



REGIONE
MOLISE



PROVINCIA DI
CAMPOBASSO



COMUNE DI
SAN MARTINO IN PENSILIS



COMUNE DI
ROTELLO

Realizzazione nell'ampliamento della Stazione Elettrica RTN ubicata a San Martino in Pensilis (CB) e dell'elettrodotto a 150 kV per il collegamento tra la suddetta SE RTN e la SE RTN di Rotello (CB)

ELABORATO

RELAZIONE GEOLOGICA

IDENTIFICAZIONE ELABORATO

Livello progetto	Codice elaborato	n° foglio	n° tot. fogli	Nome file	Data	Scala
PD	R_2.02	1	183	R_2.02_GEO.pdf	09/2024	n.a.

REVISIONI

Rev. n°	Data	Descrizione	Redatto	Verificato	Approvato
00	23/01/2023	1° Emissione	DIMOLA	AMBRON	AMBRON
01	30/09/2024	2° Emissione - a seguito di Benestare Terna del 26/06/2023	DIMOLA	SCARDIGNO	AMBRON

PROGETTAZIONE:

MATE System srl

Via G.Mameli, n.5
70020 Cassano delle Murge (BA)
tel. +39 080 5746758
mail: info@matesystemsrl.it pec: matesystem@pec.it

Il progettista
Ing. Francesco Ambron



DIRITTI Questo elaborato è di proprietà della Solar Energy sei S.r.l. pertanto non può essere riprodotto né integralmente, né in parte senza l'autorizzazione scritta della stessa. Da non utilizzare per scopi diversi da quelli per cui è stato fornito.

PROPONENTE:
SOLAR ENERGY SEI S.R.L. Via
Via Sebastian Altmann, n.9
39100 - Bolzano (BZ)

Il legale rappresentante

Sommario

PREMESSA.....	3
1. INQUADRAMENTO TERRITORIALE E CARATTERI GEOLOGICI	4
1.1. Inquadramento dell'area di intervento	4
1.2. Inquadramento geologico dell'area	5
1.3. Caratteristiche tettoniche generali	7
2. CARATTERISTICHE LITOLOGICHE DELL'AREA.....	8
3. LITOLOGIA DI DETTAGLIO	12
4. LINEAMENTI GEOMORFOLOGICI.....	17
4.1. Caratteri geomorfologici generali	17
4.2. Piano Assetto Idrogeologico (PAI) – Rischio geomorfologico.....	17
5. CARATTERI IDROGEOLOGICI E DI PERMEABILITÀ	20
5.1. Caratteri idrogeologici e di permeabilità generali	20
5.2. Reticolo idrografico.....	22
5.3. Piano Assetto Idrogeologico (PAI) – Rischio idraulico.....	23
6. CARATTERI GEOLOGICO-TECNICI INDICATIVI	25
6.1. Prove penetrometriche.....	25
6.2. Prova penetrometrica PP1	27
6.3. Prova penetrometrica PP2	31
6.4. Prova penetrometrica PP3	35
6.5. Prova penetrometrica PP4	39
7. AZIONI SISMICHE.....	43
8. CLASSIFICAZIONE SISMICA DEL SUOLO DI FONDAZIONE	54
9. SISMICITÀ DELLA ZONA E DETERMINAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA ..55	
9.1. Inquadramento Sismico.....	55
9.2. Verifica dell'azione sismica	62
9.3. Prospezione sismica in onde S e stima del VS eq	66
10. LINEA AEREA	69
11. COCLUSIONI	71
ALLEGATI.....	73

ALLEGATI

Individuazione dell'area di intervento su ortofoto

Individuazione dell'area di intervento su IGM

Carta Geologica

Legenda Carta Geologica

Carta Geologica con ubicazione log stratigrafici e sezioni geotematiche

Log stratigrafici

Sezioni Geotematiche AB e CD

Carta della pericolosità geomorfologica

Carta della pericolosità idraulica

Ubicazione prove penetrometriche

Prove penetrometriche dinamiche continue - Report San Msrtino e Rotello (CB)

Ubicazione stendimenti MASW1 e MASW2

Relazione MASW San Martino e Rotello

PREMESSA

Scopo della seguente relazione è quello di illustrare gli aspetti geologici, geomorfologici, idrogeologici, geologico-tecnici e sismici dell'area di studio, localizzata all'interno delle aree comunali di San Martino in Pensilis e Rotello, entrambi in provincia di Campobasso, per la realizzazione di un elettrodotto aereo.

La presente relazione, redatta in ottemperanza al Decreto Ministeriale 11 Marzo 1988 n. 47 e al DM 17 Gennaio 2018, riferisce sugli elementi geologici osservati in sito tramite un rilevamento di dettaglio che ha fornito indicazioni sulle proprietà geologico-tecniche del terreno su cui avverrà la costruzione; per una migliore conoscenza dell'area in studio è stata effettuata un'attenta ricerca del materiale bibliografico esistente.

Lo studio si è articolato nelle seguenti fasi:

- descrizione dei caratteri geologici generali del territorio di San Martino in Pensilis e Rotello e dell'area oggetto d'intervento;
- individuazione dei rapporti stratigrafici esistenti tra le formazioni geologiche presenti ed affioranti nell'area d'intervento;
- studio delle caratteristiche geomorfologiche, con particolare riguardo alle condizioni di stabilità;
- descrizione dei caratteri idrogeologici del territorio di San Martino in Pensilis e Rotello;
- descrizione delle caratteristiche geologico-tecniche del sottosuolo dell'area d'intervento;
- descrizione delle caratteristiche sismiche del territorio;
- individuazione delle pericolosità geologiche nel territorio di San Martino in Pensilis e Rotello;

Lo scopo finale dello studio è stato quello di ottenere infine un modello geologico relativo alle aree d'intervento.

I caratteri geologici dell'area di studio sono stati descritti facendo riferimento alla carta geologica in scala 1:100.000 del foglio n°155 "San Severo".

Si precisa che, secondo la normativa in vigore, i comuni di San Martino in Pensilis e Rotello rientrano nella perimetrazione sismica identificata come zona 2.

1. INQUADRAMENTO TERRITORIALE E CARATTERI GEOLOGICI

1.1. Inquadramento dell'area di intervento

L'area oggetto di intervento si sviluppa per circa 13.5 km di lunghezza, nella parte est dei territori comunali di San Martino in Pensilis e Rotello, entrambi in provincia di Campobasso. Il territorio circostante risulta principalmente pianeggiante, con quote massime che raggiungono i 183 m s.l.m. e digradano verso nord fino alle quote minime che si attestano attorno ai 38 m s.l.m.. L'area si trova poche centinaia di metri ad ovest rispetto al confine con la Regione Puglia (fig. 1 e 2).

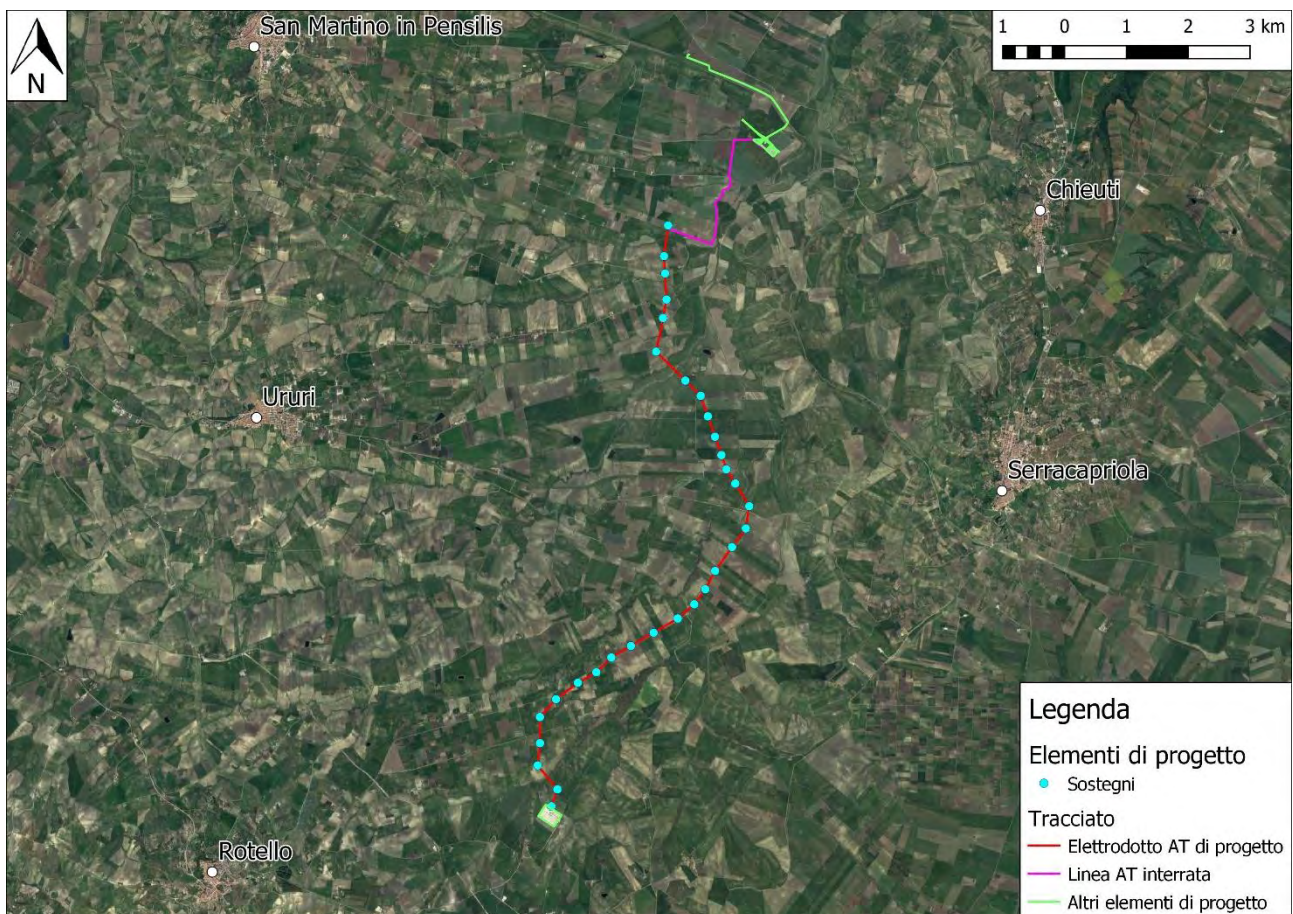


Figura 1 – Tracciato dell'elettrodotto aereo su ortofoto

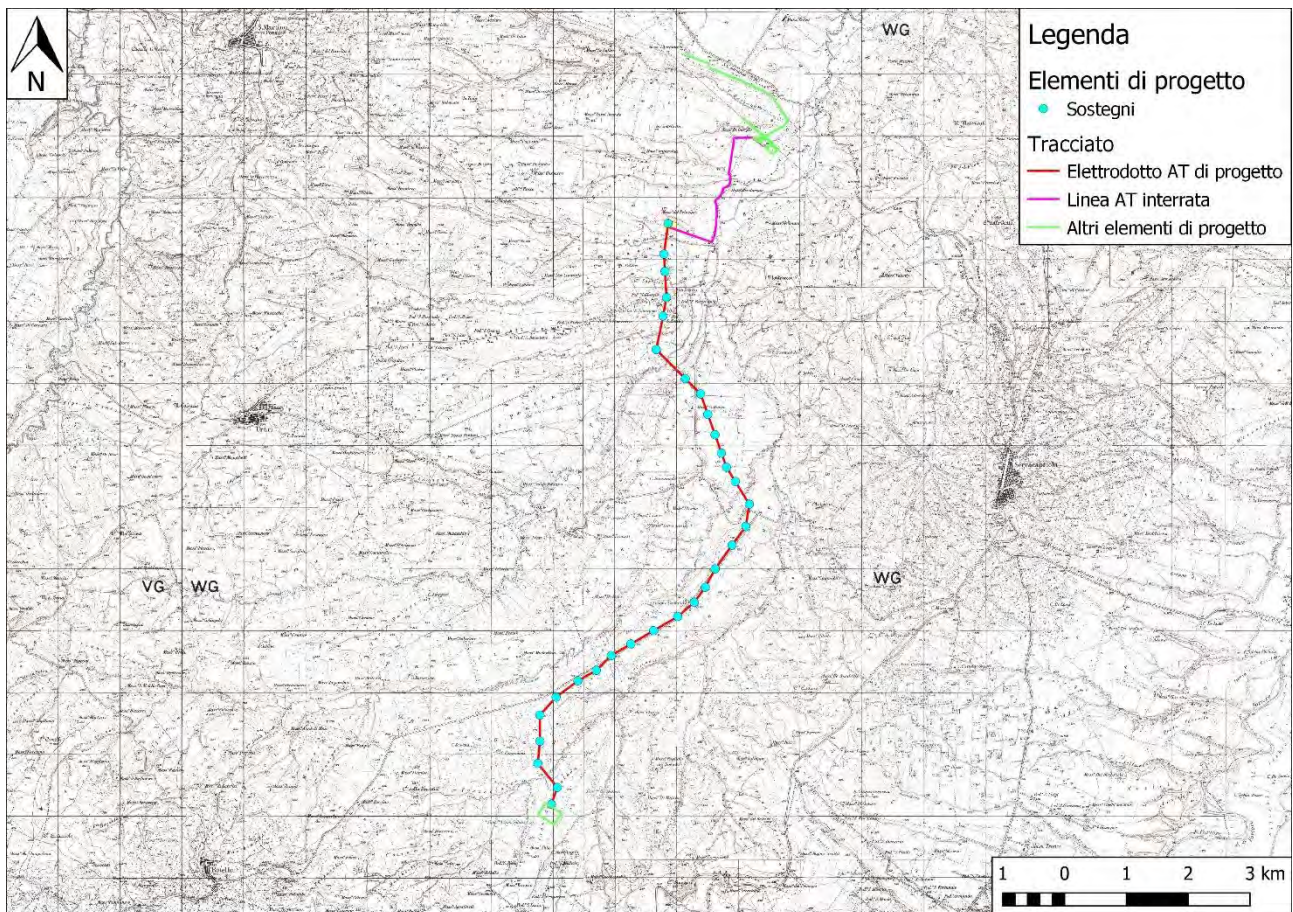


Figura 2 - Tracciato dell'elettrodotto aereo su stralcio IGM a scala 1:25000

1.2. Inquadramento geologico dell'area

Il Molise, dal punto di vista geologico presenta una variabilità elevata, dovuta alla presenza della catena Appenninica e al sistema geologico-strutturale molto complesso presente nell'Italia centro-meridionale.

Spostandosi dall'entroterra fino alla costa adriatica, circa da ovest verso est, si attraversano tre grandi regioni geologiche (Patacca & Scandone, 2007):

- **Area di Catena:** caratterizzata da successioni che costituivano il paleomargine africano, distinte in successioni di piattaforma carbonatica e di bacino, deformate e coinvolte nella strutturazione dell'edificio orogenico;
- **Area di Avanfossa:** caratterizzata da depositi di Avanfossa plio-pleistocenici e depositi all'interno della depressione sviluppatesi sul fronte della catena per subsidenza flessurale della litosfera della Lower plate;
- **Area di Avampaese Apulo:** caratterizzata da una successione rappresentata da evaporiti triassiche e sovrastanti calcari meso-cenozoici di piattaforma, stratigraficamente sovrapposta al basamento cristallino.

Le principali unità tettoniche che costituiscono l'Appennino meridionale, sono riferibili a un dominio interno, alla piattaforma Appenninica (Campano-Lucana), al bacino lagonegrese-molisano, ai Simbruini-Matese, alla Marsica occidentale, al Gran Sasso-Genziana ed alla piattaforma Apula.

Nel Molise, i massicci carbonatici caratterizzano i Monti del Matese, costituiti da calcari, calcari dolomitici, e dolomie di età meso-cenozoica.

Le unità tettoniche riferibili al bacino lagonegrese-molisano, derivanti da un unico grande bacino sono: le unità Lagonegresi, le Unità Molisane e l'Unità del Sannio.

Le Unità Molisane vengono ascritte ad un dominio paleogeografico più o meno articolato di mare profondo, il Bacino Molisano, interposto tra la piattaforma appenninica e quella apula. Esse sono costituite da quattro unità tettonostratigrafiche dall'interno verso l'esterno: Frosolone, Agnone, Tufillo-Serra Palazzo e Daunia.

Le unità molisane si sovrappongono tettonicamente sia alle unità della piattaforma Apula coinvolte nella strutturazione della catena appenninica sia su quelle che costituiscono la monoclinale di Avampaese non deformato. Superiormente, nella zona più interna tali unità molisane sono ricoperte dall'unità dei Simbruini-Matese, mentre nelle zone più esterne da quella del Sannio e dai depositi silicoclastici di bacini *piggy-back* o di Avanfossa pliocenica e pleistocenica (fig. 3).

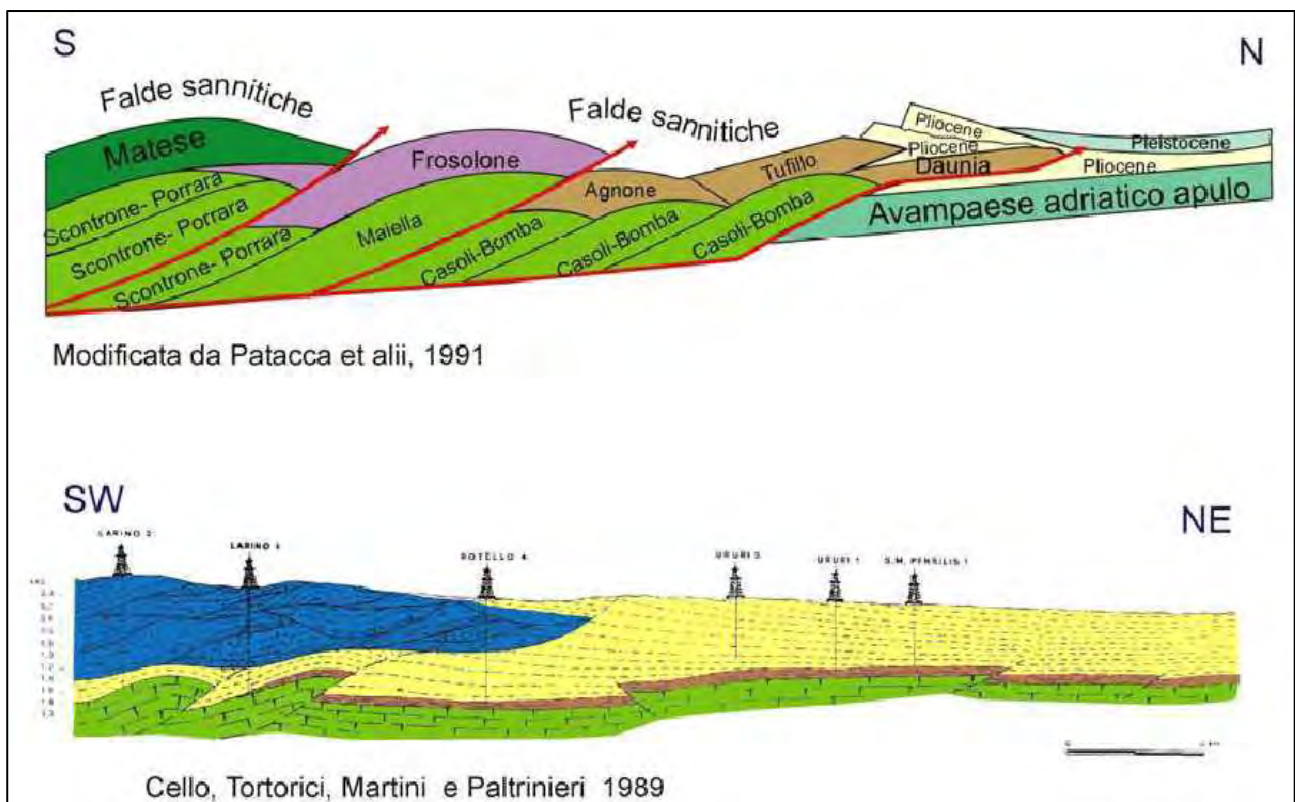


Figura 3 - Sezioni geologiche del territorio molisano tratte da "Analisi del dissesto da frana in Molise" (Roskopf C.M. & Aucelli P.P.C., 2005). In alto sezione schematica della catena a falde di ricoprimento tipica della strutturazione appenninica (struttura a falde sovrapposte). In basso sezione geologica realizzata utilizzando le stratigrafie dei sondaggi profondi effettuati per la ricerca di idrocarburi dall'AGIP

La Falda Sannitica si è deposta ad ovest del dominio di piattaforma appenninica, rappresenta l'unità strutturalmente più alta, e risulta formata da una successione a prevalente componente argillosa (Argille Varicolori), e, subordinatamente, calcareo-quarzarenitica.

I depositi plio-pleistocenici costituiscono i termini di colmamento dell'ultima avanfossa appenninica. Si distinguono due cicli pliocenici, il primo prevalentemente arenaceo-sabbioso, il secondo argilloso sabbioso. Un terzo ciclo (Pliocene Sup. Pleistocene Inf.) di tipo trasgressivo-regressivo, è a prevalente componente argillosa.

La Piattaforma Apula è costituita dalle seguenti unità di piattaforma carbonatica: Morrone-Porrara, Queglia, Maiella, Casoli-Bomba e Monte Alpi.

1.3. Caratteristiche tettoniche generali

La tettonica pliocenica che caratterizza l'area di Avanfossa-Avampaese, a causa della progressiva migrazione di tutto il sistema Catena-Avanfossa-Avampaese, è rappresentata sia da strutture compressive in corrispondenza delle zone frontali della catena e dell'*upper plate*, sia da strutture distensive che hanno comportato la disgiunzione e la frammentazione della *lower plate*, regolando così la subsidenza e controllando la sedimentazione (Bracone V., 2009).

Per quanto riguarda l'attività tettonica durante il Pleistocene, questa ha controllato la sedimentazione all'interno del bacino e deformato i depositi stessi. In particolare, il sollevamento tettonico instauratosi a partire dal Pleistocene inferiore ha comportato nel settore molisano la deformazione dei depositi di Avanfossa ed il loro basculamento verso NE (Patacca et al., 1992; Rapisardi, 1978).

2. CARATTERISTICHE LITOLOGICHE DELL'AREA

L'area oggetto del presente studio ricade nel Foglio 155 "San Severo" della Carta Geologica d'Italia in scala 1:100.000 (fig. 4).

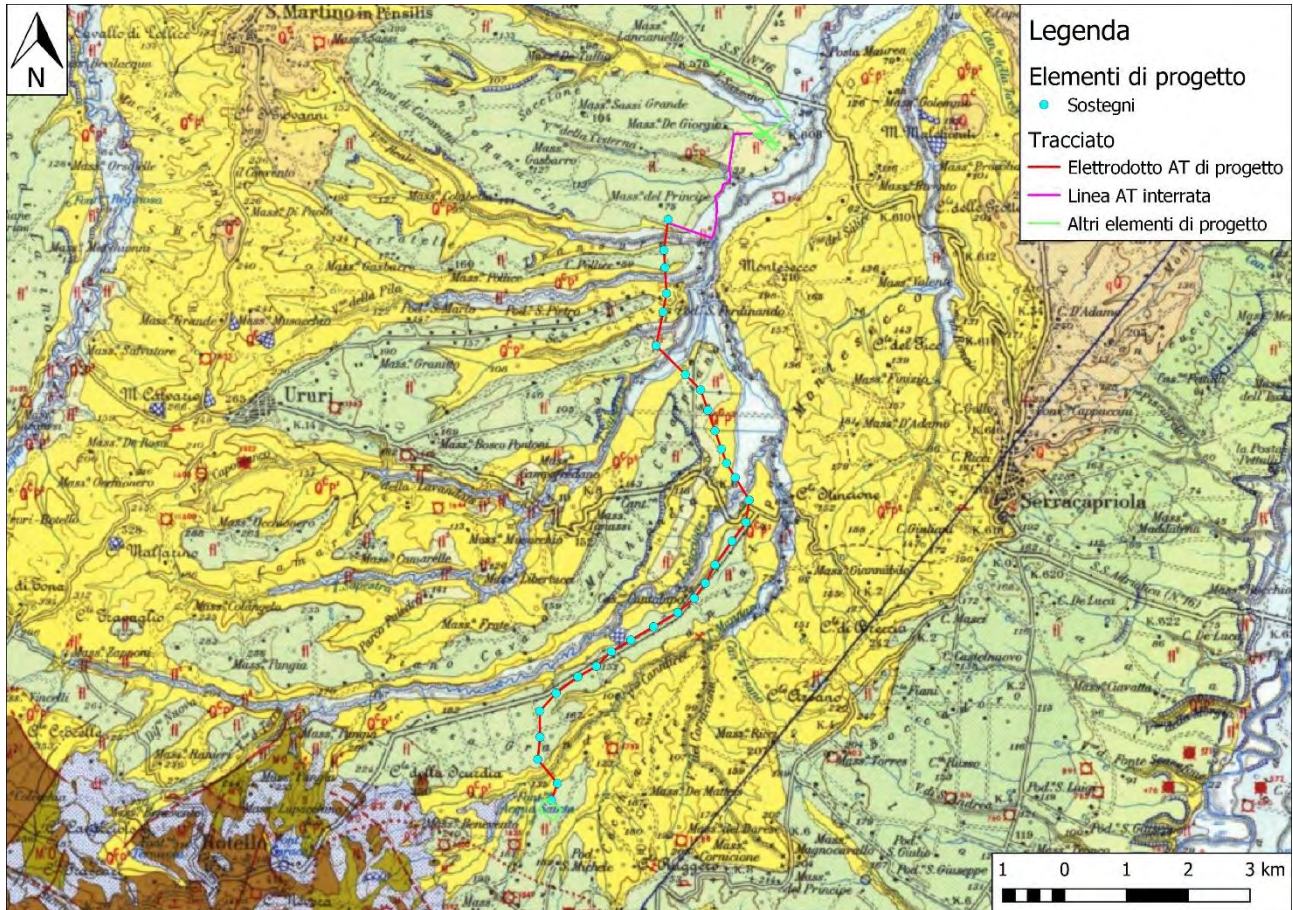


Figura 4 - Stralcio del Foglio 155 "San Severo" della Carta Geologica d'Italia in scala 1:100000

Nelle figure successive si riporta la legenda delle formazioni presenti all'interno e nei dintorni dell'area di studio (fig. 5, 6 e 7).

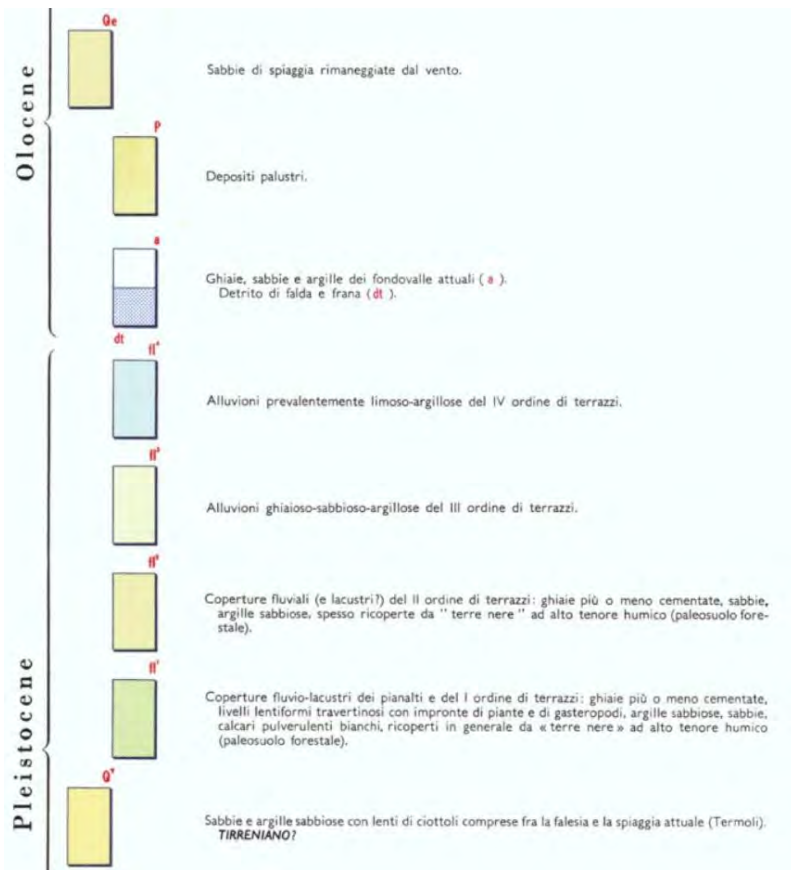


Figura 5 - Legenda del Foglio 155 "San Severo" della Carta Geologica d'Italia in scala 1:100.000 (parte 1)

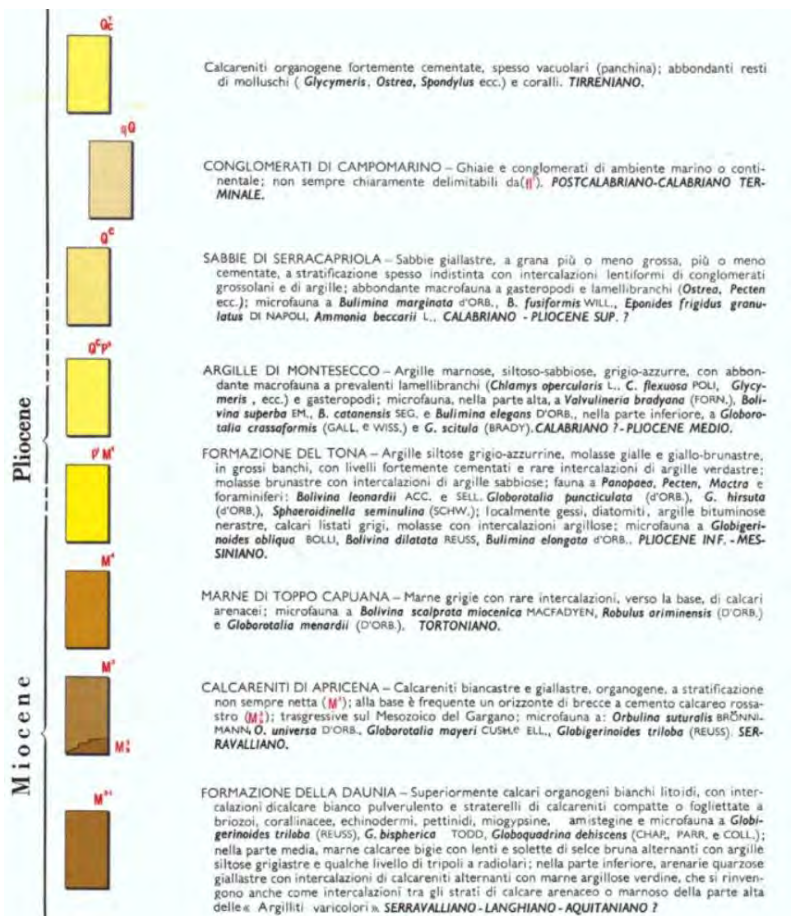


Figura 6 - Legenda del Foglio 155 "San Severo" della Carta Geologica d'Italia in scala 1:100.000 (parte 2)

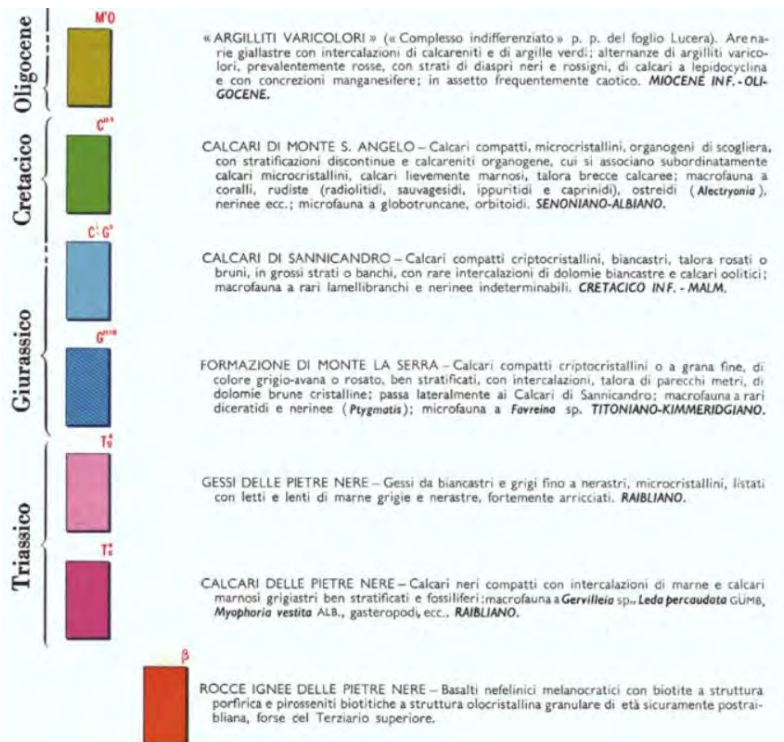


Figura 7 - Legenda del Foglio 155 "San Severo" della Carta Geologica d'Italia in scala 1:100.000 (parte 3)

In particolare, nelle immediate vicinanze delle aree oggetto di intervento, le formazioni maggiormente rappresentate sono le seguenti:

Q^cp² Argille di Montesecco – Si tratta di argille marnose, siltoso-sabbiose, grigio-azzurre o giallastre in superficie per alterazione. Sono presenti livelli interamente siltosi e rare intercalazioni interamente sabbiose. Lo spessore della formazione è difficilmente valutabile, mancandone affioramenti sia del letto che del tetto, ma nell'area di intervento dovrebbe poter superare i 500 m. La macrofauna è presente ed abbondante, soprattutto lamellibranchi e gasteropodi. Abbondante anche la microfauna, la cui associazione permette di assegnare a questa formazione un'età compresa tra il Pliocene medio ed il Calabriano (Pleistocene medio).

fl¹ Coperture fluvio-lacustri dei pianalti e del I ordine di terrazzi – Si tratta di depositi ghiaiosi più o meno cementati, con lenti travertinose, argille sabbiose, sabbie e calcari pulverolenti, il tutto ricoperto da "terre nere" con alto tenore humico. Questi terreni molto probabilmente non rappresentano un'unica fase deposizionale; la distribuzione, l'altezza e la varietà dei depositi porta a pensare che la rete idrografica che ne ha determinato l'origine fosse profondamente diversa da quella attuale. Essi poggiano, con una superficie erosiva, sui depositi plio-pleistocenici delle Argille di Montesecco. Questi depositi si possono trovare fino ad alcune centinaia di metri più in alto rispetto all'attuale alveo del fiume.

fl² Coperture fluviali del II ordine di terrazzi – Sono presenti ghiaie più o meno cementate, sabbie, argille sabbiose, anche queste spesso ricoperte da "terre nere" ad alto tenore humico. Questi depositi alluvionali condividono la natura litologica con quelli della formazione fl¹, poiché la provenienza dei clasti che li compongono è la stessa, cioè la catena appenninica, o addirittura i clasti della formazione fl² possono arrivare direttamente dalla formazione fl¹. La disposizione morfologica, caratterizzata da

un marcato fenomeno di terrazzamento, testimonia un'origine prettamente fluviale di questi depositi. Questa formazione si può trovare fino ad 80 metri più in alto rispetto all'attuale alveo del fiume.

fl⁴ **Alluvioni prevalentemente limoso-argillose del IV ordine di terrazzi** – All'interno di questa formazione sono presenti limi, argille e sabbie provenienti principalmente dall'erosione dei sedimenti plio-pleistocenici come le Argille di Montesecco precedentemente descritte, sulle quali questi depositi alluvionali poggiano in discordanza erosiva. Queste alluvioni si trovano ad un massimo di 10 metri più in alto rispetto all'attuale alveo del fiume.

3. LITOLOGIA DI DETTAGLIO

L'area che verrà interessata dall'opera in progetto è caratterizzata, in affioramento e fino alla profondità investigata, prevalentemente da tre tipologie di depositi, qui di seguito descritti:

- Deposito di copertura vegetale, con prevalente componente sabbiosa debolmente limosa, di colore bruno, con ciottoli di varia origine e composizione, con uno spessore medio di circa 1 metro.
- Deposito limoso-argilloso superficiale, ritrovato al di sotto della copertura vegetale. Esso varia di composizione e caratteristiche geomeccaniche a seconda dell'area considerata. Potrebbe dunque far parte sia dei depositi fluvio-lacustri e fluviali del I, II e IV ordine di terrazzi, sia della parte superficiale della formazione delle argille di Montesecco.
- Deposito argilloso e argilloso-limoso di colore grigio-azzurro o giallastro in superficie per alterazione. Sono presenti livelli interamente siltosi e rare intercalazioni interamente sabbiose. Esso fa parte della formazione delle argille di Montesecco.

L'area di intervento si trova in una zona che, al di sotto di una sottile copertura di terreno vegetale, presenta una serie di depositi terrazzati che risultano più antichi man mano che ci si allontana dall'attuale alveo fluviale verso le quote più elevate. Le caratteristiche litologiche e geomeccaniche di questi depositi risultano simili, anche se facenti parte di formazioni differenti. Ciò avviene poiché i depositi condividono non solo la tipologia e l'origine (depositi fluviali e fluvio-lacustri), ma anche i materiali di cui sono composti, che arrivano dalla catena appenninica, e dopo una serie di erosioni e rielaborazioni sono stati ridistribuiti all'interno dei vari terrazzi.

Nelle figure 8, 9, 10 e 11 è possibile osservare l'interpretazione stratigrafica del sottosuolo nell'area in studio, attraverso due sezioni stratigrafiche e 3 log stratigrafici.

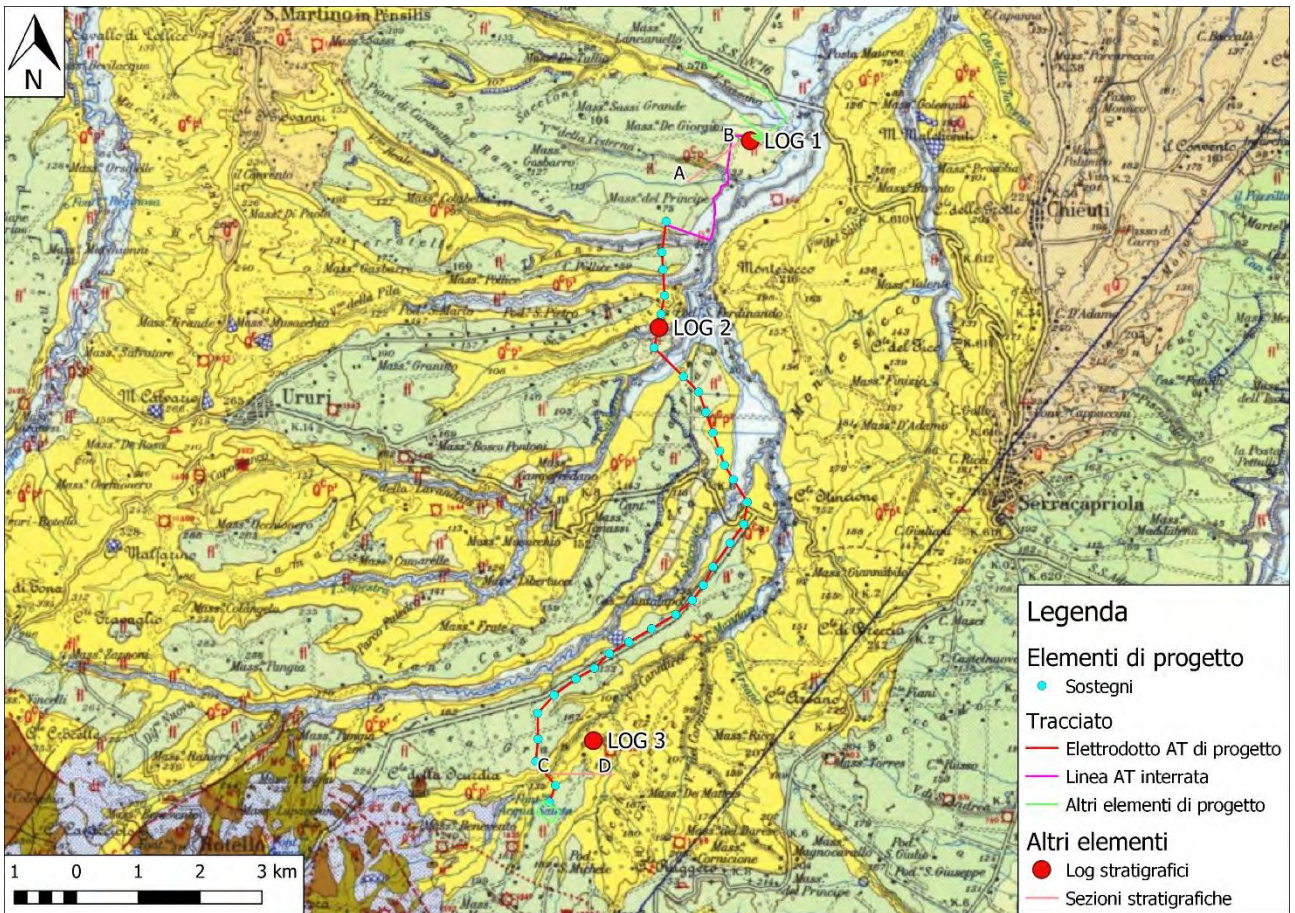
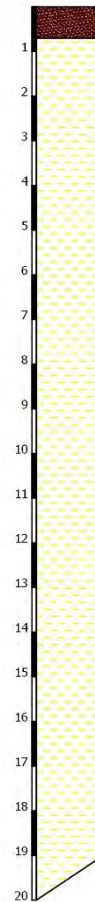
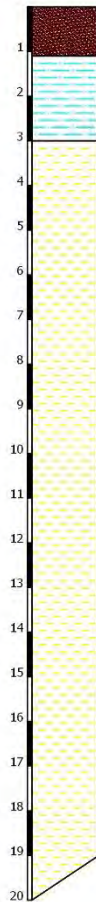
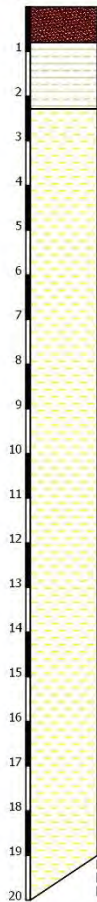


Figura 8 - Ubicazione log stratigrafici e sezioni stratigrafiche

Stratigrafia LOG 1

Stratigrafia LOG 2

Stratigrafia LOG 3



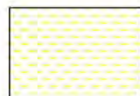
Deposito di copertura vegetale, con prevalente componente sabbiosa debolmente limosa, di colore bruno, con ciottoli di varia origine e composizione.



Deposito limoso-argilloso superficiale, ritrovato al di sotto della copertura vegetale. Esso varia di composizione e caratteristiche geomeccaniche a seconda dell'area considerata; in questa area fa parte dei depositi terrazzati di II ordine.



Deposito limoso-argilloso e leggermente sabbioso superficiale, ritrovato al di sotto della copertura vegetale. Esso varia di composizione e caratteristiche geomeccaniche a seconda dell'area considerata; in questa zona fa parte dei depositi terrazzati di IV ordine.



Deposito argilloso e argilloso-limoso di colore grigio-azzurro o giallastro in superficie per alterazione. Sono presenti livelli interamente siltosi e rare intercalazioni interamente sabbiose.

Figura 9 - Stratigrafie LOG 1, LOG 2 e LOG 3

Sezione AB San Martino in Pensilis

SEZIONE GEOLOGICA

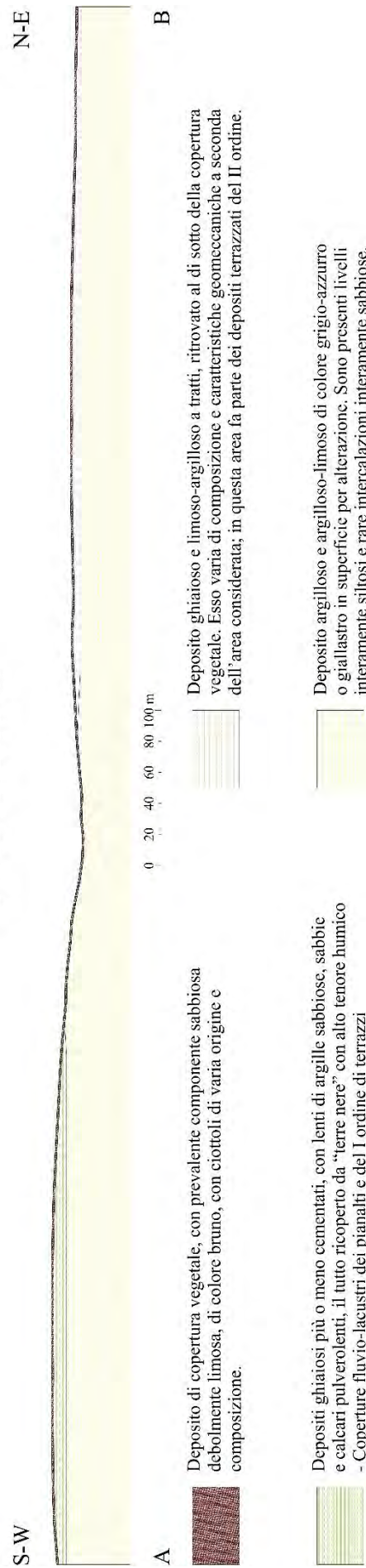
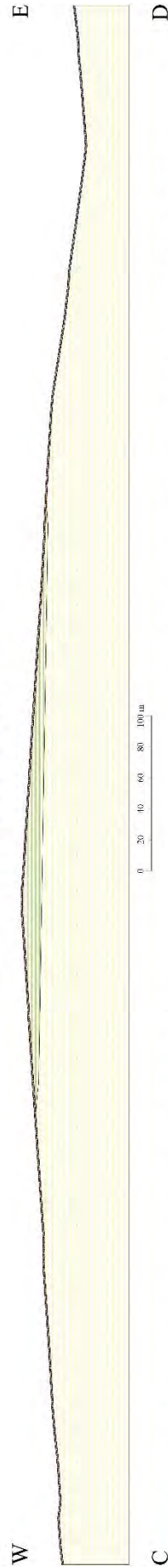


Figura 10 - Sezione Geologica AB

Sezione CD Rotello

SEZIONE GEOLOGICA



C Deposito di copertura vegetale, con prevalente componente sabbiosa debolmente limosa, di colore bruno, con ciottoli di varia origine e composizione.



D Deposito argilloso e argilloso-limoso di colore grigio-azzurro o giallastro in superficie per alterazione. Sono presenti livelli interamente siltosi e rare intercalazioni interamente sabbiose.



E Depositi ghiaiosi più o meno cementati, con lenti di argille sabbiose, sabbie e calcari pulverolenti, il tutto ricoperto da "terre nere" con alto tenore humico - Coperture fluvio-lacustri dei pianalti e del I ordine di terrazzi

Figura 11 – Sezione Geologica CD

4. LINEAMENTI GEOMORFOLOGICI

4.1. Caratteri geomorfologici generali

L'area di progetto è in gran parte occupata da terreni argillosi, con una copertura sabbioso-ghiaiosa che diventa sempre più estesa e potente man mano che ci si avvicina alla costa. Questi sedimenti si dispongono in pianalti molto regolari con inclinazione dolce inclinazione verso l'attuale linea di costa. La serie è incisa dal torrente Saccione, che passa nelle immediate vicinanze del tracciato in progetto, con una serie di affluenti ed una rete idrografica secondaria normalmente attiva solo nella stagione piovosa.

Fra i sedimenti argillosi e la loro copertura esiste una differenza di erodibilità che dà luogo, in alto, ad un gradino sub verticale abbastanza pronunciato, corrispondente agli affioramenti sabbioso-ghiaiosi, ad esso segue, verso il basso, una scarpata meno ripida, localmente franosa o calanchiva, che caratterizza le argille sottostanti. Questa morfologia con modellamento a colli e dossi poco elevati è tipica delle zone più interne, dove la copertura è stata in gran parte erosa.

Il fenomeno del terrazzamento dei depositi alluvionali è molto pronunciato per i ripiani più recenti; quelli più antichi sono viceversa meno nettamente differenziati ed hanno uno sviluppo asimmetrico rispetto all'asse vallivo. La disposizione di queste alluvioni e l'asimmetria delle valli mostra che, oltre al ciclico sollevamento dei sedimenti nelle zone più interne che determinano l'attuale linea di costa, si è verificato nello stesso tempo o in epoca precedente una elevazione della zona NW; essa avrebbe spostato progressivamente i corsi d'acqua verso SE.

Nell'area di Rotello, caratterizzata da una serie di formazioni litologicamente molto eterogenee, di natura prevalentemente flyschoidale, in cui i terreni di una certa rigidità si intercalano in sedimenti plastici, nei quali prevale la componente argillosa e marnosa. Tale associazione dà luogo ad una morfologia collinare irregolare, con grandi estensioni di pendii detritici ed accentuati fenomeni di franosità. I colli più rilevati si formano in corrispondenza di affioramenti della Formazione della daunia e su di essi sono ubicati i centri abitati.

4.2. Piano Assetto Idrogeologico (PAI) – Rischio geomorfologico

Il PAI individua e distingue tre diverse classi di pericolosità da frana: aree a pericolosità da frana estremamente elevata (PF3), aree a pericolosità da frana elevata (PF2) e aree a pericolosità da frana moderata (PF1).

Appartengono alla classe PF3 quelle aree in cui sono presenti movimenti di massa attivi, con elementi morfologici che testimoniano tale stato di attività. Rientrano in tale classe anche i movimenti gravitativi profondi (DGPV).

Nella classe PF2 sono inserite le aree in cui sono stati distinte forme morfologiche indicanti la presenza di fenomeni gravitativi al momento non attivi, le aree di probabile evoluzione spaziale dei fenomeni censiti con stato attivo, le aree che presentano fenomeni di dissesto superficiali (soliflussi e/o deformazione viscosa dei suoli), le aree in frana stabilizzate artificialmente, nonché le aree che,

pur non presentando attualmente particolari indicazioni morfologiche, potrebbero evolvere attraverso fenomenologie di frana a cinematica rapida (crolli, ribaltamenti, debris flow).

Le aree a moderata pericolosità da frana (PF1) sono quelle che al momento non presentano indicazioni morfologiche di fenomeni superficiali e/o profondi che possano riferirsi a movimenti gravitativi veri e propri. Appartengono a tale classe anche le aree interessate da frane di fatto considerate inattive.

