

Ente Attuatore:



CITTA' DI SASSO MARCONI

Piazza dei Martiri della Liberazione, 6 - 40037 P.IVA 00529971202
Telefono 051 843511 Fax 051 840802 Numero verde 800 273218
PEC: comune.sassomarconi@cert.provincia.bo.it

Lavori di regimazione e adeguamento idraulico del Rio Verde tratto Mongardino – San Lorenzo in comune di Sasso Marconi

I° STRALCIO FUNZIONALE tratto a monte della ex S.S. Porrettana

PROGETTO ESECUTIVO

Denominazione:

RELAZIONE GEOLOGICA

Elaborato:

2.2



IL RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO

Comune di Sasso Marconi
Arch. Elena De Angelis



IL PROGETTISTA

Consorzio della Bonifica Renana
Ing. Riccardo Rossi

Revisione:

n° del oggetto

01 _/ _/ _

02 _/ _/ _

N° progetto: 816/M

Data: aprile 2016

Nome file: 816_I_2.2_rel_geologica.pdf

Comune di Sasso Marconi

Realizzazione e adeguamento di opere idrauliche sul *Rio Verde* nel tratto compreso fra *Via Rio Verde* e il ponte sul *Rio Verde* sito in *Via San Lorenzo*

Inquadramento geologico morfologico e idrogeologico e microzonazione sismica di II livello dell'area di interesse e di un suo adeguato intorno.

Gruppo di Lavoro

*Dott. Geol. Enrico Caggese
Dott. Ing. Riccardo Caggese*

Bologna, Maggio 2014

SOMMARIO

1	PREMESSA.....	3
2	SCOPO DELL'INDAGINE.....	4
3	NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	5
4	DEFINIZIONI.....	5
5	CARATTERISTICHE GENERALI DELL'AREA IN OGGETTO E LIVELLO DI APPROFONDIMENTO.	7
6	INQUADRAMENTO TERRITORIALE.....	8
6.1	INQUADRAMENTO GEOGRAFICO.....	8
6.2	DATI PER L'INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO DELL'AREA.....	8
6.2.1	<i>Inquadramento geologico.....</i>	<i>9</i>
6.3	GEOMORFOLOGIA.....	11
6.4	IDROGRAFIA SUPERFICIALE.....	12
6.5	IDROGRAFIA SOTTERRANEA.....	13
6.5.1	<i>Stabilità dell'area ed esondabilità.....</i>	<i>14</i>
7	INDAGINI GEOGNOSTICHE E GEOFISICHE.....	14
8	I RISULTATI DELLE INDAGINI GEOGNOSTICHE E PIEZOMETRICHE.....	16
9	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI TERRENI.....	17
10	LA CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEI TERRENI.....	20
10.1	RISPOSTA SISMICA LOCALE: CATEGORIE DI SOTTOSUOLO : NTC2008.....	21
10.2	RISPOSTA SISMICA LOCALE: CONDIZIONI TOPOGRAFICHE.....	22
10.3	CARATTERIZZAZIONE E DEFINIZIONE DELL'AZIONE SISMICA SECONDO LE NTC2008.....	23
10.4	MODELLO GEOTECNICO DEL TERRENO.....	24
10.5	VERIFICA SUSCETTIBILITÀ DEI TERRENI A LIQUEFAZIONE.....	24
11	MICROZONAZIONE SISMICA DI 2° LIVELLO.....	25
11.1	CONTENUTI RICHIESTI.....	25
11.2	ANALISI DELLA RISPOSTA SISMICA LOCALE E FATTORI DI AMPLIFICAZIONE SISMICA.....	26
12	CONCLUSIONI.....	28
13	ALLEGATI.....	30
13.1	INDAGINI GEOGNOSTICHE.....	39
13.2	RAPPORTO FOTOGRAFICO.....	45
13.3	RELAZIONE SULLE INDAGINI GEOFISICHE.....	53

Realizzazione e adeguamento di opere idrauliche sul *Rio Verde* nel tratto compreso fra *Via Rio Verde* e il ponte sul *Rio Verde* sito in *Via San Lorenzo*.

**Inquadramento geologico morfologico e idrogeologico
e microzonazione sismica di II livello
dell'area di interesse e di un suo adeguato intorno.**

1 Premessa.

Dovendosi procedere al *progetto esecutivo* di n. 2 attraversamenti del *Rio Verde* (in Comune di Sasso Marconi) - rappresentati da due ponti, uno dei quali di nuova realizzazione e l'altro da adeguare strutturalmente - è stata richiesta, ai fini del rischio sismico, una Relazione di approfondimento dei caratteri geologico-sismici dell'area di insediamento delle suddette strutture che viene considerata - sia dal PTCP della Provincia di Bologna che dal PSC del Comune di Sasso Marconi - come “A. - Area potenzialmente soggetta ad amplificazione (ndr: locale del moto sismico) per caratteristiche litologiche ” (PTCP: Art. 6.14 e Tav. 2a).

La **Relazione geologica**, oltre ad un inquadramento generale¹ dell'area di intervento e di un suo sufficiente intorno, riporta i risultati delle indagini in sito, effettuate in corrispondenza delle due aree nelle quali è prevista la realizzazione dei due ponti citati; indagini che si ritengono sufficienti a caratterizzare dal punto di vista **geologico, geotecnico e sismico** i terreni che verranno interessati dalle suddette strutture.

Tale Relazione è già stata presentata nel 2011, come allegato allo *Studio per il progetto degli interventi di adeguamento idraulico* riguardanti il tratto che va da *Ca' di Mezzo (Via Mongardino)* alla confluenza con il *Fiume Reno*. Sul *Rio Verde* erano previsti complessivamente n. 3 attraversamenti:

- i primi due sono posti dove oggi vengono richiesti approfondimenti geognostici e sismici per la microzonazione di 2° livello;
- il terzo, in prossimità della linea ferroviaria Bologna – Firenze (ponte di *Via Maranina*) non è oggetto di questo studio.

¹ Inquadramento geologico, morfologico, idrogeologico e sismico.

Poiché le indagini geognostiche eseguite nel 2014, in prossimità dei due primi attraversamenti, hanno confermato le caratteristiche litologiche e geotecniche del primo sottosuolo ricavate dalla elaborazione delle indagini eseguite nel 2011², si è ritenuto, per questo lavoro, di rifarsi alla precedente relazione geologica integrandola con necessari aggiustamenti e precisazioni.

Le analisi sono state svolte nel rispetto di quanto previsto dall'Atto di indirizzo e coordinamento tecnico ai sensi dell'art. 16, c.1, della L.R. 20/2000 per "*Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica*"³, e sono finalizzate al raggiungimento del "*secondo livello di approfondimento*".

2 Scopo dell'indagine.

Lo scopo finale delle indagini e delle elaborazioni effettuate, che trovano sintesi in questa relazione, è quello di fornire al Progettista gli elementi necessari per garantire alle nuove strutture un "accettabile" grado di sicurezza, anche a fronte di sollecitazioni sismiche con bassa probabilità di accadimento.

Assumendo come base la *microzonazione di 1° livello*⁴ (MS1) prodotta in occasione della redazione del PSC del Comune di Sasso Marconi (vedi PSC - Tav. QCGI.07 e QCGI), e sulla base delle indagini effettuate nel 2011 poi integrate nell'Aprile 2014, si è poi proceduto alla realizzazione della *carta di microzonazione sismica di 2° livello* (MS2)⁵ relativa all'area di intervento e ad un suo adeguato intorno all'interno del quale si può ipotizzare, con una sufficiente certezza, che sussistano caratteristiche sismiche omogenee.

La MS1, che ha portato alla suddivisione del territorio comunale in *macrozone sismiche omogenee*, ha già escluso che il territorio presenti zone di inedificabilità, ma ha tuttavia evidenziato la presenza di *limitazioni all'edificabilità* dovute in particolare alla variabilità della sua morfologia e alle caratteristiche litologiche e geotecniche del primo sottosuolo.

Anche per quanto riguarda il *fenomeno della liquefazione*, lo studio delle *tessiture* e delle *proprietà meccaniche* delle *coltri alluvionali quaternarie* non hanno, in nessun caso, messo in luce situazioni di spiccata possibilità di liquefacibilità o densificazione di sedimenti saturi. Naturalmente là dove si prevedono nuove strutture o adeguamento delle esistenti si richiede di verificare, attraverso l'elaborazione degli esiti di adeguate analisi effettuate in sito ed eventualmente in laboratorio, se localmente possono sussistere significative differenziazioni di amplificazione sismica.

² Le indagini geognostiche realizzate nel 2014 in adiacenza alle precedenti, hanno avuto lo scopo di indagare le caratteristiche dei terreni da 10-11 m a 17,00 m di profondità considerando che il progetto prevede la realizzazione di pali la cui punta è posta a circa -12,00 m dal p.c.

³ approvato con *Delibera dell'Assemblea Legislativa della Regione Emilia-Romagna n° 112 del 2 maggio 2007*.

⁴ Vedi § 4 - Definizioni..

⁵ Vedi § 4 - Definizioni..

L'assetto litostratigrafico locale dell'area oggetto di intervento⁶, la rendono suscettibile di **amplificazioni locali del moto sismico**.

Per un'area che presenta le suddette caratteristiche è richiesta e ritenuta sufficiente un'**analisi semplificata** che ha l'obiettivo di valutare l'effettivo *grado di pericolosità sismica locale* preliminare alla successiva elaborazione della carta di microzonazione sismica MS2.

3 Normativa di riferimento

14/01/2008	D.M. Min. II. TT.	Norme tecniche per le costruzioni ("NTC2008");
2/02/2009	Circolare n. 617 Min. II. TT	Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14 gennaio 2008
02/5/2007	Del. Ass. Leg.(DAL) progr. n°112 - oggetto n°3121	Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica
30/10/2008	L.R. n. 19	Norme per la riduzione del rischio sismico
30/11/2009	L.R., n. 23	Norme in materia di tutela e valorizzazione del paesaggio, modifica della legge regionale 24 marzo 2000, n. 20
Giugno 1977	AGI (Ass. Geotecnica Italiana)	Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche .
Marzo 2005	AGI (Ass. Geotecnica Italiana)	Aspetti geotecnici della progettazione in zona sismica – Linee guida

4 Definizioni.

Per **substrato geologico** si intende la roccia generalmente compatta, non alterata, che costituisce la base di rocce meno compatte o alterate o di sedimenti sciolti (terreni di copertura).

Per **bedrock sismico** (o **substrato sismico**) si intende una sequenza litostratigrafica caratterizzata da una velocità delle onde di taglio (Vs) maggiore o uguale a 800 m/s.

La **pericolosità sismica** rappresenta la stima quantitativa dello scuotimento del terreno dovuto a un evento sismico, in una determinata area. Tale stima include le analisi di *pericolosità sismica di base* e di *pericolosità sismica locale*.

La **pericolosità sismica di base** è la componente della pericolosità sismica dovuta alle caratteristiche sismologiche dell'area (tipo, dimensioni e profondità delle sorgenti sismiche, energia e frequenza dei terremoti); costituisce una base per la definizione del *terremoto di riferimento* per studi di *microzonazione sismica*.

La **pericolosità sismica locale** è la componente della pericolosità sismica dovuta alle caratteristiche locali (litostratigrafiche idrogeologiche, morfologiche, ecc.). Lo studio della *pericolosità sismica locale* è condotto a *scala di dettaglio* partendo dai risultati degli studi di pericolosità sismica di base (terremoto di riferimento) e analizzando i caratteri geologici, geomorfologici geotecnici e geofisici del sito; permette di definire le amplificazioni locali e la

⁶ L'area è sub-pianeggiante con stratificazione sub-orizzontale e con spessore della copertura alluvionale quaternaria > 5 ,00 m

possibilità di accadimento di fenomeni di instabilità del terreno. Il prodotto più importante di questo genere di studi è la *carta di microzonazione sismica*.

La **Microzonazione Sismica** (MS): è l'operazione tecnico-scientifica di suddivisione di un dato territorio in zone omogenee, sotto il profilo della risposta a un *terremoto di riferimento* in arrivo al sito, valutata tenendo conto delle interazioni tra onde sismiche e condizioni geologiche, topografiche e geotecniche locali ("pericolosità sismica locale") che modificano la "pericolosità di base" (cioè la pericolosità valutata su terreno duro e pianeggiante di riferimento).

In sostanza la MS individua e caratterizza le zone stabili, le zone stabili suscettibili di amplificazione locale del moto sismico e le zone suscettibili di instabilità.

In sede di elaborazione del PSC-POC del Comune di Sasso Marconi si è proceduto ad una **microzonazione di 1° livello** (MS1 o *prima fase di approfondimento*) che ha portato ad una **Carta della microzonazione** (PSC – QCG07) poi integrata (QCGI) nella quale il territorio, come già detto, risulta suddiviso in **macrozone sismiche omogenee** suscettibili di effetti locali (amplificazione del segnale sismico, cedimenti, instabilità dei versanti, fenomeni di liquefazione, rotture del terreno, ecc.). Tale carta - che è il risultato dell'elaborazione dei dati disponibili per il territorio comunale⁷ e da dati direttamente acquisiti in sito dagli Estensori del Piano, ha poi concorso alla definizione delle scelte di piano, fornendo prime indicazioni sui limiti e condizioni per la pianificazione nelle aree del territorio comunale.

Nel caso che le aree interessate da interventi strutturali siano costituite da *aree con depositi e forme predisponenti a effetti locali pianeggianti o su versanti poco inclinati (>15°) con stratificazione orizzontale o piano-parallela a cui si aggiungano effetti topografici*, si dovrà procedere ad un **approfondimento di 2° livello** (MS2) attraverso una **microzonazione semplificata** (MS semplificata) che consiste in un approfondimento della analisi di 1° livello (MS1) con determinazione dei parametri necessari per la definizione della *risposta sismica locale* (RSL) tramite indagini (geofisiche e geotecniche) di tipo corrente. Nella MS2 il valore del **fattore di amplificazione** (FA) è ottenibile tramite l'utilizzo di *tabelle e formule* sulla base di parametri geologici, geomorfologici e geofisici raccolti.

Per le *aree instabili e potenzialmente instabili, terreni liquefacibili, terreni scadenti, aree i cui sono previste opere di rilevante interesse pubblico, con l'aggiunta di effetti topografici* si dovrà procedere, invece, ad una **microzonazione sismica di 3° livello** (MS3).

⁷ La realizzazione della carta di MS1 si è basata su rilievi, osservazioni e valutazioni di tipo geologico idrogeologico e geomorfologico, svolte a scala comunale, associati a raccolte di informazioni sugli effetti indotti dai terremoti passati.

5 Caratteristiche generali dell'area in oggetto e livello di approfondimento.

L'Ordinanza del PCM n. 3519/2006, ha suddiviso l'intero territorio nazionale in quattro zone sismiche sulla base del valore dell'*accelerazione orizzontale massima attesa* (**ag** = PGA: *Pick ground acceleration*) su suolo rigido (categoria del suolo: A⁸) con superficie topografica pianeggiante (Cat. T1⁹), che ha una probabilità del 10% di essere superata in 50 anni.

La D.A.L. della Reg. 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 al **Comune di Sasso Marconi** un valore di accelerazione massima orizzontale di picco al suolo pari a **$a_g/g = 0,162$** .

Il territorio del comune di Sasso Marconi è stato inserito nella classificazione sismica dei Comuni della Regione in **Zona 3**: *Zona con pericolosità sismica bassa, che può essere soggetta a scuotimenti modesti*.

Le strutture idrauliche (attraversamenti/ponticelli) oggetto di progettazione esecutiva sono poste nell'**area pianeggiante o sub-pianeggiante** (terrazzi alluvionali o conoide proximale) all'interno della quale scorre il *Rio Verde*.

I sondaggi hanno evidenziato che il materasso alluvionale è costituito sia in **Via Rio Verde** che in **Via San Lorenzo** da strati, probabilmente lentiformi, a litologia prevalentemente *ghiaiosa* alternata e/o passante lateralmente a modesti spessori di *sabbie limose o limi sabbiosi mediamente addensati con ciottoli* sparsi da mediamente ($40 < N_{SPT} < 50$) a molto addensate ($N_{SPT} \gg 50$) che poggiano su un **substrato geologico** costituito da *prevalenti limi sabbiosi o sabbie limose grigie sovraconsolidati o da debolmente a mediamente cementate* ($N_{SPT} \gg 50$) il cui spessore indagato si aggira sugli 5,00÷6,00 m.

Mentre in *Via Rio Verde* già alla superficie del suolo compaiono ghiaie alluvionali, in *Via San Lorenzo* - almeno nel punto in cui è stato eseguito il sondaggio S2 - i primi due metri di carotaggio hanno messo in evidenza che il suolo e il primo strato di terreni alluvionali sono stati asportati e sostituiti con terreni di riporto (macerie ed altro).

⁸ Categoria A: *Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi* caratterizzati da valori di Vs30 superiori a 800 m/s, comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3.

⁹ T1: Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i = 15^\circ$

6 Inquadramento territoriale.

6.1 Inquadramento geografico.

Le due aree nelle quali dovranno essere realizzati i due attraversamenti del *Rio Verde* sono situate rispettivamente:

- 1) a monte della *SS 64-Porrettana*, nel punto in cui la *Via Rio Verde* termina sulla sponda destra del rio omonimo, attorno a quota 118,95 m slm (quota p.c. sondaggio S1);
- 2) a valle della *SS 64-Porrettana*, in *Via San Lorenzo*, in corrispondenza dell'attuale ponte posto attorno a 114,22 m slm. (quota p.c. sondaggio S2);

Si tratta in entrambe i casi di zone sub-pianeggianti interessate da coperture *alluvionali di terrazzo* o di *conoide alluvionale proximale*. Per tale motivo la Tav 2C del PTCP le considera *Aree potenzialmente soggette ad amplificazione per caratteristiche litologiche* e, quindi, soggette a *studi geologici con valutazione del coefficiente di amplificazione litologico (approfondimenti di 2° livello)*

Il **reticolo idrografico principale** è caratterizzato dalla presenza del **Fiume Reno** che scorre ad una distanza di circa 1.420 m a SE; il reticolo secondario è rappresentato dal *Rio Verde*, linea di drenaggio della valle che da *Mongardino*, ad Ovest, confluisce, dopo un tortuoso percorso all'interno dei terrazzi alluvionali del F. Reno, nella valle del Reno. Più a Nord scorre il *Rio Secco*, affluente sinistro del *Rio Verde* nel quale confluisce a valle della *SS 64 – Porrettana*.

L'area di studio è compresa nella seguente cartografia:

- Tavola CTR N° 220 SE - “Bologna Sud-Ovest” - Scala 1:25.000;
- Sezione CTR N° 220160 - “Borgonuovo di Pontecchio” – Scala 1:10.000;
- CTR- Elem. N° 220163 – “Borghetti”-scala 1:10.000.

6.2 Dati per l'inquadramento geologico e geomorfologico dell'area.

Per la caratterizzazione geologica e geomorfologica del sito in esame si è fatto riferimento

- ai dati presenti nella “Carta Geologica della Regione Emilia Romagna”, della quale si riporta nell'Allegato un estratto (Figura 4);
- ai dati geologici e geomorfologici riportati nel QC del PSC comunale e nella Variante 2 al POC (aree di completamento A12, A13 e A14);
- al rilevamento di superficie eseguito durante i sopralluoghi all'area di intervento e ad un suo ampio intorno;
- indagini geognostiche finalizzate alla definizione delle caratteristiche geologiche e geotecniche dei terreni in esame, oltre alla verifica della eventuale presenza di terreni potenzialmente soggetti ad addensamento o liquefazione entro i primi 15 m di profondità.

6.2.1 Inquadramento geologico.

“L’assetto geologico strutturale del territorio comunale è quello tipico del primo contrafforte appenninico, la zona in cui la catena passa da un contesto collinare ad uno montuoso. Questa zona costituisce un importante tramite morfologico tra catena e pianura; è in queste zone che le valli fluviali ricevono il massimo della portata di deflusso e devono ampliare il loro letto, ed è al limite estremo di questa zona in cui si forma l’apice della conoide che prelude la pianura.

La porzione bolognese della catena è caratterizzata da una dorsale a direzione appenninica denominata “*Contrafforte Pliocenico*”, che dal punto di vista strutturale costituisce una grande sinclinale, composta da sedimenti pliocenici, con piano assiale a direzione circa ESE–ONO, ai cui fianchi si dispongono i sedimenti miocenici”.¹⁰

Il territorio ed il paesaggio fisiografico è fortemente condizionato dalla sinclinale per le sue componenti montane e collinari e dalla sua interruzione causata dall’imponente azione del *Fiume Reno*.

La copertura alluvionale.

L’area oggetto di intervento è situata in corrispondenza di depositi alluvionali terrazzati o di conoide prossimale del *Rio Verde*, composti da *ghiaie in matrice sabbiosa prevalente* passanti verticalmente e/o lateralmente a *limi sabbiosi o sabbie limose spesso con ciottoli* fino alla profondità di circa 10-11 m.

Se si escludono i modesti terrazzi intravallivi (AES8a), del *Rio Verde* tributario di sinistra del *Fiume Reno*¹¹, gli altri terrazzi (AES7, AES8), presenti in diversi ordini (probabilmente oltre 10), sono attribuibili all’abbassamento dell’alveo del suddetto fiume che, a causa del sollevamento della *catena appenninica* e dei *fenomeni di subsidenza della pianura*, continua ad erodere i sedimenti posti sul fondo e sui fianchi della sua valle portando al ringiovanimento di tutti i suoi affluenti tra i quali, nel caso specifico, il *Rio Verde*.

Il *Rio Verde* scorre sul fondo di una valle stretta e sinuosa, con asse NO-SE, che è impostata probabilmente lungo una serie di fratture e faglie con direzione appenninica, accompagnate da una rete secondaria di fratture e faglie che si sono formate durante l’*orogenesi appenninica* nelle *formazioni plio-pleistoceniche* che caratterizzano l’area. Nell’area di intervento, l’approfondimento della valle è stata favorita dalle caratteristiche litologiche delle formazioni presenti dove prevalgono i conglomerati e le arenarie con subordinate intercalazioni di strati argilloso-marnosi.

¹⁰ Estratto dalla 2° Variante al POC del Comune di Sasso Marconi.

¹¹ il *Rio Secco*, invece, attualmente è tributario di sinistra del *Rio Verde* nel quale si immette a valle della SS 64.

Nell'area di studio, testimoni di questa evoluzione sono:

- a) i lembi di terrazzo b7 (AES7¹²) dell'antico *Fiume Reno* posti ad oltre 50 m più in alto rispetto al fondovalle del *Rio Verde*;
- b) il terrazzo intravallivo b2 del *Rio Verde* (AES8a), connesso con l'alveo attuale e costituito da depositi ghiaioso-sabbiosi passanti a sabbioso-limosi con ghiaia, in evoluzione);
- c) le modeste conoidi del *Rio Verde* e del *Rio Secco* ¹³, che hanno ricoperto, in parte, numerosi terrazzi del Fiume Reno.

Il substrato

I lembi del terrazzo b7 - caratterizzati prevalentemente da ghiaie in matrice sabbioso-limosa - rappresentano i depositi quaternari più antichi presenti nell'area (Pleistocene sup.) e poggiano, come del resto i terrazzi del *Rio Verde*, con contatto erosivo e discordante, su “*depositi marino-costieri e di transizione verso il lago*” della formazione di Monte Adone-membro delle *Ganzole* (ADO 2) o, come nel caso in oggetto, sulla *Formazione di Monterumici- membro di Cà di Mazza* (RUM2).

La litologia di ADO 2 è prevalentemente arenacea, con strati plurimetrici intercalati a sabbie grigie e giallastre a cementazione variabile ed a peliti sabbiose.

La deposizione va fatta risalire al *Piacenziano* e in modo dubbioso alla base del *Pleistocene* (Ricci Lucchi et alii; 1981a; Colalongo et alii; 1982).

La formazione di Monte Adone (ADO) poggia in modo discordante e netto su *RUM*, ma nell'area in esame tale contatto è ricoperto dalle alluvioni quaternarie.

RUM 2 è caratterizzato da sedimenti ghiaiosi e conglomerati poco cementati in strati metrici, tabulari e lenticolari, passanti a peliti e peliti sabbiose ricche di resti vegetali e a sabbie arenacee da poco a ben cementate di spessore da metrico a plurimetrico.

L'età di deposizione di tale membro è attribuibile al *Pliocene inf.* (Colalongo & Sartoni; 1979; Ricci Lucchi et alii; 1981a).

I due sondaggi effettuati rispettivamente nel sito a monte (S1) e a valle (S2) della SS 64 hanno intercettato e attraversato il substrato per almeno 5,00 o 6,00 m ottenendo, in entrambi i casi, una stratigrafia molto simile costituita (almeno fino alla profondità raggiunta) da *prevalenti sabbie arenacee variamente cementate grigiastre con modeste intercalazioni di sabbie limose o limi sabbiosi sovraconsolidati* (RUM 2)¹⁴. **Si assume che il bed rock geologico sia posto a -11,00 m dal p.c.**

¹² Nella *Carta Geologica dell'Appennino Emiliano -Romagnolo* vengono indicati con la sigla AES7 (*subsistema di Villa Verrucchio*) : sono coevi dell'ultimo acme glaciale e dubitosamente al primo post-glaciale.

¹³ Un tempo forse il *Rio Secco* non era affluente del *Rio Verde*, ma si gettava direttamente nel *Fiume Reno*.

¹⁴ Si fa presente che, nella fase di campionamento, il *tagliente* del campionario *shelby*, si è piegato.

Dove gli strati affiorano, sia in sinistra che in destra idrografica del *Rio Verde*, denunciano un'immersione prevalente verso Sud (con inclinazione media tra i 6° e 16°) e una direzione appenninica (NNO-SSE).

A partire dalla località *Cà di Mezzo*, la valle del *Rio Verde* si allarga sensibilmente fino a raccordarsi, poco a monte della SS 64, con l'ampia valle terrazzata del *Fiume Reno*.

Il venir meno del *confinamento laterale* e il *rallentamento della corrente fluviale* ha determinato la formazione di due *conoidi di deiezione* (conoide del *Rio Verde* e conoide del *Rio Secco*) che, come già detto, hanno ricoperto i terrazzi fluviali del *Fiume Reno* (b5, b4) fino al terrazzo b3, con il quale si raccordano.

Sempre a partire da *Cà di Mezzo*, il terrazzo b2 del *Rio Verde* (cioè il terrazzo su cui corre il primo tratto di *Via Mongardino*) che si raccorda con la *conoide proximale del Rio Verde*, è costituito da depositi alluvionali prevalentemente grossolani (*ghiaie in matrice sabbiosa con intercalazione di sottili lenti di sabbie compatte*) al cui tetto compare (dove non asportato) uno *strato di copertura limoso-sabbioso* di colorazione bruno-giallastra (suoli GAI2-Gaiano franchi), con buon drenaggio e permeabilità media.

6.3 Geomorfologia

La valle in cui scorre il rio - che presenta un alveo sinuoso di dimensioni modeste, ma con *terrazzi intravallivi* che in alcuni tratti risultano abbastanza ampi - è caratterizzata da *versanti* generalmente molto ripidi (a tratti sub-verticali) coperti di vegetazione arboreo arbustiva e intagliati in rocce prevalentemente arenacee di *età plio-pleistocenica*.

Le aree terrazzate a lato del rio sono generalmente a *prato pascolo* o a *seminativo semplice*, mentre le sponde sono caratterizzate da una folta siepe o *bosco ripariale*.

