

TITLE: RELAZIONE GEOLOGICA

AVAILABLE LANGUAGE: IT

# RELAZIONE GEOLOGICA

## “Portonovo FV”

### Medicina (BO)

File:GRE.EEC.R.21.IT.P.15534.00.064.00\_ Relazione geologica

REV.	DATE	DESCRIPTION	PREPARED	VERIFIED	APPROVED
00	26/01/2023	<b>Emissione Definitiva</b>	C.Cerocchi	M.Gallina	V.Brighi



#### EGP VALIDATION

Name ()	Discipline	PE
COLLABORATORS	VERIFIED BY	VALIDATE BY

PROJECT / PLANT Portonovo FV (15534)	EGP CODE																		
	GROUP	FUNCION	TYPE	ISSUER	COUNTRY	TEC	PLANT				SYSTEM	PROGRESSIVE	REVISION						
	GRE	EEC	R	2	1	I	T	P	1	5	5	3	4	0	0	0	6	4	0

CLASSIFICATION	For Information or For Validation	UTILIZATION SCOPE	Basic Design
----------------	-----------------------------------	-------------------	--------------

## Indice

1. PREMESSA .....	3
2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE.....	5
3. DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI .....	7
3.1. Fase di Cantiere .....	7
3.2. Fase di Esercizio.....	15
3.3. Dismissione dell’impianto a fine vita, operazioni di messa in sicurezza del sito e ripristino ambientale.....	15
4. GEOMORFOLOGIA E GEOLOGIA.....	16
4.1. Inquadramento geomorfologico e geologico.....	16
4.2. Indagini pregresse effettuate .....	20
4.2.1. Prove penetrometriche dinamiche continue (DPSH) .....	22
4.2.2. Trial Pits .....	23
4.2.3. Indagini geofisiche .....	26
4.2.3.1. Linee sismiche tipo MASW .....	26
4.2.3.2. Tomografia elettrica (ERT) .....	27
5. INQUADRAMENTO IDROLOGICO E IDROGEOLOGICO.....	29
6. CLASSIFICAZIONE SISMICA E SISMICITÀ STORICA .....	34
7. PERICOLOSITÀ GEOMORFOLOGICA .....	43
7.1. Pericolosità geologica ed idrogeologica .....	43
7.2. Pericolosità sismica.....	47
8. COMPATIBILITÀ DEL PROGETTO CON I CARATTERI GEOLOGICI DELL’AREA .....	50
8.1. Attività previste in fase di cantiere .....	50
8.2. Condizioni geologiche e morfologiche dei terreni d’imposta .....	50
8.2.1. Strutture a supporto dei pannelli fotovoltaici .....	51
8.2.2. Opere civili (cabine prefabbricate).....	51
8.2.3. Cavidotti interrati ed opere per la connessione alla rete nazionale .....	51
9. CONCLUSIONI .....	53
ALLEGATO - GRE.EEC.R.25.IT.P.15534.49.001.01_INDAGINI GEOGNOSTICHE .....	54

## 1. PREMESSA

Il presente documento costituisce la Relazione Geologica redatta a corredo del progetto, proposto da Enel Green Power Solar Energy Srl ("EGP"), per la realizzazione dell'impianto fotovoltaico nominale massima di 40.964,00 kW<sub>p</sub>, denominato "Portonovo FV".

L'area interessata dall'intervento è nel territorio comunale di Medicina (BO), all'interno di un'area agricola in prossimità di località Portonovo.

La presente Relazione Geologica comprende l'analisi dell'inquadramento geologico, idrogeologico e geomorfologico dell'area di progetto, basata sull'esame accurato di dati bibliografici esistenti in letteratura e di studi geologici precedentemente eseguiti.

I criteri generali adottati per lo sviluppo del progetto sono in linea con le prescrizioni contenute nel quadro normativo di riferimento per tali interventi e il presente studio geologico è redatto in conformità alla seguente normativa di riferimento:

- D.M. LL. PP. 11 marzo 1988 – Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione e successive istruzioni riportate nel D.M. LL.PP.16.01.1996 (Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche);
- O.P.C.M. 3274 (2003) -O.P.C.M. 3431 (2005) Norme per edifici;
- Decreto Ministeriale 17/01/18 Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC 18) e Circolare sulle Istruzioni - C.S. LL.PP.

Le Norme tecniche per le costruzioni sono emesse ai sensi delle leggi 5 novembre 1971, n. 1086, e 2 febbraio 1974, n. 64, così come riunite nel Testo Unico per l'Edilizia di cui al DPR 6 giugno 2001, n. 80, e dell'art. 5 del DL 28 maggio 2004, n.136, convertito in legge, con modificazioni, dall'art. 1 della legge 27 luglio 2004, n. 186 e ss. mm. ii.. Esse raccolgono in un unico organico testo le norme prima distribuite in diversi decreti ministeriali.

Esse definiscono i principi per il progetto, l'esecuzione e il collaudo delle costruzioni, nei riguardi delle prestazioni loro richieste in termini di requisiti essenziali di resistenza meccanica e stabilità, anche in caso di incendio, e di durabilità, forniscono quindi i criteri generali di sicurezza, precisano le azioni che devono essere utilizzate nel progetto, definiscono le caratteristiche dei materiali e dei prodotti e, più in generale, trattano gli aspetti attinenti alla sicurezza strutturale delle opere.

In particolare, secondo quanto stabilito nei capitoli specifici, le opere e le varie tipologie strutturali devono possedere i seguenti requisiti:

- sicurezza nei confronti di stati limite ultimi (SLU): capacità di evitare crolli, perdite di equilibrio e dissesti gravi, totali o parziali, che possano compromettere l'incolumità delle persone, o comportare la perdita di beni, o provocare gravi danni ambientali e sociali,

oppure mettere fuori servizio l'opera;

- sicurezza nei confronti di stati limite di esercizio (SLE): capacità di garantire le prestazioni previste per le condizioni di esercizio;
- sicurezza antincendio: capacità di garantire le prestazioni strutturali previste in caso d'incendio, per un periodo richiesto;
- durabilità: capacità della costruzione di mantenere, nell'arco della vita nominale di progetto, i livelli prestazionali per i quali è stata progettata, tenuto conto delle caratteristiche ambientali in cui si trova e del livello previsto di manutenzione;
- robustezza: capacità di evitare danni sproporzionati rispetto all'entità di possibili cause innescanti eccezionali quali esplosioni e urti.

In fase di progettazione esecutiva saranno eseguite indagini geognostiche opportunamente localizzate in modo da rilevare la misura diretta della velocità di propagazione delle onde di taglio ( $V_s$ ) e, quindi, poter effettuare la microzonazione sismica e definire gli effetti locali sulla modalità di propagazione delle onde sismiche attribuendo la corretta categoria di sottosuolo.

Lo scopo del presente documento è dunque quello di fornire i seguenti elementi:

- inquadramento geologico, morfologico e idrogeologico dell'area di progetto;
- assetto sismico dell'area di progetto;
- parere di fattibilità riguardo alle opere in progetto;
- indicazioni utili alle successive fasi di progettazione per l'esecuzione di un piano mirato di indagini geognostiche.

Per gli aspetti progettuali più dettagliati si farà riferimento agli elaborati specifici richiamando nel presente documento solo le caratteristiche utili alla valutazione complessiva di compatibilità delle opere nel contesto.

Nel presente studio si è fatto riferimento a documentazione bibliografica di letteratura e di pianificazione territoriale.

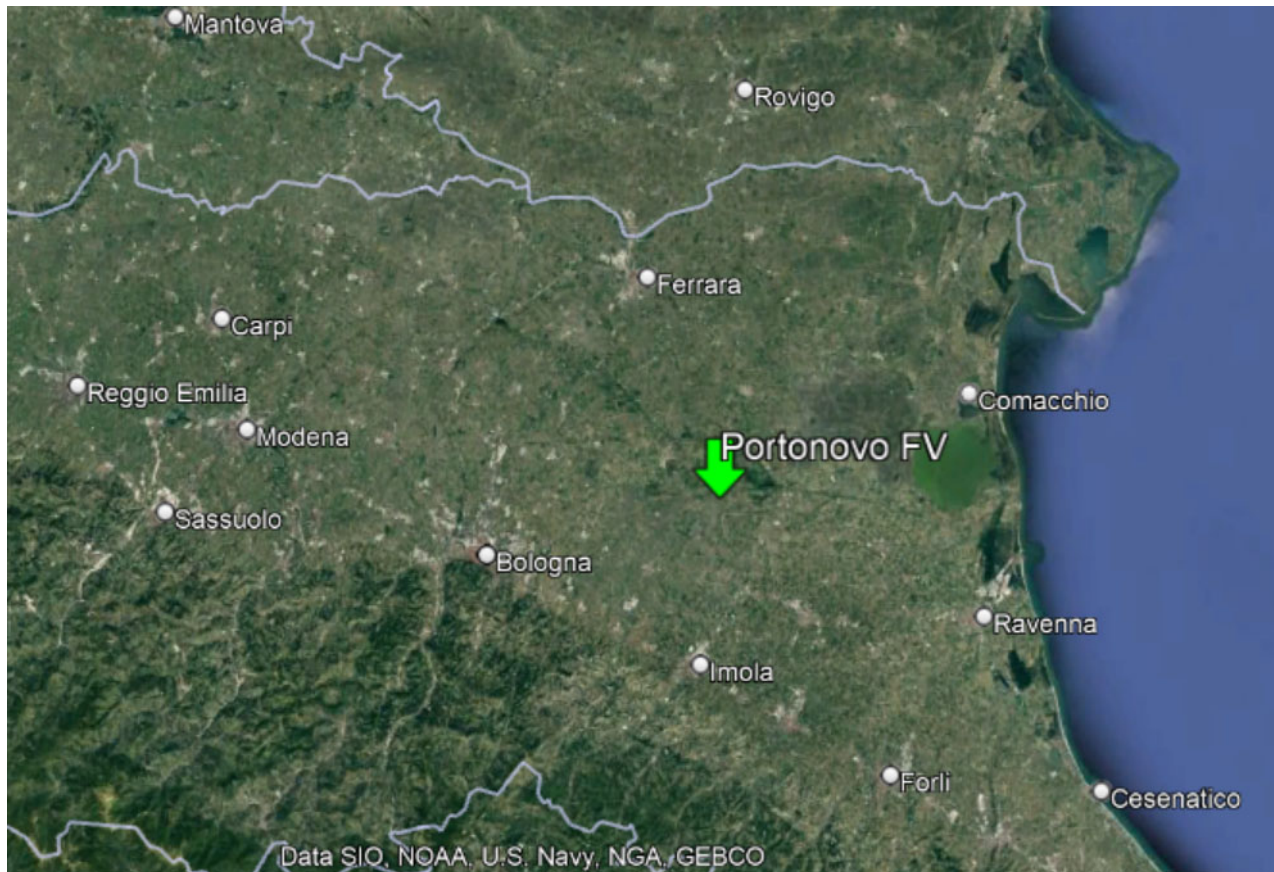
Di seguito l'elenco dei documenti consultati:

- Piano Territoriale Metropolitan di Bologna;
- Piano territoriale di Coordinamento Provinciale PTCP;
- ISPRA: Pericolosità e rischio idrogeologico - <https://idrogeo.isprambiente.it/app/>;
- Zonazione sismogenetica ZS4 adottata dal GNDT nel 1996 e relativa legenda (fonte: [http://emidius.mi.ingv.it/GNDT/ZONE/zone\\_sismo.html](http://emidius.mi.ingv.it/GNDT/ZONE/zone_sismo.html));
- ISPRA: Progetto CARG;
- ISPRA: "Carta Geologica d'Italia", scala 1:100.000;
- Geoportale della Regione Emilia - Romagna;
- "Esperienze e prospettive nel monitoraggio delle acque sotterranee" di Marco Farina, Marco Marcaccio e Adriano Zavatti".

## 2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE

L'impianto "Portonovo FV" sarà ubicato all'interno del territorio comunale di Medicina, in provincia di Bologna. In particolare, l'area di impianto è costituita da campi agricoli in località Portonovo.

Di seguito si riporta l'ubicazione dell'area di interesse su mappa satellitare:



**Figura 1 - Inquadramento dell'area di intervento su base satellitare (Fonte: Google Earth)**



**Figura 2 - Dettaglio inquadramento area di impianto su base satellitare (Fonte: Google Earth)**

L'intera area di impianto risulta suddivisa in n.5 lotti, di seguito evidenziati:



**Figura 3 – Suddivisione dell'area di impianto in lotti**

### **3. DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI**

#### **3.1. Fase di Cantiere**

Con riferimento all'elaborato progettuale "GRE.EEC.R.21.IT.P.15534.00.069 - Cronoprogramma", per le attività di cantiere relative alla costruzione dell'impianto fotovoltaico in oggetto, sono previste tempistiche di circa 22 mesi.

Per la realizzazione dell'impianto si prevedono le seguenti fasi di lavoro:

#### **Accantieramento**

L'accantieramento prevede la realizzazione di varie strutture logistiche temporanee in relazione alla presenza di personale, mezzi e materiali.

A tal proposito, all'interno dell'area di impianto, è stata individuata un'area O&M (Operational & Maintenance) di circa 1500 m<sup>2</sup>. Per maggiori dettagli si rimanda all'elaborato progettuale "GRE.EEC.D.21.IT.P.15534.00.009- Layout di impianto quotato, descrittivo dell'intervento".

La cautela nella scelta delle aree da asservire alle strutture logistiche mira ad evitare di asservire stabilmente o manomettere aree non altrimenti comunque già trasformate o da trasformare in relazione alla funzionalità dell'impianto che si va a realizzare.

Nell'allestimento e nella gestione dell'impianto di cantiere saranno rispettate le norme in vigore all'atto dell'apertura dello stesso, in ordine alla sicurezza (ai sensi del D.lgs. 81/08 e s.m.i.), agli inquinamenti di ogni specie, acustico ed ambientale.

### **Preparazione dei suoli**

Per la preparazione del suolo si prevede il taglio raso terra di vegetazione erbacea e arbustiva con triturazione senza asportazione dei residui, seguito da livellamenti e regolarizzazione del sito. Dall'analisi del rilievo planoaltimetrico dell'area si riscontra un terreno a carattere prevalentemente pianeggiante, per cui non sono necessarie operazioni di movimento terra per livellamento delle pendenze. È bene precisare che la profondità massima degli scavi è di circa 1,4 m (cavidotto di connessione alla rete).

I materiali provenienti da scavi in terra eventualmente non oggetto di semplice movimentazione in situ, ed ove non siano riutilizzabili perché ritenuti non adatti per il rinterro, saranno gestiti come rifiuto e avviati presso impianti di smaltimento autorizzati, previa caratterizzazione, nel rispetto delle normative vigenti.

### **Consolidamento di piste di servizio**

Analogamente, le superfici interessate dalla realizzazione della viabilità di servizio e di accesso, saranno regolarizzate ed adattate mediante costipazione e debole rialzo con materiali compatti di analoga o superiore permeabilità rispetto al sottofondo in ragione della zona di intervento, al fine di impedire ristagni d'acque entro i tracciati e rendere agevole il transito ai mezzi di cantiere, alle macchine operatrici e di trasporto del personale dedicato a controllo e manutenzione in esercizio.

L'area oggetto d'intervento presenta un'orografia con pendenze minime, pertanto, non si prevede di effettuare regolarizzazioni delle pendenze e della conformazione dei tracciati carrabili e pedonali, garantendo quindi il rispetto ed il mantenimento delle attuali direttrici di scorrimento superficiale in atto per le acque meteoriche.

Si provvederà contestualmente alla realizzazione delle recinzioni, degli impianti di videosorveglianza e degli impianti di illuminazione ove necessario.

### **Adattamento della viabilità esistente e realizzazione della viabilità interna**

È previsto il riutilizzo e l'adattamento della viabilità esistente qualora la stessa non sia idonea al passaggio degli automezzi per il trasporto dei componenti e delle attrezzature d'impianto.



Le strade principali esistenti di accesso alle varie aree del sito costituiranno gli assi di snodo della viabilità d'accesso ai campi fotovoltaici. La viabilità interna all'area di impianto presenterà una larghezza minima di 3,5 m e sarà in rilevato di 10 cm rispetto al piano campagna, come previsto dalle Specifiche Tecniche della Committente. Si sottolinea che la viabilità interna al sito si suddivide in:

- Viabilità interna all'area di impianto;
- Viabilità di accesso all'impianto, ovvero la viabilità che dalla strada esistente permette l'accesso alla viabilità interna dei singoli lotti di impianto.

Per maggiori dettagli si rimanda all'elaborato "GRE.EEC.D.21.IT.P.15534.00.009.\_Layout".

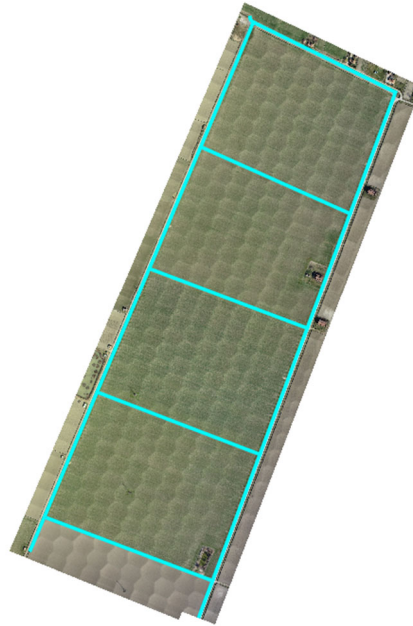
### **Opere di regimazione idraulica superficiale**

L'area interessata dall'impianto in progetto ad oggi presenta al suo interno n. 7 canali per il convogliamento delle acque meteoriche (n.4 canali perimetrali all'area di impianto e n.3 canali interni, Figura 4, Figura 5).

La direzione di deflusso generale delle acque all'interno di tali canalizzazioni risulta verso Nord, dunque, i 5 canali "secondari" orientati in direzione NO recapitano le acque nel canale perimetrale "principale" posto sul lato Ovest dell'area in oggetto. Il canale perimetrale posto sul lato Est non risulta essere di interesse in quanto poco profondo e di ridotte dimensioni.

Oltre a questa rete di canali, all'interno dell'area di impianto è attualmente presente un fitto sistema di drenaggio interrato, costituito da tubazioni fessurate da 70 mm di diametro (Figura 6); tali tubazioni, disposte ogni 12 m a circa 80 cm di profondità da p.c., risultano orientate da SO a NE, in maniera da far confluire le acque nei 5 canali secondari di drenaggio (disposti ortogonalmente rispetto alle linee interrate) che a loro volta, come detto, recapitano le acque al canale di drenaggio principale, posto sul lato Ovest dell'area.

Data la profondità ridotta rispetto al piano campagna, l'attuale rete di drenaggio interrata interferirà con le attività di posa dei cavidotti interrati, nonché con l'installazione dei tracker e delle transformation unit. Considerato il numero considerevole di interferenze, non risulta possibile mantenere l'attuale rete, la quale quindi verrà dismessa e sostituita con un nuovo sistema di drenaggi interrati, compatibile con le esigenze sia del fotovoltaico, sia della coltivazione agricola. Saranno quindi previsti degli interventi per la realizzazione di una nuova rete di drenaggio interrata (per maggiori dettagli si faccia riferimento all'elaborato GRE.EEC.S.21.IT.P.15534.00.066.\_SPECIFICA TECNICA PER RETE DI DRENAGGIO).



**Figura 4: Canali di drenaggio (in Ciano) presenti perimetrali e trasversali all'area di impianto su ortofoto**



**Figura 5: Dettaglio su canali di drenaggio interni e perimetrali all'area di impianto.**



**Figura 6: Sbocco delle tubazioni interrate (DN=7 cm) sui canali principali di drenaggio in terra.**

### **Esecuzione di opere di contenimento e di sostegno dei terreni**

Considerata la natura prevalentemente pianeggiante, non sono previste opere di consolidamento di aree in pendio.

### **Realizzazione della recinzione dell'area, del sistema di illuminazione, della rete di videosorveglianza e sorveglianza tecnologica**

A protezione dell'impianto fotovoltaico verrà realizzata la recinzione ove e se necessario, in accordo alle specifiche tecniche della Committente. La recinzione avrà un'altezza di 2,5 m e sarà costituita da una maglia metallica ancorata a pali in acciaio zincato, questi ultimi sorretti da fondamenta che saranno dimensionate in funzione delle proprietà geomeccaniche del terreno.

Il sistema di illuminazione sarà limitato all'area di gestione dell'impianto.

Gli apparati di illuminazione non consentiranno l'osservazione del corpo illuminante dalla linea d'orizzonte e da angolatura superiore, ad evitare di costituire fonti di ulteriore inquinamento luminoso e di disturbo per abbagliamento dell'avifauna notturna o a richiamare e concentrare popolazioni di insetti notturni. Il livello di illuminazione verrà contenuto al minimo indispensabile, mirato alle aree e fasce sottoposte a controllo e vigilanza per l'intercettazione degli accessi impropri.



**Figura 7: Tipologico recinzione di progetto**

### **Posizionamento delle strutture di supporto e montaggi**

Le opere meccaniche per il montaggio delle strutture di supporto e su di esse dei moduli fotovoltaici non richiedono attrezzature particolari. Le strutture, per il sostegno dei moduli fotovoltaici, sono costituite da elementi metallici modulari, uniti tra loro a mezzo bulloneria in acciaio inox.

Il loro montaggio si determina attraverso:

- Posizionamento dei pali di tali strutture al suolo, mediante infissione o trivellazione in cemento armato;
- Montaggio Testa;
- Montaggio Trave primaria;
- Montaggio Orditura secondaria;
- Montaggio pannelli fotovoltaici bifacciali;
- Verifica e prove su struttura montata.

### **Installazione e posa in opera dell'impianto fotovoltaico**

Al fine di chiarire gli interventi finalizzati alla posa in opera dell'impianto fotovoltaico in oggetto si riporta di seguito una descrizione sintetica delle principali parti costituenti un impianto di questa tipologia.

L'impianto sarà realizzato con moduli fotovoltaici bifacciali provvisti di diodi di by-pass. Le stringhe fotovoltaiche faranno capo ad uno string inverter.

Il generatore fotovoltaico, nello specifico di questo lotto di impianti, sarà costituito da n. 74.480 moduli fotovoltaici bifacciali o equivalenti, la cui potenza complessivamente installabile risulta essere pari a 40.964,00 kW<sub>p</sub>.

L'impianto sarà dotato di un'apparecchiatura di monitoraggio della quantità di energia prodotta dall'impianto e delle rispettive ore di funzionamento.

### **Realizzazione / posizionamento opere civili**

È previsto il posizionamento di:

#### **Lotto 1**

- n. 5 prefabbricati per l'alloggio dei quadri elettrici dei QGBT/MT, dei trasformatori MT/BT di tipo prefabbricato, di dimensioni 6,21 x 3,15 x 2,89 m;
- n. 1 cabina utente di dimensioni 7,00 x 2,50 x 2,80 m circa;
- n. 1 cabina di consegna prefabbricata di tipo "DG2092 rev.III", di dimensioni 6,70 x 2,50 x 2,76 m circa;
- n. 1 cabina SCADA prefabbricata, di dimensioni 5,30 x 2,50 x 2,89 m circa.

#### **Lotto 2**

- n. 5 container prefabbricati per l'alloggio dei trasformatori MT/bt e relativi quadri elettrici, che avranno dimensioni 6,21 x 3,15 x 2,89 m;
- n. 1 cabina utente di dimensioni 7,00 x 2,50 x 2,80 m circa;
- n. 1 cabina di consegna prefabbricata di tipo "DG2092 rev.III", di dimensioni 6,70 x 2,50 x 2,76 m circa;

- n. 1 cabina SCADA prefabbricata, di dimensioni 5,30 x 2,50 x 2,89 m circa.

### **Lotto 3**

- n. 5 container prefabbricati per l'alloggio dei trasformatori MT/bt e relativi quadri elettrici, che avranno dimensioni 6,21 x 3,15 x 2,89 m;
- n. 1 cabina utente di dimensioni 7,00 x 2,50 x 2,80 m circa;
- n. 1 cabina di consegna prefabbricata di tipo "DG2092 rev.III", di dimensioni 6,70 x 2,50 x 2,76 m circa;
- n. 1 cabina SCADA prefabbricata, di dimensioni 5,30 x 2,50 x 2,90 m circa.

### **Lotto 4**

- n. 5 container prefabbricati per l'alloggio dei trasformatori MT/bt e relativi quadri elettrici, che avranno dimensioni 6,21 x 3,15 x 2,89 m;
- n. 1 cabina utente di dimensioni 7,00 x 2,50 x 2,80 m circa;
- n. 1 cabina di consegna prefabbricata di tipo "DG2092 rev.III", di dimensioni 6,70 x 2,50 x 2,76 m circa;
- n. 1 cabina SCADA prefabbricata, di dimensioni 5,30 x 2,50 x 2,89 m circa.

### **Lotto 5**

- n. 5 container prefabbricati per l'alloggio dei trasformatori MT/bt e relativi quadri elettrici, che avranno dimensioni 6,21 x 3,15 x 2,89 m;
- n. 1 cabina utente di dimensioni 7,00 x 2,50 x 2,80 m circa;
- n. 1 cabina di consegna prefabbricata di dimensioni 5 x 4 x 2,80 m circa;
- n. 1 cabina SCADA prefabbricata, di dimensioni 5,30 x 2,50 x 2,89 m circa.

Detti edifici saranno di tipo prefabbricato. I container delle cabine di trasformazione saranno posizionati su cordoli in CLS gettato in opera e ad esse ancorate, avranno una destinazione d'uso esclusivamente tecnica e serviranno ad alloggiare i trasformatori MT/bt e i quadri di parallelo in corrente alternata. Saranno inoltre dotate di vasca per la raccolta dell'olio contenuto all'interno dei trasformatori MT/bt, delle dimensioni di 2,5 x 2,5 x 0,95 m, interrata per una profondità di 0,65 m.

Gli ulteriori cabinati elettrici saranno di tipo prefabbricato, posizionati su getto di magrone in CLS gettato in opera e ad esse ancorati, avranno una destinazione d'uso esclusivamente tecnica e serviranno ad alloggiare le apparecchiature del sistema di telecontrollo e le apparecchiature di misura e di collegamento alla rete di e-Distribuzione.

La profondità di scavo dal piano campagna per i cordoli di fondazione delle Transformation Unit è pari a 0,3 m, inoltre, viene previsto uno scavo della profondità di 0,65 m relativo all'installazione dell'oil trail. Per le cabine Utente, le cabine di Consegna e le cabine SCADA viene previsto uno scavo di profondità pari a 0,6 m.

### **Realizzazione dei cavidotti interrati**

I cavi di bassa tensione per collegamento tra gli string inverter e le tranformation unit verranno posate in trincee profonde 0,8 m, con larghezza variabile 0,28 m o 0,55 m, a seconda che al loro interno vengano rispettivamente alloggiati una terna o due terne di cavidotti in contemporanea. Il tracciato dei cavidotti in bassa tensione verrà dettagliato in fase esecutiva.

Per quanto riguarda i cavi di media tensione dalle Transformation Unit alle Cabine di Utenza si prevede la realizzazione di due diverse tipologie di trincee profonde 0,9 m ma di larghezza variabile a seconda del numero di cavidotti interrati:

- Una terna: trincea larga 0,28 m;
- Due terne nello stesso scavo: trincea larga 0,68 m;

Ciascuna Cabina Utente verrà a sua volta connessa alla Cabina di Consegna mediante un cavo di media tensione alloggiato in una trincea larga 0,28 e profonda 0,9 m.

Per ciascun impianto la soluzione prevede l'inserimento di una cabina di consegna, ubicata sul terreno del produttore, collegata ad uno stallo MT dedicato nella cabina primaria "Schiappa 132 kV" mediante linea MT in cavo interrato da 240 mmq. È prevista inoltre una richiusura a lobo tra le cinque cabine di consegna.

Per quanto riguarda lo scavo di posa dei cavi MT in corrispondenza della viabilità asfaltata, si realizzerà sezioni di scavo secondo le normative di settore e le prescrizioni di e-Distribuzione S.p.A. Lo scavo comporterà la realizzazione di una trincea profonda 1,4 m all'interno della quale verranno alloggiati i cavi.

Il percorso dei cavidotti è indicato in dettaglio nelle planimetrie di progetto alle quali si rimanda per ulteriori dettagli.

Per la connessione si utilizzeranno cavi della tipologia tripolare elicordato in alluminio con sezione di 240 mmq secondo quanto indicato nella STMG e dalle linee guida per la connessione alla rete elettrica di e-distribuzione.

Il percorso e le lunghezze dei cavidotti sono indicati nelle planimetrie di progetto alle quali si rimanda per ulteriori dettagli.

### **Opere di demolizione**

Non sono previste demolizioni ai fini della realizzazione delle opere in progetto.

### **Dismissione del cantiere e ripristini ambientali**

Le aree di cantiere verranno dismesse ripristinando, per quanto possibile, lo stato originario dei luoghi. Si provvederà quindi alla rimozione dell'impianto di cantiere e di tutte le opere provvisorie (quali ad esempio protezioni, ponteggi, slarghi, adattamenti, piste, puntellature,

opere di sostegno, etc.).

### **Verifiche collaudi e messa in esercizio**

Parallelamente all'avvio dello smontaggio della logistica di cantiere vengono eseguiti collaudi statici, collaudi elettrici e prove di funzionalità, avviando l'impianto verso la sua gestione a regime.

### **3.2. Fase di Esercizio**

#### **Manutenzione dell'impianto**

Il personale sarà impegnato nella manutenzione degli elementi costitutivi l'impianto. In particolare, si occuperà di:

- Mantenimento della piena operatività dei percorsi carrabili e pedonali, ad uso manutentivo ed ispettivo;
- Sorveglianza e manutenzione delle recinzioni e degli apparati per il telecontrollo di presenze e intrusioni nel sito;

Quest'ultima azione in particolare consisterà nella corretta gestione delle eventuali aree verdi (sfalci ecc.), anche provvedendo con l'intervento di attività di pascolo ovino, o con continui e meticolosi diserbi manuali di seguito ai periodi vegetativi, in specie primaverili ed autunnali.

### **3.3. Dismissione dell'impianto a fine vita, operazioni di messa in sicurezza del sito e ripristino ambientale**

Non è dato ad oggi prevedere se il disuso a fine esercizio dell'impianto che oggi si va a implementare sarà dato dall'esigenza di miglioramento tecnologico, di incremento prestazionale o da una eventuale obsolescenza dell'esigenza d'impiego dell'area quale sito di produzione di energia elettrica da fonte rinnovabile o comunque da impianti al suolo delle tipologie di cui all'attuale tenore tecnologico. I pannelli fotovoltaici e le cabine elettriche sono facilmente rimovibili senza alcun ulteriore intervento strutturale, o di modifica dello stato dei luoghi, grazie anche all'utilizzazione della viabilità preesistente. A tale fine è necessario e sufficiente che i materiali essenziali per i montaggi, in fase di realizzazione dell'impianto, siano scelti per qualità, tali da non determinare difficoltà allo smontaggio dopo il cospicuo numero di anni di atteso rendimento dell'impianto (almeno 25-30 anni).

Si possono ipotizzare operazioni atte a liberare il sito dalle sovrastrutture che oggi si progetta di installare sull'area, eliminando ogni materiale che in caso di abbandono, incuria e deterioramento possa determinare una qualunque forma di inquinamento o peggioramento delle condizioni del suolo, o di ritardo dello spontaneo processo di rinaturalizzazione che lo investirebbe. Anche le linee elettriche, tutte previste interrate, potranno essere rimosse, se lo

si riterrà opportuno con semplici operazioni di scavo e rinterro.

La Committenza si impegna alla dismissione dell'impianto, allo smaltimento del materiale di risulta dell'impianto e al ripristino dello stato dei luoghi nel rispetto della vocazione propria del territorio.

La produzione di rifiuti che derivano dalle diverse fasi di intervento verrà smaltita attraverso ditte debitamente autorizzate nel rispetto della normativa vigente al momento della dismissione. Per maggiori dettagli sulle fasi operative relative alla dismissione dell'impianto e ai ripristini ambientali sono contenuti nell'elaborato "GRE.EEC.R.21.IT.P.15534.00.062 Piano di dismissione dell'impianto e ripristino dello stato dei luoghi".

## 4. GEOMORFOLOGIA E GEOLOGIA

### 4.1. Inquadramento geomorfologico e geologico

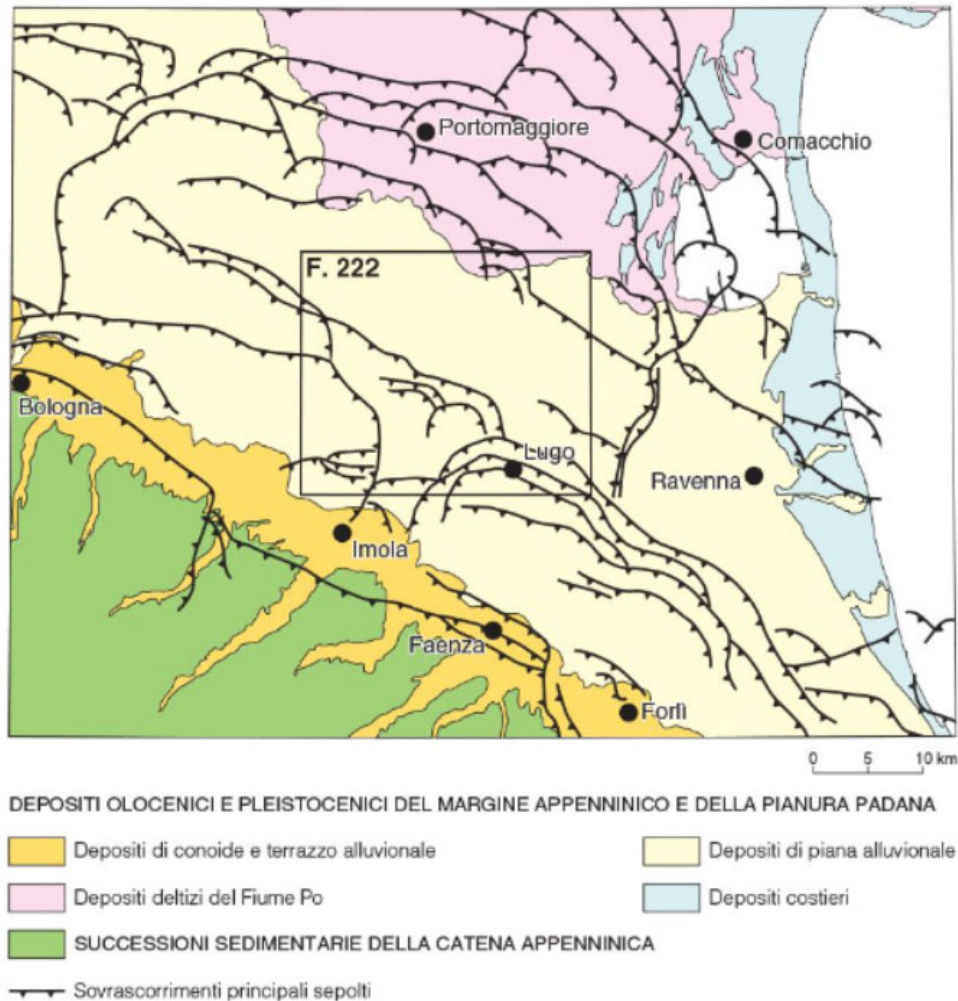
Il territorio in cui ricade l'area di impianto, compreso tra le province di Bologna e Ravenna, è caratterizzato da una superficie topografica piuttosto regolare che si immerge progressivamente verso Nord-Est fino a raggiungere il mare in corrispondenza della costa Adriatica. Al suo interno si possono distinguere due settori:

- l'**alta pianura**, che si sviluppa a ridosso del margine appenninico ed è caratterizzata da quote comprese tra 50 e 10 m s.l.m., con gradienti relativamente elevati (circa 1m di quota ogni 300 m);
- la **bassa pianura**, caratterizzata da quote inferiori, tra 10 e -1 m s.l.m., e gradienti bassi.

