

# PROGRAMMA DI RIQUALIFICAZIONE AMBITO “AR (S-F) EX CISA-CERDISA”

ATTUAZIONE DELLO SCHEMA DI ACCORDO AI SENSI DELL'ART 18 L.R. 20/2000



**COMUNI DI  
SASSUOLO E FIORANO MODENESE**



**P.O.C**  
**CON VALENZA DI P.U.A DEL PRIMO STRALCIO  
FUNZIONALE**

## **Relazione Geologico Sismica**

**I Tecnici Progettisti:**

Arch. Giuseppe Gervasi  
Ing. Danilo Dallari



**I Tecnici Specialistici:**

Geol. Valeriano Franchi  
Geol. Alessandro Ghinoi  
Geol. Marco Sacchi



Marzo 2017

**Allegato E.1**



## INDICE

<b>1. PREMESSA</b>	<b>3</b>
<b>2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE</b>	<b>5</b>
<b>3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO ED IDROGEOLOGICO</b>	<b>8</b>
3.1. Lineamenti geologici generali	8
3.2. geomorfologia	15
3.3. Idrografia superficiale ed idrogeologia	16
<b>4. INDAGINI GEOGNOSTICHE E MODELLO GEOLOGICO-GEOTECNICO</b>	<b>20</b>
<b>5. INDAGINE SISMICA</b>	<b>27</b>
<b>6. MICROZONAZIONE SISMICA</b>	<b>28</b>
<b>7. ANALISI DI RISPOSTA SISMICA LOCALE</b>	<b>31</b>
7.1. Suscettibilità a liquefazione e cedimenti post-sismici	36
<b>8. INDAGINE AMBIENTALE</b>	<b>37</b>
<b>9. SINTESI DEI RISULTATI E CONCLUSIONI</b>	<b>39</b>

## 1. PREMESSA

La presente Relazione Geologica e Sismica è redatta a supporto del POC dell'area progetto di riqualificazione urbanistica denominata AR (S-F), ubicata in parte in Comune di Sassuolo ed in parte in Comune di Fiorano Modenese (Figura 1). Il POC avrà anche valenza di PUA per il primo stralcio definito SUB-Ambito C, in cui è prevista la realizzazione di un centro commerciale e delle infrastrutture di urbanizzazione annesse.

Ogni altro intervento successivo dovrà essere sottoposto ad approvazione di specifici PUA per stralci funzionali.

**La presente Relazione Geologica è quindi redatta anche a supporto del PUA riferito al primo stralcio degli interventi di riqualificazione.**

Nella relazione vengono trattati gli aspetti geologici e sismici inerenti l'area oggetto di riqualificazione urbanistica, di estensione complessiva di circa 386.000 mq, che era occupata principalmente dagli stabilimenti ceramici dismessi ed ora demoliti della ex CISA-CERDISA, attualmente di proprietà della società Ceramiche Industriali di Sassuolo e Fiorano S.p.A (CISF).

Detta area, unitamente a 460 mq di proprietà della ditta ARCA S.p.A. e ad altre aree di proprietà privata e pubblica, compongono un comparto edificato classificato dal PSC dei due comuni di Sassuolo e Fiorano Modenese come ambito da riqualificare di rilievo sovra comunale EX CISA-CERDISA, dislocato sui territori confinanti dei due comuni.

Lo studio è stato condotto nel rispetto delle normative vigenti in materia, DM 11.03.1988, con riferimento specifico agli aspetti sismici come da DM 14.01.2008.

Per l'adempimento delle specifiche normative, sono stati effettuati vari sopralluoghi sull'area al fine di verificarne l'idoneità geologica e geomorfologica. Per la caratterizzazione litostratigrafica e geotecnica dei terreni di sottofondazione, sono stati utilizzati i dati ottenuti durante la campagna di sondaggi ambientali che ha interessato l'intero ex-comparto ceramico svolta dallo scrivente, nonché sono stati acquisiti i risultati di diverse prove geognostiche pregresse ubicate all'interno dell'Ambito in oggetto e nelle zone limitrofe, eseguite a supporto dei PSC dei due comuni.

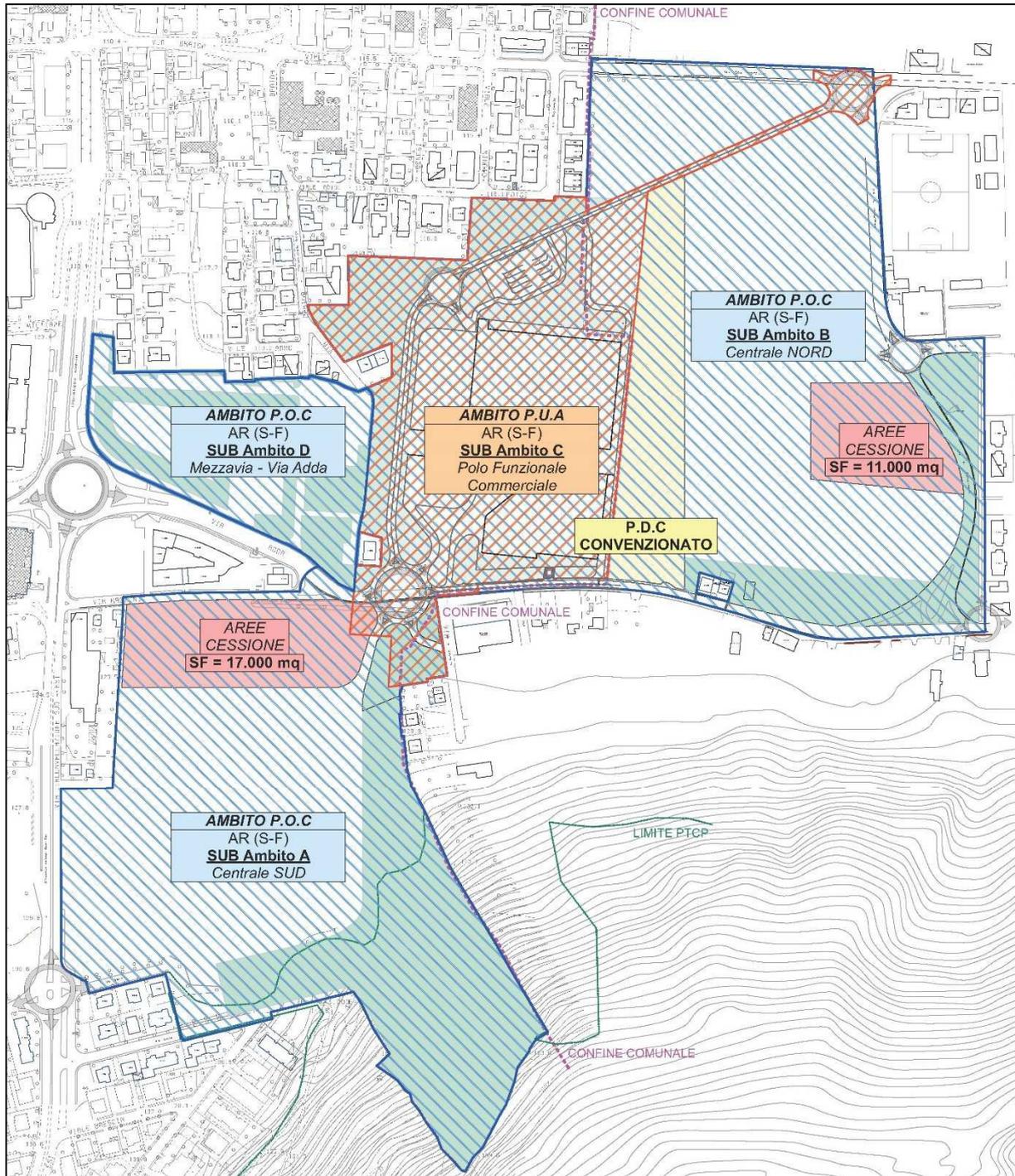
Per la classificazione sismica dei terreni di sottofondazione e per il calcolo del parametro di normativa  $V_{s30}$ , sono stati utilizzati i dati già esistenti di prove a sismica attiva MASW e sismica passiva ReMi effettuate all'interno e all'esterno dell'Ambito, sempre a supporto dei PSC comunali.

La relazione si articola nel seguente modo:

- Inquadramento geografico - fisico
- Inquadramento geologico, geomorfologico ed idrogeologico
- Indagini geognostiche e modello geologico-geotecnico
- Indagine sismica
- Definizione dell'azione sismica di base
- Effetti di sito
- Sintesi dell'analisi dei dati raccolti e conclusioni

## ALLEGATI

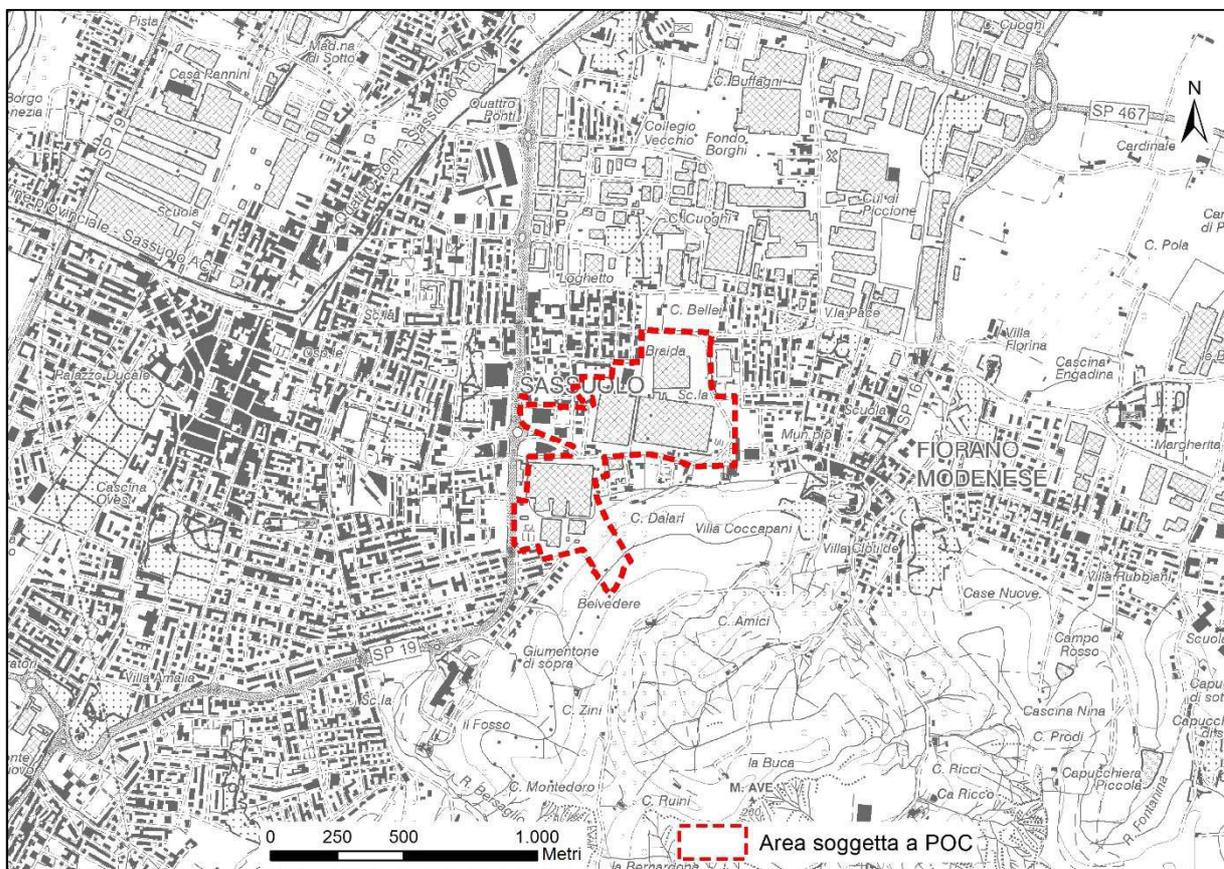
**Figura 1 – Inquadramento dell'area soggetta a POC e dei relativi SUB-Ambiti tra cui quello soggetto a PUA (SUB-Ambito C).**



## 2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE

L'area interessata dalla riqualificazione, ricade nella fascia di alta pianura modenese, alle pendici dei primi rilievi collinari, nella zona di confine tra il Comune di Sassuolo ed il Comune di Fiorano Modenese. In particolare, l'area è compresa tra Via Braida a nord, Via Lamarmora ad est, la circonvallazione di Sassuolo ad ovest, ed i primi rilievi appenninici a sud; l'area indagata è inoltre attraversata nella parte centrale dalla ex Strada Statale N. 467 con direzione ovest-est, che la divide in due parti: quella a monte, a sud della statale, quasi interamente in Comune di Sassuolo e quella a valle, a nord della statale e molto più estesa, in parte in Comune di Sassuolo ed in parte in Comune di Fiorano Modenese.

**Figura 2 - Corografia area soggetta a POC (Carta topografica R.E.R. Tavola 219 NO "Sassuolo")**

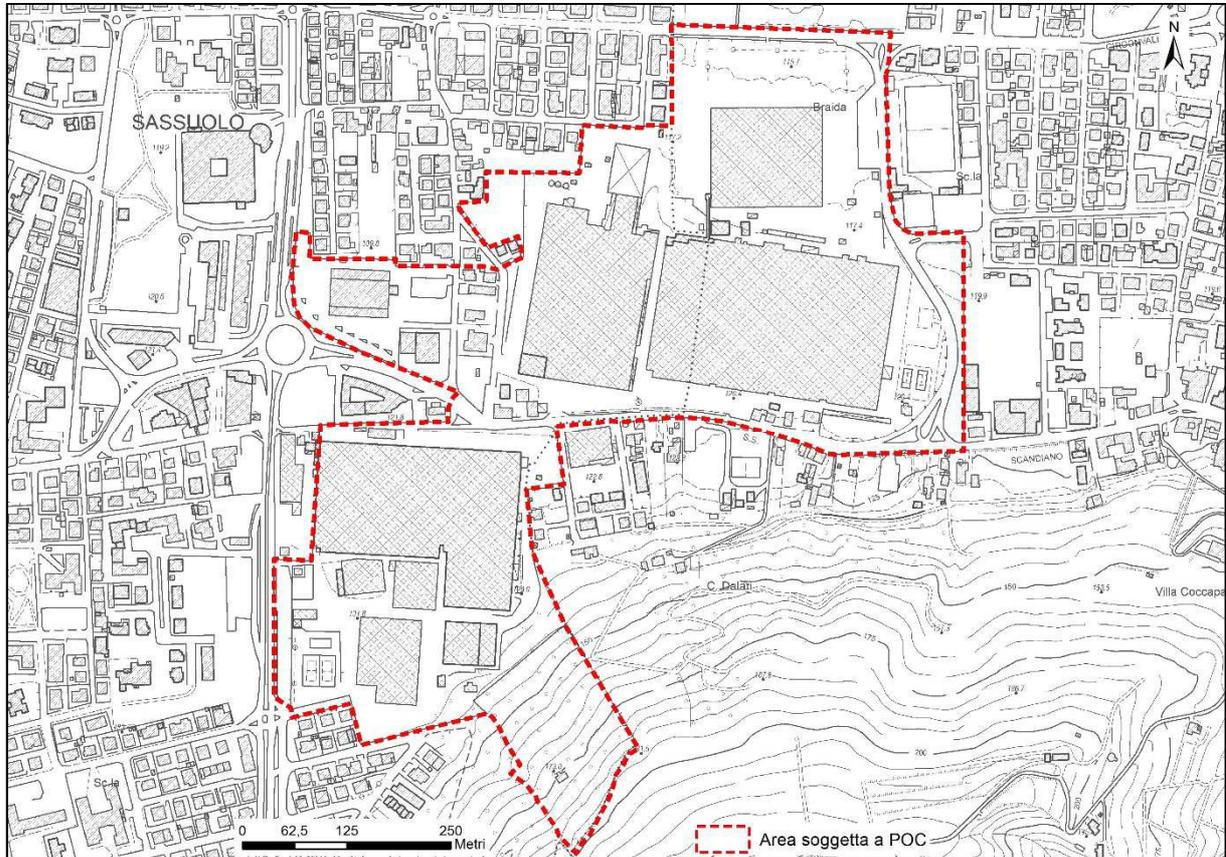


Dal punto di vista topografico ci si trova in corrispondenza di un'ampia area sub-pianeggiante di alta pianura, con una leggera pendenza verso nord, con quote che variano da 135 m s.l.m. nelle zone più meridionali a 115 m s.l.m. nella parte più settentrionale.

L'area è compresa nella seguente cartografia regionale:

- Tavola alla scala 1:25.000 nr. 219 NO denominata "Sassuolo" (Figura 2);
- Sezione alla scala 1:10.000 nr. 219060 denominata "Sassuolo";
- Elemento alla scala 1:5.000 nr. 219061 denominato "Fiorano Modenese" (Figura 3).

**Figura 3– Ubicazione area soggetta a POC (C.T.R. della R.E.R. Elemento n. 219061 “Fiorano Modenese”)**



Il sistema idrografico è rappresentato dai rii e fossi minori che costituiscono il sistema di scolo delle acque piovane dei primi rilievi appenninici, tra i quali si ricorda il Rio Corlo, Rio Bersaglio, Rio Fossetta, ecc.

Il corso d'acqua principale che scorre nelle vicinanze all'area studiata, circa 2,5 km in direzione ovest, è rappresentato dal Fiume Secchia.

Il clima del Comune di Sassuolo, nel quale ricade la maggior parte dell'area indagata ma che non si discosta dal clima del Comune di Fiorano Modenese, è caratterizzato, nel periodo 1991-2008, da precipitazioni totali annue, in media, di 761 mm e temperature medie annue di 13.9°C, pari, rispettivamente, ad una variazione di -15 mm e +0.9°C rispetto al periodo 1961-1990.

**Figura 4 - Ubicazione area soggetta a POC (Ortofoto multifunzione - AGEA 2014 - RGB)**



### 3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO ED IDROGEOLOGICO

#### 3.1. LINEAMENTI GEOLOGICI GENERALI

Per inquadrare i caratteri geologici e litologici dell'area soggetta a POC e di un suo intorno significativo, si è fatto riferimento al materiale presente in bibliografia ed in particolare sono stati utilizzati la "Carta Geologica della Pianura dell'Emilia-Romagna" in scala 1:250.000 e la "Carta geologica del margine appenninico e dell'alta pianura tra i fiumi Secchia e Panaro" a scala 1:25.000 (Gasperi, 1987).

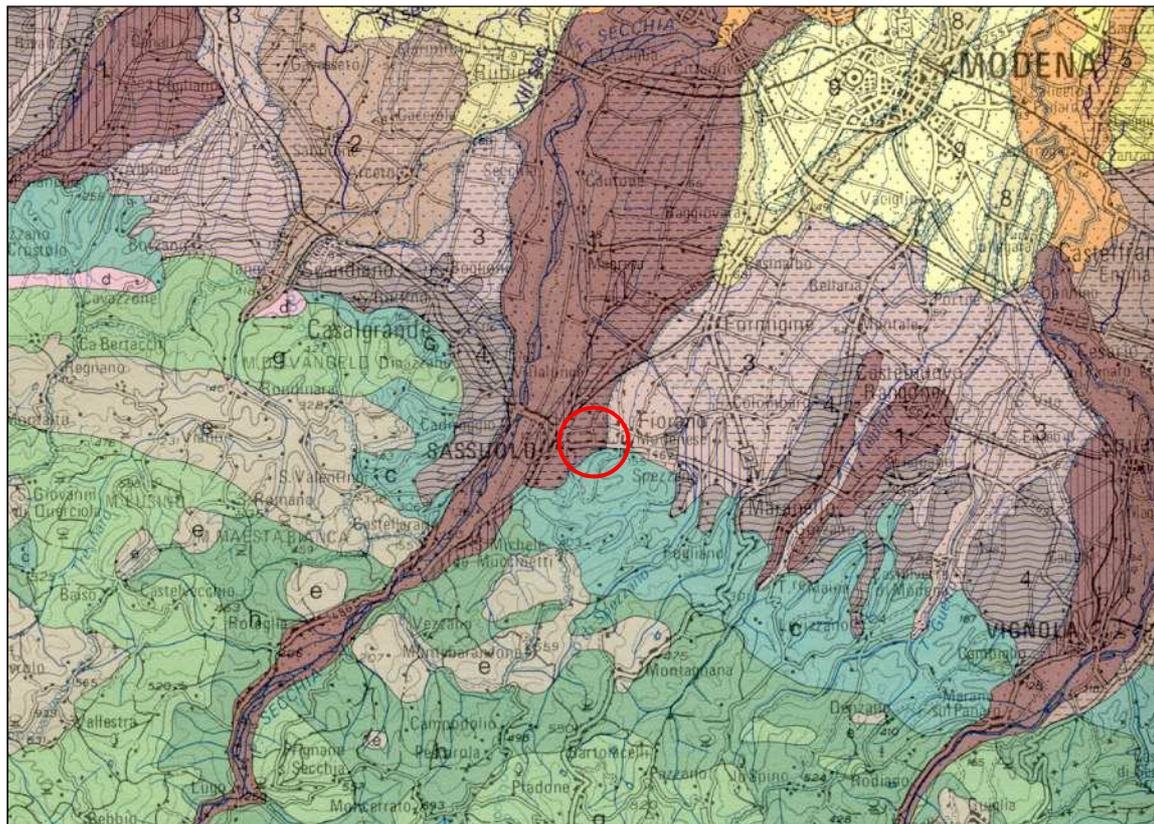
L'area in studio appartiene all'alta pianura modenese e ricade, da un punto di vista geologico, nella parte centro-meridionale del grande bacino subsidente Plio-quadernario Padano, nella fascia pedecollinare, ai piedi dei primi rilievi appenninici. In particolare si colloca in un settore deposizionalmente influenzato dalle alluvioni quaternarie e oloceniche del Fiume Secchia e di vari torrenti appenninici minori. Tali alluvioni hanno generato depositi a granulometria assai variabile, sia in senso areale che verticale, con prevalenza di clasti grossolani in prossimità del corso del Fiume Secchia e dei tracciati, sia attuali che passati, dello stesso fiume e di alcuni corsi d'acqua minori.

In Figura 5 è riportato un estratto della "Carta geologica della pianura dell'Emilia-Romagna", desunta dallo studio eseguito sui territori della pianura da parte della Regione Emilia-Romagna; da tale cartografia risulta evidente come la litologia superficiale dell'area in esame sia dominata da litotipi prevalentemente ghiaiosi-sabbiosi e, in particolare, per l'area in esame, la litologia superficiale sia caratterizzata da ghiaie e sabbie di conoide e terrazzo legate al corso del Fiume Secchia, intercalate a sabbie e sabbie limose in strati di spessore decimetrico. Depositi più fini, limosi e limo-argillosi si rinvencono nella parte orientale, nei settori intermedi tra gli sbocchi vallivi dei corsi d'acqua principali.

La parte più meridionale dell'area confina con il margine appenninico ove affiorano terreni prevalentemente argillosi e marnosi, lungo tutta la fascia dei primi rilievi collinari.

L'insieme dei depositi continentali quaternari, affioranti nel margine appenninico-padano o ad essi correlati nel sottosuolo della pianura, appartengono al Supersistema Emiliano-Romagnolo del Pleistocene medio-Olocene. La base di questo Supersistema poggia, in discordanza angolare, sui depositi litoranei delle Sabbie di Imola o su sedimenti marini più antichi; il suo limite superiore coincide con la superficie topografica.

**Figura 5 – Carta Geologica della Pianura dell’Emilia Romagna (fonte RER)**



DEPOSITI ALLUVIALI ALLUVIAL DEPOSITS		GRANDI UNITA' LITOLOGICHE dell'Appennino Emiliano-Romagnolo LARGE SCALE LITHOLOGIC UNITS OF THE EMILIA-ROMAGNA APENNINE	
<b>CONOIDI E TERRAZZI ALLUVIALI ALLUVIAL FAN AND TERRACE</b>			
1	<p>Ghiaie e sabbie in corpi canalizzati e lenticolari amalgamati, intercalate a sabbie e sabbie limose in strati di spessore decimetrico. Depositi di conoide e di terrazzo. Al tetto e all'interno suoli a diverso grado di evoluzione.</p> <p>Gravel and sand in channelled and lenticular bodies amalgamated, intercalated with sand and silty sand in beds tens of centimetres thick. Alluvial fan and terrace. At the top and within, soils of various degree of evolution.</p>	a	<p>Alternanze di conglomerati, sabbie e peliti (depositi lacustri e fluvioacustri quaternari). Conglomerati intercalati a sabbie e peliti (lacustri e fluvioacustri quaternari).</p>
2	<p>Sabbie, limi sabbiosi e limi, in strati di spessore decimetrico, ghiaie sabbiose e sabbie in corpi canalizzati e lenticolari. Depositi di conoide e di terrazzo. Al tetto e all'interno suoli a diverso grado di evoluzione.</p> <p>Sand, silty sand and silt in beds tens of centimetres thick; sandy gravel and sand in channelled or lenticular bodies. Fan and terrace deposits. At the top and within, soils of various degree of evolution.</p>	b	<p>Prevalenti sabbie ed areniti generalmente poco cementate</p> <p>Sands and sandstones usually poorly cemented.</p>
3	<p>Limi e limi argillosi in strati di spessore decimetrico, subordinatamente ghiaie e ghiaie sabbiose in corpi canalizzati e lenticolari. Depositi di conoide e di terrazzo. Al tetto e all'interno suoli a diverso grado di evoluzione.</p> <p>Silt and clayey silt in beds tens of centimetres thick; small amounts of gravel and sandy gravel in channelled and lenticular bodies. Alluvial fan and terrace. At the top and within, soils of various degree of evolution.</p>	c	<p>Prevalenti argille e marne con intercalazioni di areniti, conglomerati e rare calcareniti.</p> <p>Clays and marls with sandstones, conglomerates and rare calcarenites.</p>
4	<p>Ghiaie, sabbie, limi e limi argillosi. Depositi alluvionali indifferenziati.</p> <p>Gravels, sands, silts and clayey silts. Undifferentiated alluvial deposits.</p>	d	<p>Gessi, gessoruditi e calcari evaporitici messiniani, talora risedimentati, con intercalazioni di argille bituminose</p> <p>Gypsum, gypsum-conglomerates and evaporitic Messinian limestones, sometime resedimented, intercalated to bituminous clays.</p>
<b>PIANA ALLUVIONALE ALLUVIAL PLAIN</b>		e	<p>Successioni prevalentemente costituite da alternanze di areniti e peliti, generalmente torbiditiche, con rapporto A/P molto variabile, con associati intervalli pelitici alla base e al tetto; rare intercalazioni di depositi caotici.</p> <p>Dominant intercalation of sandstones and mudstones, usually turbiditic, rather variable sandstone to mudstone ratio, and associated bottom and top mudstone, rare intercalations of chaotic deposits.</p>
5	<p>Sabbie medie e fini in strati di spessore decimetrico passanti lateralmente ed intercalate a sabbie fini e finissime limose, subordinatamente limi argillosi; localmente sabbie medie e grossolane in corpi lenticolari e nastri-formi. Depositi di canale e argine prossimale. Al tetto suoli a diverso grado di evoluzione.</p> <p>Medium and fine sand in beds tens of centimetres thick, changing laterally and/or intercalated to fine and very fine silty sand, smaller amount of clayey silt; locally medium and coarse sand in lenticular, ribbon shaped bodies. Channel and proximal levee. At the top, soils with various degree of evolution.</p>	f	<p>Gessi, gessoruditi, dolomie, calcari e marne.</p> <p>Gypsum, gypsum-conglomerates, dolostones, limestones and marls.</p>
		g	<p>Alternanze di marne, argille e calcari, con intervalli pelitico-arenacei, di origine torbiditica; talora intensamente deformati e fratturati.</p> <p>Marls, clays and limestones, with mudstone - sandstone beds, of turbiditic origin; sometime intensely deformed and fractured.</p>

Dal punto di vista geologico, i primi rilievi collinari dell’Appennino Modenese sono formati da rocce a composizione prevalentemente argillosa, riferibili all’Unità delle Argille del T. Tiepido, ovvero alla Formazione delle Argille Azzurre. Si tratta di un’unità litostratigrafica del Pliocene, di ambiente marino, data da argille e argille siltose grigio-azzurre a stratificazione spesso indistinta, talora evidenziata dalla presenza di intercalazioni sabbiose.

Abbondante è la presenza di resti di macrofossili, in prevalenza molluschi, lamellibranchi e brachiopodi. La formazione giace in discordanza sulle unità pre-plioceniche e passa stratigraficamente verso l'alto alle Sabbie di Castelvetro del Pleistocene inferiore. Queste ultime rappresentano un'unità costituita da sabbie e ghiaie di ambiente litorale, affiorante lungo il margine pedecollinare ad alcune centinaia di metri verso est rispetto all'area di studio, e, verso ovest, nell'alveo del Fiume Secchia presso il ponte di Veggia.

Sulle Sabbie di Castelvetro si appoggia, con contatto erosivo conforme, l'Unità di Ca' di Sola. Questa è data da depositi ghiaiosi-sabbiosi e argillosi del Pleistocene inferiore-medio di ambiente fluviale ed affiora verso est rispetto all'area di studio, presso Fiorano. Analoghi sedimenti costituiscono l'Unità di Ubersetto che affiora invece verso nord-ovest nel territorio comunale di Fiorano.

