



Comune:

COMUNE DI MARANELLO (MO)

Oggetto:

ANALISI DI RISPOSTA SISMICA LOCALE

***Relazione Geologica per gli Ambiti inseriti
nel primo P.O.C.***

Stesura:

dicembre 2008

Elaborazione:

**Dott. geol. Giovanni Viel
Dott. geol. Samuel Sangiorgi
Dott. geol. Venusia Ferrari**

Committente:

Comune di Maranello



INDICE

1. RIFERIMENTO NORMATIVO	pag	2
1.1 PERICOLOSITÀ SISMICA		2
1.2 LE ANALISI SEMPLIFICATE (D.M.14/01/08 E DELIB.REG. N.112/07)		3
2. METODO DI LAVORO E PRIMI RISULTATI		7
2.1 INDAGINI DI REPERTORIO		8
2.2 INDAGINI GEOGNOSTICHE E GEOFISICHE ESEGUITE		9
2.3 MODELLO GEOLOGICO DI SOTTOSUOLO		26
3. MODELLAZIONE SISMICA		30
4. MODELLAZIONE MONODIMENSIONALE DI RISPOSTA SISMICA		33
4.1 MODELLO PIANURA		35
4.2 MODELLO PEDECOLLINA		41
4.3 MODELLO COLLINA		45
5. CARATTERIZZAZIONE DEGLI AMBITI DI P.O.C.		49
5.1 AMBITI DELLA COLLINA		52
5.2 AMBITI DELLA PIANURA		57
5.3 AMBITI DEL PEDECOLLINA		62
ALLEGATI		65

1 - RIFERIMENTO NORMATIVO

1.1 - PERICOLOSITÀ SISMICA

Il panorama legislativo in materia sismica, è stato profondamente trasformato dalle recenti normative nazionali (Ordinanza PCM. n. 3274/2003, D.M. 159/2005, Ordinanza PCM. n. 3519/2006, infine dalle recentissime nuove Norme Tecniche per le costruzioni con D.M. del 14/01/2008), attualmente ancora in regime di applicazione transitorio. Le principali novità introdotte da queste nuove leggi, sono state riassunte e descritte nella relazione <<Studio della Pericolosità sismica del territorio>> (S. Cavallini e M. Santi Bortolotti, giugno 2008), allegata al quadro conoscitivo del P.S.C. di Maranello. Si rimanda quindi al lavoro citato per un preliminare approfondimento.

Alla legislazione nazionale si aggiunge il lavoro, finora pubblicato in edizione provvisoria, dell'Associazione Geotecnica Italiana, <<aspetti geotecnici della progettazione in zona sismica: linee guida>> del 2005.

In questo contesto nazionale così dinamico ma anche molto incerto, la Regione Emilia-Romagna, ha elaborato ed approvato (con Delibera Regionale n. 112 del maggio 2007) gli << Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica>>, in coerenza con la L.R. n.20/2000 <<Disciplina generale sulla tutela e l'uso del territorio">>.

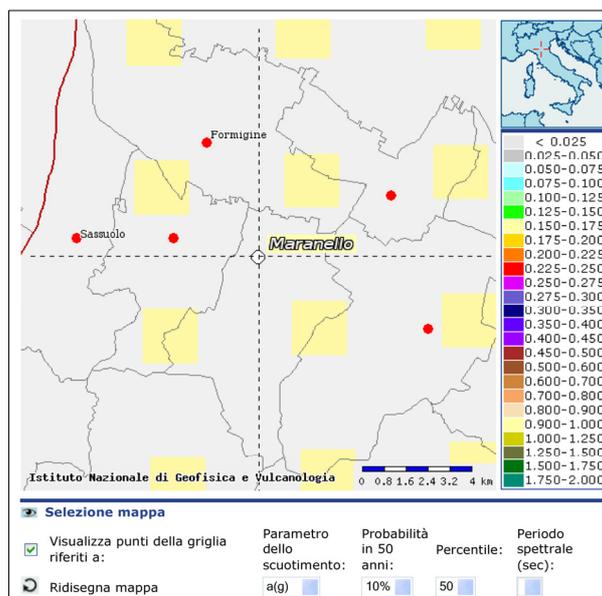
Gli Indirizzi, sono stati elaborati sulla scorta degli esiti delle indagini sismiche che la Regione Emilia-Romagna ha effettuato nel territorio regionale. In questo senso, la delibera fornisce tabelle e formule propedeutiche alla valutazione preliminare dell'amplificazione locale, dati che tengono conto delle caratteristiche sismiche riscontrate nel contesto regionale.

Il documento, fornisce anche i dati fondamentali per le valutazioni più accurate, della risposta sismica: lo spettro di risposta normalizzato (per T.R. = 475 anni e smorzamento del 5%) per l'Emilia-Romagna, i valori di agref di ogni Comune, ed i segnali di riferimento (accelerogrammi), anch'essi già scalati per ogni singolo Comune.

1.2 LE ANALISI SEMPLIFICATE ((D.M.14/01/08 E DELIB.REG. N.112/07)

Il D.M. 14/01/2008 ha introdotto un nuovo approccio di verifica dell'azione sismica nella progettazione basato su precisi criteri prestazionali delle opere da progettare, e valutata mediante una analisi della risposta sismica locale. In assenza di queste analisi, la stima preliminare dell'azione sismica può essere effettuata sulla scorta delle ormai note “categorie di sottosuolo” e della definizione di una <<pericolosità di base>> fondata su un reticolo di punti di riferimento, costruito per l'intero territorio nazionale (figura 1.1).

Figura 1.1 – Pericolosità sismica relativa al territorio di Maranello ed appoggiata al reticolo di riferimento locale (dal sito www.esselgis.mi.ingv.i)



Ai punti del reticolo vengono attribuiti, per nove differenti periodi di ritorno del terremoto atteso, i valori di a_g e dei principali “parametri spettrali” riferiti all’accelerazione orizzontale, da utilizzare per il calcolo dell’azione sismica (fattore di amplificazione massima F_0 e periodo di inizio del tratto a velocità costante T^*c). Il reticolo di riferimento ed i dati di pericolosità sismica sono forniti dall’INGV e pubblicati nel sito <http://essel.mi.ingv.it/>.

Ciò detto, sono stati valutati speditamente con il software “NTCSI-SMA” i parametri a_g , F_0 , T^*c da adottare nelle verifiche di progetto dell’azione sismica, riferiti a congrui casi esemplificativi di costruzioni di classe d’uso I, II e III, relativi ai rispettivi stati limite da considerare.

Il software consente l'aggancio automatico delle coordinate inserite ai punti del reticolo più vicini (vedi figura 1.1). Le variabili utilizzate per la valutazione della <<pericolosità di base>> sono:

- Classe d'uso delle costruzioni, suddivisa a sua volta in : I<< costruzioni con presenza solo occasionale di persone>>; II << costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali>>; III << costruzioni il cui uso prevede affollamenti significativi - industrie con attività pericolose per l'ambiente>>; ognuna delle classi sopraindicate è caratterizzata da un coefficiente d'uso C_U ;
- Vita nominale V_N variabile e congrua a seconda della classe d'uso dell'opera; nel nostro caso si sono considerati i seguenti periodi: esempio classe I $\rightarrow V_N = 10$ anni; esempi classe II $\rightarrow V_N = 50$ e 100 anni; esempio classe III $\rightarrow V_N = 100$ e 200 anni;
- Periodo di riferimento V_R , parametro direttamente proporzionale alla vita nominale come indicato nella formula sottostante:

$$V_R = V_N * C_U$$

- Stati limite del manufatto, riferiti alle prestazioni della costruzione nel suo complesso (strutturale, non strutturale, impiantistica) nei confronti dell'azione sismica. Gli stati limite sono suddivisi in <<stati limite di esercizio>> SLO – SLD e <<stati limite ultimi>> SLV – SLC;
- Parametri che definiscono le forme spettrali: a_g – accelerazione orizzontale massima al sito; F_0 – valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale e T^*_c – periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

I parametri sopra descritti consentono la definizione degli spettri di risposta di progetto relativi ad ognuno degli stati limite di legge. I parametri relativi alla costruzione di classe II con $V_N/V_R = 50$ anni vengono generalmente assunti per le verifiche di riferimento relative alle costruzioni ordinarie. In questo senso, come ulteriore esempio, si sono costruiti gli spettri elastici della componente orizzontale riferiti allo stato limite di progetto SLV1 per una costruzione di classe II con V_N e $V_R = 50$ anni, condizioni che consentono anche una equiparazione della A_g massima al suolo e del tempo di ritorno (T.R.) per la definizione dell'azione sismica di progetto con il T.R. degli input sismici di riferimento assunti anche dalla Regione Emilia-Romagna: rispettivamente 0,163g e 475 anni. Gli spettri di legge sono stati calcolati per le categorie di sottosuolo rispettivamente “B” e “C”, rappresentative del territorio studiato, infine sono stati graficamente sovrapposti, per confronto, agli spettri elastici

¹ SLV (Stato Limite di salvaguardia della Vita): <<a seguito del terremoto la costruzione subisce danni non strutturali ed impiantistici ma conserva ancora resistenza e rigidità per azioni verticali ed un margine

ricavati dalle nostre elaborazioni di risposta sismica locale effettuate con SHAKE 2000.

La tabella 1.1 riassume gli esiti relativi agli scenari di progetto sopra considerati.

Per quanto riguarda la Delibera regionale, essa propone la definizione delle amplificazioni locali sulla base delle tabelle allegate in appendice al documento e riferite a grandi situazioni morfologico-stratigrafiche (“secondo livello” di analisi). I valori medi delle velocità delle onde di taglio nei primi 30 metri – Vs30 (per gli ambiti di pianura e pedecollina), oppure le velocità medie delle coperture – VsH (per la collina) sono stati calcolati tramite le prove geognostiche e geofisiche eseguite e di repertorio. Le Vs sono state implementate nelle tabelle regionali per la stima delle amplificazioni assumendo i valori relativi ai contesti <Appennino e Margine> (con Vs substrato <800 m/s) e <Pianura 1> ottenendo i relativi coefficiente di amplificazione F.A.

Le variabili, ricavabili dalle tabelle, utilizzate per la stima dell’amplificazione locale sono:

- F.A. P.G.A. → rapporto tra la massima ampiezza dell’accelerazione su affioramento rigido ($a_{max,r}$) e la massima ampiezza dell’accelerazione alla superficie del deposito ($a_{max,s}$) alla frequenza f . Il fattore di amplificazione dipende dalla frequenza di eccitazione armonica, dal fattore di smorzamento D e dal rapporto tra l’impedenza sismica, prodotto tra densità-velocità, della roccia base e quella del deposito.
- F.A. S.I. - Intensità spettrale di Housner → indicatore della pericolosità sismica, è definito come l’area sottesa dello spettro di risposta di pseudovelocità, nel nostro caso per i due intervalli di frequenze, rispettivamente da $0.1 < T_0 < 0.5$ s e da $0.5 < T_0 < 1$ s.

La tabella 1.2 riassume i risultati di amplificazione ottenuti per gli ambiti studiati, come da Delibera regionale.

di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali>>.

Classe d'uso	Vita nominale V_N	Periodo di riferimento V_R	Tempo di ritorno T_R	Stato limite	a_g	F_0	T_c
I	10	35	30	SLO	0.053	2.487	0.253
			35	SLD	0.065	2.494	0.266
			332	SLV	0.163	2.391	0.290
			682	SLC	0.205	2.401	0.303
II	50	50	30	SLO	0.053	2.487	0.253
			50	SLD	0.065	2.494	0.266
			475	SLV	0.163	2.391	0.290
			975	SLC	0.205	2.401	0.303
	100	100	60	SLO	0.070	2.487	0.269
			101	SLD	0.088	2.468	0.277
			949	SLV	0.203	2.401	0.303
			1950	SLC	0.249	2.449	0.314
III	100	150	90	SLO	0.229	2.419	0.309
			151	SLD	0.079	2.469	0.279
			1424	SLV	0.229	2.419	0.309
			2475	SLC	0.269	2.459	0.319
	200	300	181	SLO	0.113	2.430	0.280
			302	SLD	0.138	2.407	0.286
			2475	SLV	0.267	2.466	0.318
			2475	SLC	0.267	2.466	0.318

Tabella 1.1 – Tabella dei parametri di progetto che definiscono l'azione sismica per alcuni scenari di progetto considerati (D.M. 14/01/2008)

V_s (m/s)	Contesto morfologico	F.A.PGA	Intensità spettrale S.I.	F.A. S.I
$300 < V_{SH(H=15\text{ m})} < 360$	Pianura	1.8	$0.1\text{ s} < T_o < 0.5\text{ s}$	1,7
	Pedecollina		$0.5\text{ s} < T_o < 1.0\text{ s}$	1,4
$V_{S30} > 360$	Pianura	1.6	$0.1\text{ s} < T_o < 0.5\text{ s}$	1.7
			$0.5\text{ s} < T_o < 1.0\text{ s}$	1.9
$300 < V_{SH(H=5\text{ m})} < 360$	Collina	1.4	$0.1\text{ s} < T_o < 0.5\text{ s}$	1.4
			$0.5\text{ s} < T_o < 1.0\text{ s}$	1.4

Tabella 1.2 – Tabella riassuntiva dei fattori di amplificazione (Delibera RER n.112/2007) e-estrapolabili per gli ambiti di studio

2 –METODO DI LAVORO E PRIMI RISULTATI

La conoscenza delle proprietà fisiche fondamentali del sottosuolo permette di adeguare le strutture delle opere d'ingegneria alle condizioni locali, offrendo garanzie di sicurezza appropriate alla tipologia dell'opera. Nell'attuale fase di POC, ancora ignoti i parametri progettuali fondamentali, è importante determinare il "quadro di edificabilità" in termini geomeccanici e sismici locali, così da offrire la possibilità di confronto tra i trentuno diversi ambiti indicati e di valutazione anche economica alle scelte progettuali.

L'approccio metodologico che si è scelto, anche in funzione delle particolari caratteristiche geologiche dell'ampio pedecollina del territorio comunale di Maranello, è fondato sull'impiego concentrato delle risorse messe a disposizione per effettuare alcune prove di buona qualità e ben estrapolabili, anziché disperderle in tanti punti di controllo solo parziali.

Questo approccio è stato possibile anche grazie alla possibilità di utilizzare due ricchi archivi di stratigrafie e prove geognostiche di repertorio, uno del Comune di Maranello, e l'altro regionale (Banca Dati del Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna). Ovviamente tra le prove d'archivio non si sono considerate quelle eseguite con attrezzature fuori degli standard consolidati, o quelle che non hanno superato i 10 metri di profondità.

L'applicazione efficiente di questo metodo richiede una conoscenza del sottosuolo per una profondità tale da garantire la definizione dei parametri di edificabilità richiesti dalla legislazione per ognuno degli ambiti. L'interpretazione della carta geologica ed un'accurata ricostruzione di sottosuolo ottenuta tramite le stratigrafie e la geognostica già nota consentono di collocare le nuove prove geognostiche in posizioni tali da consentire una ragionevole sicurezza nell'estrapolazione dei parametri ottenuti.

Nei paragrafi seguenti sono discusse le basi dati e la loro interpretazione per giungere al modello di sottosuolo utilizzato per l'alta pianura

ed il pedecollina. Per la montagna si è invece utilizzata direttamente la cartografia geologica della regione.

2.1 - INDAGINI DI REPERTORIO

Il sottosuolo del territorio comunale è stato indagato per svariati scopi (ricerche d'acqua, caratterizzazione geotecnica, sismica, eccetera) nei decenni precedenti. Tutto questo materiale conoscitivo è stato raccolto ed archiviato dal Comune di Maranello, e dalla Regione Emilia-Romagna. Alcune delle prove di repertorio sono state eseguite con attrezzature fuori standard (fornendo quindi esiti inutilizzabili o non interpretabili), altre sono troppo superficiali per poter essere pienamente usate per gli scopi del presente lavoro. Le prove utilizzate in questo lavoro sono riconoscibili con sigla identificativa:

- a) per la stratigrafia, quelli tratti delle perforazioni dei pozzi per acqua e dai sondaggi, 41 dall'archivio regionale, 13 dall'archivio comunale (identificativo SS ed SC). La tabella 2.1 riporta le stratigrafie utilizzate nei singoli ambiti;
- b) per la stratigrafia e la geomeccanica, sono state considerate 20 CPT con punta meccanica e strumentata, tratte dall'archivio comunale (identificativo: CCPT). La tabella 2.1 indica le prove utilizzate per i singoli ambiti di POC;
- c) per la geomeccanica ed anche per la stratigrafia 18 penetrometrie dinamiche (DPH, DPSH) tutte tratte dall'archivio comunale (identificativo: DIN). La tabella 2.1 identifica le prove utilizzate per i singoli ambiti di POC;
- d) per la determinazione indiretta della stratigrafia e delle velocità delle onde di taglio (V_s), 7 MASW o REMI (identificativo: MASW), e 1 sismica a rifrazione, 3 profili sismici con risoluzione stratigrafica (V_p), in tutto n 11 prove. In particolare:
 - MASW1 (Geo-Group, 2007; via Cavedoni) classifica il suolo in categoria “B” con $V_s > 800$ m/s oltre i 14 metri di profondità;

- MASW2 (Geo-Group, 2005; Pozza) classifica il suolo in classe “B”, con $V_s > 800$ m/s oltre i 22 metri di profondità;
- MASW3 (citata in: Cavallini e Bortolotti, 2008; S. Venanzio) classifica il suolo in categoria “C”, con $V_s \geq 350$ m/s oltre i 7 metri di profondità;
- MASW4 (citata in: Cavallini e Bortolotti, 2008; La Svolta) classifica il suolo in categoria “C”, con V_s di poco superiori a 300 m/s attorno a 30 m di profondità;
- MASW5 (citata in: Cavallini e Bortolotti, 2008; Lucchina) classifica il suolo una in categoria “C”, con V_s medie prossime al limite di categoria (341 m/s), e sotto i 14 metri maggiori di 400 m/s;
- MASW6 (citata in: Cavallini e Bortolotti, 2008; Lucchina) classifica il suolo una in categoria “B”, con V_s medie di 399 m/s, e sotto i 14 metri maggiore di 500 m/s.

L'insieme delle conoscenze di sottosuolo di repertorio è stata utilizzata sia per orientare il programma e la localizzazione delle nuove indagini da effettuare, sia per stabilire la tipologia delle prove da realizzare. Infine l'archivio delle prove è stato utilissimo nell'elaborazione dei modelli sismici e, soprattutto, nella loro estrapolazione territoriale. Importante sottolineare che la distribuzione areale delle nuove prove eseguite segue le necessità imposte dalla distribuzione geografica degli ambiti di POC più importanti, e dalla profondità e qualità del supposto "bedrock sismico".

Le figure 2.1a, 2.1b, 2.1c, 2.1d riportano la localizzazione di tutte le prove: quelle eseguite per questo lavoro, e quelle di repertorio, distinte da diversi colori, i codici alfanumerici consentono di identificare le prove effettivamente utilizzate per l'analisi.

2.2 INDAGINI GEOGNOSTICHE E GEOFISICHE ESEGUITE

La distribuzione degli ambiti di POC che vede la loro quasi totalità concentrarsi nell'alta pianura ha imposto di concentrare le attività di caratterizzazione geomeccanica e sismica nel quaternario alluvionale.

