

Concorso di Progettazione
aperto in due gradi

NUOVA CASA DELLA SALUTE
ex Ospedale San Francesco
MARRADI (FI)



DIPARTIMENTO AREA TECNICA - FIRENZE, Via di San Salvi, N° 12 - FIRENZE

Concorso di Progettazione in due gradi - procedura aperta

Recupero e Rifunionalizzazione dell'Ex Ospedale San Francesco,
Via D. Campana - COMUNE DI MARRADI

AZIENDA USL TOSCANA CENTRO
IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO

Ing. Ivo Bigazzi

12

**RELAZIONE GEOLOGICA
E GEOTECNICA**



Via C. Donati n. 9 - 50034 Marradi (FI) Tel. 320/0662980
C.F. BLLSDR75D25D458H PIVA: 05527990484
e-mail sandro.bellini@gmail.com pec: sandro.bellini@epap.sicurezza postale.it

PROGETTO 61/2018

COMUNE DI MARRADI

PROVINCIA DI FIRENZE

Nuovo blocco edilizio da realizzare in adiacenza all'Ex Ospedale San Francesco per il Nuovo Polo Sanitario di Marradi

RELAZIONE GEOLOGICA con MODELLO GEOTECNICO



COMMITTENTE
Azienda USL Toscana Centro

TECNICO
DOTT. GEOL. SANDRO BELLINI



SOMMARIO

1. Premessa	pag. 3
2. Inquadramento geologico	pag. 4
3. Inquadramento geomorfologico ed idrogeologico	pag. 5
4. Analisi degli strumenti di pianificazione territoriale vigenti	pag. 7
4.1 Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico del Bacino del fiume Lamone	pag. 7
4.2 Piano Strutturale del Comune di Marradi	pag. 8
5. Inquadramento sismico	pag. 9
5.1 Analisi di Risposta Simica Locale (RSL)	pag. 11
6. Indagini Geognostiche e modello geotecnico	pag. 17
6.1 Parametrizzazione geomeccanica dell'ammasso roccioso sulla base delle analisi disponibili in bibliografia	pag. 19
7. Considerazioni conclusive	pag. 24

ELENCO ALLEGATI

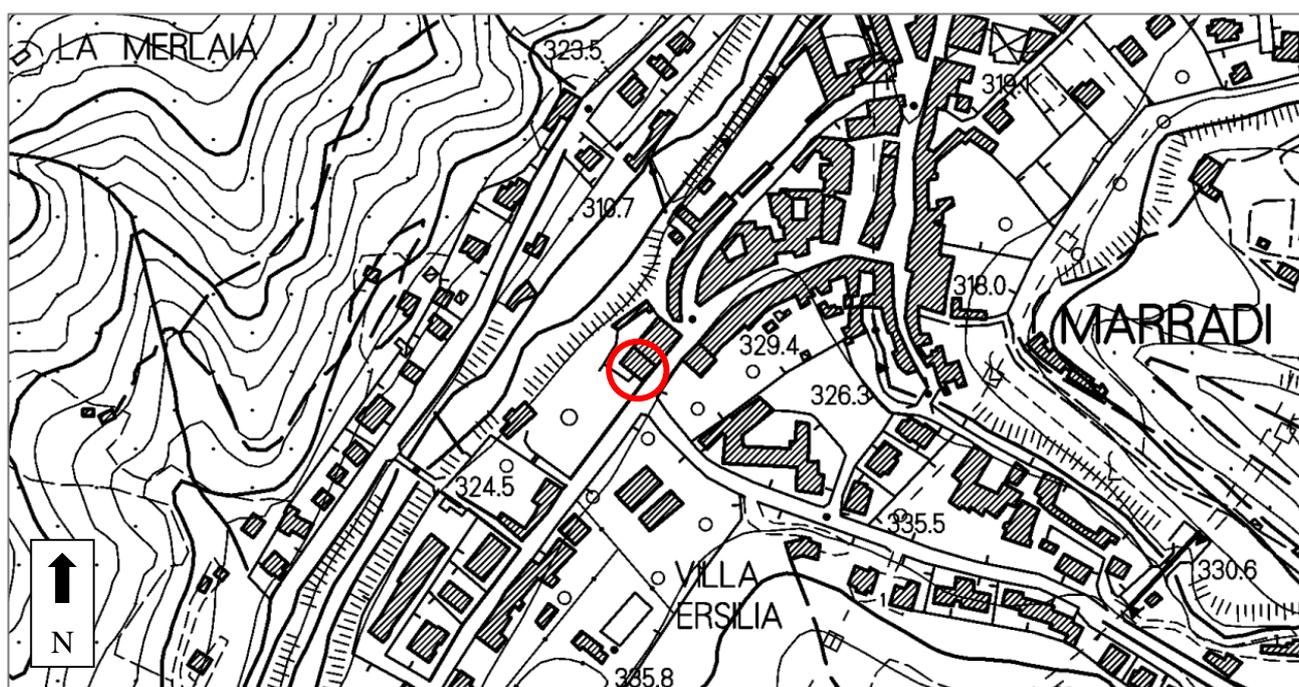
- *Stratigrafia del sondaggio a carotaggio continuo S1 (SOGEO Srl – Lugo-RA)*
- *Diagrammi delle prove penetrometriche eseguite (Dott. Saverio Tabanelli – Faenza - RA)*
- *Relazione sull'indagine sismica down-hole (IN.D.A.G.O. Snc – Rovigo – RO)*

1. PREMESSA

Su incarico conferito dall'Azienda USL Toscana Centro, è stato eseguito il presente studio geologico con modellazione geotecnica dei terreni a supporto del progetto di costruzione di un nuovo blocco edilizio in adiacenza del fabbricato dell'*ex-Ospedale San Francesco* in Comune di Marradi (FI), così come individuato negli estratti cartografici che seguono.



Inquadramento territoriale dell'area di studio



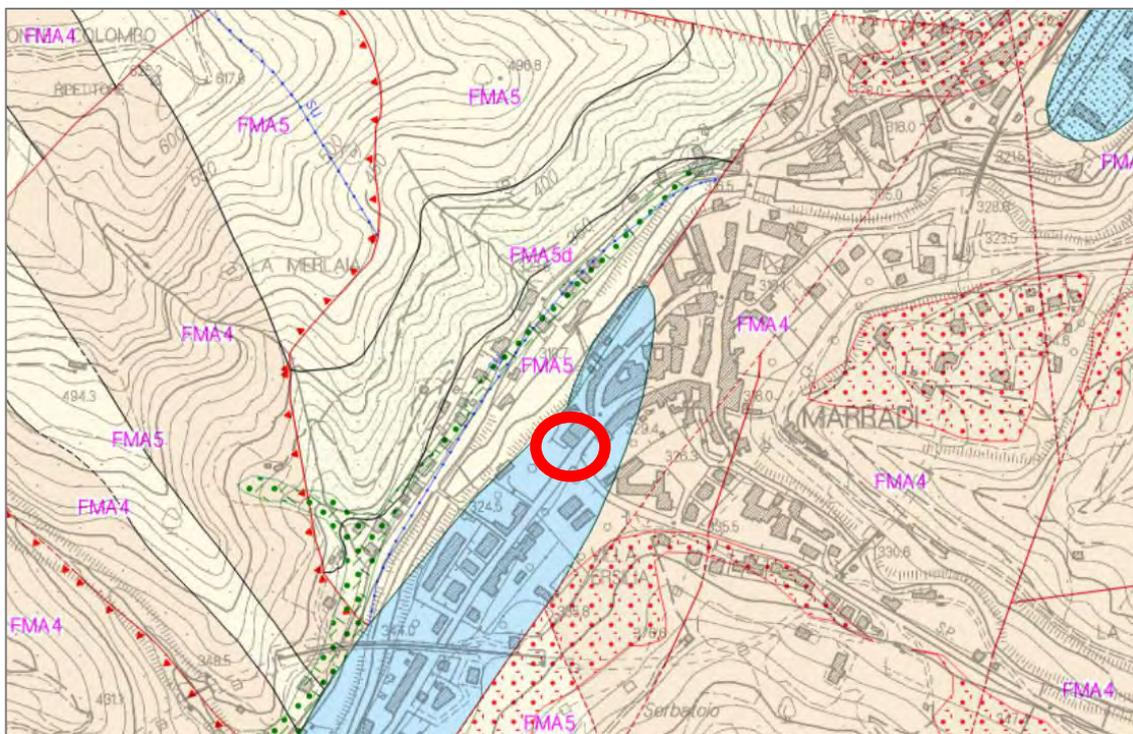
Inquadramento di dettaglio dell'area di intervento

Il presente studio è stato condotto nel mese di gennaio 2019, sulla base delle seguenti attività:

- rilevamento geologico e geomorfologico diretto
- analisi cartografica ed aerofotogrammetria
- esecuzione di n. 1 sondaggio a carotaggio continuo spinto fino a 10 m di profondità
- esecuzione di n. 1 prova sismica in foro di tipo *down-hole*
- consultazione delle risultanze delle 2 prove penetrometriche dinamiche superpesanti (DPSH) eseguite nell'ambito della medesima area di cantiere e per il medesimo Committente a supporto del progetto di costruzione di un muro di sostegno perimetrale
- consultazione delle risultanze delle indagini stratigrafiche e sismiche eseguite in prossimità dell'area di intervento dalla Regione Toscana nell'ambito del progetto V.E.L., con particolare riferimento al sondaggio a carotaggio continuo S4 con prova sismica in foro *down-hole* ed allo stendimento sismico a rifrazione in onde P ed Sh denominato St13.

2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO

In seguito al rilievo diretto e all'esame della Carta Geologica Regionale in scala 1:10.000 redatta dalla Regione Toscana, le aree in esame risultano impostate sulla *Formazione Marnoso-Arenacea (FMA)* (Burdigaliano sup. – Tortoniano sup.).



Stralcio della Carta Geologica a cura della Regione Toscana

In particolare l'area di sedime del corpo in ampliamento in progetto è ubicata all'interno di un ampio ripiano di origine alluvionale di II° ordine nelle adiacenze dell'alveo incassato del *Fiume Lamone* sovrastante il *Membro di Collina (FMA5)*, caratterizzato torbiditi arenaceo-pelitiche arcose ed in minor misura calcaree alternate ad emipelagiti con $1/5 < A/P < 1/3$. Le arenite sono organizzate in strati da sottili a medi, in minor misura spessi, raramente in banchi. La potenza complessiva è stimata in 300 m circa ed il periodo di deposizione è datato al *Serravalliano inferiore*.

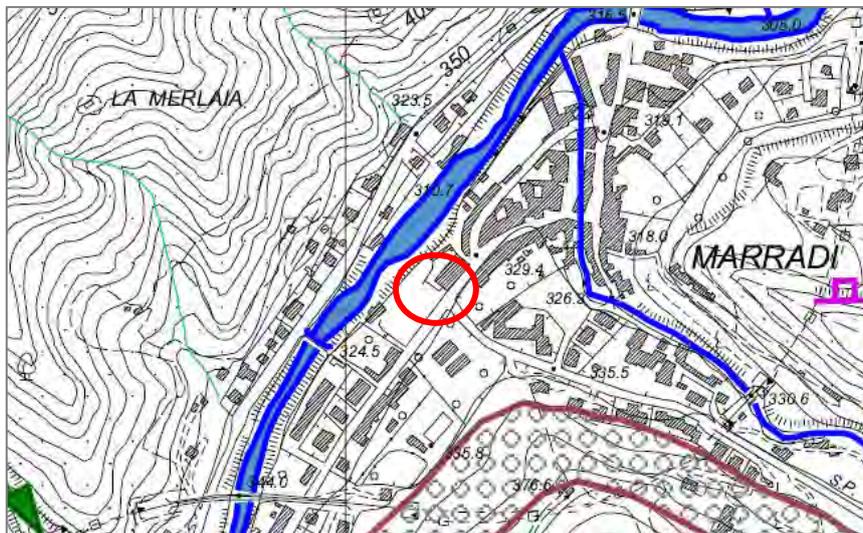
3. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO ED IDROGEOLOGICO

L'assetto geomorfologico dell'area di studio ed un suo adeguato intorno è dominato dalla prossimità del *Fiume Lamone* (il cui ciglio di sponda destra è posto ad una distanza di circa 50 m verso SE) caratterizzato da un alveo incassato con testate arenitiche a debole inclinazione affioranti e dagli adiacenti depositi alluvionali pianeggianti che si raccordano gradualmente alle coltri di detrito indifferenziato concentrate alla base dei versanti circostanti.



Identificazione dell'area di intervento su base aerea del 2016 (fonte: Cartoteca – Regione Toscana)

Attualmente i fenomeni morfogenetici risultano dominati dall'azione dilavante delle acque meteoriche che risultano comunque regimate ed incanalate nelle rete di regimazione idrica dell'area caratterizzata ad ogni modo da un rilevante grado di antropizzazione.



Stralcio della Carta Geomorfologica del Piano Strutturale di Marradi

Si deve sottolineare che l'area di sedime del corpo edilizio in progetto è compresa all'interno della superficie di imposta del corpo di fabbrica (ancora visibile nel fotogramma aereo del 2016) recentemente demolito e che pertanto allo stato attuale risulta ubicata sul piazzale realizzato a seguito di completa rimozione delle strutture di fondazione fino al rinvenimento del substrato litoide e messa in opera di materiale di sottofondo frantumato per uno spessore medio pari a 30 cm, così come ben visibile dalle riprese fotografiche che seguono.



Riprese fotografiche del piazzale di intervento allo stato attuale

Per quanto concerne l'assetto idrogeologico, al termine dell'esecuzione del sondaggio a carotaggio continuo non è stata rilevata la presenza di una falda idrica superficiale entro i primi 10 di profondità dal piano di campagna.

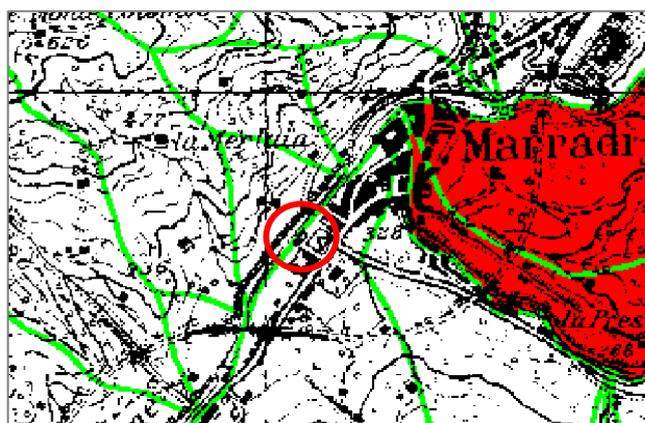
4. ANALISI DEGLI STRUMENTI DI PIANIFICAZIONE TERRITORIALE VIGENTI

4.1 Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico del Bacino del fiume Lamone

Il Piano per l'assetto idrogeologico (PAI) del bacino del F. Lamone è redatto, adottato e approvato ai sensi dell'art. 17 comma 6-ter della legge 18 maggio 1989, n. 183, quale piano stralcio del piano di bacino. Esso ha valore di piano territoriale di settore e integra gli strumenti di pianificazione territoriale di cui alla legge regionale 16 gennaio 1995 n. 5.

Il PAI, attraverso le sue disposizioni, persegue l'obiettivo generale di assicurare l'incolumità della popolazione nel territorio del bacino e garantire livelli di sicurezza adeguati rispetto ai fenomeni di dissesto idraulico e geomorfologico in atto o potenziali.

La perimetrazione delle aree a pericolosità geomorfologica (che si riporta si seguito) costituisce parte integrante del PAI



Stralcio della cartografia del Piano Stralcio di Assetto Idrogeologico del Bacino del fiume Lamone

La zona oggetto di studio risulta perimetrata come area *R1- a rischio idrogeologico moderato*.