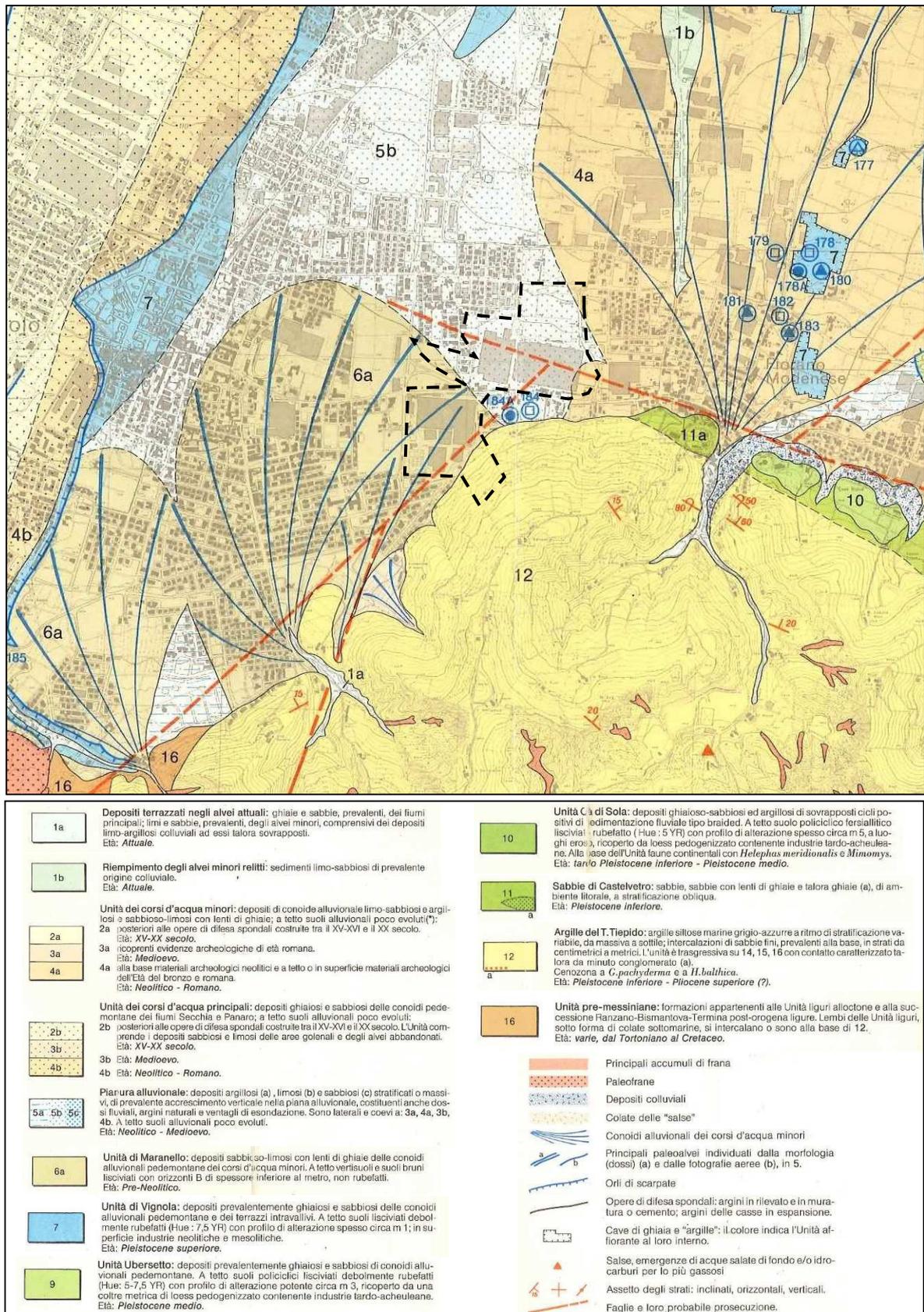
Nella zona di studio, l'assetto strutturale delle unità descritte risulta alquanto complesso. Mentre nella zona collinare propriamente detta le Argille del Torrente Tiepido presentano una giacitura sostanzialmente a monoclinale inclinata verso nord, all'approssimarsi del margine pedecollinare si nota un deciso incremento delle inclinazioni tanto che il contatto tra le argille e le sovrastanti Sabbie di Castelvetro risulta quasi verticalizzato presso l'abitato di Fiorano Modenese. Nella parte inferiore dei versanti della valle del Rio Corlo è possibile addirittura osservare strati rovesciati entro le argille plioceniche.

Tale assetto strutturale è probabilmente collegato alla presenza di una faglia ad andamento ONO-ESE, posta all'incirca in corrispondenza del margine appenninico che sarebbe stata sede di dislocazioni per un rigetto complessivo di una settantina di metri. Questa struttura avrebbe causato l'innalzamento relativo del settore meridionale rispetto a quello settentrionale con sedimentazione più accentuata sul lato settentrionale ribassato (durante il Pleistocene e l'Olocene).

L'attività di questa struttura tettonica avrebbe causato la formazione di una sorta di anticlinale di rampa con verticalizzazione del limite tra le argille plioceniche e le sabbie pleistoceniche inferiori, a sud, nonché la dislocazione delle stesse unità di ambiente marino. Ciò sarebbe confermato dall'andamento degli spessori dei sedimenti di ambiente continentale depositati, dopo il Pleistocene inferiore, sulle più antiche unità marine e di transizione.

Lo spessore dei depositi continentali pleistocenici subisce infatti un brusco aumento passando grossomodo dal settore posto a sud verso quello posto a nord della faglia. L'effetto di queste complicazioni tettoniche è messo in evidenza anche dalle stratigrafie delle perforazioni eseguite per la ricerca di acque sotterranee, tanto che colonne litostratigrafiche di pozzi pressoché adiacenti risultano spesso molto difficili da correlare tra loro.

**Figura 6 – Estratto della Carta geologica del margine appenninico e dell'alta pianura tra i fiumi Secchia e Panaro, 1:25.000 (Gasperi, 1987).**

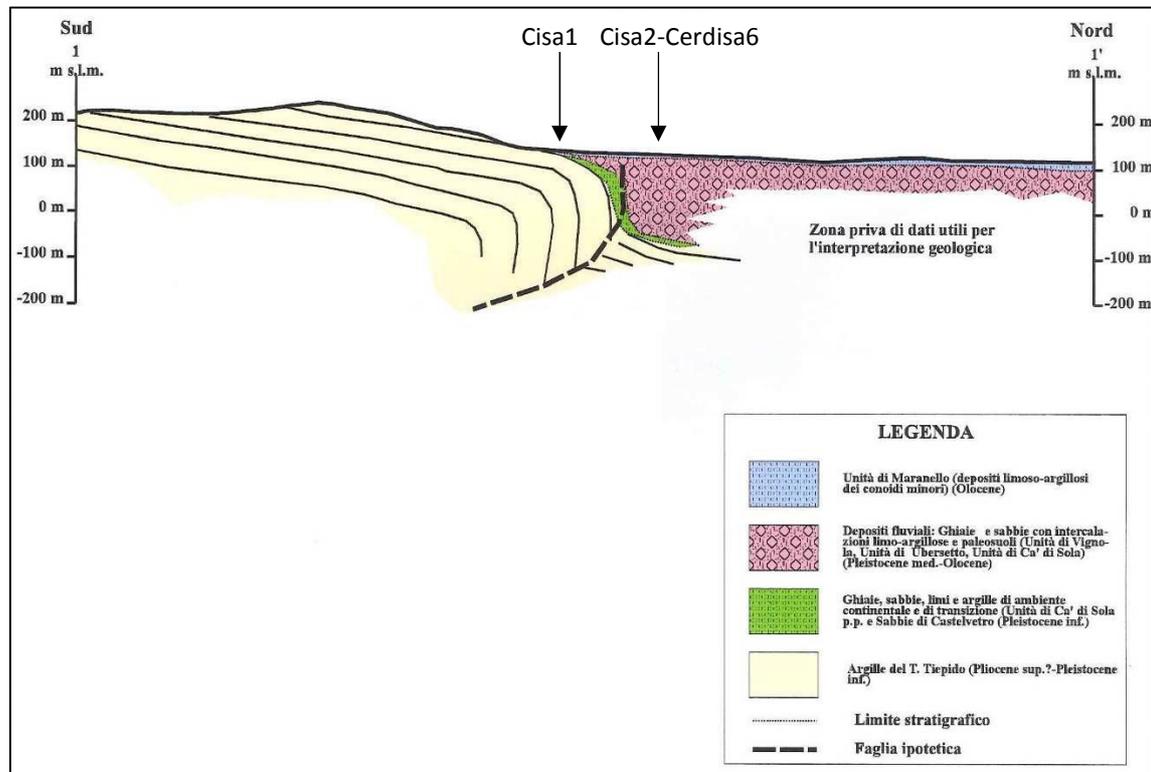


In effetti, al di sopra delle unità marine e di transizione, a partire dal Pleistocene medio, si sono depositati in discordanza sedimenti di varia granulometria, ad opera dei corsi d'acqua principali e secondari. Si tratta in primo luogo di corpi ghiaiosi e sabbiosi ascrivibili all'azione di trasporto e di sedimentazione del Fiume Secchia (Unità di Ca' di Sola, Unità di Ubersetto, Unità di Vignola), nonché di depositi prevalentemente argillosi dei corsi d'acqua minori: Rio Corlo, Rio Bersaglio, Rio Fossetta, ecc.

Lo spessore dei depositi, che si assottiglia in coincidenza del margine collinare, subisce un brusco incremento passando dal settore posto a sud a quello posto a nord, grossomodo rispetto alla vecchia statale Vignola-Sassuolo; questo probabilmente a causa della faglia cieca summenzionata, che ha permesso un maggior accumulo di sedimenti quaternari nel settore settentrionale, relativamente abbassato.

Tale quadro stratigrafico alquanto complicato è stato confermato anche dalle stratigrafie interpretate a partire da sondaggi bibliografici dal Dott. Geol. Paolo Bessi. Nella Relazione geologica relativa all'area della ex Cisa2 redatta nel 2007, l'autore, utilizzando tali sondaggi, ha ricostruito la litologia del sottosuolo arrivando alla realizzazione di una sezione geologica riportata in Figura 7. Come si può notare, l'area di studio ricade in una zona caratterizzata da una sottile coltre di terreni fini sovrastanti depositi fluviali costituiti da ghiaie; nella medesima area si individua anche una ipotetica faglia che dalla zona appenninica risale verso la pianura fino a risultare verticale in corrispondenza del margine pedecollinare, la cosiddetta "Faglia flessura di Sassuolo".

**Figura 7 – Sezione geologica che attraversa l'area di studio in senso sud-nord (da Relazione geologica relativa all'area ex Cisa2 di Sassuolo, 2007).**



L'interpretazione delle informazioni bibliografiche analizzate evidenzia l'esistenza di un'estesa copertura di materiali a composizione prevalentemente limosa e limoso-argillosa dello spessore

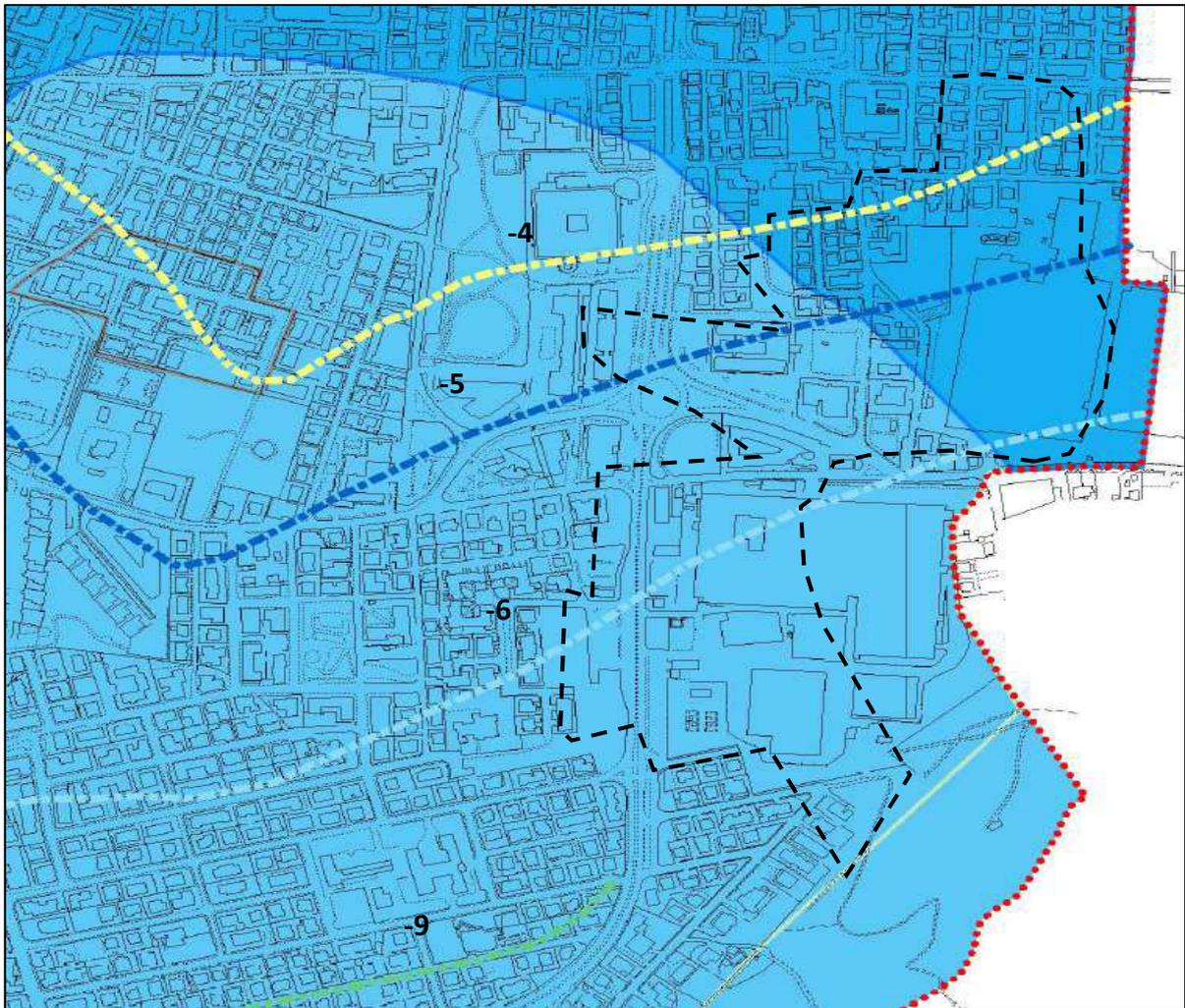
variabile, compreso grossomodo tra 2 m ed 8 m, da poco a mediamente permeabili quando il limo è prevalente. Sono terreni di colore nocciola riferibili all'Unità delle conoidi dei corsi d'acqua minori dell'Olocene antico, che ricoprono con spessori variabili, ma sempre plurimetrici, i depositi e sedimenti più antichi.

Le variazioni di spessore, anche di diversi metri, evidenziate da tali sedimenti, non possono comunque essere assunte come prova di dislocazioni tettoniche recenti; infatti, questi terreni si sono depositati in un ambiente di conoide pedemontano, che già di per se comporta variazioni di spessori sia in senso laterale che longitudinale.

Al di sotto di questi sedimenti di copertura si ritrovano infatti orizzonti di spessore plurimetrico di materiali grossolani, prevalentemente ghiaie e sabbie, alternati con orizzonti di materiali limoso-argillosi e/o paleosuoli a tessitura da franca a franco-argillosa.

Un quadro pressoché ribadito dall'esame dei dati geognostici (penetrometrie e sondaggi) reperiti in bibliografia ed eseguiti all'interno delle aree o nelle zone limitrofe, nonché dalla cartografia del PSC di Sassuolo. I sondaggi confermano la presenza di livelli argillosi e limo-argillosi superficiali, intercalati a depositi grossolani di ghiaie, il cui tetto si incontra a circa 4-6 m dal piano di campagna in quasi tutto l'areale, per approfondirsi a 10 m di profondità nella parte più meridionale dell'area, a ridosso dei primi rilievi collinari, così come evidenziato in Figura 8 tratta dalla tavola della "Profondità del tetto delle ghiaie" del QC del PSC di Sassuolo.

**Figura 8 – Estratto della Tavola QC.B1 – Tav. 2.2 “Profondità del tetto delle ghiaie” del PSC di Sassuolo; l’area in esame è contornata con un tratteggio nero.**





La zona in esame si colloca quindi in un'area la cui morfologia è stata controllata dall'azione dei corsi d'acqua appenninici minori che, allo sbocco in pianura, hanno costruito degli apparati di conide, localmente coalescenti, separati da aree di interconoide.

Più precisamente, la parte settentrionale dell'Ambito si colloca nell'area di interconoide di alta pianura compresa tra gli apparati di conide del Rio Corlo ad est, e del Rio La Fossetta ad ovest; la parte meridionale dell'Ambito è situata invece sul lembo marginale del conoide del Rio La Fossetta.

In entrambi i casi i gradienti topografici naturali si mantengono molto bassi, con inclinazioni attorno ad 1° dirette verso i quadranti settentrionali.

Da sottolineare che le brusche rotture di pendenza e le scarpate attualmente esistenti nelle aree di indagine sono artificiali, essendo i luoghi stati soggetti ad interventi di scavo e riporto di materiale.

Infatti, come si può notare da Figura 9 nella quale sono riportate le forme del terreno originali, è ben evidente che la parte più meridionale dell'area ricade sui primi rilievi collinari, i quali sono stati interessati da sbancamenti con asportazione di terreno per la realizzazione di superfici piane ove sono stati realizzati i fabbricati ceramici. Le aree più a valle, invece, al fine di livellare il terreno sono state interessate per lo più da riporti di materiale.

### **3.3. IDROGRAFIA SUPERFICIALE ED IDROGEOLOGIA**

Il reticolo idrografico superficiale è stato fortemente modificato in seguito ai massicci interventi di urbanizzazione che hanno interessato l'intera fascia pedecollinare di Sassuolo e Fiorano Modenese, tanto che i tracciati dei corsi d'acqua minori non sono più riconoscibili.

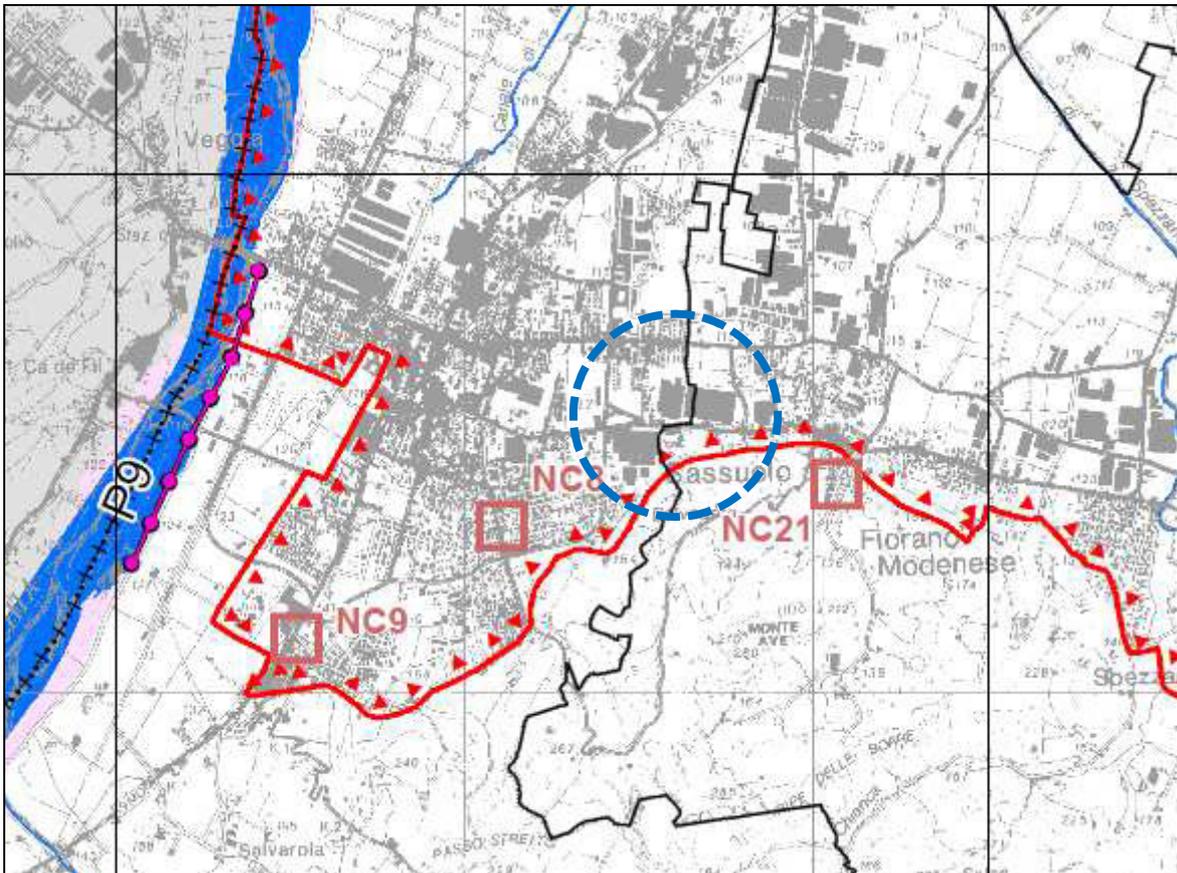
Il Rio La Fossetta e numerosi fossi e corsi d'acqua minori sono stati nel tempo captati, deviati e tombati. Le acque di scorrimento superficiale fanno quindi riferimento quasi completamente non più alle dinamiche dei microbacini idrografici naturali, ma a quelle dei microbacini artificiali della rete, per lo più sotterranea, di allontanamento delle acque derivanti dalle precipitazioni meteoriche.

Nella zona di monte più meridionale, scorre il Fosso di Fiorano in tubazioni interrato, che tra il 1966 ed il 1969 ha subito due interventi di deviazione che lo hanno portato progressivamente verso sud, sino all'attuale percorso. Attualmente il fosso scorre da sud a nord nel tratto dell'ex-centro sportivo del complesso Cisa1 e del magazzino sino a poco prima del fronte nord dello stesso. In questo punto devia bruscamente verso est, e con una diagonale leggermente vergente verso nord si porta all'altezza della rampa posta nei pressi dell'ex-deposito argille, seguendola sino alla prima abitazione posta sul lato est degli stabilimenti, alla base della rampa, per poi deviare una seconda volta verso est di circa 90°.

Nel comparto ex-Cisa2 è presente un fosso che scorre sul confine occidentale da sud verso nord; tale fosso, prima del 1976, data in cui è stato deviato, scorreva per un breve tratto in proprietà interessando la porzione nord-ovest dell'attuale stabilimento.

Con riferimento alla Tav. 2.3.2 – “Rischio idraulico: carta della pericolosità e della criticità idraulica” del PTCP di Modena del 2009, non si evidenziano criticità idrauliche o problemi di esondabilità per la zona in esame, evidenziata con un tratteggio di colore blu.

**Figura 10 – Estratto della Tavola 2.3.2 “Rischio idraulico: carta della pericolosità e della criticità idraulica” del PTCP di Modena, 2009; l’area di indagine è contornata da un tratteggio blu.**



Da un punto di vista idrogeologico l’area in esame ricade entro il cosiddetto sistema della conoide alluvionale del Fiume Secchia, che costituisce un corpo allungato verso la pianura ed isolato lateralmente da depositi argilloso-limosi a bassa conducibilità idraulica. I depositi della successione quaternaria continentale (rappresentata dai depositi superficiali del bacino padano, depositi in discordanza sulla successione marina del Pleistocene inferiore) sono costituiti da sedimenti grossolani, quali ghiaie e sabbie, alternati a sedimenti più fini, limi e argille, organizzati in sequenze di diverso ordine, che raggiungono complessivamente uno spessore di oltre 300 m.

La struttura idrogeologica dell’area d’interesse, è ricostruibile a scala generale sulla base degli studi C.N.R.-IRSA e della Regione Emilia-Romagna; in particolare, le più recenti ricerche nel campo dell’idrogeologia (RER, ENI-AGIP, 1998) hanno consentito di distinguere all’interno della sequenza deposizionale della pianura tre unità idrostratigrafiche denominate Gruppi Acquiferi di estensione regionale, separati da altrettanti acquiclude.

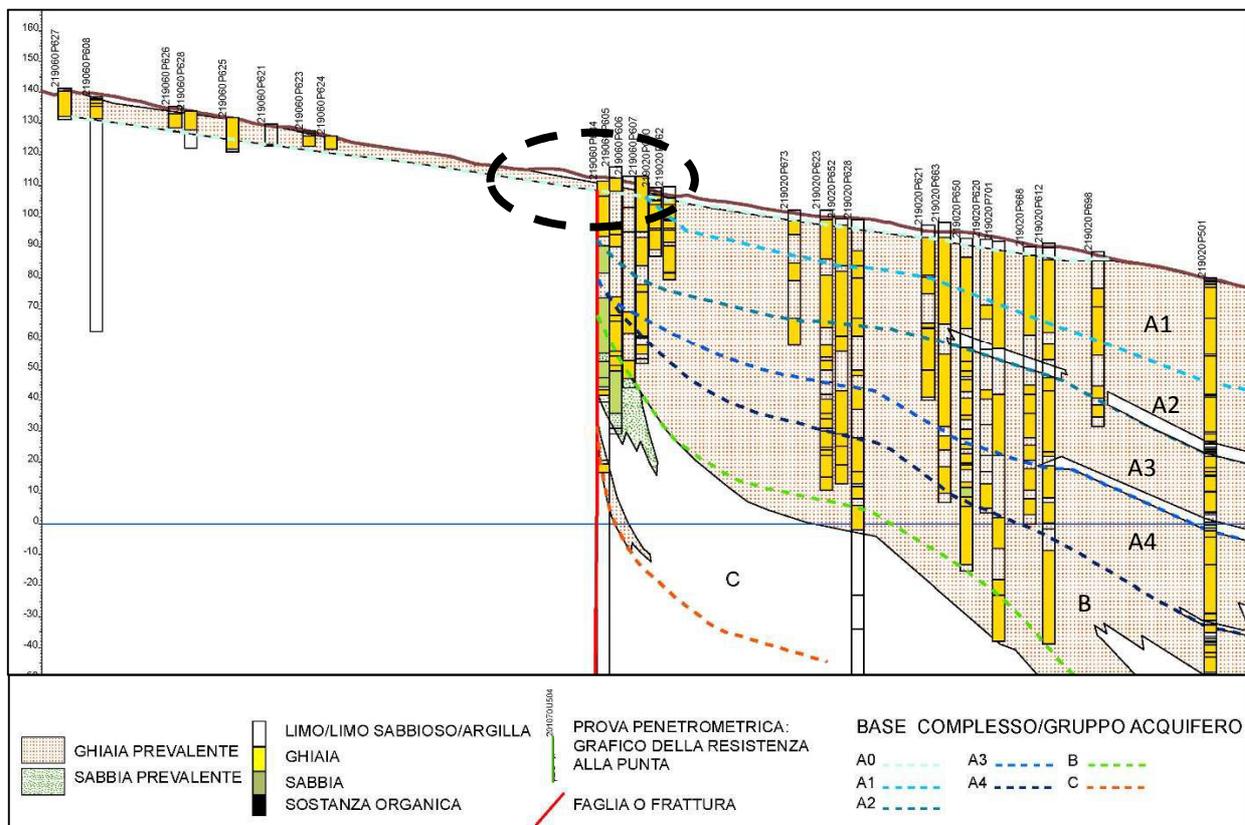
In particolare, con riferimento alle unità geologiche di superficie e di sottosuolo, si individuano le seguenti corrispondenze:

- il “Supersistema del Quaternario marino” corrisponde al “Gruppo acquifero C”;
- il “Sintema emiliano-romagnolo inferiore” corrisponde al “Gruppo acquifero B”;
- il “Sintema emiliano-romagnolo superiore” corrisponde al “Gruppo acquifero A”.

Come messo in evidenza anche dalla sezione geologica riportata in Figura 7, nonché dalla sezione idrostratigrafica della Regione Emilia-Romagna riportata in Figura 11, nel primo sottosuolo dell’area in esame sono presenti per uno spessore di alcune decine di metri, terreni che per le loro caratteristiche di porosità e permeabilità sono potenzialmente sede di acquiferi sfruttabili.

Sulla base dello schema idrogeologico regionale, questi sono principalmente riferibili al cosiddetto Complesso Acquifero A, con esclusione dei più profondi riferibili al Complesso Acquifero C, ai quali, probabilmente, sono ascrivibili gli orizzonti produttivi segnalati in alcune stratigrafie di pozzi.

**Figura 11 – Sezione idrostratigrafica n. 99 della Regione Emilia-Romagna; l’area d’indagine è contenuta all’interno del tratteggio nero.**



Nonostante queste potenzialità teoriche, i dati inerenti l’andamento della superficie piezometrica e della soggiacenza, mettono in evidenza che buona parte dello spessore dei terreni potenzialmente acquiferi risulta comunque non satura.