PIANURA	
<i>AMBITI</i>	<i>PROVE DI REPERTORIO UTILI</i>
ES – Complesso Ca' Colombaro	Strat. regionali (edificato)
APS.i(p) – SIMA nord APS – Maranello nord	DIN17, DIN18, SS5, SS31, SS35
AR.1a - Bella Italia	SS28, SS31, SS35, DIN17, DIN18
AR.3c – Bella Italia	SS1, SS28, SS31, DIN17, DIN18
APC.t – Maranello	SC1, SC3, SC4, SC5, CCPT3, CCPT4, DIN14, SS11, SS22, SS24, SS44, MASW2
AR.1b – Crociale	SS1, SS7, SS8, SS9, SS21, SS42
AR.2d – Sima	SS7, SS34, SS41, SS42, DIN1, DIN2 (edificato)
AN.1d – Maranello est	RIF1, CCPT14, CCPT15, DIN1, DIN2, SS4, SS14, SS32, SS43
ECO-U – Pozza	SS6, SS18, SS30, SS36, SS37, SS38, CCPT4
AN.If – Pozza	SS13, SS30, SS38
AN.1e – Pozza	SS13, SS16, SS18, SS36
ES – Casa Berri/ Ca' Frullo	SS15, SS17, SS39 (edificato)
PEDECOLLINA	
<i>AMBITI</i>	<i>PROVE DI REPERTORIO UTILI</i>
AR.3f – Gorzano	SS17, SS33
AN.1i – Gorzano	SS19, SS20, SS23, DIN7, DIN9, DIN 11
APA – Ca' Galassi	SS17, SS33 (edificato)
APA – Complesso Il Casone	SS27 (edificato)
ARP – Complesso Via Rondine	SS27 (edificato)
AR.1c – Torre Oche	SS2, SS29
COLLINA	
<i>AMBITI</i>	<i>PROVE DI REPERTORIO UTILI</i>
AR.2h – Fogliano Ac.c – Fogliano	DIN10
AC.c – San Venanzio	SS3, MASW3
ES – Complesso il Poggio	DIN16

Tabella 2.1 – Principale geognostica utilizzata per la caratterizzazione degli ambiti

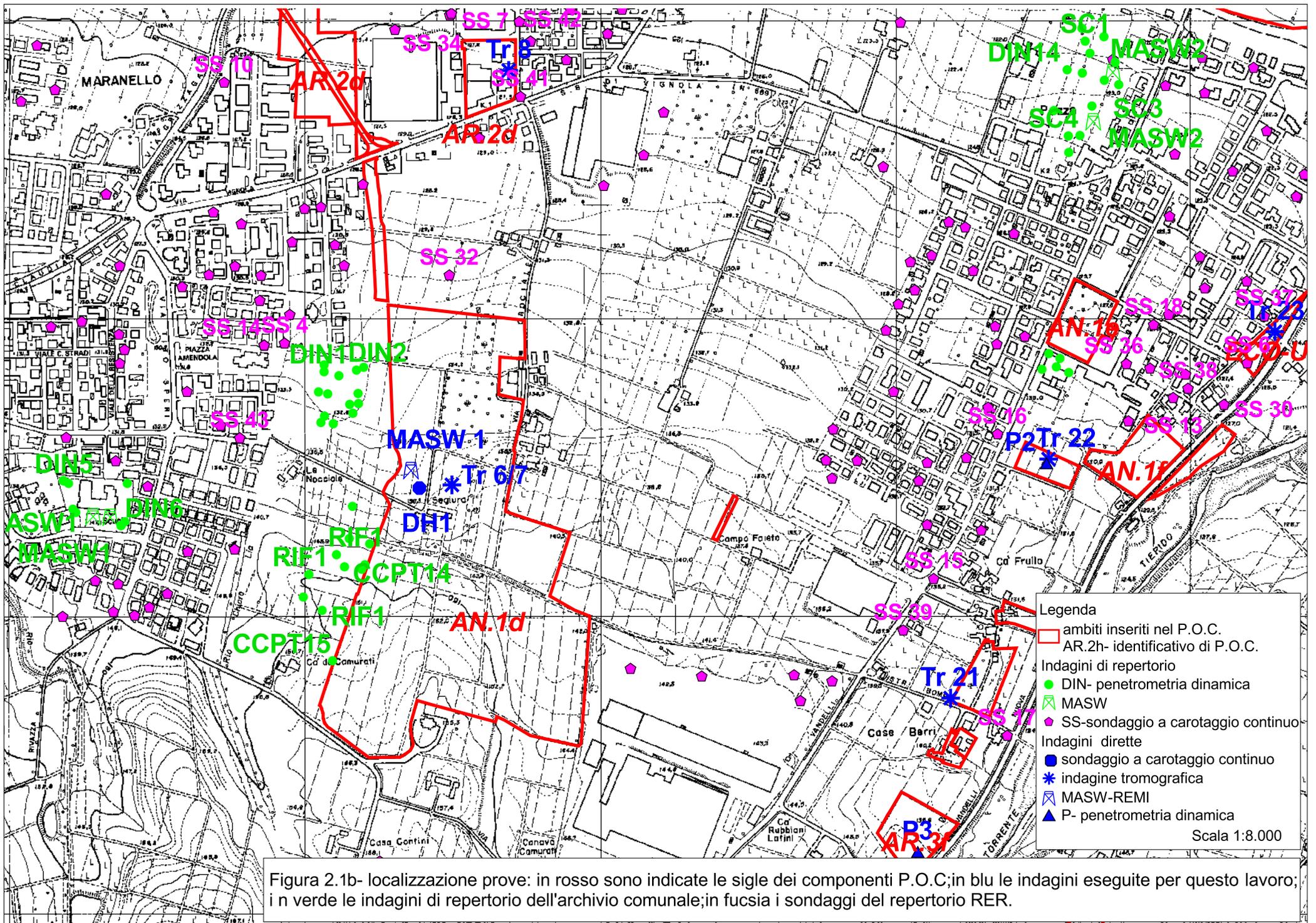
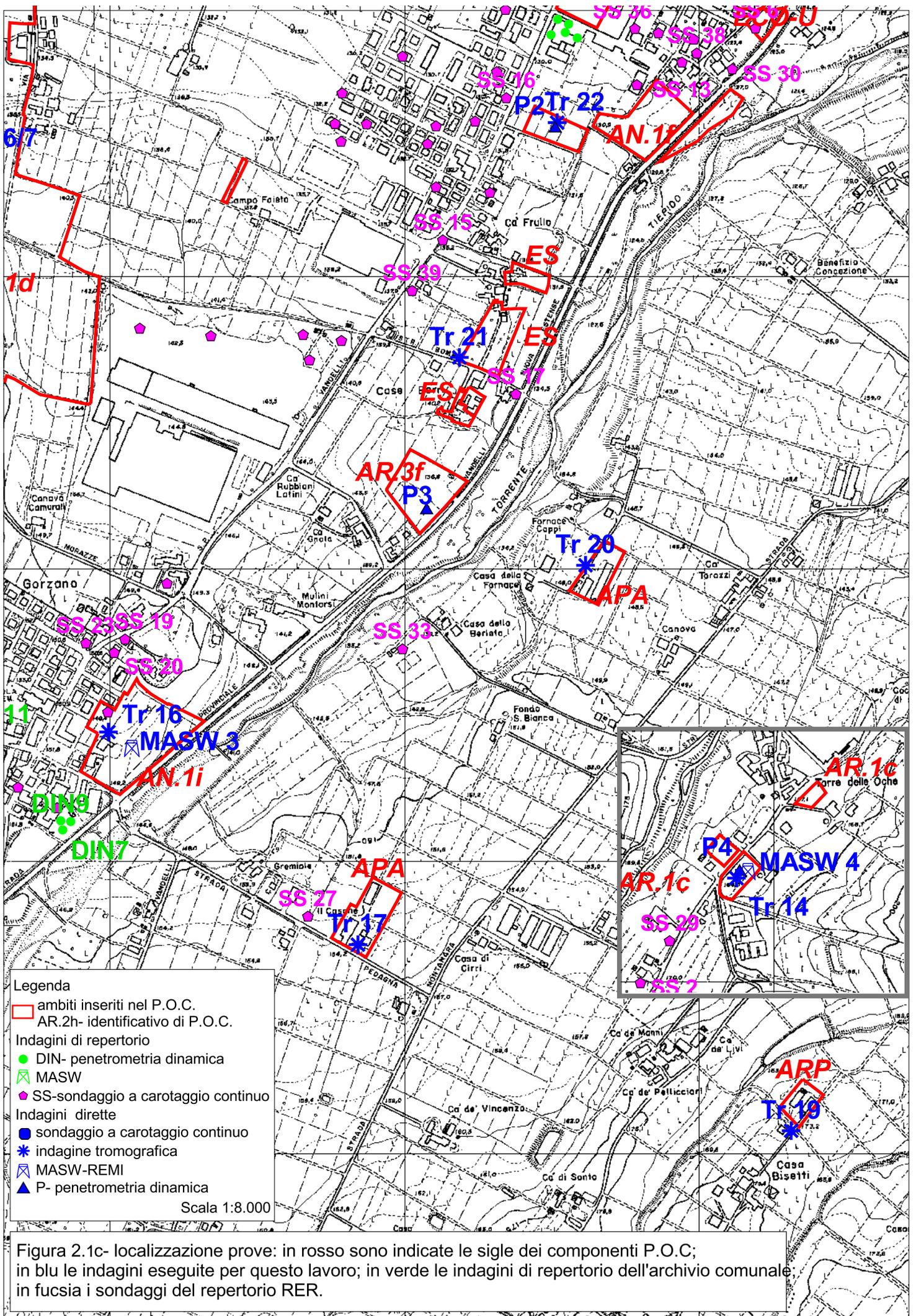


Figura 2.1b- localizzazione prove: in rosso sono indicate le sigle dei componenti P.O.C.; in blu le indagini eseguite per questo lavoro; in verde le indagini di repertorio dell'archivio comunale; in fucsia i sondaggi del repertorio RER.



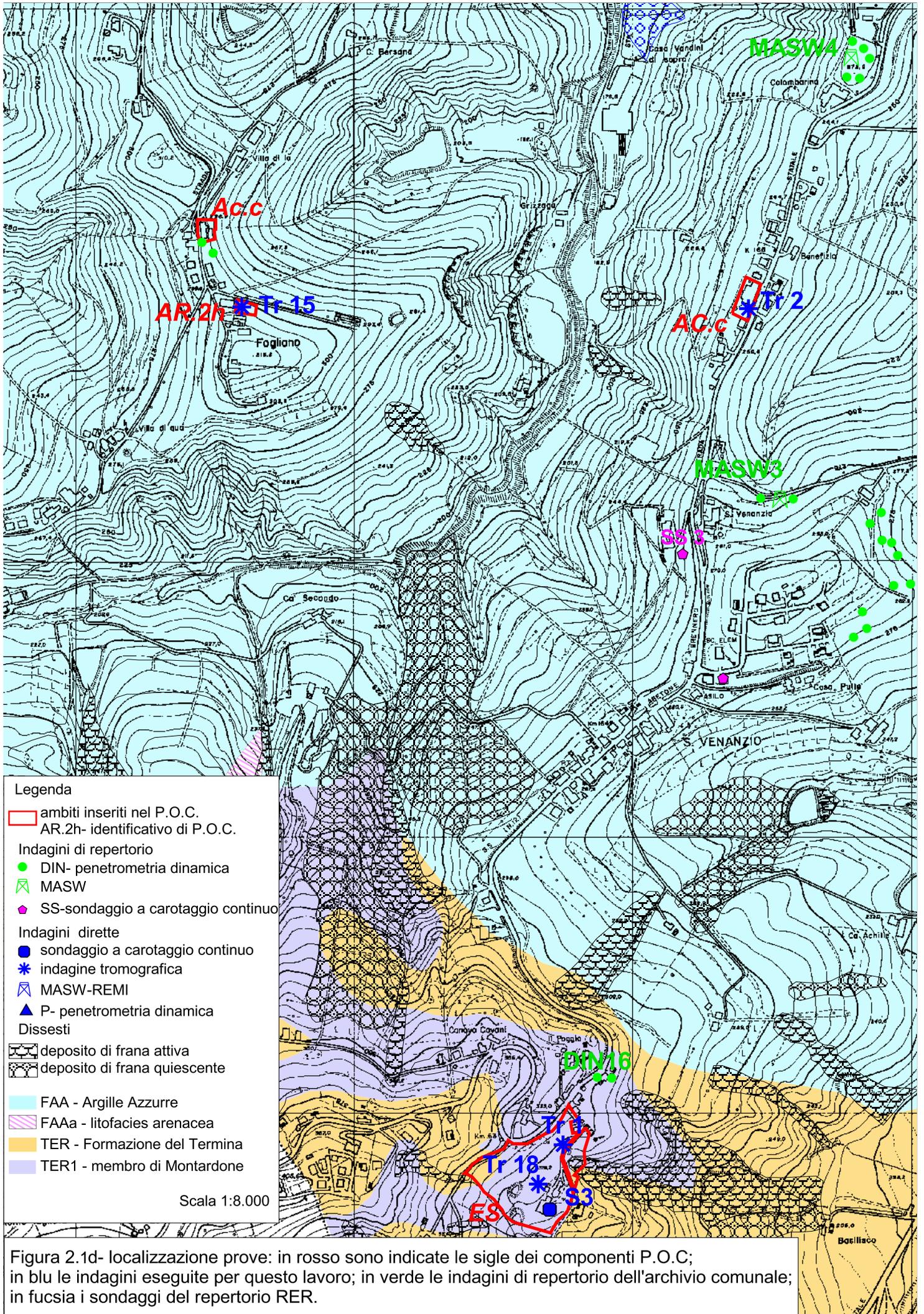


Figura 2.1d- localizzazione prove: in rosso sono indicate le sigle dei componenti P.O.C.; in blu le indagini eseguite per questo lavoro; in verde le indagini di repertorio dell'archivio comunale; in fucsia i sondaggi del repertorio RER.

Le considerazioni geologiche riportate nel paragrafo seguente (§2.3) e la grande abbondanza di conoscenze di sottosuolo stratigrafiche, geomeccaniche, e geofisiche presenti nella pianura di Maranello ci hanno guidato nella scelta della tipologia e localizzazione delle indagini specifiche da effettuare. La presenza quasi continua di ghiaie nei primi metri di sottosuolo ha costretto ad escludere l'impiego del penetrometro statico, e ad utilizzare sondaggi a rotazione e a percussione, penetrometro dinamico "Meardi" e l'analisi geofisica indiretta. Le prove effettuate e le caratteristiche degli strumenti utilizzati sono:

1) *Penetrometrie dinamiche super pesanti, DPSH-MEARDI* →. Lo strumento è caratterizzato da maglio di 73 kg, volata 0,75 m, punta conica con diametro di 51mm ed angolo apertura di 60°. Nell'esecuzione delle prove si è proseguito fin tanto che la penetrazione avveniva senza o con modesto attrito laterale (possibilità di ruotare l'asta con le mani) considerando il numero di colpi necessari per il rifiuto superiore a 100. La trasformazione dei risultati della prova dinamica in velocità delle onde S è stata effettuata con tre metodi di trasformazione N_{spt} , consolidati dall'esperienza: $91 \cdot (N_{spt})^{0,377}$ (IMAI, 1977); $54,33 \cdot (N_{spt})^{0,173} \cdot \alpha \cdot \beta \cdot (Z/0,303)^{0,193}$ (Ohta & Goto, 1978). Naturalmente prima della trasformazione si sono normalizzati i valori ottenuti dal Meardi in N_{spt} tramite il rapporto $N_{spt}/N_{meardi} = 0,57$. Sono state effettuate 4 penetrometrie:

- DPSH-Meardi 1 nell'ambito <AR1.a – Bell'Italia> (fig. 2.2a-DPSH1 in allegato), la prova ha attraversato alluvioni oloceniche con alternanze tra strati, banchi di ghiaie amalgamate, e, tra 13 e 15 metri circa, alluvioni fini o paleosuoli; la prova è ben correlabile con il sondaggio S2. Il calcolo di trasformazione del N_{spt} ha fornito un intervallo di $245 < V_{s19} < 320$, l'estrapolazione dell'andamento in profondità fornisce $V_{s30} = 292$;
- DPSH-Meardi 2 nell'ambito <AN.1e – Pozza> (fig. 2.2b-DPSH2 in allegato), la prova ha attraversato a circa 9 metri di profondità il passaggio tra alluvioni oloceniche e antichi sedimenti del pleistocene superiore riferibile con probabilità all'Unità di Vignola o di Niviano. Il calcolo di trasformazione

del Nspt ha fornito un intervallo di variazione $267 < V_{s14} < 310$, l'estrapolazione a 30 metri degli andamenti ($V_{s30} = 367$ m/s) non è stato considerato per l'esiguità dell'intervallo di sottosuolo misurato;

- DPSH-Meardi 3 nell'ambito <AR.3f – Gorzano> (fig.2.2c-DPSH3 in allegato), la prova dopo aver superato un modesto spessore di ghiaie, con probabilità oloceniche, è entrata nel substrato sovraconsolidato marino. Dal semplice rilevamento degli affioramenti lungo il Tiepido è possibile sapere che si tratta della porzione più alta del Pliocene, qui in facies argilloso sabbiosa, di età attribuita pleistocene inferiore. La prova si è arrestata attorno ai 10 metri per forte incremento dell'attrito laterale. Non è stata effettuato il calcolo di conversione Nspt - Vs sia per l'esiguità dell'intervallo misurato, sia perchè il lungo tratto nel pliocene ha certamente risentito dell'incremento di attrito laterale;
- DPSH-Meardi 4 nell'ambito <AR.1c – Torre Oche> (fig.2.2d-, DPSH4 in allegato), la prova ha attraversato alluvioni ghiaiose oloceniche, per trovare a circa 6 metri di profondità il substrato marino sovraconsolidato (pliocene), ove si è arrestata per attrito laterale.

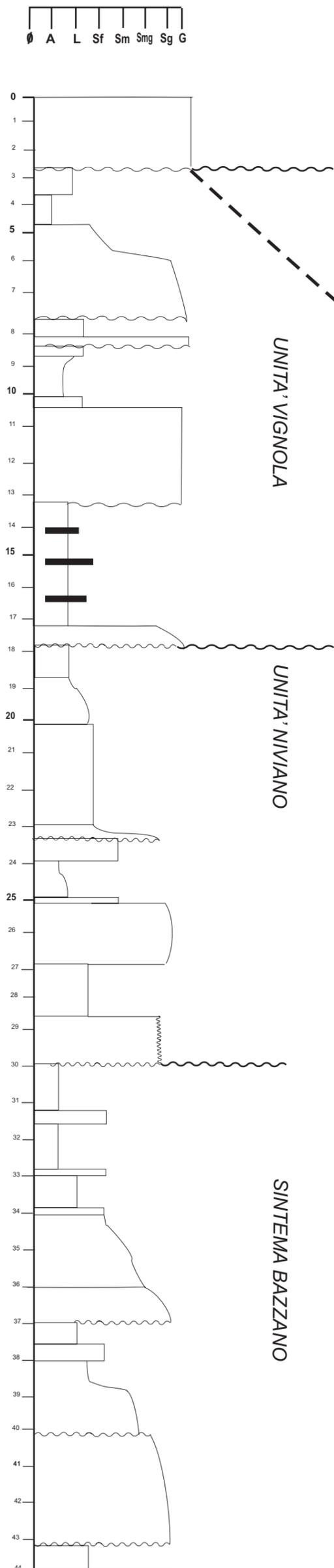
2) *Sondaggi a carotaggio continuo* → eseguiti con sonda a rotazione e circolazione d'acqua (S1), e con sonda a vibroinfissione marca “geoprobe” e l'impiego del doppio tubo, rivestimento e carotiere (dual tube) (S2, S3):

- S1, sondaggio eseguito nell'ambito <AN.1d – Maranello est> ha attraversato per 35 metri le alluvioni pleistoceniche (con probabilità qualche metro dell'unità Vignola, circa 20 metri dell'unità Niviano, e qualche metro del subsistema di Bazzano, vedi fig.2.2e). Il rilevamento della nota serie stratigrafica del T. Tiepido ha consentito di correlare il sottosuolo con l'affioramento (Fig. 2.2 e -AA). Durante l'esecuzione del sondaggio sono stati eseguite 4 misure SPT, con lo scopo di deter-

minare sia i parametri geomeccanici, sia le Vs. Di questi SPT tre sono stati realizzati entro importanti intervalli ghiaiosi ($5,5 \div 5,95$ Nspt=20,22,29; $12 \div 12,45$ Nspt=23,23,23; $34,7 \div 35,15$ Nspt=23,39,39), ed uno in un intervallo pelitico compreso tra due livelli più argillosi con diverso grado di pedogenesi ($30,40 \div 30,85$ Nspt=6,11,21). Sulle carote estratte sono stati misurati i consueti parametri meccanici: determinazione della coesione non drenata (c_u) e della resistenza alla penetrazione. Lo scissometro utilizzato è tipo “Genor” in acciaio con palette intercambiabili, tutti gli intervalli argilloso limosi analizzati sono risultati “fuori scala”, valori residui di c_u sono risultati superiori a 100 kPa. Non si sono rinvenute tessiture sabbiose continue di spessore superiore a 0,6 metri, in tutta la verticale analizzata. La conversione delle Nspt (normalizzate) in Vs ha fornito i seguenti esiti: 357 m/s; 410 m/s; 348 m/s; 558 m/s. Queste velocità possono essere estrapolate ai banchi di ghiaia amalgamati, o agli intervalli più francamente pelitici;

- S2, eseguito nell’ambito <APS.i(p)> ha attraversato 17 metri di alluvioni oloceniche, la stratigrafia attraversata dimostra la presenza continua di sedimenti ghiaiosi, la quasi totale assenza di sabbie, almeno in strati continui di potenza superiore a 0,50 m, l’alternarsi di intervalli fini, per lo più limoso – argillosi di frequente con basso grado di alterazione pedogenetica. Solamente tra i 13 ed i 16 metri si sono rinvenuti due intervalli limosi di suoli con evidenti tracce di riconcentrazione dei carbonati in livelli a concrezioni (Caliche) (fig. 2.2f in allegato);
- S3 eseguito nell’ambito <ES – Il Poggio>, la più collinare delle scelte di POC, che è stato spinto a 14 metri di profondità, fino dentro al substrato marino della Formazione del Termina (fig. 2.2f). Fino a 2,15 metri il sondaggio ha attraversato depositi argillosi e pezzame arenaceo con valori di pochet (PP) attorno a 60 kPa, e c_u di 52 kPa; da 2,15 a 3,80 paleosuolo argilloso varicolori debolmente decarbonatato, con pezzame arenaceo immerso in matrice argillosa più consistente della precedente

SUCCESSIONE TIEPIDO



SONDAGGIO S1

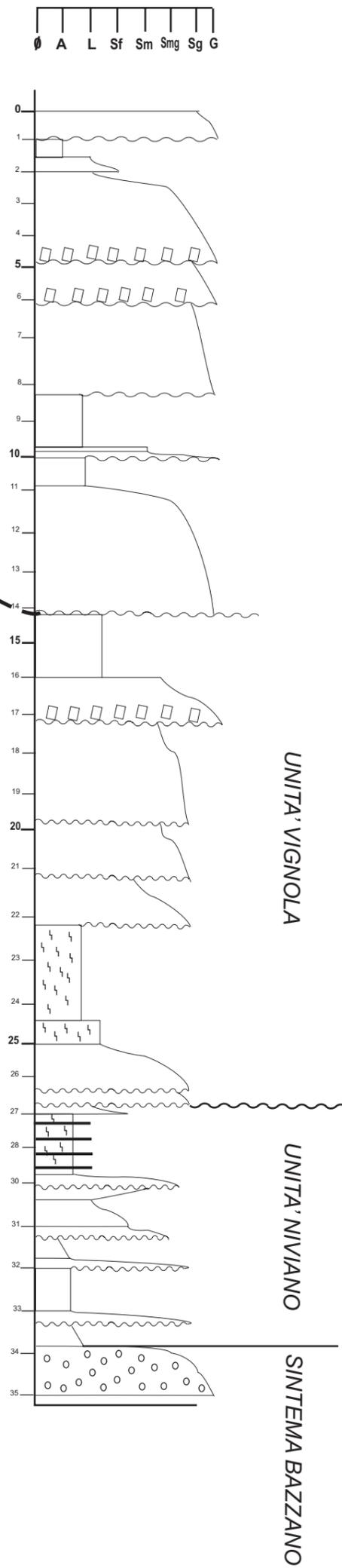


Figura 2.2e- Correlazione tra Songaggio S1 e "Serie del T. Tiepido" (Iaccarino et al., M., 1982)

(campione 1 che ha fornito $LL=34$, $LP=16$) con $PP = 300$ kPa, e c_u di 80 kPa. Da 3,80 a 8,50 la successione presenta ancora pezzame sparso in una matrice argilloso-marnosa che in profondità è sempre meno alterata, fino ad alternarsi a intervalli decimetrici di argille marnose della F. del Termina ben riconoscibili, presenza di impianti radicali ormai non più attivi a circa 5 metri dalla superficie. Tra 8,50 e 11 metri si sono rinvenute marne ed argille marnose grigie, con presenza di evidenti prismi di pressione (scaglie, tipiche delle argilliti sottoposte a stress tettonico) con meno frequenti frammenti di arenaria (impossibile definire se si tratti di straterelli spezzati dalla penetrazione della sonda o di pezzame). Tra 11 e 13,50 metri marne argillose grigie con la consueta facies scagliosa e rari frammenti arenacei (campione 2 $LL=42$; $LP=18$).