La valutazione della pericolosità geomorfologica (fig. 12) ha messo in evidenza che, nonostante il tracciato sorvoli diverse aree perimetrata come pericolose, nessuno dei sostegni per l'elevazione della linea aerea ricade all'interno di un'area perimetrata come a pericolosità da frana, con il secondo e il terzo sostegno (partendo da sud) che si trovano pochi metri al di fuori dell'area perimetrata come pericolosa (fig. 13).

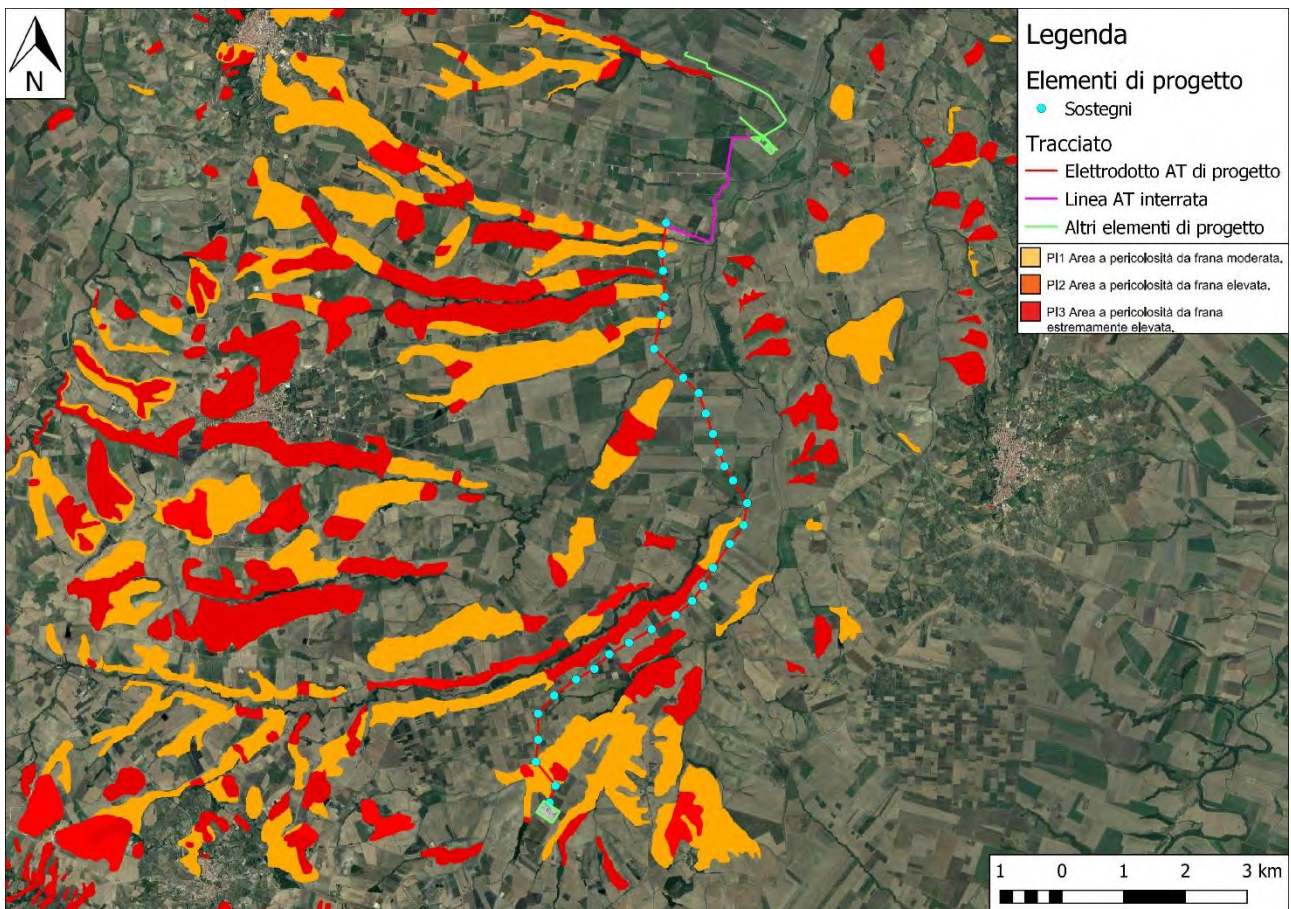


Figura 12 - Tracciato in progetto su carta della pericolosità da frana

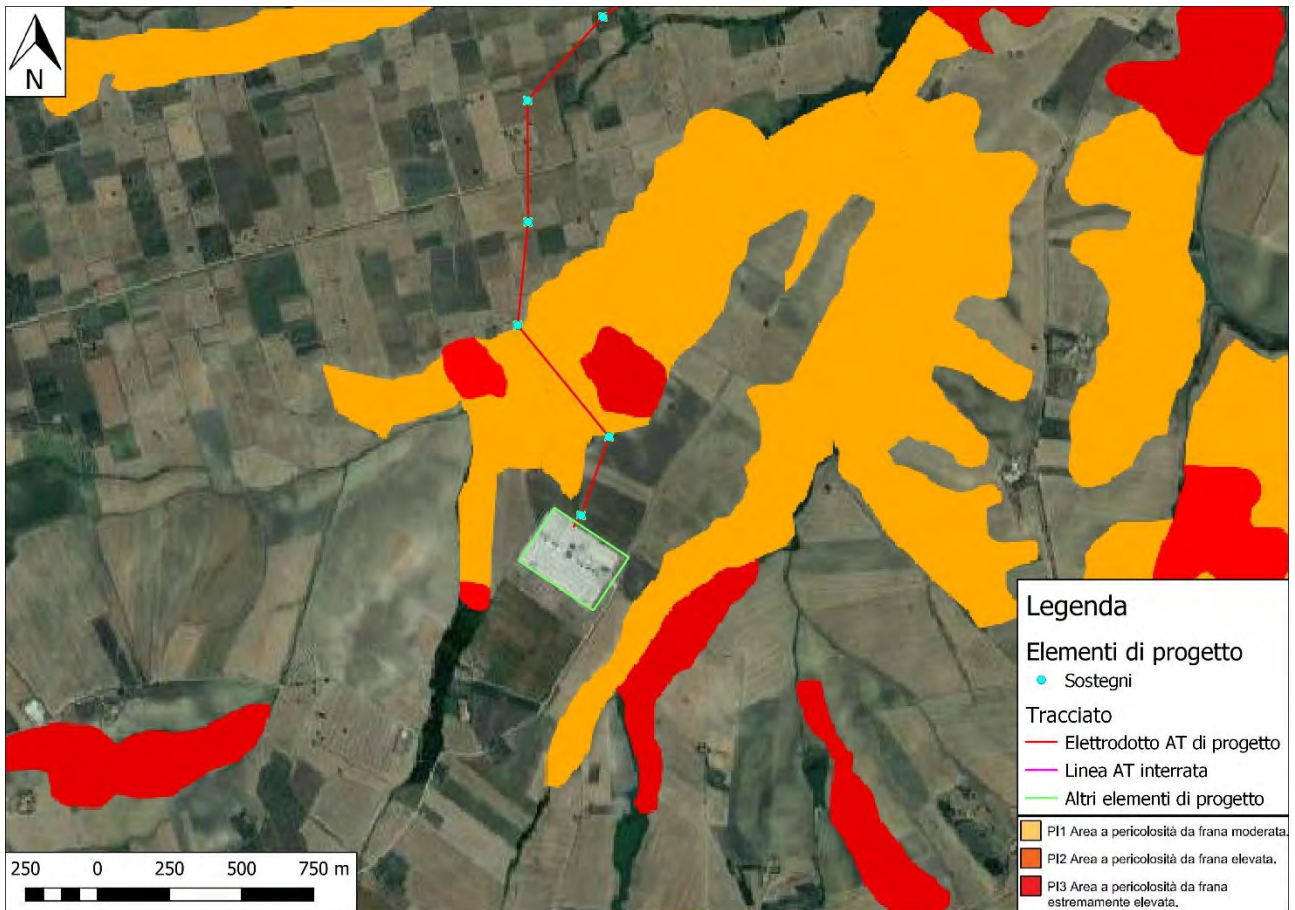


Figura 13 - Dettaglio dei sostegni 2 e 3 (partendo da sud) che si trovano pochi metri al di fuori dell'area perimetrata come a pericolosità da frana PF1

5. CARATTERI IDROGEOLOGICI E DI PERMEABILITÀ

5.1. Caratteri idrogeologici e di permeabilità generali

L'idrografia superficiale del Molise è caratterizzata dalla presenza di quattro corsi d'acqua principali a sbocco adriatico (F. Trigno, F. Biferno, F. Fortore e F. Saccione) e di una fitta rete di ordine inferiore (fig. 14). I corsi d'acqua principali presentano uno spiccato controllo tettonico in quanto il loro asse (SW-NE) è in perfetta sintonia con i maggiori sistemi dislocativi presenti nel tratto di Catena Appenninica.

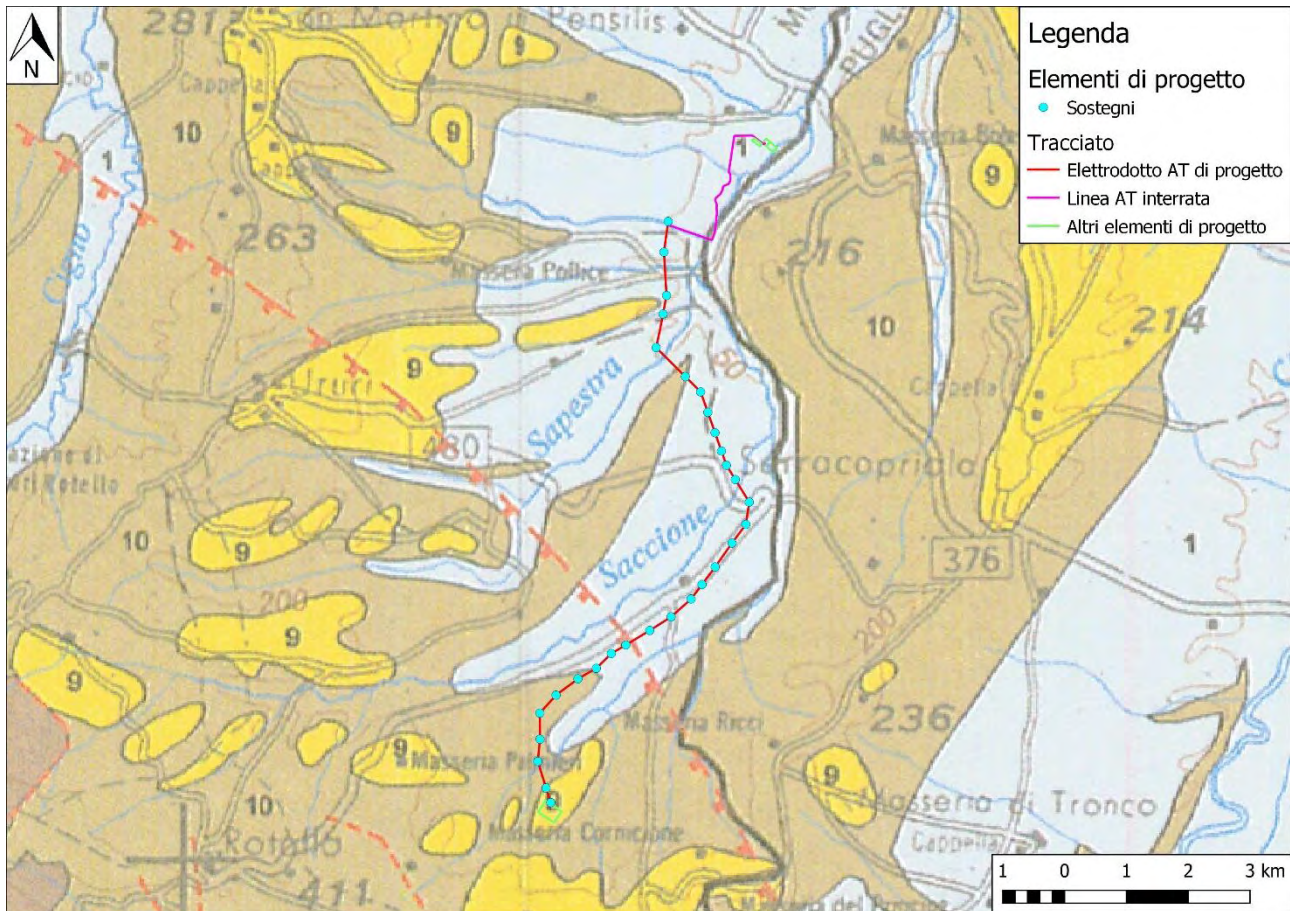


Figura 14 - Tracciato in progetto su stralcio della Carta Idrogeologica dell'Italia meridionale in scala 1:250000 Realizzata da Celico et al., 1997 per DSTN (oggi ISPRA)

Da un punto di vista idrogeologico è possibile individuare sul territorio tre fasce con caratteristiche di permeabilità sensibilmente differenti. La fascia montana delle strutture carbonatiche, la fascia collinare dei complessi argilloso marnoso in facies di flysch che bordano le strutture carbonatiche ed infine la fascia costiera a cui possono essere assimilate anche le coperture vallive alluvionali intramontane caratterizzate da depositi alluvionali. Le diversità litologiche e strutturali, condizionano i caratteri idrogeologici in quanto controllano i processi di infiltrazione e la circolazione sotterranea.

Nell'area di affioramento dei calcari della piattaforma carbonatica, che si affaccia sulla piana di Boiano, l'assetto tettonico è caratterizzato da importanti piani di faglia che fratturano intensamente la roccia conferendole elevata permeabilità. Sono inoltre presenti fenomeni accentuati di carsismo ipogeo. L'acquifero presente all'interno di questo complesso crea numerose importanti emergenze,

tra queste le sorgenti del Biferno e Riofreddo. Acquiferi di minore importanza possono essere rinvenuti in corrispondenza delle alluvioni terrazzate o dei livelli sabbioso-arenacei sovrapposti a litologie argillose.

In corrispondenza dell'affioramento dei materiali argillosi la permeabilità è da bassa a nulla ad eccezione dei livelli arenaci o calcarenitici che danno origine a piccole emergenze collegate a falde locali. Molto spesso gli olistostromi litoidi (depositi di origine sedimentaria a struttura prevalentemente "pseudo brecciata", derivanti dalla rottura, con accumulo dei frammenti da essa originati, degli strati più coerenti, come calcarei o marne, di una successione sedimentaria soggetta a "scivolamento gravitativo", con conseguente ripiegamento degli strati stessi) che lasciano la parte bassa delle vallate importanti, determinano emergenze idriche non trascurabili, collegate agli acquiferi contenuti nella massa calcarea, che si manifestano al contatto tra gli olistostromi e le argille in cui gli stessi sono inglobati. Le litologie argillose sono caratterizzate da permeabilità molto bassa che favorisce un deflusso superficiale su un reticolo fluviale di tipo detritico.

I terreni affioranti nella zona di studio possono essere divisi, dal punto di vista idrogeologico, in 3 unità, di seguito ordinate per coefficiente di permeabilità decrescente:

- 1) La prima è costituita da due formazioni, cioè dalle coperture fluviali e fluvio-lacustri del I e del II ordine di terrazzi, formate principalmente da ghiaie più o meno cementate, con livelli e lenti di sabbie e argille sabbiose, permeabili per porosità con valori compresi tra:

$$K = 1 \times 10^{-1} \text{ e } K = 1 \times 10^{-3};$$

- 2) La seconda è costituita dai depositi alluvionali prevalentemente limoso-argillosi del IV ordine di terrazzi, permeabili per porosità con valori compresi tra:

$$K = 1 \times 10^{-6} \text{ e } K = 1 \times 10^{-8};$$

- 3) La terza è costituita dalla formazione delle Argille di Montesecco, quasi del tutto impermeabili, con valori del coefficiente di permeabilità compresi tra:

$$K = 1 \times 10^{-6} \text{ e } K = 1 \times 10^{-9}.$$

5.2.Reticolo idrografico

Nell'area in esame, l'asta idrografica principale è rappresentata dal T. Saccione: esso nasce dal Colle Frascari presso Montelongo, ad una quota di 437 m s.l.m., e si snoda per una lunghezza di 38 km, segnando, nella seconda metà del suo corso, il confine regionale tra Molise e Puglia. Ha un bacino drenante di 289.5 km², di cui 166.7 in territorio molisano. I suoi affluenti di sinistra sono vallone della Pila, vallone di Reale, vallone della Sapestra, vallone Sassani; quelli di destra vallone di Montorio, vallone della Terra presso Rotello e vallone Cannucce. Sfocia nel Mar Adriatico Presso Torre Fantina, località Chieuti (FG) (fig. 15).

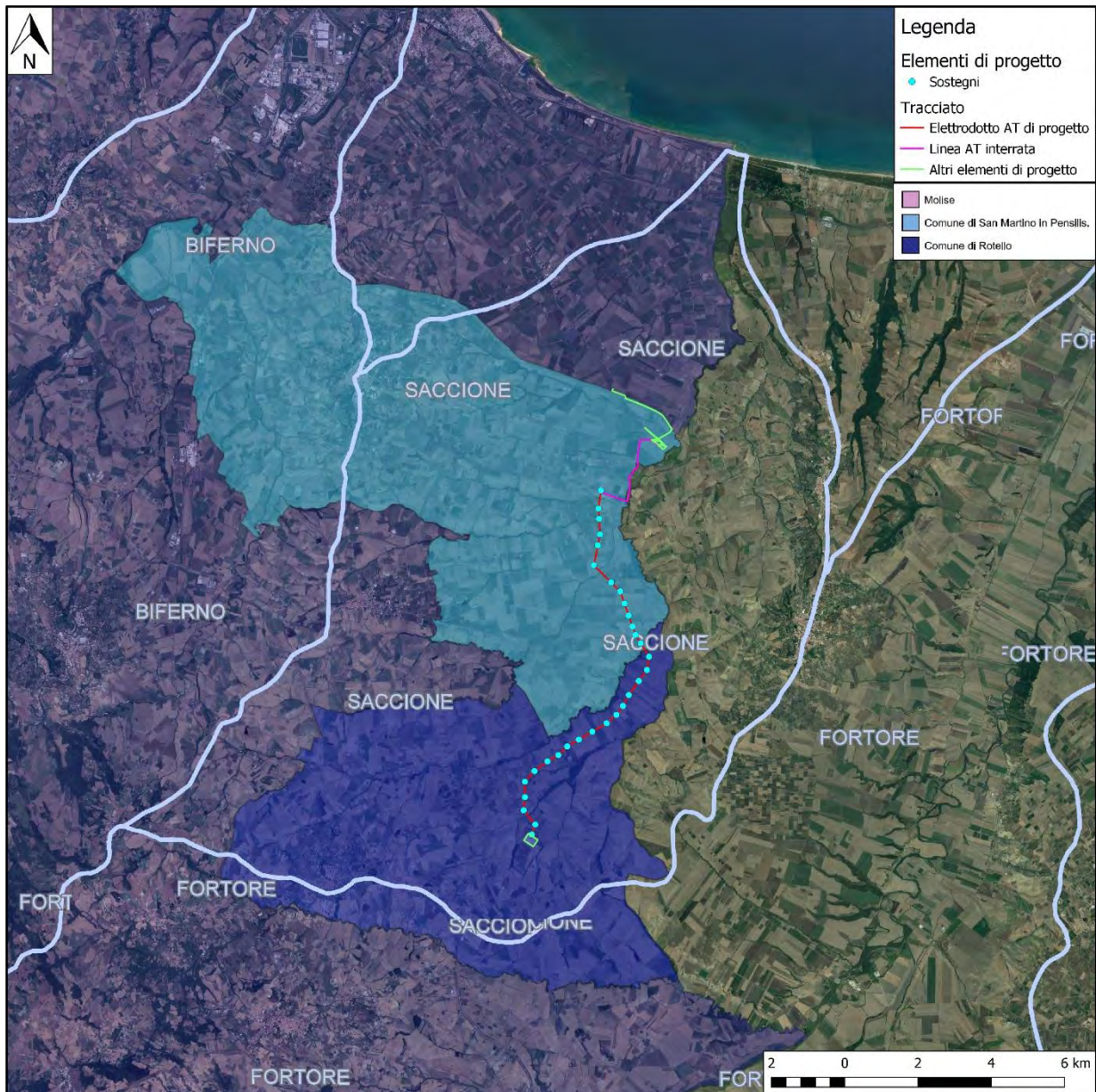


Figura 15 - Bacino idrografico del Fiume Saccione

5.3. Piano Assetto Idrogeologico (PAI) – Rischio idraulico

L'intero territorio oggetto di indagine ricade all'interno del bacino idrografico del Torrente Saccione, in Molise, quindi sotto la giurisdizione dell'Autorità di Bacino dei Fiumi Trigno, Biferno e Minori, Saccione e Fortore. Per ognuno dei singoli bacini idrografici tale Autorità di Bacino ha predisposto uno specifico piano stralcio.

Il Progetto di Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) del Bacino Interregionale del Fiume Saccione, che in parte comprende anche il territorio pugliese, è stato approvato dal Comitato Tecnico nella seduta n. 25 del 16 dicembre 2004 e adottato con Deliberazione del Comitato Istituzionale n. 99 del 29 settembre 2006.

Il PAI individua e distingue tre diverse classi di pericolosità da alluvione: aree a pericolosità da alluvione alta (PI3), aree a pericolosità da alluvione media (PI2) e aree a pericolosità da alluvione bassa (PI1).

La valutazione della pericolosità idraulica (fig. 16) ha messo in evidenza che, nonostante il tracciato sorvoli diverse aree perimetrare come pericolose, nessuno dei sostegni per l'elevazione della linea aerea, ricade all'interno di un'area perimetrata come a rischio alluvione.

Ricadono però all'interno delle aree perimetrare come pericolose circa 1.5 km di linea AT interrata, come è possibile osservare nella figura 16B.

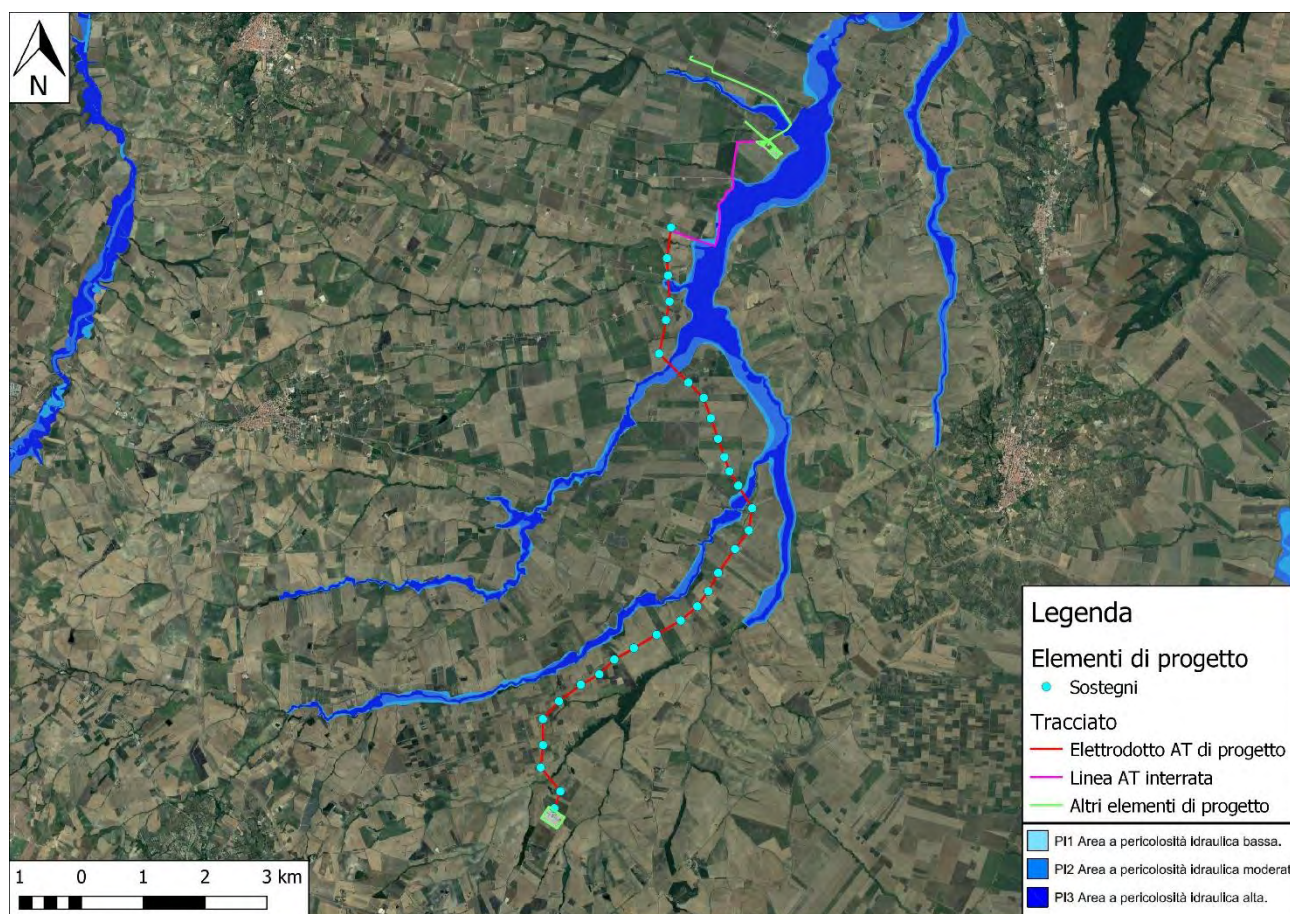


Figura 16 - Tracciato in progetto su carta della pericolosità da alluvione

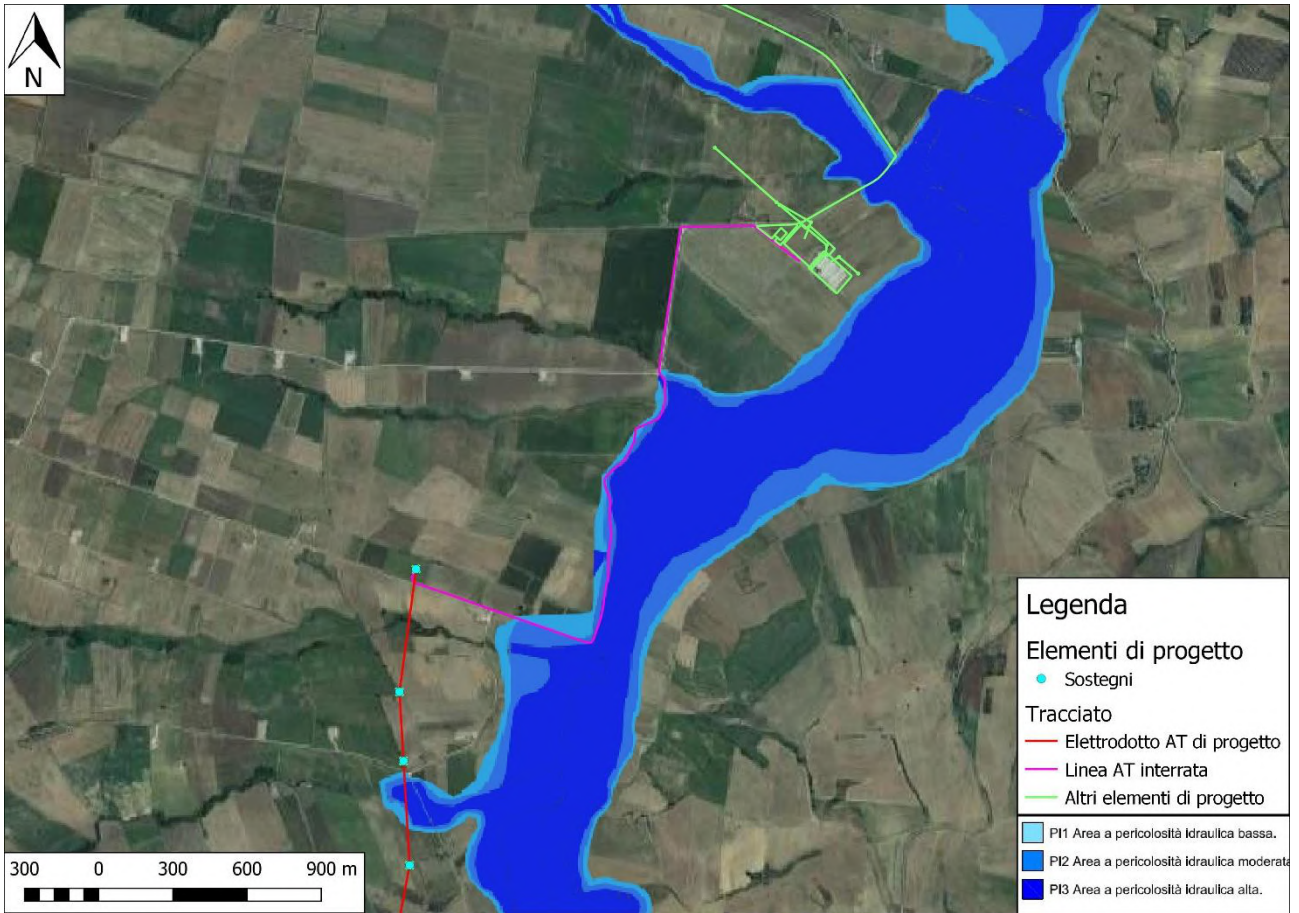


Figure 16B – Dettaglio del tratto di linea AT interrata ricadente all'interno di un'area perimetrata come a pericolosità idraulica

6. CARATTERI GEOLOGICO-TECNICI INDICATIVI

6.1. Prove penetrometriche

Per caratterizzare dal punto di vista geotecnico i terreni dell'area di intervento, e fornire delle indicazioni sui depositi presenti al di sotto del piano campagna, sono state effettuate n. 4 prove penetrometriche dinamiche continue DL-30. Questa tipologia di prova penetrometrica è tipica del territorio italiano, ed è classificabile per l'ISSMFE come una prova di tipo "MEDIO" (DPM).

Le caratteristiche del penetrometro utilizzato sono le seguenti:

- Massa battente $M = 30$ kg;
- Altezza di caduta $H = 0.20$ m;
- Passo di avanzamento $\delta = 10$ cm, punta conica ($\alpha=60^\circ$);
- Diametro $D = 35.7$ mm;
- Area base cono $A=10$ cm²;
- Rivestimento / fango bentonitico: talora previsto.



La prova penetrometrica dinamica consiste nell'infiggere nel terreno una punta conica (per tratti consecutivi δ) misurando il numero di colpi N necessari affinché essa affondi per un determinato spessore (fig. 17).

Le prove DL-30 eseguite, PP1, PP2 e PP3 (fig. 18) hanno consentito di caratterizzare il sottosuolo fino ad una profondità massima di 7.30 m a partire dal piano di indagine, discretizzandolo in una serie di strati a differente comportamento in funzione del numero di colpi misurati durante le fasi di avanzamento con un passo di 0.10 m.

Figura 17 - Realizzazione della prova penetrometrica PP1

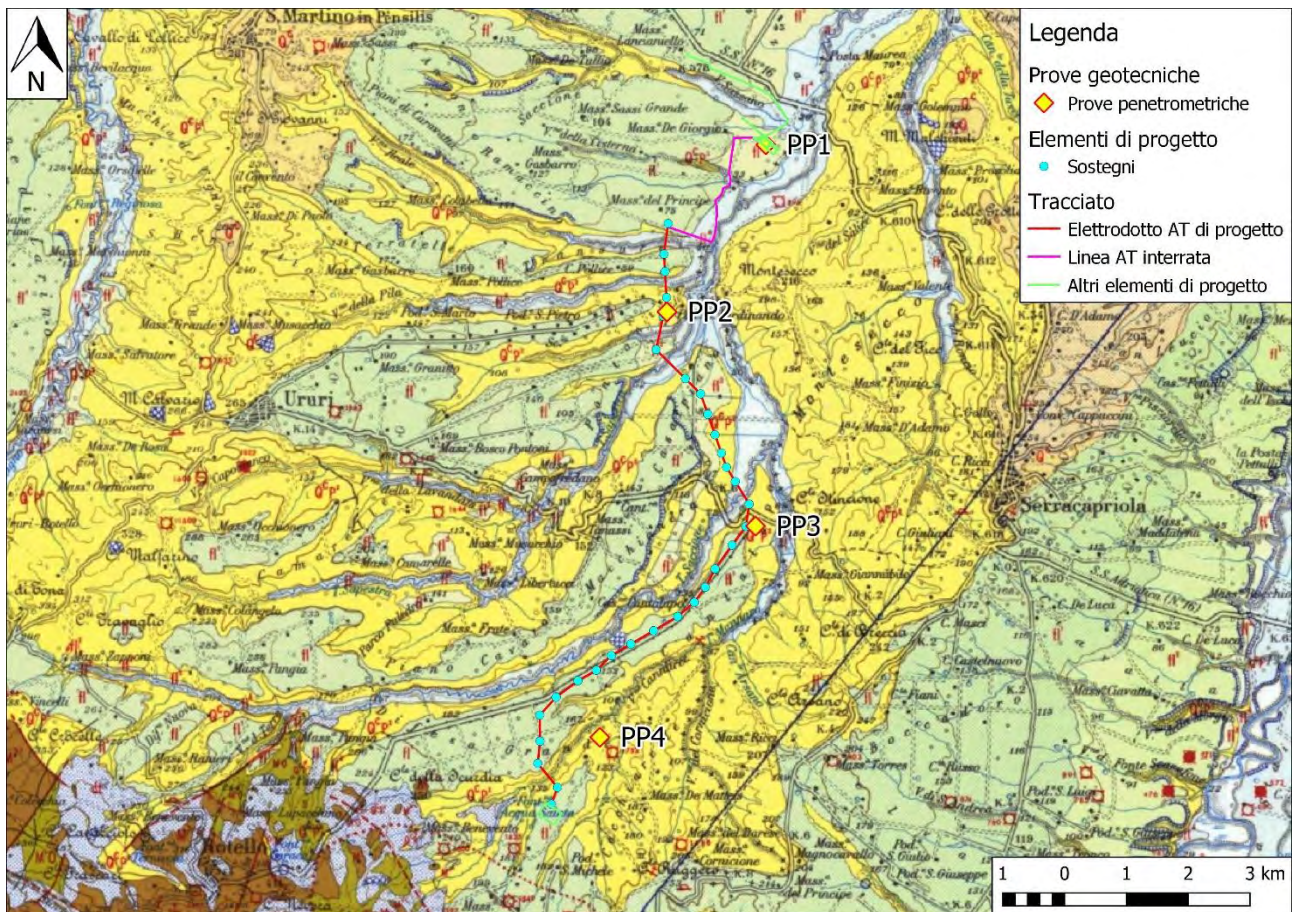


Figura 18 - Ubicazione prove penetrometriche su Carta Geologica

La prova **PP1**, che ha raggiunto la massima profondità di investigazione a 4.3 m, ha evidenziato 3 strati con diverse caratteristiche. Un primo strato avente spessore pari a 0.8 m corrispondente alla copertura vegetale sabbioso limosa, a seguire il secondo strato, avente spessore pari a 1.5 m correlabile ad un deposito di limo argilloso, il terzo strato con uno spessore di almeno 2 m ed è correlabile ad una argilla limosa. Durante la prova non è stata rilevata la presenza di una falda superficiale.

La prova **PP2**, che ha raggiunto la massima profondità di investigazione a 4.3 m, ha evidenziato 3 strati con diverse caratteristiche. Un primo strato avente spessore pari a 1.1 m corrispondente alla copertura vegetale sabbioso limosa, a seguire il secondo strato, avente spessore pari a 2 m correlabile ad un deposito di limo argilloso, il terzo ed ultimo strato, con uno spessore di almeno 1.2 m è correlabile ad un'argilla limosa. Durante la prova non è stata rilevata la presenza di una falda superficiale.

La prova **PP3**, che ha raggiunto la massima profondità di investigazione a 5.2 m, ha evidenziato 3 strati con diverse caratteristiche. Un primo strato avente spessore pari a 1.4 m corrispondente alla copertura vegetale sabbioso limosa, a seguire il secondo strato, avente spessore pari a 1.7 m correlabile ad un deposito di limo argilloso, il terzo ed ultimo strato, con uno spessore di almeno 2.1 m è correlabile ad un'argilla limosa. Durante la prova non è stata rilevata la presenza di una falda superficiale.

La prova **PP4**, che ha raggiunto la massima profondità di investigazione a 4.9 m, ha evidenziato 3 strati con diverse caratteristiche. Un primo strato avente spessore pari a 0.7 m corrispondente alla copertura vegetale sabbioso limosa, il secondo strato avente spessore pari a 1.5 m è correlabile ad un deposito di limo argilloso, il terzo ed ultimo strato, con uno spessore di almeno 2.7 m è correlabile ad un'argilla limosa. Durante la prova non è stata rilevata la presenza di una falda superficiale.

I metodi utilizzati per la realizzazione delle prove e le ricostruzioni grafiche delle stratigrafie incontrate sono contenute all'interno dell'allegato "Prove penetrometriche dinamiche continue - Report San Martino e Rotello (CB)".

Nelle seguenti tabelle (non numerate) sono riportati i valori dei parametri geotecnici stimati attraverso le prove penetrometriche appena descritte e le correlazioni utilizzate. Per la copertura vegetale sono state utilizzate le correlazioni tipiche dei terreni incoerenti, per i restanti strati quelle dei terreni coesivi.

6.2.Prova penetrometrica PP1

Prof. Strato (m)	NPDM	Rd (Kg/cm ²)	Tipo	Peso unità di volume (t/m ³)	Peso unità di volume saturo (t/m ³)	Coeff. di correlaz. con Nspt	NSPT	Descrizione
0.8	5.38	17.95	Incoerente - coesivo	1.71	1.87	0.76	4.09	Sabbia
2.3	15.47	48.01	Incoerente - coesivo	2.01	2.21	0.76	11.77	Limo argilloso
4.3	28.05	80.37	Incoerente - coesivo	2.09	2.31	0.76	21.35	Argilla limosa

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA PP.1

TERRENI COESIVI

Coesione non drenata (Kg/cm²)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Terzaghi-Peck	Sanglerat	Terzaghi-Peck (1948)	U.S.D. M.S.M	Schmertmann 1975	SUNDA (1983)	Fletcher (1965)	Houston (1960)	Shioi - Fukui 1982	Begemann	De Beer
[1] - Sabbia	4.09	0.80	0.26	0.51	0.00	0.17	0.40	0.54	0.37	0.74	0.21	0.63	0.51
[2] - Limo argilloso	11.77	2.30	0.79	1.47	0.00	0.47	1.16	1.44	1.03	1.35	0.59	1.77	1.47
[3] - Argilla limosa	21.35	4.30	1.44	2.67	0.00	0.82	2.11	2.41	1.80	2.21	1.07	3.81	2.67

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Qc (Kg/cm ²)
[1] - Sabbia	4.09	0.80	Robertson (1983)	8.18
[2] - Limo argilloso	11.77	2.30	Robertson (1983)	23.54
[3] - Argilla limosa	21.35	4.30	Robertson (1983)	42.70

Modulo Edometrico (Kg/cm²)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Stroud e Butler (1975)	Vesic (1970)	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	Buisman-Sanglerat
[1] - Sabbia	4.09	0.80	18.77	61.35	43.51	51.13
[2] - Limo argilloso	11.77	2.30	54.00	--	121.84	117.70
[3] - Argilla limosa	21.35	4.30	97.95	--	219.55	213.50

Modulo di Young (Kg/cm²)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Schultze	Apollonia
[1] - Sabbia	4.09	0.80	26.64	40.90
[2] - Limo argilloso	11.77	2.30	114.96	117.70
[3] - Argilla limosa	21.35	4.30	225.13	213.50

Classificazione AGI

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
[1] - Sabbia	4.09	0.80	A.G.I. (1977)	MODERAT. CONSISTENTE
[2] - Limo argilloso	11.77	2.30	A.G.I. (1977)	CONSISTENTE
[3] - Argilla limosa	21.35	4.30	A.G.I. (1977)	MOLTO CONSISTENTE

Peso unità di volume

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m ³)
[1] - Sabbia	4.09	0.80	Meyerhof	1.71
[2] - Limo argilloso	11.77	2.30	Meyerhof	2.01
[3] - Argilla limosa	21.35	4.30	Meyerhof	2.10

Peso unità di volume saturo

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m ³)
[1] - Sabbia	4.09	0.80	Meyerhof	1.87
[2] - Limo argilloso	11.77	2.30	Meyerhof	2.21
[3] - Argilla limosa	21.35	4.30	Meyerhof	2.13

Velocità onde di taglio

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Velocità onde di taglio (m/s)
[1] - Sabbia	4.09	0.80	Ohta & Goto (1978) Limi	73.14
[2] - Limo argilloso	11.77	2.30	Ohta & Goto (1978) Limi	114.05
[3] - Argilla limosa	21.35	4.30	Ohta & Goto (1978) Limi	146.28

TERRENI INCOERENTI

Densità relativa

	NSPT	Prof. Strato (m)	Gibbs & Holtz 1957	Meyerhof 1957	Schultze & Menzenbach (1961)
[1] - Sabbia	4.09	0.80	21.81	48.45	67.77
[2] - Limo argilloso	11.77	2.30	38.52	72.5	77.1
[3] - Argilla limosa	21.35	4.30	49.26	90.95	91.77

Angolo di resistenza al taglio

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Peck-Hanson-Thornburn-Meyerhof of 1956	Meyerhof (1956)	Sowers (1961)	Meyerhof (1965)	Schmertmann (1977) Sabbie	Mitchell & Katti (1981)	Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION)	Japanese National Railway	De Mello	Owasaki & Iwasaki
[1] - Sabbia	4.09	0.80	4.09	28.17	21.17	29.15	33.11	31.28	0	<30	22.83	28.23	31.04
[2] - Limo argilloso	11.77	2.30	11.77	30.36	23.36	31.3	31.7	34.33	38.15	<30	28.29	30.53	39.43
[3] - Argilla limosa	21.35	4.30	21.35	33.1	26.1	33.98	31.75	37.47	40.73	30-32	32.9	33.4	44.06

Modulo di Young (Kg/cm²)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Terzaghi	Schmertmann (1978) (Sabbie)	Schultze-Menzenbach (Sabbia ghiaiosa)	D'Appolloni ed altri 1970 (Sabbia)	Bowles (1982) Sabbia Media
[1] - Sabbia	4.09	0.80	4.09	---	32.72	---	---	---
[2] - Limo argilloso	11.77	2.30	11.77	244.88	94.16	139.59	268.27	133.85
[3] - Argilla limosa	21.35	4.30	21.35	329.81	170.80	252.63	340.12	181.75

Modulo Edometrico (Kg/cm²)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Buisman-Sanglerat (sabbie)	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	Farrent 1963	Menzenbach e Malcev (Sabbia media)
[1] - Sabbia	4.09	0.80	4.09	---	35.87	29.04	56.24
[2] - Limo argilloso	11.77	2.30	11.77	70.62	51.64	83.57	90.49
[3] - Argilla limosa	21.35	4.30	21.35	128.10	71.32	151.59	133.22

Classificazione AGI

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Classificazione AGI
[1] - Sabbia	4.09	0.80	4.09	Classificazione A.G.I	POCO ADDENSATO
[2] - Limo argilloso	11.77	2.30	11.77	Classificazione A.G.I	MODERATAMENTE ADDENSATO
[3] - Argilla limosa	21.35	4.30	21.35	Classificazione A.G.I	MODERATAMENTE ADDENSATO

Peso unità di volume

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unità di Volume (t/m ³)
[1] - Sabbia	4.09	0.80	4.09	Terzaghi-Peck 1948	1.40
[2] - Limo argilloso	11.77	2.30	11.77	Terzaghi-Peck 1948	1.50
[3] - Argilla limosa	21.35	4.30	21.35	Terzaghi-Peck 1948	1.61

Peso unità di volume saturo

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unità Volume Saturo (t/m ³)
[1] - Sabbia	4.09	0.80	4.09	Terzaghi-Peck 1948	1.87
[2] - Limo argilloso	11.77	2.30	11.77	Terzaghi-Peck 1948	1.93
[3] - Argilla limosa	21.35	4.30	21.35	Terzaghi-Peck 1948	2.00

Modulo di Poisson

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Poisson
[1] - Sabbia	4.09	0.80	4.09	(A.G.I.)	0.35
[2] - Limo argilloso	11.77	2.30	11.77	(A.G.I.)	0.33
[3] - Argilla limosa	21.35	4.30	21.35	(A.G.I.)	0.31

Modulo di deformazione a taglio dinamico (Kg/cm²)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Velocità onde di taglio (m/s)
[1] - Sabbia	4.09	0.80	4.09	Ohta & Goto (1978) Limi	73.14
[2] - Limo argilloso	11.77	2.30	11.77	Ohta & Goto (1978) Limi	114.05
[3] - Argilla limosa	21.35	4.30	21.35	Ohta & Goto (1978) Limi	146.28

Liquefazione

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	K0
[1] - Sabbia	4.09	0.80	4.09	Navfac 1971-1982	0.77
[2] - Limo argilloso	11.77	2.30	11.77	Navfac 1971-1982	2.48
[3] - Argilla limosa	21.35	4.30	21.35	Navfac 1971-1982	4.28

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Qc (Kg/cm ²)
[1] - Sabbia	4.09	0.80	4.09	Robertson 1983	8.18
[2] - Limo argilloso	11.77	2.30	11.77	Robertson 1983	23.54
[3] - Argilla limosa	21.35	4.30	21.35	Robertson 1983	42.70

6.3.Prova penetrometrica PP2

Prof. Strato (m)	NPDM	Rd (Kg/cm ²)	Tipo	Peso unità di volume (t/m ³)	Peso unità di volume saturo (t/m ³)	Coeff. di correlaz. con Nspt	NSPT	Descrizione
1.1	6.73	27.45	Incoerente - coesivo	1.77	1.88	0.78	5.27	Sabbia debolmente limosa
3.1	15.3	57.4	Incoerente - coesivo	2.02	2.22	0.78	11.98	Limo argilloso
4.3	30.67	106.71	Incoerente - coesivo	2.11	2.32	0.78	24.01	Argilla limosa

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA PP.2

TERRENI COESIVI

Coesione non drenata (Kg/cm²)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Terzaghi-Peck	Sanglerat	Terzaghi-Peck (1948)	U.S.D. M.S.M	Schmertmann 1975	SUNDA (1983) Benassi e Vannelli	Fletcher (1965) Argilla di Chicago	Houston (1960)	Shioi - Fukui 1982	Begemann	De Beer
[1] - Sabbia deb. limosa	5.27	1.10	0.33	0.66	0.00	0.21	0.51	0.82	0.48	0.83	0.26	0.80	0.66
[2] - Limo argilloso	11.98	3.10	0.81	1.50	0.00	0.48	1.18	1.72	1.05	1.36	0.60	1.69	1.50
[3] - Argilla limosa	24.01	4.30	1.62	3.00	0.00	0.92	2.38	3.20	2.00	2.47	1.20	4.29	3.00

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Qc (Kg/cm ²)
[1] - Sabbia deb. limosa	5.27	1.10	Robertson (1983)	10.54
[2] - Limo argilloso	11.98	3.10	Robertson (1983)	23.96
[3] - Argilla limosa	24.01	4.30	Robertson (1983)	48.02

Modulo Edometrico (Kg/cm²)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Stroud e Butler (1975)	Vesic (1970)	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	Buisman-Sanglerat
[1] - Sabbia debol. limosa	5.27	1.10	24.18	79.05	55.54	65.88
[2] - Limo argilloso	11.98	3.10	54.96	--	123.98	119.80
[3] - Argilla limosa	24.01	4.30	110.16	--	246.68	240.10

Modulo di Young (Kg/cm²)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Schultze	Apollonia
[1] - Sabbia deb. limosa	5.27	1.10	40.21	52.70
[2] - Limo argilloso	11.98	3.10	117.37	119.80
[3] - Argilla limosa	24.01	4.30	255.72	240.10

Classificazione AGI

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
[1] - Sabbia debolmente limosa	5.27	1.10	A.G.I. (1977)	MODERAT. CONSISTENTE
[2] - Limo argilloso	11.98	3.10	A.G.I. (1977)	CONSISTENTE
[3] - Argilla limosa	24.01	4.30	A.G.I. (1977)	MOLTO CONSISTENTE

Peso unità di volume

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m ³)
[1] - Sabbia deb. limosa	5.27	1.10	Meyerhof	1.77
[2] - Limo argilloso	11.98	3.10	Meyerhof	2.02
[3] - Argilla limosa	24.01	4.30	Meyerhof	2.11

Peso unità di volume saturo

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m ³)
[1] - Sabbia deb. limosa	5.27	1.10	Meyerhof	1.88
[2] - Limo argilloso	11.98	3.10	Meyerhof	2.22
[3] - Argilla limosa	24.01	4.30	Meyerhof	2.20

Velocità onde di taglio

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Velocità onde di taglio (m/s)
[1] - Sabbia debolmente limosa	5.27	1.10	Ohta & Goto (1978) Limi	81.26
[2] - Limo argilloso	11.98	3.10	Ohta & Goto (1978) Limi	121.31
[3] - Argilla limosa	24.01	4.30	Ohta & Goto (1978) Limi	152.61

TERRENI INCOERENTI

Densità relativa

	NSPT	Prof. Strato (m)	Gibbs & Holtz 1957	Meyerhof 1957	Schultze & Menzenbach (1961)
[1] - Sabbia deb. limosa	5.27	1.10	25.94	53.99	69.74
[2] - Limo argilloso	11.98	3.10	36.84	69.41	71.47
[3] - Argilla limosa	24.01	4.30	49.14	90.29	89.45

Angolo di resistenza al taglio

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Peck-Hanson-Thornburn-Meyerh of 1956	Meyerh of (1956)	Sowers (1961)	Meyerh of (1965)	Schmertmann (1977) Sabbie	Mitchell & Katti (1981)	Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION)	Japanese National Railway	De Mello	Owasaki & Iwasaki
[1] - Sabbia deb. limosa	5.27	1.10	5.27	28.51	21.51	29.48	32.75	31.78	0	<30	23.89	28.58	33.14
[2] - Limo argilloso	11.98	3.10	11.98	30.42	23.42	31.35	31.03	34.41	37.72	<30	28.41	30.59	39.17
[3] - Argilla limosa	24.01	4.30	24.01	33.86	26.86	34.72	31.26	38.21	40.64	30-32	33.98	34.2	44.47

