



CONSORZIO 1 TOSCANA NORD

Consorzio di Bonifica Ente di Diritto Pubblico

Sede legale: Via della Migliarina n. 64

55049 Viareggio (LU)

Tel 0584/43991 Fax 0584/426357

PROG. 21-19

**MITIGAZIONE IDRAULICA DEL FOSSO POVEROMO
IN COMUNE DI MASSA**

PROGETTO ESECUTIVO

	Relazione geologica	<i>ELABORATO N.</i>	
	<i>NOME FILE:</i>		
	<i>CIG:</i>	<i>CUP</i>	
	R.U.P.: Ing. Leonardo Gianecchini		
PROGETTISTI : DOTT. GEOL. ANDREA CRICCA	COLLABORATORI: Dott. Geol. Emanuele Michelucci	CON IL CONTRIBUTO DI	
REV. N.° DATA REV.	CAUSALE REV.	FIRMA REVISORE	
PERCORSO FILE:		Data: MAGGIO 2020	

INDICE

1 - PREMESSA	3
2 - QUADRO NORMATIVO	5
3 - INQUADRAMENTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO ED IDROGRAFICO	6
3.1 - INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E GEOMORFOLOGICO	6
3.1.1 - ELEMENTI GEOMORFOLOGICI DI RILIEVO	6
3.2 - INQUADRAMENTO GEOLOGICO	7
3.3 - IDROGRAFIA ED IDROGEOLOGIA.....	8
3.4 - DATI PLUVIOMETRICI	9
4 - VINCOLISTICA E PERICOLOSITA' DELL'AREA IN ESAME	11
4.1 - CONSIDERAZIONI SULLA VINCOLISTICA DELL'AREA IN ESAME	11
4.2 - PERICOLOSITA' DELL'AREA IN ESAME	12
5 - FATTIBILITA' DELL'INTERVENTO IN PROGETTO	15
5.1 - CONSIDERAZIONI SULLA FATTIBILITA' DELL'INTERVENTO IN PROGETTO.....	15
6 - MODELLO GEOLOGICO	16
6.1 - INDAGINI IN SITU	16
6.2 - SONDAGGI GEOGNOSTICI	16
6.3 - PROVE S.P.T.	17
6.4 - PROVE LEFRANC.....	18
6.5 - INDAGINI PENETROMETRICHE	19
6.5.1 - CARATTERIZZAZIONE LITOSTRATIGRAFICA RICAVATA DALLE PROVE PENETROMETRICHE.....	20
6.6 - PROSPEZIONI SISMICHE MASW	22
6.6.1 - CONSIDERAZIONI E RISULTATI DELLE INDAGINI ESEGUITE	23
6.7 - MISURA PASSIVA DEL RUMORE AMBIENTALE HVSR	24
6.8 - ANALISI DI LABORATORIO.....	26
6.9 - LIVELLO DI FALDA	27
6.10 - CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA	27
7 - MODELLO SISMICO	34
7.1 - STORIA SISMICA E PERICOLOSITA' SISMICA DI BASE	34
7.2 - DETERMINAZIONE DELLA CATEGORIA DI SOTTOSUOLO	34
7.3 - AZIONE SISMICA.....	35
8 - CONSIDERAZIONI SULLA STIMA DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE	39
9 - CONCLUSIONI	40

1 - PREMESSA

Su incarico del Consorzio 1 Toscana Nord sono state eseguite indagini e studi di carattere geologico e sismico di supporto alla progettazione degli interventi di "Ripristino reticolo idraulico minore dell'abitato Ronchi Poveromo ed altri comuni di Massa e Carrara CUP: H63H19000340002". Codice Rendis 09IR348/G".

Il Consorzio 1 Toscana Nord sta provvedendo infatti alla progettazione di opere di mitigazione del rischio idraulico del Fosso Poveromo nel comune di Massa (MS). Nello specifico si possono sintetizzare le seguenti lavorazioni:

- realizzazione di un impianto idrovoro alla foce del Fosso Poveromo, a valle di Via Lungomare di Levante (di seguito Tratto I), prevedendo strutture in c.a. e la realizzazione di muri di sponda anch'essi in c.a.;
- realizzazione di opere di difesa spondale consistenti in scogliere in massi ciclopici di contenimento nell'area compresa tra Via Lungomare di Levante e Via G. Verdi (di seguito Tratto II);
- realizzazione di opere di difesa spondale consistenti in muri di sponda in c.a. nell'area compresa tra Via G. Verdi e Via delle Macchie (di seguito Tratto III).

Il presente studio ha come obiettivo quello di definire un quadro conoscitivo di dettaglio dell'area del sito in esame sotto il profilo geologico, idrogeologico, geomorfologico e sismico.

La metodologia applicata per la stesura della presente relazione è stata sviluppata attraverso le seguenti fasi:

- ricerca bibliografica di studi a contenuto geologico-tecnico, geomorfologico ed idrogeologico riguardanti l'area di intervento;
- inquadramento geologico, idrogeologico e geomorfologico di dettaglio su una congrua superficie nell'intorno significativo dell'area di interesse;
- realizzazione di n.2 sondaggi a carotaggio continuo;
- realizzazione di n.4 prove S.P.T. standard eseguite all'interno dei fori di sondaggio;
- realizzazione di n.2 prove Lefranc eseguite all'interno dei fori di sondaggio;
- realizzazione di n.4 prove penetrometriche statiche;
- realizzazione di n.4 analisi di laboratorio;
- realizzazione di n.3 indagini sismiche masw;
- realizzazione di n.1 misura passiva di rumore ambientale HVSR;
- elaborazione di tutte le notizie ricavate.

Il presente elaborato ha come obiettivo la definizione di un modello geologico, idrogeologico e geomorfologico di dettaglio dell'assetto del tratto terminale del Fosso Poveromo. Il modello geologico s.l., scaturito da tale studio, è finalizzato al dimensionamento delle opere preliminari individuate per le sistemazioni ed è frutto di rilievi geologici, geomorfologici e topografici di dettaglio, dello studio idrogeologico dell'area, delle informazioni raccolte e dei risultati delle indagini geognostiche e geofisiche eseguite.

TAVOLE

Tav. n.1	Corografia (C.T.R. Regione Toscana 10k, Fogli n. 260020, 249140)	(Scala 1:10.000)
Tav. n.2	Carta geologica	(Non in scala)
Tav. n.3.1	Ubicazione delle indagini geologiche - Tratto I (Foto ©Google Earth - Stato Attuale)	(Scala 1:500)
Tav. n.3.2	Ubicazione delle indagini geologiche - Tratto II (Foto ©Google Earth - Stato Attuale)	(Scala 1:500)
Tav. n.3.3	Ubicazione delle indagini geologiche - Tratto III (Foto ©Google Earth - Stato Attuale)	(Scala 1:500)
Tav. n.4.1	Sezione geologico-tecnica interpretativa A-A' - TRATTO I (Stato Attuale)	(Scala 1:150)
Tav. n.4.2	Sezione geologico-tecnica interpretativa B-B' - TRATTO II (Stato Attuale)	(Scala 1:150)
Tav. n.4.3	Sezione geologico-tecnica interpretativa C-C' - TRATTO III (Stato Attuale)	(Scala 1:150)
Tav. n.4.4	Sezione geologico-tecnica interpretativa D-D' - TRATTO III (Stato Attuale)	(Scala 1:150)

ALLEGATI

All. n.1	Logs stratigrafici dei sondaggi geognostici
All. n.2	Certificati dei sondaggi geognostici (Mappo Geognostica srl)
All. n.3	Documentazione fotografica dei sondaggi geognostici
All. n.4	Certificati delle prove penetrometriche statiche (Mappo Geognostica srl)
All. n.5	Indagini geofisiche Masw (Mappo Geognostica srl)
All. n.6	Misura di rumore ambientale HVSR (Mappo Geognostica srl)
All. n.7	Analisi di laboratorio (Laboter snc)
All. n.8	Certificati delle prove Lefranc (Mappo Geognostica srl)
All. n.9	Parametri sismici
All. n.10	Relazione di calcolo verifica alla liquefazione

2 - QUADRO NORMATIVO

Le indagini sono state eseguite tenendo conto delle normative vigenti in materia ed in particolare:

- D.M. 11.3.1988 (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 ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione);

- L.R. 65/2014 "Norme per il Governo del Territorio" - Regione Toscana;

- P.I.T. (Piano di Indirizzo Territoriale) della Regione Toscana, adozione ed integrazione n.28 pubblicata sul BURT_16 luglio 2014;

- P.T.C. (Piano Territoriale di Coordinamento) della Provincia di Massa-Carrara approvato con D.C.P. n.9 del 13/04/2005;

- D.Lgs n.152 del 03/04/2006 - "Norme in materia ambientale";

- L.n.183/1989, L.n.267/1998, L.n.365/2000 (Progetto di Piano Assetto Idrogeologico - PAI, approvato con D.C.R.T. n.11 del 25/01/2005);

- D.M. 17/01/2018 (Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni) e relativa circolare applicativa del 21/01/2019 n.7;

- D.P.G.R.T. n.36/R del 09/07/2009 "Regolamento di attuazione dell'art.117, commi 1 e 2 della L.R. n.1/2005. Disciplina sulle modalità di svolgimento delle attività di vigilanza e verifica delle opere e delle costruzioni in zone soggette a rischio sismico";

- D.P.G.R.T. n.5/R del 30/01/2020 "Regolamento di attuazione dell'articolo 104 della legge regionale 10 novembre 2014, n. 65 (Norme per il governo del territorio) contenente disposizioni in materia di indagini geologiche, idrauliche e sismiche".

- Direttiva 2007/60/CE, D.Lgs n.152 del 03/04/2006, D.Lgs n.49 del 23/02/2010 (Piano di Gestione del Rischio Alluvioni - Distretto Idrografico dell'Appennino Settentrionale, approvato con Delibera n.235 relativo alla seduta del C.I. del 03/03/2016);

- D.P.R. n.120 del 13/06/2017 "Regolamento recante la disciplina semplificata della gestione delle terre e rocce da scavo, ai sensi dell'articolo 8 del decreto-legge 12 settembre 2014, n.133, convertito, con modificazioni, della legge 11 novembre 2014, n.164;

- Aggiornamento del quadro conoscitivo del P.S. relativo agli studi geomorfologici e alla definizione di pericolosità geomorfologica (Delibera del Consiglio comunale n.16_26 febbraio 2015);

- Aggiornamento del quadro conoscitivo del P.S. relativo alle indagini idrologiche ed idrauliche, al reticolo idraulico, alla dinamica costiera e alla definizione degli ambiti di pertinenza fluviale (Delibera del Consiglio comunale n.34_12 maggio 2015);

- Aggiornamento del quadro conoscitivo del P.S. relativo agli studi di Microzonazione Sismica e alla definizione della pericolosità sismica (Delibera del Consiglio comunale n.440_21 maggio 2015);

- D.P.R. n.120 del 13/06/2017 "Regolamento recante la disciplina semplificata della gestione delle terre e rocce da scavo, ai sensi dell'articolo 8 del decreto-legge 12 settembre 2014, n.133, convertito, con modificazioni, della legge 11 novembre 2014, n.164;

- R.U. del Comune di Massa (Approvazione Delibera del Comune di Massa n.142_30 luglio 2019).

3 - INQUADRAMENTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO ED IDROGRAFICO

3.1 - INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E GEOMORFOLOGICO

L'area in esame è il tratto terminale del Fosso Poveromo che scorre lungo la Pianura Costiera Apuana che si interpone tra i primi contrafforti delle Alpi Apuane a NE ed il Mar Ligure a SW, nella parte orientale del territorio comunale di Massa (Vd. Tav. n.1).

La pianura costiera apuana in cui è ubicata l'area di interesse presenta la morfologia tipica delle pianure costiere, essendo suddivisa in quattro fasce fisiografiche longitudinali a diversa natura:

- Una spiaggia sabbiosa continua attualmente in forte erosione tra il Fosso Magliano e la foce del Fiume Versilia;
- Una zona litoranea formata da depositi eolici e di spiaggia con resti di cordoni dunari; i cordoni dunari in realtà ad oggi sono in parte stati smantellati dall'intensa urbanizzazione della zona;
- Una fascia intermedia depressa, originariamente costituita da aree paludose e palustri attualmente in gran parte bonificata. Tale fascia occupa una zona retrodunale caratterizzata da un livello eterometrico di limi sabbiosi e argillosi con resti organici che sono il risultato della deposizione in queste aree dei materiali fini portati in sospensione dai corsi d'acqua minori;
- Una zona interna formata da depositi alluvionali per lo più limosi attuali e recenti che si raccorda ai rilievi apuani tramite i depositi di ghiaie terrazzate dei grandi coni di deiezione del Fiume Frigido, del Torrente Carrione e del Torrente Ricortola e dei coni minori relativi alle aste idriche che solcano le colline del Candia ad occidente e quelle del Monte Belvedere ad oriente. Questa zona è caratterizzata da forte urbanizzazione.

La morfologia appena descritta è conseguente agli eventi di sedimentazione e di erosione che si sono succeduti nel tempo.

Durante l'ultima glaciazione, infatti, il livello del mare era più basso di quello attuale e le aste idriche, tra le quali nell'area in esame la più importante è sicuramente il Fiume Frigido, hanno sedimentato lungo la fascia costiera depositi alluvionali ghiaiosi.

Successivamente il livello del mare ha iniziato a salire e si è verificata un'ingressione marina che, procedendo verso l'entroterra, ha eroso questi depositi.

In seguito, per l'aumentato apporto terrigeno e per motivi di distensione tettonica, il mare si è progressivamente ritirato abbandonando, al di sopra dei sedimenti alluvionali, le sabbie.

Attualmente, dell'antico paesaggio caratterizzato da un suolo ricoperto da vegetazione di tipo mediterranea, a causa della forte antropizzazione dell'area di costa, rimangono soltanto alcune tracce.

Anche la morfologia a dune è ormai praticamente irriconoscibile, dato che la fascia costiera ha subito, nel tempo, uno spianamento e un livellamento finalizzato all'urbanizzazione.

L'aspetto complessivo è quindi quello di una pianura e solo un'analisi attenta consente di rilevare differenziazioni morfologiche legate alla natura e all'origine dei terreni che la costituiscono.

3.1.1 - ELEMENTI GEOMORFOLOGICI DI RILIEVO

A più grande scala l'area oggetto di studio è inserita in un contesto dove diversi sono gli elementi geomorfologici particolarmente significativi; in particolare ci si riferisce alla ripa marina, situata a Nord del nostro sito, che rappresenta una paleolinea di massima ingressione olocenica, rilevata durante l'analisi aerofotogrammetrica.

Tale ripa, descritta per la prima volta dal Sestini nel 1950, è da attribuirsi ad un'azione erosiva del mare che nel corso dell'Olocene ha determinato lo scalzamento dell'unghia delle imponenti conoidi di deiezione originate dal Fiume Frigido e dal Torrente Carrione (Vd. Fig. n.1).

Questo lineamento morfologico rappresenta pertanto la porzione superiore di una paleofalesia al cui piede dovrebbe essere posta l'effettiva linea di riva della massima ingressione del mare olocenico succeduta ad una fase di massima espansione delle alluvioni ciottolose trasportate dal Fiume Frigido e dal torrente Carrione.

Ad oggi è ancora visibile un tratto di "ripa visibile", con sviluppo planimetrico di circa 400 m, situato in località San Leonardo in un'area ristretta delimitata da Via Massa Avenza a Nord e il tracciato dell'autostrada A12 a Sud. In quest'area la ripa, che oggi si presenta artificialmente terrazzata, ha una altezza variabile da 7 a 10 m.

Sono stati inoltre cartografati tratti di ripa, sia ad est di Avenza che in sinistra idrografica del torrente Ricortola, a diverso sviluppo planimetrico, attualmente quasi completamente obliterati dall'azione antropica ma ancora identificabili con l'ausilio delle foto aeree. Tali tratti, secondo la definizione data dal Sestini, identificano la posizione probabile della costa nella fase finale dello scolpimento della riva.

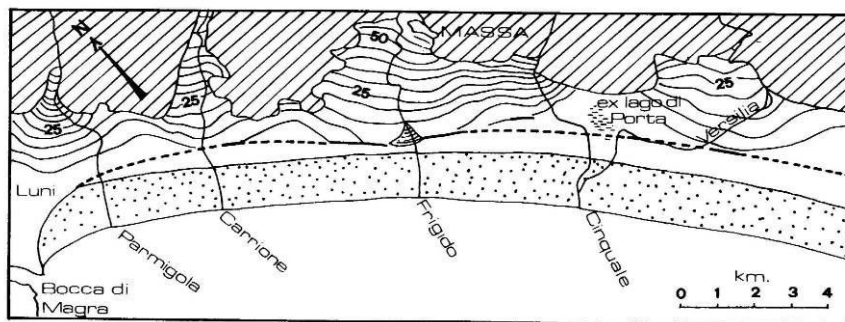


Figura n.1. Tratto da Sestini (1950)

LEGENDA — tratti di ripa visibile

----- posizione probabile della costa
nella fase finale di scolpimento
della ripa

Vi sono poi delle aree, comprese nella fascia depressa intermedia descritta nel precedente paragrafo, che conservano ancora i caratteri di "zone umide" ed in particolare se ne osserva una, ubicata in sinistra idrografica del torrente Ricortola, in cui si possono osservare i caratteri tipici dell'ambiente di acquitrino essendo ricoperta da una fitta vegetazione di tipo igrofilo.

La fascia litoranea era inoltre un tempo caratterizzata da cordoni dunari. Oggi le strutture dunarie sono quasi completamente oblitrate a causa dall'intensa urbanizzazione che ha interessato la zona a partire dagli ultimi 50 anni.

3.2 - INQUADRAMENTO GEOLOGICO

Le carte geologiche reperibili in bibliografia mostrano come la pianura costiera del Comune di Massa risulti costituita da depositi sabbiosi di spiaggia ed eolici, da livelli palustri o di stagno costiero in quelli intermedi e da depositi alluvionali terrazzati nei settori a quote più alte.

Questa situazione litologica è evidenziata nella Tav.n.2, dove sono state riportate le estensioni areali dei singoli litotipi.

Lungo il tratto I affiorano le sabbie di spiaggia recenti ed attuali mentre nei tratti II e III i depositi sabbiosi eolici.

L'assetto stratigrafico dell'area è stato influenzato dal succedersi delle fasi climatiche che hanno caratterizzato la recente storia geologica dell'area.

I numerosi studi eseguiti nel tempo sulla pianura e le stratigrafie dei sondaggi geognostici e/o pozzi, reperibili in bibliografia, confermano tale evoluzione sedimentaria e mostrano come i depositi quaternari si

estendono ben oltre i 200 metri di profondità; sondaggi eseguiti nell'area hanno evidenziato una netta prevalenza di depositi sabbiosi fino oltre i 30 metri di profondità.

Le sabbie più superficiali, in parte di origine eolica, sono caratterizzate da sabbie grossolane, a granuli arrotondati e con inclusioni di residui vegetali, in parte di origine marina con sabbie limose a grana fine, con abbondante malacofauna fossile; l'orizzonte è nel complesso costituito da sabbie (90÷85%) prevalentemente silicee (tenore $\text{SiO}_2 \approx 60\%$), e subordinatamente da sedimenti fini pelitici, $\text{Ø} < 63 \mu\text{m}$, (10÷15%).

Sotto il profilo litotecnico le formazioni presenti nell'area in esame sono riconducibili ai depositi incoerenti:

- **g2a_Sabbie di spiaggia recenti ed attuali** (Tratto I);

- **da_Depositi sabbiosi eolici e di spiaggia: Sabbie di ambiente litorale, delle dune e dei tomboli costieri.** *Sabbie medie e fini che localmente possono presentarsi da debolmente limose a limose con modeste lembi di limo. (Olocene)* (Tratti II e III).