3) *Tromografie digitali* → analisi indirette fondate sul rilevamento del microtremore, con frequenza di acquisizione di 512 Hz per la pianura, 128 Hz per la montagna. La diversa frequenza di acquisizione consente di effettuare indagini geofisiche con diverso grado di dettaglio secondo la profondità: le frequenze maggiori consentono migliore dettaglio in superficie ma minore discriminazione in profondità, viceversa le frequenze basse. In tutti i casi la presenza di significative impedenze sismiche viene segnalata con l'elaborazione degli spettri HVSR, e delle tre componenti spaziali. Sono state effettuate 24 analisi in quasi tutti gli ambiti di POC (figure 2.1a, 2.1b, 2.1c), i risultati analitici sono riportati in forma grafica in appendice. L'analisi degli esiti di questa indagine, associata alle conoscenze di sottosuolo (stratigrafia e geomeccanica), ed alle misure ottenute dalle altre indagini geofisiche, ha condotto ad una suddivisione territoriale definita dalla discreta uniformità degli spettri HVSR, visibile in prima grande approssimazione nelle figure che raccolgono gli involucri delle curve H/V per tre zone:

- la pianura (figura 2.2g) dimostra come le 11 tracce H/V abbiano tutte il medesimo andamento sotto la frequenza di 10 Hz, la maggior parte delle curve mostrano la presenza di una forte im-

pedenza in una fascia di frequenze tra 27 e 20 Hz, i picchi a frequenze superiori a 30 Hz possono essere imputati a disturbi di superficie e non devono essere considerati. L'amplificazione sismica più superficiale si colloca, secondo le situazioni, tra 5 e 9 metri circa, ed è dimostrativa della presenza di un primo livello ad alta densità (ghiaie) nei primi 10 metri di tutti gli ambiti.

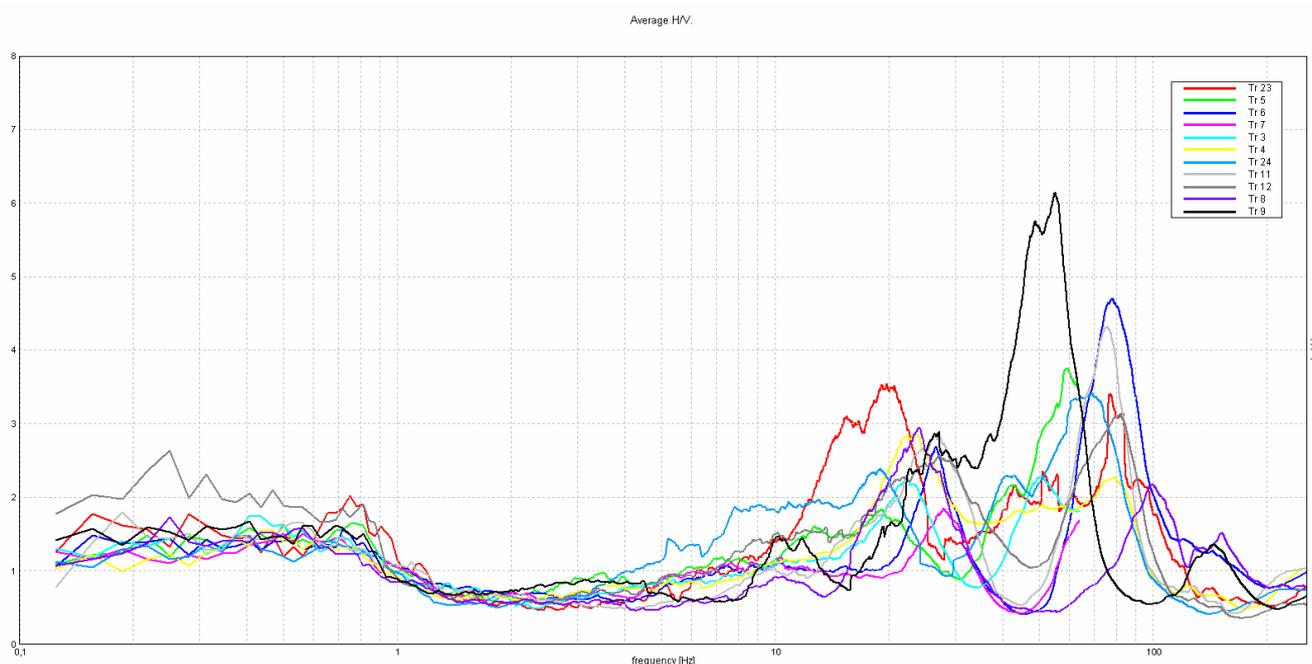


Figura 2.2g- Inviluppo delle tracce tromografiche relative alla pianura.

La raccolta di stratigrafie di repertorio confermano in tutta la pianura di Maranello la costante presenza di alluvioni con prevalenza della componente granulare grossolana. Il contrasto d'impedenza coincidente circa con la frequenza di 1 Hz, punto in cui tutte le tracce mostrano la componente verticale del moto (vedi figure in appendice) sovrastare le componenti sul piano (E-W e N-S), segno di un incremento di velocità che potrebbe essere assunto come pseudo-bedrock;

- nel pedecollina (figura 2.2h) sono state raccolte 6 tracce di prove tromografiche che mostra picchi di amplificazione in corrispondenza di frequenze molto alte a testimonianza della superficialità dei depositi ghiaiosi, mentre il substrato è dato dal Plio-

cene, sabbioso e limoso al tetto, sempre più argilloso in profondità. Anche in questo caso le tracce sono piuttosto simili nel loro svolgimento.

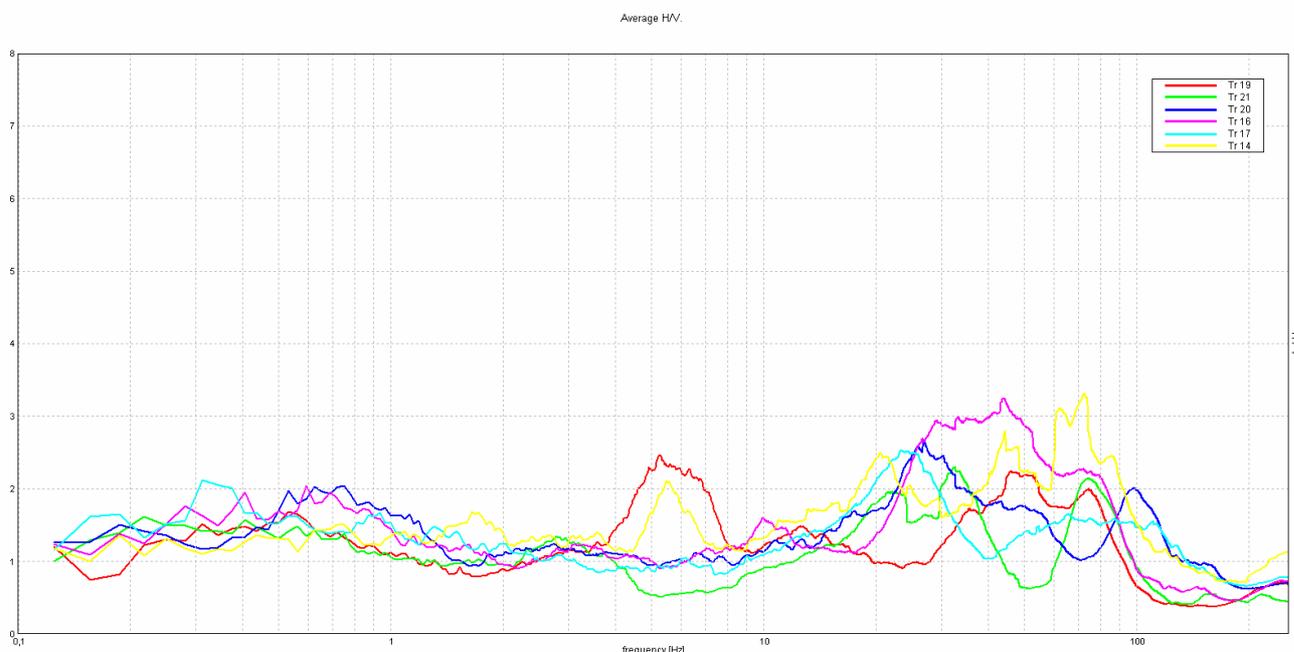


Figura 2.2h- Inviluppo delle tracce tromografiche relative al pedecollina.

Le tracce tromografiche 14 (ambito <AR.1c – Torre Oche>) e 19 (ambito <ARP – via Rondine>) mostrano un picco alla frequenza attorno a 5,5 Hz. Il confronto con le conoscenze di sottosuolo garantisce la presenza del contatto tra alluvioni e substrato pliocenico nei primi 10 metri, il contrasto deve essere legato per Torre oche alla presenza forse di facies sabbiose nel pliocene (rilevate anche dalla MASW 4), e per via Rondine al contatto tra il pliocene e l'insieme Sabbie Gialle e sistema di Bazzano che dovrebbe collocarsi tra i 25 ed i 35 metri circa.

- la collina (figura 2.2i) in cui le tracce di rapporto H/V sono relativamente indipendenti, fanno tutti riferimento ad un substrato sovraconsolidato relativamente prossimo alla superficie costituito dal Pliocene Tr2 e Tr15, oppure dalla F. del Termina Tr18. Solamente la traccia Tr1, risultato di una prova effettuata nel medesimo ambito (<ES – il Poggio>) presenta una evidente

amplificazione tra le frequenze di 6 e 7 Hz, oltre ad un picco a 10,4 Hz. La prova è stata ripetuta in prossimità del sondaggio S3 ed ha fornito un andamento simile a quelli ricavati nel Pliocene, come era da attendersi.

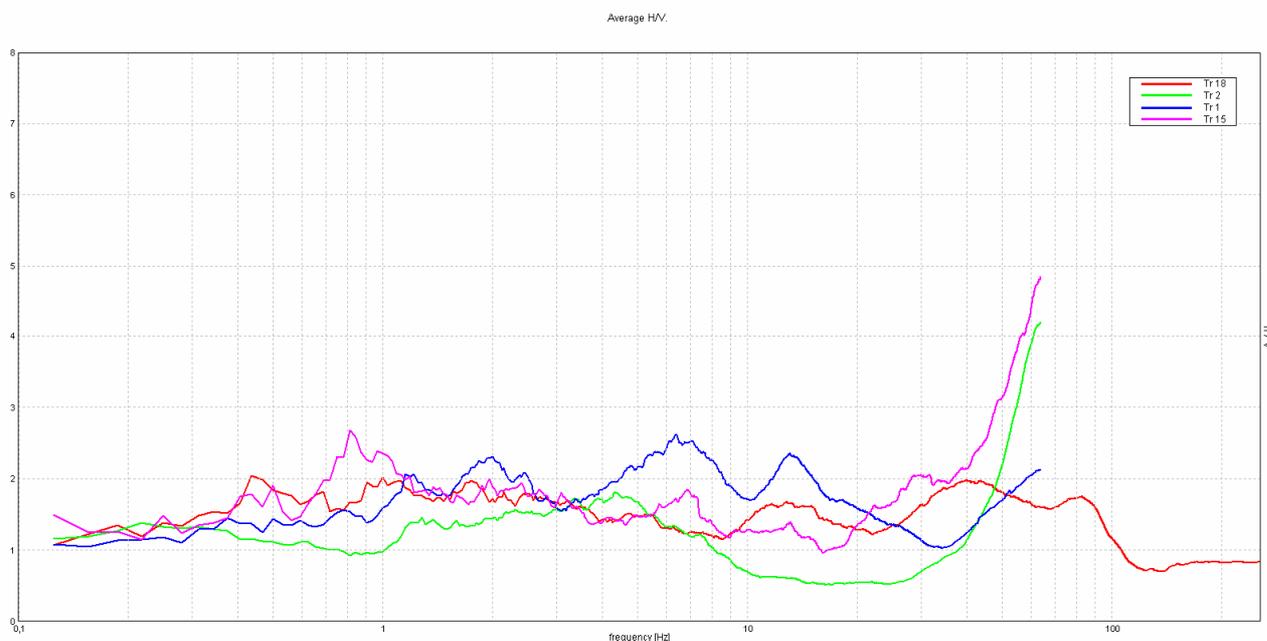


Figura 2.2i- Inviluppo delle tracce tomografiche relative alla collina.

La possibilità che Tr1 sia poco attendibile sono modeste, più probabile che l'area in cui è stato eseguito, immediatamente sovrastante un movimento franoso documentato sulla cartografia geologica come frana attiva, abbia risentito di questa dinamica di superficie. La figura 2.2i riporta la trasformazione delle analisi tomografiche in termini di Vs, come per le ReMi, i diagrammi sono ottenuti dall'analisi tomografica Tr15, che ha avuto come supporto parziale gli esiti della penetrometria dinamica di repertorio DIN10, e dall'analisi tomografica Tr18 che ha avuto come supporto il sondaggio S3. In particolare la Tr15 è stata utilizzata per confronto con le MASW di repertorio per ricavare il modello sismico di collina.

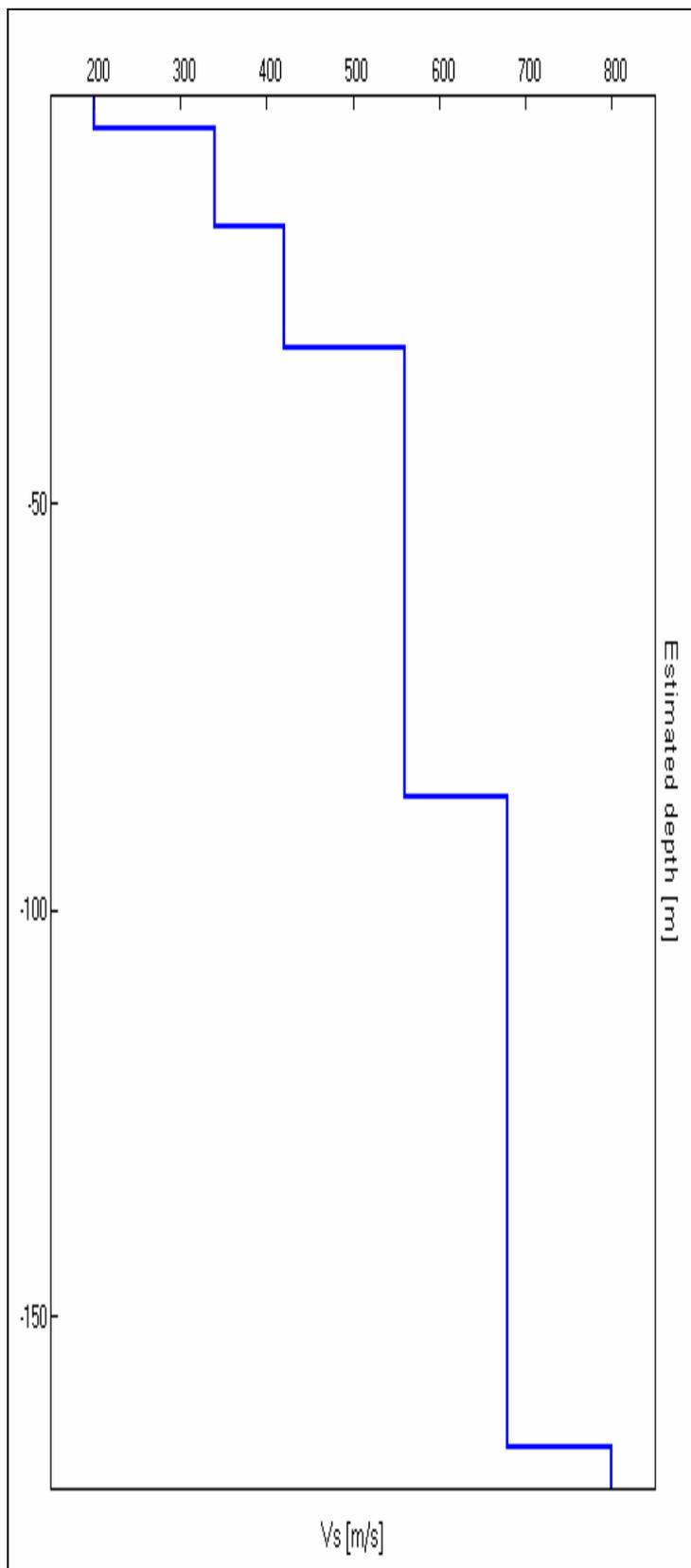
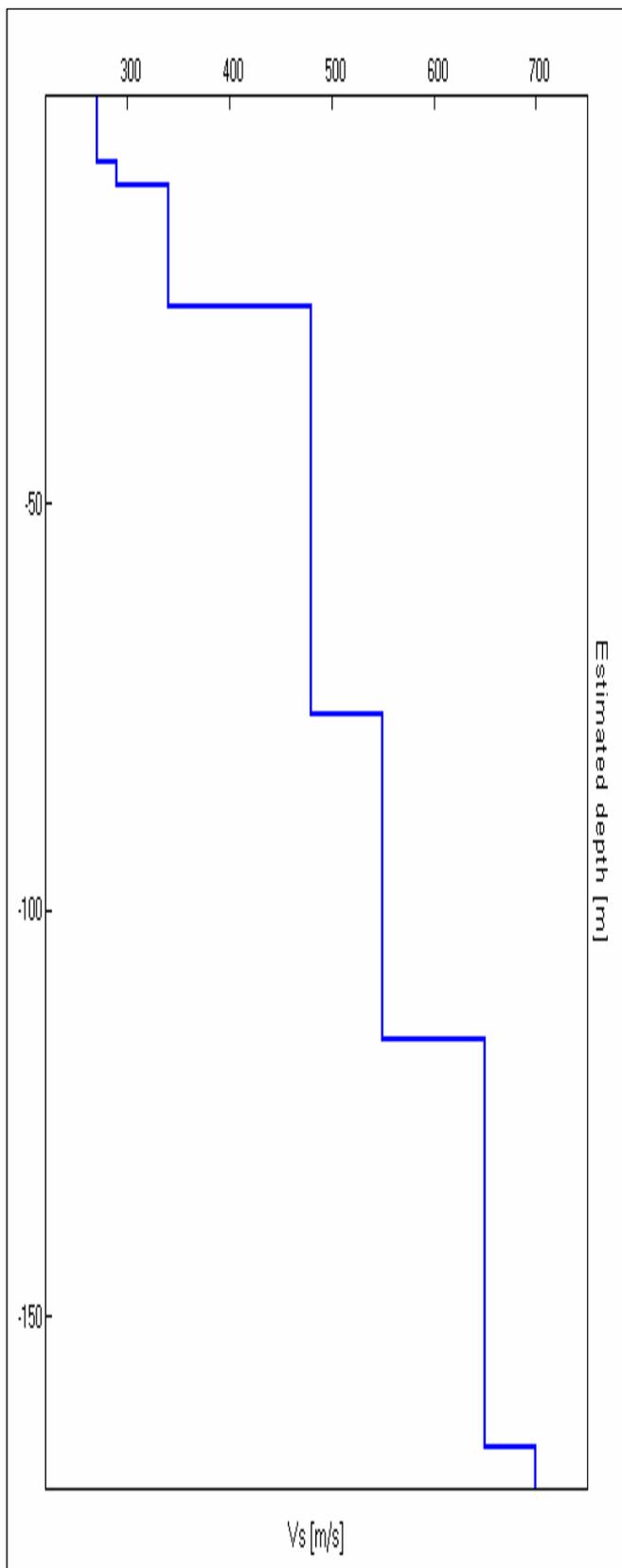


Figura 2.21-Conversione dei tracciati tomografici in termini di velocità S (V_s); il primo diagramma *Tr15-Fogliano* e il secondo *Tr18-Il Poggio*.

4) *ReMi e MASW* → la stima delle onde "S" è stata ottenuta con 2 ReMi e due Multi-channel Analysis of Surface Waves (MASW). E' una metodologia non invasiva che utilizza le onde di Rayleigh, componente principale delle onde superficiali, e per questo poco soggetta ai rumori ambientali; l'analisi delle onde S viene eseguita mediante la trattazione spettrale del sismogramma. La strumentazione utilizzata è composta dal sismografo a 24 canali << Abem-Ras-24 >>, con convertitore del segnale A/D a 24 bit. Lo stendimento è stato configurato con 24 geofoni da 4,5 Hz, posti alla distanza di 1-2 m secondo la profondità di indagine voluta, e la definizione desiderata. La sorgente di rumore è stata fornita da tre colpi, su una piastra con una mazza battente da 10 Kg, alle seguenti distanze dal primo geofono dell'allineamento: 5m – 12m - 17m. L'acquisizione dei dati è avvenuta con doppia registrazione con tempi di 4 secondi ed un intervallo di campionamento rispettivamente di 1ms e 2ms. I risultati ottenuti, riportati singolarmente in appendice, dopo il confronto con i risultati delle analoghe prove di repertorio, delle prove penetrometriche e di quelle ricavate dal tomografo, hanno consentito di tarare le velocità delle onde di taglio da inserire nei modelli sismici, e per la classificazione del "suolo di fondazione".

- MASW-ReMi1 (grafico in appendice), la prova è stata eseguita in corrispondenza della down-hole nell'ambito <AN.1d>, e l'esito che fornisce ($V_{s30}=460$ m/s), si accorda con quelli ottenuti sia dalla sismica a rifrazione per il Piano Particolareggiato di via Zozi e via Boito (GEO GROUP, 2005), i cui stendimenti erano posti a circa soli 200 metri di distanza ($V_{s30} = 367$ m/s); sia dalla MASW di via Cavedoni (GEO GROUP, 2007), realizzata nello stesso contesto sedimentario a 550 m di distanza ($V_{s30} = 437$ m/s). In tutti i casi la categoria del suolo di fondazione è "B".
- MASW2 (grafico in appendice), eseguita nell'ambito <APS.i(p)> è supportata dal sondaggio S2 e dalle numerose prove di repertorio limitrofe (tra cui SS5, DIN17, DIN18), la $V_{s30} = 349$ m/s, il suolo di fondazione risulta in classe "C" sia

pure in prossimità del limite alto. Il risultato era atteso per le alluvioni oloceniche che hanno un minore grado di addensamento rispetto ai sedimenti pleistocenici già sottoposti anche a sia pur deboli vicissitudini tettoniche.