Modulo di Young (Kg/cm²)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Terzaghi	Schmertmann (1978) (Sabbie)	Schultze-Menzenbach (Sabbia ghiaiosa)	D'Appollonia ed altri 1970 (Sabbia)	Bowles (1982) Sabbia Media
[1] - Sabbia deb. limosa	5.27	1.10	5.27	---	42.16	---	---	---
[2] - Limo argilloso	11.98	3.10	11.98	247.06	95.84	142.06	269.85	134.90
[3] - Argilla limosa	24.01	4.30	24.01	349.76	192.08	284.02	360.08	195.05

Modulo Edometrico (Kg/cm²)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Buisman-Sanglerat (sabbie)	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	Farrent 1963	Menzenbach e Malcev (Sabbia media)
[1] - Sabbia deb. limosa	5.27	1.10	5.27	---	38.29	37.42	61.50
[2] - Limo argilloso	11.98	3.10	11.98	71.88	52.07	85.06	91.43
[3] - Argilla limosa	24.01	4.30	24.01	144.06	76.78	170.47	145.08

Classificazione AGI

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Classificazione AGI
[1] - Sabbia deb. limosa	5.27	1.10	5.27	Classificazione A.G.I	POCO ADDENSATO
[2] - Limo argilloso	11.98	3.10	11.98	Classificazione A.G.I	MODERATAMENTE ADDENSATO
[3] - Argilla limosa	24.01	4.30	24.01	Classificazione A.G.I	MODERATAMENTE ADDENSATO

Peso unità di volume

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unità di Volume (t/m ³)
[1] - Sabbia debolmente limosa	5.27	1.10	5.27	Terzaghi-Peck 1948	1.42
[2] - Limo argilloso	11.98	3.10	11.98	Terzaghi-Peck 1948	1.50
[3] - Argilla limosa	24.01	4.30	24.01	Terzaghi-Peck 1948	1.64

Peso unità di volume saturo

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unità Volume Saturo (t/m ³)
[1] - Sabbia debolmente limosa	5.27	1.10	5.27	Terzaghi-Peck 1948	1.88
[2] - Limo argilloso	11.98	3.10	11.98	Terzaghi-Peck 1948	1.94
[3] - Argilla limosa	24.01	4.30	24.01	Terzaghi-Peck 1948	2.02

Modulo di Poisson

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Poisson
[1] - Sabbia deb. limosa	5.27	1.10	5.27	(A.G.I.)	0.34
[2] - Limo argilloso	11.98	3.10	11.98	(A.G.I.)	0.33
[3] - Argilla limosa	24.01	4.30	24.01	(A.G.I.)	0.31

Modulo di deformazione a taglio dinamico (Kg/cm²)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Velocità onde di taglio (m/s)
[1] - Sabbia deb. limosa	5.27	1.10	5.27	Ohta & Goto (1978) Limi	81.26
[2] - Limo argilloso	11.98	3.10	11.98	Ohta & Goto (1978) Limi	121.31
[3] - Argilla limosa	24.01	4.30	24.01	Ohta & Goto (1978) Limi	152.61

Liquefazione

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	K0
[1] - Sabbia deb. limosa	5.27	1.10	5.27	Navfac 1971-1982	1.05
[2] - Limo argilloso	11.98	3.10	11.98	Navfac 1971-1982	2.52
[3] - Argilla limosa	24.01	4.30	24.01	Navfac 1971-1982	4.72

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Qc (Kg/cm ²)
[1] - Sabbia deb. limosa	5.27	1.10	5.27	Robertson 1983	10.54
[2] - Limo argilloso	11.98	3.10	11.98	Robertson 1983	23.96
[3] - Argilla limosa	24.01	4.30	24.01	Robertson 1983	48.02

6.4.Prova penetrometrica PP3

Prof. Strato (m)	NPDM	Rd (Kg/cm ²)	Tipo	Peso unità di volume (t/m ³)	Peso unità di volume saturo (t/m ³)	Coeff. di correlaz. con Nspt	NSPT	Descrizione
1.4	5.07	20.32	Incoerente - coesivo	1.7	1.87	0.12	0.78	3.97
3.1	14.35	53.51	Incoerente - coesivo	2.00	2.20	0.41	0.78	11.24
5.2	28.76	98.12	Incoerente - coesivo	2.06	2.26	0.58	0.78	22.52

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA PP.3

TERRENI COESIVI

Coesione non drenata (Kg/cm²)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Terzaghi-Peck	Sanglerat	Terzaghi-Peck (1948)	U.S.D. M.S.M	Schmertmann 1975	SUNDA (1983) Benassi e Vanneli	Fletcher (1965) Argilla di Chicago	Houston (1960)	Shioi - Fukui 1982	Begemann	De Beer
[1] - Sabbia debolmente limosa	3.97	1.40	0.25	0.50	0.00	0.16	0.39	0.61	0.36	0.73	0.20	0.54	0.50
[2] - Limo argilloso	11.24	3.10	0.76	1.41	0.00	0.45	1.11	1.61	0.99	1.30	0.56	1.56	1.41
[3] - Argilla limosa	22.52	5.20	1.52	2.82	0.00	0.87	2.23	2.94	1.89	2.32	1.13	4.02	2.82

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Qc (Kg/cm ²)
[1] - Sabbia deb. limosa	3.97	1.40	Robertson (1983)	7.94
[2] - Limo argilloso	11.24	3.10	Robertson (1983)	22.48
[3] - Argilla limosa	22.52	5.20	Robertson (1983)	45.04

Modulo Edometrico (Kg/cm²)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Stroud e Butler (1975)	Vesic (1970)	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	Buisman-Sanglerat
[1] - Sabbia deb. limosa	3.97	1.40	18.21	59.55	42.28	49.63
[2] - Limo argilloso	11.24	3.10	51.57	--	116.43	112.40
[3] - Argilla limosa	22.52	5.20	103.32	--	231.48	225.20

Modulo di Young (Kg/cm²)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Schultze	Apollonia
[1] - Sabbia deb. limosa	3.97	1.40	25.26	39.70
[2] - Limo argilloso	11.24	3.10	108.86	112.40
[3] - Argilla limosa	22.52	5.20	238.58	225.20

Classificazione AGI

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
[1] - Sabbia deb. limosa	3.97	1.40	A.G.I. (1977)	POCO CONSISTENTE
[2] - Limo argilloso	11.24	3.10	A.G.I. (1977)	CONSISTENTE
[3] - Argilla limosa	22.52	5.20	A.G.I. (1977)	MOLTO CONSISTENTE

Peso unità di volume

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m ³)
[1] - Sabbia deb. limosa	3.97	1.40	Meyerhof	1.70
[2] - Limo argilloso	11.24	3.10	Meyerhof	2.00
[3] - Argilla limosa	22.52	5.20	Meyerhof	2.11

Peso unità di volume saturo

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m ³)
[1] - Sabbia deb. limosa	3.97	1.40	Meyerhof	1.87
[2] - Limo argilloso	11.24	3.10	Meyerhof	2.20
[3] - Argilla limosa	22.52	5.20	Meyerhof	2.16

Velocità onde di taglio

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Velocità onde di taglio (m/s)
[1] - Sabbia debolmente limosa	3.97	1.40	Ohta & Goto (1978) Limi	81.06
[2] - Limo argilloso	11.24	3.10	Ohta & Goto (1978) Limi	121.58
[3] - Argilla limosa	22.52	5.20	Ohta & Goto (1978) Limi	154.31

TERRENI INCOERENTI

Densità relativa

	NSPT	Prof. Strato (m)	Gibbs & Holtz 1957	Meyerhof 1957	Schultze & Menzenbach (1961)
[1] - Sabbia deb. limosa	3.97	1.40	20.29	46.24	57.79
[2] - Limo argilloso	11.24	3.10	35.28	66.89	68.81
[3] - Argilla limosa	22.52	5.20	47.96	88.15	87.56

Angolo di resistenza al taglio

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Peck-Hanson-Thornburn-Meyerh of 1956	Meyerh of (1956)	Sowers (1961)	Meyerh of (1965)	Schmertmann (1977) Sabbie	Mitchell & Katti (1981)	Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION)	Japanese National Railway	De Mello	Owasaki & Iwasaki
[1] - Sabbia debolmente limosa	3.97	1.40	3.97	28.13	21.13	29.11	31.86	31.23	0	<30	22.72	28.19	30.58
[2] - Limo argilloso	11.24	3.10	11.24	30.21	23.21	31.15	30.87	34.14	37.36	<30	27.98	30.37	38.57
[3] - Argilla limosa	22.52	5.20	22.52	33.43	26.43	34.31	31.24	37.8	40.34	30-32	33.38	33.76	43.99

Modulo di Young (Kg/cm²)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Terzaghi	Schmertmann (1978) (Sabbie)	Schultze-Menzenbach (Sabbia ghiaiosa)	D'Appolloni ed altri 1970 (Sabbia)	Bowles (1982) Sabbia Media
[1] - Sabbia deb. limosa	3.97	1.40	3.97	---	31.76	---	---	---
[2] - Limo argilloso	11.24	3.10	11.24	239.31	89.92	133.33	264.30	131.20
[3] - Argilla limosa	22.52	5.20	22.52	338.73	180.16	266.44	348.90	187.60

Modulo Edometrico (Kg/cm²)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Buisman-Sanglerat (sabbie)	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	Farrent 1963	Menzenbach e Malcev (Sabbia media)
[1] - Sabbia deb. limosa	3.97	1.40	3.97	---	35.62	28.19	55.71
[2] - Limo argilloso	11.24	3.10	11.24	67.44	50.55	79.80	88.13
[3] - Argilla limosa	22.52	5.20	22.52	135.12	73.72	159.89	138.44

Classificazione AGI

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Classificazione AGI
[1] - Sabbia deb. limosa	3.97	1.40	3.97	Classificazione A.G.I	SCIOLTO
[2] - Limo argilloso	11.24	3.10	11.24	Classificazione A.G.I	MODERATAMENTE ADDENSATO
[3] - Argilla limosa	22.52	5.20	22.52	Classificazione A.G.I	MODERATAMENTE ADDENSATO

Peso unità di volume

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unità di Volume (t/m ³)
[1] - Sabbia deb. limosa	3.97	1.40	3.97	Terzaghi-Peck 1948	1.40
[2] - Limo argilloso	11.24	3.10	11.24	Terzaghi-Peck 1948	1.49
[3] - Argilla limosa	22.52	5.20	22.52	Terzaghi-Peck 1948	1.62

Peso unità di volume saturo

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unità Volume Saturo (t/m ³)
[1] - Sabbia debolmente limosa	3.97	1.40	3.97	Terzaghi-Peck 1948	1.87
[2] - Limo argilloso	11.24	3.10	11.24	Terzaghi-Peck 1948	1.93
[3] - Argilla limosa	22.52	5.20	22.52	Terzaghi-Peck 1948	2.01

Modulo di Poisson

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Poisson
[1] - Sabbia deb. limosa	3.97	1.40	3.97	(A.G.I.)	0.35
[2] - Limo argilloso	11.24	3.10	11.24	(A.G.I.)	0.33
[3] - Argilla limosa	22.52	5.20	22.52	(A.G.I.)	0.31

Modulo di deformazione a taglio dinamico (Kg/cm²)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Velocità onde di taglio (m/s)
[1] - Sabbia deb. limosa	3.97	1.40	3.97	Ohta & Goto (1978) Limi	81.06
[2] - Limo argilloso	11.24	3.10	11.24	Ohta & Goto (1978) Limi	121.58
[3] - Argilla limosa	22.52	5.20	22.52	Ohta & Goto (1978) Limi	154.31

Liquefazione

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	K0
[1] - Sabbia deb. limosa	3.97	1.40	3.97	Navfac 1971-1982	0.75
[2] - Limo argilloso	11.24	3.10	11.24	Navfac 1971-1982	2.36
[3] - Argilla limosa	22.52	5.20	22.52	Navfac 1971-1982	4.48

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Qc (Kg/cm ²)
[1] - Sabbia deb. limosa	3.97	1.40	3.97	Robertson 1983	7.94
[2] - Limo argilloso	11.24	3.10	11.24	Robertson 1983	22.48
[3] - Argilla limosa	22.52	5.20	22.52	Robertson 1983	45.04

6.5. Prova penetrometrica PP4

Prof. Strato (m)	NPDM	Rd (Kg/cm ²)	Tipo	Peso unità di volume (t/m ³)	Peso unità di volume saturo (t/m ³)	Coeff. di correlaz. con Nspt	NSPT	Descrizione
0.7	1	3.34	Incoerente - coesivo	1.46	1.84	0.05	0.76	0.76
2.2	16.87	52.84	Incoerente - coesivo	2.03	2.23	0.25	0.76	12.84
4.9	26.41	74.93	Incoerente - coesivo	2.10	2.34	0.41	0.76	20.1

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA PP.4

TERRENI COESIVI

Coesione non drenata (Kg/cm²)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Terzaghi-Peck	Sanglerat	Terzaghi-Peck (1948)	U.S.D. M.S.M	Schmertmann 1975	SUNDA (1983) Benassi e Vannelli	Fletcher (1965) Argilla di Chicago	Houston (1960)	Shioi - Fukui 1982	Begemann	De Beer
[1] - Sabbia	0.76	0.70	0.05	0.10	0.00	0.03	0.07	0.10	0.07	0.50	0.04	0.06	0.10
[2] - Limo argilloso	12.84	2.20	0.87	1.61	0.00	0.51	1.26	1.59	1.12	1.44	0.64	1.97	1.61
[3] - Argilla limosa	20.1	4.90	1.36	2.51	0.00	0.78	1.99	2.25	1.70	2.09	1.01	3.59	2.51

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Qc (Kg/cm ²)
[1] - Sabbia	0.76	0.70	Robertson (1983)	1.52
[2] - Limo argilloso	12.84	2.20	Robertson (1983)	25.68
[3] - Argilla limosa	20.1	4.90	Robertson (1983)	40.20

Modulo Edometrico (Kg/cm²)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Stroud e Butler (1975)	Vesic (1970)	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	Buisman-Sanglerat
[1] - Sabbia	0.76	0.70	3.49	11.40	9.54	9.50
[2] - Limo argilloso	12.84	2.20	58.91	--	132.75	128.40
[3] - Argilla limosa	20.1	4.90	92.22	--	206.80	201.00

Modulo di Young (Kg/cm²)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Schultze	Apollonia
[1] - Sabbia	0.76	0.70	-11.66	7.60
[2] - Limo argilloso	12.84	2.20	127.26	128.40
[3] - Argilla limosa	20.1	4.90	210.75	201.00

Classificazione AGI

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
[1] - Sabbia	0.76	0.70	A.G.I. (1977)	PRIVO DI CONSISTENZA
[2] - Limo argilloso	12.84	2.20	A.G.I. (1977)	CONSISTENTE
[3] - Argilla limosa	20.1	4.90	A.G.I. (1977)	MOLTO CONSISTENTE

Peso unità di volume

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m³)
[1] - Sabbia	0.76	0.70	Meyerhof	1.46
[2] - Limo argilloso	12.84	2.20	Meyerhof	2.03
[3] - Argilla limosa	20.1	4.90	Meyerhof	2.10

Peso unità di volume saturo

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m³)
[1] - Sabbia	0.76	0.70	Meyerhof	1.84
[2] - Limo argilloso	12.84	2.20	Meyerhof	2.23
[3] - Argilla limosa	20.1	4.90	Meyerhof	2.31

Velocità onde di taglio

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Velocità onde di taglio (m/s)
[1] - Sabbia	0.76	0.70	Ohta & Goto (1978) Limi	53.27
[2] - Limo argilloso	12.84	2.20	Ohta & Goto (1978) Limi	114.3
[3] - Argilla limosa	20.1	4.90	Ohta & Goto (1978) Limi	146.81

TERRENI INCOERENTI

Densità relativa

	NSPT	Prof. Strato (m)	Gibbs & Holtz 1957	Meyerhof 1957	Schultze & Menzenbach (1961)
[1] - Sabbia	0.76	0.70	0	21.12	32.72
[2] - Limo argilloso	12.84	2.20	41.12	77.02	82.99
[3] - Argilla limosa	20.1	4.90	48.43	89.5	90.93

Angolo di resistenza al taglio

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Peck-Hanson-Thornburn-Meyerhof of 1956	Meyerhof of (1956)	Sowers (1961)	Meyerhof of (1965)	Schmertmann (1977) Sabbie	Mitchell & Katti (1981)	Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION)	Japanese National Railway	De Mello	Owasaki & Iwasaki
[1] - Sabbia	0.76	0.70	0.76	27.22	20.22	28.21	31.01	29.82	0	<30	18.38	27.23	16.41
[2] - Limo argilloso	12.84	2.20	12.84	30.67	23.67	31.6	32.11	34.72	38.78	30-32	28.88	30.85	40.32
[3] - Argilla limosa	20.1	4.90	20.1	32.74	25.74	33.63	31.81	37.1	40.53	30-32	32.36	33.03	43.65

Modulo di Young (Kg/cm²)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Terzaghi	Schmertmann (1978) (Sabbie)	Schultze-Menzenbach (Sabbia ghiaiosa)	D'Appolloni ed altri 1970 (Sabbia)	Bowles (1982) Sabbia Media
[1] - Sabbia	0.76	0.70	0.76	---	6.08	---	---	---
[2] - Limo argilloso	12.84	2.20	12.84	255.77	102.72	152.21	276.30	139.20
[3] - Argilla limosa	20.1	4.90	20.1	320.01	160.80	237.88	330.75	175.50

Modulo Edometrico (Kg/cm²)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Buisman-Sanglerat (sabbie)	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	Farrent 1963	Menzenbach e Malcev (Sabbia media)
[1] - Sabbia	0.76	0.70	0.76	---	29.03	5.40	41.39
[2] - Limo argilloso	12.84	2.20	12.84	77.04	53.84	91.16	95.27
[3] - Argilla limosa	20.1	4.90	20.1	120.60	68.75	142.71	127.65

Classificazione AGI

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Classificazione AGI
[1] - Sabbia	0.76	0.70	0.76	Classificazione A.G.I	SCIOLTO
[2] - Limo argilloso	12.84	2.20	12.84	Classificazione A.G.I	MODERATAMENTE ADDENSATO
[3] - Argilla limosa	20.1	4.90	20.1	Classificazione A.G.I	MODERATAMENTE ADDENSATO

Peso unità di volume

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unità di Volume (t/m ³)
[1] - Sabbia	0.76	0.70	0.76	Terzaghi-Peck 1948	1.35
[2] - Limo argilloso	12.84	2.20	12.84	Terzaghi-Peck 1948	1.51
[3] - Argilla limosa	20.1	4.90	20.1	Terzaghi-Peck 1948	1.60

Peso unità di volume saturo

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unità Volume Saturo (t/m ³)
[1] - Sabbia	0.76	0.70	0.76	Terzaghi-Peck 1948	1.84
[2] - Limo argilloso	12.84	2.20	12.84	Terzaghi-Peck 1948	1.94
[3] - Argilla limosa	20.1	4.90	20.1	Terzaghi-Peck 1948	1.99

Modulo di Poisson

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Poisson
[1] - Sabbia	0.76	0.70	0.76	(A.G.I.)	0.35
[2] - Limo argilloso	12.84	2.20	12.84	(A.G.I.)	0.33
[3] - Argilla limosa	20.1	4.90	20.1	(A.G.I.)	0.31

Modulo di deformazione a taglio dinamico (Kg/cm²)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Velocità onde di taglio (m/s)
[1] - Sabbia	0.76	0.70	0.76	Ohta & Goto (1978) Limi	53.27
[2] - Limo argilloso	12.84	2.20	12.84	Ohta & Goto (1978) Limi	114.3
[3] - Argilla limosa	20.1	4.90	20.1	Ohta & Goto (1978) Limi	146.81

Liquefazione

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	K0
[1] - Sabbia	0.76	0.70	0.76	Navfac 1971-1982	-0.04
[2] - Limo argilloso	12.84	2.20	12.84	Navfac 1971-1982	2.69
[3] - Argilla limosa	20.1	4.90	20.1	Navfac 1971-1982	4.07

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Qc (Kg/cm ²)
[1] - Sabbia	0.76	0.70	0.76	Robertson 1983	1.52
[2] - Limo argilloso	12.84	2.20	12.84	Robertson 1983	25.68
[3] - Argilla limosa	20.1	4.90	20.1	Robertson 1983	40.20

7. AZIONI SISMICHE

Le azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati, si definiscono a partire dalla “pericolosità sismica di base” del sito di costruzione. Essa costituisce l’elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche. La pericolosità sismica è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa a_g in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (di categoria **A**), nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente $S_e(T)$, con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza PVR, nel periodo di riferimento VR. In alternativa è ammesso l’uso di accelerogrammi, purché correttamente commisurati alla *pericolosità sismica* del sito.

Ai fini della presente normativa le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento PVR, a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

a_g accelerazione orizzontale massima al sito;

F_0 valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;

T^*C periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

In allegato alla presente norma, per tutti i siti considerati, sono forniti i valori di a_g , F_0 e T^*C necessari per la determinazione delle azioni sismiche.

STATI LIMITE E RELATIVE PROBABILITÀ DI SUPERAMENTO

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

Gli stati limite di esercizio sono:

- **Stato Limite di Operatività (SLO)**: a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, non deve subire danni ed interruzioni d’uso significativi;

- **Stato Limite di Danno (SLD)**: a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, subisce danni tali da non mettere a rischio gli utenti e da non compromettere significativamente la capacità di resistenza e di rigidità nei confronti delle azioni verticali ed orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell’interruzione d’uso di parte delle apparecchiature.

Gli stati limite ultimi sono:

- **Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV)**: a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidità nei confronti delle azioni orizzontali; la

costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidità per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali;

- **Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC)**: a seguito del terremoto la costruzione subisce gravi rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e danni molto gravi dei componenti strutturali; la costruzione conserva ancora un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni orizzontali. Le probabilità di superamento nel periodo di riferimento PVR, cui riferirsi per individuare l'azione sismica agente in ciascuno degli stati limite considerati, sono riportate nella successiva Tab. 3.2.I.

Tabella 3.2.I – Probabilità di superamento P_{V_R} al variare dello stato limite considerato

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

Qualora la protezione nei confronti degli stati limite di esercizio sia di prioritaria importanza, i valori di PVR forniti in tabella devono essere ridotti in funzione del grado di protezione che si vuole raggiungere.

CATEGORIE DI SOTTOSUOLO E CONDIZIONI TOPOGRAFICHE

Categorie di sottosuolo

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, si rende necessario valutare l'effetto della risposta sismica locale mediante specifiche analisi. In assenza di tali analisi, per la definizione dell'azione sismica si può fare riferimento a un approccio semplificato, che si basa sull'individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento che di seguito si riporta:

Tabella 3.2.II – Categorie di sottosuolo

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 uno strato di alterazione, 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* con spessori superiori a 30 m, 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 spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale 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 spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale 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.

Fatta salva la necessità della caratterizzazione geotecnica dei terreni nel volume significativo (Per volume significativo di terreno si intende la parte di sottosuolo influenzata, direttamente o indirettamente, dalla costruzione del manufatto e che influenza il manufatto stesso), ai fini della identificazione della categoria di sottosuolo, la classificazione si effettua in base ai valori della velocità equivalente $V_{s,30}$ di propagazione delle onde di taglio (definita successivamente) entro i primi 30 m di profondità. Per le fondazioni superficiali, tale profondità è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali. Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell'opera. Per muri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano di imposta della fondazione. La misura diretta della velocità di propagazione delle onde di taglio è fortemente raccomandata. Nei casi in cui tale determinazione non sia disponibile, la classificazione può essere effettuata in base ai valori del numero equivalente di colpi della prova penetrometrica dinamica (*Standard Penetration Test*) NSPT₃₀ (definito successivamente) nei terreni prevalentemente a grana grossa e della resistenza non drenata equivalente $c_{u,30}$ (definita successivamente) nei terreni prevalentemente a grana fina. Per queste cinque categorie di sottosuolo, le azioni sismiche sono definite al § 3.2.3 delle presenti norme D.M. 17/01/2018.

La velocità equivalente delle onde di taglio $V_{s,eq}$ è definita dall'espressione:

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

Condizioni topografiche

Per condizioni topografiche complesse è necessario predisporre specifiche analisi di risposta sismica locale. Per configurazioni superficiali semplici si può adottare la seguente classificazione:

Tabella 3.2.IV – Categorie topografiche

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

Le suesposte categorie topografiche si riferiscono a configurazioni geometriche prevalentemente bidimensionali, creste o dorsali allungate, e devono essere considerate nella definizione dell'azione sismica se di altezza maggiore di 30 m.

VALUTAZIONE DELL'AZIONE SISMICA

Descrizione del moto sismico in superficie e sul piano di fondazione

Ai fini delle presenti norme l'azione sismica è caratterizzata da 3 componenti traslazionali, due orizzontali contrassegnate da X ed Y ed una verticale contrassegnata da Z, da considerare tra di loro indipendenti. Salvo quanto specificato nel § 7.11 del D.M. per le opere e i sistemi geotecnici la componente verticale verrà considerata ove espressamente specificato (v. Cap. 7) e purché il sito nel quale la costruzione sorge non sia in Zone 3 e 4.

Le componenti possono essere descritte, in funzione del tipo di analisi adottata, mediante una delle seguenti rappresentazioni:

- accelerazione massima attesa in superficie;
- accelerazione massima e relativo spettro di risposta attesi in superficie;
- accelerogramma.

Sulla base di apposite analisi di risposta sismica locale si può poi passare dai valori in superficie ai valori sui piani di riferimento; in assenza di tali analisi l'azione in superficie può essere assunta come agente su tali piani.

Le due componenti ortogonali indipendenti che descrivono il moto orizzontale sono caratterizzate dallo stesso spettro di risposta o dalle due componenti accelerometriche orizzontali del moto sismico. La componente che descrive il moto verticale è caratterizzata dal suo spettro di risposta o dalla componente accelerometrica verticale. In mancanza di documentata informazione specifica, in via semplificata l'accelerazione massima e lo spettro di risposta della componente verticale attesa in superficie possono essere determinati sulla base dell'accelerazione massima e dello spettro di risposta delle due componenti orizzontali. La componente accelerometrica verticale può essere correlata alle componenti accelerometriche orizzontali del moto sismico.

Spettro di risposta elastico in accelerazione

Lo spettro di risposta elastico in accelerazione è espresso da una forma spettrale (spettro normalizzato) riferita ad uno smorzamento convenzionale del 5%, moltiplicata per il valore della accelerazione orizzontale massima ag su sito di riferimento rigido orizzontale. Sia la forma spettrale che il valore di ag variano al variare della probabilità di superamento nel periodo di riferimento PVR.

Gli spettri così definiti possono essere utilizzati per strutture con periodo fondamentale minore o uguale a 4,0 s. Per strutture con periodi fondamentali superiori lo spettro deve essere definito da apposite analisi ovvero l'azione sismica deve essere descritta mediante accelerogrammi.

Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali

Qualche che sia la probabilità di superamento nel periodo di riferimento PVR considerata, lo spettro di risposta elastico della componente orizzontale è definito dalle espressioni seguenti:

$$0 \leq T < T_B \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_o} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left(\frac{T_C T_D}{T^2} \right)$$

nelle quali T ed S_e sono, rispettivamente, periodo di vibrazione ed accelerazione spettrale orizzontale. Nelle formuli precedentemente descritte inoltre S è il coefficiente che tiene conto della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche mediante la relazione seguente

$$S = SS \cdot ST, \quad (3.2.5)$$

essendo **SS** il coefficiente di amplificazione stratigrafica e **ST** il coefficiente di amplificazione topografica;

η è il fattore che altera lo spettro elastico per coefficienti di smorzamento viscosi convenzionali ξ diversi dal 5%, mediante la relazione

$$\eta = \sqrt{10/(5 + \xi)} \geq 0,55,$$

dove ξ (espresso in percentuale) è valutato sulla base di materiali, tipologia strutturale e terreno di fondazione;

F_o è il fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima, su sito di riferimento rigido orizzontale, ed ha valore minimo pari a 2,2;

T_C è il periodo corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante dello spettro, dato da

$$T^*C = CC \cdot TC, \quad (3.2.7)$$

dove *

T^*C periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale e CC è un coefficiente funzione della categoria di sottosuolo (vedi Tab. 3.2.V);

T_B è il periodo corrispondente all'inizio del tratto dello spettro ad accelerazione costante,

$$T_B = TC / 3, \quad (3.2.8)$$

TD è il periodo corrispondente all'inizio del tratto a spostamento costante dello spettro, espresso in secondi mediante la relazione:

$$T_D = 4,0 \cdot \frac{a_g}{g} + 1,6.$$

Per categorie speciali di sottosuolo, per determinati sistemi geotecnici o se si intenda aumentare il grado di accuratezza nella previsione dei fenomeni di amplificazione, le azioni sismiche da considerare nella progettazione possono essere determinate mediante più rigorose analisi di risposta sismica locale. Queste analisi presuppongono un'adeguata conoscenza delle proprietà geotecniche dei terreni e, in particolare, delle relazioni sforzi-deformazioni in campo ciclico, da determinare mediante specifiche indagini e prove. In mancanza di tali determinazioni, per le componenti orizzontali del moto e per le categorie di sottosuolo di fondazione definite nel § 3.2.2 del D.M., la forma spettrale su sottosuolo di categoria **A** è modificata attraverso il coefficiente stratigrafico SS, il coefficiente topografico ST e il coefficiente CC che modifica il valore del periodo TC .

Amplificazione stratigrafica

Per sottosuolo di categoria **A** i coefficienti SS e CC valgono 1.

Per le categorie di sottosuolo **B**, **C**, **D** ed **E** i coefficienti SS e CC possono essere calcolati, in funzione dei valori di OF e T*C relativi al sottosuolo di categoria **A**, mediante le espressioni fornite nella Tab. 3.2.V, nelle quali g è l'accelerazione di gravità ed il tempo è espresso in secondi.

Tabella 3.2.V – Espressioni di S_s e di C_c

Categoria sottosuolo	S _s	C _c
A	1,00	1,00
B	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,20$	$1,10 \cdot (T_C^*)^{-0,20}$
C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,50$	$1,05 \cdot (T_C^*)^{-0,33}$
D	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,80$	$1,25 \cdot (T_C^*)^{-0,50}$
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,60$	$1,15 \cdot (T_C^*)^{-0,40}$

Amplificazione topografica

Per tener conto delle condizioni topografiche e in assenza di specifiche analisi di risposta sismica locale, si utilizzano i valori del coefficiente topografico S_T riportati nella Tab. 3.2.VI, in funzione delle categorie topografiche definite in § 3.2.2 e dell'ubicazione dell'opera o dell'intervento.

Tabella 3.2.VI – Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica S_T

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	S_T
T1	-	1,0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,2
T4	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,4

La variazione spaziale del coefficiente di amplificazione topografica è definita da un decremento lineare con l'altezza del pendio o rilievo, dalla sommità o cresta fino alla base dove S_T assume valore unitario.

Spettro di risposta elastico in accelerazione della componente verticale

Lo spettro di risposta elastico in accelerazione della componente verticale è definito dalle espressioni seguenti:

$$0 \leq T < T_B \quad S_{ve}(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_v} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_{ve}(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_{ve}(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_{ve}(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left(\frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right)$$

nelle quali T e S_{ve} sono, rispettivamente, periodo di vibrazione ed accelerazione spettrale verticale e F_v è il fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima, in termini di accelerazione orizzontale massima del terreno a_g su sito di riferimento rigido orizzontale, mediante la relazione:

$$F_v = 1,35 \cdot F_0 \cdot \left(\frac{a_{ng}}{g} \right)^{0,5}$$

I valori di a_g , F_0 , S , \cdot sono definiti nel § 3.2.3.2.1 del D.M. per le componenti orizzontali; i valori di S_S , T_B , T_C e T_D , salvo più accurate determinazioni, sono quelli riportati nella Tab. 3.2.VII.

Tabella 3.2.VII – Valori dei parametri dello spettro di risposta elastico della componente verticale

Categoria di sottosuolo	S_S	T_B	T_C	T_D
A, B, C, D, E	1,0	0,05 s	0,15 s	1,0 s

Per tener conto delle condizioni topografiche, in assenza di specifiche analisi si utilizzano i valori del coefficiente topografico S_T riportati in Tab. 3.2.VI.

Spettro di risposta elastico in spostamento delle componenti orizzontali

Lo spettro di risposta elastico in spostamento delle componenti orizzontali $S_{De}(T)$ si ricava dalla corrispondente risposta in accelerazione $S_e(T)$ mediante la seguente espressione:

$$S_{De}(T) = S_e(T) \times \left(\frac{T}{2\pi} \right)^2$$

purché il periodo di vibrazione T non ecceda i valori T_E indicati in Tab. 3.2.VIII.

Tabella 3.2.VIII – Valori dei parametri T_E e T_F

Categoria sottosuolo	T_E [s]	T_F [s]
A	4,5	10,0
B	5,0	10,0
C, D, E	6,0	10,0

Per periodi di vibrazione eccedenti T_E , le ordinate dello spettro possono essere ottenute dalle formule seguenti:

per $T_E < T < T_F$

$$S_{De}(T) = 0,025 \cdot a_g \cdot S \cdot T_C \cdot T_D \cdot \left[F_0 \cdot \eta + (1 - F_0 \cdot \eta) \cdot \frac{T - T_E}{T_F - T_E} \right]$$

per $T > T_F$

$$S_{De}(T) = d_g$$

dove tutti i simboli sono già stati definiti, ad eccezione di d_g , definito nel paragrafo successivo.

Spostamento orizzontale e velocità orizzontale del terreno

I valori dello spostamento orizzontale d_g e della velocità orizzontale v_g massimi del terreno sono dati dalle seguenti espressioni:

$$d_g = 0,025 \cdot a_g \cdot S \cdot TC \cdot TD$$

$$v_g = 0,16 \cdot a_g \cdot S \cdot TC$$

dove a_g , S , TC , TD assumono i valori già utilizzati al § 3.2.3.2.1 del D.M..

Spettri di progetto per gli stati limite di esercizio

Per gli stati limite di esercizio lo spettro di progetto $S_d(T)$ da utilizzare, sia per le componenti orizzontali che per la componente verticale, è lo spettro elastico corrispondente, riferito alla probabilità di superamento nel periodo di riferimento PVR considerata.

Spettri di progetto per gli stati limite ultimi

Qualora le verifiche agli stati limite ultimi non vengano effettuate tramite l'uso di opportuni accelerogrammi ed analisi dinamiche al passo, ai fini del progetto o della verifica delle strutture le capacità dissipative delle strutture possono essere messe in conto attraverso una riduzione delle forze elastiche, che tiene conto in modo semplificato della capacità dissipativa anelastica della struttura, della sua sovrarresistenza, dell'incremento del suo periodo proprio a seguito delle plasticizzazioni. In tal caso, lo spettro di progetto $S_d(T)$ da utilizzare, sia per le componenti orizzontali, sia per la componente verticale, è lo spettro elastico corrispondente riferito alla probabilità di superamento nel periodo di riferimento PVR considerata, con le ordinate ridotte sostituendo nelle formule \cdot con $1/q$, dove q è il fattore di struttura si assumerà comunque $S_d(T) \geq 0,2a_g$.

Impiego di accelerogrammi

Gli stati limite, ultimi e di esercizio, possono essere verificati mediante l'uso di accelerogrammi, o artificiali o simulati o naturali. Ciascun accelerogramma descrive una componente, orizzontale o verticale, dell'azione sismica; l'insieme delle tre componenti (due orizzontali, tra loro ortogonali ed una verticale) costituisce un gruppo di accelerogrammi.

La durata degli accelerogrammi artificiali deve essere stabilita sulla base della magnitudo e degli altri parametri fisici che determinano la scelta del valore di a_g e di SS . In assenza di studi specifici la durata della parte pseudo-stazionaria degli accelerogrammi deve essere almeno pari a 10 s; la parte pseudo-stazionaria deve essere preceduta e seguita da tratti di ampiezza crescente da zero e decrescente a zero, di modo che la durata complessiva dell'accelerogramma sia non inferiore a 25 s. Gli accelerogrammi artificiali devono avere uno spettro di risposta elastico coerente con lo spettro di risposta adottato nella progettazione. La coerenza con lo spettro elastico è da verificare in base alla media delle ordinate spettrali ottenute con i diversi accelerogrammi, per un coefficiente di smorzamento viscoso equivalente ζ del 5%. L'ordinata spettrale media non deve presentare uno

scarto in difetto superiore al 10%, rispetto alla corrispondente componente dello spettro elastico, in alcun punto del maggiore tra gli intervalli $0,15s \div 2,0s$ e $0,15s \div 2T$, in cui T è il periodo fondamentale di vibrazione della struttura in campo elastico, per le verifiche agli stati limite ultimi, e $0,15 s \div 1,5 T$, per le verifiche agli stati limite di esercizio. Nel caso di costruzioni con isolamento sismico, il limite superiore dell'intervallo di coerenza è assunto pari a $1,2 T_s$, essendo T_s il periodo equivalente della struttura isolata, valutato per gli spostamenti del sistema d'isolamento prodotti dallo stato limite in esame. L'uso di accelerogrammi artificiali non è ammesso nelle analisi dinamiche di opere e sistemi geotecnici. L'uso di accelerogrammi generati mediante simulazione del meccanismo di sorgente e della propagazione è ammesso a condizione che siano adeguatamente giustificate le ipotesi relative alle caratteristiche sismogenetiche della sorgente e del mezzo di propagazione. L'uso di accelerogrammi registrati è ammesso, a condizione che la loro scelta sia rappresentativa della sismicità del sito e sia adeguatamente giustificata in base alle caratteristiche sismogenetiche della sorgente, alle condizioni del sito di registrazione, alla magnitudo, alla distanza dalla sorgente e alla massima accelerazione orizzontale attesa al sito. Gli accelerogrammi registrati devono essere selezionati e scalati in modo da approssimare gli spettri di risposta nel campo di periodi di interesse per il problema in esame.

PERICOLOSITA' SISMICA

Ai fini di una valutazione dell'azione sismica indotta da un terremoto su strutture esistenti o in fase progettuale per il controllo del grado di danneggiamento che potrebbe verificarsi, è utile definire, per l'area di interesse, il livello di "pericolosità sismica di base", riferita ad un suolo rigido con superficie topografica orizzontale e derivante da studi condotti a scala nazionale con procedure e metodologie validate. Detta pericolosità sismica va descritta in modo tale da renderla compatibile con le norme tecniche vigenti ed occorre dotarla di un sufficiente livello di dettaglio sia in termini geografici sia temporali, fornendo, i valori di accelerazione orizzontale massima a_g e i parametri che consentono di fornire gli spettri di risposta per diverse probabilità di superamento in 50 anni. Quest'ultima informazione consente di adottare, sia nella progettazione sia nella verifica delle costruzioni, valori dell'azione sismica meglio correlati alla pericolosità sismica del sito, alla vita nominale della struttura e all'uso cui essa è destinata, permettendo in tal modo, soluzioni più agevoli del problema progettuale con significative economie. Allo stato attuale, la pericolosità sismica sul reticolo e nell'intervallo di riferimento è fornita dai dati pubblicati dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) in cui, i valori di a_g riportati sono quelli calcolati dal Gruppo di Lavoro MPS (2004) che ha redatto la carta di Pericolosità Sismica prevista dall'Ordinanza PCM 3274 del 20 marzo 2003. Le azioni sismiche di progetto si ricavano dalle accelerazioni a_g e dalle relative forme spettrali le quali vengono definite in funzione di tre parametri:

a_g – accelerazione orizzontale massima del terreno

F_0 – valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro di accelerazione orizzontale

T^*c – periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Per ciascun nodo del reticolo di riferimento e per ciascuno dei periodi di ritorno TR considerati dalla pericolosità sismica, i tre parametri si ricavano riferendosi ai valori corrispondenti al 50esimo percentile ed attribuendo a:

. **ag** - il valore previsto dalla pericolosità sismica,

. **F₀** e **T*c** – i valori ottenuti imponendo che le forme spettrali in accelerazione, velocità e spostamento previste dalle NTC scartino al minimo dalle corrispondenti forme spettrali previste dalla pericolosità sismica.

Le forme spettrali previste dalle NTC sono caratterizzate da prescelte probabilità di superamento e vite di riferimento. A tal fine, per individuare a partire dai dati di pericolosità sismica disponibili, le corrispondenti azioni sismiche, occorre fissare:

- la vita di riferimento VR della costruzione

- le probabilità di superamento nella vita di riferimento PvR associate a ciascuno degli stati limite considerati. Detta operazione deve essere possibile per tutte le vie di riferimento e per tutti gli stati limite considerati dalle NTC, utilizzando, come parametro caratterizzante la pericolosità sismica, il periodo di ritorno dell'azione sismica TR espresso in anni.

Fissata, quindi, la vita di riferimento VR, i due parametri TR e PvR sono esprimibili, l'uno in funzione dell'altro, mediante l'espressione:

$$TR = VR / [\ln (1- PvR)]$$

Criteri generali di classificazione

Al fine di trattare i problemi tecnico-amministrativi tipici della gestione del territorio, ogni Regione ha definito l'appartenenza di ciascun Comune o parte di esso, ad una determinata zona sismica, sulla base del valore massimo di un parametro di pericolosità sismica opportunamente valutato, all'interno dell'area considerata.

In particolare è stato utilizzato il valore dell'accelerazione orizzontale massima al suolo **ag₄₇₅**, ossia quella relativa al 50esimo percentile, ad una vita di riferimento di 50 anni ed una probabilità di superamento del 10%.

In tal modo, il territorio nazionale è stato suddiviso in quattro zone sismiche così definite, con una tolleranza di 0,025 g che permetta di rendere più continua la classificazione sul territorio:

zona 1 - ricadono in questa zona i comuni o parti di essi per i quali $ag_{475} \geq 0,25g$.

zona 2 - ricadono in questa zona i comuni o parti di essi per i quali $0,25 > ag_{475} \geq 0,15g$.

zona 3 - ricadono in questa zona i comuni o parti di essi per i quali $0,15 > ag_{475} \geq 0,05g$.

zona 4 - ricadono in questa zona i comuni o parti di essi per i quali $ag_{475} < 0,05g$.

8. CLASSIFICAZIONE SISMICA DEL SUOLO DI FONDAZIONE

I riferimenti legislativi in materia di costruzioni in zona sismica e classificazione sismica del territorio nazionale, in tema di “Microzonazione sismica”, hanno suddiviso il territorio nazionale in quattro “Zone sismiche” caratterizzate da differenti valori di “accelerazione orizzontale massima” su suolo di categoria A. Sulla base dell’O.P.C.M. n° 3274 del 20/03/03, i comuni di San Martino in Pensilis e Rotello risultano essere classificati in **Zona 2**. Tale Ordinanza, ripresa dal DM del 17 gennaio 2018, contempla, per la definizione delle azioni sismiche di progetto, cinque categorie principali di terreno di fondazione, individuate dai valori della velocità media delle onde di taglio ($V_{s,eq}$) non più necessariamente fino alla profondità di 30 m (come era nelle NTC precedenti a quella del 2018), ma alla reale profondità del bedrock, ovvero, alla profondità di quella formazione rocciosa o terreno molto rigido, caratterizzato da V_s non inferiore a 800m/s, pertanto la profondità del bedrock varierà di volta in volta a seconda dell’assetto geologico del sottosuolo.

La classificazione è effettuata principalmente sulla base della seguente espressione:

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

Dove N è il numero di strati individuabili nei primi metri di suolo, ciascuno caratterizzato dallo spessore $h(strato)$ e dalla velocità delle onde S $V_s(strato)$. Per H si intende la profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_s non inferiore a 800 m/s.

9. SISMICITÀ DELLA ZONA E DETERMINAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA

9.1. Inquadramento Sismico

Per valutare la sismicità storica dei comuni di San Martino in Pensilis e Rotello sono stati estratti dal catalogo parametrico prodotto dall' Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia i terremoti che hanno interessato le aree comunali dall'anno 1000 al 2012 (fig. 19).

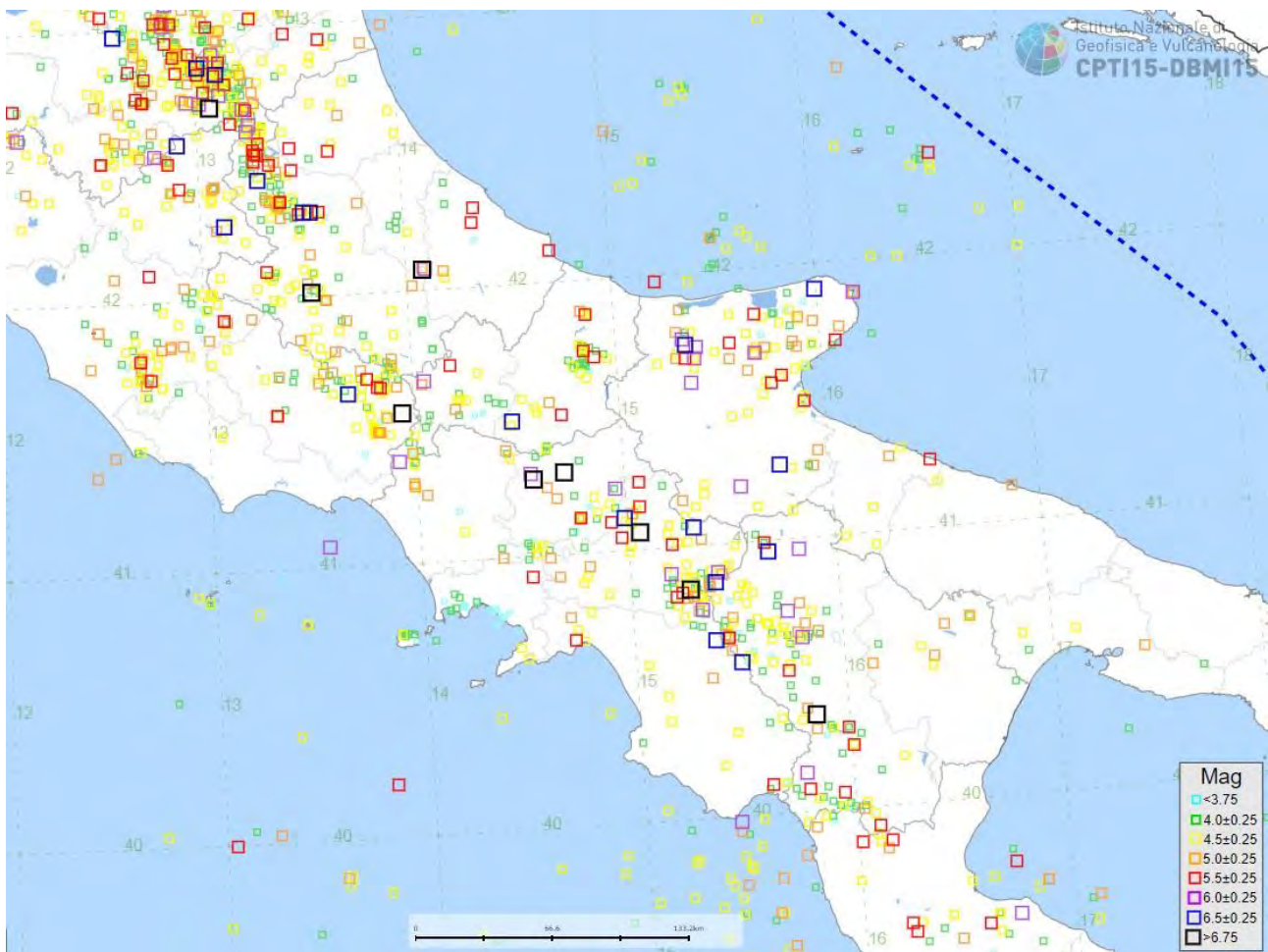


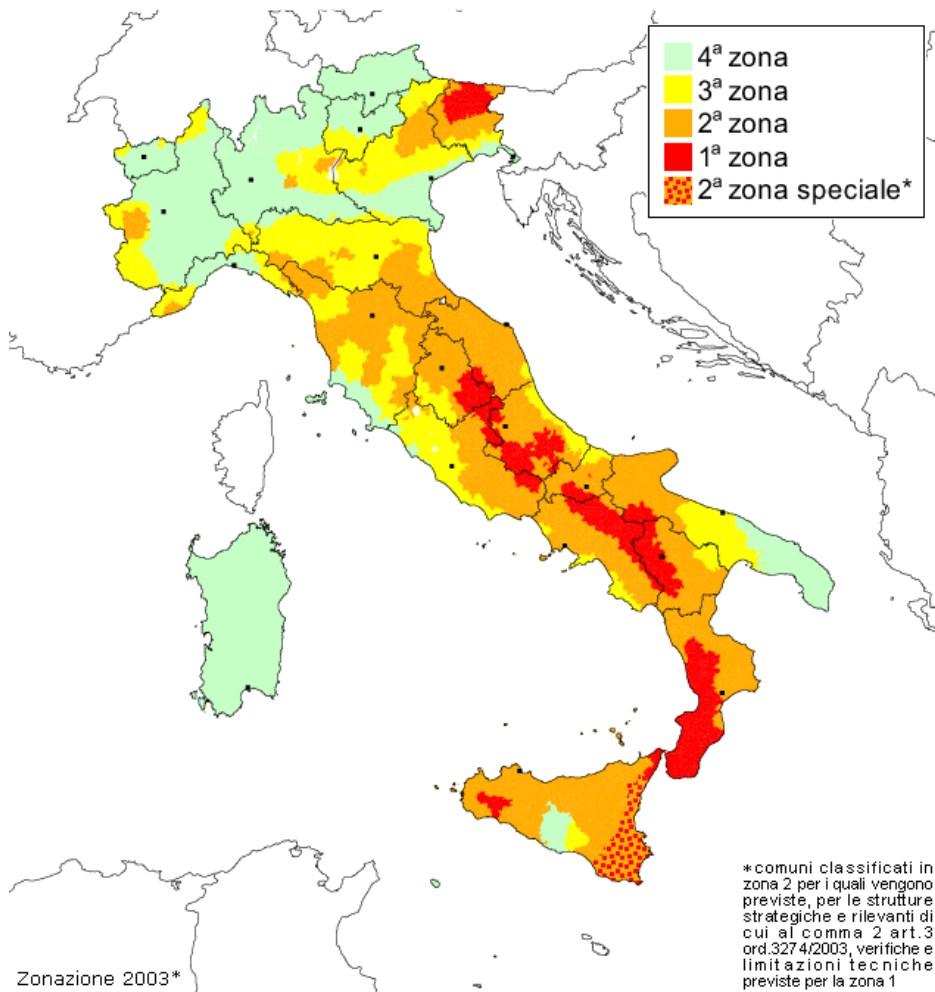
Figura 19 - Ubicazione epicentri terremoti

Come è ben visibile nella figura gli epicentri dei terremoti sono concentrati principalmente nella zona Appenninica, la quale risulta essere un'area altamente sismica. Di questi, alcuni, che hanno presentato magnitudo elevate, sono stati avvertiti nei territori comunali: il terremoto dell'Irpinia del 23 novembre 1980 con magnitudo di 6.8, che corrisponde all'incirca al X-XI grado della scala MCS (Mercalli, Cancani, Sieberg) è stato avvertito distintamente. Il sisma dell'Irpinia interessò un'area di circa 3.500 Km².