I dati della piezometria delle acque sotterranee riportati nel QC del PSC del Comune di Sassuolo (2013), variano da 100 a 95 m s.l.m., indicando una soggiacenza quindi mediamente superiore ai 20 m dal piano campagna, con le isopiezometriche che si allineano grossomodo parallele al margine pedecollinare, evidenziando un flusso generale diretto verso nord-est.

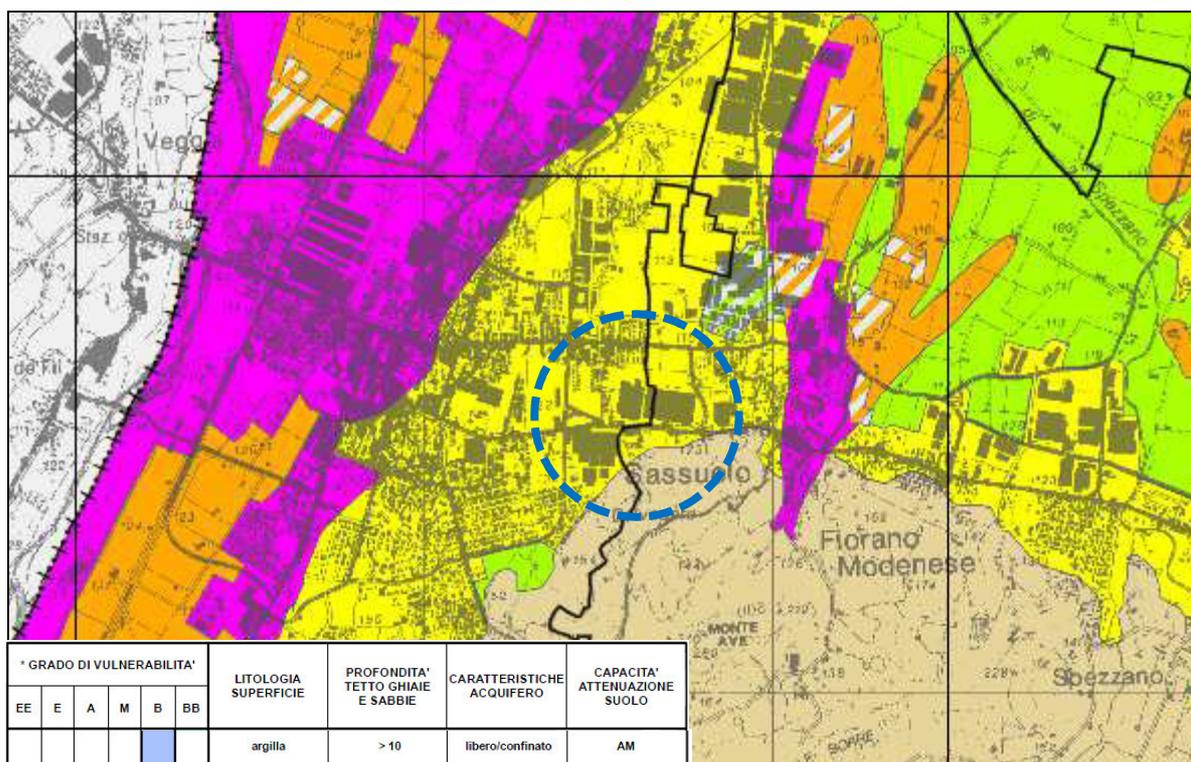
È da considerare che il Fiume Secchia non è in grado di alimentare gli orizzonti acquiferi, in quanto il suo livello normalmente si trova ad una quota più bassa di 20 m o maggiore rispetto al piano campagna dell’area considerata, ed attualmente per buona parte scorre entro sedimenti argillosi pliocenici acquisendo caratteristiche drenati, diventando alimentante solo più a nord;

inoltre, la forte urbanizzazione dell'area in oggetto ha determinato un elevato grado di impermeabilizzazione del suolo, che ha comportato di conseguenza un forte decremento degli apporti alla falda per infiltrazione superficiale.

Per quanto riguarda il livello della falda nell'area in esame, dai 7 piezometri realizzati nel comparto si è misurata una profondità variabile tra un minimo di circa 9 m ed un massimo di circa 20 m dal p.d.c. In particolare, i valori piezometrici più alti (livello della falda più vicino alla superficie) si sono misurati nella parte meridionale del comparto; viceversa, nella parte settentrionale del comparto la falda si trova invece più in profondità-

Con riferimento alla Tav. 3.1.2 "Rischio inquinamento acque: vulnerabilità all'inquinamento dell'acquifero principale" del PTCP di Modena del 2009 riportata in Figura 12, si evidenzia, per l'area in esame, un grado di vulnerabilità dell'acquifero principale alto, in relazione al tipo di terreni superficiali argilloso-limosi e alla profondità del tetto delle ghiaie che risulta inferiore ai 10 m dal piano di campagna.

**Figura 12 – Estratto della Tavola 3.1.2 "Rischio inquinamento acque: vulnerabilità all'inquinamento dell'acquifero principale" del PTCP di Modena del 2009; l'area di indagine è evidenziata da un tratteggio blu.**



* GRADO DI VULNERABILITA'						LITOLOGIA SUPERFICIE	PROFONDITA' TETTO GHIAIE E SABBIE	CARATTERISTICHE ACQUIFERO	CAPACITA' ATTENUAZIONE SUOLO
EE	E	A	M	B	BB				
						argilla	> 10	libero/confinato	AM
						limo	> 10	libero/confinato	A
						argilla e/o limo	< 10	confinato	A
						argilla	> 10	libero/confinato	B
						argilla e/o limo	< 10	libero	AM
						limo	> 10	libero/confinato	MB
						argilla e/o limo	< 10	confinato	MB
						sabbia e/o ghiaia	> 10	confinato	A
						argilla e/o limo	< 10	libero	B
						sabbia e/o ghiaia	> 10	libero	AM
						sabbia e/o ghiaia	> 10	confinato	MB
						sabbia e/o ghiaia	< 10	confinato	AM
						sabbia e/o ghiaia	< 10	libero	AM
						sabbia e/o ghiaia	< 10	confinato	B
						sabbia e/o ghiaia	> 10	libero	B
						sabbia e/o ghiaia	< 10	libero	B
Alvei fluviali disperdenti									

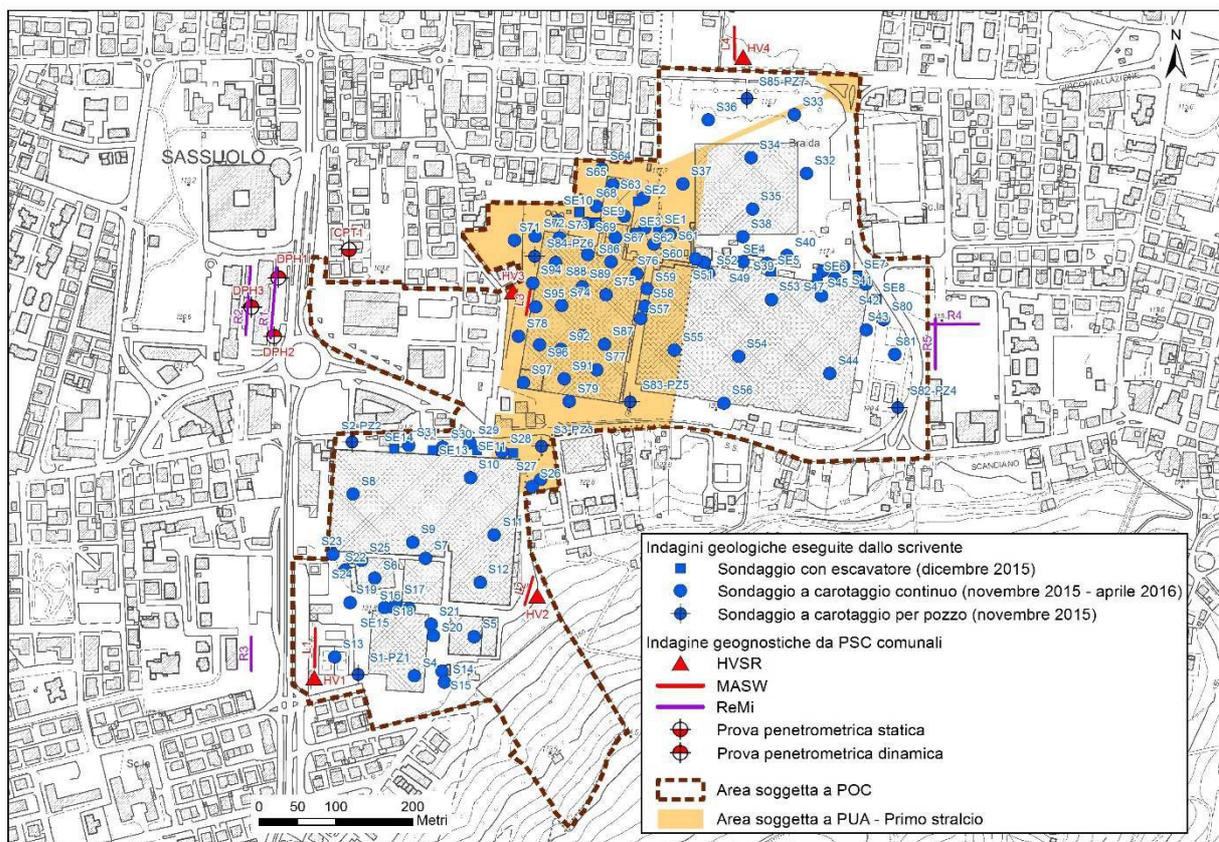
#### 4. INDAGINI GEOGNOSTICHE E MODELLO GEOLOGICO-GEOTECNICO

Al fine di caratterizzare dal punto di vista geologico e geotecnico i terreni dell’Ambito AR (S-F), sono stati consultati studi ed indagini geognostiche presenti in bibliografia e i risultati dei sondaggi ambientali e geognostici realizzati dallo scrivente nell’area del comparto ceramico dismesso di ex Cisa-Cerdisa.

In particolare, sono state consultate le indagini geognostiche e sismiche (queste ultime trattate nel capitolo successivo) realizzate a supporto dei PSC dei Comuni di Sassuolo e Fiorano Modenese, tra cui: n. 3 stendimenti sismici MASW, n. 3 indagini di sismica passiva HVSR, n. 1 prova penetrometrica statica e n. 3 prove penetrometriche dinamiche pesanti effettuati in Comune di Sassuolo; n. 1 stendimento MASW, n. 1 indagine HVSR, n. 2 prove ReMi effettuati in Comune di Fiorano. Anche se alcune indagini sono state realizzate in zone esterne al perimetro dell’Ambito, sono comunque state utilizzate ai fini della caratterizzazione geotecnica dei terreni poiché si trovano in zone limitrofe all’area in oggetto.

L’indagine eseguita dallo scrivente al fine di caratterizzare i terreni del comparto ceramico dal punto di vista ambientale, è stata condotta mediante l’esecuzione di n. 97 sondaggi a carotaggio e n. 15 con escavatore, spinti a profondità variabili tra 5 e 30 m dal piano di campagna, realizzati tra i mesi di novembre 2015 e aprile 2016 (Figura 13).

**Figura 13 – Ubicazione dei sondaggi ambientali eseguiti dallo scrivente e delle indagini geognostiche acquisite da bibliografia (Allegato 1).**



L’insieme delle indagini geognostiche e geologiche realizzate all’interno dell’area soggetta a POC ha permesso di ricostruire la stratigrafia del sottosuolo dell’intero Ambito AR (S-F).

I numerosi sondaggi ambientali realizzati, spinti generalmente sino a 5 m di profondità, hanno consentito di ricostruire con un certo grado di dettaglio il primo sottosuolo dell'area; dall'analisi dei dati si è definito lo spessore della coltre di riporto antropico presente, che da pochi decimetri può raggiungere un massimo di 4 m.

Al di sotto della coltre di riporto superficiale, i terreni naturali del sottosuolo dell'area sono riferibili ai depositi della Pianura alluvionale; si tratta di terreni limosi, limo-argillosi ed argillosi con livelli intercalati di limo-sabbioso, di colore grigio nocciola e di spessore variabile da un minimo di circa 4 m nella parte settentrionale ad un massimo di circa 10 m nella parte meridionale.

Al di sotto di questa sequenza di terreni fini superficiali, le prove geologiche che sono state spinte più in profondità hanno evidenziato la presenza di un primo strato di ghiaie medie e grossolane di spessore variabile attribuibile alle ghiaie dell'Unità di Vignola: lo spessore varia da circa 20 m nella parte più settentrionale a 7-11 m nella parte centrale fino a circa 3 m di spessore nella zona più meridionale dell'area in esame.

Nel settore centro-meridionale, in territorio sassolese, la base di questa unità ghiaiosa si trova a profondità di circa 12-15 m dal piano di campagna, in discordanza angolare sulle sottostanti argille grigie plioceniche, di ambiente marino, (Argille del Torrente Tiepido – ora Argille Azzurre nella nomenclatura CARG) o, più raramente, sulle sabbie gialle marine (Sabbie di Castelvetro).

Nel settore settentrionale, invece, la base delle ghiaie dell'Unità di Vignola appoggia su di un orizzonte pedogenizzato bruno rossastro, limoso o argilloso-limoso di spessore variabile da meno di un metro ad alcuni metri, oltre il quale si rinvergono altri orizzonti ghiaiosi plurimetrici probabilmente riferibili all'Unità di Ubersetto o all'Unità di Cà di Sola.

Dai dati esaminati risulta quindi una certa discrepanza nella stratigrafia del sottosuolo tra il settore settentrionale ed il settore centrale/meridionale, accentuata se si fa riferimento alle quote relative s.l.m. invece che alla profondità rispetto al p.d.c.: ciò sembra confermare la presenza nel sottosuolo della suddetta "Faglia flessura di Sassuolo", che, con l'attività neotettonica avrebbe determinato un abbassamento relativo del blocco settentrionale di circa 70 m (Gaspero et al. 1989), causando un accumulo maggiore di sedimenti continentali durante il Pleistocene nel settore nord rispetto al settore sud, il quale, probabilmente, si è trovato in condizioni subaeree per tempi maggiori, e maggiormente esposto all'erosione.

Analizzando i dati disponibili in bibliografia (PSC, Regione Emilia-Romagna, indagini pregresse) e le indagini realizzate recentemente nell'area di riqualificazione, è stato possibile costruire delle colonne stratigrafiche tipo, riportate in Figura 14, che sintetizzano il quadro generale della stratigrafia del sottosuolo dell'Ambito AR (S-F).

I terreni più superficiali, limosi e argillosi, dal punto di vista geotecnico presentano caratteristiche di resistenza alla punta ( $R_p$ ) mediamente dell'ordine di 10-20 kg/cmq, valori che aumentano con la profondità fino a superare i 40 kg/cmq. Lo strato ghiaioso sottostante, che si incontra a profondità variabili, generalmente sui 5 metri dal piano campagna, presenta ottime caratteristiche di resistenza con valori di  $R_p$  maggiori di 100 kg/cmq, che lo rendono un eccellente terreno di sottofondazione.

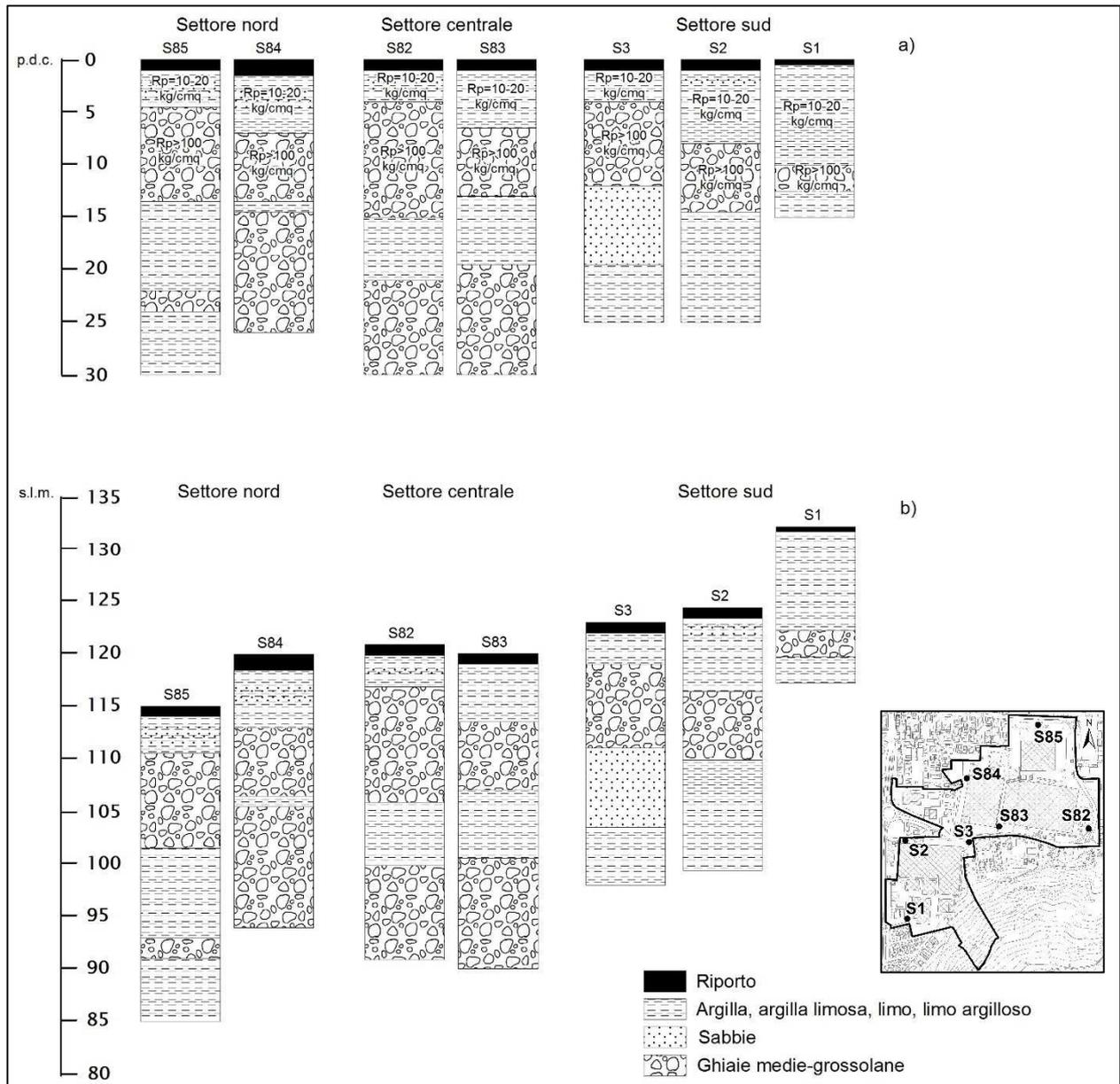
Da questo confronto è possibile interpretare, per l'intera area dell'Ambito AR (S-F), una partizione in due zone:

- Il settore centro-settentrionale, nel quale si rinvergono diversi orizzonti ghiaiosi, il primo dei quali inizia tra i 4 m e i 7 m di profondità dal piano campagna e presenta uno spessore generalmente sui 7-10 m, seguito da alternanze di terreni argillosi e ghiaiosi;

- Il settore meridionale, nel quale si incontra solo uno strato ghiaioso, il cui tetto è posto a profondità tra i 4 m e i 10 m dal p.d.c. e presenta uno spessore più modesto, generalmente di pochi metri, seguito in profondità da terreni fini argillosi.

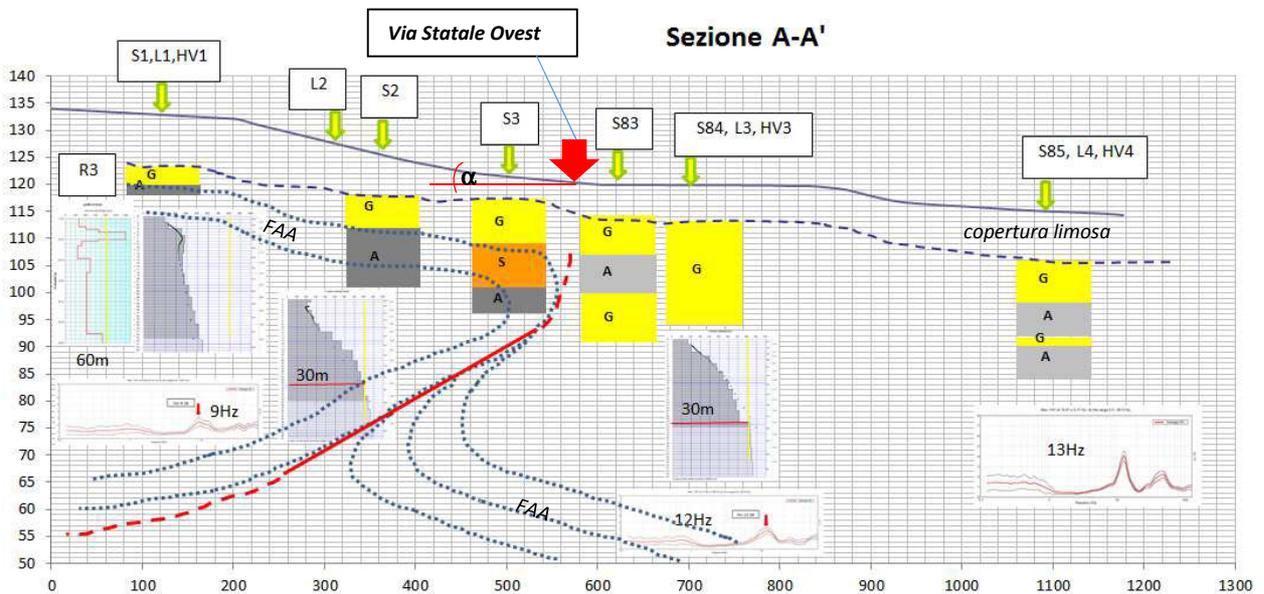
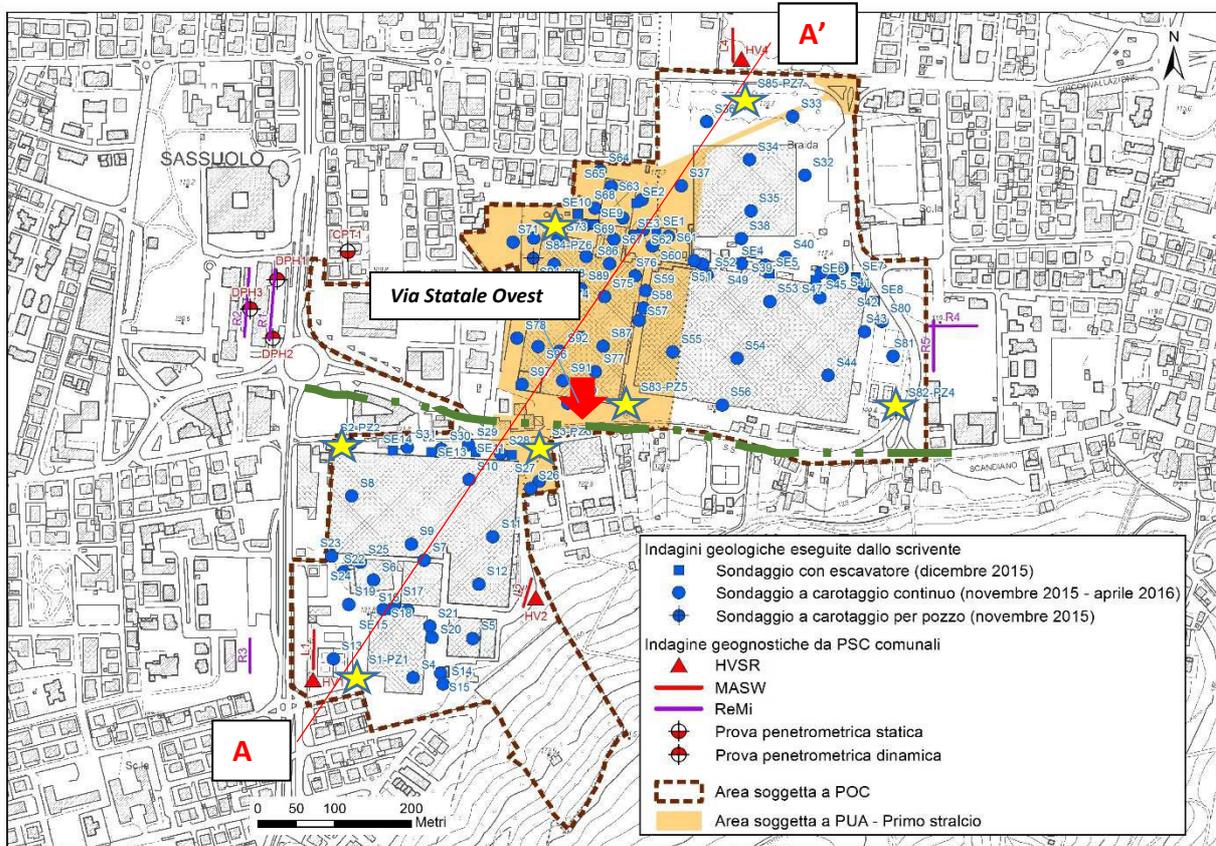
Nella Figura 14 sono riportate le colonne stratigrafiche tipo, disposte in relazione alla quota s.l.m. ( riquadro b), le quali evidenziano tra loro una certa correlazione dell'andamento del primo strato ghiaioso.

**Figura 14 – Colonne litostratigrafiche tipo del sottosuolo dell'area dell'Ambito AR (S-F).  
a) Quote dal piano di campagna; b) Quote sul livello del mare.**



In Figura 15 si è cercato di ricostruire, attraverso una sezione interpretativa, i rapporti stratigrafico-tettonici dell'area d'indagine, confrontando i dati stratigrafici da sondaggi eseguiti per questo studio con indagine geofisiche pregresse.

**Figura 15 – Linea di sezione e sezione interpretativa dei rapporti stratigrafico-tettonici locali. Le stelle gialle meglio identificano i sondaggi effettuati per questo studio. Linea verde tratteggiata: lineamento tettonico ipotizzato.**



Legenda – G: ghiaie, S: sabbie marine, A(scuo): Argille Azzurre (FAA), A(chiaro): argille alluvionali.

La caratteristica più evidente è il netto cambio di stratigrafia in corrispondenza della freccia rossa, che cade precisamente su via Statale Ovest. Infatti, a sud della strada, il sondaggio S3 identifica, dopo una copertura di circa 4 m di limi e argille, uno spessore di 8m di ghiaia e ciottoli in matrice sabbiosa, seguito da 7 m di sabbia e da 6 m di argilla. La continuità dello

spessore delle sabbie (non evidenziabile né verso nord, nel sondaggio S83, né a NO, nel sondaggio S2) fa ritenere più verosimile l'attribuzione alle Sabbie di Castelvetro (sensu Gasperi et al., 1989 – Figura 6), del Pleistocene inferiore, piuttosto che a depositi sabbiosi di origine fluviale, i quali non potrebbero giustificare né un così grande spessore, né una distribuzione spaziale così limitata. Anche nel sondaggio S1 le sabbie compaiono (sebbene con uno spessore ridotto a circa 1 m) tra le ghiaie sovrastanti e le argille sottostanti. Oltre, verso NO, in corrispondenza del sondaggio S2 su via Statale Ovest, le sabbie scompaiono e lo strato ghiaioso poggia direttamente sulle argille. L'assetto stratigrafico sembra mostrare come a sud di via Statale Ovest si possa ipotizzare una continuità del contatto stratigrafico discordante tra le sottostanti Argille Azzurre (FAA o Argille del Tiepido, sensu Gasperi et al., 1989, Figura 6) e le Sabbie di Castelvetro (AEI nel Foglio 219 "Sassuolo" della Carta Geologica d'Italia a scala 1:50.000), ancorché ricoperto da una coltre alluvionale di 12-14 m. Il contatto appare limitato alla fascia di raccordo tra la collina e l'alta pianura, con una flessione, quindi, verso SO, e non si spingerebbe troppo verso NO, come mostrato dalla stratigrafia del sondaggio S2.

Pochi metri a nord di via Statale Ovest, il sondaggio S83 (con stratigrafia del tutto simile a quella del sondaggio S82, più a est, ed alla stessa quota) mostra un'alternanza tra ghiaie e argille fino a 30 m, evidenziando come già dopo pochi metri dal sondaggio S3, scompaiano i termini marini pliocenici e del Quaternario inferiore (FAA e Sabbie di Castelvetro) lasciando spazio esclusivamente ai depositi pleistocenici continentali.

Questo netto cambio di stratigrafia induce ad ipotizzare una causa di origine tettonica a sua giustificazione. Una faglia ad alto angolo, con immersione verso nord, sarebbe plausibile e rappresenterebbe la spiegazione più semplice: il ribassamento del tetto di faglia avrebbe favorito un maggiore accumulo di sedimenti a nord rispetto al letto, a sud.