Alcune vallecicole laterali, in particolare in destra orografica, sono interessate da accumuli di frana probabilmente stabilizzati (*frane quiescenti*), ma il cui equilibrio può dipendere, oltre che dal grado di imbibizione della massa, anche dalla stabilità del profilo longitudinale del corso d'acqua, in particolare là dove il piede dell'accumulo dovesse raggiungere l'alveo di piena del rio (vedi *accumuli di frana quiescente* a sud di *Cà di Mezzo*, in destra orografica).

Una modesta *frana di crollo e ribaltamento* - che ha interessato le arenarie della *Formazione di Monterumici - Membro di Cà di Mazza* e il cui *fronte* è a contatto con il *terrazzo b2* - si trova attorno a quota 125 m slm; la mancanza di edifici all'intorno e la distanza dall'alveo, portano a ritenere che tale frana non vada ad incidere significativamente sul *rischio idraulico*. Ciò non toglie che il fenomeno vada tenuto sotto controllo per evitare che, un ulteriore crollo o frantumazione della roccia

- causa di eventuali infiltrazioni d'acqua - vada ad accumularsi sul terrazzo fluviale riducendone la *sezione di piena*.

In ogni caso, le opere idrauliche previste (la cui ubicazione è indicata in cartografia con un cerchio rosso) vanno nel senso di ridurre, in generale, il rischio idraulico a monte e a valle della SS 64.

Sul versante esposto ad oriente il terreno è caratterizzato, per una vasta area compresa fra quota 125 m slm a quota 175,00 m slm, da *depositi eluvio-colluviali* stabili, ma la cui stabilità dipende, come sempre, dalla cura con cui viene mantenuta efficiente la rete di scolo agrario.

A monte del ciglio di versante spesso si ha un altopiano in gran parte coltivato a seminativo con piccoli appezzamenti a vigneto.

Fino a *Cà di Mezzo* l'alveo del corso d'acqua presenta modeste sinuosità, mentre andando verso valle, dove i terrazzi alluvionali sono più ampi, s'inizia ad osservare un andamento meandriforme che denuncia una lieve riduzione di pendenza (~2%). A valle della SS 64, fino all'immissione in Reno, la pendenza si riduce ulteriormente a ~1%.

A monte e a valle della SS 64 si osservano ancora, a tratti, sui tre lati del conoide (sigla i1), residui di *scarpate di terrazzo* che permettono di suddividere i vari ordini di terrazzi del *Fiume Reno* dal *b5* (a monte di *Cà Cantoniera*; vedi Foto 3) al *b1* (i terrazzi più antichi, come già detto, si trovano a monte della statale, in corrispondenza degli altopiani già citati).

E' interessante notare che dove il rio si immette nel *Fiume Reno*, l'erosione ha determinato *l'affioramento del substrato geologico* attribuito dalla *Carta Geol. dell'Appennino Emiliano Romagnolo* (R.E.R.) alla *Formazione di Monte Adone-Membro delle Ganzole* (ADO2).

6.4 Idrografia superficiale.

L'idrografia superficiale dell'area interessata dagli interventi idraulici è dominata dal *Rio Verde* che, dopo un percorso di oltre 7,00 km e aver inciso in piccola parte il proprio *conoide di deiezione* e il *fondovalle terrazzato* del *Fiume Reno*, si immette in detto corso d'acqua attorno a quota 87,00 m slm. Lungo il suo percorso raccoglie le acque del *Rio Torcella* (affluente in destra idraulica) e, subito a valle della statale, le acque del *Rio Secco*, nonché le acque raccolte dai *fossi* che occupano il fondo delle numerose vallecole che solcano i versanti, in particolare in destra idraulica.

Mentre a monte della SS 64 il rio sembra più in fase di deposito che di erosione, a valle, come già detto, è in leggera fase erosiva essendo, in questo tratto, il profilo dell'alveo dipendente dalle fasi di ringiovanimento e di *stasi* del *Fiume Reno*.

A monte della SS 64 lo "zigzagare" del Rio dipende in gran parte dalla variazione di *resistenza all'erosione* delle *formazioni arenacee* e dalla *direzione* delle fratture e/o faglie che hanno favorito e

diretto la formazione della valle. E' interessante notare che, subito a monte della statale, il corso d'acqua fa una curva verso N-NE (con rotazione dell'alveo di circa 90°) per poi *serpeggiare* fino all'immissione in Reno. Il cambio netto di direzione può essere di origine antropica (ad es.: incanalamento del rio per ragioni di sicurezza o di servizio agli edifici esistenti o per immettere nel rio le acque del *Rio Secco*), ma anche naturale (o mista), in quanto il percorso del rio, almeno nel primo tratto ad oriente, va ad interessare una fascia di terreni che sono a quote inferiori rispetto a quelli del conoide.

6.5 Idrografia sotterranea.

L'area terrazzata circostante il *Rio Verde*, sia nella parte di valle che di monte (rispetto alla SS 64) è caratterizzata da terreni grossolani (ghiaie e sabbie) con intercalazione di lenti di limi sabbiosi che giacciono sui banchi arenacei della *Formazione di Monterumici- Membro di Cà di Mazza*; il passaggio fra i terreni alluvionali e i sedimenti del substrato geologico si ha, nei punti indagati, attorno a -10,00 m ÷ -11,00 m dal p.c. (vedi il paragrafo relativo alla caratterizzazione geotecnica del sottosuolo). Ciò determina una buona permeabilità sia orizzontale che verticale ($\sim k=10^{-4}$ m/s) e la formazione di una falda freatica; le misure piezometriche, effettuate sia nel 2011 che nel 2014, nei due siti in oggetto indicano che:

- il livello della falda freatica nel Sito di *Via Rio Verde*, a monte della SS 64 (quota p.c.: 117,22 m slm) è risultato situarsi attorno a quota 114,25 m slm (cioè a -4,70 m dal p.c.), con il fondo del rio a quota 117,22 m slm;
- il livello della falda freatica nel Sito di *Via San Lorenzo*, a valle della SS 64 (quota p.c.: 114,22 m slm) è risultato situarsi attorno a quota 115,92 m slm (cioè a -1,30 m dal p.c.), con il fondo del rio a quota 112,04 m slm;

Pertanto, si può ipotizzare che nel primo sito sembra sia il rio ad alimentare la falda (quota dell'alveo di magra > del l.p.), nel secondo sito sembra, almeno per il periodo monitorato, che avvenga il contrario (quota di fondo dell'alveo \leq del l.p.)

- mentre nel sito a valle (*Via San Lorenzo*) il livello è risultato attestarsi attorno a -1,30 dal p.c.

Questi dati hanno portato a proporre una leggera modifica alla *Carta idrogeologica* allegata al *Quadro conoscitivo* del PSC (QCGI. Tav 2) che, nella Figura 5 allegata, viene rappresentata da una linea color fuxia.

6.5.1 Stabilità dell'area ed esondabilità.

Vista la geomorfologia dell'area e la distanza dai versanti passibili di significativi movimenti gravitativi, l'area può essere considerata stabile.

Per quanto riguarda invece il *pericolo di esondabilità*, questo è dato esclusivamente dalle piene del *Rio Verde* che sono causate prevalentemente da occlusioni o da restringimento dell'alveo dovute a caduta di vegetazione all'interno dell'alveo che è attraversato, in particolare a monte della SS 64, da strutture idrauliche non adeguatamente dimensionate rispetto alla piena con TR=200 anni.

A conferma di quanto detto si ricordano i danni provocati a valle e a monte della S.S. 64–Porrettana nel periodo che va dal 27 /08/1999 al 29/09/1999 (dal QC del PSC) e le

conseguenti raccomandazioni della *Comunità montana* e del *Comune di Sasso Marconi*:

- 27-08-1999: Straripamento Rio Verde in fregio alla Strada Provinciale n.74 – Mongardino in prossimità della S.S. 64-Poretana provocando l'interruzione di quest'ultima e l'allagamento di alcune abitazioni adiacenti;
- 27-08-1999: In via Mongardino civico 3 il Rio Verde ha allagato cantine e garage;
- 27-08-1999: In via Mongardino fra i civici n.305-325 i fabbricati di questo tratto di strada sono stati allagati dalla piena del Rio Verde;
- 27-08-1999: La località *Borgo Colle Ameno* è stata esondata dalla piena del *Rio Verde*;
- 27-08-1999: Nel tratto di Via *San Lorenzo* in cui si congiunge con Via Porrettana, il *Rio Verde* ha allagato la strada;
- 03-09-1999: Nel *Rio Verde* si sottolinea l'esigenza di realizzare a breve termine una generale pulizia dell'alveo asportando materiale vegetale che ostacola il regolare deflusso del rio mentre a medio termine si prende in considerazione l'intenzione di realizzare ulteriori sbarramenti, rampe in pietrame e scogliere, in modo da ridurre sensibilmente la pendenza e quindi la capacità erosiva dell'acqua;
- 03-09-1999: Si considera l'esigenza di eseguire i lavori urgenti per la pulizia dell'alveo del Rio Verde dai tronchi e dalle ramaglie depositatesi nel rio nonché della vegetazione infestante.
- 29-09-1999: Gli attraversamenti a raso del *Rio Verde* in Via Mongardino in corrispondenza dei civici n.29, 31, 33 sono stati parzialmente danneggiati dal rio.

Infine, si ricorda che, dalla QGCI-Tavola 2-figura 9 del QC del PSC di Sasso Marconi – “Dissesti di versante”, il tratto del *Rio Verde* interessato dalle opere in progetto viene ritenuto soggetto a **fenomeni di erosione spondale che non devono essere assolutamente sottovalutati in quanto possono determinare locali franamenti delle sponde e provocare dissesti alle strutture adiacenti all'alveo e quindi anche alle strutture idrauliche in progetto** (vedi Figura 2 allegata).

7 Indagini geognostiche e geofisiche.

Le indagini eseguite hanno avuto lo scopo di determinare, lo spessore e le caratteristiche dei *depositi di copertura*, la profondità del *bedrock geologico e sismico* e di definire le velocità delle onde sismiche di taglio Vs. con conseguente valutazione dei fattori di amplificazione sismica per le analisi del secondo livello.

Le indagini effettuate nei siti in esame sono così riassumibili:

- **Sito S1 Via Rio Verde:**
 - Sondaggio S1 a carotaggio continuo fino alla profondità di 17.00 m da p.c.;
 - Esecuzione di n.4 SPT in foro;
 - • N. 1 profilo sismico in array con tecnica MASW-ReMi.
 - • N. 1 misura a stazione singola con tecnica HVSR (HVSR1)
- **Sito S2 Via Rio Verde:**
 - Sondaggio S2 a carotaggio continuo fino alla profondità di 16.85 m da p.c.;
 - Esecuzione di n.3 SPT in foro;
 - Esecuzione di n.1 prelievo di campione indisturbato in campionatore Shelby;
 - • N. 1 profilo sismico in array con tecnica MASW-ReMi.
 - • N. 1 misura a stazione singola con tecnica HVSR (HVSR1 e HVSR2)

Per quanto riguarda la presenza di caratteri predisponenti alla **liquefazione**, in considerazione dei risultati delle indagini geognostiche effettuate¹⁵, si conferma quanto già riportato nella MS1 dove si nega che nel territorio comunale possano verificarsi situazioni di spiccata possibilità di liquefacibilità o densificazione di sedimenti saturi.

Proprio per avere conferma dei dati acquisiti già nel 2011, si è ritenuto opportuno integrare gli stessi con:

- a) un approfondimento dei sondaggi geognostici fino ad avere la certezza di aver raggiunto il **substrato geologico** qui costituito da rocce terrigene mediamente tenere (areniti e argille marnose), ma compatte e sovraconsolidate. Avendo già i risultati delle indagini 2011, i sondaggi sono stati eseguiti *a distruzione* fino alla profondità allora raggiunta, poi si è proceduto *a carotaggio continuo*. Durante la trivellazione a *c.c.* sono state eseguite prove SPT al fine di ottenere dati circa le caratteristiche geotecniche dei terreni alluvionali attraversati e si sono prelevati due *campioni indisturbati* con campionatore tipo *Shelby* in corrispondenza del tetto del substrato geologico.
- b) una rilettura della *Relazione geologica* redatta nel 2011, che ha portato a integrazioni e modifiche derivanti dai nuovi risultati delle indagini geognostiche eseguite nell'Aprile 2014.
- c) una rilettura dei dati sismici già acquisiti per il Sito 1 di *Via Rio Verde*, ed esecuzione di nuove indagini geofisiche (MASW + HVSR) nel Sito 2 di *Via San Lorenzo* finalizzata a determinare:
 - le velocità delle onde sismiche di taglio nei terreni indagati ed altri parametri di interesse geofisico;

¹⁵ La copertura del bedrock geologico è costituita da ghiaie sabbiose prevalenti e subordinate sabbie limose di spessore limitato con presenza di ciottoli che, anche se in presenza di una falda idrica superficiale, si ritiene non possono causare un aumento delle *pressioni interstiziali* tali da eguagliare la tensione soprastante.

- la velocità ponderata delle onde sismiche di taglio nei primi 30 metri a partire dal piano campagna (V_{s30}), e a verificare, se possibile, a quale profondità dal p.c. sia presente il **bedrock sismico** ($V_s \geq (800 \text{ m/s})$)
 - i fattori di amplificazione sismica per le analisi del secondo livello
- d) ulteriore misura (rispetto ai dati del 2011) del livello piezometrico della falda idrica superficiale effettuata nei due piezometri situati in prossimità dei sondaggi geognostici;

8 I risultati delle indagini geognostiche e piezometriche.

Le indagini hanno evidenziato una stratigrafia abbastanza omogenea caratterizzata da una prevalenza di strati lentiformi ghiaiosi in modesta matrice sabbioso-limosa intercalati o passanti lateralmente a strato-lenti decimetrici di sabbia.

Il sedimento, nel complesso, si presenta da mediamente a molto addensato e di colore grigiastro. La ghiaia, in matrice prevalentemente sabbiosa, è costituita da ciottoli la cui dimensione è compresa fra 5,00 cm e 10 cm.

Gli strati sabbiosi, sempre di modesto spessore, sono prevalenti in *Via San Lorenzo*.

E' interessante notare che, attorno a -10,70÷-11,40 m dal p.c. compare un sottile strato di arenaria grigiastra (40÷50 cm), mediamente cementata che potremmo assumere, prudenzialmente, come il tetto eroso del substrato geologico. Va comunque fatto notare che attorno a -5,00 m le ghiaie sabbiose si presentano già da mediamente a molto addensate.

Le misure piezometriche effettuate nel mese di aprile 2011 e 2014 hanno confermato che il livello della falda freatica in *Via Rio Verde* si attesta attorno a -4,50÷-4,70 m dal p.c., mentre in *Via San Lorenzo* rimane più o meno attorno a -1,30 m dal p.c. **Ciò porta a ipotizzare che, almeno per una parte dell'anno in considerazione delle quote del fondo del rio, nel primo sito sia il corso d'acqua ad alimentare la falda, mentre nel secondo sito sia la falda ad alimentare il rio.**

Da quanto riportato e considerando che sostanzialmente la stessa stratigrafia si ritrova in prossimità del Fiume Reno (S3/2011) e che il substrato geologico affiora allo sbocco del *Rio Verde* nel *Fiume Reno*, si può ipotizzare che, in tutta l'area, il substrato geologico (RUM 2 e/o ADO 2), variamente eroso, sia ricoperto da una coltre alluvionale di spessore variabile tra 10 e i 12 m. **Tale ipotesi, comunque, andrà verificata attraverso ulteriori prove geognostiche in particolare nei terrazzi dal b5 al b2 del Fiume Reno.**

9 Caratterizzazione geotecnica dei terreni.

Da quanto riportato e considerando che sostanzialmente la stessa lito-stratigrafia si ritrova in prossimità del Fiume Reno (S3/2011), si può ritenere che, in tutta l'area, il substrato geologico (RUM 2 e ADO 2) variamente eroso sia ricoperto da una coltre alluvionale di spessore variabile tra 10 e i 11 m.

Durante le perforazioni sono state eseguite prove SPT ¹⁶ attraverso le quali si sono ottenuti i valori dei parametri geotecnici riportati nella seguente tabella e ottenuti attraverso correlazioni proposte da diversi Autori e filtrate da una meditata valutazione tecnica.

Compactness	Relative density [%]	N _{SPT} blows/ft	Angolo di attrito interno (ϕ' °)
Very loose (molto sciolta)	0-15	0-4	< 28
Loose (sciolta)	16-35	5-10	28-30
Medium (media)	36-65	11-30	31-36
Dense (addensata)	66-85	31-50	37-41
Very dense (molto addensata)	86-100	>51	>41

Tabella 1 : Correlazione di letteratura con N_{SPT}, Grado di addensamento, densità relativa Dr (Terzaghi-Peck 1948 e Skempton 1986) ed angolo di attrito interno efficace (Teng 1962).








Sond. n°	Prof. [m]	SPT	N _{SPT}	Addensamento	Dr %	ϕ' (**)
 S1	6,00-6,45	15- 18 - 25	43	Addensato	75-80	37
 S1	10,00-10,10	R - \ - \	>>50	Molto addensato	>86	40
 S1	13,70-14,00	42- >70-R	>>50	Molto addensato	>86	40
 S1	17,00-17,20	38->70-R	>>50	Molto addensato	>86	40
 S2	6,00-6,10	R - \ - \	>>50	Molto addensato	>86	40
 S2	10,00-10,45	39 – 44 – R	>>50	Molto addensato	>86	38
 S2	12,00-12,10	R(>70)	>>50	Molto addensato	>86	36

Tabella 2 : Correlazione fra le prove SPT, Angolo di attrito interno efficace (ϕ') e Densità relativa (Dr). I valori di S3 si riferiscono al Sondaggio eseguito nel 2011 in Via Maranina.

Dato che la quasi totalità delle prove SPT hanno dato *rifiuto* R non si ritiene del tutto corretto, sebbene possibile, applicare le numerose formulazioni empiriche che correlano il valore di N_{SPT} a vari parametri geotecnici quali l'angolo di attrito interno ϕ' , la coesione non drenata Cu, i moduli di deformabilità.

¹⁶ La prova SPT consiste nel registrare il numero di colpi N necessari per far penetrare di 45 cm nel terreno (n. 3 mandate di 15 cm/cad) a fondo foro un tubo campionario di dimensioni standard, collegato alla superficie mediante batteria di aste in testa alle quali agisce un maglio del peso di 63.5 kg che cade liberamente da un'altezza di 0.76 m. Si assume come resistenza alla penetrazione il valore: $N_{SPT} = N_2 + N_3$

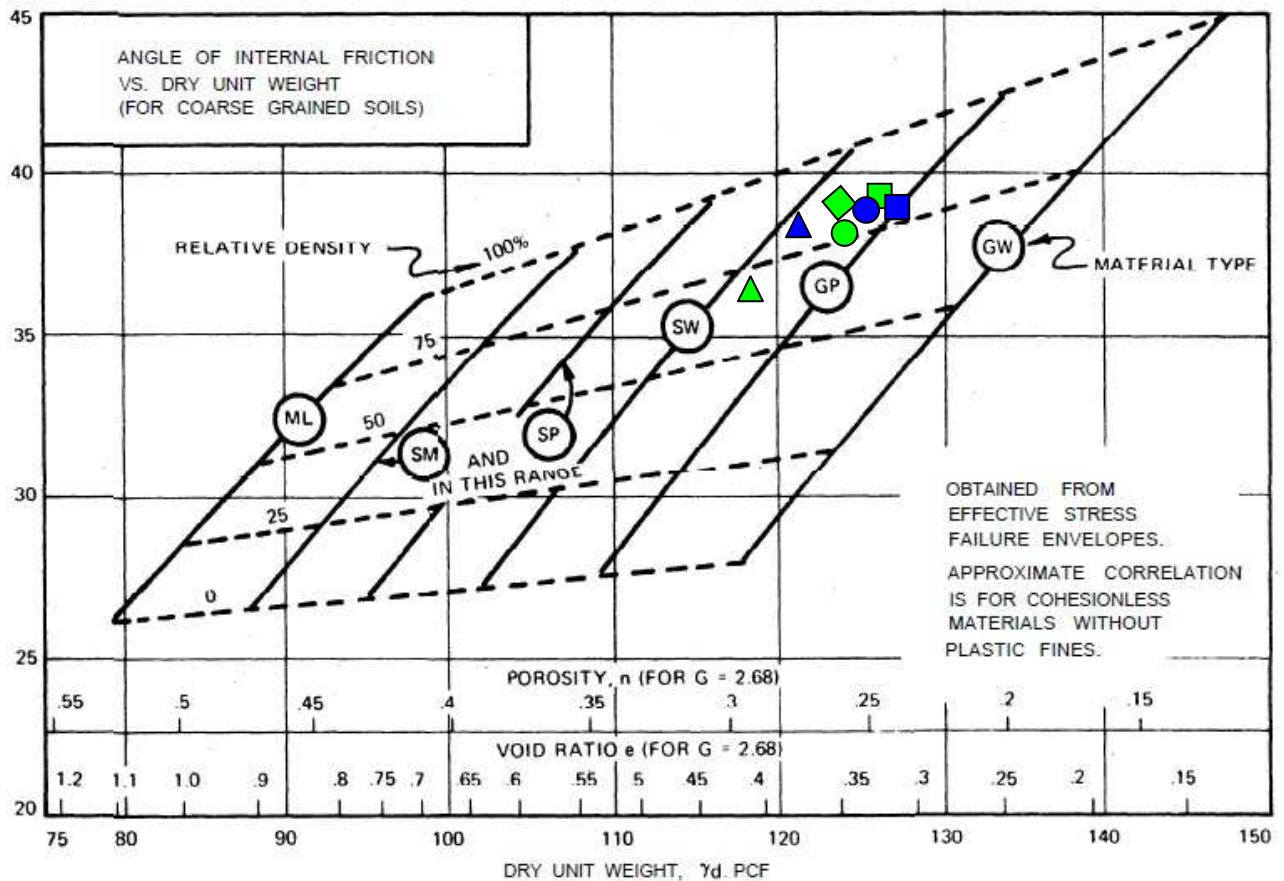


Figura 1 - Abaco NAVFAC DM-7 (1971) di correlazione tra angolo di attrito interno ϕ' , e peso secco, in funzione della densità relativa D_r e della classificazione USCS dei terreni privi di coesione.

Classi granulometriche		Simboli Limite liquido	
G	Ghiaia	H	>50
S	Sabbia	L	<50
M	Limo	Indici di Selezione	
C	Argilla	W	Poco selezionata
O	Organico	P	Ben selezionata
Pt	Torba		

Dall'abaco sopra riportato si evince che i terreni sottoposti a prova SPT presenterebbero una densità da media ad elevata a cui corrisponderebbero valori di ϕ' compresi fra i 37° e i 40°. Occorre, tuttavia, tener conto di vari fattori che tendono a diminuire il valore della densità e, quindi, di ϕ' ; tra i fattori più importanti vi è la presenza della falda freatica che nel nostro caso si attesta in S1 a -4,70 m dal p.c. e in S2 addirittura a -1,30 m dal p.c. Pertanto, nelle ghiaie in falda va assunto prudenzialmente un angolo di attrito ϕ' non superiore ai 37°, mentre per limi sabbiosi, sabbie limose e sabbie poco addensate in falda si consiglia di assumere un valore di ϕ' non superiore ai 32°.

Per la determinazione delle *caratteristiche geotecniche dei terreni* è più ragionevole assumere *range* di valori caratteristici dei tipi litografici interessati.

Di seguito si propone il modello geologico dei due siti indagati tramite i sondaggi a carotaggio continuo e si suggeriscono alcuni parametri utili per il calcolo della *capacità portante* per fondazioni profonde in condizioni a lungo termine.

Unità stratigrafica	Profondità da p.c. [m]	γ_n [kN/m ³]	ϕ' (°)
Ghiaia grossolana in matrice sabbioso limosa	da 0 m a ~ 1.4 m	19	35-37
Sabbia limosa con scarsa componente ghiaiosa	da 1.4 m a ~ 3 m	19	30-33
Ghiaia grossolana in matrice sabbioso limosa	da 3 m a ~ 9.7 m	19	35-37
Sabbia fine fortemente addensata	da 9.7 m a ~ 10.0 m	19	40
Limi sabbiosi compatti	da 10.0 m a ~ 11.4 m	19.5	25-28
Arenaria (Bedrock geologico)	da 11.4 m a ~ 12.0 m	23	35
Limo Argilloso sovra consolidato con ciottoli	da 12 m a ~ 13.6 m	20	25-28
Ghiaia calcare in matrice sabbiosa	da 13.6 m a ~ 14.4 m	19	40
Limo Argilloso sovra consolidato con livelli marnosi e sabbie grigie	da 14 m a ~ 16.5 m	20	25-28
Sabbia limosa fortemente addensata e compatta	da 14 m a ~ 16.5 m	19.5	(37-) 40

Tabella 3 - Modello Geologico derivante da stratigrafia di Sondaggio S1 : Unità litologiche e parametri geotecnici suggeriti per il calcolo della capacità portante dei pali di fondazione per verifiche in condizioni drenate.

Unità stratigrafica	Profondità da p.c. [m]	γ_n [kN/m ³]	ϕ' (°)
Coltre di riporto	da 0 m a ~ 2 m	19.5	22-29 ?
Sabbia limosa debolmente addensata	da 2 m a ~ 2.85 m	19	29-31
Ghiaia grossolana in matrice sabbioso limosa	da 2.85 m a ~ 5.5 m	19	35-37
Sabbia fine mediamente addensata	da 5.5 m a ~ 6.0 m	19	30-32
Ghiaia in matrice sabbiosa limosa	da 6.0 m a ~ 9.5 m	19	40
Sabbia fortemente addensata	da 9.5 m a ~ 10.0 m	20	35-37
Ghiaia in matrice sabbiosa	da 10 m a ~ 10.7 m	19	38
Arenaria (Bedrock geologico)	da 10.7 m a ~ 11.0 m	23	35
Limo sabbioso debolmente consistente con ciottoli calcarei	da 11 m a ~ 11.5 m	19.5	22-25
Limo sabbioso fortemente compatto con intercalazioni di argille limose sovra consolidate e arenarie mediamente consistenti	da 11.5 m a ~ 16.5 m	19.5	25-28

Tabella 4 - Modello Geologico derivante da stratigrafia di Sondaggio S2 : Unità litologiche e parametri geotecnici suggeriti per il calcolo della capacità portante dei pali di fondazione per verifiche in condizioni drenate.

Per quanto riguarda la coesione drenata c' dei terreni (o la cementazione delle sabbie addensate e/o arenarie), in assenza di analisi di laboratorio *C.D.*, è difficile se non impossibile farne una stima. Pertanto, in caso di fondazioni profonde, nel caso di calcoli di *capacità portante a lungo termine*, si consiglia di non tenerne conto.

La coesione non drenata c_u per i terreni coesivi attraversati (limi argillosi da consistenti a molto consistenti) può essere stimata secondo quanto indicato dal NAV-Facility Design Manual 1982 dove si suggerisce che il rapporto tra C_u/N_{spt} sia costante e caratteristico dei terreni coesivi attraversati.

Assumendo quindi il valore di rifiuto R (avendo questi terreni presentato rifiuto durante la prova SPT (sondaggio S2 : SPT a 12.00 m da p.c.) pari a $N_{spt} > 50$ e assumendo il valore minimo suggerito dalle NAVFAC 1982 si ottiene che la *coesione non drenata* sia pari a $c_u > 200$ kPa. Poiché non è prudentiale assumere un tale valore di adesione tra terreno e palo in cls si suggerisce di limitare il valore di adesione a 100 kPa.