3.3 - IDROGRAFIA ED IDROGEOLOGIA

Come già accennato in precedenza, l'area di studio è il tratto terminale del Fosso Poveromo, situato nella Pianura Costiera Apuana. Il Fosso Poveromo, che scorre con direzione NE-SW, ha una lunghezza totale di circa 2,1 Km e sfocia nel Mar Ligure.

L'asta idrica presenta un andamento rettilineo e scorre in parte tombato ed in parte a cielo aperto, con una larghezza variabile da 1.5m a 2.5m. Il tratto terminale del Fosso Poveromo oggetto di studio, che va da Via delle Macchie fino alla foce, risulta completamente a cielo aperto e scorre in un alveo all'interno dei depositi di spiaggia attuali nel tratto I mentre nei tratti II e III nei depositi sabbiosi eolici (Vd. Fig. n.2).



Figura n.2 - Vista del Fosso Poveromo lungo il tratto II.

Di seguito sono riassunte le proprietà idrogeologiche dei litotipi presenti nell'area in esame, basate sui caratteri litologici primari (porosità) e sui dati idrochimici ed idrologici. In particolare è possibile definire il grado di permeabilità come:

Dott. Geol. Andrea Cricca

Viale della Repubblica n.156 - 54100 Massa (MS)
Cell. 339 6020461- E-mail: andreacricca@gmail.com

- Terreni a media permeabilità ($10^{-4}\text{m/s} > K > 10^{-6}\text{m/s}$): Depositi sabbiosi eolici e di spiaggia (da), depositi di spiaggia attuali (g2a).

La pianura costiera apuana compresa fra le Alpi Apuane e il Mar Ligure è distinta in tre fasce principali che caratterizzano l'andamento della falda:

- La prima è la fascia delle conoidi alluvionali dei corsi d'acqua discendenti dalle Alpi Apuane in cui si osserva un flusso dominante della falda da monte verso mare con andamento della superficie piezometrica che, se non alterato da fattori esterni, assume la tipica forma a ventaglio;
- La seconda fascia, depressa rispetto alle altre, è la zona dei terreni limo-argillosi di origine palustre e lacustre, oggi ormai bonificata; in questa zona la falda risulta depressa ed abbastanza piatta con gradienti nettamente inferiori alla zona pedemontana;
- Infine, la terza fascia, coincidente con la zona litorale, è formata da sabbie debolmente rialzate in cordoni di dune (attualmente spianate dall'azione antropica) e presenta talvolta degli alti piezometrici a causa della notevole infiltrazione delle acque meteoriche in un terreno molto permeabile. E' in questa prima fascia che è ubicata l'area di interesse.

La natura dei depositi che compongono la pianura apuana permettono l'instaurarsi di una struttura acquifera caratterizzata da una falda di tipo freatico, con livelli caratterizzati da diversa permeabilità e quindi diversa attitudine ad essere attraversata dalle acque.

Tuttavia la falda può essere descritta come un unico grande acquifero monostrato in quanto i livelli impermeabili non hanno mai una continuità tale da separare più falde, se non localmente e limitatamente.

Nella zona di interesse l'acquifero può essere considerato senza margini di errore "libero", senza alcuna caratteristica di artesianità.

3.4 - DATI PLUVIOMETRICI

Per avere dati certi sulle quantità di precipitazioni sono state utilizzate le linee segnalatrici di possibilità pluviometrica (LSPP- aggiornamento al 2012), disponibili sul sito www.sir.toscana.it.

Come stazione pluviografica di riferimento è stata considerata quella di Candia Scurtarola (Cod. TOS11000027), Comune di Massa (MS).

Per il calcolo dell'intensità pluviometrica può essere utilizzata la seguente equazione:

$$h = a \times t^n$$

dove

h = altezza della pioggia (in mm)

t = durata (in ore)

a e n = parametri caratteristici per i tempi di ritorno considerati.

Per la stazione pluviografica suddetta vengono forniti, per un tempo di ritorno ventennale ($Tr = 20$ anni) e duecentennale ($Tr = 200$ anni), i seguenti parametri:

Tr (anni)	a	n
20	66.145	0.31684
200	100.260	0.35009

Per i vari tempi di ritorno considerati, la curva pluviografica fornisce valori cui corrispondono le intensità pluviometriche orarie riassunte nella seguente tabella (Durata pioggia 1h).

Tr (anni)	Pioggia critica oraria (mm)	Intensità pluviometrica (l/s/m ²)
20	66.14	0.0183
200	100.26	0.0278

Per una corretta progettazione e per dimensionare le opere idrauliche nonché verificare l'efficienza di quelle preesistenti, si consiglia di utilizzare i suddetti valori.

4 - VINCOLISTICA E PERICOLOSITA' DELL'AREA IN ESAME

4.1 - CONSIDERAZIONI SULLA VINCOLISTICA DELL'AREA IN ESAME

Tra le cartografie allegate al quadro conoscitivo geologico del Piano Strutturale del Comune di Massa, è stata prodotta la "Carta dei vincoli e delle salvaguardie sovracomunali", dove è evidenziato il sistema dei vincoli ambientali più attinenti alla "Difesa del suolo e delle acque", derivanti dalle disposizioni legislative statali e regionali vigenti; nella presente cartografia si nota come l'area ricade all'interno del Vincolo Idrogeologico, istituito con R.D. n.3267 del 30/12/1923 (Vd. Fig. n.3).

In tale carta è rappresentata la perimetrazione non più vigente delle aree a pericolosità idraulica secondo il Piano di Assetto Idrogeologico dell'Autorità di Bacino Toscana Nord; per la definizione delle aree a pericolosità idraulica si rimanda alla visione della Figura n.5.

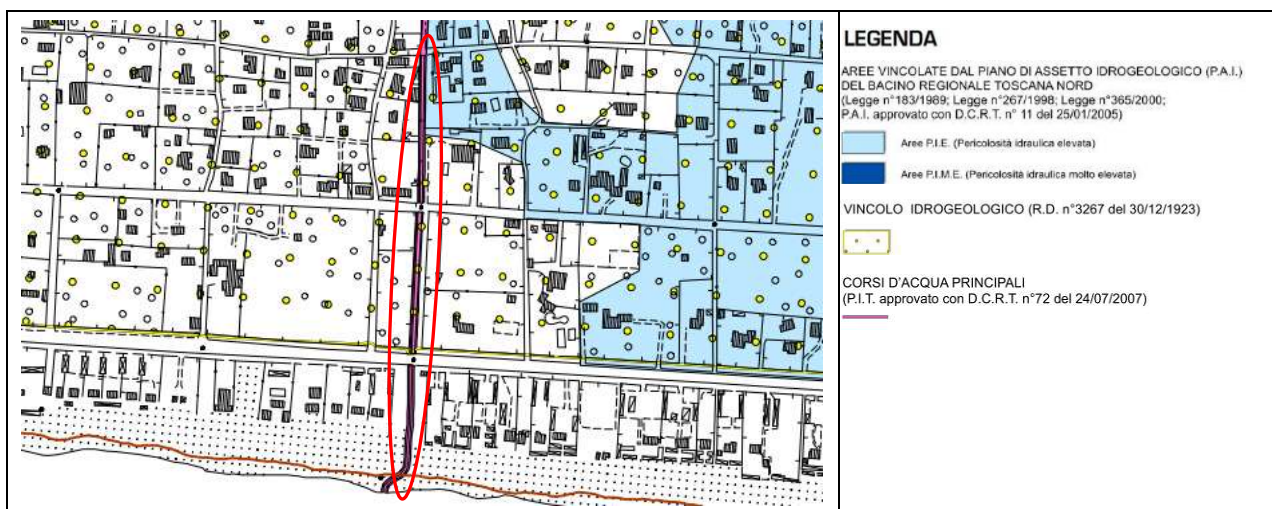


Figura n.3 - Estratto fuori scala della tavola "B_vs" Carta dei vincoli e delle salvaguardie sovracomunali e relativa legenda allegata all'aggiornamento del quadro conoscitivo geologico del P.S. comunale per l'area in esame evidenziata nel cerchio rosso.

Nell'ambito del Piano per l'Assetto Idrogeologico (PAI), stralcio del Piano di Bacino Regionale Toscana, ai sensi dell'art. 65, c.1 del Dlgs 152/2006 e s.m.i., il tratto II risulta incluso nelle aree a pericolosità di frana elevata - 3 ex "P.F.E." mentre i tratti I e III non rientrano tra quelli a pericolosità geomorfologica (Vd. Fig. n.4).



Figura n.4 - Estratto fuori scala della cartografia web-gis della pericolosità geomorfologica del PAI e relativa legenda allegata al Piano di Assetto Idrogeologico Bacino Regionale Toscana per l'area in esame evidenziata nel cerchio rosso.

Dott. Geol. Andrea Cricca

Viale della Repubblica n.156 - 54100 Massa (MS)
Cell. 339 6020461- E-mail: andreacricca@gmail.com

Nella carta della "Pericolosità Idraulica" del Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni (Vd. Fig. n.5), predisposta dal Distretto Idrografico dell'Appennino Settentrionale, approvata con Delibera n.235 relativo alla seduta del C.I. del 03/03/2016, l'intero sito in esame risulta incluso nelle aree a pericolosità da alluvione fluviale elevata (P3).

La presente classe (**Pericolosità da alluvione elevata - P3**), corrisponde ad aree inondabili da eventi con tempo di ritorno minore/uguale a 30 anni.

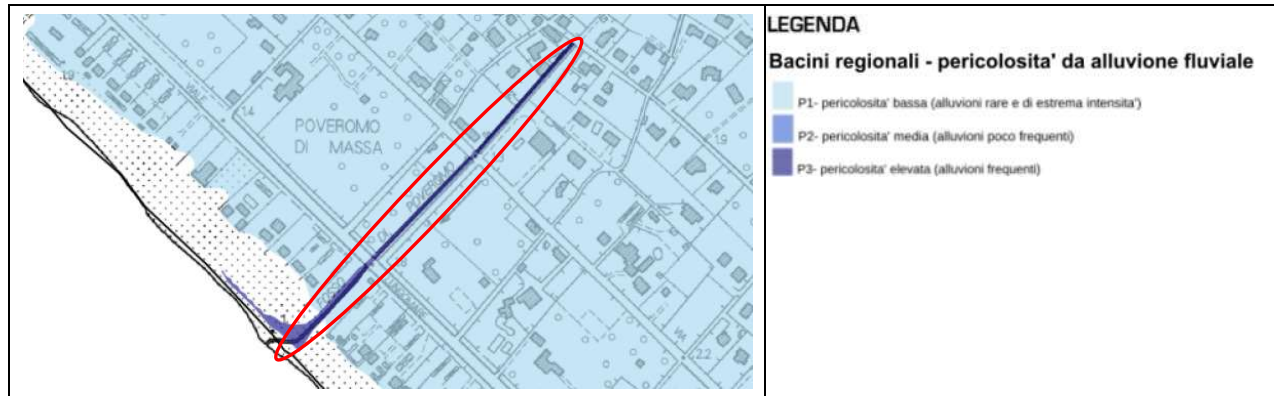


Figura n.5 - Estratto fuori scala della tavola della Pericolosità Idraulica_ Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni e relativa legenda predisposta dal Distretto Idrografico dell'Appennino Settentrionale per l'area in esame evidenziata nel cerchio rosso.

4.2 - PERICOLOSITA' DELL'AREA IN ESAME

Nel 2015 con l'aggiornamento del quadro conoscitivo del Piano Strutturale del Comune di Massa, ai sensi del D.P.G.R. n. 53/R del 25 ottobre 2011, sono state redatte la "Carte della pericolosità geologica", la "Carta della pericolosità idraulica" e la "Carta della pericolosità sismica".

Dall'esame della "Carta della pericolosità geologica" (tavola "13_PG"), si osserva che il tratto II risulta incluso nelle aree a pericolosità geologica elevata G.3b mentre i tratti I e III rientrano tra quelli a pericolosità geologica media G.2 (Vd. Fig. n.6):

G.3b_ "Pericolosità geologica elevata": Aree in cui sono presenti fenomeni quiescenti e relative aree di influenza con indicatori geomorfologici precursori di fenomeni di instabilità che fanno prevedere attivazioni o riattivazioni di movimenti di massa di media intensità; aree con indizi di instabilità connessi alla giacitura, all'acclività, alla litologia, alla presenza di acque superficiali e sotterranee, a intensi fenomeni erosivi e a processi accertati di degrado antropico. Tale classe include le frane non attive interessate (e non interessate) da fenomeni di ruscellamento diffuso e/o concentrato con pendenze superiori al 40% e i terreni di copertura s.l. in condizioni di instabilità geomorfologica potenziale. Vi ricadono anche le aree interessate da coperture detritiche con pendenze superiori al 60% e le aree esposte a possibili fenomeni di caduta massi.

G.2_ "Pericolosità geologica media": Aree in cui sono presenti fenomeni franosi inattivi e stabilizzati (naturalmente o artificialmente); aree con elementi geomorfologici, litologici e giacaturali dalla cui valutazione risulta una bassa propensione al dissesto. Aree nelle quali sono al massimo prevedibili, sulla base di valutazioni geologiche, litotecniche e clivometriche (corpi detritici su versanti con pendenze inferiori al 25%) limitati processi di degrado riconoscibili e neutralizzabili a livello di intervento diretto.

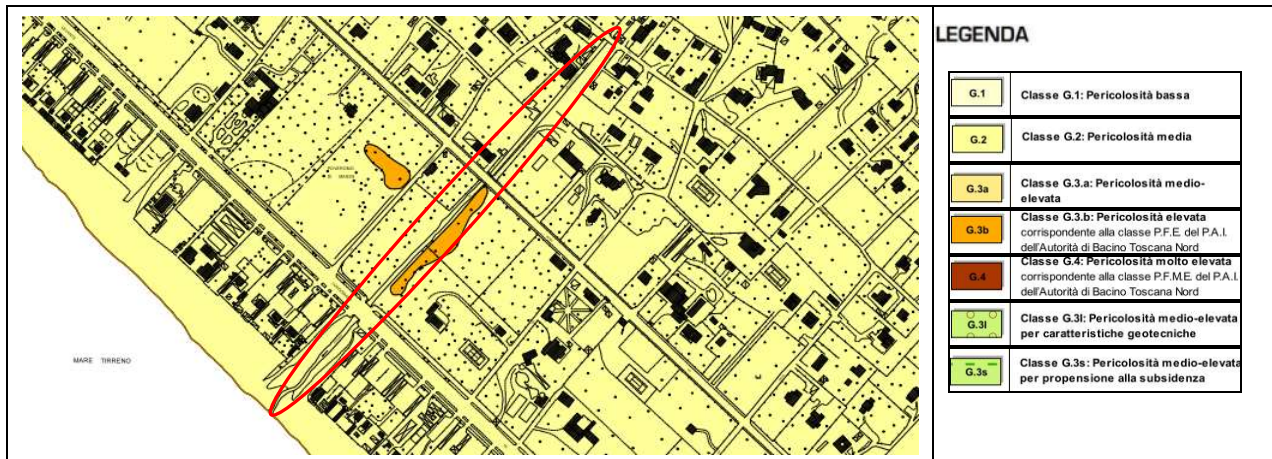


Figura n.6 - Estratto fuori scala della tavola "13_PG" Carta della pericolosità geologica e relativa legenda allegata all'aggiornamento del quadro conoscitivo geologico del P.S. comunale per l'area in esame evidenziata nel cerchio rosso.

Dall'esame della "Carta della pericolosità idraulica" (tavola "T07"), si osserva che l'intero tratto terminale del Fosso Poveromo oggetto di studio ricade all'interno della classe (Vd. Fig. n.7):

I.4 (Pericolosità idraulica molto elevata): aree interessate da allagamenti per eventi con $Tr \leq 30$ anni.

Dall'esame della "Carta della pericolosità sismica" (tavola "QC22_2b" P.S.), l'area in oggetto può essere adeguatamente perimetrata all'interno della classe (Vd. Fig. n.8):

S3_ "Pericolosità sismica elevata": zone suscettibili di instabilità di versante quiescente che pertanto potrebbero subire una riattivazione dovuta ad effetti dinamici quali possono verificarsi in occasione di eventi sismici; zone con terreni di fondazione particolarmente scadenti che possono dar luogo a cedimenti diffusi; terreni suscettibili di liquefazione dinamica (per tutti i comuni tranne quelli classificati in zona sismica 2); zone di contatto tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche significativamente diverse; aree interessate da deformazioni legate alla presenza di faglie attive e faglie capaci (faglie che potenzialmente possono creare deformazione in superficie); zone stabili suscettibili di amplificazioni locali caratterizzati da un alto contrasto di impedenza sismica atteso tra copertura e substrato rigido entro alcune decine di metri.

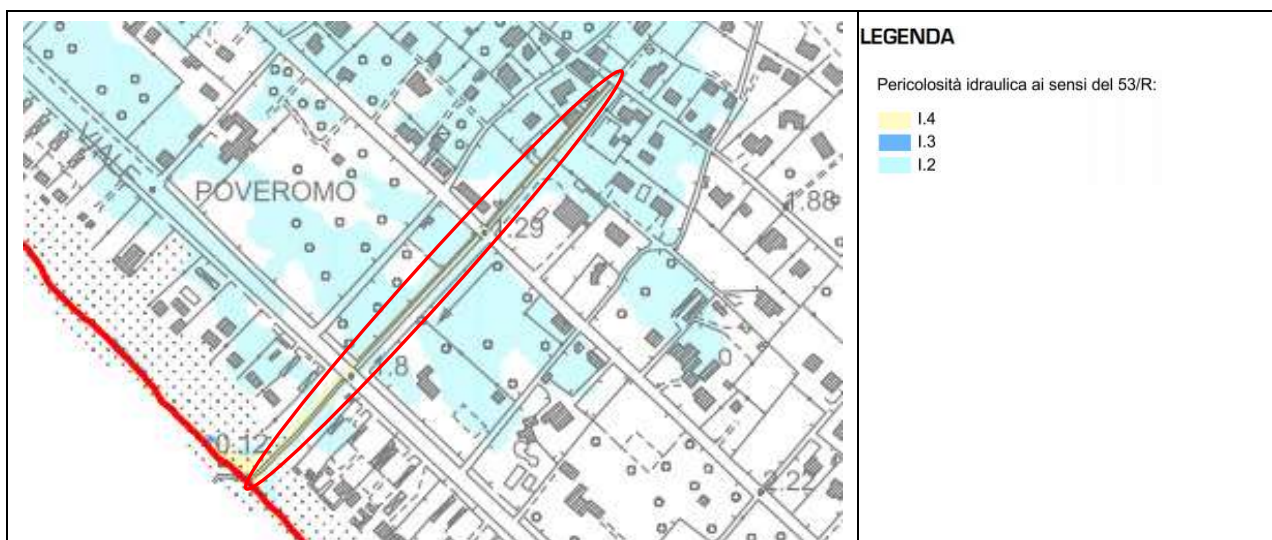


Figura n.7 - Estratto fuori scala della tavola "T07" Carta della pericolosità idraulica e relativa legenda allegata all'aggiornamento del quadro conoscitivo geologico del P.S. comunale per l'area in esame evidenziata nel cerchio rosso.



Figura n.8 - Estratto fuori scala della tavola "QC22_2b" Carta della pericolosità sismica e relativa legenda allegata all'aggiornamento del quadro conoscitivo geologico del P.S. comunale per l'area in esame evidenziata nel cerchio rosso.