La cartografia geologica (Gasperi et al., 1989; Foglio 219), però, rileva, lungo il bordo settentrionale della collina, assetti nella formazione delle Argille Azzurre che, da monte verso il bordo stesso, cambiano da inclinati verso nord a sub-verticali fino a rovesciati con inclinazione verso sud, a rappresentare una struttura di tipo plicativo, coricata. Questa struttura è stata recentemente rappresentata nella Carta strutturale dell'area di Reggio E. e Modena in Rossi et al. (2002)<sup>1</sup> (Figura 16). Come si vede in Figura 16, gli autori identificano, in prossimità dell'area oggetto del presente studio, l'asse di una rampa anticlinale ed un sovrascorrimento cieco, ovvero non affiorante (anche detto "sepolto") (chiamato "Castelvetro Front"). Entrambe mostrano un andamento fra loro parallelo ed un sensibile cambio di direzione (quasi di 90°) da NO-SE, in linea col fronte collinare, a SO-NE, in corrispondenza dell'ingresso nella valle del Secchia e parallelo al suo stesso asse. Tale cambio di direzione sembra giustificare proprio la sopraccitata deviazione, verso SO, del contatto tra le Sabbie di Castelvetro e le FAA identificato dai sondaggi S1 e S3 e la sua mancata continuazione, in senso rettilineo, verso NO (vedasi stratigrafia sondaggio S2).

Questa serie di evidenze ha portato lo scrivente ad ipotizzare (Figura 15) la presenza di una struttura *fold-and-thrust* costituita dal piegamento degli strati delle FAA e da una superficie di scollamento a basso angolo immersa verso sud, ma non affiorante (linea rossa, in parte tratteggiata, in Figura 15) – similmente a quanto ipotizzato anche dal Dott. Geol. Paolo Bessi nella Relazione geologica relativa all'area ex "Cisa 2" del 2007. Tale struttura avrebbe sollevato il settore meridionale producendo, al contempo, un abbassamento relativo del settore

<sup>1</sup> Rossi M., Rogledi S., Barbacini G., Casadei D., Iaccarino S. e Papani G. (2002) - Tectono-stratigraphic architecture of Messinian piggyback basins of Northern Apennines: the Emilia folds in the Reggio-Modena area and comparison with the Lombardia and Romagna sectors. Boll. Soc. Geol. It., Volume speciale n. 1, 437-447.



La geofisica, con le misure di rumore ambientale e dei rapporti H/V, identifica un'unica superficie a sensibile contrasto d'impedenza ( $f_0$  da 9 a 13 Hz) coincidente con il contatto tra la coltre limosa superficiale (via via più sottile da sud verso nord) e il tetto del primo strato ghiaioso. Non emergono superfici di risonanza più profonde. Anche i profili di Vs determinati da indagini MASW e ReMi non evidenziano sensibili variazioni di velocità con la profondità, confermando il risultato delle misure H/V. In due punti (L2 e L3) la velocità di 800 m/s (assunta come velocità minima del bedrock sismico) è raggiunta già a 30 m dal piano campagna, senza differenza, quindi, tra settore a sud del lineamento tettonico e settore a nord dello stesso.

Non è stato possibile esaminare i profili di Vs delle prove identificate (in Figura 15) con le sigle R4, R5, L4, poiché nella relazione tecnica di microzonazione sismica, a cura del Dott. Geol. Antonio Maria Baldi, per il PSC del Comune di Fiorano<sup>3</sup>, non sono presenti i rispettivi certificati di prova. Ciò che è necessario osservare è che tali misure non sono relative alla  $V_{S30}$ , bensì alla  **$V_{S8}$**  e sono riportate nella carta delle Vs della microzonazione sismica comunale (Studio di microzonazione sismica di secondo livello, "Carta delle indagini, Tavola 01). Questo **non deve, pertanto, indurre a classificare i terreni in classe C**. Si ritiene, inoltre, non corretto definire una  $V_{S8}$  quando a circa 30 m dal piano campagna è probabilmente presente l'interfaccia col bedrock sismico (come emerge dai profili di Vs ricavati dalle indagini sismiche effettuate nell'adiacente porzione del territorio comunale di Sassuolo). Ad 8 m di profondità vi è sì una superficie di risonanza (evidenziata dalle misure H/V), che non separa la coltre detritica superficiale dal bedrock sismico, e che eventualmente può amplificare la PGA in superficie, ma non certo determinare la classe sismica del terreno.

Per tali motivi nelle successive fasi di pianificazione attuativa, sulla porzione nord orientale dell'area di POC dovranno essere eseguite nuove indagini sismiche volte a verificare la sua effettiva classe sismica.

---

<sup>3</sup> <https://goo.gl/wl8tu0>

## 5. INDAGINE SISMICA

Per la classificazione sismica del terreno dell'area soggetta a POC si sono utilizzate le indagini pregresse effettuate all'interno del perimetro dell'Ambito AR (S-F) e nelle aree limitrofe.

In particolare si tratta di 4 indagini MASW, 5 indagini ReMi e 4 indagini HVSR, le cui ubicazioni sono riportate in Allegato 1 e i documenti delle prove in Allegato 2 e Allegato 3, se disponibili.

Gli stendimenti a sismica attiva MASW e sismica passiva ReMi hanno consentito di determinare gli spessori dei sismostrati e le relative velocità delle onde di taglio, permettendo di calcolare valori di  $V_{s30}$  (velocità media delle onde sismiche nei primi 30 m dal piano di campagna).

Dall'analisi dei valori di  $V_{s30}$  e della loro distribuzione areale (Figura 17) risulta come i settori occidentale e meridionale, corrispondenti alla parte di Ambito che ricade in Comune di Sassuolo, presentino i valori di  $V_{s30}$  generalmente più elevati, dell'ordine dei 400-500 m/sec.

Il settore orientale, coincidente all'incirca con la parte che ricade in Comune di Fiorano Modenese, presenta valori di  $V_{s8}$  dell'ordine di 250 m/sec, non permettendo però un confronto con gli altri settori. La mancanza dei certificati di prova, nella relazione tecnica della microzonazione sismica di Fiorano per queste indagini geofisiche, non consente di analizzare il profilo completo di  $V_s$ , calcolando la  $V_{s30}$ .

I terreni dell'area orientale e meridionale, compresi i terreni dell'area soggetta a PUA, si inseriscono, pertanto, all'interno della **classe B** - Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di  $V_{s30}$  compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero resistenza penetrometrica  $NSPT > 50$  nei terreni a grana grossa, o coesione non drenata  $c_u > 250$  kPa nei terreni a grana fine).

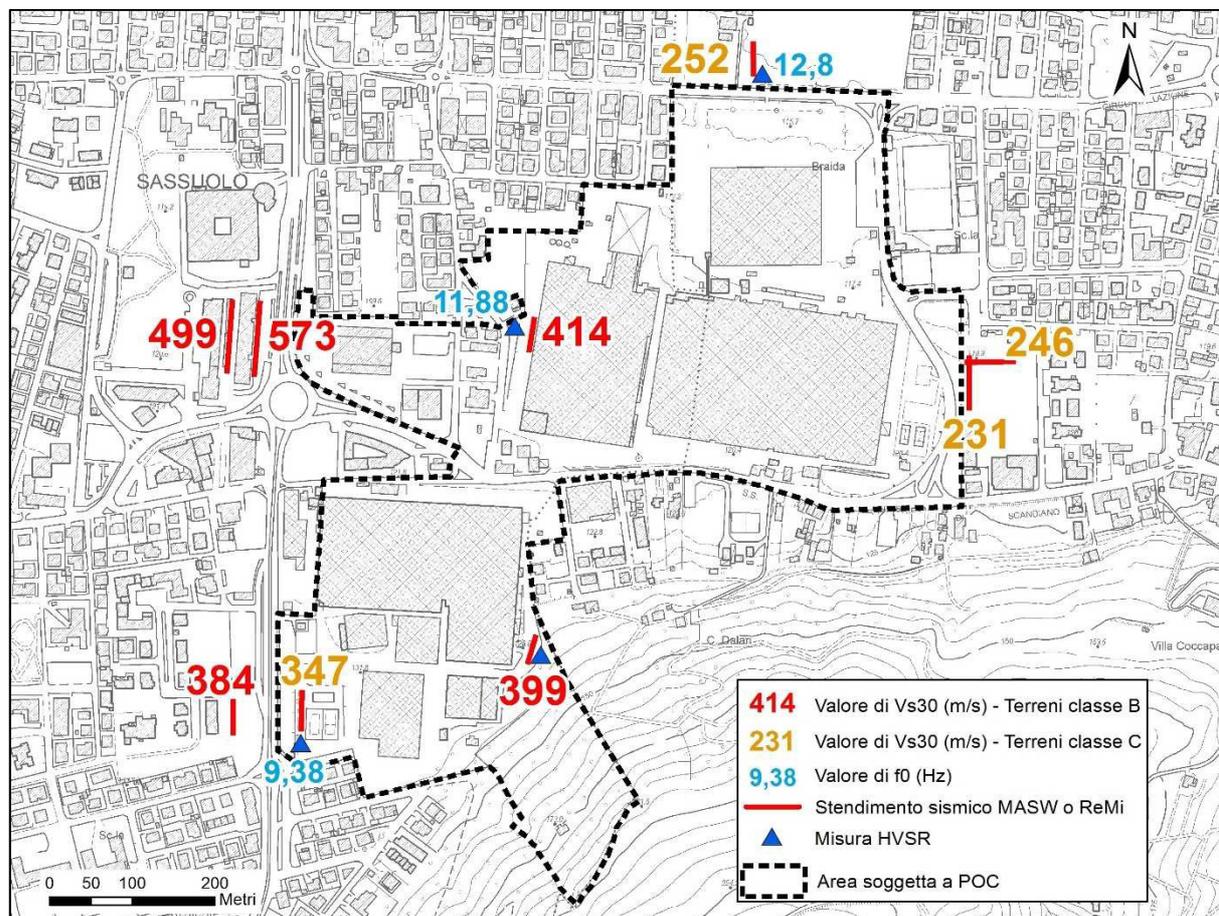
Si sottolinea che una prova sismica effettuata nella parte meridionale dell'Ambito ha registrato valori di  $V_{s30}$  che farebbero rientrare il terreno in classe C (347 m/sec); siccome i risultati di altre due prove limitrofe caratterizzano i terreni in classe B, si ritiene la prova un possibile *outlier*, ancorché con molto prossimo alla soglia tra la classe B e quella C.

Le indagini HVSR reperite in bibliografia hanno consentito di determinare la frequenza fondamentale ( $f_0$ ) del terreno, utile per determinare la profondità del bed-rock e, allo stesso tempo, lo spessore dello strato più soffice e superficiale del terreno. L'indagine, basata sulla misura dei microtremori ambientali, tramite il rapporto tra le componenti orizzontali (H) del moto del suolo e le componenti verticali (V), restituisce la frequenza di risonanza del terreno, la quale è tanto maggiore quanto è superficiale il bed-rock.

In particolare, si sono prese in considerazione 3 indagini HVSR (l'indagine HV2 non risulta attendibile) i cui risultati confermano la stratigrafia del sottosuolo fin qui descritta: nella zona meridionale, la prova HV1 identifica il tetto delle ghiaie (considerato come bed-rock) a circa 6 m di profondità dal piano di campagna ( $f_0=9,38$  Hz); nella zona centrale, la prova HV3 identifica il tetto delle ghiaie a circa 5 m di profondità dal piano di campagna ( $f_0=11,88$  Hz); nella zona settentrionale, appena al di fuori del limite dell'Ambito, la prova HV4 identifica il tetto delle ghiaie a circa 4 m di profondità dal piano di campagna ( $f_0=12,8$  Hz).

Sostanzialmente, procedendo da sud verso nord, si ha un generale innalzamento verso la superficie del tetto del primo strato ghiaioso, come confermano anche i risultati dei carotaggi effettuati nell'area, precedentemente descritti.

**Figura 17 – Ubicazione delle indagini sismiche pregresse effettuate all'interno dell'Ambito AR (S-F) e nelle aree esterne più limitrofe, con riportato il valore di  $f_0$  e il valore di  $V_{s30}$  calcolato con indicazione della categoria di suolo individuata.**



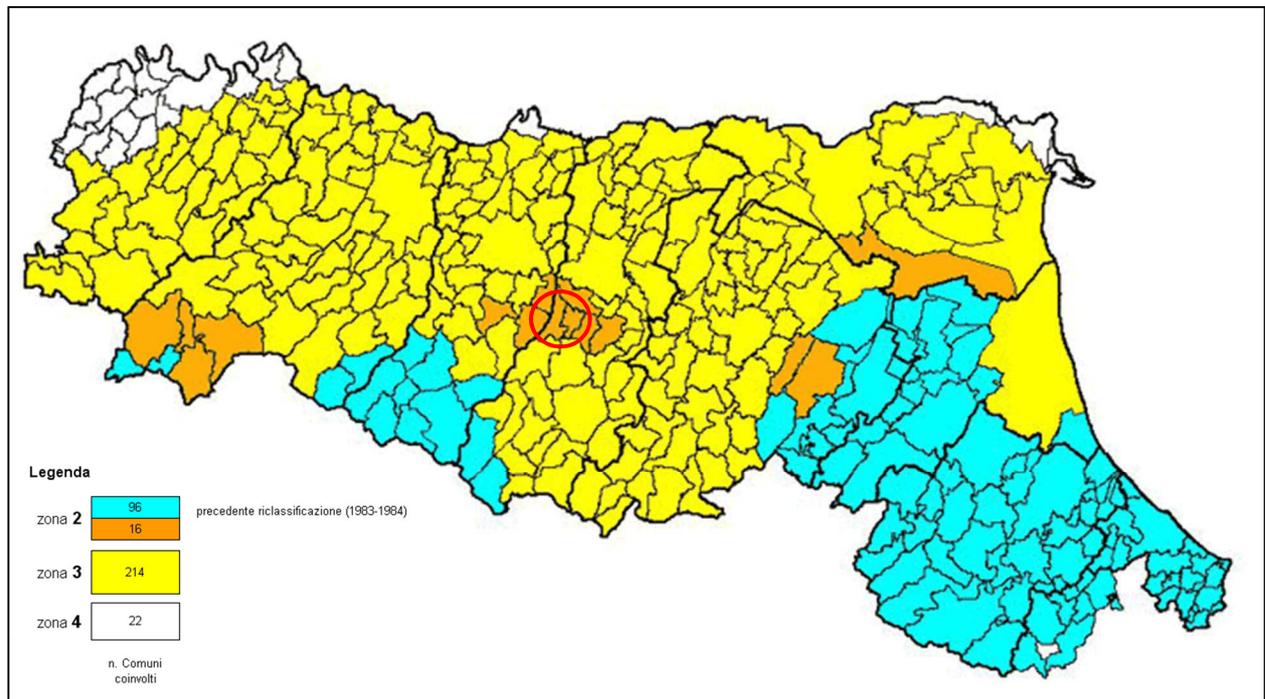
## 6. MICROZONAZIONE SISMICA

L'Ordinanza del P.C.M. n. 3274 del 20/03/2003 e s.m.i., "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica", ha stabilito la nuova classificazione sismica di tutto il territorio nazionale.

Secondo l'Ordinanza, il Comune di Sassuolo e il Comune di Fiorano Modenese fanno parte dei comuni sismici classificati in Zona 2, come riportato in Figura 18.

Attualmente la pericolosità sismica di riferimento per il territorio nazionale è stata definita con l'OPCM 3519 del 28 aprile 2006 attraverso la mappa di pericolosità sismica per il territorio nazionale. I valori di accelerazione massima al suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni sono riferiti a suoli rigidi di categoria A ( $V_{s30} > 800$  m/s) e rappresentano la pericolosità sismica di base del territorio.

**Figura 18 - Classificazione sismica dell'Emilia-Romagna, Ordinanza del PCM n. 3274/2003. Con il cerchio rosso sono evidenziati i comuni di Sassuolo e Fiorano Modenese.**



I valori di  $a_g$ , espressi come frazione dell'accelerazione di gravità  $g$ , da adottare in ciascuna delle zone sismiche del territorio nazionale sono:

Zona	Valore di $a_g$
1	0,35 g
2	0,25 g
3	0,15 g
4	0,05 g

La Delibera dell'Assemblea Legislativa della Regione Emilia-Romagna progr. n. 112 – oggetto n. 3121 del 2.5.2007: "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica" assegna per entrambi i comuni in oggetto, il valore e di accelerazione massima orizzontale di picco al suolo pari a **0,162g**.

In relazione al rischio sismico si è fatto riferimento alla Tavola di micro zonazione sismica dei PSC vigenti di Sassuolo e di Fiorano Modenese; con riferimento alla cartografia del PSC del Comune di Sassuolo ed in particolare alla Tav. 5.1c – "Microzonazione sismica di primo e secondo livello – Aree suscettibili di effetti locali", l'area dell'Ambito AR (S-F) ricade all'interno delle seguenti aree (Figura 19):

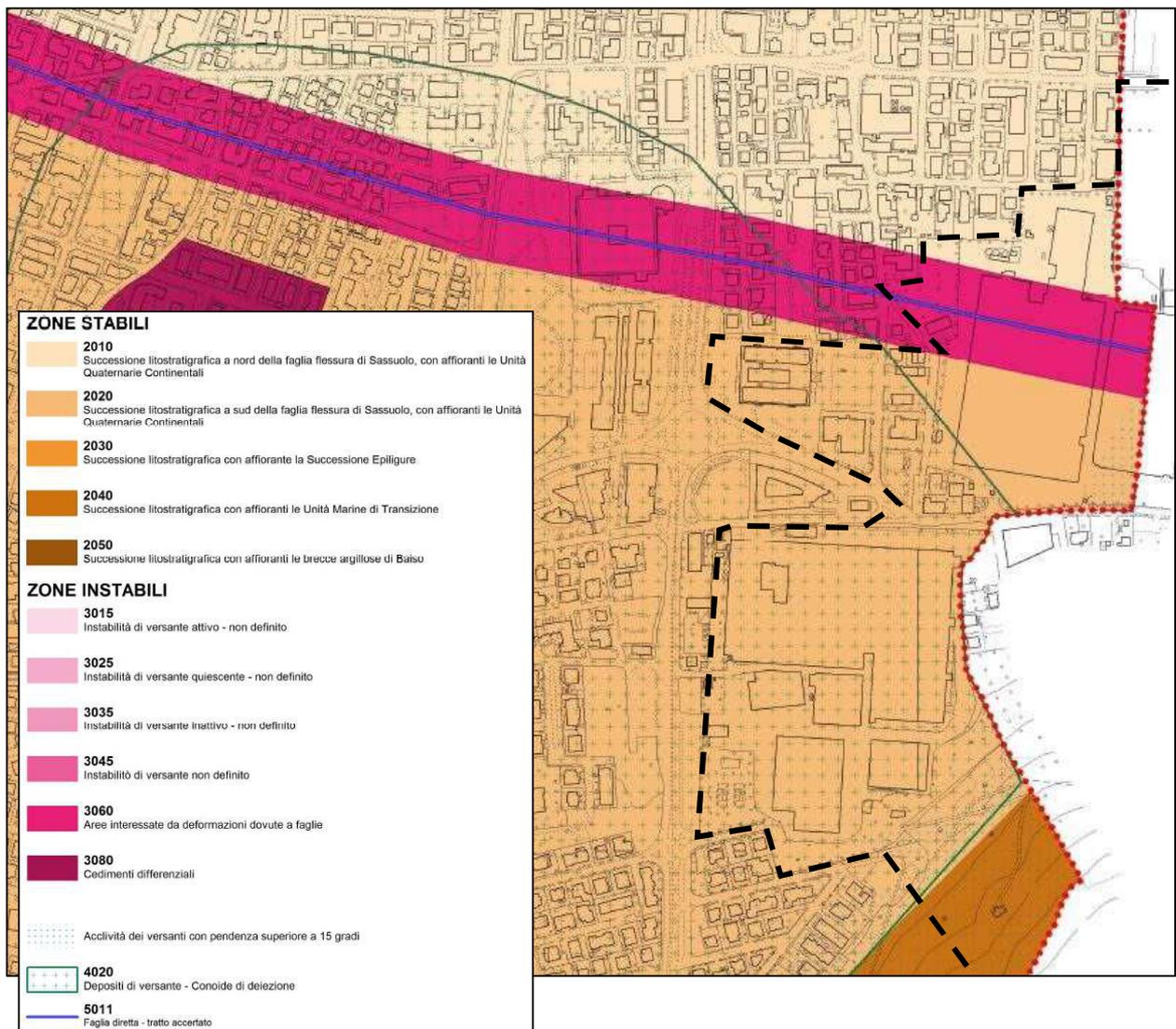
- *Zona stabile 2010*, successione litostratigrafica a nord della faglia flessura di Sassuolo, con affioranti le Unità Quaternarie Continentali;
- *Zona stabile 2020*, successione litostratigrafica a sud della faglia flessura di sassuolo, con affioranti le Unità Quaternarie Continentali;
- *Zona instabile 3060*, area interessata da deformazioni dovute a faglie.

Per le aree 2010 e 2020 viene richiesto un livello di approfondimento di II livello, in particolare la valutazione del coefficiente di amplificazione litologica e la verifica del potenziale di

liquefazione e cedimenti attesi nelle aree ove sia presente la falda a profondità minori di 20 m dal p.d.c., nonché la valutazione dell’amplificazione topografica laddove si riscontrino configurazioni geometriche con pendenze maggiori di 15° e altezza maggiore di 30 m, o nelle aree prossimi ai bordi di scarpate.

Per le aree 3060 sono invece richiesti approfondimenti di III livello, in particolare la valutazione del coefficiente di amplificazione litologica e la valutazione dell’amplificazione topografia per particolari configurazioni geometriche del versante.

**Figura 19 – Estratto Tav. 5.1c “Microzonazione sismica di primo e secondo livello – Aree suscettibili di effetti locali” del PSC del Comune di Sassuolo. L’area in esame è ricompresa a destra del tratteggio nero.**



## 7. ANALISI DI RISPOSTA SISMICA LOCALE

Poiché l'area del PUA in esame ricade in una fascia di territorio dove sono richiesti approfondimenti sismici di III livello per la presenza nel sottosuolo della cosiddetta "Faglia flessura di Sassuolo", è stata effettuata l'analisi di risposta sismica locale.

I dati litostratigrafici e sismici determinati in questa relazione sono stati utilizzati nella modellazione numerica della risposta sismica locale (in campo lineare equivalente), includendo l'effetto delle possibili incertezze sui dati di base e valutando:

- lo spettro di risposta elastico (al 5% di smorzamento),
- i parametri dello spettro semplificato previsto dalla normativa che meglio si adatti allo spettro di risposta ottenuto dall'analisi numerica.

La procedura di calcolo utilizzata per la valutazione della risposta sismica locale nell'area di studio è quella lineare equivalente implementata nel codice di calcolo STRATA (Rathje e Kottke, 2013)<sup>4</sup>. L'uso di un codice di questo genere è giustificato dalla sismicità relativamente bassa dell'area.

Un importante vantaggio legato a questo codice di calcolo è la possibilità che esso offre di gestire le significative incertezze presenti nei dati di modellazione (moto di riferimento, profilo di Vs, curve di smorzamento e riduzione del modulo di taglio) permettendo di fornire stime adeguatamente conservative degli spettri di scuotimento attesi.

Il moto di riferimento prescelto è costituito dai tre accelerogrammi forniti dalla Regione Emilia-Romagna per l'intera regione<sup>5</sup>:

000046xa.xy

000126xa.xy

000354xa.xy

Ad essi sono stati aggiunti 4 accelerogrammi ottenuti attraverso la procedura di selezione di accelerogrammi naturali spettro-compatibili effettuata tramite il codice di calcolo REXEL (v. 3.5), tenendo conto dei risultati dell'analisi di disaggregazione. Gli accelerogrammi sono stati scalati al valore di PGA di riferimento del grigliato INGV, compatibile con la pericolosità locale relativa ad una probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni.

Dalle indagini geofisiche effettuate nell'area (MASW), la profondità del bedrock sismico è stimata sui 30 m circa dal piano di campagna; dalle indagini geologiche (carotaggi, pozzi, stratigrafie), invece, il bedrock è considerato ad una profondità maggiore, sui 90 m dal p.d.c.

Sono quindi state effettuate due modellazioni (S1 e S2) assumendo due profili stratigrafici con il bedrock posto a due profondità diverse (Tabella 1), che hanno permesso di confrontare i risultati al fine di scegliere come rappresentativa l'analisi che rispecchia meglio la situazione reale nonché quella più cautelativa dal punto di vista della risposta sismica locale.

---

<sup>4</sup> <https://nees.org/resources/strata>

<sup>5</sup> [http://ambiente.regione.emilia-romagna.it/geologia/archivio\\_pdf/sismica/Allegato\\_4.zip/](http://ambiente.regione.emilia-romagna.it/geologia/archivio_pdf/sismica/Allegato_4.zip/) - DGR 2193/2015

Le due modellazioni sono state effettuate applicando il profilo di velocità ricavato dall'indagine MASW denominata L3 (effettuata nell'area soggetta a PUA) fino a 30 m (in rosso in Tabella 1), estrapolando linearmente i valori da 30 a 90 m (nel caso del bedrock profondo, in verde in Tabella 1) e consentendo variazioni stocastiche del profilo stesso.

**Tabella 1 – Ricostruzione dei sismostrati utilizzati per l'analisi di risposta sismica locale (S1=bedrock 30m, S2=bedrock 90m).**

<b>S1</b>	<i>Litologia</i>	<i>Prof.</i>	<i>Spess.</i>	$V_s$	$\gamma$
...	...	<i>m</i>	<i>m</i>	<i>m/s</i>	<i>kN/m<sup>3</sup></i>
1	argilla	7	7	220	19,50
2	ghiaia	14	7	465	20,50
3	argilla	17	3	593	19,50
4	ghiaia	30	13	677	20,50
	bedrock			800,00	22,00

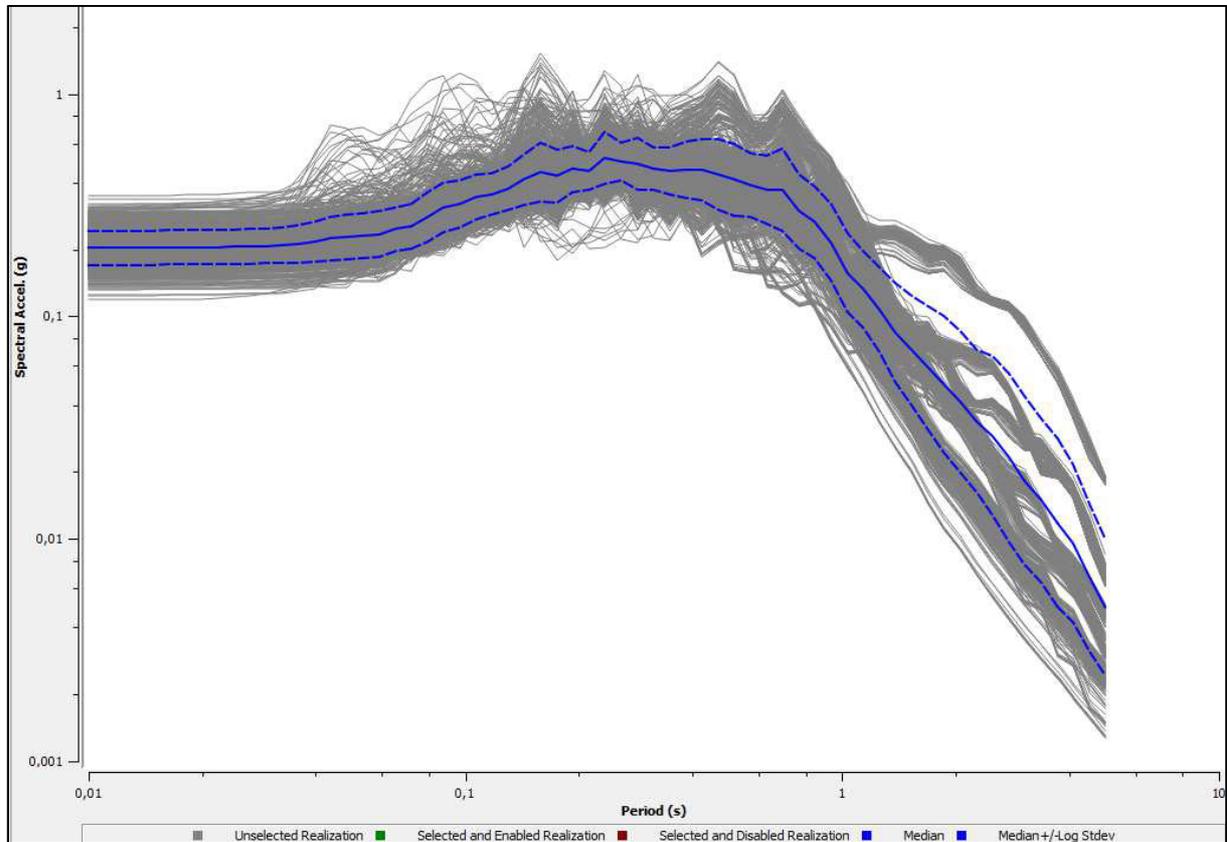
<b>S2</b>	<i>Litologia</i>	<i>Prof.</i>	<i>Spess.</i>	$V_s$	$\gamma$
...	...	<i>m</i>	<i>m</i>	<i>m/s</i>	<i>kN/m<sup>3</sup></i>
1	argilla	7	7	220	19,50
2	ghiaia	14	7	465	20,50
3	argilla	17	3	593	19,50
4	ghiaia	30	13	677	20,50
5	argilla	42	12	700	19,5
6	ghiaia	66	24	750	20,5
7	sabbia	80	14	775	20
8	argilla	90	10	790	19,5
	bedrock			800,00	22,00

Per quanto riguarda le curve di smorzamento e di riduzione del modulo di taglio si è fatto riferimento alle curve di letteratura già presenti all'interno del software, in particolare alle curve di Idriss (1990) per le argille e le sabbie, e di Seed et al. (1991) per le ghiaie.