10 La caratterizzazione sismica dei terreni.

Come già ricordato, per giungere alla caratterizzazione dei terreni di fondazione delle opere previste dal progetto (n. 2 attraversamenti del *Rio Verde*), ci si è basati sui dati geognostici, sui valori N_{spt} , nonché su n. 2 indagini geofisiche mediante tecnica MASW¹⁷ e misura a stazione singola con tecnica H/V (HVSr: Horizontal to Vertical Spectral Ratio) utilizzando, quindi un *Tromografo digitale* (“Tromino”).

La valutazione e il confronto dei diversi dati ottenuti, ha permesso di avere informazioni sulla *velocità media equivalente di propagazione delle onde di taglio verticali* (V_s) nei primi 30 m di profondità (V_{s30}), in ottemperanza a quanto riportato nel decreto del Ministero delle Infrastrutture, 14 gennaio 2008 “*Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni*” (G.U. n. 29 del 4 febbraio 2008, Supplemento ordinario n. 30).

Nelle sottostanti tabelle, sono riportati i modelli di sottosuolo proposti in funzione delle V_s , ottenuti mediante fit congiunto della prova in array e misura H/V.

Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	V_s [m/s]
1.50	1.50	115
3.00	1.50	145
11.00	8.00	285
19.00	8.00	440
49.00	30.00	500
109.00	60.00	600
inf	inf	800

Tabella 5 : Profilo verticale delle onde di taglio S relativo al modello di sottosuolo ottenuto da fit congiunto prova in array e misura H/V per il profilo sismico S1 - Via Rio Verde.

¹⁷ Il metodo MASW consente di determinare il profilo di velocità delle onde di taglio V_s nei primi 30 m di profondità e quindi la V_{s30} e, di conseguenza, permette di attribuire la classificazione sismica al sito investigato.

Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]
1.50	1.50	112
3.20	1.70	140
10.20	7.00	280
18.20	8.00	400
43.20	25.00	530
83.20	40.00	650
inf	inf	900

Tabella 6 : Profilo verticale delle onde di taglio S relativo al modello di sottosuolo ottenuto da fit congiunto prova in array e misura H/V per il profilo sismico S1 (monte) - Via Rio Verde.

10.1 Risposta sismica locale: categorie di sottosuolo : NTC2008.

Vengono identificate 5 classi, A, B, C, D ed E ad ognuna delle quali è associato uno spettro di risposta elastico. Lo schema indicativo di riferimento per la determinazione della categoria dei terreni del sito è il seguente:

Categoria	Descrizione
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di Vs30 superiori a 800 m/s, comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3.
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> con spessori superiori a 30 m caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs30, compresi fra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{spt,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e coesione non drenata $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> , con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs30, compresi fra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{spt,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e coesione non drenata $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs30, inferiori a fra 180 m/s (ovvero $N_{spt,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e coesione non drenata $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).
E	<i>Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessori non superiore a 20 m</i> , posti sul substrato di riferimento (con Vs30 > 800 m/s).
S1	Depositi di terreni caratterizzati da valori di Vs30 inferiori a 100 m/s (ovvero $10 < c_{u,30} < 20$ kPa), che includono uno strato di almeno 8,00 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3,00 m di torba o di argille altamente organiche.
S2	Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o altre categorie di sottosuolo non classificabile nei terreni precedenti.

Per V_{s30} s'intende la velocità equivalente (e non la media pesata delle velocità, che invece porterebbe ad una sottostima degli strati più deformabili) delle onde S negli strati fino a 30 metri di

profondità dal piano di posa della fondazione, calcolata secondo la relazione:

$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1, N} \frac{h_i}{V_{si}}}$	V_{s30} : velocità media equivalente delle onde di taglio “S”; h_i : spessore dello strato i-esimo V_i : velocità delle onde di taglio “S” nello strato i-esimo
---	---

Per le **fondazioni superficiali**, tale profondità (30 m) è riferita al **piano di imposta** delle stesse, mentre per le fondazioni profonde su **pali** è riferita alla **testa dei pali** (n.b.: non dalla base\punta del palo).

In generale il fenomeno dell'*amplificazione sismica* diventa più accentuato passando dalla categoria A alla categoria E (S1 e S2).

In base al *profilo stratigrafico*, ricavato dalle indagini geognostiche, il sottosuolo è interessato, come più volte detto, da terreni alluvionali grossolani non coesivi da mediamente a molto addensati che poggiano su un substrato geologico costituito da sabbie arenacee passanti ad argille marnose e limi sabbiosi variamente cementati, ma che, in ogni caso, presentano valori di N_{spt} che vanno da $N_{spt} = 40$ al “rifiuto” ($N_{spt} > 50$).

Sulla base di quanto riportato nelle tabelle della *Relazione geofisica* allegata, la velocità media equivalente delle onde di taglio V_s nei primi 30 m di profondità (V_{s30}), con riferimento alla quota del piano campagna su cui sono stati eseguiti i profili, è la seguente:

- **Profilo sismico Sito 1** **$V_{s30} = 327$ m/s**
- **Profilo sismico Sito 2** **$V_{s30} = 323$ m/s**

Pertanto, considerando i dati e i valori ricavati dalle indagini geognostiche e quelli riportati nelle Tabella 5 e Tabella 6 (estratti dall'allegata relazione sulle indagini geofisiche), si desume che al sito in esame può essere attribuita la **categoria di sottosuolo tipo “C”**.

10.2 Risposta sismica locale: condizioni topografiche.

Trattandosi di opere che verranno costruite in aree sub-pianeggianti, non si è presa in considerazione l'influenza dovuta all'assetto morfologico sulla amplificazione sismica e, quindi, rifacendosi alla tabella 3.2.IV delle NTC2008, per il sito in esame si può assumere la categoria Topografica di tipo T1, ovvero *superficie pianeggiante (pendii e rilievi con inclinazione media $i < 15^\circ$)*.

Similmente, in base a quanto indicato nell'Allegato A2, punto A2.2 degli “Indirizzi regionali per gli studi di microzonazione sismica” (D.A.L. n°112 - oggetto n°3121 del 2/02/2009) nel caso in

oggetto (area sub-pianeggiante) gli **effetti di amplificazione topografica** sono stati giudicati **ininfluenti** essendo i Siti in piana di fondovalle ($T_1 = S_T = 1$).

10.3 Caratterizzazione e definizione dell'azione sismica secondo le NTC2008.

La definizione della *pericolosità sismica* di un sito è data da due componenti: la *pericolosità sismica di base*, dovuta alle caratteristiche sismologiche dell'area, e la *pericolosità sismica locale* dovuta agli *effetti di sito* che possono modificare, a volte in modo significativo, il moto sismico corrispondente alla pericolosità sismica di base.

La quantificazione degli effetti di sito richiede la conoscenza dei risultati dello studio di pericolosità sismica di base, nonché di dati relativi alle caratteristiche litostratigrafiche idrogeologiche e geomorfologiche del sito oggetto di studio.

Gli effetti locali comprendono:

- l'amplificazione litostratigrafica;
- l'amplificazione topografica.

Per determinare i fattori di amplificazione sismica secondo le NTC2008 si è fatto riferimento al valore misurato della V_{s30} calcolata a p.c. come illustrato al §10.1 e considerando l'area appartenente alla categoria topografia T1 trovandosi i due Siti, come già detto, in zona di piana di fondovalle alluvionale ($I < 15^\circ$)

In ottemperanza al D.M. del 14.01.2008 (Norme tecniche per le costruzioni), le verifiche saranno condotte con il metodo semi-probabilistico agli stati limite. Per la definizione dell'azione sismica, occorre definire il periodo di riferimento PVR in funzione dello stato limite considerato.

Le coordinate geografiche dei due Siti indagati nonché dei *Siti di riferimento* sono le seguenti:

Sito 1 in esame.

- latitudine: 44,409765
- longitudine: 11,253215

Sito 2 in esame.

- latitudine: 44,4095810
- longitudine: 11,2565824

Siti di riferimento

- | | | | | |
|----------|-----------|--------------|--------------|--------------------|
| - Sito 1 | ID: 17173 | Lat: 44,4137 | Lon: 11,2512 | Distanza: 468,541 |
| - Sito 2 | ID: 17174 | Lat: 44,4150 | Lon: 11,3211 | Distanza: 5420,442 |
| - Sito 3 | ID: 17396 | Lat: 44,3650 | Lon: 11,3228 | Distanza: 7438,059 |
| - Sito 4 | ID: 17395 | Lat: 44,3638 | Lon: 11,2529 | Distanza: 5116,681 |

Sono stati ricavati i coefficienti sismici in diversi stati limite di progetto come riassunti nelle Tabella 10 e Tabella 11 (allegate in calce alla presente relazione) ipotizzando sia il caso di Classe di edificio 2 sia 3, e ipotizzando una *vita nominale* di 50 e 100 anni.

10.4 Modello geotecnico del terreno.

Sebbene nei due punti interessati dalle indagini geognostiche (dove andranno realizzati i due nuovi attraversamenti) gli strati più superficiali del sottosuolo presentino alcune modeste differenze stratigrafiche e di grado di addensamento, è possibile proporre un unico modello adottabile efficacemente per un sistema di fondazione su pali la cui base sia prevista all'interno (per almeno 3 diametri) dello strato di "limo sabbioso fortemente compatto con intercalazioni di arenarie e marne" (sottostante il tetto del bedrock geologico arenaceo alterazione arenaceo) alla profondità media di circa 11,00÷11,50 m dal p.c.

Di seguito in Tabella 7 si riportano le caratteristiche geotecniche del "modello geotecnico" proposto ricordando che per esso i fattori di correlazione di Tabella 6.4.IV (della NTC2008) devono essere assunti $\xi_3 = 1.65$ e $\xi_4 = 1.55$ e quindi, seguendo la medesima simbologia delle NTC,

$$R_{c,cal\ medio} = R_{c,cal\ min} \cdot \cdot$$

Unità stratigrafica	Profondità da p.c. [m]	Carico Piezometrico	γ_n [kN/m ³]	γ_{sat} [kN/m ³]	ϕ' (°)	c' [kPa]	E_0 [MPa]
Coltre	da 0 m a ~ 3 m	Drenato	18	19.5	28	0	5-10
Ghiaia con sabbia	da 3 m a ~ 11 m	Drenato	18.5	19	35	0	50-90
Tetto bedrock	oltre i 11 m	Drenato (?)	21	21	28	0	>100

Tabella 7: Unità litologiche e parametri geotecnici adottati nel "modello unico" proposto per il calcolo della capacità portante dei pali di fondazione.

In alternativa al "modello unico", si potranno assumere n. 2 distinti modelli per ogni punto di indagine considerando unicamente una unica verticale indagata assumendo, quindi, i fattori di correlazione di Tabella 6.4.IV ξ_3 e ξ_4 pari a 1.7 per ogni punto di indagine\opera di fondazione.

Si rammenta infine che per le verifiche allo SLU si potranno adottare sia l'Approccio 1 sia l'Approccio 2, ricordando che la Circolare n. 617 del Consiglio Superiore specifica, correggendo le NTC2008, che la combinazione 2 dell'approccio 1 per le fondazioni su pali è la seguente:

o Approccio 1 - Combinazione 2: A2+M1+R2 [GEO]

La quota della falda superficiale è posta a -4,70 dal p.c. nel sito S1 ed a - 1,20 m dal p.c. nel sito S2.

10.5 Verifica suscettibilità dei terreni a liquefazione

Gli unici strati sotto falda che potrebbero richiedere una verifica a liquefazione sono quelli sabbioso-limosi, di spessore molto modesto, rilevati nel Sito di Via S. Lorenzo (sondaggio S2)

rispettivamente nell'intervallo di profondità 2,00÷2,85 m. e 5,50÷6,00 m dal p.c.. È comunque possibile escludere a priori una verifica a liquefazione per tali strati perché risponde alla circostanza indicata al punto 4 del §7.11.3.4.2 dalle NTC2008 che prevede omissione della verifica a liquefazione quando la resistenza penetrometrica normalizzata $(N1)_{60} > 30$.

Inoltre Secondo quanto suggerito dalle linee guida AGI 2005 “*Aspetti geotecnici della progettazione in zona sismica*” è possibile verificare la liquefacibilità di un terreno tramite i valori normalizzati di prove penetrometriche SPT o CPT, o in maniera più diretta tramite la velocità di propagazione delle onde di taglio V_s nello strato indagato.

Per gli strati oggetto di verifica le onde di taglio sono pari a $V_s = 280$ m/s (vedi Tabella 6), e il valore normalizzato, alla pressione atmosferica di 100 kPa ed alla pressione litostatica efficace a circa 5.5 m dal p.c., delle onde di taglio V_{s1} è:

$$V_{s1} = C_v \times V_s = 1.04 \times 280 = 291 \text{ m/s}$$

Dove:

- C_v è un fattore di normalizzazione che per il caso in esame è pari a 1.04 considerando V_{s1} alla profondità di 5.5 m e con falda a -2.00 m da p.c..

Secondo quanto indicato in letteratura (“Abachi di Idriss e Boulanger 2004” per sismi di magnitudo di momento $M=7.5$), per tali velocità di taglio normalizzate V_{s1} gli strati sabbiosi indagati non presentano instabilità per fenomeni di liquefazione.

11 Microzonazione sismica di 2° Livello.

11.1 Contenuti richiesti

Come richiesto nelle NTA del PSC di Sasso Marconi gli obiettivi della microzonazione sismica sono stati:

- fornire l'entità della risposta sismica locale;
- fornire i fattori di amplificazione sismica litologici e topografici;
- verificare l'entità degli effetti indotti sui sedimenti liquefazione/densificazione:

Conformemente a quanto richiesto dal DAL 112/ 2007 per l'approfondimento di 2° livello sono elaborati i seguenti contenuti:

- carta di microzonazione sismica alla scala 1:2.000 delle parti di territorio indagate;
- i coefficienti di amplificazione sismica per ciascuna delle aree individuate nella “Carta comunale delle aree suscettibili di effetti locali” ottenuti impiegando le tabelle e le formule dell'Allegato A2 (A2.1 e A2.2) della DAL 112/2007 che permettono di calcolare i fattori di amplificazione sismica rispetto ad un suolo di riferimento. Questi fattori sono espressi sia in

termini di rapporto di accelerazione massima orizzontale (PGA/PGA_0), sia di rapporto di Intensità di Housner (SI/SI_0)¹⁸ per prefissati intervalli di periodi, dove PGA_0 e SI_0 sono rispettivamente l'accelerazione massima orizzontale e l'Intensità di Housner al suolo di riferimento, definiti per ogni Comune ricavabili dal *data base regionale* (disponibile nel sito internet www.regione.emiliaromagna.it/geologia/sismica) e PGA e SI sono le corrispondenti grandezze di accelerazione massima orizzontale e Intensità di Housner calcolate alla superficie dei siti esaminati.

- risultati delle prove per la definizione del *modello geologico del sottosuolo* e dei profili di velocità di propagazione delle onde di taglio (V_s).

11.2 Analisi della risposta sismica locale e fattori di amplificazione sismica

L'analisi della risposta sismica locale con relativa determinazione dei fattori di amplificazione del moto del suolo (amplificazione stratigrafica e topografica), è stata condotta mediante II livello di approfondimento come previsto e descritto nella Delibera della Regione Emilia-Romagna n. 112 del 02/05/2007 (paragrafo 4.1 e Allegato A2).

Sono state condotte le analisi geofisiche riassuntivamente elencate al §7 per la cui dettagliata descrizione si rimanda alla allegata relazione sulle indagini geofisiche effettuate dalla *Geotea srl*.

Le aree in esame appartengono al contesto geologico di Appennino e Margine Appenninico-Padano caratterizzato dalla presenza di un substrato geologico non affiorante con V_s propria inferiore a 800 m/s (Delibera Regione E-R progr. 112 paragrafo A2.1.1).

Nell'analisi della risposta sismica locale mediante approfondimento di II livello, dato il contesto geologico a cui appartengono le aree in esame, i Fattori di Amplificazione (F.A.) del moto sismico atteso vengono calcolati sulla base dello spessore (H) delle coperture soprastanti il bedrock e della velocità equivalente delle onde di taglio S per lo spessore considerato (V_{sH}) così definita:

$$V_{sH} = \frac{H}{\sum_{i=1}^n \frac{h_i}{v_i}}$$

Dove :

- H spessore delle coperture soprastanti il bedrock geologico;
- h_i spessore in metri dell' i -esimo strato

¹⁸ L'Intensità di Housner SI_t è definita da

$$SI = \int_{T_1}^{T_2} PSV_{(\zeta=5\%)} dT \quad \text{dove } PSV \text{ è lo spettro di risposta in velocità (smorzamento } \zeta = 5\%).$$

- v_i velocità in m/s delle onde S sismiche di taglio nello strato i-esimo;

Nel caso in esame lo spessore delle coperture soprastanti il bedrock geologico e le relative velocità equivalenti sono circa pari a 11 m e rifacendosi quindi alle Tabella 5 e Tabella 6 si ottiene:

Tabella 8: Spessori di copertura sovrastante il bedrock geologico e velocità equivalenti secondo la DAL. 112

<i>Sito in esame</i>	<i>Spessore sovrastante bedrock H [m]</i>	<i>V_{SH} [m/s]</i>
Sito 1 – Via Rio Verde	~ 11	214m/s
Sito 2 - Via San Lorenzo	~ 11	210 m/s

Per determinare i fattori di amplificazione sismica secondo la DAL112/07 si è fatto riferimento al valore misurato della V_{SH} calcolata a p.c. e sono state utilizzate le tabelle e formule per la valutazione dei fattori di amplificazione sismica per le *analisi del secondo livello di approfondimento* e (Allegato 2 della del. Ass Leg. n. 112/2007 della RER.) come in tabella al §A2.1.1 della DAL n.112 che in caso di substrato marino caratterizzato da $V_s < 800$ m/s presentano i seguenti fattori di amplificazione:

Tabella 9: Fattori di amplificazione sismica per microzonazione sismica II livello come tabulati in allegato A2 della DAL 112/07.

<i>Sito in esame</i>	<i>FA P.G.A.</i>	<i>F.A. INTENSITÀ SPETTRALE 0.1s < T0 < 0.5 s</i>	<i>F.A. INTENSITÀ SPETTRALE 0.5s < T0 < 1 s</i>
Sito 1	2.3	2.2	1.6
Sito 2	2.3	2.2	1.6

In base a quanto indicato nell'Allegato A2, punto A2.2 degli "Indirizzi regionali per gli studi di microzonazione sismica" (D.A.L. n°112 - oggetto n°3121 del 2/02/2009) nel caso in oggetto (area sub-pianeggiante) sono stati giudicati ininfluenti gli effetti di amplificazione topografica essendo i siti in piana di fondovalle. Il coefficiente di amplificazione topografico (S_T) per l'area è posto quindi pari ad 1. ($T1 = S_T = 1$).

Si ritiene opportuno evidenziare che, in base alle prove geofisiche effettuate, le curve HVSR per i due siti in esame hanno evidenziato una significativa amplificazione locale del moto del suolo per risonanza stratigrafica nell'intervallo compreso tra circa 4-15 Hz di frequenza. In questa banda di frequenze, il contrasti d'impedenza che generano amplificazione del moto sismico si possono definire nel loro complesso da "alti" (Ampiezza =3) a "molto alti" (Ampiezza =3.5). Per ulteriori dettagli si rimanda alla relazione sulle indagini geofisiche in allegata.

12 Conclusioni.

L'area interessata dagli interventi è distribuita su di un tratto di asta torrentizia del *Rio Verde* per una lunghezza di circa 300 m. Le opere idrauliche previste, vanno nel senso di ridurre, in generale, il rischio idraulico a monte e a valle della SS 64.

La valle in cui scorre il rio - che presenta un alveo sinuoso di dimensioni modeste, ma con “*terrazzi intravallivi connessi*” che in alcuni tratti risultano abbastanza ampi – è caratterizzata da *versanti* generalmente molto ripidi (a tratti sub-verticali) coperti di vegetazione arboreo-arbustiva e intagliati in rocce prevalentemente arenacee di età plio-pleistocenica.

Le aree terrazzate a lato del rio sono generalmente a *prato pascolo* o a *seminativo semplice*, mentre le sponde sono caratterizzate da una folta siepe o *bosco ripariale*.

Mentre a monte della SS 64 il rio sembra più in fase di deposito che di erosione, a valle è in leggera fase erosiva essendo, in questo tratto, il profilo dell'alveo particolarmente dipendente dalle fasi di *ringiovanimento* e di *stasi* del *Fiume Reno*.

Si ritiene sia molto importante tener conto dell'**erosione di sponda** in quanto questo fenomeno potrebbe portare, nel tempo, al danneggiamento degli edifici e delle strutture idrauliche di vecchia e nuova costruzione.

Nei punti indagati il passaggio fra i terreni alluvionali ghiaioso-sabbiosi ed il *bedrock geologico*, caratterizzato da sedimenti sabbioso-arenacei passanti verticalmente e lateralmente a limi sabbiosi ed argille marnose tutti sovraconsolidati, si ha attorno a -10.00÷-11.00 m dal p.c.. Ciò determina, nel materasso alluvionale, una buona permeabilità sia orizzontale che verticale ($\gg k=10^{-4}$ m/s) e la formazione di una falda freatica che nel sito di *Via Rio Verde* presenta, nella stagione in cui il livello è generalmente più alto, un livello piezometrico attorno a -4,70 m dal p.c. (profondità maggiore del livello di magra del rio), mentre nel sito di *Via San Lorenzo* il livello p. è attorno a - 1,30 m dal p.c. che corrisponde, pressappoco, alla profondità del letto del rio. Tuttavia, data l'elevata permeabilità della copertura alluvionale, la falda è fortemente influenzata anche dalla piovosità locale, per cui i livelli possono variare sensibilmente in un breve spazio di tempo.

I sedimenti sabbioso-arenacei con intercalazioni di argille marnose dure e molto compatte, che stanno alla base della coltre alluvionale, rappresentano il *substrato geologico* variamente eroso, qui rappresentato dalla Formazione di Monterumici (membro RUM2) o, più a valle, dalla sovrastante (in termini temporali) Formazione di Monte Adone (membro ADO2): il contatto fra le due formazioni non è visibile in loco.

In base alle NTC2008 al sito in esame può essere attribuita la categoria di terreni tipo “C” avendo rilevato dalla indagini geofisiche che le velocità $V_{s30} = 323 \sim 327$ m/sec.

In Tabella 3e Tabella 4 si sono proposti due modelli geologici dei due siti in base ai dati stratigrafici desunti dei n.2 sondaggi a carotaggio continuo. Si è inoltre proposto, in Tabella 7, un unico *modello geotecnico semplificato* riportante alcuni parametri geotecnici caratteristici che potranno essere utilizzati per il futuro calcolo della *capacità portante* delle fondazioni profonde previste nelle future fasi progettuali.

È stata condotta una verifica semplificata sulla suscettibilità dei terreni indagati a fenomeni di *liquefazione*; tale verifica ha portato ad escludere che i siti in esame presentino tale vulnerabilità.

Si è proceduto infine alla *microzonazione di secondo livello* secondo quanto previsto dalla D.A.L. 112/07 determinando i fattori di amplificazione sismica del sito come riassunti in Tabella 9.

Bologna, lì 08 Maggio 2014

Dott. Geol. Enrico Caggese

Dott. Ing. Riccardo Caggese

13 ALLEGATI

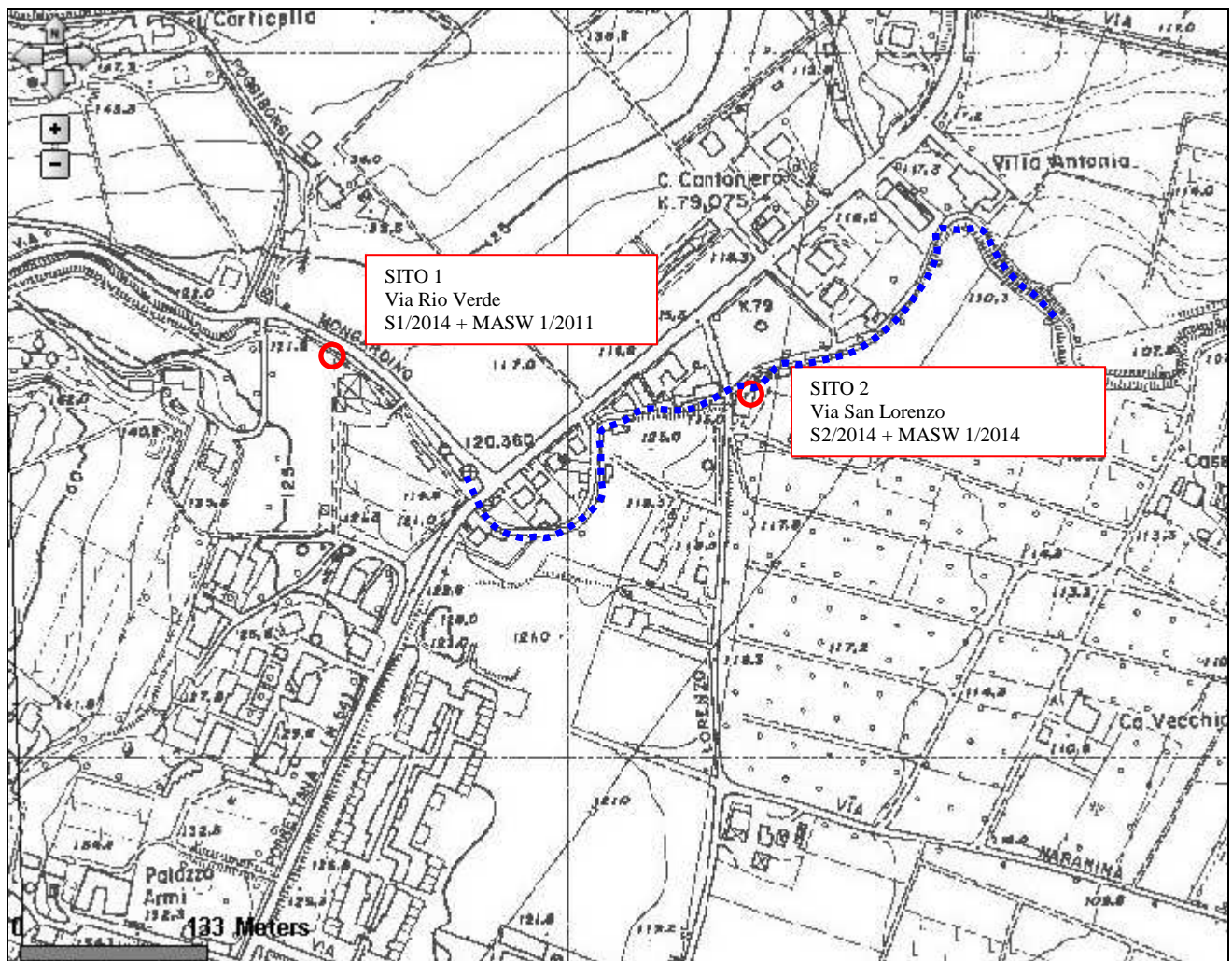


Figura 2: Sasso Marconi –Zona Rio Verde. Area di interesse con indicazione dei punti di indagine geognostica e sismica corrispondenti ai punti dei nuovi attraversamenti in progetto. . La linea tratteggiata in azzurro è il tratto di alveo, dell'area di intervento, interessato da *erosione di sponda*. Estratto della QCGI-Tav. 2 del QC del PSC di Sasso Marconi – “Dissesti di versante”. (Elem. 220163-Borghetti; scala originaria: 1:5000)