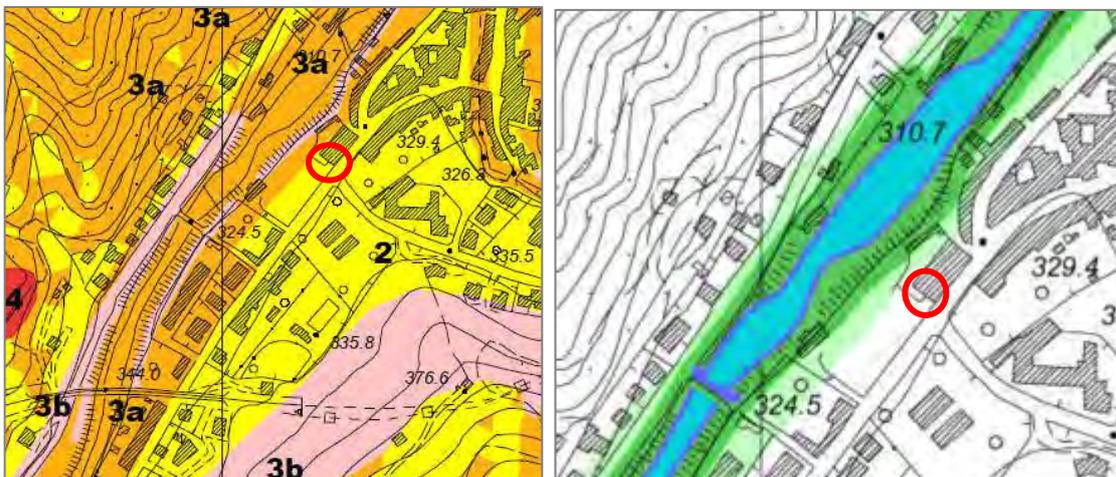
Per tali aree l'art. 13 delle Norme di Piano prescrive che "i Comuni provvedono a verificare gli elementi di pericolosità presenti in sede di adozione degli strumenti urbanistici e comunque in sede di adozione di nuove varianti e di attuazione di previsioni urbanistiche".

Non si rilevano pertanto problematiche o limitazioni d'uso connesse alla realizzazione degli interventi in progetto.

4.2 Piano Strutturale del Comune di Marradi

Il PS del Comune di Marradi assume la tutela e la valorizzazione dell'integrità fisica e culturale del territorio comunale ed il conferimento di nuovi caratteri di qualità come condizioni preliminari per l'ammissibilità di ogni trasformazione; stabilisce le limitazioni d'uso e pone le condizioni alla trasformabilità fisica e funzionale del territorio; definisce altresì i criteri generali di sostenibilità ambientale delle trasformazioni.

La Carta della pericolosità geologico-sismica, che si riporta di seguito, costituisce parte integrante del Piano Strutturale



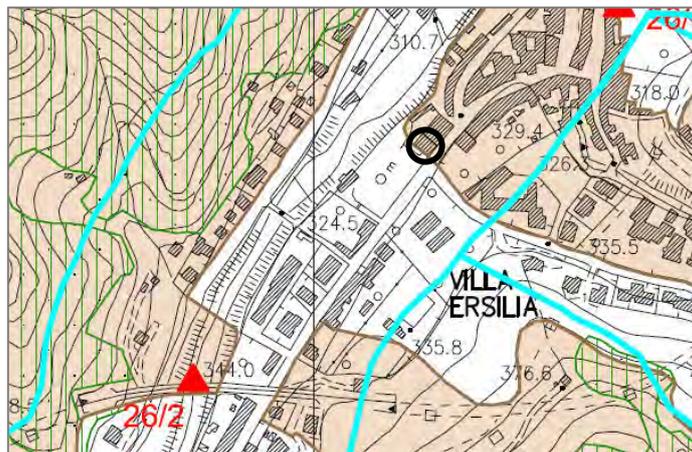
Stralci della cartografia della pericolosità geologico-sismica ed idraulica del Piano Strutturale del Comune di Marradi

La zona oggetto di studio risulta interamente ricompresa all'interno della *Classe 2 – Pericolosità geologico-sismica bassa*, soggetta all'art. 4 delle NTA del PSC di cui si riporta uno stralcio:

Nelle zone ricadenti nella classe 2 a pericolosità geologico sismica bassa gli interventi sul territorio, le trasformazioni fisiche e le utilizzazioni degli immobili possono essere prescritti e consentiti, cioè dichiarati ammissibili, in base alle conoscenze disponibili con eventuali richieste di conferme locali. In relazione ai diversi tipi di trasformazione considerati, possono essere richiesti approfondimenti a livello locale da realizzarsi mediante indagini geognostiche di dettaglio a supporto della progettazione edilizia, limitati all'area d'intervento. Quando ci si trovi in zone particolarmente acclivi anche in assenza di particolari indizi e fenomeni morfologici rilevanti, è da intendersi la necessità di verifiche di stabilità del versante estese ad un congruo intorno dell'area di intervento e, quando siano previste con l'intervento significative modifiche morfologiche (comunque sempre quando si realizzino scavi di altezza maggiore o uguale a 3 m.l.), dovranno considerare il contesto di progetto.

La zona oggetto di studio risulta inoltre esterna alle perimetrazioni di pericolosità idraulica.

Per quanto concerne il regime vincolistico generale, l'area di intervento risulta soggetta al Vincolo Idrogeologico (ex RD 3267/1923).

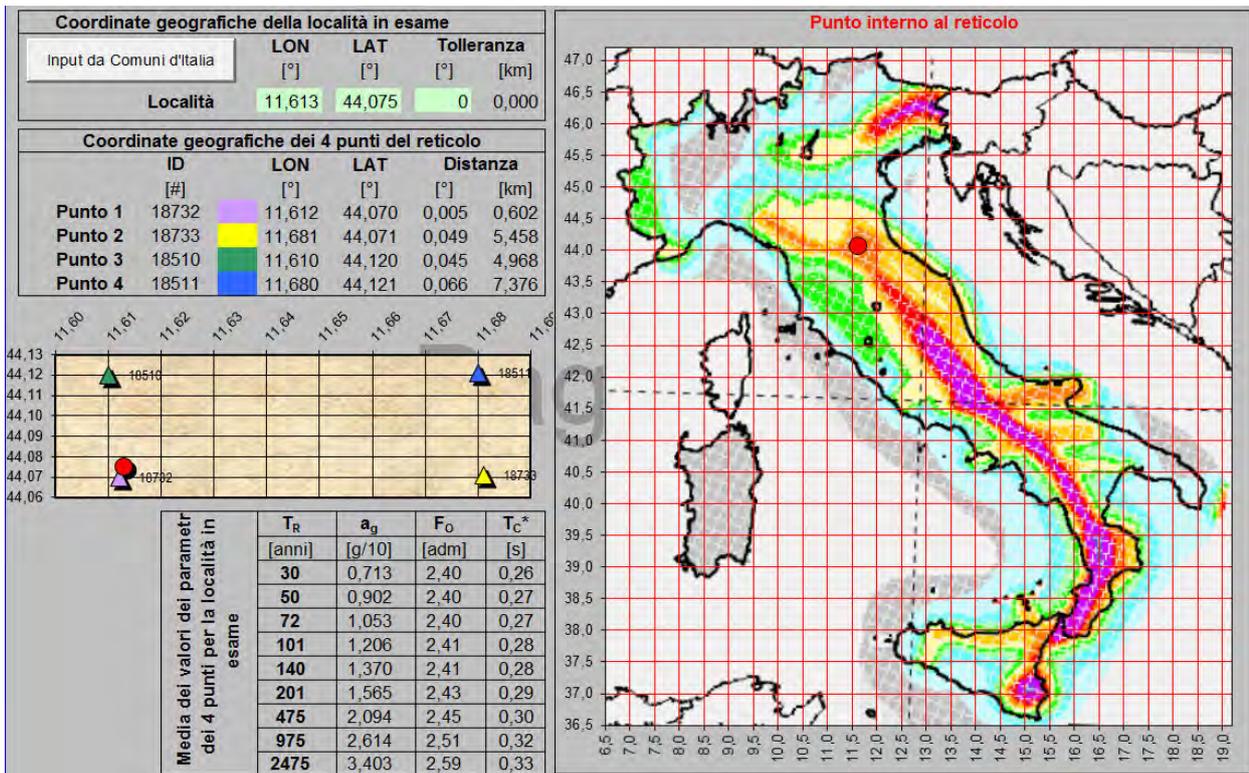


Stralcio della cartografia dei vincoli del Piano Strutturale del Comune di Marradi

5. INQUADRAMENTO SISMICO

Il presente studio è stato condotto tenendo conto dell'Ordinanza di Protezione Civile n. 3274 del 20 marzo 2003 del Presidente del Consiglio "Normativa tecnica per le costruzioni in zona sismica e connessa classificazione sismica del territorio nazionale"; dell'Ordinanza di Protezione Civile n. 3519 del 28 aprile 2006 del Presidente del Consiglio "Criteri generali da utilizzare per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone e delle nuove Norme Tecniche per le Costruzioni approvate con D.M. del 17/01/2018.

Le aree in esame sono ubicate nel Marradi che risultava classificato in II° categoria secondo il D.M. 24.01.1996, riconvertita in Zona 2 secondo l'OPCM 3274/2003.



Inquadramento macro-sismico dell'area di intervento

Le indagini geognostiche e geofisiche eseguite (i diagrammi delle quali sono riportati per esteso in allegato) hanno rilevato la presenza, al di sotto del materiale di riempimento antropico granulare con spessore di 30 cm costituente il sottofondo del piazzale, del substrato litoide marnoso-arenaceo con fratturazione da detensionamento limitata ai primi 3 m di profondità, e caratterizzato da valori di velocità delle onde sismiche di taglio (V_s) rapidamente crescenti.

In particolare, la prova in foro DH (*down-hole*) ha evidenziato, per uno spessore di 3 m di profondità, valori di V_s compresi tra 256 m/s e 567 m/s, seguiti dalla presenza superficiale del *bedrock sismico* (substrato marnoso arenaceo) con V_s che, a partire da 898 m/s, incrementano progressivamente fino a 1.689 m/s a 8 m di profondità dal piano del piazzale.

In termini di categoria di suolo ai sensi delle NTC 2018 l'area potrebbe pertanto rientrare nell'ambito dei terreni di tipo A.

Ora, considerando il carattere strategico del corpo di fabbrica in progetto e tenuto conto della presenza di uno spessore litoide superficiale fratturato con V_s media modesta, si è ritenuto opportuno elaborare un'analisi di risposta sismica locale (RSL) sulla base della metodologia riportata di seguito.

5.1 Analisi di Risposta Sismica Locale (RSL)

Parametri di progetto

Vita Nominale (V_n) della struttura in progetto pari a 50 anni

Classe d'uso IV con Coefficiente d'uso (C_u) pari a 2,0

Vita di riferimento (V_r) risultante pari a 100 anni, che nello Stato Limite di Salvaguardia della Vita (SLV) determina un periodo di ritorno per la definizione dell'azione sismica pari a 949 anni e nello Stato Limite di Danno (SLD) determina un periodo di ritorno per la definizione dell'azione sismica pari a 101 anni.

Accelerazione sismica di base

La definizione del valore di accelerazione sismica di base del sito di progetto (a_g) è necessaria al fine della scalatura degli accelerogrammi di input sismico.

Le coordinate di riferimento del sito ed i parametri relativi alla scelta progettuale sono stati inseriti nell'applicativo www.geostru.com/geoapp/parametri-sismici.aspx.

Coordinate del sito (sistema di riferimento ED50)

Latitudine = 44,075692

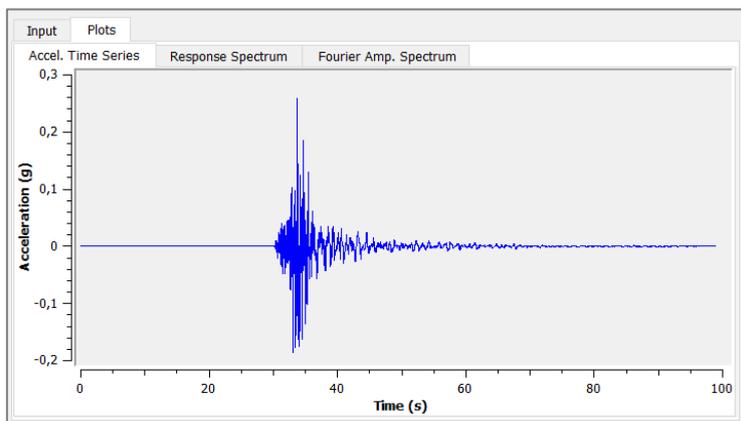
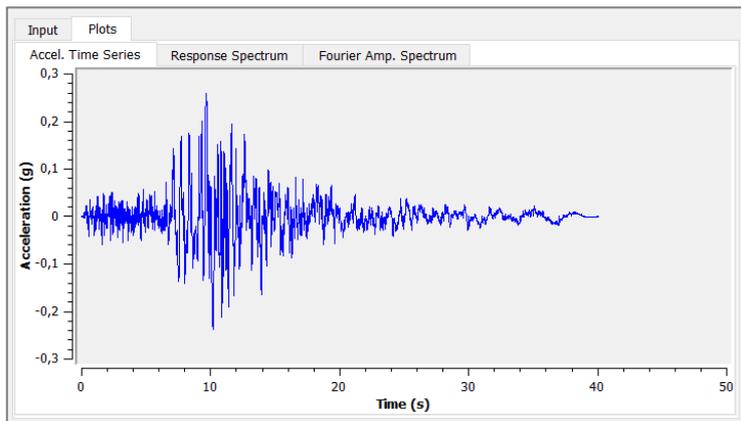
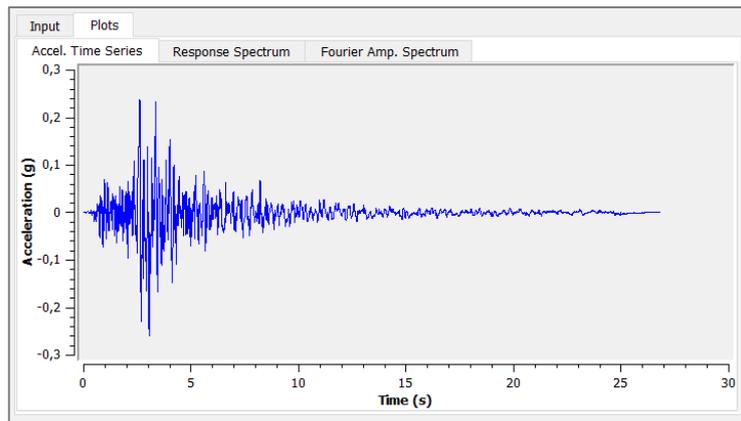
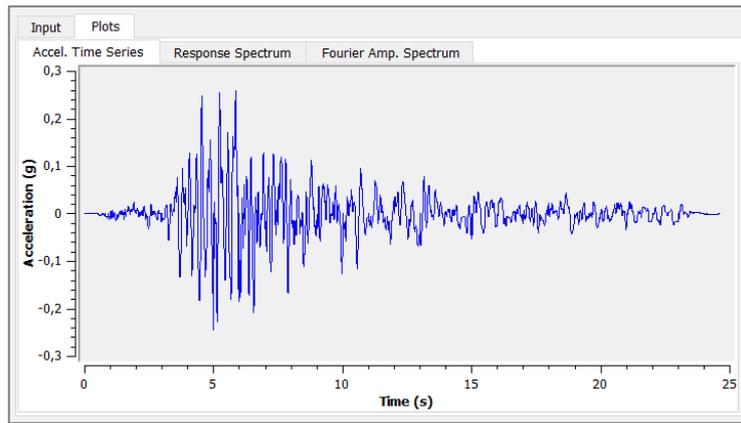
Longitudine = 11,611977