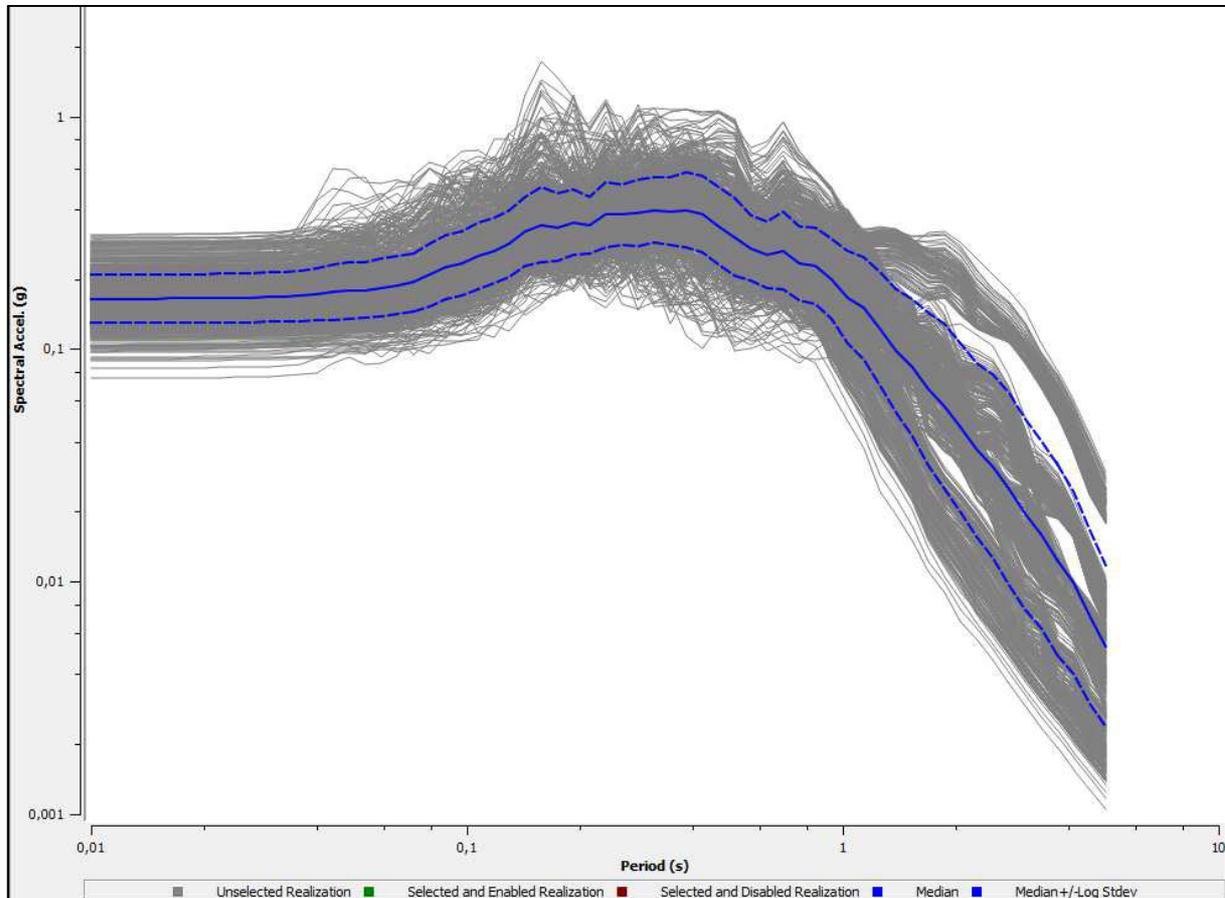
Variando spessori degli strati,  $V_s$ , curve di degrado e profondità del bedrock sismico, STRATA ha eseguito, per i 7 accelerogrammi, 100 analisi di risposta sismica.

La distribuzione degli spettri di risposta delle due simulazioni è riportata in Figura 20 e Figura 21.

**Figura 20 – Popolazione degli spettri di risposta visco-elastici (5% di smorzamento) alla superficie di campagna per il sito, con bedrock sismico assunto a 30 m di profondità. La linea blu continua indica la mediana (50° percentile) della distribuzione mentre i due andamenti tratteggiati corrispondono rispettivamente al 16° e 84° percentile della distribuzione.**



**Figura 21 – Popolazione degli spettri di risposta visco-elastici (5% di smorzamento) alla superficie di campagna per il sito, con bedrock sismico assunto a 90 m di profondità. La linea blu continua indica la mediana (50° percentile) della distribuzione mentre i due andamenti tratteggiati corrispondono rispettivamente al 16° e 84° percentile della distribuzione.**

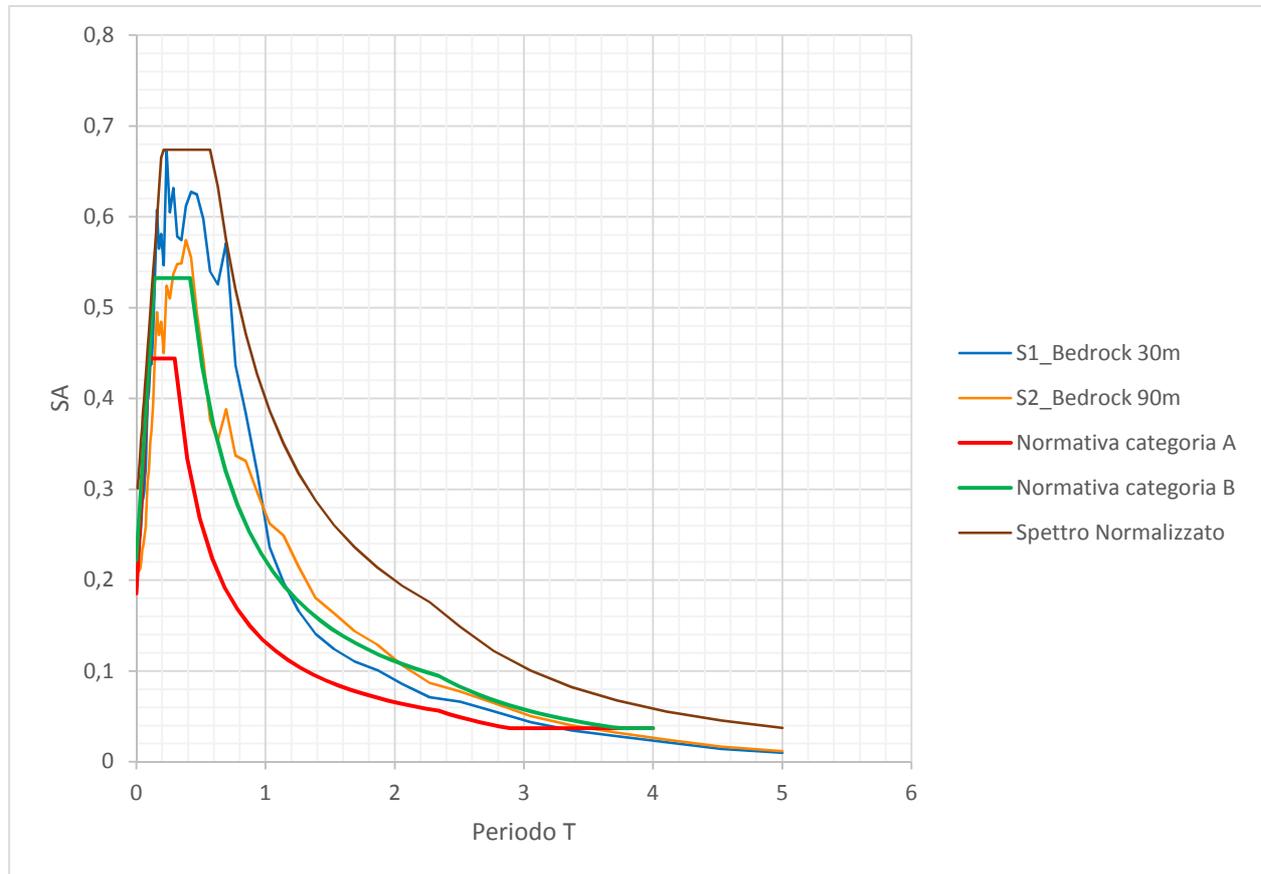


Allo scopo di ottenere una stima conservativa dello spettro di risposta, si è deciso di adottare lo spettro di risposta caratterizzato da una probabilità di eccedenza del 10% (compatibile quindi con le stime di pericolosità). I risultati delle due elaborazioni con bedrock sismico a diversa profondità, sono sintetizzati nella Figura 22. Per confronto è riportato lo spettro di normativa per l'area di studio per sottosuolo di tipo A e di tipo B.

Come si vede, lo spettro di risposta S1 ottenuto dalla presente analisi eccede largamente quello di normativa di tipo B (sottosuolo tipo del sito) per la parte inferiore a 1,2 s; per periodi più lunghi di 1,2 s, lo spettro di sito si mostra del tutto in linea con quello di normativa. Lo spettro di risposta S2 eccede anch'esso quello di normativa di tipo B per la parte inferiore a 2 s; per periodi più lunghi di 1,2 s, lo spettro di sito si mostra del tutto in linea con quello di normativa

I valori di tutti gli spettri sono tabulati in Allegato 4.

**Figura 22 – Spettro di risposta visco-elastico (5% di smorzamento) relativo al sito in esame alla superficie attuale. In blu spettro con bedrock sismico assunto a 30 m, in arancione bedrock a 90 m, in rosso spettro di normativa per sottosuolo di tipo A ed in verde spettro di normativa per sottosuolo di tipo B, in marrone spettro normalizzato**



Al fine di considerare la modellazione più cautelativa della risposta sismica locale, si farà riferimento alla S1, con bedrock a 30 m, poiché le simulazioni evidenziano una maggiore amplificazione delle onde sismiche.

Come indicazione, se per il calcolo delle strutture si opta per l'adozione dello spettro di risposta in superficie NON normalizzato (consigliabile), il valore della PGA è quello pari a **0,24g** (ovvero il valore di PGA corrispondente allo spettro di risposta in superficie caratterizzato dal 84° percentile). Il valore scende a **0,20g** se si sceglie lo spettro medio.

Se si opta per l'utilizzo dello spettro di risposta in superficie normalizzato, si dovrà adottare come rappresentativo dell'area lo spettro normalizzato con parametri **S=1,5** e **Cc=2** il cui andamento è riportato sempre in Figura 22. Il valore di PGA, in questo caso, risulterebbe pari a **0,3g**, largamente superiore a quello dello spettro di sito non normalizzato, quindi, molto penalizzante. Questo in ragione del fatto che ogni spettro normalizzato ha una forma "rigida", non adattabile allo spettro di risposta effettivamente ottenuto dalla modellazione in tutte le sue parti. Per inseguire i massimi dello spettro di risposta si devono, infatti, "falsare" i valori in PGA e (soprattutto) quelli relativi ai lunghi periodi.

Rispetto alla pianificazione, in base alla DGR 2193 del 2015, i fattori di amplificazione rispetto al suolo A (SLV e  $c_u=III$ ), nello scenario con bedrock sismico a 30 m dal piano campagna, sono i seguenti:

F.A. PGA:	1,3
F.A. SI1:	1,5
F.A. SI2:	2,5
F.A. SI3:	2,2

### 7.1. SUSCETTIBILITÀ A LIQUEFAZIONE E CEDIMENTI POST-SISMICI

La “Relazione sulla microzonazione sismica di I e II livello” del PSC del Comune di Sassuolo (versione approvata del giugno 2013) richiede, per le sole aree in cui affiorano le Unità Quaternarie Continentali, nei casi in cui vi sia presenza di falda a profondità comprese tra 0 e - 20 m dal piano campagna, una microzonazione di III livello, volta alla definizione del **potenziale di liquefazione** e dei **cedimenti attesi** nei casi in cui si evidenzia la presenza di falda.

Nella fattispecie del POC oggetto del presente studio, per quanto riguarda i settori a nord di via Statale Ovest, i dati piezometrici disponibili individuano la superficie freatica ad una profondità minima di circa -24 m dal piano campagna, pertanto oltre la soglia dei 20 m oltre la quale la suscettibilità a liquefazione viene considerata molto improbabile. Inoltre, le stratigrafie dei sondaggi, nei medesimi settori, non hanno individuato spessori sabbiosi di rilievo.

Per quanto riguarda il settore a sud di via Statale Ovest, le stratigrafie hanno individuato spessori sabbiosi in prossimità del raccordo topografico tra fronte collinare e alta pianura e una superficie freatica che si attesta sui 9 m dal piano campagna. Qui, in effetti, le condizioni predisponenti eventuali fenomeni di liquefazione e cedimenti post-sismici vi sono, ma occorre far notare che le sabbie individuate non sono di origine continentale, bensì marina (ambiente litorale – Sabbie di Castelvetro), dotate di un certo grado di cementazione diagenetica (Gasperi et al., 1989). Risulta quindi improbabile che tali livelli sabbiosi possano favorire fenomeni di liquefazione e cedimenti post-sismici in occasione di sisma.

Non esistendo, però, indagini penetrometriche che intercettino tali livelli sabbiosi, occorre rimandare alle successive fasi attuative la valutazione dell'effettivo stato di addensamento (densità relativa e parametro di stato delle sabbie) delle Sabbie di Castelvetro e la conseguente analisi di suscettibilità alla liquefazione.

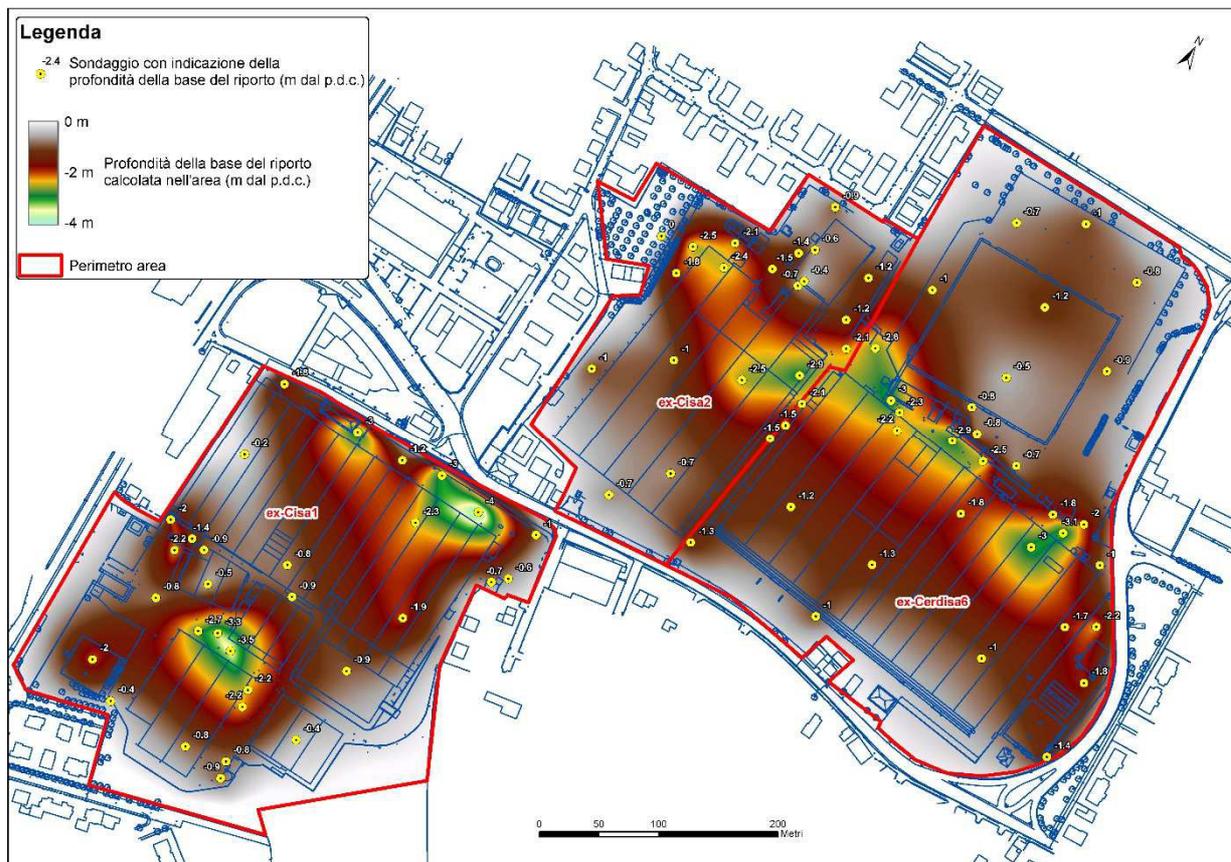
## 8. INDAGINE AMBIENTALE

Tra la fine del 2015 e l'inizio del 2016 è stata svolta una indagine al fine di caratterizzare i terreni del comparto ceramico dismesso Cisa-Cerdisa dal punto di vista ambientale, i cui risultati sono riportati nella relativa relazione di "Caratterizzazione dei terreni" redatta dallo scrivente (gennaio 2016).

In sintesi, sono stati effettuati n. 97 sondaggi a carotaggio continuo e n. 15 sondaggi con escavatore dai quali sono stati prelevati campioni di terreno sottoposti ad analisi chimiche, nonché sono stati prelevati n. 7 campioni di acqua da altrettanti piezometri al fine di analizzare anche le acque del sottosuolo.

I sondaggi a carotaggio continuo, spinti sino alla profondità di 5 m dal p.d.c., comunque fino al primo livello di terreno naturale, hanno innanzitutto permesso di ricostruire l'andamento della coltre superficiale di riporto antropico, modellizzata in Figura 23. I maggiori spessori di riporto si rinvenivano nei piazzali esterni sul fronte nord dei fabbricati dell'ex comparto ceramico, laddove era maggiore il bisogno di materiale per livellare il piano campagna e renderlo pianeggiante per permettere lo sviluppo edilizio.

**Figura 23 – Elaborazione dello spessore della coltre superficiale di riporto antropico**



In merito alla qualità dei terreni del sottosuolo, la caratterizzazione chimica ha evidenziato come non sempre il materiale di riporto risulti essere contaminato oltre i limi fissati dal D.Lgs 152/06 anche se spesso vede superati i limiti della colonna A e talvolta anche della colonna B.

In merito alla destinazione d'uso prevista per i diversi SUB-Ambiti, dovranno essere effettuate le opportune operazioni di bonifica al fine di fare rientrare i terreni contaminati all'interno della colonna A o B.

In particolare, per quanto riguarda il SUB-Ambito C soggetto a PUA, poiché è previsto un intervento con destinazione d'uso commerciale, saranno asportati ed adeguatamente trattati i terreni che superano i limiti della colonna B del D.Lgs 152/06. Questi terreni contaminati e da bonificare si trovano prevalentemente nella fascia settentrionale dei fabbricati ormai demoliti di Cisa2 e Cerdisa6. Tali operazioni di bonifica saranno gestite secondo le indicazioni riportate nel "Piano di bonifica" mirato alla sola area soggetta a PUA.

I futuri interventi di bonifica dei terreni dovranno essere valutati in funzione della destinazione d'uso dei futuri stralci. Si può comunque premettere che le possibili ulteriori aree da bonificare per superamenti della colonna B sono limitate alla zona più orientale del comparto e alla zona del piazzale settentrionale di Cisa1; superamenti della colonna A si riscontrano invece su quasi tutto il comparto, spesso associati ad un alto tenore di rame.

I componenti chimici delle acque del sottosuolo, invece, rientrano nei limiti di legge; si rileva solo un'alta concentrazione di boro disciolto che, in relazione alla zona, può essere considerata come una concentrazione naturale.

## 9. SINTESI DEI RISULTATI E CONCLUSIONI

Dalle prove geognostiche disponibili emerge come la zona di studio riferita all'Ambito AR (S-F) sia caratterizzata sostanzialmente da un sottosuolo che può essere suddiviso in due partizioni:

- L'area settentrionale, corrispondente all'incirca alla zona a nord della Strada Statale n. 467 che taglia ortogonalmente il comparto, caratterizzata da una spessa coltre alluvionale composta da diversi orizzonti ghiaiosi, il primo dei quali inizia tra i 4 m e i 7 m di profondità dal piano campagna e presenta uno spessore generalmente sui 7-10 m, seguito da alternanze di terreni argillosi e ghiaiosi fino ai 30 m indagati;
- L'area meridionale, corrispondente all'incirca alla zona a sud della Strada Statale n. 467 che taglia ortogonalmente il comparto, caratterizzata dalla presenza di un solo strato ghiaioso, il cui tetto è posto a profondità tra i 4 m e i 10 m dal p.d.c. e presenta uno spessore più modesto, generalmente di pochi metri, seguito, alla profondità di 12-15 m, da terreni fini argillosi (e secondariamente sabbiosi) appartenenti al substrato geologico marino (Pliocene – Pleistocene inferiore).

La soggiacenza della falda più superficiale, in base a quanto è stato misurato dai piezometri presenti nell'area, è abbastanza profonda, con valori massimi di soggiacenza di circa 20 m (nella parte settentrionale dell'area) e minimi di circa 9 m dal p.d.c. (nella parte meridionale dell'area).

Per la caratterizzazione sismica del terreno sono state utilizzate le indagini MASW pregresse, che hanno restituito valori di  $V_{s30}$  che variano da un minimo di 384 m/sec ad un massimo di 573 m/sec nei settori meridionale e nord-occidentale. Per il settore nord-orientale, in Comune di Fiorano, non è possibile identificare alcuna classe sismica poiché la microzonazione sismica comunale identifica valori di  $V_{s8}$ , senza però presentare i profili di  $V_s$ .

Secondo normativa, la categoria di appartenenza dei litotipi del sottosuolo per i settori meridionale e nord-occidentale è la **B** (*Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di  $V_{s30}$  compresi tra 360 m/s e 800 m/s, ovvero  $N_{SPT30} > 50$  nei terreni a grana grossa e  $c_{u30} > 250$  kPa nei terreni a grana fina*).

Se la ricostruzione stratigrafica dell'area ha permesso di individuare due aree con caratteristiche ben distinte, poste all'incirca a sud e a nord di via Statale Ovest, diverso è il quadro relativo alle caratteristiche sismiche messo in evidenza dalle prove geofisiche disponibili. Dal punto di vista sismico, infatti, l'intera area di PUA sembra mostrare caratteristiche omogenee: una profondità del bedrock sismico intorno ai 30 m ed un aumento progressivo dei valori di  $V_s$  con la profondità, senza evidenti contrasti, se si esclude il passaggio tra coltre limosa superficiale ed il tetto del primo spessore ghiaioso, messo in evidenza anche dai rapporti H/V, e comunque presente su tutta l'area.

Per quanto riguarda la suscettività alla liquefazione e a cedimenti in occasione di sisma, l'analisi dei dati ha permesso di valutarla come molto improbabile per i settori a nord di via Statale Ovest, per assenza di strati sabbiosi sotto falda. Per i settori a sud della stessa Statale Ovest, la presenza di sabbie in falda nei primi 20 m dal piano campagna rende teoricamente possibile il manifestarsi di tali effetti di sito. Le sabbie presenti, però, sono di ambiente sedimentario marino (litorale) e presentano un certo grado di cementazione, in base a quanto riscontrabile in letteratura. Pertanto, in questa fase, non avendo a disposizione misure penetrometriche in grado di valutarne con precisione il grado di addensamento, si ritiene di demandare al successivo PUA un approfondimento in questo senso, con l'esecuzione di penetrometrie statiche o SPT.

In fase di progettazione esecutiva degli interventi previsti nel PUA dovranno comunque essere eseguite nuove indagini specifiche, così come dovranno essere eseguite nuove indagini per supportare i Piani Attuativi della rimanente area di POC, soprattutto sul territorio di Fiorano nel quale i pochi dati sismici sino ad ora in possesso lasciano spazio a dubbi per la loro incongruenza di elaborazione rispetto a quelli dell'adiacente territorio di Sassuolo: i valori di  $V_s$  per Fiorano sono riferiti, infatti, ai soli primi 8 m dal piano campagna, mentre quelli di Sassuolo si riferiscono ai primi 30 m.

Ai fini della **progettazione** in presenza di moto sismico si ritiene di poter consigliare l'utilizzo dello spettro di risposta in superficie ricavato dall'analisi di risposta sismica locale effettuata per questo studio considerando il bedrock sismico alla profondità di 30 m dal piano di campagna (elaborazione S1) e che, rispetto allo spettro normalizzato da procedura semplificata NTC08 per l'SLV, amplifica la risposta sismica locale nell'intervallo 0-1,2 secondi.

Rispetto alla **pianificazione**, in base alla DGR 2193 del 2015, i fattori di amplificazione rispetto al suolo A (SLV e  $c_u=III$ ), nello scenario con bedrock sismico a 30 m dal piano campagna, sono i seguenti:

F.A. PGA:	1,3
F.A. SI1:	1,5
F.A. SI2:	2,5
F.A. SI3:	2,2

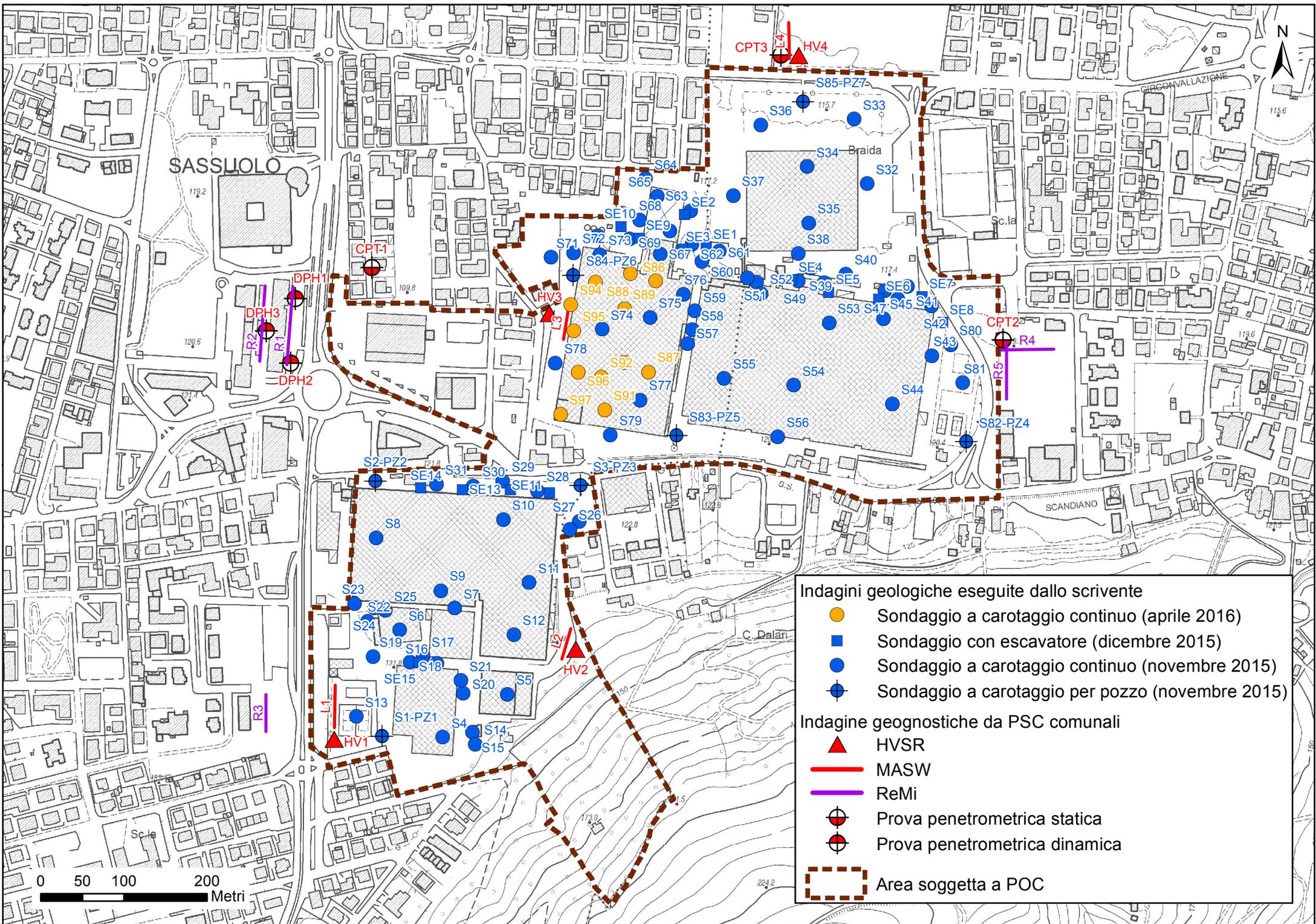
L'indagine ambientale dei terreni svolta nell'area ha riscontrato diversi superamenti della colonna A ed alcuni superamenti della colonna B del D.Lgs. 152/06.

Con riferimento alle destinazioni d'uso previste, i terreni contaminati dovranno essere asportati ed inviati allo smaltimento/recupero presso siti autorizzati.

