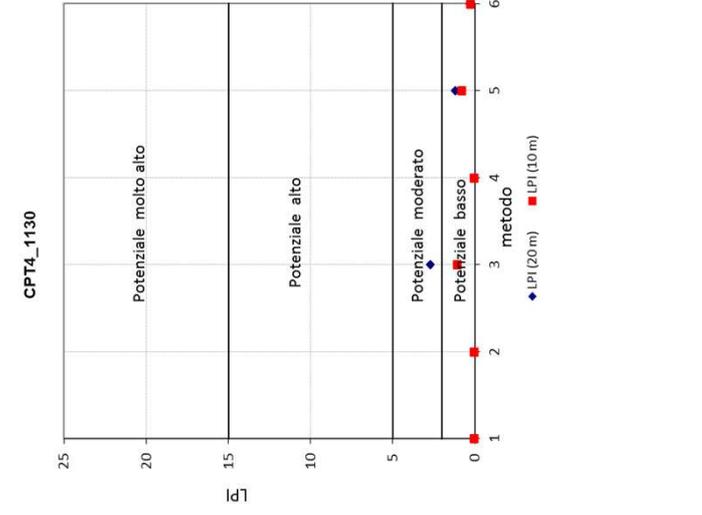
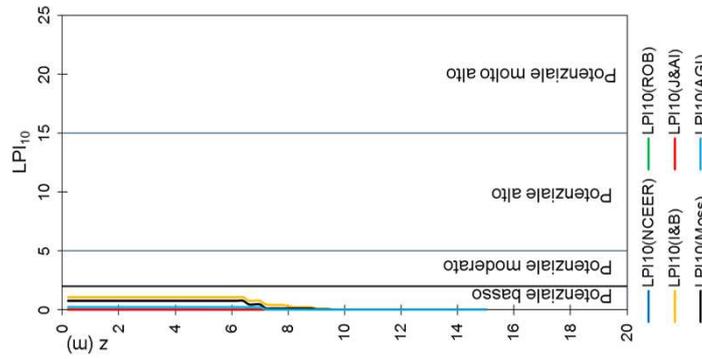
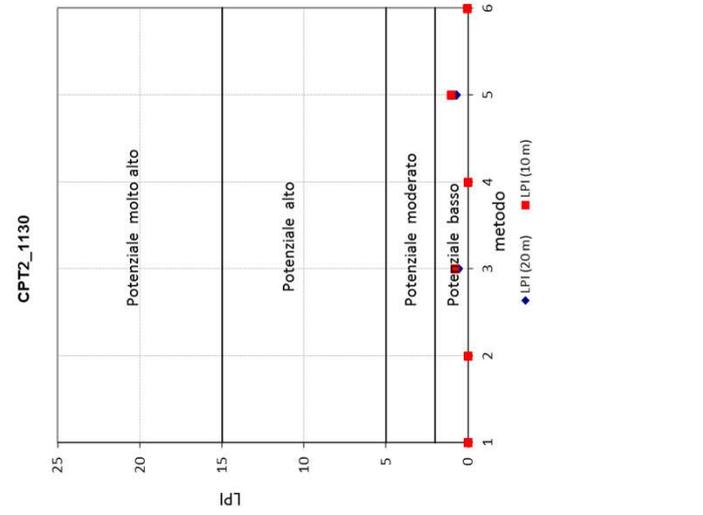
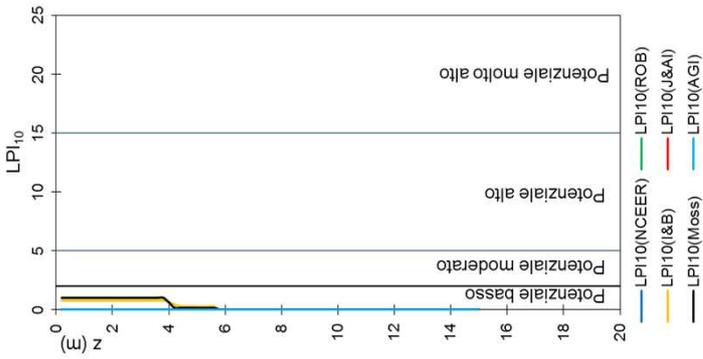
- 1) Distribuzione LPI10 per le prove penetrometriche (verifica della suscettibilità alla liquefazione)
- 2) Individuazione della classe di qualità