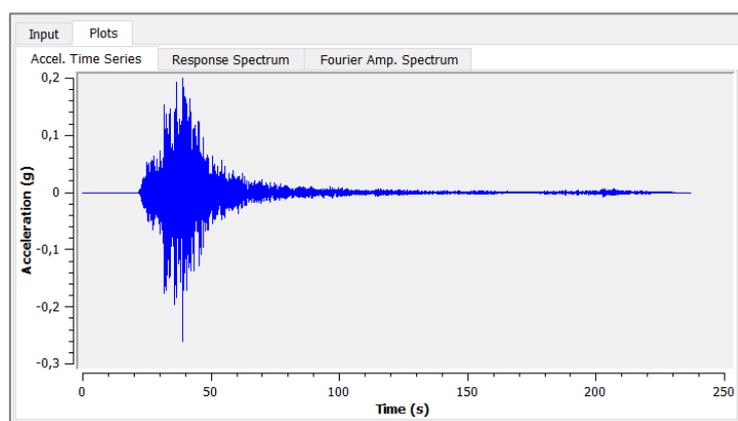
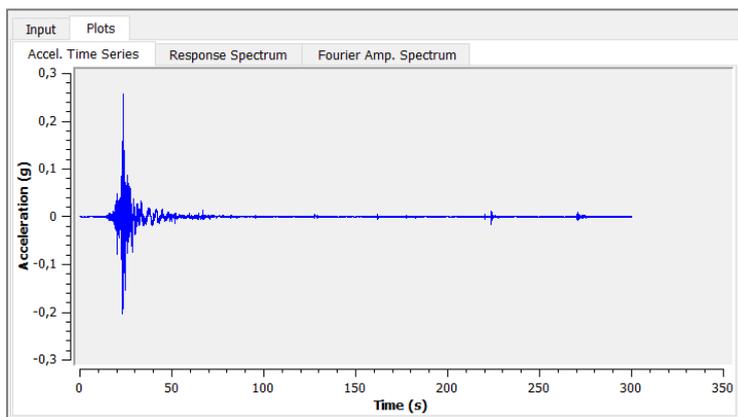
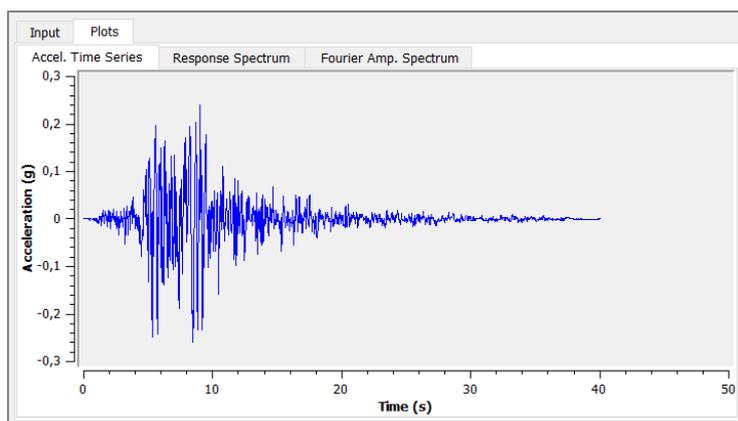
Stato Limite	Tr [anni]	a_g [g]	F_0	T_c^* [s]
Operatività (SLO)	60	0.097	2.400	0.270
Danno (SLD)	101	0.121	2.405	0.280
Salvaguardia vita (SLV)	949	0.259	2.511	0.316
Prevenzione collasso (SLC)	1950	0.318	2.574	0.324
Periodo di riferimento per l'azione sismica:	100			

Valori dei parametri a_g , F_0 e T_c^ per i periodi di ritorno TR associati a ciascuno stato limite*

Segnali di input

Per la definizione dei segnali sismici di input per l'analisi di risposta sismica locale sono stati estratti i 7 accelerogrammi di riferimento per il Comune di Marradi mediante l'applicativo SCALCONA 3.0 – a cura della Regione Toscana in collaborazione con il Dipartimento di Ingegneria Civile e Architettura dell'Università degli Studi di Pavia





Segnali di input estratti dal data base SCALCONA 3.0

ANALISI DI RISPOSTA SISMICA LOCALE

L'analisi è stata eseguita tramite il software *STRATA* elaborato da Albert R. Kottke ed Ellen M. Rathje del Department of Civil, Architectural, and Environmental Engineering University of Texas.

Assetto stratigrafico e profilo sismico di riferimento

Sulla base delle risultanze delle indagini geognostiche e sismiche eseguite e considerando un approfondimento minimo del piano di posa delle strutture di fondazione del fabbricato in progetto

pari a 0,50 m, è stato definito il seguente profilo sismo-stratigrafico di riferimento.

Site Profile				
	Depth (m)	Thickness (m)	Soil Type	Vs (m/s)
1	0.00	0.50	SUBSTRATO ALTERATO 1	334.00
2	0.50	1.00	SUBSTRATO ALTERATO 2	256.00
3	1.50	1.00	SUBSTRATO ALTERATO 2	567.00
4	2.50	Half-Space	Bedrock	898.00

Profilo stratigrafico e sismico inserito nel software STRATA

Per quanto concerne la parametrizzazione dinamica dei terreni si è fatto riferimento alle curve di decadimento del modulo di rigidezza e di smorzamento definite da *Idriss (1990)* per i litotipi di natura sabbiosa.

Nonlinear Property		
	Strain (%)	G/Gmax
1	1.00e-04	1.000
2	3.16e-04	1.000
3	1.00e-03	0.990
4	3.16e-03	0.955
5	1.00e-02	0.850
6	3.16e-02	0.628
7	1.00e-01	0.370
8	3.16e-01	0.176
9	1.00e+00	0.080
10	3.16e+00	0.080
11	1.00e+01	0.080

Nonlinear Property		
	Strain (%)	Damping (%)
1	1.00e-04	0.240
2	3.16e-04	0.440
3	1.00e-03	0.800
4	3.16e-03	1.460
5	1.00e-02	2.800
6	3.16e-02	5.310
7	1.00e-01	9.800
8	3.16e-01	15.740
9	1.00e+00	21.000
10	3.16e+00	21.000
11	1.00e+01	21.000

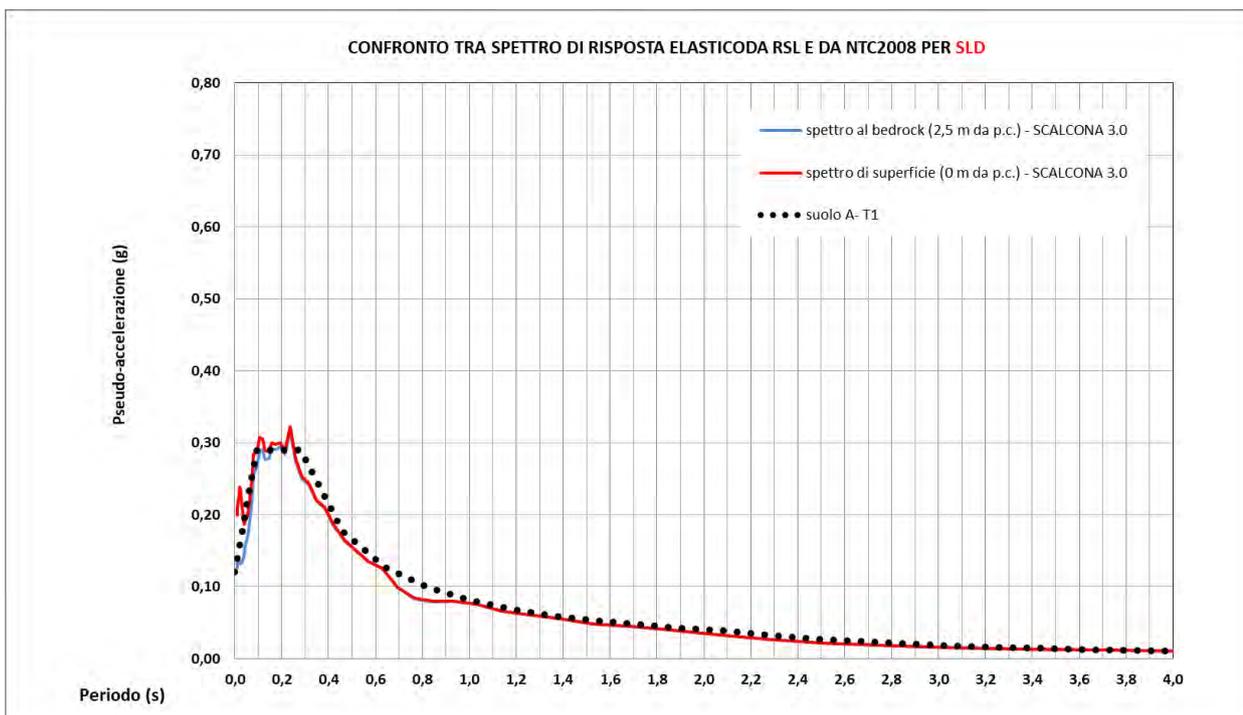
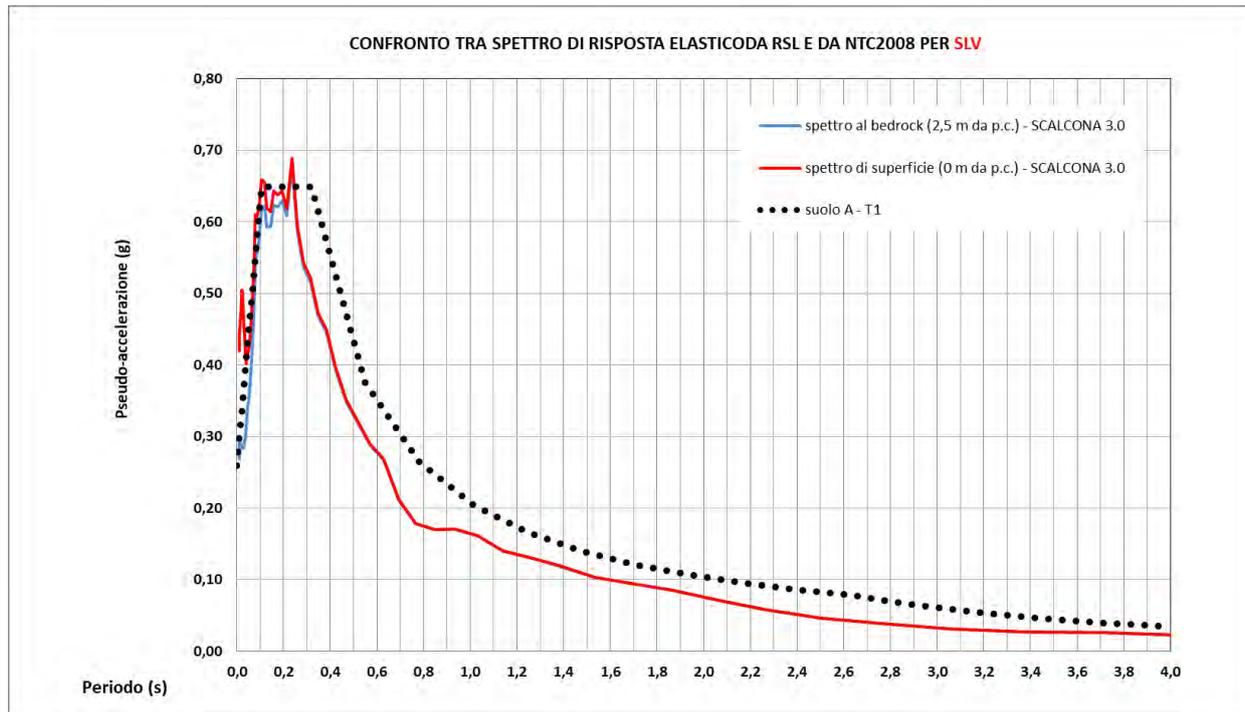
Parametri dinamici del substrato marnoso-arenaceo definiti nel software STRATA

Risultati dell'analisi RSL

Le elaborazioni di risposta sismica locale relative all'area di intervento sono state eseguite sia per lo stato limite ultimo SLV che per lo stato limite di esercizio SLD.

Nei grafici riportati di seguito sono diagrammati gli spettri di risposta elastici in pseudo-accelerazione derivanti dall'analisi di risposta sismica locale al *bedrock* (2,5 m) ed in superficie (0 m) per i 7 segnali di riferimento derivanti dall'archivio SCALCONA 3.0, a confronto con quelli definiti dall'analisi semplificata definita dalle NTC 2018 per la categoria di sottosuolo di tipo A e coefficiente topografico

T1 (assenza di amplificazione).



Si riportano di seguito i valori medi della PGA e del fattore di amplificazione in termini di PGA risultanti per gli stati limite considerati a confronto con quelli derivanti dall'analisi semplificata, adottando come riferimento la categoria di sottosuolo di tipo A-T1 (NTC 2018), che presuppone di fatto l'assenza di fenomeni di amplificazione del segnale sismico in superficie.

	R.S.L. (Scalcona 3.0)	suolo A-T1
S.L.V.	0,371g	0,259g
S.L.D.	0,174g	0,121g

Valori di **PGA** derivanti dall'analisi RSL (in rosso) a confronto con quelli derivanti dall'approccio semplificato delle NTC 2018

	R.S.L. (Scalcona 3.0)	suolo A-T1
S.L.V.	1,43	1,00
S.L.D.	1,43	1,00

Valori del **coefficiente di amplificazione in termini di PGA** derivanti dall'analisi RSL (in rosso) a confronto con quelli derivanti dall'approccio semplificato delle NTC 2018

Come si evince dalla tabella di cui sopra, l'analisi di risposta sismica locale sia per lo stato limite ultimo SLV che per quello di esercizio SLD restituisce valori medi di amplificazione in termini di PGA apprezzabili, chiaramente non previsti per la categoria di sottosuolo di tipo A-T1 delle NTC 2018, rispondendo in modo maggiormente realistico al contesto sismo-stratigrafico rilevato, caratterizzato da un rilevante contrasto di impedenza tra substrato e coperture, seppur di spessore limitato. Pertanto, a fini strettamente conservativi, nelle verifiche strutturali del fabbricato dovranno essere utilizzati i parametri relativi alle sollecitazioni sismiche derivanti dallo studio di risposta sismica locale elaborato.

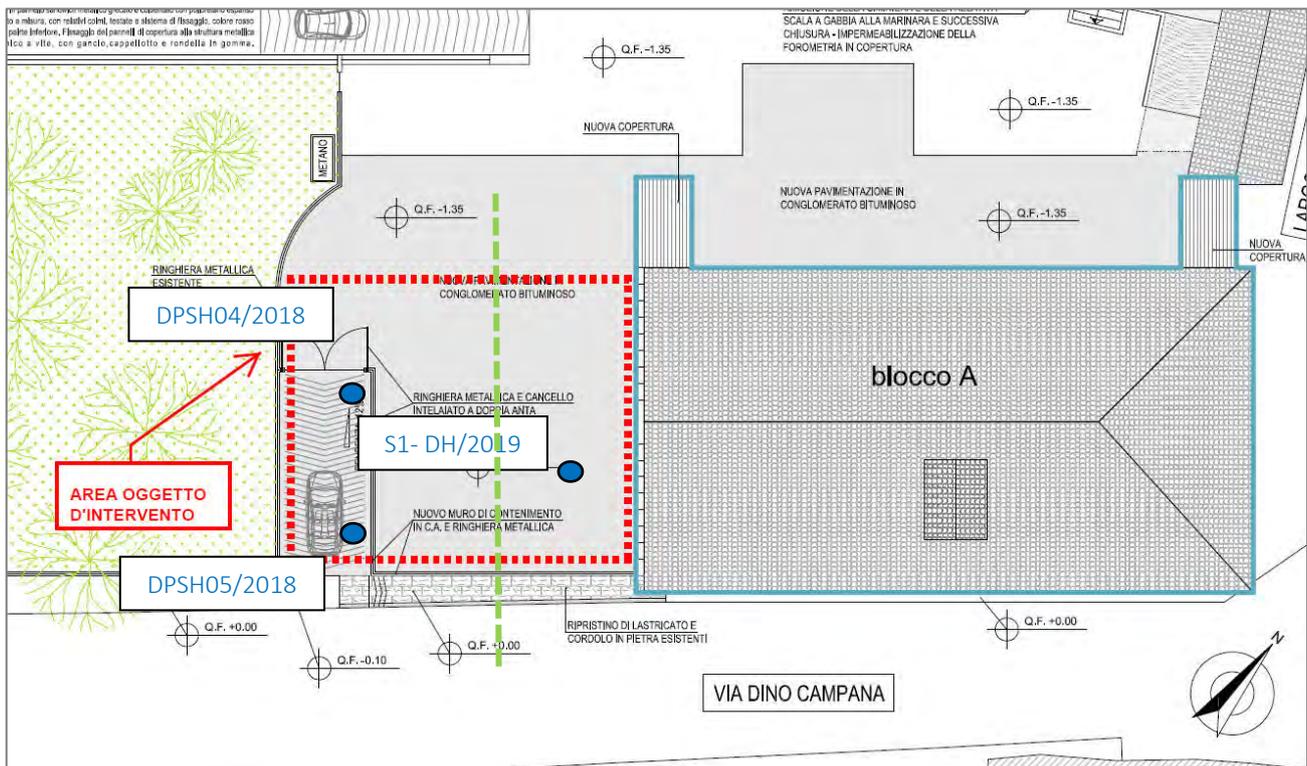
Rischio di liquefazione

Il fenomeno della liquefazione consiste nel quasi totale annullamento della resistenza al taglio di una litologia granulare satura determinata dall'annullamento degli sforzi efficaci, per effetto di sollecitazioni cicliche (sismiche), con l'assunzione del comportamento meccanico caratteristico dei liquidi viscosi.