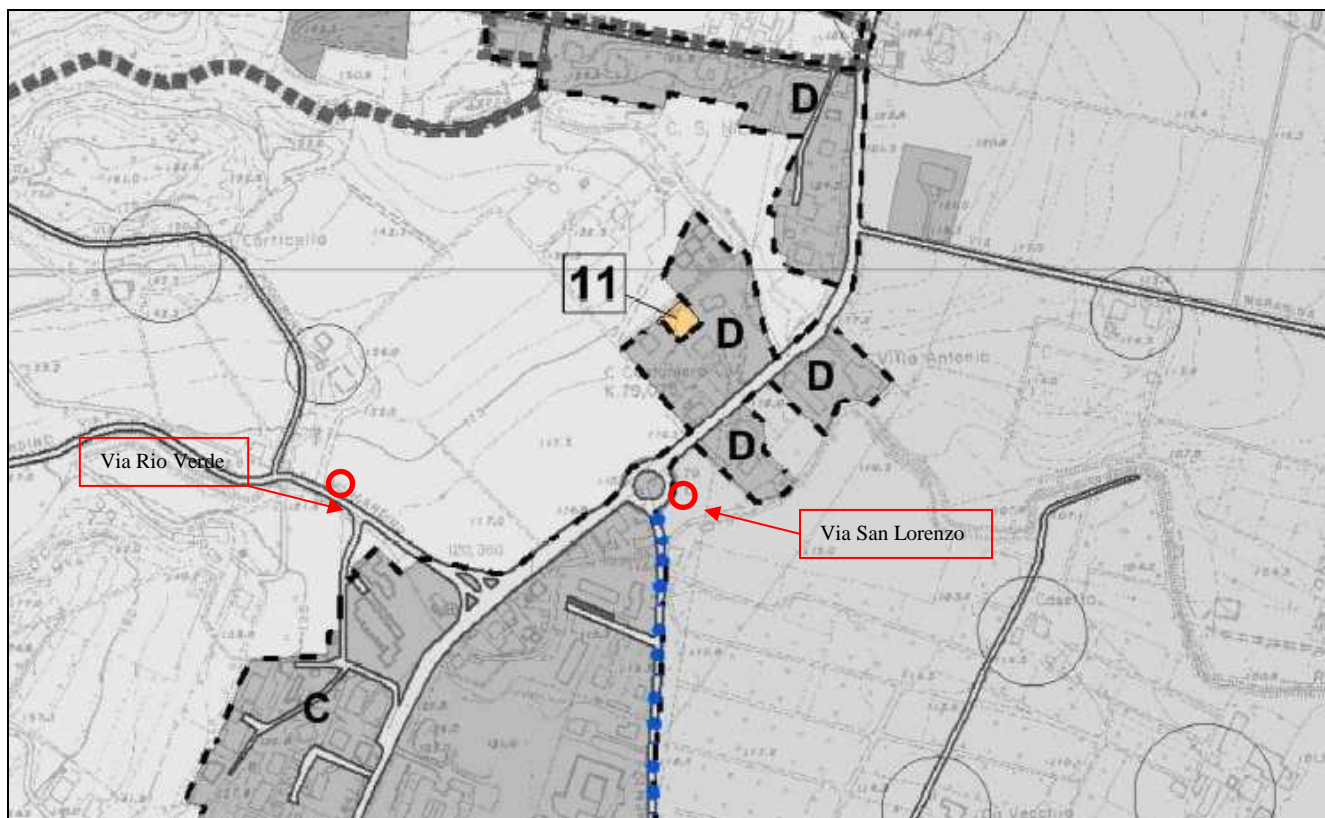


Figura 3: Sasso Marconi –Zona *Rio Verde*: Estratto della Tav. 1 del POC (Sez. CTR: 220160)

Legenda



Area di interesse



ubicazione dei due attraversamenti del *Rio Verde* in progetto.



insediamenti storici isolati in territorio rurale (art. 5.3)

TERRITORIO RURALE ambiti del territorio rurale



ambiti ad alta vocazione produttiva agricola (art. 7.5)



ambiti agricoli di prevalente rilievo paesaggistico (art. 7.6)



ambiti agricoli periurbani - fascia A: periurbano metropolitano (art. 7.8)



ambiti agricoli periurbani - fascia B: periurbano comunale (art. 7.9)



ambiti agricoli periurbani - fascia C: campagna parco (art. 7.10)



ambito fluviale del Reno (art. 7.11)

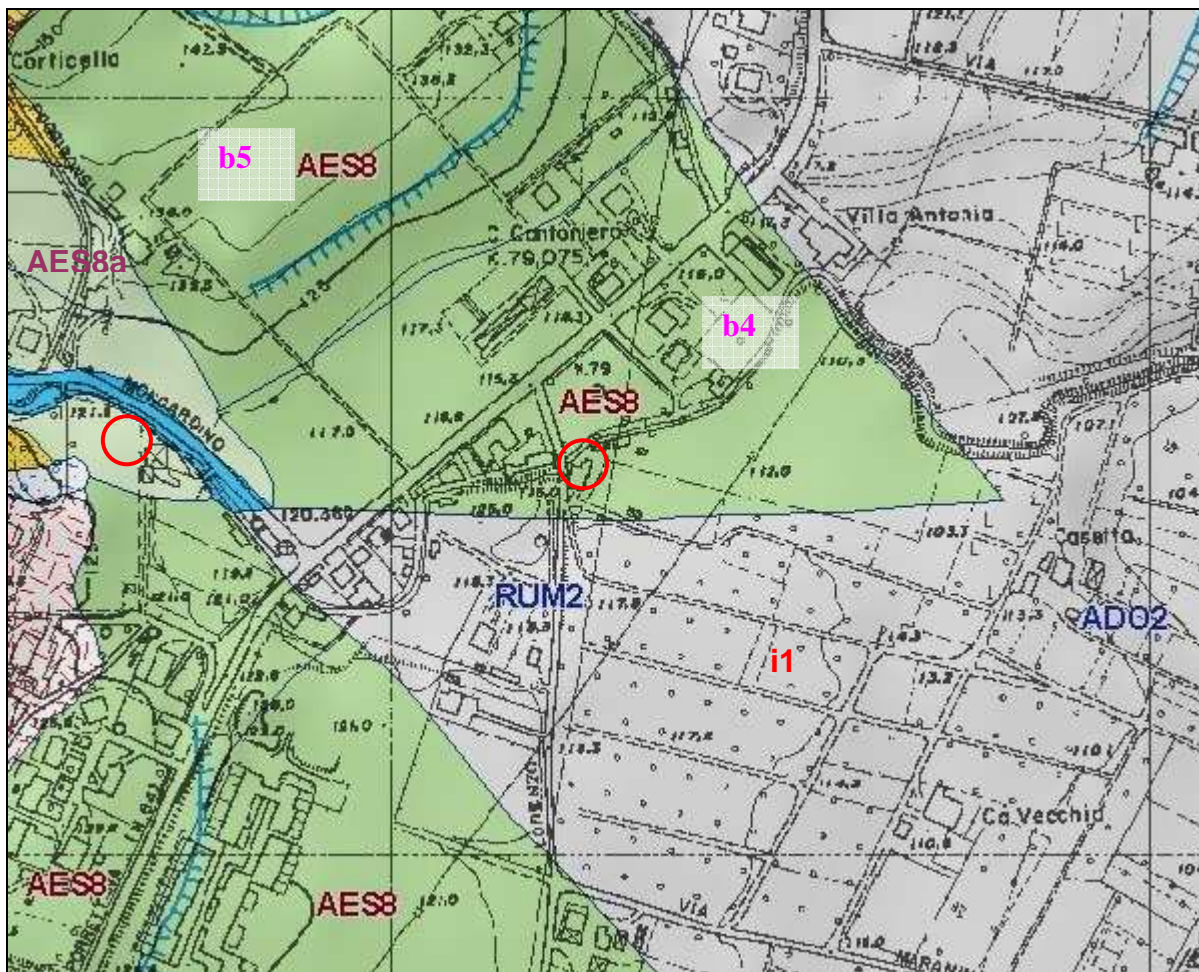


Figura 4: Carta geologica; estratto della carta geologica dell'Appennino Emiliano-Romagnolo redatta dal Servizio geologico e dei suoli della Regione Emilia-Romagna (scala originaria 1:5000).

Legenda



Ubicazione delle indagini geognostiche e sismiche eseguite nel 2011 e 2014

i1

Conoide torrentizia attiva (Olocene)

AES8

Subsintema di Ravenna: ghiaie in matrice sabbioso-limosa (Pleistocene medio-sup.-Olocene)

AES8a

Subsintema di Ravenna – Unità di Modena: nei settori intravallivi la litologia è costituita da ghiaie prevalenti organizzate in 2 ordini di terrazzi (Età post-romana: IV-VI sec d.C.).

ADO 2

Formazione di Monte Adone; Membro delle Ganzole: Sedimenti terrigeni a tendenza trasgressiva, riferibili ad ambienti continentale di transizione e marino. La litologia è caratterizzata da prevalenza di areniti fini a cementazione variabile, ma generalmente modesta, e subordinatamente da conglomerati eterometrici in strati sia sottili che spessi. Gli ambienti di deposizione variano da fluviale-deltizio, alla spiaggia e al litorale. (Pliocene medio-Pliocene superiore.).

RUM 2

Formazione di Monterumici; Membro di Cà di Mazza; alternanze arenarie –argilliti di colore grigio passanti ad argille, ma con livelli lapidei prevalenti (L/P>3). Strati poco evidenti, generalmente spessi e a volte lenticolari con spessore da decimetrico a metrico. L'ambiente di deposizione è francamente continentale e localmente di transizione e marino. (Pliocene Inferiore).

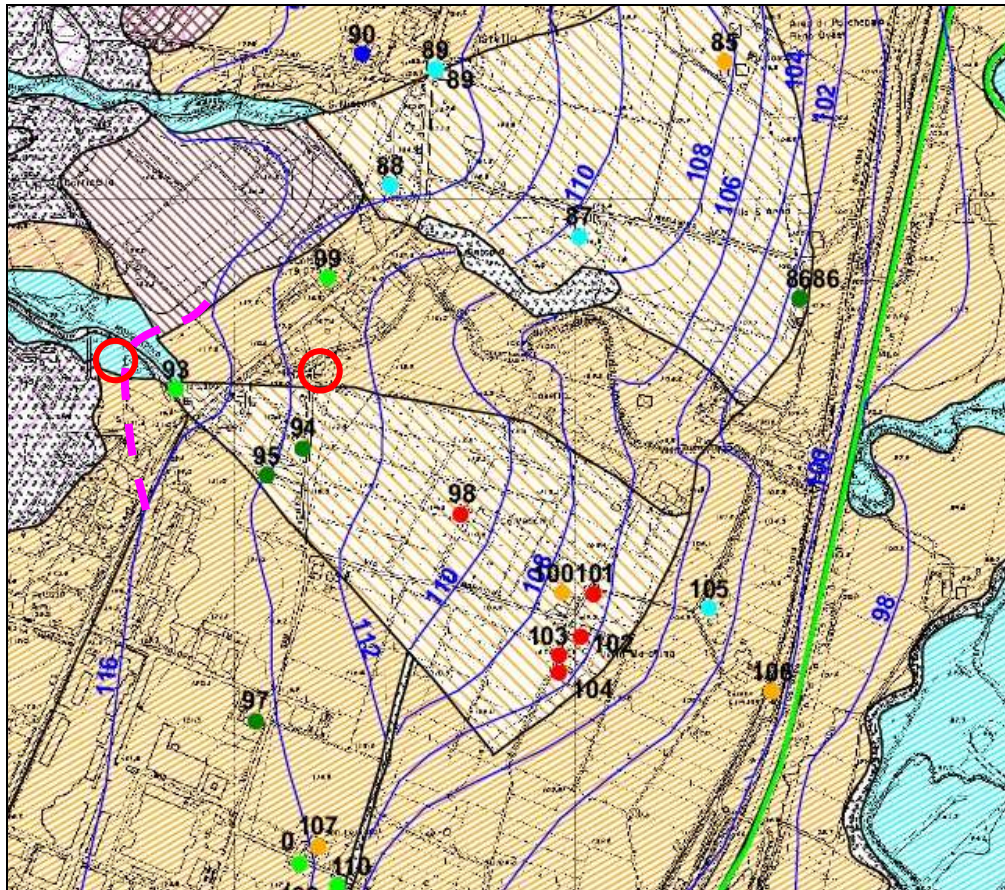


Figura 5: Carta idrogeologica estratta dalla carta QCGI. Tav 2 del QC (scala originaria 1:10000) .
La linea **FUCSIA** passante per il sito 1 deriva dalla lettura del piezometro posto nel sondaggio S1 , e che quindi modifica l'isofreatica 116 m.slm.

Legenda



Ubicazione delle prove sismiche e geognostiche

Subsistemi idrogeologici di Fondovalle	Sorgenti e zone di tutela	Pozzi freatici (num.) e limiti ingegneristici
<ul style="list-style-type: none"> Alveo morbida Piène ordinarie Barra vegetata Barra non vegetata Alluvioni connesse Conoidi connesse Alluvioni indirettamente connesse Conoidi indirettamente connessi Alluvioni non connesse Conoidi alluvionali Terrazzi pensili Depositi piede versante Scarpate 	<ul style="list-style-type: none"> Zone protezione (DL 152/99) Zone di rispetto (PTCP art. 5.3) Fasce tutela fiumi (PTCP) Fasce pertinenza fiumi (PTCP) Sorgenti non potabili (numero) Sorgenti potabili ed incerte (numero) 	<ul style="list-style-type: none"> Non determinato Problemi strutturali Sconsigliati vani interrati Problemi interrati Problemi sottopassi, gallerie Problemi scavi impegnativi Problemi grandi opere

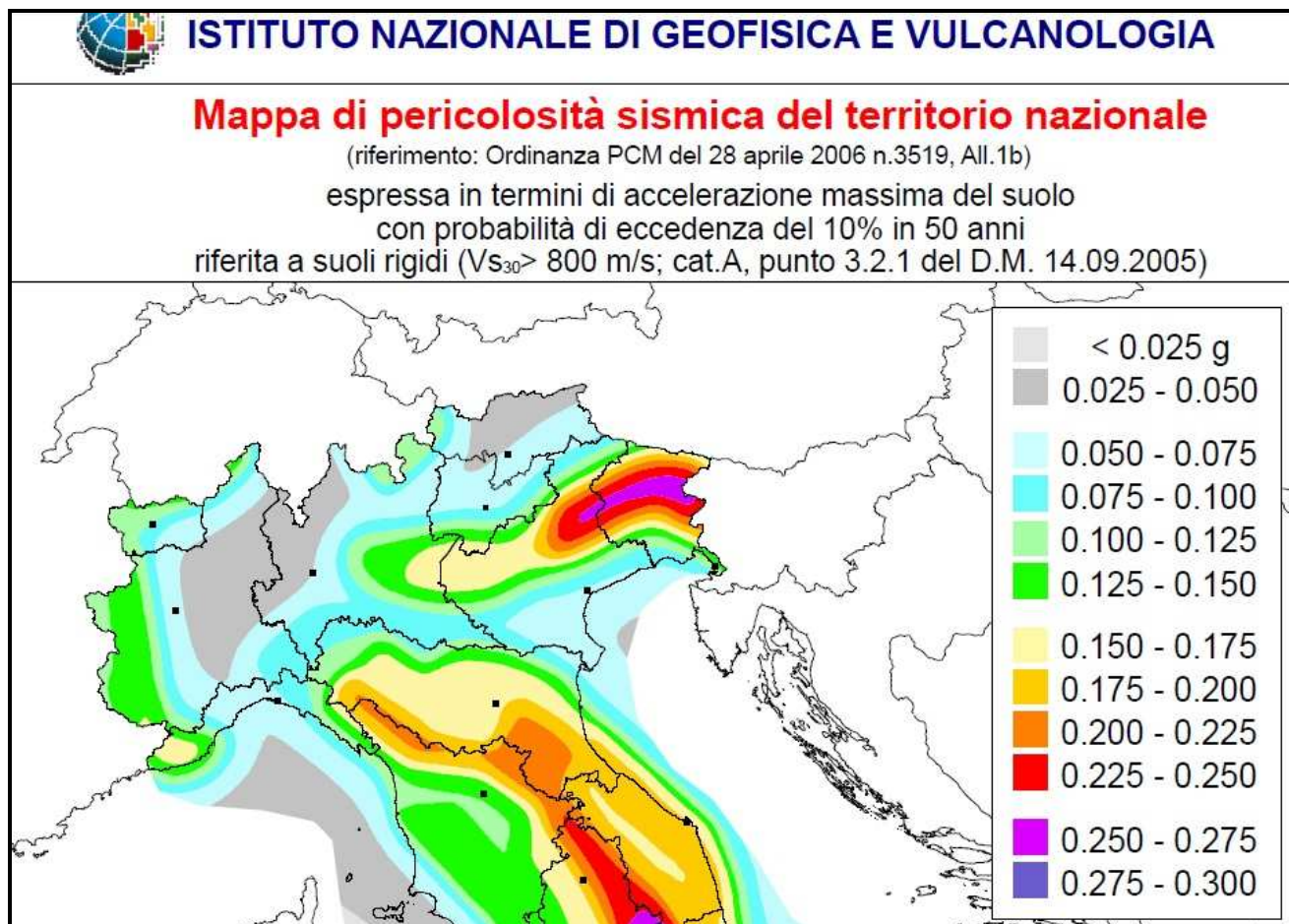


Figura 6: Stralcio della mappa della *pericolosità sismica* del territorio nazionale con indicazione dell'intervallo di accelerazione di picco al suolo (0,15-0,175) relativa alla'area in cui è inserito il Comune di *Sasso Marconi*.

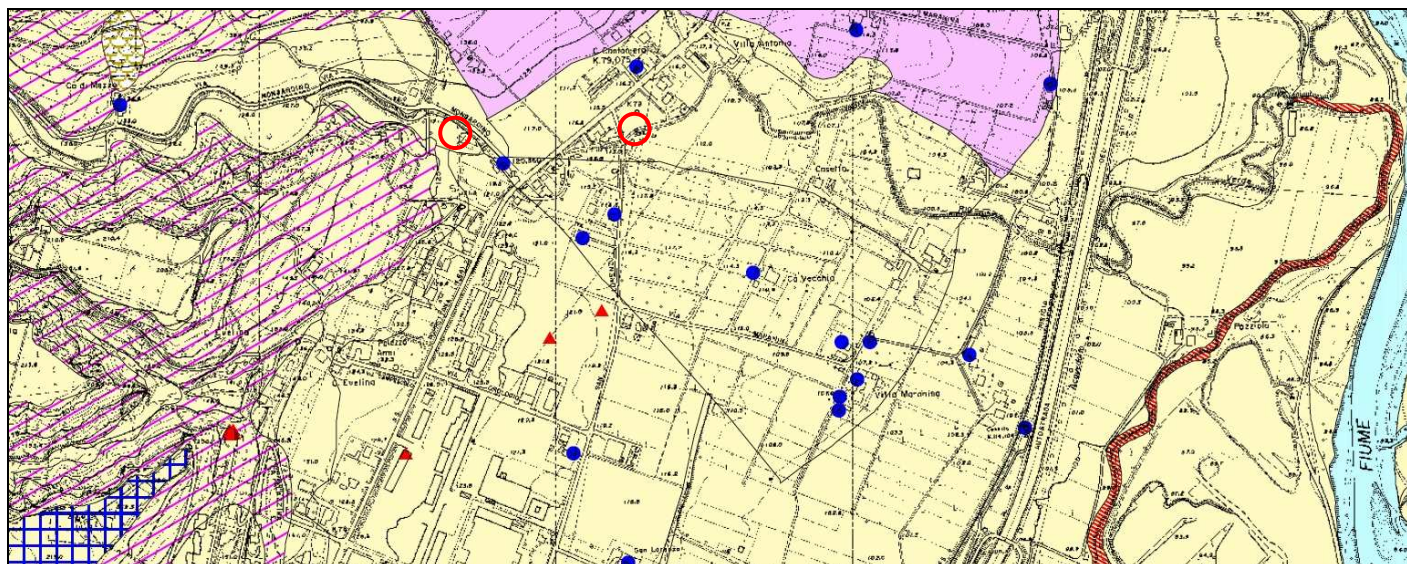


Figura 7: PSC- Sasso Marconi - Tav. QCGI – Integrazione zonizzazione sismica (scala originaria 1:10000)

Legenda

Zonizzazione sismica



Confine comunale

Punti di controllo sottosuolo



Geognostica



Pozzo

Limitazioni sismiche



Alveo



B



B, arrivo frane



B, dorsale



B, scarpata



B, versante >15



B, versante >30



C



C, dorsale



C, scarpata



C, versante >15



C, versante >30



D



Movimenti franosi noti



Ubicazione Indagini geognostiche e sismiche 2011 e 2014



Figura 8:- PSC- Sasso Marconi – Carta di microzonazione sismica (su estratto CTR 1:5000) dell'area Via Rio Verde –Via San Lorenzo per i due siti indagati. Dai risultati delle indagini si può ipotizzare che l'area retinata in **VERDE** presenti gli stessi fattori di amplificazione sismica dei due siti indagati.


 Stendimento prova MASW-ReMi

Tabella 10: Parametri sismici NTC2008 per il sito 1

<p>Classe dell'edificio II. Affollamento normale. Assenza di funz. pubblici ▼ Cu = 1</p> <p>Vita nominale (Opere provvisorie <=10, Opere ordinarie >=50, Grandi opere >=100) 50 ▼</p> <p>Interpolazione Media ponderata ▼</p> <p style="text-align: right;">Calcola</p>	<p>Classe dell'edificio III. Affollamento significativo... ▼ Cu = 1.5</p> <p>Vita nominale (Opere provvisorie <=10, Opere ordinarie >=50, Grandi opere >=100) 100 ▼</p> <p>Interpolazione Media ponderata ▼</p> <p style="text-align: right;">Calcola</p>																																																																																										
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr style="background-color: #e0ffe0;"> <th>Stato Limite</th> <th>Tr [anni]</th> <th>a_g [g]</th> <th>Fo</th> <th>Tc* [s]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Operatività (SLO)</td> <td>30</td> <td>0,056</td> <td>2,488</td> <td>0,258</td> </tr> <tr> <td>Danno (SLD)</td> <td>50</td> <td>0,070</td> <td>2,480</td> <td>0,270</td> </tr> <tr> <td>Salvaguardia vita (SLV)</td> <td>475</td> <td>0,163</td> <td>2,464</td> <td>0,295</td> </tr> <tr> <td>Prevenzione collasso (SLC)</td> <td>975</td> <td>0,205</td> <td>2,474</td> <td>0,308</td> </tr> <tr style="background-color: #e0e0ff;"> <td>Periodo di riferimento per l'azione sismica:</td> <td>50</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Stato Limite	Tr [anni]	a _g [g]	Fo	Tc* [s]	Operatività (SLO)	30	0,056	2,488	0,258	Danno (SLD)	50	0,070	2,480	0,270	Salvaguardia vita (SLV)	475	0,163	2,464	0,295	Prevenzione collasso (SLC)	975	0,205	2,474	0,308	Periodo di riferimento per l'azione sismica:	50				<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr style="background-color: #e0ffe0;"> <th>Stato Limite</th> <th>Tr [anni]</th> <th>a_g [g]</th> <th>Fo</th> <th>Tc* [s]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Operatività (SLO)</td> <td>90</td> <td>0,088</td> <td>2,486</td> <td>0,280</td> </tr> <tr> <td>Danno (SLD)</td> <td>151</td> <td>0,107</td> <td>2,490</td> <td>0,286</td> </tr> <tr> <td>Salvaguardia vita (SLV)</td> <td>1424</td> <td>0,228</td> <td>2,495</td> <td>0,312</td> </tr> <tr> <td>Prevenzione collasso (SLC)</td> <td>2475</td> <td>0,265</td> <td>2,527</td> <td>0,319</td> </tr> <tr style="background-color: #e0e0ff;"> <td>Periodo di riferimento per l'azione sismica:</td> <td>150</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Stato Limite	Tr [anni]	a _g [g]	Fo	Tc* [s]	Operatività (SLO)	90	0,088	2,486	0,280	Danno (SLD)	151	0,107	2,490	0,286	Salvaguardia vita (SLV)	1424	0,228	2,495	0,312	Prevenzione collasso (SLC)	2475	0,265	2,527	0,319	Periodo di riferimento per l'azione sismica:	150																																	
Stato Limite	Tr [anni]	a _g [g]	Fo	Tc* [s]																																																																																							
Operatività (SLO)	30	0,056	2,488	0,258																																																																																							
Danno (SLD)	50	0,070	2,480	0,270																																																																																							
Salvaguardia vita (SLV)	475	0,163	2,464	0,295																																																																																							
Prevenzione collasso (SLC)	975	0,205	2,474	0,308																																																																																							
Periodo di riferimento per l'azione sismica:	50																																																																																										
Stato Limite	Tr [anni]	a _g [g]	Fo	Tc* [s]																																																																																							
Operatività (SLO)	90	0,088	2,486	0,280																																																																																							
Danno (SLD)	151	0,107	2,490	0,286																																																																																							
Salvaguardia vita (SLV)	1424	0,228	2,495	0,312																																																																																							
Prevenzione collasso (SLC)	2475	0,265	2,527	0,319																																																																																							
Periodo di riferimento per l'azione sismica:	150																																																																																										
<p>Calcolo dei coefficienti sismici</p> <p> <input type="radio"/> Muri di sostegno <input type="radio"/> Paratie <input checked="" type="radio"/> Stabilità dei pendii e fondazioni <input type="checkbox"/> Muri di sostegno che non sono in grado di subire spostamenti. </p> <p>H (m) 1</p> <p>us (m) 0.1</p> <p>Categoria sottosuolo c ▼</p> <p>Categoria topografica T1 ▼</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr style="background-color: #e0ffe0;"> <th></th> <th>SLO</th> <th>SLD</th> <th>SLV</th> <th>SLC</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Ss* Amplificazione stratigrafica</td> <td>1,50</td> <td>1,50</td> <td>1,46</td> <td>1,40</td> </tr> <tr> <td>Cc* Coeff. funz categoria</td> <td>1,64</td> <td>1,62</td> <td>1,57</td> <td>1,55</td> </tr> <tr> <td>St* Amplificazione topografica</td> <td>1,00</td> <td>1,00</td> <td>1,00</td> <td>1,00</td> </tr> </tbody> </table> <p> <input type="checkbox"/> Personalizza acc.ne massima attesa al sito [m/s²] 0.6 </p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr style="background-color: #e0ffe0;"> <th>Coefficienti</th> <th>SLO</th> <th>SLD</th> <th>SLV</th> <th>SLC</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>kh</td> <td>0,017</td> <td>0,021</td> <td>0,057</td> <td>0,080</td> </tr> <tr> <td>kv</td> <td>0,008</td> <td>0,010</td> <td>0,029</td> <td>0,040</td> </tr> <tr> <td>Amax [m/s²]</td> <td>0,824</td> <td>1,024</td> <td>2,340</td> <td>2,812</td> </tr> <tr> <td>Beta</td> <td>0,200</td> <td>0,200</td> <td>0,240</td> <td>0,280</td> </tr> </tbody> </table>		SLO	SLD	SLV	SLC	Ss* Amplificazione stratigrafica	1,50	1,50	1,46	1,40	Cc* Coeff. funz categoria	1,64	1,62	1,57	1,55	St* Amplificazione topografica	1,00	1,00	1,00	1,00	Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC	kh	0,017	0,021	0,057	0,080	kv	0,008	0,010	0,029	0,040	Amax [m/s²]	0,824	1,024	2,340	2,812	Beta	0,200	0,200	0,240	0,280	<p>Calcolo dei coefficienti sismici</p> <p> <input type="radio"/> Muri di sostegno <input type="radio"/> Paratie <input checked="" type="radio"/> Stabilità dei pendii e fondazioni <input type="checkbox"/> Muri di sostegno che non sono in grado di subire spostamenti. </p> <p>H (m) 1</p> <p>us (m) 0.1</p> <p>Categoria sottosuolo c ▼</p> <p>Categoria topografica T1 ▼</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr style="background-color: #e0ffe0;"> <th></th> <th>SLO</th> <th>SLD</th> <th>SLV</th> <th>SLC</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Ss* Amplificazione stratigrafica</td> <td>1,50</td> <td>1,50</td> <td>1,36</td> <td>1,30</td> </tr> <tr> <td>Cc* Coeff. funz categoria</td> <td>1,60</td> <td>1,59</td> <td>1,54</td> <td>1,53</td> </tr> <tr> <td>St* Amplificazione topografica</td> <td>1,00</td> <td>1,00</td> <td>1,00</td> <td>1,00</td> </tr> </tbody> </table> <p> <input type="checkbox"/> Personalizza acc.ne massima attesa al sito [m/s²] 0.6 </p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr style="background-color: #e0ffe0;"> <th>Coefficienti</th> <th>SLO</th> <th>SLD</th> <th>SLV</th> <th>SLC</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>kh</td> <td>0,026</td> <td>0,038</td> <td>0,087</td> <td>0,097</td> </tr> <tr> <td>kv</td> <td>0,013</td> <td>0,019</td> <td>0,043</td> <td>0,048</td> </tr> <tr> <td>Amax [m/s²]</td> <td>1,288</td> <td>1,571</td> <td>3,034</td> <td>3,381</td> </tr> <tr> <td>Beta</td> <td>0,200</td> <td>0,240</td> <td>0,280</td> <td>0,280</td> </tr> </tbody> </table>		SLO	SLD	SLV	SLC	Ss* Amplificazione stratigrafica	1,50	1,50	1,36	1,30	Cc* Coeff. funz categoria	1,60	1,59	1,54	1,53	St* Amplificazione topografica	1,00	1,00	1,00	1,00	Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC	kh	0,026	0,038	0,087	0,097	kv	0,013	0,019	0,043	0,048	Amax [m/s²]	1,288	1,571	3,034	3,381	Beta	0,200	0,240	0,280	0,280
	SLO	SLD	SLV	SLC																																																																																							
Ss* Amplificazione stratigrafica	1,50	1,50	1,46	1,40																																																																																							
Cc* Coeff. funz categoria	1,64	1,62	1,57	1,55																																																																																							
St* Amplificazione topografica	1,00	1,00	1,00	1,00																																																																																							
Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC																																																																																							
kh	0,017	0,021	0,057	0,080																																																																																							
kv	0,008	0,010	0,029	0,040																																																																																							
Amax [m/s²]	0,824	1,024	2,340	2,812																																																																																							
Beta	0,200	0,200	0,240	0,280																																																																																							
	SLO	SLD	SLV	SLC																																																																																							
Ss* Amplificazione stratigrafica	1,50	1,50	1,36	1,30																																																																																							
Cc* Coeff. funz categoria	1,60	1,59	1,54	1,53																																																																																							
St* Amplificazione topografica	1,00	1,00	1,00	1,00																																																																																							
Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC																																																																																							
kh	0,026	0,038	0,087	0,097																																																																																							
kv	0,013	0,019	0,043	0,048																																																																																							
Amax [m/s²]	1,288	1,571	3,034	3,381																																																																																							
Beta	0,200	0,240	0,280	0,280																																																																																							