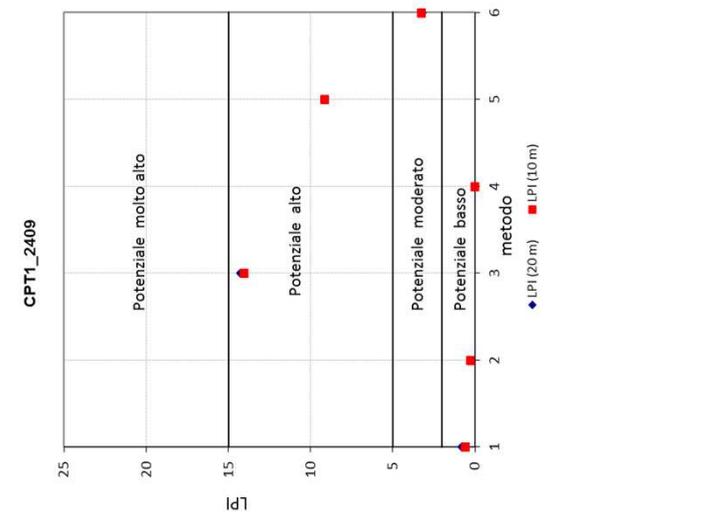
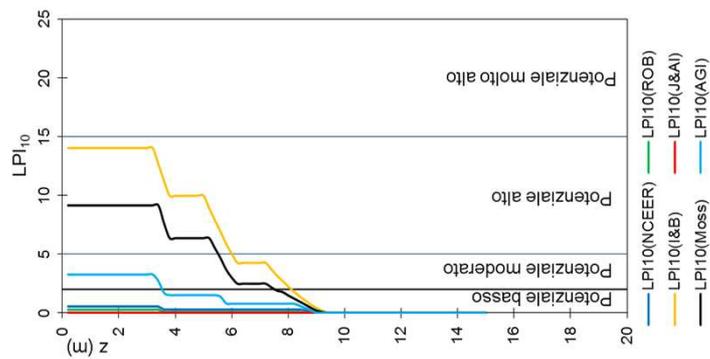
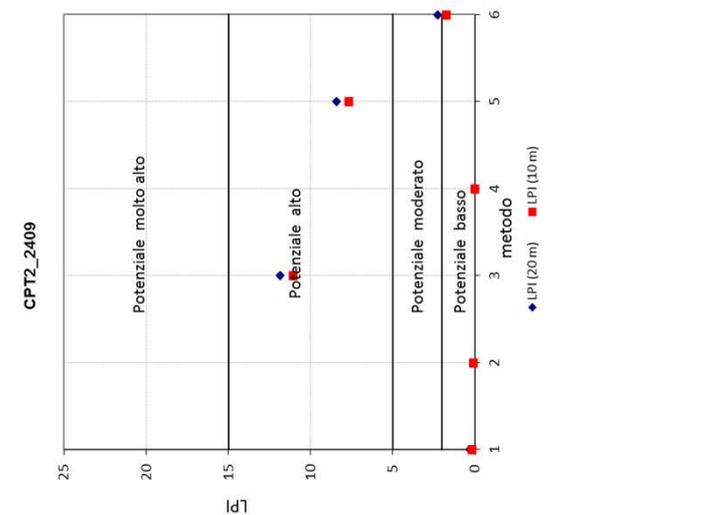
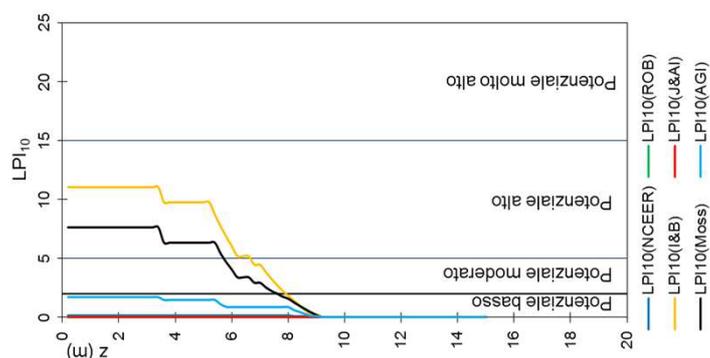