Considerata la presenza del substrato litoide marnoso-arenaceo a partire dal letto del sottofondo antropico granulare (30 cm) e l'assenza di falda idrica nei primi 10 m di profondità dell'area investigata, la verifica alla liquefazione si intende pienamente soddisfatta con esito negativo.

6. INDAGINI GEOGNOSTICHE E MODELLO GEOTECNICO

Come riportato in premessa, al fine della caratterizzazione stratigrafica dei terreni interessati dagli interventi di nuova edificazione in progetto, in data 10/01/2019 è stato eseguito un sondaggio a carotaggio continuo spinto fino a 10 m di profondità, successivamente strumentato con tubazione rigida in pvc per l'indagine sismica in foro di tipo *down-hole*.



Ubicazione delle indagini geognostiche e sismiche eseguite nel corso del 2018 (prove penetrometriche) e 2019 (sondaggio a carotaggio continuo con down-hole) e della traccia della sezione geologica elaborata (in verde)
Base: planimetria di intervento a cura dello studio AEI Progetti di Firenze



Ripresa fotografica del sondaggio a carotaggio continuo
(Ditta SOGEO Srl di Lugo - RA)



*Riprese fotografiche della prova sismica
down-hole
(Ditta IND.A.G.O. Snc di Rovigo – RO)*

Il sondaggio a carotaggio continuo eseguito tramite perforatrice *Puntel PX609* è stato condotto con carotiere semplice fino a 4,50 m di profondità e con carotiere doppio fino a fondo foro, con diametro di 101 mm.

La stratigrafia rilevata evidenzia, al disotto del riporto granulare di origine antropica costituente il piazzale recentemente realizzato, la presenza del substrato roccioso marnoso-arenaceo in posto, caratterizzato dalla predominanza di livelli di tipo marnoso ad elevata cementazione e resistenza alternati a strati arenitici compatti con spessore limitato appartenente al *Membro di Collina (FMA5)* riconosciuto in bibliografia.

Il valore dell'indice R.Q.D. estrapolato per la porzione più profonda (perforata con carotiere doppio) varia da 60 a 100.



*Ripresa fotografica della prova
DPSH04*



*Ripresa fotografica della prova
DPSH05*

La prova DPSH04 eseguite nel mese di luglio 2018, sulla porzione apicale della rampa di accesso al piazzale di intervento, ha rilevato la presenza dello strato bituminoso e di sottofondo della rampa per i primi 20 cm, seguito da terreni naturali di origine alluvionale con resistenza media all'avanzamento compresa tra 3 e 8 colpi ogni 20 cm, sovrastante il substrato roccioso compatto rinvenuto a -1,80 m di profondità.

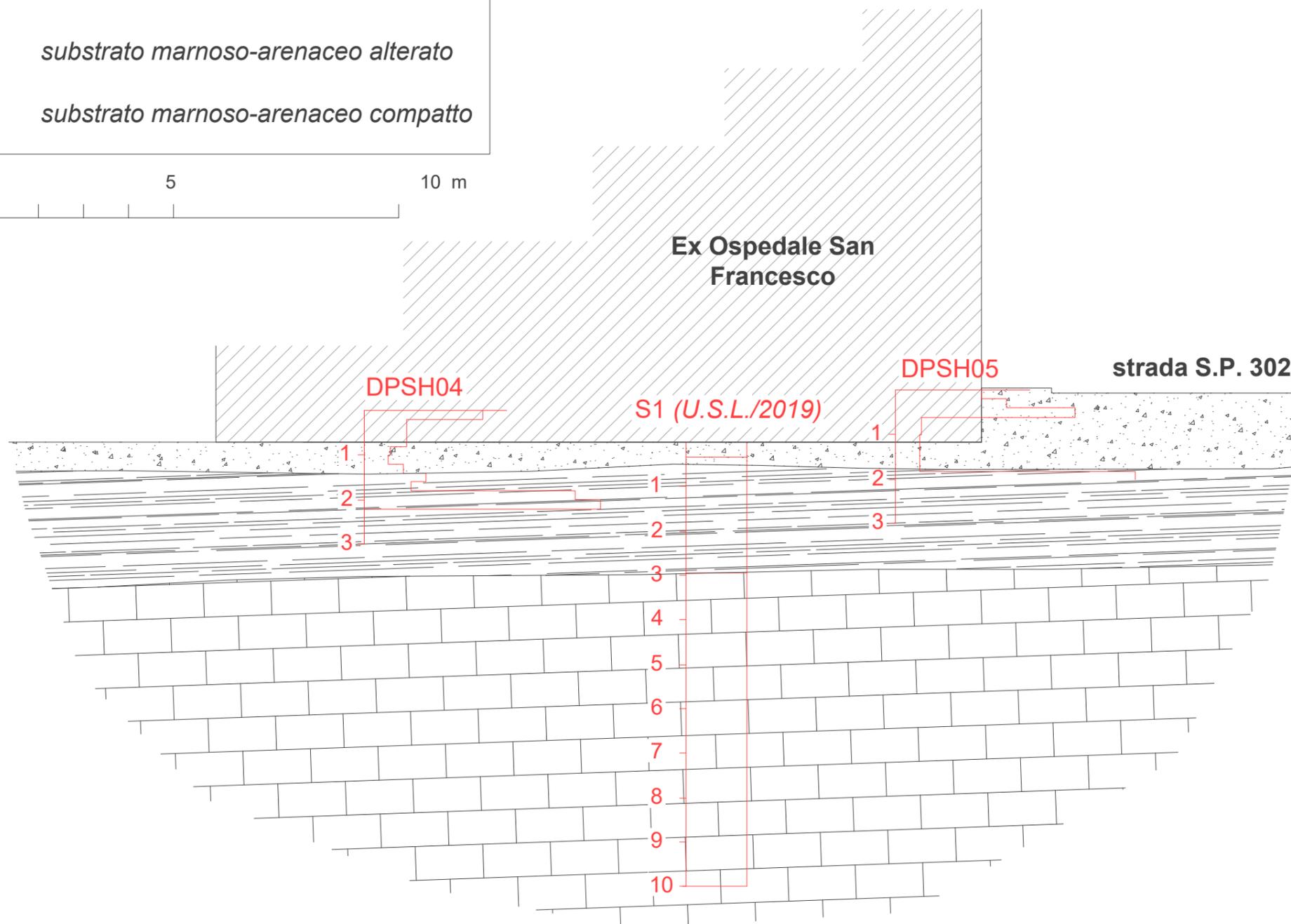
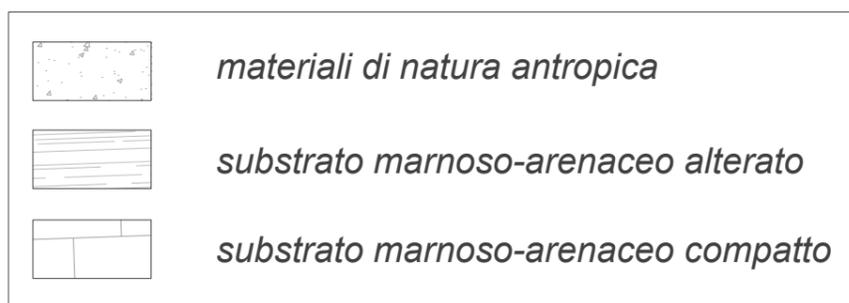
La prova DPSH05, eseguita ad una quota di 0,90 m alla base della rampa, ha rilevato la presenza dello strato bituminoso e di sottofondo della rampa per i primi 60 cm, seguito da terreni naturali di origine alluvionale con resistenza media all'avanzamento omogenea pari a 3 colpi ogni 20 cm, sovrastante il substrato roccioso compatto rinvenuto a -1,80 m di profondità.

Al termine dell'esecuzione delle prove non è stata rilevata la presenza di falda all'interno dei fori né di umidità rilevante sulle aste di perforazione.

Il MODELLO GEOLOGICO risultante per l'area di intervento è riportato nella figura seguente

NW

SE

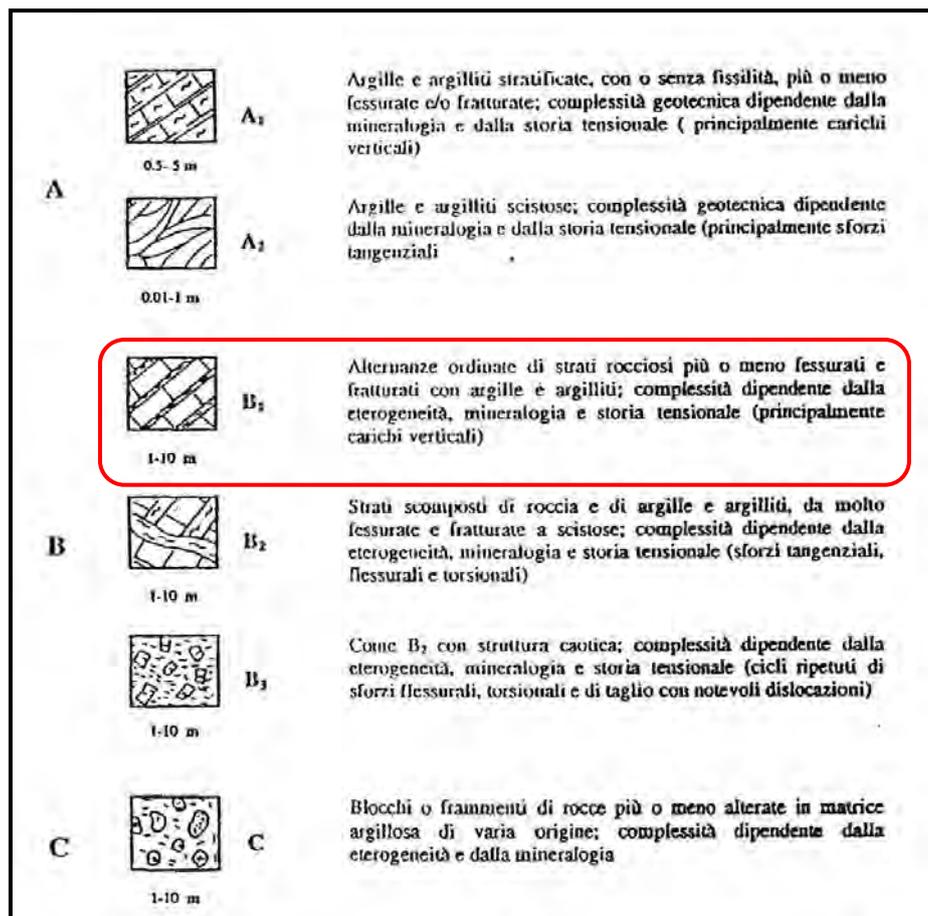


Modello geologico dell'area di intervento

6.1 Parametrizzazione geomeccanica dell'ammasso roccioso sulla base delle analisi disponibili in bibliografia

Per quanto riguarda i parametri di resistenza del substrato roccioso marnoso-arenaceo alterato, sono stati desunti dagli studi condotti da *Rossi (1983)* e *AGI (1985)* inerenti l'analisi con prove di laboratorio ed in situ di numerosi campioni della medesima formazione selezionando, a scopo cautelativo, i valori medi ottenuti da prove in situ di resistenza alla compressione e di taglio ortogonale alla stratificazione eseguite sulla superficie di contatto marna-arenaria.

Sulla base della classificazione proposta da *Esu (1977)* riguardo la complessità litologico-strutturale degli ammassi rocciosi, la *Formazione Marnoso-Arenacea* appartiene al tipo B1, corrispondente a "sequenze di strati ordinati di rocce resistenti e argille o argilliscisti più o meno fessurati e con giunti".



Classificazione degli ammassi rocciosi in base alla complessità litologico-strutturale (Esu, 1977).

Le caratteristiche meccaniche complessive di questo tipo di formazioni dipendono principalmente dal rapporto di spessore dei differenti litotipi presenti, dalle deformazioni tettoniche subite e dal grado di alterazione dei singoli litotipi.

Per quanto riguarda le caratteristiche geomeccaniche tipiche della F.ne Marnoso-Arenacea, si fa riferimento ai lavori reperibili in letteratura (*Maranini, 1991; Froidi, 1993; Simoni, 1994; Berti et al., 1994 e 1996*) al fine di paragonare i risultati delle analisi a ritroso con parametri misurabili "a priori".

Le discontinuità presenti nella *Formazione Marnoso-Arenacea* sono rappresentate generalmente dai piani di stratificazione e da due famiglie di giunti ad essi sub-ortogonali. I giunti sono ben evidenti nei livelli arenacei ed hanno lunghezze quasi sempre limitate allo spessore dello strato.

Nei livelli marnosi l'individuazione di precise famiglie di discontinuità è difficoltosa a causa dell'elevato grado di fratturazione e del notevole sviluppo dei processi di alterazione superficiale. In corrispondenza delle dislocazioni tettoniche maggiori spesso è presente una famiglia di giunti, visibili soprattutto all'interno dei letti arenacei, disposti a basso angolo rispetto alla stratificazione.

La spaziatura dei giunti dei livelli arenacei risulta piuttosto regolare, con valori tipici dell'ordine di 40-45 cm, mentre l'apertura degli stessi presenta valori fino a 3-5 cm, in affioramento, dove i fenomeni di detensionamento sono particolarmente attivi. Nei letti marnosi la spaziatura delle discontinuità è inferiore, con valori dell'ordine dei 10 cm. Il pattern di fratturazione risulta sostanzialmente differente da quello che si osserva nei letti arenacei ed è tipicamente rappresentato da un reticolato di discontinuità curve od ondulate tra loro intercorresse con sviluppo grossomodo parallelo ai piani di strato.

	X (cm)	UCS (Mpa)	JRC (1)	JRC (2)	RMR
Arenarie	40	40	14-18	8-10	64
Marne	10	-	-	0-2	47

Valori medi delle principali caratteristiche strutturali e geomeccaniche. X: spaziatura delle discontinuità; UCS: resistenza a compressione uniassiale delle pareti dei giunti; JRC: coeff. di rugosità dei piani di strato (1) e dei giunti (2); RMR: valore base dell'indice classificativo di Bieniawski.

I valori della resistenza a compressione uniassiale delle pareti dei giunti in arenaria, derivati dalle prove con Martello di *Shmidt* (40-60 MPa), risultano notevolmente inferiori a quelli ottenuti in laboratorio da prove di compressione monoassiale (UCS) e point load (*Rossi, 1983*). Queste ultime prove forniscono

infatti un valore medio di UCS pari a 155 MPa ed una deviazione standard piuttosto elevata (70 MPa), indicando che la resistenza a compressione dei livelli arenacei risulta notevolmente influenzata dall'alterazione, dal grado di microfratturazione, dalla granulometria e dal grado di cementazione.

I valori del coefficiente di rugosità (JRC) dei giunti in arenaria sono tipicamente medio-bassi a parte valori più elevati relativi ai piani di strato, caratterizzati dalla presenza di controimpronte di fondo. I piani di discontinuità nelle marne hanno rugosità praticamente assente (JRC compreso tra 0 e 2) ma, a differenza dei giunti in arenaria e dei piani di strato, si presentano marcatamente ondulati alla meso-scala.