- MASW-ReMi3 (grafico in appendice), la prova è stata eseguita nell'ambito <AN.1i –Gorzano>, uno dei numerosi ambiti distribuiti in sinistra Tiepido. In particolare questo ambito, come il successivo <AR.3f>, offre la possibilità di verificare direttamente nell'affioramento di sponda entro l'incisione del Tiepido le potenze e le caratteristiche della copertura e del substrato. Le alluvioni di superficie sono costituite da ghiaie a matrice sabbioso limosa recenti che riposano su un pliocene ben stratificato relativamente sabbioso, si tratta con ogni probabilità delle facies di tetto della formazione, quelle al passaggio con il Pleistocene. La $V_{s30} = 353$ m/s, il suolo di fondazione è al limite, ma ricade nella categoria "C".
- MASW4 (grafico in appendice), la prova è relativa all'ambito <AR.1c-Torre Oche> ed è supportata dalla DPSH4 e dai sondaggi di repertorio SS2 e SS29. Alle alluvioni oloceniche di superficie segue il substrato marino pliocenico. La $V_{s30} = 375$ m/s inserisce gli ambiti in categoria "B".

5) *Prova Down-Hole* → al fine di ottenere una stima delle onde S sulla colonna verticale che caratterizza l'alta pianura di Maranello si è attrezzato il sondaggio S1, per i 35 metri della sua lunghezza, con tubo piezometrico cieco da 2 pollici e si è eseguita la cementazione dell'interstizio tra foro di sondaggio (ancora rivestito) e tubo piezometrico, non prima di aver provveduto a sistemare ogni 3 metri i distanziatori che mantengono ben centrato il piezometro stesso. Al fondo del piezometro è stata posta una valvola di mandata a pressione collegata con la superficie con tubo in acciaio connesso ad una pompa da iniezione. La cementazione è avvenuta dal basso per iniezione di una "boiaccia" molto fluida fino a sfioro in superficie. Dopo aver tolto il rivestimento si sono attesi due giorni prima di fare il rabbocco dalla superficie, la contrazione aveva abbassato il livello di

circa 4 metri. Dopo un'attesa di 18 giorni, per i necessari tempi di indurimento, è stata eseguita la prova sismica in foro "DOWN_HOLE" (DH), dalla Te.Am. Geofisica di Copparo, Ferrara (esiti grafici in appendice). La prova ha riguardato solamente un intervallo di 30,25 metri ed ha fornito gli esiti riportati in appendice, $V_{s30} = 331$ m/s, la categoria di suolo di fondazione risulterebbe "C", ma prossima al limite alto, verso la classe B.

L'analisi stratigrafica, le prove SPT in foro, la MASW-ReMi1, realizzata per confronto a pochi metri di distanza dalla DH, le prove di repertorio citate sopra (MASW e rifrazione) realizzate nel medesimo contesto deposizionale a 200 e 550 metri di distanza, portano a conclusioni notevolmente migliori con V_{s30} più elevate, e soprattutto più omogenee sull'intervallo tutto formato da corpi ghiaiosi che sotto i 12 metri hanno densità relativa certamente elevata.

2.3 - MODELLO GEOLOGICO DI SOTTOSUOLO

Le caratteristiche fisiche dei sedimenti sono strettamente condizionate dalle tessiture, dalla composizione mineralogica dei clasti, dalle modalità di deposito (regime della corrente idraulica), ed infine dagli effetti dell'età (in termini di OCR).

I sedimenti antichi marini, affioranti nella collina e pedecollina sono classificati in Formazioni ed Unità geologiche minori dotate di una considerevole omogeneità fisica; queste unità geologiche consentono quindi l'estrapolazione ad ammassi rocciosi di notevoli dimensioni delle proprietà misurate localmente, fatte salve le vicissitudini strutturali subite. Gli ambiti di POC localizzati nel territorio collinare sono 4 e molto modesti per estensione, di cui 3 (<AC.c –S. Venanzio; Ac.c -Fogliano; Ar.2h –Fogliano>) sono localizzati su crinali il cui substrato, costituito dalle Argille Azzurre del Pliocene, è assai prossimo alla superficie; il quarto (<ES – il Poggio>) è situato lungo un versante il cui substrato fortemente alterato e posto ad almeno 3 metri dal piano campagna, è dato dalla F. del Termina. In figura 2.2f (in appendice) è riprodotta la stratigrafia del sondaggio S3, realizzato in questo ultimo ambito, e la posizione di prelievo dei campioni utilizzati per l'analisi di stabilità.

Nell'alta pianura, ove è localizzata la quasi totalità degli ambiti di POC, l'incisione naturale del T. Tiepido consente di ricostruire una stratigrafia dei depositi dal tetto del Pliocene fino all'inizio dell'Olocene, e di confrontarli con le alluvioni recenti, come già documentato in numerosi lavori (Cremaschi M. 1982; Iaccarino et Al. in Cremonini e Ricci Lucchi, 1982). I depositi continentali, immergenti di circa 5÷7 gradi verso nord, ed anche N-NE, leggermente discordanti sul Pliocene, iniziano con pochi metri della Formazione delle Sabbie Gialle in facies paralicca (near - fore shore), per poi proseguire con una sedimentazione continentale, in cui si alternano varie facies granulari (conoide, canali braided, intercanale) e fini (terrazzo di bankfull, piana alluvionale), a livelli di forte alterazione pedogenetica.

Al tetto della prima successione potente circa 50 metri affiora un paleosuolo decarbonatato e lisciviato, ben affiorante nel Tiepido e rinvenuto nel sondaggio S1. Questa prima successione comprenderebbe il subsistema di Bazzano (AES6), l'Unità di Niviano (AES7a) e probabilmente l'unità di Vignola (AES7b).

La successione prosegue poi con le nuove sequenze alluvionali di conoide (subsistema di Ravenna, AES8) che però si sono deposte solamente verso nord o nei fondovalle principali.

La figura 2.2e riporta, assieme alla stratigrafia del sondaggio S1, la sezione del Tiepido (modificata, da Cremaschi M, 1982) attualmente ben visibile nel tratto d'alveo compreso tra Case Berri ed il ponte della strada di Vignola, a monte di case Berri affiora la porzione di tetto del Pliocene. Un altro contatto è registrato, sempre lungo la valle del Tiepido, molto più a sud, tra località "Pilastrina" e "La Bersana", ove un sondaggio di repertorio (SS4) ha attraversato oltre 14 metri di ghiaie e sabbie, mentre i vicini sondaggi di repertorio (SS2 e SS3) hanno trovato il Pliocene argilloso e limoso fin dalla superficie. Si può quindi ritenere che qui, alla quota di 210 m, circa, sia rappresentata la zona di apertura sulla pianura del pleistocene medio, come testimonierebbero anche i terrazzi alluvionali rilevati nelle località "Fortezza" (225 m) ed "il Tuono" (220 m).

La storia climatica successiva, combinata con i movimenti tettonici locali, ha regolato l'evoluzione sedimentaria della pianura del Tiepido, come si intuisce dalla stessa variazione verticale delle facies, in particolare per la presenza di depositi fini ed argillosi, e di pedogenesi anche spinta. In particolare, proprio questi sedimenti hanno consentito correlazioni anche a distanze considerevoli. La distanza topografica tra S1 e la sezione del Tiepido è di poco superiore al chilometro, la distribuzione delle facies e dei paleosuoli può fornire una discreta sicurezza nelle correlazioni.

In conclusione, nel Pleistocene medio, l'apertura sulla pianura del bacino montano del Tiepido doveva trovarsi a sud della congiungente "La Lucchina" - "Monte di Poggio". Nell'interglaciale Riss- Würm (Pleistocene medio-superiore), immediatamente a Nord di questo allineamento il fiume poteva divagare in sinistra ed in destra formando così il conoide registrato alla base della sezione di figura 2.2e, corrispondente al Sub-sistema di Bazzano nella cartografia geologica regionale. Si tratta di una successione granulare ben addensata, con intercalazioni di livelli a vario grado di pedogenesi, che testimoniano di pause prolungate nella sedimentazione.

Un primo sollevamento del margine appenninico e/o una variazione del livello di base, ha provocato lo spostamento verso nord della zona di sedimentazione, l'apice del precedente conoide viene inciso (eroso) e nel Pleistocene superiore si depositano le unità di Niviano e Vignola. La prima unità è costituita da ghiaie in matrice per lo più fine molto addensate, che si alternano a intervalli pelitici contenenti argille in vari gradi di alterazione, a volte anche pedogenetica. Un suolo ben sviluppato pare suddividere tra loro le due unità. Anche l'unità di Vignola è prevalentemente ghiaiosa, ma la densità del deposito è minore, così come minore è il complessivo grado di alterazione.

Nella figura 2.2f (in appendice) è riportata la stratigrafia del sondaggio S2, eseguito nell'Ambito APS.i(p) – Maranello Nord, che rappresenta i sedimenti alluvionali olocenici da confrontare con quelli più antichi di Maranello.

I due sondaggi (S1 e S2) sono così rappresentativi del complesso della situazione stratigrafica e geomeccanica di alta pianura, anche se una possibile correlazione tra le due verticali avrebbe richiesto una profondità d'indagine per S2, superiore ai 100 metri, impensabile per gli scopi di questo lavoro.

In conclusione il territorio comunale di Maranello può essere ripartito nelle seguenti zone:

- A) una fascia marginale delle alluvioni pleistoceniche, a ridosso del contatto con i sedimenti pliocenici o pleistocenici inferiori (Argille Azzurre, Sabbie Gialle) in cui la potenza complessiva dei depositi continentali sovrapposti alle argille plioceniche non supera i 10 metri. I dati di sottosuolo di repertorio, in particolare le stratigrafie dei sondaggi e dei pozzi per acqua, e quelli ricavati per questo lavoro, consentono di inserire in questa zona gli ambiti <ES -Case Berri>, <AR.3f -Gorzano>, <AN1.i -Gorzano>, <APA -Ca Galassi>, <APA -Casone> ed anche l'ambito <AR.1c - Torre Oche>;
- B) la collina in cui tutti gli ambiti di POC (<AC.c -S. Venanzio; Ac.c -Fogliano; Ar.2h -Fogliano; ES - il Poggio>) sono caratterizzati dalla presenza del substrato sovraconsolidato marino a profondità comprese tra 2 e 8 metri dal p.c;
- C) l'alta pianura di Maranello caratterizzata da spessori superiori ai 25 metri di alluvioni in prevalenza ghiaiose, gli ambiti rappresentati in questa zona sono scomponibili in due fasce, una meridionale con alluvioni antiche ben addensate (<AN.1d - Maranello est, AN.1e - Pozza, AN.1f - Pozza via Nicchio, AR.1b - Crociale, AR.2d - Sima, ES - Borgo Ca' Frullo>), l'altra settentrionale con prevalenza di sedimenti granulari più recenti e dotati di minore densità relativa (<AR.1a - Bell'Italia, AR.3c - Bell'Italia, ES - Ca' Colombaro, APC.t - Maranello village, APSA.i(p) - Sima Nardi, APS.i(p) - Maranello Nord>).

3 - MODELLAZIONE SISMICA

Il modello geologico di sottosuolo e la correlabilità tra gli esiti litologici e meccanici ottenuti dalle prove geognostiche e geofisiche, consentono l'elaborazione di modellazioni numeriche di risposta sismica. Lo Studio scrivente dispone di SHAKE 2000, software di calcolo realizzato per verifiche monodimensionali, in grado di raggiungere, tramite una sequenza di analisi lineare completa, valori di rigidezza G e di smorzamento D compatibili con le caratteristiche delle colonne litologiche oggetto di studio. La verifica monodimensionale dell'amplificazione locale, tramite l'utilizzo di SHAKE 2000 si compone di due fasi: elaborazione del modello e simulazione degli effetti indotti dal sisma di progetto.

La prima fase consiste nel costruire la colonna di sottosuolo di riferimento, rappresentata da strati (layer) a differente tessitura e da diversi valori delle onde di taglio S (Vs). Le stratigrafie che caratterizzano i diversi modelli per i primi 30 m derivano dagli esiti delle prove geognostiche e geofisiche eseguite per questo lavoro e di repertorio; le stratigrafie più profonde (oltre 30 m) sono estrapolate o dai sondaggi della Banca Dati Geognostica della R.E.R, o dalle analisi con tomografo digitale.

Per l'elaborazione del modello di simulazione sismica occorre l'inserimento dei dati (accelerazione, intervalli di tempo) relativi ai segnali di riferimento selezionati dalla banca dati accelerometrica "European Strong Motion database" e forniti dal Servizio Geologico Sismico e dei Suoli regionale. Si tratta di sismi che possono verificarsi nel territorio del comune oggetto di studio. Questi tre segnali, già "scalati" rispetto al comune a cui si riferiscono, sono rappresentati da tre differenti accelerogrammi di progetto:

- impulsivo
- con ampio contenuto in frequenze
- con componente predominante alle alte frequenze

Per il Comune di Maranello, i dati fondamentali del sisma forniti dalla Delibera Regionale sono: magnitudine 5,5 e accelerazione al substrato $a_g = 0,163g$.

La seconda fase di elaborazione permette di ottenere tre differenti "spettri di risposta", ognuno dei quali descrive il diverso comportamento relativo ad ogni singolo strato della colonna litologica tipo, rispetto all'input sismico utilizzato. Questi "spettri" vengono ripresi nell'ambito della progettazione per la verifica sismica delle strutture.

Il primo spettro ottenuto riguarda la PSA. Viene mostrato il comportamento dell'accelerazione spettrale attraverso i diversi strati che compongono la colonna litologica tipo utilizzata nella modellizzazione per diversi valori di periodo: da 0 a 3 secondi (valori equiparabili ad edifici di varia altezza da un piano a torri molto alte).

Il secondo spettro ottenuto riguarda la PSV, ossia la pseudovelocità. Questo mostra il comportamento della velocità spettrale, in funzione del periodo (T) compreso tra 0 e 3 secondi, nei diversi layers della colonna litologica, in base all'input sismico applicato. I risultati di questa analisi sono utilizzabili per il calcolo del fattore SI-Intensità spettrale di Housner, richiesto nel terzo livello di caratterizzazione (Delibera regionale n 112/2007). L'intensità di Housner-SI è un indicatore della pericolosità sismica ed è definito come l'area sottesa dello spettro di risposta di pseudovelocità in un intervallo prefissato di frequenze. Questa grandezza è direttamente correlabile all'energia che viene dissipata nelle strutture durante un terremoto e quindi espressione del possibile grado di danneggiamento subito dagli edifici.

Il terzo spettro ottenuto riguarda l'amplificazione locale. Per amplificazione si intende il rapporto tra la massima ampiezza dell'accelerazione su affioramento rigido (a_{maxr}) e la massima ampiezza dell'accelerazione alla superficie del deposito (a_{maxs}) alla frequenza "f". Il fattore di amplificazione dipende dalla frequenza di eccitazione armonica, dal fattore di smorzamento D e dal rapporto tra l'impedenza sismica, prodotto tra densità-velocità, della roccia base e quella del deposito. La variazione del fattore di amplificazione con la frequenza definisce la funzione di amplificazione A(f) del deposito. Il moto sismico può essere amplificato in corrispondenza di determinate frequenze, corrispondenti alle frequenze naturali "fn" di vibrazione del deposito; molto importante risulta la prima frequenza naturale di vibrazione: "f 1" denominata *fre-*

quenza fondamentale, in corrispondenza della quale la funzione di amplificazione assume un valore massimo.

4 – MODELLAZIONE MONODIMENSIONALE DI RISPOSTA SISMICA

L'insieme delle informazioni geognostiche e geofisiche hanno consentito la caratterizzazione sismica degli ambiti di P.O.C. attraverso l'elaborazione di modelli monodimensionali di risposta sismica, uno per ogni insieme di ambiti. In questo senso, il modello geologico di sottosuolo (§ 2.3) e la correlabilità tra gli esiti litologici e meccanici ottenuti dalle prove geognostiche e geofisiche, consentono l'elaborazione delle seguenti 4 modellazioni numeriche di risposta sismica, tutte ottenute dal software Shake2000.

Questa procedura permette di offrire per ogni ambito, oltre al secondo livello di approfondimento, richiesto dalla delibera regionale, anche uno schema generale di applicazione del terzo livello, che può consentire di tarare al meglio le scelte progettuali alla scala di PUA, e di indirizzare le più dettagliate analisi geologiche che dovranno accompagnare le fasi progettuali di massima ed esecutive. A tal proposito si sottolinea che al paragrafo 1.2 sono riportati i parametri necessari per la stima dell'azione sismica locale per alcuni scenari di progetto, così come ricavati dalla "pericolosità di base" definita secondo la nuova normativa nazionale (DM 14/01/2008). Inoltre gli spettri elastici della componente orizzontale riferiti allo stato limite di progetto SLV (vedi §1.2), calcolati per le categorie di sottosuolo rispettivamente "B" e "C", sono stati graficamente sovrapposti per confronto, agli spettri elastici ricavati dalle nostre elaborazioni di risposta sismica locale effettuate con SHAKE 2000.

Per l'esecuzione del modello di simulazione sismica occorre ricostruire le caratteristiche del bedrock, condizione essenziale di calcolo. La delibera regionale propone, uniformemente sul territorio regionale, gli esiti ottenuti da modellazioni impostate su bedrock con $V_s = 800$ m/s. Nel caso in cui non sia rinvenibile un livello dotato di questa velocità nell'ambito delle verticali analizzate, si deve estrapolare < ... in profondità fino a valori di $V_s = 800$ m/s mantenendo lo stesso gradiente dell'ultimo tratto di curva sperimentale.>

Nel caso dell'alta pianura di Maranello, le Vs caratteristiche della coltre alluvionale appaiono molto variabili, ma con un incremento notevole in corrispondenza del passaggio alle ghiaie più antiche e più addensate. Velocità delle onde di taglio attorno agli 800 m/s vengono raggiunte nei primi 40 metri come dimostrano varie prove geofisiche eseguite per questo lavoro (§2.2), e di repertorio (§2.1), solamente la DH mostra una curva sperimentale che porterebbe il substrato con Vs a 800 m/s attorno a 45÷50 metri. Il bedrock sismico per i modelli di pianura è stato imposto a 35 metri di profondità con Vs di 800 m/s.

La porzione di alta pianura dotata di modeste coperture alluvionali recenti (incisioni oloceniche di alluvioni antiche, o direttamente del substrato marino) è caratterizzata da velocità delle onde S mediamente minori di 360 m/s, Categoria di suolo "C". Il pseudo-bedrock sismico è stato stimato in base alle prove geofisiche note e posto a 90 metri dalla superficie, entro il substrato marino (Pliocene) con velocità delle onde di taglio di 700 m/s. Unica eccezione a questa ricostruzione risulta la MASW4 che fornirebbe valori da bedrock entro 40 metri. Si è comunque ritenuto più cautelativo includere anche questo ambito con gli altri del modello "pedecollina".

Per la collina, le velocità registrate nel substrato marino sovraconsolidato (F. Argille Azzurre, e F. del Termina) dalle prove geofisiche di repertorio (§2.1) indicano velocità S del Pliocene inferiori a 400 m/s, in alcune ReMi si sono ottenute Vs superiori a 400 m/s a quote di 30 metri dal p.c., ma anche in questo caso con gradienti molto modesti. Solamente la prova di Lucchina (MASW6) ha fornito esiti decisamente migliori, ma siamo al limite con le alluvioni ghiaiose del sistema di Bazzano.

Assumendo anche i dati delle analisi tomografiche (fig. 2.21) si riscontrerebbe una impedenza sismica significativa attorno a 86 metri (Tr15- Fogliano). Un analogo ricostruzione effettuata per Tr18 nella F. del Termina, porterebbe a rinvenire un'impedenza significativa a circa 80 metri (fig. 2.21), praticamente la medesima quota. In conclusione alla quota di 86 metri è stato imposto il pseudo-bedrock sismico con Vs di 700 m/s.

In conclusione, lo schema dei modelli di simulazione sismica applicato agli ambiti di progetto è composto di tre modelli ed un sottomodello, secondo la seguente tabella:

Modello	m/s	Categoria suolo	Bedrock m
Pianura	>360	B	35
	$300 < V_{S30} < 360$	C	35
Pedecollina	$300 < V_{S30} < 360$	C	90
Collina	$300 < V_{S30} < 360$	C	86

4.1 - MODELLO PIANURA

Il modello geologico di sottosuolo e la correlabilità tra gli esiti litologici e meccanici ottenuti dalle prove geognostiche e geofisiche, consentono l'elaborazione di modellazioni numeriche di risposta sismica.

Gli ambiti di POC per cui questo modello è applicabile sono:

<AN.1d - Maranello est>, <AN.1e - Pozza>, <AN.1f - Pozza via Nicchio>, <AR.1b - Crociale>, <AR.2d - Sima, ES - Borgo Ca' Frullo>.

Il calcolo della V_s media delle diverse prove effettuate e repertorate fornisce risultati di V_{S30} superiori a 360 m/s, tranne la DH che comunque fornisce una velocità media sui 30 metri di 331 m/s.

Il modello numerico di risposta sismica locale "PIANURA", realizzato "Free field" è riferito quindi ad un suolo di fondazione di categoria "B", inserendo 6 differenti layers le cui V_s sono state imposte sulla scorta del confronto tra tutti i dati di V_s noti. Sulla scorta di questo confronto si sono ricostruiti i seguenti layers (figura 4.1a):

da 0 a 8 metri ghiaia;

da 8 a 11 metri argilla limosa, paleosuolo (Ip 20÷40);

- da 11 a 22 metri ghiaia ($Dr > 50\%$);
- da 22 a 25 metri limi argille ($Ip 40\div 80$);
- da 25 a 35 metri ghiaia ($Dr > 50\%$);
- >35 Bedrock sismico.