Tutta il territorio è occupato da depositi di piana alluvionale tardo-quadernari della Pianura Padana e, a Sud, da depositi terrazzati di conoide del margine appenninico.



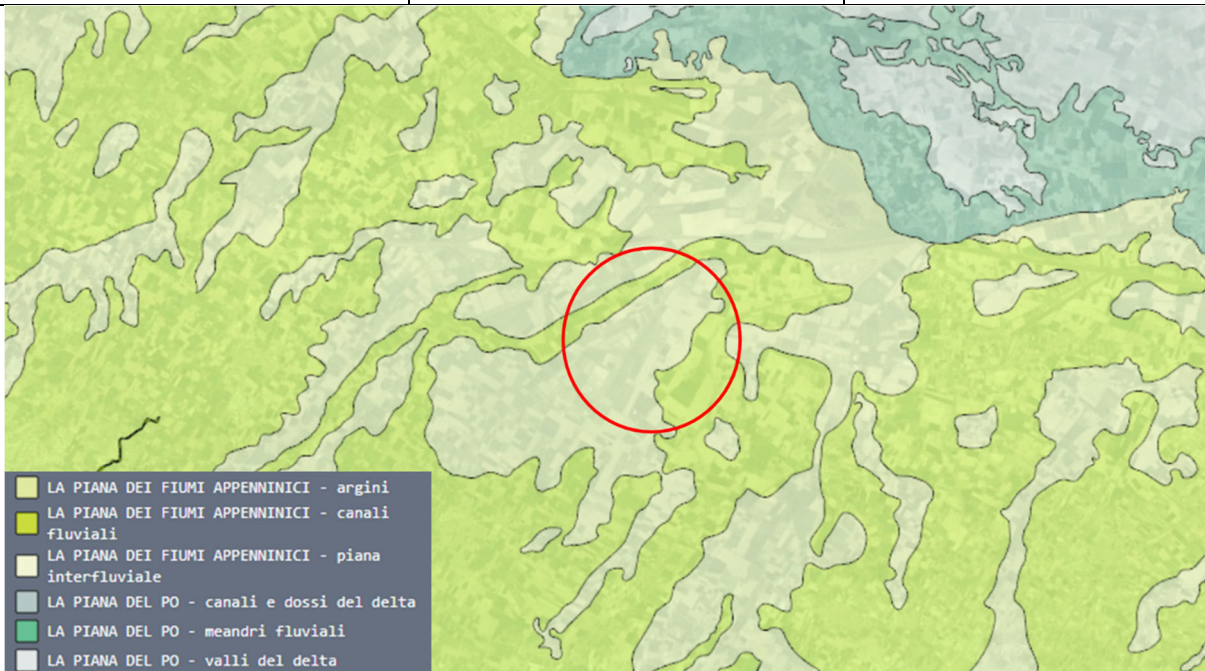
### INQUADRAMENTO GEOLOGICO-STRUTTURALE



**Figura 8 - Inquadramento geologico-strutturale area di impianto (fonte: Progetto CARG foglio 222 "Lugo")**

Da un punto di vista geologico, sulla base della "Carta del Paesaggio Geologico" disponibile sul Geoportale della Regione Emilia-Romagna, l'area di impianto ricade all'interno di due tematismi:

- LA PIANA DEI FIUMI APPENNINICI - piana interfluviale (sub-unità 11c);
- LA PIANA DEI FIUMI APPENNINICI - argini (sub-unità 11b).



**Figura 9 - Inquadramento dell'area di impianto su uno stralcio della "Carta del Paesaggio Geologico" (Fonte: Geoportale della Regione Emilia Romagna)**

La piana dei fiumi appenninici comprende i settori intravallivi dell'Appennino, gli sbocchi vallivi al margine appenninico e l'ampia pianura fino a lambire il fiume Po e la costa. Il paesaggio deve le sue caratteristiche principalmente all'azione dei fiumi appenninici, i quali, dopo il loro corso intravallivo, durante il quale hanno formato ridotti depositi nastriformi, depositano, all'altezza dello sbocco nell'alta pianura, il loro carico grossolano di ghiaie e sabbie, formando corpi sedimentari, noti come conoidi alluvionali, caratterizzati da un sistema di canali fluviali. A valle, in corrispondenza della bassa pianura, la dinamica fluviale è caratterizzata dalle ripetute divagazioni dei fiumi le cui tracce sono conservate da rilievi deposizionali di alcuni metri di altezza, dalla forma allungata e pensile sui terreni circostanti, formati dai corsi appenninici in seguito ad episodi di esondazione.

Nelle zone più distanti dai sistemi fluviali si trovano le aree di piana interfluviale costituite da ampie depressioni, "valli" o paludi, bonificate in massima parte nel secolo scorso, nelle quali in seguito alla tracimazione durante le piene si depositarono per decantazione argille e limi.

La pianura è un territorio completamente antropizzato dove l'uomo ha esercitato la sua azione sul paesaggio sia attraverso opere di arginatura artificiale e di rettificazione dei corsi d'acqua e di bonifica delle valli, che hanno bloccato la naturale dinamica evolutiva della pianura alluvionale, sia con un'intensa urbanizzazione.

Da un punto di vista strutturale, l'area della pianura padana è costituita da successioni sepolte plio-pleistoceniche costituite da una serie di pieghe e *thrust* ad andamento parallelo con orientazione circa NO-SE. In particolare, in prossimità del margine appenninico, si riscontra una prima fascia di pieghe e sovrascorrimenti sepolti che si sviluppano

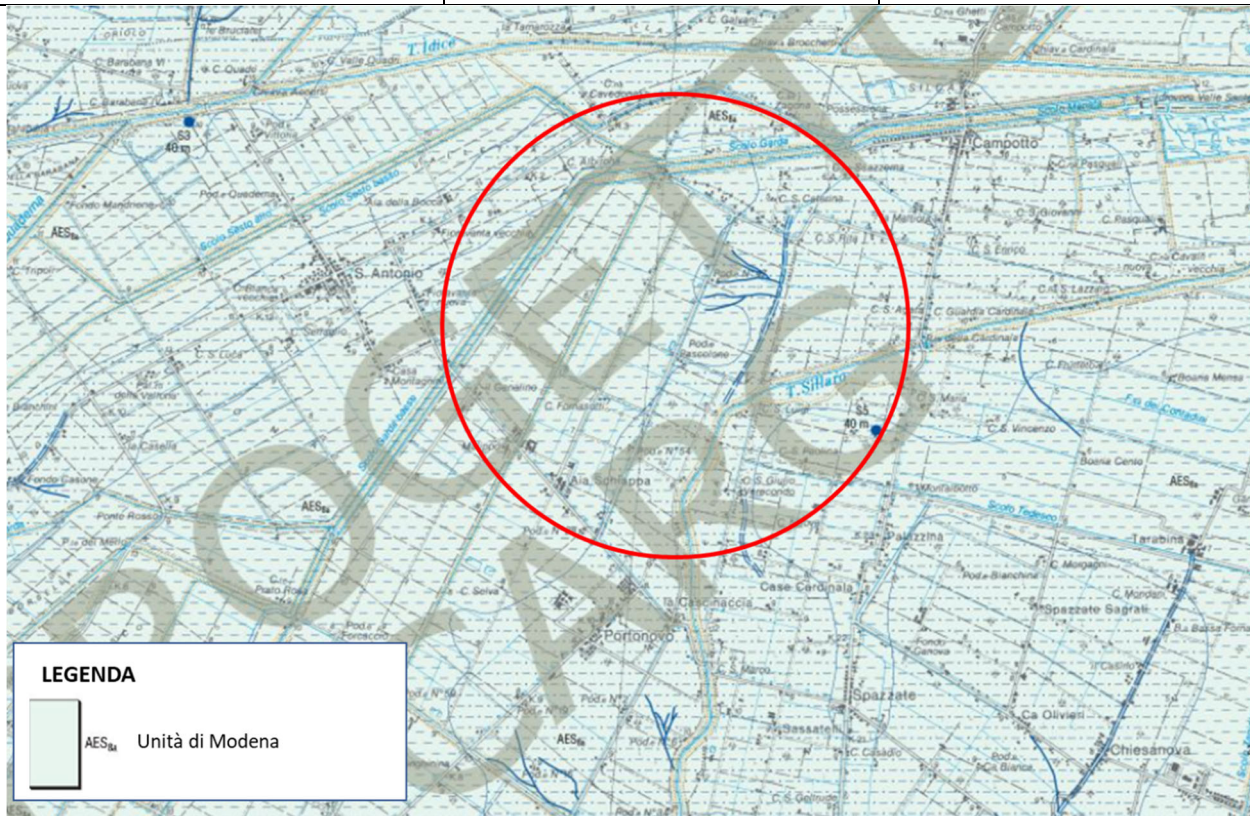
parallelamente alla catena montuosa. Spostandosi verso la costa si evidenzia la presenza di una seconda fascia più esterna, caratterizzata da una forma arcuata. Tra le due fasce dominate dalle culminazioni strutturali si estende, nell'area centrale e settentrionale, un'ampia sinclinale il cui asse è orientato circa NO-SE.

L'assetto strutturale dell'area è complicato dalla presenza di importanti discontinuità caratterizzate da un orientamento trasversale rispetto alle fasce, presenti prevalentemente in corrispondenza della valle e del corso del Fiume Santerno, a nord di Bologna ed immediatamente ad ovest di Ravenna.

Dalla Carta Geologica d'Italia in scala 1:50.000, redatta da ISPRA nell'ambito del Progetto CARG, l'area di impianto ricade nel Subsistema di Ravenna, che è caratterizzato dai seguenti elementi principali:

- il limite inferiore è ben definito nel settore dell'alta pianura dove i depositi sono caratterizzati da facies di piana alluvionale non drenata e palude e poggiano direttamente sui depositi di conoide alluvionale. Nel settore di pianura costiera i depositi in affioramento sono costituiti prevalentemente da depositi lagunari e marini e poggiano sui depositi fluviali. Nel settore centrale della pianura, invece, il limite è espresso in modo meno marcato ed è riconoscibile solo per una generale tendenza al prevalere di depositi fini di piana non drenata e palude sui depositi relativamente più grossolani di piana alluvionale sottostante;
- la porzione basale è caratterizzata dalla frequente presenza di sedimenti ricchi di sostanza organica palustri e/o lagunari di natura trasgressiva che si accompagnano ad una generale disattivazione dei sistemi fluviali del ciclo sottostante e ad un generale spostamento verso monte dei sistemi deposizionali.

Con particolare riferimento all'area di impianto, la stessa rientra nell'Unità di Modena.



**Figura 10 - Inquadramento dell'area di impianto sulla Carta Geologica d'Italia a scala 1:50000 (Fonte: Progetto CARG - foglio 222 "Lugo")**

L'Unità di Modena è caratterizzata da un'alternanza di sabbie, limi ed argille distinte in depositi di ambiente alluvionale prevalente (canale ed argine, piana inondabile) e di ambiente deltizio subordinato (canale distributore ed aree interdistributrici).

I depositi di canale e di argine sono concentrati lungo gli alvei attuali dei fiumi Sillaro e Santerno, mentre i depositi fini di trascinamento si sviluppano tra le aste fluviali e nel settore settentrionale della pianura.

I suoli presenti in corrispondenza del piano topografico sono caratterizzati da diverso grado di alterazione, con orizzonti che variano da non calcarei a calcarei.

## 4.2. Indagini pregresse effettuate

Nel presente capitolo si riportano brevemente, a scopo descrittivo, gli esiti delle indagini di tipo geognostico – geofisico realizzate in Sito e finalizzate alla caratterizzazione geotecnica dei terreni.

La campagna di indagine, svolta il 21.02.2022 dalla società Cooperativa Studi Topografici Aerofotogrammetrici e Geologici e dalla S.In.Ge.A S.r.l., ha previsto l'esecuzione di:

- n.6 prove penetrometriche dinamiche continue DPSH (cfr. 4.2.1);
- n.6 Trial Pits, realizzati in corrispondenza dei punti indagati con DPSH;
- indagini geofisiche, costituite da:

- n.3 linee sismiche tipo MASW;
- n.1 profilo di tomografia elettrica ERT.

Di seguito si riporta la planimetria del Sito con indicazione dell'ubicazione dei punti di indagine:



**Figura 11 - Dettaglio ubicazione delle indagini geognostiche svolte**

### 4.2.1. Prove penetrometriche dinamiche continue (DPSH)

Durante la campagna di indagini sono state eseguite n.6 prove penetrometriche dinamiche con penetrometro super pesante (DPSH), realizzate secondo le procedure ISSMF del 1998 e in conformità alle attuali norme A.G.I. Le prove consistono nell'infissione nel terreno di una punta conica mediante battitura con un maglio che cade liberamente da un'altezza costante. Durante la prova viene rilevato il numero di colpi necessari per la penetrazione di un tratto di 30 cm della punta.

In letteratura sono presenti diverse relazioni che permettono di stimare i parametri geotecnici utilizzando il numero di colpi rilevati in Sito.

Di seguito si riportano, per ogni prova, i parametri geotecnici stimati utilizzando le seguenti relazioni:

- Dr: (1) Terzaghi & Peck 1967; (2) Yoshida & Kokusho 1988;
- $\Phi'$ : (1) Peck, Hansoan & Thornburn 1974; (2.1) Meyerhof 1956 – sabbie fini e sabbie limose; (2.2) Meyerhof 1956 – sabbie medie e grossolane;
- $E'$ : (1) Tornaghi et al; (2) Bowles 1987;
- $E'_{25}$ : (1.1) Jamiolkowsky 1988 – sabbie normal consolidate; (1.2) Jamiolkowsky 1988 – sabbie sovra consolidate; (2) Stroud 1989;
- $c_u$ : (1) Terzaghi & Peck 1948; (2.1) Sivrikay & Togol 2007 – limi e argille limose; (2.2) Sivrikay & Togol 2007 – argille bassa plasticità; (2.3) Sivrikay & Togol 2007 – argille alta plasticità;
- $E_u$ : (1) Bowles 1987; (2) Kulhawy & Mayne 1990.

ID	PROFONDITA'	NATURA GRANULARE									NATURA COESIVA						
		Dr (1)	Dr (2)	$\phi$ (1)	$\phi$ (2.1)	$\phi$ (2.2)	$E'$ (1)	$E'$ (2)	$E'_{25}$ (1.1)	$E'_{25}$ (1.2)	$E'_{25}$ (2)	$c_u$ (1)	$c_u$ (2.1)	$c_u$ (2.2)	$c_u$ (2.3)	$E_u$ (1)	$E_u$ (2)
[n]	[m da p.c.]	[%]		[°]			[kg/cm <sup>q</sup> ]		[kg/cm <sup>q</sup> ]			[kg/cm <sup>q</sup> ]				[kg/cm <sup>q</sup> ]	
SPCT01	000-005	21	25	25,7	23,6	29,0	100	90	20	91	16	0,13	0,13	0,09	0,14	26	34
SPCT02	000-005	20	23	25,3	23,0	28,3	92	88	17	77	14	0,11	0,11	0,08	0,12	25	30
SPCT03	000-003	21	25	25,6	23,1	28,4	92	88	16	76	13	0,11	0,11	0,08	0,12	25	31
SPCT03	003-004	28	30	27,1	26,3	31,6	137	100	35	159	30	0,24	0,24	0,17	0,26	32	48
SPCT03	004-005	39	42	29,4	29,6	34,7	201	124	72	306	63	0,52	0,50	0,36	0,55	47	74
SPCT04	000-005	21	24	25,7	23,6	28,9	99	89	19	89	16	0,13	0,13	0,09	0,14	26	33
SPCT05	000-002	21	25	25,7	23,1	28,4	91	88	16	74	13	0,11	0,10	0,08	0,12	25	31
SPCT05	002-005	22	25	25,8	24,4	29,7	111	92	24	109	20	0,16	0,16	0,11	0,17	28	37
SPCT06	000-005	21	24	25,6	23,5	28,8	98	89	19	87	15	0,13	0,12	0,09	0,14	26	33

**Tabella 1: Parametri geotecnici stimati dalle prove penetrometriche dinamiche**


Per un maggior dettaglio sui risultati delle prove e la stima dei parametri si rimanda al documento "GRE.EEC.R.25.IT.P.15534.49.001.01 Portonovo – Indagini geognostiche" (cfr.

Appendice A). Dai parametri geotecnici stimati è possibile desumere che, ad una profondità di 4 m da p.c. si ha il passaggio da uno strato con prevalenza di materiale granulare ad uno coesivo. Il medesimo risultato è visibile dalle prove di tomografia elettrica di seguito descritte al par. 4.2.3.2.

#### 4.2.2. Trial Pits

In corrispondenza di ogni punto indagato con le prove DPSH (cfr. par. 4.2.1), durante la campagna di indagini, sono stati eseguiti dei campionamenti del terreno, di tipo semidistrurbato, mediante l'infissione di una fustella di tipo Shelby con escavatore da 50 q.l. fino ad una quota di 1,5 m da piano campagna ("p.c.).

Di seguito si riportano le stratigrafie redatte nel corso delle indagini geognostiche dal Geologo della ditta incaricata di eseguire le attività.

Profondità (m)	Descrizione	
0,00-0,70	(Terreno vegetale) Argilla limosa poco plastica, tenera, umida marrone chiara	
0,70-2,60	Argilla limosa poco plastica, tenera, molto umida, marrone scuro	
2,60 – 3,00	Argilla e argilla debolmente limosa, plastica, molto bagnata, di colore grigio azzurro	

**Figura 12 - Trial Pits in corrispondenza della Zona 1**


Profondità (m)	Descrizione	
0,00-0,60	(Terreno vegetale) Limo argilloso debolmente sabbioso, poco consistente, umido di colore marrone	
0,60-2,20	Limo argilloso debolmente sabbioso, consistente, molto umido di colore marrone	
2,20-3,00	Limo argilloso, consistente, bagnato di colore marrone con livelli argillosi di colore grigio azzurro	

**Figura 13 - Trial Pits in corrispondenza della Zona 2**


Profondità (m)	Descrizione	
0,00-0,50	(Terreno vegetale) Limo argilloso debolmente sabbioso, tenero, umido, marrone chiaro	
0,50-2,30	Limo argilloso debolmente sabbioso, tenero, bagnato, marrone chiaro	
2,30-3,00	Argille debolmente liose, plastiche, consistenti, molto bagnate, di colore grigio azzurro. Venute di acqua a fondo scavo.	

**Figura 14 - Trial Pits in corrispondenza della Zona 3**




Profondità (m)	Descrizione	
0,00-0,70	(Terreno vegetale) Limo argilloso debolmente sabbioso, poco consistente, umido di colore marrone	
0,70-2,10	Limo argilloso debolmente sabbioso, consistente, molto umido di colore marrone	
2,10-3,00	Limo argilloso, consistente, bagnato di colore marrone con livelli argillosi di colore grigio azzurro	

**Figura 15 - Trial Pits in corrispondenza della Zona 4**

Profondità (m)	Descrizione	
0,00-0,70	(Terreno vegetale) Argilla limosa poco plastica, tenera, umida marrone chiara	
0,70-3,00	Argille plastiche, consistenti, molto umide di colore grigio azzurro con livelli di argille limose marroni Venute di acqua da - 2,40 m	

**Figura 16 - Trial Pits in corrispondenza della Zona 5**

Profondità (m)	Descrizione	
0,00-0,60	(Terreno vegetale) Argilla limosa poco plastica, tenera, umida marrone chiara	
0,60-3,00	Argille plastiche, consistenti, molto umide di colore grigio azzurro con livelli di argille limose marroni Venute di acqua a fondo scavo	

**Figura 17 - Trial Pits in corrispondenza della Zona 6**

### 4.2.3. Indagini geofisiche

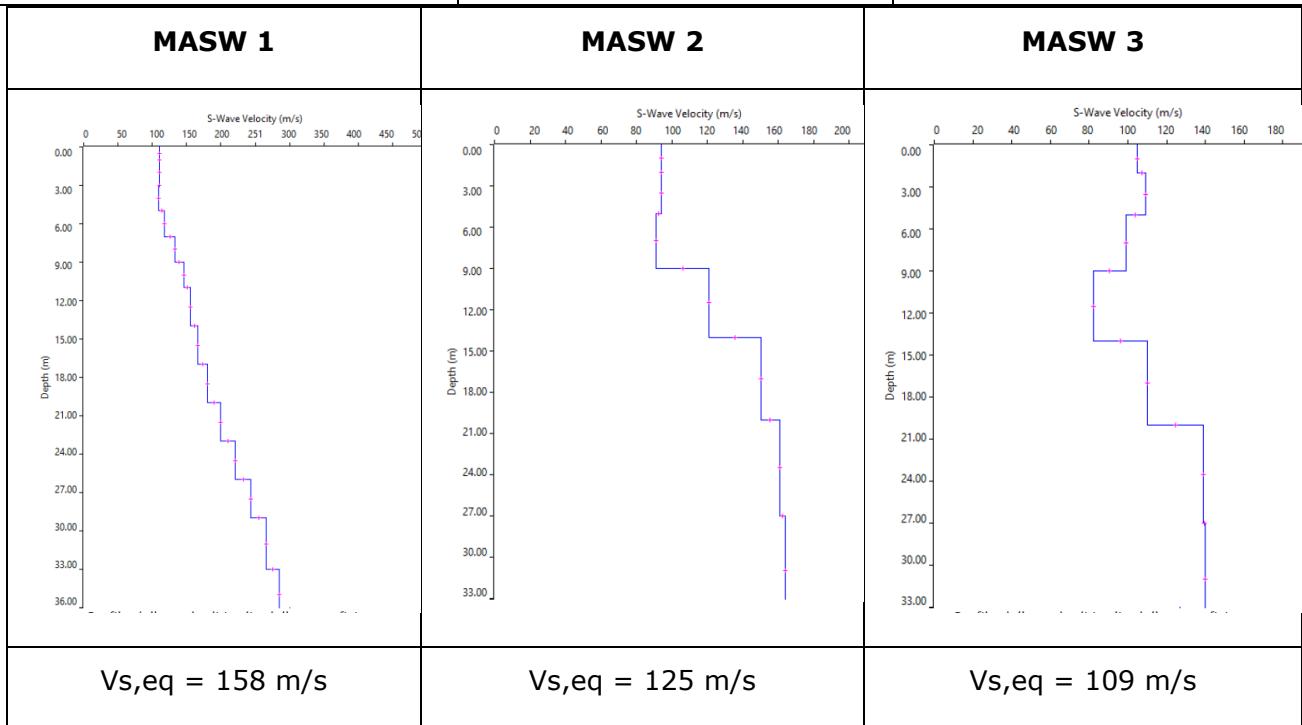
#### 4.2.3.1. Linee sismiche tipo MASW

La campagna di indagini ha previsto l'esecuzione di n.3 linee sismiche di tipo MASW. Queste indagini permettono di ottenere un modello verticale delle onde Vs a partire dalle modalità di propagazione delle onde di superficie, in particolare le onde di Rayleigh.

Di seguito si riportano in dettaglio le caratteristiche delle indagini eseguite.

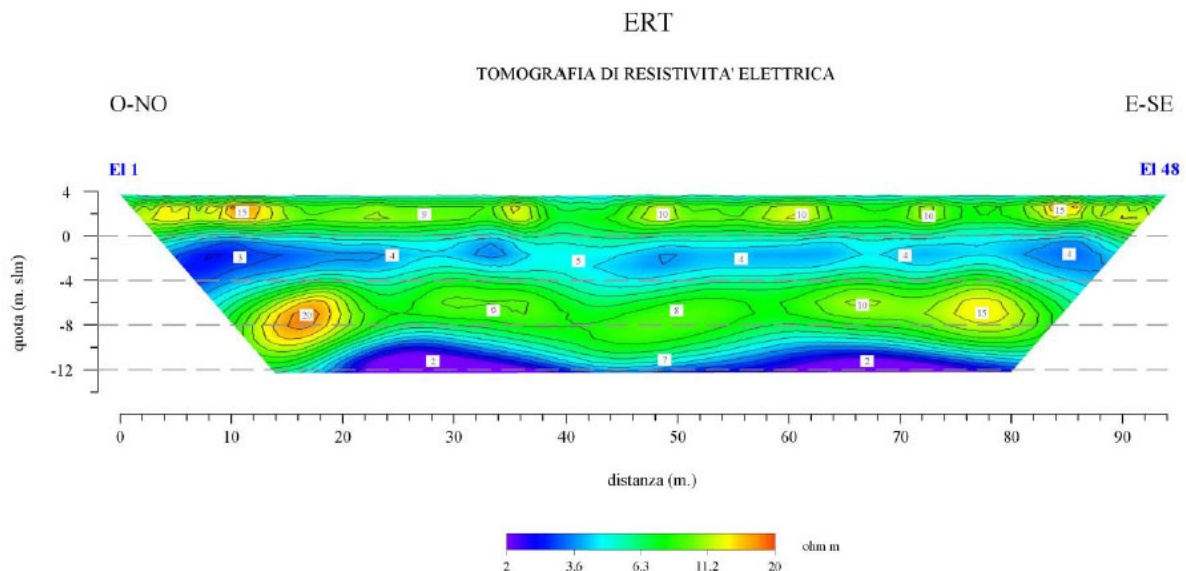
Linea	Lunghezza	Geofoni	Array	Passo	Energizzazione	Acquisizione	Campionamento
MASW 1	60	24	Rayleigh	2.5 m	Mazza 10 kg/Piastra	1.000 ms	250.0 $\mu$ s
MASW 2	60	24	Rayleigh	2.5 m	Mazza 10 kg/Piastra	1.000 ms	250.0 $\mu$ s
MASW 3	60	24	Rayleigh	2.5 m	Mazza 10 kg/Piastra	1.000 ms	250.0 $\mu$ s

Per ogni linea elettrica è stato ricavato un profilo delle onde di taglio dalla superficie da cui è stato calcolato il valore delle  $V_{s,eq}$  che rappresenta la velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio.



#### 4.2.3.2. Tomografia elettrica (ERT)

In aggiunta alle indagini MASW è stata eseguita in sito una tomografia elettrica ERT, che permette di ottenere informazioni sulla natura e sulla struttura del sottosuolo mediante la misura del campo elettrico indotto nel terreno da appositi dispositivi elettrodi. In particolare, per l'indagine sono stati utilizzati 48 canali con una spaziatura tra gli elettrodi di 2 m ed è stata indagata una porzione di suolo fino alla profondità di circa 15 m.



**Figura 18 – Tomografia di resistività elettrica**

Dalla tomografia è possibile individuare dall'alto verso il basso un primo livello di spessore

inferiore ad 1 m maggiormente conduttivo; al di sotto fino alla profondità di circa 4 m è presente, invece, un livello leggermente più resistivo. Da 4 m ad 8 m è presente un livello conduttivo mentre da 8 m a circa 13 m di profondità la resistività tende ad aumentare. Al di sotto si riscontrano terreni più conduttivi.

## 5. INQUADRAMENTO IDROLOGICO E IDROGEOLOGICO

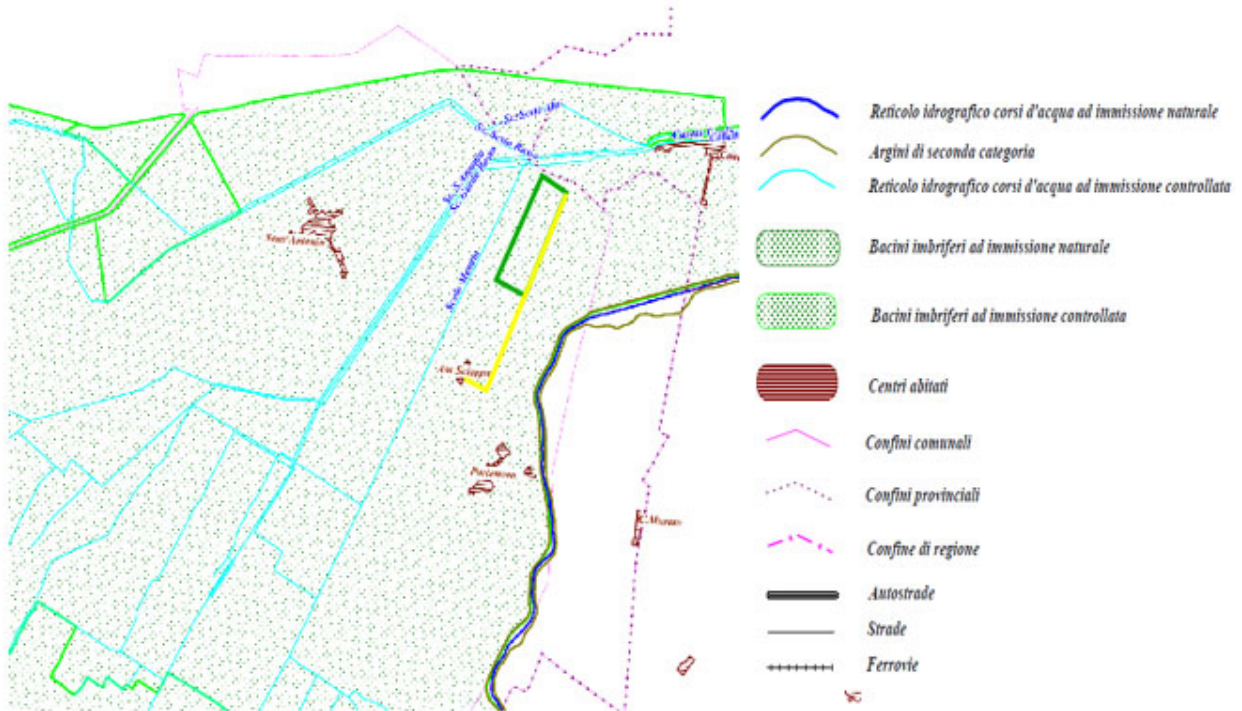
Da un punto di vista idrografico, l'area di impianto rientra all'interno del bacino idrografico del Fiume Reno.

Il PAI (Piano Assetto Idrogeologico) in questo bacino è sviluppato in stralci per sottobacino e, in particolare, l'area di impianto si trova nel sottobacino del Torrente Sillaro, come mostrato nella figura sottostante.



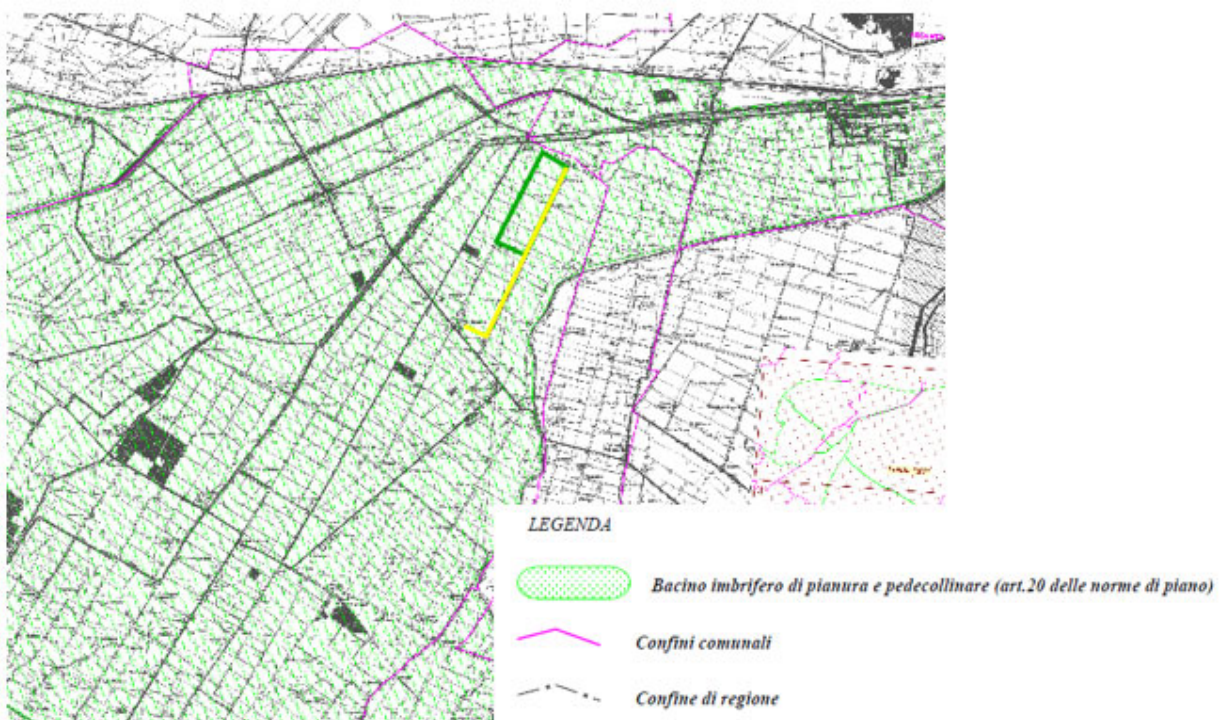
**Figura 19 - Sovrapposizione dell'area di impianto sulla tematica dei bacini idrografici (Fonte: Servizio WMS del Geoportale Nazionale)**

Come si evince dall'estratto della "Tav.A - schema sistema idraulico torrente Sillaro" del PAI, riportata in Figura 20, l'area di impianto ricade all'interno dei "Bacini imbriferi ad immissione controllata".