5 - FATTIBILITA' DELL'INTERVENTO IN PROGETTO

5.1 - CONSIDERAZIONI SULLA FATTIBILITA' DELL'INTERVENTO IN PROGETTO

Al progetto in esame (realizzazione di un impianto idrovoro, muri di sponda in c.a. e scogliere in massi ciclopici di contenimento), in un'area classificata a pericolosità geologica elevata - G.3b (è stata considerata la classe di pericolosità più gravosa), pericolosità idraulica molto elevata - I.4 e pericolosità sismica elevata - S.3 in base alle disposizioni indicate nell'Art.28 "Matrici per la valutazione delle fattibilità", delle Norme Tecnico Geologiche di Attuazione del R.U. approvato, possono essere associate, come riportato nel seguente schema matriciale, le seguenti classi di fattibilità:

	Riferimento tavola all'aggiornamento del quadro conoscitivo geologico del P.S.	CLASSE DI PERICOLOSITA'	CLASSE DI FATTIBILITA'
		Tav. P.S.	NTG R.U.
Pericolosità geologica	13_PG	G.3b	F3gg
Pericolosità idraulica	T07	I.4	F2i
Pericolosità sismica	QC22_2b	S.3	F3s

Agli art. 36, 38 e 44 delle Norme tecnico geologiche di attuazione a supporto del R.U., sono riportate le prescrizioni per tali classi di fattibilità.

In merito al rischio idraulico, l'area risulta perimetrata all'interno di aree a pericolosità da alluvione elevata (P3) equivalente alla pericolosità idraulica molto elevata I.4 e l'intervento in esame risulta fattibile alla luce della L.R. 41/2018 (art, 3 comma 2 lettera a).

Si conferma la fattibilità dell'intervento in progetto senza limitazioni che precludono l'intervento dal punto di vista geotecnico, idrogeologico-idraulico e dal punto di vista sismico.

6 - MODELLO GEOLOGICO

6.1 - INDAGINI IN SITU

L'area d'intervento è posta in quella parte di pianura del Comune di Massa, ormai ampiamente indagata e conosciuta nei suoi tratti generali sia da un punto di vista geologico che geotecnico.

Tuttavia, oltre ad un rilevamento geologico e geomorfologico dell'area di studio e del suo intorno, per la caratterizzazione litostratigrafica sono stati eseguiti n.2 sondaggi geognostici (S1 e S2), n.4 prove S.P.T. in foro, n.2 prove di permeabilità Lefranc (S1K1 e S2K1), n.4 analisi di laboratorio su campioni indisturbati (S1C1, S1C2, S2C1, S2C2) e n.4 prove penetrometriche statiche (CPT1, CPT2, CPT3 e CPT4).

Per la determinazione della categoria di sottosuolo, richiesta dalle NTC 2018, sono state eseguite lungo le sponde del Fosso Poveromo n.3 prospezioni di sismica masw (MASW1, MASW2 e MASW3) e n.1 misura passiva di rumore ambientale (TR1); l'ubicazione delle indagini geologiche è evidenziata nelle tavole n.3.1, 3.2 e 3.3. Sulla base delle informazioni stratigrafiche reperite, sono state ricostruite le sezioni geologico-geotecniche interpretative A-A', B-B', C-C' e D-D' (Vd. Tav. n.4.1, 4.2, 4.3 e 4.4).

Considerato che il progetto riguarda la progettazione di opere di mitigazione del rischio idraulico del Fosso Poveromo si specifica che la realizzazione di muri di sponda e di scogliere in massi ciclopici di contenimento non costituiscono opera di volume e quindi non risultano applicabili alle classi di indagine ai sensi del D.P.G.R.T. n.36/R del 9/7/2009 mentre la realizzazione di un impianto idrovoro caratterizzato da una volumetria superiore ai 150m³ ed inferiore ai 1500m³, ricade in classe d'indagine n.2; dunque le indagini sono state eseguite conformemente a tale disposizione.

6.2 - SONDAGGI GEOGNOSTICI

Sono stati eseguiti dalla Ditta Mappo Geognostica srl di Altopascio (LU) n.2 sondaggi geognostici utilizzando una sonda DRILL 650 IPC.

I sondaggi, denominati S1 e S2, sono stati eseguiti lungo le sponde del Fosso Poveromo, e più precisamente il sondaggio S1 lungo il tratto I del corso d'acqua e il sondaggio S2 lungo il tratto III (Vd. Tav. n.3.1 e 3.3, Vd. Fig. n.8).

I sondaggi sono stati realizzati a carotaggio continuo utilizzando un carotiere semplice (Ø 101mm) che ha consentito di campionare carote di diametro pari a ca. 80mm fino alla profondità di 15.0m dal p.c..

La stabilizzazione del foro è stata ottenuta mediante un rivestimento metallico provvisorio (Ø 127mm esterno, Ø 111mm interno) infisso a rotazione, con circolazione di fluido costituito da una miscela d'acqua.

Le manovre di estrazione dell'attrezzo di perforazione, campionamento, ecc, sono state eseguite a velocità ridotta per minimizzare "l'effetto pistone".

I campioni estratti sono stati sistemati in cassette catalogatrici recanti l'indicazione del cantiere, del sondaggio e le quote di riferimento; i campioni di terreno sono stati scorticati nelle parti visibili per metterne in evidenza la struttura e la composizione.

Nel corso dell'esecuzione dei sondaggi sono stati effettuati un totale di n.4 prove S.P.T., n.2 prove Lefranc e n.4 prelievi di campioni indisturbati. Di seguito vengono riportate le caratteristiche dei sondaggi realizzati (Vd. Tab. n.1).

Sondaggio	Profondità (ml)	Carotaggio continuo (ml)	S.P.T. (n.)	Prove Lefranc (n.)	Prelievo campioni indisturbati (n.)
S1	15.0	0 ÷ 15	2	1	2
S2	15.0	0 ÷ 15	2	1	2

Tab. n.1 - Caratteristiche dei sondaggi geognostici.

Dott. Geol. Andrea Cricca

Viale della Repubblica n.156 - 54100 Massa (MS)
Cell. 339 6020461- E-mail: andreacricca@gmail.com

Tutte le informazioni ricavate durante l'esecuzione dei sondaggi geognostici sono riassunte nei logs stratigrafici allegati e relativi certificati (Vd. Allegato n.1, Allegato n.2) mentre la documentazione fotografica è riportata in Allegato n.3.



Figura n.9 - Fasi di esecuzione dei sondaggi S1, realizzato nel tratto I del Fosso Poveromo lungo la sponda destra, e S2, eseguito nel tratto III del Fosso Poveromo lungo la sponda sinistra.

Di seguito è schematizzata e riassunta la stratigrafia desunta mediante i sondaggi S1 e S2:

<i>m dal p.c.</i>	DESCRIZIONE QUALITATIVA
0.0 ÷ 1.5/2.3	<i>Deposito marino costituito da sabbie medie-grossolane debolmente limose con ghiaietto e rara ghiaia (max dimensione 3 cm) di colorazione beige/Terreno di riporto costituito da ghiaia e ciottoli immersi in una matrice limosa-sabbiosa di colore bruno rossastro, presenza di resti di laterizi e fili di ferro.</i>
1.5/2.3 ÷ 11.0/11.7	<i>Deposito marino costituito da sabbie medie-grossolane debolmente limose di colorazione grigio plumbeo con intercalazioni di lenti decimetriche di sabbie fini limose di colore grigio plumbeo</i>
11.0/11.7 ÷ 15.0	<i>Deposito marino costituito da sabbie fini limose di colore grigio plumbeo</i>

La stratigrafia dei sondaggi geognostici concorda con i dati acquisiti dalle prove penetrometriche eseguite in sito a distanza ravvicinata.

6.3 - PROVE S.P.T.

Durante le perforazioni dei sondaggi S1 e S2 sono state eseguite n.4 prove penetrometriche dinamiche SPT (Standard Penetration Test) con punta conica a fondo foro, condotte secondo quanto previsto nelle norme ASTM 1586/68 "Penetration Test and Split-Barrel Sampling of Soil" e nelle "Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche" dell'Associazione Geotecnica Italiana.

L'attrezzatura usata, secondo lo standard internazionale, presenta le seguenti caratteristiche tecniche:

Punta conica chiusa	
Diametro esterno	Ø=51mm
Angolo di apertura	60°
Peso maglio e dispositivo di sgancio	63.5 kg a sgancio automatico
Altezza di caduta libera	76.2 cm

La prova STANDARD PENETRATION TEST consiste nel far cadere un maglio da 63.5kg da un'altezza di 76.2cm su una batteria di aste che possiedono nella parte terminale un campionatore cilindrico.

A causa della natura prevalentemente sabbiosa del terreno il campionatore cilindrico è stato sostituito con una punta conica chiusa avente angolo di 60° e diametro esterno di 51 mm (SCPT).

La prova consiste nel far penetrare la punta conica, calato/a a fondo foro, per n.3 tratti consecutivi di 15 cm, registrando ogni volta il numero di colpi (N_1 , N_2 e N_3).

Con il primo tratto, detto di "avviamento", si intende superare la zona di terreno rimaneggiato in fase di perforazione.

Nel caso di un terreno molto compatto con $N_1 \geq 50$ ed avanzamento minore di 15cm, l'infissione deve essere sospesa; la prova è dichiarata conclusa in base alle raccomandazioni AGI 1977 e si annota la relativa penetrazione.

Se il tratto di avviamento viene superato si conteggiano N_2 e N_3 (da 0.15 a 0.30 m e da 0.30 a 0.45 m) fino ad un limite complessivo di n.100 colpi ($N_2 + N_3$) raggiunto il quale si sospende la prova annotando l'avanzamento ottenuto.

Pertanto il parametro caratteristico della prova, prescindendo dai casi particolari di rifiuto, è:

$$N_{spt} = N_2 + N_3$$

esprimente il numero di colpi per 30cm utili di penetrazione.

Nella seguente tabella (Vd. Tab. n.2) sono riassunte le profondità alle quali sono state eseguite le prove e il numero di colpi N_1 , N_2 , N_3 , nonché l'angolo di attrito interno, ricavato sulla base della correlazione proposta da Peck-Hanson (1953-1974).

Sondaggio	n° prova S.P.T. e profondità dal p.c.	N_1	N_2	N_3	$N_{spt} = N_2 + N_3$	ϕ (°)
S1	SPT 1 - 3.5m	3	3	4	7	29.2
	SPT 2 - 6.5m	9	8	6	14	31.2
S2	SPT 1 - 3.0m	3	3	4	7	29.2
	SPT 2 - 5.0m	2	5	5	10	30.0

Tab. n.2 - Sintesi risultati delle prove SPT a fondo foro.

6.4 - PROVE LEFRANC

Al fine di valutare la permeabilità dei terreni nei fori dei sondaggi S1 e S2 sono state eseguite n.2 prove di permeabilità Lefranc a carico variabile per immissione, condotte secondo quanto previsto nelle "Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche" dell'Associazione Geotecnica Italiana.

La prova consiste, una volta misurato il livello di falda, ad immettere acqua sino ad una quota nota, misurando per tempi prestabiliti l'abbassamento per almeno 60 minuti o sino al raggiungimento del livello di base.

I risultati ottenuti sono i seguenti (Vd. Tab. n.3):

Sondaggio (n.)	Prova Lefranc (n.)	Quota tratto di prova (dal p.c.)	Litologia	K coefficiente di permeabilità (m/s)
S1	K1	Da 7.0m a 7.5m	Deposito marino costituito da sabbie medie da limose a debolmente limose di colorazione grigio plumbeo	$6,92 \cdot 10^{-6}$
S2	K1	Da 5.5m a 6.0m	Deposito marino costituito da sabbie medie-grossolane debolmente limose di colorazione grigio plumbeo	$4,00 \cdot 10^{-6}$

Tab. n.3 - Sintesi risultati prove Lefranc.

Le prove sono state realizzate all'interno dei depositi marini. I valori di permeabilità ottenuti variano da $4,00 \cdot 10^{-6}$ m/s a $6,92 \cdot 10^{-6}$ m/s; si tratta di un valore basso ma tipico di terreni a granulometria sabbiosa con intercalazioni limose.

6.5 - INDAGINI PENETROMETRICHE

Per costruire il modello fisico-meccanico dei terreni in oggetto e suddividerli in orizzonti omogenei aventi le caratteristiche conferitegli dalla natura, ovvero consistenza o grado di addensamento, sono state effettuate dalla Ditta Mappo Geognostica srl n.4 prove penetrometriche statiche (CPT1, CPT2, CPT3 e CPT4) utilizzando un penetrometro statico-dinamico PAGANI TG 63/200 KN avente le seguenti caratteristiche:

Configurazione penetrometro statico:

Spinta d'infissione	200	KN
Diametro delle aste	3.6	cm
Area della punta (Begemann)	10	cm ²
Angolo di apertura della punta	60	°

Le prove penetrometriche, ubicate come evidenziato nelle Tavole n.3.1, 3.2 e 3.3, sono state realizzate lungo le sponde del Fosso Poveromo e più precisamente la prova CPT1 lungo il tratto I del corso d'acqua, la prova CPT2 nel tratto II e le prove CPT3 e CPT4 nel tratto III (Vd. Fig. n.10).

Tutte le prove, eseguite in data 24/02/2020, hanno raggiunto la profondità di 15.0m dal p.c..

La prova penetrometrica statica consiste nell'infissione nel terreno, con una pressione costante, che per lo strumento utilizzato è di 20t, di una punta di tipo meccanico (Begemann) tramite una batteria di aste, alla velocità costante di 2cm/s.

Durante la prova si registrano, ogni 20 cm di avanzamento, le seguenti letture:

- lettura di punta
- lettura laterale

Relativamente alla prova eseguita è allegata una tabella dove sono riportate le letture di campagna ed i valori di resistenza (q_c =resistenza di punta, f_s =resistenza laterale e q_c/f_s =rapporto Begemann), ed un grafico

I risultati ottenuti hanno dimostrato una sostanziale omogeneità con quelli ricavati dall'estratto della cartografia geologica allegata alla presente (Vd. Tav. n.2) ed hanno permesso di valutare i principali parametri geotecnici dei terreni indagati.



Figura n.10 - Fasi di esecuzione delle prove penetrometriche realizzate lungo le sponde del Fosso Poveromo.

6.5.1 - CARATTERIZZAZIONE LITOSTRATIGRAFICA RICAIVATA DALLE PROVE PENETROMETRICHE

Tratto I

L'andamento del test penetrometrico e l'analisi dei grafici, unitamente alle conoscenze geologiche generali dell'area, hanno permesso di individuare una situazione caratterizzata dalla presenza di terreni a diverso grado di addensamento (classificazione secondo le norme A.G.I.).

In particolare la situazione litostratigrafica prevalente può essere di seguito schematizzata e riassunta:

UNITA' STRATIGRAFICA PRINCIPALE	SOTTO UNITA'	DESCRIZIONE QUALITATIVA
A - Sabbie di spiaggia recenti ed attuali (g2a)	A₁	<i>Sabbie debolmente limose "sciolte"</i>
	A₂	<i>Sabbie da debolmente limose a limose "poco addensate"</i>
	A₃	<i>Sabbie da debolmente limose a limose "moderatamente addensate"</i>
	A₄	<i>Sabbie da debolmente limose a limose "moderatamente addensate"</i>

Nelle tabelle seguenti sono sintetizzati e riportati rispettivamente gli orizzonti ricostruiti ed il relativo stato di addensamento espresso in termini di $q_c - q_c/f_s$ (Kg/cm²), definiti sulla base dell'indagine penetrometrica eseguita in sito (Vd. All. n.4).

CPT1

m dal p.c.	qc (Kg/cm ²)	qc/fs (Kg/cm ²)	Unità Stratigrafica
0.0 ÷ 1.4	20.4	27.6	Sabbie debolmente limose "sciolte" (Sotto unità A ₁)
1.4 ÷ 5.0	36.3	29.8	Sabbie da debolmente limose a limose "poco addensate" (Sotto unità A ₂)
5.0 ÷ 9.4	28.4	36,6	Sabbie da debolmente limose a limose "moderatamente addensate" (Sotto unità A ₃)
9.4 ÷ 15.0	38.3	44.3	Sabbie da debolmente limose a limose "moderatamente addensate" (Sotto unità A ₄)

Con quanto ottenuto dall'elaborazione della prova penetrometrica e da indagini eseguite in aree limitrofe è stato possibile ricostruire la sezione geologico-tecnica interpretativa A-A' riportata nella tavola n.4.1.

Tratto II

L'andamento del test penetrometrico e l'analisi dei grafici, unitamente alle conoscenze geologiche generali dell'area, hanno permesso di individuare una situazione caratterizzata dalla presenza di terreni a diverso grado di addensamento (classificazione secondo le norme A.G.I.).

In particolare la situazione litostratigrafica prevalente può essere di seguito schematizzata e riassunta:

UNITA' STRATIGRAFICA PRINCIPALE	SOTTO UNITA'	DESCRIZIONE QUALITATIVA
A - Depositi sabbiosi eolici e di spiaggia (da)	A₁	Sabbie debolmente limose "sciolte"
	A₂	Sabbie da debolmente limose a limose "poco addensate"
	A₃	Sabbie da debolmente limose a limose "moderatamente addensate"
	A₄	Sabbie da debolmente limose a limose "moderatamente addensate"

Nelle tabelle seguenti sono sintetizzati e riportati rispettivamente gli orizzonti ricostruiti ed il relativo stato di addensamento espresso in termini di qc - qc/fs (Kg/cm²), definiti sulla base dell'indagine penetrometrica eseguita in sito (Vd. All. n.4).

CPT2

m dal p.c.	qc (Kg/cm ²)	qc/fs (Kg/cm ²)	Unità Stratigrafica
0.0 ÷ 1.6	17.3	24.5	Sabbie debolmente limose "sciolte" (Sotto unità A ₁)
1.6 ÷ 5.2	32.0	38.6	Sabbie da debolmente limose a limose "poco addensate" (Sotto unità A ₂)
5.2 ÷ 9.6	36.6	47.1	Sabbie da debolmente limose a limose "moderatamente addensate" (Sotto unità A ₃)
9.6 ÷ 15.0	39.4	43.1	Sabbie da debolmente limose a limose "moderatamente addensate" (Sotto unità A ₄)

Con quanto ottenuto dall'elaborazione della prova penetrometrica e da indagini eseguite in aree limitrofe è stato possibile ricostruire la sezione geologico-tecnica interpretativa B-B' riportata nella tavola n.4.2.

Tratto III

L'andamento dei test penetrometrici e l'analisi dei grafici, unitamente alle conoscenze geologiche generali dell'area, hanno permesso di individuare una situazione caratterizzata dalla presenza di terreni a diverso grado di addensamento (classificazione secondo le norme A.G.I.).

In particolare la situazione litostratigrafica prevalente può essere di seguito schematizzata e riassunta:

UNITA' STRATIGRAFICA PRINCIPALE	SOTTO UNITA'	DESCRIZIONE QUALITATIVA
X - Terreno di riporto		<i>Ghiaia e ciottoli in matrice limosa-sabbiosa "sciolti"</i>
	A₁	<i>Sabbie debolmente limose "sciolte"</i>
A - Depositi sabbiosi eolici e di spiaggia (da)	A₂	<i>Sabbie da debolmente limose a limose "poco addensate"</i>
	A₃	<i>Sabbie da debolmente limose a limose "moderatamente addensate"</i>
	A₄	<i>Sabbie da debolmente limose a limose "moderatamente addensate"</i>

Nelle tabelle seguenti sono sintetizzati e riportati rispettivamente gli orizzonti ricostruiti ed il relativo stato di addensamento espresso in termini di qc - qc/fs (Kg/cm²), definiti sulla base delle indagini penetrometriche eseguite in sito (Vd. All. n.4).