La classificazione geomeccanica degli ammassi rocciosi litologicamente complessi presenta ancor oggi problemi irrisolti, soprattutto nel caso in cui si debba caratterizzare nel suo insieme un ammasso litologicamente complesso allo scopo di definirne le caratteristiche "medie"; minori incertezze si incontrano invece nel caso sia sufficiente caratterizzare separatamente i due litotipi costituenti l'ammasso, potendo in questo caso considerare l'ammasso roccioso come omogeneamente costituito dalle diverse litologie presenti. Quest'ultimo caso è stato considerato per la classificazione dell'ammasso marnoso-arenaceo in studio. Le superfici di scorrimento dei fenomeni franosi analizzati, infatti, si sviluppano all'interno dei letti marnosi o al contatto marna-arenaria, interessando solo marginalmente la porzione arenacea dell'ammasso; in prima approssimazione, pertanto, è possibile valutare le resistenze disponibili considerando la successione come omogenea e costituita dalla sole marne.

Le prove in sito (*Rossi, 1983; AGI, 1985*) mostrano valori dell'angolo di resistenza al taglio in tensioni efficaci variabili tra un minimo di 13° ed un massimo di 30°, mentre i valori di coesione, sempre in tensioni efficaci, oscillano in un campo più ristretto: i valori più bassi, dell'ordine di 100 kPa, sono stati ottenuti su piani di strato interessati da scorrimenti tettonici.

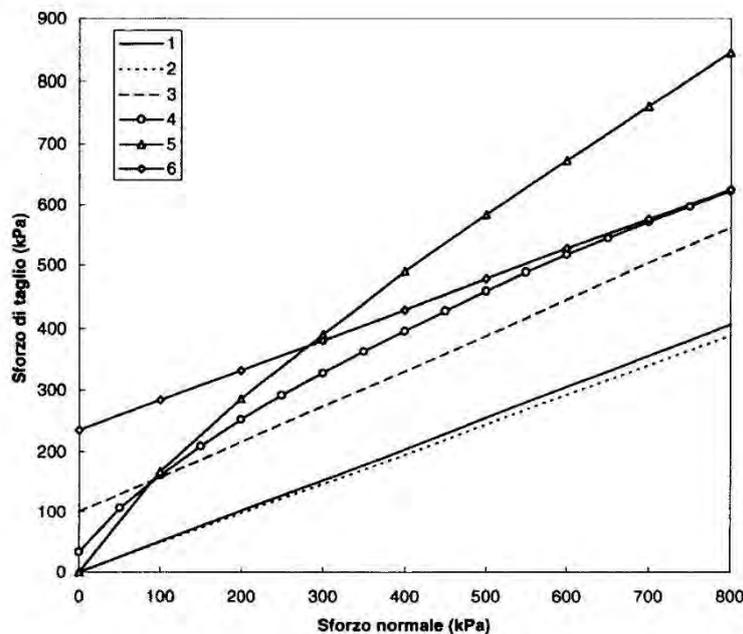
I parametri di resistenza al taglio delle marne sono stati determinati sia su campioni indisturbati (*Froldi, 1993*) sia su campioni rimaneggiati tenendo conto anche di altre esperienze di laboratorio (*Maranini, 1997*): si sono così ottenuti i valori di resistenza al taglio di picco che quelli di stato critico e residuo. Le prove sui campioni indisturbati mostrano una notevole variabilità dei valori dei parametri di resistenza al taglio in relazione all'angolo tra stratificazione e piano di taglio imposto in laboratorio: i valori più bassi dell'angolo di attrito ϕ' si ottengono con piani di taglio paralleli al piano di stratificazione.

	(1)		(2)		(3)		ϕ'_{fs}	ϕ'_r
	c'	ϕ'	c'	ϕ'	c'	ϕ'		
MARNA LABORATORIO	6.6	41	10.6	37	16.2	34	27-28	24-27
CONTATTO M-A Laboratorio In-situ					0.1	35		
					0.1-0.2	13-30		

Parametri di resistenza al taglio delle marne (intatte e rimaneggiate) e del contatto marna-arenaria ottenuti da prove in sito ed in laboratorio (dati di letteratura, riferimenti bibliografici nel testo). c' e ϕ' : coesione (Mpa) e angolo d'attrito ($^\circ$) da prove con angolo fra piano di taglio e stratificazione pari a 45° (1), 30° (2) e 0° (3); ϕ'_{fs} : angolo d'attrito al picco del rimaneggiato; ϕ'_r : angolo d'attrito residuo.

I valori di coesione risultano molto più elevati in tutti i casi considerati, mostrando così la rilevanza dell'orientazione del piano di taglio ed anche dell'embriciatura delle scaglie che caratterizzano i livelli marnosi.

Nella figura che segue è riportato infine un confronto fra gli involuipi di rottura determinati con prove in sito ed in laboratorio per le marne e per il contatto marna-arenaria e quelli derivati, sempre per le marne, dalla classificazione RMR e dal criterio di rottura di Hoek e Brown. E' inoltre riportato l'involuppo a rottura relativo al contatto marna-arenaria determinato sulla base del criterio empirico di Burton (1976) per un valore dell'angolo d'attrito di base pari a 27° ed un JRC di 14.



Involuppi di rottura determinati per la marna (1: resistenza al picco del rimaneggiato; 2: resistenza residua), per il contatto marna-arenaria (3: resistenza di picco da prove di taglio in sito; 5: dal criterio di rottura di Barton) e dell'ammasso marnoso (4: dalla classificazione RMR: criterio di rottura di Hoek e Brown; 6: dalla classificazione RMR: criterio di Mohr-Coulomb).

Come si vede dalla figura, trascurando la curvatura degli involucri a rottura di Mohr-Coulomb, Hoek e Brown e Burton, le resistenze al taglio di picco più basse si ottengono dai risultati delle prove in sito ed inoltre le caratteristiche di resistenza del contatto marna-arenaria risultano inferiori a quelle stimate per l'ammasso marnoso.

Modello geotecnico

Sulla base della trattazione sopra riportata (adottando un criterio fortemente conservativo) e con riferimento alla sezione stratigrafica elaborata, i parametri geotecnici che potranno essere utilizzati per l'elaborazione delle verifiche agli stati limite ultimi (SLU) e di esercizio (SLE) di tipo geotecnico (GEO) sono riportati nelle tabelle seguenti

Substrato roccioso marnoso-arenaceo alterato (da - 0,50 m a - 3,00 m da p.c.)

<i>Da studi condotti da Rossi (1983) e AGI (1985) inerenti l'analisi con prove di laboratorio ed in situ di numerosi campioni della medesima formazione.</i>	
<i>In particolare, a scopo cautelativo, sono stati scelti i valori medi ottenuti di angolo d'attrito al picco del rimaneggiato da prove di laboratorio su campioni marnosi, ed i valori minimi di coesione (ulteriormente ridotti) derivanti da prove in situ di taglio parallelo alla stratificazione eseguite sulla superficie di contatto marna-arenaria</i>	
Peso di volume Peso di volume saturo	$\gamma_k = 2,10 \text{ t/m}^3$ $\gamma' = 2,20 \text{ t/m}^3$
Resistenza al taglio in condizioni drenate	$\phi'_k = 27^\circ$ $C'_k = 0,50 \text{ kg/cm}^2$

Substrato roccioso marnoso-arenaceo compatto (da - 3,00 m da p.c.)

<i>Da studi condotti da Rossi (1983) e AGI (1985) inerenti l'analisi con prove di laboratorio ed in situ di numerosi campioni della medesima formazione.</i>	
<i>In particolare, a scopo cautelativo, sono stati scelti i valori medi ottenuti di angolo d'attrito e di coesione derivanti da prove in situ di taglio parallelo alla stratificazione eseguite sulla superficie di contatto marna-arenaria</i>	
Peso di volume Peso di volume saturo	$\gamma_k = 2,20 \text{ t/m}^3$ $\gamma' = 2,30 \text{ t/m}^3$
Resistenza al taglio in condizioni drenate	$\phi'_k = 30^\circ$ $C'_k = 1,00 \text{ kg/cm}^2$

7. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Nel presente studio geologico è stato definito l'assetto stratigrafico di dettaglio, nonché la parametrizzazione geomeccanica dei terreni rinvenuti in corrispondenza dell'area di sedime del nuovo blocco edilizio in progetto in adiacenza al fabbricato dell'*Ex-Ospedale San Francesco* in Comune di Marradi (FI).

A livello geologico e geomorfologico generale, l'area in esame è collocata nell'area di fondovalle del Fiume Lamone, in destra idrografica del medesimo, caratterizzata da buone condizioni di stabilità generale e dall'assenza di problematiche connesse al rischio idraulico.

Il sondaggio a carotaggio continuo spinto fino alla profondità di 10 m di profondità dell'attuale piano di campagna, ha evidenziato la presenza superficiale del substrato roccioso in posto al di sotto di un limitato spessore di riporto antropico costituente l'attuale piazzale di cantiere.

Tale substrato è costituito dalla *Formazione Marnoso-Arenacea - Membro di Collina (FMA5)*, caratterizzata da un'alternanza ritmica di torbiditi arenaceo-pelitiche arcose ed in minor misura calcaree alternate ad emipelagiti con $1/5 < A/P < 1/3$.

L'osservazione delle carote estratte ha rilevato un'evidente alterazione superficiale per detensionamento, con conseguente elevata fratturazione media entro i primi 3 m di profondità, seguita dalla presenza di roccia a minor fratturazione media strutturale.

Si sottolinea ad ogni modo che le caratteristiche complessive dell'ammasso campionato garantiscono buoni parametri di resistenza al taglio (con particolare riguardo al carico limite ed alla trascurabile compressibilità) già a partire dai livelli più superficiali.

Le misurazioni effettuate all'interno del foro di sondaggio non hanno rilevato la presenza di falda idrica entro i primi 10 m di profondità, in pieno accordo con le caratteristiche locali di fatto prive di emergenze idriche superficiali o presenza di pozzi che facciano presupporre l'innescò di una circolazione idrica ipogea sub-superficiale, o comunque potenzialmente interferente con le strutture di fondazione dei manufatti edilizi.

La sofisticata indagine sismica di tipo *down-hole* eseguita all'interno del foro di sondaggio ha infine confermato la presenza di un livello di detensionamento entro i primi metri di profondità, con velocità delle onde sismiche di taglio (V_s) medio-basse (comprese tra 256 m/s e 567 m/s) fino a – 3 m, seguita

da un rapido incremento nella trasmissione dei segnali sismici all'interno del *bedrock* caratterizzato da V_s rapidamente crescente a partire da 898 m/s fino a 1.689 m/s a 8 m di profondità.

In tale contesto, l'Analisi di Risposta Simica Locale elaborata, fornisce una definizione delle sollecitazioni sismiche in superficie decisamente più realistica e conservativa rispetto a quella derivante dall'approccio semplificato delle Norme Tecniche per le Costruzioni 2018, in assenza di amplificazione (categoria di sottosuolo di tipo A e coefficiente topografico T1).

Marradi, 23 gennaio 2019

Dott. Geol.

Sandro Bellini

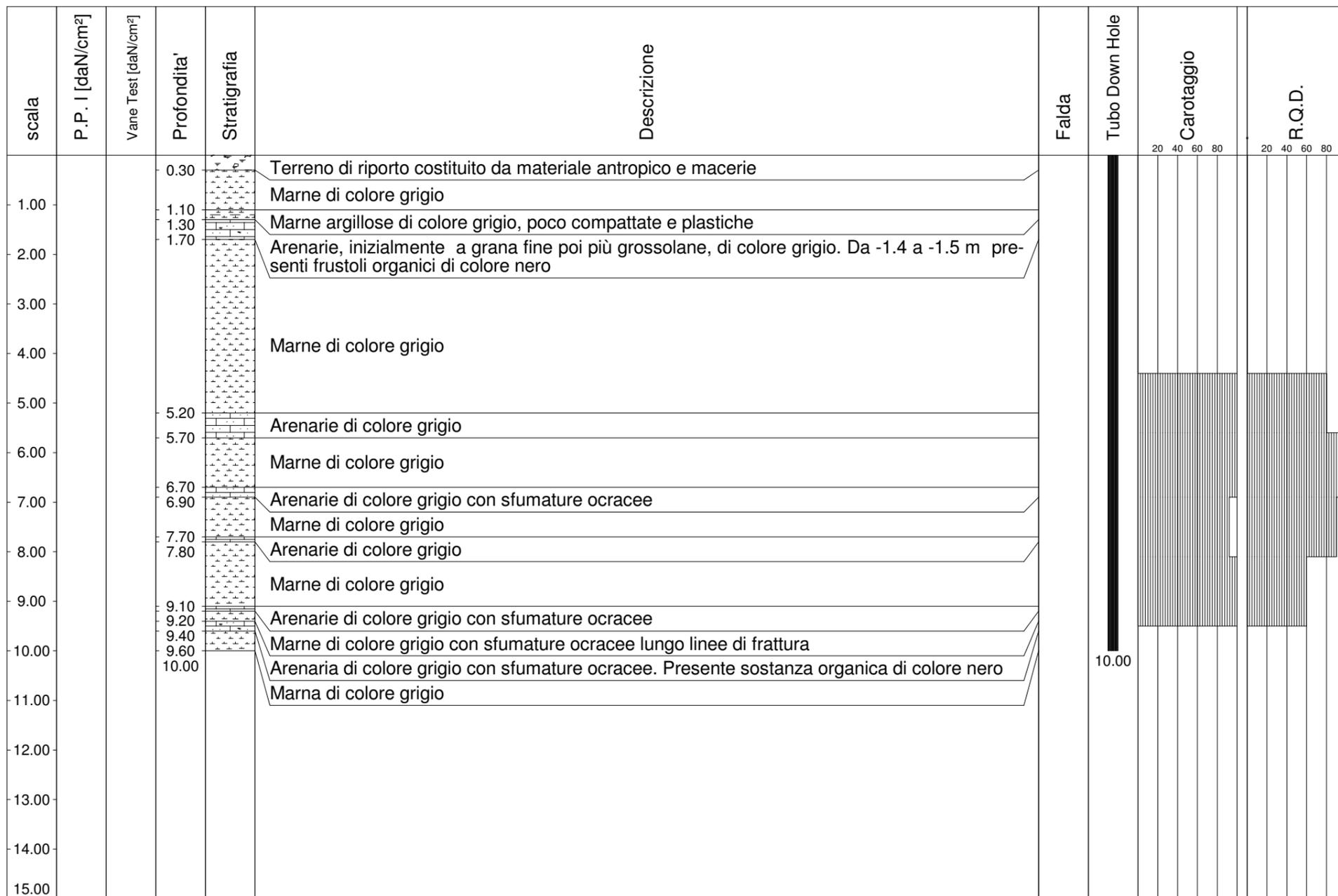


SONDAGGIO A CAROTAGGIO CONTINUO



SOGEO S.R.L.
 INDAGINI GEOGNOSTICHE ED AMBIENTALI
 Via S. Potito n. 43 - 48022 S. Potito di LUGO (RA)
 Tel. 054522042 - Fax 054534443 - E-mail: sogeo@sogeo-srl.com
 Concessione Ministero Infrastrutture e Trasporti - Settore C
 Decr. n. 005754 del 05/07/2010

COMMITTENTE: Dott. Geol. Bellini Sandro	SOND.N°: S.1	PROF.(m): 10.00
CANTIERE: Via Dino Campana n.2 - Marradi (FI)	QUOTA (m): p.d.c.	
PERFORATRICE: Puntel PX609	LATITUDINE (°):	
METODO PERFORAZ.: Carotaggio continuo	LONGITUDINE (°):	
RIVESTIMENTO: Ø 127 mm	ATTREZZO PERFORAZ.: Carotiere semplice e doppio Ø 101 mm (*)	DATA INIZ-FINE: 10/01/2019-11/01/2019
PIEZOMETRO: -----		SCALA: 1:100
RIF.PREV.N°: 240-18	CERTIFICATO N°: C19-003-1	RAPPORTO N°: -----
		DATA DI EMISSIONE: 14/01/2019
		PAGINA N°: 1 di 1



Note:
 (*) Da 0.00 a -4.40 m perforazione mediante carotiere semplice.
 Da -4.40 a -9.50 m perforazione mediante doppio carotiere.