Oltre questo, sono stati sentiti distintamente nei territori comunali, elencati in ordine cronologico, i terremoti dell'Isernino nel 1882, del Gargano nel 1889, del Tavoliere delle Puglie nel 1905, dell'Irpinia-Basilicata nel 1910, dell'Irpinia nel 1962, e del Molise del 2002.

Come è possibile notare in figura 19, nelle vicinanze della zona di studio vi sono alcuni epicentri di terremoti che hanno superato il valore di magnitudo di 5.5.

In riferimento all' OPCM n° 3274 del 20/03/2003 e successive modifiche che hanno definito i "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica" (GU n. 105 del 8-5-2003- Suppl. Ordinario n.72), il territorio nazionale è stato suddiviso in 4 zone sismiche omogenee (fig. 20).



CATEGORIE	ACCELERAZIONE ORIZZONTALE CON PROBABILITÀ DI SUPERAMENTO PARI AL 10% IN 50 ANNI AG/G	ACCELERAZIONE ORIZZONTALE DI ANCORAGGIO DELLO SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICO (NORME TECNICHE) AG/G
1	>0.25	0.35
2	0.15-0.25	0.25
3	0.05-0.15	0.15
4	<0.05	0.05

Livelli energetici delle Azioni sismiche previste dall'OPCM 3274/03 per le varie Zone

Figura 20 - Distribuzione delle categorie sismiche sul territorio nazionale (OPCM n°3274 /03)

Ai comuni di San Martino in Pensilis e Rotello è stata attribuita la Categoria 2^a, ad **alto rischio sismico**. Ad ognuna di queste zone corrisponde un'accelerazione (ag) di riferimento variabile da 0.35 g nella prima zona, fino a 0.05 g nella quarta zona. Nelle figure sottostanti sono riportate le accelerazioni per ogni zona omogenea di riferimento (fig. 21, 22 e 23).

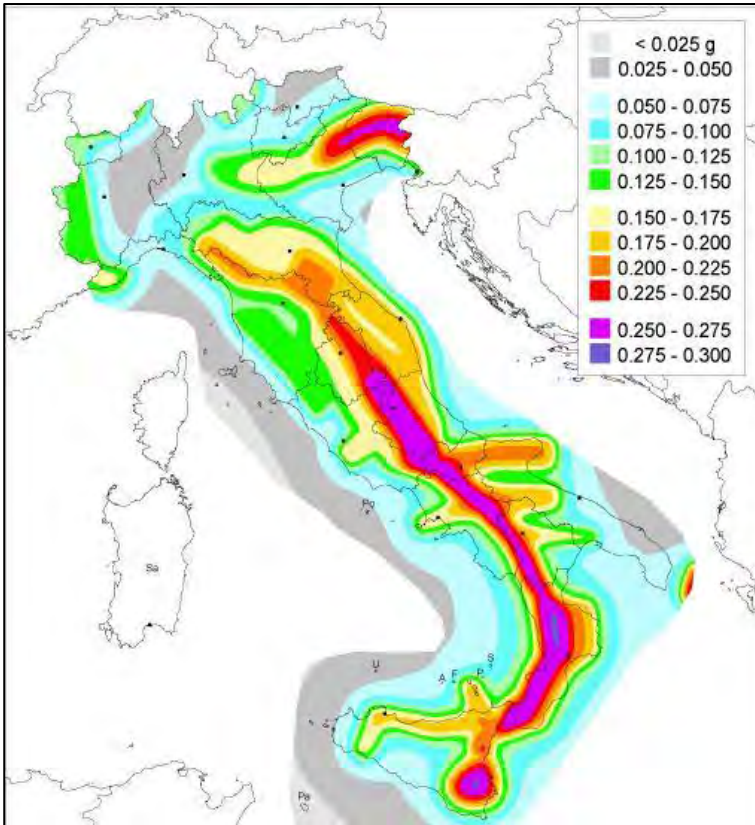


Figura 21 - Distribuzione delle accelerazioni ag per ogni zona omogenea di riferimento (OPCM n°3519 /06) Italia

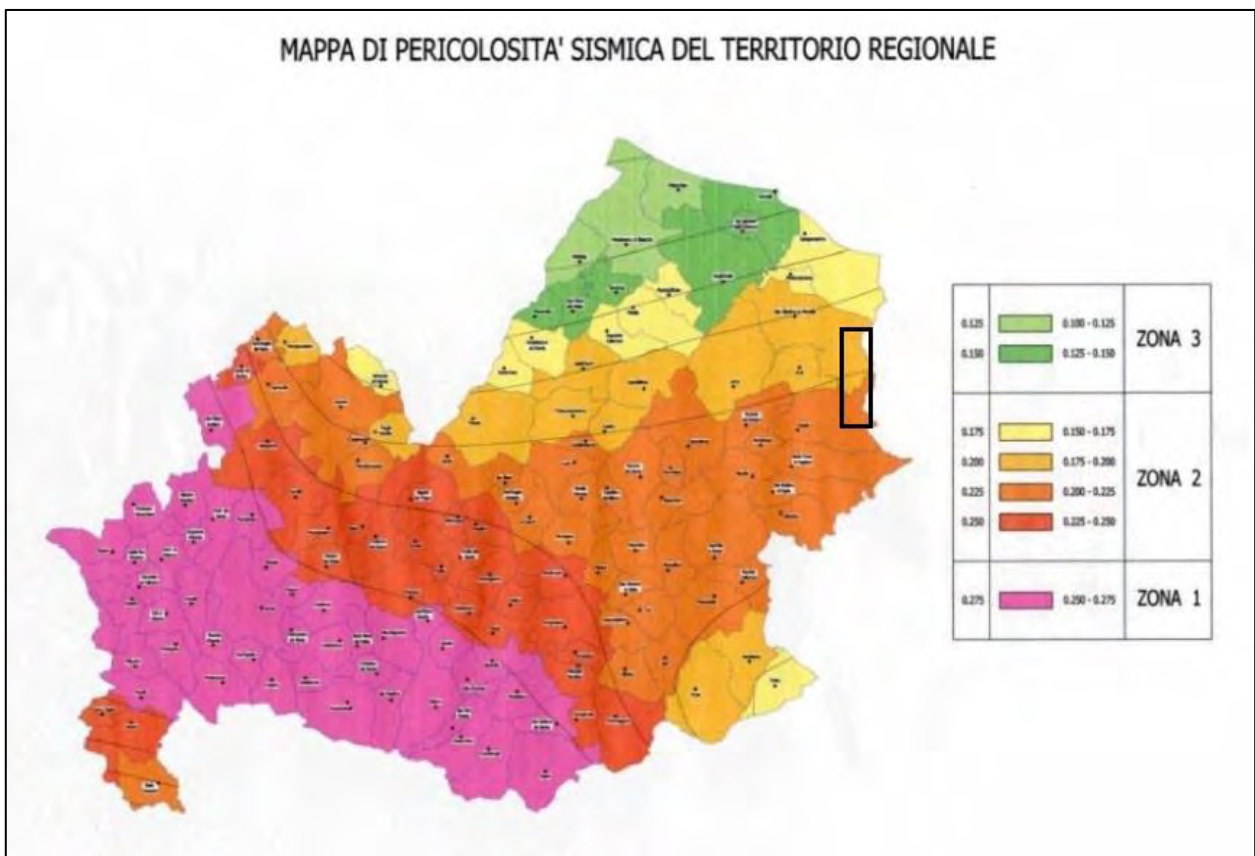


Figura 22 - Distribuzione delle accelerazioni ag per ogni zona omogenea di riferimento - Molise

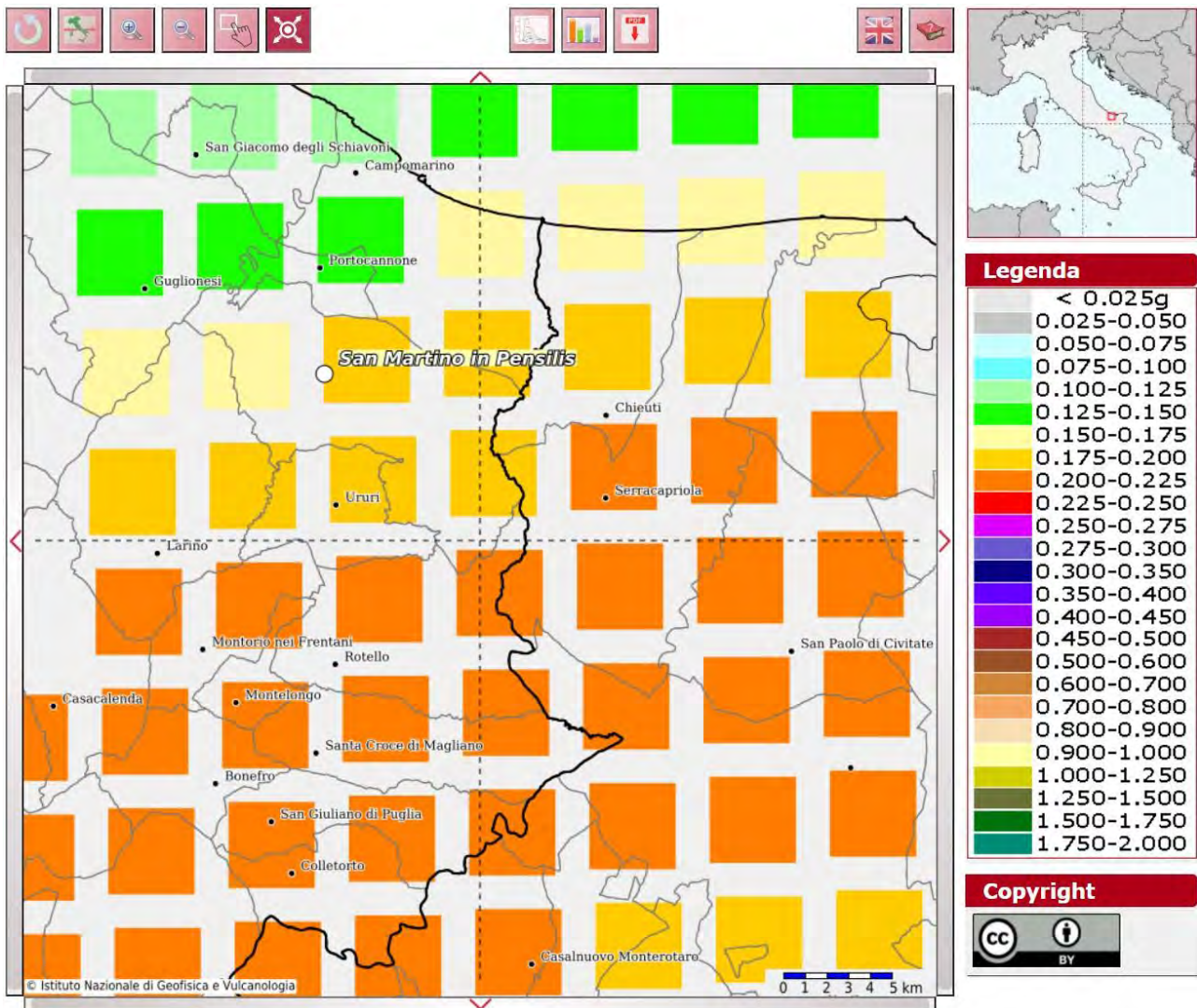


Figura 23 - Modello di pericolosità sismica

I valori riportati nella figura 20 sono tutti riferiti alle accelerazioni che sono attese a seguito di un evento sismico laddove il sottosuolo interessato sia costituito da formazioni litoidi o rigide, definite quali suoli di Categoria A ($VS_{30} \geq 800$ m/s). Nella prima colonna della tabella (fig. 20) è riportato il valore di picco orizzontale del suolo (ag/g) espresso in percentuale di “g” (accelerazione di gravità), mentre nella seconda colonna sono riportati i valori dell’accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico nelle norme tecniche sulle costruzioni. I comuni in studio sono stati classificati come zona sismica di 2^a categoria a cui corrisponde un’accelerazione orizzontale con probabilità di superamento del 10% in 50 anni compresa tra 0,15 g e 0,25 g che si traduce in un’accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico pari a: 0.25 (ag/g). A chiarimento di questo paragrafo si riportano (Fonte **CPTI15 v2.0 - DBMI15** “Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani” consultati per località, a cura di Rovida A., Locati M., Camassi R., Loli, B., Gasperini P., 2019. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV)) i risultati di uno studio eseguito su tutto il territorio nazionale, che considera la ricorrenza dei forti terremoti dall’anno 1000. Per una completa comprensione della tabella si consideri che la colonna “effetti” riporta, in termini di intensità (Int.) (Scala Mercalli – MCS), mentre la colonna “in occasione del terremoto del” riporta, oltre al toponimo dell’area epicentrale, quanto “forte” è stato il terremoto sia in termini di intensità (Io) che di magnitudo (Mw) (Scala Richter).

Di seguito si riportano le osservazioni sismiche disponibili per i comuni di San Martino in Pensilis e Rotello (tab. 1 e 2, fig. 24 e 25).

File downloaded from CPTI15-DBMI15 v3.0														
Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani - Database Macrosismico Italiano														
Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV)														
Seismic history of	San Martino in Pensilis													
PlaceID	IT_58804													
Coordinates (lat, lon)	41.869, 15.011													
Municipality (ISTAT 2015)	San Martino in Pensilis													
Province	Campobasso													
Region	Molise													
No. of reported earthquakes	28													
Int. at place	N	Year	Mo	Da	Ho	Mi	Se	EpicentralArea	LatDef	LonDef	DepDef	IoDef	MwDef	
5	1465	1882	6	6	5	40		Isernino	41,557	14,202		7	5,2	
5	1558	1889	12	8				Gargano	41,83	15,688		7	5,47	
3	1591	1892	6	6				Isole Tremiti	42,12	15,503		6	4,88	
4-5	1620	1894	3	25				Gargano	41,866	15,323		6-7	4,9	
F	1663	1895	8	9	17	38	20	Adriatico centrale	42,54	15,015		6	5,11	
3	1779	1900	12	23	22	30		Gargano	41,815	15,727		5	4,37	
3	1852	1904	4	8	8	22		Gargano	41,706	15,728		6	4,75	
5	1881	1905	8	18	4	7		Tavoliere delle Puglie	41,649	15,379		5	4,61	
3	1885	1905	11	26				Irpinia	41,134	15,028		7-8	5,18	
5	2015	1910	6	7	2	4		Irpinia-Basilicata	40,898	15,421		8	5,76	
2	2062	1912	7	2	7	34		Tavoliere delle Puglie	41,476	15,88		5	4,55	
NF	2079	1913	6	28	8	53	2	Calabria settentrionale	39,531	16,239		8	5,64	
4-5	2087	1913	10	4	18	26		Molise	41,513	14,716		7-8	5,35	
4	2110	1915	1	13	6	52	43	Marsica	42,014	13,53		11	7,08	
6-7	2848	1962	8	21	18	19		Irpinia	41,23	14,953		9	6,15	
5	3256	1980	11	23	18	34	52	Irpinia-Basilicata	40,842	15,283		10	6,81	
4	3395	1984	5	7	17	50		Monti della Meta	41,667	14,057		8	5,86	
3	3401	1984	5	11	10	41	49,2 7	Monti della Meta	41,651	13,843	10	7	5,47	
3	3583	1989	3	11	21	5		Gargano	41,762	15,642		5	4,34	
NF	3613	1990	2	1	6	24	14,1 5	Isole Tremiti	42,14	15,649	0,1		4,43	
3-4	3625	1990	5	5	7	21	29,6 1	Potentino	40,738	15,741	10		5,77	
4	3775	1995	9	30	10	14	33,8 6	Gargano	41,79	15,971	27,5	6	5,15	

4-5	3823	1996	11	10	23	23	10,7 7	Tavoliere delle Puglie	41,675	15,198	7,7	5-6	4,35
NF	3830	1997	3	19	23	10	50,0 2	Sannio-Matese	41,392	14,63	7,1	6	4,52
5	4165	2002	10	31	10	32	59,0 5	Molise	41,716	14,893	25,1	7-8	5,74
4-5	4296	2006	5	29	2	20	6,26	Gargano	41,801	15,903	31,2		4,64
3-4	4301	2006	10	4	17	34	20,5	Adriatico centrale	42,074	15,746	36,8	4-5	4,3
2	4308	2006	12	10	11	3	41,5 7	Adriatico centrale	42,008	16,281	33,2		4,48

Tabella 1 - Elenco degli eventi sismici registrati nel territorio di San Martino in Pensilis

Legenda delle intensità non convenzionali o descrittive

NF: Non percepito (Not Felt), in caso di esplicita segnalazione in tal senso è equiparabile a I = 1

F: Percepito (Felt), in caso di esplicita segnalazione in tal senso è equiparabile a I = 3.9

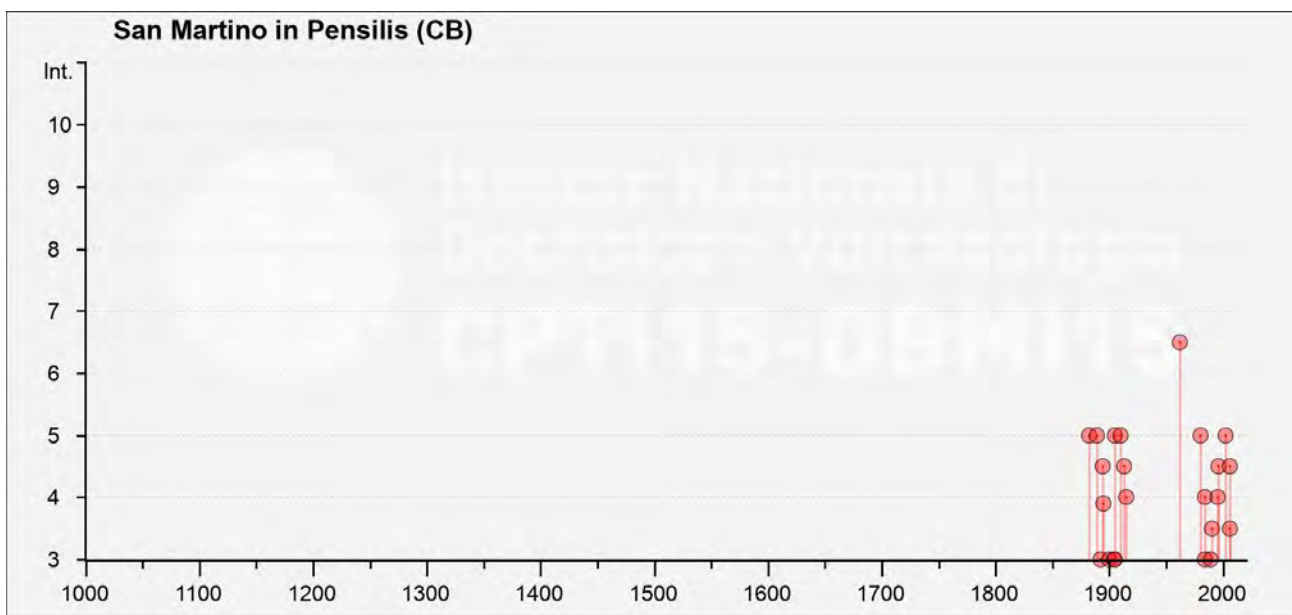


Figura 24 - Eventi sismici rilevati nel territorio di San Martino in Pensilis su grafico anno-intensità

File downloaded from CPTI15-DBMI15 v3.0													
Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani - Database Macrosismico Italiano													
Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV)													
Seismic history of	Rotello												
PlacelD	IT_58790												
Coordinates (lat, lon)	41.749, 15.004												
Municipality (ISTAT 2015)	Rotello												
Province	Campobasso												

Region	Molise												
No. of reported earthquakes	21												
Int. at place	N	Year	Mo	Da	Ho	Mi	Se	EpicentralArea	LatDef	LonDef	DepDef	IoDef	MwDef
NF	2757	1956	9	22	3	19	39	Gargano	41,584	15,721		6	4,64
6	2848	1962	8	21	18	19		Irpinia	41,23	14,953		9	6,15
5	3256	1980	11	23	18	34	52	Irpinia-Basilicata	40,842	15,283		10	6,81
4	3395	1984	5	7	17	50		Monti della Meta	41,667	14,057		8	5,86
3	3583	1989	3	11	21	5		Gargano	41,762	15,642		5	4,34
3	3625	1990	5	5	7	21	29,61	Potentino	40,738	15,741	10		5,77
NF	3657	1991	5	26	12	25	59,42	Potentino	40,689	15,821	0,1	7	5,08
3	3775	1995	9	30	10	14	33,86	Gargano	41,79	15,971	27,5	6	5,15
4-5	3823	1996	11	10	23	23	10,77	Tavoliere delle Puglie	41,675	15,198	7,7	5-6	4,35
NF	3830	1997	3	19	23	10	50,02	Sannio-Matese	41,392	14,63	7,1	6	4,52
3-4	4074	2001	7	2	10	4	43,18	Tavoliere delle Puglie	41,783	15,372	22,8	5	4,26
6	4165	2002	10	31	10	32	59,05	Molise	41,716	14,893	25,1	7-8	5,74
5-6	4185	2002	11	12	9	27	48,57	Molise	41,689	14,786	28,9	5-6	4,57
3-4	4200	2003	1	27	4	3	46,57	Molise	41,71	14,766	5	5	3,84
3-4	4213	2003	4	28	20	12	36,29	Molise	41,691	14,847	9,9	4-5	3,64
4-5	4218	2003	6	1	15	45	18,04	Molise	41,661	14,821	11,8	5	4,44
4	4229	2003	12	30	5	31	38,26	Molise	41,64	14,849	5	4-5	4,53
3-4	4262	2005	3	1	5	41	37,38	Molise	41,666	14,867	9,9	4	3,68
4	4296	2006	5	29	2	20	6,26	Gargano	41,801	15,903	31,2		4,64
NF	4301	2006	10	4	17	34	20,5	Adriatico centrale	42,074	15,746	36,8	4-5	4,3
3-4	4308	2006	12	10	11	3	41,57	Adriatico centrale	42,008	16,281	33,2		4,48

Tabella 2 - Elenco degli eventi sismici registrati nel territorio di San Rotello

Legenda delle intensità non convenzionali o descrittive

NF: Non percepito (Not Felt), in caso di esplicita segnalazione in tal senso è equiparabile a I = 1

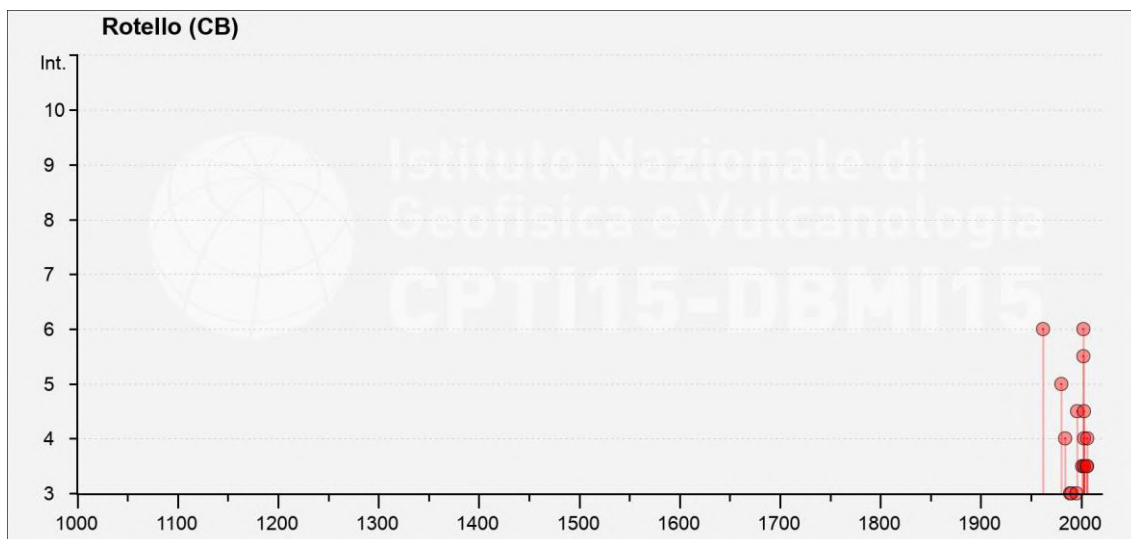


Figura 25 - Eventi sismici rilevati nel territorio di Rotello su grafico anno-intensità

9.2. Verifica dell'azione sismica

Con l'entrata in vigore delle nuove Norme Tecniche delle Costruzioni – D.M. 17.01.18, vengono stabiliti nuovi e precisi criteri prestazionali di verifica dell'azione sismica nella progettazione di nuove opere ed in quelle esistenti, valutata mediante un'analisi della risposta sismica locale. In assenza di queste analisi, la stima preliminare dell'azione sismica può essere effettuata sulla scorta delle categorie di sottosuolo e della definizione della pericolosità di base fondata su un reticolo di punti di riferimento costruito per l'intero territorio nazionale. La vita nominale di progetto VN di un'opera è convenzionalmente definita come il numero di anni nel quale è previsto che l'opera, purché soggetta alla necessaria manutenzione, mantenga specifici livelli prestazionali.

I valori minimi di VN da adottare per i diversi tipi di costruzione sono riportati nella tab. 3.

TIPI DI COSTRUZIONI		Vita nominale VN (anni)
1	Costruzioni temporanee e provvisorie	10
2	Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari	50
3	Costruzioni con livelli di prestazioni elevati	100

Tabella 3 - Vita nominale VN per diversi tipi di opera (NTC 2018)

In presenza di azioni sismiche, le costruzioni sono suddivise in quattro classi d'uso, la cui definizione viene di seguito sinteticamente riportata:

Classe I: Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli;

Classe II: Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, industrie con attività non pericolose per l'ambiente, ponti e reti viarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza, dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti;

Classe III: Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi, industrie con attività pericolose per l'ambiente, ponti e reti viarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza, dighe il cui collasso provochi conseguenze rilevanti;

Classe IV: Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente, reti viarie di tipo A o B, importanti per il mantenimento delle vie di comunicazione, dighe annesse al funzionamento di acquedotti e ad impianti di produzione di energia elettrica.

Le azioni sismiche su ciascuna costruzione vengono valutate in relazione ad un periodo di riferimento **VR** che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale **VN** per il coefficiente d'uso **CU**:

$$VR = VN \cdot CU$$

Il valore del coefficiente d'uso **CU** è definito, al variare della classe d'uso, come mostrato nella tab. 4:

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

Tabella 4 - Valori del coefficiente d'uso CU (NTC 2018)

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

Gli stati limite di esercizio sono:

- Stato Limite di Operatività (**SLO**);
- Stato Limite di Danno (**SLD**).

Gli stati limite ultimi sono:

- Stato Limite di salvaguardia della Vita (**SLV**);
- Stato Limite di prevenzione del Collasso (**SLC**).

Le probabilità di superamento nel periodo di riferimento **PVR**, cui riferirsi per individuare l'azione sismica agente in ciascuno degli stati limite considerati, sono riportate nella tab. 5:

Stati Limite	PVR: Probabilità di superamento nel periodo di riferimento VR	
Stati limite di esercizio	SLO	81%
	SLD	63%
Stati limite ultimi	SLV	10%
	SLC	5%

Tabella 5 - Probabilità di superamento PVR al variare dello stato limite (NTC 2018)

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, l'effetto della risposta sismica locale si valuta mediante specifiche analisi, da eseguire con le modalità indicate nel § 7.11.3 del D.M. In alternativa, si può fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio (VS). I valori di VS sono ottenuti mediante specifiche prove, oppure sono valutati opportunamente in funzione di relazioni empiriche.

Le categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato sono definite in tab. 6.

Categoria	Descrizione
A	<i>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.</i>
B	<i>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.</i>
C	<i>Depositati 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.</i>
D	<i>Depositati 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.</i>

E	<i>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.</i>
----------	--

Tabella 6 - Categorie di sottosuolo (NTC 2018)

Per la determinazione dell'azione sismica occorre considerare anche le condizioni stratigrafiche locali e il contributo derivante dalla morfologia superficiale. Per condizioni topografiche complesse occorre predisporre specifiche analisi di risposta sismica locale; nel caso in cui la topografia non presenti particolare complessità, è possibile adottare la seguente classificazione (tab. 7):

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

Tabella 7 - Classificazione dei terreni in funzione delle condizioni topografiche del sito

9.3. Prospezione sismica in onde S e stima del VS eq

Al fine di calcolare il valore di velocità delle onde di taglio (S) fino alla profondità a cui staziona il bedrock roccioso o un suolo molto rigido (VS,eq) e determinare la classe di appartenenza del terreno di fondazione, secondo quanto è richiesto dalle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni DM 17/1/2018 (G.U. 20 febbraio 2018, n.42 – s.o. n.8), sono stati eseguiti due stendimenti di tipo MASW chiamati **MASW1** e **MASW2** (fig. 26 e 27). Il tempo di acquisizione è stato impostato a 1 secondo, come energizzatore è stato adoperato un martello (Hammer blow) di massa 8.00 Kg.

Gli stendimenti sismici MASW realizzati, hanno avuto una lunghezza massima di 56.00 m, così suddivisa:

- 46.00 m stendimento geofonico;
- energizzazioni eseguite a 2.0 m, 5.0 m e 10.0 m dal primo geofono.

Per migliorare la qualità del segnale per ogni offset si è proceduto con la tecnica di stacking, sommando cioè algebricamente i segnali di successive energizzazioni. Per uno sguardo approfondito su metodi e tecniche utilizzate si rimanda all'Allegato "Relazione MASW San Martino e Rotello (CB)"

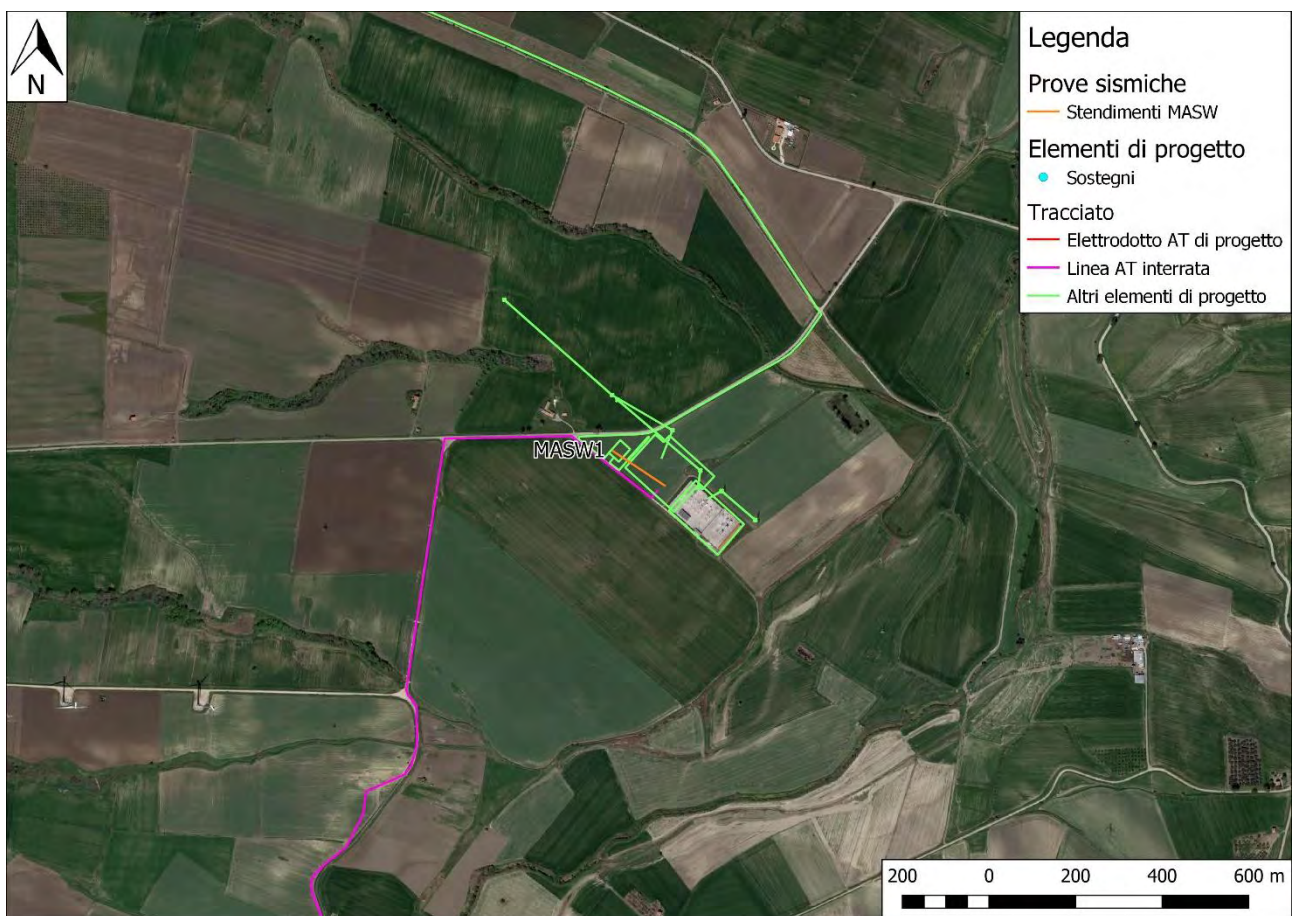


Figura 26 - Ubicazione stendimento MASW1

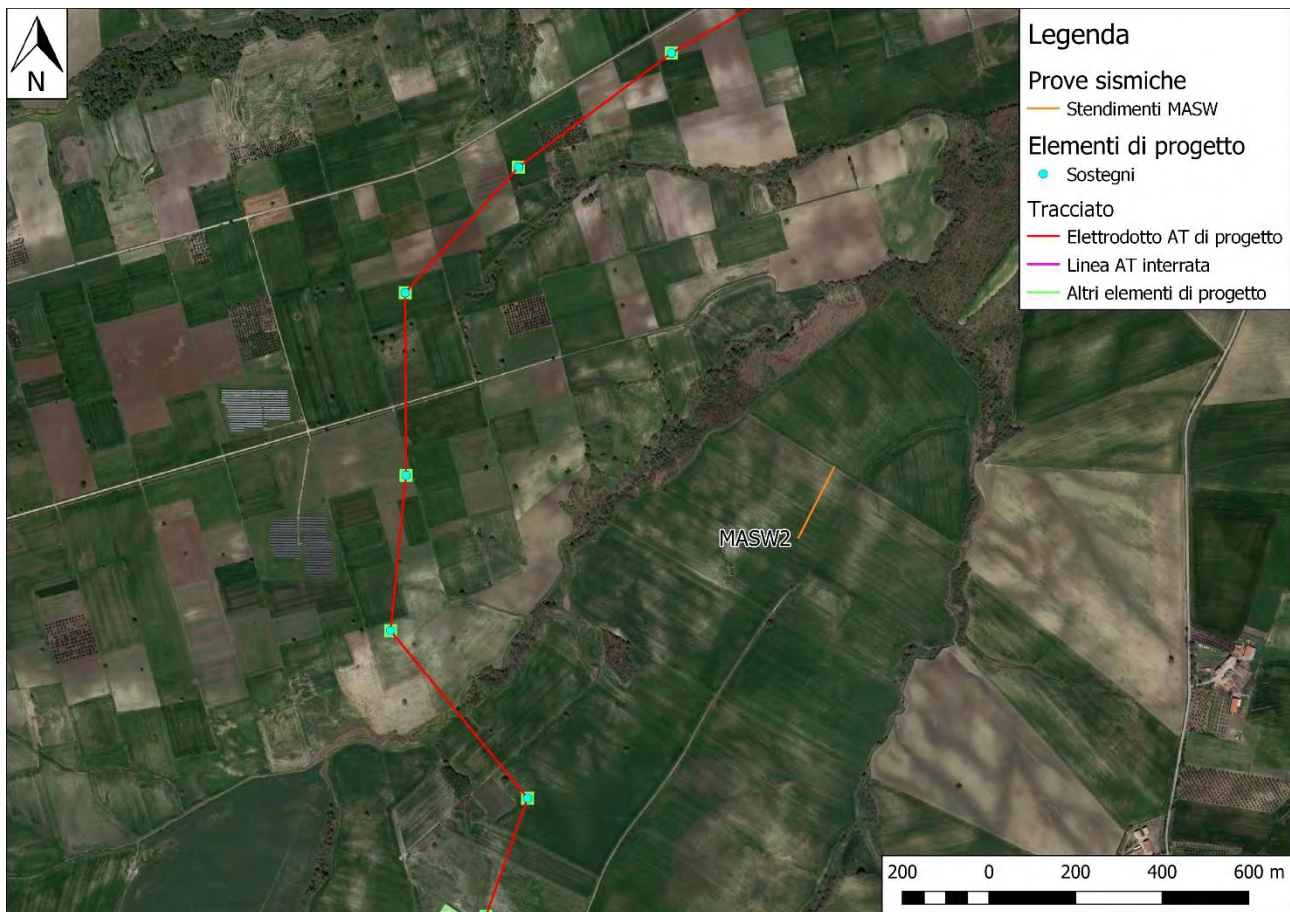


Figura 27 - Ubicazione stendimento MASW2

Qui di seguito vengono riportati i valori di velocità delle onde S e le caratteristiche degli strati individuati, calcolati attraverso il metodo appena descritto (tab. 8 e 9).

Vs (m/s)	Vp (m/s)	Spessore (m)	Densità (g/cm ³)	Poisson	Modulo di Young (MPa)
244	510	11.9	1.89	0.35	114
319	664	19.2	1.95	0.35	199
532	1107	semispazio	2.08	0.35	588

Tabella 8 - Valori di velocità delle onde S e caratteristiche individuate lungo lo stendimento MASW1

Vs (m/s)	Vp (m/s)	Spessore (m)	Densità (g/cm ³)	Poisson	Modulo di Young (MPa)
217	452	9.6	1.86	0.35	88
322	679	22.0	1.96	0.35	203
686	1428	semispazio	2.14	0.35	1007

Tabella 9 - Valori di velocità delle onde S e caratteristiche individuate lungo lo stendimento MASW2

L'indagine effettuata lungo lo stendimento MASW1 ha raggiunto la profondità di circa 35 m, ha discretizzato il sottosuolo in 3 strati a diversa velocità di propagazione delle onde S ma non ha raggiunto il bedrock ($V_s > 800\text{m/s}$). Per questo motivo la velocità equivalente V_{seq} delle onde di taglio è stata definita dal parametro V_{s30} , ottenuto ponendo $H=30$ m nella espressione presentata nel capitolo 8 e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Di conseguenza il valore calcolato della V_{seq} è pari a 285 m/s, cui corrisponde una categoria di suolo di fondazione di tipo C (tab. 10).

L'indagine effettuata lungo lo stendimento MASW2 ha raggiunto la profondità di circa 35 m, ha discretizzato il sottosuolo in 3 strati a diversa velocità di propagazione delle onde S ma non ha raggiunto il bedrock ($V_s > 800\text{m/s}$). Per questo motivo la velocità equivalente V_{seq} delle onde di taglio è stata definita, come per lo stendimento MASW1, dal parametro V_{s30} , ottenuto ponendo $H=30$ m nella espressione presentata nel capitolo 8 e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Di conseguenza il valore calcolato della V_{seq} è pari a 279 m/s, a cui corrisponde, come per lo stendimento MASW1, una categoria di suolo di fondazione di tipo C (tab. 10).

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 m/s 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 30m.

Tabella 10 - Categorie di suolo NTC 2018 (approccio semplificato) con evidenziata la categoria di suolo a cui appartengono i terreni di fondazione (categoria C)

10. LINEA AEREA

Il tracciato della linea aerea in progetto si sviluppa seguendo una direzione circa nord-sud per 11.5 km, attraversando le aree comunali di Rotello e San Martino in Pensilis. Una volta toccata terra, il tracciato prosegue attraverso una linea AT interrata lunga circa 3.2 km, anche essa con una direzione circa nord-sud.

I sostegni verticali che faranno da punti di elevazione della linea aerea saranno 31 e poggeranno su depositi principalmente limoso-sabbiosi e argilloso-limosi con discrete qualità geotecniche. Essi fanno parte delle formazioni delle argille di Montesecco, delle coperture fluvio-lacustri dei pianalti e del I ordine di terrazzi, delle coperture fluviali del II ordine di terrazzi e delle alluvioni prevalentemente limoso-argillose del IV ordine di terrazzi. La copertura di terreno vegetale presente in tutta l'area di studio dovrà essere interamente oltrepassata per andare a posizionare le fondazioni delle opere in progetto.

Nonostante la linea aerea sorvoli varie aree a pericolosità geomorfologica da frana e a pericolosità idraulica da inondazione, nessuno dei sostegni per l'elevazione della linea aerea ricade all'interno di un'area perimetrata come a pericolosità da frana. Nonostante ciò, il secondo e il terzo sostegno (partendo da sud) si trovano pochi metri al di fuori dell'area perimetrata come pericolosa (PF1 - pericolosità moderata) (fig. 28), per questo si consiglia di adottare tutti gli accorgimenti tecnici necessari per collocare entrambi i sostegni in condizioni di sicurezza.

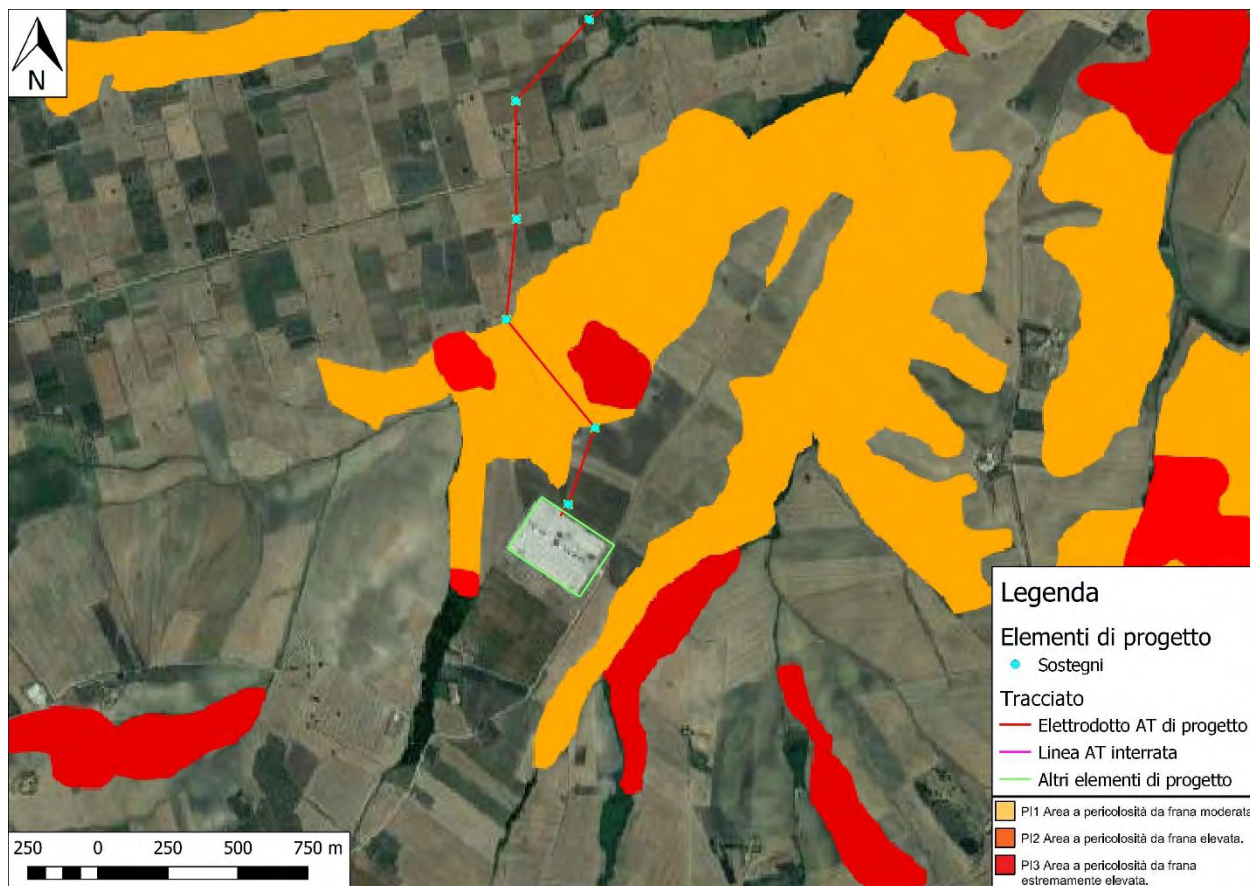


Figura 28 - Dettaglio del quinto sostegno della linea aerea partendo da sud ricadente all'interno di un'area perimetrata come a pericolosità geomorfologica da frana moderata (PF1)

Per quanto riguarda il tracciato AT interrato, esso ricade per circa 1.5 km all'interno di un'area perimetrata come pericolosa, con categoria da PI1 a PI3 (fig. 29).

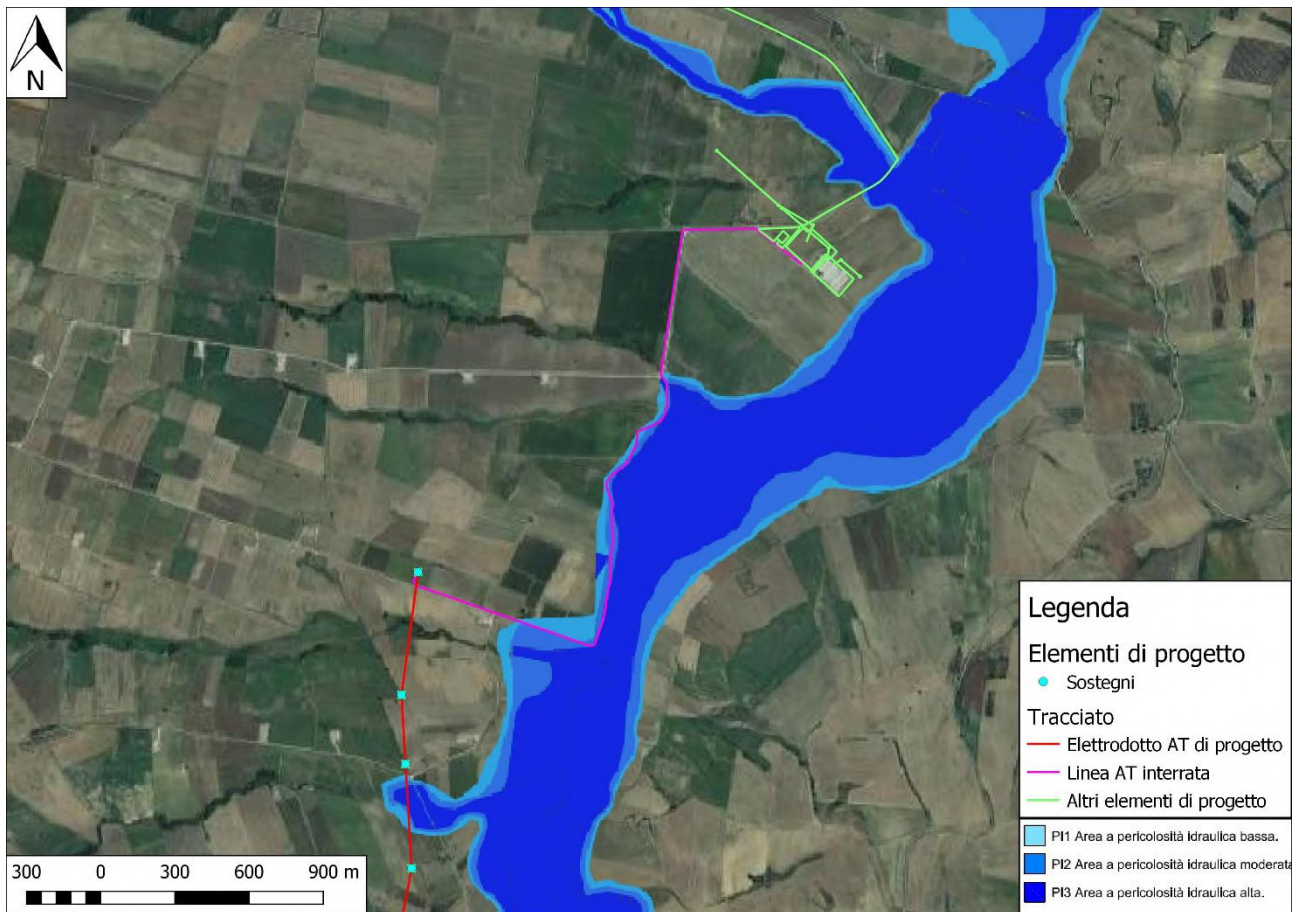


Figura 29 - Dettaglio del tratto di linea AT interrata ricadente all'interno di un'area perimetrata come a pericolosità idraulica

Si consiglia dunque di effettuare i lavori secondo le vigenti norme di sicurezza e di adottare tutti gli accorgimenti tecnici necessari per collocare la linea AT interrata in condizioni di sicurezza.

Il tracciato della linea aerea, per quanto riguarda la caratterizzazione sismica, si trova interamente all'interno di un'area di categoria 2, ad alto rischio sismico.

Per la determinazione della classe di appartenenza del terreno di fondazione, secondo quanto è richiesto dalle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni DM 17/1/2018 (G.U. 20 febbraio 2018, n.42 – s.o. n.8), l'intera area attraversata dalla linea aerea poggerà su un suolo di fondazione di tipo C.