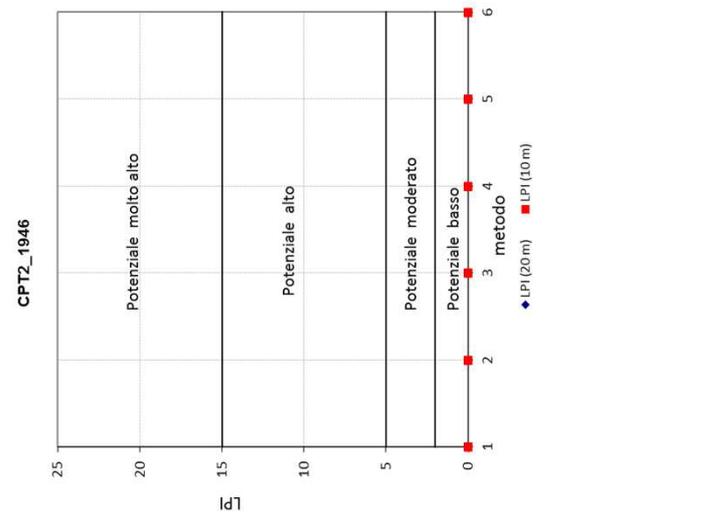
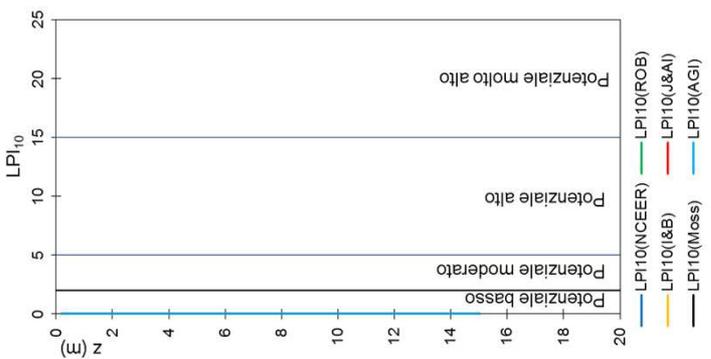
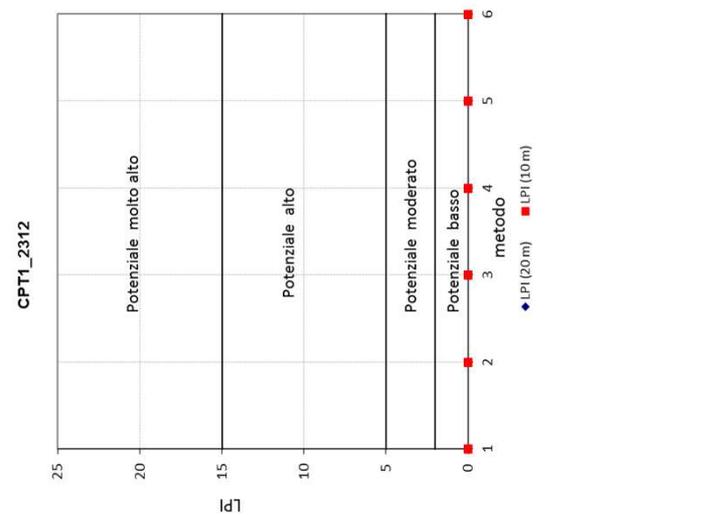
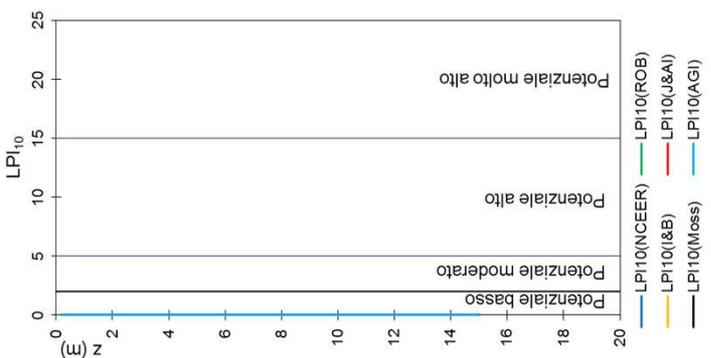