CPT3

m dal p.c.	qc (Kg/cm ²)	qc/fs (Kg/cm ²)	Unità Stratigrafica
0.0 ÷ 1.6	10.8	21.2	<i>Ghiaia e ciottoli in matrice limosa-sabbiosa "sciolti" (Unità X)</i>
1.6 ÷ 2.8	22.3	28.0	<i>Sabbie debolmente limose "sciolte" (Sotto unità A₁)</i>
2.8 ÷ 5.8	30.0	35.4	<i>Sabbie da debolmente limose a limose "poco addensate" (Sotto unità A₂)</i>
5.8 ÷ 10.6	32.1	39.8	<i>Sabbie da debolmente limose a limose "moderatamente addensate" (Sotto unità A₃)</i>
10.6 ÷ 15.0	40.8	45.0	<i>Sabbie da debolmente limose a limose "moderatamente addensate" (Sotto unità A₄)</i>

CPT4

m dal p.c.	qc (Kg/cm ²)	qc/fs (Kg/cm ²)	Unità Stratigrafica
0.0 ÷ 2.0	19.9	30.4	<i>Ghiaia e ciottoli in matrice limosa-sabbiosa "sciolti" (Unità X)</i>
2.0 ÷ 3.8	40.8	37.6	<i>Sabbie debolmente limose "sciolte" (Sotto unità A₁)</i>
3.8 ÷ 6.0	25.4	47.6	<i>Sabbie da debolmente limose a limose "poco addensate" (Sotto unità A₂)</i>
6.0 ÷ 10.8	33.1	47.8	<i>Sabbie da debolmente limose a limose "moderatamente addensate" (Sotto unità A₃)</i>
10.8 ÷ 15.0	40.6	43.3	<i>Sabbie da debolmente limose a limose "moderatamente addensate" (Sotto unità A₄)</i>

Con quanto ottenuto dall'elaborazione delle prove penetrometriche e da indagini eseguite in aree limitrofe è stato possibile ricostruire le sezioni geologico-tecniche interpretative C-C' e D-D' riportate nelle tavole n.4.3 e 4.4.

6.6 - PROSPEZIONI SISMICHE MASW

Al fine di fornire la categoria di suolo sismico dell'area oggetto di studio, sono state realizzate n.3 stese sismiche MASW lungo le sponde del Fosso Poveromo (Vd. Tav. n.3.1, 3.2, 3.3). Gli stendimenti, denominati rispettivamente MASW1, MASW2 e MASW3, sono stati realizzati dalla Ditta Mappo Geognostica srl in data 24/02/2020 (Vd. Fig. n.11).

La prospezione sismica con metodologia MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) è un metodo geofisico che permette di ottenere un modello verticale di velocità delle onde di taglio del terreno (Vs) a partire dallo studio della modalità di propagazione delle onde di superficie (onde di Rayleigh e onde di Love).

I dettagli delle indagini sono trattati nel relativo elaborato tecnico (Vd. Allegato n.5).

Dott. Geol. Andrea Cricca

Viale della Repubblica n.156 - 54100 Massa (MS)
Cell. 339 6020461- E-mail: andreacricca@gmail.com

6.6.1 - CONSIDERAZIONI E RISULTATI DELLE INDAGINI ESEGUITE

MASW1

Il profilo sismico in oggetto (Vd. Tav. 3.1) è stato realizzato nel tratto I del Fosso Poveromo lungo la sponda destra, utilizzando n.24 geofoni posti ad una distanza intergeofonica di circa 2m, per una lunghezza complessiva dello stendimento di circa 46.0m.

Lungo il profilo sismico sono state eseguite n.2 energizzazioni, esternamente all'allineamento ad una distanza di 8.0m e 10.0m dal geofono n.1.

Lo studio della curva di dispersione relativa allo shot posto alla distanza di 8.0m ha permesso di individuare n.4 strati a diversa risposta sismica:

- **Sismostrato 1:** orizzonte di spessore pari a 3.6m caratterizzato da una velocità $V_{SH}=135\text{m/s}$;
- **Sismostrato 2:** strato di spessore pari a 5.1m caratterizzato da una velocità $V_{SH}=164\text{m/s}$;
- **Sismostrato 3:** orizzonte di spessore pari a 3.9m caratterizzato da una velocità $V_{SH}=211\text{m/s}$;
- **Sismostrato 4:** strato caratterizzato da una velocità $V_{SH}=350\text{m/s}$.

MASW2

Il profilo sismico in oggetto (Vd. Tav. 3.2) è stato realizzato nel tratto II del Fosso Poveromo lungo la sponda sinistra, utilizzando n.24 geofoni posti ad una distanza intergeofonica di circa 2m, per una lunghezza complessiva dello stendimento di circa 46.0m.

Lungo il profilo sismico sono state eseguite n.2 energizzazioni, esternamente all'allineamento ad una distanza di 8.0m e 10.0m dal geofono n.1.

Lo studio della curva di dispersione relativa allo shot posto alla distanza di 10.0m ha permesso di individuare n.6 strati a diversa risposta sismica:

- **Sismostrato 1:** orizzonte di spessore pari a 2.5m caratterizzato da una velocità $V_{SH}=120\text{m/s}$;
- **Sismostrato 2:** strato di spessore pari a 1.3m caratterizzato da una velocità $V_{SH}=145\text{m/s}$;
- **Sismostrato 3:** orizzonte di spessore pari a 3.5m caratterizzato da una velocità $V_{SH}=173\text{m/s}$;
- **Sismostrato 4:** strato di spessore pari a 3.9m caratterizzato da una velocità $V_{SH}=195\text{m/s}$;
- **Sismostrato 5:** orizzonte di spessore pari a 3.3m caratterizzato da una velocità $V_{SH}=185\text{m/s}$;
- **Sismostrato 6:** strato caratterizzato da una velocità $V_{SH}=307\text{m/s}$.

MASW3

Il profilo sismico in oggetto (Vd. Tav. 3.3) è stato realizzato nel tratto III del Fosso Poveromo lungo la sponda sinistra, utilizzando n.24 geofoni posti ad una distanza intergeofonica di circa 2m, per una lunghezza complessiva dello stendimento di circa 46.0m.

Lungo il profilo sismico sono state eseguite n.2 energizzazioni, esternamente all'allineamento ad una distanza di 8.0m e 10.0m dal geofono n.1.

Lo studio della curva di dispersione relativa allo shot posto alla distanza di 8.0m ha permesso di individuare n.5 strati a diversa risposta sismica:

- **Sismostrato 1:** orizzonte di spessore pari a 2.1m caratterizzato da una velocità $V_{SH}=139\text{m/s}$;
- **Sismostrato 2:** strato di spessore pari a 2.3m caratterizzato da una velocità $V_{SH}=150\text{m/s}$;
- **Sismostrato 3:** orizzonte di spessore pari a 2.0m caratterizzato da una velocità $V_{SH}=154\text{m/s}$;

- **Sismostrato 4:** strato di spessore pari a 6.8m caratterizzato da una velocità $V_{SH}=203\text{m/s}$;
- **Sismostrato 5:** orizzonte caratterizzato da una velocità $V_{SH}=304\text{m/s}$.



Figura n.11 - (Da sx a dx) Prospettiva sul profilo sismico Masw1, Masw2 e Masw3 e fase di energizzazione dello shot del Masw1.

Nella seguente tabella (Vd. Tab. n.4) sono riassunti i tratti dove sono state eseguite le prospezioni sismiche, i risultati delle velocità delle VS_{30} (a partire dal piano campagna) e la Categoria di Suolo Sismico.

Masw	Tratto del Fosso Poveromo indagato	VS_{30} (m/s)	Categoria di sottosuolo (NTC18)
MASW1	I	238	C
MASW2	II	217	C
MASW3	III	227	C

Tab. n.4 - Sintesi risultati delle prospezioni sismiche masw realizzate.

In base alle Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M.17-01-2018), i tratti del Fosso Poveromo indagati ricadono nella Categoria di Suolo Sismico C, ovvero “Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti 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”.

6.7 - MISURA PASSIVA DEL RUMORE AMBIENTALE HVSR

E' stata realizzata dalla Ditta Mappo Geognostica srl in data 24/02/2020 n.1 misura passiva del rumore ambientale HVSR (microrumore) lungo il tratto I del Fosso Poveromo utilizzando l'apparecchiatura

TROMINO, quale acquisitore elettronico/digitale velocimetrico ed accelerometrico triassiale (tromografo digitale), multicanale e dotato di GPS per localizzazione e temporizzazione assoluta delle registrazioni (time-marker), prodotto dall'azienda Micromed S.p.A. (Vd. Fig. n.12).

Dall'analisi della curva media H/V e relativa deviazione standard, congiuntamente all'andamento delle medie delle componenti del moto del suolo secondo le tre direzioni N-S, E-W e U-D, emerge che la misura realizzata nell'area di interesse presenta n.1 picco di natura stratigrafica nel range di frequenza $0 \div 64\text{Hz}$.

Il picco risulta ben evidente per la struttura ad ogiva definita da un incremento delle componenti orizzontali del moto a fronte di un minimo locale per quella verticale.

Il risultato ottenuto è riassunto nella seguente tabella (Vd. Tab. n.5):

Misura HVSR	Tratto del Fosso Poveromo indagato	f_0 (Hz)	Ampiezza (H/V)
TR1	I	1.13 ± 0.02	5.58

Tab. n.5 - Sintesi risultati della misura passiva del rumore ambientale HVSR realizzata.



Figura n.12 - Immagine della postazione della misura TR1 realizzata lungo il tratto I del Fosso Poveromo.

Il picco associato a queste frequenze risulta plausibile dal punto di vista fisico e in termini di utilizzo esplorativo del sottosuolo, tramite il seguente abaco (Vd. Fig. n.13) che mette in relazione le frequenze di risonanza f_0 determinate dalle misure H/V con lo spessore delle coperture h (Albarello et al.; 2012), è stato possibile ipotizzare un valore di profondità dell'interfaccia risonante, costituita probabilmente da un orizzonte costituito da depositi ghiaiosi addensati e localmente cementati, prossima a 100m.

Tale dato risulta confermato dalle misure HVSR realizzate per progetto di Microzonazione Sismica di Primo Livello del Territorio Comunale di Massa (MS) dal Dipartimento di Scienze Fisiche, della Terra e dell'Ambiente - Università di Siena.

F_0 (Hz)	h (m)
<1	>100
1-2	50-100
2-3	30-50
3-5	20-30
5-8	10-20
8-20	5-10
>20	<5

Figura n. 13 - Abaco per la stima dello spessore delle coperture (h) a partire da valori delle frequenze di risonanza (f_0) determinate dalle misure H/V.

I dettagli dell'indagine sono trattati nel relativo elaborato tecnico (Vd. Allegato n.6)

6.8 - ANALISI DI LABORATORIO

Al fine di caratterizzare da un punto di vista geotecnico i terreni indagati, è stata eseguita dal Laboratorio "Laboter snc" (Autorizzazione del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti con Decreto n.2436 del 14/03/2013) di Pistoia (PT), le seguenti analisi geotecniche di laboratorio, su n.4 campione indisturbati prelevati nei sondaggi geognostici S1 e S2, di seguito sinteticamente indicate:

- contenuto d'acqua allo stato naturale (Norma ASTM D 2216 - 10);
- peso di volume allo stato naturale (Norma BS 1377 T 15/E);
- peso specifico dei granuli (Norma ASTM D 854-10);
- determinazione limiti di Atterberg (Norma ASTM D 4318-10);
- analisi granulometrica (Norma AGI 1977);
- prova di taglio diretto in condizioni drenate (tipo CD) (Norma ASTM D 3080-04).

Nella tabella sottostante sono riassunti i principali indici e parametri geotecnici determinati dalle analisi di laboratorio effettuate:

Campione	Profondità (m dal p.c.)	γ_n (KN/m ³)	γ_{sat} (KN/m ³)	γ_s (KN/m ³)	W (%)	ϕ (gradi)	c' (kPa)
S1C1	3.0 - 3.5	19.3	19.8	26.3	21.7	32.2	5.6
S1C2	6.0 - 6.5	19.9	19.9	26.2	22.9	24.5	7.5
S2C1	2.5 - 3.0	18.9	19.3	26.2	22.9	23.7	5.0
S2C2	4.5 - 5.0	20.0	20.0	25.7	22.9	21.1	6.7

dove: γ_n = peso di volume naturale; γ_{sat} = peso di volume saturo; γ_s = peso specifico; W = umidità relativa; ϕ = angolo di attrito; c' = coesione drenata.

Per una visione dettagliata dei grafici e tabulati delle prove in laboratorio effettuate si rimanda all'allegato n.7.

6.9 - LIVELLO DI FALDA

Per verificare la presenza di acqua nello spessore indagato sono state eseguite misurazioni con freatimetro durante le realizzazioni dei sondaggi geognostici S1 e S2 eseguiti i giorni 30/04/2020 e 04/05/2020 che hanno messo in evidenza la presenza di acqua a ca. 1.62m e 1.46m di profondità dal piano campagna (livello a -0.82m ÷ -1.16 s.l.m)

Non si esclude l'occorrenza di ulteriori innalzamenti che transitoriamente possano arrivare a raggiungere il p.c. in occasione di eventi meteorici intensi e prolungati; di conseguenza il Progettista nei calcoli dovrà considerare l'interferenza della falda con le fondazioni delle strutture in progetto.

6.10 - CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

Dato che le prove penetrometriche permettono di caratterizzare il terreno lungo tutta la verticale analizzata, consentendo di ricavare una sequenza pressochè continua di parametri geotecnici, a fronte delle prove eseguite internamente ai sondaggi (prove SPT in foro) e/o su campioni indisturbati in laboratorio, che risultano puntuali e nel caso in esame meno cautelative in termini di valori di restituzione dei parametri geotecnici, a favore di cautela sono stati utilizzati esclusivamente i parametri geotecnici ricavati dalle prove penetrometriche.

La coesione non drenata e drenata di tutti gli orizzonti, sempre a prevalente comportamento granulare, è stata fissata cautelativamente pari a 0.

Gli spessori di ogni singolo orizzonte individuato sono decifrabili nelle sezioni geologico-tecniche interpretative riportate nelle tavole n.4.1 - 4.2 - 4.3 - 4.4, oltre che nelle matrici sottostanti per ciascun tratto di intervento.

Tratto I

Unità A - Sabbie di spiaggia recenti ed attuali (g2a)

Sotto unità A₁

(Sabbie debolmente limose "sciolte")

PARAMETRI FISICO-MECCANICI MEDI								
Profondità (m da p.c.)	γ_u (t/m ³)	γ_{sat} (t/m ³)	Dr (%)	ϕ (°)	Ed (kg/cm ²)	mv (cm ² /kg)	K₀ (-)	v (-)
0.0 ÷ 1.4	1.90	1.95	4.7	26.5	60.0	0.0166	0.553	0.356

Dove: γ_u = peso di volume naturale indicativo; γ_{sat} = peso di volume in condizione di saturazione indicativo; **Dr** = valore nominale della densità relativa; ϕ = valore nominale dell'angolo di attrito; **Ed** = valore nominale del modulo edometrico; **mv** = coefficiente di compressibilità volumetrica; **K₀** = coefficiente di spinta a riposo; **v** = coefficiente di Poisson.

Sotto unità A₂

(Sabbie da debolmente limose a limose "poco addensate")

PARAMETRI FISICO-MECCANICI MEDI								
Profondità (m da p.c.)	γ_u (t/m ³)	γ_{sat} (t/m ³)	Dr (%)	ϕ (°)	Ed (kg/cm ²)	mv (cm ² /kg)	K₀ (-)	v (-)
1.4 ÷ 5.0	1.97	2.02	14.1	27.5	110.0	0.0090	0.538	0.349

Dove: γ_u = peso di volume naturale indicativo; γ_{sat} = peso di volume in condizione di saturazione indicativo; **Dr** = valore nominale della densità relativa; ϕ = valore nominale dell'angolo di attrito; **Ed** = valore nominale del modulo edometrico; **mv** = coefficiente di compressibilità volumetrica; **K₀** = coefficiente di spinta a riposo; **v** = coefficiente di Poisson.

Sotto unità A₃

(Sabbie da debolmente limose a limose "moderatamente addensate")

PARAMETRI FISICO-MECCANICI MEDI								
Profondità (m da p.c.)	γ_u (t/m ³)	γ_{sat} (t/m ³)	D_r (%)	ϕ (°)	E_d (kg/cm ²)	m_v (cm ² /kg)	K_0 (-)	ν (-)
5.0 ÷ 9.4	2.02	2.02	18.3	28.0	85.0	0.0117	0.530	0.346

Dove: γ_u = peso di volume naturale indicativo; γ_{sat} = peso di volume in condizione di saturazione indicativo; D_r = valore nominale della densità relativa; ϕ = valore nominale dell'angolo di attrito; E_d = valore nominale del modulo edometrico; m_v = coefficiente di compressibilità volumetrica; K_0 = coefficiente di spinta a riposo; ν = coefficiente di Poisson.

Sotto unità A₄

(Sabbie da debolmente limose a limose "moderatamente addensate")

PARAMETRI FISICO-MECCANICI MEDI								
Profondità (m da p.c.)	γ_u (t/m ³)	γ_{sat} (t/m ³)	D_r (%)	ϕ (°)	E_d (kg/cm ²)	m_v (cm ² /kg)	K_0 (-)	ν (-)
9.4 ÷ 15.0	2.05	2.05	35.0	30.0	115.0	0.0086	0.500	0.333

Dove: γ_u = peso di volume naturale indicativo; γ_{sat} = peso di volume in condizione di saturazione indicativo; D_r = valore nominale della densità relativa; ϕ = valore nominale dell'angolo di attrito; E_d = valore nominale del modulo edometrico; m_v = coefficiente di compressibilità volumetrica; K_0 = coefficiente di spinta a riposo; ν = coefficiente di Poisson.

Tratto II**Unità A - Depositi sabbiosi eolici e di spiaggia (da)****Sotto unità A₁**

(Sabbie debolmente limose "sciolte")

PARAMETRI FISICO-MECCANICI MEDI								
Profondità (m da p.c.)	γ_u (t/m ³)	γ_{sat} (t/m ³)	D_r (%)	ϕ (°)	E_d (kg/cm ²)	m_v (cm ² /kg)	K_0 (-)	ν (-)
0.0 ÷ 1.6	1.90	1.95	--	26.0	25.0	0.0400	0.561	0.359

Dove: γ_u = peso di volume naturale indicativo; γ_{sat} = peso di volume in condizione di saturazione indicativo; D_r = valore nominale della densità relativa; ϕ = valore nominale dell'angolo di attrito; E_d = valore nominale del modulo edometrico; m_v = coefficiente di compressibilità volumetrica; K_0 = coefficiente di spinta a riposo; ν = coefficiente di Poisson.

Sotto unità A₂

(Sabbie da debolmente limose a limose "poco addensate")

PARAMETRI FISICO-MECCANICI MEDI								
Profondità (m da p.c.)	γ_u (t/m ³)	γ_{sat} (t/m ³)	D_r (%)	ϕ (°)	E_d (kg/cm ²)	m_v (cm ² /kg)	K_0 (-)	ν (-)
1.6 ÷ 5.2	1.97	2.02	18.3	28.0	95.0	0.0105	0.530	0.346

Dove: γ_u = peso di volume naturale indicativo; γ_{sat} = peso di volume in condizione di saturazione indicativo; D_r = valore nominale della densità relativa; ϕ = valore nominale dell'angolo di attrito; E_d = valore nominale del modulo edometrico; m_v = coefficiente di compressibilità volumetrica; K_0 = coefficiente di spinta a riposo; ν = coefficiente di Poisson.