11. COCLUSIONI

L'indagine geologica, con applicazioni geotecniche e geofisiche, eseguita sui terreni fondali, ha mostrato che il sito d'intervento ricade su una serie di depositi terrazzati relativamente recenti, sicuramente post pleistocenici, organizzati in vari ordini, dei quali, nell'area di interesse, sono presenti il I, il II e il IV. Le formazioni terrazzate hanno spessori modesti, che difficilmente superano alcune decine di metri. Questi depositi terrazzati poggiano in discordanza erosiva sui depositi pleistocenici delle argille di Montesecco, una formazione che in alcune aree può raggiungere alcune centinaia di metri di spessore. Al di sopra sia delle argille che dei depositi terrazzati è presente una copertura di spessore medio pari a 1 m, costituita da depositi di terreno vegetale sabbioso-limoso. Nella zona non è stata individuata nessuna falda superficiale.

Secondo la nuova classificazione sismica, i comuni di San Martino in Pensilis e Rotello ricadono in zona 2, ad **alto rischio sismico**.

La categoria di suolo di fondazione associato alla nostra zona è di tipo:

- categoria "C" per la le argille pleistoceniche, la serie di depositi terrazzati e la copertura di terreno vegetale.

Di seguito si riportano le caratteristiche meccaniche delle formazioni presenti nell'area di intervento:

Deposito di copertura vegetale

Coesione: 0.05 – 0.33 kg/cm²

Angolo di resistenza al taglio: 20.22 – 21.51

Modulo di Poisson: 0.35

Coperture fluviali del II ordine di terrazzi

Coesione: 0.79 – 0.81 kg/cm²

Angolo di resistenza al taglio: 23.36 – 23.42

Modulo di Poisson: 0.33

Coperture fluvio-lacustri dei pianalti e del I ordine di terrazzi

Coesione: 0.76 – 0.87 kg/cm²

Angolo di resistenza al taglio: 23.21 – 23.67

Modulo di Poisson: 0.33

Unità delle argille di Montesecco

Coesione: 1.36 – 1.62 kg/cm²

Angolo di resistenza al taglio: 25.74 – 26.1

Modulo di Poisson: 0.31

Sulla scorta di quanto detto in precedenza si è potuto definire il modello geologico e geologico-tecnico che caratterizza l'area di intervento sita a est dei centri abitati di Ruotolo e San Martino in Pensilis:

- il sottosuolo dell'area di intervento risulta costituito da una serie di depositi terrazzati e da una potente unità di argille pleistoceniche con discrete qualità geotecniche;
- al di sopra di depositi terrazzati e argille, sono presenti i depositi di copertura vegetale, essi hanno uno spessore medio di 1 m, e presentano scarse qualità geotecniche;
- nell'area d'intervento non sono presenti forme geomorfologiche particolari e/o pericolose;
- non è stata individuata una falda superficiale, pertanto non sussistono problemi d'interazione con le opere o manufatti da realizzare;
- ai sensi del Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico redatto dall'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Meridionale il secondo ed il terzo sostegno per l'elevazione della linea aerea (partendo da sud) si trovano pochi metri al di fuori di un'area delimitata come a pericolosità geomorfologica da frana, per l'esattezza una zona PF1 a pericolosità moderata; si dovranno dunque adottare tutti gli accorgimenti tecnici necessari per collocare i sostegni in condizioni di sicurezza;
- ai sensi del Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico redatto dall'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Meridionale, il tracciato AT interrato ricade per circa 1.5 km all'interno di un'area perimetrata come pericolosa, con categoria di pericolosità idraulica da PI1 a PI3; si consiglia dunque di effettuare i lavori secondo le vigenti norme di sicurezza e di adottare tutti gli accorgimenti tecnici necessari per collocare la linea AT interrata in condizioni di sicurezza.

Atteso tutto ciò, considerati i carichi trasmessi al terreno, l'intervento proposto, dal punto di vista geologico, idrogeologico, morfologico e sismico, si ritiene ammissibile.

Altamura, ottobre 2021

il geologo



ALLEGATI

Individuazione dell'area di intervento su ortofoto

Individuazione dell'area di intervento su IGM

Carta Geologica

Legenda Carta Geologica

Carta Geologica con ubicazione log stratigrafici e sezioni geotematiche

Log stratigrafici

Sezioni Geotematiche AB e CD

Carta della pericolosità geomorfologica

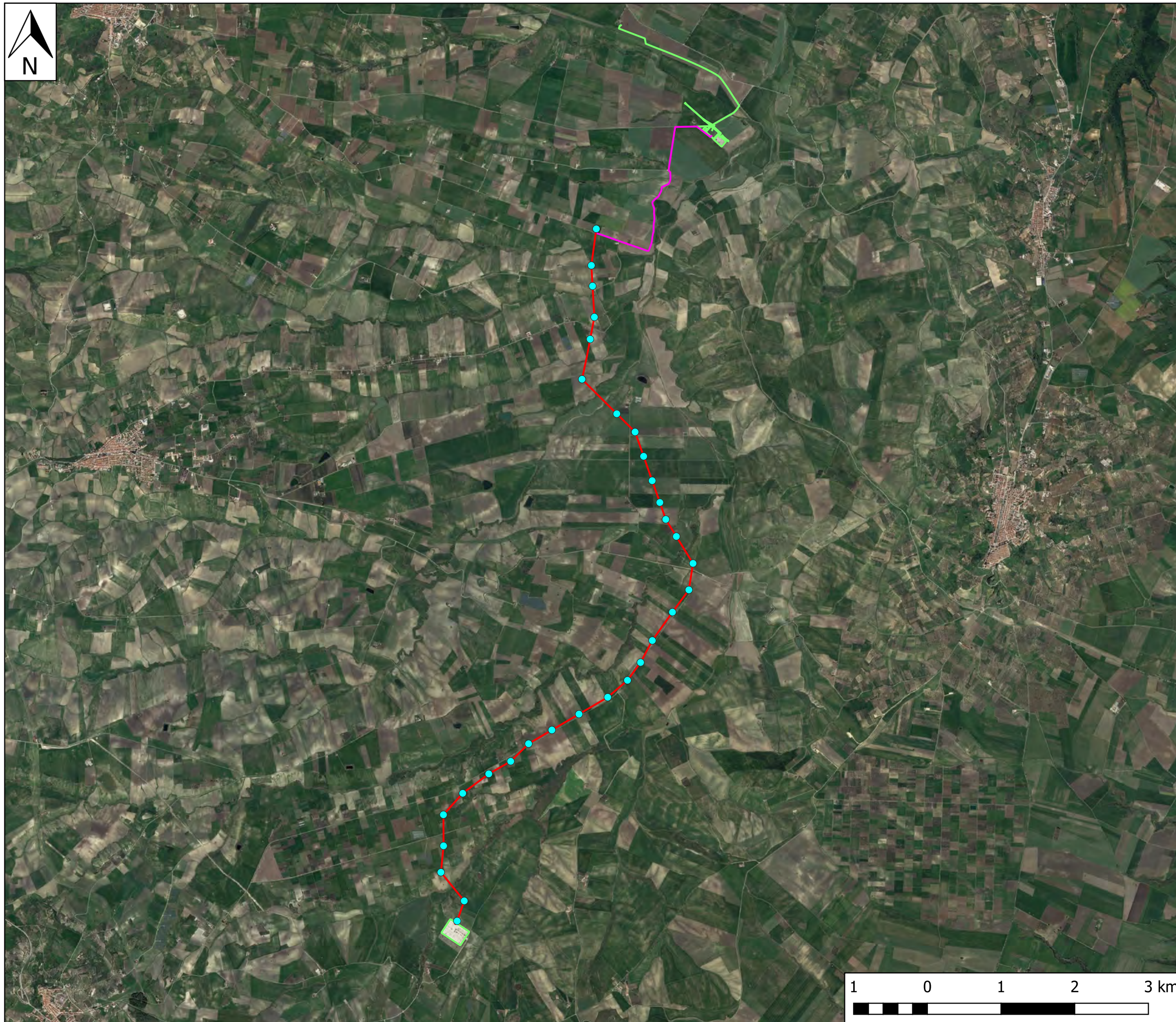
Carta della pericolosità idraulica

Ubicazione prove penetrometriche

Prove penetrometriche dinamiche continue - Report San Msrtino e Rotello (CB)

Ubicazione stendimenti MASW1 e MASW2

Relazione MASW San Martino e Rotello



INDIVIDUAZIONE DELL'AREA DI INTERVENTO SU ORTOFOTO

Scala 1:50000

Legenda

Elementi di progetto

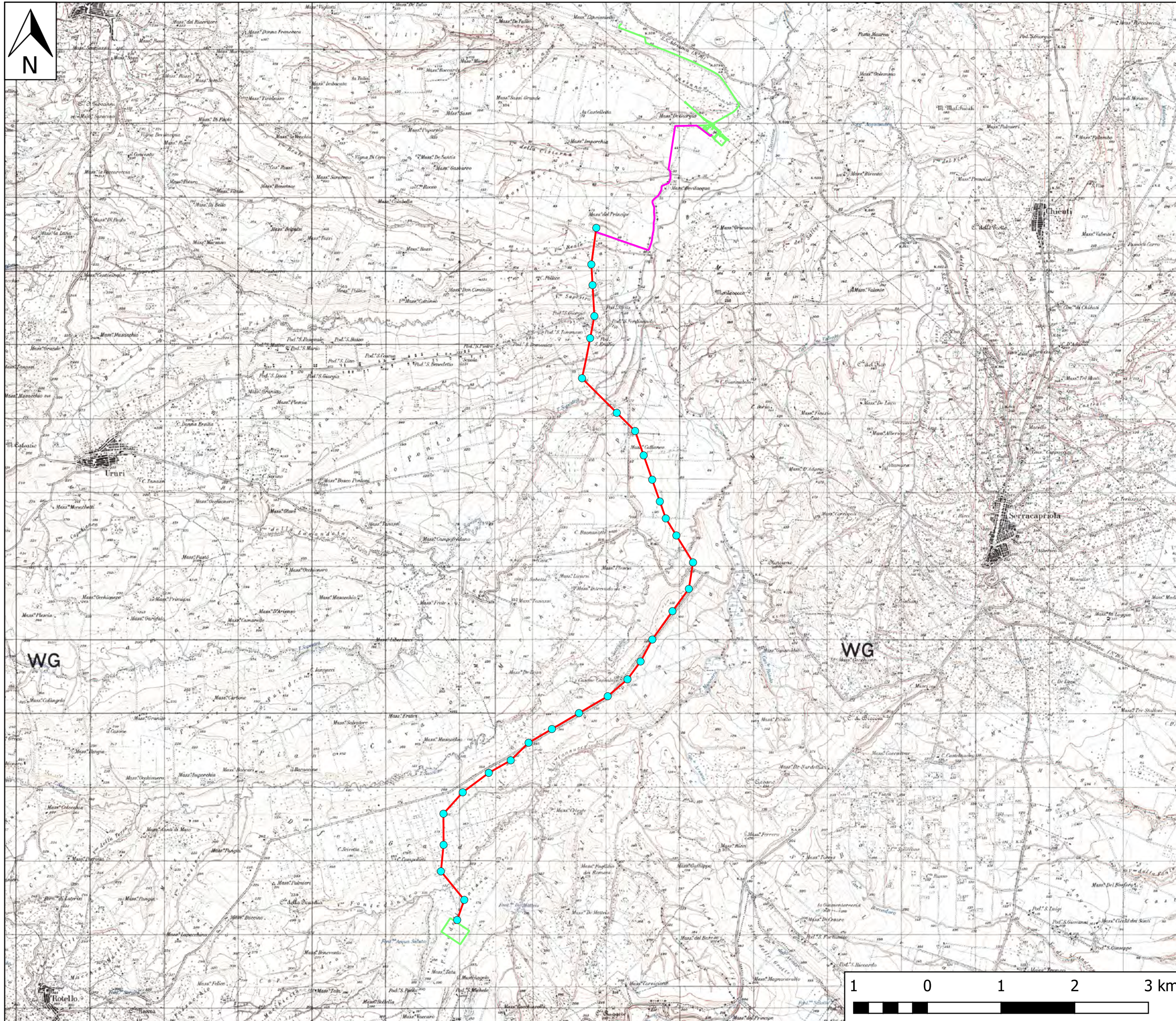
● Sostegni

Tracciato

— Elettrodotto AT di progetto

— Linea AT interrata

— Altri elementi di progetto



INDIVIDUAZIONE DELL'AREA DI INTERVENTO SU CARTOGRAFIA DI BASE IGM 1:25000

Scala 1:50000

Legenda

Elementi di progetto

● Sostegni

Tracciato

— Elettrodotto AT di progetto

— Linea AT interrata

— Altri elementi di progetto



STRALCIO CARTA GEOLOGICA D'ITALIA IN SCALA 1:100000 FOGLIO 155 "SAN SEVERO"

Scala 1:50000

Legenda

Elementi di progetto

● Sostegni

Tracciato

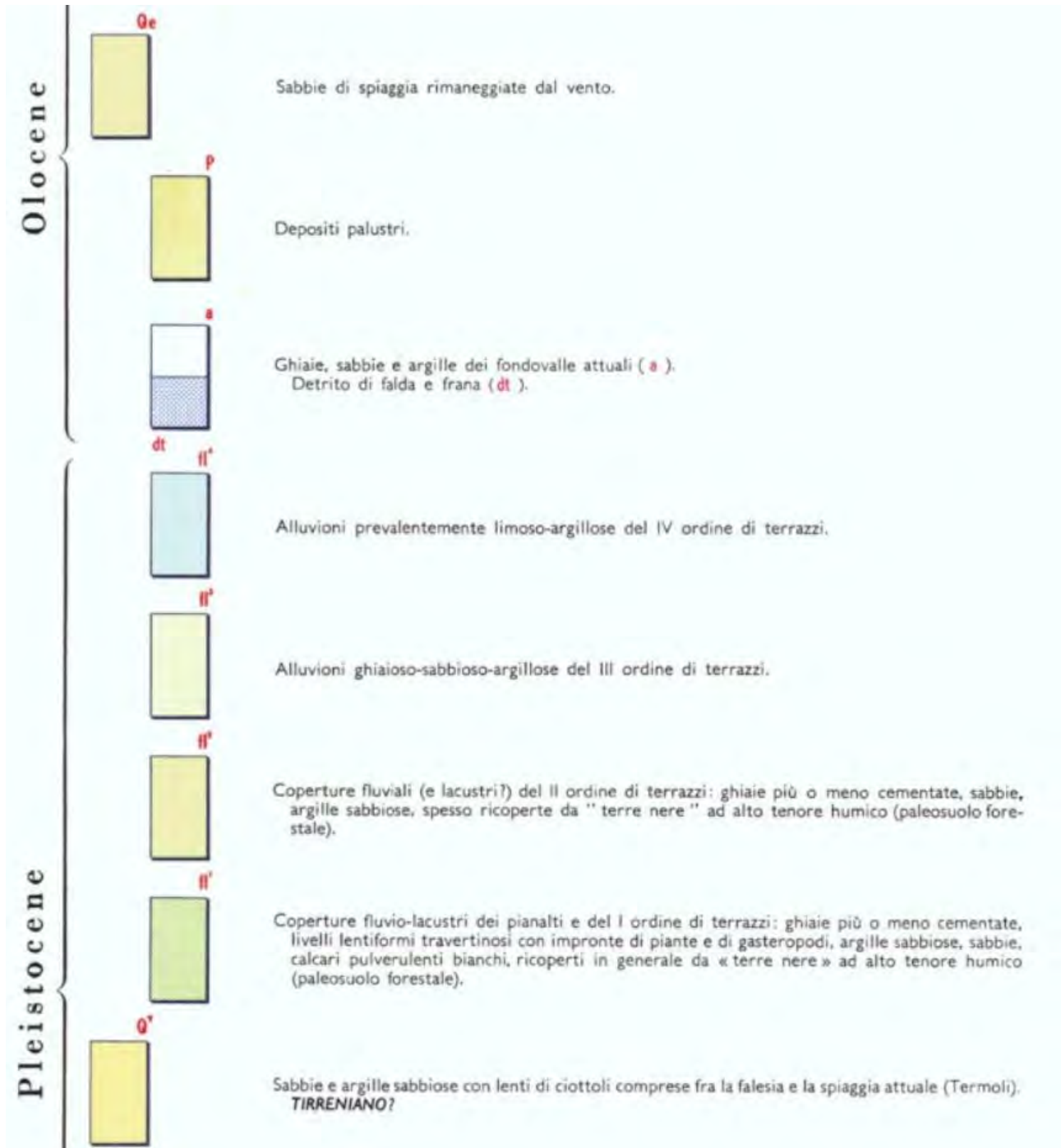
— Elettrodotto AT di progetto

— Linea AT interrata

— Altri elementi di progetto

Continua nell'allegato successivo

LEGENDA CARTA GEOLOGICA D'ITALIA IN SCALA 1:100000 FOGLIO 155 "SAN SEVERO"



Pliocene



Q^c

Calcareniti organogene fortemente cementate, spesso vacuolari (panchina); abbondanti resti di molluschi (*Glycymeris*, *Ostrea*, *Spondylus* ecc.) e coralli. **TIRRENIANO**.



qQ

CONGLOMERATI DI CAMPOMARINO – Ghiaie e conglomerati di ambiente marino o continentale; non sempre chiaramente delimitabili da(II). **POSTCALABRIANO-CALABRIANO TERMINALE**.



Q^c

SABBIE DI SERRACAPRIOLA – Sabbie giallastre, a grana più o meno grossa, più o meno cementate, a stratificazione spesso indistinta con intercalazioni lentiformi di conglomerati grossolani e di argille; abbondante macrofauna a gasteropodi e lamellibranchi (*Ostrea*, *Pecten* ecc.); microfauna a *Bulimina marginata* d'ORB., *B. fusiformis* WILL., *Eponides frigidus granulatus* DI NAPOLI, *Ammonia beccarii* L., **CALABRIANO - PLIOCENE SUP. ?**



Q^cP^a

ARGILLE DI MONTESECCO – Argille marnose, siltoso-sabbiose, grigio-azzurre, con abbondante macrofauna a prevalenti lamellibranchi (*Chlamys opercularis* L., *C. flexuosa* POLI, *Glycymeris*, ecc.) e gasteropodi; microfauna, nella parte alta, a *Valvulineria bradyana* (FORN.), *Bolivina superba* EM., *B. catanensis* SEG. e *Bulimina elegans* D'ORB., nella parte inferiore, a *Globorotalia crassaformis* (GALL. e WISS.) e *G. scitula* (BRADY). **CALABRIANO ? - PLIOCENE MEDIO**.



P^aM^a

FORMAZIONE DEL TONA – Argille siltose grigio-azzurrine, molasse gialle e giallo-brunastre, in grossi banchi, con livelli fortemente cementati e rare intercalazioni di argille verdastre; molasse brunastre con intercalazioni di argille sabbiose; fauna a *Panopaea*, *Pecten*, *Mactra* e foraminiferi: *Bolivina leonardii* ACC. e SELL., *Globorotalia puncticulata* (d'ORB.), *G. hirsuta* (d'ORB.), *Sphaeroidinella seminulina* (SCHW.); localmente gessi, diatomi, argille bituminose nerastre, calcari listati grigi, molasse con intercalazioni argillose; microfauna a *Globigerinoides obliqua* BOLL., *Bolivina dilatata* REUSS, *Bulimina elongata* d'ORB., **PLIOCENE INF. - MESSINIANO**.



M^a

MARNE DI TOPPO CAPUANA – Marne grigie con rare intercalazioni, verso la base, di calcari arenacei; microfauna a *Bolivina scalprata miocenica* MACFADYEN, *Robulus ariminensis* (D'ORB.) e *Globorotalia menardii* (D'ORB.), **TORTONIANO**.



M^a

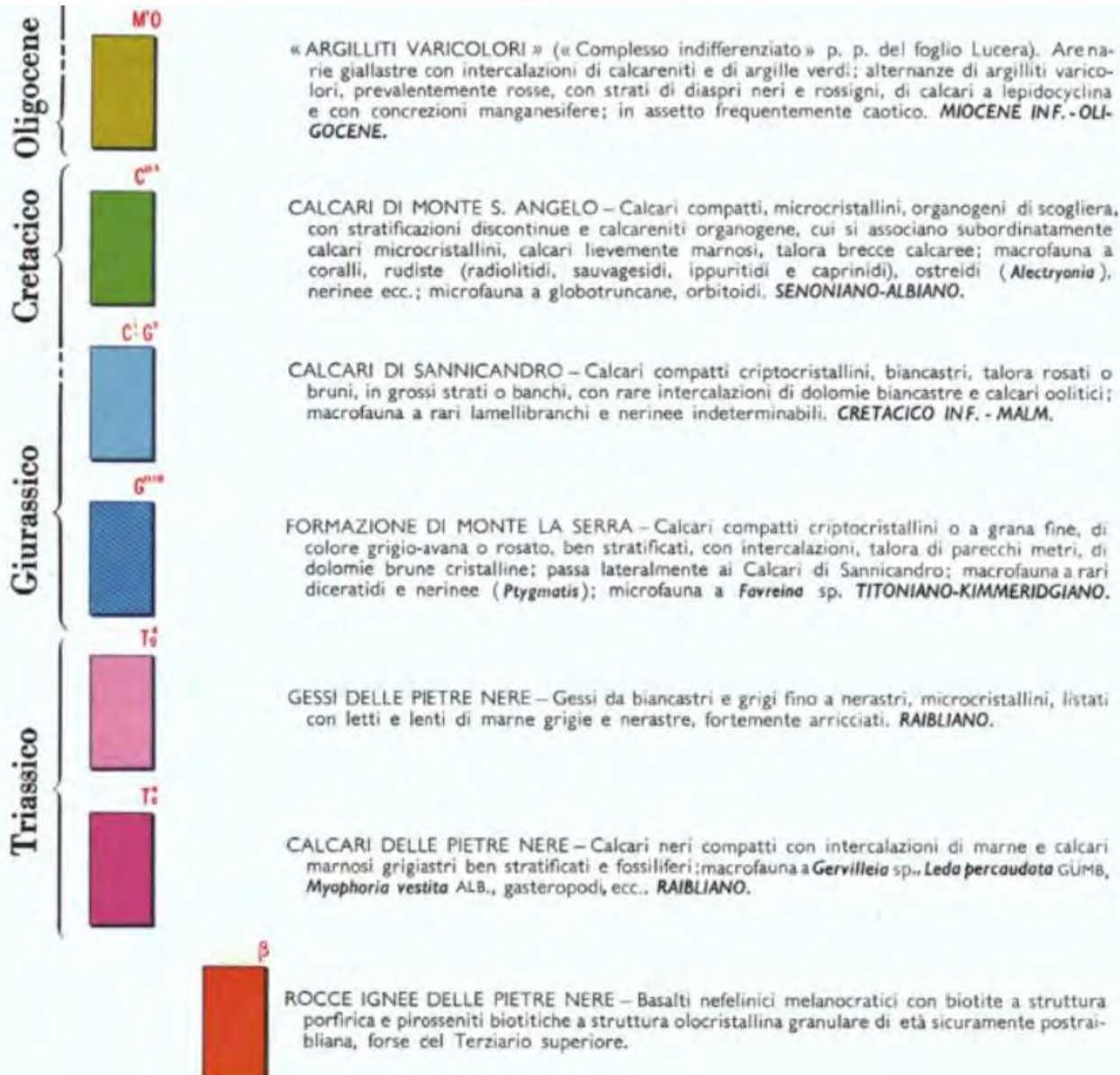
CALCARENITI DI APRICENA – Calcareniti biancastre e giallastre, organogene, a stratificazione non sempre netta (M^a); alla base è frequente un orizzonte di breccie a cemento calcareo rossastro (M^a); trasgressive sul Mesozoico del Gargano; microfauna a: *Orbulina suturalis* BRÖNNI-MANN, *O. universa* D'ORB., *Globorotalia mayeri* CUSH. e ELL., *Globigerinoides triloba* (REUSS), **SERRAVALLIANO**.


























M^a

FORMAZIONE DELLA DAUNIA – Superiormente calcari organogeni bianchi litoidi, con intercalazioni di calcareo bianco pulverulento e straterelli di calcareniti compatte o fogliettate a briozoi, corallinacee, echinodermi, pettinidi, miogypsine, amiatigine e microfauna a *Globigerinoides triloba* (REUSS), *G. bispherica* TODD, *Globoquadrina dehiscens* (CHAP. PARR. e COLL.); nella parte media, marne calcaree bigie con lenti e solette di selce bruna alternanti con argille siltose grigiastre e qualche livello di tripoli a radiolari; nella parte inferiore, arenarie quarzose giallastre con intercalazioni di calcareniti alternanti con marne argillose verdine, che si rinven-gono anche come intercalazioni tra gli strati di calcare arenaceo o marnoso della parte alta delle « Argilliti varicolori ». **SERRAVALLIANO - LANGHIANO - AQUITANIANO ?**

Miocene



	0° – 10°	} Immersione ed inclinazione degli strati.
	11° – 45°	
	46° – 80°	
	81° – 90°	
	Strati contorti.	
	Strati rovesciati.	
	Limite stratigrafico.	
	Limite stratigrafico incerto	
	Limite di probabile natura tettonica (faglie probabili ecc.).	
	Limite tettonico (faglie ecc.).	
	Località fossilifera.	
	Giacimento preistorico.	
	Orlo di terrazzo fluviale.	
	Orlo di terrazzo marino.	
	Dolina.	
	Frana.	
	Sorgente rilevante.	
	Pozzo per ricerca di idrocarburi (profondità in metri).	
	Pozzo produttivo di idrocarburi gassosi (profondità in metri).	
	Pozzo produttivo di idrocarburi liquidi (profondità in metri).	
	Campo petrolifero e gassifero del T. Tona.	
	Cava.	
	Traccia di sezione.	



UBICAZIONE LOG STRATIGRAFICI E SEZIONI GEOTEMATICHE SU STRALCIO CARTA GEOLOGICA D'ITALIA IN SCALA 1:100000

Scala 1:50000

Legenda

Elementi di progetto

- Sostegni

Tracciato

- Elettrodotto AT di progetto
- Linea AT interrata
- Altri elementi di progetto

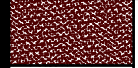

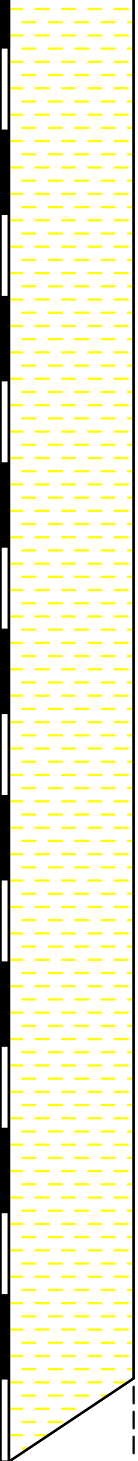
Altri elementi

- Log stratigrafici
- Sezioni stratigrafiche

Stratigrafia LOG 1

Comune di San Martino in Pensilis

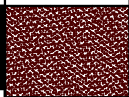
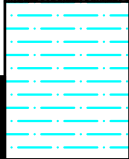
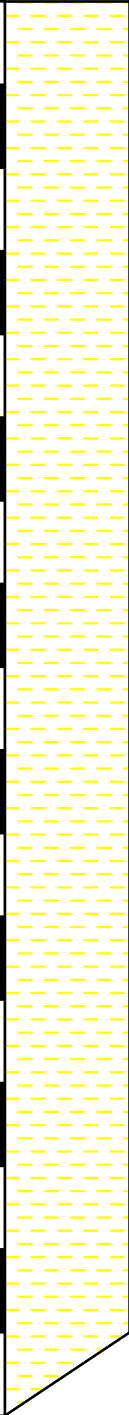
Quota 41 m slm
Coordinate WGS 84 33N 509 150.81 E
4 633 691.71 N
Rilievo Luglio 2021

Profondità (metri)	Litologia	Spessori (metri)	DESCRIZIONE LITOLOGICA	Falda
1		0.8	Deposito di copertura vegetale, con prevalente componente sabbiosa debolmente limosa, di colore bruno, con ciottoli di varia origine e composizione.	
2		1.5	Deposito limoso-argilloso superficiale, ritrovato al di sotto della copertura vegetale. Esso varia di composizione e caratteristiche geomeccaniche a seconda dell'area considerata; in questa area fa parte dei depositi terrazzati di II ordine.	
3		17.7+	Deposito argilloso e argilloso-limoso di colore grigio-azzurro o giallastro in superficie per alterazione. Sono presenti livelli interamente siltosi e rare intercalazioni interamente sabbiose.	
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				
16				
17				
18				
19				
20				

Stratigrafia LOG 2

Comune di San Martino in Pensilis

Quota 58 m slm
 Coordinate WGS 84 33N 507676.95 E
 4 630672.57 N
 Rilievo Luglio 2021

Profondità (metri)	Litologia	Spessori (metri)	DESCRIZIONE LITOLOGICA	Falda
1		1.1	Deposito di copertura vegetale, con prevalente componente sabbiosa debolmente limosa, di colore bruno, con ciottoli di varia origine e composizione.	
2 3		1.9	Deposito limoso-argilloso e leggermente sabbioso superficiale, ritrovato al di sotto della copertura vegetale. Esso varia di composizione e caratteristiche geomeccaniche a seconda dell'area considerata; in questa zona fa parte dei depositi terrazzati di IV ordine.	
4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20		17+	Deposito argilloso e argilloso-limoso di colore grigio-azzurro o giallastro in superficie per alterazione. Sono presenti livelli interamente siltosi e rare intercalazioni interamente sabbiose.	

Stratigrafia LOG 3

Comune di Rotello

Quota

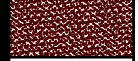
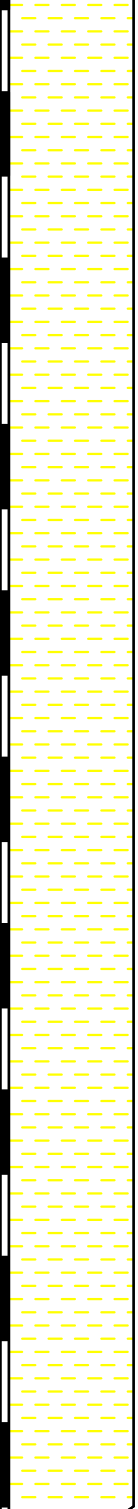
160 m slm

Coordinate WGS 84 33N

506615.68 E
4 623999.38 N

Rilievo

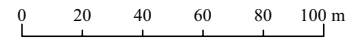
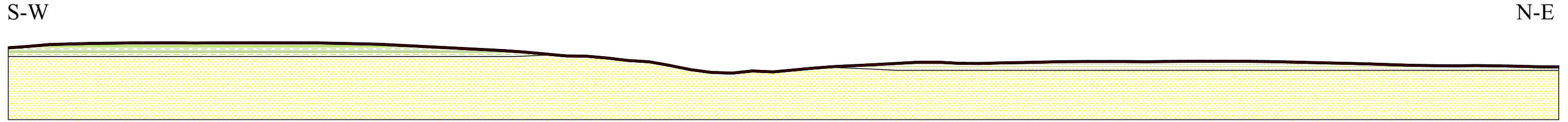
Luglio 2021

Profondità (metri)	Litologia	Spessori (metri)	DESCRIZIONE LITOLOGICA	Falda
1		0.7	Deposito di copertura vegetale, con prevalente componente sabbiosa debolmente limosa, di colore bruno, con ciottoli di varia origine e composizione.	
2		19.3+	Deposito limoso argilloso nei primi metri, argilloso e argilloso-limoso in profondità, di colore grigio-azzurro o giallastro in superficie per alterazione. Sono presenti livelli interamente siltosi e rare intercalazioni interamente sabbiose.	
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				
16				
17				
18				
19				
20				

Sezione AB San Martino in Pensilis

Scala 1:2500

SEZIONE GEOLOGICA



A

B

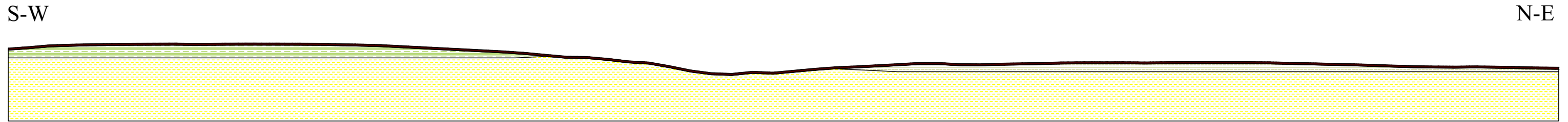
Deposito di copertura vegetale, con prevalente componente sabbiosa debolmente limosa, di colore bruno, con ciottoli di varia origine e composizione.

Deposito ghiaioso e limoso-argilloso a tratti, ritrovato al di sotto della copertura vegetale. Esso varia di composizione e caratteristiche geomeccaniche a seconda dell'area considerata; in questa area fa parte dei depositi terrazzati del II ordine.

Depositi ghiaiosi più o meno cementati, con lenti di argille sabbiose, sabbie e calcari pulverolenti, il tutto ricoperto da "terre nere" con alto tenore humico - Coperture fluvio-lacustri dei pianalti e del I ordine di terrazzi

Deposito argilloso e argilloso-limoso di colore grigio-azzurro o giallastro in superficie per alterazione. Sono presenti livelli interamente siltosi e rare intercalazioni interamente sabbiose.

SEZIONE IDROGEOLOGICA



A

B

Unità sabbioso-limoso recente con permeabilità alta per porosità (copertura vegetale)

Unità ghiaiosa ed a tratti limoso-argillosa con permeabilità alta per porosità (II ordine di terrazzi)

Unità prevalentemente ghiaiosa, con livelli limoso-argillosi e sabbiosi con permeabilità alta per porosità (I ordine di terrazzi)

Unità argillosa e argilloso-limoso con permeabilità molto bassa per porosità (Argille di Montesecco)

SEZIONE GEOTECNICA



A

B

Unità sabbioso-limoso recente
 Peso unità di volume: 1.71 t/m³
 Coesione non drenata: 0.26 kg/cm²
 Coefficiente di Poisson: 0.35
 Angolo di resistenza al taglio: 21.17

Unità fluviali del II ordine di terrazzi
 Peso unità di volume: 2.01 t/m³
 Coesione non drenata: 0.79 kg/cm²
 Coefficiente di Poisson: 0.33
 Angolo di resistenza al taglio: 23.36

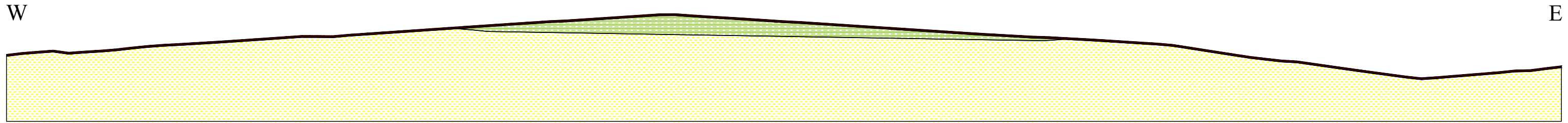
Unità fluvio-lacustri del I ordine di terrazzi
 Peso unità di volume: 2.03 t/m³
 Coesione non drenata: 0.87 kg/cm²
 Coefficiente di Poisson: 0.33
 Angolo di resistenza al taglio: 23.67

Unità argillosa e argilloso-limoso plio-pleistocenica
 Peso unità di volume: 2.09 t/m³
 Coesione non drenata: 1.44 kg/cm²
 Coefficiente di Poisson: 0.31
 Angolo di resistenza al taglio: 26.01

Sezione CD Rotello

Scala 1:2500

SEZIONE GEOLOGICA



C

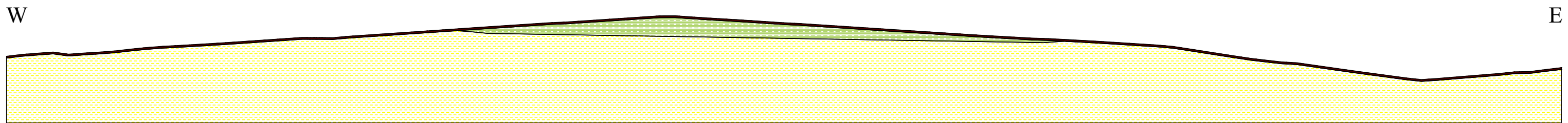
D

Deposito di copertura vegetale, con prevalente componente sabbiosa debolmente limosa, di colore bruno, con ciottoli di varia origine e composizione.

Depositi ghiaiosi più o meno cementati, con lenti di argille sabbiose, sabbie e calcari pulverolenti, il tutto ricoperto da "terre nere" con alto tenore humico - Coperture fluvio-lacustri dei pianalti e del I ordine di terrazzi

Deposito argilloso e argilloso-limoso di colore grigio-azzurro o giallastro in superficie per alterazione. Sono presenti livelli interamente siltosi e rare intercalazioni interamente sabbiose.

SEZIONE IDROGEOLOGICA



C

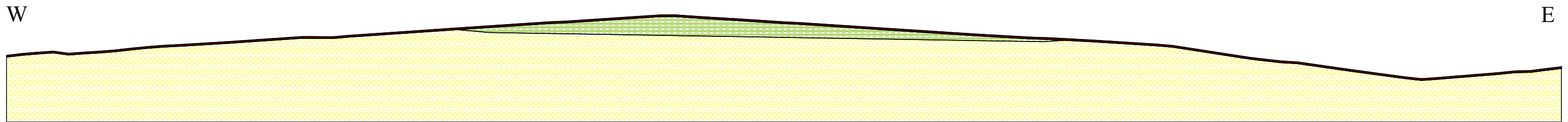
D

Unità sabbioso-limoso recente con permeabilità alta per porosità (copertura vegetale)

Unità prevalentemente ghiaiosa, con livelli limoso-argillosi e sabbiosi con permeabilità alta per porosità (I ordine di terrazzi)

Unità argillosa e argilloso-limoso con permeabilità molto bassa per porosità (Argille di Montesecco)

SEZIONE GEOTECNICA



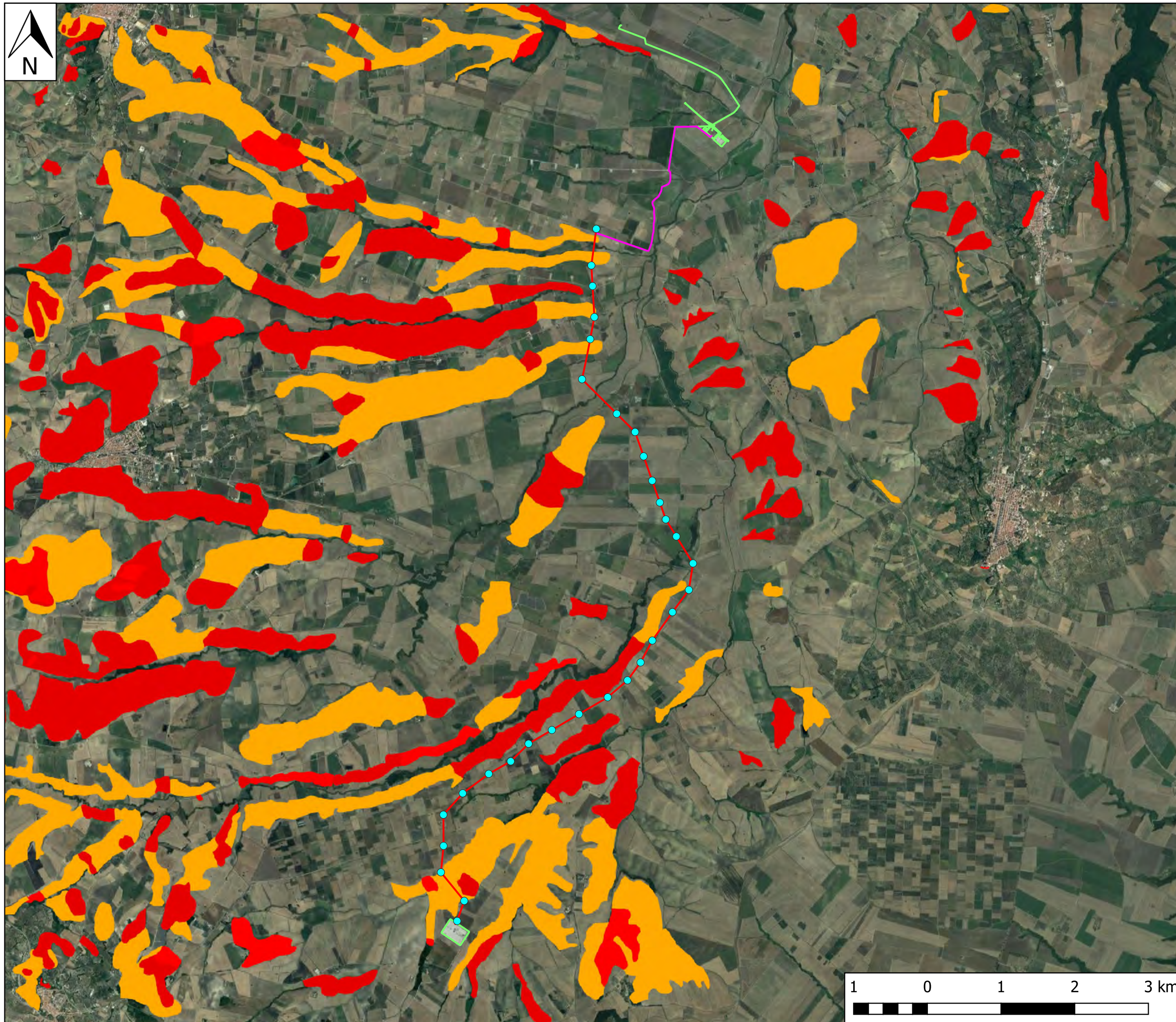
C

D

Unità sabbioso-limoso recente — Peso unità di volume: 1.46 t/m³
Coefficiente di Poisson: 0.35
Angolo di resistenza al taglio: 20.22

Unità fluvio-lacustri del I ordine di terrazzi — Peso unità di volume: 2.03 t/m³
Coesione non drenata: 0.87 kg/cm²
Coefficiente di Poisson: 0.33
Angolo di resistenza al taglio: 23.67

Unità argillosa e argilloso-limoso plio-pleistocenica — Peso unità di volume: 2.10 t/m³
Coesione non drenata: 1.36 kg/cm²
Coefficiente di Poisson: 0.31
Angolo di resistenza al taglio: 25.74



INDIVIDUAZIONE DELL'AREA DI INTERVENTO SU CARTA DELLA PERICOLOSITA' GEOMORFOLOGICA

Scala 1:50000

Legenda

Elementi di progetto

● Sostegni

Tracciato

— Elettrodotto AT di progetto

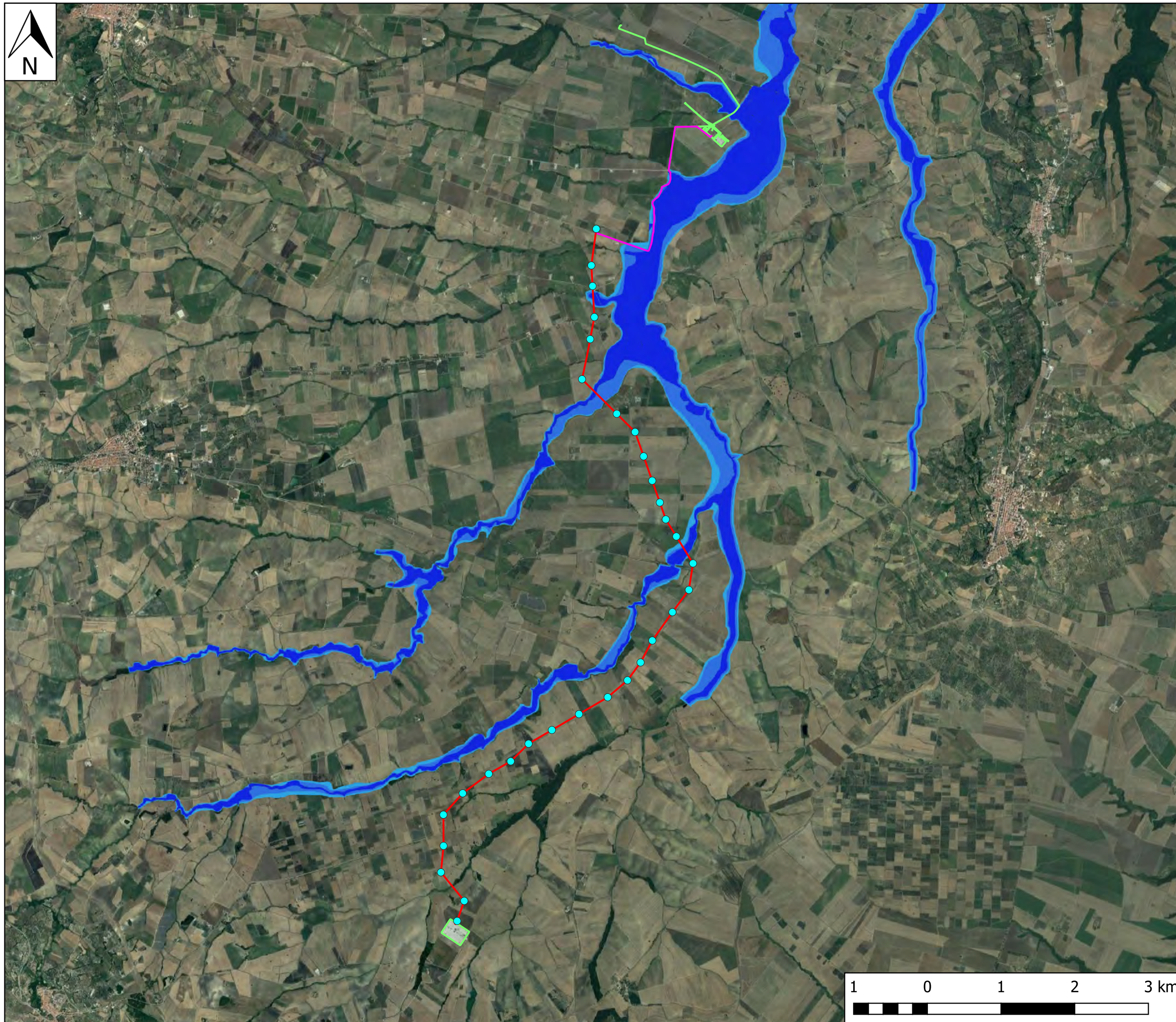
— Linea AT interrata

— Altri elementi di progetto

■ PI1 Area a pericolosità da frana moderata.

■ PI2 Area a pericolosità da frana elevata.

■ PI3 Area a pericolosità da frana estremamente elevata.



INDIVIDUAZIONE DELL'AREA DI INTERVENTO SU CARTA DELLA PERICOLOSITA' IDRAULICA

Scala 1:50000

Legenda

Elementi di progetto

● Sostegni

Tracciato

— Elettrodotto AT di progetto

— Linea AT interrata

— Altri elementi di progetto

■ PI1 Area a pericolosità idraulica bassa.

■ PI2 Area a pericolosità idraulica moderata.

■ PI3 Area a pericolosità idraulica alta.



**UBICAZIONE PROVE
PENETROMETRICHE
SU STRALCIO CARTA
GEOLOGICA
D'ITALIA IN SCALA
1:100000**

Scala 1:50000

Legenda

Prove geotecniche

◆ Prove penetrometriche

Elementi di progetto

● Sostegni

Tracciato

— Elettrodotto AT di progetto

— Linea AT interrata

— Altri elementi di progetto

PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE CONTINUE – Report San Martino e Rotello (CB)
(DYNAMIC PROBING)
DPSH – DPM (... scpt ecc.)

Note illustrative - Diverse tipologie di penetrometri dinamici

La prova penetrometrica dinamica consiste nell'infingere nel terreno una punta conica (per tratti consecutivi δ) misurando il numero di colpi N necessari.

Le Prove Penetrometriche Dinamiche sono molto diffuse ed utilizzate nel territorio da geologi e geotecnici, data la loro semplicità esecutiva, economicità e rapidità di esecuzione.

La loro elaborazione, interpretazione e visualizzazione grafica consente di “catalogare e parametrizzare” il suolo attraversato con un'immagine in continuo, che permette anche di avere un raffronto sulle consistenze dei vari livelli attraversati e una correlazione diretta con sondaggi geognostici per la caratterizzazione stratigrafica.

La sonda penetrometrica permette inoltre di riconoscere abbastanza precisamente lo spessore delle coltri sul substrato, la quota di eventuali falde e superfici di rottura sui pendii, e la consistenza in generale del terreno.

L'utilizzo dei dati, ricavati da correlazioni indirette e facendo riferimento a vari autori, dovrà comunque essere trattato con le opportune cautele e, possibilmente, dopo esperienze geologiche acquisite in zona.

Elementi caratteristici del penetrometro dinamico sono i seguenti:

- peso massa battente M;
- altezza libera caduta H;
- punta conica: diametro base cono D, area base A (angolo di apertura α);
- avanzamento (penetrazione) δ ;
- presenza o meno del rivestimento esterno (fanghi bentonitici).

Con riferimento alla classificazione ISSMFE (1988) dei diversi tipi di penetrometri dinamici (vedi tabella sotto riportata) si rileva una prima suddivisione in quattro classi (in base al peso M della massa battente) :

- tipo LEGGERO (DPL);
- tipo MEDIO (DPM);
- tipo PESANTE (DPH);
- tipo SUPERPESANTE (DPSH).

Classificazione ISSMFE dei penetrometri dinamici:

Tipo	Sigla di riferimento	peso della massa M (kg)	prof. max indagine battente (m)
Leggero	DPL (Light)	$M \leq 10$	8
Medio	DPM (Medium)	$10 < M < 40$	20-25
Pesante	DPH (Heavy)	$40 \leq M < 60$	25
Super pesante (Super Heavy)	DPSH	$M \geq 60$	25

penetrometri in uso in Italia

In Italia risultano attualmente in uso i seguenti tipi di penetrometri dinamici (non rientranti però nello Standard ISSMFE):

- DINAMICO LEGGERO ITALIANO (DL-30) (MEDIO secondo la classifica ISSMFE)
 massa battente $M = 30$ kg, altezza di caduta $H = 0.20$ m, avanzamento $\delta = 10$ cm, punta conica ($\alpha=60-90^\circ$), diametro $D = 35.7$ mm, area base cono $A=10$ cm² rivestimento / fango bentonitico : talora previsto;

- DINAMICO LEGGERO ITALIANO (DL-20) (MEDIO secondo la classifica ISSMFE)
 massa battente $M = 20$ kg, altezza di caduta $H=0.20$ m, avanzamento $\delta = 10$ cm, punta conica ($\alpha = 60-90^\circ$), diametro $D = 35.7$ mm, area base cono $A=10$ cm² rivestimento / fango bentonitico : talora previsto;

- DINAMICO PESANTE ITALIANO (SUPERPESANTE secondo la classifica ISSMFE)
 massa battente $M = 73$ kg, altezza di caduta $H=0.75$ m, avanzamento $\delta=30$ cm, punta conica ($\alpha = 60^\circ$), diametro $D = 50.8$ mm, area base cono $A=20.27$ cm² rivestimento: previsto secondo precise indicazioni;

- DINAMICO SUPERPESANTE (Tipo EMILIA)
 massa battente $M=63.5$ kg, altezza caduta $H=0.75$ m, avanzamento $\delta=20-30$ cm, punta conica conica ($\alpha = 60^\circ-90^\circ$) diametro $D = 50.5$ mm, area base cono $A = 20$ cm², rivestimento / fango bentonitico : talora previsto.