Dalle funzioni di amplificazione ottenute risulta che la frequenza fondamentale assume un valore locale di 4 Hz, il fattore di amplificazione (FA) relativo risulta pari a 1,9 (fig 4.1b). Complessivamente l'esito del modello fornisce un quadro dei FA superiori a 1 per i periodi (T) di maggiore interesse compresi tra $0,125 \text{ sec} < T < 1 \text{ sec}$. Considerando che al periodo è fatto corrispondere (in prima approssimazione) il numero di piani degli edifici, si può sostenere che gli edifici di 2 piani ($T=0,2$, ossia $f = 5 \text{ Hz}$) saranno sottoposti all'amplificazione massima pari a 1,9 mentre edifici di 8 piani ($T=0,8$, ossia frequenza di 1,25 Hz) saranno sottoposti ad un'amplificazione di poco superiore a 1.

La tabella riporta i valori dei picchi di amplificazione (PGA/PGA_0) ottenuti per le diverse frequenze (figura 4.1b):

Frequenze [Hz]	Periodi [s]	Fattori di Amplificazione
4	0,25	1.9
7,7	0,13	1,55

L'elaborazione degli spettri di risposta alla pseudovelocità Fig. 4.1e-h-m consente di desumere anche i fattori di amplificazione SI (Spectral Intensity) di Husner per i due intervalli di periodo richiesti dalla regione.

L'intensità di Housner-SI è un indicatore della pericolosità sismica, questa grandezza è direttamente correlabile all'energia che viene dissipata nelle strutture durante un terremoto, è quindi espressione del possibile grado di danneggiamento subito dagli edifici. La tabella seguente mostra le amplificazioni ottenute dal rapporto tra le superfici spettrali della pseudo velocità per i tre input sismici che costituiscono il riferimento regionale.

	Modello "Pianura"	
	4 Hz	1,9
FA PGA/PGA ₀	4 Hz	1,9
FA S.I. di Housner	0,1s<T ₀ <0,5s	0,5s<T ₀ <1s
S.I. input 000046	1,55	1,20
S.I. input 000126	1,50	1,15
S.I. input 000354	1,57	1,13

SUB MODELLO "PIANURA"

Gli ambiti di POC per cui questo modello è applicabile sono:

<AR.1a - Bell'Italia>, <AR.3c - Bell'Italia>, <ES - Ca' Colombaro>, <APC.t - Maranello village>, <APSA.i(p) - Sima Nardi>, <APS.i(p) - Maranello Nord>.

Le V_{S30} calcolate sono in genere di poco inferiori a 360 m/s, il suolo di fondazione in questi ambiti deve ritenersi in categoria "C", sia pure molto vicino al limite alto.

Il modello di simulazione sismica non viene modificato dalla categoria di suolo, se non per il riferimento di norma delle pseudo accelerazioni PSA: lo spettro di accelerazione della componente orizzontale del moto sismico che è stata ricavata dalle informazioni di tabella 1.1. Il confronto tra le figure 4.1c-f-i, relative al suolo "C", e le figure 4.1d-e-l, mostra appunto la diversa ampiezza dello spettro di riferimento, ma, ovviamente, il mantenimento degli spettri calcolati.

MODELLO PIANURA

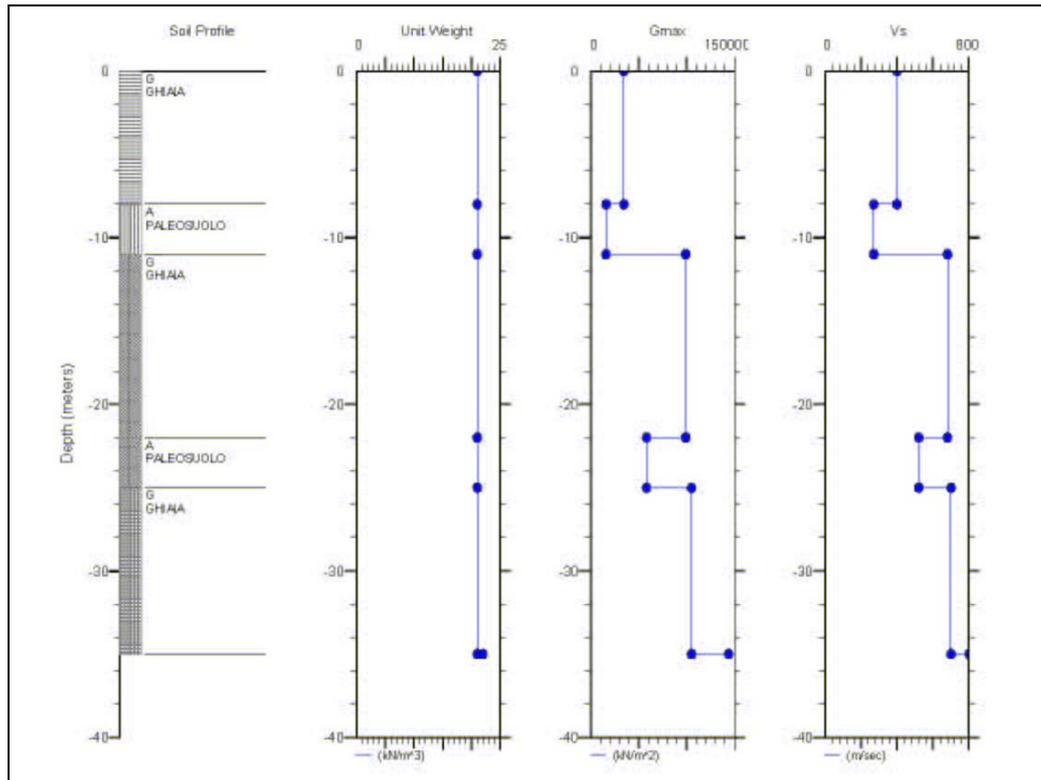


Figura 4.1a Stratigrafia di riferimento schematizzata utilizzata per la modellazione sismica

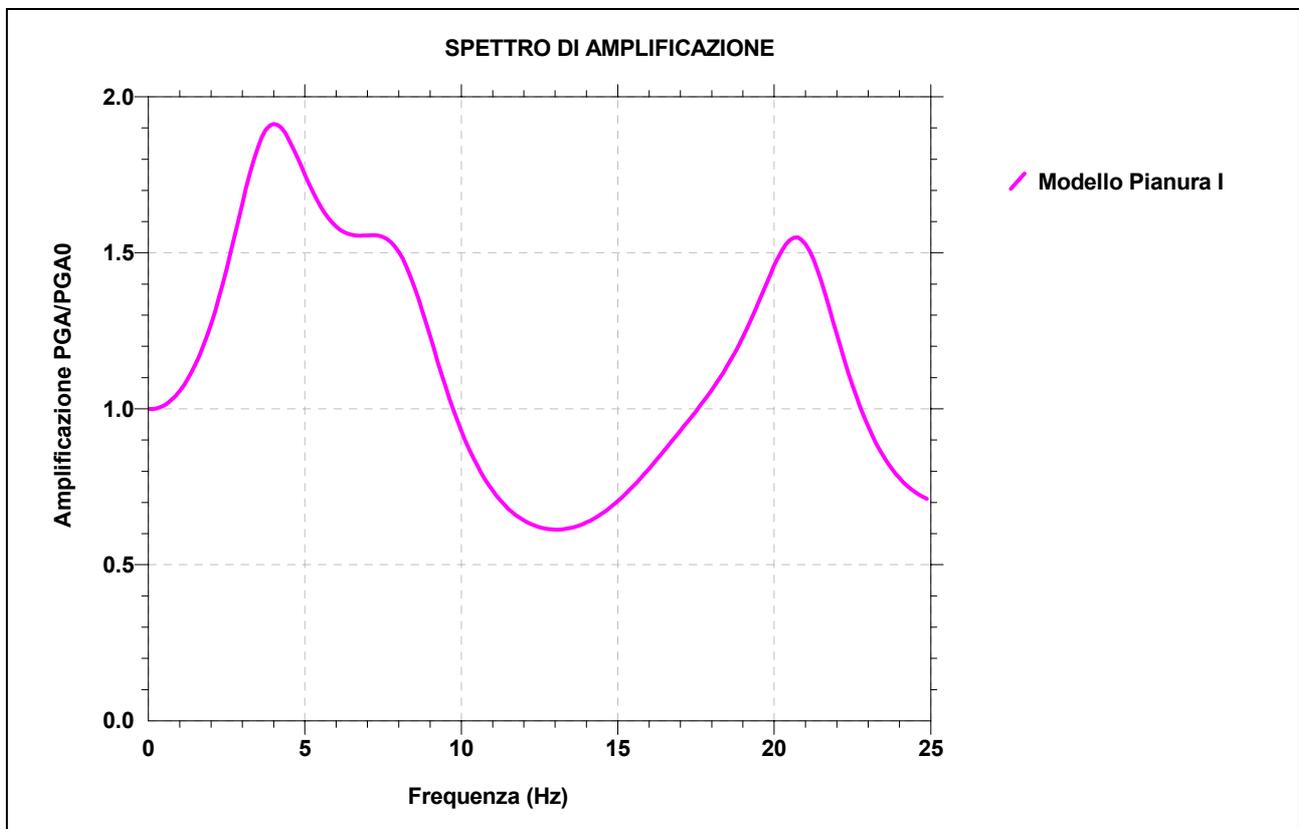


Figura 4.1b Funzione di trasferimento del moto oscillatorio del sisma lungo la colonna litologica tipo

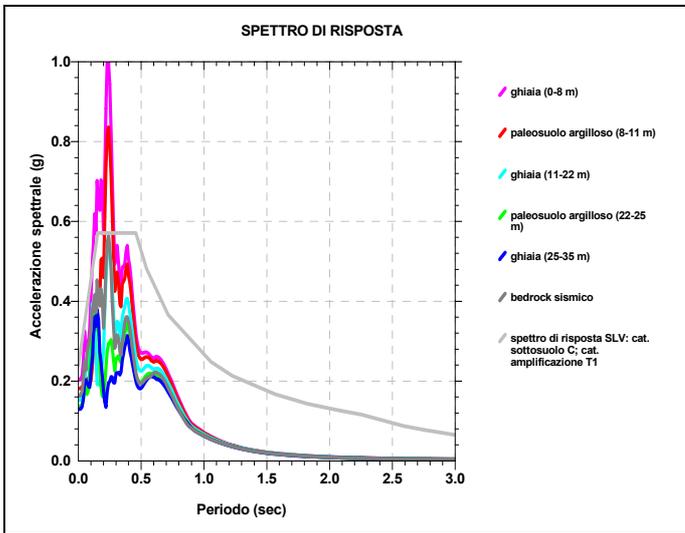


Figura 4.1c Spettro di risposta relativo alla pseudoaccelerazione PSA, confronto con spettro SLV-(suolo C) INPUT 000046

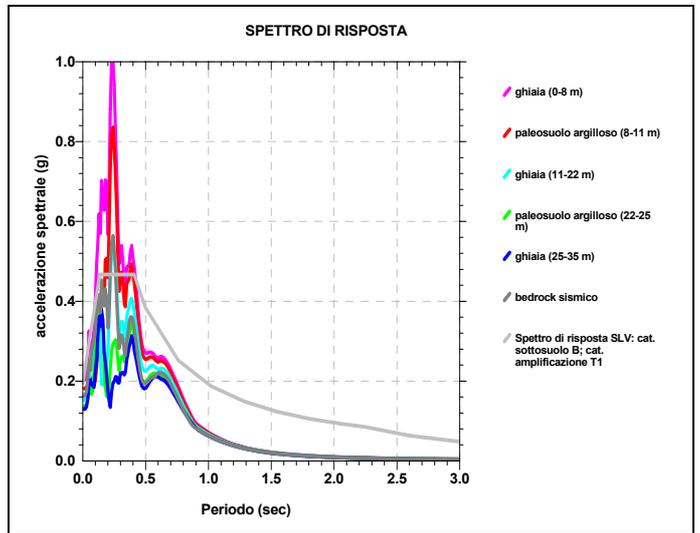


Figura 4.1d Spettro di risposta relativo alla pseudoaccelerazione PSA, confronto con spettro SLV-(suolo B) INPUT 000046

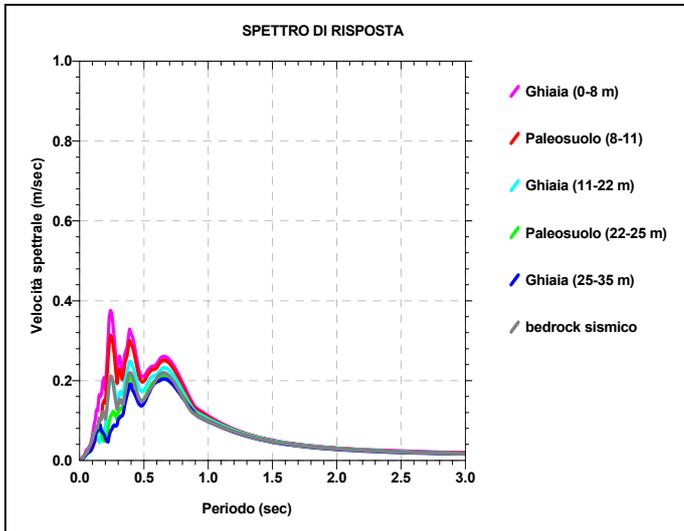


Figura 4.1e Spettro di risposta relativo alla pseudovelocità PSV, confronto con spettro Eurocodice EC-8- INPUT 000046

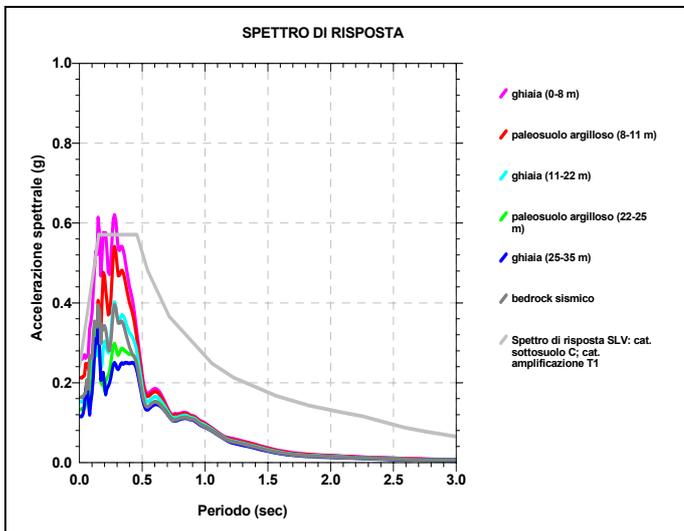


Figura 4.1f Spettro di risposta relativo alla pseudoaccelerazione PSA, confronto con spettro SLV-(suolo C) INPUT 000126

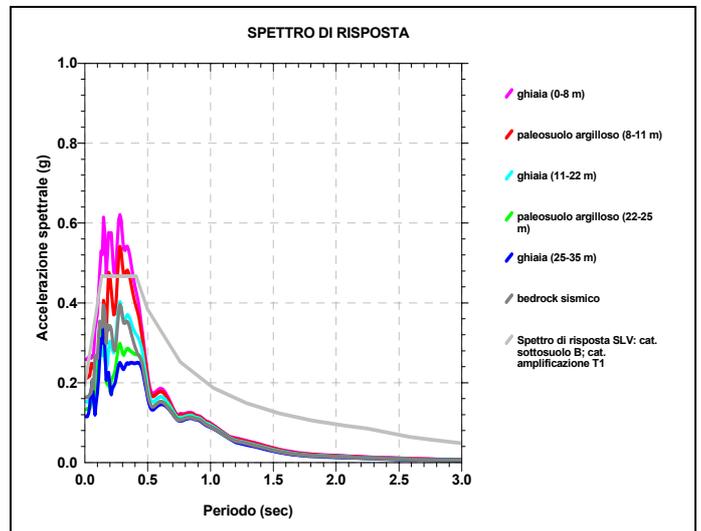


Figura 4.1g Spettro di risposta relativo alla pseudoaccelerazione PSA, confronto con spettro SLV-(suolo B) INPUT 000126

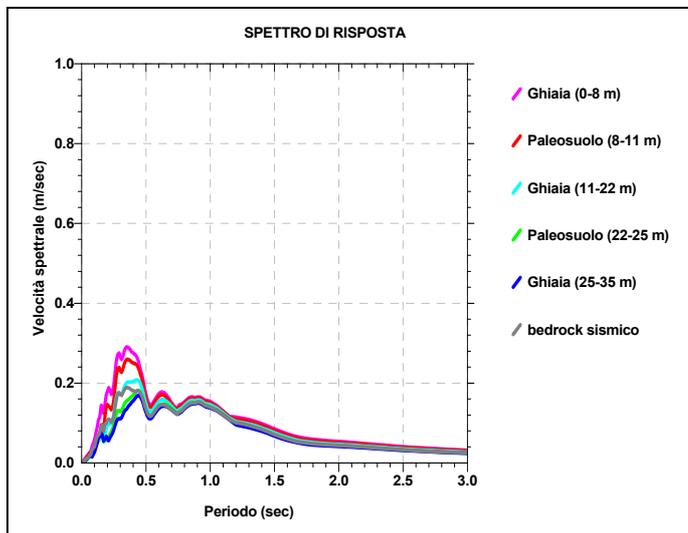


Figura 4.1h Spettro di risposta relativo alla pseudovelocità PSV- INPUT 000126

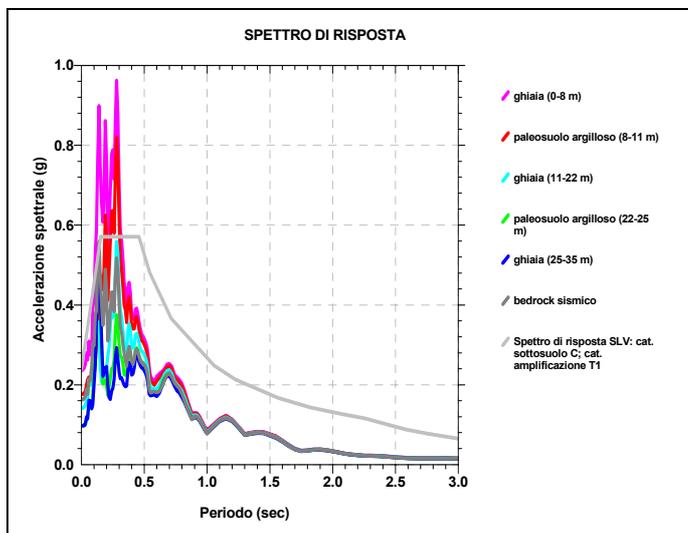


Figura 4.1i Spettro di risposta relativo alla pseudoaccelerazione PSA, confronto con spettro SLV- (suolo C) INPUT 000354

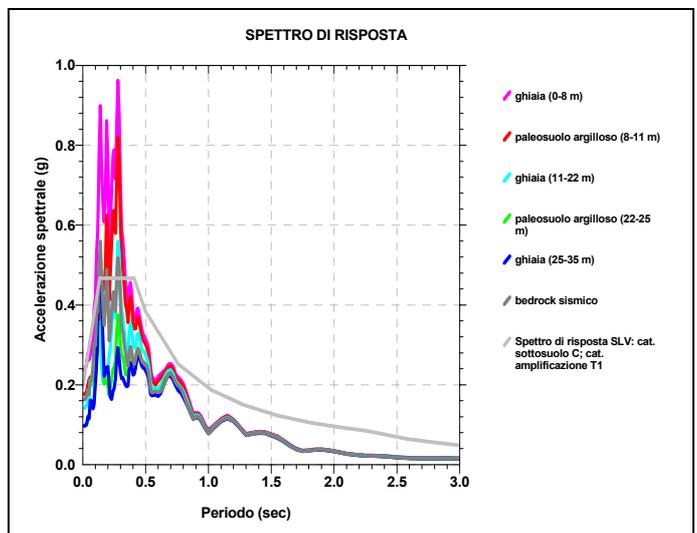


Figura 4.1L Spettro di risposta relativo alla pseudoaccelerazione PSA, confronto con spettro SLV- (suolo B) INPUT 000354

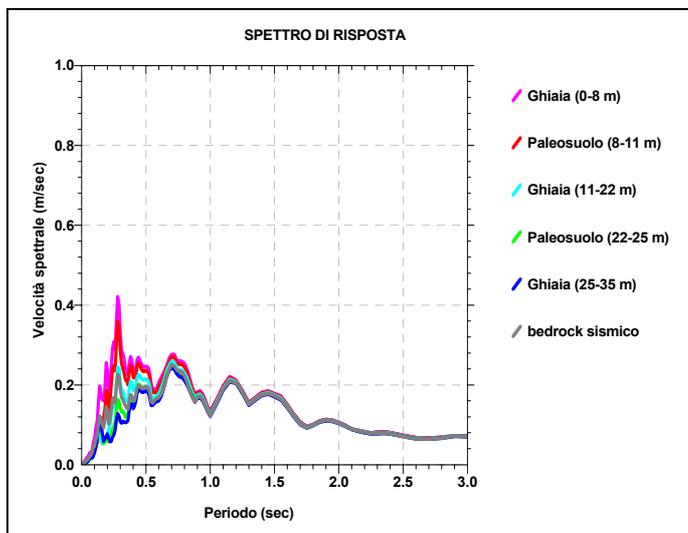


Figura 4.1m Spettro di risposta relativo alla pseudovelocità PSV- INPUT 000354

4.2 MODELLO “PEDECOLLINA”

Gli ambiti di POC per cui questo modello è applicabile sono:

<ES –Case Berri>, <AR.3f -Gorzano>, <AN1.i -Gorzano>, <APA -Ca Galassi>, <APA -Casone>, <AR.1c - Torre Oche>.

Il calcolo della Vs media delle diverse prove effettuate e repertorate fornisce risultati di Vs30 inferiori a 360 m/s, e sempre molto superiori a 180 m/s. Solamente nel caso dell’ambito <AR.1c> si ha Vs30 = 375, tuttavia il generale contesto consiglia di assumere una categoria di suolo “C” per tutti questi ambiti caratterizzati da una coltre alluvionale di modesto spessore e per lo più olocenica posta sul pliocene argilloso.