Sotto unità A₃

(Sabbie da debolmente limose a limose "moderatamente addensate")

PARAMETRI FISICO-MECCANICI MEDI								
Profondità (m da p.c.)	γ_u (t/m ³)	γ_{sat} (t/m ³)	D_r (%)	ϕ (°)	E_d (kg/cm ²)	m_v (cm ² /kg)	K_0 (-)	ν (-)
5.2 ÷ 9.6	2.02	2.02	37.5	30.5	110.0	0.0090	0.492	0.329

Dove: γ_u = peso di volume naturale indicativo; γ_{sat} = peso di volume in condizione di saturazione indicativo; D_r = valore nominale della densità relativa; ϕ = valore nominale dell'angolo di attrito; E_d = valore nominale del modulo edometrico; m_v = coefficiente di compressibilità volumetrica; K_0 = coefficiente di spinta a riposo; ν = coefficiente di Poisson.

Sotto unità A₄

(Sabbie da debolmente limose a limose "moderatamente addensate")

PARAMETRI FISICO-MECCANICI MEDI								
Profondità (m da p.c.)	γ_u (t/m ³)	γ_{sat} (t/m ³)	D_r (%)	ϕ (°)	E_d (kg/cm ²)	m_v (cm ² /kg)	K_0 (-)	ν (-)
9.6 ÷ 15.0	2.05	2.05	35.0	30.0	120.0	0.0083	0.500	0.333

Dove: γ_u = peso di volume naturale indicativo; γ_{sat} = peso di volume in condizione di saturazione indicativo; D_r = valore nominale della densità relativa; ϕ = valore nominale dell'angolo di attrito; E_d = valore nominale del modulo edometrico; m_v = coefficiente di compressibilità volumetrica; K_0 = coefficiente di spinta a riposo; ν = coefficiente di Poisson.

Tratto III**Unità X - Terreno di riporto**

(Ghiaia e ciottoli in matrice limosa-sabbiosa "sciolti")

PARAMETRI FISICO-MECCANICI MEDI								
Profondità (m da p.c.)	γ_u (t/m ³)	γ_{sat} (t/m ³)	D_r (%)	ϕ (°)	E_d (kg/cm ²)	m_v (cm ² /kg)	K_0 (-)	ν (-)
0.0 ÷ 1.6 / 2.0	1.85	1.95	--	25.5	65.0	0.0153	0.569	0.362

Dove: γ_u = peso di volume naturale indicativo; γ_{sat} = peso di volume in condizione di saturazione indicativo; D_r = valore nominale della densità relativa; ϕ = valore nominale dell'angolo di attrito; E_d = valore nominale del modulo edometrico; m_v = coefficiente di compressibilità volumetrica; K_0 = coefficiente di spinta a riposo; ν = coefficiente di Poisson.

Unità A - Depositi sabbiosi eolici e di spiaggia (da)**Sotto unità A₁**

(Sabbie debolmente limose "sciolte")

PARAMETRI FISICO-MECCANICI MEDI								
Profondità (m da p.c.)	γ_u (t/m ³)	γ_{sat} (t/m ³)	D_r (%)	ϕ (°)	E_d (kg/cm ²)	m_v (cm ² /kg)	K_0 (-)	ν (-)
1.6 / 2.0 ÷ 2.8 / 3.8	1.92	1.97	18.1	28.0	100.0	0.0100	0.530	0.346

Dove: γ_u = peso di volume naturale indicativo; γ_{sat} = peso di volume in condizione di saturazione indicativo; D_r = valore nominale della densità relativa; ϕ = valore nominale dell'angolo di attrito; E_d = valore nominale del modulo edometrico; m_v = coefficiente di compressibilità volumetrica; K_0 = coefficiente di spinta a riposo; ν = coefficiente di Poisson.

Sotto unità A₂

(Sabbie da debolmente limose a limose "poco addensate")

PARAMETRI FISICO-MECCANICI MEDI								
Profondità (m da p.c.)	γ_u (t/m ³)	γ_{sat} (t/m ³)	D_r (%)	ϕ (°)	E_d (kg/cm ²)	m_v (cm ² /kg)	K_0 (-)	ν (-)
2.8 / 3.8 ÷ 5.8 / 6.0	2.04	2.04	24.6	29.0	80.0	0.012	0.515	0.340

Dove: γ_u = peso di volume naturale indicativo; γ_{sat} = peso di volume in condizione di saturazione indicativo; D_r = valore nominale della densità relativa; ϕ = valore nominale dell'angolo di attrito; E_d = valore nominale del modulo edometrico; m_v = coefficiente di compressibilità volumetrica; K_0 = coefficiente di spinta a riposo; ν = coefficiente di Poisson.

Sotto unità A₃

(Sabbie da debolmente limose a limose "moderatamente addensate")

PARAMETRI FISICO-MECCANICI MEDI								
Profondità (m da p.c.)	γ_u (t/m ³)	γ_{sat} (t/m ³)	D_r (%)	ϕ (°)	E_d (kg/cm ²)	m_v (cm ² /kg)	K_0 (-)	ν (-)
5.8 / 6.0 ÷ 10.6 / 10.8	2.05	2.05	28.8	29.0	100.0	0.0100	0.515	0.340

Dove: γ_u = peso di volume naturale indicativo; γ_{sat} = peso di volume in condizione di saturazione indicativo; D_r = valore nominale della densità relativa; ϕ = valore nominale dell'angolo di attrito; E_d = valore nominale del modulo edometrico; m_v = coefficiente di compressibilità volumetrica; K_0 = coefficiente di spinta a riposo; ν = coefficiente di Poisson.

Sotto unità A₄

(Sabbie da debolmente limose a limose "moderatamente addensate")

PARAMETRI FISICO-MECCANICI MEDI								
Profondità (m da p.c.)	γ_i (t/m ³)	γ_{sat} (t/m ³)	D_r (%)	ϕ (°)	E_d (kg/cm ²)	m_v (cm ² /kg)	K_0 (-)	ν (-)
10.6 / 10.8 ÷ 15.0	2.05	2.05	32.3	30.0	120.0	0.0083	0.500	0.333

Dove: γ_i = peso di volume naturale indicativo; γ_{sat} = peso di volume in condizione di saturazione indicativo; D_r = valore nominale della densità relativa; ϕ = valore nominale dell'angolo di attrito; E_d = valore nominale del modulo edometrico; m_v = coefficiente di compressibilità volumetrica; K_0 = coefficiente di spinta a riposo; ν = coefficiente di Poisson.

Nelle Istruzioni per l'applicazione delle "Norme Tecniche", predisposte dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, viene ricordato che il Progettista, nelle valutazioni che deve svolgere per pervenire ad una scelta corretta dei valori caratteristici dei singoli strati individuati, può fare riferimento a valori prossimi ai valori medi quando nello stato limite considerato è coinvolto un elevato volume di terreno, con possibile compensazione delle eterogeneità o quando la struttura a contatto con il terreno è dotata di rigidezza sufficiente a trasferire le azioni dalle zone meno resistenti a quelle più resistenti.

Al contrario, valori caratteristici prossimi ai valori minimi dei parametri geotecnici appaiono più giustificati nel caso in cui siano coinvolti modesti volumi di terreno, con concentrazione delle deformazioni fino alla formazione di superfici di rottura nelle porzioni di terreno meno resistenti del volume significativo, o nel caso in cui la struttura a contatto con il terreno non sia in grado di trasferire forze dalle zone meno resistenti a quelle più resistenti a causa della sua insufficiente rigidezza.

Tenendo ferme le definizioni riportate, per modesti lavori va bene quanto suggerito dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, di conseguenza si assume che il comportamento geomeccanico del terreno è governato dai valori medi dei parametri geotecnici e i valori caratteristici saranno assunti pari a tali valori, ipotizzando per il caso in esame la realizzazione di fondazioni dotate di rigidezza sufficiente a trasferire le azioni dalle zone meno resistenti a quelle più resistenti.

Tratto I**Unità A - Sabbie di spiaggia recenti ed attuali (g2a)****Sotto unità A₁**

(Sabbie debolmente limose "sciolte")

PARAMETRI FISICO-MECCANICI CARATTERISTICI								
Profondità (m da p.c.)	γ_i (t/m ³)	γ_{sat} (t/m ³)	D_r (%)	ϕ (°)	E_d (kg/cm ²)	m_v (cm ² /kg)	K_0 (-)	ν (-)
0.0 ÷ 1.4	1.90	1.95	4.7	26.5	60.0	0.0166	0.553	0.356

Dove: γ_i = peso di volume naturale indicativo; γ_{sat} = peso di volume in condizione di saturazione indicativo; D_r = valore nominale della densità relativa; ϕ = valore nominale dell'angolo di attrito; E_d = valore nominale del modulo edometrico; m_v = coefficiente di compressibilità volumetrica; K_0 = coefficiente di spinta a riposo; ν = coefficiente di Poisson.

Sotto unità A₂

(Sabbie da debolmente limose a limose "poco addensate")

PARAMETRI FISICO-MECCANICI CARATTERISTICI								
Profondità (m da p.c.)	γ_i (t/m ³)	γ_{sat} (t/m ³)	D_r (%)	ϕ (°)	E_d (kg/cm ²)	m_v (cm ² /kg)	K_0 (-)	ν (-)
1.4 ÷ 5.0	1.97	2.02	14.1	27.5	110.0	0.0090	0.538	0.349

Dove: γ_i = peso di volume naturale indicativo; γ_{sat} = peso di volume in condizione di saturazione indicativo; D_r = valore nominale della densità relativa; ϕ = valore nominale dell'angolo di attrito; E_d = valore nominale del modulo edometrico; m_v = coefficiente di compressibilità volumetrica; K_0 = coefficiente di spinta a riposo; ν = coefficiente di Poisson.

Sotto unità A₃

(Sabbie da debolmente limose a limose "moderatamente addensate")

PARAMETRI FISICO-MECCANICI CARATTERISTICI								
Profondità (m da p.c.)	γ_u (t/m ³)	γ_{sat} (t/m ³)	D_r (%)	ϕ (°)	E_d (kg/cm ²)	m_v (cm ² /kg)	K_0 (-)	ν (-)
5.0 ÷ 9.4	2.02	2.02	18.3	28.0	85.0	0.0117	0.530	0.346

Dove: γ_u = peso di volume naturale indicativo; γ_{sat} = peso di volume in condizione di saturazione indicativo; D_r = valore nominale della densità relativa; ϕ = valore nominale dell'angolo di attrito; E_d = valore nominale del modulo edometrico; m_v = coefficiente di compressibilità volumetrica; K_0 = coefficiente di spinta a riposo; ν = coefficiente di Poisson.

Sotto unità A₄

(Sabbie da debolmente limose a limose "moderatamente addensate")

PARAMETRI FISICO-MECCANICI CARATTERISTICI								
Profondità (m da p.c.)	γ_u (t/m ³)	γ_{sat} (t/m ³)	D_r (%)	ϕ (°)	E_d (kg/cm ²)	m_v (cm ² /kg)	K_0 (-)	ν (-)
9.4 ÷ 15.0	2.05	2.05	35.0	30.0	115.0	0.0086	0.500	0.333

Dove: γ_u = peso di volume naturale indicativo; γ_{sat} = peso di volume in condizione di saturazione indicativo; D_r = valore nominale della densità relativa; ϕ = valore nominale dell'angolo di attrito; E_d = valore nominale del modulo edometrico; m_v = coefficiente di compressibilità volumetrica; K_0 = coefficiente di spinta a riposo; ν = coefficiente di Poisson.

Tratto II**Unità A - Depositi sabbiosi eolici e di spiaggia (da)****Sotto unità A₁**

(Sabbie debolmente limose "sciolte")

PARAMETRI FISICO-MECCANICI CARATTERISTICI								
Profondità (m da p.c.)	γ_u (t/m ³)	γ_{sat} (t/m ³)	D_r (%)	ϕ (°)	E_d (kg/cm ²)	m_v (cm ² /kg)	K_0 (-)	ν (-)
0.0 ÷ 1.6	1.90	1.95	--	26.0	25.0	0.0400	0.561	0.359

Dove: γ_u = peso di volume naturale indicativo; γ_{sat} = peso di volume in condizione di saturazione indicativo; D_r = valore nominale della densità relativa; ϕ = valore nominale dell'angolo di attrito; E_d = valore nominale del modulo edometrico; m_v = coefficiente di compressibilità volumetrica; K_0 = coefficiente di spinta a riposo; ν = coefficiente di Poisson.

Sotto unità A₂

(Sabbie da debolmente limose a limose "poco addensate")

PARAMETRI FISICO-MECCANICI CARATTERISTICI								
Profondità (m da p.c.)	γ_u (t/m ³)	γ_{sat} (t/m ³)	D_r (%)	ϕ (°)	E_d (kg/cm ²)	m_v (cm ² /kg)	K_0 (-)	ν (-)
1.6 ÷ 5.2	1.97	2.02	18.3	28.0	95.0	0.0105	0.530	0.346

Dove: γ_u = peso di volume naturale indicativo; γ_{sat} = peso di volume in condizione di saturazione indicativo; D_r = valore nominale della densità relativa; ϕ = valore nominale dell'angolo di attrito; E_d = valore nominale del modulo edometrico; m_v = coefficiente di compressibilità volumetrica; K_0 = coefficiente di spinta a riposo; ν = coefficiente di Poisson.

Sotto unità A₃

(Sabbie da debolmente limose a limose "moderatamente addensate")

PARAMETRI FISICO-MECCANICI CARATTERISTICI								
Profondità (m da p.c.)	γ_u (t/m ³)	γ_{sat} (t/m ³)	D_r (%)	ϕ (°)	E_d (kg/cm ²)	m_v (cm ² /kg)	K_0 (-)	ν (-)
5.2 ÷ 9.6	2.02	2.02	37.5	30.5	110.0	0.0090	0.492	0.329

Dove: γ_u = peso di volume naturale indicativo; γ_{sat} = peso di volume in condizione di saturazione indicativo; D_r = valore nominale della densità relativa; ϕ = valore nominale dell'angolo di attrito; E_d = valore nominale del modulo edometrico; m_v = coefficiente di compressibilità volumetrica; K_0 = coefficiente di spinta a riposo; ν = coefficiente di Poisson.

Sotto unità A₄

(Sabbie da debolmente limose a limose "moderatamente addensate")

PARAMETRI FISICO-MECCANICI CARATTERISTICI								
Profondità (m da p.c.)	γ_u (t/m ³)	γ_{sat} (t/m ³)	D_r (%)	ϕ (°)	E_d (kg/cm ²)	m_v (cm ² /kg)	K_0 (-)	ν (-)
9.6 ÷ 15.0	2.05	2.05	35.0	30.0	120.0	0.0083	0.500	0.333

Dove: γ_u = peso di volume naturale indicativo; γ_{sat} = peso di volume in condizione di saturazione indicativo; D_r = valore nominale della densità relativa; ϕ = valore nominale dell'angolo di attrito; E_d = valore nominale del modulo edometrico; m_v = coefficiente di compressibilità volumetrica; K_0 = coefficiente di spinta a riposo; ν = coefficiente di Poisson.

Tratto III**Unità X - Terreno di riporto**

(Ghiaia e ciottoli in matrice limosa-sabbiosa "sciolti")

PARAMETRI FISICO-MECCANICI CARATTERISTICI								
Profondità (m da p.c.)	γ_u (t/m ³)	γ_{sat} (t/m ³)	D_r (%)	ϕ (°)	E_d (kg/cm ²)	m_v (cm ² /kg)	K_0 (-)	ν (-)
0.0 ÷ 1.6 / 2.0	1.85	1.95	--	25.5	65.0	0.0153	0.569	0.362

Dove: γ_u = peso di volume naturale indicativo; γ_{sat} = peso di volume in condizione di saturazione indicativo; D_r = valore nominale della densità relativa; ϕ = valore nominale dell'angolo di attrito; E_d = valore nominale del modulo edometrico; m_v = coefficiente di compressibilità volumetrica; K_0 = coefficiente di spinta a riposo; ν = coefficiente di Poisson.

Unità A - Depositi sabbiosi eolici e di spiaggia (da)**Sotto unità A₁**

(Sabbie debolmente limose "sciolte")

PARAMETRI FISICO-MECCANICI CARATTERISTICI								
Profondità (m da p.c.)	γ_u (t/m ³)	γ_{sat} (t/m ³)	D_r (%)	ϕ (°)	E_d (kg/cm ²)	m_v (cm ² /kg)	K_0 (-)	ν (-)
1.6 / 2.0 ÷ 2.8 / 3.8	1.92	1.97	18.1	28.0	100.0	0.0100	0.530	0.346

Dove: γ_u = peso di volume naturale indicativo; γ_{sat} = peso di volume in condizione di saturazione indicativo; D_r = valore nominale della densità relativa; ϕ = valore nominale dell'angolo di attrito; E_d = valore nominale del modulo edometrico; m_v = coefficiente di compressibilità volumetrica; K_0 = coefficiente di spinta a riposo; ν = coefficiente di Poisson.

Sotto unità A₂

(Sabbie da debolmente limose a limose "poco addensate")

PARAMETRI FISICO-MECCANICI CARATTERISTICI								
Profondità (m da p.c.)	γ_u (t/m ³)	γ_{sat} (t/m ³)	D_r (%)	ϕ (°)	E_d (kg/cm ²)	m_v (cm ² /kg)	K_0 (-)	ν (-)
2.8 / 3.8 ÷ 5.8 / 6.0	2.04	2.04	24.6	29.0	80.0	0.012	0.515	0.340

Dove: γ_u = peso di volume naturale indicativo; γ_{sat} = peso di volume in condizione di saturazione indicativo; D_r = valore nominale della densità relativa; ϕ = valore nominale dell'angolo di attrito; E_d = valore nominale del modulo edometrico; m_v = coefficiente di compressibilità volumetrica; K_0 = coefficiente di spinta a riposo; ν = coefficiente di Poisson.

Sotto unità A₃

(Sabbie da debolmente limose a limose "moderatamente addensate")

PARAMETRI FISICO-MECCANICI CARATTERISTICI								
Profondità (m da p.c.)	γ_u (t/m ³)	γ_{sat} (t/m ³)	D_r (%)	ϕ (°)	E_d (kg/cm ²)	m_v (cm ² /kg)	K_0 (-)	ν (-)
5.8 / 6.0 ÷ 10.6 / 10.8	2.05	2.05	28.8	29.0	100.0	0.0100	0.515	0.340

Dove: γ_u = peso di volume naturale indicativo; γ_{sat} = peso di volume in condizione di saturazione indicativo; D_r = valore nominale della densità relativa; ϕ = valore nominale dell'angolo di attrito; E_d = valore nominale del modulo edometrico; m_v = coefficiente di compressibilità volumetrica; K_0 = coefficiente di spinta a riposo; ν = coefficiente di Poisson.

Sotto unità A₄

(Sabbie da debolmente limose a limose "moderatamente addensate")

PARAMETRI FISICO-MECCANICI CARATTERISTICI								
Profondità (m da p.c.)	γ_t (t/m ³)	γ_{sat} (t/m ³)	D_r (%)	ϕ (°)	E_d (kg/cm ²)	m_v (cm ² /kg)	K_0 (-)	ν (-)
10.6 / 10.8 ÷ 15.0	2.05	2.05	32.3	30.0	120.0	0.0083	0.500	0.333

Dove: γ_t = peso di volume naturale indicativo; γ_{sat} = peso di volume in condizione di saturazione indicativo; D_r = valore nominale della densità relativa; ϕ = valore nominale dell'angolo di attrito; E_d = valore nominale del modulo edometrico; m_v = coefficiente di compressibilità volumetrica; K_0 = coefficiente di spinta a riposo; ν = coefficiente di Poisson.