Correlazione con N_{spt}

Poiché la prova penetrometrica standard (SPT) rappresenta, ad oggi, uno dei mezzi più diffusi ed economici per ricavare informazioni dal sottosuolo, la maggior parte delle correlazioni esistenti riguardano i valori del numero di colpi N_{spt} ottenuto con la suddetta prova, pertanto si presenta la necessità di rapportare il numero di colpi di una prova dinamica con N_{spt} . Il passaggio viene dato da:

$$N_{SPT} = \beta_t \cdot N$$

Dove:

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

in cui Q è l'energia specifica per colpo e Q_{spt} è quella riferita alla prova SPT.

L'energia specifica per colpo viene calcolata come segue:

$$Q = \frac{M^2 \cdot H}{A \cdot \delta \cdot (M + M')}$$

in cui

M	peso massa battente.
M'	peso aste.
H	altezza di caduta.
A	area base punta conica.

δ passo di avanzamento.

Valutazione resistenza dinamica alla punta Rpd

Formula Olandesi

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

Rpd resistenza dinamica punta (area A).
 e infissione media per colpo (δ/N).
 M peso massa battente (altezza caduta H).
 P peso totale aste e sistema battuta.

Calcolo di $(N_1)_{60}$

$(N_1)_{60}$ è il numero di colpi normalizzato definito come segue:

$$(N_1)_{60} = CN \cdot N_{60} \text{ con } CN = \sqrt{(Pa/\sigma_{vo})} \quad CN < 1.7 \quad Pa = 101.32 \text{ kPa (Liao e Whitman 1986)}$$

$$N_{60} = N_{SPT} \cdot (ER/60) \cdot C_S \cdot C_R \cdot C_d$$

ER/60 rendimento del sistema di infissione normalizzato al 60%.
 C_S parametro funzione della controcamicia (1.2 se assente).
 C_d funzione del diametro del foro (1 se compreso tra 65-115mm).
 C_R parametro di correzione funzione della lunghezza delle aste.

Metodologia di Elaborazione.

Le elaborazioni sono state effettuate mediante un programma di calcolo automatico Dynamic Probing della *GeoStru Software*.

Il programma calcola il rapporto delle energie trasmesse (coefficiente di correlazione con SPT) tramite le elaborazioni proposte da Pasqualini (1983) - Meyerhof (1956) - Desai (1968) - Borowczyk-Frankowsky (1981).

Permette inoltre di utilizzare i dati ottenuti dall'effettuazione di prove penetrometriche per estrapolare utili informazioni geotecniche e geologiche.

Una vasta esperienza acquisita, unitamente ad una buona interpretazione e correlazione, permettono spesso di ottenere dati utili alla progettazione e frequentemente dati maggiormente attendibili di tanti dati bibliografici sulle litologie e di dati geotecnici determinati sulle verticali litologiche da poche prove di laboratorio eseguite come rappresentazione generale di una verticale eterogenea disuniforme e/o complessa.

In particolare consente di ottenere informazioni su:

- l'andamento verticale e orizzontale degli intervalli stratigrafici,

- la caratterizzazione litologica delle unità stratigrafiche,
- i parametri geotecnici suggeriti da vari autori in funzione dei valori del numero dei colpi e delle resistenza alla punta.

Valutazioni statistiche e correlazioni

Elaborazione Statistica

Permette l'elaborazione statistica dei dati numerici di Dynamic Probing, utilizzando nel calcolo dei valori rappresentativi dello strato considerato un valore inferiore o maggiore della media aritmetica dello strato (dato comunque maggiormente utilizzato); i valori possibili in immissione sono :

Media

Media aritmetica dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Media minima

Valore statistico inferiore alla media aritmetica dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Massimo

Valore massimo dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Minimo

Valore minimo dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Scarto quadratico medio

Valore statistico di scarto dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Media deviata

Valore statistico di media deviata dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Media (+ s)

Media + scarto (valore statistico) dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Media (- s)

Media - scarto (valore statistico) dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Distribuzione normale R.C.

Il valore di $N_{spt,k}$ viene calcolato sulla base di una distribuzione normale o gaussiana, fissata una probabilità di non superamento del 5%, secondo la seguente relazione:

$$N_{spt,k} = N_{spt,medio} - 1.645 \cdot (\sigma_{N_{spt}})$$

dove $\sigma_{N_{spt}}$ è la deviazione standard di N_{spt}

Distribuzione normale R.N.C.

Il valore di $N_{spt,k}$ viene calcolato sulla base di una distribuzione normale o gaussiana, fissata una probabilità di non superamento del 5%, trattando i valori medi di N_{spt} distribuiti normalmente:

$$N_{spt,k} = N_{spt,medio} - 1.645 \cdot (\sigma_{N_{spt}}) / \sqrt{n}$$

dove n è il numero di letture.

Pressione ammissibile

Pressione ammissibile specifica sull'interstrato (con effetto di riduzione energia per svergolamento aste o no) calcolata secondo le note elaborazioni proposte da Herminier, applicando un coefficiente di sicurezza (generalmente = 20-22) che corrisponde ad un coefficiente di sicurezza standard delle fondazioni pari a 4, con una geometria fondale standard di larghezza pari a 1 m ed immersione $d = 1$ m.

Correlazioni geotecniche terreni incoerenti

Liquefazione

Permette di calcolare utilizzando dati N_{spt} il potenziale di liquefazione dei suoli (prevalentemente sabbiosi).

Attraverso la relazione di *SHI-MING (1982)*, applicabile a terreni sabbiosi, la liquefazione risulta possibile solamente se N_{spt} dello strato considerato risulta inferiore a N_{spt} critico calcolato con l'elaborazione di *SHI-MING*.

Correzione N_{spt} in presenza di falda

$$N_{spt\ corretto} = 15 + 0.5 \cdot (N_{spt} - 15)$$

N_{spt} è il valore medio nello strato

La correzione viene applicata in presenza di falda solo se il numero di colpi è maggiore di 15 (la correzione viene eseguita se tutto lo strato è in falda).

Angolo di Attrito

- Peck-Hanson-Thornburn-Meyerhof (1956) - Correlazione valida per terreni non molli a prof. < 5 m; correlazione valida per sabbie e ghiaie rappresenta valori medi. - Correlazione storica molto usata, valevole per prof. < 5 m per terreni sopra falda e < 8 m per terreni in falda (tensioni < 8-10 t/mq)
- Meyerhof (1956) - Correlazioni valide per terreni argillosi ed argillosi-marnosi fessurati, terreni di riporto sciolti e coltri detritiche (da modifica sperimentale di dati).
- Sowers (1961)- Angolo di attrito in gradi valido per sabbie in genere (cond. ottimali per prof. < 4 m. sopra falda e < 7 m per terreni in falda) $\sigma > 5$ t/mq.
- De Mello - Correlazione valida per terreni prevalentemente sabbiosi e sabbioso-ghiaiosi (da modifica sperimentale di dati) con angolo di attrito < 38° .
- Malcev (1964) - Angolo di attrito in gradi valido per sabbie in genere (cond. ottimali per prof. > 2 m e per valori di angolo di attrito < 38°).

- Schmertmann (1977)- Angolo di attrito (gradi) per vari tipi litologici (valori massimi). N.B. valori spesso troppo ottimistici poiché desunti da correlazioni indirette da D_r %.
- Shioi-Fukuni (1982) - ROAD BRIDGE SPECIFICATION, Angolo di attrito in gradi valido per sabbie - sabbie fini o limose e limi siltosi (cond. ottimali per prof. di prova > 8 m sopra falda e > 15 m per terreni in falda) $\sigma > 15$ t/mq.
- Shioi-Fukuni (1982) - JAPANESE NATIONALE RAILWAY, Angolo di attrito valido per sabbie medie e grossolane fino a ghiaiose.
- Angolo di attrito in gradi (Owasaki & Iwasaki) valido per sabbie - sabbie medie e grossolane-ghiaiose (cond. ottimali per prof. > 8 m sopra falda e > 15 m per terreni in falda) $s > 15$ t/mq.
- Meyerhof (1965) - Correlazione valida per terreni per sabbie con % di limo $< 5\%$ a profondità < 5 m e con (%) di limo $> 5\%$ a profondità < 3 m.
- Mitchell e Katti (1965) - Correlazione valida per sabbie e ghiaie.

Densità relativa (%)

- Gibbs & Holtz (1957) correlazione valida per qualunque pressione efficace, per ghiaie D_r viene sovrastimato, per limi sottostimato.
- Skempton (1986) elaborazione valida per limi e sabbie e sabbie da fini a grossolane NC a qualunque pressione efficace, per ghiaie il valore di D_r % viene sovrastimato, per limi sottostimato.
- Meyerhof (1957).
- Schultze & Menzenbach (1961) per sabbie fini e ghiaiose NC , metodo valido per qualunque valore di pressione efficace in depositi NC, per ghiaie il valore di D_r % viene sovrastimato, per limi sottostimato.

Modulo Di Young (E_y)

- Terzaghi - elaborazione valida per sabbia pulita e sabbia con ghiaia senza considerare la pressione efficace.
- Schmertmann (1978), correlazione valida per vari tipi litologici .
- Schultze-Menzenbach , correlazione valida per vari tipi litologici.
- D'Appollonia ed altri (1970) , correlazione valida per sabbia, sabbia SC, sabbia NC e ghiaia.
- Bowles (1982), correlazione valida per sabbia argillosa, sabbia limosa, limo sabbioso, sabbia media, sabbia e ghiaia.

Modulo Edometrico

Begemann (1974) elaborazione desunta da esperienze in Grecia, correlazione valida per limo con sabbia, sabbia e ghiaia

- Buismann-Sanglerat , correlazione valida per sabbia e sabbia argillosa.

- Farrent (1963) valida per sabbie, talora anche per sabbie con ghiaia (da modifica sperimentale di dati).
- Menzenbach e Malcev valida per sabbia fine, sabbia ghiaiosa e sabbia e ghiaia.

Stato di consistenza

- Classificazione A.G.I. 1977

Peso di Volume

- Meyerhof ed altri, valida per sabbie, ghiaie, limo, limo sabbioso.

Peso di volume saturo

- Terzaghi-Peck (1948-1967)

Modulo di poisson

- Classificazione A.G.I.

Potenziale di liquefazione (Stress Ratio)

- Seed-Idriss (1978-1981) . Tale correlazione è valida solamente per sabbie, ghiaie e limi sabbiosi, rappresenta il rapporto tra lo sforzo dinamico medio τ e la tensione verticale di consolidazione per la valutazione del potenziale di liquefazione delle sabbie e terreni sabbio-ghiaiosi attraverso grafici degli autori.

Velocità onde di taglio V_s (m/s)

- Tale correlazione è valida solamente per terreni incoerenti sabbiosi e ghiaiosi.

Modulo di deformazione di taglio (G)

- Ohsaki & Iwasaki – elaborazione valida per sabbie con fine plastico e sabbie pulite.
- Robertson e Campanella (1983) e Imai & Tonouchi (1982) elaborazione valida soprattutto per sabbie e per tensioni litostatiche comprese tra 0,5 - 4,0 kg/cmq.

Modulo di reazione (K_0)

- Navfac (1971-1982) - elaborazione valida per sabbie, ghiaie, limo, limo sabbioso.

Resistenza alla punta del Penetrometro Statico (Q_c)

- Robertson (1983) - Q_c

Correlazioni geotecniche terreni coesivi

Coesione non drenata

- Benassi & Vannelli- correlazioni scaturite da esperienze ditta costruttrice Penetrometri SUNDA (1983).
- Terzaghi-Peck (1948-1967), correlazione valida per argille sabbiose-siltose NC con $N_{spt} < 8$, argille limose-siltose mediamente plastiche, argille marnose alterate-fessurate.
- Terzaghi-Peck (1948). C_u (min-max).
- Sanglerat , da dati Penetr. Statico per terreni coesivi saturi , tale correlazione non è valida per argille sensitive con sensitività > 5 , per argille sovraconsolidate fessurate e per i limi a bassa plasticità.
- Sanglerat , (per argille limose-sabbiose poco coerenti), valori validi per resistenze penetrometriche < 10 colpi, per resistenze penetrometriche > 10 l'elaborazione valida è comunque quella delle "argille plastiche " di Sanglerat.
- (U.S.D.M.S.M.) U.S. Design Manual Soil Mechanics Coesione non drenata per argille limose e argille di bassa media ed alta plasticità , (C_u - N_{spt} -grado di plasticità).
- Schmertmann (1975), C_u (Kg/cmq) (valori medi), valida per **argille e limi argillosi** con $N_c = 20$ e $Q_c/N_{spt} = 2$.
- Schmertmann (1975), C_u (Kg/cmq) (valori minimi), valida per argille NC .
- Fletcher (1965), (Argilla di Chicago) . Coesione non drenata C_u (Kg/cmq), colonna valori validi per argille a medio-bassa plasticità.
- Houston (1960) - argilla di media-alta plasticità.
- Shioi-Fukuni (1982), valida per suoli poco coerenti e plastici, argilla di media-alta plasticità.
- Begemann.
- De Beer.

Resistenza alla punta del Penetrometro Statico (Q_c)

- Robertson (1983) - Q_c

Modulo Edometrico-Confinato (M_o)

- Stroud e Butler (1975),- per litotipi a media plasticità, valida per litotipi argillosi a media-medio-alta plasticità - da esperienze su argille glaciali.
- Stroud e Butler (1975), per litotipi a medio-bassa plasticità ($IP < 20$), valida per litotipi argillosi a medio-bassa plasticità ($IP < 20$) - da esperienze su argille glaciali .
- Vesic (1970), correlazione valida per argille molli (valori minimi e massimi).
- Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner Modulo Confinato - M_o (Eed) (Kg/cmq)-, valida per litotipi argillosi e limosi-argillosi (rapporto $Q_c/N_{spt}=1.5-2.0$).
- Buismann- Sanglerat, valida per argille compatte ($N_{spt} < 30$) medie e molli ($N_{spt} < 4$) e argille sabbiose ($N_{spt} = 6-12$).

Modulo Di Young (E_Y)

- Schultze-Menzenbach - (Min. e Max.), correlazione valida per limi coerenti e limi argillosi con I.P. > 15.
- D'Appollonia ed altri (1983), correlazione valida per argille sature-argille fessurate.

Stato di consistenza

- Classificazione A.G.I. 1977.

Peso di Volume

- Meyerhof ed altri, valida per argille, argille sabbiose e limose prevalentemente coerenti.

Peso di volume saturo

- Meyerhof ed altri.

PROVA PENETROMETRICA PP.1



Strumento utilizzato: DL-30 (60°)

Prova eseguita in data: 21.07.21

Profondità prova: 4.30 m

Falda rilevata: assente

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm ²)	Res. dinamica (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)
0.10	7	0.857	20.02	23.38	1.00	1.17
0.20	5	0.855	14.27	16.70	0.71	0.83
0.30	2	0.853	5.70	6.68	0.28	0.33
0.40	5	0.851	14.21	16.70	0.71	0.83
0.50	5	0.849	14.17	16.70	0.71	0.83
0.60	7	0.847	19.80	23.38	0.99	1.17
0.70	7	0.845	19.76	23.38	0.99	1.17
0.80	5	0.843	14.08	16.70	0.70	0.83
0.90	14	0.792	35.12	44.37	1.76	2.22
1.00	11	0.840	29.27	34.86	1.46	1.74
1.10	11	0.838	29.21	34.86	1.46	1.74
1.20	10	0.836	26.50	31.69	1.33	1.58
1.30	11	0.835	29.09	34.86	1.45	1.74
1.40	13	0.783	32.25	41.20	1.61	2.06
1.50	13	0.781	32.18	41.20	1.61	2.06
1.60	21	0.730	48.55	66.55	2.43	3.33
1.70	17	0.778	41.91	53.87	2.10	2.69
1.80	13	0.776	31.98	41.20	1.60	2.06
1.90	18	0.775	42.05	54.27	2.10	2.71
2.00	21	0.723	45.79	63.32	2.29	3.17
2.10	21	0.722	45.69	63.32	2.28	3.17
2.20	19	0.770	44.12	57.29	2.21	2.86
2.30	19	0.769	44.03	57.29	2.20	2.86
2.40	26	0.717	56.22	78.39	2.81	3.92
2.50	24	0.716	51.79	72.36	2.59	3.62
2.60	24	0.714	51.68	72.36	2.58	3.62
2.70	20	0.763	46.00	60.30	2.30	3.02
2.80	23	0.711	49.33	69.35	2.47	3.47
2.90	26	0.710	53.08	74.76	2.65	3.74
3.00	26	0.709	52.98	74.76	2.65	3.74
3.10	22	0.707	44.74	63.26	2.24	3.16

3.20	24	0.706	48.72	69.01	2.44	3.45
3.30	21	0.705	42.55	60.38	2.13	3.02
3.40	27	0.703	54.61	77.64	2.73	3.88
3.50	27	0.702	54.51	77.64	2.73	3.88
3.60	31	0.651	58.02	89.14	2.90	4.46
3.70	35	0.650	65.38	100.64	3.27	5.03
3.80	32	0.648	59.66	92.01	2.98	4.60
3.90	33	0.647	58.69	90.69	2.93	4.53
4.00	31	0.646	55.04	85.19	2.75	4.26
4.10	35	0.645	62.02	96.18	3.10	4.81
4.20	34	0.644	60.14	93.44	3.01	4.67
4.30	40	0.593	65.14	109.92	3.26	5.50

Prof. Strato (m)	NPDM	Rd (Kg/cm ²)	Tipo	Peso unità di volume (t/m ³)	Peso unità di volume saturo (t/m ³)	Coeff. di correlaz. con Nspt	NSPT	Descrizione
0.8	5.38	17.95	Incoerente - coesivo	1.71	1.87	0.76	4.09	Sabbia
2.3	15.47	48.01	Incoerente - coesivo	2.01	2.21	0.76	11.77	Limo argilloso
4.3	28.05	80.37	Incoerente - coesivo	2.09	2.31	0.76	21.35	Argilla limosa

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA PP.1

TERRENI COESIVI

Coesione non drenata (Kg/cm²)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Terzaghi -Peck	Sanglerat	Terzaghi -Peck (1948)	U.S.D.M .S.M	Schmert mann 1975	SUNDA (1983) Benassi e Vannelli	Fletcher (1965) Argilla di Chicago	Houston (1960)	Shioi - Fukui 1982	Begeman n	De Beer
[1] - Sabbia	4.09	0.80	0.26	0.51	0.00	0.17	0.40	0.54	0.37	0.74	0.21	0.63	0.51
[2] - Limo argilloso	11.77	2.30	0.79	1.47	0.00	0.47	1.16	1.44	1.03	1.35	0.59	1.77	1.47
[3] - Argilla limosa	21.35	4.30	1.44	2.67	0.00	0.82	2.11	2.41	1.80	2.21	1.07	3.81	2.67

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Qc (Kg/cm ²)
[1] - Sabbia	4.09	0.80	Robertson (1983)	8.18
[2] - Limo argilloso	11.77	2.30	Robertson (1983)	23.54
[3] - Argilla limosa	21.35	4.30	Robertson (1983)	42.70

Modulo Edometrico (Kg/cm²)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Stroud e Butler (1975)	Vesic (1970)	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	Buisman- Sanglerat
[1] - Sabbia	4.09	0.80	18.77	61.35	43.51	51.13
[2] - Limo argilloso	11.77	2.30	54.00	--	121.84	117.70
[3] - Argilla limosa	21.35	4.30	97.95	--	219.55	213.50

Modulo di Young (Kg/cm²)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Schultze	Apollonia
[1] - Sabbia	4.09	0.80	26.64	40.90
[2] - Limo argilloso	11.77	2.30	114.96	117.70
[3] - Argilla limosa	21.35	4.30	225.13	213.50

Classificazione AGI

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
[1] - Sabbia	4.09	0.80	A.G.I. (1977)	MODERAT. CONSISTENTE
[2] - Limo argilloso	11.77	2.30	A.G.I. (1977)	CONSISTENTE
[3] - Argilla limosa	21.35	4.30	A.G.I. (1977)	MOLTO CONSISTENTE

Peso unità di volume

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m ³)
[1] - Sabbia	4.09	0.80	Meyerhof	1.71
[2] - Limo argilloso	11.77	2.30	Meyerhof	2.01
[3] - Argilla limosa	21.35	4.30	Meyerhof	2.10

Peso unità di volume saturo

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m ³)
[1] - Sabbia	4.09	0.80	Meyerhof	1.87
[2] - Limo argilloso	11.77	2.30	Meyerhof	2.21
[3] - Argilla limosa	21.35	4.30	Meyerhof	2.13

Velocità onde di taglio

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Velocità onde di taglio (m/s)
[1] - Sabbia	4.09	0.80	Ohta & Goto (1978) Limi	73.14
[2] - Limo argilloso	11.77	2.30	Ohta & Goto (1978) Limi	114.05
[3] - Argilla limosa	21.35	4.30	Ohta & Goto (1978) Limi	146.28

TERRENI INCOERENTI

Densità relativa

	NSPT	Prof. Strato (m)	Gibbs & Holtz 1957	Meyerhof 1957	Schultze & Menzenbach (1961)
[1] - Sabbia	4.09	0.80	21.81	48.45	67.77
[2] - Limo argilloso	11.77	2.30	38.52	72.5	77.1
[3] - Argilla limosa	21.35	4.30	49.26	90.95	91.77

Angolo di resistenza al taglio

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Peck-Hanson-Thornburn-Meyerhof 1956	Meyerhof (1956)	Sowers (1961)	Meyerhof (1965)	Schmertmann (1977) Sabbie	Mitchell & Katti (1981)	Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION)	Japanese National Railway	De Mello	Owasaki & Iwasaki
[1] - Sabbia	4.09	0.80	4.09	28.17	21.17	29.15	33.11	31.28	0	<30	22.83	28.23	31.04
[2] - Limo argilloso	11.77	2.30	11.77	30.36	23.36	31.3	31.7	34.33	38.15	<30	28.29	30.53	39.43
[3] - Argilla limosa	21.35	4.30	21.35	33.1	26.1	33.98	31.75	37.47	40.73	30-32	32.9	33.4	44.06

Modulo di Young (Kg/cm²)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Terzaghi	Schmertmann (1978) (Sabbie)	Schultze-Menzenbach (Sabbia ghiaiosa)	D'Appollonia ed altri 1970 (Sabbia)	Bowles (1982) Sabbia Media
[1] - Sabbia	4.09	0.80	4.09	---	32.72	---	---	---
[2] - Limo argilloso	11.77	2.30	11.77	244.88	94.16	139.59	268.27	133.85
[3] - Argilla limosa	21.35	4.30	21.35	329.81	170.80	252.63	340.12	181.75

Modulo Edometrico (Kg/cm²)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Buisman-Sanglerat (sabbie)	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	Farrent 1963	Menzenbach e Malcev (Sabbia media)
[1] - Sabbia	4.09	0.80	4.09	---	35.87	29.04	56.24
[2] - Limo argilloso	11.77	2.30	11.77	70.62	51.64	83.57	90.49
[3] - Argilla limosa	21.35	4.30	21.35	128.10	71.32	151.59	133.22

Classificazione AGI

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Classificazione AGI
[1] - Sabbia	4.09	0.80	4.09	Classificazione A.G.I	POCO ADDENSATO
[2] - Limo argilloso	11.77	2.30	11.77	Classificazione A.G.I	MODERATA MENTE ADDENSATO
[3] - Argilla limosa	21.35	4.30	21.35	Classificazione A.G.I	MODERATA MENTE ADDENSATO

Peso unità di volume

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unità di Volume (t/m ³)
[1] - Sabbia	4.09	0.80	4.09	Terzaghi-Peck 1948	1.40
[2] - Limo argilloso	11.77	2.30	11.77	Terzaghi-Peck 1948	1.50
[3] - Argilla limosa	21.35	4.30	21.35	Terzaghi-Peck 1948	1.61

Peso unità di volume saturo

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unità Volume Saturo (t/m ³)
[1] - Sabbia	4.09	0.80	4.09	Terzaghi-Peck 1948	1.87
[2] - Limo argilloso	11.77	2.30	11.77	Terzaghi-Peck 1948	1.93
[3] - Argilla limosa	21.35	4.30	21.35	Terzaghi-Peck 1948	2.00

Modulo di Poisson

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Poisson
[1] - Sabbia	4.09	0.80	4.09	(A.G.I.)	0.35
[2] - Limo argilloso	11.77	2.30	11.77	(A.G.I.)	0.33
[3] - Argilla limosa	21.35	4.30	21.35	(A.G.I.)	0.31

Modulo di deformazione a taglio dinamico (Kg/cm²)

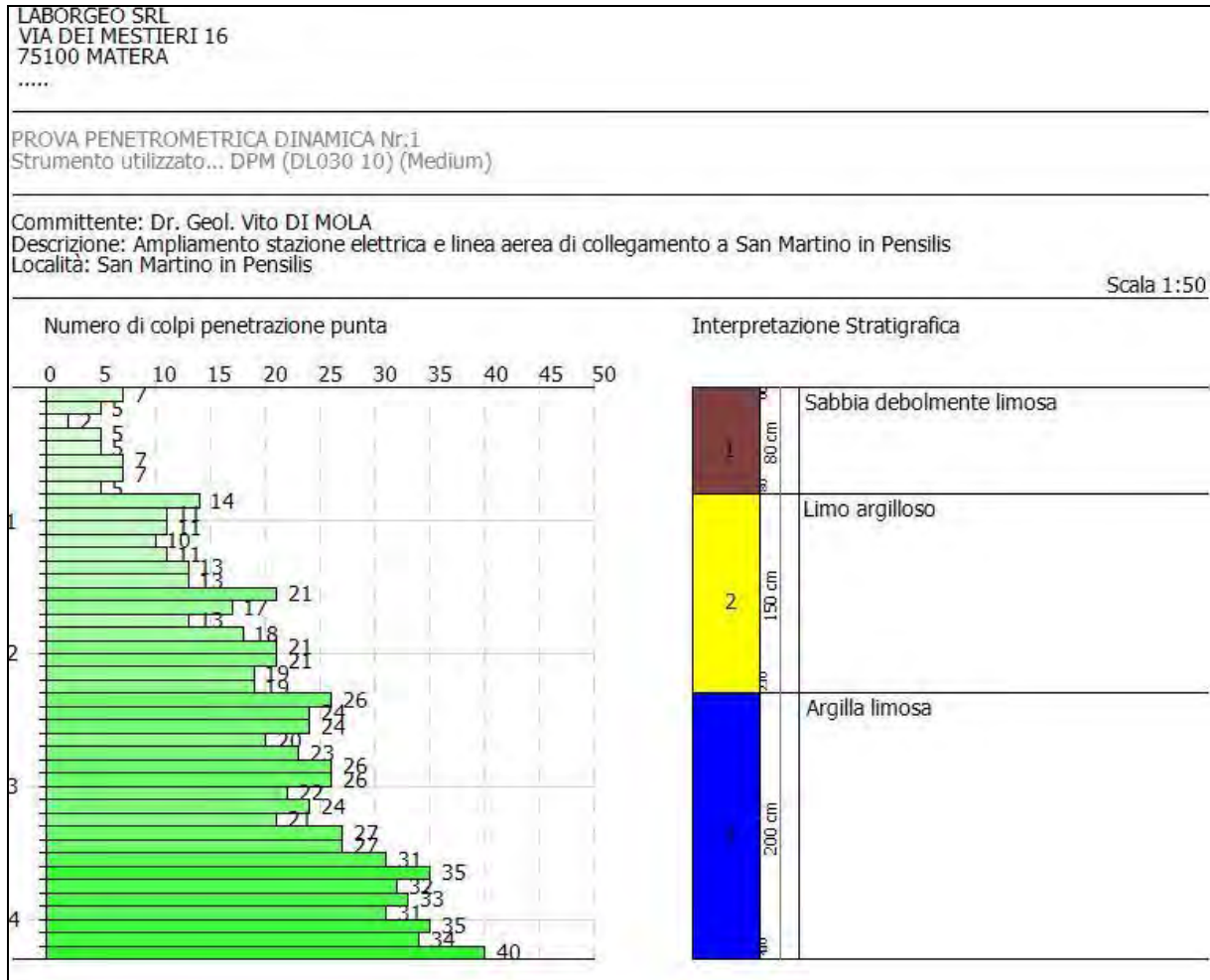
	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Velocità onde di taglio (m/s)
[1] - Sabbia	4.09	0.80	4.09	Ohta & Goto (1978) Limi	73.14
[2] - Limo argilloso	11.77	2.30	11.77	Ohta & Goto (1978) Limi	114.05
[3] - Argilla limosa	21.35	4.30	21.35	Ohta & Goto (1978) Limi	146.28

Liquefazione

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	K0
[1] - Sabbia	4.09	0.80	4.09	Navfac 1971-1982	0.77
[2] - Limo argilloso	11.77	2.30	11.77	Navfac 1971-1982	2.48
[3] - Argilla limosa	21.35	4.30	21.35	Navfac 1971-1982	4.28

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Qc (Kg/cm ²)
[1] - Sabbia	4.09	0.80	4.09	Robertson 1983	8.18
[2] - Limo argilloso	11.77	2.30	11.77	Robertson 1983	23.54
[3] - Argilla limosa	21.35	4.30	21.35	Robertson 1983	42.70



Matera, 26.07.21

**Il Responsabile delle indagini geologiche
Dr. Geol. Angelo Capodilupo**

PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE CONTINUE
(DYNAMIC PROBING)
DPSH – DPM (... scpt ecc.)

Note illustrative - Diverse tipologie di penetrometri dinamici

La prova penetrometrica dinamica consiste nell'infingere nel terreno una punta conica (per tratti consecutivi δ) misurando il numero di colpi N necessari.

Le Prove Penetrometriche Dinamiche sono molto diffuse ed utilizzate nel territorio da geologi e geotecnici, data la loro semplicità esecutiva, economicità e rapidità di esecuzione.

La loro elaborazione, interpretazione e visualizzazione grafica consente di "catalogare e parametrizzare" il suolo attraversato con un'immagine in continuo, che permette anche di avere un raffronto sulle consistenze dei vari livelli attraversati e una correlazione diretta con sondaggi geognostici per la caratterizzazione stratigrafica.

La sonda penetrometrica permette inoltre di riconoscere abbastanza precisamente lo spessore delle coltri sul substrato, la quota di eventuali falde e superfici di rottura sui pendii, e la consistenza in generale del terreno.

L'utilizzo dei dati, ricavati da correlazioni indirette e facendo riferimento a vari autori, dovrà comunque essere trattato con le opportune cautele e, possibilmente, dopo esperienze geologiche acquisite in zona.

Elementi caratteristici del penetrometro dinamico sono i seguenti:

- peso massa battente M;
- altezza libera caduta H;
- punta conica: diametro base cono D, area base A (angolo di apertura α);
- avanzamento (penetrazione) δ ;
- presenza o meno del rivestimento esterno (fanghi bentonitici).

Con riferimento alla classificazione ISSMFE (1988) dei diversi tipi di penetrometri dinamici (vedi tabella sotto riportata) si rileva una prima suddivisione in quattro classi (in base al peso M della massa battente) :

- tipo LEGGERO (DPL);
- tipo MEDIO (DPM);
- tipo PESANTE (DPH);
- tipo SUPERPESANTE (DPSH).

Classificazione ISSMFE dei penetrometri dinamici:

Tipo	Sigla di riferimento	peso della massa M (kg)	prof. max indagine battente (m)
Leggero	DPL (Light)	$M \leq 10$	8
Medio	DPM (Medium)	$10 < M < 40$	20-25
Pesante	DPH (Heavy)	$40 \leq M < 60$	25
Super pesante (Super Heavy)	DPSH	$M \geq 60$	25

penetrometri in uso in Italia

In Italia risultano attualmente in uso i seguenti tipi di penetrometri dinamici (non rientranti però nello Standard ISSMFE):

- DINAMICO LEGGERO ITALIANO (DL-30) (MEDIO secondo la classifica ISSMFE)
 massa battente $M = 30$ kg, altezza di caduta $H = 0.20$ m, avanzamento $\delta = 10$ cm, punta conica ($\alpha=60-90^\circ$), diametro $D = 35.7$ mm, area base cono $A=10$ cm² rivestimento / fango bentonitico : talora previsto;

- DINAMICO LEGGERO ITALIANO (DL-20) (MEDIO secondo la classifica ISSMFE)
 massa battente $M = 20$ kg, altezza di caduta $H=0.20$ m, avanzamento $\delta = 10$ cm, punta conica ($\alpha = 60-90^\circ$), diametro $D = 35.7$ mm, area base cono $A=10$ cm² rivestimento / fango bentonitico : talora previsto;

- DINAMICO PESANTE ITALIANO (SUPERPESANTE secondo la classifica ISSMFE)
 massa battente $M = 73$ kg, altezza di caduta $H=0.75$ m, avanzamento $\delta=30$ cm, punta conica ($\alpha = 60^\circ$), diametro $D = 50.8$ mm, area base cono $A=20.27$ cm² rivestimento: previsto secondo precise indicazioni;

- DINAMICO SUPERPESANTE (Tipo EMILIA)
 massa battente $M=63.5$ kg, altezza caduta $H=0.75$ m, avanzamento $\delta=20-30$ cm, punta conica conica ($\alpha = 60^\circ-90^\circ$) diametro $D = 50.5$ mm, area base cono $A = 20$ cm², rivestimento / fango bentonitico : talora previsto.

Correlazione con N_{spt}

Poiché la prova penetrometrica standard (SPT) rappresenta, ad oggi, uno dei mezzi più diffusi ed economici per ricavare informazioni dal sottosuolo, la maggior parte delle correlazioni esistenti riguardano i valori del numero di colpi N_{spt} ottenuto con la suddetta prova, pertanto si presenta la necessità di rapportare il numero di colpi di una prova dinamica con N_{spt} . Il passaggio viene dato da:

$$N_{SPT} = \beta_t \cdot N$$

Dove:

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

in cui Q è l'energia specifica per colpo e Q_{spt} è quella riferita alla prova SPT.

L'energia specifica per colpo viene calcolata come segue:

$$Q = \frac{M^2 \cdot H}{A \cdot \delta \cdot (M + M')}$$

in cui

M	peso massa battente.
M'	peso aste.
H	altezza di caduta.
A	area base punta conica.

δ passo di avanzamento.

Valutazione resistenza dinamica alla punta Rpd

Formula Olandesi

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

Rpd resistenza dinamica punta (area A).
 e infissione media per colpo (δ/N).
 M peso massa battente (altezza caduta H).
 P peso totale aste e sistema battuta.

Calcolo di $(N_1)_{60}$

$(N_1)_{60}$ è il numero di colpi normalizzato definito come segue:

$$(N_1)_{60} = CN \cdot N_{60} \text{ con } CN = \sqrt{(Pa/\sigma_{vo})} \quad CN < 1.7 \quad Pa = 101.32 \text{ kPa (Liao e Whitman 1986)}$$

$$N_{60} = N_{SPT} \cdot (ER/60) \cdot C_S \cdot C_R \cdot C_d$$

ER/60 rendimento del sistema di infissione normalizzato al 60%.
 C_S parametro funzione della controcamicia (1.2 se assente).
 C_d funzione del diametro del foro (1 se compreso tra 65-115mm).
 C_R parametro di correzione funzione della lunghezza delle aste.

Metodologia di Elaborazione.

Le elaborazioni sono state effettuate mediante un programma di calcolo automatico Dynamic Probing della *GeoStru Software*.

Il programma calcola il rapporto delle energie trasmesse (coefficiente di correlazione con SPT) tramite le elaborazioni proposte da Pasqualini (1983) - Meyerhof (1956) - Desai (1968) - Borowczyk-Frankowsky (1981).

Permette inoltre di utilizzare i dati ottenuti dall'effettuazione di prove penetrometriche per estrapolare utili informazioni geotecniche e geologiche.

Una vasta esperienza acquisita, unitamente ad una buona interpretazione e correlazione, permettono spesso di ottenere dati utili alla progettazione e frequentemente dati maggiormente attendibili di tanti dati bibliografici sulle litologie e di dati geotecnici determinati sulle verticali litologiche da poche prove di laboratorio eseguite come rappresentazione generale di una verticale eterogenea disuniforme e/o complessa.

In particolare consente di ottenere informazioni su:

- l'andamento verticale e orizzontale degli intervalli stratigrafici,

- la caratterizzazione litologica delle unità stratigrafiche,
- i parametri geotecnici suggeriti da vari autori in funzione dei valori del numero dei colpi e delle resistenza alla punta.

Valutazioni statistiche e correlazioni

Elaborazione Statistica

Permette l'elaborazione statistica dei dati numerici di Dynamic Probing, utilizzando nel calcolo dei valori rappresentativi dello strato considerato un valore inferiore o maggiore della media aritmetica dello strato (dato comunque maggiormente utilizzato); i valori possibili in immissione sono :

Media

Media aritmetica dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Media minima

Valore statistico inferiore alla media aritmetica dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Massimo

Valore massimo dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Minimo

Valore minimo dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Scarto quadratico medio

Valore statistico di scarto dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Media deviata

Valore statistico di media deviata dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Media (+ s)

Media + scarto (valore statistico) dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Media (- s)

Media - scarto (valore statistico) dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Distribuzione normale R.C.

Il valore di $N_{spt,k}$ viene calcolato sulla base di una distribuzione normale o gaussiana, fissata una probabilità di non superamento del 5%, secondo la seguente relazione:

$$N_{spt,k} = N_{spt,medio} - 1.645 \cdot (\sigma_{N_{spt}})$$

dove $\sigma_{N_{spt}}$ è la deviazione standard di N_{spt}

Distribuzione normale R.N.C.

Il valore di $N_{spt,k}$ viene calcolato sulla base di una distribuzione normale o gaussiana, fissata una probabilità di non superamento del 5%, trattando i valori medi di N_{spt} distribuiti normalmente:

$$N_{spt,k} = N_{spt,medio} - 1.645 \cdot (\sigma_{N_{spt}}) / \sqrt{n}$$

dove n è il numero di letture.

Pressione ammissibile

Pressione ammissibile specifica sull'interstrato (con effetto di riduzione energia per svergolamento aste o no) calcolata secondo le note elaborazioni proposte da Herminier, applicando un coefficiente di sicurezza (generalmente = 20-22) che corrisponde ad un coefficiente di sicurezza standard delle fondazioni pari a 4, con una geometria fondale standard di larghezza pari a 1 m ed immersione $d = 1$ m.

Correlazioni geotecniche terreni incoerenti

Liquefazione

Permette di calcolare utilizzando dati N_{spt} il potenziale di liquefazione dei suoli (prevalentemente sabbiosi).

Attraverso la relazione di *SHI-MING (1982)*, applicabile a terreni sabbiosi, la liquefazione risulta possibile solamente se N_{spt} dello strato considerato risulta inferiore a N_{spt} critico calcolato con l'elaborazione di *SHI-MING*.

Correzione N_{spt} in presenza di falda

$$N_{spt\ corretto} = 15 + 0.5 \cdot (N_{spt} - 15)$$

N_{spt} è il valore medio nello strato

La correzione viene applicata in presenza di falda solo se il numero di colpi è maggiore di 15 (la correzione viene eseguita se tutto lo strato è in falda).

Angolo di Attrito

- Peck-Hanson-Thornburn-Meyerhof (1956) - Correlazione valida per terreni non molli a prof. < 5 m; correlazione valida per sabbie e ghiaie rappresenta valori medi. - Correlazione storica molto usata, valevole per prof. < 5 m per terreni sopra falda e < 8 m per terreni in falda (tensioni < 8-10 t/mq)
- Meyerhof (1956) - Correlazioni valide per terreni argillosi ed argillosi-marnosi fessurati, terreni di riporto sciolti e coltri detritiche (da modifica sperimentale di dati).
- Sowers (1961)- Angolo di attrito in gradi valido per sabbie in genere (cond. ottimali per prof. < 4 m. sopra falda e < 7 m per terreni in falda) $\sigma > 5$ t/mq.
- De Mello - Correlazione valida per terreni prevalentemente sabbiosi e sabbioso-ghiaiosi (da modifica sperimentale di dati) con angolo di attrito < 38° .
- Malcev (1964) - Angolo di attrito in gradi valido per sabbie in genere (cond. ottimali per prof. > 2 m e per valori di angolo di attrito < 38°).

- Schmertmann (1977)- Angolo di attrito (gradi) per vari tipi litologici (valori massimi). N.B. valori spesso troppo ottimistici poiché desunti da correlazioni indirette da D_r %.
- Shioi-Fukuni (1982) - ROAD BRIDGE SPECIFICATION, Angolo di attrito in gradi valido per sabbie - sabbie fini o limose e limi siltosi (cond. ottimali per prof. di prova > 8 m sopra falda e > 15 m per terreni in falda) $\sigma > 15$ t/mq.
- Shioi-Fukuni (1982) - JAPANESE NATIONALE RAILWAY, Angolo di attrito valido per sabbie medie e grossolane fino a ghiaiose.
- Angolo di attrito in gradi (Owasaki & Iwasaki) valido per sabbie - sabbie medie e grossolane-ghiaiose (cond. ottimali per prof. > 8 m sopra falda e > 15 m per terreni in falda) $s > 15$ t/mq.
- Meyerhof (1965) - Correlazione valida per terreni per sabbie con % di limo $< 5\%$ a profondità < 5 m e con (%) di limo $> 5\%$ a profondità < 3 m.
- Mitchell e Katti (1965) - Correlazione valida per sabbie e ghiaie.

Densità relativa (%)

- Gibbs & Holtz (1957) correlazione valida per qualunque pressione efficace, per ghiaie D_r viene sovrastimato, per limi sottostimato.
- Skempton (1986) elaborazione valida per limi e sabbie e sabbie da fini a grossolane NC a qualunque pressione efficace, per ghiaie il valore di D_r % viene sovrastimato, per limi sottostimato.
- Meyerhof (1957).
- Schultze & Menzenbach (1961) per sabbie fini e ghiaiose NC , metodo valido per qualunque valore di pressione efficace in depositi NC, per ghiaie il valore di D_r % viene sovrastimato, per limi sottostimato.

Modulo Di Young (E_y)

- Terzaghi - elaborazione valida per sabbia pulita e sabbia con ghiaia senza considerare la pressione efficace.
- Schmertmann (1978), correlazione valida per vari tipi litologici .
- Schultze-Menzenbach , correlazione valida per vari tipi litologici.
- D'Appollonia ed altri (1970) , correlazione valida per sabbia, sabbia SC, sabbia NC e ghiaia.
- Bowles (1982), correlazione valida per sabbia argillosa, sabbia limosa, limo sabbioso, sabbia media, sabbia e ghiaia.

Modulo Edometrico

Begemann (1974) elaborazione desunta da esperienze in Grecia, correlazione valida per limo con sabbia, sabbia e ghiaia

- Buismann-Sanglerat , correlazione valida per sabbia e sabbia argillosa.

- Farrent (1963) valida per sabbie, talora anche per sabbie con ghiaia (da modifica sperimentale di dati).
- Menzenbach e Malcev valida per sabbia fine, sabbia ghiaiosa e sabbia e ghiaia.

Stato di consistenza

- Classificazione A.G.I. 1977

Peso di Volume

- Meyerhof ed altri, valida per sabbie, ghiaie, limo, limo sabbioso.

Peso di volume saturo

- Terzaghi-Peck (1948-1967)

Modulo di poisson

- Classificazione A.G.I.

Potenziale di liquefazione (Stress Ratio)

- Seed-Idriss (1978-1981) . Tale correlazione è valida solamente per sabbie, ghiaie e limi sabbiosi, rappresenta il rapporto tra lo sforzo dinamico medio τ e la tensione verticale di consolidazione per la valutazione del potenziale di liquefazione delle sabbie e terreni sabbio-ghiaiosi attraverso grafici degli autori.

Velocità onde di taglio V_s (m/s)

- Tale correlazione è valida solamente per terreni incoerenti sabbiosi e ghiaiosi.

Modulo di deformazione di taglio (G)

- Ohsaki & Iwasaki – elaborazione valida per sabbie con fine plastico e sabbie pulite.
- Robertson e Campanella (1983) e Imai & Tonouchi (1982) elaborazione valida soprattutto per sabbie e per tensioni litostatiche comprese tra 0,5 - 4,0 kg/cmq.

Modulo di reazione (K_0)

- Navfac (1971-1982) - elaborazione valida per sabbie, ghiaie, limo, limo sabbioso.

Resistenza alla punta del Penetrometro Statico (Q_c)

- Robertson (1983) - Q_c

Correlazioni geotecniche terreni coesivi

Coesione non drenata

- Benassi & Vannelli- correlazioni scaturite da esperienze ditta costruttrice Penetrometri SUNDA (1983).
- Terzaghi-Peck (1948-1967), correlazione valida per argille sabbiose-siltose NC con $N_{spt} < 8$, argille limose-siltose mediamente plastiche, argille marnose alterate-fessurate.
- Terzaghi-Peck (1948). C_u (min-max).
- Sanglerat , da dati Penetr. Statico per terreni coesivi saturi , tale correlazione non è valida per argille sensitive con sensitività > 5 , per argille sovraconsolidate fessurate e per i limi a bassa plasticità.
- Sanglerat , (per argille limose-sabbiose poco coerenti), valori validi per resistenze penetrometriche < 10 colpi, per resistenze penetrometriche > 10 l'elaborazione valida è comunque quella delle "argille plastiche " di Sanglerat.
- (U.S.D.M.S.M.) U.S. Design Manual Soil Mechanics Coesione non drenata per argille limose e argille di bassa media ed alta plasticità , (C_u - N_{spt} -grado di plasticità).
- Schmertmann (1975), C_u (Kg/cmq) (valori medi), valida per **argille e limi argillosi** con $N_c = 20$ e $Q_c/N_{spt} = 2$.
- Schmertmann (1975), C_u (Kg/cmq) (valori minimi), valida per argille NC .
- Fletcher (1965), (Argilla di Chicago) . Coesione non drenata C_u (Kg/cmq), colonna valori validi per argille a medio-bassa plasticità.
- Houston (1960) - argilla di media-alta plasticità.
- Shioi-Fukuni (1982), valida per suoli poco coerenti e plastici, argilla di media-alta plasticità.
- Begemann.
- De Beer.

Resistenza alla punta del Penetrometro Statico (Q_c)

- Robertson (1983) - Q_c

Modulo Edometrico-Confinato (M_o)

- Stroud e Butler (1975),- per litotipi a media plasticità, valida per litotipi argillosi a media-medio-alta plasticità - da esperienze su argille glaciali.
- Stroud e Butler (1975), per litotipi a medio-bassa plasticità ($IP < 20$), valida per litotipi argillosi a medio-bassa plasticità ($IP < 20$) - da esperienze su argille glaciali .
- Vesic (1970), correlazione valida per argille molli (valori minimi e massimi).
- Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner Modulo Confinato - M_o (Eed) (Kg/cmq)-, valida per litotipi argillosi e limosi-argillosi (rapporto $Q_c/N_{spt}=1.5-2.0$).
- Buismann- Sanglerat, valida per argille compatte ($N_{spt} < 30$) medie e molli ($N_{spt} < 4$) e argille sabbiose ($N_{spt} = 6-12$).

Modulo Di Young (E_Y)

- Schultze-Menzenbach - (Min. e Max.), correlazione valida per limi coerenti e limi argillosi con I.P. > 15.
- D'Appollonia ed altri (1983), correlazione valida per argille sature-argille fessurate.

Stato di consistenza

- Classificazione A.G.I. 1977.

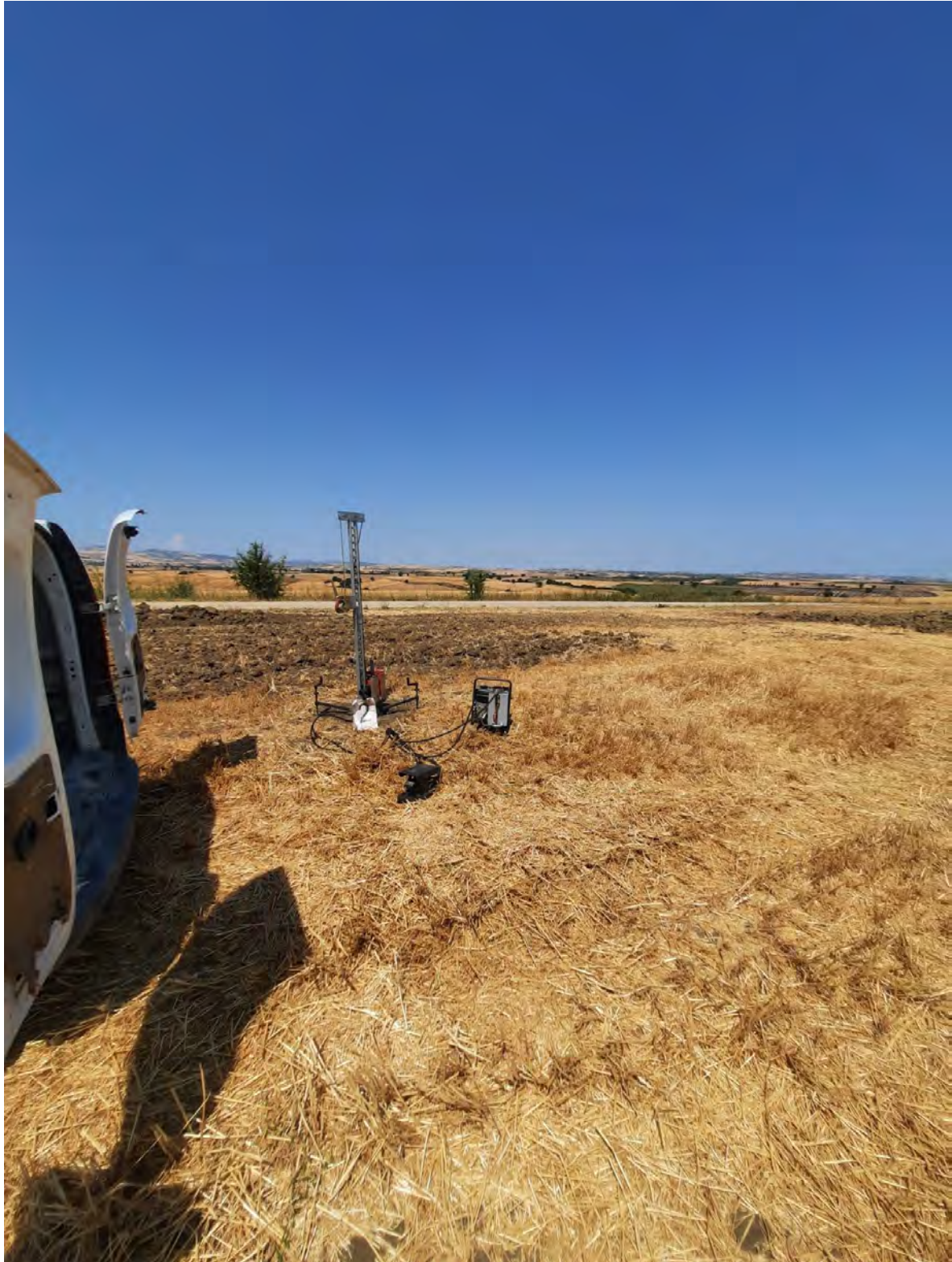
Peso di Volume

- Meyerhof ed altri, valida per argille, argille sabbiose e limose prevalentemente coerenti.