Lo Sperimentatore

Il Direttore del Laboratorio



SOGEO[®] S.R.L.
 INDAGINI GEOGNOSTICHE ED AMBIENTALI
 Via S. Potito n. 43 - 48022 S. Potito di Lugo (RA)
 Tel. 054522042 - Fax 054534443 - E-mail: sogeo@sogeo-srl.com

COMMITTENTE: Dott. Bellini Sandro

RIF. N° : 240-18

LOCALITA': Via Dino Campana, 2 - Marradi (FI)

ALLEGATO A: C19-003-1

SONDAGGIO N: S.1

DATA: 10/01/2019



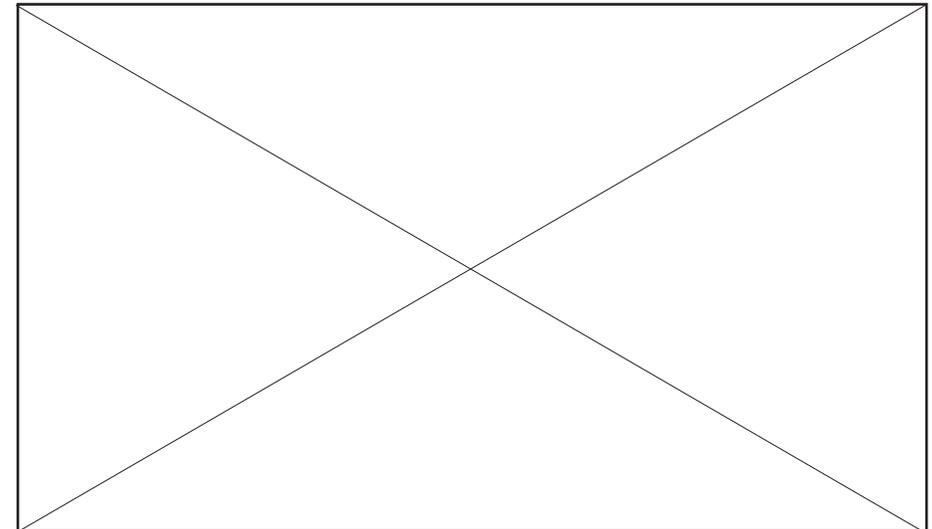
Cassa 2 da -5.0 a -10.0 m



Posizionamento



Cassa 1 da 0.0 a -5.0 m



Cassa 3 da -10.0 a -15.0 m

PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE SUPER-PESANTI (DPSH)

PENETROMETRO DINAMICO IN USO : **TG 63-100 EML.C**

Classificazione ISSMFE (1988) dei penetrometri dinamici		
TIPO	Sigla riferimento	Peso Massa Battente M (kg)
Leggero	DPL (Light)	$M \leq 10$
Medio	DPM (Medium)	$10 < M < 40$
Pesante	DPH (Heavy)	$40 \leq M < 60$
Super pesante	DPSH (Super Heavy)	$M \geq 60$

CARATTERISTICHE TECNICHE : TG 63-100 EML.C

PESO MASSA BATTENTE	M = 63,50 kg
ALTEZZA CADUTA LIBERA	H = 0,75 m
PESO SISTEMA BATTUTA	Ms = 0,63 kg
DIAMETRO PUNTA CONICA	D = 51,00 mm
AREA BASE PUNTA CONICA	A = 20,43 cm ²
ANGOLO APERTURA PUNTA	$\alpha = 60^\circ$
LUNGHEZZA DELLE ASTE	La = 1,00 m
PESO ASTE PER METRO	Ma = 6,31 kg
PROF. GIUNZIONE 1 ^a ASTA	P1 = 0,00 m
AVANZAMENTO PUNTA	$\delta = 0,20$ m
NUMERO DI COLPI PUNTA	N = N(20) \Rightarrow Relativo ad un avanzamento di 20 cm
RIVESTIMENTO / FANGHI	NO
ENERGIA SPECIFICA x COLPO	Q = (MH)/(A δ) = 11,66 kg/cm ² (prova SPT : Qspt = 7.83 kg/cm ²)
COEFF.TEORICO DI ENERGIA	$\beta_t = Q/Q_{spt} = 1,489$ (teoricamente : Nspt = β_t N)

Valutazione resistenza dinamica alla punta Rpd [funzione del numero di colpi N] (FORMULA OLANDESE) :

$$R_{pd} = M^2 H / [A e (M+P)] = M^2 H N / [A \delta (M+P)]$$

Rpd = resistenza dinamica punta [area A]
e = infissione per colpo = δ / N

M = peso massa battente (altezza caduta H)
P = peso totale aste e sistema battuta

UNITA' di MISURA (conversioni)

1 kg/cm² = 0.098067 MPa
1 MPa = 1 MN/m² = 10.197 kg/cm²
1 bar = 1.0197 kg/cm² = 0.1 MPa
1 kN = 0.001 MN = 101.97 kg

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA TABELLE VALORI DI RESISTENZA

n° 4

- indagine : Dott. Geol. Sandro Bellini
 - cantiere : Ospedale Marradi
 - località : Marradi (FI)
 - note :

- data : 17/07/2018
 - quota inizio : piano stradale
 - prof. falda : Falda non rilevata
 - pagina : 1

Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm ²)	N(colpi r)	asta	Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm ²)	N(colpi r)	asta
0,00 - 0,20	14	135,0	----	2	1,20 - 1,40	5	44,6	----	3
0,20 - 0,40	5	48,2	----	2	1,40 - 1,60	8	71,3	----	3
0,40 - 0,60	5	48,2	----	2	1,60 - 1,80	6	53,5	----	3
0,60 - 0,80	5	48,2	----	2	1,80 - 2,00	27	240,6	----	3
0,80 - 1,00	3	28,9	----	2	2,00 - 2,20	50	414,1	----	4
1,00 - 1,20	3	26,7	----	3					

- PENETROMETRO DINAMICO tipo : **TG 63-100 EML.C**

- M (massa battente)= **63,50** kg - H (altezza caduta)= **0,75** m - A (area punta)= **20,43** cm² - D(diam. punta)= **51,00** mm

- Numero Colpi Punta N = N(**20**) [δ = 20 cm]

- Uso rivestimento / fanghi iniezione : **NO**

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA TABELLE VALORI DI RESISTENZA

n° 5

- indagine : Dott. Geol. Sandro Bellini
 - cantiere : Ospedale Marradi
 - località : Marradi (FI)
 - note :

- data : 17/07/2018
 - quota inizio : piano stradale
 - prof. falda : Falda non rilevata
 - pagina : 1

Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm ²)	N(colpi r)	asta	Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm ²)	N(colpi r)	asta
0,00 - 0,20	10	96,4	----	2	1,00 - 1,20	3	26,7	----	3
0,20 - 0,40	13	125,4	----	2	1,20 - 1,40	3	26,7	----	3
0,40 - 0,60	21	202,5	----	2	1,40 - 1,60	3	26,7	----	3
0,60 - 0,80	3	28,9	----	2	1,60 - 1,80	3	26,7	----	3
0,80 - 1,00	3	28,9	----	2	1,80 - 2,00	60	534,7	----	3

- PENETROMETRO DINAMICO tipo : **TG 63-100 EML.C**

- M (massa battente)= **63,50** kg - H (altezza caduta)= **0,75** m - A (area punta)= **20,43** cm² - D(diam. punta)= **51,00** mm

- Numero Colpi Punta N = N(**20**) [δ = 20 cm]

- Uso rivestimento / fanghi iniezione : **NO**

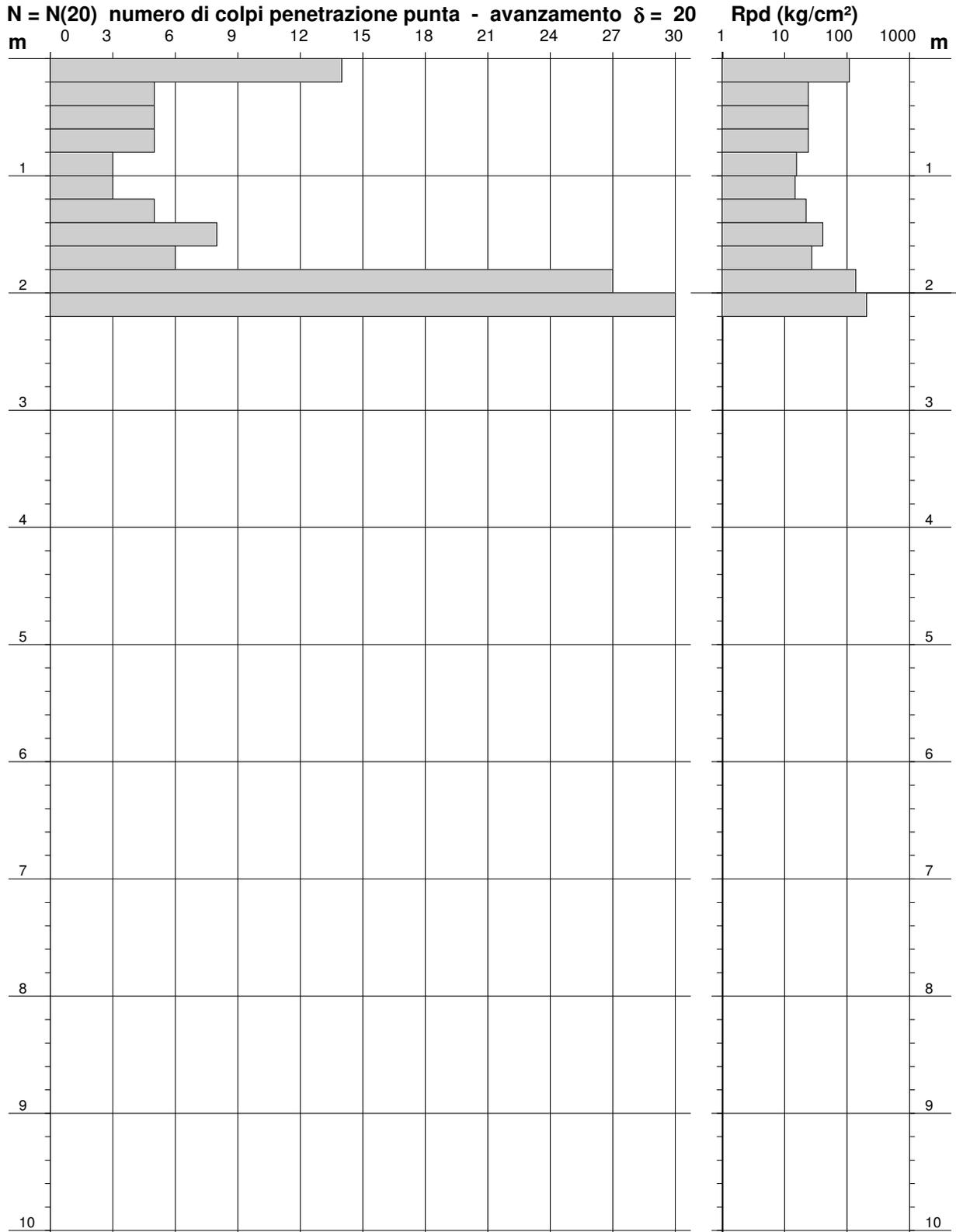
**PROVA PENETROMETRICA DINAMICA
DIAGRAMMA NUMERO COLPI PUNTA - Rpd**

n° 4

Scala 1: 50

- indagine : Dott. Geol. Sandro Bellini
- cantiere : Ospedale Marradi
- località : Marradi (FI)

- data : 17/07/2018
- quota inizio : piano stradale
- prof. falda : Falda non rilevata



- PENETROMETRO DINAMICO tipo : **TG 63-100 EML.C**
 - M (massa battente)= **63,50 kg** - H (altezza caduta)= **0,75 m** - A (area punta)= **20,43 cm²** - D(diam. punta)= **51,00 mm**
 - Numero Colpi Punta N = N(20) [$\delta = 20$ cm] - Uso rivestimento / fanghi iniezione : **NO**

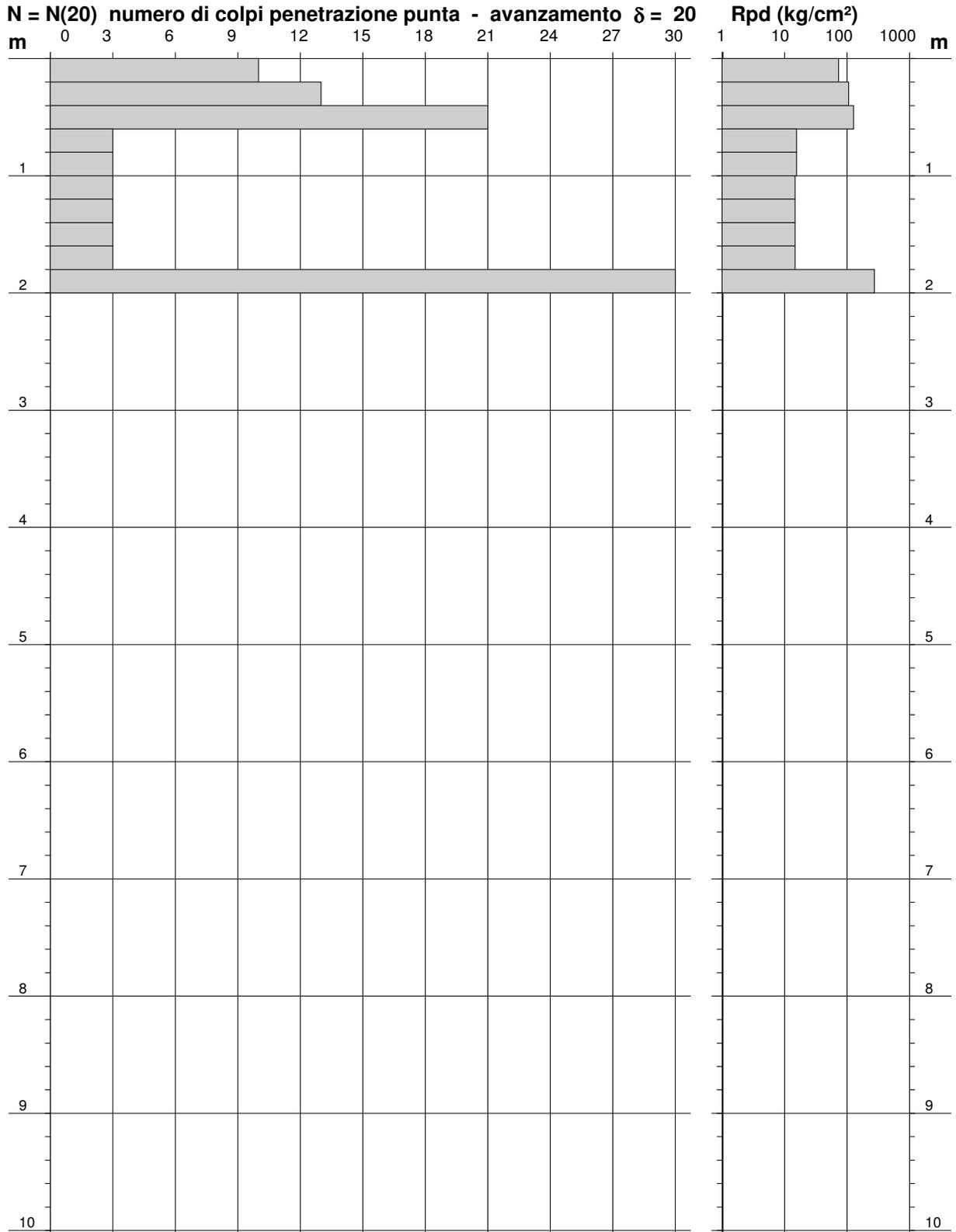
PROVA PENETROMETRICA DINAMICA
DIAGRAMMA NUMERO COLPI PUNTA - Rpd

n° 5

Scala 1: 50

- indagine : Dott. Geol. Sandro Bellini
 - cantiere : Ospedale Marradi
 - località : Marradi (FI)