**Figura 20 - Sovrapposizione dell'area di impianto sulla "Tav.A- schema sistema idraulico torrente Sillaro" (Fonte: PAI del fiume Reno, sottobacino del Torrente Sillaro)**

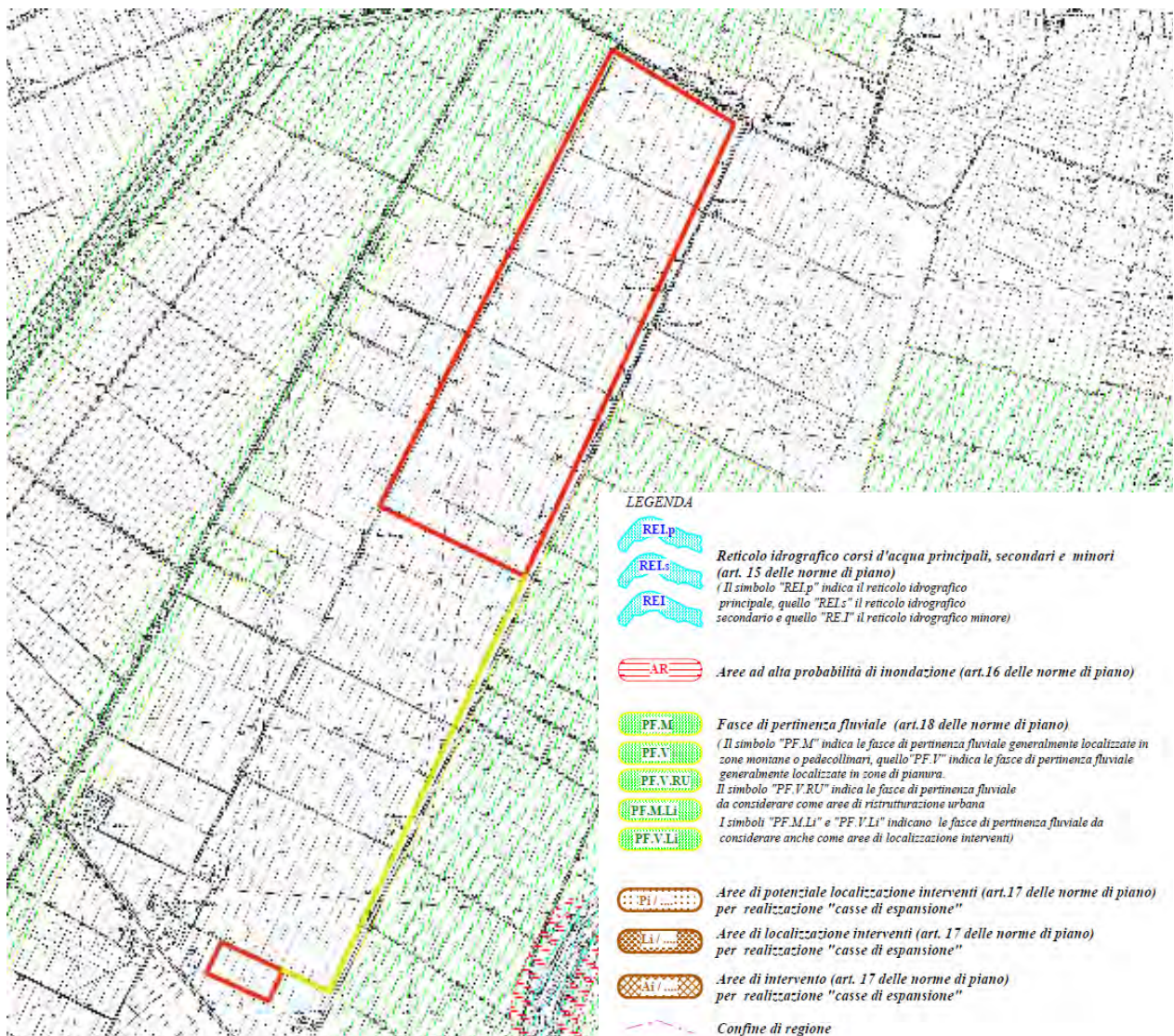
Inoltre, dall'analisi della tavola "Tav B1 - bacino imbrifero di pianura e pedecollinare del Torrente Sillaro" emerge che l'area di impianto ricade nell'area tematica "Bacino imbrifero di pianura e pedecollinare".



**Figura 21 - Sovrapposizione dell'area di impianto sulla "Tav.B1- Bacino imbrifero di pianura e pedecollinare del torrente Sillaro" (Fonte: PAI del fiume Reno, sottobacino del Torrente Sillaro)**

Infine, l'area di impianto non ricade in alcuna tematica della "Tav.RI.30- Reticolo idrografico, aree ad alta probabilità di inondazione, aree per la realizzazione degli interventi strutturali e fasce di pertinenza fluviale." (Figura 22).

**Si osserva che l'area si trova in prossimità di una fascia di pertinenza fluviale, ma non è interessata da alta probabilità di inondazione.**



**Figura 22 - Sovrapposizione dell'area di impianto sulle tematiche della "Tav.RI.30- Reticolo idrografico, aree ad alta probabilità di inondazione, aree per la realizzazione degli interventi strutturali e fasce di pertinenza fluviale." (Fonte: PAI del fiume Reno, sottobacino del Torrente Sillaro)**

Da un punto di vista idrogeologico, la pianura bolognese è caratterizzata dalla presenza di acquiferi superficiali e profondi che assumono un ruolo di primaria importanza nella gestione delle risorse idriche sotterranee, alimentando i principali centri di approvvigionamento idrico della provincia. Per questo motivo e al fine di garantire un efficace monitoraggio qualitativo e quantitativo della risorsa idrica, sono stati effettuati numerosi studi volti alla definizione della struttura generale degli acquiferi, la caratterizzazione idrogeologica degli acquiferi superficiali

e le loro relazioni con gli acquiferi profondi.

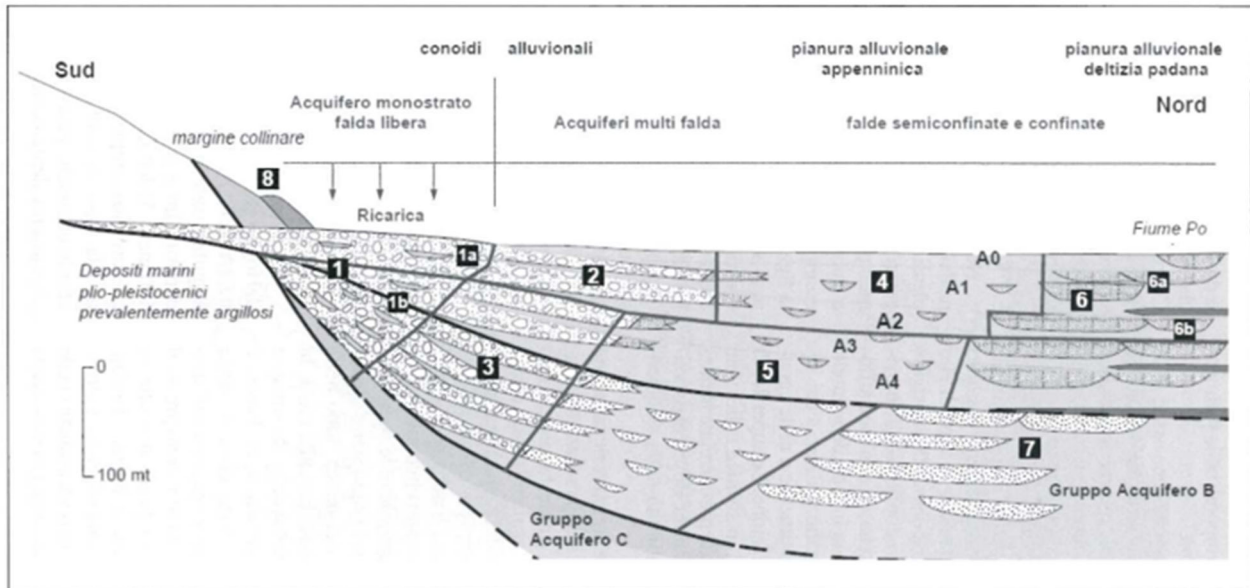
In particolare, nell'ambito del progetto *Stochastic Analysis of Well Head Protection and Risk assessment (W-SAHARA)*, è stata analizzata la struttura geologica ed idrogeologica della conoide del Fiume Reno, in cui ricade l'area di impianto.

All'interno della conoide sono state identificate le seguenti unità idrogeologiche:

- **Acquifero A1:** costituisce l'acquifero più superficiale ed è caratterizzato da una geometria cuneiforme con spessori variabili da 24-28 m in prossimità delle aree collinari a 65-70 m nelle zone più distali;
- **Acquitardo Alfa:** costituisce un importante elemento di suddivisione all'interno dell'acquifero A, separando il complesso delle falde superficiali da quelle profonde. È caratterizzato da uno spessore variabile da 1 m a 12 m ed è costituito da depositi prevalentemente di tipo limoso-argilloso con locali intercalazioni grossolane.
- **Acquifero A2-A3-A4:** la porzione dell'acquifero A sottostante l'acquitardo alfa è costituita da n.3 sottounità, denominate rispettivamente A2, A3 e A4, separate da acquitardi delle medesime caratteristiche di quello alfa. Lo spessore delle sottounità, complessivamente, risulta variabile da 40 m a 160 m, aumentando progressivamente in direzione Sud – Nord;
- **Acquitardo delta:** localizzato tra gli acquiferi A e B, è caratterizzato da uno spessore compreso tra 20 e 25 m ed è costituito da depositi limosi-argillosi con locali intercalazioni grossolane;
- **Acquifero B:** caratterizzato da uno spessore variabile da 15 m a 150 m, che aumenta progressivamente in direzione Nord, è sede di una falda profonda confinata;
- **Acquitardo Epsilon:** separa gli acquiferi B e C ed è caratterizzato, nell'area studiata, da uno spessore variabile tra 15 e 25 m. È costituito da depositi siltoso-argillosi con locali intercalazioni di sedimenti a granulometria grossolana;
- **Acquifero C:** è costituito da una falda profonda confinata. L'elevata profondità non ha permesso di avere dati sufficienti per la definizione dello spessore.

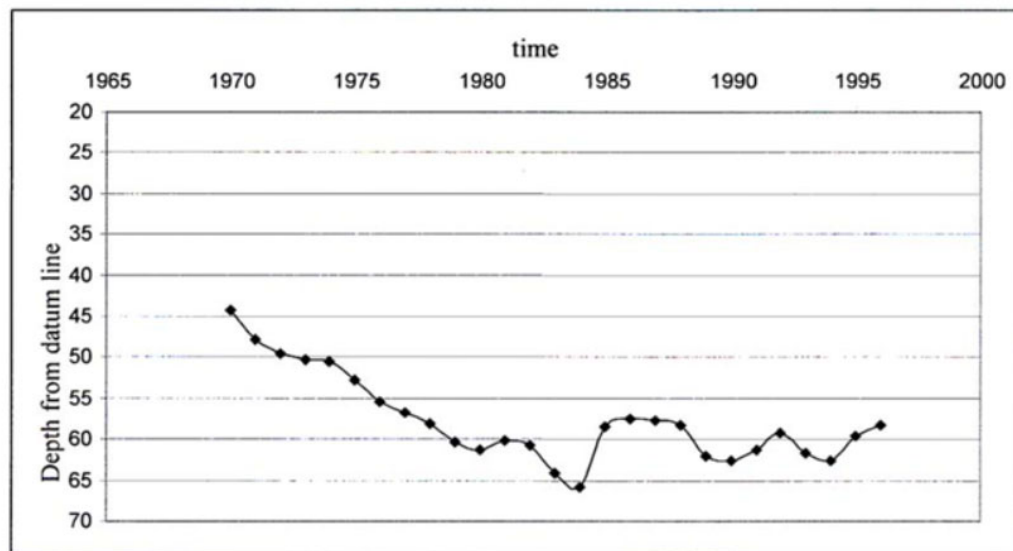
Di seguito si riporta una sezione schematica del sottosuolo della pianura emiliana in cui è possibile evidenziare i gruppi acquiferi, i complessi acquiferi e la distribuzione dei corpi grossolani presenti al loro interno.





**Figura 23 - sezione schematica della Pianura dell'Emilia - Romagna (Fonte: Cap 2.1 del documento "Esperienze e prospettive nel monitoraggio delle acque sotterranee" di Marco Farina, Marco Marcaccio e Adriano Zavatti")**

Gli studi effettuati a partire dal 1970 hanno permesso di osservare un continuo e progressivo abbassamento della falda superficiale, con medie di circa 2 m/anno.

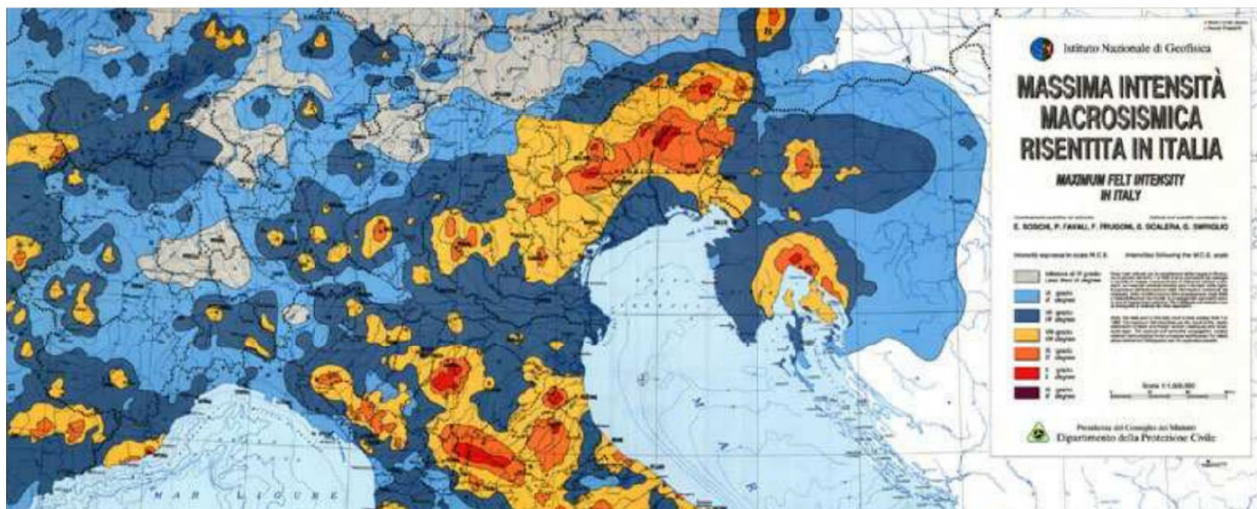


**Figura 24 - Evoluzione piezometrica della falda profonda (Farina et al. 2001)**

Le falde profonde, invece, sono collocate all'interno di acquiferi posti ad una profondità compresa tra 50-60 m e 300-400 m di profondità e caratterizzati da intercalazioni pelitiche che portano ad una elevata anisotropia della permeabilità.

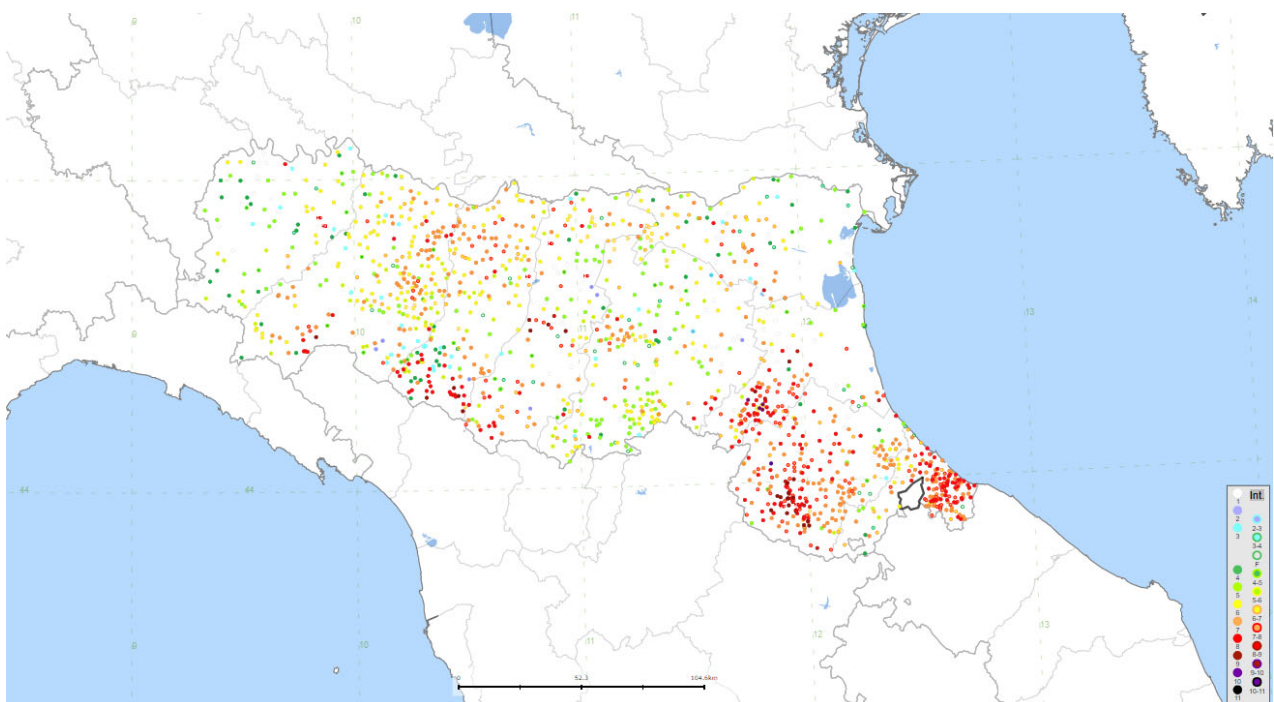
## 6. CLASSIFICAZIONE SISMICA E SISMICITÀ STORICA

Da un punto di vista geostrutturale, l'Italia settentrionale è caratterizzata dalla presenza di due catene: le Alpi Meridionali e l'Appennino. L'attività tettonica lungo le due catene produce deformazioni che si manifestano attraverso l'attività sismica. In Figura 25 si rappresenta la massima intensità sismica risentita sul territorio italiano, espressa in scala M.C.S., dal grigio (inferiore al VI grado) al bordeaux (XI grado).



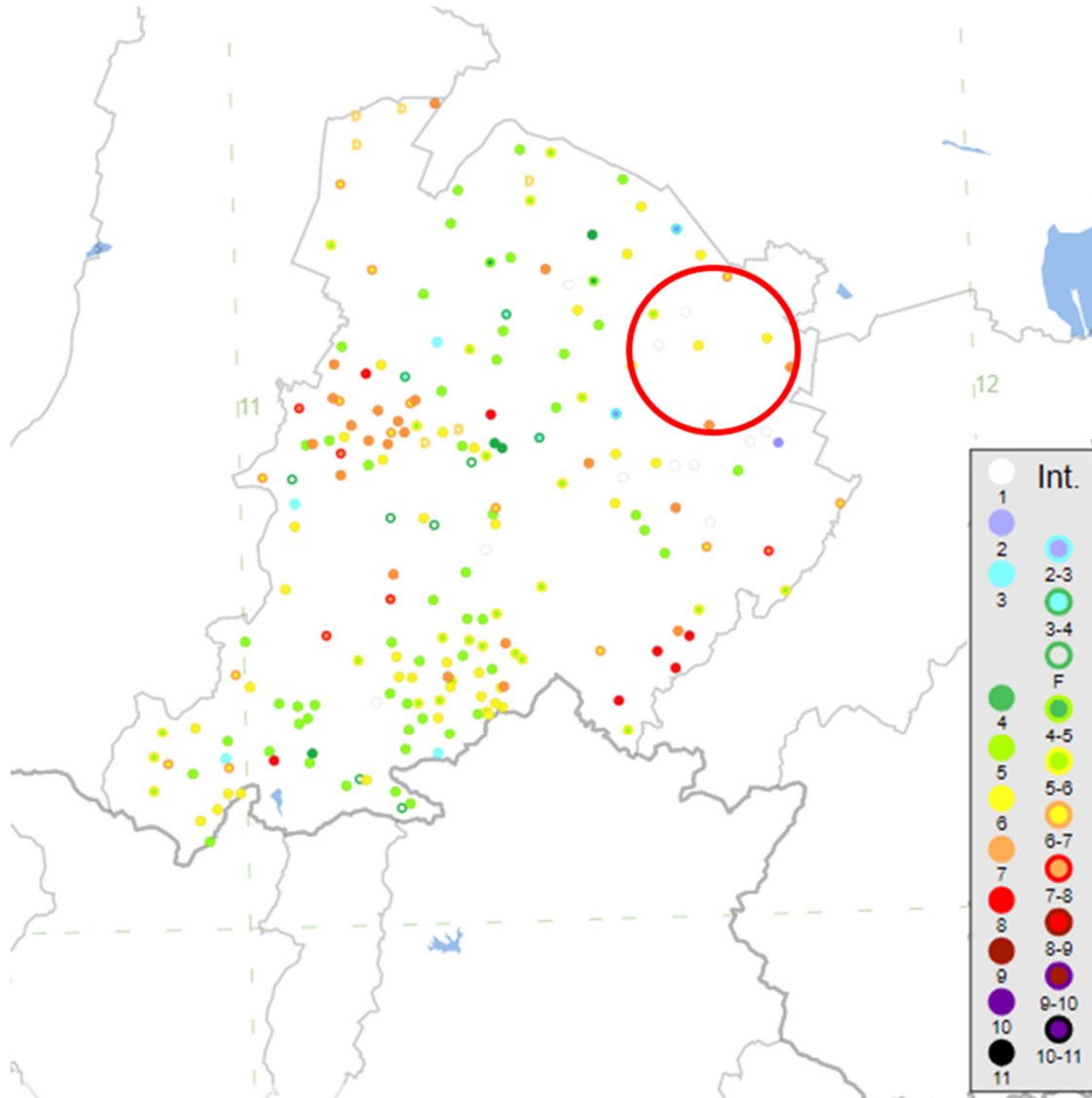
**Figura 25 - Massima intensità macrosismica in Italia settentrionale**

Dalla consultazione del Catalogo Parametrico dei Terreni Italiani (CPTI 15) è stato possibile ricostruire la storia sismica della regione per i terremoti a partire dal 1369. In Figura 26 si riportano gli eventi più significativi registrati nella Regione Emilia-Romagna.



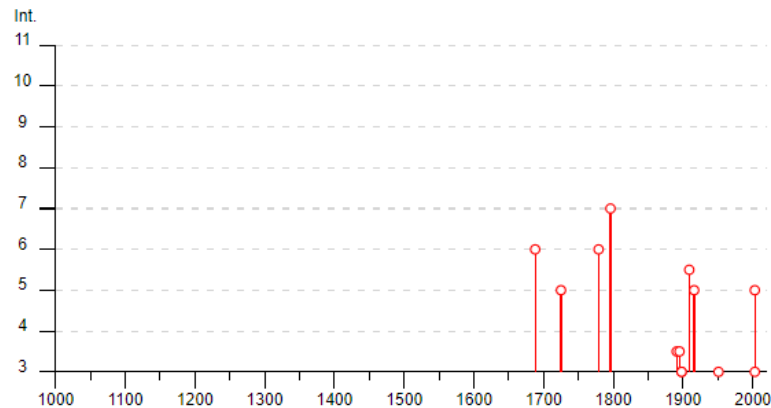
**Figura 26 - Storia sismica della Regione Emilia - Romagna**

Con particolare riferimento all'area di interesse, di seguito si riporta un dettaglio degli eventi più significativi registrati nella provincia di Bologna.



**Figura 27 - Storia sismica dell'area della provincia di Bologna con indicazione dell'area di impianto (in rosso).**

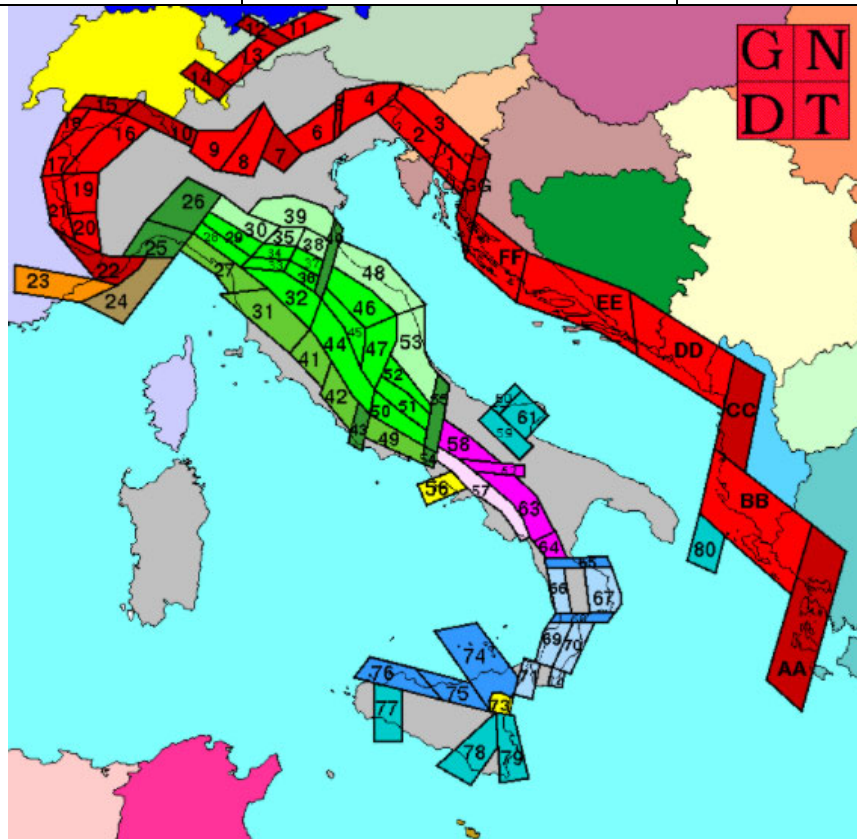
Nell'area del Comune di Medicina sono stati registrati complessivamente 21 eventi significativi.



Effetti	In occasione del terremoto del									
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
6	1688	04	11	12	20		Romagna	39	8-9	5.84
5	1725	10	29	17	40		Appennino tosco-emiliano	28	8	5.67
6	1779	06	04	07			Bolognese	12	7	5.22
7	1796	10	22	04			Emilia orientale	27	7	5.45
3-4	1891	06	07	01	06	1	Valle d'Illasi	403	8-9	5.87
3-4	1895	03	23				Comacchio	33	6	4.65
3	1898	01	16	13	10		Romagna settentrionale	110	6	4.59
3	1898	03	09	11	43		Romagna settentrionale	68	6	4.59
NF	1904	11	17	05	02		Pistoiese	204	7	5.10
5-6	1909	01	13	00	45		Emilia Romagna orientale	867	6-7	5.36
5	1916	05	17	12	50		Riminese	132	8	5.82
3	1951	05	15	22	54		Lodigiano	179	6-7	5.17
2	1956	04	26	03	00	0	Appennino bolognese	89	6	4.74
NF	1986	12	06	17	07	1	Ferrarese	604	6	4.43
NF	2000	05	06	22	07	0	Faentino	85	5	4.08
2	2000	05	08	12	29	5	Faentino	126	5	4.67
NF	2000	05	10	16	52	1	Faentino	151	5-6	4.82
NF	2002	11	02	10	57	4	Ferrarese	79	4	4.21
5	2003	09	14	21	42	5	Appennino bolognese	133	6	5.24
3	2003	12	07	10	20	3	Forlivese	165	5	4.18
NF	2005	07	15	15	17	1	Forlivese	173	4-5	4.29

**Figura 28 - Eventi significativi registrati nel Comune di Medicina**

Il Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti ("G.N.D.T.") ha individuato un modello sismogenetico che divide il territorio nazionale in più zone sismogenetiche. La provincia di Bologna rientra nelle zone 35, 38 e 39 (Figura 29) che costituiscono la fascia padano - adriatica in compressione.



Legenda della zonazione sismogenetica ZS.4 (aprile 1996)

- A. Zone di interazione tra piastra adriatica e piastra europea (Alpi e Sudalpino) e zone di interazione tra piastra adriatica e sistema dinarico (Dinaridi ed Ellenidi fino allo svincolo di Cefalonia). L'asse di compressione massima, suborizzontale segue i vettori di spostamento dell'indenter insubrico.**
- 1.1. Aree con meccanismi di rottura attesi di tipo thrust e transpressivi
  - 1.2. Aree di svincolo, con meccanismi di rottura attesi di tipo transpressivo o strike-slip
- B. Zone legate al margine interno della piastra padano-adriatico-ionica in subduzione sotto la catena appenninica.**
- 2.1. Fascia padano-adriatica in compressione. Meccanismi di rottura attesi: thrust e strike-slip
  - 2.2. Fascia intermedia. Meccanismi di rottura attesi: misti, con prevalenza di dip-slip
  - 2.3. Fascia tirrenica in distensione. Meccanismi di rottura attesi: dip-slip
  - 2.4. Zone di svincolo (transfer). Meccanismi di rottura attesi: misti, con prevalenza di strike-slip.
- Non è ancora definitivamente chiarito se l'Arco Calabro appartiene a questo gruppo o al gruppo 3. Nella prima ipotesi:*
- 2.5.a. Fasce sismogenetiche longitudinali. Meccanismi di rottura attesi: misti, con prevalenza di dip-slip
  - 2.5.b. Zone di svincolo. Meccanismi di rottura attesi: strike-slip
- C. Zone legate al recente sollevamento della catena appenninica, successivo ad una lunga storia di migrazione spazio-temporale del sistema catena-avampaese.**
- 3.1. Fascia appenninica principale. Meccanismi di rottura attesi: dip-slip e subordinatamente strike-slip
  - 3.2. Margine tirrenico. Meccanismi di rottura attesi: dip-slip
- D. Zone legate ad un regime compressivo giovane impostato su un precedente regime distensivo.**
- 4.1. Mar Ligure. Meccanismi di rottura attesi: thrust e strike-slip
  - 4.2. Liguria occidentale. Meccanismi di rottura attesi: strike-slip e transpressione
- E. Zone di rottura all'interno della piastra di avampaese e lungo i suoi margini in flessione.**
- 5. Belice, Iblei, Scarpata Ibleo-Maltese, Gargano-Tremiti, Canale d'Otranto. Meccanismi di rottura attesi: misti, con prevalenza di dip-slip nelle aree di flessura e lungo la scarpata di Malta e di strike-slip nelle altre
- F. Zone vulcaniche**
- 6. Ischia-Flegrei, Vesuvio ed Etna, con terremoti molto superficiali. Meccanismi di rottura attesi per i terremoti meno superficiali: dip-slip per l'area campana e misti (dip-slip e strike-slip) per l'Etna

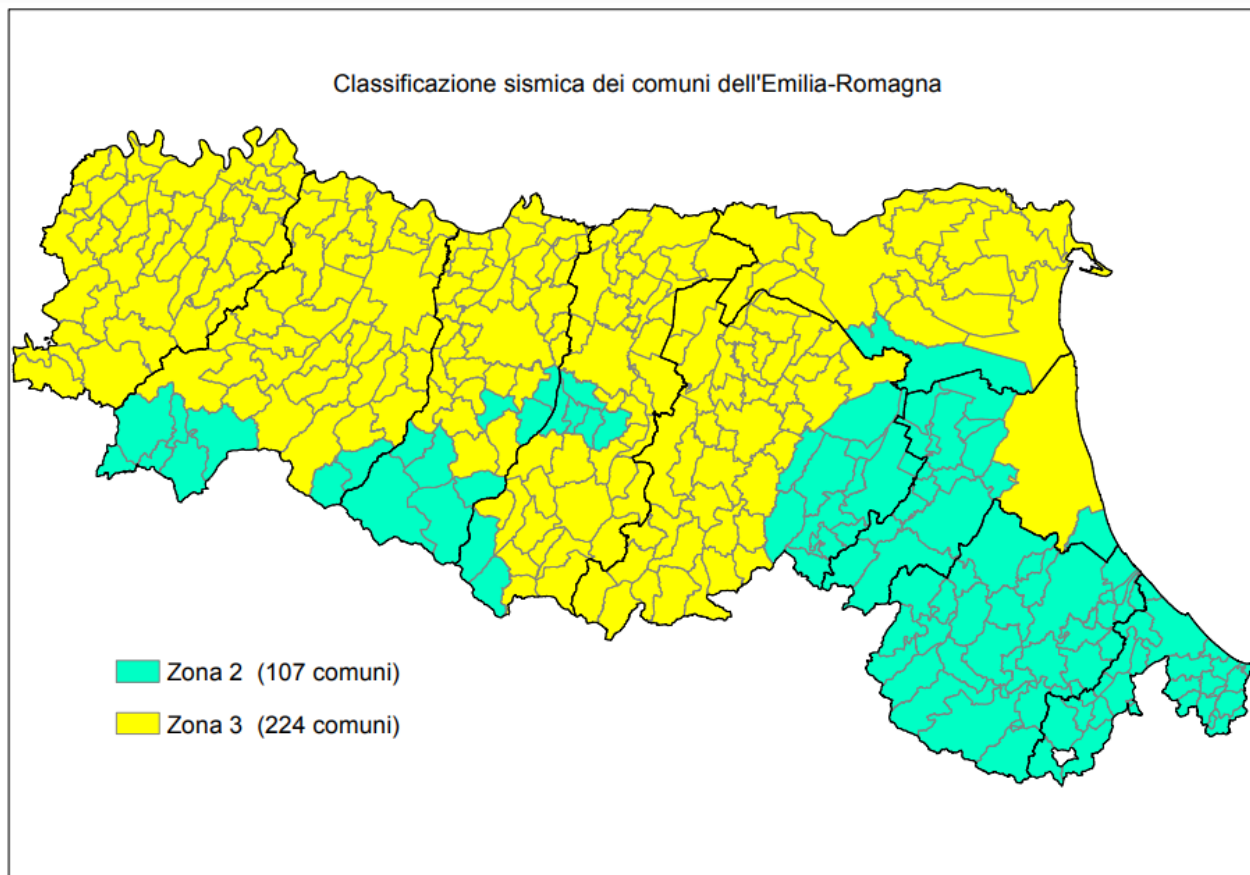
**Figura 29 - Zonazione sismogenetica ZS4 adottata dal GNDT nel 1996**

L'intero territorio del Comune di Medicina (BO) è descritto nell'Atlante della Classificazione Sismica del Territorio Nazionale, redatto dal Servizio Sismico del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici. Lo stesso, ai sensi della "O.P.C.M. del 20/03/2003 n.3274", è stato mappato

dall'INGV (Ist.to Nazionale di Geofisica e Vulcanologia) sulla base delle mappe di "Pericolosità sismica" del territorio nazionale espressa in termini di accelerazione massima del suolo (agmax), come area di intensità sismica di 3° categoria. La classificazione sismica del territorio è stata per lungo tempo competenza dello Stato che ha provveduto negli anni '80 alla classificazione per Decreto dell'intero territorio nazionale.

Secondo l'attuale legislazione, la classificazione sismica del territorio spetta alle regioni, sulla base dei criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche stabiliti dallo Stato, attualmente rappresentati dall'Opcm 3519/06.

Per l'Emilia - Romagna l'elenco delle zone sismiche è stato aggiornato con DGR 1164 del 23 luglio 2018. Di seguito si riporta la mappa della classificazione sismica vigente dei Comuni dell'Emilia - Romagna.