7 - MODELLO SISMICO

7.1 - STORIA SISMICA E PERICOLOSITA' SISMICA DI BASE

La riclassificazione sismica del territorio nazionale, intervenuta a seguito dell'emanazione della O.P.C.M. n.3274 del 20 Marzo 2003, pubblicata sulla G.U. n.105 dell'8 Maggio 2003, e delle successive proroghe, ha definito il territorio del Comune di Massa Sismico di Zona 2.

La Regione Toscana, recependo tale indirizzo, con la Del. G.R. n. 431 del 19 giugno 2006, ha fatto passare il Comune di Massa da una zona a sismicità superiore ad una inferiore ed ha istituito una nuova zona, denominata Zona 3S. Successivamente una nuova ordinanza, O.P.C.M. n.3519 del 28 Aprile 2006, ha stabilito i nuovi criteri per l'individuazione delle zone sismiche in ambito nazionale.

Con Decreto Ministeriale del 14 gennaio 2008, pubblicato sulla GU n.29 del 04/02/2008, sono state approvate le "Norme tecniche per le costruzioni" che recepiscono ed integrano le indicazioni contenute nell'O.P.C.M. n.3274, modificando l'approccio alla classificazione sismica del territorio.

Considerato quindi che i criteri introdotti dalle citate Norme Tecniche per le costruzioni, relativamente alle modalità di stima dell'azione sismica di base, non sono più vincolati alla zona sismica di appartenenza del comune in cui è collocato il progetto, ma basati su un approccio "sito-dipendente" e che di conseguenza la classificazione sismica è scollegata dalla determinazione dell'azione sismica di progetto, la Regione Toscana, con deliberazione 8 ottobre 2012, n.878, ha proposto l'aggiornamento della classificazione sismica regionale in attuazione dell'O.P.C.M. 3519/2006 ed ai sensi del D.M. 14/01/2008 - Revoca della DGRT 431/2006. In base a tale provvedimento, il **Comune di Massa** è stato perimetrato in **zona sismica 3**.

Quest'ultima perimetrazione è stata confermata dalla Deliberazione GRT n. 421 del 26/05/2014, pubblicata sul BURT Parte Seconda n. 22 del 04.06.2014, in cui è stato approvato l'ultimo aggiornamento della classificazione sismica regionale, relativo all'aggiornamento dell'allegato 1 (elenco dei comuni) e dell'allegato 2 (mappa) della Deliberazione GRT n. 878 dell'8 ottobre 2012.

Con Decreto Ministeriale del 17 gennaio 2018, pubblicato sulla GU n.42 del 20/02/2018, è stato approvato l'aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni" che mantiene il criterio di stima dell'azione sismica di base basato su un approccio "sito-dipendente" introdotto dal DM 14 gennaio 2008.

7.2 - DETERMINAZIONE DELLA CATEGORIA DI SOTTOSUOLO

Dato che le condizioni del sito di riferimento non corrispondono a quelle presenti nell'area, è necessario, ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, tenere conto delle condizioni stratigrafiche e topografiche del sito in oggetto, in quanto entrambi questi fattori concorrono a modificare l'azione sismica in superficie rispetto a quella attesa su suolo rigido di riferimento con superficie topografica orizzontale.

Tali modifiche, in ampiezza, durata e contenuto in frequenza, sono il risultato della risposta sismica locale.

La "risposta sismica locale" esprime quindi l'azione sismica quale emerge in "superficie" a seguito delle modifiche in ampiezza, durata e contenuto in frequenza subite nel percorso dal substrato rigido al sito in oggetto.

In assenza di analisi più dettagliate, per quanto riguarda l'effetto delle condizioni stratigrafiche, si può fare riferimento ad un approccio semplificato che si basa sull'individuazione della categoria di sottosuolo del sito in oggetto.

Le Norme Tecniche prevedono le seguenti categorie di sottosuolo di riferimento (Vd. Tab. n.6):

Categoria	Descrizione
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi 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	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, 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	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti 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	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, 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	Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.

Tab. n.6 - Tabella 3.2.II - Categorie di sottosuolo (NTC, 2018).

Le categorie sono quindi definite sulla base della velocità equivalente $V_{S,eq}$ di propagazione delle onde di taglio, calcolata a partire dalla quota di fondazione con la seguente espressione:

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{S,i}}} \quad (\text{m/s})$$

Al fine di fornire la categoria di suolo sismico dell'area oggetto di studio, sono state realizzate lungo le sponde del Fosso Poveromo n.3 stese sismiche masw (Masw1, Masw2 e Masw3).

Le velocità delle $V_{S,30}$ (a partire dal piano campagna) risultano essere rispettivamente pari a: $V_{S,30} = 228$ m/s (Masw1), 217 m/s (Masw2) e 227 m/s (Masw3); in base alle Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M.17-01-2018), i tratti del Fosso Poveromo indagati ricadono nella Categoria di Suolo Sismico C, ovvero "Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti 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".

7.3 - AZIONE SISMICA

In questo paragrafo verrà calcolata l'azione sismica valida per la progettazione delle opere da realizzarsi lungo il tratto I, si rimanda all'Allegato n.9 per definire i parametri sismici validi per i tratti II e III.

Al fine di ricavare i valori dei parametri (a_g , F_0 , T^*c etc.) necessari per la definizione degli spettri di risposta elastici, ai sensi delle NTC 18, nelle condizioni di sito di riferimento rigido orizzontale (cat. sottosuolo A) sono stati utilizzati i seguenti dati:

- Coordinate del sito di intervento: Latitudine 43,989971; Longitudine 10,128726 (coordinate geografiche sistema ED50 - gradi sessadecimali).
- Tipo di costruzione: l'opera di progetto rientra nella tipologia di costruzioni di tipo 2 (*Opere ordinarie, ponti opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale - Tabella 2.4.1-D.M. 17 gennaio 2018*).
- Vita nominale VN (in anni): all'opera in esame corrisponde una vita nominale (*Numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata - § 2.4.1-D.M. 17 gennaio 2018*) $VN = 50$.

Dott. Geol. Andrea Cricca

Viale della Repubblica n.156 - 54100 Massa (MS)
Cell. 339 6020461- E-mail: andreacricca@gmail.com

- Classe d'uso e Coefficiente Cu: l'opera in esame rientra nella classe d'uso II (*Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti - § 2.4.2-D.M. 17 gennaio 2018) alla quale corrisponde un coefficiente $C_u = 1$ (Tabella 2.4.II-D.M. 17 gennaio 2018).*
- Periodo di riferimento VR (in anni): l'opera di progetto è caratterizzata da un periodo di riferimento per l'azione sismica $VR = VN \cdot C_u = 50$ anni.

Nella seguente tabella (Vd. Tab. n.7) sono riportati per ciascuno degli stati limite considerati la probabilità di superamento P_{VR} (Tabella 3.2.I - NTC-2018) ed i valori del periodo di ritorno T_R dell'azione sismica per l'opera in esame, quest'ultimo ricavato mediante la seguente formula: $T_R = -\frac{VR}{\ln(1 - P_{VR})}$ (Eq. n.1)

Stati limite		Probabilità di superamento P_{VR} nel periodo di riferimento V_R	T_R (anni)
Stati limite di esercizio	SLO	81%	30
	SLD	63%	50
Stati limite ultimi	SLV	10%	475
	SLC	5 %	975

Tab. n.7 - Probabilità di superamento P_{VR} e periodo di ritorno T_R dell'azione sismica per ciascuno degli stati limite considerati.

Per ogni stato limite considerato, i valori dei parametri a_g , F_0 e T^*C sono calcolati come media pesata dei valori assunti da tali parametri nei quattro vertici della maglia elementare del reticolo di riferimento contenente il punto in esame per ciascuno dei periodi di ritorno T_R considerati, utilizzando come pesi gli inversi delle distanze tra il punto in questione ed i quattro vertici, attraverso la seguente espressione:

$$p = \sum_{i=1}^4 \frac{p_i}{d_i} \cdot \left(\sum_{i=1}^4 \frac{1}{d_i} \right)^{-1} \quad (\text{Eq. n.2})$$

dove p è il valore del parametro di interesse nel punto in esame, p_i è il

valore del parametro di interesse nell' i -esimo punto della maglia elementare contenente il punto in esame, d_i è la distanza del punto in esame dall' i -esimo punto della maglia suddetta.

Nella seguente tabella (Vd. Tab. n.8) sono riportate le coordinate e le distanze rispetto al sito analizzato (Tratto I) dei quattro nodi del reticolo di riferimento considerati.

SITI DI RIFERIMENTO				
Sito	ID	Latitudine	Longitudine	Distanza (m)
1	18932	43,9857	10,0853	3504,611
2	18933	43,9877	10,1548	2100,290
3	18711	44,0376	10,1520	5615,982
4	18710	44,0356	10,0826	6275,571

Tab. n.8 - Nodi di riferimento.

Nella Tabella n.9 vengono quindi riportati, per ogni stato limite considerato, i valori calcolati del periodo di ritorno T_R e dei relativi parametri spettrali che caratterizzano la pericolosità sismica di base del sito in esame (tratto I).

Stati limite		T_R (anni)	a_g (g)	F_0 (-)	T_c^* (s)
Stati limite di esercizio	SLO	30	0,043	2,521	0,232
	SLD	50	0,053	2,519	0,248
Stati limite ultimi	SLV	475	0,130	2,410	0,291
	SLC	975	0,168	2,373	0,299

Tab. n.9 - Parametri sismici per ciascuno degli stati limite considerati.

Risposta sismica locale

La valutazione della risposta sismica locale per il sito investigato (tratto I) è stata condotta utilizzando i seguenti parametri:

- Categoria di sottosuolo: C;
- Categoria Topografica: T1 (Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$ - Tabella 3.2.III delle NTC-2018);
- Coeff. di amplificazione topografica ST: per la categoria topografica T1 il valore di ST è pari a 1.0 (Tab. 3.2.V delle NTC-2018);
- Coeff. di amplificazione stratigrafica S_s , Coeff. C_c e Coeff. di riduzione dell'accelerazione massima attesa β_s : per la categoria di sottosuolo C i valori di S_s , C_c e β_s per i diversi stati limite considerati sono stati ricavati in base alla relazione indicata nella Tabella 3.2.IV e nella Tabella 7.11.I delle NTC-2018 e sono riportati nella seguente tabella (Vd. Tab. n.10).

Stati limite		S_s (-)	C_c (-)	β_s (-)
Stati limite di esercizio	SLO	1,50	1,70	0,20
	SLD	1,50	1,66	0,20
Stati limite ultimi	SLV	1,50	1,58	0,24
	SLC	1,46	1,56	0,24

Tab. n.10 - Coefficienti S_s , C_c e β_s per ciascuno degli stati limite considerati.

Accelerazione orizzontale massima attesa al sito a_{max}

L'accelerazione orizzontale massima a_{max} attesa al sito è definita dalla seguente relazione:

$$a_{max} = S \cdot a_g = S_s \cdot S_T \cdot a_g \quad (\text{Eq. n.3})$$

utilizzando i valori di S_s ed S_T ed a_g ricavati in precedenza ed esprimendo a_g in m/s^2 ($a_g = a_g [g] \cdot 9.81 m/s^2$) si ottiene (Vd. Tab. n.11):

Stati limite		S_s (-)	S_T (-)	a_g (g)	a_{max} (m/s^2)
Stati limite di esercizio	SLO	1,50	1,00	0,043	0,630
	SLD	1,50	1,00	0,053	0,786
Stati limiti ultimi	SLV	1,50	1,00	0,130	1,917
	SLC	1,46	1,00	0,168	2,406

Tab. n.11 - Accelerazione massima attesa per ciascuno degli stati limite considerati.

Coefficienti sismici orizzontali k_h e verticali k_v

I coefficienti sismici orizzontali e verticali sono definiti dalle seguenti relazioni:

$$k_h = \frac{\beta_s \cdot a_{max}}{g} \quad (\text{Eq. n.4}); \quad k_v = \pm 0.5 k_h \quad (\text{Eq. n.5});$$

Utilizzando i valori di a_{max} e β_s ricavati in precedenza attraverso l' Eq. n.3 e la Tab. n.6 si ottengono i valori di k_h e k_v per ogni stato limite da utilizzare per il tratto I (Vd. Tab. n.12):

Stati limite		k_h (-)	K_v (-)
Stati limite di esercizio	SLO	0,013	0,006
	SLD	0,016	0,008
Stati limite ultimi	SLV	0,047	0,023
	SLC	0,059	0,029

Tab. n.12 - Coefficienti sismici per ciascuno degli stati limite considerati.

8 - CONSIDERAZIONI SULLA STIMA DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE

Per liquefazione di un terreno si intende il quasi totale annullamento della sua resistenza al taglio, con l'assunzione del comportamento meccanico caratteristico dei fluidi.

I fenomeni di liquefazione interessano prevalentemente i depositi sabbiosi saturi e dipendono principalmente dalle proprietà geotecniche dei terreni, dalle caratteristiche delle vibrazioni sismiche, dalla loro durata e dalla genesi e storia geologica dei litotipi.

Durante un sisma vengono indotte nel terreno delle sollecitazioni cicliche di taglio, dovute alla propagazione delle onde sismiche verso la superficie, mentre la pressione litostatica resta costante.

Se la scossa sismica produce un numero di cicli tali da far sì che la pressione interstiziale uguagli la pressione di confinamento, nei terreni sabbiosi saturi si possono generare fenomeni di liquefazione.

Maggiore è la durata di un terremoto, più alta è la possibilità che si generino un numero di cicli che possono provocare la liquefazione; inoltre, maggiore è l'ampiezza della vibrazione e della deformazione indotta e minore è il numero di cicli necessari per raggiungere tale condizione.

La probabilità che un deposito raggiunga le condizioni per la liquefazione dipende anche dallo stato di addensamento, dalla composizione granulometrica, dalle condizioni di drenaggio, dalla storia delle sollecitazioni sismiche e dall'età del deposito stesso.

Tanto minore è il grado di addensamento delle sabbie (elevato indice dei vuoti e bassa densità relativa) tanto maggiore è la probabilità che, a parità di condizioni, un deposito raggiunga lo stato di liquefazione.

Per la verifica a liquefazione è stato utilizzato il metodo dell'Eurocodice 8 (ENV 1998-5), basandosi sulla resistenza alla punta q_c estrapolati dalle prove penetrometriche statiche CPT 1, CPT2, CPT3 e CPT4.

Il metodo si basa sulla determinazione del fattore di sicurezza $F_s = CSR/CRR$, indicativo della propensione o meno del terreno a liquefare.

Il deposito sabbioso saturo è potenzialmente liquefacibile se risulta $F_s \leq 1.25$.

Il calcolo è stato realizzato utilizzando il software Liqueiter prodotto dalla GeoStru Software s.a.s..

La metodologia, partendo da una parametrizzazione geotecnica dei terreni costituenti l'area in esame, porta alla individuazione della suscettibilità a liquefazione dei terreni costituenti i terreni di fondazione, analizzando strati dello spessore di 0,20 m al di sotto del livello di falda.

Per quanto concerne maggiori informazioni riguardanti la metodologia di calcolo, le relative tabelle e le sezioni schematiche prodotte, si rimanda all'allegato n.10.

Sono stati inseriti i seguenti dati di input:

- la profondità della falda freatica è stata considerata pari a 1.62m dal p.c. per la CPT1, 1.15m per la CPT2 (dato ricostruito geometricamente), 1.55m per la CPT3 (dato ricostruito geometricamente) e 1.46m per la CPT4;
- il valore di magnitudo media del sisma rilevato dalle mappe interattive di pericolosità sismica (<http://esse1-gis.mi.ingv.it/>) è risultato essere pari a 4,96; nel programma di calcolo è stata inserita cautelativamente una magnitudo di 5,50.
- è stato inserito il seguente valore dell'accelerazione massima al suolo e pari a $0,195\text{m/s}^2 [a_g (g)]$ (CPT1 e CPT2) e $0,1965\text{m/s}^2 [a_g (g)]$ (CPT3 e CPT4).

Durante la fase di elaborazione, il programma ha analizzato la suscettibilità di liquefazione a partire dal piano campagna, con un passo di 0,20 metri.

Il fattore di sicurezza è risultato essere sempre superiore al minimo imposto dalla normativa ($F_s = 1.25$); ne risulta che il terreno di imposta delle fondazioni non è suscettibile di liquefazione (Vd. All. n.10).

9 - CONCLUSIONI

Lo studio svolto ha permesso di ricostruire il modello geologico di riferimento del tratto terminale del Fosso Poveromo, definendo sia i rapporti geometrici tra le differenti unità geotecniche individuate che i relativi spessori e parametri fisico-meccanici e sismici.

L'area d'intervento è pianeggiante e quindi in condizioni di stabilità ottimali.

Le formazioni che affiorano nell'area in esame sono le sabbie di spiaggia recenti ed attuali (g2a) lungo il tratto che va da Via Lungomare di Levante alla foce e i depositi sabbiosi eolici (da) da Via Lungomare di Levante a Via delle macchie.

I sondaggi geognostici, le prove spt in foro, le prove di permeabilità Lefranc, le analisi di laboratorio sui campioni indisturbati e le prove penetrometriche statiche eseguite nell'area di studio hanno consentito di ricostruire la situazione litostratigrafica e di individuare i principali parametri geotecnici dell'area di studio.

Il profilo stratigrafico del terreno di fondazione, ottenuto mediante indagini geofisiche masw, appartiene alla categoria di sottosuolo "C"; la misura di vibrazione ambientale ha messo in evidenza una frequenza di risonanza del terreno di fondazione con ampiezza elevata ($f_0 = 1.13\text{Hz}$, $H/V = 5.58$), che ricade nello spettro di interesse ingegneristico ($f_0 = 1 \div 2\text{Hz}$).

Sono stati calcolati i parametri sismici e i coefficienti sismici per ciascun stato limite.

Per verificare la presenza di acqua nello spessore indagato sono state eseguite misurazioni con freatimetro durante le realizzazioni dei sondaggi geognostici S1 e S2 eseguiti i giorni 30/04/2020 e 04/05/2020 che hanno messo in evidenza la presenza di acqua a ca. 1.62m e 1.46m di profondità dal piano campagna (livello a $-0.82\text{m} \div -1.16$ s.l.m). Non si esclude l'occorrenza di ulteriori innalzamenti che transitoriamente possano arrivare a raggiungere il p.c. in occasione di eventi meteorici intensi e prolungati; di conseguenza il Progettista nei calcoli dovrà considerare l'interferenza della falda con le fondazioni delle strutture in progetto.

Le verifiche per la valutazione della possibilità di occorrenza di fenomeni di liquefazione eseguite mediante software dedicato (Liquiter - GeoStru Software s.a.s.), hanno evidenziato valori del coefficiente del potenziale superiori a quello di sicurezza, da cui si deduce un rischio basso di suscettibilità alla liquefazione.

Sarà cura del Progettista verificare la resistenza di progetto e valutare i possibili cedimenti in base ai parametri geotecnici indicati, ai carichi che saranno trasmessi e alla reale tipologia, dimensioni e incastro degli elementi di fondazione delle strutture in progetto e le condizioni di stabilità delle pareti di scavo a breve termine.

Durante la fase esecutiva di realizzazione delle opere verrà intercettata la falda e pertanto dovrà essere necessario provvedere a mettere in atto dei sistemi di abbattimento per mantenere lo scavo asciutto (ad es. impianti well-point). In merito alle operazioni di abbattimento della falda, si rimanda ad apposita relazione specialistica sul progetto delle opere di pompaggio e si ricorda che è necessario predisporre l'autorizzazione all'emungimento al Dipartimento Difesa del Suolo della Regione Toscana, che attua le regole da seguire nell'effettuare tali operazioni di pompaggio.