Il primo stralcio di bonifica sarà attuato nell'area del SUB-Ambito C soggetto a PUA, per il quale è già stato presentato il relativo Piano operativo di bonifica. I successivi stralci di bonifica saranno realizzati valutando le destinazioni d'uso delle aree.

## ALLEGATO 1

<p><b>PLANIMETRIA DELL'AMBITO AR (S-F) CON UBICAZIONE DELLE PROVE GEOGNOSTICHE DISPONIBILI</b></p>
--



**Indagini geologiche eseguite dallo scrivente**

- Sondaggio a carotaggio continuo (aprile 2016)
- Sondaggio con escavatore (dicembre 2015)
- Sondaggio a carotaggio continuo (novembre 2015)
- ⊕ Sondaggio a carotaggio per pozzo (novembre 2015)

**Indagini geognostiche da PSC comunali**

- ▲ HVSR
- MASW
- ReMi
- ⊕ Prova penetrometrica statica
- ⊖ Prova penetrometrica dinamica
- Area soggetta a POC

0 50 100 200 Metri



## ALLEGATO 2

<p><b>DOCUMENTI DELLE PROVE PENETROMETRICHE PREGRESSE</b></p>
---

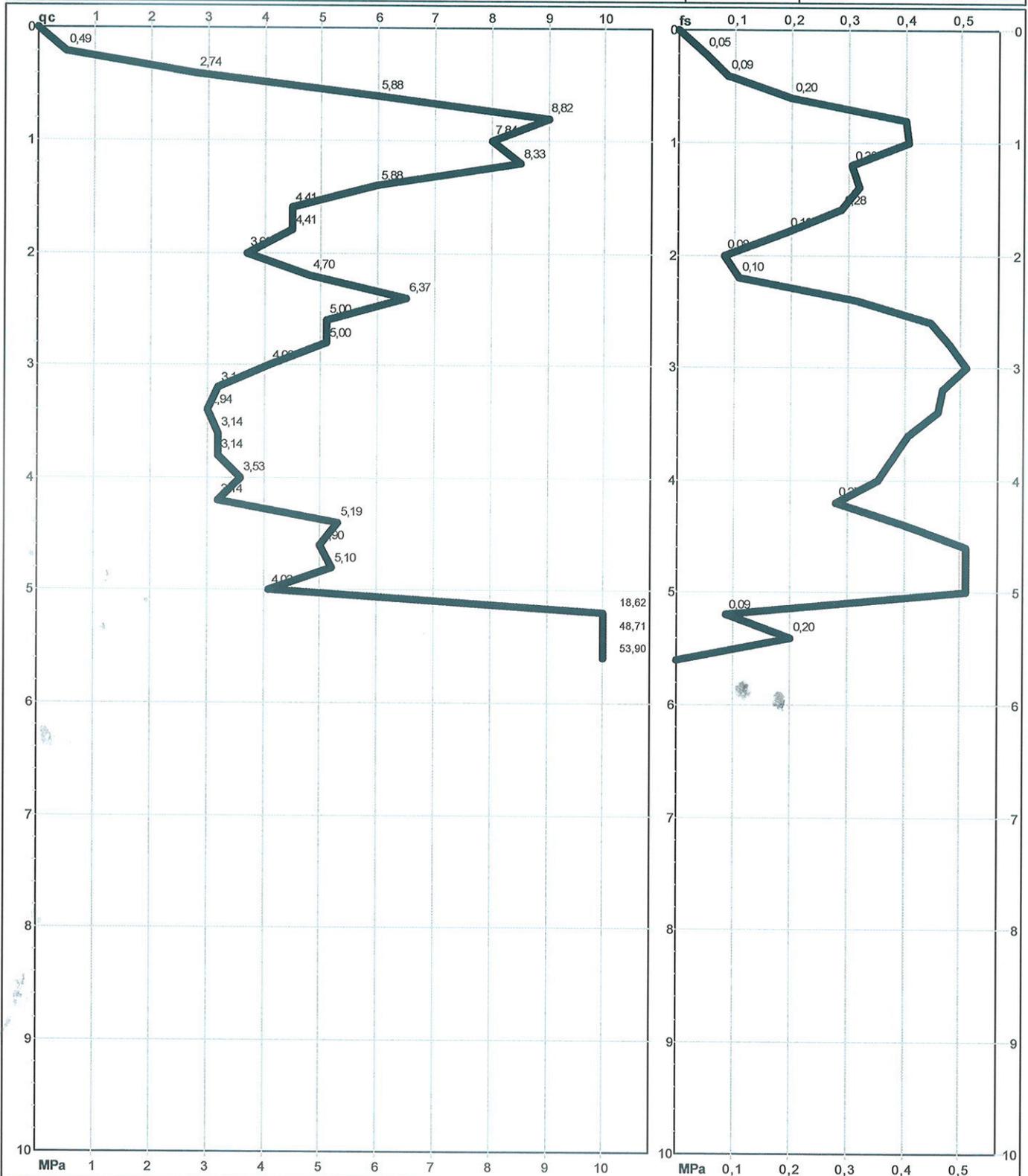


## PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA DIAGRAMMI DI RESISTENZA

n°	<b>1</b>
riferimento	138-08
certificato n°	010104

Committente: **Studio tecnico**  
 Cantiere: **Consolidamento fabbricato**  
 Località: **Via Don Giovanni Bosco, Sassuolo (MO)**

U.M.: **MPa**      Data eseg.: **05/11/2008**  
 Scala: **1:50**      Data certificato: **05/11/2008**  
 Pagina: **2/4**      Proforo: **m**  
 Elaborato:      Falda: **Non rilevata**



<b>Coord. Relative</b>	<b>Coord. Geografiche</b>	Penetrometro: <b>TG63-200</b>	Quota ass.:
Xr: m	Xg: m	Responsabile:	Corr.astine: <b>kN/ml</b>
Yr: m	Yg: m	Assistente:	
Zr: m	Zg: m		



**PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA**  
**LETTURE CAMPAGNA: PUNTA, LATERALE, TOTALE**

n°	<b>1</b>
riferimento	138-08
certificato n°	010104

Committente: <b>Studio tecnico</b>	U.M.: <b>MPa</b>	Data esec.: 05/11/2008
Cantiere: <b>Consolidamento fabbricato</b>	Pagina: <b>1/4</b>	Data certificato: 05/11/2008
Località: <b>Via Don Giovanni Bosco, Sassuolo (MO)</b>	Elaborato:	Preforo: m
		Falda: Non rilevata

H m	L1 -	L2 -	Lt -	qc MPa	fs kPa	F -	Fr %	H m	L1 -	L2 -	Lt -	qc MPa	fs kPa	F -	Fr %
0,20	5,00	10,00		0,49	46,06	11	9,4								
0,40	28,00	35,00		2,74	85,26	32	3,1								
0,60	60,00	73,00		5,88	196,00	30	3,3								
0,80	90,00	120,00		8,82	392,00	23	4,4								
1,00	80,00	140,00		7,84	398,86	20	5,1								
1,20	85,00	146,00		8,33	300,86	28	3,6								
1,40	60,00	106,00		5,88	313,60	19	5,3								
1,60	45,00	93,00		4,41	281,26	16	6,4								
1,80	45,00	88,00		4,41	189,14	23	4,3								
2,00	37,00	66,00		3,63	78,40	46	2,2								
2,20	48,00	60,00		4,70	104,86	45	2,2								
2,40	65,00	81,00		6,37	306,74	21	4,8								
2,60	51,00	98,00		5,00	438,06	11	8,8								
2,80	51,00	118,00		5,00	470,40	11	9,4								
3,00	41,00	113,00		4,02	522,34	8	13,0								
3,20	32,00	112,00		3,14	457,66	7	14,6								
3,40	30,00	100,00		2,94	450,80	7	15,3								
3,60	32,00	101,00		3,14	398,86	8	12,7								
3,80	32,00	93,00		3,14	372,40	8	11,9								
4,00	36,00	93,00		3,53	345,94	10	9,8								
4,20	32,00	85,00		3,14	274,40	11	8,8								
4,40	53,00	95,00		5,19	392,00	13	7,5								
4,60	50,00	110,00		4,90	529,20	9	10,8								
4,80	52,00	133,00		5,10	529,20	10	10,4								
5,00	41,00	122,00		4,02	980,00	4	24,4								
5,20	190,00	340,00		18,62	85,26	218	0,5								
5,40	497,00	510,00		48,71	196,00	249	0,4								
5,60	550,00	580,00		53,90	0,00	249	0,0								

H = profondità  
L1 = prima lettura (punta)  
L2 = seconda lettura (punta + laterale)  
Lt = terza lettura (totale)

qc = resistenza di punta  
fs = resistenza laterale calcolata  
0.20 m sopra quota di qc  
F = rapporto di Begemann (qc / fs)  
Fr = rapporto di Schmertmann (fs / qc)%



# PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

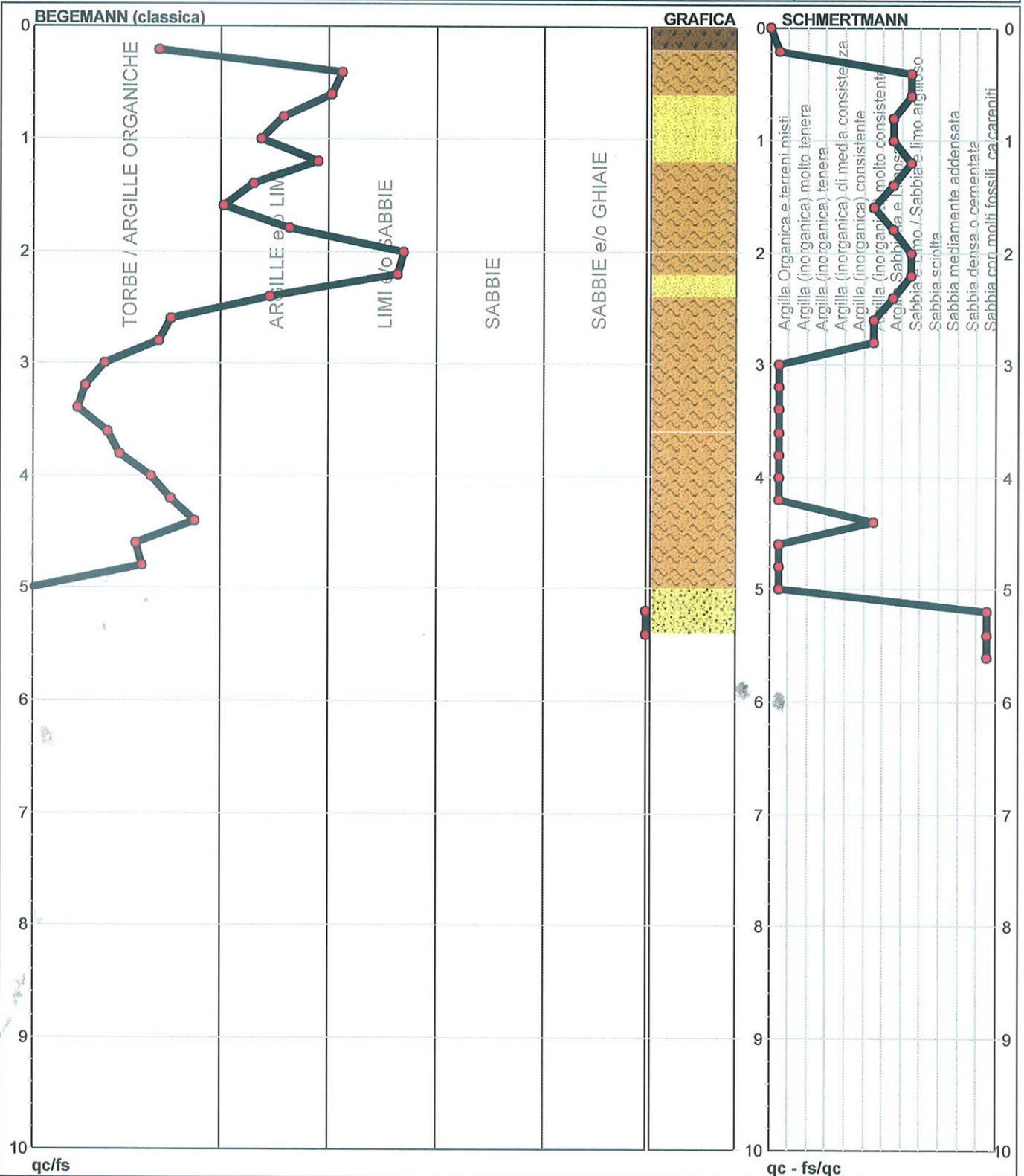
## DIAGRAMMI LITOLOGIA

n°	<b>1</b>
riferimento	138-08
certificato n°	010104

Committente: **Studio tecnico**  
 Cantiere: **Consolidamento fabbricato**  
 Località: **Via Don Giovanni Bosco, Sassuolo (MO)**

U.M.: **MPa**  
 Scala: **1:50**  
 Pagina: **3/4**  
 Elaborato:

Data eseg.: **05/11/2008**  
 Data certificato: **05/11/2008**  
 Preforo: **m**  
 Falda: **Non rilevata**



Torbe / Argille organiche :37 punti,	Argilla Organica e terreni misti: 11 punti,	Argilla Sabbiosa e Limosa: 5 punti,
Argille e/o Limi : 8 punti,	Argilla (inorganica) molto tenera: 0 punti,	Sabbia e Limo / Sabbia e limo argill.: 5 punti,
Limi e/o Sabbie : 3 punti,	Argilla (inorganica) tenera: 0 punti,	Sabbia sciolta: 0 punti,
Sabbie: 0 punti,	Argilla (inorganica) media consistenza: 0 punti,	Sabbia mediamente addensata: 0 punti,
Sabbie e/o Ghiaie : 2 punti,	Argilla (inorganica) consistente: 0 punti,	Sabbia densa o cementata: 0 punti,
	Argilla (inorganica) molto consistente: 4 punti,	Sabbia con molti fossili, calcareniti: 2 punti,









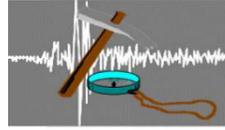
## ALLEGATO 3

# DOCUMENTI DELLE INDAGINI SISMICHE PREGRESSE

# L1

## Studio Geologico Fiori Alberto

Via Radici in Piano, 371  
41041 FORMIGINE fr. Casinalbo (MO)  
Telefono/Telefax: 059550703 – 338/6190797  
P.IVA: 02351210360 – Cod. Fisc. FRI LRT 58C14 I462V



AREA EX CISA CERDISA  
VIA CIRCONVALLAZIONE  
SASSUOLO (MO)

### DATI DI REGISTRAZIONE E SPECIFICHE DI ELABORAZIONE

Strumento: PASI mod. 16S24 - s/n 06031086  
Data Registrazione: 30/03/2012  
Lunghezza linea sismica: 46 ml.  
Interasse geofoni: 2 ml.  
Numero di trasduttori velocimetrici: 24

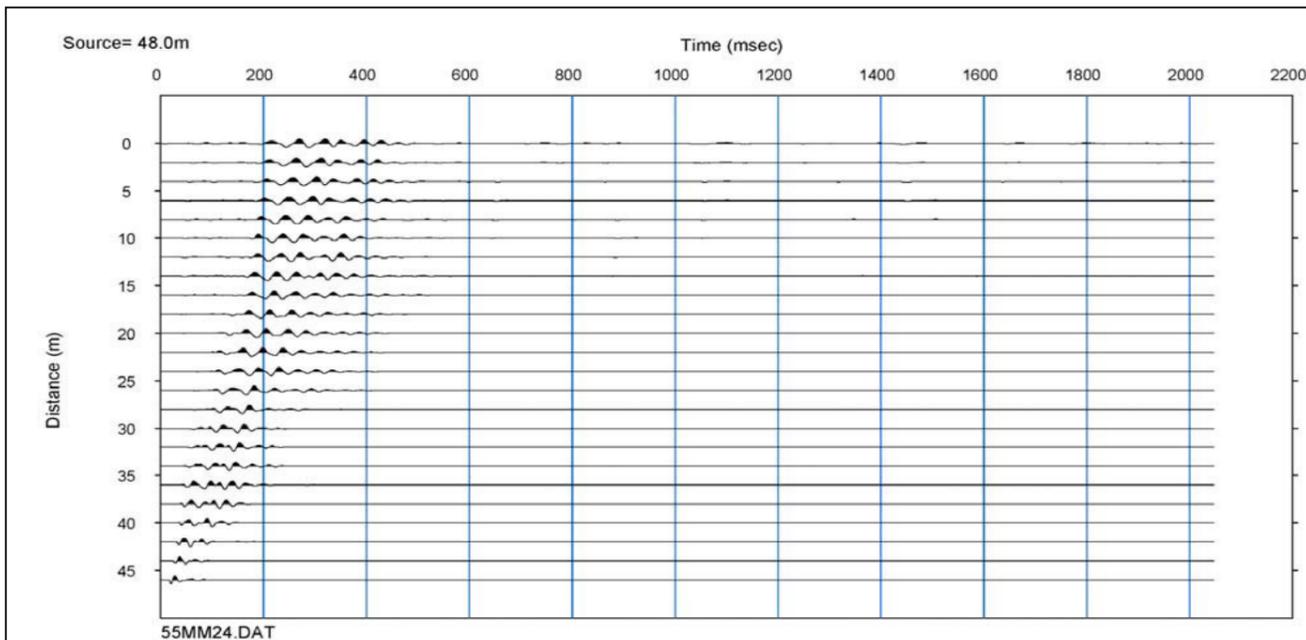
### UBICAZIONE SU ORTOFOTO



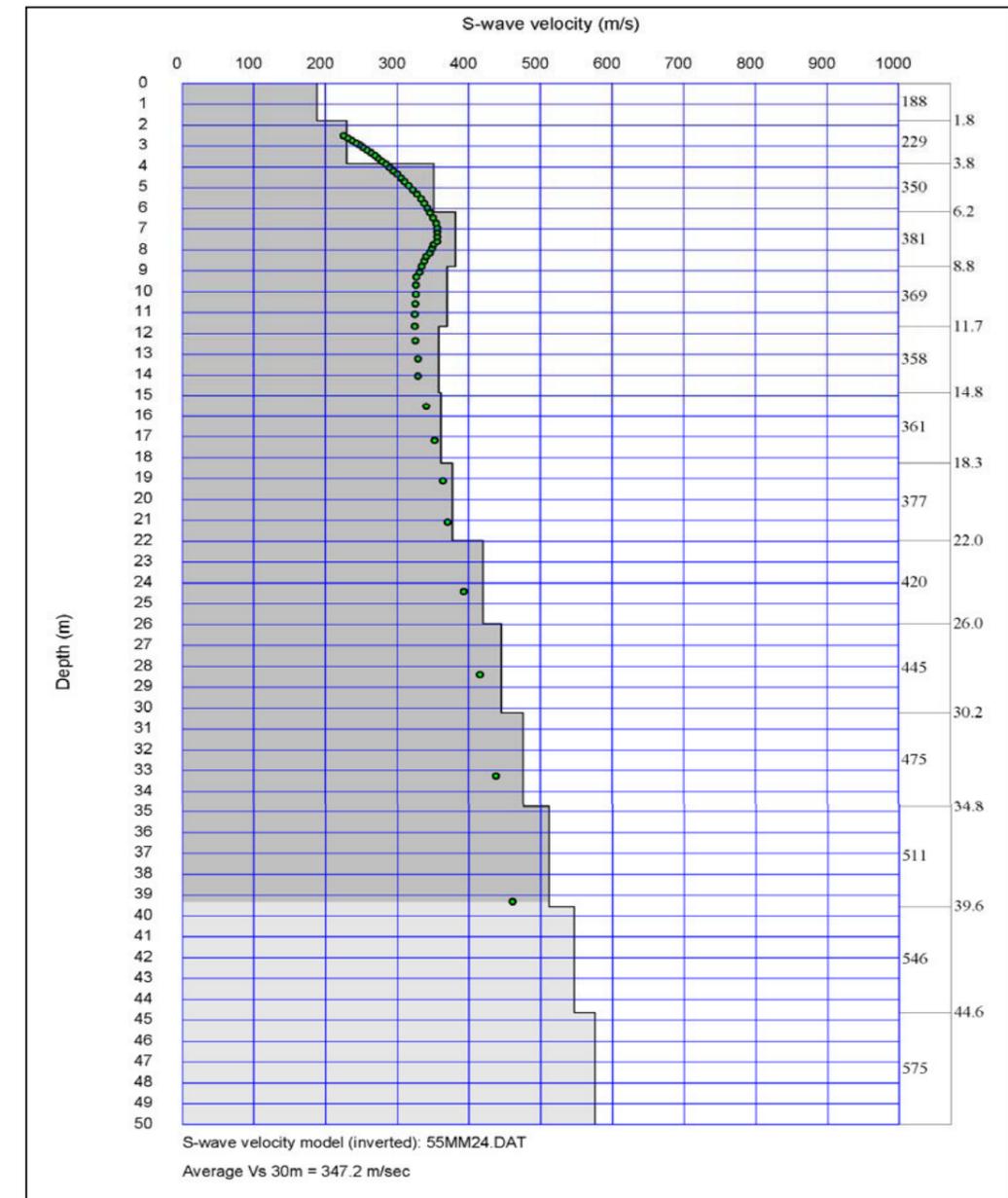
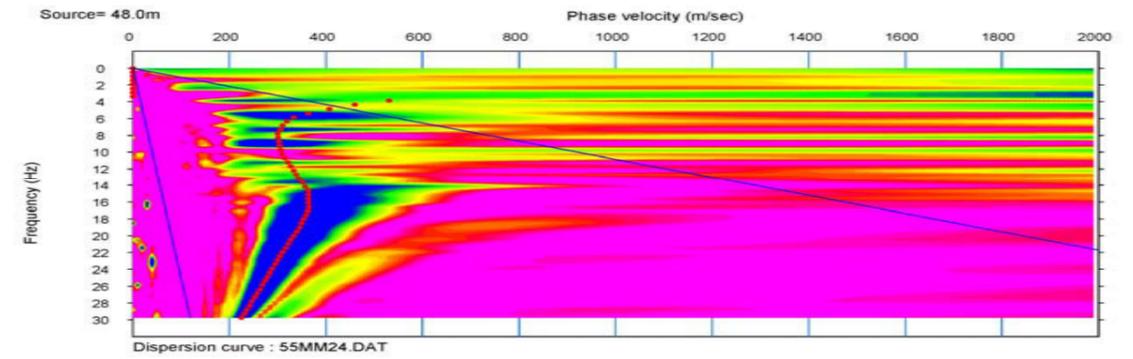
### DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



### REGISTRAZIONE RILEVATA



### CURVA DI DISPERSIONE

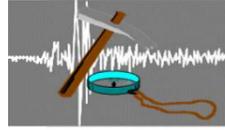


$V_{s,30}$ - Rilevato Strumentale	347.2	[m/s]
Errore Strumentale	2.7907	[%]

$V_{s,30}$ - Max	357	[m/s]
$V_{s,30}$ - Min	338	[m/s]

# L2

**Studio Geologico Fiori Alberto**  
 Via Radici in Piano, 371  
 41041 FORMIGINE fr. Casinalbo (MO)  
 Telefono/Telefax: 059550703 – 338/6190797  
 P.IVA: 02351210360 – Cod. Fisc. FRI LRT 58C14 I462V



**AREA EX CISA CERDISA**  
**VIA CIRCONVALLAZIONE**  
**SASSUOLO (MO)**

### DATI DI REGISTRAZIONE E SPECIFICHE DI ELABORAZIONE

Strumento: PASI mod. 16S24 - s/n 06031086  
 Data Registrazione: 30/03/2012  
 Lunghezza linea sismica: 46 ml.  
 Interasse geofoni: 2 ml.  
 Numero di trasduttori velocimetrici: 24

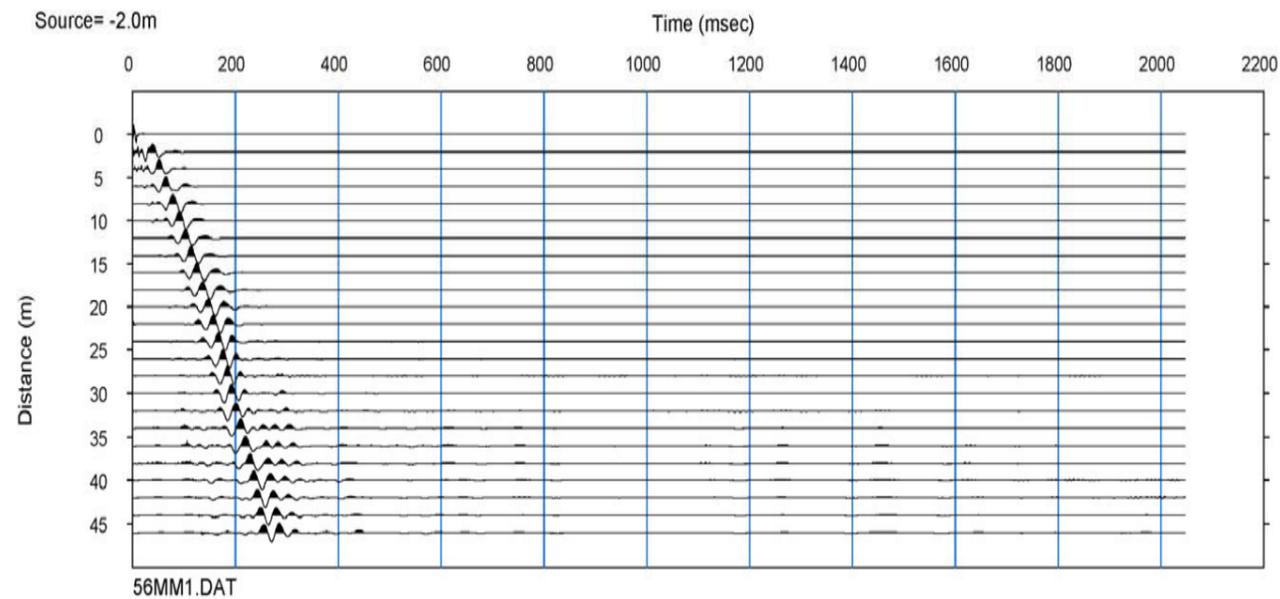
### UBICAZIONE SU ORTOFOTO



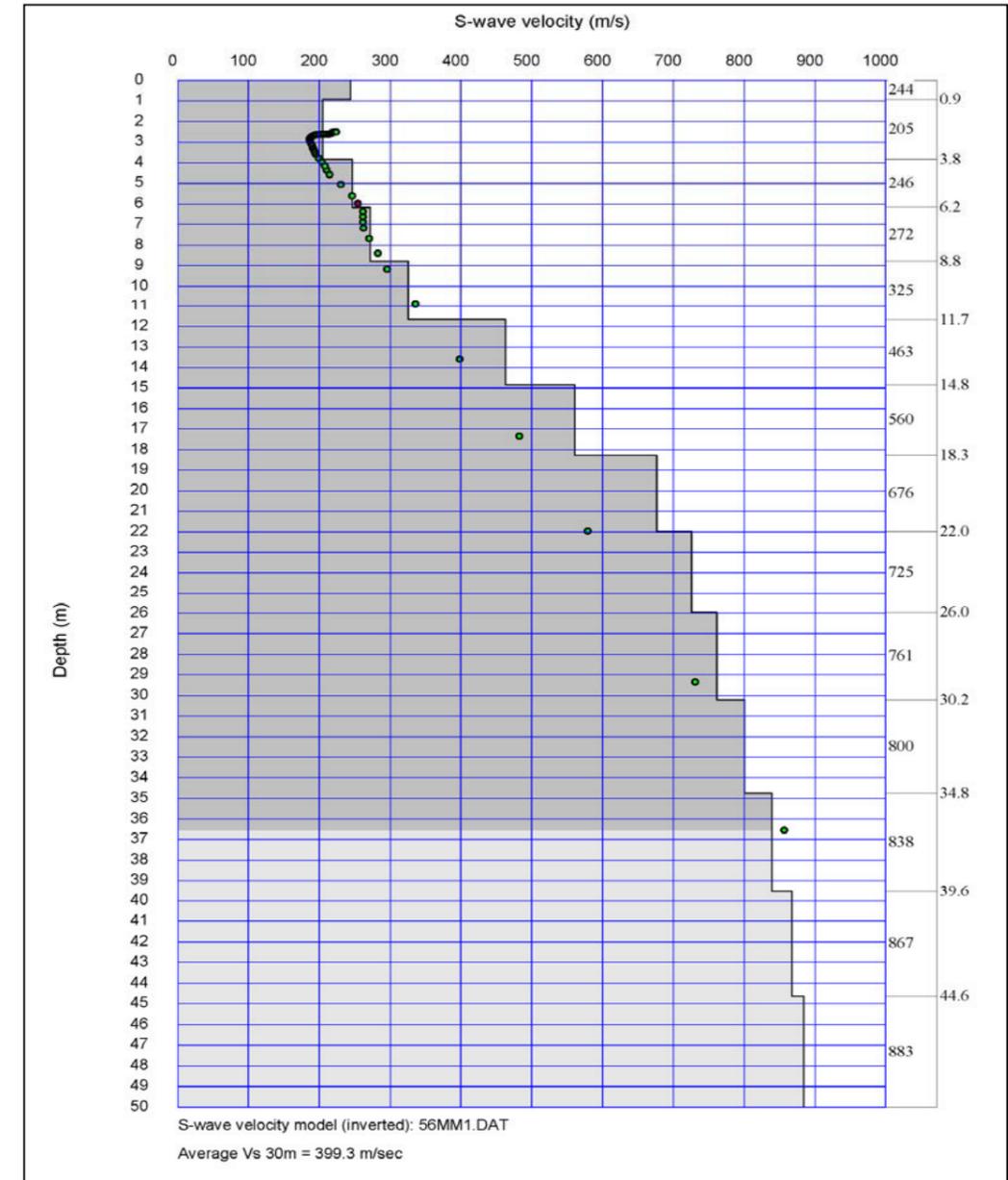
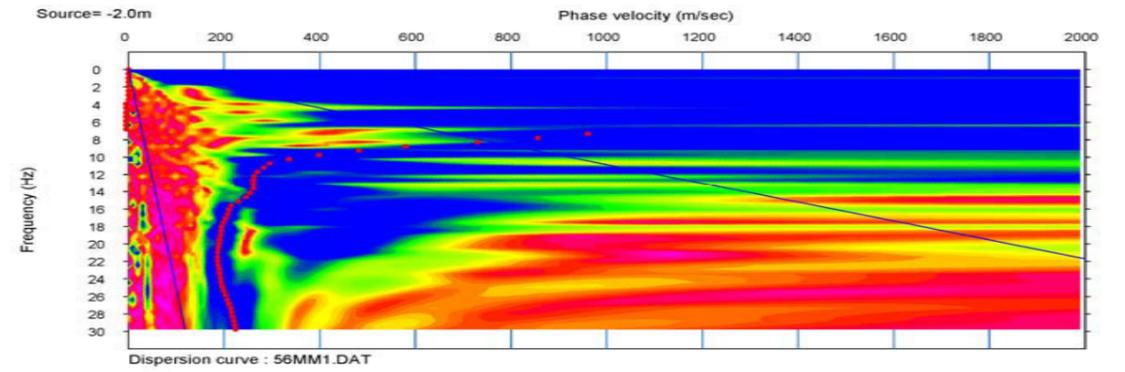
### DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