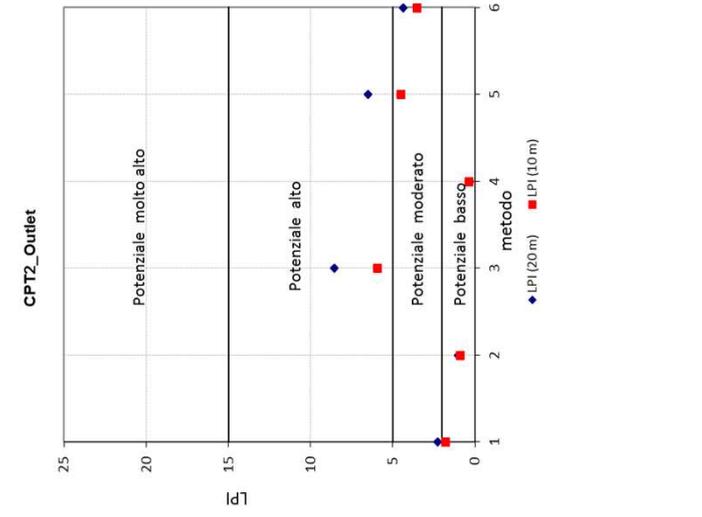
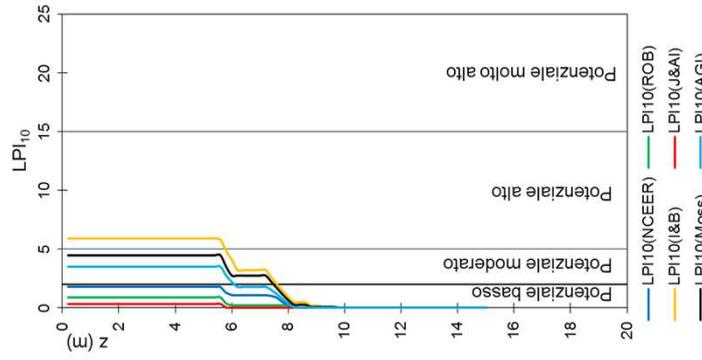
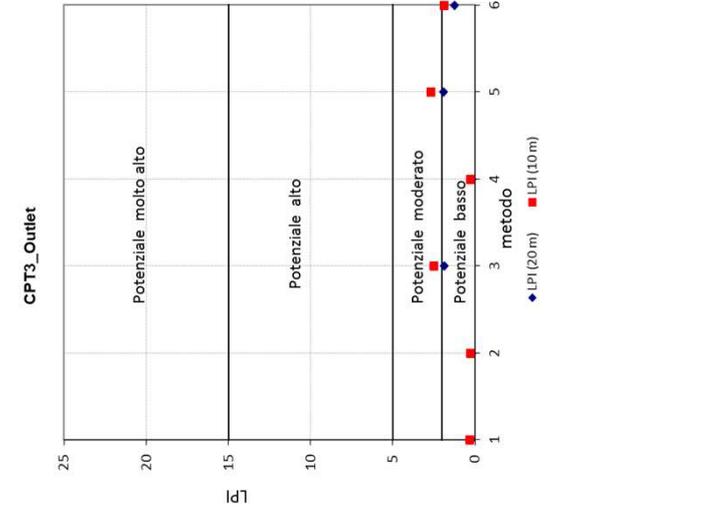
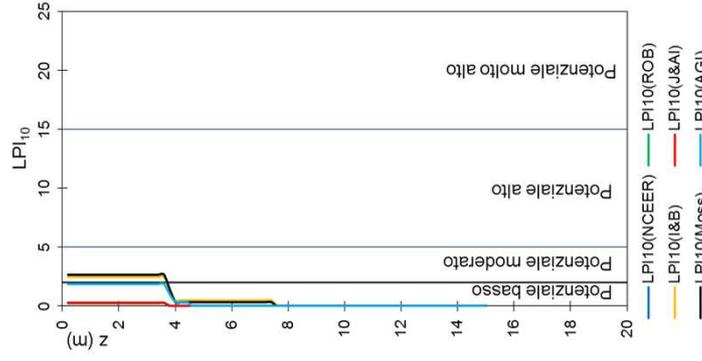