Il riutilizzo delle terre prodotte dagli scavi potrà avvenire in situ, in luogo dei limiti e delle prescrizioni vigenti in materia, con particolare riguardo al DPR n. 120/2017 e, al caso, conferiti in apposita discarica autorizzata.

In sede esecutiva si raccomanda la verifica della rispondenza con il modello stratigrafico interpretativo proposto.

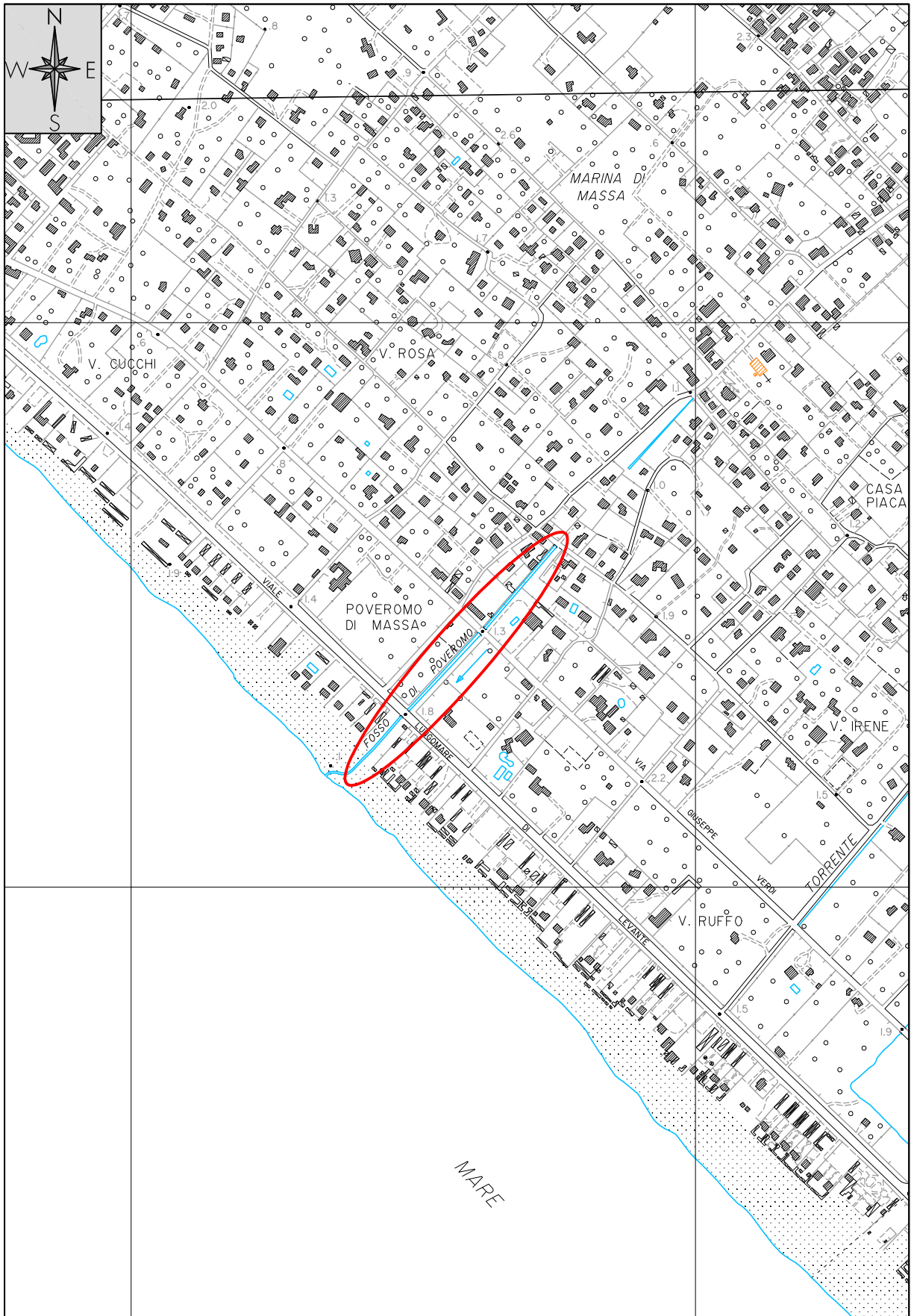
Si rimane a disposizione per qualsiasi chiarimento o approfondimento in merito alla presente relazione tecnica.

Massa, 28/05/2020

Dott. Geol. Andrea Cricca

TAV.1 - COROGRAFIA

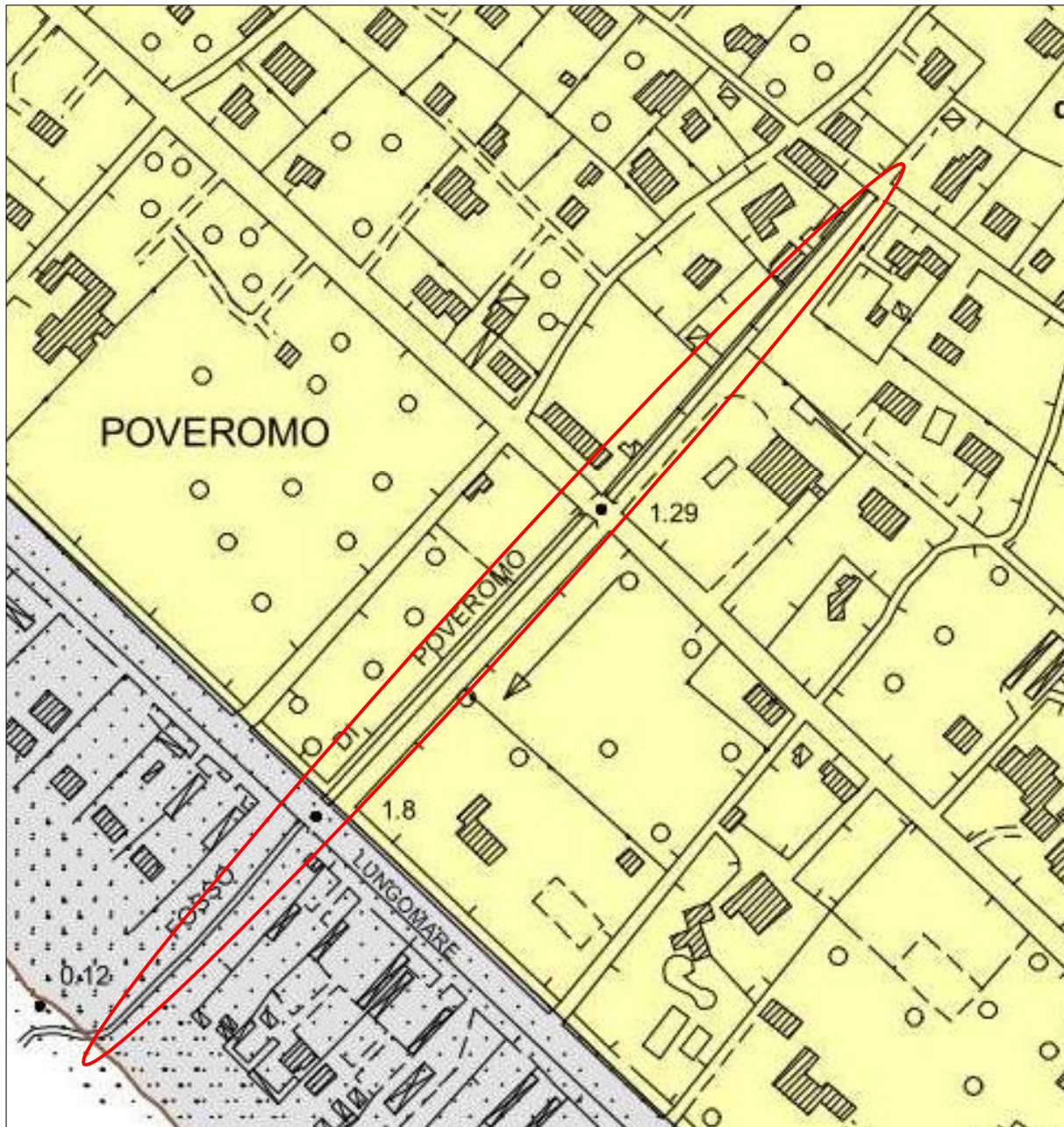
(C.T.R. Regione Toscana Fogli n°260020, 249140 - Scala 1:10.000)



- Area oggetto d'indagine

TAV.2 - CARTA GEOLOGICA

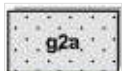
(Stralcio estratto da P.S. Comune di Massa - Fuori Scala)



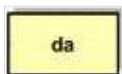
- Ubicazione dell'area di studio

LEGENDA

DEPOSITI OLOCENICI ED ATTUALI

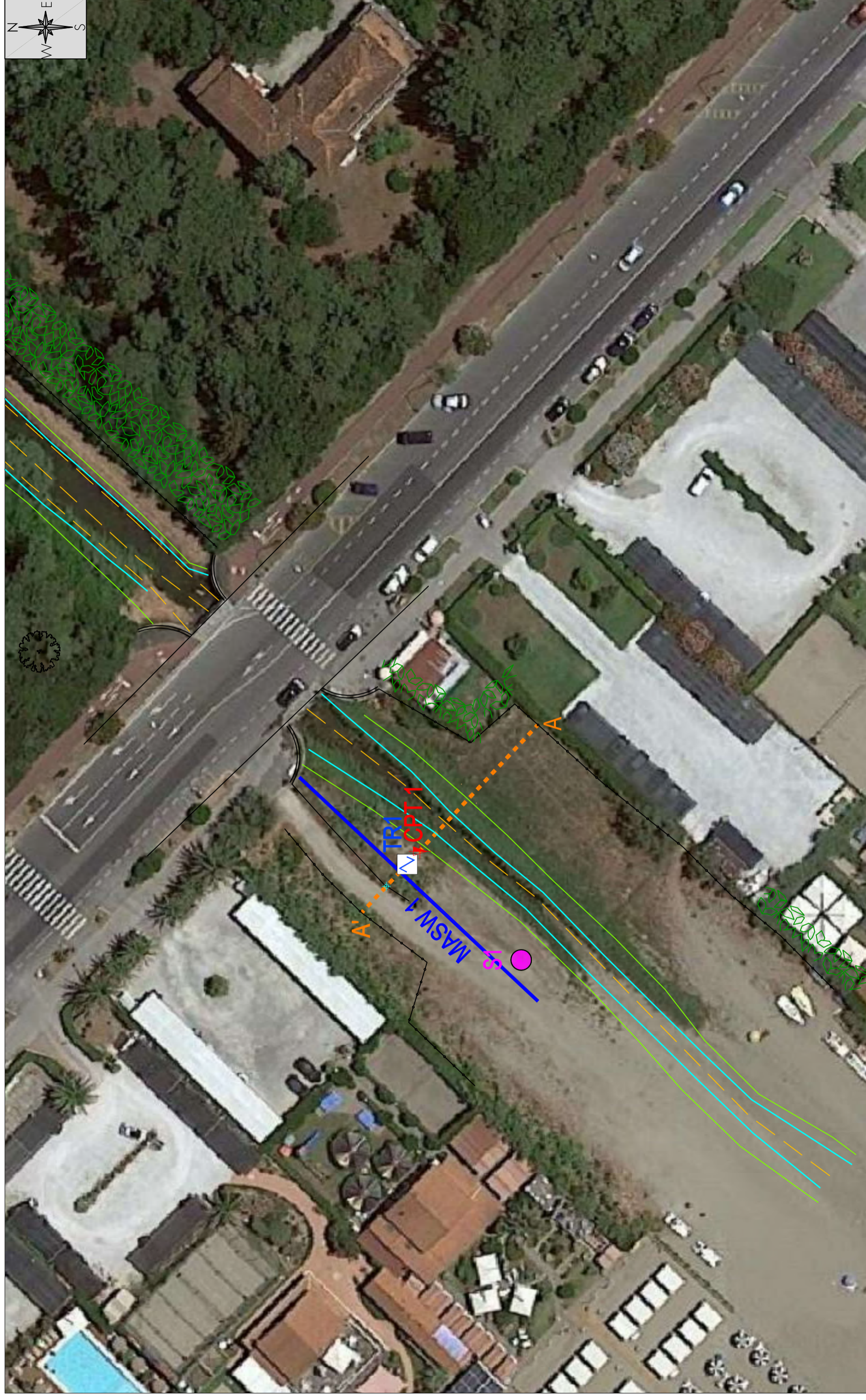


Sabbie di spiaggia recenti ed attuali (g2a).



Depositi sabbiosi eolici e di spiaggia (da). Sabbie di ambiente litorale, delle dune e dei tomboli costieri. Sabbie medie e fini che localmente possono presentarsi da debolmente limose a limose con modeste lenti di limo.

TAV. 3.1 - UBICAZIONE DELLE INDAGINI GEOLOGICHE_TRATTO I (Foto © Google Earth - Stato Attuale)

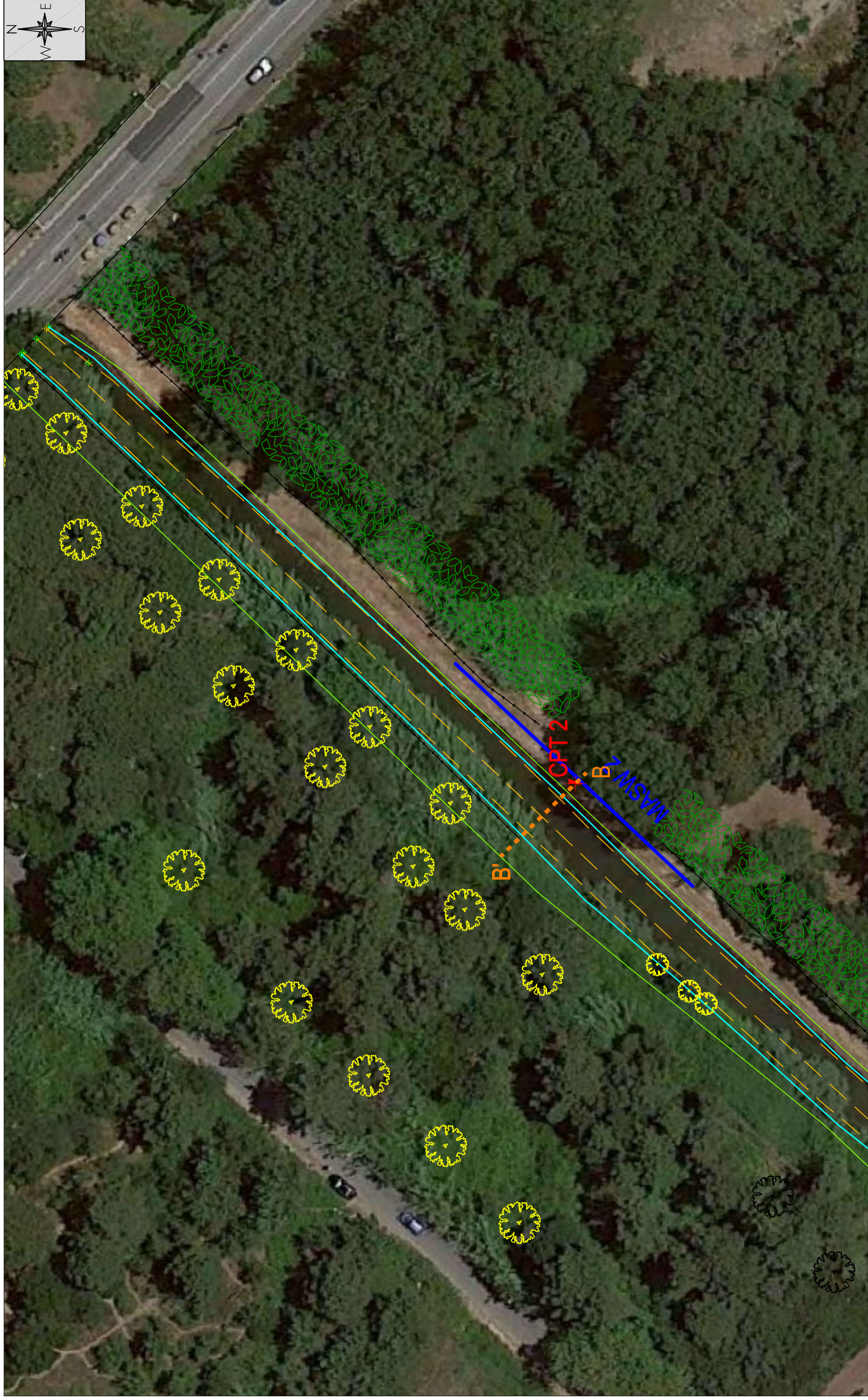


LEGENDA

-  CPT1 Prova penetrometrica statica
-  Masw 1 Prospezione sismica Masw
-  S1 Sondaggio geognostico a carotaggio continuo
-  TR1 Misura di rumore ambientale
-  A-A Traccia della sezione geologico-tecnica interpretativa A-A'

(Scala 1:500)

TAV. 3.2 - UBICAZIONE DELLE INDAGINI GEOLOGICHE_TRATTO II (Foto © Google Earth - Stato Attuale)

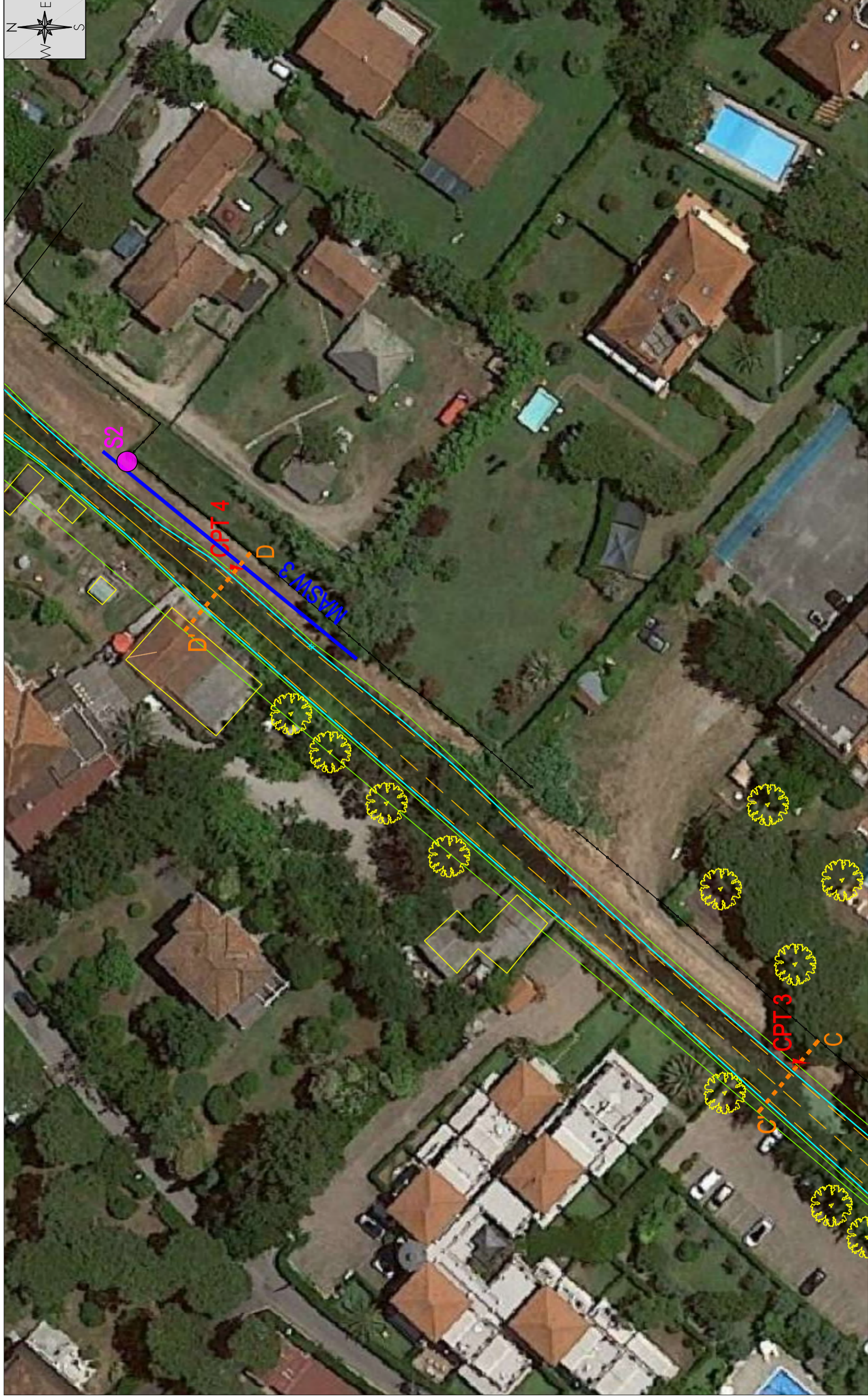


LEGENDA

-  Prova penetrometrica statica CPT 2
-  Prospezione sismica Masw
-  Traccia della sezione geologico-tecnica interpretativa B-B'