Tabella 11: Parametri sismici NTC2008 per il sito 2

<p>Classe dell'edificio II. Affollamento normale. Assenza di funz. pubblici ▼ Cu = 1</p> <p>Vita nominale 50 ▼ (Opere provvisorie <=10, Opere ordinarie >=50, Grandi opere >=100)</p> <p>Interpolazione Media ponderata ▼</p> <p style="text-align: right;">Calcola</p>	<p>Classe dell'edificio III. Affollamento significativo... ▼ Cu = 1.5</p> <p>Vita nominale 100 ▼ (Opere provvisorie <=10, Opere ordinarie >=50, Grandi opere >=100)</p> <p>Interpolazione Media ponderata ▼</p> <p style="text-align: right;">Calcola</p>																																																																																																																								
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr style="background-color: #d9ead3;"> <th>Stato Limite</th> <th>Tr [anni]</th> <th>a_g [g]</th> <th>Fo</th> <th>Tc* [s]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Operatività (SLO)</td> <td>30</td> <td>0,056</td> <td>2,488</td> <td>0,258</td> </tr> <tr> <td>Danno (SLD)</td> <td>50</td> <td>0,070</td> <td>2,480</td> <td>0,270</td> </tr> <tr> <td>Salvaguardia vita (SLV)</td> <td>475</td> <td>0,164</td> <td>2,465</td> <td>0,295</td> </tr> <tr> <td>Prevenzione collasso (SLC)</td> <td>975</td> <td>0,205</td> <td>2,476</td> <td>0,308</td> </tr> <tr style="background-color: #d9d2e9;"> <td>Periodo di riferimento per l'azione sismica:</td> <td>50</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Stato Limite	Tr [anni]	a _g [g]	Fo	Tc* [s]	Operatività (SLO)	30	0,056	2,488	0,258	Danno (SLD)	50	0,070	2,480	0,270	Salvaguardia vita (SLV)	475	0,164	2,465	0,295	Prevenzione collasso (SLC)	975	0,205	2,476	0,308	Periodo di riferimento per l'azione sismica:	50				<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr style="background-color: #d9ead3;"> <th>Stato Limite</th> <th>Tr [anni]</th> <th>a_g [g]</th> <th>Fo</th> <th>Tc* [s]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Operatività (SLO)</td> <td>90</td> <td>0,088</td> <td>2,486</td> <td>0,280</td> </tr> <tr> <td>Danno (SLD)</td> <td>151</td> <td>0,107</td> <td>2,490</td> <td>0,286</td> </tr> <tr> <td>Salvaguardia vita (SLV)</td> <td>1424</td> <td>0,228</td> <td>2,497</td> <td>0,312</td> </tr> <tr> <td>Prevenzione collasso (SLC)</td> <td>2475</td> <td>0,265</td> <td>2,529</td> <td>0,319</td> </tr> <tr style="background-color: #d9d2e9;"> <td>Periodo di riferimento per l'azione sismica:</td> <td>150</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Stato Limite	Tr [anni]	a _g [g]	Fo	Tc* [s]	Operatività (SLO)	90	0,088	2,486	0,280	Danno (SLD)	151	0,107	2,490	0,286	Salvaguardia vita (SLV)	1424	0,228	2,497	0,312	Prevenzione collasso (SLC)	2475	0,265	2,529	0,319	Periodo di riferimento per l'azione sismica:	150																																																															
Stato Limite	Tr [anni]	a _g [g]	Fo	Tc* [s]																																																																																																																					
Operatività (SLO)	30	0,056	2,488	0,258																																																																																																																					
Danno (SLD)	50	0,070	2,480	0,270																																																																																																																					
Salvaguardia vita (SLV)	475	0,164	2,465	0,295																																																																																																																					
Prevenzione collasso (SLC)	975	0,205	2,476	0,308																																																																																																																					
Periodo di riferimento per l'azione sismica:	50																																																																																																																								
Stato Limite	Tr [anni]	a _g [g]	Fo	Tc* [s]																																																																																																																					
Operatività (SLO)	90	0,088	2,486	0,280																																																																																																																					
Danno (SLD)	151	0,107	2,490	0,286																																																																																																																					
Salvaguardia vita (SLV)	1424	0,228	2,497	0,312																																																																																																																					
Prevenzione collasso (SLC)	2475	0,265	2,529	0,319																																																																																																																					
Periodo di riferimento per l'azione sismica:	150																																																																																																																								
<p>Calcolo dei coefficienti sismici</p> <p> <input type="radio"/> Muri di sostegno <input type="radio"/> Paratie <input checked="" type="radio"/> Stabilità dei pendii e fondazioni <input type="checkbox"/> Muri di sostegno che non sono in grado di subire spostamenti. </p> <p>H (m) 1</p> <p>us (m) 0.1</p> <p>Categoria sottosuolo C ▼</p> <p>Categoria topografica T1 ▼</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr style="background-color: #d9ead3;"> <th></th> <th>SLO</th> <th>SLD</th> <th>SLV</th> <th>SLC</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Ss*</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Amplificazione stratigrafica</td> <td>1,50</td> <td>1,50</td> <td>1,46</td> <td>1,40</td> </tr> <tr> <td>Cc*</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Coeff. funz categoria</td> <td>1,64</td> <td>1,62</td> <td>1,57</td> <td>1,55</td> </tr> <tr> <td>St*</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Amplificazione topografica</td> <td>1,00</td> <td>1,00</td> <td>1,00</td> <td>1,00</td> </tr> </tbody> </table> <p><input type="checkbox"/> Personalizza acc.ne massima attesa al sito [m/s²] 0.6</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr style="background-color: #d9ead3;"> <th>Coefficienti</th> <th>SLO</th> <th>SLD</th> <th>SLV</th> <th>SLC</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>kh</td> <td>0,017</td> <td>0,021</td> <td>0,057</td> <td>0,080</td> </tr> <tr> <td>kv</td> <td>0,008</td> <td>0,010</td> <td>0,029</td> <td>0,040</td> </tr> <tr> <td>Amax [m/s²]</td> <td>0,825</td> <td>1,025</td> <td>2,341</td> <td>2,813</td> </tr> <tr> <td>Beta</td> <td>0,200</td> <td>0,200</td> <td>0,240</td> <td>0,280</td> </tr> </tbody> </table>		SLO	SLD	SLV	SLC	Ss*					Amplificazione stratigrafica	1,50	1,50	1,46	1,40	Cc*					Coeff. funz categoria	1,64	1,62	1,57	1,55	St*					Amplificazione topografica	1,00	1,00	1,00	1,00	Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC	kh	0,017	0,021	0,057	0,080	kv	0,008	0,010	0,029	0,040	Amax [m/s²]	0,825	1,025	2,341	2,813	Beta	0,200	0,200	0,240	0,280	<p>Calcolo dei coefficienti sismici</p> <p> <input type="radio"/> Muri di sostegno <input type="radio"/> Paratie <input checked="" type="radio"/> Stabilità dei pendii e fondazioni <input type="checkbox"/> Muri di sostegno che non sono in grado di subire spostamenti. </p> <p>H (m) 1</p> <p>us (m) 0.1</p> <p>Categoria sottosuolo C ▼</p> <p>Categoria topografica T1 ▼</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr style="background-color: #d9ead3;"> <th></th> <th>SLO</th> <th>SLD</th> <th>SLV</th> <th>SLC</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Ss*</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Amplificazione stratigrafica</td> <td>1,50</td> <td>1,50</td> <td>1,36</td> <td>1,30</td> </tr> <tr> <td>Cc*</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Coeff. funz categoria</td> <td>1,60</td> <td>1,59</td> <td>1,54</td> <td>1,53</td> </tr> <tr> <td>St*</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Amplificazione topografica</td> <td>1,00</td> <td>1,00</td> <td>1,00</td> <td>1,00</td> </tr> </tbody> </table> <p><input type="checkbox"/> Personalizza acc.ne massima attesa al sito [m/s²] 0.6</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr style="background-color: #d9ead3;"> <th>Coefficienti</th> <th>SLO</th> <th>SLD</th> <th>SLV</th> <th>SLC</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>kh</td> <td>0,026</td> <td>0,039</td> <td>0,087</td> <td>0,097</td> </tr> <tr> <td>kv</td> <td>0,013</td> <td>0,019</td> <td>0,043</td> <td>0,048</td> </tr> <tr> <td>Amax [m/s²]</td> <td>1,290</td> <td>1,573</td> <td>3,035</td> <td>3,382</td> </tr> <tr> <td>Beta</td> <td>0,200</td> <td>0,240</td> <td>0,280</td> <td>0,280</td> </tr> </tbody> </table>		SLO	SLD	SLV	SLC	Ss*					Amplificazione stratigrafica	1,50	1,50	1,36	1,30	Cc*					Coeff. funz categoria	1,60	1,59	1,54	1,53	St*					Amplificazione topografica	1,00	1,00	1,00	1,00	Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC	kh	0,026	0,039	0,087	0,097	kv	0,013	0,019	0,043	0,048	Amax [m/s²]	1,290	1,573	3,035	3,382	Beta	0,200	0,240	0,280	0,280
	SLO	SLD	SLV	SLC																																																																																																																					
Ss*																																																																																																																									
Amplificazione stratigrafica	1,50	1,50	1,46	1,40																																																																																																																					
Cc*																																																																																																																									
Coeff. funz categoria	1,64	1,62	1,57	1,55																																																																																																																					
St*																																																																																																																									
Amplificazione topografica	1,00	1,00	1,00	1,00																																																																																																																					
Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC																																																																																																																					
kh	0,017	0,021	0,057	0,080																																																																																																																					
kv	0,008	0,010	0,029	0,040																																																																																																																					
Amax [m/s²]	0,825	1,025	2,341	2,813																																																																																																																					
Beta	0,200	0,200	0,240	0,280																																																																																																																					
	SLO	SLD	SLV	SLC																																																																																																																					
Ss*																																																																																																																									
Amplificazione stratigrafica	1,50	1,50	1,36	1,30																																																																																																																					
Cc*																																																																																																																									
Coeff. funz categoria	1,60	1,59	1,54	1,53																																																																																																																					
St*																																																																																																																									
Amplificazione topografica	1,00	1,00	1,00	1,00																																																																																																																					
Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC																																																																																																																					
kh	0,026	0,039	0,087	0,097																																																																																																																					
kv	0,013	0,019	0,043	0,048																																																																																																																					
Amax [m/s²]	1,290	1,573	3,035	3,382																																																																																																																					
Beta	0,200	0,240	0,280	0,280																																																																																																																					

13.1 Indagini Geonostiche

Log stratigrafici relativi ai sondaggi S1 e S2a carotaggio continuo eseguiti nel 2011 (fino a -10,00 m ÷ -11,00 m dal p.c.) e integrati (fino a -16,00 m ÷ -17,00 m dal p.c.) nel 2014.

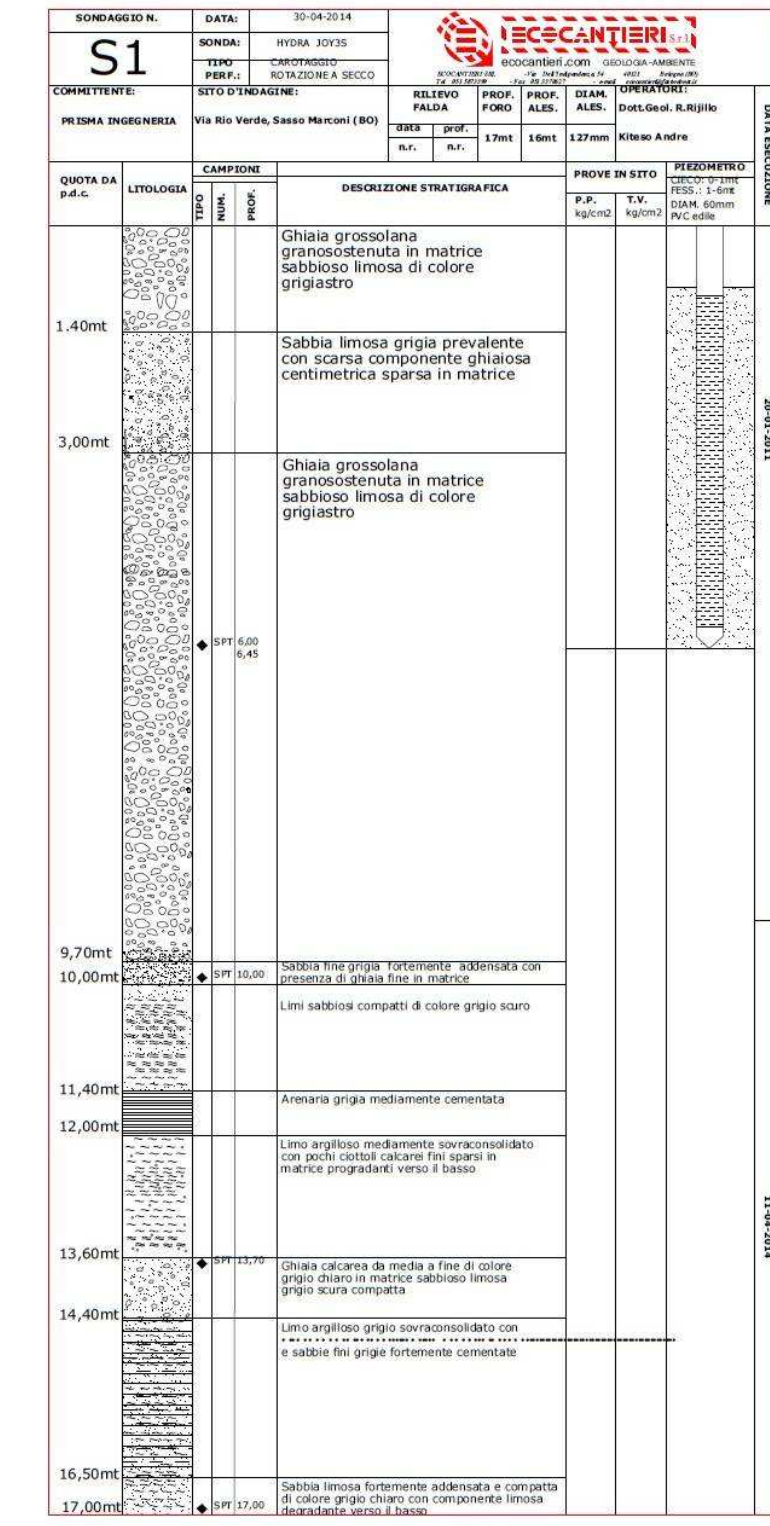


Figura 9 - Log stratigrafico del Sondaggio S1-2011/2014. Il livello piezometrico della falda freatica superficiale è stato rilevato, in Aprile 2011 e 2014 alla profondità di -4,70 dal p.c. attuale.

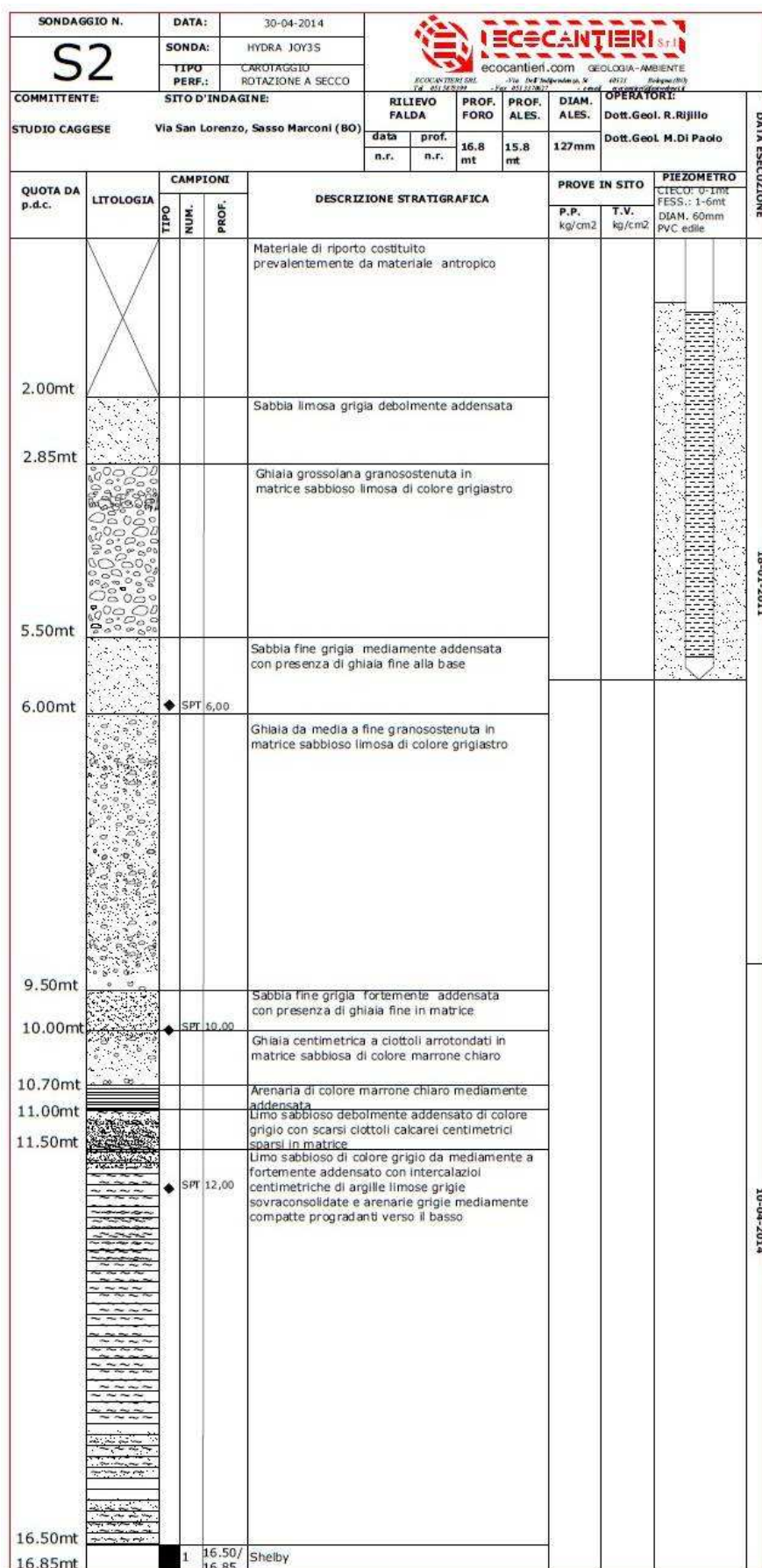
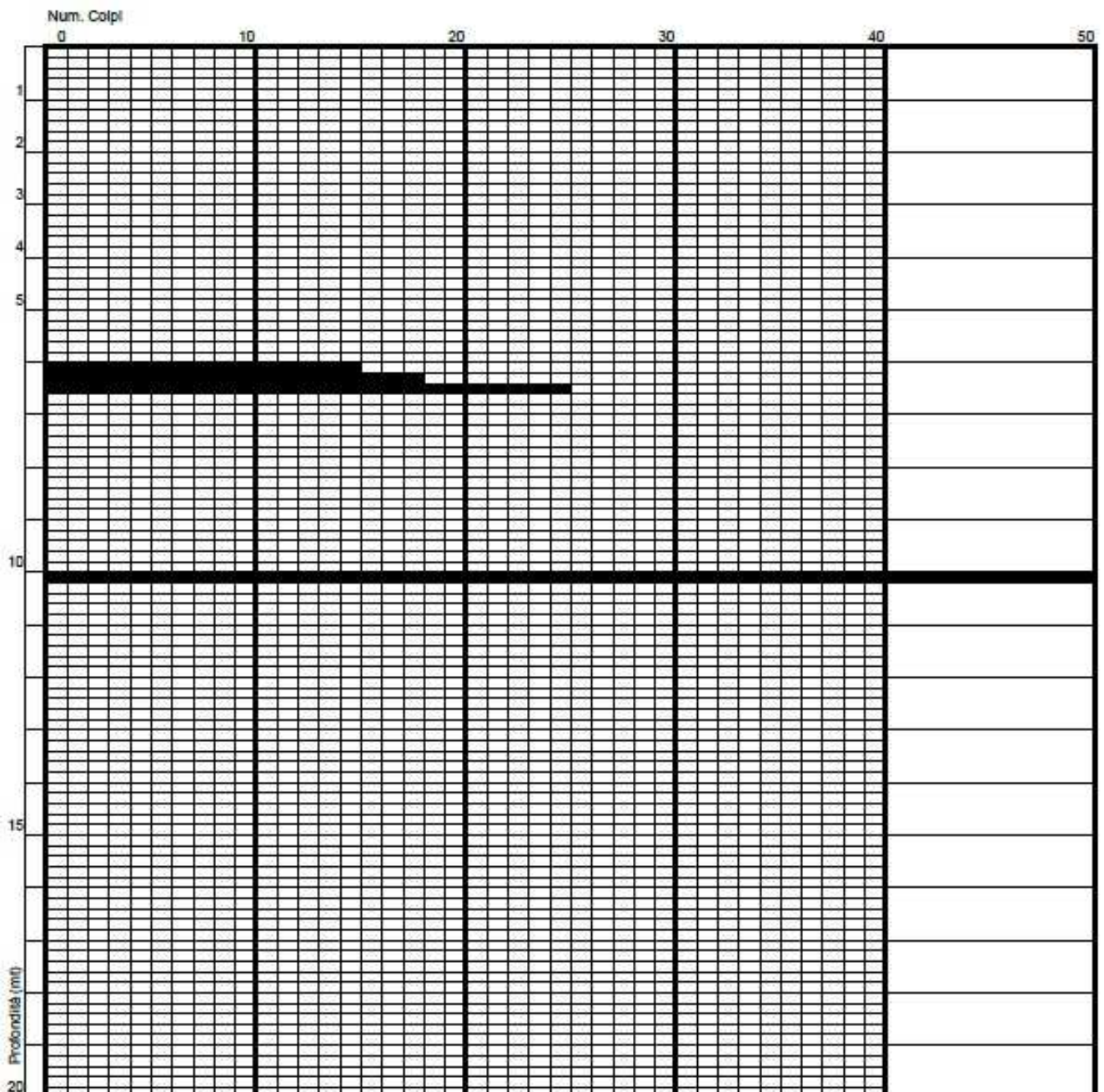


Figura 10 - Log stratigrafico del Sondaggio S2-2011/2014. Il livello piezometrico della falda freatica superficiale è stato rilevato, in Aprile 2011 e 2014 alla profondità di -1,30 dal p.c. attuale.