### REGISTRAZIONE RILEVATA



### CURVA DI DISPERSIONE



<b>V<sub>s,30</sub> - Rilevato Strumentale</b>	<b>399.3</b>	<b>[m/s]</b>	<b>V<sub>s,30</sub> - Max</b>	<b>439</b>	<b>[m/s]</b>
<b>Errore Strumentale</b>	<b>9.9251</b>	<b>[%]</b>	<b>V<sub>s,30</sub> - Min</b>	<b>360</b>	<b>[m/s]</b>

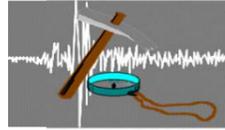
**L3****Studio Geologico Fiori Alberto**

Via Radici in Piano, 371

41041 FORMIGINE fr. Casalbo (MO)

Telefono/Telefax: 059550703 – 338/6190797

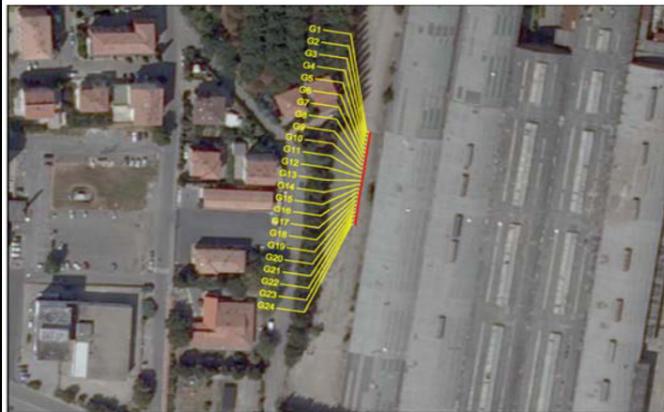
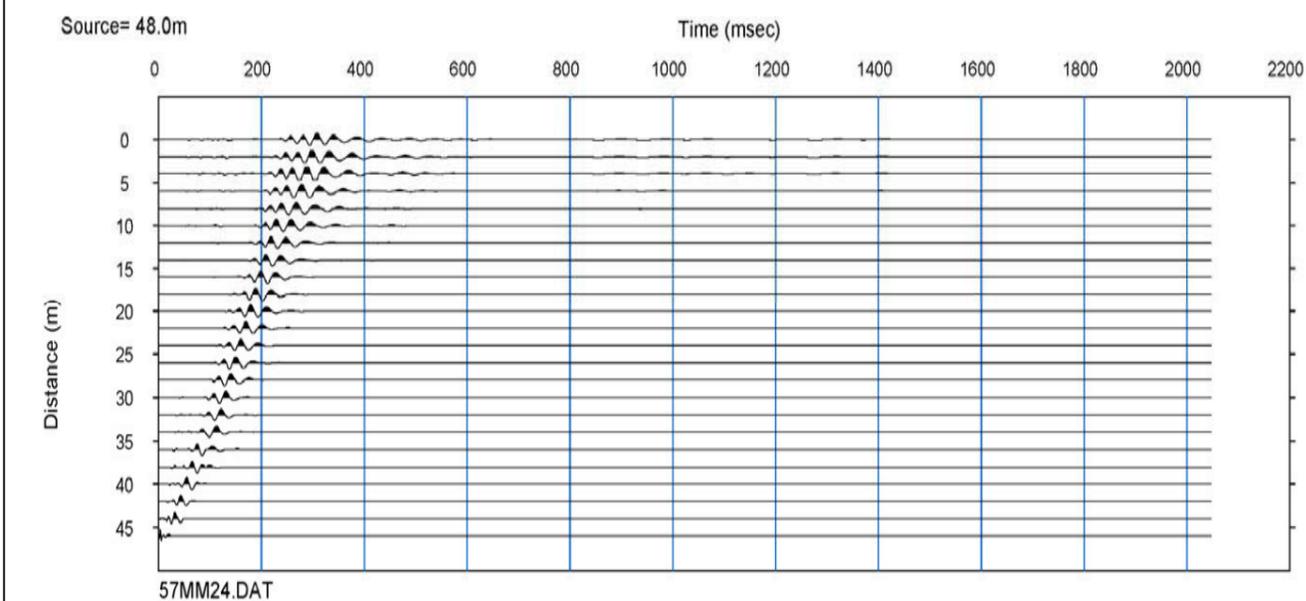
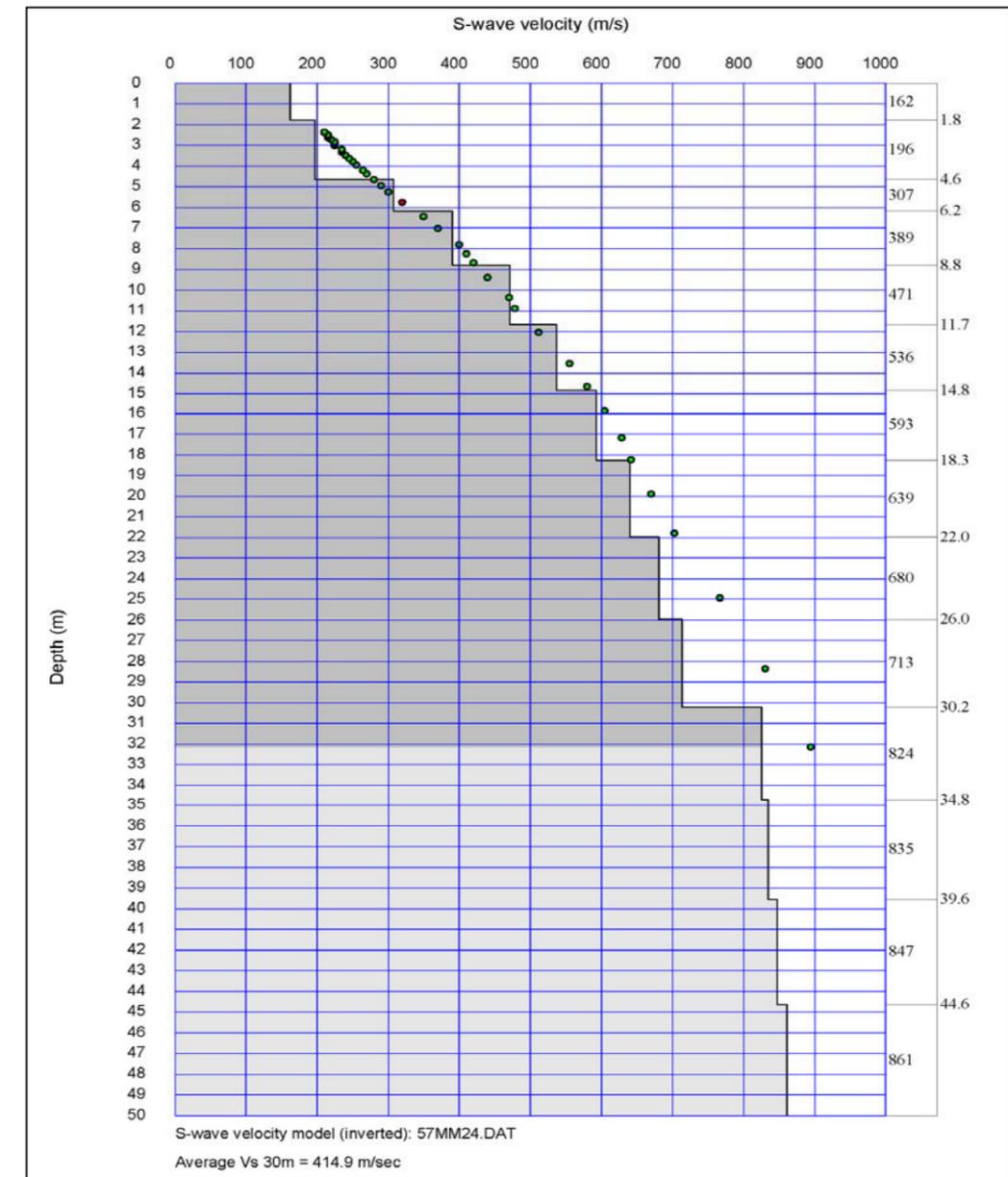
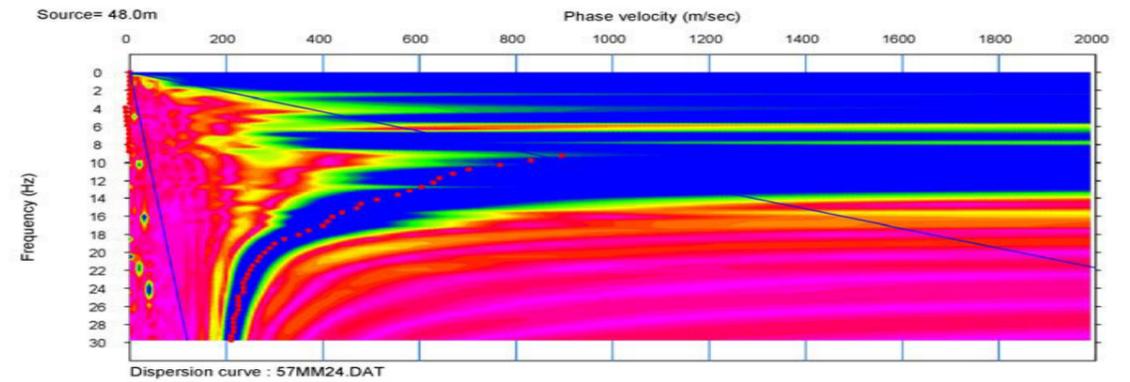
P.IVA: 02351210360 – Cod. Fisc. FRI LRT 58C14 I462V



AREA EX CISA CERDISA  
VIALE BRAIDA  
SASSUOLO (MO)

**DATI DI REGISTRAZIONE E SPECIFICHE DI ELABORAZIONE**

Strumento: PASI mod. 16S24 - s/n 06031086  
Data Registrazione: 30/03/2012  
Lunghezza linea sismica: 46 ml.  
Interasse geofoni: 2 ml.  
Numero di trasduttori velocimetrici: 24

**UBICAZIONE SU ORTOFOTO****DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA****REGISTRAZIONE RILEVATA****CURVA DI DISPERSIONE**

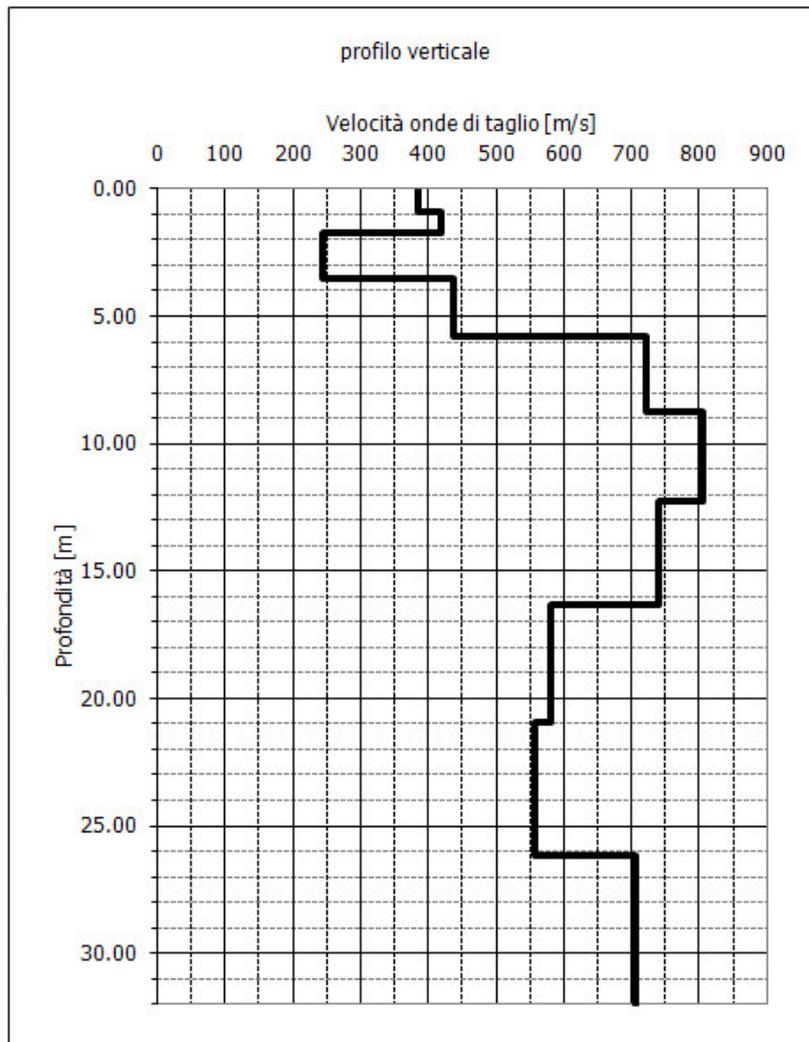
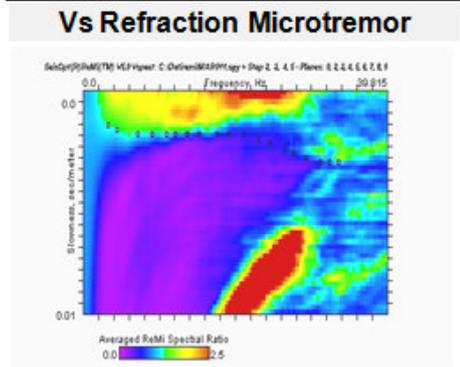
<b>V<sub>s,30</sub> - Rilevato Strumentale</b>	<b>414.9</b>	<b>[m/s]</b>
<b>Errore Strumentale</b>	4.8158	[%]

<b>V<sub>s,30</sub> - Max</b>	<b>435</b>	<b>[m/s]</b>
<b>V<sub>s,30</sub> - Min</b>	<b>395</b>	<b>[m/s]</b>

# R1

strati	Prof.	H	Vs	tempi
1	0.88		385	
2	1.75	0.75	419	0.00178
3	3.49	1.75	245	0.00713
4	5.82	2.33	438	0.00531
5	8.73	2.91	721	0.00404
6	12.26	3.53	805	0.00438
7	16.29	4.04	740	0.00545
8	20.95	4.65	580	0.00802
9	26.18	5.24	558	0.00939
10				
11				
12				
13				
14				
15				
16				
17				
18				
19				
20				

<b>ULTIMO</b>	31.00	4.82	707	0.00682
Somma tempi				0.05231
<b>Vs30</b>				<b>573</b>
<b>CLASSE</b>				<b>B</b>



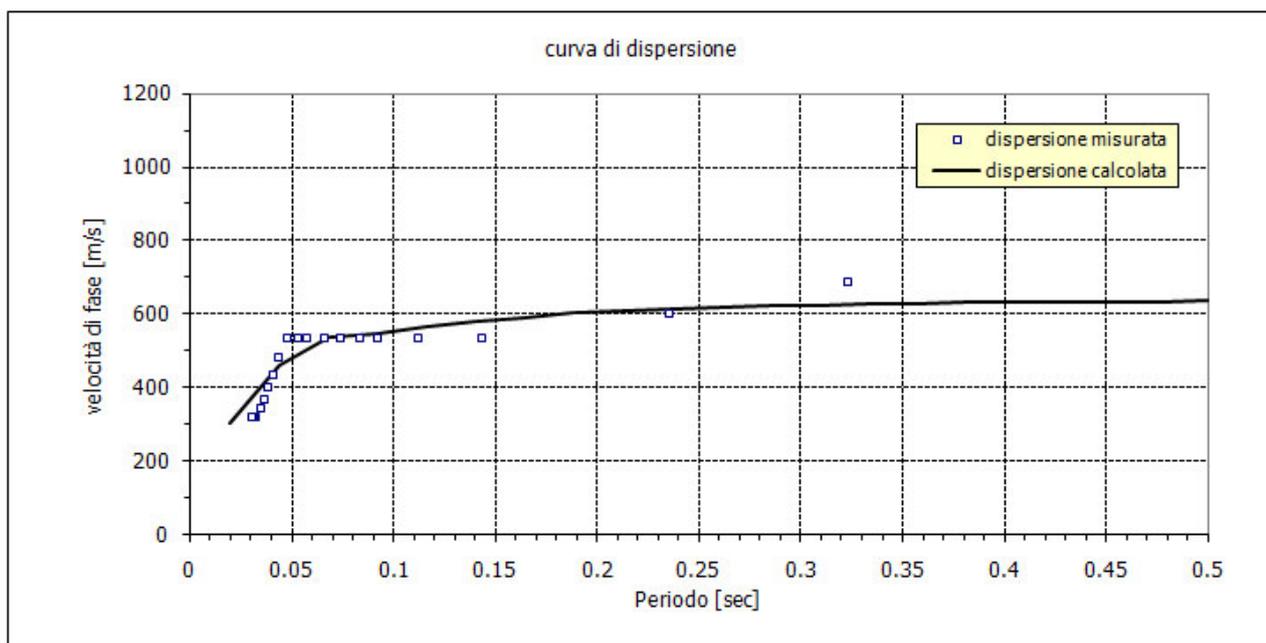
località **Sassuolo-Braida**

Prof. Posa Fond. **1**

**1**

Sond. N° **2**

**2**



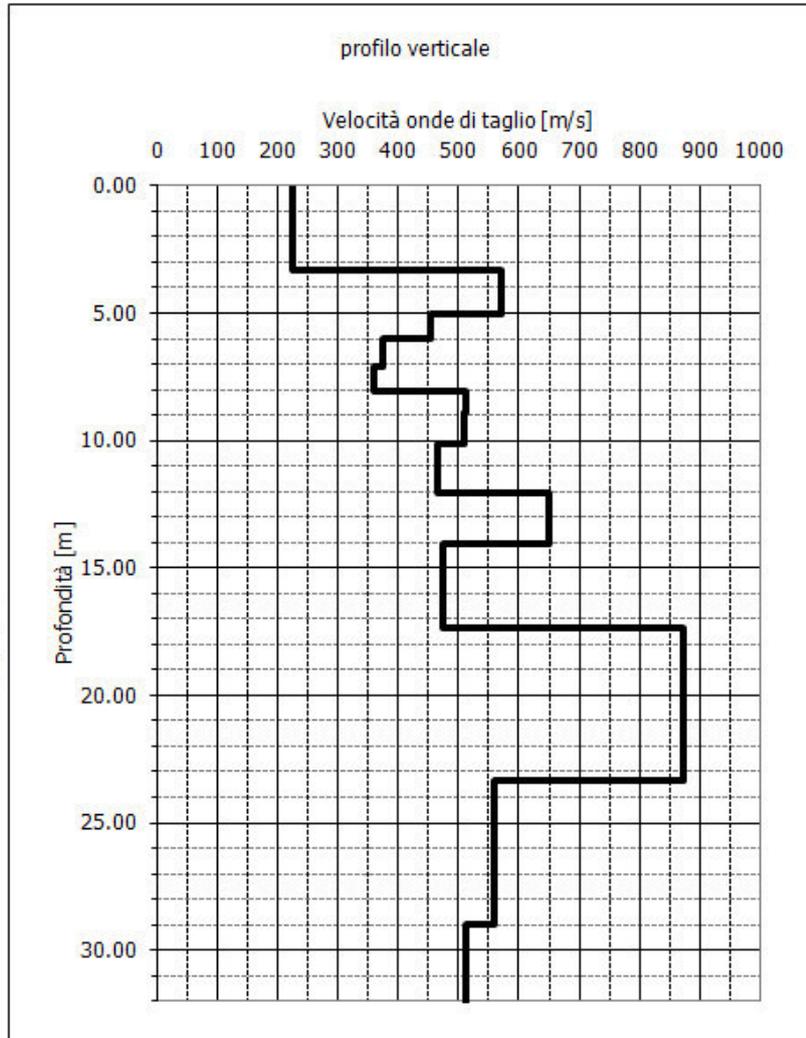
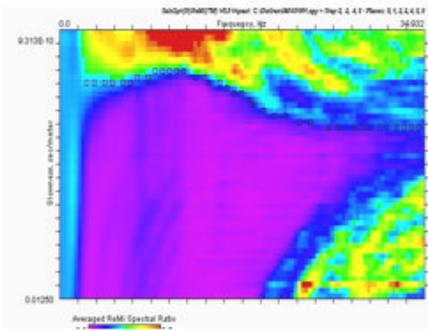
# R2

strati	Prof.	H	Vs	tempi
1	3.30	2.30	226	0.0102
2	5.04	1.73	569	0.00304
3	5.98	0.94	454	0.00208
4	7.09	1.11	375	0.00297
5	8.07	0.98	359	0.00273
6	8.91	0.84	513	0.00164
7	10.11	1.20	509	0.00235
8	12.09	1.98	465	0.00426
9	14.04	1.95	650	0.003
10	17.38	3.34	473	0.00705
11	23.36	5.99	872	0.00687
12	28.96	5.60	560	0.00999
13				
14				
15				
16				
17				
18				
19				
20				

**ULTIMO** 31.00 2.04 513 0.00398  
 Somma tempi 0.06016

**Vs30** 499  
**CLASSE** B

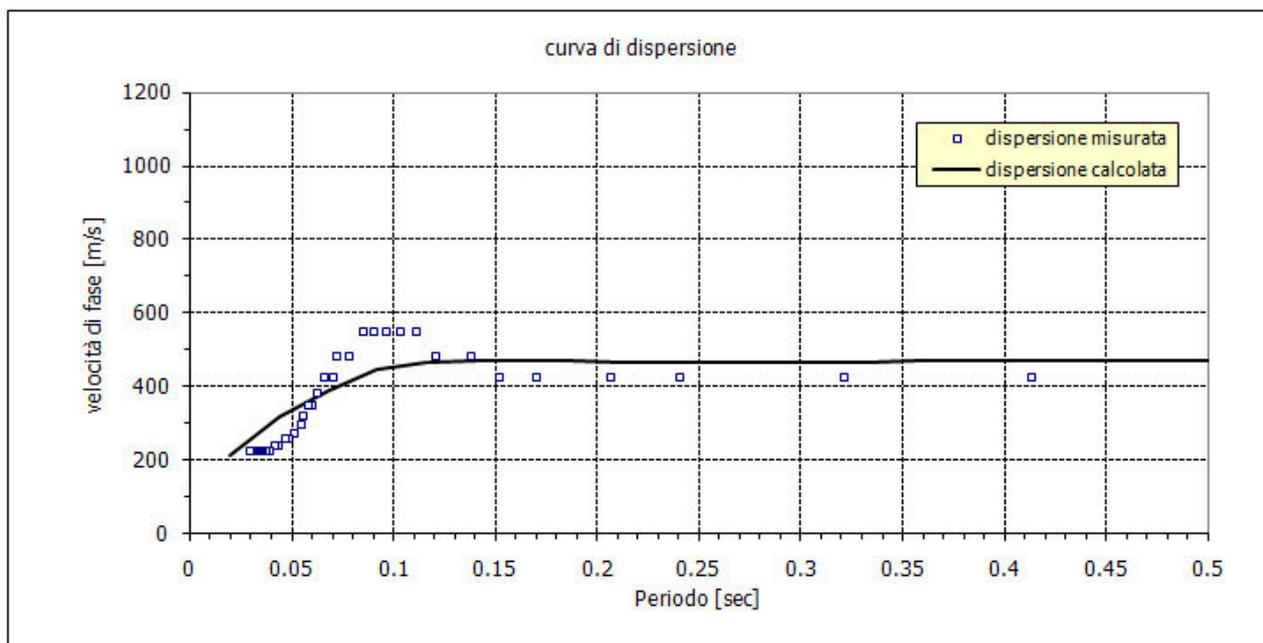
### Vs Refraction Microtremor



località **Sassuolo-Braida**

Prof. Posa Fond. **1**

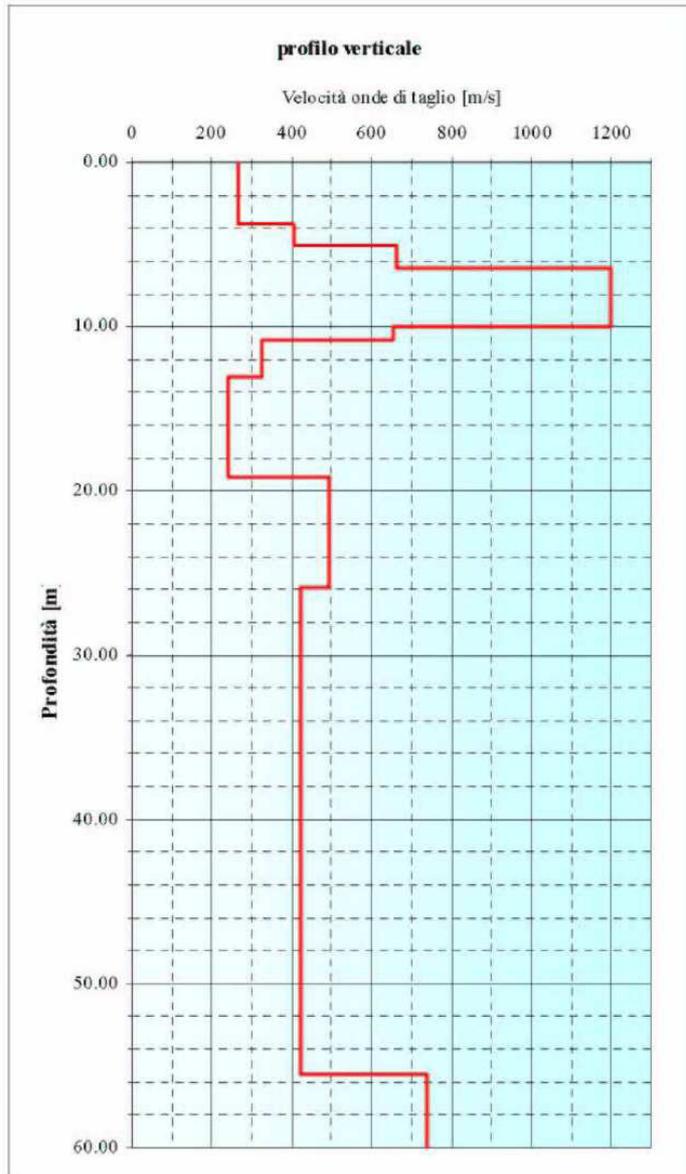
Sond. N° **1**



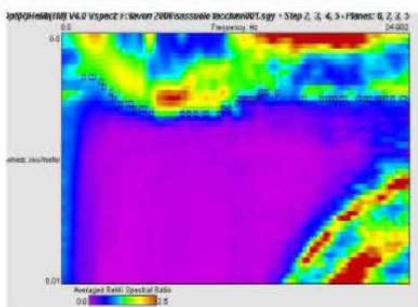
# R3

## RISULTATI DELLA PROVA DI RIFERIMENTO ReMi 1 GRAFICI E DETERMINAZIONE Vs30

strati	Prof.	H	Vs	tempi
1	3.79	2.79	268	0.01041
2	5.06	1.27	406	0.00313
3	6.38	1.32	662	0.002
4	10.00	3.62	1198	0.00302
5	10.75	0.75	655	0.00115
6	13.06	2.31	327	0.00707
7	19.15	6.09	239	0.02546
8	25.84	6.70	494	0.01357
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				
16				
17				
18				
19				
20				
<b>ULTIMO</b>	30.00	4.16	424	0.00981
Somma tempi				0.07561
<b>Vs30</b>			<b>384</b>	
<b>CLASSE</b>			<b>B</b>	