**Figura 30 - Mappa di pericolosità sismica Emilia - Romagna (DGR 1164/2018)**

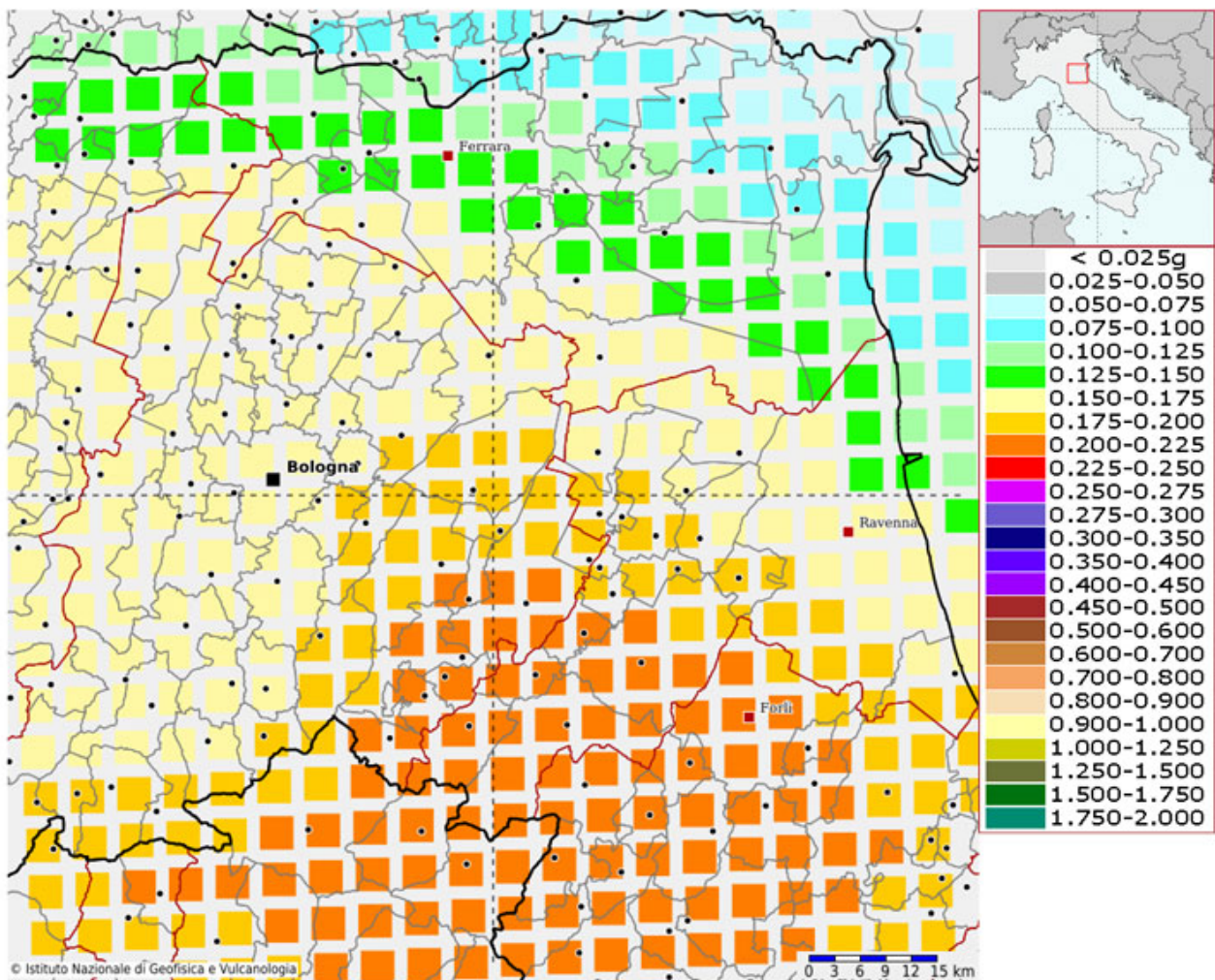
Il comune di Medicina ricade in una zona sismica di classe 2, così definita:

Zona sismica	Descrizione	Accelerazione con probabilità di superament del 10% in 50 anni [ag]	Accelerazione orizzontale massima convenzionale (Norme Tecniche) [ag]

2	Zona in cui possono essere possibili forti terremoti	$0,15 < a_g \leq 0,25 \text{ g}$	0,25 g
---	--	----------------------------------	--------

**Tabella 2 - Classificazione zona sismica**

I parametri riportati in Tabella 2 - Classificazione zona sismica dipendono dalle caratteristiche sismologiche del territorio definite sul reticolo di zonazione sismica a scala nazionale. Il valore dell'accelerazione  $a_g$  è desunto direttamente dalla pericolosità di riferimento prodotta e divulgata dall'Istituto di Geofisica e Vulcanologia (INGV) e non è altro che la probabilità che, in un fissato lasso di tempo, nel sito in studio si verifichi un evento sismico di entità almeno pari ad un valore prefissato.

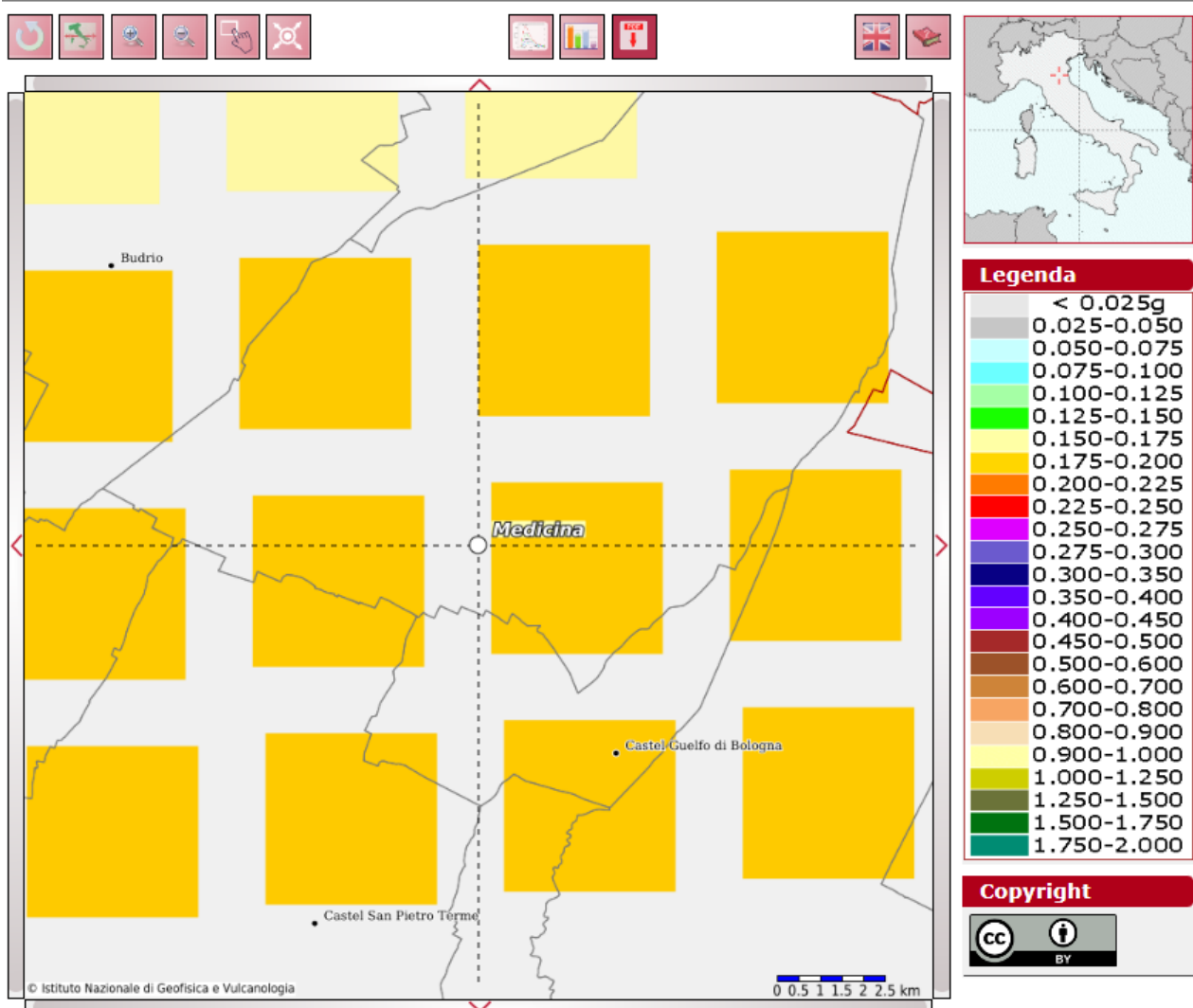


**Figura 31 - Carta della pericolosità sismica (INGV)**

La mappa rappresenta il modello di pericolosità sismica per l'Italia e i diversi colori indicano il valore di scuotimento (PGA = Peak Ground Acceleration; accelerazione di picco del suolo, espressa in termini di g, l'accelerazione di gravità) atteso con una probabilità di eccedenza pari al 10% in 50 anni su suolo rigido (classe A,  $V_{s30} > 800 \text{ m/s}$ ) e pianeggiante. Le coordinate selezionate individuano un nodo della griglia di calcolo identificato con l'ID 13128 (posto al centro della mappa). Per ogni nodo della griglia sono disponibili numerosi parametri

che descrivono la pericolosità sismica, riferita a diversi periodi di ritorno e diverse accelerazioni spettrali.

Di seguito si riporta un dettaglio della carta della pericolosità con indicazione dell'area comunale di Medicina:



**Figura 32 - Dettaglio carta della pericolosità sismica (INGV)**

Le azioni sismiche sulle costruzioni vengono valutate in relazione ad un periodo di riferimento VR che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale di progetto VN per il coefficiente d'uso CU:  $VR = VN \times CU$ .

In merito alla tipologia progettuale e alla definizione (tabella 2.4.1 e 2.4.2 NTC 2018) nel caso in esame è individuabile la tipologia di costruzione 2 con vita nominale VN maggiore o uguale a 50 anni e classe d'uso IV: "Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente" ed il relativo coefficiente d'uso.



Il valore del coefficiente d'uso  $C_U$  è definito, al variare della classe d'uso, come mostrato nella sottostante tabella (tratta da NTC 2018):

**Tab. 2.4.II – Valori del coefficiente d'uso  $C_U$**

CLASSE D'USO	I	II	III	IV
COEFFICIENTE $C_U$	0,7	1,0	1,5	2,0

La rappresentazione di riferimento per le componenti dell'azione sismica è lo spettro di risposta elastico in accelerazione per uno smorzamento convenzionale del 5% con periodo di oscillazione  $T$  maggiore o uguale a 4 sec: espressione del prodotto della forma spettrale per l'accelerazione.

Nei confronti delle azioni sismiche sia gli stati limite di esercizio che quelli ultimi, sono individuati riferendosi alle prestazioni della costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e gli impianti.

Le probabilità di superamento nel periodo di riferimento PVR, cui riferirsi per individuare l'azione sismica agente in ciascuno degli stati limite considerati, sono riportate nella Tab.3.2.I. delle NTC18 riportata nel seguito:

Stati Limite	$P_{V_R}$ : Probabilità di superamento nel periodo di riferimento $V_R$	
Stati limite di esercizio	SLO	81%
	SLD	63%
Stati limite ultimi	SLV	10%
	SLC	5%

**Tabella 3 - Probabilità di superamento PVR in funzione dello stato limite considerato (NTC 2018)**

Per ciascuno stato limite e relativa probabilità di eccedenza PVR nel periodo di riferimento  $V_R$  si ricava il periodo di ritorno  $T_R$  del sisma utilizzando la relazione:

$$T_R = - \frac{V_R}{\ln(1 - P_{V_R})} = - \frac{C_U V_N}{\ln(1 - P_{V_R})}$$

Il periodo di ritorno  $T_R$  è il periodo medio intercorrente fra un sisma ed il successivo di eguale intensità.

Stati Limite	Valori in anni del periodo di ritorno $T_R$ al variare del periodo di riferimento $V_R$
--------------	---

Stati Limite di Esercizio (SLE)	SLO	$(^1) 30 \text{ anni} \leq T_R = 0,60 \cdot V_R$
	SLD	$T_R = V_R$
Stati Limite Ultimi (SLU)	SLV	$T_R = 9,50 \cdot V_R$
	SLC	$T_R = 19,50 \cdot V_R \leq 2475 \text{ anni } (^1)$

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, l'effetto della risposta sismica locale (RSL) si valuta mediante specifiche analisi. In alternativa, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab. 3.2.II delle NTC18, si può fare riferimento ad un approccio semplificato, che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio  $V_s$ .

**Tab. 3.2.II** – Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> , caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.
C	<i>Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
D	<i>Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.
E	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D</i> , con profondità del substrato non superiore a 30 m.

I valori di  $V_s$  sono ottenuti mediante specifiche prove geofisiche oppure, con giustificata motivazione e limitatamente all'approccio semplificato, sono valutati tramite relazioni empiriche di comprovata affidabilità con i risultati di altre prove in sito, quali ad esempio le prove penetrometriche dinamiche per i terreni a grana grossa e le prove penetrometriche statiche. Tuttavia, si sottolinea come l'approccio suggerito e maggiormente affidabile è quello attraverso la misura diretta del valore di  $V_s$  ottenibile attraverso indagini geofisiche.

La risposta sismica locale e, comunque, la modellazione sismica in generale comprendono, ove necessario in relazione alla natura ed alla dimensione dell'opera, un propedeutico studio

geomorfologico, stratigrafico e tettonico, nonché una individuazione delle categorie di sottosuolo a cui afferiscono le opere in progetto.

## 7. PERICOLOSITÀ GEOMORFOLOGICA

Per la valutazione di aree potenzialmente a rischio per fattori geologici, e con lo scopo di caratterizzare il territorio interessato dal progetto proposto, sono stati esaminati i seguenti temi:

- Fattori di pericolosità geologica;
- Fattori di pericolosità sismica.

### 7.1. Pericolosità geologica ed idrogeologica

Gli strumenti per l'individuazione di fattori di pericolosità idrogeologica sono di tipo tecnico scientifico ma anche programmatico, vale a dire derivati da studi specifici che hanno portato a indirizzi e norme incluse nella pianificazione territoriale di settore.

Per una valutazione della pericolosità geologica ed idrogeologica si è fatto riferimento agli elaborati del Piano Territoriale Metropolitan (PTM) e al Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale (PTCP). Dal 26 maggio 2021, data di entrata in vigore del PTM, infatti, è stato abrogato il PTCP ad eccezione dei contenuti normativi e cartografici che costituiscono pianificazione regionale e, in particolare, recepiscono i contenuti del Piano Territoriale Paesistico Regionale – PTPR - e del Piano di Tutela delle Acque – PTA.

Per quanto riguarda la pericolosità geologica, sulla Tavola 3 "*Carta di area vasta del rischio idraulico, rischio da frana e dell'assetto dei versanti*" del PTM si evince che l'area di interesse, che comprende sia l'area di impianto che le opere di connessione, ricadono in:

- Ambiti di controllo degli apporti d'acqua in pianura;
- Scenario P1 derivato dal Reticolo naturale Principale e Secondario (RP);
- Scenario P1 derivato dal Reticolo Naturale Principale (RP);
- Scenario P2 derivato dal Reticolo Secondario di Pianura (RSP);
- Scenario P2 derivato dal Reticolo Naturale Principale e dal Reticolo secondario di Pianura (RP-RSP).







Di seguito si riporta uno stralcio della tavola con indicazione delle aree di interesse:



**Gestione delle acque meteoriche**

-  Ambito di controllo degli apporti d'acqua in pianura
-  Ambito di controllo degli apporti d'acqua in collina zona A
-  Ambito di controllo degli apporti d'acqua in collina zona B

**Scenari di pericolosità idraulica PGRA**


-  Scenario P3 derivato dal Reticolo Secondario di Pianura (RSP)
-  Scenario P3 derivato dal Reticolo Naturale Principale e Secondario (RP)
-  Scenario P2 derivato dal Reticolo Naturale Principale e dal Reticolo Secondario di Pianura (RP+RSP)
-  Scenario P2 derivato dal Reticolo Secondario di Pianura (RSP)
-  Scenario P2 derivato dal Reticolo Naturale Principale (RP)
-  Scenario P1 derivato dal Reticolo Naturale Principale e Secondario (RP)


**Rischio da frana e assetto dei versanti**

Inventario del dissesto regionale






-  Frane attive
-  Frane quiescenti
-  Frane stabilizzate

Aree sottoposte a perimetrazione e zonizzazione:





-  Perimetrazione degli abitati da consolidare o trasferire
  - 1 - Aree in dissesto
  - 2 - Aree di possibile evoluzione del dissesto
  - 4 - Aree da sottoporre a verifica
  - 5 - Aree di influenza sull'evoluzione del dissesto
- A - Zone a più elevata pericolosità
- B - Zone di possibile ulteriore evoluzione dei fenomeni franosi
- C - Zone individuate come frane antiche
- NC - Zone non classificate secondo la Circolare Regionale

-  n. Aree a rischio di frana e n. di scheda




Aree a rischio di frana perimetrata e zonizzate

-  zona 1 - area in dissesto
-  zona 2 - area di possibile evoluzione del dissesto
-  zona 3 - area di possibile influenza del dissesto
-  zona 4 - area da sottoporre a verifica
-  zona 5 - area di influenza sull'evoluzione del dissesto



Rischio da frana:


-  U.I.E. a rischio molto elevato - R4
-  U.I.E. a rischio elevato - R3
-  U.I.E. a rischio medio - R2
-  U.I.E. a rischio moderato - R1

Attitudini alle trasformazioni edilizie e urbanistiche:

-  U.I.E. non idonee ad usi urbanistici
-  U.I.E. da sottoporre a verifica
-  U.I.E. idonee o con scarse limitazioni ad usi urbanistici

Elementi a rischio

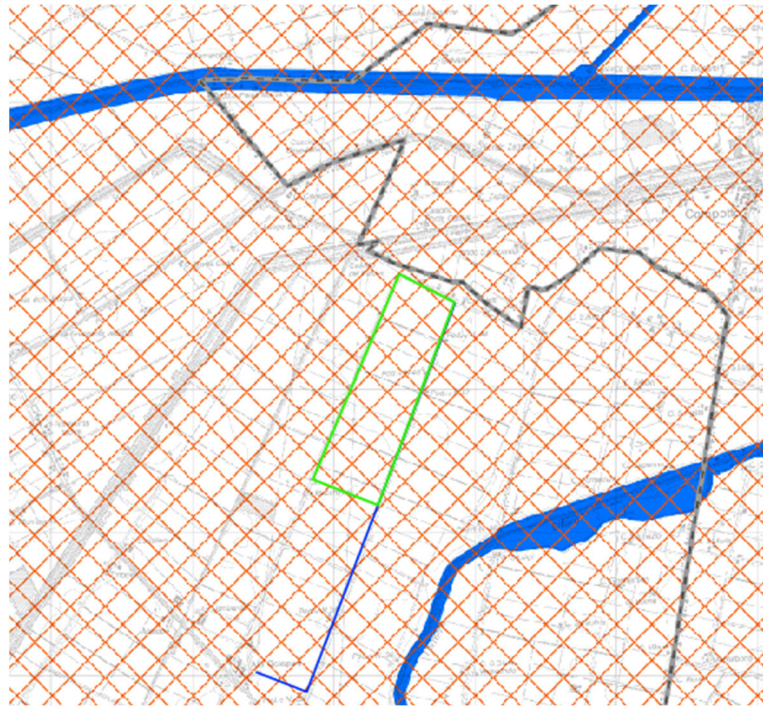
-  Centri e nuclei abitati, insediamenti industriali e artigianali, allevamenti e trasformazione di prodotti agricoli, previsioni urbanistiche, cimiteri, beni architettonici,
-  autostrade, strade statali e strategiche, ferrovie, acquedotti, gasdotti, rete fognaria, depuratori, discariche

-  Confine provinciale (limite dell'ambito di applicazione delle politiche del PTCP)

**Figura 33 - Sovrapposizione dell'area di impianto (in verde) e del tracciato del cavidotto (in giallo) sulla Tav.3 Carta di area vasta del rischio idraulico, rischio da frana e dell'assetto dei versanti (Fonte: [Rete ecologica regionale – Ambiente \(regione.emilia-romagna.it\)](http://reteecologica.regione.emilia-romagna.it))**

Da un punto di vista geologico, invece, dalla cartografia sopra riportata si evince che l'area di interesse non ricade all'interno delle aree a rischio da frana e assetto dei versanti.

Inoltre, dall'inquadramento dell'area di impianto sulla Tavola 2.A "Rischio frana, assetto dei versanti e gestione delle acque meteoriche" del PTCP, è possibile osservare che l'area di impianto e tracciato del cavidotto non ricadono in aree a rischio.



**Legenda**

- Perimetro dei bacini montani (artt.4.8, 6.9 e 6.10)
- Alvei attivi e invasi dei bacini idrici (art.4.2)
- Terrazzi alluvionali (artt.5.2, 5.3 e 6.9)

**Gestione delle acque meteoriche**

- Ambito di controllo degli apporti d'acqua in pianura (art.4.8)
- Ambito di controllo degli apporti d'acqua in collina zona A (art.4.8)
- Ambito di controllo degli apporti d'acqua in collina zona B (art.4.8)

**Rischio da frana e assetto dei versanti**

- Limiti delle Unità Idromorfologiche Elementari (U.I.E.) Bacino del fiume Reno (art.6.1)
- Limiti delle Unità Idromorfologiche Elementari (U.I.E.) Bacino del fiume Po (art.6.1)
- Perimetrazione degli abitati da consolidare o trasferire (artt.6.12 e 6.14)
  - 1 - Area in dissesto
  - 2 - Aree di possibile evoluzione del dissesto
  - 4 - Aree da sottoporre a verifica
  - 5 - Aree di influenza sull'evoluzione del dissesto
  - A - Zone a più elevata pericolosità
  - B - Zone di possibile ulteriore evoluzione dei fenomeni franosi
  - C - Zone individuate come frane antiche
  - NC - Zone non classificate secondo la Circolare Regionale

**Aree sottoposte a perimetrazione e zonizzazione:**

- n. Aree a rischio di frana e n. di scheda (art.6.2)
- A n. Ulteriori U.I.E. e n. di scheda (art.6.2)
- n. P. Aree del bacino del fiume Po e n. di scheda (art.6.2)

**Aree a rischio di frana perimetrate e zonizzate**

- zona 1 - area in dissesto (artt.6.3, 6.6, 6.7 e 6.14)
- zona 2 - area di possibile evoluzione del dissesto (artt.6.4, 6.6, 6.7 e 6.14)
- zona 3 - area di possibile influenza del dissesto (artt.6.4, 6.6, 6.7 e 6.14)
- zona 4 - area da sottoporre a verifica (artt.6.5, 6.6, 6.7 e 6.14)
- zona 5 - area di influenza sull'evoluzione del dissesto (artt.6.6, 6.7 e 6.14)

**Rischio da frana:**

- U.I.E. a rischio molto elevato - R4 (art.6.8)
- U.I.E. a rischio elevato - R3 (art.6.8)
- U.I.E. a rischio medio - R2 (art.6.8)
- U.I.E. a rischio moderato - R1 (art.6.8)

**Attitudini alle trasformazioni edilizie e urbanistiche:**

- U.I.E. non idonee ad usi urbanistici (art.6.9)
- U.I.E. da sottoporre a verifica (art.6.9)
- U.I.E. idonee o con scarse limitazioni ad usi urbanistici (art.6.9)

**Elementi a rischio (artt. 6.2 e 6.8)**

- Centri e nuclei abitati, insediamenti industriali e artigianali, allevamenti e trasformazione di prodotti agricoli, previsioni urbanistiche, cimieri, beni architettonici, autostrade, strade statali e strategiche, ferrovie, acquedotti, gasdotti, rete fognaria, depuratori, discariche

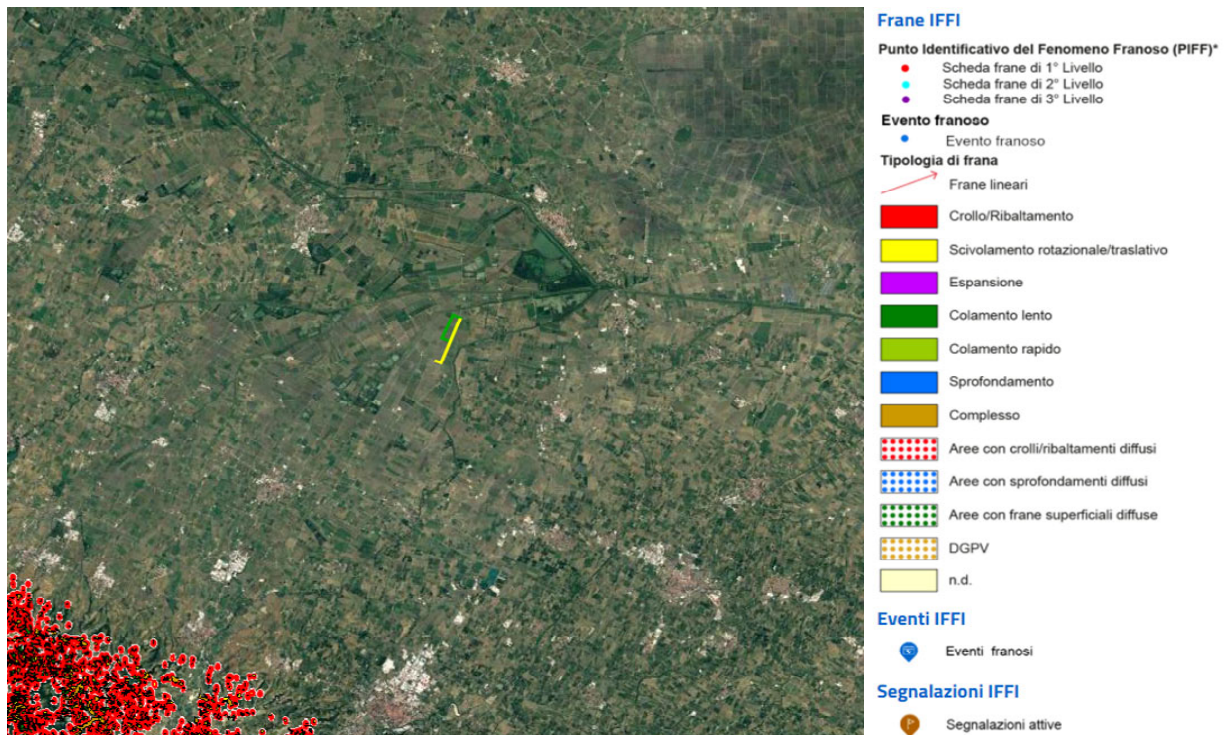
Confine provinciale (limite dell'ambito di applicazione delle politiche del PTCP)

**Figura 34 - Sovrapposizione dell'area di impianto (in verde) e del tracciato del cavidotto (in blu) con le tematiche della "Tavola 2A- Rischio frana, assetto dei versanti e gestione delle acque" del PTCP di Bologna (Fonte: [Pianificazione Territoriale - PTCP - Piano abrogato](http://Pianificazione Territoriale - PTCP - Piano abrogato) ([cittametropolitana.bo.it](http://cittametropolitana.bo.it))).**

In aggiunta a quanto sopra, in riferimento ai fenomeni franosi, si è consultata la cartografia del Progetto IFFI.

Il Progetto IFFI (Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia), realizzato dall'ISPRA e dalle Regioni e Province Autonome, fornisce un quadro dettagliato sulla distribuzione dei fenomeni franosi sul territorio italiano. L'inventario ha censito ad oggi 620.808 fenomeni franosi che interessano un'area di circa 23.700 km<sup>2</sup>, pari al 7,9% del territorio nazionale.

Come riscontrabile dall'immagine sottostante, l'area di progetto non risulta interessata da fenomeni franosi.



**Figura 35 – Indicazione dell'area di impianto (in verde) e del tracciato di connessione (in giallo) su stralcio della cartografia dell'Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia (fonte: <http://idrogeo.isprambiente.it/>).**

Sulla scorta di quanto sopra l'area di progetto risulta stabile da un punto di vista geomorfologico, mentre è caratterizzata da una pericolosità idraulica di tipo P2.

## 7.2. Pericolosità sismica

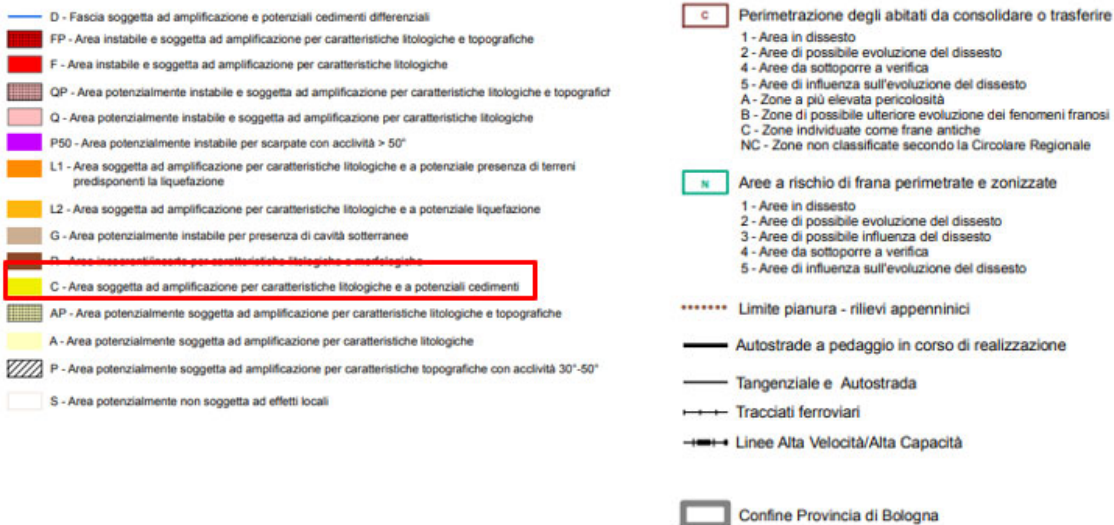
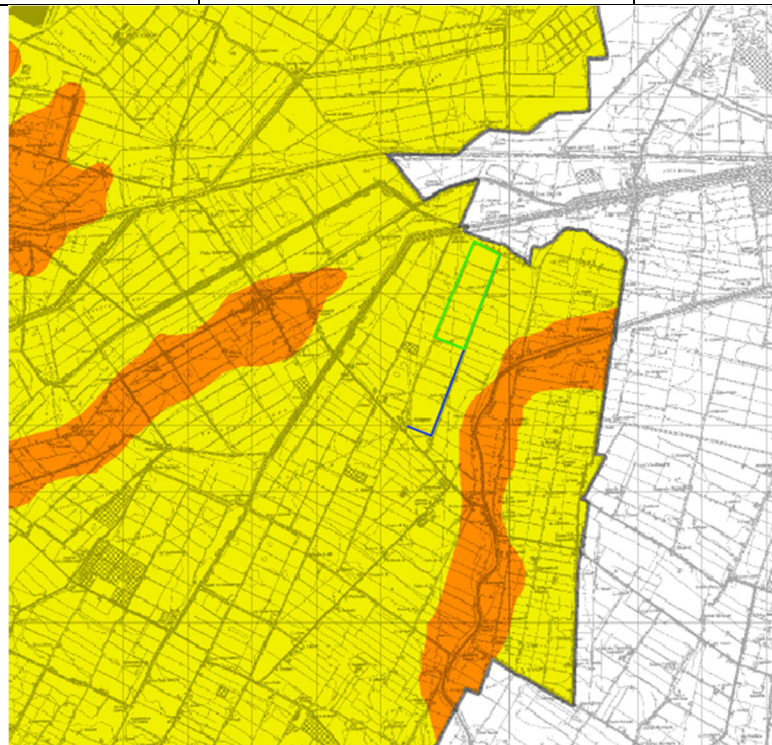
Per il territorio di Medicina, dalla bibliografia scientifica di settore (ITHACA Italy Hazard from Capable faults) sono state cartografate le faglie attive capaci potenzialmente in grado di determinare dislocazioni del suolo o fenomeni di deformazione in superficie. In considerazione di ciò, nell'area di intervento non risulta la presenza di faglie capaci in grado di determinare dislocazioni del suolo o fenomeni di deformazione per creep asismico.



**Figura 36 - Presenza di faglie capaci nell'area di Medicina (fonte: Progetto ITHACA - ISPRA)**

Per quanto riguarda il rischio sismico, il PTCP nella Tavola 2C riporta la classificazione delle aree suscettibili di effetti locali in seguito ad eventi sismici. Da un'analisi della tavola è possibile osservare che l'area di impianto e tracciato del cavidotto ricadono interamente nella tematica "C - Area soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche e a potenziali cedimenti".





**Figura 37 - Sovrapposizione dell'area di impianto (in verde) e del tracciato del cavidotto (in blu) con le tematiche della "TAVOLA 2 C- Rischio sismico: carta delle aree suscettibili di effetti locali" del PTCP di Bologna (Fonte: [Pianificazione Territoriale - PTCP - Piano abrogato \(cittametropolitana.bo.it\)](http://Pianificazione Territoriale - PTCP - Piano abrogato (cittametropolitana.bo.it)))**

Per quanto riguarda la verifica del possibile fenomeno di liquefazione si richiamano i principi generali e le caratteristiche legate al fenomeno. Nel caso di terremoti di elevata intensità e di lunga durata, in particolari tipi di terreno ed in determinate condizioni idrauliche, si possono generare dei fenomeni di liquefazione del terreno.

Si è ritenuto quindi essenziale valutare se nell'ambito dell'area in esame fossero presenti dei terreni potenzialmente liquefacibili. Per una stima del potenziale di liquefazione del terreno sono stati esaminati i fattori predisponenti che concorrono a creare le condizioni in cui la

liquefazione può manifestarsi:

- La presenza di falda a limitata profondità dal piano campagna come elemento necessario per il manifestarsi del fenomeno di liquefazione. Infatti, il carico litostatico limita sensibilmente l'insorgere del fenomeno e fa in modo che la liquefazione non si manifesti nel caso di falda non propriamente superficiale (>15 m dal p.c.);
- La struttura, la dimensione, la forma, la distribuzione granulometrica e il grado di uniformità delle particelle del terreno influenzano sensibilmente il fenomeno della liquefazione. I terreni suscettibili di liquefazione sono quelli in cui la resistenza alla deformazione è mobilizzata per attrito tra le particelle, quindi fondamentalmente i terreni incoerenti. Nei terreni coesivi o litoidi le forze di coesione riducono la mobilità delle singole particelle e benché sotto l'azione di carichi ciclici la pressione interstiziale aumenti, il decadimento della resistenza è più lento e, nel caso di eventi sismici, la liquefazione non riesce a manifestarsi;
- Lo stato di addensamento del terreno è predisponente per lo sviluppo del fenomeno di liquefazione. I depositi sciolti poco addensati sono particolarmente esposti ad episodi di liquefazione.

L'area di progetto è caratterizzata da falda superficiale e dalla presenza di depositi alluvionali costituiti prevalentemente da alternanza di sabbie, limi ed argille. Sulla scorta di quanto sopra, in fase esecutiva si consiglia di svolgere delle indagini geognostiche puntuali per indagare nel dettaglio le caratteristiche stratigrafiche del sottosuolo di fondazione e verificare le condizioni di pericolosità.

## **8. COMPATIBILITÀ DEL PROGETTO CON I CARATTERI GEOLOGICI DELL'AREA**

Vengono di seguito descritte le attività necessarie alla realizzazione dell'impianto e gli aspetti utili a descrivere i caratteri geologici idrogeologici e geomorfologici dei litotipi interessati dalle strutture in progetto.