Grafici e tabella dei colpi/15 cm ottenuti dalle prove SPT eseguite nel 2011 e 2014

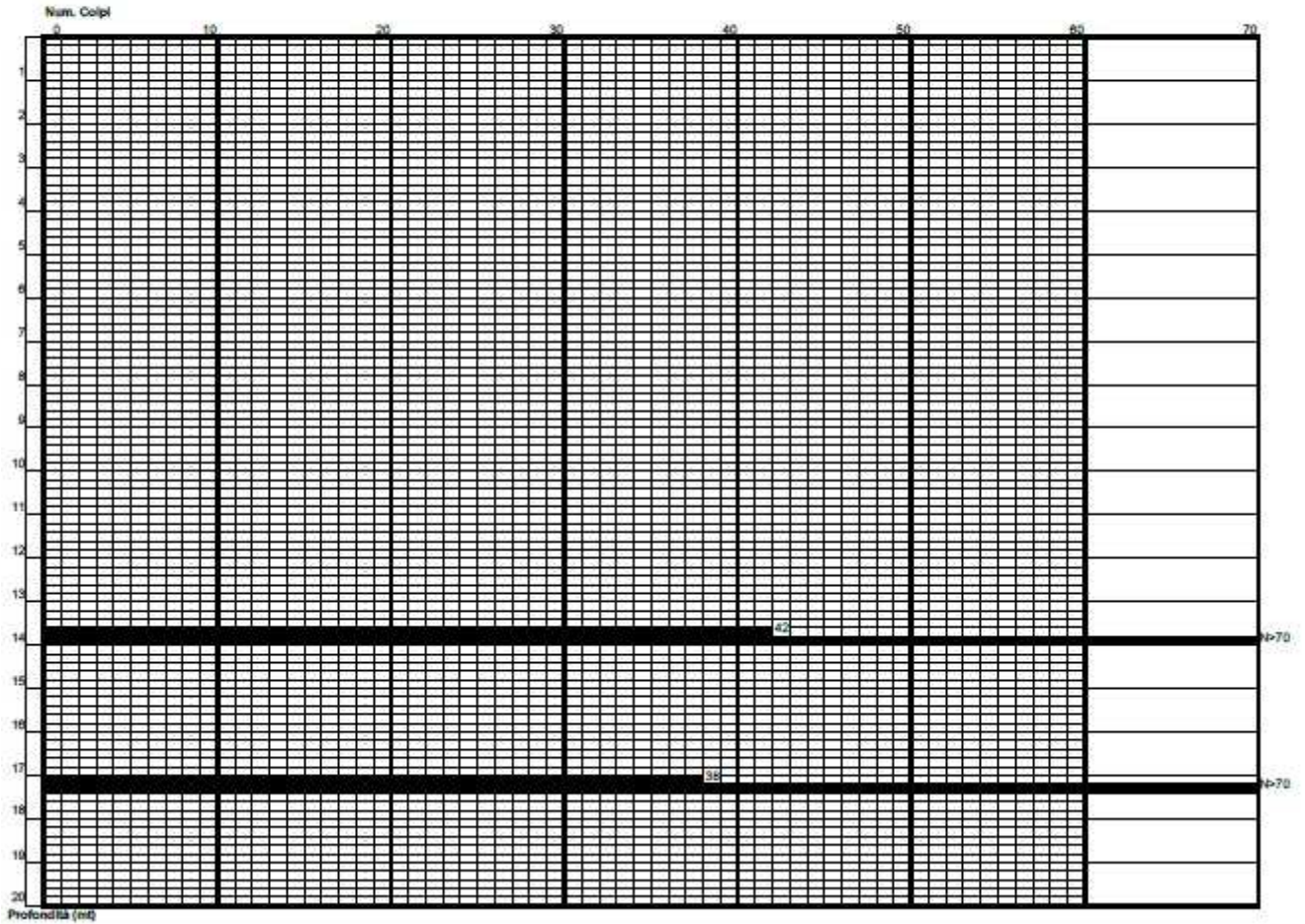
		
	CERTIFICAZIONE S.P.T. NUMERO:	S1

COMMITTENTE:	STUDIO PRISMA INGEGNERIA
CANTIERE:	Sasso Marconi (BO)
OPERATORE:	Dott.Geol. Renato Rijillo; Dott.Geol. Mauro
DATA:	19/01/11
R.D.L. ECOCANTIERI:	Dott.Geol. Renato Rijillo



		
	CERTIFICAZIONE S.P.T. NUMERO:	S1

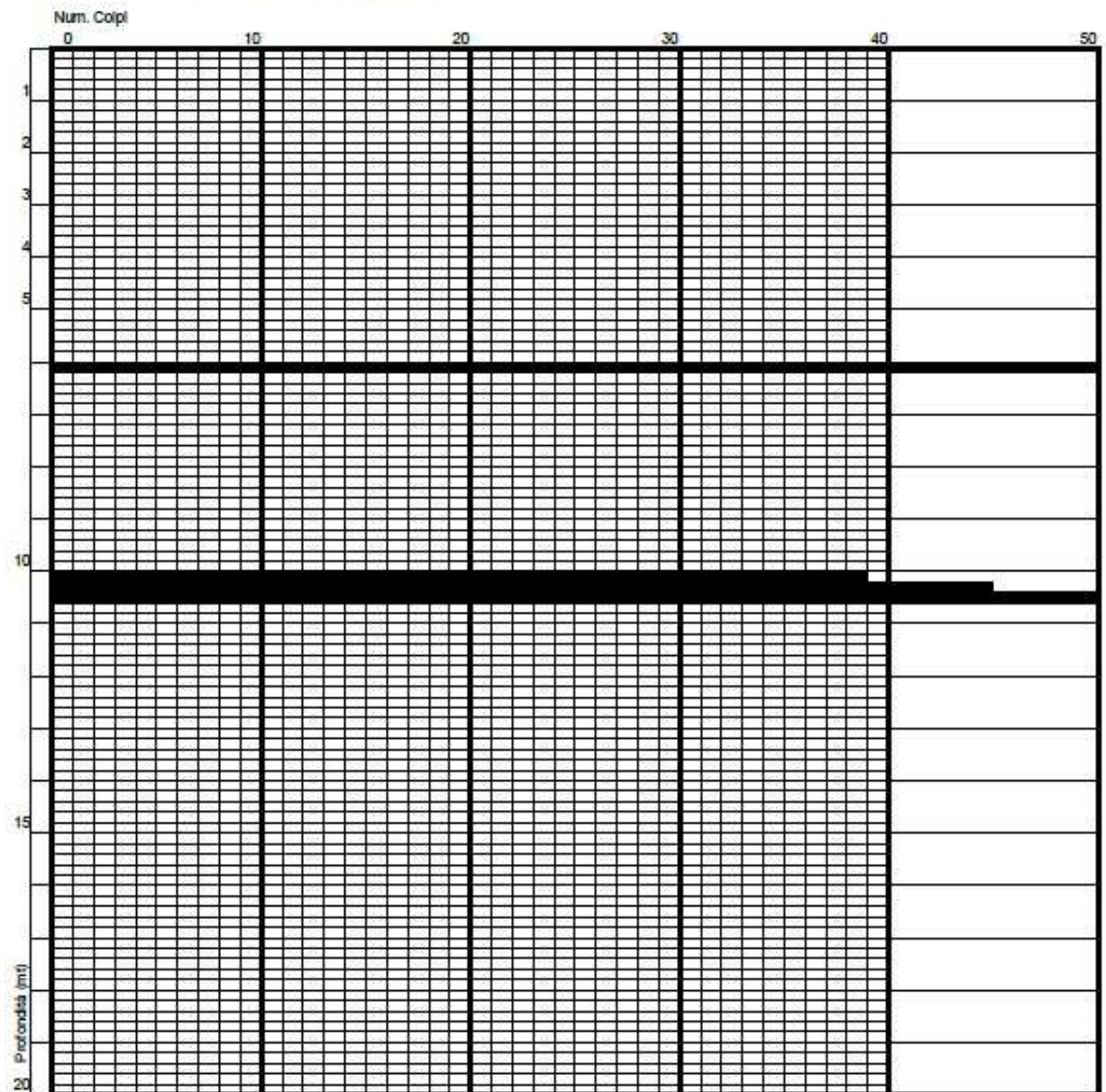
COMMITTENTE:	STUDIO CAGGESE
CANTIERE:	Sasso Marconi (BO) - Via Rio Verde
OPERATORE:	Dott. Geol. Renato Rjillo; Dott. Geol. Mauro
DATA:	11/04/14
R.D.L. EOCANTIERI:	Dott. Geol. Renato Rjillo



Sondaggio S1-2011/2014				
Profondità prova (m)		N1	N2	N3
da	a			
6,00	6,45	15	18	25
10,00	10,10	R	/	/
13,70	14,00	42	>70	/
17,00	17,20	38	>70	/

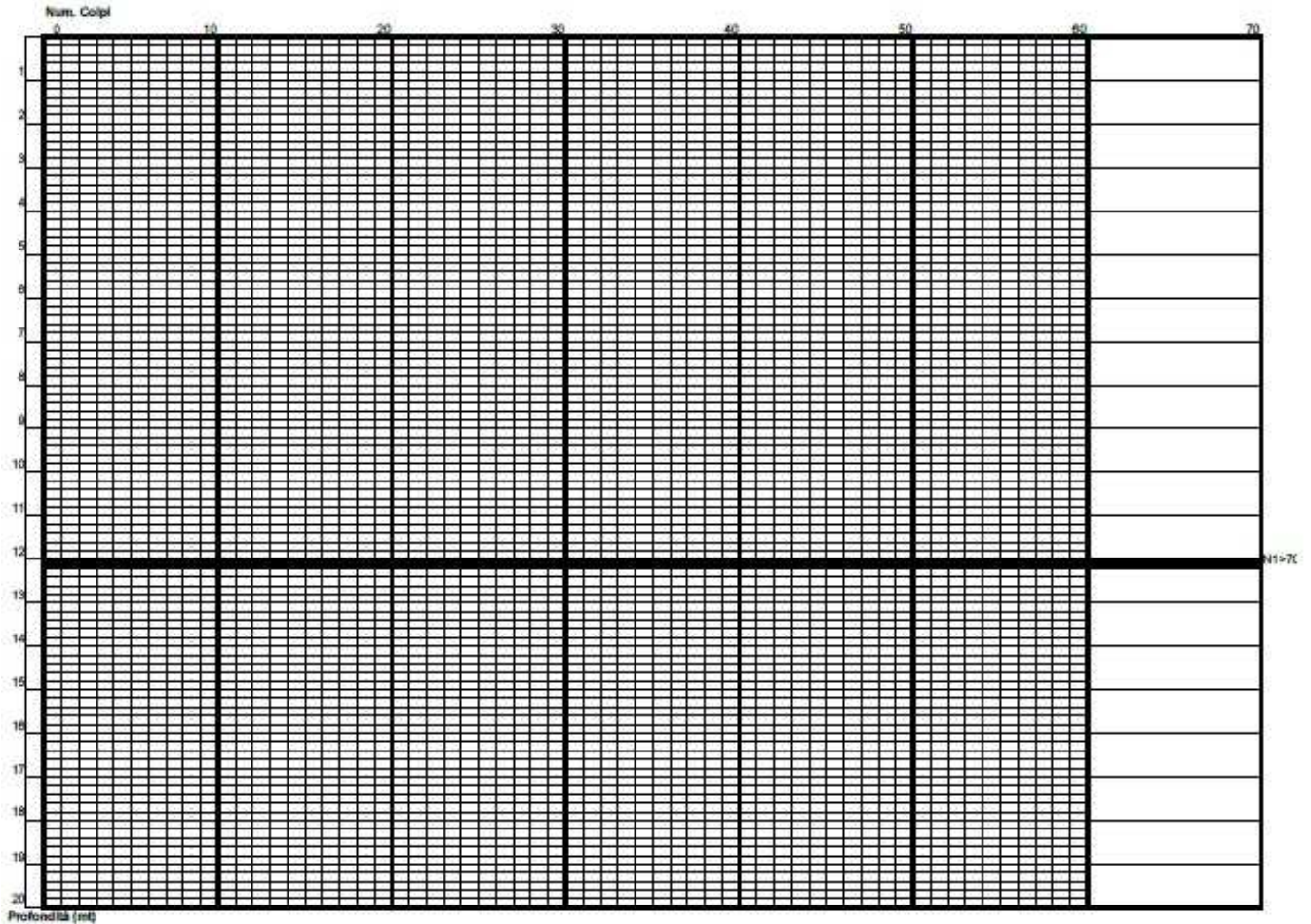
		
	CERTIFICAZIONE S.P.T. NUMERO:	S2

COMMITTENTE:	STUDIO PRISMA INGEGNERIA
CANTIERE:	Sasso Marconi (BO)
OPERATORE:	Dott.Geol. Renato Rijillo; Dott.Geol. Mauro
DATA:	20/01/11
R.D.L. ECOCANTIERI:	Dott.Geol. Renato Rijillo



	CERTIFICAZIONE S.P.T. NUMERO:	
	S2	

COMMITTENTE:	STUDIO CAGGESE
CANTIERE:	Sasso Marconi (BO) - Via San Lorenzo
OPERATORE:	Dott. Geol. Renato Rjillio; Dott. Geol. Mauro
DATA:	10/04/14
R.D.L. EOCANTIERI:	Dott. Geol. Renato Rjillio



Sondaggio S2- 2011/2014				
Profondità prova (m)		N1	N2	N3
da	a			
6,00	6,10	R	/	/
10,00	10,45	38	45	>50
12,00	12.10	>70	/	/

13.2 Rapporto Fotografico

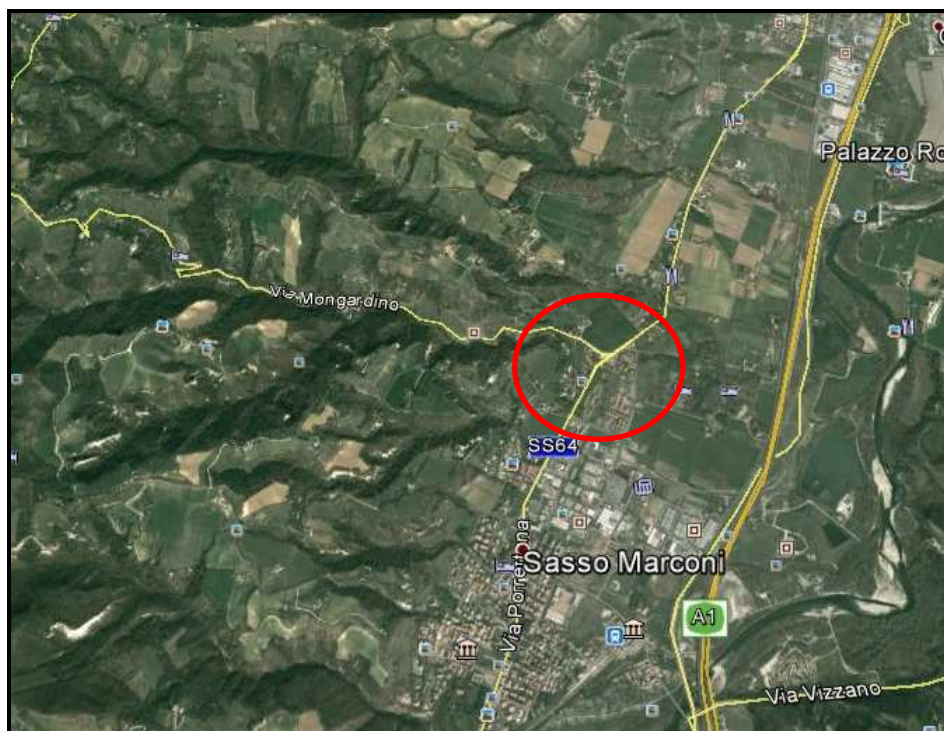


Foto 1- Foto aerea di inquadramento (da Google earth)



Foto 2- particolare della Foto 1 con ubicazione (cerchio rosso) dei punti di indagine

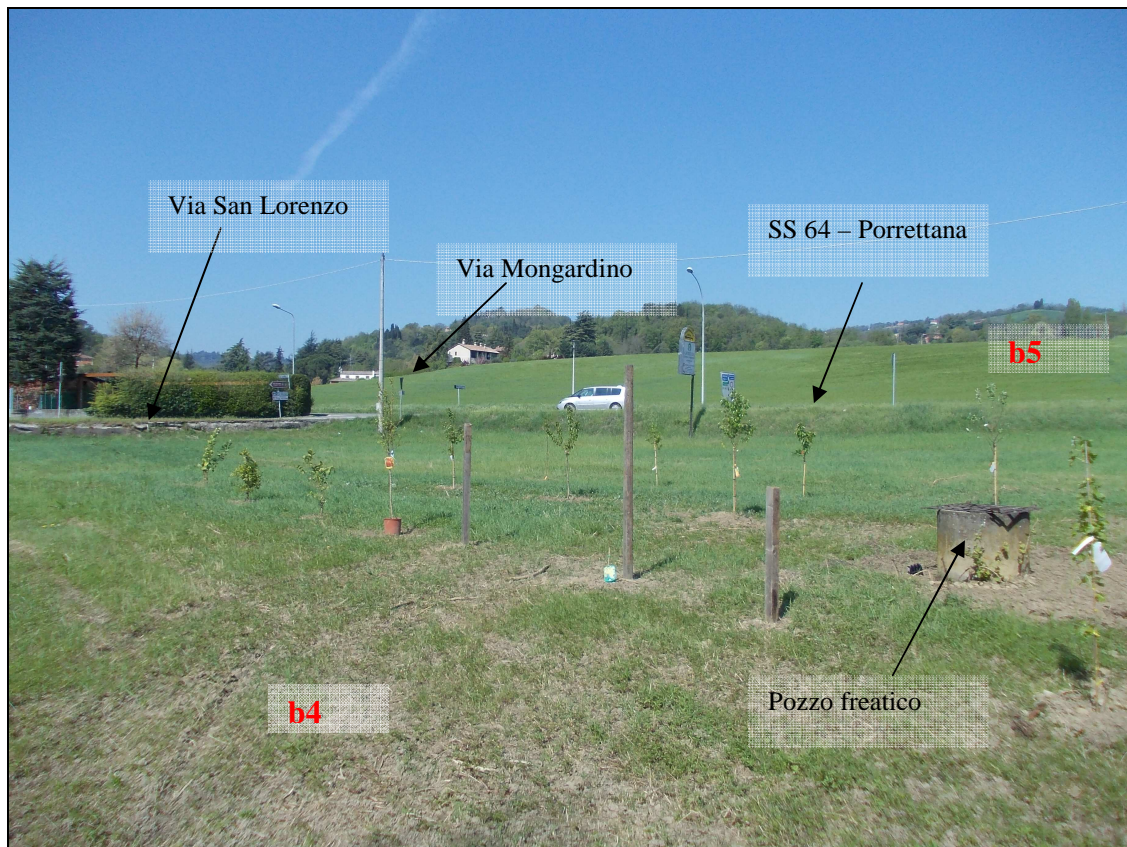


Foto 3 - Foto scattata a valle di Cà Cantoniera (al km 79,00 della SS 64- Porrettana. Si noti la scarpata che separa il terrazzo (b5), a monte della SS64, dal terrazzo (b4) a valle e in prossimità del *Rio Verde*.



Foto 4- Via Rio Verde. Ubicazione delle indagini geognostiche e geofisiche.
Sullo sfondo, al di là del Rio verde, la SP 74-Mongardino



Foto 5 – Sondaggio S1pz/2011 –Sito Via Rio Verde: Cassetta dei campioni di terreno (p.c. a -5,00 m) prelevati, a carotaggio continuo nell'anno 2011. In S1pz/2011 è stato installato un piezometro a tubo aperto.



Foto 6 – Sondaggio S1pz/2011 –Sito Via Rio Verde: Cassetta dei campioni di terreno (da -5,00 m a -10,00 m) prelevati, a carotaggio continuo, nell'anno 2011.



Foto 7 – Sondaggio 1/2014- Sito Via Rio Verde. Cassetta dei campioni prelevati, a carotaggio continuo, da 10,00 m a 15,00 m. Si noti come, pur dimostrandosi *in situ* mediamente addensate o cementate (difficoltà di avanzamento del carotiere), le sabbie arenacee si presentano disgregate a causa della rotazione della corona della testa del carotiere e dell'utilizzo dell'acqua di raffreddamento.



Foto 8 – Sondaggio 1/2014- Sito Via Rio Verde. Cassetta dei campioni prelevati, a carotaggio continuo, da 15,00 m a 17,00 m. Si noti, anche in questo caso, come anche il limo argilloso (debolmente sabbioso), pur dimostrandosi *in situ* compatto, si presenti disgregato a causa della rotazione della corona della testa del carotiere e dell'utilizzo dell'acqua di raffreddamento.



Fig. 9 – Via San Lorenzo - Ubicazione Sondaggio S2/2011 e Piezometro 2011



Fig. 10 – Sito Via San Lorenzo –Ubicazione del Sondaggio S2/2014 (a circa 2,00 m dal S2pz /2011)



Foto 11 – Sondaggio S2pz/2011- Sito Via San Lorenzo. Cassetta dei campioni prelevati, a carotaggio continuo, dal p.c. a – 5,00 m. In S2pz/2011 è stato installato un piezometro a tubo aperto. Si noti, nei primi due metri di perforazione, la presenza di materiale di riporto (frammenti di laterizio).



Foto 12 – Sondaggio S2pz/2011- Sito Via San Lorenzo. Cassetta dei campioni prelevati, a carotaggio continuo, da – 5,00 m. dal p.c. a -10,00 m.

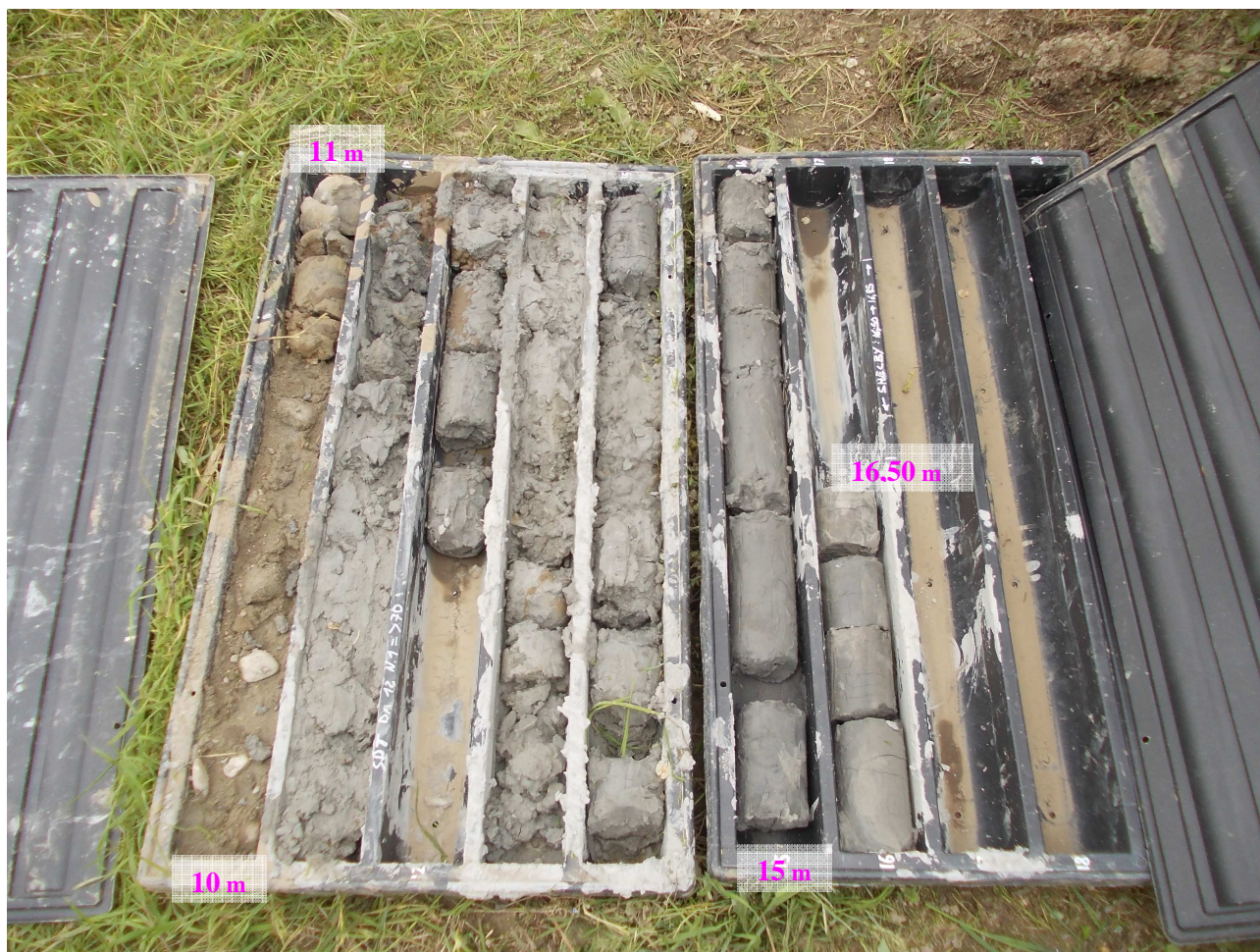


Foto 13 – – Sondaggio S2/2014- Sito Via San Lorenzo. Cassetta dei campioni prelevati, a carotaggio continuo, da 10,00 m a 16,50 m.

13.3 Relazione sulle indagini geofisiche

COMUNE DI SASSO MARCONI

REGIONE EMILIA-ROMAGNA
PROVINCIA DI BOLOGNA

***Analisi di risposta sismica locale e microzonazione
mediante Il livello di approfondimento, ai sensi della
Delibera della Regione Emilia-Romagna progr. n. 112
del 02/05/2007, delle aree site in via Mongardino e via
San Lorenzo (Progetto Rio Verde).***



GEOTEA SRL
Via della Tecnica 57/A4
40068 San Lazzaro di Savena (BO)
Tel 0516255377 – Cell 349 7846581
Fax 0514998378
E-mail geotea.srl@database.it



Committente: **CAGGESE GEOL. ENRICO**

Dott. Geol. Stefano Maggi

Maggio 2014
Commessa 14.070

Analisi di risposta sismica locale e microzonazione mediante II livello di approfondimento, ai sensi della Delibera della Regione Emilia-Romagna pogr. N. 112 del 02/05/2007, delle aree site in via Mongardino e via San Lorenzo (Progetto Rio Verde) nel comune di Sasso Marconi (BO).

SOMMARIO.....

2	IDENTIFICAZIONE DEL DOCUMENTO	3
3	PREMESSE	4
4	DESCRIZIONE DELLE INDAGINI	5
4.1	Introduzione generale	5
4.2	Tecnica MASW	6
4.3	Tecnica Re.Mi.	7
4.4	Misura a stazione singola H/V: procedura e strumentazione utilizzata.....	7
5	SITO 1 – VIA MONGARDINO: Risultati indagine.....	9
5.1	TECNICA IN ARRAY	9
5.2	TECNICA HVSR	10
6	MODELLO DI SOTTOSUOLO PROPOSTO PER IL SITO 1 (VIA MONGARDINO)	12
7	SITO 2 – VIA SAN LORENZO: Risultati indagine.....	13
7.1	TECNICA IN ARRAY	13
7.2	TECNICA HVSR	14
8	MODELLO DI SOTTOSUOLO PROPOSTO PER IL SITO 2 (VIA SAN LORENZO)	16
9	ANALISI DEI RISULTATI DELLE PROVE GEOFISICHE DI CAMPAGNA.....	17
10	Analisi della risposta sismica locale E DETERMINAZIONE DEI FATTORI DI AMPLIFICAZIONE mediante secondo livello di approfondimento	18
11	UBICAZIONE PROVE	20

Analisi di risposta sismica locale e microzonazione mediante Il livello di approfondimento, ai sensi della Delibera della Regione Emilia-Romagna pogr. N. 112 del 02/05/2007, delle aree site in via Mongardino e via San Lorenzo (Progetto Rio Verde) nel comune di Sasso Marconi (BO).

2 IDENTIFICAZIONE DEL DOCUMENTO

- ☐ Il presente documento viene identificato con il numero 14.070 rev. n°0;
- ☐ Le indagini e il lavoro svolto sono stati coordinati dal Dott. Geol. Stefano Maggi;
- ☐ Il presente documento è stato redatto dal Dott. Geol. Stefano Maggi in data 02/05/2014;
- ☐ Il documento si compone di n°20 fogli

Analisi di risposta sismica locale e microzonazione mediante Il livello di approfondimento, ai sensi della Delibera della Regione Emilia-Romagna progr. N. 112 del 02/05/2007, delle aree site in via Mongardino e via San Lorenzo (Progetto Rio Verde) nel comune di Sasso Marconi (BO).

3 PREMESSE

Nel presente lavoro è stata condotta un'analisi di risposta sismica locale con microzonazione sismica di una porzione del territorio comunale di Sasso Marconi (BO). In particolare l'analisi ha riguardato due aree situate rispettivamente in via Mongardino (in prossimità dell'incrocio con la SS64 Porrettana) e in via San Lorenzo, dove è prevista la realizzazione di due attraversamenti del corso d'acqua ivi presente denominato Rio Verde (l'ubicazione delle aree investigate e delle prove eseguite è riportata a pagina 20).