Il modello numerico di risposta sismica locale “PEDECOLLINA”, realizzato "Free field" è riferito quindi ad un suolo di fondazione di categoria “C”, inserendo 6 differenti layers le cui Vs sono state imposte sulla scorta del confronto tra tutti i dati di Vs noti. Sulla scorta di questo confronto si sono ricostruiti i seguenti layers (figura 4.2a):

- da 0 a 3 metri argilla limosa (Ip 20÷40);
- da 3 a 7 metri ghiaia (Dr% < 50);
- da 7 a 10 metri limi argillosi (Ip 20÷40);
- da 10 a 24 metri argille alterate (pliocene);
- da 24 a 90 metri pliocene;
- >90 Pseudo-bedrock sismico.

Dalle funzioni di amplificazione ottenute risulta che la frequenza fondamentale assume un valore locale di 3,98 Hz, il fattore di amplificazione (FA) relativo risulta pari a 1,45 (fig 4.2b). Complessivamente l'esito del modello fornisce un quadro dei FA superiori a 1 per i periodi (T) di maggiore interesse compresi tra 0,12 sec <T< 1 sec. Considerando che al periodo è fatto corrispondere (in prima approssimazione) il numero di piani degli edifici, si può sostenere che gli edifici di 2 piani (nel nostro caso T=0,25, ossia f = 4 Hz) saranno sottoposti all'amplificazione massima pari a 1,45 mentre edifici di 10 piani (T=1 frequenza 1 Hz) saranno sottoposti ad un'amplificazione di poco superiore a 1,1.

La tabella riporta i valori dei picchi di amplificazione (PGA/PGA₀) ottenuti per le diverse frequenze (figura 4.2b):

Frequenze [Hz]	Periodi [s]	Fattori di Amplificazione
3,98	0,25	1.45
1,3	0,77	1,2
5,7	0,18	1,405

L'elaborazione degli spettri di risposta alla pseudovelocità Fig. 4.2d, f, h consente di desumere anche i fattori di amplificazione SI (Spectral Intensity) di Housner per i due intervalli di periodo richiesti dalla regione.

L'intensità di Housner-SI è un indicatore della pericolosità sismica, questa grandezza è direttamente correlabile all'energia che viene dissipata nelle strutture durante un terremoto, è quindi espressione del possibile grado di danneggiamento subito dagli edifici. La tabella seguente mostra le amplificazioni ottenute dal rapporto tra le superfici spettrali della pseudo velocità per i tre input sismici che costituiscono il riferimento regionale.

	Modello "Pianura"	
	3,98 Hz	1,45
FA PGA/PGA ₀	3,98 Hz	1,45
FA S.I. di Housner	0,1s<T ₀ <0,5s	0,5s<T ₀ <1s
S.I. input 000046	1,24	1,17
S.I. input 000126	1,21	1,19
S.I. input 000354	1,27	1,18

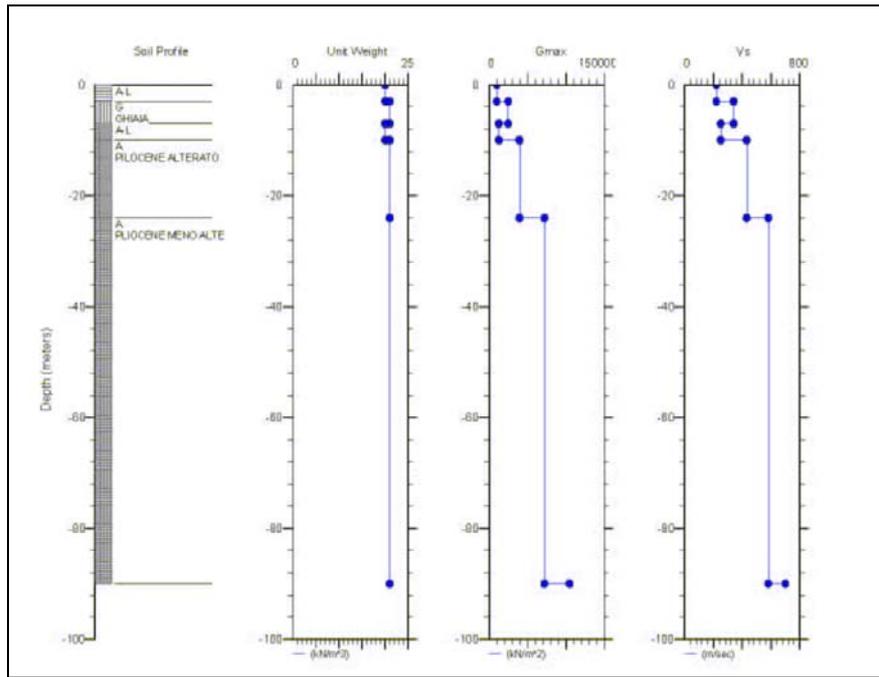


Figura 4.2a Stratigrafia di riferimento schematizzata utilizzata per la modellizzazione sismica

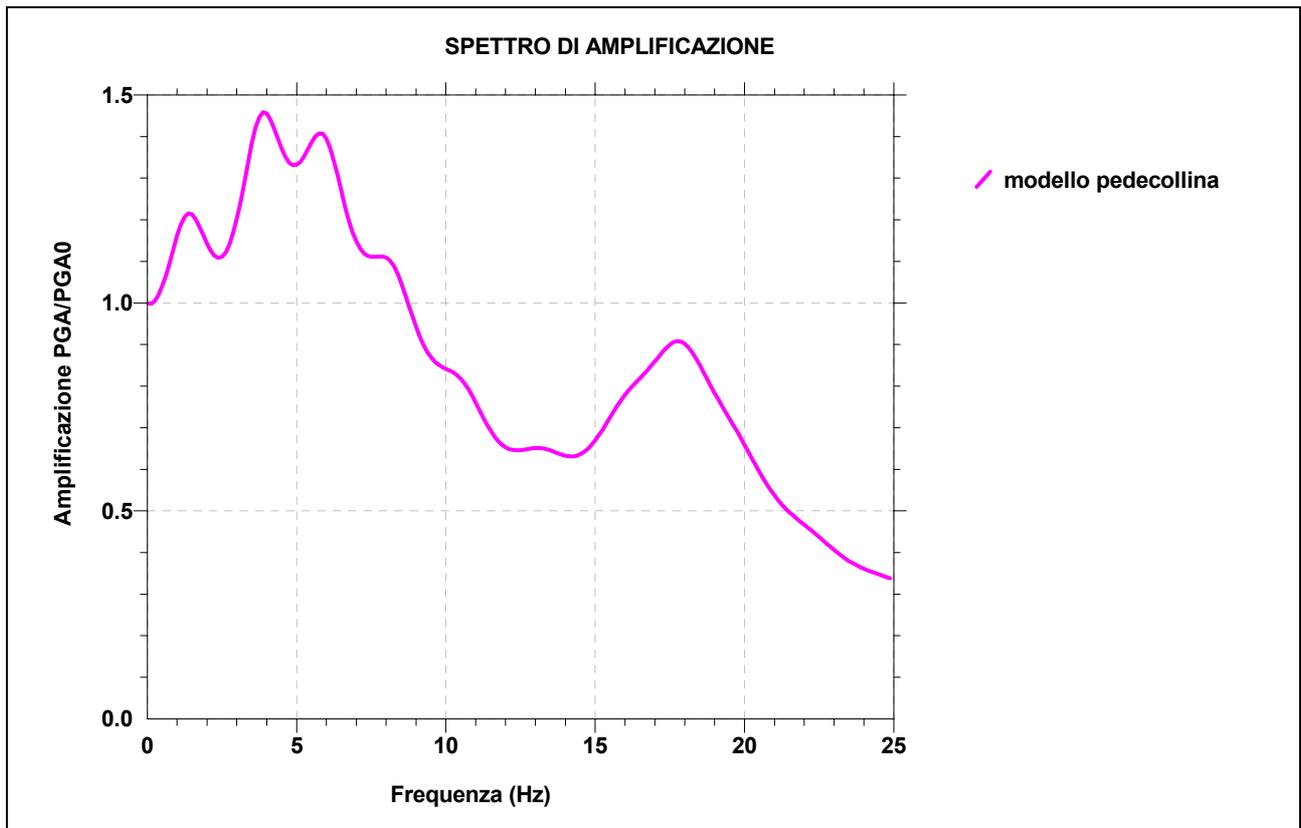


Figura 4.2b Funzione di trasferimento del moto oscillatorio del sisma lungo la colonna litologica tipo

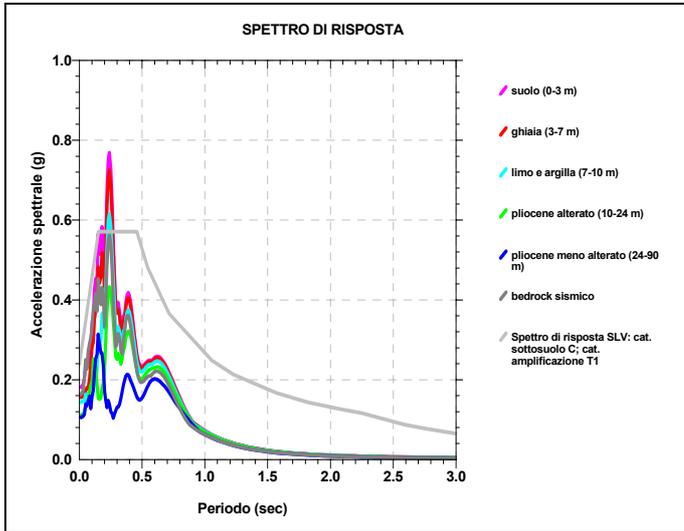


Figura 4.2c Spettro di risposta relativo alla pseudoaccelerazione PSA, confronto con spettro SLV- INPUT 000046

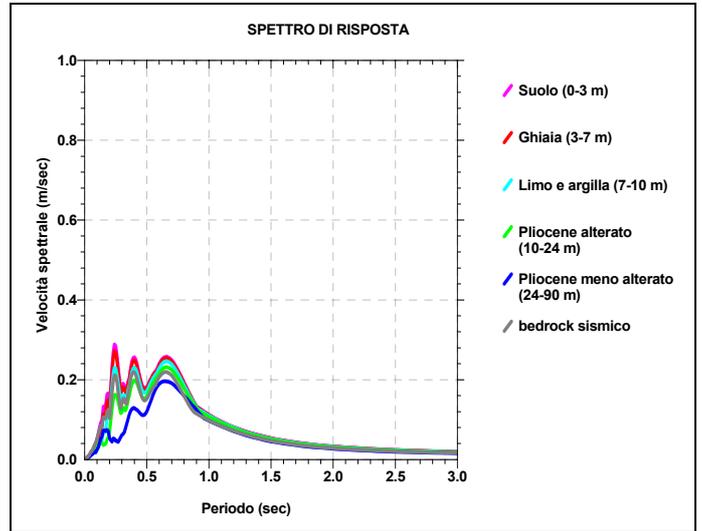


Figura 4.1d Spettro di risposta relativo alla pseudovelocità PSV- INPUT 000046

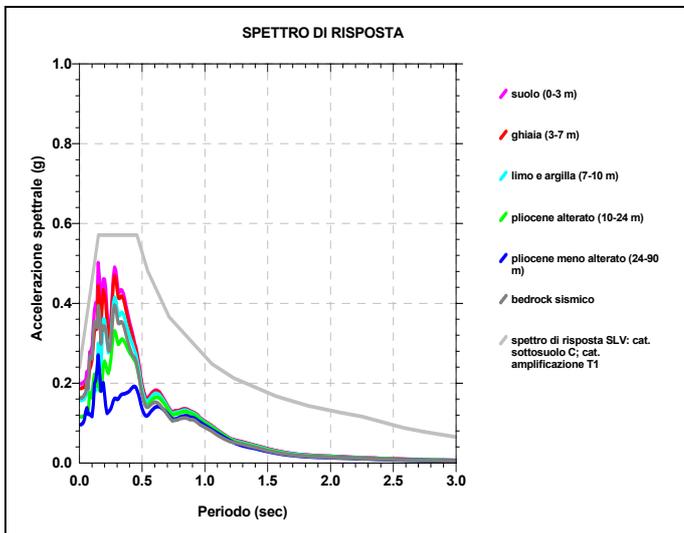


Figura 4.2e Spettro di risposta relativo alla pseudoaccelerazione PSA, confronto con spettro SLV INPUT 000126

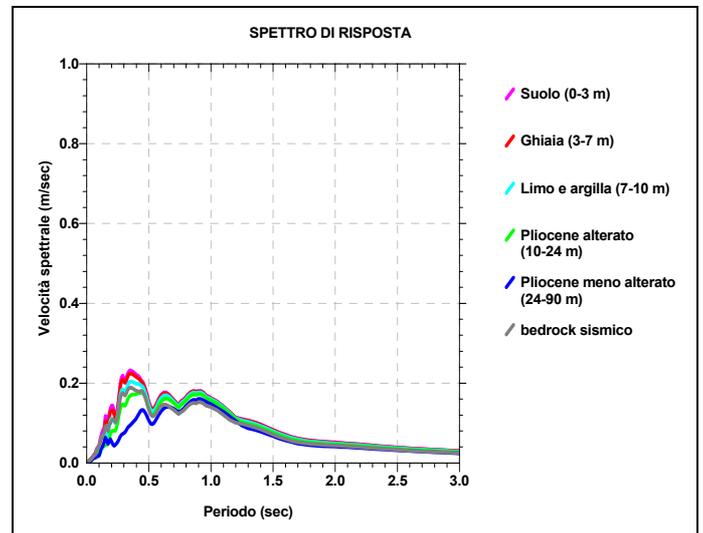


Figura 4.2f Spettro di risposta relativo alla pseudovelocità PSV, INPUT 000126

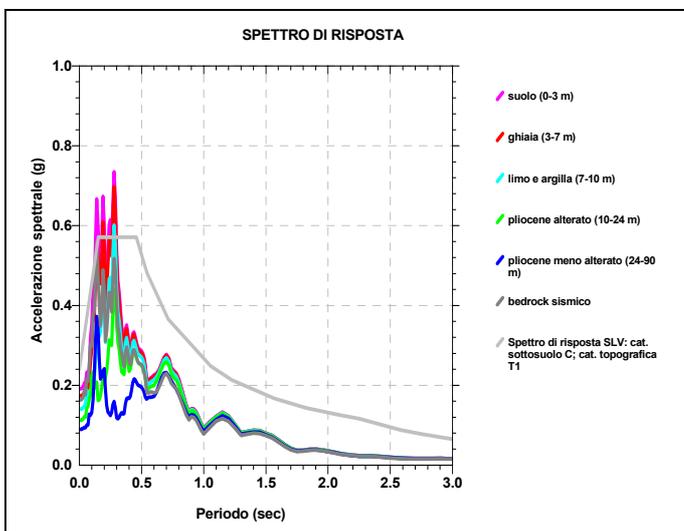


Figura 4.2g Spettro di risposta relativo alla pseudoaccelerazione PSA, confronto con spettro SLV INPUT 000354

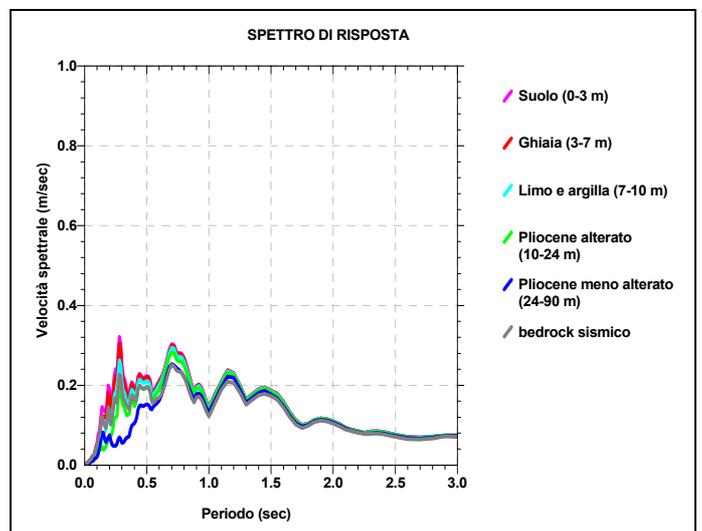


Figura 4.2h Spettro di risposta relativo alla pseudovelocità PSV- INPUT 000354

4.3 MODELLO “COLLINA”

Gli ambiti di POC per cui questo modello è applicabile sono:

<AC.c –S. Venanzio>; <Ac.c –Fogliano>; <Ar.2h –Fogliano>; <ES – il Poggio>.

Il calcolo della V_s media delle diverse prove effettuate e repertorate fornisce risultati di $180 < V_{s30} < 360$ m/s, si tratta sempre di situazioni in cui il substrato marino sovraconsolidato è presente nell’ambito dei primi 8 metri. La categoria di suolo è “C” con valori di V_{s30} comunque elevati superiori a 300 m/s.

Il modello numerico di risposta sismica locale “COLLINA”, realizzato "Free field" è riferito quindi ad un suolo di fondazione di categoria “C”, inserendo 5 differenti layers le cui V_s sono state imposte sulla scorta del confronto tra tutti i dati di V_s noti. In funzione di questo confronto si sono ricostruiti i seguenti layers (figura 4.3a):

da 0 a 4 metri argille limoso sabbiose (I_p 20÷40);

da 4 a 16 metri argille sovraconsolidate alterate (I_p 40);

da 16 a 31 metri argille e limi;

da 31 a 86 metri limi argille (I_p 40÷80)

>86 Pseudo- bedrock sismico.

Dalle funzioni di amplificazione ottenute risulta che la frequenza fondamentale assume un valore locale di 4 Hz, il fattore di amplificazione (FA) relativo risulta pari a 1,66 (fig 4.3b). Complessivamente l'esito del modello fornisce un quadro dei FA superiori a 1 per tutti i periodi (T) compresi tra 0,11 sec $< T < 1$ sec. Considerando che al periodo è fatto corrispondere (in prima approssimazione) il numero di piani degli edifici, si può sostenere che gli edifici di 2÷3 piani ($T=0,25$, ossia $f = 4$ Hz) saranno sottoposti all'amplificazione massima pari a 1,66, gli edifici di 5÷6 piani ($T=0,56$ ossia frequenza di 1,88 Hz) saranno sottoposti ad un'amplificazione di poco superiore a 1,4.

La tabella seguente riporta i valori dei picchi di amplificazione (PGA/PGA_0) ottenuti per le diverse frequenze (figura 4.3b):

Frequenze [Hz]	Periodi [s]	Fattori di Amplificazione
4	0,25	1.66
1,8	0,56	1,43
6,9	0,14	1,42

L'elaborazione degli spettri di risposta alla pseudovelocità Fig. 4.3d, f, h consente di desumere anche i fattori di amplificazione SI (Spectral Intensity) di Housner per i due intervalli di periodo richiesti dalla regione.

L'intensità di Housner-SI è un indicatore della pericolosità sismica, questa grandezza è direttamente correlabile all'energia che viene dissipata nelle strutture durante un terremoto, è quindi espressione del possibile grado di danneggiamento subito dagli edifici. La tabella seguente mostra le amplificazioni ottenute dal rapporto tra le superfici spettrali della pseudo velocità per i tre input sismici che costituiscono il riferimento regionale.