### **8.1. Attività previste in fase di cantiere**

Per le attività previste in fase di cantiere si rimanda al paragrafo 3.1 della presente relazione.

### **8.2. Condizioni geologiche e morfologiche dei terreni d'imposta**

Sono descritti a seguire gli aspetti di maggior rilievo connessi alla realizzazione delle opere progettuali descritte nel precedente paragrafo e considerando quelle più significative, quali:

- strutture di supporto dei pannelli fotovoltaici;
- opere civili (cabine prefabbricate);

- cavidotti interrati e opere per la connessione alla rete nazionale.

Si consideri che per tutta l'area interessata dal progetto si riscontra stratigrafia analoga anche in termini di spessori. I terreni d'imposta per tutte le opere sono costituiti dai depositi alluvionali costituiti prevalentemente da alternanza di sabbie, limi ed argille. La morfologia è pianeggiante e non si prevedono, pertanto, opere di sostegno e/o sistemazione di pendii.

### **8.2.1. Strutture a supporto dei pannelli fotovoltaici**

La parte sommitale del piano campagna sarà oggetto di pulizia e lieve modellamento al fine di rendere la superficie di posa quanto più piana e regolare possibile. Su tali terreni si provvederà al posizionamento dei pali alle profondità previste, ad eccezione delle platee cementate in cui si utilizzeranno dei pali tipo vite.

Le opere meccaniche per il montaggio delle strutture di supporto e su di esse dei moduli fotovoltaici non richiedono attrezzature particolari. Le strutture per il sostegno dei moduli fotovoltaici sono costituite da elementi metallici modulari, uniti tra loro a mezzo bulloneria in acciaio inox.

Il montaggio delle strutture avviene attraverso le seguenti fasi:

- posizionamento dei pali per il fissaggio di tali strutture al suolo;
- montaggio Testa;
- montaggio Trave primaria;
- montaggio Orditura secondaria;
- montaggio pannelli fotovoltaici;
- verifica e prove su struttura montata.

### **8.2.2. Opere civili (cabine prefabbricate)**

Come per le strutture di supporto dei moduli fotovoltaici anche nel caso delle strutture prefabbricate, la parte sommitale sarà oggetto di pulizia e lieve modellamento al fine di rendere la superficie di posa quanto più piana e regolare possibile. Laddove si provvederà alla rimozione di suolo, l'appianamento per la realizzazione delle strutture di posa dei prefabbricati dovrà essere effettuato con utilizzo di stabilizzato inerte.

Le strutture prefabbricate che saranno installate nell'area, internamente alla recinzione, verranno realizzate insieme alla nuova viabilità d'accesso al Sito.

### **8.2.3. Cavidotti interrati ed opere per la connessione alla rete nazionale**

Per la esecuzione di tali opere come descritto nel capitolo dalla fase di cantiere è previsto lo

scavo di trincee di entità modesta per la sola realizzazione dei cavidotti interrati.

In particolare, sarà necessario effettuare diverse trincee profonde 0,8 m, con larghezza variabile 0,28 m o 0,55 m.

Considerate tali profondità e le condizioni locali dei terreni in affioramento si prevede siano interessati esclusivamente i depositi alluvionali recenti e attuali o materiale di riempimento dell'area a ovest del Sito, pertanto, esclusivamente formazioni sciolte.

## 9. CONCLUSIONI

In questo documento sono stati sintetizzati i risultati dello studio geologico finalizzato alla valutazione delle condizioni geomorfologiche idrogeologiche e geologiche che interessano i terreni sui quali verrà realizzato l'impianto fotovoltaico.

Lo studio è stato elaborato sulla base di dati di letteratura e di studi geologici e idrogeologici sito specifici redatti in precedenti fasi di indagine a differenti scopi; pertanto, si rimanda alla fase esecutiva la verifica dei parametri geotecnici e di categoria di suolo di fondazione tramite apposito piano di indagini.

Sono state verificate, a completamento dei dati bibliografici, le informazioni contenute nei piani territoriali e l'Inventario dei Fenomeni Franosi, verificando l'assenza di condizioni di instabilità o criticità idrogeologica.

Sulla base dei dati geologici, geomorfologici e idrologici raccolti, e descritti nei precedenti paragrafi, e sulla scorta delle indagini pregresse effettuate sul Sito (cfr. par. 4.2), non emergono particolari criticità di carattere geologico e idro-geomorfologico in grado di interferire negativamente con la realizzazione dell'impianto in oggetto con riferimento alle opere descritte nel presente documento. Si suggerisce, tuttavia, come da normativa, la realizzazione di indagini per la determinazione dei parametri sito specifici e per la definizione del modello geologico sotto l'aspetto sismico e geotecnico, ai sensi Decreto Ministeriale 17/01/18 Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC 18) e Circolare sulle Istruzioni - C.S. LL.PP consistenti in indagini di tipo MASW (prove sismiche attive) per la caratterizzazione delle categorie dei suoli tramite la VSeq, da eseguire in corrispondenza delle strutture, prove penetrometriche e/o sondaggi da cui prelevare campioni indisturbati per l'esecuzione di prove geotecniche di laboratorio.

Il Geologo

**Allegato - GRE.EEC.R.25.IT.P.15534.49.001.01\_Indagini  
geognostiche**



Engineering & Construction



GRECODE

GRE.EEC.R.25.IT.P.15534.49.001.01

PAGE

1 di/of 36

TITLE:AVAILABLE LANGUAGE: IT

# Portonovo

## Indagini geognostiche

File: GRE.EEC.R.25.IT.P.15534.49.001.01\_Indagini geognostiche

REV.	DATE	DESCRIPTION	PREPARED	VERIFIED	APPROVED
01	19/04/2022	\$6	 Alessandro ROSSI	 Flaviano GAETA	 Stefano NERI
00	13/04/2022	Issued	 Alessandro ROSSI	 Flaviano GAETA	 Stefano NERI

### GRE VALIDATION

Name (GRE)	G. Buonomo	M. Nunnari
COLLABORATORS	VERIFIED BY	VALIDATED BY

PROJECT / PLANT <b>Portonovo</b>	GRECODE																			
	GROUP	FUNCION	TYPE	ISSUER	COUNTRY	TEC	PLANT				SYSTEM	PROGRESSIVE		REVISION						
	GRE	EEC	R	2	5	I	T	P	1	5	5	3	4	4	9	0	0	1	0	1
CLASSIFICATION	<b>PUBLIC</b>				UTILIZATION SCOPE	<b>Basic Design</b>														

This document is property of Enel Green Power S.p.A. It is strictly forbidden to reproduce this document, in whole or in part, and to provide to others any related information without the previous written consent by Enel Green Power S.p.A.

**INDEX**

1. PREMESSA .....	3
2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO .....	3
3. CANTIERIZZAZIONI.....	5
4. RILIEVO CON GPS.....	5
5. INDAGINI SVOLTE.....	7
5.1. Prove penetrometriche dinamiche continue (DPSH) .....	7
5.1.1. Attrezzatura di prova.....	7
5.1.2. Elaborazione dei risultati delle prove.....	9
5.2. Parametri geotecnici desunti dalle prove penetrometriche dinamiche .....	9
5.3. Trial Pits .....	10
5.3.1. Zona 1 .....	11
5.3.2. Zona 2 .....	12
5.3.3. Zona 3 .....	13
5.3.4. Zona 4 .....	14
5.3.5. Zona 5 .....	15
5.3.6. Zona 6 .....	16
6. INDAGINI GEOFISICHE.....	17
6.1. Linee sismiche .....	17
6.2. Strumentazione .....	17
6.2.1. Sismografo .....	17
6.2.2. Sorgente onde sismiche.....	17
6.2.3. Manutenzioni e tarature .....	18
6.3. Indagini MASW .....	18
6.3.1. Schema della prova.....	18
6.3.2. Software di elaborazione.....	19
6.4. Risultati .....	21
6.4.1. Zona 1 .....	22
6.4.2. Zona 2 .....	25
6.4.3. Zona 3 .....	28
6.4.4. Riepilogo risultati e categorie di sottosuolo .....	30
7. TOMOGRAFIA ELETTRICA (ERT) .....	31
7.1. Strumentazione e specifiche tecniche .....	31
7.2. Manutenzioni e tarature .....	32
7.2.1. Metodologia .....	32
7.2.2. Schema di acquisizione.....	33
7.2.1. Validazione software .....	33
7.3. Risultati .....	34

APPENDICE A: SCHEDE RIEPILOGATIVE DELLE PROVE DINAMICHE CONTINUE (DPSH)

APPENDICE B: PROFILO DI TOMOGRAFIA ELETTRICA (ERT)



## 1. PREMESSA

Nell'ambito dell'accordo quadro n. 8400151332 con validità dal 06/03/2020 al 06/03/2023 stipulato tra EGP e l'RTI Costag-Singea, ed alla successiva attivazione della partita n. 3500278262 del 10/02/2022, è stata condotta e portata a termine un'indagine finalizzata allo studio del sottosuolo presso degli appezzamenti terrieri siti in località Portonovo, Comune di Medicina (BO).

L'indagine è stata svolta con più squadre operative, operanti contemporaneamente, in data 21.02.22.

Il lavoro ha previsto l'esecuzione di indagini di tipo geognostico-geofisico in sito finalizzato alla caratterizzazione dei terreni delle aree di futura ubicazione, da parte di EGP, di impianti per la produzione di energia rinnovabile di varie tipologie su detti terreni.

Il lavoro è stato svolto sulla base delle specifiche tecniche previste nel documento siglato EGP.EEC.S.25.IT.A.00000.15.001.02.

## 2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

Le porzioni dei terreni interessati dalle indagini, evidenziati nella planimetria allegata, morfologicamente risultano essere pianeggianti. Le aree risultano coltivate a cereali ed in parte ad erbario per animali. Tutte le postazioni di indagine risultano prossime tra loro.



Inquadramento generale dell'area



Dettaglio ubicativo delle indagini



Dettaglio ubicativo delle indagini

### 3. CANTIERIZZAZIONI

Prima di procedere alla realizzazione delle indagini, la loro ubicazione è stata definita mediante l'utilizzo di antenna GPS.

La campagna di indagine è stata eseguita in data del 21.02.22

Al termine di ogni singola postazione, si è provveduto al ripristino del profilo di terreno originario.

### 4. Rilievo con GPS

Al termine delle attività geofisiche e geognostiche, è stato eseguito un rilievo topografico piano altimetrico dei punti di indagine con metodologia GPS – NRTK.

Il rilievo è stato riferito alla stazione GPS permanente di Ferrara (RTCM0059).

La strumentazione utilizzata è composta da antenna e controller Trimble R10-2; il rilievo è stato calcolato mediante l'impiego dei software Toposoft e Trimble TBC.

Il rilievo in coordinate ETRF2000 è stato trasformato nel sistema Gauss-Boaga tramite il software IGMI Verto 3 e relativo grigliato.

Si riporta qui di seguito il libretto delle misure.

Studio Tecnico : | Descrizione Lavoro : | Pagina : 1 | Data : 07-03-22  
 Co.S.T.A.G. soc. coop. | | |  
 Via del Pianeta Venere, 36 | | | Protocollo : PORTONOVO

Stazione : RTM0059 | FERRARA | Descr. : BASE

Lat. : 44°48'48.8808" | Long. : 11°37'37.3162" | Elliss. : 58.333 | Geo X : 4439256.888 | Geo Y : 913431.486 | Geo Z : 4472716.537

Punto	Pal.	DELTA GEOCENTRICHE			PDOP	COORDINATE TOTALI			Descrizione
		dN	dE	dZ		N	E	Quota	
E1-1	2.112	17216.349	14393.574	-20009.791	2	4937827.430	719252.925	3.759	ELETRICA
E1-2	2.112	17216.269	14395.450	-20010.226	2	4937826.970	719254.795	3.670	ELETRICA
E1-3	2.112	17216.324	14397.394	-20010.682	2	4937826.393	719256.708	3.671	ELETRICA
E1-4	2.112	17216.380	14399.337	-20011.138	2	4937825.816	719258.620	3.672	ELETRICA
E1-5	2.112	17216.436	14401.280	-20011.594	2	4937825.239	719260.532	3.673	ELETRICA
E1-6	2.112	17216.491	14403.224	-20012.050	2	4937824.662	719262.445	3.674	ELETRICA
E1-7	2.112	17216.546	14405.167	-20012.507	2	4937824.085	719264.357	3.674	ELETRICA
E1-8	2.112	17216.602	14407.111	-20012.963	2	4937823.508	719266.269	3.675	ELETRICA
E1-9	2.112	17216.657	14409.054	-20013.419	2	4937822.931	719268.181	3.676	ELETRICA
E1-10	2.112	17216.712	14410.997	-20013.875	2	4937822.355	719270.093	3.677	ELETRICA
E1-11	2.112	17216.768	14412.941	-20014.331	2	4937821.779	719272.006	3.678	ELETRICA
E1-12	2.112	17216.823	14414.884	-20014.787	2	4937821.202	719273.918	3.679	ELETRICA
E1-13	2.112	17216.879	14416.827	-20015.243	2	4937820.625	719275.830	3.680	ELETRICA
E1-14	2.112	17216.934	14418.771	-20015.699	2	4937820.048	719277.743	3.681	ELETRICA
E1-15	2.112	17216.990	14420.714	-20016.155	2	4937819.471	719279.655	3.682	ELETRICA
E1-16	2.112	17217.046	14422.658	-20016.611	2	4937818.894	719281.567	3.683	ELETRICA
E1-17	2.112	17217.101	14424.602	-20017.067	2	4937818.317	719283.480	3.684	ELETRICA
E1-18	2.112	17217.157	14426.545	-20017.524	2	4937817.740	719285.392	3.685	ELETRICA
E1-19	2.112	17217.212	14428.489	-20017.980	2	4937817.163	719287.305	3.685	ELETRICA
E1-20	2.112	17217.267	14430.432	-20018.436	2	4937816.587	719289.216	3.686	ELETRICA
E1-21	2.112	17217.323	14432.375	-20018.893	2	4937816.010	719291.128	3.687	ELETRICA
E1-22	2.112	17217.378	14434.319	-20019.349	2	4937815.433	719293.041	3.688	ELETRICA
E1-23	2.112	17217.434	14436.262	-20019.805	2	4937814.856	719294.953	3.689	ELETRICA
E1-24	2.112	17217.490	14438.205	-20020.261	2	4937814.279	719296.865	3.690	ELETRICA
E1-25	2.112	17217.545	14440.149	-20020.717	2	4937813.702	719298.778	3.691	ELETRICA
E1-26	2.112	17217.601	14442.092	-20021.173	2	4937813.125	719300.690	3.692	ELETRICA
E1-27	2.112	17217.657	14444.035	-20021.629	2	4937812.548	719302.602	3.693	ELETRICA
E1-28	2.112	17217.711	14445.979	-20022.085	2	4937811.972	719304.515	3.694	ELETRICA
E1-29	2.112	17217.767	14447.922	-20022.541	2	4937811.396	719306.427	3.695	ELETRICA
E1-30	2.112	17217.822	14449.867	-20022.997	2	4937810.819	719308.340	3.696	ELETRICA
E1-31	2.112	17217.877	14451.809	-20023.454	2	4937810.242	719310.252	3.696	ELETRICA
E1-32	2.112	17217.933	14453.753	-20023.910	2	4937809.665	719312.164	3.697	ELETRICA
E1-33	2.112	17217.989	14455.697	-20024.366	2	4937809.088	719314.076	3.698	ELETRICA
E1-34	2.112	17218.044	14457.640	-20024.822	2	4937808.511	719315.988	3.699	ELETRICA
E1-35	2.112	17218.100	14459.583	-20025.278	2	4937807.934	719317.900	3.700	ELETRICA
E1-36	2.112	17218.155	14461.527	-20025.734	2	4937807.357	719319.813	3.701	ELETRICA
E1-37	2.112	17218.211	14463.470	-20026.190	2	4937806.780	719321.725	3.702	ELETRICA
E1-38	2.112	17218.267	14465.413	-20026.646	2	4937806.203	719323.637	3.703	ELETRICA
E1-39	2.112	17218.322	14467.357	-20027.103	2	4937805.627	719325.550	3.704	ELETRICA
E1-40	2.112	17218.378	14469.300	-20027.559	2	4937805.050	719327.462	3.705	ELETRICA
E1-41	2.112	17218.433	14471.244	-20028.015	2	4937804.473	719329.375	3.706	ELETRICA
E1-42	2.112	17218.489	14473.187	-20028.471	2	4937803.896	719331.287	3.707	ELETRICA
E1-43	2.112	17218.544	14475.130	-20028.928	2	4937803.319	719333.199	3.707	ELETRICA
E1-44	2.112	17218.599	14477.074	-20029.384	2	4937802.742	719335.112	3.708	ELETRICA
E1-45	2.112	17218.655	14479.018	-20029.840	2	4937802.165	719337.024	3.709	ELETRICA
E1-46	2.112	17218.710	14480.960	-20030.295	2	4937801.590	719338.935	3.710	ELETRICA
E1-47	2.112	17218.765	14482.905	-20030.751	2	4937801.013	719340.848	3.711	ELETRICA
E1-48	2.112	17218.958	14484.917	-20031.230	2	4937800.318	719342.804	3.802	ELETRICA
TP1	2.112	16856.454	14785.182	-19732.416	2	4938231.463	719696.384	4.241	TRIAL PIT
DPSH1	2.112	16856.311	14791.261	-19733.475	2	4938230.141	719702.414	4.281	PENETROMETRIA
TP2	2.112	17064.651	14279.894	-19836.813	2	4938068.215	719164.381	2.810	TRIAL PIT
DPSH2	2.112	17070.127	14276.071	-19841.299	2	4938061.642	719159.741	2.927	PENETROMETRIA
TP3	2.112	17335.530	14624.973	-20176.332	2	4937600.619	719463.041	3.651	TRIAL PIT
DPSH3	2.112	17335.532	14628.328	-20176.920	2	4937599.831	719466.355	3.727	PENETROMETRIA
TP4	2.112	17570.172	14083.015	-20297.168	2	4937411.466	718890.556	3.846	TRIAL PIT
DPSH4	2.112	17565.523	14077.489	-20291.566	2	4937419.287	718885.824	3.731	PENETROMETRIA
TP5	2.112	-17591.044	-14309.309	20502.870	2	4935987.818	718715.166	5.131	TRIAL PIT
DPSH5	2.112	18585.894	14067.677	-21302.384	2	4935992.613	718716.384	5.068	PENETROMETRIA
TP6	2.112	18639.972	14435.290	-21431.482	2	4935822.777	719071.270	5.627	TRIAL PIT
DPSH6	2.112	18637.141	14434.789	-21428.690	2	4935826.784	719071.221	5.537	PENETROMETRIA
M1-1	2.112	18581.842	14195.493	-21325.077	2	4935965.355	718843.321	4.880	MASW
M1-24	2.112	18622.664	14181.195	-21362.596	2	4935911.890	718822.794	4.971	MASW
M2-1	2.112	-18660.978	-14280.098	21558.888	2	4937478.930	718911.543	3.747	MASW
M2-24	2.112	17478.878	14112.179	-20212.660	2	4937531.770	718933.680	3.687	MASW
M3-1	2.112	17005.000	14739.270	-19871.057	2	4938034.851	719627.715	3.897	MASW
M3-24	2.112	16964.163	14753.763	-19833.597	2	4938088.263	719648.437	3.804	MASW

## 5. INDAGINI SVOLTE

### 5.1. Prove penetrometriche dinamiche continue (DPSH)

Durante la campagna di indagini sono state eseguite n.6 prove penetrometriche dinamiche con penetrometro super pesante (DPSH), realizzate secondo le procedure ISSMF del 1998 e in conformità alle attuali norme A.G.I.

Le prove penetrometriche dinamiche consistono nell'infissione verticale nel terreno, di una punta conica avvitata all'estremità inferiore di una batteria di aste metalliche, mediante battitura con un maglio che cade liberamente da un'altezza costante.

L'infissione della batteria di aste può essere eventualmente alternata all'infissione di una batteria di rivestimento esterna, dotata all'estremità inferiore di una scarpa tagliente.

Durante la prova si rileva il numero di colpi necessari per la penetrazione di un tratto di 30 cm della punta ed alternativamente del rivestimento (se utilizzato).

La prova si considera a rifiuto nel caso in cui il numero di colpi necessario all'infissione della punta di 30 cm è superiore a 100.

La buona diffusione di questo tipo di prova, applicabile in tutti i tipi di deposito (granulari e coesivi), e la sua standardizzazione, consentono di ottenere una valutazione qualitativa del grado di addensamento o di consistenza dei terreni attraversati, nonché un'identificazione attendibile dei principali parametri geotecnici, mediante l'utilizzo delle principali correlazioni presenti in bibliografia.

I parametri geotecnici del terreno di fondazione possono essere ricavati da relazioni empiriche proposte da vari autori correlando il numero di colpi del penetrometro con quelli della prova SPT, oppure correlando la resistenza dinamica  $R_{pd}$  alla resistenza alla punta  $q_c$  ottenuta con le prove penetrometriche statiche CPT.

#### 5.1.1. Attrezzatura di prova

L'attrezzatura utilizzata per l'esecuzione delle prove, oltre al penetrometro di cui sopra, è costituita da:

- penetrometro statico/dinamico Pagani TG 73-100 da 20 ton.
- Aste  $\varnothing 32-34$  mm,  $L=1.50$  m, peso 5.1 kg/m;
- Punta conica  $\varnothing 50.8$  mm, angolo di apertura pari a  $60^\circ$ , area pari a  $20.27$  cm<sup>2</sup>;
- Tubi metallici di rivestimento  $\varnothing_{EST}=48$  mm, peso 5.3 kg/m;
- Scarpa tagliente per colonna di rivestimento;
- Dispositivo di infissione della punta dotato di dispositivo di sganciamento automatico, costituito da un maglio di peso pari a 73 kg che cade da liberamente da un'altezza costante di 0.75 m e da una testa di battuta avvitata alla sommità della batteria di aste (lavoro specifico per eseguito pari a 234 kJ/m<sup>2</sup>);
- Dispositivo conta colpi analogico;



DPSH - Zona 1



DPSH - Zona 2



DPSH - Zona 3



DPSH - Zona 4



DPSH – Zona 5



DPSH – Zona 6

### 5.1.2. Elaborazione dei risultati delle prove

Al fine di garantire l'uniformità dei risultati di prove eseguite con diverse attrezzature, per ogni passo di infissione della punta (di spessore pari a 30 cm), viene calcolata la resistenza alla penetrazione dinamica ( $R_{pd}$ ), mediante la seguente formulazione (Formulazione Olandese):

$$R_{pd} = \frac{M^2 \times H}{A \times e \times (M + P)}$$

Dove:

M (kg): massa del maglio;

H (cm): altezza di caduta del maglio;

A (cm<sup>2</sup>): area della sezione trasversale della punta;

e (cm): infissione media per colpo ( $e = \delta/N$ );

$\delta$  (cm): avanzamento della punta (in questo caso 0.30 m);

N (-): numero di colpi necessario alla penetrazione della punta di un tratto di lunghezza standard (in questo caso  $N_{30}$ );

P (kg): peso totale aste e sistema di battuta.

Di seguito sono riportati i tabulati dei risultati ottenuti da ogni singola prova e i grafici dell'andamento di  $N_{30}$  e  $R_{pd}$  con la profondità.

### 5.2. Parametri geotecnici desunti dalle prove penetrometriche dinamiche

I parametri geotecnici dei terreni interessati dalle prove sono stati ricavati suddividendo i depositi investigati in livelli caratterizzati da valori di  $N_{30}$  relativamente costanti; per ogni livello è stato calcolato il valore di  $N_{SPT, EQ}$  equivalente ottenuto dalla seguente formulazione:

$$N_{SPT, EQ} = \beta_T \times N$$

Dove:

$N_{SPT, EQ}$  (-): numero di colpi da prova SPT equivalenti al numero di colpi da prova penetrometrica

dinamica (N);

$\beta_T$  (-): rapporto fra energia specifica per colpo da prova penetrometrica dinamica (Q) e da prova penetrometrica SPT ( $Q_{SPT}$ );

$$\beta_T = \frac{Q}{Q_{SPT}}$$

$$Q = \frac{M \times H}{A \times \delta}$$

$$Q_{SPT} = 7.83 \text{ kg/cm}^2$$

Dai valori di  $N_{SPT, EQ}$  ottenuti sono stati successivamente calcolati i principali parametri geotecnici medi associati agli strati utilizzando le correlazioni empiriche:

Densità relativa: determinata secondo le formulazioni proposte da Terzaghi & Peck (1967) e da Yoshida & Kokusho (1988);

Angolo di attrito efficace: determinato utilizzando le correlazioni proposte da Peck, Hansaon & Thornburn (1974) e da Meyerhof (1956);

Coesione non drenata: determinata utilizzando le correlazioni proposte da Terzaghi & Peck (1948) e da Sivrikay & Togol (2007);

Modulo di deformazione drenato: determinato utilizzando le correlazioni proposte da Tornaghi et Al. e da Bowles (1987);

Modulo di deformazione drenato al 25%: determinato utilizzando le correlazioni proposte da Jamiolkowsky (1988) e da Stroud (1989);

Modulo di deformazione non drenato: determinato utilizzando le correlazioni proposte da Bowles (1987) e da Kulhawy & Mayne (1990).

Si sottolinea che i valori ricavati dalle correlazioni di cui sopra, non rappresentano i parametri caratteristici dei terreni investigati; sarà a cura del progettista l'eventuale reinterpretazione dei risultati delle prove penetrometriche eseguite, nonché la definizione delle unità geotecniche e dei loro parametri caratteristici.

In Appendice B si riportano le schede delle singole prove ed i relativi parametri geotecnici ricavati dalle prove.

### 5.3. Trial Pits

In data 21.02.22 sono stati eseguiti i 6 Trial Pits corrispondenti alle 6 zone indagate.


Le indagini sono state eseguite con escavatore da 50 q.l.

In tutti i punti di indagine è stato eseguito un campionamento dei terreni di tipo semidisturbato, infiggendo una fustella di tipo Shelby con escavatore alla quota circa di 1,5 m da piano campagna.



**5.3.1. Zona 1**

L'indagine ha permesso di ricostruire la stratigrafia di seguito descritta. Il campione è stato prelevato tra la quota di - 1,50 e -2,10 m da piano campagna.

Profondità (m)	Descrizione	
0,00-0,70	(Terreno vegetale) Argilla limosa poco plastica, tenera, umida marrone chiara	
0,70-2,60	Argilla limosa poco plastica, tenera, molto umida, marrone scuro	
2,60 - 3,00	Argilla e argilla debolmente limosa, plastica, molto bagnata, di colore grigio azzurro	




Trial Pit Zona 1



Dettaglio fondo argilloso

**5.3.2. Zona 2**

L'indagine ha permesso di ricostruire la stratigrafia di seguito descritta. Il campione è stato prelevato tra la quota di - 1,50 e -2,10 m da piano campagna.

Profondità (m)	Descrizione	
0,00-0,60	(Terreno vegetale) Limo argilloso debolmente sabbioso, poco consistente, umido di colore marrone	
0,60-2,20	Limo argilloso debolmente sabbioso, consistente, molto umido di colore marrone	
2,20-3,00	Limo argilloso, consistente, bagnato di colore marrone con livelli argillosi di colore grigio azzurro	




Trial Pit Zona 2



Dettaglio

**5.3.3. Zona 3**

L'indagine ha permesso di ricostruire la stratigrafia di seguito descritta. Il campione è stato prelevato tra la quota di - 1,50 e -2,10 m da piano campagna.

Profondità (m)	Descrizione	
0,00-0,50	(Terreno vegetale) Limo argilloso debolmente sabbioso, tenero, umido, marrone chiaro	
0,50-2,30	Limo argilloso debolmente sabbioso, tenero, bagnato, marrone chiaro	
2,30-3,00	Argille debolmente liose, plastiche, consistenti, molto bagnate, di colore grigio azzurro. Venute di acqua a fondo scavo.	




Trial Pit Zona 3



Fase di campionamento

**5.3.4. Zona 4**

L'indagine ha permesso di ricostruire la stratigrafia di seguito descritta. Il campione è stato prelevato tra la quota di - 1,50 e -2,10 m da piano campagna.

Profondità (m)	Descrizione	
0,00-0,70	(Terreno vegetale) Limo argilloso debolmente sabbioso, poco consistente, umido di colore marrone	
0,70-2,10	Limo argilloso debolmente sabbioso, consistente, molto umido di colore marrone	
2,10-3,00	Limo argilloso, consistente, bagnato di colore marrone con livelli argillosi di colore grigio azzurro	




Trial Pit Zona 4



Fase di campionamento

**5.3.5. Zona 5**

L'indagine ha permesso di ricostruire la stratigrafia di seguito descritta. Il campione è stato prelevato tra la quota di - 1,50 e -2,10 m da piano campagna.

Profondità (m)	Descrizione	
0,00-0,70	(Terreno vegetale) Argilla limosa poco plastica, tenera, umida marrone chiara	
0,70-3,00	Argille plastiche, consistenti, molto umide di colore grigio azzurro con livelli di argille limose marroni Venute di acqua da - 2,40 m	



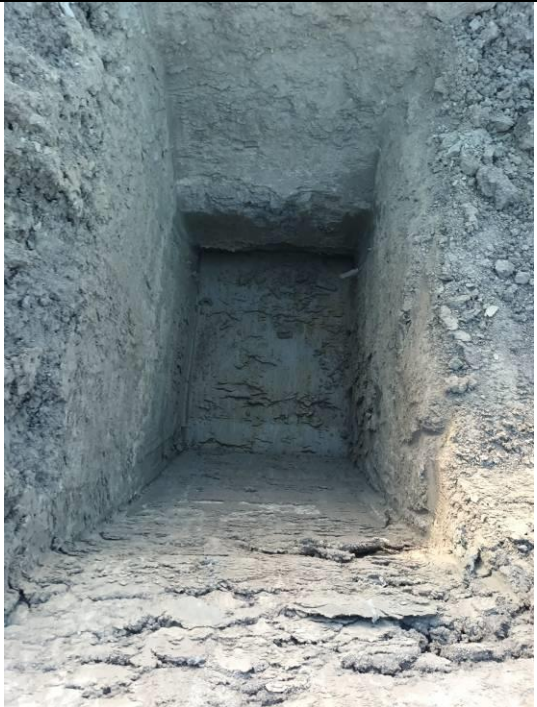
Trial Pit Zona 5



Fase di campionamento

**5.3.6. Zona 6**

L'indagine ha permesso di ricostruire la stratigrafia di seguito descritta. Il campione è stato prelevato tra la quota di - 1,50 e -2,10 m da piano campagna.

Profondità (m)	Descrizione	
0,00-0,60	(Terreno vegetale) Argilla limosa poco plastica, tenera, umida marrone chiara	
0,60-3,00	Argille plastiche, consistenti, molto umide di colore grigio azzurro con livelli di argille limose marroni Venute di acqua a fondo scavo	



Trial Pit Zona 6



Dettaglio

## 6. INDAGINI GEOFISICHE

Nelle zone oggetto di indagine sono state realizzate le seguenti indagini geofisiche:

- N. 3 Linee sismiche tipo MASW;
- N. 1 profilo di tomografia elettrica ERT.

Nei paragrafi seguenti verranno descritte le metodiche, la strumentazione utilizzata e i risultati ottenuti.

### 6.1. Linee sismiche

L'elenco completo delle indagini eseguite è riportato nella tabella successiva. I risultati vengono presentati nelle pagine successive in apposite tavole grafiche, cui si rimanda per l'analisi di dettaglio.

Linea	Lunghezza	Geofoni	Array	Passo	Energizzazione	Acquisizione	Campionamento
MASW 1	60	24	Rayleigh	2.5 m	Mazza 10 kg/Piastra	1.000 ms	250.0 $\mu$ s
MASW 2	60	24	Rayleigh	2.5 m	Mazza 10 kg/Piastra	1.000 ms	250.0 $\mu$ s
MASW 3	60	24	Rayleig	2.5 m	Mazza 10 kg/Piastra	1.000 ms	250.0 $\mu$ s

### 6.2. Strumentazione

#### 6.2.1. Sismografo

L'apparecchiatura d'indagine utilizzata da COSTAG S.r.l. per l'esecuzione di indagini sismiche con metodo MASW è costituita da un sismografo **Ambrogeo**, Modello **ECHO 12/24** a 24 canali, con risoluzione di acquisizione a 24 bit, avente le seguenti caratteristiche tecniche:

- 1 Unità di acquisizione sismografo Echo 12/24
- 24 Geofoni verticali "con  $f = 4.5$  Hz
- 1 Cavo sismico  $L = 57,5$  m
- 1 Sorgente Mazza di 10 kg battente su piattello metallico
- Spaziatura tra i geofoni: 2,5m
- Distanze sorgente -1° e 24°geofono: 5-10 m.
- Tempo di registrazione: 1.0 s

#### 6.2.2. Sorgente onde sismiche

Nel caso delle onde di superficie (onde di Rayleigh), l'onda elastica si genera percuotendo il terreno con una mazza da 10 kg, per stese di modesta lunghezza, oppure, nel caso di stendimenti più lunghi, con gravi di massa adeguata, o anche con un fucile sismico.

Per ogni tipo di acquisizione sono state eseguite più battute su ciascun punto di scoppio ed è stata ottenuta la sommatoria (*stack*) al fine di migliorare il rapporto segnale/rumore.

Questa tecnica si rivela estremamente efficace in presenza di rumore *random*. Per poter verificare la ripetibilità della misura ed individuare eventuali problemi di *triggering*, un numero minimo di tre battute per ciascuna posizione di scoppio viene comunque acquisita anche in caso di assenza di disturbi. L'indagine MASW per l'analisi delle onde superficiali è stata eseguita utilizzando la strumentazione classica della prospezione sismica a rifrazione disponendo sul terreno 24 geofoni secondo un array lineare con spaziatura pari a 2,5 m., compatibilmente con le condizioni logistiche e gli spazi disponibili del sito. Per ottenere una buona risoluzione in termini di

frequenza, sono stati utilizzati geofoni da 4.5 Hz.

Come sistema di energizzazione una mazza di 10 Kg battente su piattello metallico. Per aumentare il rapporto segnale/rumore è stata eseguita la somma di più energizzazioni (processo di stacking).

**Sono state fatte 4 acquisizioni. Successivamente si è provveduto alla loro elaborazione valutando la qualità e la coerenza dei risultati.**

### 6.2.3. Manutenzioni e tarature

Per garantire il corretto stato di efficienza degli strumenti utilizzati, COSTAG adotta, secondo quanto previsto dal Sistema Gestione Qualità, un piano di manutenzione e taratura.

Modalità e tempistiche generali sono definite in base alle indicazioni delle case di produzione, ma possono variare in funzione della frequenza di utilizzo.

Sismografi e georesistivimetri impiegati per le indagini sismiche ed elettriche vengono inviati almeno una volta ogni due anni, alla casa costruttrice per una verifica del corretto funzionamento.