(Scala 1:500)

TAV. 3.3 - UBICAZIONE DELLE INDAGINI GEOLOGICHE_TRATTO III (Foto © Google Earth - Stato Attuale)

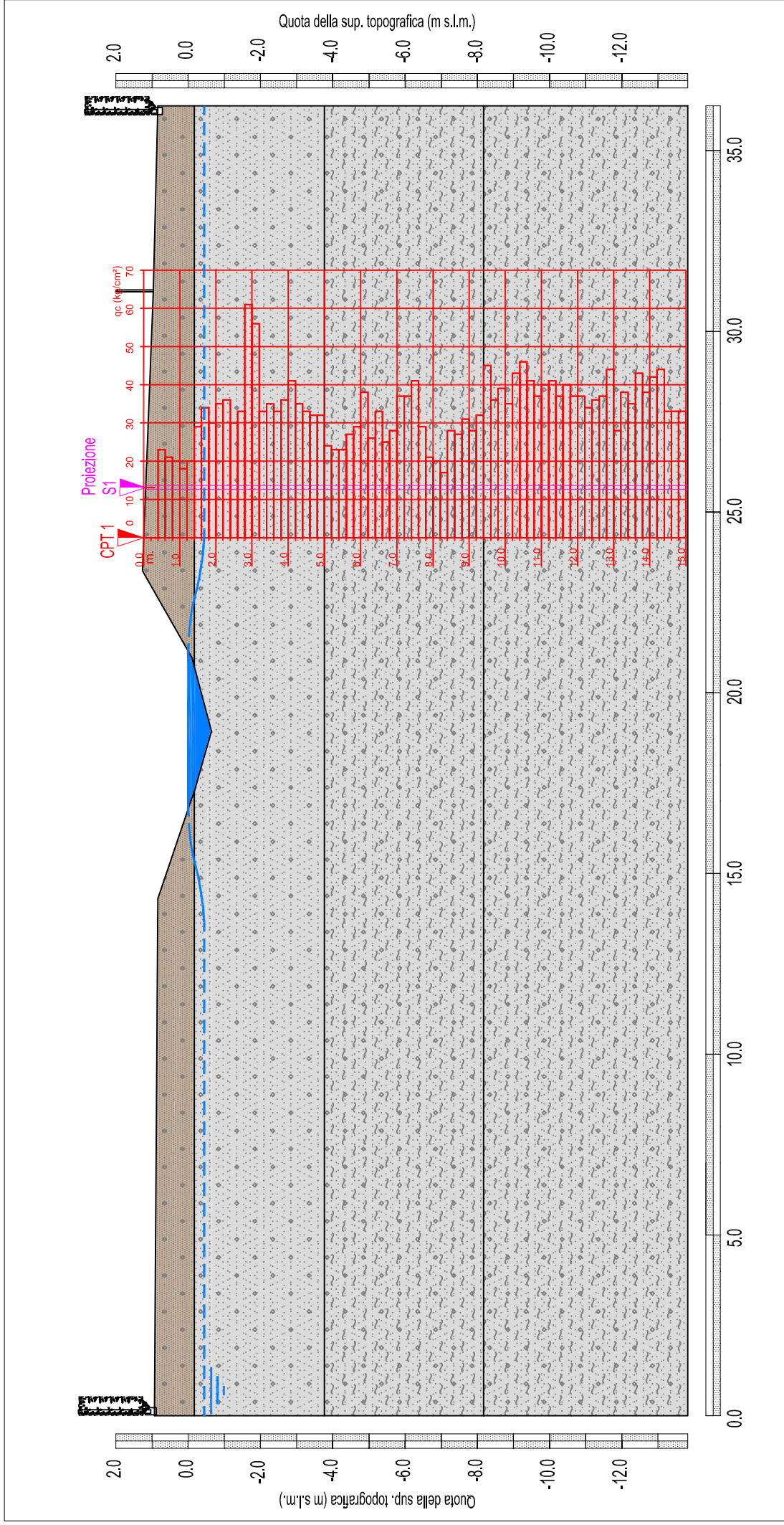


LEGENDA

-  Prova penetrometrica statica
-  Prospezione sismica Masw
-  Sondaggio geognostico a carotaggio continuo
-  Traccia delle sezioni geologico-tecniche interpretative C-C' e D-D'

(Scala 1:500)

TAV. 4.1 - SEZIONE GEOLOGICO-TECNICA INTERPRETATIVA A-A' TRATTO I (Stato Attuale)



LEGENDA

Sotto unità A₁ Sabbie debolmente limose "sciolte"

Sotto unità A₂ Sabbie da debolmente limose a limose "poco addensate"

Sotto unità A₃ Sabbie da debolmente limose a limose "moderatamente addensate"

Sotto unità A₄ Sabbie da debolmente limose a limose "moderatamente addensate"

CPT 1

Prova penetrometrica statica

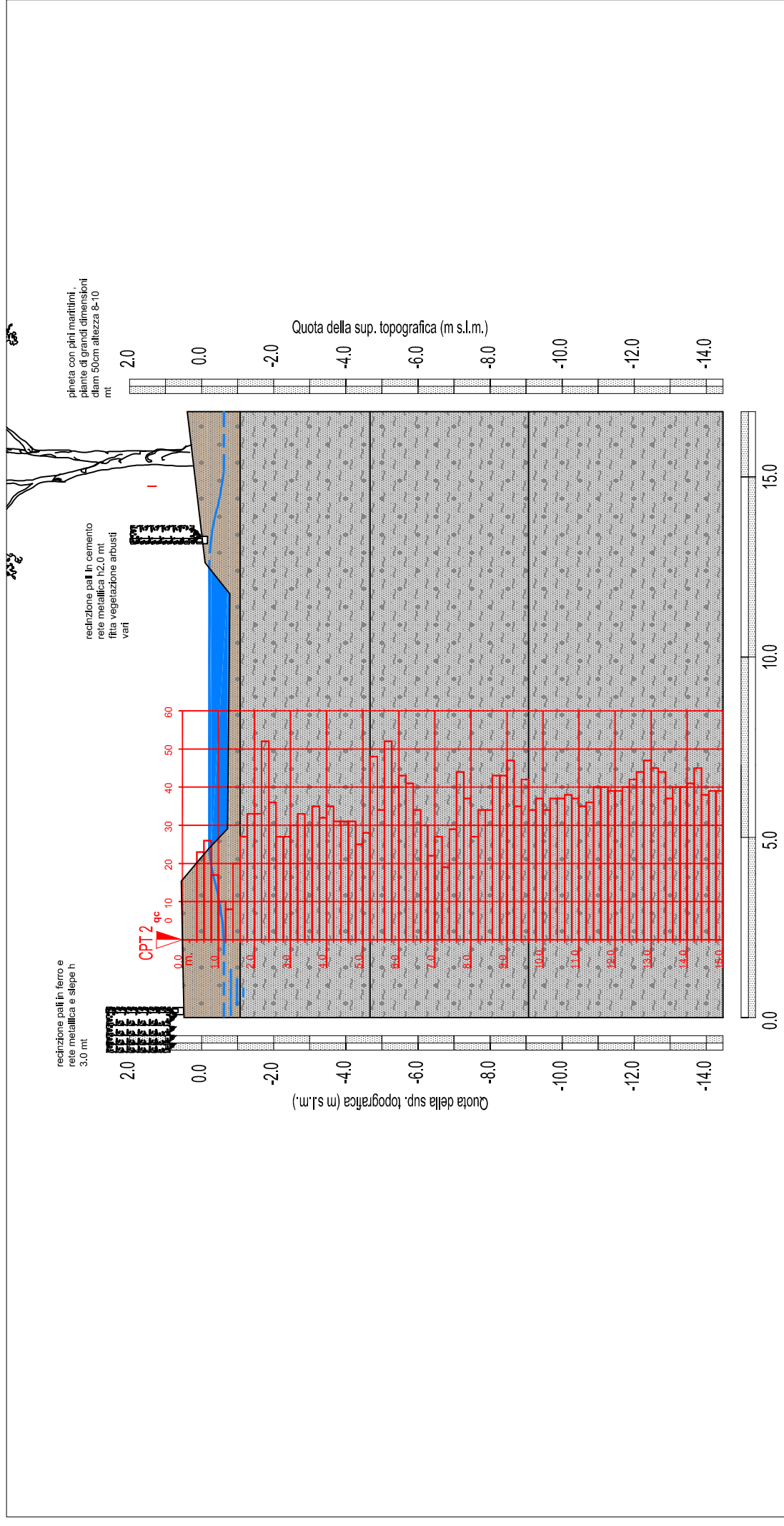
S1

Sondaggio a carotaggio continuo







Livello di falda (g. 30/04/2020)

(Scala 1:150)

TAV. 4.2 - SEZIONE GEOLOGICO-TECNICA INTERPRETATIVA B-B' _TRATTO II (Stato Attuale)

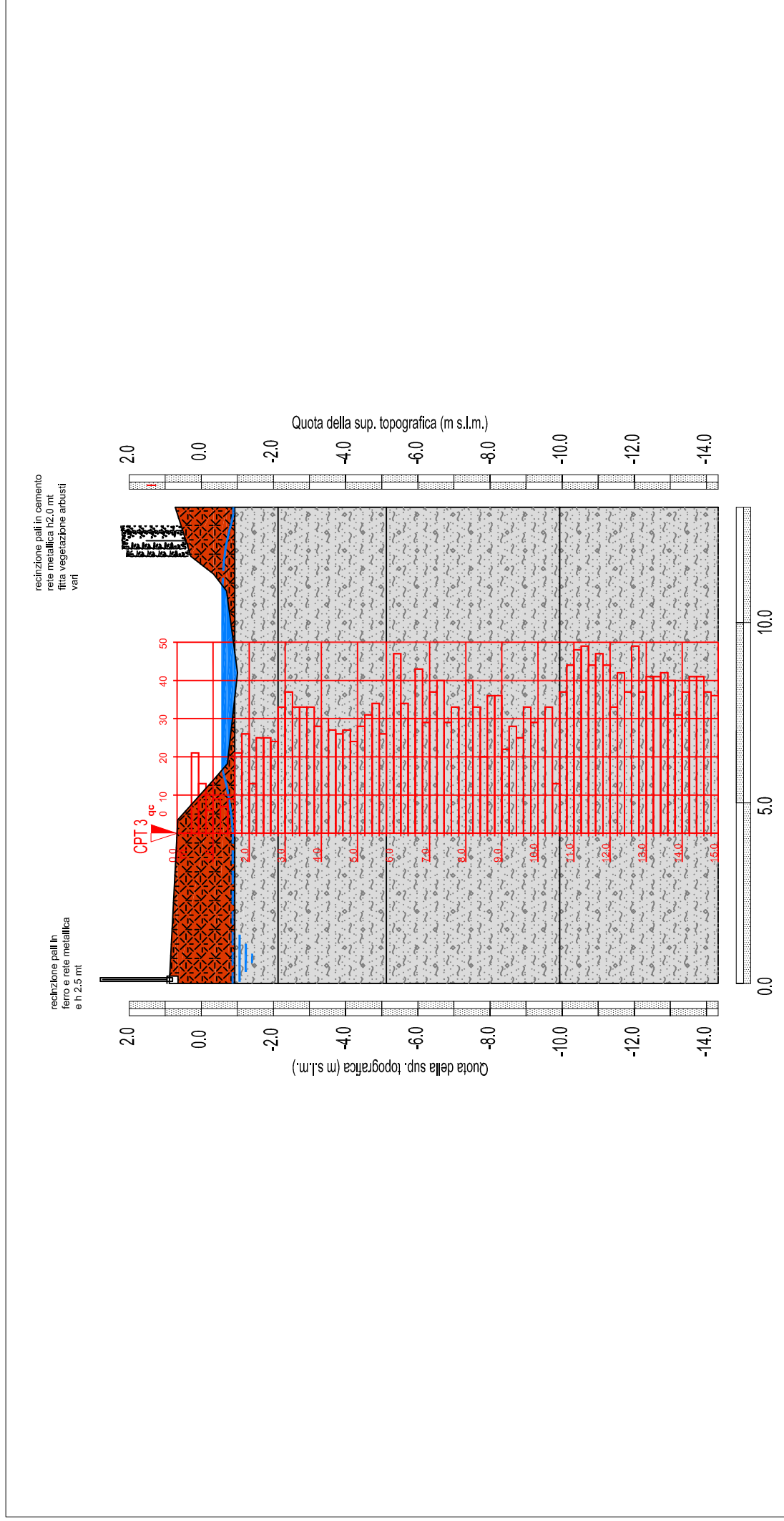


LEGENDA








-  Sotto unità A₁ Sabbie debolmente limose "sciolte"
 -  Sotto unità A₂ Sabbie da debolmente limose a limose "poco addensate"
 -  Sotto unità A₃ Sabbie da debolmente limose a limose "moderatamente addensate"
 -  Sotto unità A₄ Sabbie da debolmente limose a limose "moderatamente addensate"
-  Prova penetrometrica statica
-  Livello di falda (ricostruito geometricamente)

(Scala 1:150)

TAV. 4.3 - SEZIONE GEOLOGICO-TECNICA INTERPRETATIVA C-C' TRATTO III (Stato Attuale)

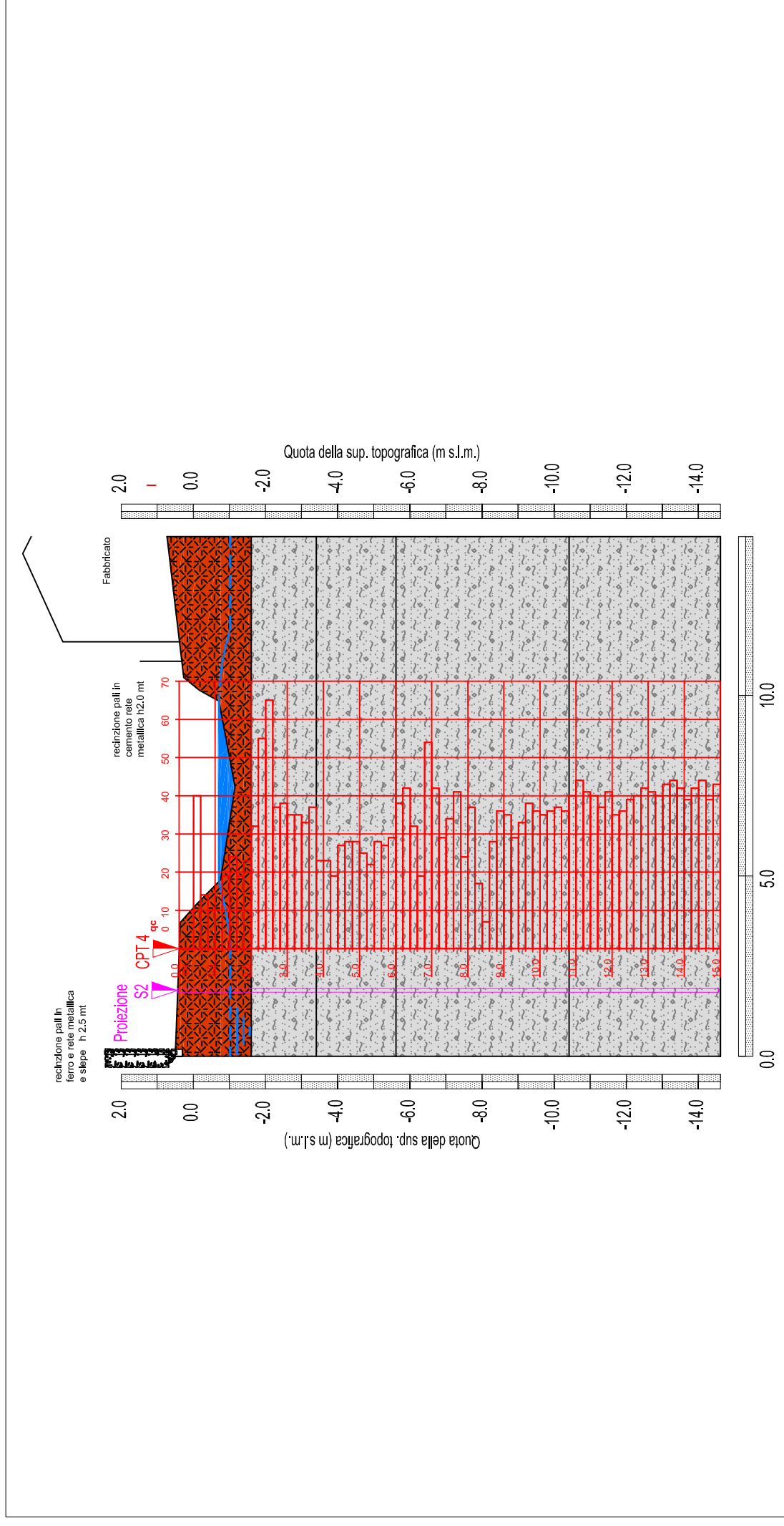


LEGENDA








-  Unità X_Ghiaia e ciottoli in matrice limosa-sabbiosa "sciolti"
-  Sotto unità A₁_Sabbie da debolmente limose a limose "poco addensate"
-  Sotto unità A₂_Sabbie da debolmente limose a limose "poco addensate"
-  Sotto unità A₃_Sabbie da debolmente limose a limose "moderatamente addensate"
-  Sotto unità A₄_Sabbie da debolmente limose a limose "moderatamente addensate"
-  CPT3 Prova penetrometrica statica
-  Livello di falda (ricostruito geometricamente)

(Scala 1:150)

TAV. 4.4 - SEZIONE GEOLOGICO-TECNICA INTERPRETATIVA D-D' TRATTO III (Stato Attuale)



LEGENDA

-  Unità X_Ghiaia e ciottoli in matrice limosa-sabbiosa "sciolti"
-  Sotto unità A₁ Sabbie da debolmente limose a limose "poco addensate"
-  Sotto unità A₂ Sabbie da debolmente limose a limose "poco addensate"
-  Sotto unità A₃ Sabbie da debolmente limose a limose "moderatamente addensate"
-  CPT 4
-  S2
-  Livello di falda (g. 04/05/2020)

(Scala 1:150)