L'analisi della risposta sismica locale con relativa determinazione dei fattori di amplificazione del moto del suolo (amplificazione stratigrafica e topografica), è stata condotta mediante Il livello di approfondimento come previsto e descritto nella Delibera della Regione Emilia-Romagna progr. n. 112 del 02/05/2007 (paragrafo 4.1 e Allegato A2).

Per il raggiungimento degli scopi previsti nel presente studio, nelle aree d'interesse è stata condotta un'indagine geofisica di campagna che ha visto la realizzazione di profili in array con tecnica *MASW* (*Multichannel Analysis of Surface Waves*) e *Re.Mi.* (*Refraction Microtremor*), oltre a misure a stazione singola con tecnica *HVSR* (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*).

L'indagine geofisica di campagna è consistita nell'esecuzione di:

SITO 1 – VIA MONGARDINO (campagna d'indagine 2011):

- N. 1 profilo sismico in array con tecnica MASW-ReMi.
- N. 1 misura a stazione singola con tecnica HVSR (HVSR1)

SITO 2 – VIA SAN LORENZO (campagna d'indagine 2014):

- N. 1 profilo sismico in array con tecnica MASW-ReMi.
- N. 2 misure a stazione singola con tecnica HVSR (HVSR1 e HVSR2)

L'indagine geofisica di campagna ha permesso di calcolare, per ciascun sito, il parametro V_{sH} (secondo la formula riportata nel paragrafo A2.1 dell'allegato A2 della suddetta Delibera progr. n. 112) mediante il quale è stato possibile determinare i Fattori di Amplificazione (F.A.) del moto sismico atteso in corrispondenza delle aree in studio. I Fattori di Amplificazione sono riferiti al Suolo A previsto dalle Norme Tecniche per le Costruzioni.

Per quanto riguarda i profili sismici in array, l'acquisizione è stata effettuata mediante sismografo digitale modello Dolang 24 canali 24 bit. Le misure a stazione singola sono state invece eseguite con tromografo digitale modello Tromino® Engy.

Il software utilizzato per l'elaborazione dei dati è "GRILLA"© Release 2010 ver. 6.0 beta (All rights reserved).

Analisi di risposta sismica locale e microzonazione mediante II livello di approfondimento, ai sensi della Delibera della Regione Emilia-Romagna pogr. N. 112 del 02/05/2007, delle aree site in via Mongardino e via San Lorenzo (Progetto Rio Verde) nel comune di Sasso Marconi (BO).

4 DESCRIZIONE DELLE INDAGINI

4.1 Introduzione generale

Le tecniche basate sullo studio della propagazione delle onde superficiali vengono introdotte per la prima volta nell'ambito della comunità geofisica e geotecnica negli anni novanta. Le tecniche MASW, Re.Mi., ESAC sono metodi di indagine mediante i quali è possibile costruire un profilo di velocità delle onde di taglio (V_s) in relazione alla profondità (V_s versus *profondità*), attraverso l'analisi delle onde superficiali tipo Rayleigh (onde R). Tali tecniche permettono quindi di ottemperare a quanto previsto nel decreto del Ministero delle Infrastrutture, 14 gennaio 2008 "Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni", secondo il quale i terreni, su cui devono essere eseguite opere edili di una certa rilevanza, devono essere classificati sulla base del parametro V_{s30} . La classificazione prevista per i terreni comprende cinque categorie definite da una simbologia alfanumerica da A ad E e successive integrazioni $S1$ e $S2$. A ciascuna di queste categorie corrisponde una valutazione quantitativa della risposta sismica dei terreni sottoposti ad una accelerazione sismica attesa, predefinita per ciascuna classe. Il parametro V_{s30} rappresenta la media ponderata dei valori di velocità delle onde di taglio S nei primi 30 metri di sottosuolo indagato e viene espressa matematicamente dalla seguente equazione:

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1}^n \frac{h_i}{v_i}} \quad \text{dove} \quad \begin{array}{ll} V_{s30} & : \text{velocità media ponderata delle onde di taglio "S"}; \\ h_i & : \text{spessore dello strato } i\text{-esimo}; \\ v_i & : \text{velocità delle onde di taglio "S" nello strato } i\text{-esimo.} \end{array}$$

Esistono diversi tipi di onde superficiali, oltre alle già citate onde di *Rayleigh* ($P+S_v$), si conoscono le onde di *Love* (Sh) e le onde di *Lamb*. Le onde di *Rayleigh* rappresentano la componente principale delle onde superficiali e sono generate dall'interazione tra onde di compressione (o di volume) P e onde di taglio verticali S_v ogniqualevolta si è in presenza di una superficie libera in un mezzo omogeneo ed isotropo. Le onde R si propagano alla superficie libera (vedi Fig. 1) con un moto ellittico retrogrado (moto antiorario) che si inverte alla profondità di $\lambda/2\pi$ (dove λ è la lunghezza d'onda). L'ampiezza di tale spostamento decresce secondo una legge esponenziale, pertanto diviene rapidamente trascurabile con la profondità.

L'utilizzo delle onde superficiali di tipo *Rayleigh* per la costruzione di un profilo di velocità delle onde di taglio V_s è giustificato da una serie di fattori:

- ❑ La percentuale di energia convertita in onde R è nettamente predominante (67%) rispetto a quella coinvolta nella generazione di onde P (7%) e onde S (26%);
- ❑ il metodo d'analisi basato sulle onde R non è limitato, al contrario del metodo basato sulla rifrazione, dalla presenza di inversioni di velocità in profondità;

Analisi di risposta sismica locale e microzonazione mediante II livello di approfondimento, ai sensi della Delibera della Regione Emilia-Romagna pogr. N. 112 del 02/05/2007, delle aree site in via Mongardino e via San Lorenzo (Progetto Rio Verde) nel comune di Sasso Marconi (BO).

- ❑ buona risoluzione, a differenza della tecnica a riflessione;
- ❑ la propagazione delle onde di *Rayleigh*, anche se influenzata dalla V_p (velocità delle onde di compressione P) e dalla densità del mezzo, è funzione innanzitutto della V_s che rappresenta appunto il parametro fondamentale per la caratterizzazione geotecnica di un sito;
- ❑ la tecnica in questione è inoltre particolarmente indicata per suoli altamente attenuanti ed ambienti rumorosi.

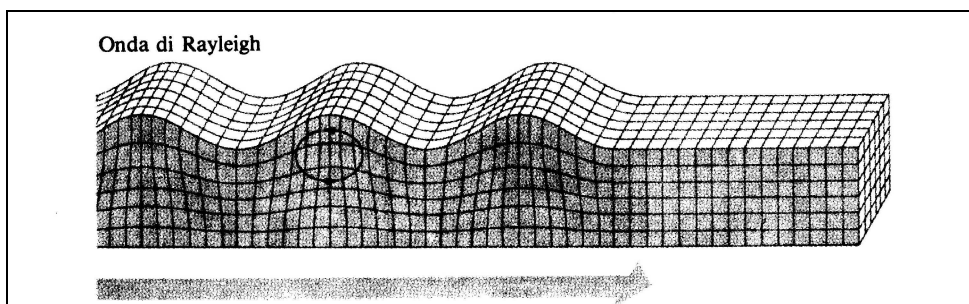


Figura 1 - Modalità di propagazione delle onde R

Tenuto conto dei fattori sopraelencati, l'elemento fondamentale che permette l'impiego di tecniche basate sulle onde superficiali e le onde *Rayleigh*, è una caratteristica chiamata *dispersione*. La dispersione è una proprietà delle onde superficiali che consiste nella deformazione di un treno d'onde dovuta alla variazione di velocità di propagazione al variare della frequenza. Per le onde R questa variazione si manifesta solo all'interno di un mezzo stratificato. In altre parole, ipotizzando una variazione di densità del terreno in senso verticale, ciascuna componente di frequenza dell'onda superficiale si propaga con una differente velocità (velocità di fase), e quindi con una diversa lunghezza d'onda; questa proprietà si chiama appunto dispersione.

La velocità di propagazione per una certa lunghezza d'onda λ (e quindi per una certa frequenza ν) è influenzata dalle proprietà che il mezzo possiede fino ad una profondità di $\lambda/2$ (anche se recenti studi hanno posto questo limite a $\lambda/2.5$). Inoltre, la velocità delle onde R (V_r) è pari a circa il 90% della velocità delle onde di taglio (V_s).

Secondo quanto detto appare chiaro come la costruzione di un profilo verticale di velocità delle onde di taglio V_s , ottenuto dall'analisi delle onde piane della modalità fondamentale delle onde di *Rayleigh*, sia una delle pratiche più comuni per utilizzare le proprietà dispersive delle onde superficiali.

4.2 Tecnica MASW

La procedura MASW si può sintetizzare in tre stadi successivi e distinti:

- ❑ acquisizione delle onde superficiali (*ground roll*);
- ❑ costruzione della curva di dispersione : grafico velocità di fase V_r – frequenza ν ,
- ❑ inversione della curva di dispersione per ottenere il profilo verticale della V_s .

La prima fase viene effettuata direttamente in campagna generando un treno di onde superficiali mediante

Analisi di risposta sismica locale e microzonazione mediante II livello di approfondimento, ai sensi della Delibera della Regione Emilia-Romagna pogr. N. 112 del 02/05/2007, delle aree site in via Mongardino e via San Lorenzo (Progetto Rio Verde) nel comune di Sasso Marconi (BO).

l'utilizzo di una sorgente sismica attiva, quale generalmente una mazza battente, e uno stendimento lineare di geofoni ricevitori (vedi Fig. 2). L'indagine svolta nel presente lavoro è stata condotta utilizzando la strumentazione DOLANG JEA 24 descritta nelle premesse.

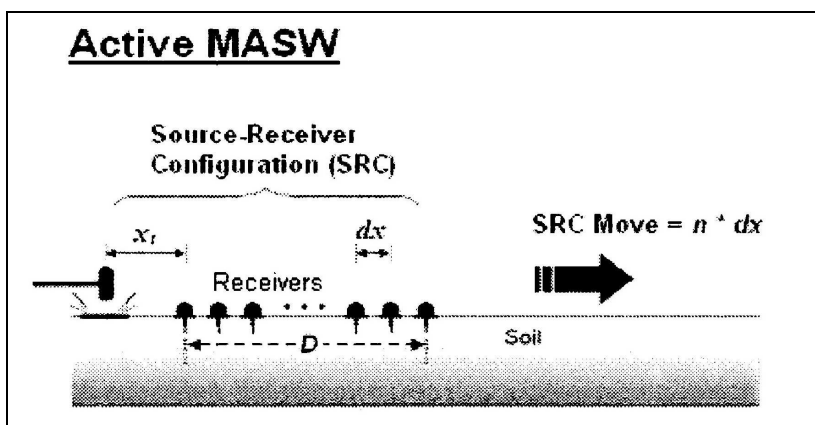


Figura 2 - MASW : stendimento lineare e sorgente attiva

Mediante il software si procede alla lettura dei dati acquisiti (*common-shot gather*) e al calcolo dello spettro di velocità di fase (trasformata di Fourier) dal quale è possibile estrarre la curva di dispersione sperimentale. Si procede quindi alla definizione del profilo verticale di velocità delle onde di taglio S. L'elaborazione dei dati acquisiti, avvenuta mediante software Grilla, è riportata in dettaglio nel rapporto d'indagine allegato alla presente relazione.

4.3 Tecnica Re.Mi.

A differenza del convenzionale metodo MASW, il quale prevede l'utilizzo di una sorgente sismica attiva (es: mazza battente), la tecnica Re.Mi. utilizza onde di superficie generate passivamente dall'ambiente circostante. L'origine di questo cosiddetto "rumore di fondo" è sia di tipo naturale (onde oceaniche di marea, perturbazioni atmosferiche) sia di tipo antropico (traffico veicolare, industrie, ferrovie, etc...).

L'utilizzo di profili di geofoni a geometria lineare, genera il problema della sovrastima della velocità di fase (velocità apparente) nello spettro di velocità che si ottiene dall'elaborazione dei dati. La velocità apparente nello spettro deriva dal fatto che la direzione di propagazione delle onde (rumore di fondo) non necessariamente è parallela allo stendimento di geofoni. Per questo motivo la pratica comune prevede che il picking sulla curva di dispersione sperimentale venga eseguito non in corrispondenza del massimo di energia, ma in corrispondenza del bordo inferiore.

Il metodo Re.Mi. eseguito nel presente studio ha sfruttato la stessa geometria di profilo utilizzata per il metodo MASW. Solitamente il campionamento complessivo è della durata di qualche minuto.

4.4 Misura a stazione singola H/V: procedura e strumentazione utilizzata

Il metodo *HVSR* (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*) proposto da Nogoshi e Igarashi (1970) e successivamente modificato da Nakamura (1989), si basa sull'analisi del rapporto spettrale tra le

Analisi di risposta sismica locale e microzonazione mediante II livello di approfondimento, ai sensi della Delibera della Regione Emilia-Romagna pogr. N. 112 del 02/05/2007, delle aree site in via Mongardino e via San Lorenzo (Progetto Rio Verde) nel comune di Sasso Marconi (BO).

componenti orizzontale (H) e verticale (V) del rumore sismico registrato in un sito. Il rumore sismico è presente ovunque ed è generato sia da fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento) che dall'attività antropica. Il rumore sismico è indicato spesso come microtremore poiché è caratterizzato da oscillazioni molto deboli (dell'ordine dei $\mu\text{m/s}$). I microtremori sono in parte costituiti da onde di volume, P o S, ma soprattutto da onde superficiali, la cui velocità è comunque prossima a quella delle onde S (Mulargia et al., 2007). La tecnica di misura del rumore sismico richiede tempi di registrazione pari a 14-30 minuti e necessita di sensori tridirezionali da sismologia con messa in bolla, digitalizzatore 24 bit con elevata dinamica, elevato guadagno ed elevata frequenza di campionamento nativo, con minimizzazione del rumore elettro/meccanico.

L'acquisizione è stata eseguita utilizzando un tromografo digitale, "TROMINO ENGY" (*Micromed S.p.A.*) dotato di 3 canali velocimetrici (N-S, E-W, Up-Down) ad alto guadagno per l'acquisizione del microtremore sismico ambientale (fino a $\sim 1.5 \text{ mm/s}$); il sistema opera nell'intervallo di frequenze 0.1–1024 Hz. L'elaborazione dei dati di rumore sismico acquisiti è avvenuta mediante software *Grilla*.

Analisi di risposta sismica locale e microzonazione mediante II livello di approfondimento, ai sensi della Delibera della Regione Emilia-Romagna pogr. N. 112 del 02/05/2007, delle aree site in via Mongardino e via San Lorenzo (Progetto Rio Verde) nel comune di Sasso Marconi (BO).

5 SITO 1 – VIA MONGARDINO: RISULTATI INDAGINE

5.1 TECNICA IN ARRAY

Strumentazione utilizzata.....Sismografo digitale 24 canali – 24 bit modello Dolang
 Numero di geofoni verticali (frq. Propria 4.5 Hz).....12
 Spaziatura tra i geofoni.....2.50 m
 Frequenza di campionamento.....4.000 Hz (MASW) – 250 Hz (Re.Mi.)
 Lunghezza traccia acquisita.....1 sec (MASW) – 64 sec (Re.Mi.)
 Sorgente.....mazza (10 Kg) e rumore ambientale

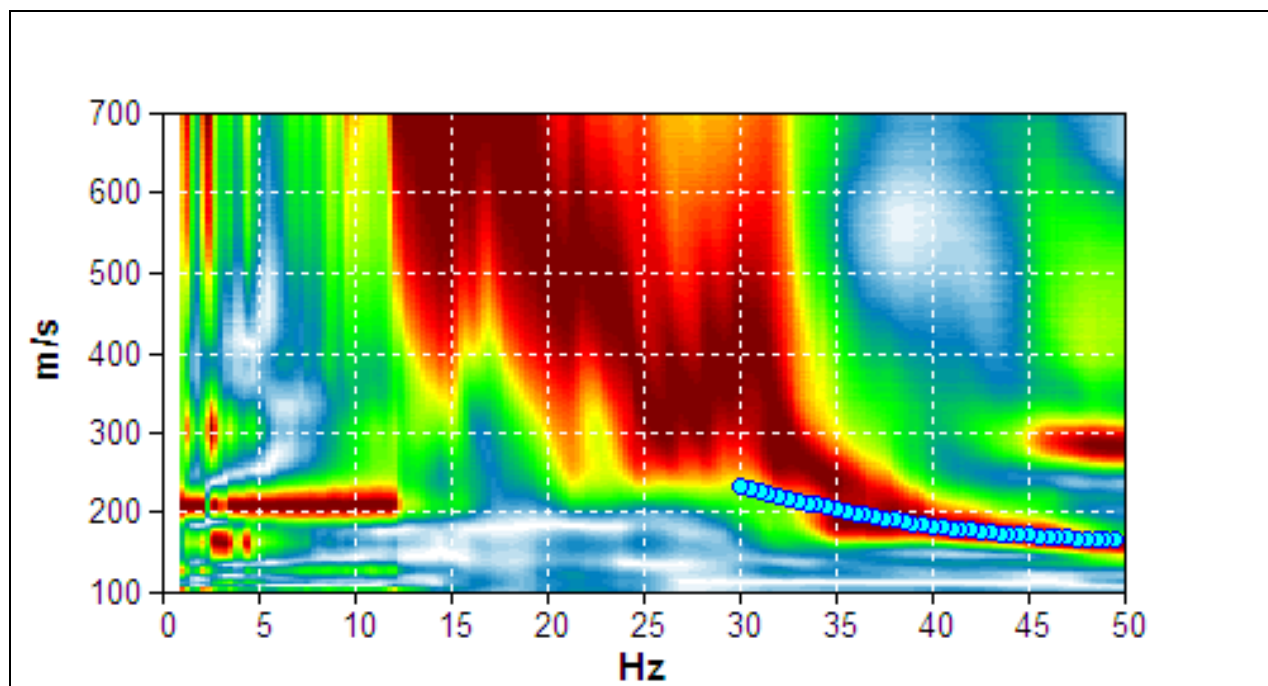


Figura 3 - Spettro di velocità di fase dell'onda di Rayleigh per il profilo sismico eseguito in array con tecnica MASW-Re.Mi. mediante sismografo digitale Dolang. In blu il modo fondamentale della curva di dispersione teorica per il modello di sottosuolo proposto per il sito.

Analisi di risposta sismica locale e microzonazione mediante II livello di approfondimento, ai sensi della Delibera della Regione Emilia-Romagna pogr. N. 112 del 02/05/2007, delle aree site in via Mongardino e via San Lorenzo (Progetto Rio Verde) nel comune di Sasso Marconi (BO).

5.2 TECNICA HVSR

Strumento: TROMINO MODELLO ENGY

Data registrazione: 12/01/2011

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h20'00".

Freq. campionamento: 128 Hz

Lunghezza finestre: 20 s

Tipo di lisciamento: Triangular window

Lisciamento: 10%

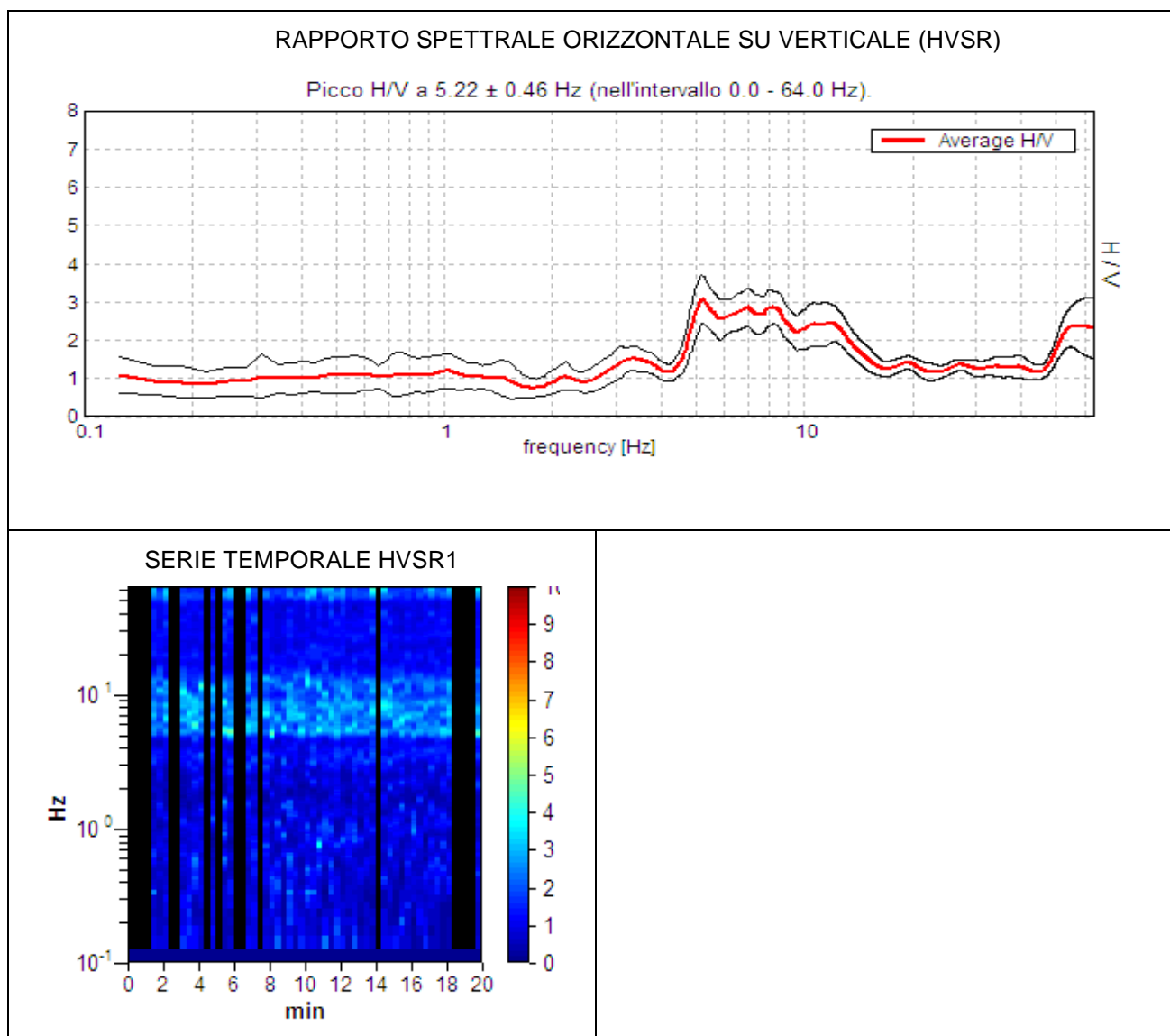


Figura 4 - Curva H/V (HVSR) registrata nel sito in esame e serie temporale considerata nell'analisi.

Analisi di risposta sismica locale e microzonazione mediante II livello di approfondimento, ai sensi della Delibera della Regione Emilia-Romagna pogr. N. 112 del 02/05/2007, delle aree site in via Mongardino e via San Lorenzo (Progetto Rio Verde) nel comune di Sasso Marconi (BO).

SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI HVSR1

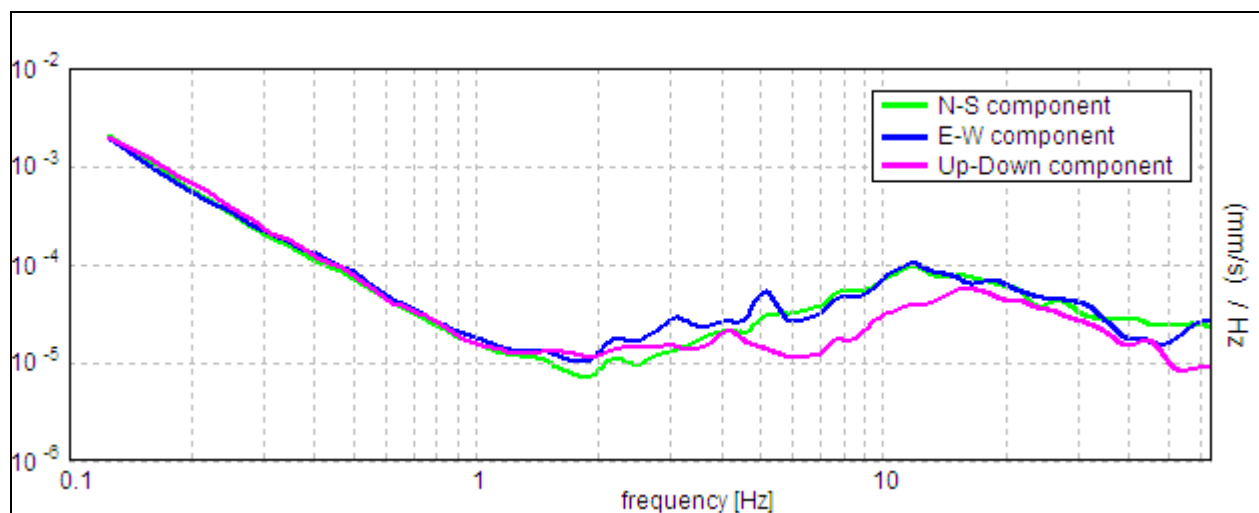


Figura 5 - spettri delle 3 componenti del moto in velocità registrate nel sito

H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO

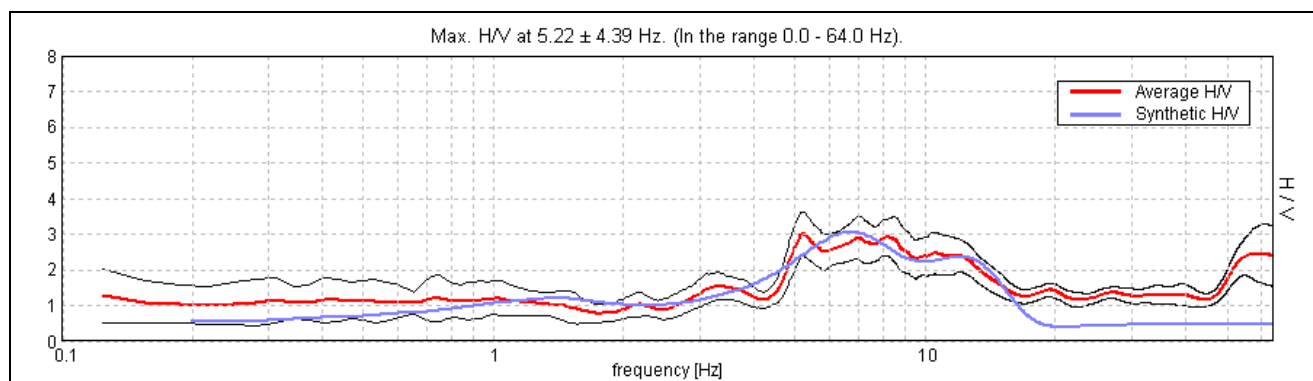


Figura 6 - confronto tra curva HVSR1 sperimentale registrata nel sito (scelta per il fit congiunto con prova MASW-Re.Mi.) e curva teorica (blu) relativa al modello di sottosuolo proposto per il sito.

Analisi di risposta sismica locale e microzonazione mediante II livello di approfondimento, ai sensi della Delibera della Regione Emilia-Romagna pogr. N. 112 del 02/05/2007, delle aree site in via Mongardino e via San Lorenzo (Progetto Rio Verde) nel comune di Sasso Marconi (BO).