### 6.3. Indagini MASW

I metodi di *Multichannel Analysis of Surface Waves* consentono di ottenere un modello verticale delle  $V_s$  a partire dalle modalità di propagazione delle onde di superficie, in particolare le onde di Rayleigh.

È noto che la propagazione delle onde, nel caso di mezzi stratificati avviene in maniera diversa rispetto al caso di mezzi omogenei; non esiste più un'unica velocità di propagazione, ma ogni frequenza è caratterizzata da una propria velocità.

Le diverse frequenze o lunghezze d'onda, interessano il terreno a diverse profondità e ne risultano influenzate dalle caratteristiche elastiche. Questo comportamento viene definito *dispersione in frequenza* ed è fondamentale nello sviluppo dei metodi sismici che utilizzano le onde di superficie. Le lunghezze d'onda più grandi vanno ad interessare il terreno più in profondità; al contrario le lunghezze d'onda più piccole rimangono nelle immediate vicinanze della superficie.

I metodi di prospezione sismica che utilizzano le onde di superficie si basano su modelli fisico-matematici nei quali il sottosuolo viene schematizzato come una serie di strati sovrapposti con caratteristiche elastiche lineari. Per ogni strato si possono definire fino a quattro parametri: lo spessore, ad esclusione dell'ultimo considerato infinito; la densità; la velocità di propagazione delle onde di taglio  $V_s$ ; il coefficiente di Poisson.

A partire dai parametri del sottosuolo è quindi possibile ricavare le proprietà dispersive delle onde di Rayleigh e di Love per il sito in esame. Quanto detto rappresenta il *problema diretto*, quello cioè che a partire dalla conoscenza delle caratteristiche del terreno permette di descrivere la dispersione delle onde di Rayleigh e di Love.

Nella prospezione occorre invece affrontare il *problema inverso*, a partire dalla curva di dispersione rilevata, si arriva al modello di stratificazione del terreno con i relativi parametri meccanici e sismici.

La procedura utilizzata può essere suddivisa in tre fasi:

**Acquisizione:** registrazione e osservazione dei dati sismici contenenti le onde di Rayleigh (componenti radiale e verticale) e di Love per un intervallo sufficientemente ampio di frequenze (tipicamente 4.5÷60 Hz);

**Processing:** trattamento dei dati attraverso filtraggio e altre tecniche finalizzate all'estrazione delle caratteristiche di dispersione, in particolare espresse come velocità di fase in funzione della frequenza (Spettro velocità di fase / frequenza);

**Inversione matematica:** elaborazione via *software* di un profilo monodimensionale della velocità delle onde  $S$ , vincolato da un modello di partenza ottenuto per modellazione diretta.

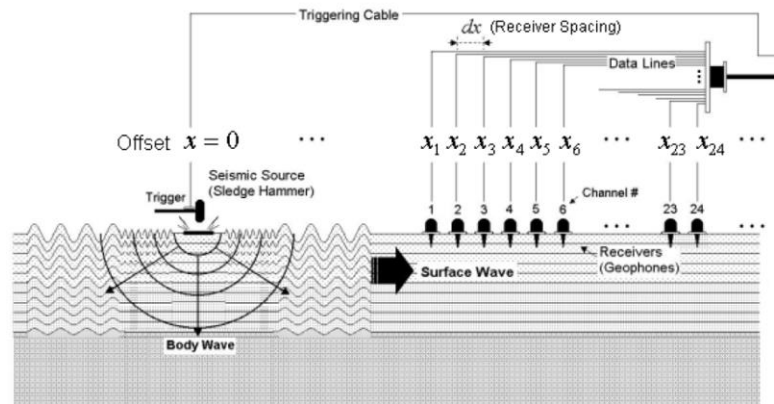
#### 6.3.1. Schema della prova



Acquisire un set di dati per l'indagine MASW non è troppo diverso da una comune acquisizione per un'indagine a rifrazione.

E' sufficiente effettuare uno stendimento di geofoni (in questo caso 24 con frequenza propria di 4.5 Hz) allineati con la sorgente ed utilizzare una sorgente ad impatto verticale. Non esistono regole certe per la definizione della distanza intergeofonica, né per l'offset minimo (distanza sorgente÷primo geofono). In generale, stendimenti con lunghezze di 50÷70 m e due o

tre punti di scoppio a distanze comprese tra 2.0 e 15.0 metri consentono una buona definizione degli spettri di frequenza. Nel caso delle onde superficie di Rayleigh, l'onda elastica, con le sue componenti verticale e radiale, si genera percuotendo il terreno con una mazza da 10 kg, con acquisizione mediante geofoni orizzontali, per la componente radiale (RVF), e verticali, per la componente verticale (ZVF). Nel caso delle onde superficiali di Love, l'onda elastica si genera applicando con una mazza da 10 kg uno sforzo orizzontale su una trave con acquisizione mediante geofoni orizzontali, per la componente tangenziale (THF). Per stese di modesta lunghezza, oppure, nel caso di stendimenti più lunghi, con gravi di massa adeguata, o anche con un fucile sismico.



Schema della disposizione dei geofoni e del punto di energizzazione.

### 6.3.2. SOFTWARE DI ELABORAZIONE

Per il trattamento e l'analisi dei dati ottenuti dalla procedura MASW si è utilizzato il software WinMasw© della Eliosoft s.r.l., nella versione 7.0 Academy.

Il software WinMASW consente l'analisi di dati sismici (*common-shot gathers* acquisiti in campagna) finalizzata all'elaborazione di profili verticali di VS (velocità delle onde di taglio). Tale risultato si ottiene tramite inversione delle curve di dispersione delle onde di superficie basata su algoritmi genetici (tipo di procedura di ottimizzazione appartenente alla classe degli algoritmi euristici, o anche *global-search methods* o *soft computing*), che rispetto ai più comuni metodi di inversione lineare basati su metodi del gradiente, offrono un'affidabilità del risultato superiore per precisione e completezza.

Questi ultimi forniscono infatti soluzioni che dipendono pesantemente dal modello iniziale di partenza che l'utente deve necessariamente fornire. In altre parole, richiedono che il modello di partenza sia già di per sé vicinissimo alla soluzione reale. In caso contrario il rischio è quello di fornire soluzioni erronee. Gli algoritmi genetici (come altri analoghi) offrono invece un'esplorazione molto più ampia delle possibili soluzioni. Attraverso la definizione di un "spazio di ricerca" geologicamente sensato (modello sismo-stratigrafico di riferimento), si ha la possibilità di valutare tutte le diverse possibili soluzioni. Migliori sono le informazioni a supporto del modello geologico di riferimento, più attendibili saranno i risultati ottenuti.



MASW Postazione 1



MASW - Postazione 2

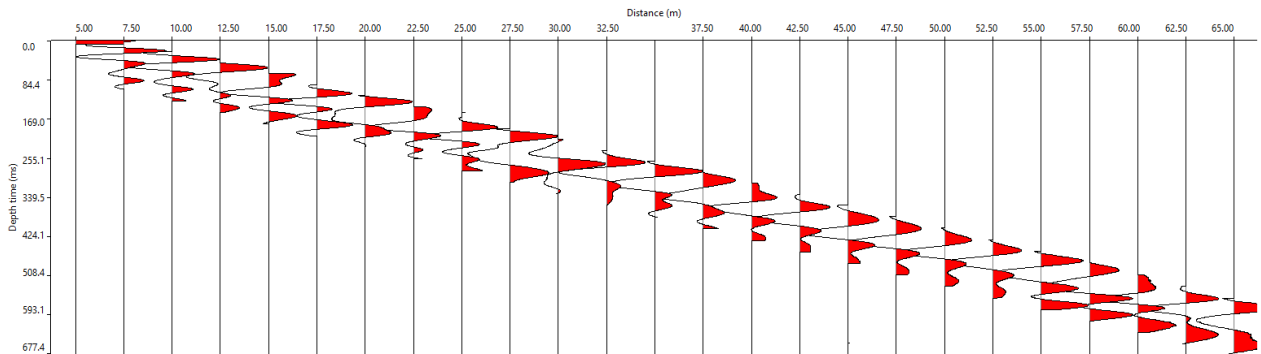


MASW - Postazione 3

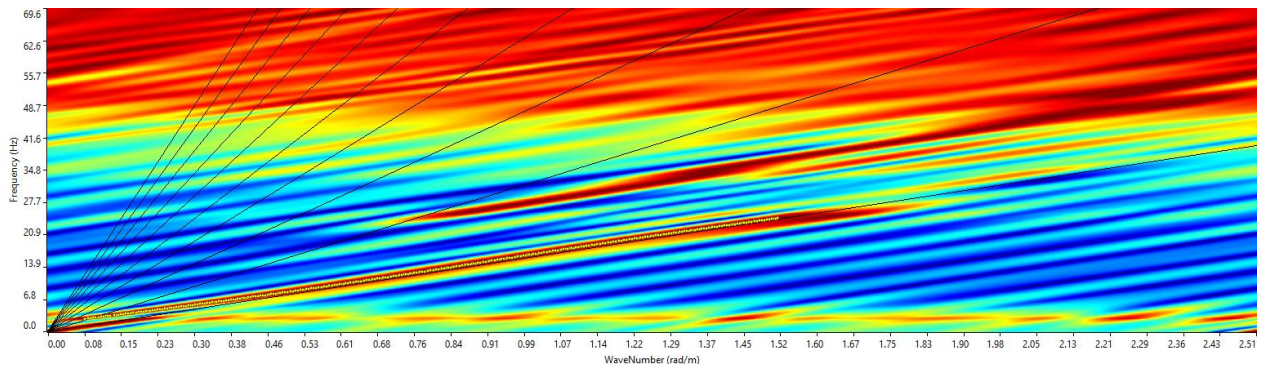
#### **6.4. Risultati**

Nei paragrafi successivi vengono riportati i risultati dell'elaborazione dei dati acquisiti per ogni postazione con il corrispondente MASW eseguito.

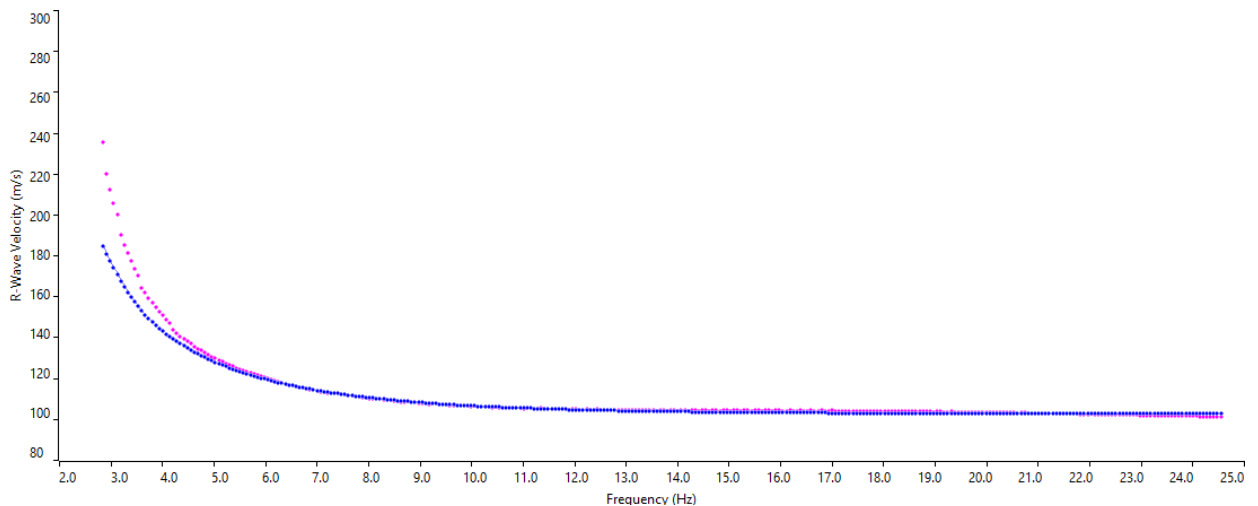
### 6.4.1. Zona 1



Sismogramma



Spettro F-K

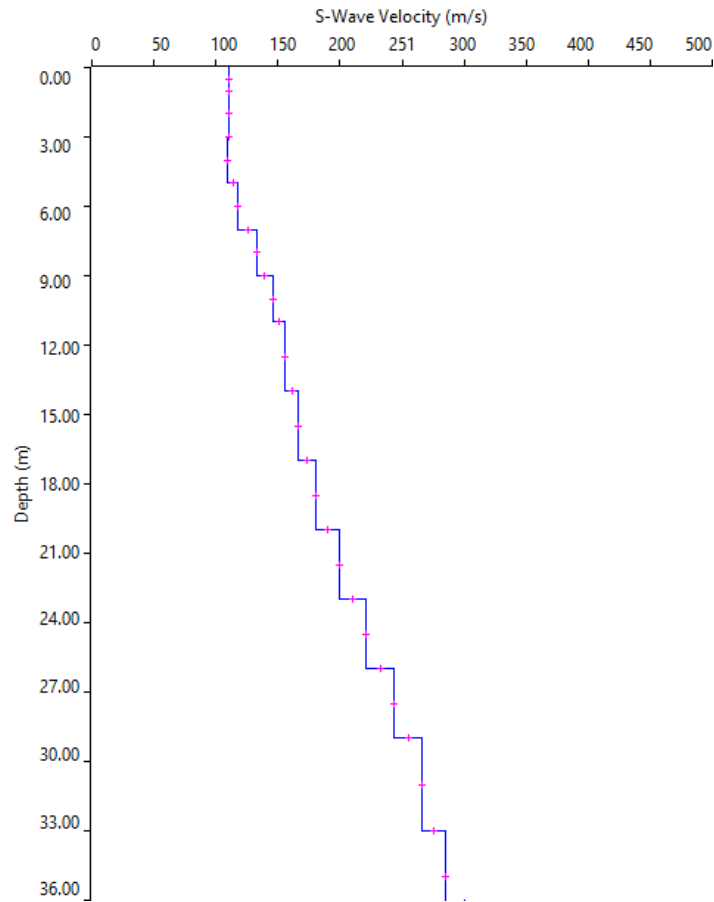


Match curva di dispersione sperimentale - teorica

Dall'inversione della curva di dispersione si ottiene il seguente modello medio di velocità delle onde sismiche di taglio con la profondità, rappresentativo dell'area investigata (stendimento complessivo di circa 57,5 m).

Depth		Thickness	Vs	Vp	Poisson	Density
from	to					
0	1	1	110	220	0,333	1,8
1	3	2	111	222	0,333	1,8
3	5	2	109	218	0,333	1,8
5	7	2	118	236	0,333	1,8
7	9	2	133	266	0,333	1,8
9	11	2	146	292	0,333	1,8
11	13	2	156	312	0,333	1,8
13	16	3	166	332	0,333	1,8
16	19	3	181	362	0,333	1,8
19	22	3	199	398	0,333	1,8
22	25	3	221	442	0,333	1,8
25	28	3	244	488	0,333	1,8
28	32	4	266	532	0,333	1,8
32	36	4	285	570	0,333	1,8
36	-	-	300	600	0,333	1,8

Tabella 1 – Modello sismico monodimensionale



Profilo delle onde di taglio dalla superficie

A partire dal modello sismico restituito, è possibile calcolare il valore delle  $V_{Sequ}$ , che rappresenta la velocità di propagazione delle onde di taglio entro 30 m. di profondità.

Per **velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio** si intende la media pesata delle velocità delle onde S nei primi metri di profondità da una quota scelta, secondo la relazione, riportata nel D.M. 17.01.2018 ("Norme tecniche per le costruzioni"):

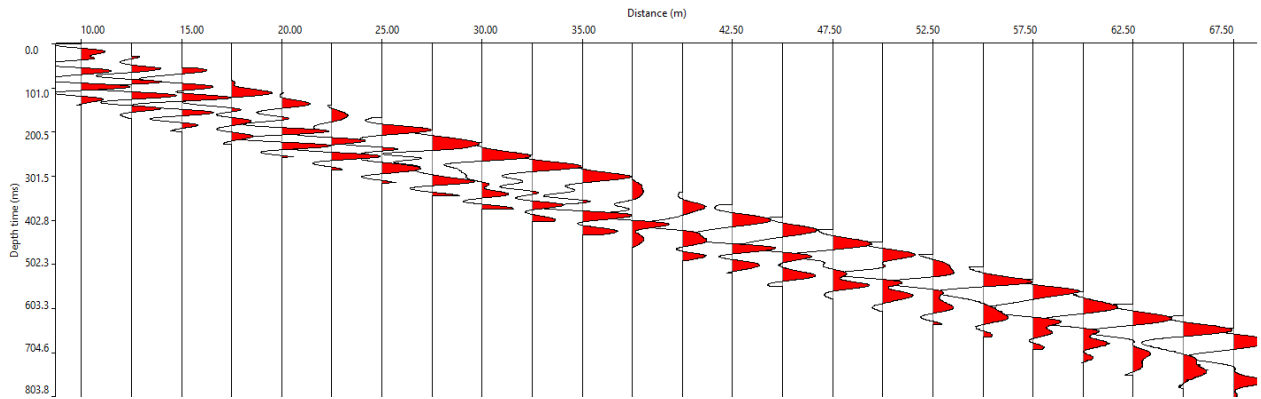
$$V_{s, eq} = \frac{H}{\sum_{strato=1}^N \frac{h(strato)}{V_s(strato)}}$$

Dove N è il numero di strati individuabili nei primi metri di suolo, ciascuno caratterizzato dallo spessore  $h(strato)$  e dalla velocità delle onde S  $V_s(strato)$ .

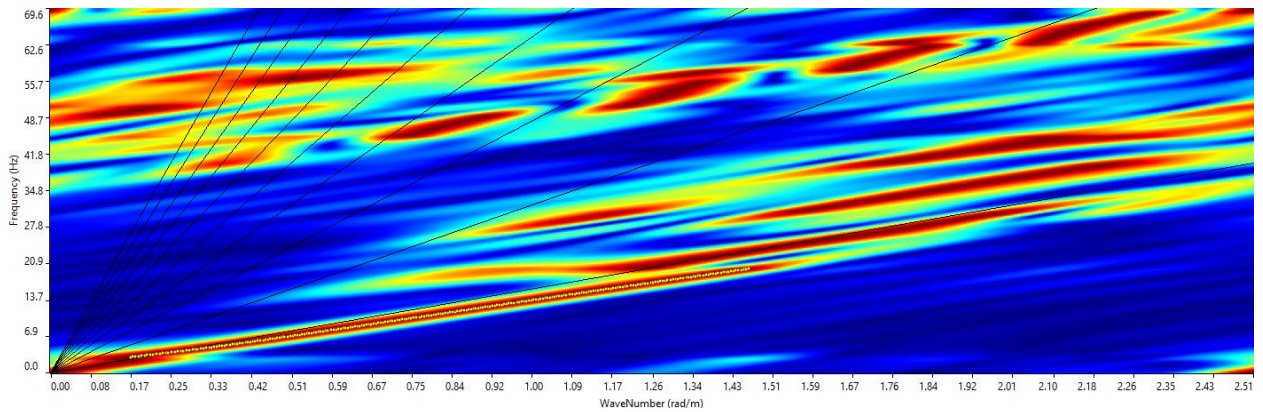
Per H si intende la profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da  $V_s$  non inferiore a 800 m/s. Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio  $V_{sequ}$  è definita dal parametro  $V_{s30}$ , ottenuto ponendo  $H=30$  m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Utilizzando la formula sopra riportata, considerando la quota della fondazione a partire dal piano campagna attuale, si ottiene  **$V_{s,eq} = 158$  m/s.**

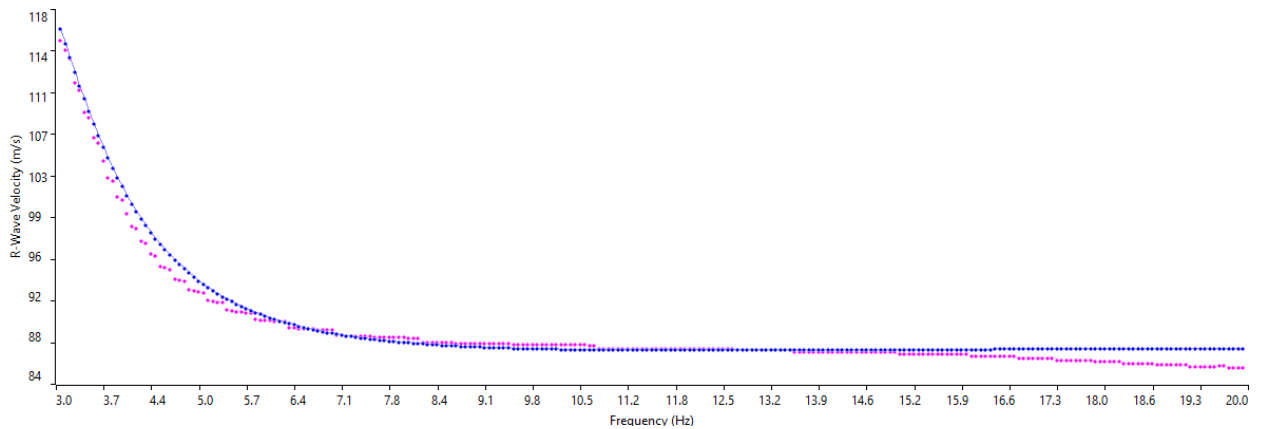
**6.4.2. Zona 2**



Sismogramma



Spettro F-K

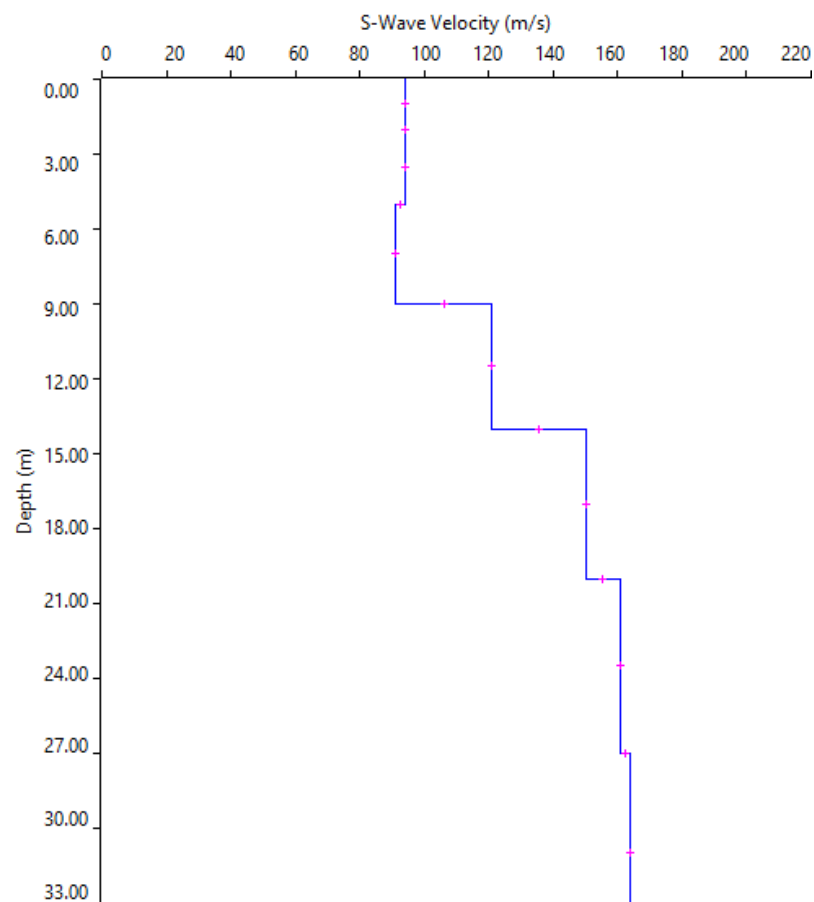


Match curva di dispersione sperimentale - teorica

Dall'inversione della curva di dispersione si ottiene il seguente modello medio di velocità delle onde sismiche di taglio con la profondità, rappresentativo dell'area investigata (stendimento complessivo di circa 57,5 m).

Depth		Thickness	Vs	Vp	Poisson	Density
from	to					
0	2	2	94	188	0,333	1,8
2	5	3	94	188	0,333	1,8
5	9	4	91	182	0,333	1,8
9	14	5	121	242	0,333	1,8
14	20	6	150	300	0,333	1,8
20	27	7	161	322	0,333	1,8
27	35	8	164	328	0,333	1,8
35	-	-	164	328	0,333	1,8

Tabella 1 – Modello sismico monodimensionale



Profilo delle onde di taglio dalla superficie

A partire dal modello sismico restituito, è possibile calcolare il valore delle  $V_{Sequ}$ , che rappresenta la velocità di propagazione delle onde di taglio entro 30 m. di profondità. Per **velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio** si intende la media pesata delle velocità delle onde S nei primi metri di profondità da una quota scelta, secondo la relazione, riportata nel D.M. 17.01.2018 ("Norme tecniche per le costruzioni"):



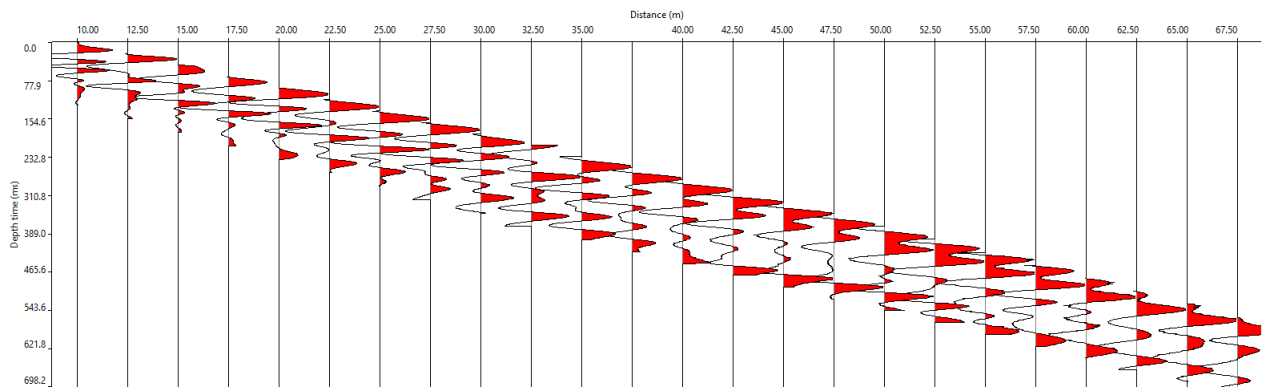
$$V_{s, eq} = \frac{H}{\sum_{strato=1}^N \frac{h(strato)}{V_s(strato)}}$$

Dove N è il numero di strati individuabili nei primi metri di suolo, ciascuno caratterizzato dallo spessore  $h(strato)$  e dalla velocità delle onde  $V_s(strato)$ .

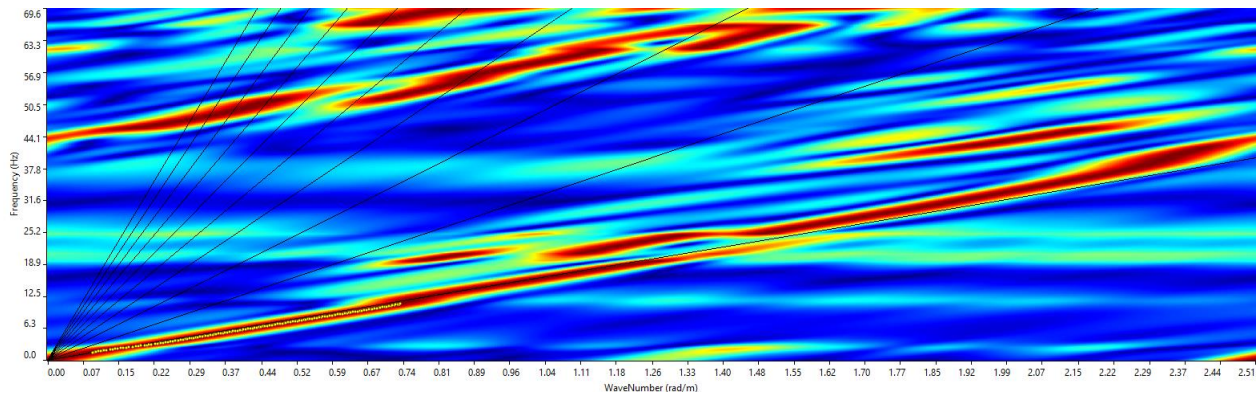
Per H si intende la profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da  $V_s$  non inferiore a 800 m/s. Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle ondedi taglio  $V_{sequ}$  è definita dal parametro  $V_{s30}$ , ottenuto ponendo  $H=30$  m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Utilizzando la formula sopra riportata, considerando la quota della fondazione a partire dal piano campagna attuale, si ottiene  **$V_{s,eq} = 125$  m/s.**

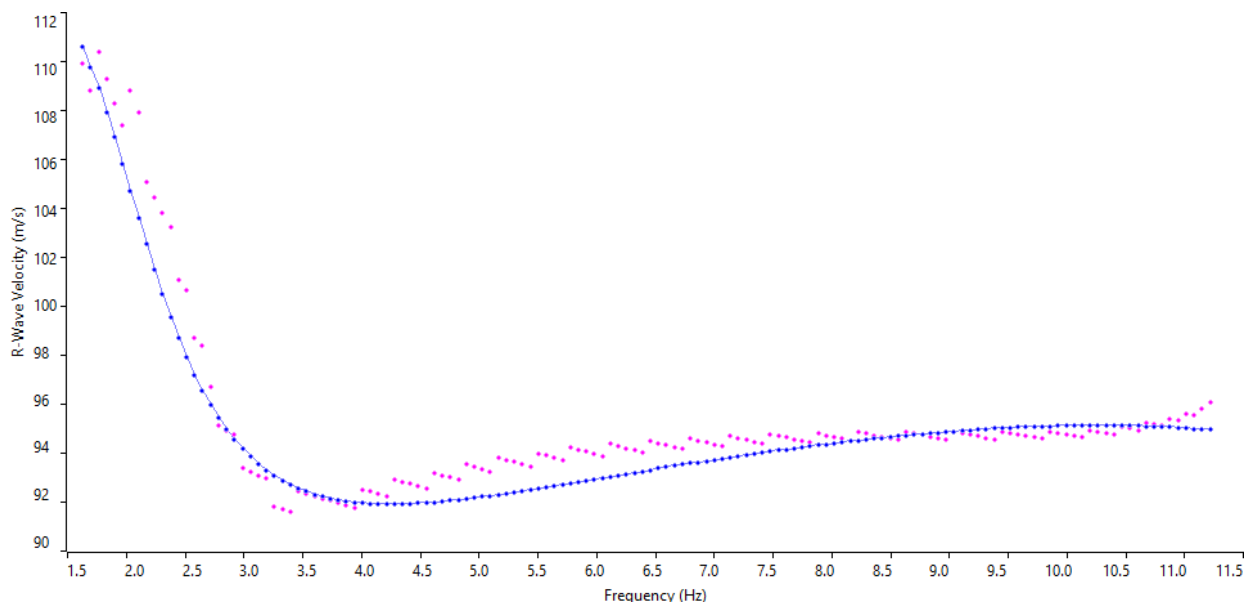
**6.4.3. Zona 3**



Sismogramma



Spettro F-K

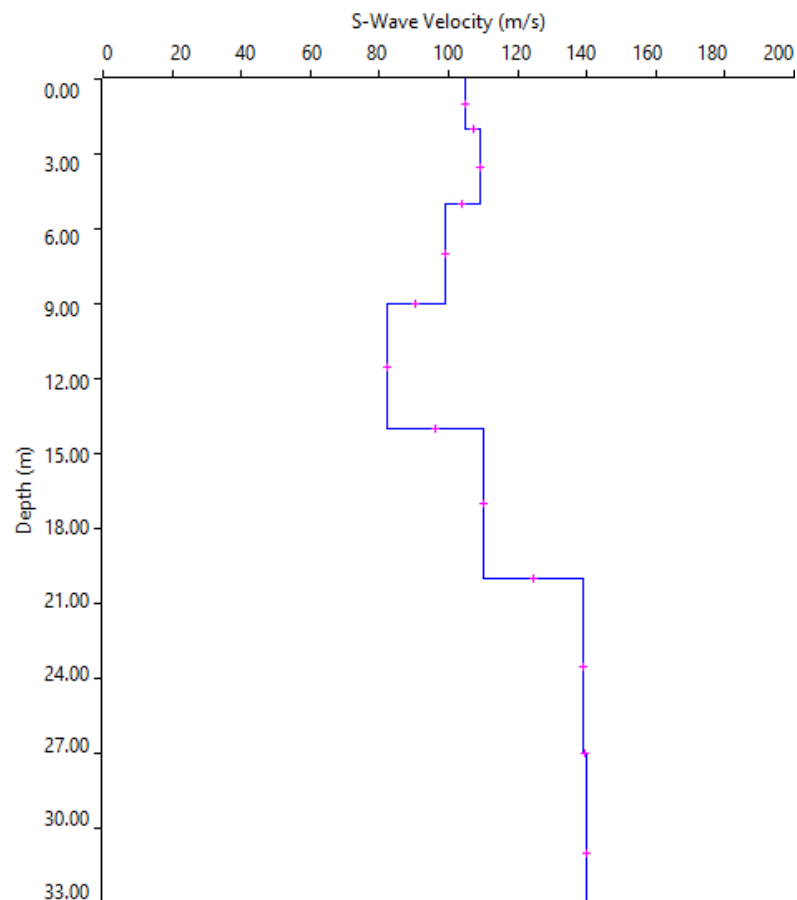


Match curva di dispersione sperimentale - teorica

Dall'inversione della curva di dispersione si ottiene il seguente modello medio di velocità delle onde sismiche di taglio con la profondità, rappresentativo dell'area investigata (stendimento complessivo di circa 57,5 m).

Depth		Thickness	Vs	Vp	Poisson	Density
from	to					
0	2	2	105	210	0,333	1,8
2	5	3	109	218	0,333	1,8
5	9	4	99	198	0,333	1,8
9	14	5	82	164	0,333	1,8
14	20	6	110	220	0,333	1,8
20	27	7	139	278	0,333	1,8
27	35	8	140	280	0,333	1,8
35	-	-	127	254	0,333	1,8

Tabella 1 – Modello sismico monodimensionale



Profilo delle onde di taglio dalla superficie

A partire dal modello sismico restituito, è possibile calcolare il valore delle  $V_{Sequ}$ , che rappresenta la velocità di propagazione delle onde di taglio entro 30 m. di profondità. Per **velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio** si intende la media pesata delle velocità delle onde S nei primi metri di profondità da una quota scelta, secondo la relazione, riportata nel D.M. 17.01.2018 ("Norme tecniche per le costruzioni"):

$$V_{s, eq} = \frac{H}{\sum_{strato=1}^N \frac{h(strato)}{V_s(strato)}}$$

Dove N è il numero di strati individuabili nei primi metri di suolo, ciascuno caratterizzato dallo spessore  $h(strato)$  e dalla velocità delle onde  $S V_s(strato)$ .