Peso di volume saturo

- Meyerhof ed altri.

PROVA PENETROMETRICA PP.2



Strumento utilizzato: DL-30 (60°)

Prova eseguita in data: 21.07.21

Profondità prova: 4.30 m

Falda rilevata: assente

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm ²)	Res. dinamica (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)
0.10	5	0.857	17.76	20.74	0.89	1.04
0.20	5	0.855	17.72	20.74	0.89	1.04
0.30	4	0.853	14.15	16.59	0.71	0.83
0.40	10	0.851	35.29	41.47	1.76	2.07
0.50	10	0.849	35.21	41.47	1.76	2.07
0.60	7	0.847	24.59	29.03	1.23	1.45
0.70	5	0.845	17.53	20.74	0.88	1.04
0.80	5	0.843	17.49	20.74	0.87	1.04
0.90	7	0.842	23.15	27.51	1.16	1.38
1.00	7	0.840	23.10	27.51	1.16	1.38
1.10	9	0.838	29.64	35.37	1.48	1.77
1.20	12	0.836	39.44	47.16	1.97	2.36
1.30	11	0.835	36.08	43.23	1.80	2.16
1.40	12	0.833	39.28	47.16	1.96	2.36
1.50	12	0.831	39.20	47.16	1.96	2.36
1.60	15	0.780	45.96	58.95	2.30	2.95
1.70	11	0.828	35.79	43.23	1.79	2.16
1.80	11	0.826	35.72	43.23	1.79	2.16
1.90	14	0.775	40.51	52.28	2.03	2.61
2.00	16	0.773	46.20	59.75	2.31	2.99
2.10	16	0.772	46.11	59.75	2.31	2.99
2.20	16	0.770	46.02	59.75	2.30	2.99
2.30	17	0.769	48.80	63.49	2.44	3.17
2.40	16	0.767	45.84	59.75	2.29	2.99
2.50	14	0.766	40.03	52.28	2.00	2.61
2.60	15	0.764	42.81	56.02	2.14	2.80
2.70	16	0.763	45.58	59.75	2.28	2.99
2.80	19	0.761	54.03	70.95	2.70	3.55
2.90	21	0.710	53.04	74.70	2.65	3.74
3.00	21	0.709	52.94	74.70	2.65	3.74
3.10	21	0.707	52.84	74.70	2.64	3.74
3.20	25	0.706	62.79	88.93	3.14	4.45

3.30	30	0.705	75.20	106.72	3.76	5.34
3.40	29	0.703	72.56	103.16	3.63	5.16
3.50	29	0.702	72.43	103.16	3.62	5.16
3.60	21	0.701	52.36	74.70	2.62	3.74
3.70	27	0.700	67.20	96.05	3.36	4.80
3.80	30	0.698	74.53	106.72	3.73	5.34
3.90	35	0.647	76.93	118.87	3.85	5.94
4.00	35	0.646	76.79	118.87	3.84	5.94
4.10	32	0.645	70.08	108.68	3.50	5.43
4.20	35	0.644	76.51	118.87	3.83	5.94
4.30	40	0.593	80.50	135.85	4.02	6.79

Prof. Strato (m)	NPDM	Rd (Kg/cm ²)	Tipo	Peso unità di volume (t/m ³)	Peso unità di volume saturo (t/m ³)	Coeff. di correlaz. con Nspt	NSPT	Descrizione
1.1	6.73	27.45	Incoerente - coesivo	1.77	1.88	0.78	5.27	Sabbia debolmente limosa
3.1	15.3	57.4	Incoerente - coesivo	2.02	2.22	0.78	11.98	Limo argilloso
4.3	30.67	106.71	Incoerente - coesivo	2.11	2.32	0.78	24.01	Argilla limosa

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA PP.2

TERRENI COESIVI

Coesione non drenata (Kg/cm²)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Terzaghi -Peck	Sanglerat	Terzaghi -Peck (1948)	U.S.D.M .S.M	Schmert mann 1975	SUNDA (1983) Benassi e Vannelli	Fletcher (1965) Argilla di Chicago	Houston (1960)	Shioi - Fukui 1982	Begeman n	De Beer
[1] - Sabbia deb. limosa	5.27	1.10	0.33	0.66	0.00	0.21	0.51	0.82	0.48	0.83	0.26	0.80	0.66
[2] - Limo argilloso	11.98	3.10	0.81	1.50	0.00	0.48	1.18	1.72	1.05	1.36	0.60	1.69	1.50
[3] - Argilla limosa	24.01	4.30	1.62	3.00	0.00	0.92	2.38	3.20	2.00	2.47	1.20	4.29	3.00

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Qc (Kg/cm ²)
[1] - Sabbia deb. limosa	5.27	1.10	Robertson (1983)	10.54
[2] - Limo argilloso	11.98	3.10	Robertson (1983)	23.96
[3] - Argilla limosa	24.01	4.30	Robertson (1983)	48.02

Modulo Edometrico (Kg/cm²)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Stroud e Butler (1975)	Vesic (1970)	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	Buisman-Sanglerat
[1] - Sabbia debol. limosa	5.27	1.10	24.18	79.05	55.54	65.88
[2] - Limo argilloso	11.98	3.10	54.96	--	123.98	119.80
[3] - Argilla limosa	24.01	4.30	110.16	--	246.68	240.10

Modulo di Young (Kg/cm²)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Schultze	Apollonia
[1] - Sabbia deb. limosa	5.27	1.10	40.21	52.70
[2] - Limo argilloso	11.98	3.10	117.37	119.80
[3] - Argilla limosa	24.01	4.30	255.72	240.10

Classificazione AGI

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
[1] - Sabbia debolmente limosa	5.27	1.10	A.G.I. (1977)	MODERAT. CONSISTENTE
[2] - Limo argilloso	11.98	3.10	A.G.I. (1977)	CONSISTENTE
[3] - Argilla limosa	24.01	4.30	A.G.I. (1977)	MOLTO CONSISTENTE

Peso unità di volume

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m ³)
[1] - Sabbia deb. limosa	5.27	1.10	Meyerhof	1.77
[2] - Limo argilloso	11.98	3.10	Meyerhof	2.02
[3] - Argilla limosa	24.01	4.30	Meyerhof	2.11

Peso unità di volume saturo

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m ³)
[1] - Sabbia deb. limosa	5.27	1.10	Meyerhof	1.88
[2] - Limo argilloso	11.98	3.10	Meyerhof	2.22
[3] - Argilla limosa	24.01	4.30	Meyerhof	2.20

Velocità onde di taglio

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Velocità onde di taglio (m/s)
[1] - Sabbia debolmente limosa	5.27	1.10	Ohta & Goto (1978) Limi	81.26
[2] - Limo argilloso	11.98	3.10	Ohta & Goto (1978) Limi	121.31
[3] - Argilla limosa	24.01	4.30	Ohta & Goto (1978) Limi	152.61

TERRENI INCOERENTI

Densità relativa

	NSPT	Prof. Strato (m)	Gibbs & Holtz 1957	Meyerhof 1957	Schultze & Menzenbach (1961)
[1] - Sabbia deb. limosa	5.27	1.10	25.94	53.99	69.74
[2] - Limo argilloso	11.98	3.10	36.84	69.41	71.47
[3] - Argilla limosa	24.01	4.30	49.14	90.29	89.45

Angolo di resistenza al taglio

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Peck-Hanson-Thornburn-Meyerhof 1956	Meyerhof (1956)	Sowers (1961)	Meyerhof (1965)	Schmertmann (1977) Sabbie	Mitchell & Katti (1981)	Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION)	Japanese National Railway	De Mello	Owasaki & Iwasaki
[1] - Sabbia deb. limosa	5.27	1.10	5.27	28.51	21.51	29.48	32.75	31.78	0	<30	23.89	28.58	33.14
[2] - Limo argilloso	11.98	3.10	11.98	30.42	23.42	31.35	31.03	34.41	37.72	<30	28.41	30.59	39.17
[3] - Argilla limosa	24.01	4.30	24.01	33.86	26.86	34.72	31.26	38.21	40.64	30-32	33.98	34.2	44.47

Modulo di Young (Kg/cm²)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Terzaghi	Schmertmann (1978) (Sabbie)	Schultze-Menzenbach (Sabbia ghiaiosa)	D'Appollonia ed altri 1970 (Sabbia)	Bowles (1982) Sabbia Media
[1] - Sabbia deb. limosa	5.27	1.10	5.27	---	42.16	---	---	---
[2] - Limo argilloso	11.98	3.10	11.98	247.06	95.84	142.06	269.85	134.90
[3] - Argilla limosa	24.01	4.30	24.01	349.76	192.08	284.02	360.08	195.05

Modulo Edometrico (Kg/cm²)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Buisman-Sanglerat (sabbie)	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	Farrent 1963	Menzenbach e Malcev (Sabbia media)
[1] - Sabbia deb. limosa	5.27	1.10	5.27	---	38.29	37.42	61.50
[2] - Limo argilloso	11.98	3.10	11.98	71.88	52.07	85.06	91.43
[3] - Argilla limosa	24.01	4.30	24.01	144.06	76.78	170.47	145.08

Classificazione AGI

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Classificazione AGI
[1] - Sabbia deb. limosa	5.27	1.10	5.27	Classificazione A.G.I	POCO ADDENSATO
[2] - Limo argilloso	11.98	3.10	11.98	Classificazione A.G.I	MODERATA MENTE ADDENSATO
[3] - Argilla limosa	24.01	4.30	24.01	Classificazione A.G.I	MODERATA MENTE ADDENSATO

Peso unità di volume

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unità di Volume (t/m ³)
[1] - Sabbia debolmente limosa	5.27	1.10	5.27	Terzaghi-Peck 1948	1.42
[2] - Limo argilloso	11.98	3.10	11.98	Terzaghi-Peck 1948	1.50
[3] - Argilla limosa	24.01	4.30	24.01	Terzaghi-Peck 1948	1.64

Peso unità di volume saturo

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unità Volume Saturo (t/m ³)
[1] - Sabbia debolmente limosa	5.27	1.10	5.27	Terzaghi-Peck 1948	1.88
[2] - Limo argilloso	11.98	3.10	11.98	Terzaghi-Peck 1948	1.94
[3] - Argilla limosa	24.01	4.30	24.01	Terzaghi-Peck 1948	2.02

Modulo di Poisson

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Poisson
[1] - Sabbia deb. limosa	5.27	1.10	5.27	(A.G.I.)	0.34
[2] - Limo argilloso	11.98	3.10	11.98	(A.G.I.)	0.33
[3] - Argilla limosa	24.01	4.30	24.01	(A.G.I.)	0.31

Modulo di deformazione a taglio dinamico (Kg/cm²)

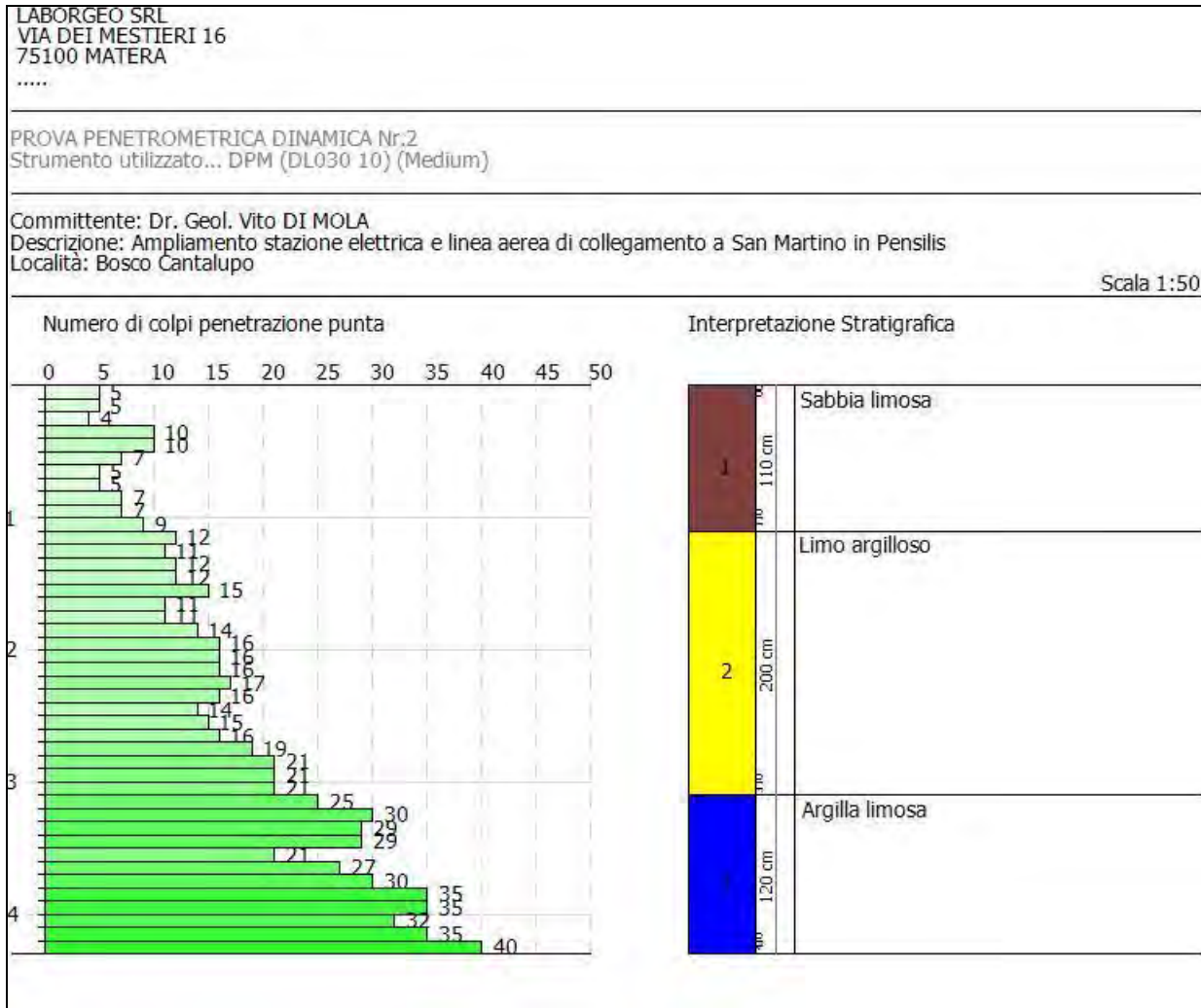
	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Velocità onde di taglio (m/s)
[1] - Sabbia deb. limosa	5.27	1.10	5.27	Ohta & Goto (1978) Limi	81.26
[2] - Limo argilloso	11.98	3.10	11.98	Ohta & Goto (1978) Limi	121.31
[3] - Argilla limosa	24.01	4.30	24.01	Ohta & Goto (1978) Limi	152.61

Liquefazione

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	K0
[1] - Sabbia deb. limosa	5.27	1.10	5.27	Navfac 1971-1982	1.05
[2] - Limo argilloso	11.98	3.10	11.98	Navfac 1971-1982	2.52
[3] - Argilla limosa	24.01	4.30	24.01	Navfac 1971-1982	4.72

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Qc (Kg/cm ²)
[1] - Sabbia deb. limosa	5.27	1.10	5.27	Robertson 1983	10.54
[2] - Limo argilloso	11.98	3.10	11.98	Robertson 1983	23.96
[3] - Argilla limosa	24.01	4.30	24.01	Robertson 1983	48.02



Matera, 26.07.21

**Il Responsabile delle indagini geologiche
Dr. Geol. Angelo Capodilupo**

PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE CONTINUE
(DYNAMIC PROBING)
DPSH – DPM (... scpt ecc.)

Note illustrative - Diverse tipologie di penetrometri dinamici

La prova penetrometrica dinamica consiste nell'infingere nel terreno una punta conica (per tratti consecutivi δ) misurando il numero di colpi N necessari.

Le Prove Penetrometriche Dinamiche sono molto diffuse ed utilizzate nel territorio da geologi e geotecnici, data la loro semplicità esecutiva, economicità e rapidità di esecuzione.

La loro elaborazione, interpretazione e visualizzazione grafica consente di "catalogare e parametrizzare" il suolo attraversato con un'immagine in continuo, che permette anche di avere un raffronto sulle consistenze dei vari livelli attraversati e una correlazione diretta con sondaggi geognostici per la caratterizzazione stratigrafica.

La sonda penetrometrica permette inoltre di riconoscere abbastanza precisamente lo spessore delle coltri sul substrato, la quota di eventuali falde e superfici di rottura sui pendii, e la consistenza in generale del terreno.

L'utilizzo dei dati, ricavati da correlazioni indirette e facendo riferimento a vari autori, dovrà comunque essere trattato con le opportune cautele e, possibilmente, dopo esperienze geologiche acquisite in zona.

Elementi caratteristici del penetrometro dinamico sono i seguenti:

- peso massa battente M;
- altezza libera caduta H;
- punta conica: diametro base cono D, area base A (angolo di apertura α);
- avanzamento (penetrazione) δ ;
- presenza o meno del rivestimento esterno (fanghi bentonitici).

Con riferimento alla classificazione ISSMFE (1988) dei diversi tipi di penetrometri dinamici (vedi tabella sotto riportata) si rileva una prima suddivisione in quattro classi (in base al peso M della massa battente) :

- tipo LEGGERO (DPL);
- tipo MEDIO (DPM);
- tipo PESANTE (DPH);
- tipo SUPERPESANTE (DPSH).

Classificazione ISSMFE dei penetrometri dinamici:

Tipo	Sigla di riferimento	peso della massa M (kg)	prof. max indagine battente (m)
Leggero	DPL (Light)	$M \leq 10$	8
Medio	DPM (Medium)	$10 < M < 40$	20-25
Pesante	DPH (Heavy)	$40 \leq M < 60$	25
Super pesante (Super Heavy)	DPSH	$M \geq 60$	25

penetrometri in uso in Italia

In Italia risultano attualmente in uso i seguenti tipi di penetrometri dinamici (non rientranti però nello Standard ISSMFE):

- DINAMICO LEGGERO ITALIANO (DL-30) (MEDIO secondo la classifica ISSMFE)
 massa battente $M = 30$ kg, altezza di caduta $H = 0.20$ m, avanzamento $\delta = 10$ cm, punta conica ($\alpha=60-90^\circ$), diametro $D = 35.7$ mm, area base cono $A=10$ cm² rivestimento / fango bentonitico : talora previsto;

- DINAMICO LEGGERO ITALIANO (DL-20) (MEDIO secondo la classifica ISSMFE)
 massa battente $M = 20$ kg, altezza di caduta $H=0.20$ m, avanzamento $\delta = 10$ cm, punta conica ($\alpha = 60-90^\circ$), diametro $D = 35.7$ mm, area base cono $A=10$ cm² rivestimento / fango bentonitico : talora previsto;

- DINAMICO PESANTE ITALIANO (SUPERPESANTE secondo la classifica ISSMFE)
 massa battente $M = 73$ kg, altezza di caduta $H=0.75$ m, avanzamento $\delta=30$ cm, punta conica ($\alpha = 60^\circ$), diametro $D = 50.8$ mm, area base cono $A=20.27$ cm² rivestimento: previsto secondo precise indicazioni;

- DINAMICO SUPERPESANTE (Tipo EMILIA)
 massa battente $M=63.5$ kg, altezza caduta $H=0.75$ m, avanzamento $\delta=20-30$ cm, punta conica conica ($\alpha = 60^\circ-90^\circ$) diametro $D = 50.5$ mm, area base cono $A = 20$ cm², rivestimento / fango bentonitico : talora previsto.

Correlazione con N_{spt}

Poiché la prova penetrometrica standard (SPT) rappresenta, ad oggi, uno dei mezzi più diffusi ed economici per ricavare informazioni dal sottosuolo, la maggior parte delle correlazioni esistenti riguardano i valori del numero di colpi N_{spt} ottenuto con la suddetta prova, pertanto si presenta la necessità di rapportare il numero di colpi di una prova dinamica con N_{spt} . Il passaggio viene dato da:

$$N_{SPT} = \beta_t \cdot N$$

Dove:

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

in cui Q è l'energia specifica per colpo e Q_{spt} è quella riferita alla prova SPT.

L'energia specifica per colpo viene calcolata come segue:

$$Q = \frac{M^2 \cdot H}{A \cdot \delta \cdot (M + M')}$$

in cui

M	peso massa battente.
M'	peso aste.
H	altezza di caduta.
A	area base punta conica.

δ passo di avanzamento.

Valutazione resistenza dinamica alla punta Rpd

Formula Olandesi

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

Rpd resistenza dinamica punta (area A).
 e infissione media per colpo (δ/N).
 M peso massa battente (altezza caduta H).
 P peso totale aste e sistema battuta.

Calcolo di $(N_1)_{60}$

$(N_1)_{60}$ è il numero di colpi normalizzato definito come segue:

$$(N_1)_{60} = CN \cdot N_{60} \text{ con } CN = \sqrt{(Pa/\sigma_{vo})} \quad CN < 1.7 \quad Pa = 101.32 \text{ kPa (Liao e Whitman 1986)}$$

$$N_{60} = N_{SPT} \cdot (ER/60) \cdot C_S \cdot C_R \cdot C_d$$

ER/60 rendimento del sistema di infissione normalizzato al 60%.
 C_S parametro funzione della controcamicia (1.2 se assente).
 C_d funzione del diametro del foro (1 se compreso tra 65-115mm).
 C_R parametro di correzione funzione della lunghezza delle aste.

Metodologia di Elaborazione.

Le elaborazioni sono state effettuate mediante un programma di calcolo automatico Dynamic Probing della *GeoStru Software*.

Il programma calcola il rapporto delle energie trasmesse (coefficiente di correlazione con SPT) tramite le elaborazioni proposte da Pasqualini (1983) - Meyerhof (1956) - Desai (1968) - Borowczyk-Frankowsky (1981).

Permette inoltre di utilizzare i dati ottenuti dall'effettuazione di prove penetrometriche per estrapolare utili informazioni geotecniche e geologiche.

Una vasta esperienza acquisita, unitamente ad una buona interpretazione e correlazione, permettono spesso di ottenere dati utili alla progettazione e frequentemente dati maggiormente attendibili di tanti dati bibliografici sulle litologie e di dati geotecnici determinati sulle verticali litologiche da poche prove di laboratorio eseguite come rappresentazione generale di una verticale eterogenea disuniforme e/o complessa.

In particolare consente di ottenere informazioni su:

- l'andamento verticale e orizzontale degli intervalli stratigrafici,

- la caratterizzazione litologica delle unità stratigrafiche,
- i parametri geotecnici suggeriti da vari autori in funzione dei valori del numero dei colpi e delle resistenza alla punta.

Valutazioni statistiche e correlazioni

Elaborazione Statistica

Permette l'elaborazione statistica dei dati numerici di Dynamic Probing, utilizzando nel calcolo dei valori rappresentativi dello strato considerato un valore inferiore o maggiore della media aritmetica dello strato (dato comunque maggiormente utilizzato); i valori possibili in immissione sono :

Media

Media aritmetica dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Media minima

Valore statistico inferiore alla media aritmetica dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Massimo

Valore massimo dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Minimo

Valore minimo dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Scarto quadratico medio

Valore statistico di scarto dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Media deviata

Valore statistico di media deviata dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Media (+ s)

Media + scarto (valore statistico) dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Media (- s)

Media - scarto (valore statistico) dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Distribuzione normale R.C.

Il valore di $N_{spt,k}$ viene calcolato sulla base di una distribuzione normale o gaussiana, fissata una probabilità di non superamento del 5%, secondo la seguente relazione:

$$N_{spt,k} = N_{spt,medio} - 1.645 \cdot (\sigma_{N_{spt}})$$

dove $\sigma_{N_{spt}}$ è la deviazione standard di N_{spt}

Distribuzione normale R.N.C.

Il valore di $N_{spt,k}$ viene calcolato sulla base di una distribuzione normale o gaussiana, fissata una probabilità di non superamento del 5%, trattando i valori medi di N_{spt} distribuiti normalmente:

$$N_{spt,k} = N_{spt,medio} - 1.645 \cdot (\sigma_{N_{spt}}) / \sqrt{n}$$

dove n è il numero di letture.

Pressione ammissibile

Pressione ammissibile specifica sull'interstrato (con effetto di riduzione energia per svergolamento aste o no) calcolata secondo le note elaborazioni proposte da Herminier, applicando un coefficiente di sicurezza (generalmente = 20-22) che corrisponde ad un coefficiente di sicurezza standard delle fondazioni pari a 4, con una geometria fondale standard di larghezza pari a 1 m ed immersione $d = 1$ m.

Correlazioni geotecniche terreni incoerenti

Liquefazione

Permette di calcolare utilizzando dati N_{spt} il potenziale di liquefazione dei suoli (prevalentemente sabbiosi).

Attraverso la relazione di *SHI-MING (1982)*, applicabile a terreni sabbiosi, la liquefazione risulta possibile solamente se N_{spt} dello strato considerato risulta inferiore a N_{spt} critico calcolato con l'elaborazione di *SHI-MING*.

Correzione N_{spt} in presenza di falda

$$N_{spt\ corretto} = 15 + 0.5 \cdot (N_{spt} - 15)$$

N_{spt} è il valore medio nello strato

La correzione viene applicata in presenza di falda solo se il numero di colpi è maggiore di 15 (la correzione viene eseguita se tutto lo strato è in falda).

Angolo di Attrito

- Peck-Hanson-Thornburn-Meyerhof (1956) - Correlazione valida per terreni non molli a prof. < 5 m; correlazione valida per sabbie e ghiaie rappresenta valori medi. - Correlazione storica molto usata, valevole per prof. < 5 m per terreni sopra falda e < 8 m per terreni in falda (tensioni < 8-10 t/mq)
- Meyerhof (1956) - Correlazioni valide per terreni argillosi ed argillosi-marnosi fessurati, terreni di riporto sciolti e coltri detritiche (da modifica sperimentale di dati).
- Sowers (1961)- Angolo di attrito in gradi valido per sabbie in genere (cond. ottimali per prof. < 4 m. sopra falda e < 7 m per terreni in falda) $\sigma > 5$ t/mq.
- De Mello - Correlazione valida per terreni prevalentemente sabbiosi e sabbioso-ghiaiosi (da modifica sperimentale di dati) con angolo di attrito < 38° .
- Malcev (1964) - Angolo di attrito in gradi valido per sabbie in genere (cond. ottimali per prof. > 2 m e per valori di angolo di attrito < 38°).

- Schmertmann (1977)- Angolo di attrito (gradi) per vari tipi litologici (valori massimi). N.B. valori spesso troppo ottimistici poiché desunti da correlazioni indirette da D_r %.
- Shioi-Fukuni (1982) - ROAD BRIDGE SPECIFICATION, Angolo di attrito in gradi valido per sabbie - sabbie fini o limose e limi siltosi (cond. ottimali per prof. di prova > 8 m sopra falda e > 15 m per terreni in falda) $\sigma > 15$ t/mq.
- Shioi-Fukuni (1982) - JAPANESE NATIONALE RAILWAY, Angolo di attrito valido per sabbie medie e grossolane fino a ghiaiose.
- Angolo di attrito in gradi (Owasaki & Iwasaki) valido per sabbie - sabbie medie e grossolane-ghiaiose (cond. ottimali per prof. > 8 m sopra falda e > 15 m per terreni in falda) $s > 15$ t/mq.
- Meyerhof (1965) - Correlazione valida per terreni per sabbie con % di limo $< 5\%$ a profondità < 5 m e con (%) di limo $> 5\%$ a profondità < 3 m.
- Mitchell e Katti (1965) - Correlazione valida per sabbie e ghiaie.

Densità relativa (%)

- Gibbs & Holtz (1957) correlazione valida per qualunque pressione efficace, per ghiaie D_r viene sovrastimato, per limi sottostimato.
- Skempton (1986) elaborazione valida per limi e sabbie e sabbie da fini a grossolane NC a qualunque pressione efficace, per ghiaie il valore di D_r % viene sovrastimato, per limi sottostimato.
- Meyerhof (1957).
- Schultze & Menzenbach (1961) per sabbie fini e ghiaiose NC , metodo valido per qualunque valore di pressione efficace in depositi NC, per ghiaie il valore di D_r % viene sovrastimato, per limi sottostimato.

Modulo Di Young (E_y)

- Terzaghi - elaborazione valida per sabbia pulita e sabbia con ghiaia senza considerare la pressione efficace.
- Schmertmann (1978), correlazione valida per vari tipi litologici .
- Schultze-Menzenbach , correlazione valida per vari tipi litologici.
- D'Appollonia ed altri (1970) , correlazione valida per sabbia, sabbia SC, sabbia NC e ghiaia.
- Bowles (1982), correlazione valida per sabbia argillosa, sabbia limosa, limo sabbioso, sabbia media, sabbia e ghiaia.

Modulo Edometrico

Begemann (1974) elaborazione desunta da esperienze in Grecia, correlazione valida per limo con sabbia, sabbia e ghiaia

- Buismann-Sanglerat , correlazione valida per sabbia e sabbia argillosa.

- Farrent (1963) valida per sabbie, talora anche per sabbie con ghiaia (da modifica sperimentale di dati).
- Menzenbach e Malcev valida per sabbia fine, sabbia ghiaiosa e sabbia e ghiaia.

Stato di consistenza

- Classificazione A.G.I. 1977

Peso di Volume

- Meyerhof ed altri, valida per sabbie, ghiaie, limo, limo sabbioso.

Peso di volume saturo

- Terzaghi-Peck (1948-1967)

Modulo di poisson

- Classificazione A.G.I.

Potenziale di liquefazione (Stress Ratio)

- Seed-Idriss (1978-1981) . Tale correlazione è valida solamente per sabbie, ghiaie e limi sabbiosi, rappresenta il rapporto tra lo sforzo dinamico medio τ e la tensione verticale di consolidazione per la valutazione del potenziale di liquefazione delle sabbie e terreni sabbio-ghiaiosi attraverso grafici degli autori.

Velocità onde di taglio V_s (m/s)

- Tale correlazione è valida solamente per terreni incoerenti sabbiosi e ghiaiosi.

Modulo di deformazione di taglio (G)

- Ohsaki & Iwasaki – elaborazione valida per sabbie con fine plastico e sabbie pulite.
- Robertson e Campanella (1983) e Imai & Tonouchi (1982) elaborazione valida soprattutto per sabbie e per tensioni litostatiche comprese tra 0,5 - 4,0 kg/cmq.

Modulo di reazione (K_0)

- Navfac (1971-1982) - elaborazione valida per sabbie, ghiaie, limo, limo sabbioso.

Resistenza alla punta del Penetrometro Statico (Q_c)

- Robertson (1983) - Q_c

Correlazioni geotecniche terreni coesivi

Coesione non drenata

- Benassi & Vannelli- correlazioni scaturite da esperienze ditta costruttrice Penetrometri SUNDA (1983).
- Terzaghi-Peck (1948-1967), correlazione valida per argille sabbiose-siltose NC con $N_{spt} < 8$, argille limose-siltose mediamente plastiche, argille marnose alterate-fessurate.
- Terzaghi-Peck (1948). C_u (min-max).
- Sanglerat , da dati Penetr. Statico per terreni coesivi saturi , tale correlazione non è valida per argille sensitive con sensitività > 5 , per argille sovraconsolidate fessurate e per i limi a bassa plasticità.
- Sanglerat , (per argille limose-sabbiose poco coerenti), valori validi per resistenze penetrometriche < 10 colpi, per resistenze penetrometriche > 10 l'elaborazione valida è comunque quella delle "argille plastiche " di Sanglerat.
- (U.S.D.M.S.M.) U.S. Design Manual Soil Mechanics Coesione non drenata per argille limose e argille di bassa media ed alta plasticità , (C_u - N_{spt} -grado di plasticità).
- Schmertmann (1975), C_u (Kg/cmq) (valori medi), valida per **argille e limi argillosi** con $N_c = 20$ e $Q_c/N_{spt} = 2$.
- Schmertmann (1975), C_u (Kg/cmq) (valori minimi), valida per argille NC .
- Fletcher (1965), (Argilla di Chicago) . Coesione non drenata C_u (Kg/cmq), colonna valori validi per argille a medio-bassa plasticità.
- Houston (1960) - argilla di media-alta plasticità.
- Shioi-Fukuni (1982), valida per suoli poco coerenti e plastici, argilla di media-alta plasticità.
- Begemann.
- De Beer.

Resistenza alla punta del Penetrometro Statico (Q_c)

- Robertson (1983) - Q_c

Modulo Edometrico-Confinato (M_o)

- Stroud e Butler (1975),- per litotipi a media plasticità, valida per litotipi argillosi a media-medio-alta plasticità - da esperienze su argille glaciali.
- Stroud e Butler (1975), per litotipi a medio-bassa plasticità ($IP < 20$), valida per litotipi argillosi a medio-bassa plasticità ($IP < 20$) - da esperienze su argille glaciali .
- Vesic (1970), correlazione valida per argille molli (valori minimi e massimi).
- Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner Modulo Confinato - M_o (Eed) (Kg/cmq)-, valida per litotipi argillosi e limosi-argillosi (rapporto $Q_c/N_{spt}=1.5-2.0$).
- Buismann- Sanglerat, valida per argille compatte ($N_{spt} < 30$) medie e molli ($N_{spt} < 4$) e argille sabbiose ($N_{spt} = 6-12$).

Modulo Di Young (E_Y)

- Schultze-Menzenbach - (Min. e Max.), correlazione valida per limi coerenti e limi argillosi con I.P. > 15.
- D'Appollonia ed altri (1983), correlazione valida per argille sature-argille fessurate.

Stato di consistenza

- Classificazione A.G.I. 1977.

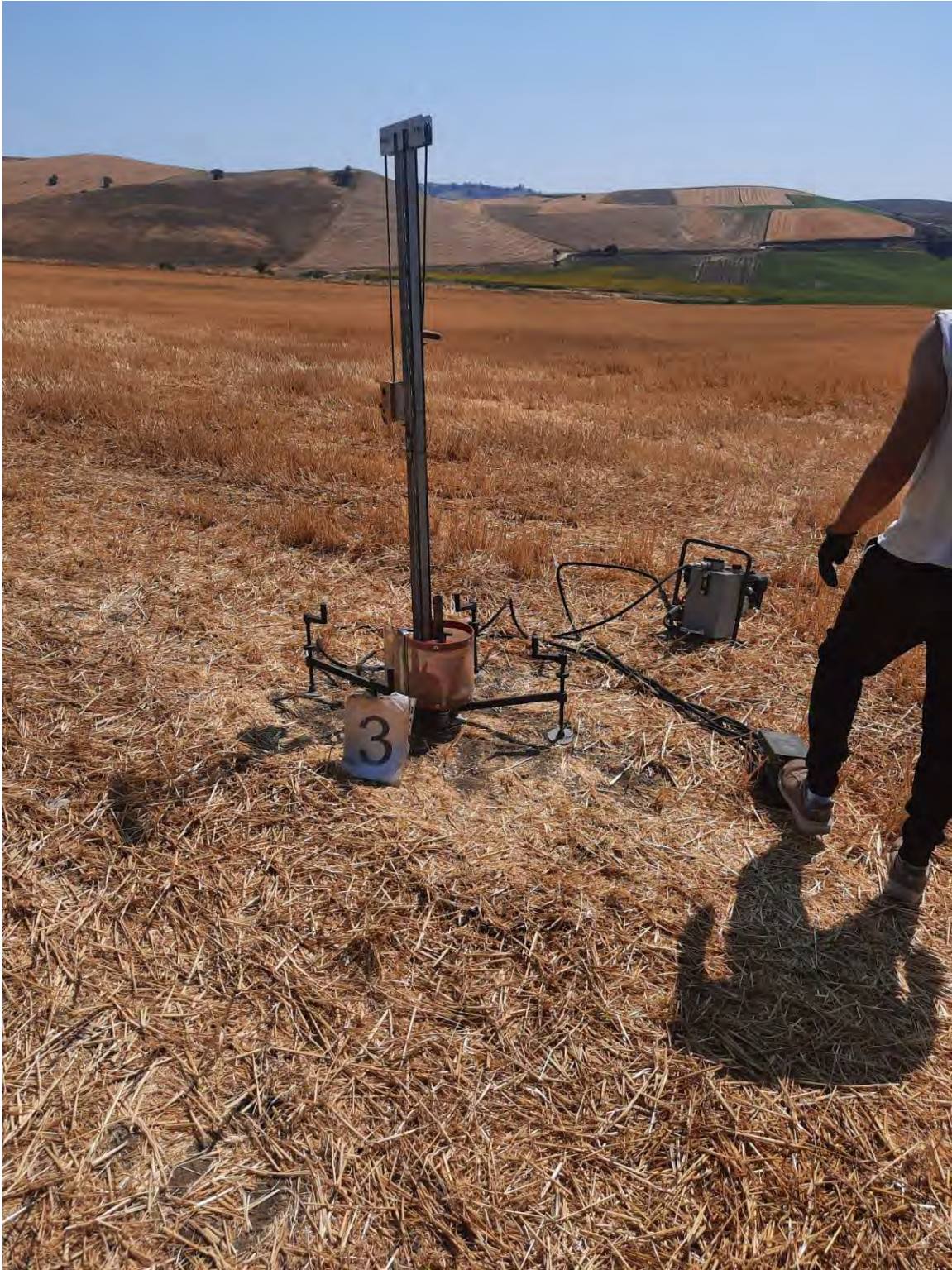
Peso di Volume

- Meyerhof ed altri, valida per argille, argille sabbiose e limose prevalentemente coerenti.

Peso di volume saturo

- Meyerhof ed altri.

PROVA PENETROMETRICA PP.3



Strumento utilizzato: DL-30 (60°)

Prova eseguita in data: 21.07.21

Profondità prova: 5.20 m

Falda rilevata: assente

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm ²)	Res. dinamica (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)
0.10	4	0.857	14.21	16.59	0.71	0.83
0.20	2	0.855	7.09	8.29	0.35	0.41
0.30	2	0.853	7.07	8.29	0.35	0.41
0.40	2	0.851	7.06	8.29	0.35	0.41
0.50	3	0.849	10.56	12.44	0.53	0.62
0.60	5	0.847	17.56	20.74	0.88	1.04
0.70	2	0.845	7.01	8.29	0.35	0.41
0.80	5	0.843	17.49	20.74	0.87	1.04
0.90	7	0.842	23.15	27.51	1.16	1.38
1.00	7	0.840	23.10	27.51	1.16	1.38
1.10	7	0.838	23.05	27.51	1.15	1.38
1.20	9	0.836	29.58	35.37	1.48	1.77
1.30	7	0.835	22.96	27.51	1.15	1.38
1.40	9	0.833	29.46	35.37	1.47	1.77
1.50	10	0.831	32.67	39.30	1.63	1.97
1.60	9	0.830	29.34	35.37	1.47	1.77
1.70	10	0.828	32.54	39.30	1.63	1.97
1.80	16	0.776	48.82	62.88	2.44	3.14
1.90	16	0.775	46.29	59.75	2.31	2.99
2.00	17	0.773	49.09	63.49	2.45	3.17
2.10	12	0.822	36.82	44.81	1.84	2.24
2.20	10	0.820	30.63	37.34	1.53	1.87
2.30	10	0.819	30.57	37.34	1.53	1.87
2.40	12	0.817	36.62	44.81	1.83	2.24
2.50	15	0.766	42.89	56.02	2.14	2.80
2.60	15	0.764	42.81	56.02	2.14	2.80
2.70	15	0.763	42.73	56.02	2.14	2.80
2.80	19	0.761	54.03	70.95	2.70	3.55
2.90	18	0.760	48.67	64.03	2.43	3.20
3.00	19	0.759	51.28	67.59	2.56	3.38
3.10	21	0.707	52.84	74.70	2.64	3.74
3.20	24	0.706	60.28	85.38	3.01	4.27
3.30	24	0.705	60.16	85.38	3.01	4.27

3.40	25	0.703	62.56	88.93	3.13	4.45
3.50	24	0.702	59.94	85.38	3.00	4.27
3.60	25	0.701	62.33	88.93	3.12	4.45
3.70	31	0.650	71.64	110.28	3.58	5.51
3.80	25	0.698	62.11	88.93	3.11	4.45
3.90	24	0.697	56.83	81.51	2.84	4.08
4.00	26	0.696	61.46	88.30	3.07	4.42
4.10	26	0.695	61.36	88.30	3.07	4.42
4.20	24	0.694	56.54	81.51	2.83	4.08
4.30	28	0.693	65.86	95.09	3.29	4.75

Prof. Strato (m)	NPDM	Rd (Kg/cm ²)	Tipo	Peso unità di volume (t/m ³)	Peso unità di volume saturo (t/m ³)	Coeff. di correlaz. con Nspt	NSPT	Descrizione
1.4	5.07	20.32	Incoerente - coesivo	1.7	1.87	0.12	0.78	3.97
3.1	14.35	53.51	Incoerente - coesivo	2.00	2.20	0.41	0.78	11.24
5.2	28.76	98.12	Incoerente - coesivo	2.06	2.26	0.58	0.78	22.52

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA PP.3

TERRENI COESIVI

Coesione non drenata (Kg/cm²)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Terzaghi -Peck	Sanglerat	Terzaghi -Peck (1948)	U.S.D.M .S.M	Schmert mann 1975	SUNDA (1983) Benassi e Vannelli	Fletcher (1965) Argilla di Chicago	Houston (1960)	Shioi - Fukui 1982	Begeman n	De Beer
[1] - Sabbia debolmente limosa	3.97	1.40	0.25	0.50	0.00	0.16	0.39	0.61	0.36	0.73	0.20	0.54	0.50
[2] - Limo argilloso	11.24	3.10	0.76	1.41	0.00	0.45	1.11	1.61	0.99	1.30	0.56	1.56	1.41
[3] - Argilla limosa	22.52	5.20	1.52	2.82	0.00	0.87	2.23	2.94	1.89	2.32	1.13	4.02	2.82

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Qc (Kg/cm ²)
[1] - Sabbia deb. limosa	3.97	1.40	Robertson (1983)	7.94
[2] - Limo argilloso	11.24	3.10	Robertson (1983)	22.48
[3] - Argilla limosa	22.52	5.20	Robertson (1983)	45.04

Modulo Edometrico (Kg/cm²)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Stroud e Butler (1975)	Vesic (1970)	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	Buisman-Sanglerat
[1] - Sabbia deb. limosa	3.97	1.40	18.21	59.55	42.28	49.63
[2] - Limo argilloso	11.24	3.10	51.57	--	116.43	112.40
[3] - Argilla limosa	22.52	5.20	103.32	--	231.48	225.20

Modulo di Young (Kg/cm²)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Schultze	Apollonia
[1] - Sabbia deb. limosa	3.97	1.40	25.26	39.70
[2] - Limo argilloso	11.24	3.10	108.86	112.40
[3] - Argilla limosa	22.52	5.20	238.58	225.20

Classificazione AGI

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
[1] - Sabbia deb. limosa	3.97	1.40	A.G.I. (1977)	POCO CONSISTENTE
[2] - Limo argilloso	11.24	3.10	A.G.I. (1977)	CONSISTENTE
[3] - Argilla limosa	22.52	5.20	A.G.I. (1977)	MOLTO CONSISTENTE

Peso unità di volume

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m ³)
[1] - Sabbia deb. limosa	3.97	1.40	Meyerhof	1.70
[2] - Limo argilloso	11.24	3.10	Meyerhof	2.00
[3] - Argilla limosa	22.52	5.20	Meyerhof	2.11

Peso unità di volume saturo

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m ³)
[1] - Sabbia deb. limosa	3.97	1.40	Meyerhof	1.87
[2] - Limo argilloso	11.24	3.10	Meyerhof	2.20
[3] - Argilla limosa	22.52	5.20	Meyerhof	2.16

Velocità onde di taglio

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Velocità onde di taglio (m/s)
[1] - Sabbia debolmente limosa	3.97	1.40	Ohta & Goto (1978) Limi	81.06
[2] - Limo argilloso	11.24	3.10	Ohta & Goto (1978) Limi	121.58
[3] - Argilla limosa	22.52	5.20	Ohta & Goto (1978) Limi	154.31

TERRENI INCOERENTI

Densità relativa

	NSPT	Prof. Strato (m)	Gibbs & Holtz 1957	Meyerhof 1957	Schultze & Menzenbach (1961)
[1] - Sabbia deb. limosa	3.97	1.40	20.29	46.24	57.79
[2] - Limo argilloso	11.24	3.10	35.28	66.89	68.81
[3] - Argilla limosa	22.52	5.20	47.96	88.15	87.56

Angolo di resistenza al taglio

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Peck-Hanson-Thornburn-Meyerhof 1956	Meyerhof (1956)	Sowers (1961)	Meyerhof (1965)	Schmertmann (1977) Sabbie	Mitchell & Katti (1981)	Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION)	Japanese National Railway	De Mello	Owasaki & Iwasaki
[1] - Sabbia debolmente limosa	3.97	1.40	3.97	28.13	21.13	29.11	31.86	31.23	0	<30	22.72	28.19	30.58
[2] - Limo argilloso	11.24	3.10	11.24	30.21	23.21	31.15	30.87	34.14	37.36	<30	27.98	30.37	38.57
[3] - Argilla limosa	22.52	5.20	22.52	33.43	26.43	34.31	31.24	37.8	40.34	30-32	33.38	33.76	43.99

Modulo di Young (Kg/cm²)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Terzaghi	Schmertmann (1978) (Sabbie)	Schultze-Menzenbach (Sabbia ghiaiosa)	D'Appollonia ed altri 1970 (Sabbia)	Bowles (1982) Sabbia Media
[1] - Sabbia deb. limosa	3.97	1.40	3.97	---	31.76	---	---	---
[2] - Limo argilloso	11.24	3.10	11.24	239.31	89.92	133.33	264.30	131.20
[3] - Argilla limosa	22.52	5.20	22.52	338.73	180.16	266.44	348.90	187.60

Modulo Edometrico (Kg/cm²)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Buisman-Sanglerat (sabbie)	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	Farrent 1963	Menzenbach e Malcev (Sabbia media)
[1] - Sabbia deb. limosa	3.97	1.40	3.97	---	35.62	28.19	55.71
[2] - Limo argilloso	11.24	3.10	11.24	67.44	50.55	79.80	88.13
[3] - Argilla limosa	22.52	5.20	22.52	135.12	73.72	159.89	138.44

Classificazione AGI

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Classificazione AGI
[1] - Sabbia deb. limosa	3.97	1.40	3.97	Classificazione A.G.I	SCIOLTO
[2] - Limo argilloso	11.24	3.10	11.24	Classificazione A.G.I	MODERATA MENTE ADDENSATO
[3] - Argilla limosa	22.52	5.20	22.52	Classificazione A.G.I	MODERATA MENTE ADDENSATO

Peso unità di volume

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unità di Volume (t/m ³)
[1] - Sabbia deb. limosa	3.97	1.40	3.97	Terzaghi-Peck 1948	1.40
[2] - Limo argilloso	11.24	3.10	11.24	Terzaghi-Peck 1948	1.49
[3] - Argilla limosa	22.52	5.20	22.52	Terzaghi-Peck 1948	1.62

Peso unità di volume saturo

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unità Volume Saturo (t/m ³)
[1] - Sabbia debolmente limosa	3.97	1.40	3.97	Terzaghi-Peck 1948	1.87
[2] - Limo argilloso	11.24	3.10	11.24	Terzaghi-Peck 1948	1.93
[3] - Argilla limosa	22.52	5.20	22.52	Terzaghi-Peck 1948	2.01

Modulo di Poisson

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Poisson
[1] - Sabbia deb. limosa	3.97	1.40	3.97	(A.G.I.)	0.35
[2] - Limo argilloso	11.24	3.10	11.24	(A.G.I.)	0.33
[3] - Argilla limosa	22.52	5.20	22.52	(A.G.I.)	0.31

Modulo di deformazione a taglio dinamico (Kg/cm²)

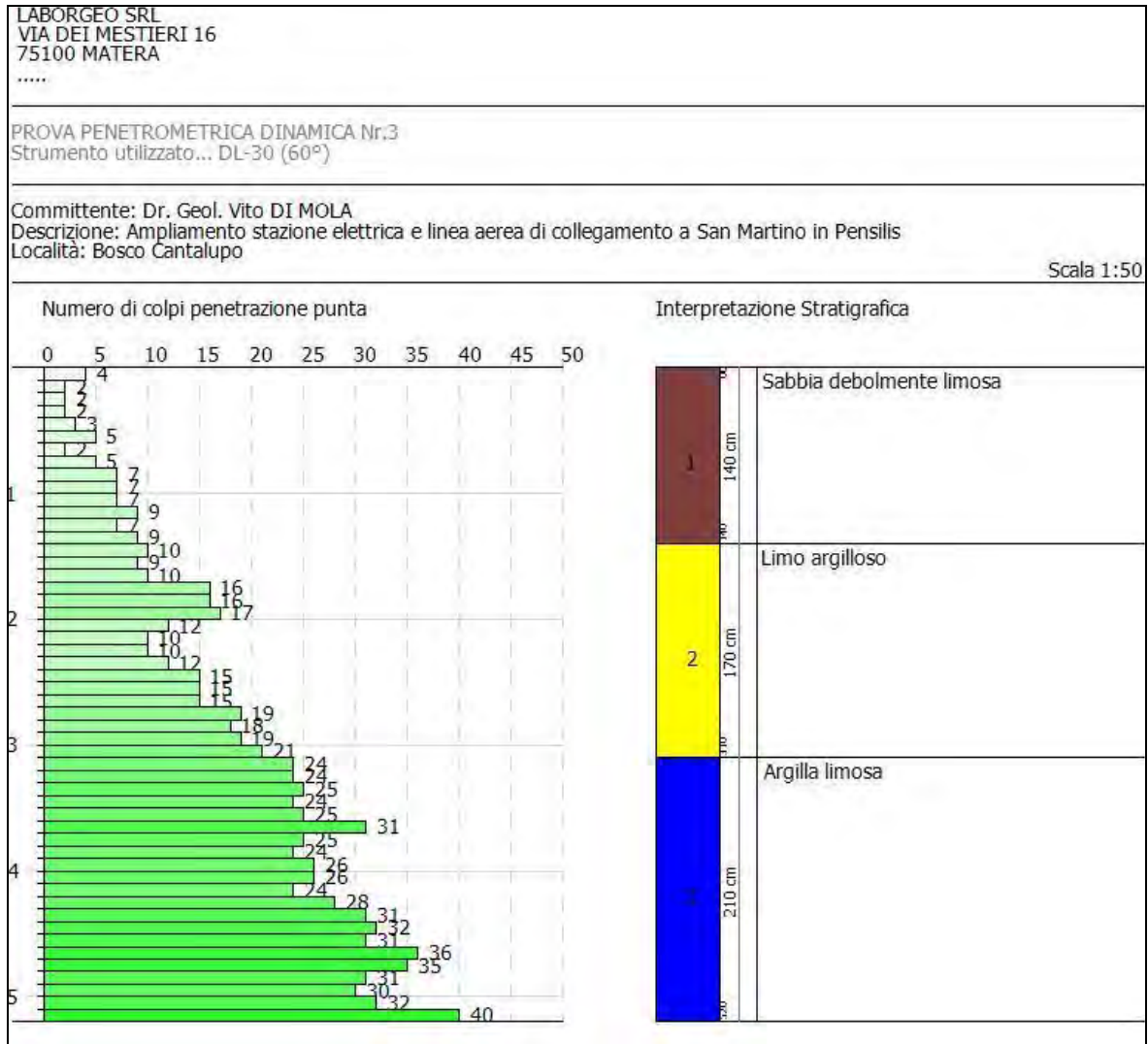
	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Velocità onde di taglio (m/s)
[1] - Sabbia deb. limosa	3.97	1.40	3.97	Ohta & Goto (1978) Limi	81.06
[2] - Limo argilloso	11.24	3.10	11.24	Ohta & Goto (1978) Limi	121.58
[3] - Argilla limosa	22.52	5.20	22.52	Ohta & Goto (1978) Limi	154.31

Liquefazione

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	K0
[1] - Sabbia deb. limosa	3.97	1.40	3.97	Navfac 1971-1982	0.75
[2] - Limo argilloso	11.24	3.10	11.24	Navfac 1971-1982	2.36
[3] - Argilla limosa	22.52	5.20	22.52	Navfac 1971-1982	4.48

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Qc (Kg/cm ²)
[1] - Sabbia deb. limosa	3.97	1.40	3.97	Robertson 1983	7.94
[2] - Limo argilloso	11.24	3.10	11.24	Robertson 1983	22.48
[3] - Argilla limosa	22.52	5.20	22.52	Robertson 1983	45.04



Matera, 26.07.21

**Il Responsabile delle indagini geologiche
Dr. Geol. Angelo Capodilupo**

PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE CONTINUE
(DYNAMIC PROBING)
DPSH – DPM (... scpt ecc.)