- data : 17/07/2018
 - quota inizio : piano stradale
 - prof. falda : Falda non rilevata



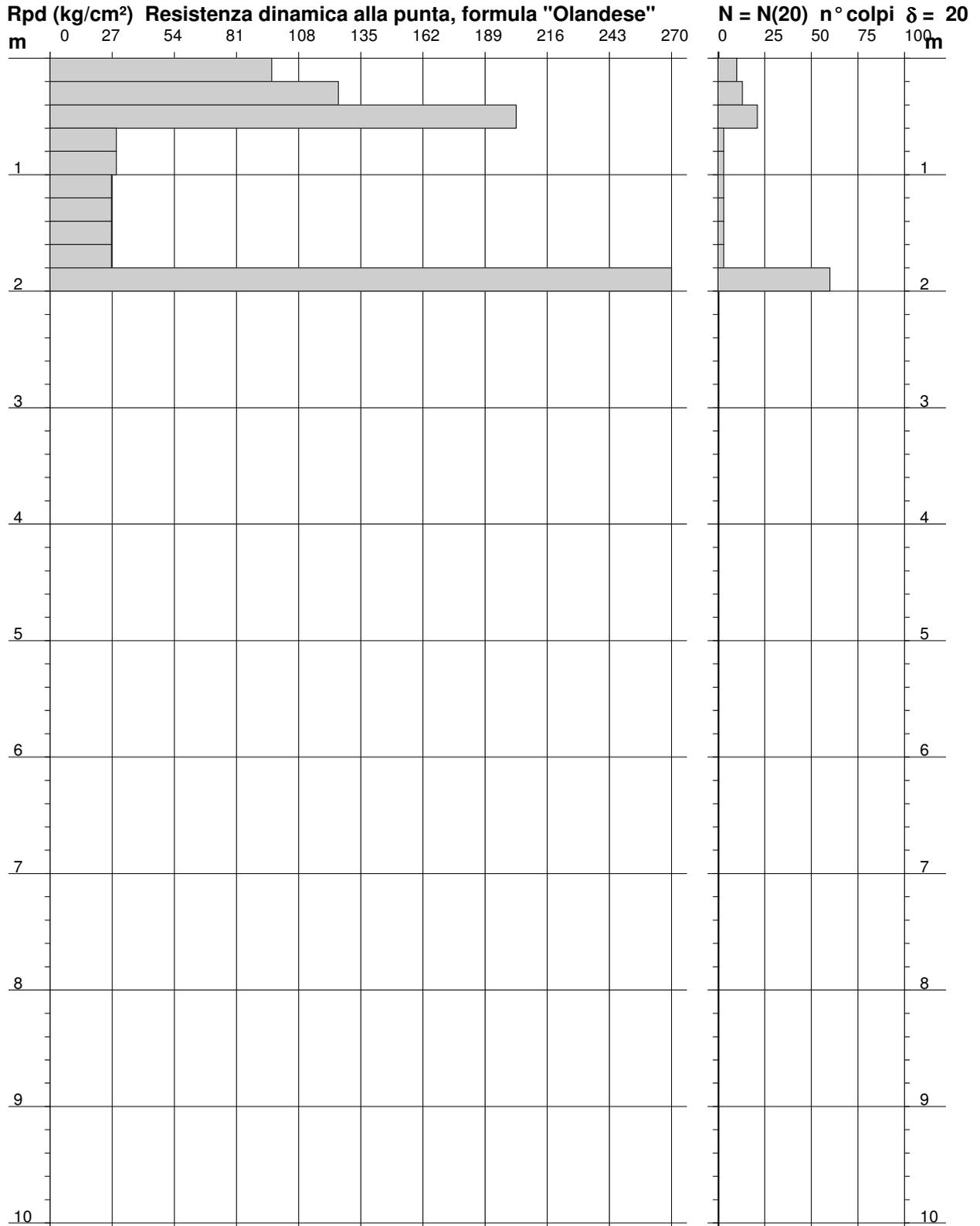
- PENETROMETRO DINAMICO tipo : **TG 63-100 EML.C**
 - M (massa battente)= **63,50 kg** - H (altezza caduta)= **0,75 m** - A (area punta)= **20,43 cm²** - D(diam. punta)= **51,00 mm**
 - Numero Colpi Punta N = N(20) [$\delta = 20$ cm] - Uso rivestimento / fanghi iniezione : **NO**

**PROVA PENETROMETRICA DINAMICA
DIAGRAMMA RESISTENZA DINAMICA PUNTA**

n° 5
Scala 1: 50

- indagine : Dott. Geol. Sandro Bellini
- cantiere : Ospedale Marradi
- località : Marradi (FI)

- data : 17/07/2018
- quota inizio : piano stradale
- prof. falda : Falda non rilevata



- PENETROMETRO DINAMICO tipo : **TG 63-100 EML.C**
 - M (massa battente)= **63,50 kg** - H (altezza caduta)= **0,75 m** - A (area punta)= **20,43 cm²** - D(diam. punta)= **51,00 mm**
 - Numero Colpi Punta N = N(20) [$\delta = 20$ cm] - Uso rivestimento / fanghi iniezione : **NO**

INDAGINE SISMICA DOWN-HOLE

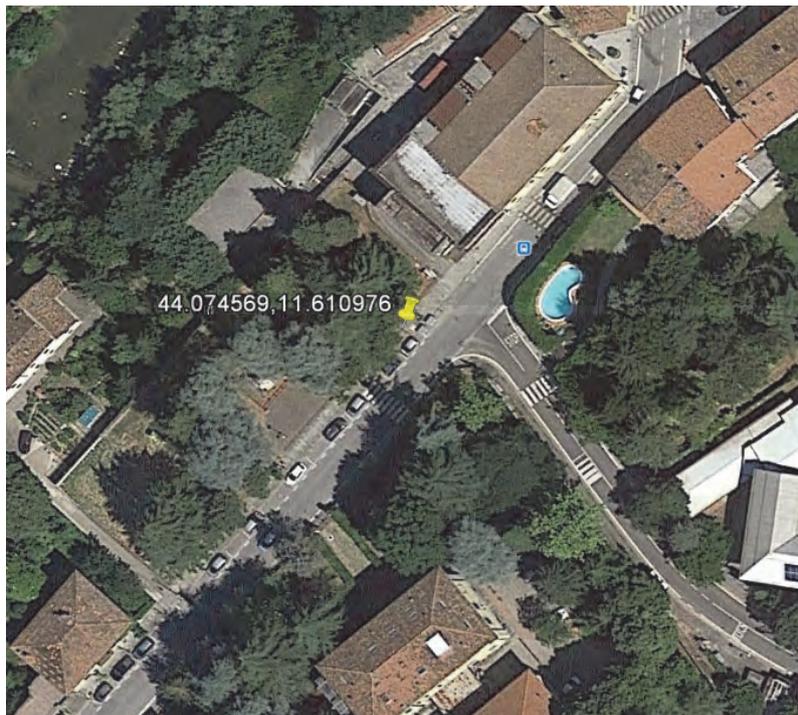


IND.A.G.O. s.n.c.
Indagini e Opere Ambientali e Geologiche
via Balzan, 1 - 45100 Rovigo - tel. 0425-25185
www.indago-rovigo.it

RAPPORTO TECNICO:

OGGETTO: INDAGINE DOWN HOLE PRESSO UN SITO IN COMUNE DI MARRADI (FI)

REGIONE: TOSCANA **COMUNE:** MARRADI (FI)



AUTORI:	COMMITTENTE:	DATA:
Dott. Geol. Enrico Farinatti	Dott. Geol. Sandro Bellini	Gennaio 2019

Sommario

1. PREMESSA.....	3
2. Cenni sul metodo Down-Hole (DH).....	3
3. Elaborazioni.....	5
3. Risultati.....	7
ALLEGATI	9

1. PREMESSA

Lo scrivente, su incarico del Dott. Geol. Bellini Sandro, ha eseguito un'indagine geofisica secondo la metodologia Down – Hole, in corrispondenza di 1 foro di sondaggio attrezzato con tubo in PVC profondo 9 m da p.c. (8 m utili per la prova) in via Dino Campana n.2 a Marradi (FI).

2. Cenni sul metodo Down-Hole (DH)

Il metodo utilizzato consiste nella misura del tempo necessario per le onde P e S di spostarsi tra una sorgente sismica, posta in superficie in prossimità della bocca foro, e i ricevitori, posti all'interno del foro di sondaggio (fig. 1).

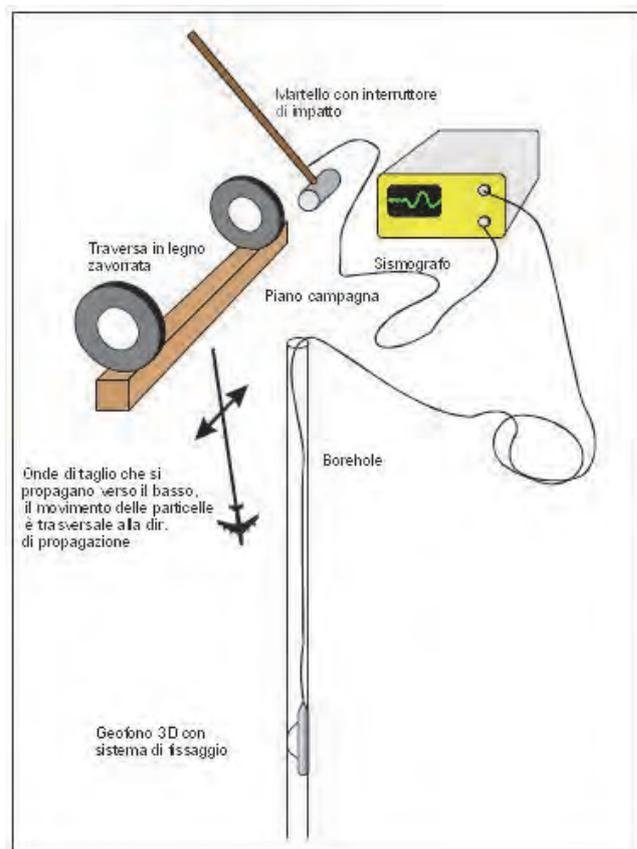


Fig. 1: configurazione utilizzata per le misure effettuate relativamente alle onde di taglio.

Le componenti indispensabili per una misura DH accurata consistono in:

- una sorgente meccanica (massa battente) in grado di generare onde elastiche ricche di energia e direzionali;

- un geofono tridimensionale (o a più componenti), con appropriata risposta in frequenza, dotato di un sistema di ancoraggio alle pareti del tubo-foro;
- un sistema di controllo dell'orientazione dei geofoni in foro (bussola elettronica) ovvero l'utilizzo di un geofono da foro con diversi sensori posti orizzontalmente (nella fattispecie si è utilizzato un geofono con 4 componenti orizzontali e 1 verticale);
- un sismografo multicanale, in grado di registrare le forme d'onda in modo digitale su memoria di massa;
- un trasduttore (trigger) alloggiato nella sorgente necessario per l'identificazione dell'istante di partenza della sollecitazione dinamica mediante massa battente.

Per le misure in questione è stato utilizzato un sismografo a 48 canali mod. ABEM Terraloc Pro a 24 bits con scarico dei dati direttamente su memoria interna. Di seguito si riportano le tabelle con il dettaglio dell'hardware e del software utilizzato:

n°	Strumentazione per le prove Down-Hole
1	Sismografo ABEM "Terraloc Pro" 48 ch - 24 bit ABEM Instrument - Sweden
1	Cavo di collegamento per il geofono a 5 componenti
1	Geofono 5D da foro GEOTOMOGRAPHIE mod. bgk5, a frequenza propria di 10 Hz, munito di ancoraggio pneumatico alla parete del foro
1	Mazza di battuta
1	Hammer switch per dispositivo time-break + geofoni verticali
	Cavi e prolunghe per collegamenti vari

Software per interpretazione dati sismici		
Seis TW	ABEM - Sweden	Sistema di gestione del sismografo Terraloc Pro, acquisizione e registrazione dei dati sismici
Geogiga Front-End	Geogiga Corp. - Canada	Editing dati sismici
GeoTomographie Sort & CO	Geotomographie - Germania	Sismica in foro
Software per editing		
Word 2007	Microsoft	Editor di testi
Excel 2007	Microsoft	Foglio di calcolo
ProgeCad 2012	Intellicad	Editing disegni

In corrispondenza della verticale indagata sono state effettuate separatamente energizzazioni e registrazioni per onde P e per onde S con spaziatura di 1 m tra misure successive.

In particolare, per la generazione delle onde S è stata utilizzata la configurazione riportata anche in fig. 1 secondo il metodo del “plus-minus”, che consiste nella energizzazione a polarità invertita degli impulsi generati con le battute sul trave in legno per la generazione di onde SH, in modo tale da mettere in evidenza le onde S rispetto alle P (che al contrario restano polarizzate nello stesso modo), sovrapponendo le registrazioni ottenute (All. 1). In pratica, per ogni acquisizione delle onde S sono state operate 2 battute agli estremi opposti di un trave in legno, opportunamente zavorrato, mediante massa battente da 10 kg.

In corrispondenza di ogni livello di misura si è provveduto a bloccare il geofono 5D alle pareti del foro, accertandosi che non vi fossero slittamenti.

I dati acquisiti in campagna sono stati quindi elaborati e di ogni foro vengono fornite due elaborazioni distinte: le curve tempi/profondità e le velocità di ogni intervallo.



Fig. 2: sistema di ancoraggio alle pareti del foro

3. Elaborazioni

In fase di acquisizione sono stati utilizzati i seguenti parametri:

- finestra di registrazione 164 ms
- tempo (frequenza) di campionamento 0.02 ms (50000 Hz).

Per poter interpretare le misure in modo adeguato, occorre prima di tutto correggere i tempi di tragitto (t) misurati lungo i percorsi sorgente-ricevitore per tenere conto dell'inclinazione del percorso delle onde, dal momento che il punto di battuta non coincide con il ricevitore (offset utilizzato = 2 m). Se d è la distanza della sorgente dall'asse, r la distanza tra la sorgente e il geofono 5D, z la profondità di misura è possibile ottenere i tempi corretti (t_{corr}) mediante la seguente formula:

$$t_{\text{corr}} = z / r \times t$$

Calcolati i tempi corretti sia per le onde P che per le onde S si realizza il grafico tempi vs profondità in modo che la velocità media delle onde sismiche in strati omogenei di terreno è rappresentata dall'inclinazione dei segmenti di retta lungo i quali si allineano i dati sperimentali (vedere grafici allegati).

Il metodo delle velocità di intervallo consente di calcolare le velocità sismiche in corrispondenza di ogni intervallo di misura e quindi, nel presente caso, per ogni metro di profondità. Questo metodo consente di visualizzare puntualmente l'andamento delle velocità e quindi la presenza di livelli particolarmente "veloci" o "lenti".

Le velocità di intervallo vengono calcolate con l'espressione:

$$V_{p,s} = (r_2 - r_1) / (t_{2corr} - t_{1corr})$$

Unico svantaggio di questo metodo è che non tiene conto dei casi in cui $t_2 < t_1$, inoltre nell'interpretazione si assume che i percorsi tra il punto di energizzazione e il punto di acquisizione siano rettilinei e non subiscano rifrazioni: questo porta talvolta a errori nella stima dei valori del coefficiente di Poisson (così come di altri parametri elastici e delle velocità stesse).

Per ogni livello sono poi stati calcolati i seguenti parametri:

Peso di Volume $\gamma_{din} = 0.51 \times V_p^{0.19}$ (V_p in m/s e γ_{din} t/mc)

Coefficiente di Poisson $\nu = [0.5 \times (V_p/V_s)^2 - 1] / [(V_p/V_s)^2 - 1]$

Modulo di taglio $G = \rho V_s^2$

Modulo di Young $E = 2G(1 + \nu)$

Costante di Lamè $\lambda = (\nu \times E) / [(1 + \nu) \times (1 - 2\nu)]$

Modulo di Volume (Bulk) $K = \lambda \times (2/3G)$.