Per H si intende la profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da  $V_s$  non inferiore a 800 m/s. Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio  $V_{sequ}$  è definita dal parametro  $V_{s30}$ , ottenuto ponendo  $H=30$  m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Utilizzando la formula sopra riportata, considerando la quota della fondazione a partire dal piano campagna attuale si ottiene  **$V_{s,eq} = 109$  m/s.**

#### 6.4.4. Riepilogo risultati e categorie di sottosuolo

La  $V_{s, eq}$  espressa è stata calcolata dal piano campagna e non dal piano di posa delle fondazioni. In questa sede si indica una categoria di suolo di fondazione assumendo il piano di posa delle fondazioni coincidente con il piano campagna, non essendo a conoscenza delle caratteristiche fondali dell'intervento in oggetto.

Sarà quindi il tecnico incaricato a fare le considerazioni adeguate, in base alle informazioni ricavate da questa indagine (spessori e velocità dei singoli strati) ed in funzione del sistema fondale.

Le categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato sono definite in Tab. 3.2.II. del D.M. 17.01.2018.

Tab. 3.2.II – Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> , caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.
C	<i>Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
D	<i>Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.
E	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D</i> , con profondità del substrato non superiore a 30 m.

Linea	$V_{s, eq}$	Categoria di Sottosuolo (D.M. 17.01.2018)
MASW 1	158	D
MASW 2	125	D
MASW 3	109	D

## 7. Tomografia elettrica (ERT)

Nel sito è stata eseguita n. 1 tomografie elettriche ERT con 48 canali e spaziatura tra gli elettrodi di 2 m.

Nella tabella sottostante si riportano i dati delle linee approntate.

Linea	Passo	Elettrodi	Lunghezza	Array	Tx max	Vab	Mirura
ERT 1	2.00 m	48	96 m	Wenner, Polo-Dipolo	400V	400V	<b>Rho</b>



ERT

### 7.1. Strumentazione e specifiche tecniche

Per l'esecuzione di campagne di acquisizione di dati geoelettrici, è stato utilizzato un georesistivimetro Syscal Pro multicanale, nella versione a 48 elettrodi, prodotto da *IRIS Instruments*.

Si tratta di uno strumento solido e versatile che utilizzando cavi multi-connettore consente di eseguire misure di resistività e polarizzazione indotta in superficie (statiche e continue), in foro, ed in acqua. Le sequenze di acquisizione precaricate vengono eseguite in modalità automatica e le misure registrate su una memoria interna capace di contenere fino a 40.000 dati. L'architettura multicanale consente l'acquisizione contemporanea di 10 misure ottimizzando così i tempi di permanenza in campo.

I sistemi di trasmissione (max 800V; 2.5A, risoluzione 0.2%) e ricezione (max 15V, risoluzione 0.2%) alloggiato insieme alle batterie di alimentazione (12V, 7 Ah) in un unico *box* a tenuta d'acqua, per un peso complessivo di 15 kg. L'autonomia della strumentazione può essere prolungata con alimentazione esterna fornita da comuni batterie da 12V.

In fase di acquisizione, lo strumento Syscal Pro esegue la continua ed automatica compensazione del potenziale spontaneo, caratteristica fondamentale, specie nei casi, non rari, in cui tale valore può eccedere la decina di mVolts. La strumentazione di campagna per l'esecuzione di misure di resistività è completata da:

- n°2 cavi multitraccia da 24 take-out, spaziatura 5.0 m;
- n°1 filo elettrico a cavo singolo, sez. 1 mm<sup>2</sup>, L 500 m, per misure con polo remoto;
- n°1 prolunga L 25.0 m;

- o n° 48 picchetti in acciaio, L 300 mm, Ø 14 mm;
- o mazzette da 1 kg per infissione picchetti in terreni di copertura;
- o n° 200 chiodi e tasselli in acciaio, L 120-140 mm, Ø 6 mm per infissione in roccia;
- o computer portatile per gestione sequenze di acquisizione, scarico e screening preliminare dei dati in cantiere.

## 7.2. Manutenzioni e tarature

Per garantire il corretto stato di efficienza degli strumenti utilizzati, COSTAG adotta, secondo quanto previsto dal Sistema Gestione Qualità, un piano di manutenzione e taratura. Modalità e tempistiche generali sono definite in base alle indicazioni delle case di produzione, ma possono variare in funzione della frequenza di utilizzo. Sismografi e georesistivimetri impiegati per le indagini sismiche ed elettriche vengono inviati almeno una volta ogni due anni, alla casa costruttrice per una verifica del corretto funzionamento.

In relazione allo strumento Syscal Pro utilizzato per questa campagna di indagini, l'ultimo controllo con esito positivo effettuato alla consegna il 05 ottobre 2019. Il prossimo controllo, salvo imprevisti, sarà effettuato entro il 05 ottobre 2021.

### 7.2.1. Metodologia

Come per altri metodi d'indagine non invasivi, la finalità dei metodi geoelettrici è quello di ottenere informazioni sulla natura e sulla struttura del sottosuolo attraverso una serie di misure effettuate in superficie.

Il principio metodologico si basa sulla misura del campo elettrico indotto nel terreno con appositi dispositivi elettrodici costituiti da due coppie di elettrodi infissi nel terreno (configurazione detta quadripolo).

Nel quadripolo una coppia di elettrodi costituisce il circuito per l'induzione del campo elettrico nel terreno (dipolo di corrente: convenzionalmente elettrodi A e B), mentre l'altra coppia (dipolo di potenziale: M e N) rappresenta il circuito di misura della differenza di potenziale (d.d.p.) generata nel terreno dal passaggio della corrente stessa.

Tramite la legge di **Ohm** (modificata) è possibile risalire al valore di resistività ( $\rho$ ) caratteristico dei materiali presenti. Infatti, qualora agli estremi di un conduttore venga applicata una differenza di potenziale  $\Delta V$ , in esso passerà una corrente d'intensità  $I$  che è legata alla differenza di potenziale stessa (legge di Ohm):

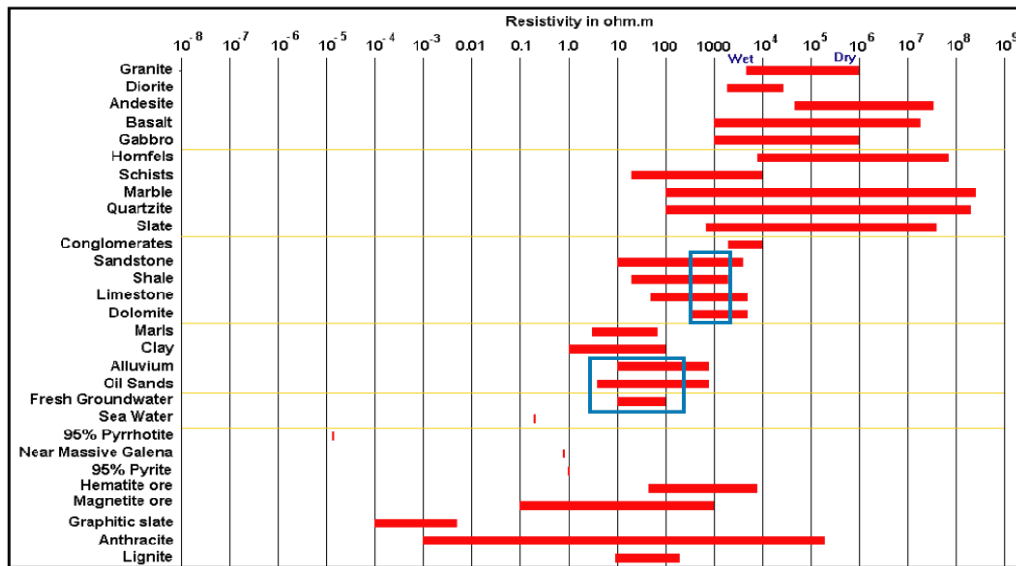
$$\Delta V / I = R$$

dove  $R$ , resistenza elettrica, è funzione della natura e dalle caratteristiche geometriche del conduttore. Nei sopra citati metodi geoelettrici, la formulazione della legge di Ohm diventa:

$$\Delta V / I = \rho K$$

in cui:  $K$  è il coefficiente geometrico proprio del conduttore. Il valore della resistività dei materiali dipende essenzialmente dalle seguenti caratteristiche: grado di saturazione dei pori; porosità; presenza e composizione dei fluidi; temperatura; eventuale presenza di sostanze organiche (idrocarburi, solventi, ecc.); presenza di argilla; grado di compattazione. Ogni tipologia di terreno o corpo roccioso presenta un ampio campo di variazione dei propri valori di resistività, che dipendono dal grado di omogeneità, dal livello di alterazione e, nel caso di rocce litoidi, dal grado di fratturazione. Un'eccezione a questa regola è costituita dalle argille che, anche quando compatte, hanno sempre valori di resistività estremamente modesti, dovuti alla presenza di cationi adsorbiti sulla superficie delle particelle di tale granulometria che offrono cammini aggiuntivi per la corrente elettrica e quindi aumentano la conducibilità dei sedimenti. In tutte le condizioni, la presenza d'acqua svolge sempre un ruolo importante, tanto che, terreni sabbiosolimosi o ghiaioso-sabbiosi, se saturi, risultano sempre più conduttivi rispetto ai medesimi asciutti. Per quanto sopra brevemente esposto, i metodi geoelettrici vengono applicati con successo come integrazione di indagini dirette per definire la natura dei terreni e/o litotipi nella ricostruzione di profili stratigrafici, e rappresentano un potente strumento d'indagine sempre più impiegato per la ricerca di: aree inquinate; cavità o presenza di corpi anomali; presenza di falde acquifere; siti

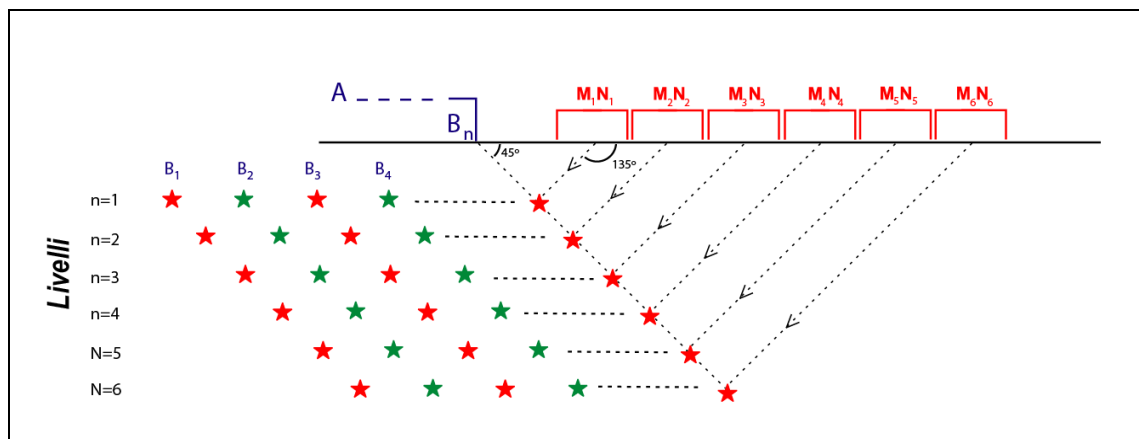
archeologici; corpi di discarica; etc.



Campi di variazione dei valori di resistività di sedimenti, rocce e alcuni minerali. Estratto da: Tutorial: 2-D and 3-D electrical imaging surveys. M. H. Loke (2004). In evidenza i materiali di particolare interesse per il lavoro in esame.

### 7.2.2. Schema di acquisizione

I profili tomografici elettrici (ERT) si realizzano infiggendo un certo numero di elettrodi nel terreno, disposti in linea ed a passo costante. L'acquisizione dei dati viene gestita completamente dalla strumentazione, in grado di controllare automaticamente l'erogazione della corrente e di gestire stendimenti multi-elettrodo, vale a dire, regolare la commutazione dei dipoli, definendo di volta in volta quali sono gli elettrodi di misura e quelli di corrente, fino all'esecuzione di tutte le combinazioni possibili secondo i parametri impostati (*array*, *livelli*; *overlap*; alta definizione...). La posizione dei dipoli AB ed MN viene in pratica modificata continuamente, traslandoli lateralmente, per ottenere un'acquisizione di dati uniforme lungo tutta la linea di misura, ed allargandoli progressivamente e proporzionalmente per accrescere la profondità da investigare.



Convenzione adottata per la collocazione delle misure di rho apparente ottenute mediante configurazione polo-dipolo. Il georesistivimetro multicanale Syscal Pro può eseguire fino a 10 misure di Vp per ciascuna iniezione di corrente, riducendo enormemente i tempi di acquisizione.

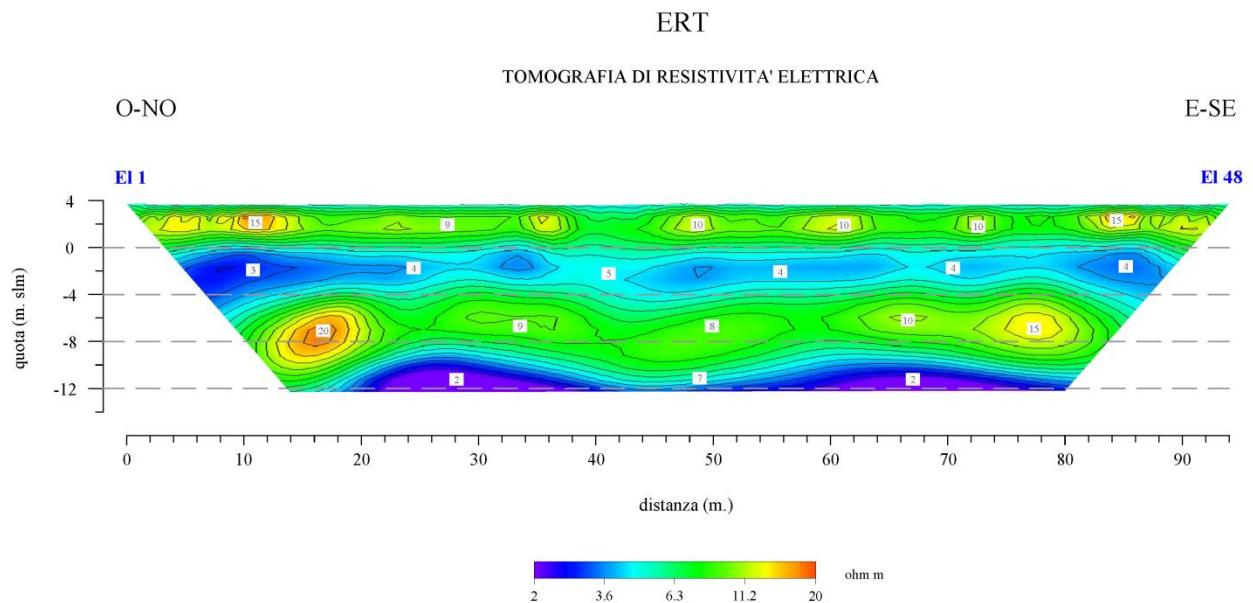
### 7.2.1. Validazione software

Secondo quanto previsto dal Sistema Gestione Qualità, il corretto funzionamento dei software utilizzati viene validato a cadenza annuale, o in occasione di aggiornamenti. L'elaborazione dei dati è stata eseguita utilizzando il software ERTLab 1.2.

### 7.3. Risultati

Le posizioni e le quote di ogni picchetto sono state rilevate con GPS per una maggiore precisione. Le linee di acquisizione sono state ubicate in funzione degli spazi e delle condizioni del terreno che si sono presentate.

Qui di seguito è riportata l'immagine ridotta del profilo, meglio visibile in APPENDICE B.



La sezione ha indagata una porzione di suolo fino alla profondità di circa 15 m.

La sezione tomografica evidenzia l'alternanza di livelli maggiormente resistivi a livelli conduttivi.

In particolare, dall'alto verso il basso è presente un primo livello di spessore inferiore ad 1 m maggiormente conduttivo, al di sotto fino alla profondità di circa 4 m è presente un livello leggermente più resistivo. Da 4 m ad 8 m è presente un livello conduttivo. Da 8 m a circa 13 m di profondità la resistività tende a aumentare.



**APPENDICE A  
SCHEDE RIEPILOGATIVE DELLE PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE  
CONTINUE (DPSH)**



**COMMITTENTE:** ENEL GREEN POWER

**CANTIERE:** INDAGINI PRELIMINARI PORTONOVO

**LOCALITA':** Portonovo (BO)

**TIPOLOGIA:** Super Pesante (DPSH) non rivestita

**CODICE PROVA:** SCPT01

**OPERATORE:** Bianchi

**DATA ESECUZIONE:** 21-feb-22

**FALDA [m da p.c.]:** Assente

**CARATTERISTICHE ATTREZZATURA DI PROVA:**

Penetrometro: TG 63-200

Peso massa battente [kg]: 73

Altezza caduta [m]: 0.75

Peso sist. Batt. [kg]: 6.4

Diam. aste [mm]: 34

Peso unitario aste [kg/m]: 5.9

Lunghezza aste [m]: 1

Giunz. prima asta [m]: 0.4

Diam. punta [mm]: 50.5

Area di base punta [cmq]: 20.03

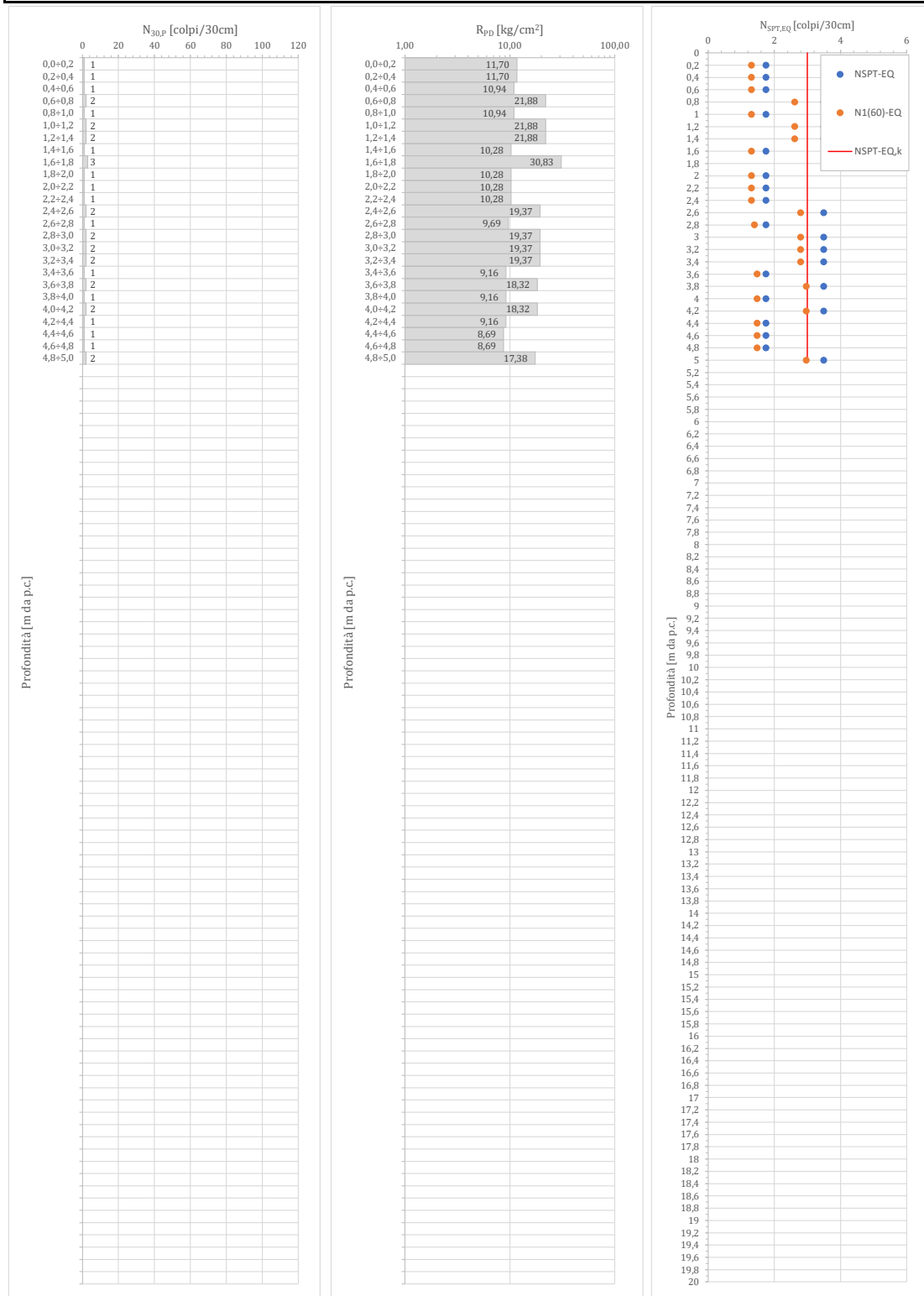
Angolo ap. Punta [°]: 90

Avanzamento punta [m]: 0.2

Energia spec. per colpo [kg/cmq]: 13.67

Energia specifica per colpo prova SPT [kg/cmq]: 7.83

Coeff. di energia [-]: 1.74

**DIAGRAMMI DI PROVA**

**Note:**

<b>COMMITTENTE:</b>	ENEL GREEN POWER	<b>CODICE PROVA:</b>	SCPT01	<b>DATA ESECUZIONE:</b>	21-feb-22
<b>CANTIERE:</b>	INDAGINI PRELIMINARI PORTONOVO	<b>OPERATORE:</b>	Bianchi	<b>FALDA [m da p.c.]:</b>	Assente
<b>LOCALITA':</b>	Portonovo (BO)				
<b>TIPOLOGIA:</b>	Super Pesante (DPSH) non rivestita				

**ELABORAZIONE STATISTICA**

STRATO	PROFONDITA'	N <sub>30,P</sub> (colpi/30cm)					
		M	MG	MIN	MAX	D.ST	VC
1	000-005	1,5	1,4	1	3	0,6	1

STRATO	PROFONDITA'	R <sub>pp</sub> [kg/cmq]					
		M	MG	MIN	MAX	D.ST	VC
1	000-005	14,76	13,72	8,69	30,83	5,95	14,80

STRATO	1	PROFONDITA'	N <sub>SPT-EQ</sub> (colpi/30cm)					
			M	MG	MIN	MAX	D.ST	VC
1	1	000-005	2,6	2,4	2	5	1,0	3

STRATO	1	PROFONDITA'	N <sub>1(60),EQ</sub> (colpi/30cm)					
			M	MG	MIN	MAX	D.ST	VC
1	1	000-005	2,9	2,7	2	7	1,3	3

**Simbologia:**

- M: media; MG: media geometrica; MIN: valore minimo; MAX: valore massimo; D.ST: deviazione standard; VC: valore caratteristico.

**Note:**
**PARAMETRI GEOTECNICI**

STR.	PROFONDITA'	NATURA GRANULARE									NATURA COESIVA						
		Dr (1)	Dr (2)	φ (1)	φ (2.1)	φ (2.2)	E' (1)	E' (2)	E' <sub>25</sub> (1.1)	E' <sub>25</sub> (1.2)	E' <sub>25</sub> (2)	c <sub>v</sub> (1)	c <sub>v</sub> (2.1)	c <sub>v</sub> (2.2)	c <sub>v</sub> (2.3)	E <sub>v</sub> (1)	E <sub>v</sub> (2)
		[%]		[°]			[kg/cmq]		[kg/cmq]			[kg/cmq]				[kg/cmq]	
1	000-005	21	25	25,7	23,6	29,0	100	90	20	91	16	0,13	0,13	0,09	0,14	26	34

**Formulazioni utilizzate:**

 -Dr: (1) Terzaghi & Peck (1967); (2) Yoshida & Kokusho (1988);  
 -φ: (1) Peck, Hansaon & Thornburn (1974); (2.1) Meyerhof (1956) sabbie fini e sabbie limose; (2.2) Meyerhof (1956) sabbie medie e grossolane;  
 -E': (1) Tornaghi et Al; (2) Bowles (1987);  
 -E'<sub>25</sub>: (1.1) Jamiolkowsky (1988) sabbie normal consolidate; (1.2) Jamiolkowsky (1988) sabbie sovra consolidate; (2) Stroud (1989);  
 -c<sub>v</sub>: (1) Terzaghi & Peck (1948); (2.1) Sivrikay & Togol (2007) limi e argille limose; (2.2) Sivrikay & Togol (2007) argille bassa plasticità; (2.3) Sivrikay & Togol (2007) argille alta plasticità;  
 -E<sub>v</sub>: (1) Bowles (1987); (2) Kulhaway & Mayne (1990).



**COMMITTENTE:** ENEL GREEN POWER

**CANTIERE:** INDAGINI PRELIMINARI PORTONOVO

**LOCALITA':** Portonovo (BO)

**TIPOLOGIA:** Super Pesante (DPSH) non rivestita

**CODICE PROVA:** SCPT02

**OPERATORE:** Bianchi

**DATA ESECUZIONE:** 21-feb-22

**FALDA [m da p.c.]:** Assente

**CARATTERISTICHE ATTREZZATURA DI PROVA:**

Penetrometro: TG 63-200	Peso massa battente [kg]: 73	Altezza caduta [m]: 0.75	Peso sist. Batt. [kg]: 6.4
Diam. aste [mm]: 34	Peso unitario aste [kg/m]: 5.9	Lunghezza aste [m]: 1	Giunz. prima asta [m]: 0.4
Diam. punta [mm]: 50.5	Area di base punta [cmq]: 20.03	Angolo ap. Punta [°]: 90	Avanzamento punta [m]: 0.2
Energia spec. per colpo [kg/cmq]: 13.67	Energia specifica per colpo prova SPT [kg/cmq]: 7.83		Coeff. di energia [-]: 1.74

**DIAGRAMMI DI PROVA**

**Note:**

<b>COMMITTENTE:</b>	ENEL GREEN POWER	<b>CODICE PROVA:</b>	SCPT02	<b>DATA ESECUZIONE:</b>	21-feb-22
<b>CANTIERE:</b>	INDAGINI PRELIMINARI PORTONOVO	<b>OPERATORE:</b>	Bianchi	<b>FALDA [m da p.c.]:</b>	Assente
<b>LOCALITA':</b>	Portonovo (BO)				
<b>TIPOLOGIA:</b>	Super Pesante (DPSH) non rivestita				

**ELABORAZIONE STATISTICA**

STRATO	PROFONDITA'	N <sub>30,P</sub> (colpi/30cm)					
		M	MG	MIN	MAX	D.ST	VC
1	000-005	1,2	1,2	1	2	0,4	1

STRATO	PROFONDITA'	R <sub>pp</sub> [kg/cmq]					
		M	MG	MIN	MAX	D.ST	VC
1	000-005	12,41	11,75	8,69	21,88	4,62	12,40

STRATO	1	N <sub>SPT-EQ</sub> (colpi/30cm)					
		M	MG	MIN	MAX	D.ST	VC
1	000-005	2,2	2,1	2	3	0,8	2

STRATO	PROFONDITA'	N <sub>1(60),EQ</sub> (colpi/30cm)					
		M	MG	MIN	MAX	D.ST	VC
1	000-005	2,4	2,3	2	4	1,0	2

**Simbologia:**

- M: media; MG: media geometrica; MIN: valore minimo; MAX: valore massimo; D.ST: deviazione standard; VC: valore caratteristico.

**Note:**
**PARAMETRI GEOTECNICI**

STR.	PROFONDITA'	NATURA GRANULARE									NATURA COESIVA						
		Dr (1)	Dr (2)	φ (1)	φ (2.1)	φ (2.2)	E' (1)	E' (2)	E' <sub>25</sub> (1.1)	E' <sub>25</sub> (1.2)	E' <sub>25</sub> (2)	c <sub>v</sub> (1)	c <sub>v</sub> (2.1)	c <sub>v</sub> (2.2)	c <sub>v</sub> (2.3)	E <sub>v</sub> (1)	E <sub>v</sub> (2)
		[%]		[°]			[kg/cmq]		[kg/cmq]			[kg/cmq]				[kg/cmq]	
1	000-005	20	23	25,3	23,0	28,3	92	88	17	77	14	0,11	0,11	0,08	0,12	25	30

**Formulazioni utilizzate:**

-Dr: (1) Terzaghi & Peck (1967); (2) Yoshida & Kokusho (1988);  
 -φ: (1) Peck, Hansaon & Thornburn (1974); (2.1) Meyerhof (1956) sabbie fini e sabbie limose; (2.2) Meyerhof (1956) sabbie medie e grossolane;  
 -E': (1) Tornaghi et Al; (2) Bowles (1987);  
 -E'<sub>25</sub>: (1.1) Jamiolkowsky (1988) sabbie normal consolidate; (1.2) Jamiolkowsky (1988) sabbie sovra consolidate; (2) Stroud (1989);  
 -c<sub>v</sub>: (1) Terzaghi & Peck (1948); (2.1) Sivrikay & Togol (2007) limi e argille limose; (2.2) Sivrikay & Togol (2007) argille bassa plasticità; (2.3) Sivrikay & Togol (2007) argille alta plasticità;  
 -E<sub>v</sub>: (1) Bowles (1987); (2) Kulhawy & Mayne (1990).

**COMMITTENTE:** ENEL GREEN POWER

**CANTIERE:** INDAGINI PRELIMINARI PORTONOVO

**LOCALITÀ:** Portonovo (BO)

**TIPOLOGIA:** Super Pesante (DPSH) non rivestita

**CODICE PROVA:** SCPT03

**OPERATORE:** Bianchi

**DATA ESECUZIONE:** 21-feb-22

**FALDA [m da p.c.]:** 3,20

**CARATTERISTICHE ATTREZZATURA DI PROVA:**

Penetrometro: TG 63-200	Peso massa battente [kg]: 73	Altezza caduta [m]: 0.75	Peso sist. Batt. [kg]: 6.4
Diam. aste [mm]: 34	Peso unitario aste [kg/m]: 5.9	Lunghezza aste [m]: 1	Giunz. prima asta [m]: 0.4
Diam. punta [mm]: 50.5	Area di base punta [cmq]: 20.03	Angolo ap. Punta [°]: 90	Avanzamento punta [m]: 0.2
Energia spec. per colpo [kg/cmq]: 13.67	Energia specifica per colpo prova SPT [kg/cmq]: 7.83	Coeff. di energia [-]: 1.74	

**DATI DI PROVA**

Profondità [m da p.c.]	Aste [n]	N <sub>20,P</sub> [colpi/20cm]	N <sub>20,R</sub> [-]	R [-]	R <sub>PD</sub> [kg/cm <sup>2</sup> ]	N <sub>SPT-EO</sub> [colpi/20cm]	N <sub>I(60)-EO</sub> [colpi/20cm]
0,0+0,2	1	1	-	-	12	2	2
0,2+0,4	1	1	-	-	12	2	2
0,4+0,6	2	1	-	-	11	2	2
0,6+0,8	2	2	-	-	22	3	4
0,8+1,0	2	2	-	-	22	3	4
1,0+1,2	2	1	-	-	11	2	2
1,2+1,4	2	1	-	-	11	2	2
1,4+1,6	3	1	-	-	10	2	2
1,6+1,8	3	1	-	-	10	2	2
1,8+2,0	3	2	-	-	21	3	4
2,0+2,2	3	1	-	-	10	2	2
2,2+2,4	3	2	-	-	21	3	4
2,4+2,6	4	1	-	-	10	2	2
2,6+2,8	4	1	-	-	10	2	2
2,8+3,0	4	2	-	-	19	3	4
3,0+3,2	4	3	-	-	29	5	5
3,2+3,4	4	2	-	-	19	3	4
3,4+3,6	5	3	-	-	27	5	6
3,6+3,8	5	3	-	-	27	5	5
3,8+4,0	5	5	-	-	46	9	9
4,0+4,2	5	5	-	-	46	9	9
4,2+4,4	5	5	-	-	46	9	9
4,4+4,6	6	5	-	-	43	9	9
4,6+4,8	6	6	-	-	52	10	10
4,8+5,0	6	6	-	-	52	10	10

Profondità [m da p.c.]	Aste [n]	N <sub>20,P</sub> [colpi/20cm]	N <sub>20,R</sub> [-]	R [-]	R <sub>PD</sub> [kg/cm <sup>2</sup> ]	N <sub>SPT-EO</sub> [colpi/20cm]	N <sub>I(60)-EO</sub> [colpi/20cm]

Note:



**COMMITTENTE:** ENEL GREEN POWER

**CANTIERE:** INDAGINI PRELIMINARI PORTONOVO

**LOCALITA':** Portonovo (BO)

**TIPOLOGIA:** Super Pesante (DPSH) non rivestita

**CODICE PROVA:** SCPT03

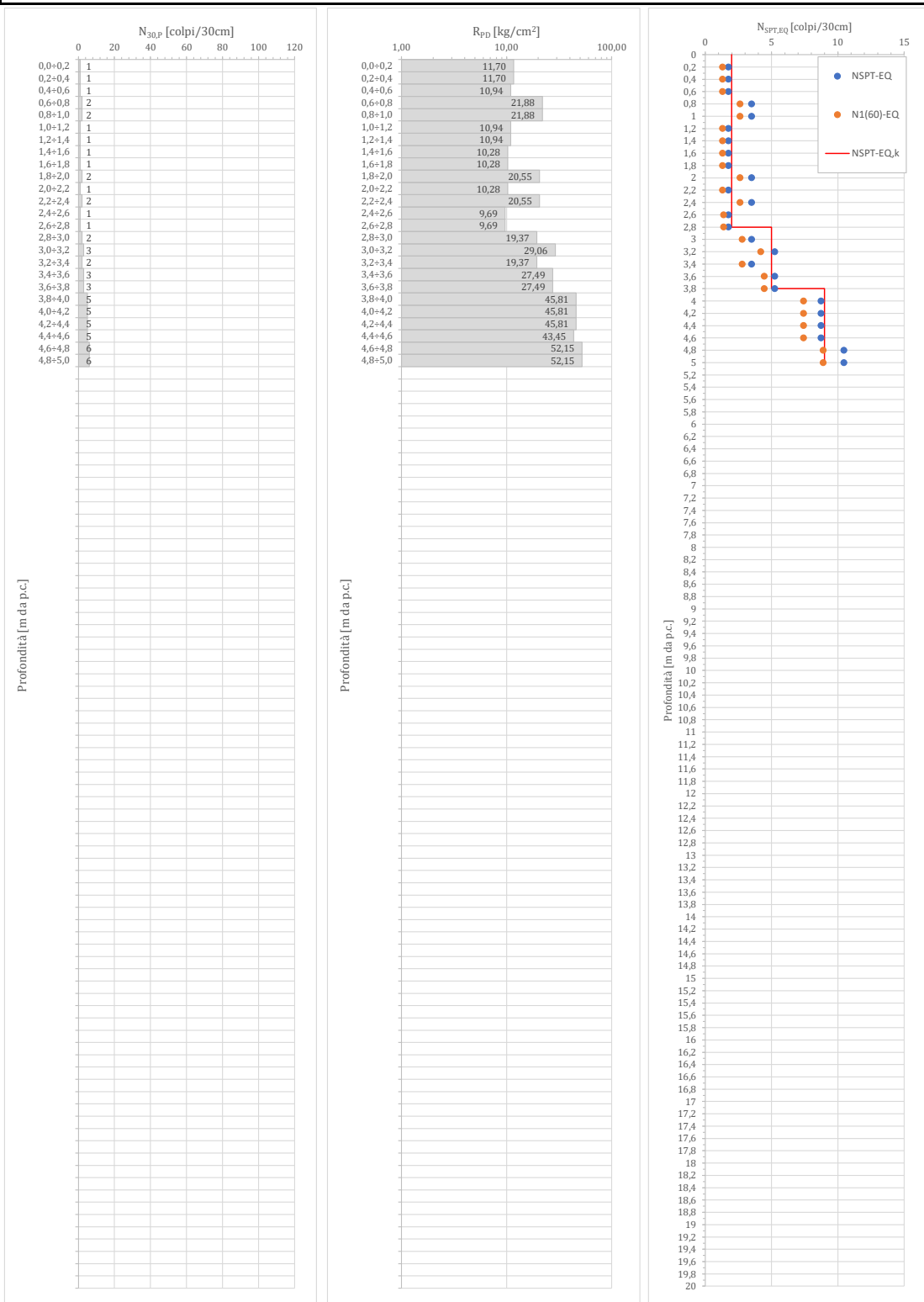
**OPERATORE:** Bianchi

**DATA ESECUZIONE:** 21-feb-22

**FALDA [m da p.c.]:** 3,20

**CARATTERISTICHE ATTREZZATURA DI PROVA:**

Penetrometro: TG 63-200	Peso massa battente [kg]: 73	Altezza caduta [m]: 0.75	Peso sist. Batt. [kg]: 6.4
Diam. aste [mm]: 34	Peso unitario aste [kg/m]: 5.9	Lunghezza aste [m]: 1	Giunz. prima asta [m]: 0.4
Diam. punta [mm]: 50.5	Area di base punta [cmq]: 20.03	Angolo ap. Punta [°]: 90	Avanzamento punta [m]: 0.2
Energia spec. per colpo [kg/cmq]: 13.67	Energia specifica per colpo prova SPT [kg/cmq]: 7.83		Coeff. di energia [-]: 1.74

**DIAGRAMMI DI PROVA**

**Note:**

**COMMITTENTE:** ENEL GREEN POWER  
**CANTIERE:** INDAGINI PRELIMINARI PORTONOVO  
**LOCALITA':** Portonovo (BO) **CODICE PROVA:** SCPT03 **DATA ESECUZIONE:** 21-feb-22  
**TIPOLOGIA:** Super Pesante (DPSH) non rivestita **OPERATORE:** Bianchi **FALDA [m da p.c.]:** 3,20

**ELABORAZIONE STATISTICA**

STRATO	PROFONDITA'	N <sub>30,P</sub> (colpi/30cm)					
		M	MG	MIN	MAX	D.ST	VC
1	000-003	1,3	1,2	1	2	0,5	1
2	003-004	2,6	2,6	2	3	0,5	3
3	004-005	5,3	5,3	5	6	0,5	5

STRATO	PROFONDITA'	R <sub>pp</sub> [kg/cmq]					
		M	MG	MIN	MAX	D.ST	VC
1	000-003	13,66	12,94	9,69	21,88	5,01	13,70
2	003-004	24,56	24,16	19,37	29,06	4,77	24,60
3	004-005	47,53	47,41	43,45	52,15	3,69	47,50

STRATO	1	N <sub>SPT-EQ</sub> (colpi/30cm)					
		M	MG	MIN	MAX	D.ST	VC
1	000-003	2,2	2,1	2	3	0,8	2
2	003-004	4,5	4,5	3	5	1,0	5
3	004-005	9,3	9,3	9	10	0,9	9

STRATO	PROFONDITA'	N <sub>1(60),EQ</sub> (colpi/30cm)					
		M	MG	MIN	MAX	D.ST	VC
1	000-003	2,8	2,6	2	4	1,0	3
2	003-004	4,7	4,6	4	6	1,0	5
3	004-005	9,3	9,3	9	10	0,7	9

**Simbologia:**

- M: media; MG: media geometrica; MIN: valore minimo; MAX: valore massimo; D.ST: deviazione standard; VC: valore caratteristico.