	Modello "Collina"	
	4 Hz	1,66
FA PGA/PGA ₀	4 Hz	1,66
FA S.I. di Housner	0,1s<T ₀ <0,5s	0,5s<T ₀ <1s
S.I. input 000046	1,40	1,37
S.I. input 000126	1,39	1,33
S.I. input 000354	1,01	0,99

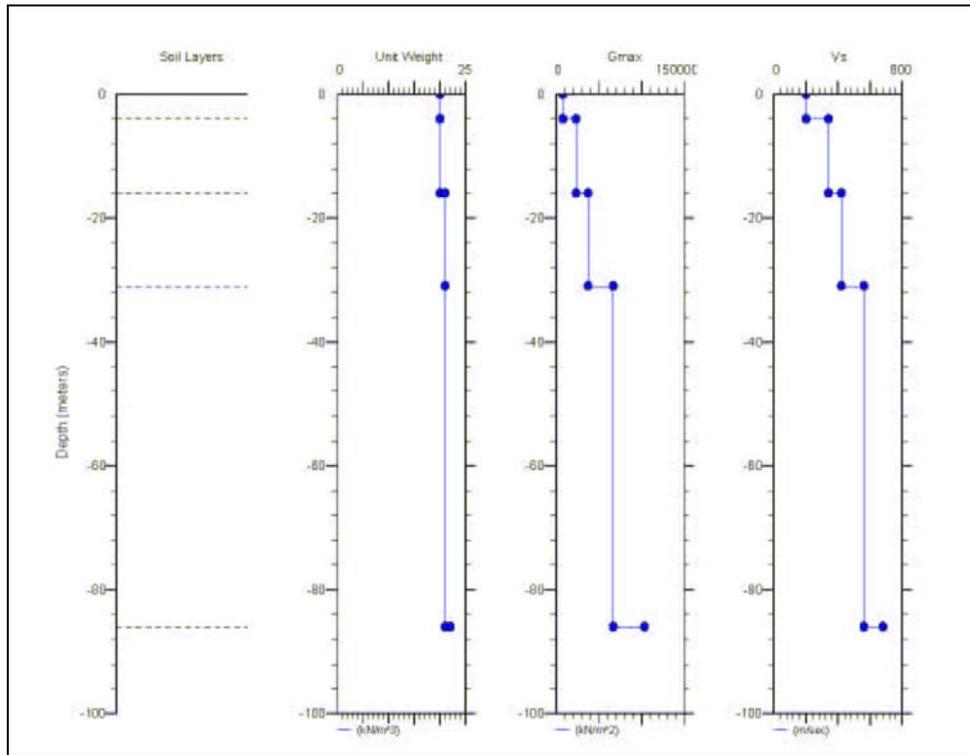


Figura 4.3a Stratigrafia di riferimento schematizzata utilizzata per la modellazione sismica

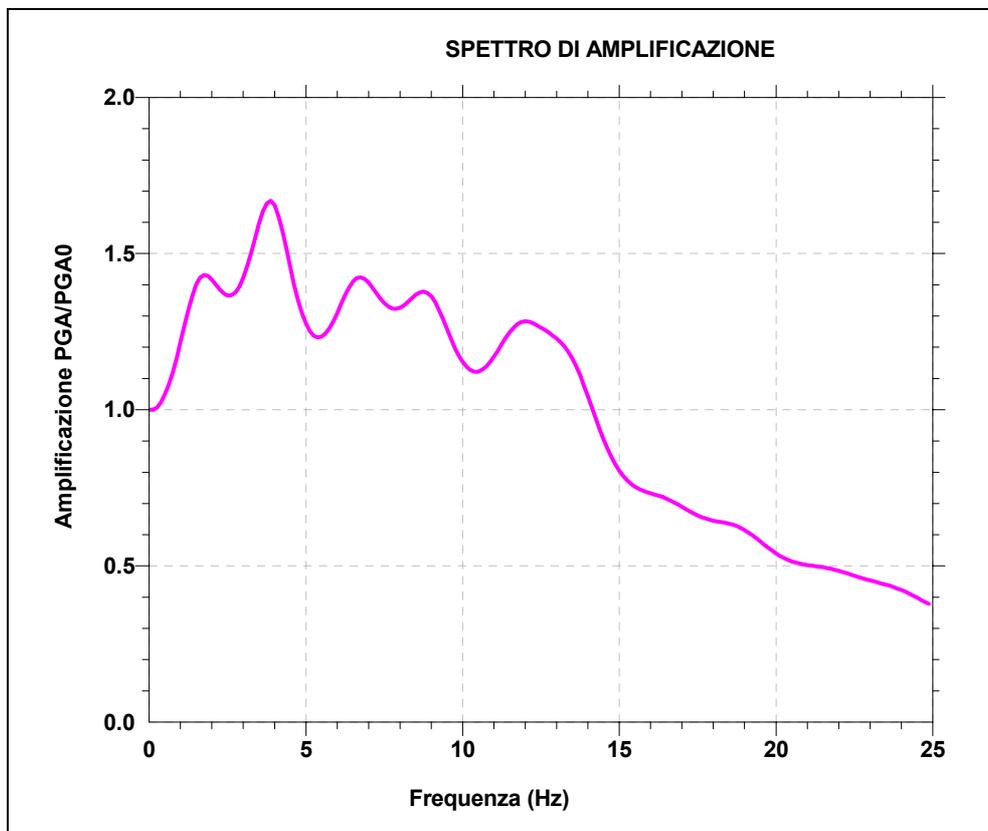


Figura 4.3b Funzione di trasferimento del moto oscillatorio del sisma lungo la colonna litologica tipo

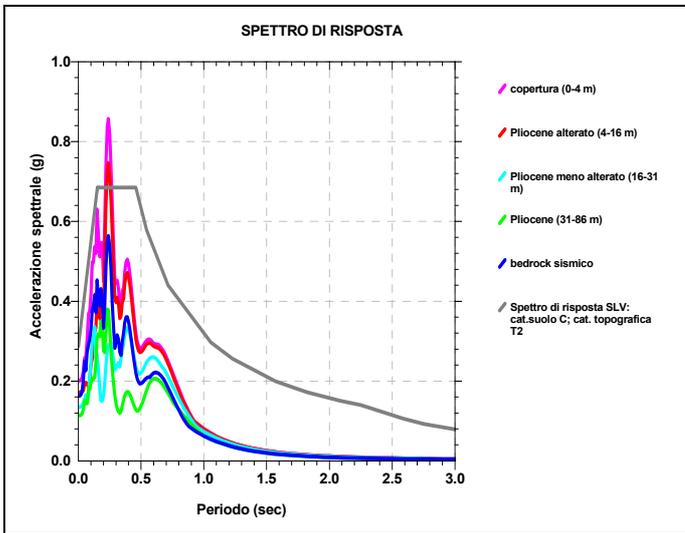


Figura 4.3c Spettro di risposta relativo alla pseudoaccelerazione PSA, confronto con spettro SLV-INPUT 000046

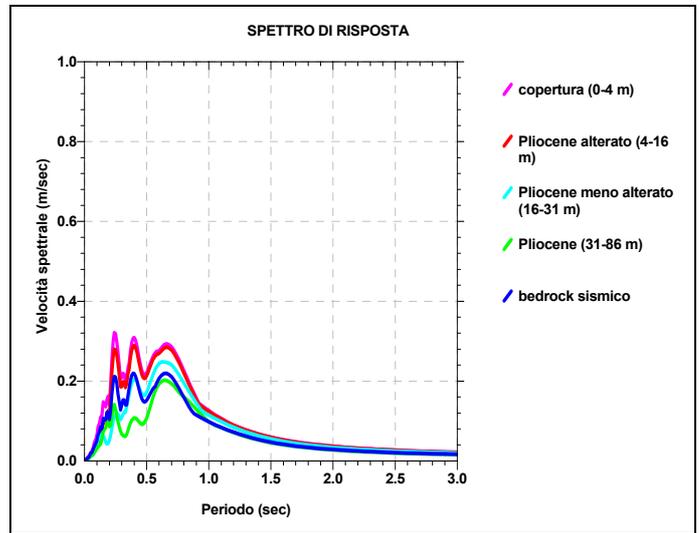


Figura 4.3d Spettro di risposta relativo alla pseudovelocità PSV- INPUT 000046

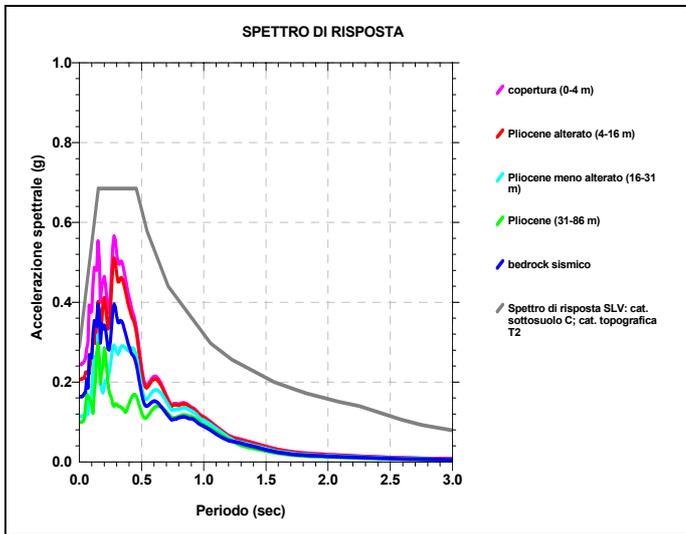


Figura 4.3e Spettro di risposta relativo alla pseudoaccelerazione PSA, confronto con spettro SLV INPUT 000126

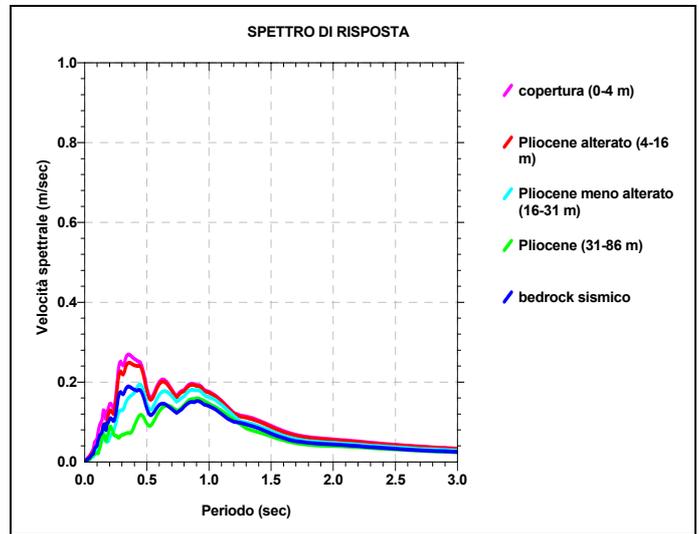


Figura 4.3f Spettro di risposta relativo alla pseudovelocità PSV, INPUT 000126

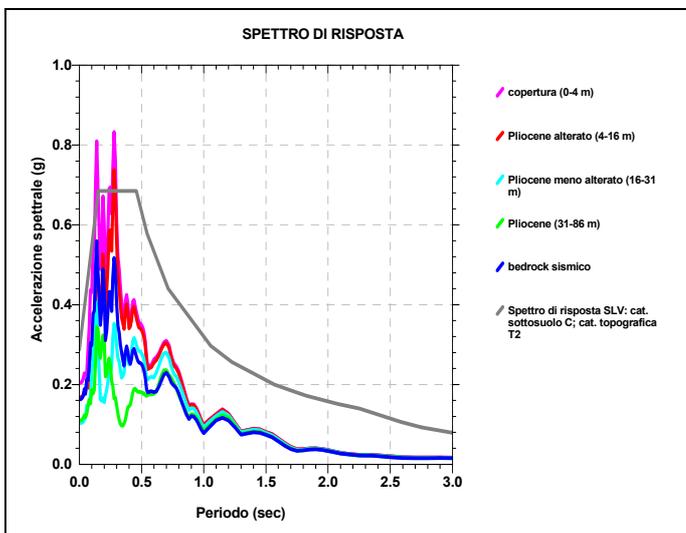


Figura 4.3g Spettro di risposta relativo alla pseudoaccelerazione PSA, confronto con spettro SLV INPUT 000354

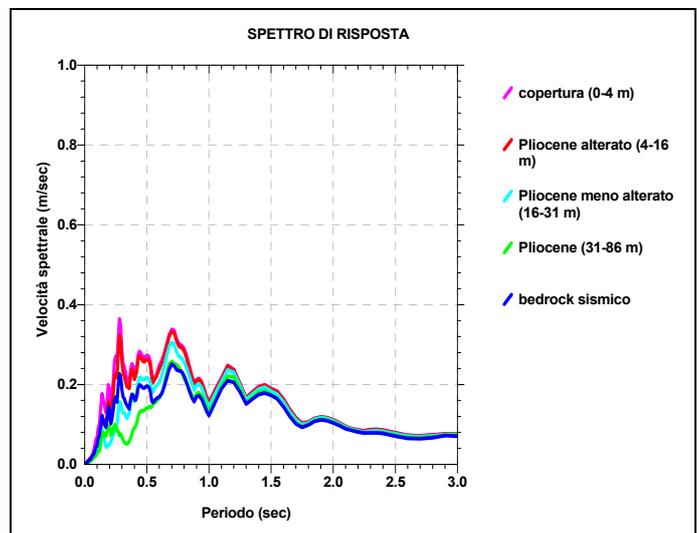


Figura 4.3h Spettro di risposta relativo alla pseudovelocità PSV, INPUT 000354

5. CARATTERIZZAZIONE DEGLI AMBITI DI POC

CARATTERIZZAZIONE SISMICA

Per la caratterizzazione sismica ci si è riferiti naturalmente ai paragrafi precedenti riguardo: la possibilità di correlare le proprietà geologiche e fisiche delle verticali indagate per ampi spazi; la stima delle amplificazioni locali attese, e la classificazione dei "suoli di fondazione". L'elaborazione dei modelli sismici, tuttavia, se migliora la prestazione del piano in termini di migliorare il bagaglio informativo nelle prime fasi della progettazione, costringe anche ad un confronto con i parametri tabellari della delibera della regione Emilia-Romagna. Tutti i risultati, quelli ottenuti con i modelli locali ed i parametri regionali, sono ordinati in tabelle che riportano i dati essenziali. I valori desunti dalle tabelle regionali sono stati riportati per confronto, e, come si può constatare, sono più cautelativi di quelli derivanti dai modelli presentati in questo lavoro, anche per il modello pianura che ha determinato un bedrock con V_s a 800 m/s.

A livello di progettazione preliminare ed esecutiva occorrerà derivare i parametri utili per il calcolo strutturale direttamente da prove eseguite nello specifico ambito di progetto, come prescritto dalle normative vigenti. I parametri presentati hanno quindi solamente valore indicativo riguardo alle "condizioni" strutturali di edificabilità dei vari ambiti considerati.

Tra gli ambiti della collina, tre di questi presentano un fattore di amplificazione topografico che verrà trattato nelle tabelle specifiche.

La suscettibilità alla liquefazione degli strati di spessore significativo (maggiore di un metro) è stata valutata sulle verticali di sondaggio e di penetrazione. In nessun caso si sono rinvenute le condizioni tessiturali necessarie per prelevare anche un solo un semplice campione da cui derivare il fuso granulometrico. Tutti i dati esaminati sondaggi diretti, la successione del Tiepido, i sondaggi di repertorio, le penetrometrie statiche, hanno mostrato la grande preponderanza delle tessiture grossolane o molto fini. Le tessiture sabbiose, quando presenti hanno mostrato po-

tenza inferiore al metro, o abbondanza della componente argilloso limosa. Non si sono rinvenute le condizioni minime per predisporre analisi specifiche riguardo i processi di densificazione / liquefazione negli ambiti di POC di Maranello. Questa considerazione non esime tuttavia dall'affrontare sempre con grande attenzione questo tema anche in fase di indagini geognostiche per i PUA e per le fasi progettuali di massima ed esecutive

CARATTERIZZAZIONE GEOMECCANICA

Per la caratterizzazione geotecnica, in assenza di ogni riferimento progettuale, decisamente prematuro in questa fase della pianificazione, si è proceduto calcolando la pressione ammissibile (Qad) dai parametri fondamentali ricavati dalle prove geognostiche effettuate e di repertorio. La formula di calcolo utilizzata è quella classica di Terzaghi:

$$Q_{ult} = C N_c + \gamma D N_q + 0,5 \gamma B N_{\gamma} \quad (1)$$

valida per condizioni drenate (angolo di attrito interno $\phi \neq 0$), cioè per la stabilità nel lungo periodo in sedimenti granulari; nei sedimenti coesivi la stessa equazione si semplifica dell'ultimo termine, che si annulla per ϕ tendente a 0. Ora si è dimostrato che, nei sedimenti coesivi, le condizioni più cautelative per la stima delle pressioni di rottura sono quelle calcolate per la stabilità nel breve periodo (condizioni non drenate). Infatti la misura dell'angolo di attrito interno efficace nelle argille drenate, non può essere effettuata se non falsando le condizioni di esecuzione della misura, e l'esito contiene sempre una componente ascrivibile invece alla coesione non drenata. La semplice considerazione della coesione non drenata (c_u), come valore riassuntivo dei due parametri drenati (taglio e coesione efficaci), riesce a stimare meglio il comportamento reale dell'ammasso di sedimenti coesivi. Così la relazione (1) diviene:

$$Q_{ult} = 5,14 c_u + 1 \gamma D \quad (2)$$

Lo spessore di sedimenti coinvolti nella "rottura" per fondazioni a trave rovescia, è stimato pari a circa 0,60 m, sotto la profondità d'incastro della struttura. Il calcolo della pressione ultima (Qult), è stato

effettuato utilizzando parametri mediamente validi per lo spessore di 60 cm, considerato a partire da 1,6 metri dal p.c, quota d'incastro di fondazioni a nastro superficiali (D); il peso di volume dei terreni superficiali, è stato considerato mediamente pari a 16 kPa, il valore del carico ammissibile (Qad) si è ricavato adottando il coefficiente di sicurezza 3, di legge.

Occorre però precisare che in realtà è improprio ritenere che il risultato del calcolo della pressione ultima (Qult), e la pedissequa applicazione del coefficiente di sicurezza di legge (3), fornisca la Qad. Infatti, l'ammissibilità della pressione di esercizio di un edificio dipende anche e soprattutto dall'entità dell'interazione struttura-sedimenti, in altre parole dal valore del cedimento assoluto e differenziale in relazione alle caratteristiche della struttura. Pertanto i valori di Qad riportati nelle tabelle devono essere considerati come risultati preliminari e generici, la stima della reale Qad dovrà essere fatta per ogni situazione, una volta noti i dati progettuali e l'entità dei cedimenti effettivamente accettabili dalle strutture.

Le informazioni di base da inserire nella funzione di calcolo, e la scelta tra l'equazione (1) o (2), derivano direttamente dagli esiti delle prove penetrometriche effettuate per questo lavoro, o dal repertorio geognostico più volte citato. La trasformazione dei dati numerici nei parametri riportati nelle tabelle è stata effettuata con le seguenti relazioni:

- i valori di ϕ' (angolo di attrito efficace), ottenuti tramite Durgunoglu e Mitchell, 1973, Meyerhof, 1951-1976, De Beer 1965-67, testate per sabbie N.C e S.C.;
- la densità relativa (D.R.), correlazioni di Schmertmann (1976) ben testate da Baldi (1978) e Lancellotta (1983);
- i valori di c_u , possono essere ricavati anch'essi da varie correlazioni empiriche, in particolare qui si adottano quelle di Terzaghi, Lunne-Robertson-Powel (1977), Baligh et all. (1980), tra le più note e cautelative in termini di risultati forniti;
- i valori di OCR (grado di sovraconsolidazione), che permettono di ricostruire lo stato tensionale dell'intervallo roccioso attraversato, Ladd e all. (1977), Piacentini-Righi (1978).

I dati utilizzati ed i risultati ottenuti sono riportati, per ogni comparto nelle tabelle riportate nei paragrafi seguenti.

5.1 AMBITI DELLA COLLINA

Ambiti distinti in figura 2.2d con le sigle : <AC.c –S. Venanzio>; <Ac.c –Fogliano>; <Ar.2h –Fogliano>; <ES – il Poggio>.

5.1.1 Pericolosità sismica

Tutti gli ambiti sono classificati come suolo di fondazione in categoria "C", la tabella 5.1 riporta l'insieme dei risultati relativi ai fattori di amplificazione (FA) in termini di rapporto di accelerazione massima orizzontale e di rapporto di Housner, ottenuti dai modelli locali elaborati in questo lavoro, e quelli riportati nelle tabelle dell'allegato 2 della delibera regionale 112. L'ingresso alle tabelle è quello di <SUBSTRATO MARINO> per $V_s < 800$ m/s, $V_{sH} = 10$ m, per $V_{s30} = 350$.

Tutti e quattro gli ambiti di collina presentano anche la componente topografica (S_T) dell'amplificazione locale:

- L'ambito <AR.2h –Fogliano> si colloca lungo un pendio con acclività media poco superiore a 15° , e quindi l'amplificazione topografica di categoria T2 (NTC- 2008, pag 37), cioè un coefficiente $S_T = 1,2$;
- L'ambito <ES-il Poggio> è collocato lungo un pendio con acclività media di 13° , quindi l'amplificazione topografica risulta pari a 1;
- gli ambiti <AC.c –S. Venanzio> e <Ac.c –Fogliano> sono localizzati lungo crinali i cui versanti hanno acclività media di circa 17° , presentano dunque i requisiti minimi per entrare nella categoria T3 (NTC- 2008, pag 37), che implica $S_T = 1,2$.

I coefficienti S_T sono di fatto moltiplicatori dell'amplificazione per cui i FA locali devono per questi quattro ambiti essere moltiplicati per 1,2.

Si rammenta che le amplificazioni espresse nelle tabelle regionali sono derivate dal calcolo per bedrock con $V_s > 800$ m/s, pertanto le differenze nei valori di amplificazione dei modelli locali elaborati con

Shake2000, sono da imputarsi alla scelta effettuata di imporre un pseudo bedrock alla profondità di circa 86 metri con Vs di 700 m/s.

Nella tabella si sono riportati i valori di amplificazione Housner (S.I.) più cautelativi tra quelli ricavati per i tre input sismici di ingresso, in questo caso per l'input 000046.

Ambito	Modello	Suolo di fondaz.	FA topograf(ST)	Modello Simulazione			Delibera Regionale n. 112		
				FA PGA	FA SI (0,1-0,5)	FA SI (0,5-1)	<Appennino> Bedrock <800 m/s		
				FA PGA	FA SI (0,1-0,5)	FA SI (0,5-1)	Fa PGA	FA SI (0,1-0,5)	FA SI (0,5-1)
ES-il Poggio	Collina	C	1	1,6*1=1,6	1,4	1,37	1,4*1,2=1,68	1,4	1,4
AR.2h –Fogliano	Collina	C	1,2	1,6*1,2=1,9	1,4	1,37	1,4*1,2=1,68	1,4	1,4
AC.c–S Venanzio	Collina	C	1,2	1,6*1,2=1,9	1,4	1,37	1,4*1,2=1,68	1,4	1,4
Ac.c –Fogliano	Collina	C	1,2	1,6*1,2=1,9	1,4	1,37	1,4*1,2=1,68	1,4	1,4

Tabella 5.1 - Sintesi dei fattori di amplificazione sismica.

Nessuno degli ambiti del contesto collinare presenta condizioni di suscettibilità a liquefazione o densificazione dei sedimenti se sottoposti ad impulsi ciclici (sisma)

5.1.2 Caratterizzazione geotecnica

Secondo le specifiche riportate all'inizio del capitolo 5, il calcolo fondato sulle prove geognostiche indicate, ha fornito i valori di pressione ammissibile riportati nella tabella 5.2.

Ambito	Sigla prova	c_u [kPa]	φ' [°]	Qad [kPa]	Note
ES-il Poggio	S3, Tr18, Tr1	55		100	Già edificato, a garanzia di nuova edificazione. Movimenti di gravità che possono interferire.
AR.2h –Fogliano	DIN10, Tr15	60		100	Substrato prossimo, versante >15°
AC.c–S Venanzio	SS17, Tr20				Già edificato, a garanzia di nuova edificazione. versanti > 15°
Ac.c –Fogliano	SS27, Tr 20				Già edificato, a garanzia di nuova edificazione. versanti > 15°

Tab. 5.2 - sintesi delle informazioni geologico tecniche di caratterizzazione degli ambiti di POC.

I risultati riportati nella tabella devono essere assunti come preliminari e richiedono l'esecuzione di ulteriori indagini specifiche in ossequio alle normative vigenti sia nella fase di PUA, sia in quelle più propriamente progettuali ed esecutive.