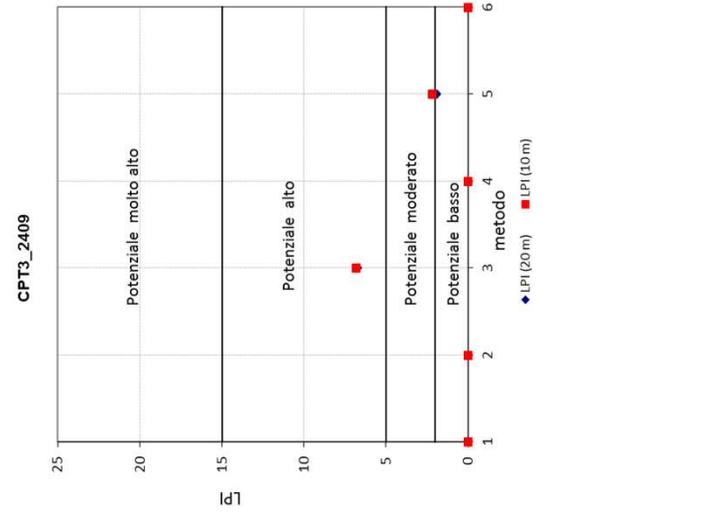
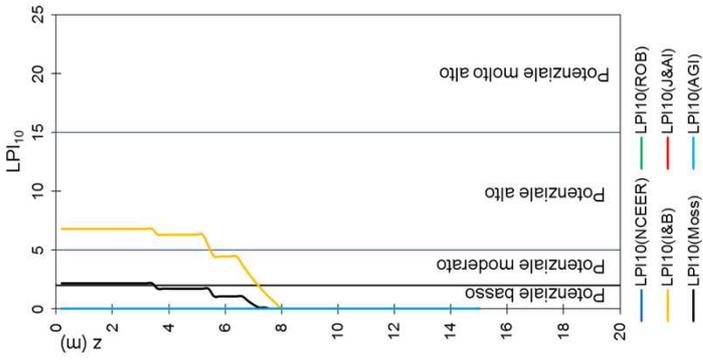
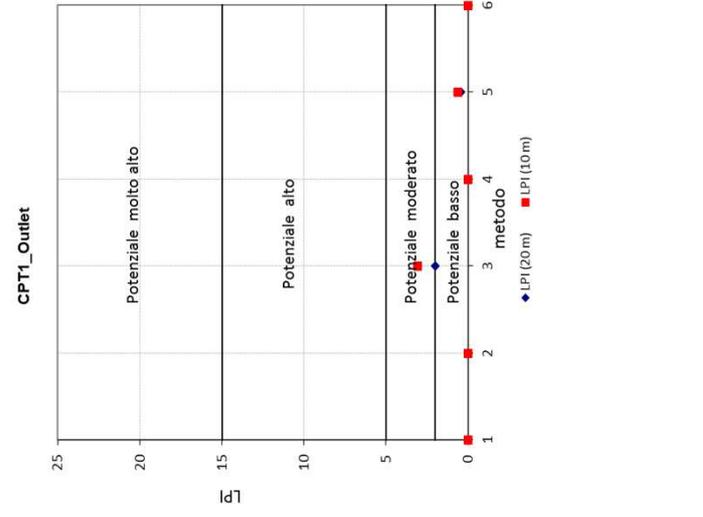
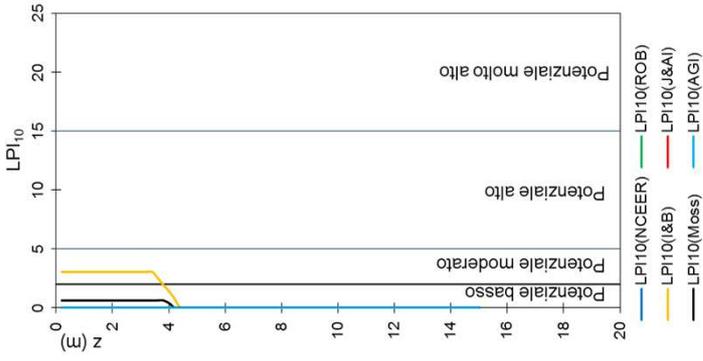