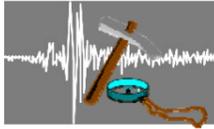
### Vs Refraction Microtremor



# HV1

**AREA EX CISA CERDISA  
VIA CIRCONVALLAZIONE  
SASSUOLO (MO)**

**Studio Geologico Fiori Alberto**  
Via Radici in Piano, 371  
41041 FORMIGINE fr. Casinalbo (MO)  
Telefono/Telefax: 059550703 – 338/6190797  
P.IVA: 02351210360 – Cod. Fisc. FRI LRT 58C14 I462V



## DATI DI REGISTRAZIONE E SPECIFICHE DI ELABORAZIONE

Instrument: TRZ-0010/01-09  
Start recording: 30/03/12 09:14:27 End recording: 30/03/12 09:34:28  
Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN  
Trace length: 0h20'00". Analyzed 95% trace (manual window selection)  
Sampling rate: 128 Hz  
Window size: 20 s  
Smoothing type: Triangular window  
Smoothing: 10%

## UBICAZIONE SU ORTOFOTO



COORDINATE UTM ED50\*: 642830, 933215

## DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



## CRITERI SECONDO LE LINEE GUIDA "SESAME, 2005"

**Max. H/V at 9.38 ± 0.12 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).**

### Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	9.38 > 0.50	OK
$n_c(f_0) > 200$	10687.5 > 200	OK
$s_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 451 times	OK
$s_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$		

### Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

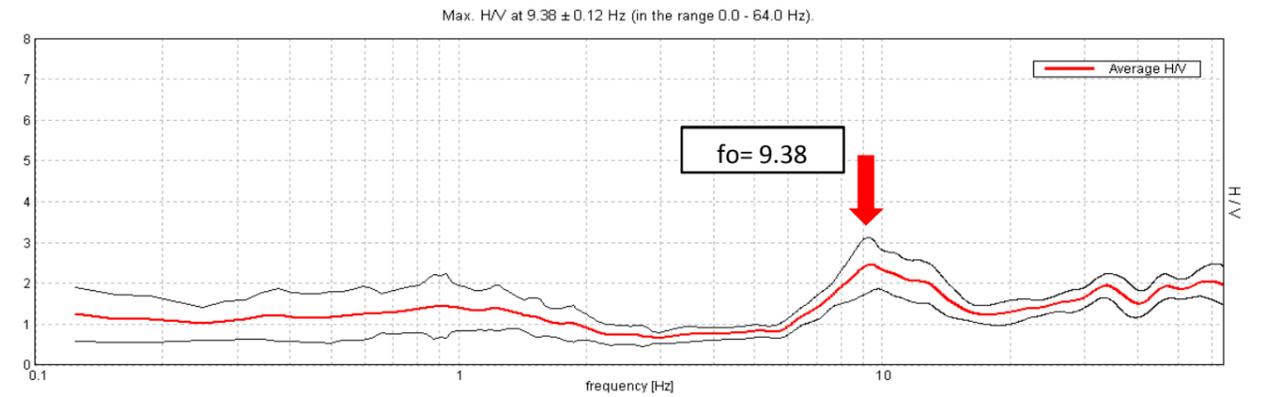
Exists $f^*$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^*) < A_0 / 2$	6.531 Hz	OK
Exists $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	17.844 Hz	OK
$A_0 > 2$	2.46 > 2	OK
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.00616  < 0.05$	OK
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.05772 < 0.46875	OK
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.327 < 1.58	OK

## CLASSE DI QUALITA' HVSR (D. Albarello et Alii, 2011)

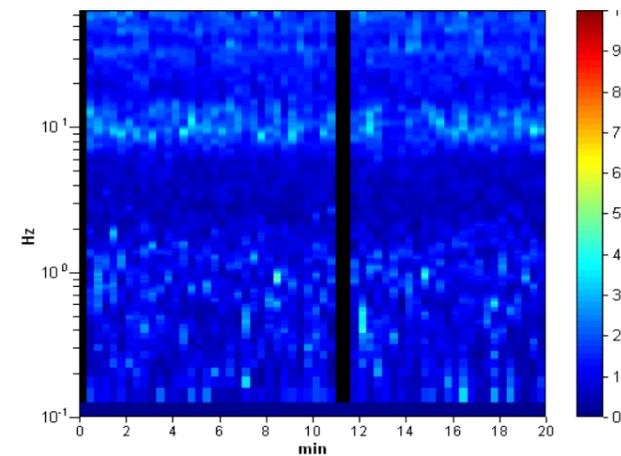
A

NOTE: fo attendibile - Contrasto di impedenza a circa 6 m di profondità coincidente con il tetto dei depositi ghiaiosi

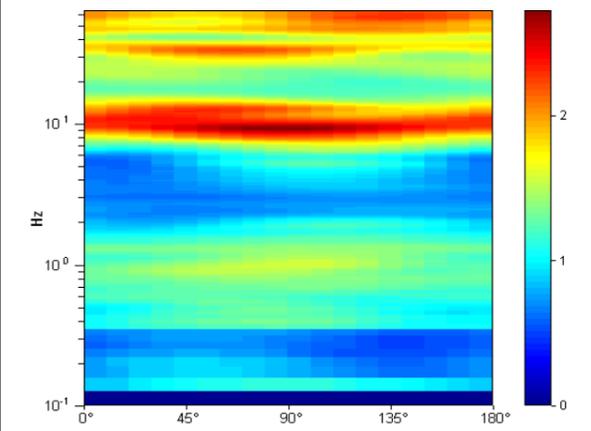
## HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO



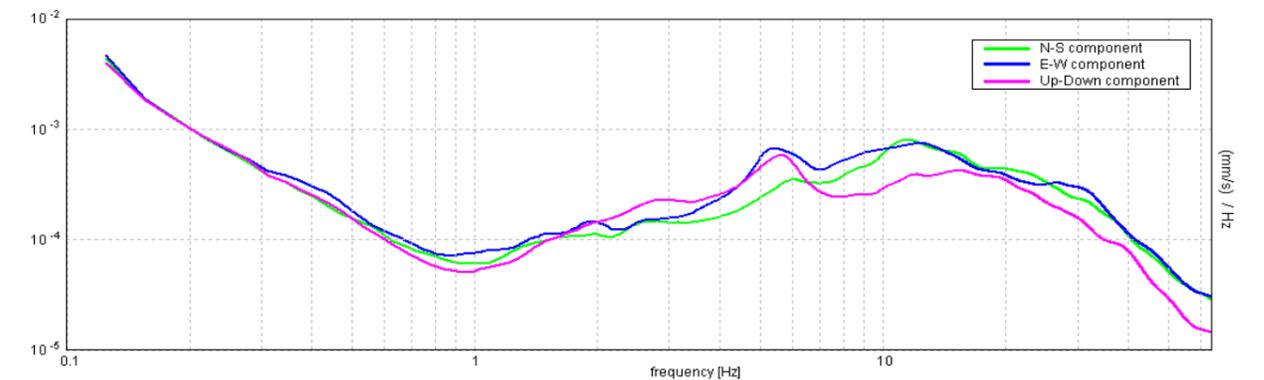
## H/V TIME HISTORY



## DIRECTIONAL H/V



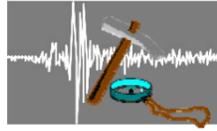
## SINGLE COMPONENT SPECTRA



# HV2

**Studio Geologico Fiori Alberto**

Via Radici in Piano, 371  
41041 FORMIGINE fr. Casinalbo (MO)  
Telefono/Telefax: 059550703 – 338/6190797  
P.IVA: 02351210360 – Cod. Fisc. FRI LRT 58C14 I462V



**AREA EX CISA CERDISA  
VIA CIRCONVALLAZIONE  
SASSUOLO (MO)**

## DATI DI REGISTRAZIONE E SPECIFICHE DI ELABORAZIONE

Instrument: TRZ-0010/01-09  
Start recording: 30/03/12 08:39:35 End recording: 30/03/12 08:59:36  
Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN  
Trace length: 0h20'00". Analyzed 95% trace (manual window selection)  
Sampling rate: 128 Hz  
Window size: 20 s  
Smoothing type: Triangular window  
Smoothing: 10%

## UBICAZIONE SU ORTOFOTO



COORDINATE UTM ED50\*: 643114, 933335

## DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



## CRITERI SECONDO LE LINEE GUIDA "SESAME, 2005"

**Max. H/V at 0.59 ± 5.51 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).**

### Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	0.59 > 0.50	OK
$n_c(f_0) > 200$	676.9 > 200	OK
$s_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 30 times	OK
$s_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$		

### Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

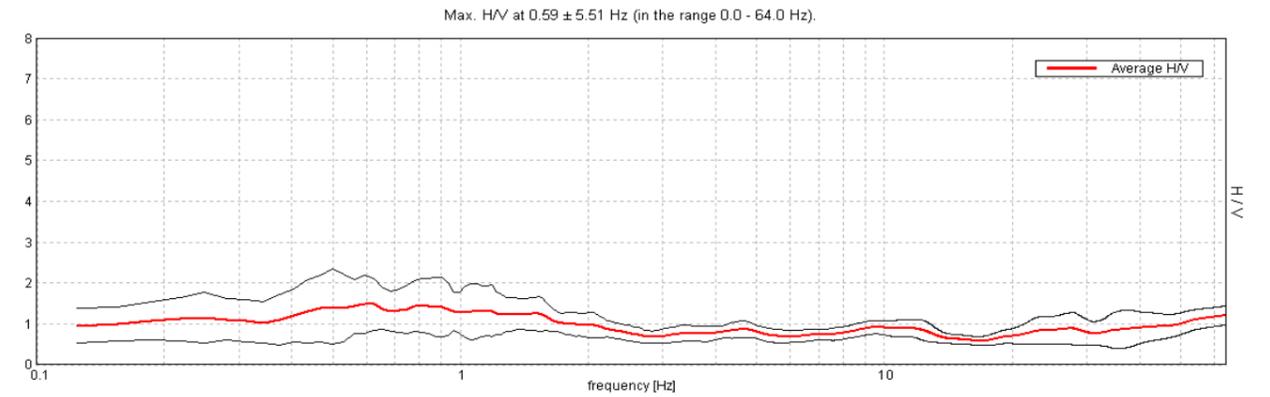
Exists $f^*$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^*) < A_0 / 2$		NO
Exists $f^*$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^*) < A_0 / 2$		NO
$A_0 > 2$	1.48 > 2	NO
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 4.58715  < 0.05$	NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	2.72362 < 0.08906	NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.3493 < 2.0	OK

CLASSE DI QUALITA' HVSR (D. Albarello et Alii, 2011)

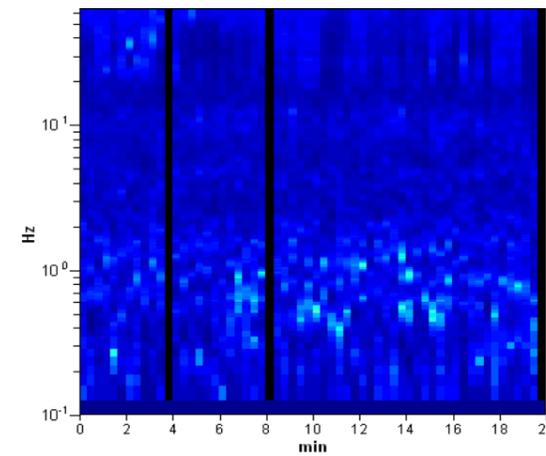
B2

NOTE: fo non attendibile - Assenza di picchi significativi

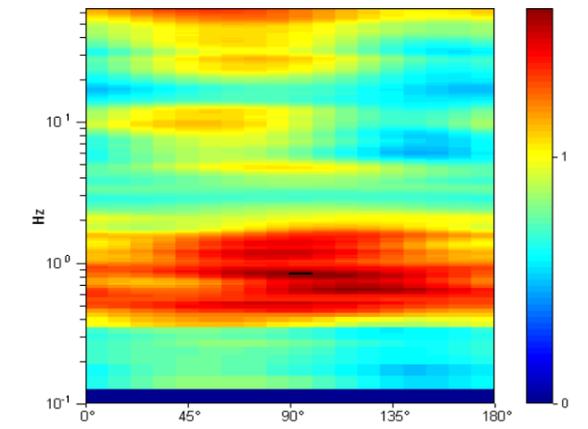
## HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO



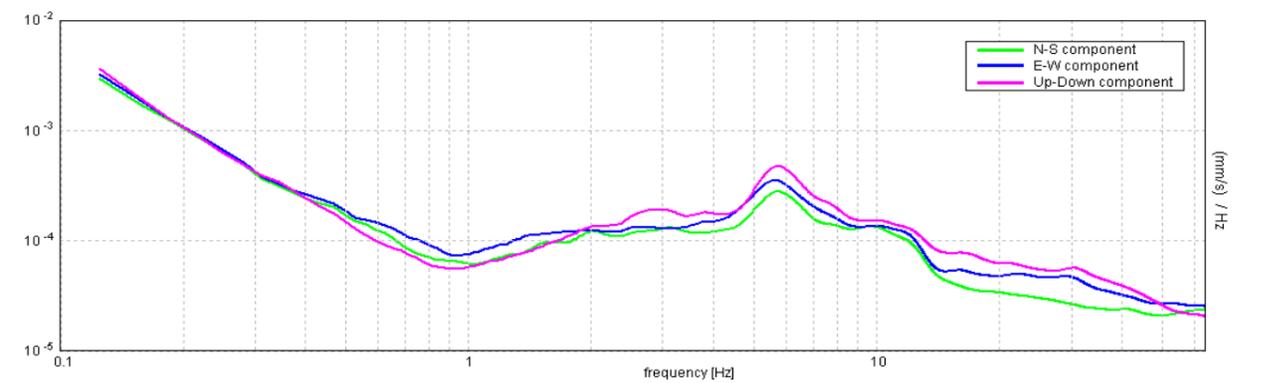
## H/V TIME HISTORY



## DIRECTIONAL H/V



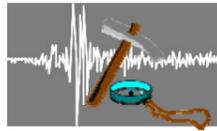
## SINGLE COMPONENT SPECTRA



# HV3

**AREA EX CISA CERDISA**  
**VIA BRAIDA**  
**SASSUOLO (MO)**

**Studio Geologico Fiori Alberto**  
 Via Radici in Piano, 371  
 41041 FORMIGINE fr. Casinalbo (MO)  
 Telefono/Telefax: 059550703 – 338/6190797  
 P.IVA: 02351210360 – Cod. Fisc. FRI LRT 58C14 I462V



## DATI DI REGISTRAZIONE E SPECIFICHE DI ELABORAZIONE

Instrument: TRZ-0010/01-09  
 Start recording: 30/03/12 09:52:58 End recording: 30/03/12 10:12:59  
 Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN  
 Trace length: 0h20'00". Analyzed 83% trace (manual window selection)  
 Sampling rate: 128 Hz  
 Window size: 20 s  
 Smoothing type: Triangular window  
 Smoothing: 10%

## UBICAZIONE SU ORTOFOTO



COORDINATE UTM ED50\*: 643081, 933724

## DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



## CRITERI SECONDO LE LINEE GUIDA "SESAME, 2005"

Max. H/V at 11.88 ± 2.99 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).

### Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	11.88 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	11875.0 > 200	OK	
$s_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 571 times	OK	
$s_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$			

### Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

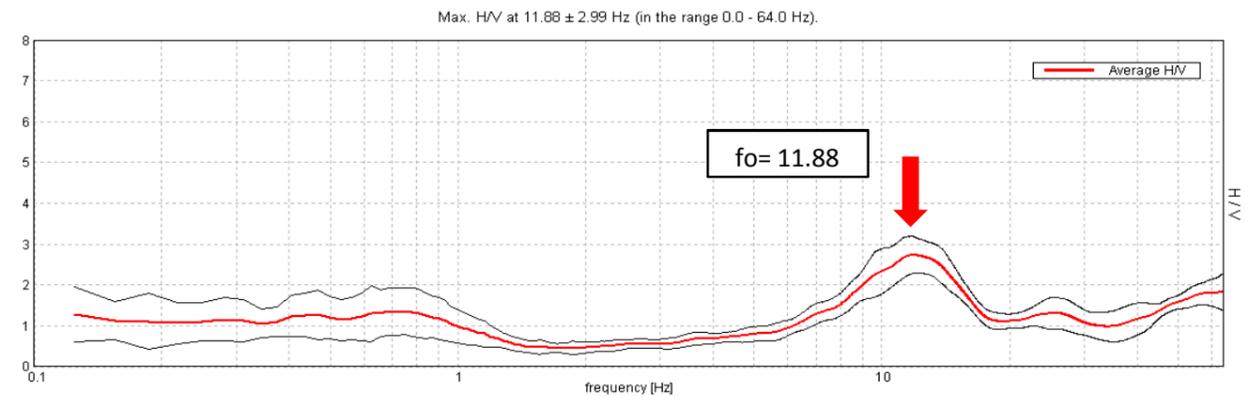
Exists $f^*$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^*) < A_0 / 2$	7.344 Hz	OK	
Exists $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	16.969 Hz	OK	
$A_0 > 2$	2.74 > 2	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.12415  < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	1.47425 < 0.59375		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.2216 < 1.58	OK	

## CLASSE DI QUALITA' HVSR (D. Albarello et Alii, 2011)

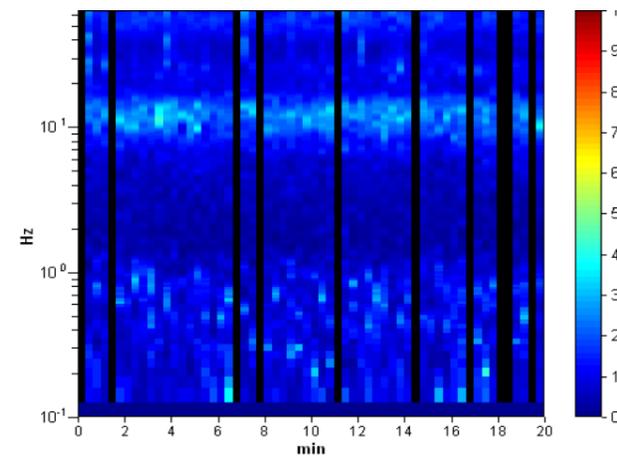
A

NOTE: fo attendibile - Contrasto di impedenza a circa 5 m di profondità coincidente con il tetto dei depositi ghiaiosi

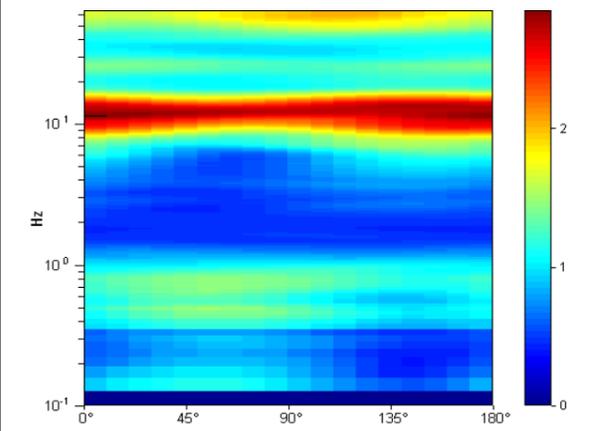
## HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO



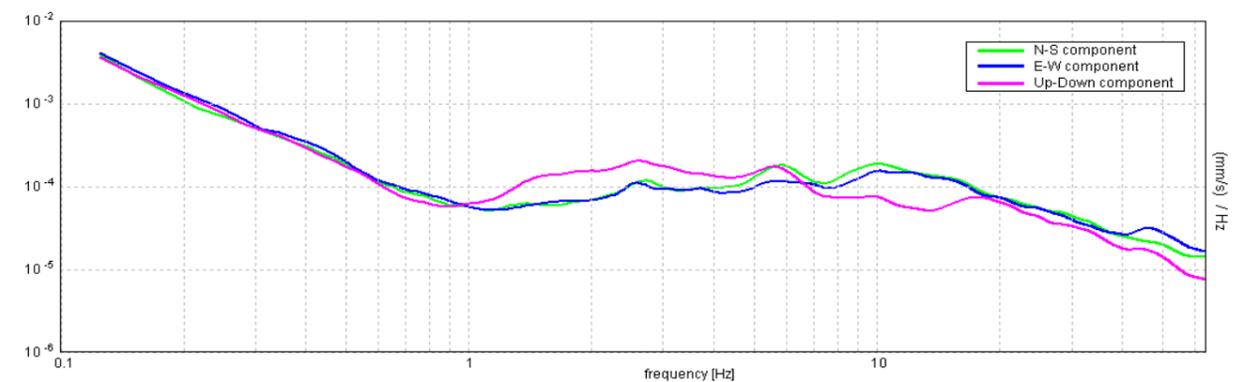
## H/V TIME HISTORY



## DIRECTIONAL H/V



## SINGLE COMPONENT SPECTRA



## ALLEGATO 4

### SPETTRI DI RISPOSTA IN SUPERFICIE DA ANALISI DI RISPOSTA SISMICA LOCALE

Scenario 1: profondità bedrock sismico = 90 m  
Spettro di risposta NON normalizzato

Ts	Sa g	Log $\sigma$	Sa+s=84%
0.01	0.164497	0.239988	0.209114
0.011037	0.164561	0.240035	0.209205
0.012181	0.164642	0.240096	0.209321
0.013444	0.164739	0.240164	0.209459
0.014838	0.16486	0.240264	0.209634
0.016376	0.165005	0.240389	0.209844
0.018074	0.165189	0.240558	0.210113
0.019947	0.165414	0.240776	0.210446
0.022015	0.1657	0.241096	0.210877
0.024298	0.166057	0.241512	0.21142
0.026817	0.166516	0.24211	0.21213
0.029597	0.167126	0.243119	0.213122
0.032666	0.167957	0.244898	0.214564
0.036052	0.169382	0.2496	0.217403
0.03979	0.172116	0.260587	0.223353
0.043915	0.176139	0.274045	0.231672
0.048468	0.178474	0.278413	0.23577
0.053493	0.179314	0.278637	0.236932
0.059038	0.183559	0.285812	0.244287
0.065159	0.188177	0.286069	0.250498
0.071914	0.193245	0.290103	0.258284
0.07937	0.208358	0.31257	0.284812
0.087599	0.224594	0.318233	0.308749
0.09668	0.233128	0.321102	0.321402
0.106704	0.252199	0.330207	0.350873
0.117766	0.265069	0.320057	0.365055
0.129975	0.282584	0.33105	0.393479
0.14345	0.320372	0.344769	0.452258
0.158322	0.342486	0.368332	0.495003
0.174736	0.334328	0.34071	0.470046
0.192852	0.351086	0.322085	0.484499

0.212846	0.340284	0.279484	0.450008
0.234912	0.378347	0.325729	0.524026
0.259266	0.378881	0.297476	0.510147
0.286146	0.385641	0.331399	0.537165
0.315811	0.395765	0.325463	0.548005
0.348553	0.391747	0.337331	0.548917
0.384689	0.396015	0.372043	0.574497
0.424571	0.379567	0.380339	0.555223
0.468588	0.337056	0.383291	0.494497
0.517168	0.302765	0.38116	0.443243
0.570785	0.271708	0.32747	0.376982
0.629961	0.255153	0.326753	0.353759
0.695271	0.264094	0.384812	0.388044
0.767353	0.233868	0.365391	0.337023
0.846907	0.227339	0.37599	0.331104
0.934709	0.199564	0.397961	0.297108
1.031614	0.166107	0.456273	0.262148
1.138566	0.150198	0.506038	0.249135
1.256605	0.122045	0.564909	0.214713
1.386883	0.098279	0.608201	0.18055
1.530666	0.083287	0.675652	0.163684
1.689356	0.067374	0.758592	0.143862
1.864499	0.056737	0.822738	0.129174
2.057799	0.045869	0.838562	0.106097
2.271139	0.036856	0.857111	0.086844
2.506597	0.031249	0.908044	0.077482
2.766465	0.025037	0.950334	0.06476
3.053276	0.019596	0.94541	0.050437
3.369821	0.015925	0.925015	0.040162
3.719184	0.012392	0.949041	0.032012
4.104766	0.009916	0.897631	0.024332
4.530323	0.007119	0.85931	0.016812
5	0.005272	0.798539	0.011716

## Scenario 2: profondità bedrock sismico = 30 m Spettro di risposta NON normalizzato

Ts	Sa g	Log $\sigma$	Sa+s=84%
0.01	0.203472	0.176696	0.242796
0.011037	0.203565	0.176751	0.242921
0.012181	0.20368	0.176823	0.243075
0.013444	0.203821	0.17691	0.243265
0.014838	0.203996	0.17703	0.243503
0.016376	0.204205	0.177178	0.243789
0.018074	0.204475	0.177396	0.244165
0.019947	0.204808	0.177686	0.244633
0.022015	0.205234	0.178108	0.245245
0.024298	0.205788	0.178669	0.246045
0.026817	0.206509	0.179433	0.247096
0.029597	0.207521	0.18082	0.248651
0.032666	0.208963	0.183405	0.251027
0.036052	0.21166	0.190234	0.256009
0.03979	0.217375	0.208886	0.267872
0.043915	0.224771	0.226902	0.282022
0.048468	0.227865	0.236361	0.288621
0.053493	0.230072	0.232199	0.290206
0.059038	0.234642	0.236018	0.297102
0.065159	0.247422	0.228062	0.310802
0.071914	0.254726	0.233693	0.321785
0.07937	0.280286	0.258491	0.362963
0.087599	0.308409	0.253812	0.397518
0.09668	0.319541	0.243886	0.407798
0.106704	0.345712	0.231001	0.435549
0.117766	0.354087	0.212284	0.437829
0.129975	0.376684	0.224814	0.471642
0.14345	0.412105	0.265358	0.537343
0.158322	0.445944	0.309046	0.607432
0.174736	0.428679	0.275951	0.564906
0.192852	0.459838	0.234192	0.581183
0.212846	0.451486	0.191378	0.546712
0.234912	0.51467	0.268003	0.672855
0.259266	0.498583	0.193611	0.605092
0.286146	0.485006	0.264393	0.631788
0.315811	0.463667	0.221126	0.578416
0.348553	0.450909	0.242229	0.574497
0.384689	0.457888	0.290143	0.612022

0.424571	0.456987	0.317007	0.627449
0.468588	0.433667	0.364999	0.624703
0.517168	0.412958	0.369539	0.597578
0.570785	0.388895	0.328305	0.540024
0.629961	0.369769	0.35187	0.525709
0.695271	0.372146	0.428672	0.571325
0.767353	0.296745	0.385956	0.436517
0.846907	0.265631	0.367437	0.383579
0.934709	0.215016	0.395824	0.31943
1.031614	0.156616	0.411491	0.236344
1.138566	0.132969	0.396907	0.197753
1.256605	0.10681	0.441485	0.166091
1.386883	0.084536	0.510243	0.140811
1.530666	0.070495	0.56631	0.124195
1.689356	0.058506	0.635962	0.110508
1.864499	0.049666	0.70865	0.100884
2.057799	0.0411	0.731254	0.085394
2.271139	0.033765	0.743694	0.071032
2.506597	0.029075	0.824673	0.066324
2.766465	0.023253	0.872451	0.05564
3.053276	0.01827	0.873481	0.04376
3.369821	0.014911	0.841892	0.034605
3.719184	0.011825	0.866464	0.028126
4.104766	0.009536	0.816554	0.021577
4.530323	0.006689	0.761782	0.014328
5	0.004937	0.705122	0.009993

## Scenario 2: profondità bedrock sismico = 30 m Spettro di risposta normalizzato

Ts	Sa g
0.01	0.301107
0.011037	0.303171
0.012181	0.305449
0.013444	0.307963
0.014838	0.310738
0.016376	0.3138
0.018074	0.31718
0.019947	0.32091
0.022015	0.325027
0.024298	0.32957
0.026817	0.334585
0.029597	0.34012
0.032666	0.346228
0.036052	0.35297
0.03979	0.36041
0.043915	0.368622
0.048468	0.377686
0.053493	0.387689
0.059038	0.398729
0.065159	0.410914
0.071914	0.424362
0.07937	0.439204
0.087599	0.455585
0.09668	0.473664
0.106704	0.493618
0.117766	0.51564
0.129975	0.539945
0.14345	0.56677
0.158322	0.596376
0.174736	0.629052
0.192852	0.665115
0.212846	0.674036
0.234912	0.674036
0.259266	0.674036
0.286146	0.674036
0.315811	0.674036
0.348553	0.674036
0.384689	0.674036
0.424571	0.674036

0.468588	0.674036
0.517168	0.674036
0.570785	0.674036
0.629961	0.63342
0.695271	0.573919
0.767353	0.520008
0.846907	0.471161
0.934709	0.426902
1.031614	0.386801
1.138566	0.350467
1.256605	0.317546
1.386883	0.287717
1.530666	0.26069
1.689356	0.236202
1.864499	0.214014
2.057799	0.193911
2.271139	0.175696
2.506597	0.148611
2.766465	0.122003
3.053276	0.100159
3.369821	0.082226
3.719184	0.067503
4.104766	0.055417
4.530323	0.045495
5	0.037349