Ambito <ES – il Poggio>

Il sondaggio S3 (vedi in appendice la figura 2.2f) mostra che fino a circa 2,4 metri di profondità è presente una copertura di detrito parzialmente pedogenizzata, poi, tra -2,4 e -3,7 metri, un suolo poco maturo ma con segni di decarbonatazione. Si tratta con probabilità di un suolo sepolto sotto una modesta coltre limoso argillosa derivata da processi di soliflusso misti al naturale decadimento del versante sovrastante. Il rinvenimento di resti di impianti radicali sub verticali poco oltre i 5 metri di profondità confermerebbe questa tesi: un modesto accumulo superficiale ha sepolto un suolo sotto una coltre di poco meno di 2 metri di spessore in tempi relativamente recenti.

Il substrato poco alterato è stato rinvenuto a 8,5 metri di profondità, l'intervallo tra le quote -3,7 e -5 metri è formato da rocce argillose prive

di struttura, l'intervallo tra -5 e 8,5 da alternanze di rocce con diverso grado di alterazione.

La Formazione del Termina, ben riconoscibile, attraversata tra -8,5 e -13,5, è costituita da argilliti fortemente scagliose, le faccette di pressione hanno dimensioni sub centimetriche, l'intero sondaggio è risultato secco.

Su due campioni raccolti, C1 tra 3,6 e 3,9 e C2 tra 11,2 e 11,4, si sono ricavati i limiti di Atterberg, in appendice i certificati di laboratorio. Utilizzando le relazioni di Jamiolkoski et Al, 1979 si ottiene per il taglio di picco (ϕ') un intervallo di variazione compreso tra 26° e 30° ; e di Lupini et Al, 1981, un intervallo di valori per il taglio residuo (ϕ'_{res}) tra 20° e 30° . Ovviamente queste informazioni sono utili solamente in un contesto di conoscenza preliminare, esse infatti sono ricavate, almeno per C2 in modo improprio: le relazioni citate sono valide solamente per argille NC (normal consolidated), mentre quelle della Formazione del Termina sono state sottoposte al completo rammollimento per la verifica dei limiti liquido e plastico.

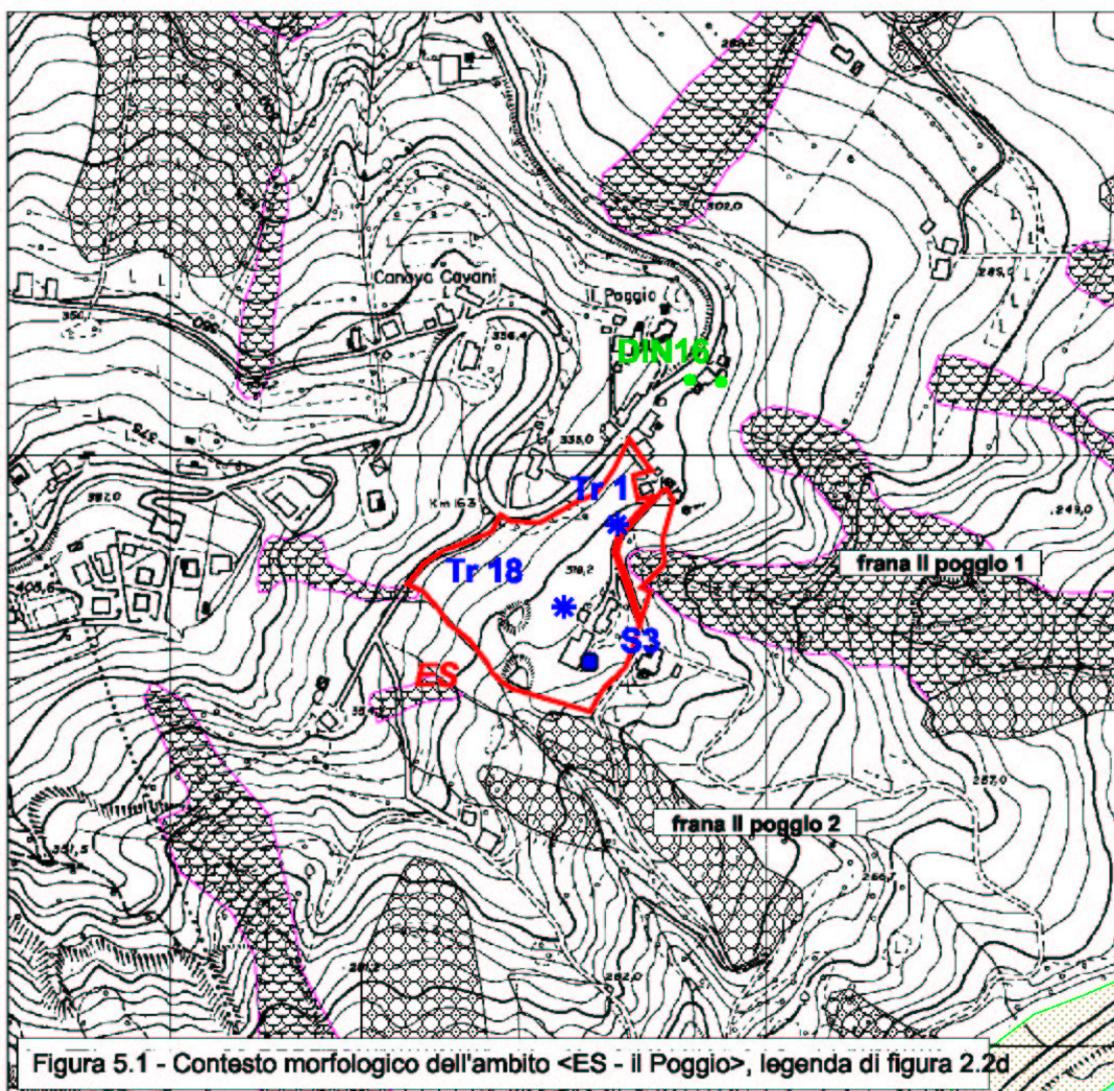
L'esecuzione in cantiere di prove con scissometro è stata impedita dalla completa assenza di acqua nei campioni a quote inferiori a 3 metri dal p.c, e quindi dall'impossibilità di inserire lo strumento nella carota senza polverizzare il campione.

I parametri ricavati consentono di confermare che la coesione delle argille marnose del Termina, se impregnate d'acqua, si mantiene su valori attorno a $60 \div 80$ kPa, mentre i parametri meccanici della formazione non o poco alterata, non sono stati determinati.

L'edificabilità geomeccanica dell'ambito, superati i primi tre metri di detriti e suoli, appare garantita.

L'edificabilità morfologica appare invece più complessa. L'ambito ha una situazione geologica locale particolare, a causa della presenza di alcuni movimenti franosi attualmente quiescenti (non attivi da alcuni anni). La figura 5.1 mostra la disposizione dei movimenti di gravità indicati nella cartografia geologica regionale, e verificati nel corso del rilevamento. A questi si può aggiungere un movimento con probabilità solo

superficiale, non indicato nella figura, che ha coinciso con il rifacimento del muro di sostegno della strada “n. 12 Abetone – Brennero”, ed oggi non più visibile e perimetrabile.



Le due frane indicate nella figura come “il poggio 1” ed “il poggio 2” sono slide rotazionali con tendenza a trasformarsi in colate, come si verifica di frequente nelle formazioni argillose dell’Appennino. Il piano di scorrimento è generalmente superficiale (entro i 6 ÷ 10 metri) e coinvolge il suolo e la parte più alterata della formazione geologica.

Nel nostro caso, estrapolando il dato del sondaggio S3 si avrebbero circa 6,5 metri tra coperture e spessore molto alterato, è dunque probabi-

le che le frane in parola abbiano uno sviluppo verticale di questa entità. La frana poggio 1 è certamente il frutto di più slide coalescenti e consecutivi (almeno 3 ben distinguibili, forse un quarto al margine della figura).

La capacità di retrogradazione di questi movimenti è stata più volte accertata, è dunque probabile che, negli anni, il ramo meridionale della frana poggio 1 tenda a retrogradare entro l'ambito in parola, fino a coinvolgere la sovrastante strada. Meno preoccupante, almeno nel breve periodo appare la situazione della frana il poggio 2 che all'osservazione diretta mostra ancora qualche evidenza solamente nella zona di corona.

L'edificabilità morfologica sarà condizionata dal posizionamento degli edifici di progetto, rispetto ai movimenti di gravità censiti, al pendio sottostante, alla gestione delle acque di superficie nel versante sopra e sottostante, ed infine alle caratteristiche strutturali.

Tutta la porzione di versante sovrastante la corona del movimento "il Poggio 1" è preclusa all'edificazione. Inoltre, occorrerà conservare una distanza di rispetto dal berma di pendio di almeno 10 metri lineari, ed almeno 40 metri lineari lateralmente alle corone dei movimenti franosi indicati. Occorrerà anche realizzare, prima delle fasi di cantierizzazione, un'efficiente raccolta delle acque di precipitazione (oggi completamente inesistente), ed un loro sicuro smaltimento. Per quanto attiene le strutture di fondazione, non è possibile in questa fase, prescrivere particolari accorgimenti per diminuire la vulnerabilità morfologica, ma si ritiene di consigliare la distribuzione delle sovrappressioni d'esercizio in verticale, entro la parte di formazione meno alterata (pali).

5.2 AMBITI DELLA PIANURA

Ambiti distinti nelle figure 2.2a, 2.2b, dotati di suoli di categoria "B", distinti con la sigla: <AN.1d - Maranello est>, <AN.1e - Pozza>, <AN.1f - Pozza via Nicchio>, <AR.1b - Crociale>, <AR.2d - Sima, ES - Borgo Ca' Frullo>.

Ambiti distinti nelle figure 2.2a, 2.2b, dotati di suoli di categoria "C", distinti con la sigla: <AR.1a - Bell'Italia>, <AR.3c - Bell'Italia>, <ES -

Ca' Colombaro>, <APC.t - Maranello village>, <APSA.i(p) - Sima Nardi>, <APS.i(p) - Maranello Nord>.

5.2.1 Pericolosità sismica

Come già indicato nel § 4.1 per la Pianura è stato composto un unico modello di simulazione, per la discreta correlabilità delle informazioni geologiche e fisiche che caratterizzano l'alta pianura di Maranello, la distribuzione delle V_{s30} mostra intervalli di variazione attorno al limite tra le categorie di suolo "B" e "C" ($330 \text{ m/s} < V_{s30} < 460 \text{ m/s}$), con una prevalenza dei suoli "C" nella parte settentrionale della pianura (alluvioni più recenti, meno dense), ed una prevalenza dei suoli "B" nella parte di pianura in cui è insediato il Capoluogo (alluvioni pleistoceniche, ben addensate).

L'entità della pericolosità sismica calcolata (l'esito del modello) non si modifica con la variazione di categoria di suolo, questa si riflette nella variazione dello "spettro di riferimento" utile al progettista nel calcolo strutturale, è quindi sufficiente riportare l'indicazione degli ambiti che ricadono nelle due categorie.

La tabella 5.3 riporta l'insieme dei risultati relativi ai fattori di amplificazione (FA) in termini di rapporto di accelerazione massima orizzontale e di rapporto di Housner, ottenuti dai modelli locali elaborati in questo lavoro, e quelli riportati nelle tabelle dell'allegato 2 della delibera regionale 112. L'ingresso alle tabelle è quello di <PIANURA1> per bedrock <100 m, per $V_{s30} = 400 \text{ m/s}$, o per $V_{s30} = 350 \text{ m/s}$.

Nella tabella si sono riportati i valori di amplificazione Housner (S.I.) più cautelativi tra quelli ricavati per i tre input sismici di ingresso §4.1, in questo caso per l'input 000354.

Per nessuno degli ambiti del contesto collinare si sono mai riscontrate condizioni di suscettibilità a liquefazione o densificazione dei sedimenti se sottoposti ad impulsi ciclici (sisma).

Ambito	Modello	Suolo di fondaz.	FA topograf(ST)	Modello Simulazione Pseudo Bedrock 800 m/s			Delibera Regionale n. 112 <Pianura1> Vs ₃₀ =400 m/s			
				FA PGA	FA SI (0,1-0,5)	FA SI (0,5-1)	Fa PGA	FA SI (0,1-0,5)	FA SI (0,5-1)	
AN.1d-Maranello est	Pianura	B	1	1,9*1=1,9	1,57	1,13	1,6*1=1,6	1,7	1,9	
AN.1e-Pozza	Pianura	B	1	1,9*1=1,9	1,57	1,13	1,6*1=1,6	1,7	1,9	
AN.1f-Pozza Nicchio	Pianura	B	1	1,9*1=1,9	1,57	1,13	1,6*1=1,6	1,7	1,9	
AR.1b-Crociale	Pianura	B	1	1,9*1=1,9	1,57	1,13	1,6*1=1,6	1,7	1,9	
AR.2d-Sima	Pianura	B	1	1,9*1=1,9	1,57	1,13	1,6*1=1,6	1,7	1,9	
ES-Borgo Ca' Frullo	Pianura	B	1	1,9*1=1,9	1,57	1,13	1,6*1=1,6	1,7	1,9	
				Vs ₃₀ =350 m/s						
AR.1a-Bell'Italia	Pianura	C	1	1,9*1=1,9	1,57	1,13	1,6*1=1,6	1,8	2,1	
AR.3c-Bell'Italia	Pianura	C	1	1,9*1=1,9	1,57	1,13	1,6*1=1,6	1,8	2,1	
ES-Ca' Colombaro	Pianura	C	1	1,9*1=1,9	1,57	1,13	1,6*1=1,6	1,8	2,1	
APC.t-Maranello vil- lage	Pianura	C	1	1,9*1=1,9	1,57	1,13	1,6*1=1,6	1,8	2,1	
APSA.i(p)-Sima Nardi	Pianura	C	1	1,9*1=1,9	1,57	1,13	1,6*1=1,6	1,8	2,1	
APS.i(p)-Maranello Nord	Pianura	C	1	1,9*1=1,9	1,57	1,13	1,6*1=1,6	1,8	2,1	

Tabella 5.3 - Sintesi dei fattori di amplificazione sismica.

La netta prevalenza dei depositi granulari grossolani e le matrici per lo più limose offrono buone garanzie di estrapolazione del dato, tuttavia è opportuno rammentare che la legislazione prescrive l'obbligo di eseguire accurate ricerche rispetto a questa tematica squisitamente locale.

Resta quindi, nelle fasi di PUA ed anche in quelle di progettazione di massima, la necessità di verificare l'assenza di intervalli sabbiosi di potenza superiore al metro nell'intervallo di 15 metri sotto il piano di incastramento delle strutture di fondazione, che possano essere soggetti a liquefazione.

Si sottolinea che il coefficiente di amplificazione topografica indicato è uguale all'unità solamente nel caso in cui vengano rispettate le distanze d'obbligo dalle scarpate dei corsi d'acqua. In particolare gli ambiti che hanno confine lungo la sponda del T. Tiepido, particolarmente ripida ed alta, dovranno rispettare le distanze imposte sia per i corsi d'acqua, sia dalle buone norme costruttive.

5.2.2 Caratterizzazione geotecnica

Secondo le specifiche riportate all'inizio del capitolo 5, il calcolo fondato sulle prove geognostiche indicate, ha fornito i valori di pressione ammissibile riportati nella tabella 5.4. Si sottolinea che i parametri riportati rappresentano valori medi ricavati per fondazioni superficiali a "nastro" incastrate ad una profondità di 1,6 metri e l'intervallo di interesse per la "rottura" è stato considerato pari a 0,6 metri sotto il piano di posa. In molti casi i valori assunti per il calcolo della Qad sono cautelativi rispetto a quelli desumibili dalle prove (soprattutto per le dinamiche), in alcuni casi si sono considerati anche i dati di penetrometrie d'archivio non indicate tra quelle utilizzate per la stratigrafia.

Ambito	Sigla prova	c_u [kPa]	ϕ' [°]	Qad [kPa]	Note
ES-Complesso Ca'Colombaro	SS31,SS35, Tr13				Già edificato, a garanzia di nuova edificazione
APS.i(p)-SIMA nord APS-Maranello nord	DIN17, DIN18, SS5, SS31 SS35, Tr10, Tr12	60	--	120	

AR.1a - Bella Italia	SS28, SS31, SS35, DIN17, DIN18, P1, Tr3, Tr4, Tr11	60	--	120	
AR.3c – Bella Italia	SS1, SS28, SS31, P1, Tr5	65	--	125	Limi e argille fino a -3m dal p.c., ghiaie prevalenti oltre i -7 m
APC.t – Maranello	SC1, SC3, SC4, SC5, CCPT3, CCPT4, DIN14, SS11, SS22, SS24, SS44, MASW2, Tr24	80	--	140	
AR.1b – Crociale	SS1, SS7, SS8, SS9, SS21, SS42, P1, Tr9	65	--	125	
AR.2d – Sima	SS7, SS34, DIN1, DIN2, SS41, SS42, Tr8				Già edificato, a garanzia di nuova edificazione
AN.1d – Maranello est	RIF1, CCPT14, CCPT15, DIN1,DIN2, SS4, SS14, SS32, SS43, DH1, MASW1, Tr6, Tr7	80	--	140	Settore sud con migliori caratteristiche meccaniche, terrazzo superiore
		60	--	120	Settore nord, terrazzo inferiore
ECO-U – Pozza	SS6, SS18, SS30, SS36, SS37, SS38,	70	--	130	

	CCPT4, Tr23					
AN.If – Pozza	SS6, SS18, SS30, SS36, SS37, SS38, TR23	--	30	110		
AN.1e – Pozza	SS13, SS16, SS18, SS36, P2, Tr2	--	40	150	Ghiaie da -1 m a -2 m dal p.c.	
ES – Casa Berri/ Ca' Frullo	SS15, SS17, SS39, TR21, P2	--	40	150	Stesso terrazzo alluvionale di AN.1e	

Tab. 5.4 - sintesi delle informazioni geologico tecniche di caratterizzazione degli ambiti della zona di pianura.

5.3 AMBITI DEL PEDECOLLINA

Ambiti distinti in figura 2.2c con le sigle :

<AR.3f -Gorzano>, <AN1.i -Gorzano>, <APA -Ca Galassi>, <APA -Casone>, <ARP-via Rondine>, <AR.1c - Torre Oche>.

5.3.1 Pericolosità sismica

Si tratta di ambiti caratterizzati dalla presenza di una copertura alluvionale, per lo più discretamente addensata che sovrasta di uno spessore variabile tra 7 e 14 metri il substrato roccioso (Argille Azzurre del Pliocene), e dalla loro localizzazione nella fascia antistante i primi rilievi sentiti.

Tutti gli ambiti sono classificati come suolo di fondazione in categoria "C", la distribuzione delle V_{s30} mostra un intervallo di variazione vicino al limite con la categoria di suolo "B": $320 \text{ m/s} < V_{s30} < 375 \text{ m/s}$, con un massimo (già suolo "B") a Torre Oche. La tabella 5.5 riporta l'insieme dei risultati relativi ai fattori di amplificazione (FA) in termini di rapporto di accelerazione massima orizzontale e di rapporto di Housner,

ottenuti dai modelli locali elaborati in questo lavoro, e quelli riportati nelle tabelle dell'allegato 2 della delibera regionale 112. L'ingresso alle tabelle è quello di <SUBSTRATO MARINO> con $V_s < 800$ m/s e $V_H = 15$ m, per $V_{s30} = 350$.

Nella tabella 5.5 si sono riportati i valori di amplificazione Housner (S.I.) più cautelativi tra quelli ricavati per i tre input sismici di ingresso §4.1, in questo caso per l'input 000354.

Ambito	Modello	Suolo di fondaz.	FA topograf (ST)	Modello Simulazione Pseudo Bedrock 700 m/s			Delibera Regionale n. 112 <Pianura1> $V_{s30} = 350$ m/s		
				FA PGA	FA SI (0,1-0,5)	FA SI (0,5-1)	Fa PGA	FA SI (0,1-0,5)	FA SI (0,5-1)
AR.3f-Gorzano	pedecollina	C	1	1,45*1=1,45	1,27	1,18	1,8*1=1,8	1,7	1,4
AN1.i-Gorzano	pedecollina	C	1	1,45*1=1,45	1,27	1,18	1,8*1=1,8	1,7	1,4
APA-Ca Galassi	pedecollina	C	1	1,45*1=1,45	1,27	1,18	1,8*1=1,8	1,7	1,4
APA-Casone	pedecollina	C	1	1,45*1=1,45	1,27	1,18	1,8*1=1,8	1,7	1,4
ARP-v Rondine	pedecollina	C	1	1,45*1=1,45	1,27	1,18	1,8*1=1,8	1,7	1,4
AR.1c-Torre Oche	pedecollina	C	1	1,45*1=1,45	1,27	1,18	1,8*1=1,8	1,7	1,4

Tabella 5.5 - Sintesi dei fattori di amplificazione sismica.

Per nessuno degli ambiti del contesto collinare si sono mai riscontrate condizioni di suscettibilità a liquefazione o densificazione dei sedimenti se sottoposti ad impulsi ciclici (sisma). E' tuttavia opportuno rammentare che la legislazione prescrive l'obbligo di eseguire accurate ricerche rispetto a questa tematica squisitamente locale. Resta quindi, nelle fasi di PUA ed anche in quelle di progettazione di massima, la necessità di verificare l'assenza di intervalli sabbiosi di potenza superiore al metro

nell'intervallo di 15 metri sotto il piano di incastro delle strutture di fondazione, che possano essere soggetti a liquefazione.

5.3.2 Caratterizzazione geotecnica

Secondo le specifiche riportate all'inizio del capitolo 5 il calcolo fondato sulle prove geognostiche indicate ha fornito i valori di pressione ammissibile riportati nella tabella 5.6, sia pure con le cautele ed avvertenze più volte espresse.

Ambito	Sigla prova	c_u [kPa]	φ' [°]	Qad [kPa]	Note
AR.3f-Gorzano	SS17, SS33		30	120	
AN1.i-Gorzano	SS19, SS20, SS23, DIN17, DIN9, DIN11, Tr16, MASW3		35	130	
APA-Ca Galassi	SS17, Tr20		32		Già edificato, a garanzia di nuova edificazione
APA-Casone	SS27, Tr 20				Già edificato, a garanzia di nuova edificazione
AR.1c-Torre Oche	SS2, SS29, Tr14, DPSH4, MASW4		38	130	
ARP-v Rondine	Tr19				Già edificato, a garanzia di nuova edificazione

Tab. 5.6 - Sintesi delle informazioni geologico tecniche di caratterizzazione degli ambiti della zona di pianura.