6 MODELLO DI SOTTOSUOLO PROPOSTO PER IL SITO 1 (VIA MONGARDINO)

Sulla base dei risultati ottenuti e dell'interpretazione dei dati acquisiti il modello di sottosuolo proposto per il sito in studio, in termini di profilo verticale di Vs, è il seguente (il modello è stato ottenuto mediante fit congiunto tra prova **MASW-Re.Mi.** e misura **HVSR1**):

Profondità base strato (m)	Spessore (m)	Vs (m/s)
1.50	1.50	115
3.00	1.50	145
11.00	8.00	285
19.00	8.00	440
49.00	30.00	500
109.00	60.00	600
inf.	Inf.	800

Tabella 1 – Modello di sottosuolo proposto per il sito

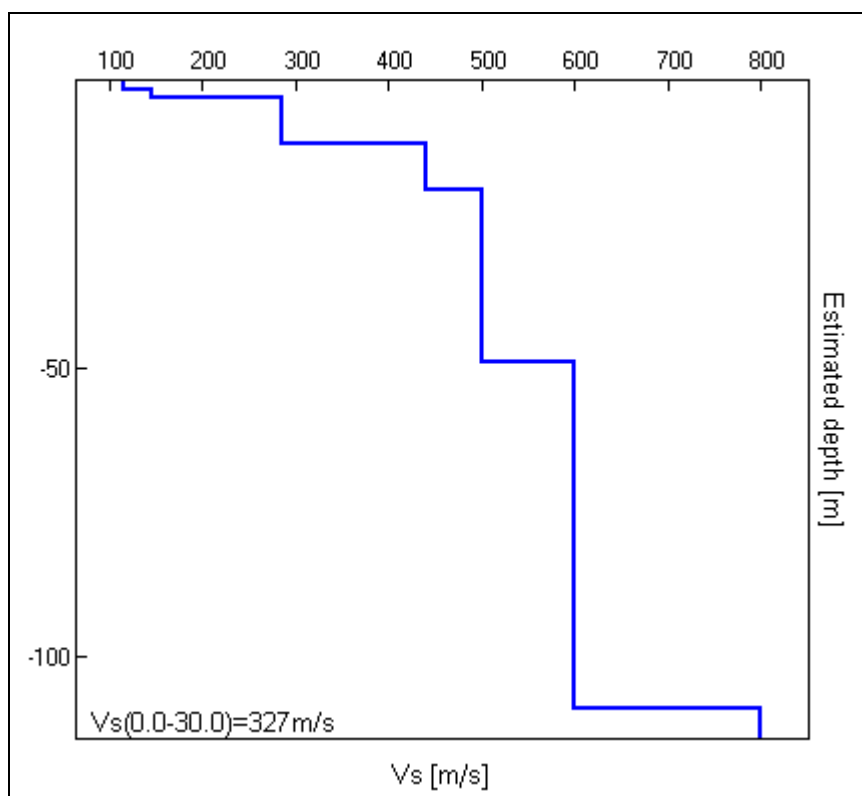


Figura 7 - Modello di velocità delle onde di taglio S (modello medio sotto il profilo effettuato) derivato da fit congiunto tecnica MASW-Re.Mi. e tecnica HVSR.

Analisi di risposta sismica locale e microzonazione mediante II livello di approfondimento, ai sensi della Delibera della Regione Emilia-Romagna pogr. N. 112 del 02/05/2007, delle aree site in via Mongardino e via San Lorenzo (Progetto Rio Verde) nel comune di Sasso Marconi (BO).

7 SITO 2 – VIA SAN LORENZO: RISULTATI INDAGINE

7.1 TECNICA IN ARRAY

Strumentazione utilizzata.....Sismografo digitale 24 canali – 24 bit modello Dolang
 Numero di geofoni verticali (frq. Propria 4.5 Hz).....12
 Spaziatura tra i geofoni.....3.00 m
 Frequenza di campionamento.....4.000 Hz (MASW) – 250 Hz (Re.Mi.)
 Lunghezza traccia acquisita.....1 sec (MASW) – 64 sec (Re.Mi.)
 Sorgente.....mazza (10 Kg) e rumore ambientale

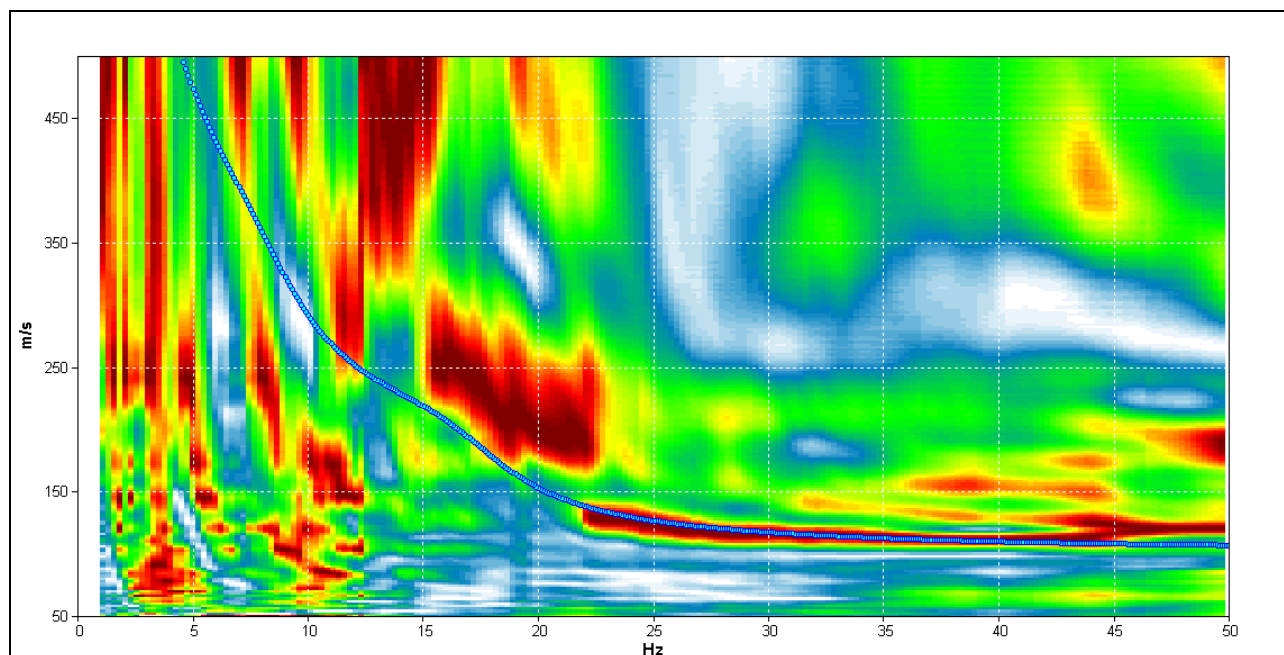


Figura 8 - Spettro di velocità di fase dell'onda di Rayleigh per il profilo sismico eseguito in array con tecnica MASW-Re.Mi. mediante sismografo digitale Dolang. In blu il modo fondamentale della curva di dispersione teorica per il modello di sottosuolo proposto per il sito.

Analisi di risposta sismica locale e microzonazione mediante II livello di approfondimento, ai sensi della Delibera della Regione Emilia-Romagna pogr. N. 112 del 02/05/2007, delle aree site in via Mongardino e via San Lorenzo (Progetto Rio Verde) nel comune di Sasso Marconi (BO).

7.2 TECNICA HVSR

Strumento: TROMINO MODELLO ENG Y

Data registrazione: 10/04/2014

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h20'00".

Freq. campionamento: 128 Hz

Lunghezza finestre: 20 s

Tipo di lisciamento: Triangular window

Lisciamento: 10%

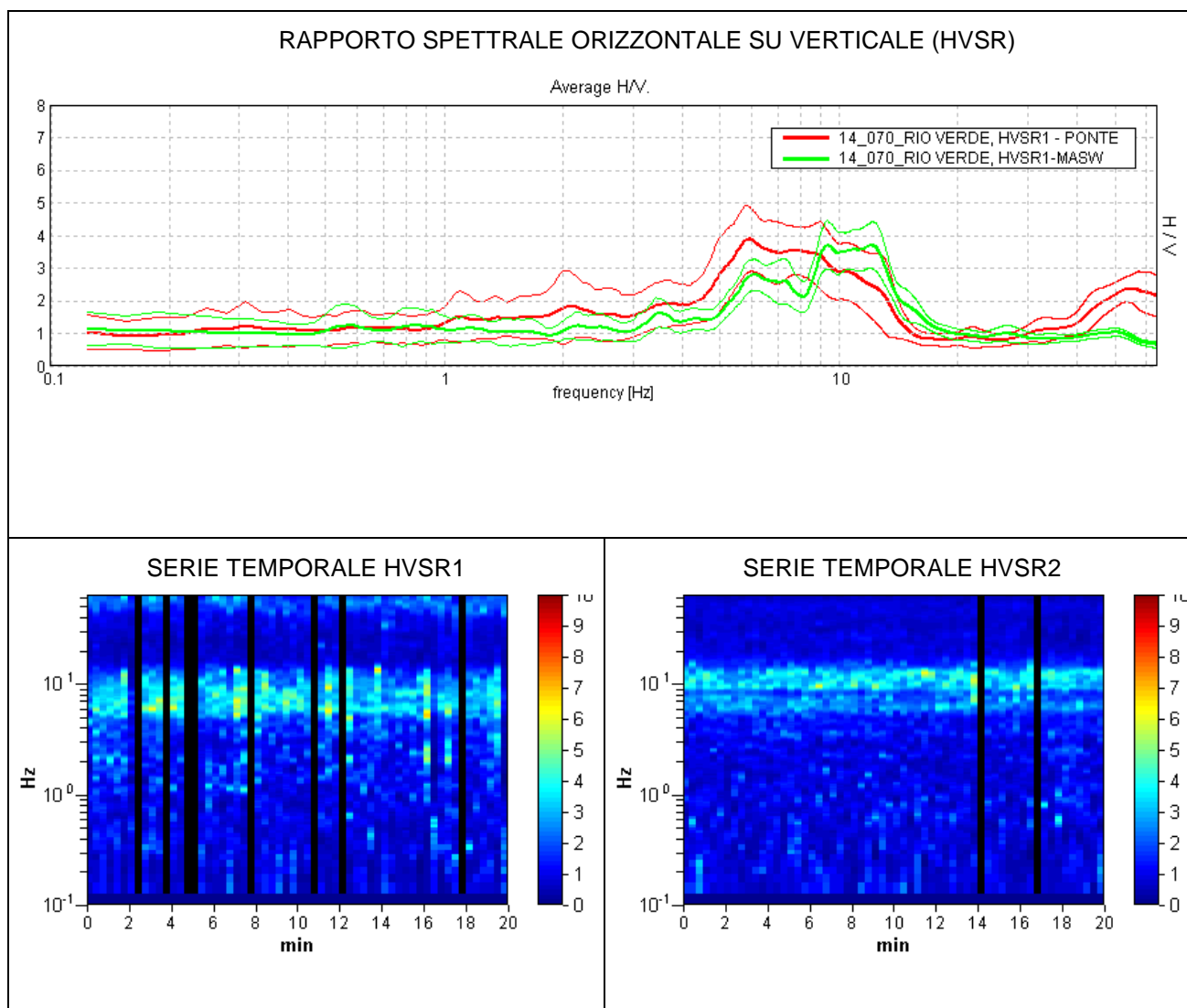


Figura 9 - Curva H/V (HVSr) registrata nel sito in esame e serie temporale considerata nell'analisi.

Analisi di risposta sismica locale e microzonazione mediante II livello di approfondimento, ai sensi della Delibera della Regione Emilia-Romagna pogr. N. 112 del 02/05/2007, delle aree site in via Mongardino e via San Lorenzo (Progetto Rio Verde) nel comune di Sasso Marconi (BO).

SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI HVSR1

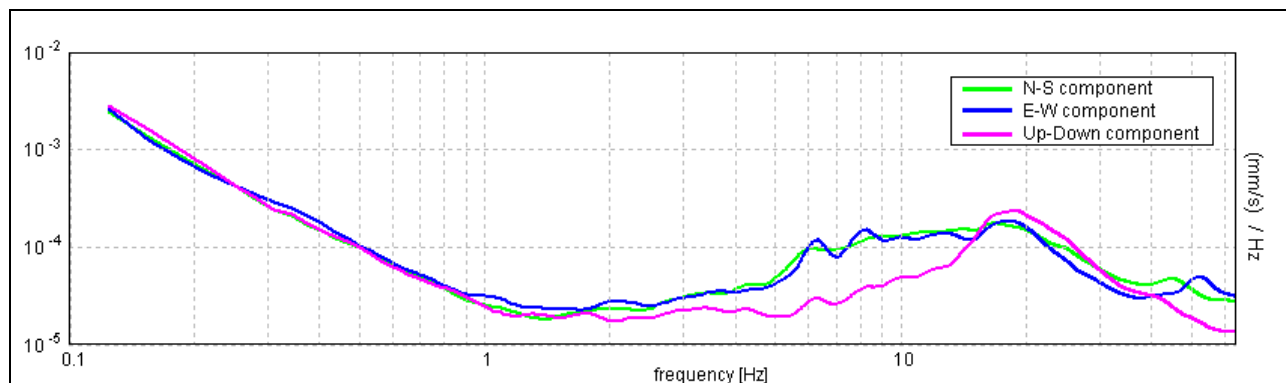


Figura 10 - spettri delle 3 componenti del moto in velocità registrate nel sito

SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI HVSR2

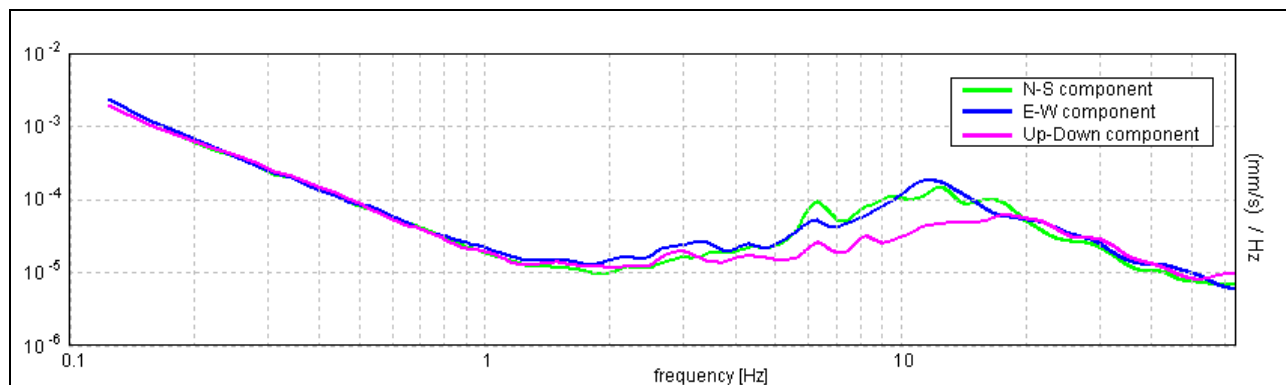


Figura 11 - spettri delle 3 componenti del moto in velocità registrate nel sito

H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO

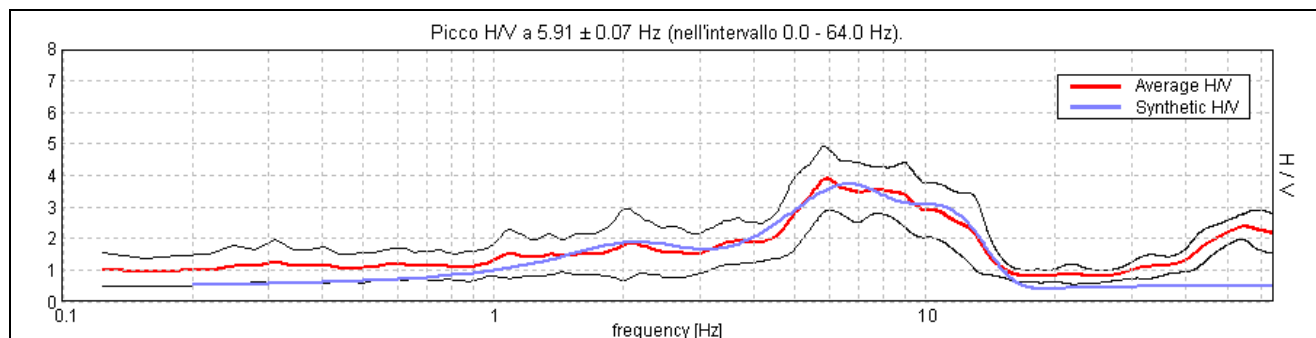


Figura 12 - confronto tra curva HVSR1 sperimentale registrata nel sito (scelta per il fit congiunto con prova MASW-Re.Mi.) e curva teorica (blu) relativa al modello di sottosuolo proposto per il sito.

Analisi di risposta sismica locale e microzonazione mediante II livello di approfondimento, ai sensi della Delibera della Regione Emilia-Romagna pogr. N. 112 del 02/05/2007, delle aree site in via Mongardino e via San Lorenzo (Progetto Rio Verde) nel comune di Sasso Marconi (BO).

8 MODELLO DI SOTTOSUOLO PROPOSTO PER IL SITO 2 (VIA SAN LORENZO)

Sulla base dei risultati ottenuti e dell'interpretazione dei dati acquisiti il modello di sottosuolo proposto per il sito in studio, in termini di profilo verticale di Vs, è il seguente (il modello è stato ottenuto mediante fit congiunto tra prova **MASW-Re.Mi.** e misura **HVSR1**):

Profondità base strato (m)	Spessore (m)	Vs (m/s)
1.50	1.50	112
3.20	1.70	140
10.20	7.00	280
18.20	8.00	400
43.20	25.00	530
83.20	40.00	650
inf.	inf.	900

Tabella 2 – Modello di sottosuolo proposto per il sito

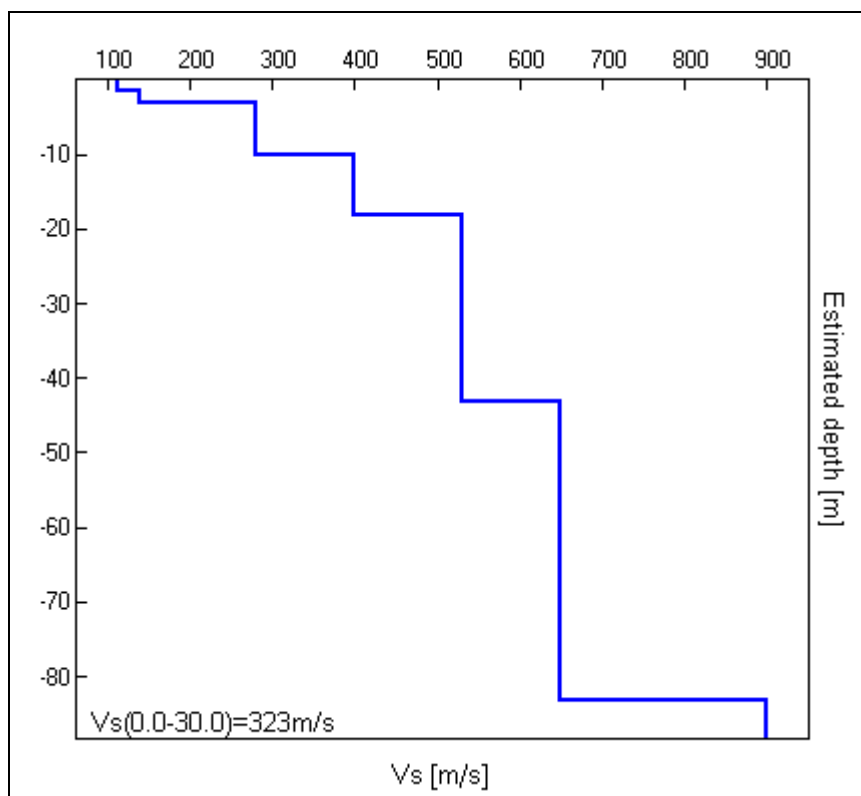


Figura 13 - Modello di velocità delle onde di taglio S (modello medio sotto il profilo effettuato) derivato da fit congiunto tecnica MASW-Re.Mi. e tecnica HVSR

Analisi di risposta sismica locale e microzonazione mediante II livello di approfondimento, ai sensi della Delibera della Regione Emilia-Romagna pogr. N. 112 del 02/05/2007, delle aree site in via Mongardino e via San Lorenzo (Progetto Rio Verde) nel comune di Sasso Marconi (BO).

9 ANALISI DEI RISULTATI DELLE PROVE GEOFISICHE DI CAMPAGNA

L'analisi congiunta MASW-Re.Mi.-HVSr ha permesso sia di ricostruire il profilo verticale di velocità delle onde S nelle aree in esame, sia di individuare la presenza di contrasti di impedenza-rigidezza nel sottosuolo medesimo. Le principali conclusioni derivanti dalle indagini in sito sono le seguenti.

SITO 1 – VIA MONGARDINO (campagna d'indagine 2011):

I terreni presenti in questo settore sono caratterizzati da valori di velocità delle onde S (V_s) caratteristici di materiali a consistenza da media a semi-litoide e litoide (la V_s pare assumere valori \geq a 400 m/s oltre i 10-11 m circa da p.c.).

La curva HVSR1 ottenuta sperimentalmente è caratterizzata da una significativa amplificazione locale del moto del suolo per risonanza stratigrafica nell'intervallo compreso tra 5-15 Hz circa di frequenza. In questa banda di frequenze, il contrasto d'impedenza che genera amplificazione del moto sismico si può definire nel complesso "alto" (Ampiezza =3).

SITO 2 – VIA SAN LORENZO (campagna d'indagine 2014):

In questo settore i terreni sono caratterizzati da valori di velocità delle onde S (V_s) caratteristici di materiali a consistenza da media a semi-litoide e litoide (la V_s pare assumere valori \geq a 400 m/s oltre i 10-11 m circa da p.c.).

La misura HVSR1, eseguita proprio in corrispondenza dell'opera da realizzare, ha come risultato una curva sperimentale caratterizzata da una significativa amplificazione locale del moto del suolo per risonanza stratigrafica nell'intervallo compreso tra 4-15 Hz circa di frequenza. In questa banda di frequenze, il contrasto d'impedenza nel complesso varia da "alto" (Ampiezza =3) a "molto alto" (Ampiezza \geq 3.5).

La curva HVSR2 si differenzia dalla prima in quanto, sebbene l'intervallo in cui si osserva amplificazione locale del moto sismico sia grosso modo il medesimo, l'ampiezza di tale amplificazione è risultata minore specie nella banda di frequenze compresa tra 4-8 Hz (contrasto d'impedenza "medio", Ampiezza = 2.5). Per contro, nella banda di frequenze compresa tra 8-15 Hz, l'ampiezza del contrasto in HVSR2 risulta maggiore (contrasto di impedenza "molto alto", Ampiezza \geq 3.5).

Il confronto tra le curve HVSR1 e HVSR2 registrate nel sito 2 di via San Lorenzo è osservabile in figura 9.

Analisi di risposta sismica locale e microzonazione mediante II livello di approfondimento, ai sensi della Delibera della Regione Emilia-Romagna progr. N. 112 del 02/05/2007, delle aree site in via Mongardino e via San Lorenzo (Progetto Rio Verde) nel comune di Sasso Marconi (BO).

10 ANALISI DELLA RISPOSTA SISMICA LOCALE E DETERMINAZIONE DEI FATTORI DI AMPLIFICAZIONE MEDIANTE SECONDO LIVELLO DI APPROFONDIMENTO

Le aree in esame appartengono al contesto geologico di Appennino e Margine Appenninico-Padano caratterizzato dalla presenza di un substrato geologico non affiorante con V_s propria inferiore a 800 m/s (Delibera Regione E-R progr. 112 paragrafo A2.1.1).

Nell'analisi della risposta sismica locale mediante approfondimento di II livello, dato il contesto geologico a cui appartengono le aree in esame, i Fattori di Amplificazione (F.A.) del moto sismico atteso vengono calcolati sulla base dello spessore (H) delle coperture soprastanti il bedrock e della velocità equivalente delle onde di taglio S per lo spessore considerato (V_{sH}).

Nelle aree d'interesse, lo spessore dei depositi di copertura è stato valutato mediante sondaggio a carotaggio continuo a rotazione spinto fino alla profondità di circa 20 m da p.c. attuale. I sondaggi sono stati eseguiti dalla committenza e i risultati sono stati comunicati allo scrivente.

La formula applicata per il calcolo del V_{sH} è la seguente:

$$V_{sH} = \frac{H}{\sum_{i=1}^n \frac{h_i}{v_i}}$$

Dove:

h_i = spessore in metri dello strato i-esimo (fino alla profondità di 30 m da p.c.)

V_{si} = velocità in m/s dello strato i-esimo fino alla profondità di 30 m da p.c.

Nella tabella sottostante si riportano i valori del parametro V_{sH} , determinati sulla base del profilo verticale di V_s ottenuto dalle indagini geofisiche, per entrambe le aree investigate:

Identificazione	Spessore depositi di copertura e profondità del bedrock geologico non affiorante caratterizzato da $V_s < 800$ m/s	V_{sH} (11 metri)
SITO 1 –VIA MONGARDINO	circa 11 metri	214 m/s
SITO 2 – VIA SAN LORENZO	circa 11 metri	210 m/s

Alla luce del contesto geologico in cui ricadono le aree d'indagine e dei risultati ottenuti dall'indagine geofisica (descritti nei paragrafi precedenti), i Fattori di Amplificazione F.A. da adottare in riferimento al moto sismico atteso (suolo A previsto dalle Norme Tecniche per le Costruzioni), sono riportati nelle seguenti tabelle:

Analisi di risposta sismica locale e microzonazione mediante II livello di approfondimento, ai sensi della Delibera della Regione Emilia-Romagna pogr. N. 112 del 02/05/2007, delle aree site in via Mongardino e via San Lorenzo (Progetto Rio Verde) nel comune di Sasso Marconi (BO).

SITO 1 – VIA MONGARDINO:

<i>F.A. P.G.A. (Pick Ground Acceleration)</i>	
V_{SH} (11 metri)	214 m/s
H	≈ 11 m
F.A.	2.3
<i>F.A. INTENSITA' SPETTRALE $0.1s < T_0 < 0.5 s$</i>	
F.A.	2.2
<i>F.A. INTENSITA' SPETTRALE $0.5s < T_0 < 1 s$</i>	
F.A.	1.6

SITO 2 – VIA SAN LORENZO:

<i>F.A. P.G.A. (Pick Ground Acceleration)</i>	
V_{SH} (11 metri)	210 m/s
H	≈ 11 m
F.A.	2.3
<i>F.A. INTENSITA' SPETTRALE $0.1s < T_0 < 0.5 s$</i>	
F.A.	2.2
<i>F.A. INTENSITA' SPETTRALE $0.5s < T_0 < 1 s$</i>	
F.A.	1.6

Dove F.A. = Fattore di amplificazione sismica rispetto al suolo di riferimento e H = profondità substrato marino con $V_s < 800$ m/s (spessore copertura alluvionale).

Per quanto riguarda gli effetti topografici nelle aree in esame, essi possono essere trascurati in quanto siamo in presenza di superfici sub-pianeggianti. **Il coefficiente di amplificazione topografico (S_T) per l'area oggetto di variante è posto quindi pari ad 1.**

Analisi di risposta sismica locale e microzonazione mediante II livello di approfondimento, ai sensi della Delibera della Regione Emilia-Romagna pogr. N. 112 del 02/05/2007, delle aree site in via Mongardino e via San Lorenzo (Progetto Rio Verde) nel comune di Sasso Marconi (BO).

11 UBICAZIONE PROVE

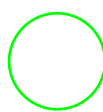


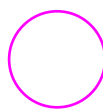
Figura 14 – Ubicazione indagini (bing maps)

Dove:

 Profilo in array con tecnica MASW-Re.Mi.

 Misure a stazione singola HVSr

 Area SITO 1 VIA MONGARDINO

 Area SITO 2 VIA SAN LORENZO

San Lazzaro di Savena, 02/05/2014