FOGLIO DI CALCOLO PER LA VALUTAZIONE DELLA QUALITA' DELLA CARTA DEL LIVELLO DI MICROZONAZIONE SISMICA SULLA BASE DELLE INDAGINI PREGRESSE E/O NUOVE

a	Parametro	4
---	-----------	---

Inserire il valore solo nelle celle colorate in viola

b	Carta Geologico tecnica	1	Anno Rilevamento	Progetto	Scala
	<i>Punteggi indicatori</i>		1	1	1
	<i>Pesi indicatori</i>		0.33	0.33	0.33
c	Sondaggi a distruzione	0.5	Numero sondaggi	% celle occupate	Num. Sondaggi bedrock
	<i>Punteggi indicatori</i>		0	0	0
	<i>Pesi indicatori</i>		0.33	0.33	0.33
d	Sondaggi a carotaggio continuo	1	Numero sondaggi	% celle occupate	Num. Sondaggi bedrock
	<i>Punteggi indicatori</i>		1	0.33	1
	<i>Pesi indicatori</i>		0.33	0.33	0.33
e	Indagini geofisiche	0.5	Numero misure	% celle occupate	% indagini al bedrock
	<i>Punteggi indicatori</i>		1	0.33	1
	<i>Pesi indicatori</i>		0.33	0.33	0.33
f	Prove geotecniche	0.25	Numero prove	% celle occupate	% prove al bedrock
	<i>Punteggi indicatori</i>		1	0.33	0.33
	<i>Pesi indicatori</i>		0.33	0.33	0.33
g	Misure Frequenze	0.75	Numero misure	% celle occupate	Classe di affidabilità
	<i>Punteggi indicatori</i>		1	0.33	1
	<i>Pesi indicatori</i>		0.33	0.33	0.33

Tabella 1 – Quadro riassuntivo dei parametri e dei relativi indicatori con l'attribuzione dei pesi e dei punteggi

Parametro (peso parametro)	Peso Indicatore	Indicatore	Valutazione indicatore (punteggio)			
			Nulla (0)	Bassa (0.33)	Media (0.66)	Alta (1)
Carta geologico-tecnica (1)	0.33	Anno rilevamento	No data	< 2000	Allegato piano urbanistico	> 2000
	0.33	Progetto	No data	Altro		Ad hoc
	0.33	Scala rilevamento	No data	50.000-26.000	25.000-11.000	10.000-2.000
Sondaggi a distruzione (0.50)	0.33	Numero di sondaggi a distruzione	No data	1-5	6-10	>10
	0.33	Percentuale di celle occupate da sondaggi a distruzione	No data	1-33%	34-66%	>66%
	0.33	Numero sondaggi che arrivano al substrato rigido	No data	1-5	6-10	>10
Sondaggi a carotaggio continuo (1)	0.33	Numero di sondaggi a carotaggio	No data	1-5	6-10	>10
	0.33	Percentuale di celle occupate da sondaggi a carotaggio	No data	1-33%	34-66%	>66%
	0.33	Numero sondaggi che arrivano al substrato rigido	No data	1-5	6-10	>10
Indagini geofisiche (0.50)	0.33	Numero di misure	No data	1-5	6-10	>10
	0.33	Percentuale di celle occupate da indagini	No data	1-33%	34-66%	>66%
	0.33	Percentuale indagini che arrivano al substrato rigido	No data	1-33%	34-66%	>66%
Prove geotecniche in situ (Prove Penetrometriche, ecc.) e di laboratorio (0.25)	0.33	Numero di prove	No data	1-5	6-10	>10
	0.33	Percentuale di celle occupate da prove	No data	1-33%	34-66%	>66%
	0.33	Percentuale prove che arrivano al substrato rigido	No data	1-33%	34-66%	>66%
Misure delle frequenze del sito (0.75)	0.33	Numero di misure	No data	1-5	6-10	>10
	0.33	Percentuale di celle occupate da misure	No data	1-33%	34-66%	>66%
	0.33	Classe di affidabilità misure (Albarelli et alii)*	No data	Classe A < 33%	Classe A 34-66%	Classe A >66%

* D. Albarello, C. Cesì, V. Enilili, F. Guerrini, E. Lunedi, E. Paolucci, D. Pileggi, L.M. Puzilli - Il contributo della sismica passiva nella microzonazione di due macroaree abruzzesi. In stampa su Boll. Geofis. Teor. Appl.

a	25	punteggi parziali
b	0.99	24.8
c	0.00	0.0
d	0.77	19.2
e	0.38	9.6
f	0.14	3.4
g	0.58	14.4
Tot	71.4	71.4 classe B

CLASSE	VALORI	INDICAZIONI
A	≥ 75%	Carta di livello 1 di ottima qualità
B	50%-74%	Sarebbero auspicabili migliorare almeno uno dei parametri
C	25%-49%	Sarebbero auspicabili ulteriori indagini che mancano o che sono valutate di scarsa qualità
D	≤ 25%	Carta di livello 1 di scarsa qualità: non risponde ai requisiti minimi richiesti da ICMS08 e Linee Guida Regione Toscana

REGIONE
TOSCANA