In particolare, Il coefficiente di Poisson dinamico è stato calcolato a partire dalla velocità delle onde longitudinali V_p e di taglio V_s , poiché tra i moduli elastodinamici è l'unico che non richiede la conoscenza della densità per la sua determinazione.

In teoria è considerato stress indipendente e pertanto, nei vari campi di sforzo-deformazioni può assumere valori diversi (il campo di deformazioni oggetto di indagine geofisica è di circa 10^{-6}).

In questo campo di deformazione il limite minimo non è rappresentato dal valore di 0.25 tipico di corpi perfettamente elastici, ma può assumere anche valori negativi, come nel caso di sedimenti incoerenti, saturi in aria in cui la disposizione dei granuli è a porosità maggiore di quella esagonale (cosa che in alcuni livelli si verifica nella presente prova).

In generale i valori di questo coefficiente varia tra 0.25 e 0.33, ma nei mezzi porosi il campo di variazione è molto più ampio (anche fino a 0.5).

I valori più bassi, in natura, si registrano per litotipi ad alta porosità, sottoposti a bassa pressione litostatica e gas saturati; in alcuni sedimenti incoerenti e saturi.

In sostanza la procedura seguita in fase di elaborazione è la seguente:

- 1) suddivisione e ordinamento dei segnali registrati ad ogni livello per ogni canale in senso decrescente di profondità onde fornire il dato in forma aggregata come da specifiche tecniche, mediante software "Sort" (Geotomographie);
- 2) selezione dei segnali migliori relativamente alle onde SH: per ogni livello misurato si hanno a disposizione 4 registrazioni provenienti da geofoni orizzontali, delle quali è stata scelta sempre quella con ampiezza maggiore (meglio orientata rispetto al punto di energizzazione);
- 3) aggregazione dei segnali così selezionati in un unico file (operazione eseguita sia per le onde S con polarizzazione positiva che negativa, sia per le onde P) mediante software Geogiga FrontEnd;
- 4) analisi dei dati e picking, previo plottaggio sovrapposto delle onde S a diversa polarità (vedere allegato) mediante software "CO" (Cross Over) della Geotomographie;
- 5) calcolo delle velocità registrate, previa correzione per l'offset del punto di energizzazione, e dei principali moduli dinamici.

Le tabelle e i grafici allegati riguardano comunque tutte le registrazioni effettuate.

3. Risultati

La colonna utile indagata è di 8 m. In allegato 1 sono riportati i tracciati relativi a onde P e onde S, la tabella dei parametri sismici, il grafico con le curve tempi-profondità e quello degli intervalli di velocità per ciascun livello indagato.

Dal punto di vista sismostratigrafico, il grafico tempi-profondità indica che il terreno può essere sostanzialmente suddiviso in 2 layers principali: il primo confinato nei primi 2 m da p.c, contraddistinto da velocità medie di V_p di circa 1050 m/s e V_s di circa 377 m/s, valori nella norma in riferimento al contesto stratigrafico (riporto, marne argillose molto alterate). Dai 2m da p.c. fino a fine sondaggio, si registra un aumento di V_p medio

(3000m/s), e di Vs medio (1200m/s). Da questa profondità fino a fine foro il sondaggio rileva la presenza di un'alternanza tra marne ed arenarie compatte.

Rovigo, Gennaio 2019

Dott. Geol. Enrico Farinatti

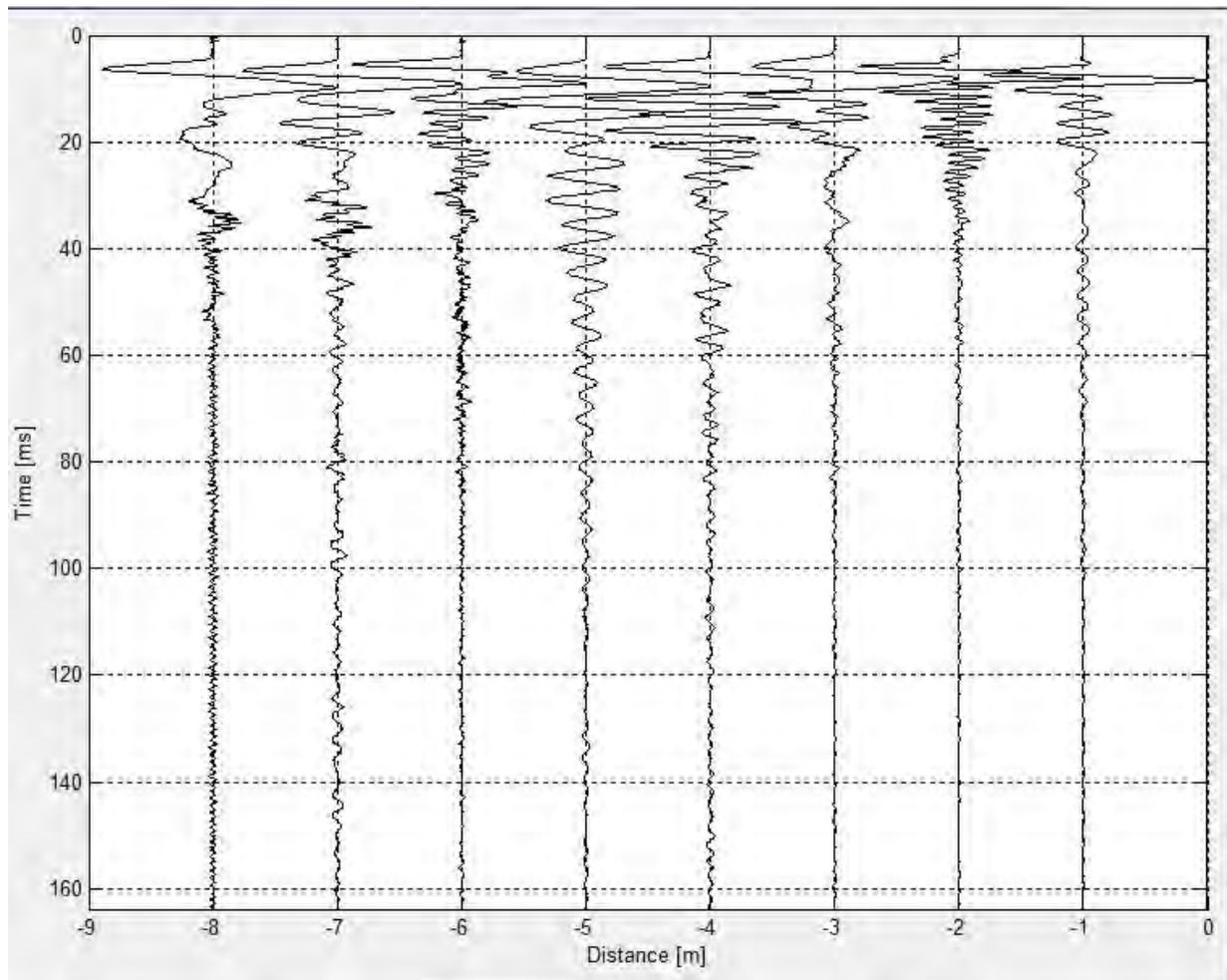
IND.A.G.O. s.n.c.
di Merola - Farinatti & Co.
Enrico Farinatti

ALLEGATI

ALLEGATO 1

Indagine Down Hole

TRACCIATO ONDE P



TRACCIATO ONDE S (Plus-Minus)

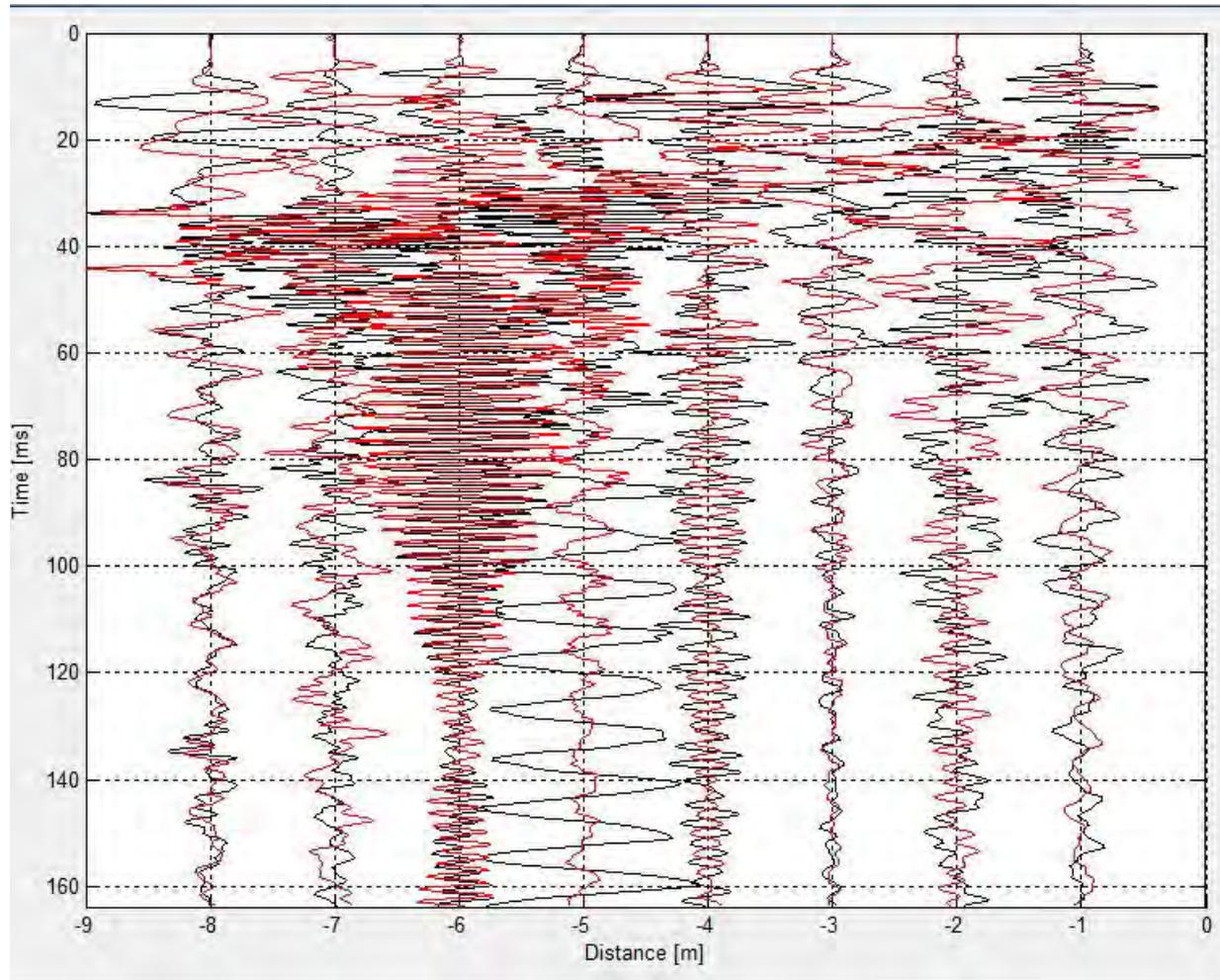


TABELLA PARAMETRI SISMICI

Prof. (m)	Vp (m/s)	Vs (m/s)	Vp/Vs	Densità (t/mc)	Poisson	G (MPa)	E (MPa)	Lamè	Bulk
-1,00	847	334	2,53	1,84	0,41	205	577	907	1044
-2,00	813	256	3,17	1,82	0,44	120	346	965	1045
-3,00	1543	567	2,72	2,06	0,42	662	1883	3572	4013
-4,00	2409	898	2,68	2,24	0,42	1804	5122	9383	10586
-5,00	3135	1180	2,66	2,35	0,42	3279	9297	16577	18764
-6,00	3092	1389	2,23	2,35	0,37	4529	12442	13384	16404
-7,00	3342	1534	2,18	2,38	0,37	5606	15321	15396	19133
-8,00	3509	1689	2,08	2,41	0,35	6859	18510	15907	20479

CURVA TEMPI - PROFONDITA'
(blu = V_p ; rosso = V_s)

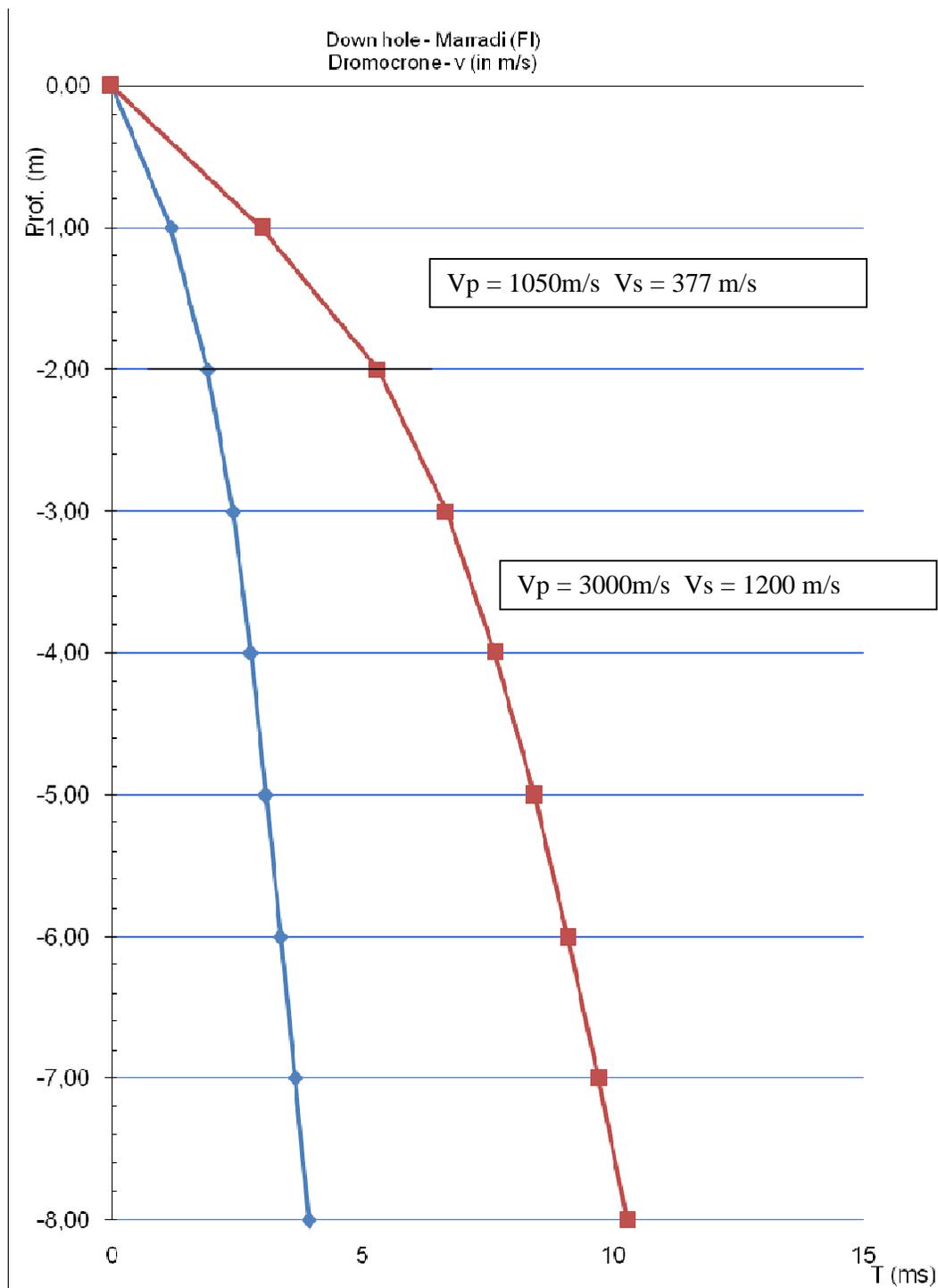


GRAFICO INTERVALLI DI VELOCITA'