**Note:**
**PARAMETRI GEOTECNICI**

STR.	PROFONDITA'	NATURA GRANULARE										NATURA COESIVA					
		Dr (1)		Dr (2)		φ (1)			E' (1)		E' <sub>25</sub> (1.1)			c <sub>v</sub> (1)		E <sub>v</sub> (1)	
		[n]	[m da p.c.]	[%]	[°]	[°]	[°]	[°]	[kg/cmq]	[kg/cmq]	[kg/cmq]	[kg/cmq]	[kg/cmq]	[kg/cmq]	[kg/cmq]	[kg/cmq]	
1	000-003	21	25	25,6	23,1	28,4	92	88	16	76	13	0,11	0,11	0,08	0,12	25	31
2	003-004	28	30	27,1	26,3	31,6	137	100	35	159	30	0,24	0,24	0,17	0,26	32	48
3	004-005	39	42	29,4	29,6	34,7	201	124	72	306	63	0,52	0,50	0,36	0,55	47	74

**Formulazioni utilizzate:**

-Dr: (1) Terzaghi & Peck (1967); (2) Yoshida & Kokusho (1988);  
 -φ: (1) Peck, Hansaon & Thornburn (1974); (2.1) Meyerhof (1956) sabbie fini e sabbie limose; (2.2) Meyerhof (1956) sabbie medie e grossolane;  
 -E': (1) Tornaghi et Al; (2) Bowles (1987);  
 -E'<sub>25</sub>: (1.1) Jamiolkowsky (1988) sabbie normal consolidate; (1.2) Jamiolkowsky (1988) sabbie sovra consolidate; (2) Stroud (1989);  
 -c<sub>v</sub>: (1) Terzaghi & Peck (1948); (2.1) Sivrikay & Tогоl (2007) limi e argille limose; (2.2) Sivrikay & Tогоl (2007) argille bassa plasticità; (2.3) Sivrikay & Tогоl (2007) argille alta plasticità;  
 -E<sub>v</sub>: (1) Bowles (1987); (2) Kulhaway & Mayne (1990).



**COMMITTENTE:** ENEL GREEN POWER

**CANTIERE:** INDAGINI PRELIMINARI PORTONOVO

**LOCALITA':** Portonovo (BO)

**TIPOLOGIA:** Super Pesante (DPSH) non rivestita

**CODICE PROVA:** SCPT04

**OPERATORE:** Bianchi

**DATA ESECUZIONE:** 21-feb-22

**FALDA [m da p.c.]:** 3,80

**CARATTERISTICHE ATTREZZATURA DI PROVA:**

Penetrometro: TG 63-200

Peso massa battente [kg]: 73

Altezza caduta [m]: 0.75

Peso sist. Batt. [kg]: 6.4

Diam. aste [mm]: 34

Peso unitario aste [kg/m]: 5.9

Lunghezza aste [m]: 1

Giunz. prima asta [m]: 0.4

Diam. punta [mm]: 50.5

Area di base punta [cmq]: 20.03

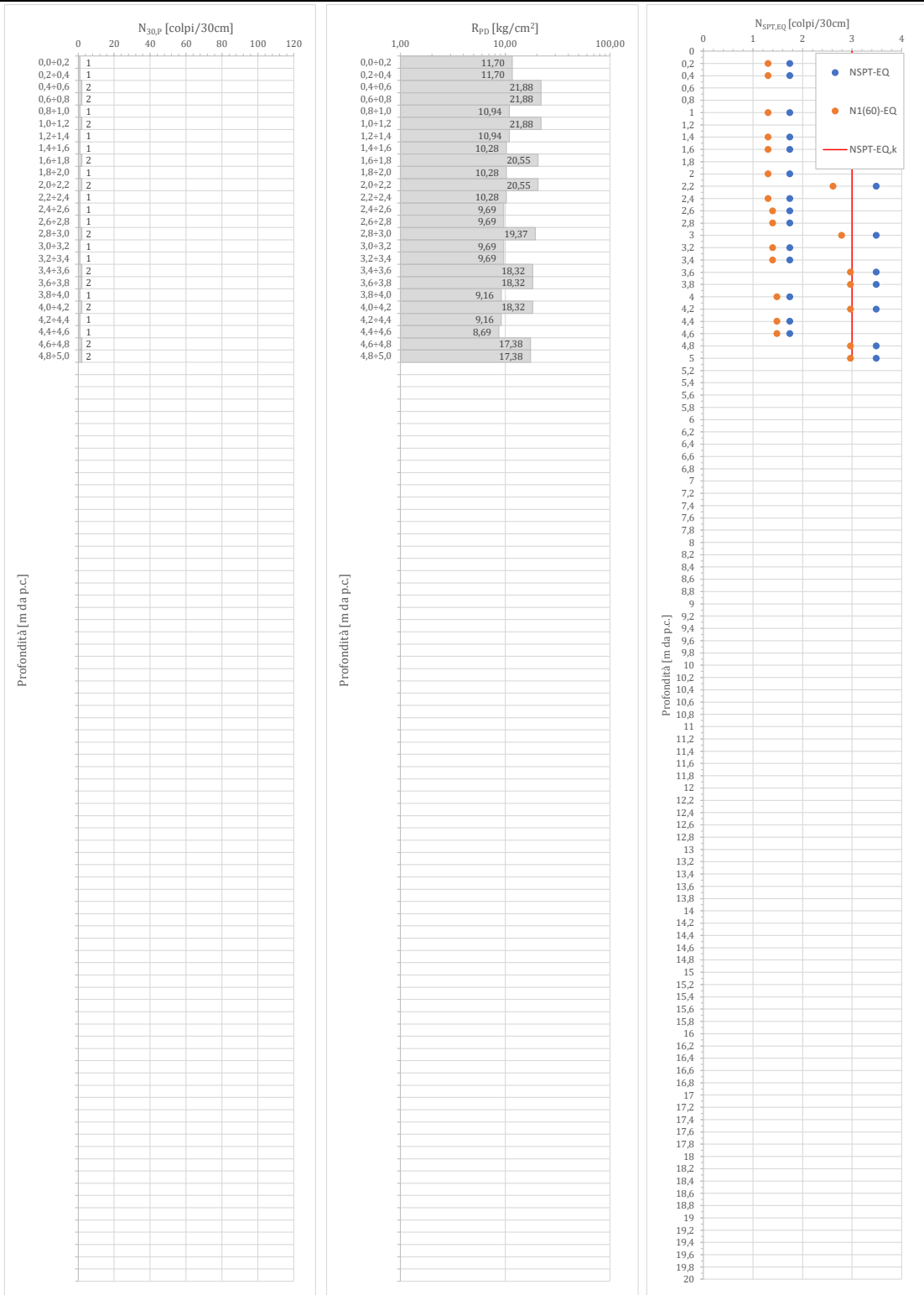
Angolo ap. Punta [°]: 90

Avanzamento punta [m]: 0.2

Energia spec. per colpo [kg/cmq]: 13.67

Energia specifica per colpo prova SPT [kg/cmq]: 7.83

Coeff. di energia [-]: 1.74

**DIAGRAMMI DI PROVA**

**Note:**

<b>COMMITTENTE:</b>	ENEL GREEN POWER	<b>CODICE PROVA:</b>	SCPT04	<b>DATA ESECUZIONE:</b>	21-feb-22
<b>CANTIERE:</b>	INDAGINI PRELIMINARI PORTONOVO	<b>OPERATORE:</b>	Bianchi	<b>FALDA [m da p.c.]:</b>	3,80
<b>LOCALITA':</b>	Portonovo (BO)				
<b>TIPOLOGIA:</b>	Super Pesante (DPSH) non rivestita				

**ELABORAZIONE STATISTICA**

STRATO	PROFONDITA'	N <sub>30,P</sub> (colpi/30cm)					
		M	MG	MIN	MAX	D.ST	VC
1	000-005	1,4	1,4	1	2	0,5	1

STRATO	PROFONDITA'	R <sub>pp</sub> [kg/cmq]					
		M	MG	MIN	MAX	D.ST	VC
1	000-005	14,31	13,50	8,69	21,88	4,99	14,30

STRATO	1	N <sub>SPT-EQ</sub> (colpi/30cm)					
		M	MG	MIN	MAX	D.ST	VC
1	000-005	2,5	2,4	2	3	0,9	3

STRATO	PROFONDITA'	N <sub>1(60),EQ</sub> (colpi/30cm)					
		M	MG	MIN	MAX	D.ST	VC
1	000-005	2,8	2,6	2	4	1,0	3

**Simbologia:**

- M: media; MG: media geometrica; MIN: valore minimo; MAX: valore massimo; D.ST: deviazione standard; VC: valore caratteristico.

**Note:**
**PARAMETRI GEOTECNICI**

STR.	PROFONDITA'	NATURA GRANULARE									NATURA COESIVA						
		Dr (1)	Dr (2)	φ (1)	φ (2.1)	φ (2.2)	E' (1)	E' (2)	E' <sub>25</sub> (1.1)	E' <sub>25</sub> (1.2)	E' <sub>25</sub> (2)	c <sub>v</sub> (1)	c <sub>v</sub> (2.1)	c <sub>v</sub> (2.2)	c <sub>v</sub> (2.3)	E <sub>v</sub> (1)	E <sub>v</sub> (2)
		[%]		[°]			[kg/cmq]		[kg/cmq]			[kg/cmq]				[kg/cmq]	
1	000-005	21	24	25,7	23,6	28,9	99	89	19	89	16	0,13	0,13	0,09	0,14	26	33

**Formulazioni utilizzate:**

 -Dr: (1) Terzaghi & Peck (1967); (2) Yoshida & Kokusho (1988);  
 -φ: (1) Peck, Hansaon & Thornburn (1974); (2.1) Meyerhof (1956) sabbie fini e sabbie limose; (2.2) Meyerhof (1956) sabbie medie e grossolane;  
 -E': (1) Tornaghi et Al; (2) Bowles (1987);  
 -E'<sub>25</sub>: (1.1) Jamiolkowsky (1988) sabbie normal consolidate; (1.2) Jamiolkowsky (1988) sabbie sovra consolidate; (2) Stroud (1989);  
 -c<sub>v</sub>: (1) Terzaghi & Peck (1948); (2.1) Sivrikay & Togol (2007) limi e argille limose; (2.2) Sivrikay & Togol (2007) argille bassa plasticità; (2.3) Sivrikay & Togol (2007) argille alta plasticità;  
 -E<sub>v</sub>: (1) Bowles (1987); (2) Kulhawy & Mayne (1990).



**COMMITTENTE:** ENEL GREEN POWER

**CANTIERE:** INDAGINI PRELIMINARI PORTONOVO

**LOCALITA':** Portonovo (BO)

**TIPOLOGIA:** Super Pesante (DPSH) non rivestita

**CODICE PROVA:** SCPT05

**OPERATORE:** Bianchi

**DATA ESECUZIONE:** 21-feb-22

**FALDA [m da p.c.]:** Assente

**CARATTERISTICHE ATTREZZATURA DI PROVA:**

Penetrometro: TG 63-200

Peso massa battente [kg]: 73

Altezza caduta [m]: 0.75

Peso sist. Batt. [kg]: 6.4

Diam. aste [mm]: 34

Peso unitario aste [kg/m]: 5.9

Lunghezza aste [m]: 1

Giunz. prima asta [m]: 0.4

Diam. punta [mm]: 50.5

Area di base punta [cmq]: 20.03

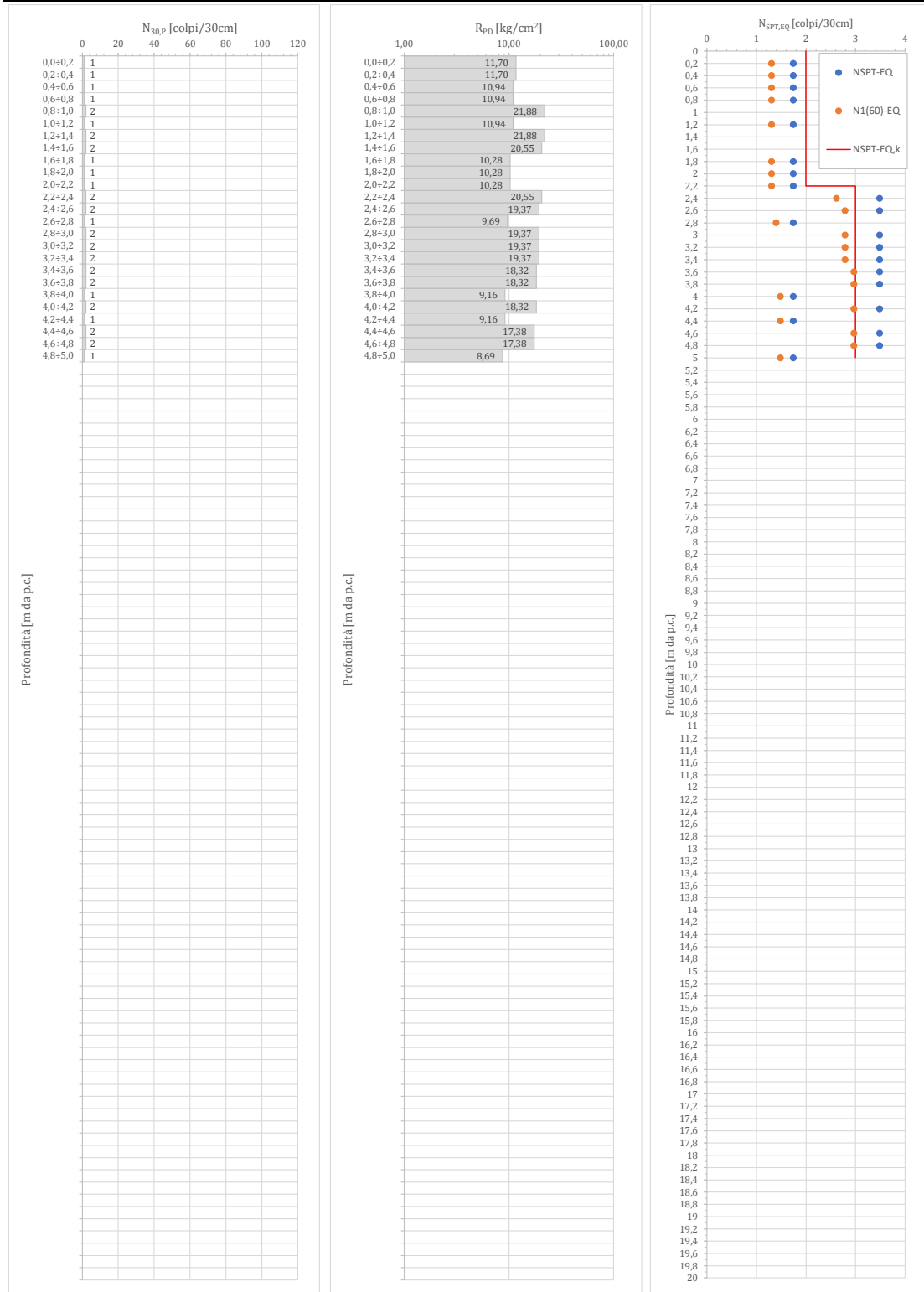
Angolo ap. Punta [°]: 90

Avanzamento punta [m]: 0.2

Energia spec. per colpo [kg/cmq]: 13.67

Energia specifica per colpo prova SPT [kg/cmq]: 7.83

Coeff. di energia [-]: 1.74

**DIAGRAMMI DI PROVA**

**Note:**

**COMMITTENTE:** ENEL GREEN POWER  
**CANTIERE:** INDAGINI PRELIMINARI PORTONOVO  
**LOCALITA':** Portonovo (BO) **CODICE PROVA:** SCPT05 **DATA ESECUZIONE:** 21-feb-22  
**TIPOLOGIA:** Super Pesante (DPSH) non rivestita **OPERATORE:** Bianchi **FALDA [m da p.c.]:** Assente

**ELABORAZIONE STATISTICA**

STRATO	PROFONDITA'	N <sub>30,P</sub> (colpi/30cm)					
		M	MG	MIN	MAX	D.ST	VC
[n]	[m da p.c.]						
1	000-002	1,3	1,2	1	2	0,5	1
2	002-005	1,7	1,6	1	2	0,5	2

STRATO	PROFONDITA'	R <sub>pp</sub> [kg/cmq]					
		M	MG	MIN	MAX	D.ST	VC
[n]	[m da p.c.]						
1	000-002	13,76	13,08	10,28	21,88	4,97	13,80
2	002-005	16,03	15,29	8,69	20,55	4,58	16,00

STRATO	1	N <sub>SPT-EQ</sub> (colpi/30cm)					
		M	MG	MIN	MAX	D.ST	VC
[n]	[m da p.c.]						
1	000-002	2,2	2,1	2	3	0,8	2
2	002-005	3,0	2,9	2	3	0,8	3

STRATO	PROFONDITA'	N <sub>1(60),EQ</sub> (colpi/30cm)					
		M	MG	MIN	MAX	D.ST	VC
[n]	[m da p.c.]						
1	000-002	2,8	2,7	2	4	1,1	3
2	002-005	3,0	2,9	2	4	0,9	3

**Simbologia:**

- M: media; MG: media geometrica; MIN: valore minimo; MAX: valore massimo; D.ST: deviazione standard; VC: valore caratteristico.

**Note:**
**PARAMETRI GEOTECNICI**

STR.	PROFONDITA'	NATURA GRANULARE										NATURA COESIVA										
		Dr (1)		Dr (2)		φ (1)			E' (1)		E' (2)			c <sub>v</sub> (1)		c <sub>v</sub> (2)		E <sub>v</sub> (1)		E <sub>v</sub> (2)		
		[n]	[m da p.c.]	[%]	[°]	[°]	[°]	[°]	[kg/cmq]	[kg/cmq]	[kg/cmq]	[kg/cmq]	[kg/cmq]	[kg/cmq]	[kg/cmq]	[kg/cmq]	[kg/cmq]	[kg/cmq]	[kg/cmq]	[kg/cmq]	[kg/cmq]	
1	000-002	21	25	25,7	23,1	28,4	91	88	16	74	13	0,11	0,10	0,08	0,12	25	31					
2	002-005	22	25	25,8	24,4	29,7	111	92	24	109	20	0,16	0,16	0,11	0,17	28	37					

**Formulazioni utilizzate:**

-Dr: (1) Terzaghi & Peck (1967); (2) Yoshida & Kokusho (1988);  
 -φ: (1) Peck, Hansaon & Thornburn (1974); (2.1) Meyerhof (1956) sabbie fini e sabbie limose; (2.2) Meyerhof (1956) sabbie medie e grossolane;  
 -E': (1) Tornaghi et Al; (2) Bowles (1987);  
 -E'<sub>25</sub>: (1.1) Jamiolkowsky (1988) sabbie normal consolidate; (1.2) Jamiolkowsky (1988) sabbie sovra consolidate; (2) Stroud (1989);  
 -c<sub>v</sub>: (1) Terzaghi & Peck (1948); (2.1) Sivrikay & Togol (2007) limi e argille limose; (2.2) Sivrikay & Togol (2007) argille bassa plasticità; (2.3) Sivrikay & Togol (2007) argille alta plasticità;  
 -E<sub>v</sub>: (1) Bowles (1987); (2) Kulhawy & Mayne (1990).



**COMMITTENTE:** ENEL GREEN POWER

**CANTIERE:** INDAGINI PRELIMINARI PORTONOVO

**LOCALITA':** Portonovo (BO)

**CODICE PROVA:** SCPT06

**DATA ESECUZIONE:** 21-feb-22

**TIPOLOGIA:** Super Pesante (DPSH) non rivestita

**OPERATORE:** Bianchi

**FALDA [m da p.c.]:** 4,00

**CARATTERISTICHE ATTREZZATURA DI PROVA:**

Penetrometro: TG 63-200

Peso massa battente [kg]: 73

Altezza caduta [m]: 0.75

Peso sist. Batt. [kg]: 6.4

Diam. aste [mm]: 34

Peso unitario aste [kg/m]: 5.9

Lunghezza aste [m]: 1

Giunz. prima asta [m]: 0.4

Diam. punta [mm]: 50.5

Area di base punta [cmq]: 20.03

Angolo ap. Punta [°]: 90

Avanzamento punta [m]: 0.2

Energia spec. per colpo [kg/cmq]: 13.67

Energia specifica per colpo prova SPT [kg/cmq]: 7.83

Coeff. di energia [-]: 1.74

**DATI DI PROVA**

Profondità [m da p.c.]	Aste [n]	N <sub>20,P</sub> [colpi/20cm]	N <sub>20,R</sub> [-]	R [-]	R <sub>PD</sub> [kg/cm <sup>2</sup> ]	N <sub>SPT-E0</sub> [colpi/20cm]	N <sub>I(60)-E0</sub> [colpi/20cm]
0,0+0,2	1	1	-	-	12	2	2
0,2+0,4	1	1	-	-	12	2	2
0,4+0,6	2	1	-	-	11	2	2
0,6+0,8	2	1	-	-	11	2	2
0,8+1,0	2	2	-	-	22	3	4
1,0+1,2	2	1	-	-	11	2	2
1,2+1,4	2	1	-	-	11	2	2
1,4+1,6	3	2	-	-	21	3	4
1,6+1,8	3	1	-	-	10	2	2
1,8+2,0	3	2	-	-	21	3	4
2,0+2,2	3	1	-	-	10	2	2
2,2+2,4	3	1	-	-	10	2	2
2,4+2,6	4	2	-	-	19	3	4
2,6+2,8	4	1	-	-	10	2	2
2,8+3,0	4	2	-	-	19	3	4
3,0+3,2	4	2	-	-	19	3	4
3,2+3,4	4	1	-	-	10	2	2
3,4+3,6	5	1	-	-	09	2	2
3,6+3,8	5	1	-	-	09	2	2
3,8+4,0	5	2	-	-	18	3	3
4,0+4,2	5	2	-	-	18	3	3
4,2+4,4	5	1	-	-	09	2	2
4,4+4,6	6	2	-	-	17	3	3
4,6+4,8	6	1	-	-	09	2	2
4,8+5,0	6	2	-	-	17	3	3

Profondità [m da p.c.]	Aste [n]	N <sub>20,P</sub> [colpi/20cm]	N <sub>20,R</sub> [-]	R [-]	R <sub>PD</sub> [kg/cm <sup>2</sup> ]	N <sub>SPT-E0</sub> [colpi/20cm]	N <sub>I(60)-E0</sub> [colpi/20cm]

Note:

**COMMITTENTE:** ENEL GREEN POWER

**CANTIERE:** INDAGINI PRELIMINARI PORTONOVO

**LOCALITA':** Portonovo (BO)

**TIPOLOGIA:** Super Pesante (DPSH) non rivestita

**CODICE PROVA:** SCPT06

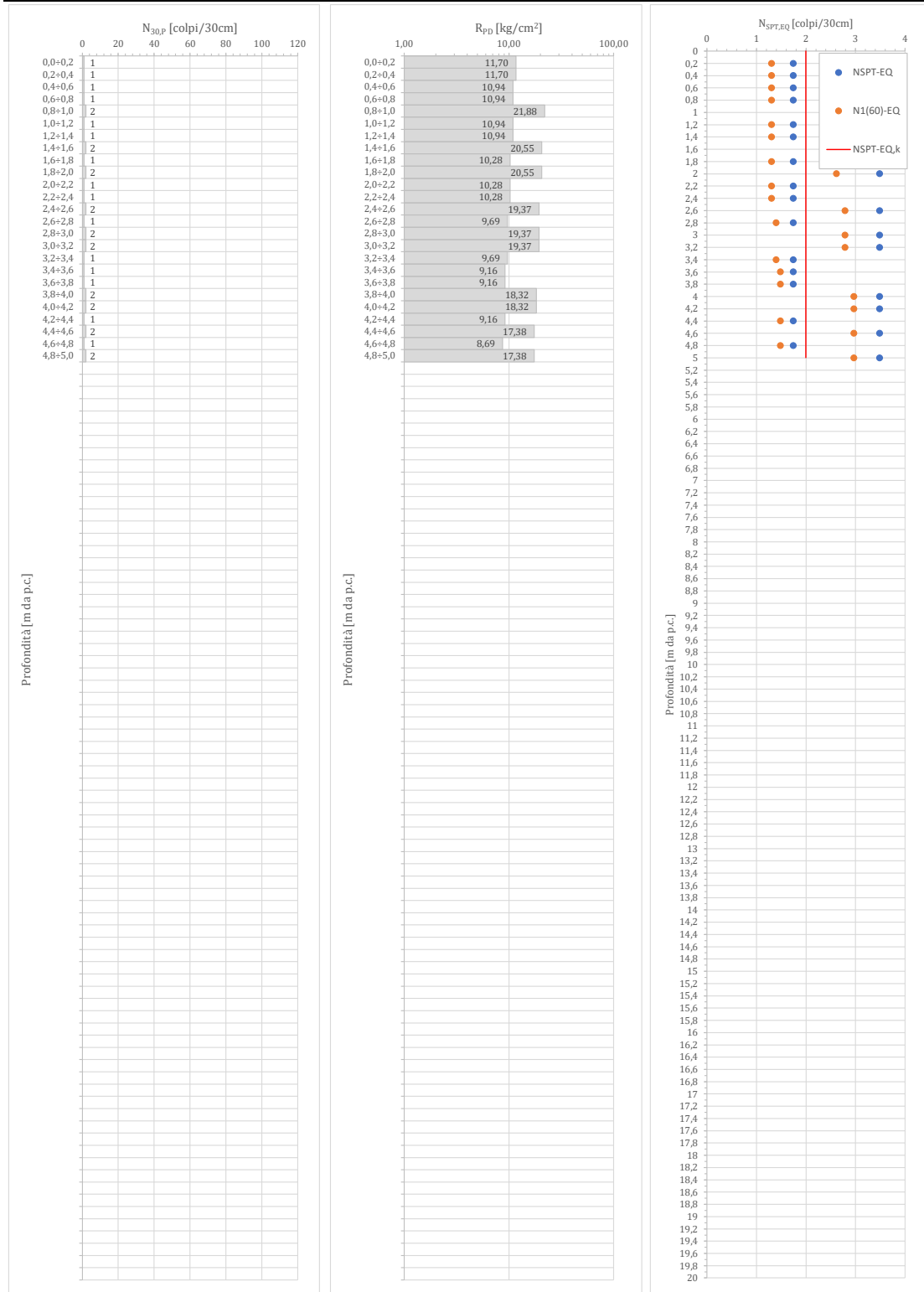
**OPERATORE:** Bianchi

**DATA ESECUZIONE:** 21-feb-22

**FALDA [m da p.c.]:** 4,00

**CARATTERISTICHE ATTREZZATURA DI PROVA:**

Penetrometro: TG 63-200	Peso massa battente [kg]: 73	Altezza caduta [m]: 0.75	Peso sist. Batt. [kg]: 6.4
Diam. aste [mm]: 34	Peso unitario aste [kg/m]: 5.9	Lunghezza aste [m]: 1	Giunz. prima asta [m]: 0.4
Diam. punta [mm]: 50.5	Area di base punta [cmq]: 20.03	Angolo ap. Punta [°]: 90	Avanzamento punta [m]: 0.2
Energia spec. per colpo [kg/cmq]: 13.67	Energia specifica per colpo prova SPT [kg/cmq]: 7.83		Coeff. di energia [-]: 1.74

**DIAGRAMMI DI PROVA**

**Note:**

<b>COMMITTENTE:</b>	ENEL GREEN POWER	<b>CODICE PROVA:</b>	SCPT06	<b>DATA ESECUZIONE:</b>	21-feb-22
<b>CANTIERE:</b>	INDAGINI PRELIMINARI PORTONOVO	<b>OPERATORE:</b>	Bianchi	<b>FALDA [m da p.c.]:</b>	4,00
<b>LOCALITA':</b>	Portonovo (BO)				
<b>TIPOLOGIA:</b>	Super Pesante (DPSH) non rivestita				

**ELABORAZIONE STATISTICA**

STRATO	PROFONDITA'	N <sub>30,P</sub> (colpi/30cm)					
		M	MG	MIN	MAX	D.ST	VC
1	000-005	1,4	1,3	1	2	0,5	1

STRATO	PROFONDITA'	R <sub>pp</sub> [kg/cm <sup>2</sup> ]					
		M	MG	MIN	MAX	D.ST	VC
1	000-005	13,84	13,13	8,69	21,88	4,65	13,80

STRATO	1	N <sub>SPT-EQ</sub> (colpi/30cm)					
		M	MG	MIN	MAX	D.ST	VC
1	000-005	2,4	2,3	2	3	0,9	2

STRATO	PROFONDITA'	N <sub>1(60),EQ</sub> (colpi/30cm)					
		M	MG	MIN	MAX	D.ST	VC
1	000-005	2,7	2,6	2	4	1,0	3

**Simbologia:**

- M: media; MG: media geometrica; MIN: valore minimo; MAX: valore massimo; D.ST: deviazione standard; VC: valore caratteristico.

**Note:**
**PARAMETRI GEOTECNICI**

STR.	PROFONDITA'	NATURA GRANULARE										NATURA COESIVA					
		Dr (1)	Dr (2)	φ (1)	φ (2.1)	φ (2.2)	E' (1)	E' (2)	E' <sub>25</sub> (1.1)	E' <sub>25</sub> (1.2)	E' <sub>25</sub> (2)	c <sub>v</sub> (1)	c <sub>v</sub> (2.1)	c <sub>v</sub> (2.2)	c <sub>v</sub> (2.3)	E <sub>v</sub> (1)	E <sub>v</sub> (2)
		[%]		[°]			[kg/cm <sup>2</sup> ]		[kg/cm <sup>2</sup> ]			[kg/cm <sup>2</sup> ]				[kg/cm <sup>2</sup> ]	
1	000-005	21	24	25,6	23,5	28,8	98	89	19	87	15	0,13	0,12	0,09	0,14	26	33

**Formulazioni utilizzate:**

-Dr: (1) Terzaghi & Peck (1967); (2) Yoshida & Kokusho (1988);  
 -φ: (1) Peck, Hansaon & Thornburn (1974); (2.1) Meyerhof (1956) sabbie fini e sabbie limose; (2.2) Meyerhof (1956) sabbie medie e grossolane;  
 -E': (1) Tornaghi et Al; (2) Bowles (1987);  
 -E'<sub>25</sub>: (1.1) Jamiolkowsky (1988) sabbie normal consolidate; (1.2) Jamiolkowsky (1988) sabbie sovra consolidate; (2) Stroud (1989);  
 -c<sub>v</sub>: (1) Terzaghi & Peck (1948); (2.1) Sivrikay & Togol (2007) limi e argille limose; (2.2) Sivrikay & Togol (2007) argille bassa plasticità; (2.3) Sivrikay & Togol (2007) argille alta plasticità;  
 -E<sub>v</sub>: (1) Bowles (1987); (2) Kulhaway & Mayne (1990).



Engineering & Construction



GRECODE

**GRE.EEC.R.25.IT.P.15534.49.001.01**

PAGE

36 di/of 36

**APPENDICE B  
PROFILO DI TOMOGRAFIA ELETTRICA (ERT)**

# ERT

## TOMOGRAFIA DI RESISTIVITA' ELETTRICA

O-NO

E-SE

El 1

El 48