Note illustrative - Diverse tipologie di penetrometri dinamici

La prova penetrometrica dinamica consiste nell'infingere nel terreno una punta conica (per tratti consecutivi δ) misurando il numero di colpi N necessari.

Le Prove Penetrometriche Dinamiche sono molto diffuse ed utilizzate nel territorio da geologi e geotecnici, data la loro semplicità esecutiva, economicità e rapidità di esecuzione.

La loro elaborazione, interpretazione e visualizzazione grafica consente di "catalogare e parametrizzare" il suolo attraversato con un'immagine in continuo, che permette anche di avere un raffronto sulle consistenze dei vari livelli attraversati e una correlazione diretta con sondaggi geognostici per la caratterizzazione stratigrafica.

La sonda penetrometrica permette inoltre di riconoscere abbastanza precisamente lo spessore delle coltri sul substrato, la quota di eventuali falde e superfici di rottura sui pendii, e la consistenza in generale del terreno.

L'utilizzo dei dati, ricavati da correlazioni indirette e facendo riferimento a vari autori, dovrà comunque essere trattato con le opportune cautele e, possibilmente, dopo esperienze geologiche acquisite in zona.

Elementi caratteristici del penetrometro dinamico sono i seguenti:

- peso massa battente M;
- altezza libera caduta H;
- punta conica: diametro base cono D, area base A (angolo di apertura α);
- avanzamento (penetrazione) δ ;
- presenza o meno del rivestimento esterno (fanghi bentonitici).

Con riferimento alla classificazione ISSMFE (1988) dei diversi tipi di penetrometri dinamici (vedi tabella sotto riportata) si rileva una prima suddivisione in quattro classi (in base al peso M della massa battente) :

- tipo LEGGERO (DPL);
- tipo MEDIO (DPM);
- tipo PESANTE (DPH);
- tipo SUPERPESANTE (DPSH).

Classificazione ISSMFE dei penetrometri dinamici:

Tipo	Sigla di riferimento	peso della massa M (kg)	prof. max indagine battente (m)
Leggero	DPL (Light)	$M \leq 10$	8
Medio	DPM (Medium)	$10 < M < 40$	20-25
Pesante	DPH (Heavy)	$40 \leq M < 60$	25
Super pesante (Super Heavy)	DPSH	$M \geq 60$	25

penetrometri in uso in Italia

In Italia risultano attualmente in uso i seguenti tipi di penetrometri dinamici (non rientranti però nello Standard ISSMFE):

- DINAMICO LEGGERO ITALIANO (DL-30) (MEDIO secondo la classifica ISSMFE)
 massa battente $M = 30$ kg, altezza di caduta $H = 0.20$ m, avanzamento $\delta = 10$ cm, punta conica ($\alpha=60-90^\circ$), diametro $D = 35.7$ mm, area base cono $A=10$ cm² rivestimento / fango bentonitico : talora previsto;

- DINAMICO LEGGERO ITALIANO (DL-20) (MEDIO secondo la classifica ISSMFE)
 massa battente $M = 20$ kg, altezza di caduta $H=0.20$ m, avanzamento $\delta = 10$ cm, punta conica ($\alpha = 60-90^\circ$), diametro $D = 35.7$ mm, area base cono $A=10$ cm² rivestimento / fango bentonitico : talora previsto;

- DINAMICO PESANTE ITALIANO (SUPERPESANTE secondo la classifica ISSMFE)
 massa battente $M = 73$ kg, altezza di caduta $H=0.75$ m, avanzamento $\delta=30$ cm, punta conica ($\alpha = 60^\circ$), diametro $D = 50.8$ mm, area base cono $A=20.27$ cm² rivestimento: previsto secondo precise indicazioni;

- DINAMICO SUPERPESANTE (Tipo EMILIA)
 massa battente $M=63.5$ kg, altezza caduta $H=0.75$ m, avanzamento $\delta=20-30$ cm, punta conica conica ($\alpha = 60^\circ-90^\circ$) diametro $D = 50.5$ mm, area base cono $A = 20$ cm², rivestimento / fango bentonitico : talora previsto.

Correlazione con N_{spt}

Poiché la prova penetrometrica standard (SPT) rappresenta, ad oggi, uno dei mezzi più diffusi ed economici per ricavare informazioni dal sottosuolo, la maggior parte delle correlazioni esistenti riguardano i valori del numero di colpi N_{spt} ottenuto con la suddetta prova, pertanto si presenta la necessità di rapportare il numero di colpi di una prova dinamica con N_{spt} . Il passaggio viene dato da:

$$N_{SPT} = \beta_t \cdot N$$

Dove:

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

in cui Q è l'energia specifica per colpo e Q_{spt} è quella riferita alla prova SPT.

L'energia specifica per colpo viene calcolata come segue:

$$Q = \frac{M^2 \cdot H}{A \cdot \delta \cdot (M + M')}$$

in cui

M	peso massa battente.
M'	peso aste.
H	altezza di caduta.
A	area base punta conica.

δ passo di avanzamento.

Valutazione resistenza dinamica alla punta Rpd

Formula Olandesi

$$Rpd = \frac{M^2 \cdot H}{[A \cdot e \cdot (M + P)]} = \frac{M^2 \cdot H \cdot N}{[A \cdot \delta \cdot (M + P)]}$$

Rpd resistenza dinamica punta (area A).
 e infissione media per colpo (δ/N).
 M peso massa battente (altezza caduta H).
 P peso totale aste e sistema battuta.

Calcolo di $(N_1)_{60}$

$(N_1)_{60}$ è il numero di colpi normalizzato definito come segue:

$$(N_1)_{60} = CN \cdot N_{60} \text{ con } CN = \sqrt{(Pa/\sigma_{vo})} \quad CN < 1.7 \quad Pa = 101.32 \text{ kPa (Liao e Whitman 1986)}$$

$$N_{60} = N_{SPT} \cdot (ER/60) \cdot C_S \cdot C_R \cdot C_d$$

ER/60 rendimento del sistema di infissione normalizzato al 60%.
 C_S parametro funzione della controcamicia (1.2 se assente).
 C_d funzione del diametro del foro (1 se compreso tra 65-115mm).
 C_R parametro di correzione funzione della lunghezza delle aste.

Metodologia di Elaborazione.

Le elaborazioni sono state effettuate mediante un programma di calcolo automatico Dynamic Probing della *GeoStru Software*.

Il programma calcola il rapporto delle energie trasmesse (coefficiente di correlazione con SPT) tramite le elaborazioni proposte da Pasqualini (1983) - Meyerhof (1956) - Desai (1968) - Borowczyk-Frankowsky (1981).

Permette inoltre di utilizzare i dati ottenuti dall'effettuazione di prove penetrometriche per estrapolare utili informazioni geotecniche e geologiche.

Una vasta esperienza acquisita, unitamente ad una buona interpretazione e correlazione, permettono spesso di ottenere dati utili alla progettazione e frequentemente dati maggiormente attendibili di tanti dati bibliografici sulle litologie e di dati geotecnici determinati sulle verticali litologiche da poche prove di laboratorio eseguite come rappresentazione generale di una verticale eterogenea disuniforme e/o complessa.

In particolare consente di ottenere informazioni su:

- l'andamento verticale e orizzontale degli intervalli stratigrafici,

- la caratterizzazione litologica delle unità stratigrafiche,
- i parametri geotecnici suggeriti da vari autori in funzione dei valori del numero dei colpi e delle resistenza alla punta.

Valutazioni statistiche e correlazioni

Elaborazione Statistica

Permette l'elaborazione statistica dei dati numerici di Dynamic Probing, utilizzando nel calcolo dei valori rappresentativi dello strato considerato un valore inferiore o maggiore della media aritmetica dello strato (dato comunque maggiormente utilizzato); i valori possibili in immissione sono :

Media

Media aritmetica dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Media minima

Valore statistico inferiore alla media aritmetica dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Massimo

Valore massimo dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Minimo

Valore minimo dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Scarto quadratico medio

Valore statistico di scarto dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Media deviata

Valore statistico di media deviata dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Media (+ s)

Media + scarto (valore statistico) dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Media (- s)

Media - scarto (valore statistico) dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Distribuzione normale R.C.

Il valore di $N_{spt,k}$ viene calcolato sulla base di una distribuzione normale o gaussiana, fissata una probabilità di non superamento del 5%, secondo la seguente relazione:

$$N_{spt,k} = N_{spt,medio} - 1.645 \cdot (\sigma_{N_{spt}})$$

dove $\sigma_{N_{spt}}$ è la deviazione standard di N_{spt}

Distribuzione normale R.N.C.

Il valore di $N_{spt,k}$ viene calcolato sulla base di una distribuzione normale o gaussiana, fissata una probabilità di non superamento del 5%, trattando i valori medi di N_{spt} distribuiti normalmente:

$$N_{spt,k} = N_{spt,medio} - 1.645 \cdot (\sigma_{N_{spt}}) / \sqrt{n}$$

dove n è il numero di letture.

Pressione ammissibile

Pressione ammissibile specifica sull'interstrato (con effetto di riduzione energia per svergolamento aste o no) calcolata secondo le note elaborazioni proposte da Herminier, applicando un coefficiente di sicurezza (generalmente = 20-22) che corrisponde ad un coefficiente di sicurezza standard delle fondazioni pari a 4, con una geometria fondale standard di larghezza pari a 1 m ed immersione $d = 1$ m.

Correlazioni geotecniche terreni incoerenti

Liquefazione

Permette di calcolare utilizzando dati N_{spt} il potenziale di liquefazione dei suoli (prevalentemente sabbiosi).

Attraverso la relazione di *SHI-MING (1982)*, applicabile a terreni sabbiosi, la liquefazione risulta possibile solamente se N_{spt} dello strato considerato risulta inferiore a N_{spt} critico calcolato con l'elaborazione di *SHI-MING*.

Correzione N_{spt} in presenza di falda

$$N_{spt\ corretto} = 15 + 0.5 \cdot (N_{spt} - 15)$$

N_{spt} è il valore medio nello strato

La correzione viene applicata in presenza di falda solo se il numero di colpi è maggiore di 15 (la correzione viene eseguita se tutto lo strato è in falda).

Angolo di Attrito

- Peck-Hanson-Thornburn-Meyerhof (1956) - Correlazione valida per terreni non molli a prof. < 5 m; correlazione valida per sabbie e ghiaie rappresenta valori medi. - Correlazione storica molto usata, valevole per prof. < 5 m per terreni sopra falda e < 8 m per terreni in falda (tensioni < 8-10 t/mq)
- Meyerhof (1956) - Correlazioni valide per terreni argillosi ed argillosi-marnosi fessurati, terreni di riporto sciolti e coltri detritiche (da modifica sperimentale di dati).
- Sowers (1961)- Angolo di attrito in gradi valido per sabbie in genere (cond. ottimali per prof. < 4 m. sopra falda e < 7 m per terreni in falda) $\sigma > 5$ t/mq.
- De Mello - Correlazione valida per terreni prevalentemente sabbiosi e sabbioso-ghiaiosi (da modifica sperimentale di dati) con angolo di attrito < 38° .
- Malcev (1964) - Angolo di attrito in gradi valido per sabbie in genere (cond. ottimali per prof. > 2 m e per valori di angolo di attrito < 38°).

- Schmertmann (1977)- Angolo di attrito (gradi) per vari tipi litologici (valori massimi). N.B. valori spesso troppo ottimistici poiché desunti da correlazioni indirette da D_r %.
- Shioi-Fukuni (1982) - ROAD BRIDGE SPECIFICATION, Angolo di attrito in gradi valido per sabbie - sabbie fini o limose e limi siltosi (cond. ottimali per prof. di prova > 8 m sopra falda e > 15 m per terreni in falda) $\sigma > 15$ t/mq.
- Shioi-Fukuni (1982) - JAPANESE NATIONALE RAILWAY, Angolo di attrito valido per sabbie medie e grossolane fino a ghiaiose.
- Angolo di attrito in gradi (Owasaki & Iwasaki) valido per sabbie - sabbie medie e grossolane-ghiaiose (cond. ottimali per prof. > 8 m sopra falda e > 15 m per terreni in falda) $s > 15$ t/mq.
- Meyerhof (1965) - Correlazione valida per terreni per sabbie con % di limo $< 5\%$ a profondità < 5 m e con (%) di limo $> 5\%$ a profondità < 3 m.
- Mitchell e Katti (1965) - Correlazione valida per sabbie e ghiaie.

Densità relativa (%)

- Gibbs & Holtz (1957) correlazione valida per qualunque pressione efficace, per ghiaie D_r viene sovrastimato, per limi sottostimato.
- Skempton (1986) elaborazione valida per limi e sabbie e sabbie da fini a grossolane NC a qualunque pressione efficace, per ghiaie il valore di D_r % viene sovrastimato, per limi sottostimato.
- Meyerhof (1957).
- Schultze & Menzenbach (1961) per sabbie fini e ghiaiose NC , metodo valido per qualunque valore di pressione efficace in depositi NC, per ghiaie il valore di D_r % viene sovrastimato, per limi sottostimato.

Modulo Di Young (E_y)

- Terzaghi - elaborazione valida per sabbia pulita e sabbia con ghiaia senza considerare la pressione efficace.
- Schmertmann (1978), correlazione valida per vari tipi litologici .
- Schultze-Menzenbach , correlazione valida per vari tipi litologici.
- D'Appollonia ed altri (1970) , correlazione valida per sabbia, sabbia SC, sabbia NC e ghiaia.
- Bowles (1982), correlazione valida per sabbia argillosa, sabbia limosa, limo sabbioso, sabbia media, sabbia e ghiaia.

Modulo Edometrico

Begemann (1974) elaborazione desunta da esperienze in Grecia, correlazione valida per limo con sabbia, sabbia e ghiaia

- Buismann-Sanglerat , correlazione valida per sabbia e sabbia argillosa.

- Farrent (1963) valida per sabbie, talora anche per sabbie con ghiaia (da modifica sperimentale di dati).
- Menzenbach e Malcev valida per sabbia fine, sabbia ghiaiosa e sabbia e ghiaia.

Stato di consistenza

- Classificazione A.G.I. 1977

Peso di Volume

- Meyerhof ed altri, valida per sabbie, ghiaie, limo, limo sabbioso.

Peso di volume saturo

- Terzaghi-Peck (1948-1967)

Modulo di poisson

- Classificazione A.G.I.

Potenziale di liquefazione (Stress Ratio)

- Seed-Idriss (1978-1981) . Tale correlazione è valida solamente per sabbie, ghiaie e limi sabbiosi, rappresenta il rapporto tra lo sforzo dinamico medio τ e la tensione verticale di consolidazione per la valutazione del potenziale di liquefazione delle sabbie e terreni sabbio-ghiaiosi attraverso grafici degli autori.

Velocità onde di taglio V_s (m/s)

- Tale correlazione è valida solamente per terreni incoerenti sabbiosi e ghiaiosi.

Modulo di deformazione di taglio (G)

- Ohsaki & Iwasaki – elaborazione valida per sabbie con fine plastico e sabbie pulite.
- Robertson e Campanella (1983) e Imai & Tonouchi (1982) elaborazione valida soprattutto per sabbie e per tensioni litostatiche comprese tra 0,5 - 4,0 kg/cmq.

Modulo di reazione (K_0)

- Navfac (1971-1982) - elaborazione valida per sabbie, ghiaie, limo, limo sabbioso.

Resistenza alla punta del Penetrometro Statico (Q_c)

- Robertson (1983) - Q_c

Correlazioni geotecniche terreni coesivi

Coesione non drenata

- Benassi & Vannelli- correlazioni scaturite da esperienze ditta costruttrice Penetrometri SUNDA (1983).
- Terzaghi-Peck (1948-1967), correlazione valida per argille sabbiose-siltose NC con $N_{spt} < 8$, argille limose-siltose mediamente plastiche, argille marnose alterate-fessurate.
- Terzaghi-Peck (1948). C_u (min-max).
- Sanglerat , da dati Penetr. Statico per terreni coesivi saturi , tale correlazione non è valida per argille sensitive con sensitività > 5 , per argille sovraconsolidate fessurate e per i limi a bassa plasticità.
- Sanglerat , (per argille limose-sabbiose poco coerenti), valori validi per resistenze penetrometriche < 10 colpi, per resistenze penetrometriche > 10 l'elaborazione valida è comunque quella delle "argille plastiche " di Sanglerat.
- (U.S.D.M.S.M.) U.S. Design Manual Soil Mechanics Coesione non drenata per argille limose e argille di bassa media ed alta plasticità , (C_u - N_{spt} -grado di plasticità).
- Schmertmann (1975), C_u (Kg/cmq) (valori medi), valida per **argille e limi argillosi** con $N_c = 20$ e $Q_c/N_{spt} = 2$.
- Schmertmann (1975), C_u (Kg/cmq) (valori minimi), valida per argille NC .
- Fletcher (1965), (Argilla di Chicago) . Coesione non drenata C_u (Kg/cmq), colonna valori validi per argille a medio-bassa plasticità.
- Houston (1960) - argilla di media-alta plasticità.
- Shioi-Fukuni (1982), valida per suoli poco coerenti e plastici, argilla di media-alta plasticità.
- Begemann.
- De Beer.

Resistenza alla punta del Penetrometro Statico (Q_c)

- Robertson (1983) - Q_c

Modulo Edometrico-Confinato (M_o)

- Stroud e Butler (1975),- per litotipi a media plasticità, valida per litotipi argillosi a media-medio-alta plasticità - da esperienze su argille glaciali.
- Stroud e Butler (1975), per litotipi a medio-bassa plasticità ($IP < 20$), valida per litotipi argillosi a medio-bassa plasticità ($IP < 20$) - da esperienze su argille glaciali .
- Vesic (1970), correlazione valida per argille molli (valori minimi e massimi).
- Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner Modulo Confinato - M_o (Eed) (Kg/cmq)-, valida per litotipi argillosi e limosi-argillosi (rapporto $Q_c/N_{spt}=1.5-2.0$).
- Buismann- Sanglerat, valida per argille compatte ($N_{spt} < 30$) medie e molli ($N_{spt} < 4$) e argille sabbiose ($N_{spt} = 6-12$).

Modulo Di Young (E_Y)

- Schultze-Menzenbach - (Min. e Max.), correlazione valida per limi coerenti e limi argillosi con I.P. > 15.
- D'Appollonia ed altri (1983), correlazione valida per argille sature-argille fessurate.

Stato di consistenza

- Classificazione A.G.I. 1977.

Peso di Volume

- Meyerhof ed altri, valida per argille, argille sabbiose e limose prevalentemente coerenti.

Peso di volume saturo

- Meyerhof ed altri.

PROVA PENETROMETRICA PP.4



Strumento utilizzato: DL-30 (60°)

Prova eseguita in data: 21.07.21

Profondità prova: 4.90 m

Falda rilevata: assente

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm ²)	Res. dinamica (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)
0.10	1	0.857	2.86	3.34	0.14	0.17
0.20	1	0.855	2.85	3.34	0.14	0.17
0.30	1	0.853	2.85	3.34	0.14	0.17
0.40	1	0.851	2.84	3.34	0.14	0.17
0.50	1	0.849	2.83	3.34	0.14	0.17
0.60	1	0.847	2.83	3.34	0.14	0.17
0.70	1	0.845	2.82	3.34	0.14	0.17
0.80	10	0.843	28.16	33.40	1.41	1.67
0.90	10	0.842	26.67	31.69	1.33	1.58
1.00	12	0.840	31.93	38.03	1.60	1.90
1.10	10	0.838	26.56	31.69	1.33	1.58
1.20	17	0.786	42.36	53.87	2.12	2.69
1.30	13	0.785	32.32	41.20	1.62	2.06
1.40	21	0.733	48.77	66.55	2.44	3.33
1.50	20	0.781	49.51	63.38	2.48	3.17
1.60	23	0.730	53.18	72.89	2.66	3.64
1.70	23	0.728	53.06	72.89	2.65	3.64
1.80	23	0.726	52.94	72.89	2.65	3.64
1.90	21	0.725	45.89	63.32	2.29	3.17
2.00	17	0.773	39.63	51.26	1.98	2.56
2.10	16	0.772	37.23	48.24	1.86	2.41
2.20	17	0.770	39.47	51.26	1.97	2.56
2.30	24	0.719	52.00	72.36	2.60	3.62
2.40	24	0.717	51.89	72.36	2.59	3.62
2.50	24	0.716	51.79	72.36	2.59	3.62
2.60	21	0.714	45.22	63.32	2.26	3.17
2.70	26	0.713	55.88	78.39	2.79	3.92
2.80	26	0.711	55.77	78.39	2.79	3.92
2.90	22	0.710	44.92	63.26	2.25	3.16
3.00	22	0.709	44.83	63.26	2.24	3.16
3.10	19	0.757	41.37	54.63	2.07	2.73
3.20	24	0.706	48.72	69.01	2.44	3.45
3.30	25	0.705	50.66	71.88	2.53	3.59
3.40	23	0.703	46.52	66.13	2.33	3.31

3.50	26	0.702	52.49	74.76	2.62	3.74
3.60	22	0.701	44.34	63.26	2.22	3.16
3.70	22	0.700	44.26	63.26	2.21	3.16
3.80	28	0.698	56.23	80.51	2.81	4.03
3.90	26	0.697	49.82	71.45	2.49	3.57
4.00	28	0.696	53.56	76.95	2.68	3.85
4.10	26	0.695	49.65	71.45	2.48	3.57
4.20	29	0.694	55.28	79.69	2.76	3.98
4.30	28	0.693	53.29	76.95	2.66	3.85
4.40	21	0.691	39.90	57.71	2.00	2.89
4.50	33	0.640	58.07	90.69	2.90	4.53
4.60	35	0.639	61.48	96.18	3.07	4.81
4.70	34	0.638	59.63	93.44	2.98	4.67
4.80	35	0.637	61.28	96.18	3.06	4.81
4.90	40	0.586	61.69	105.26	3.08	5.26

Prof. Strato (m)	NPDM	Rd (Kg/cm ²)	Tipo	Peso unità di volume (t/m ³)	Peso unità di volume saturo (t/m ³)	Coeff. di correlaz. con Nspt	NSPT	Descrizione
0.7	1	3.34	Incoerente - coesivo	1.46	1.84	0.05	0.76	0.76
2.2	16.87	52.84	Incoerente - coesivo	2.03	2.23	0.25	0.76	12.84
4.9	26.41	74.93	Incoerente - coesivo	2.10	2.34	0.41	0.76	20.1

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA PP.4

TERRENI COESIVI

Coesione non drenata (Kg/cm²)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Terzaghi -Peck	Sanglerat	Terzaghi -Peck (1948)	U.S.D.M .S.M	Schmert mann 1975	SUNDA (1983) Benassi e Vannelli	Fletcher (1965) Argilla di Chicago	Houston (1960)	Shioi - Fukui 1982	Begeman n	De Beer
[1] - Sabbia	0.76	0.70	0.05	0.10	0.00	0.03	0.07	0.10	0.07	0.50	0.04	0.06	0.10
[2] - Limo argilloso	12.84	2.20	0.87	1.61	0.00	0.51	1.26	1.59	1.12	1.44	0.64	1.97	1.61
[3] - Argilla limosa	20.1	4.90	1.36	2.51	0.00	0.78	1.99	2.25	1.70	2.09	1.01	3.59	2.51

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Qc (Kg/cm ²)
[1] - Sabbia	0.76	0.70	Robertson (1983)	1.52
[2] - Limo argilloso	12.84	2.20	Robertson (1983)	25.68
[3] - Argilla limosa	20.1	4.90	Robertson (1983)	40.20

Modulo Edometrico (Kg/cm²)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Stroud e Butler (1975)	Vesic (1970)	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	Buisman-Sanglerat
[1] - Sabbia	0.76	0.70	3.49	11.40	9.54	9.50
[2] - Limo argilloso	12.84	2.20	58.91	--	132.75	128.40
[3] - Argilla limosa	20.1	4.90	92.22	--	206.80	201.00

Modulo di Young (Kg/cm²)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Schultze	Apollonia
[1] - Sabbia	0.76	0.70	-11.66	7.60
[2] - Limo argilloso	12.84	2.20	127.26	128.40
[3] - Argilla limosa	20.1	4.90	210.75	201.00

Classificazione AGI

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
[1] - Sabbia	0.76	0.70	A.G.I. (1977)	PRIVO DI CONSISTENZA
[2] - Limo argilloso	12.84	2.20	A.G.I. (1977)	CONSISTENTE
[3] - Argilla limosa	20.1	4.90	A.G.I. (1977)	MOLTO CONSISTENTE

Peso unità di volume

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m ³)
[1] - Sabbia	0.76	0.70	Meyerhof	1.46
[2] - Limo argilloso	12.84	2.20	Meyerhof	2.03
[3] - Argilla limosa	20.1	4.90	Meyerhof	2.10

Peso unità di volume saturo

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m ³)
[1] - Sabbia	0.76	0.70	Meyerhof	1.84
[2] - Limo argilloso	12.84	2.20	Meyerhof	2.23
[3] - Argilla limosa	20.1	4.90	Meyerhof	2.31

Velocità onde di taglio

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Velocità onde di taglio (m/s)
[1] - Sabbia	0.76	0.70	Ohta & Goto (1978) Limi	53.27
[2] - Limo argilloso	12.84	2.20	Ohta & Goto (1978) Limi	114.3
[3] - Argilla limosa	20.1	4.90	Ohta & Goto (1978) Limi	146.81

TERRENI INCOERENTI

Densità relativa

	NSPT	Prof. Strato (m)	Gibbs & Holtz 1957	Meyerhof 1957	Schultze & Menzenbach (1961)
[1] - Sabbia	0.76	0.70	0	21.12	32.72
[2] - Limo argilloso	12.84	2.20	41.12	77.02	82.99
[3] - Argilla limosa	20.1	4.90	48.43	89.5	90.93

Angolo di resistenza al taglio

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Peck-Hanson-Thornburn-Meyerhof 1956	Meyerhof (1956)	Sowers (1961)	Meyerhof (1965)	Schmertmann (1977) Sabbie	Mitchell & Katti (1981)	Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION)	Japanese National Railway	De Mello	Owasaki & Iwasaki
[1] - Sabbia	0.76	0.70	0.76	27.22	20.22	28.21	31.01	29.82	0	<30	18.38	27.23	16.41
[2] - Limo argilloso	12.84	2.20	12.84	30.67	23.67	31.6	32.11	34.72	38.78	30-32	28.88	30.85	40.32
[3] - Argilla limosa	20.1	4.90	20.1	32.74	25.74	33.63	31.81	37.1	40.53	30-32	32.36	33.03	43.65

Modulo di Young (Kg/cm²)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Terzaghi	Schmertmann (1978) (Sabbie)	Schultze-Menzenbach (Sabbia ghiaiosa)	D'Appollonia ed altri 1970 (Sabbia)	Bowles (1982) Sabbia Media
[1] - Sabbia	0.76	0.70	0.76	---	6.08	---	---	---
[2] - Limo argilloso	12.84	2.20	12.84	255.77	102.72	152.21	276.30	139.20
[3] - Argilla limosa	20.1	4.90	20.1	320.01	160.80	237.88	330.75	175.50

Modulo Edometrico (Kg/cm²)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Buisman-Sanglerat (sabbie)	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	Farrent 1963	Menzenbach e Malcev (Sabbia media)
[1] - Sabbia	0.76	0.70	0.76	---	29.03	5.40	41.39
[2] - Limo argilloso	12.84	2.20	12.84	77.04	53.84	91.16	95.27
[3] - Argilla limosa	20.1	4.90	20.1	120.60	68.75	142.71	127.65

Classificazione AGI

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Classificazione AGI
[1] - Sabbia	0.76	0.70	0.76	Classificazione A.G.I	SCIOLTO
[2] - Limo argilloso	12.84	2.20	12.84	Classificazione A.G.I	MODERATA MENTE ADDENSATO
[3] - Argilla limosa	20.1	4.90	20.1	Classificazione A.G.I	MODERATA MENTE ADDENSATO

Peso unità di volume

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unità di Volume (t/m ³)
[1] - Sabbia	0.76	0.70	0.76	Terzaghi-Peck 1948	1.35
[2] - Limo argilloso	12.84	2.20	12.84	Terzaghi-Peck 1948	1.51
[3] - Argilla limosa	20.1	4.90	20.1	Terzaghi-Peck 1948	1.60

Peso unità di volume saturo

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unità Volume Saturo (t/m ³)
[1] - Sabbia	0.76	0.70	0.76	Terzaghi-Peck 1948	1.84
[2] - Limo argilloso	12.84	2.20	12.84	Terzaghi-Peck 1948	1.94
[3] - Argilla limosa	20.1	4.90	20.1	Terzaghi-Peck 1948	1.99

Modulo di Poisson

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Poisson
[1] - Sabbia	0.76	0.70	0.76	(A.G.I.)	0.35
[2] - Limo argilloso	12.84	2.20	12.84	(A.G.I.)	0.33
[3] - Argilla limosa	20.1	4.90	20.1	(A.G.I.)	0.31

Modulo di deformazione a taglio dinamico (Kg/cm²)

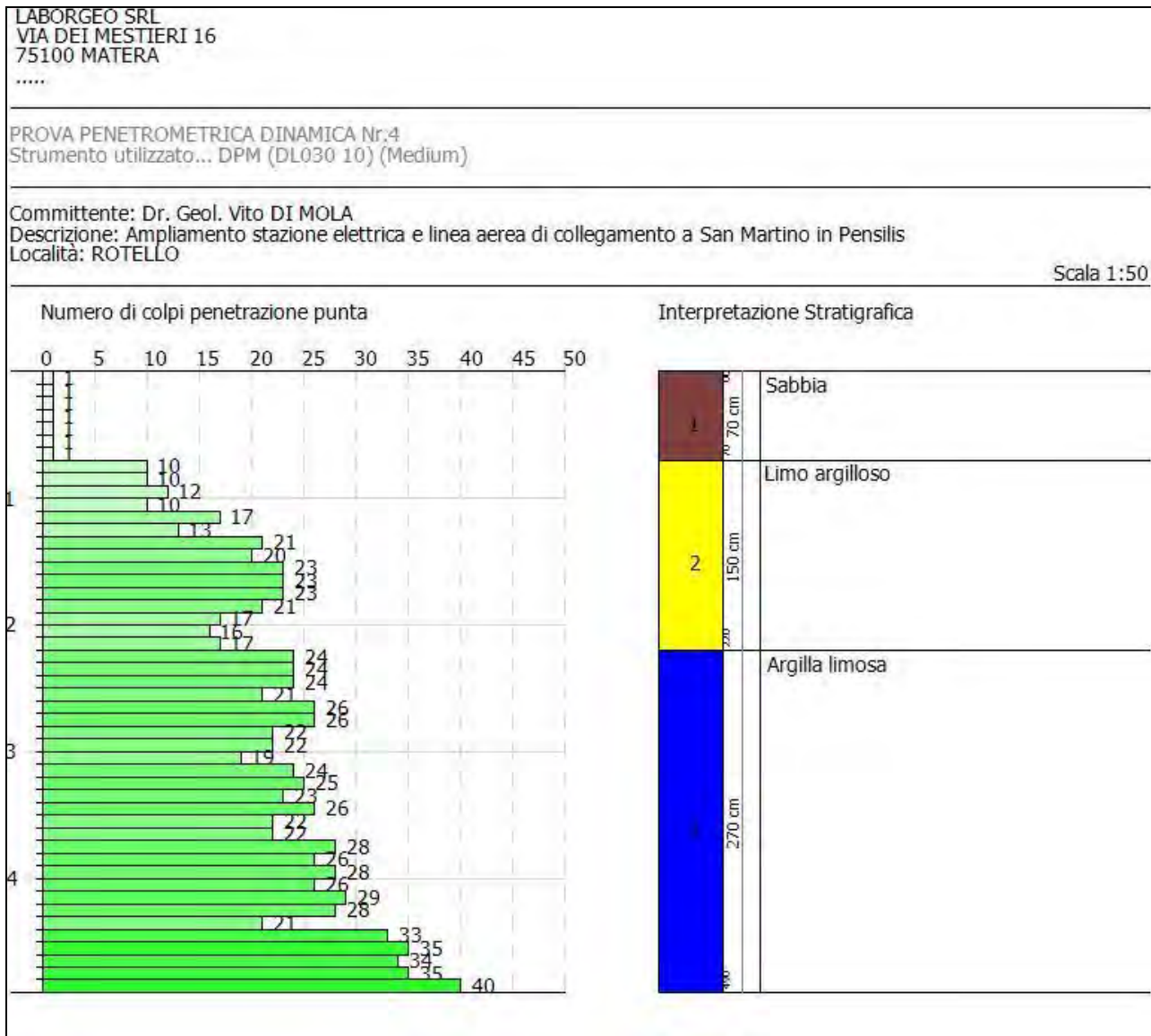
	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Velocità onde di taglio (m/s)
[1] - Sabbia	0.76	0.70	0.76	Ohta & Goto (1978) Limi	53.27
[2] - Limo argilloso	12.84	2.20	12.84	Ohta & Goto (1978) Limi	114.3
[3] - Argilla limosa	20.1	4.90	20.1	Ohta & Goto (1978) Limi	146.81

Liquefazione

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	K0
[1] - Sabbia	0.76	0.70	0.76	Navfac 1971-1982	-0.04
[2] - Limo argilloso	12.84	2.20	12.84	Navfac 1971-1982	2.69
[3] - Argilla limosa	20.1	4.90	20.1	Navfac 1971-1982	4.07

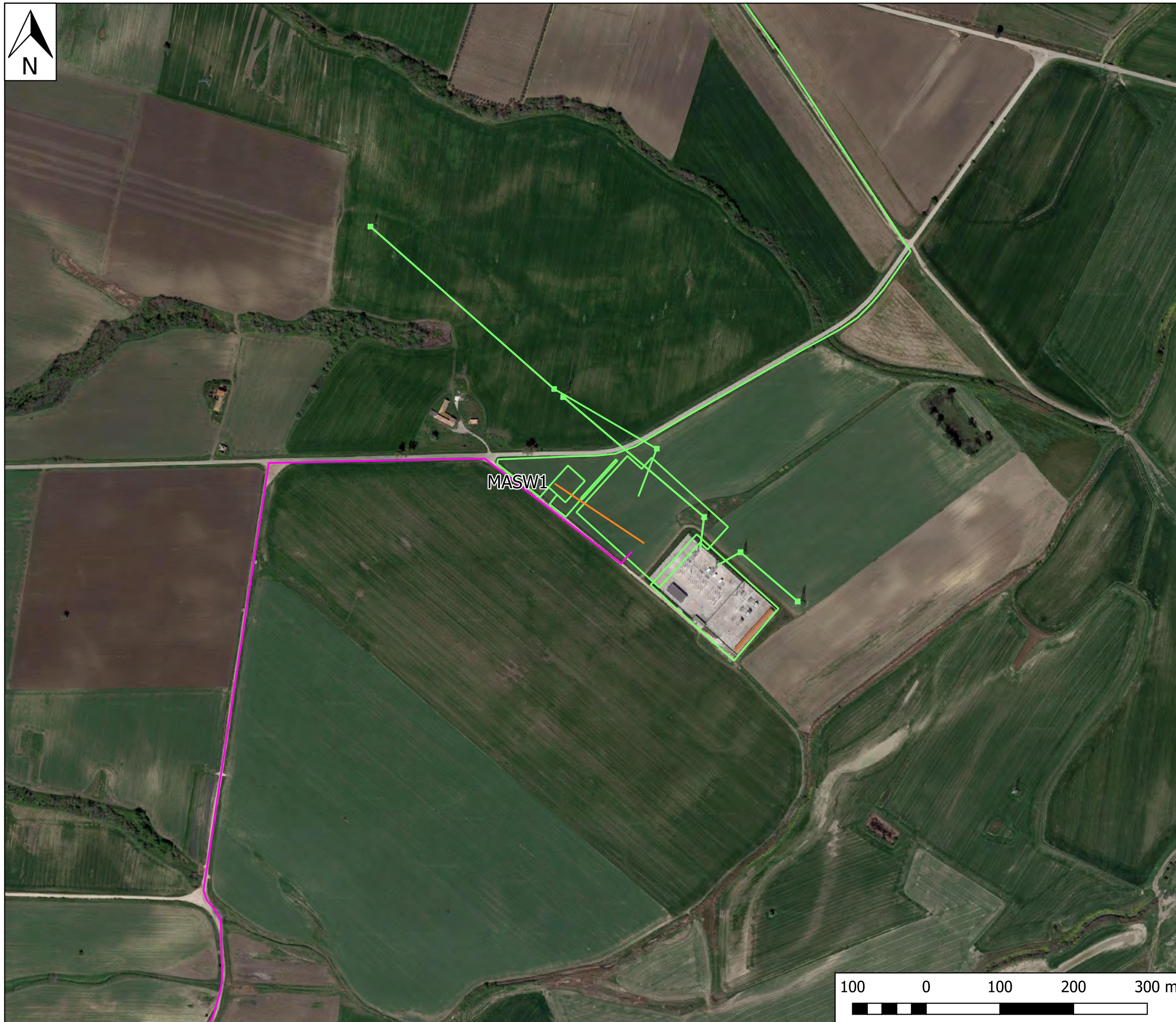
Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Qc (Kg/cm ²)
[1] - Sabbia	0.76	0.70	0.76	Robertson 1983	1.52
[2] - Limo argilloso	12.84	2.20	12.84	Robertson 1983	25.68
[3] - Argilla limosa	20.1	4.90	20.1	Robertson 1983	40.20



Matera, 26.07.21

**Il Responsabile delle indagini geologiche
Dr. Geol. Angelo Capodilupo**



INDIVIDUAZIONE STENDIMENTO MASW1 SU ORTOFOTO

Scala 1:5000

Legenda

Prove sismiche

— Stendimenti MASW

Elementi di progetto

• Sostegni

Tracciato

— Elettrodotto AT di progetto

— Linea AT interrata

— Altri elementi di progetto





INDIVIDUAZIONE STENDIMENTO MASW2 SU ORTOFOTO

Scala 1:5000

Legenda

Prove sismiche

— Stendimenti MASW

Elementi di progetto

● Sostegni

Tracciato

— Elettrodotto AT di progetto

— Linea AT interrata

— Altri elementi di progetto



1. PREMESSA – Relazione MASW San Martino e Rotello (CB)

Il presente studio geofisico riguarda il progetto di "Ampliamento stazione elettrica e linea aerea di collegamento a San Martino in Pensilis"; pertanto, si è reso necessario effettuare n° 1 un rilievo sismico di superficie tipo MASW, per la misura della velocità delle onde S nei vari strati di terreno, fino a circa 30 m di profondità, in modo da calcolare la categoria di suolo sismico ai sensi delle norme tecniche NTC 2018.



Foto n° 1 – Ubicazione indagine geofisica masw

1.1 Prospezione sismica masw e determinazione della VS,eq

La Normativa sismica nazionale (OPCM 3274 del 2003 e successive modifiche ed integrazioni, il **DM 14/09/2005 "Norme Tecniche per le Costruzioni**, emanate con D.M. Infrastrutture del 14/01/2008, pubblicato su Gazzetta Ufficiale Supplemento ordinario n. 29 del 04/02/2008 ed, infine, le

nuove Norme Tecniche “NTC 2018” entrate in vigore il 22 Marzo 2018 a seguito del D.M. 17.01.2018), impone che ai fini della definizione sismica di progetto, **l’effetto della risposta** sismica locale si valuta mediante specifiche analisi, da eseguire con le modalità indicate nel paragrafo 7.11.3 del D.M. 17.01.2018. In alternativa, si può fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione della velocità di propagazione delle onde di taglio, V_s . Nel caso in esame i valori di V_s sono stati ottenuti attraverso una prospezione sismica del tipo masw eseguita in loco; quindi, la classificazione del sottosuolo è stata effettuata in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, $V_{s,eq}$ (m/s), attraverso l’espressione:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}}$$

Con

H_i = spessore dell’ i -esimo strato;

$V_{s,i}$ = velocità delle onde di taglio nell’ i -esimo strato;

N = numero di strati;

H = profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_s non inferiore a 800 m/s.

Il metodo di prospezione sismica MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) consente di ottenere un modello verticale delle VS, a partire dalle modalità di propagazione delle onde di superficie, in particolare le onde di Rayleigh, e non attraverso quelle di volume come invece accade per i metodi propri della sismica più tradizionale.

In particolare osservando le caratteristiche dispersive del sito e applicando opportune tecniche di inversione è possibile stimare alcune proprietà meccaniche del sottosuolo in condizioni di sollecitazione sismica.

E' noto che la propagazione delle onde, nel caso di mezzi stratificati trasversalmente isotropi, avviene in maniera diversa rispetto al caso di mezzi omogenei; non esiste più una unica velocità ma ogni frequenza è caratterizzata da una diversa velocità di propagazione, a sua volta legata alle varie lunghezze **d'onda. Queste interessano il terreno** a diverse profondità e risultano influenzate dalle caratteristiche elastiche, variabili con la profondità. Questo comportamento viene definito *dispersione in frequenza* ed è fondamentale nello sviluppo dei metodi sismici che utilizzano le onde di superficie. Ovviamente le **lunghezze d'onda più grandi corrispondono alle frequenze più basse e vanno ad interessare il terreno più in profondità al contrario le lunghezze d'onda più piccole, poichè sono associate alle frequenze più alte, rimangono nelle immediate vicinanze della superficie.**

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

A partire dai parametri del sottosuolo è quindi possibile ricavare le proprietà dispersive delle onde di Rayleigh, per un determinato sito.

Quanto detto rappresenta il *problema diretto*: quello cioè che a partire dalla conoscenza delle caratteristiche del terreno ci permette di descrivere la dispersione delle onde di Rayleigh. Nella prospezione occorre invece affrontare il *problema inverso*: a partire dalla curva di dispersione rilevata, si arriva al modello di stratificazione del terreno con i relativi parametri meccanici e sismici.

La procedura utilizzata può essere suddivisa in tre fasi:

1. Acquisizione: registrazione e osservazione dei dati sismici contenenti le onde di Rayleigh per un intervallo sufficientemente ampio di frequenze;
2. Elaborazione: trattamento dei dati finalizzate **all'estrazione delle** caratteristiche di dispersione, in particolare espresse come velocità di fase in funzione della frequenza;
3. Inversione: uso di un modello del terreno che permette di ricavare un profilo

monodimensionale della velocità delle onde S ed altri parametri in funzione della profondità. Tutto ciò è quindi possibile sfruttando le relazioni che legano le proprietà meccaniche alla dispersione frequenziale.

La metodologia MASW viene presentata nel 1999 in seguito agli studi effettuati dal Kansas Geological Survey (Park et al., 1999).

L'acquisizione simultanea di molti canali, che aumentano la ridondanza statistica, insieme alla semplicità delle operazioni, permettono al MASW, di superare pienamente le limitazioni incontrate con precedenti metodi.

Normalmente si accetta l'approssimazione secondo cui la massima profondità di indagine MASW per la quale calcolare il valore VS, può essere **paragonato alla metà della lunghezza d'onda λ_{max}** misurata dai ricevitori (Park et al., 1999), **quest'ultima in generale** è considerata circa pari alla lunghezza L dello stendimento.

1.2 Acquisizione dati

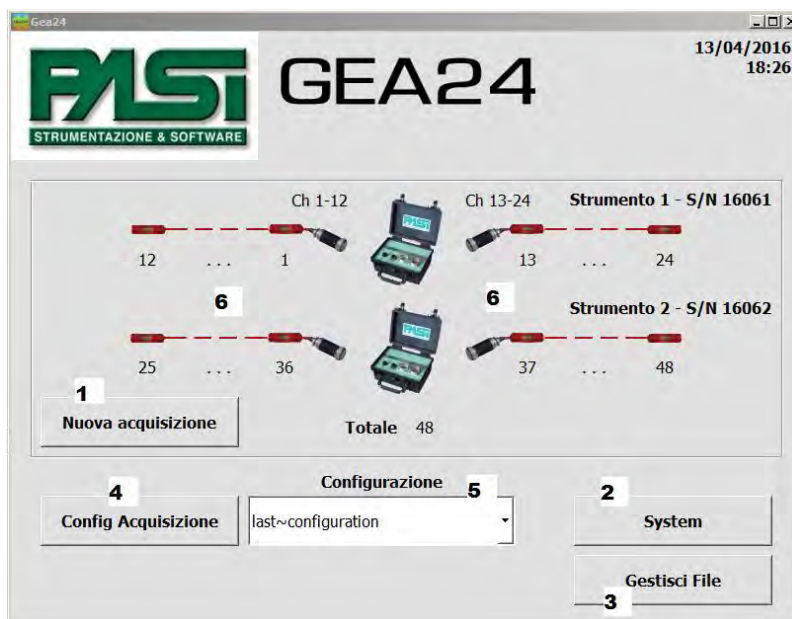
Le indagini sono state condotte mediante **l'utilizzo di** un sismografo marca PASI modello GEA 24, costituito da una centralina di controllo e da due cavi sismici a 12 canali, dotati di 12 takeout singoli e terminati con connettori standard Cannon NK2721C . La strumentazione si compone delle seguenti parti:

- Centralina Gea24
- Cavo USB per collegamento a PC

- Sistema di trigger (geofono o piezoelettrico)
- Chiavetta USB Gea24 contenente manuale e software
- Scheda di registrazione



Nel caso specifico sono stati impiegati 24 geofoni con frequenza di 4.5 Hz con distanza intergeofonica di 2.00 m.



Il tempo di acquisizione è stato impostato a 1 secondo.

Come energizzatore è stato adoperato un martello (Hammer blow) di massa 8.00 Kg.

Lo stendimento sismico masw realizzato, ha avuto lunghezza massima 56.00 m, così suddivisa:

- 46.00 m stendimento geofonico;
- energizzazioni eseguite a 2.0 m, 5.0 m e 10.0 m dal primo geofono.

Per migliorare la qualità del segnale per ogni offset si è proceduto con la tecnica di stacking, sommando cioè algebricamente i segnali di successive energizzazioni.

1.3 Elaborazione masw

L'elaborazione dei dati acquisiti in campagna è stata effettuata con il software winMASW 2018 Standard della Eliosoft.

Il software *winMASW* consente di analizzare dati sismici per ricavare il profilo verticale della VS (velocità delle onde di taglio).

Tale risultato viene ottenuto tramite modellazione o inversione delle curve di dispersione delle onde di superficie Rayleigh. Per quanto riguarda la determinazione del profilo verticale della VS la procedura *classica* si sviluppa in due operazioni svolte in successione:

- 1) determinazione dello spettro di velocità sul quale **l'utente deve identificare la** curva di dispersione (Picking);
- 2) inversione o modellazione della/e curva/e di dispersione.

1.4 Risultati MASW

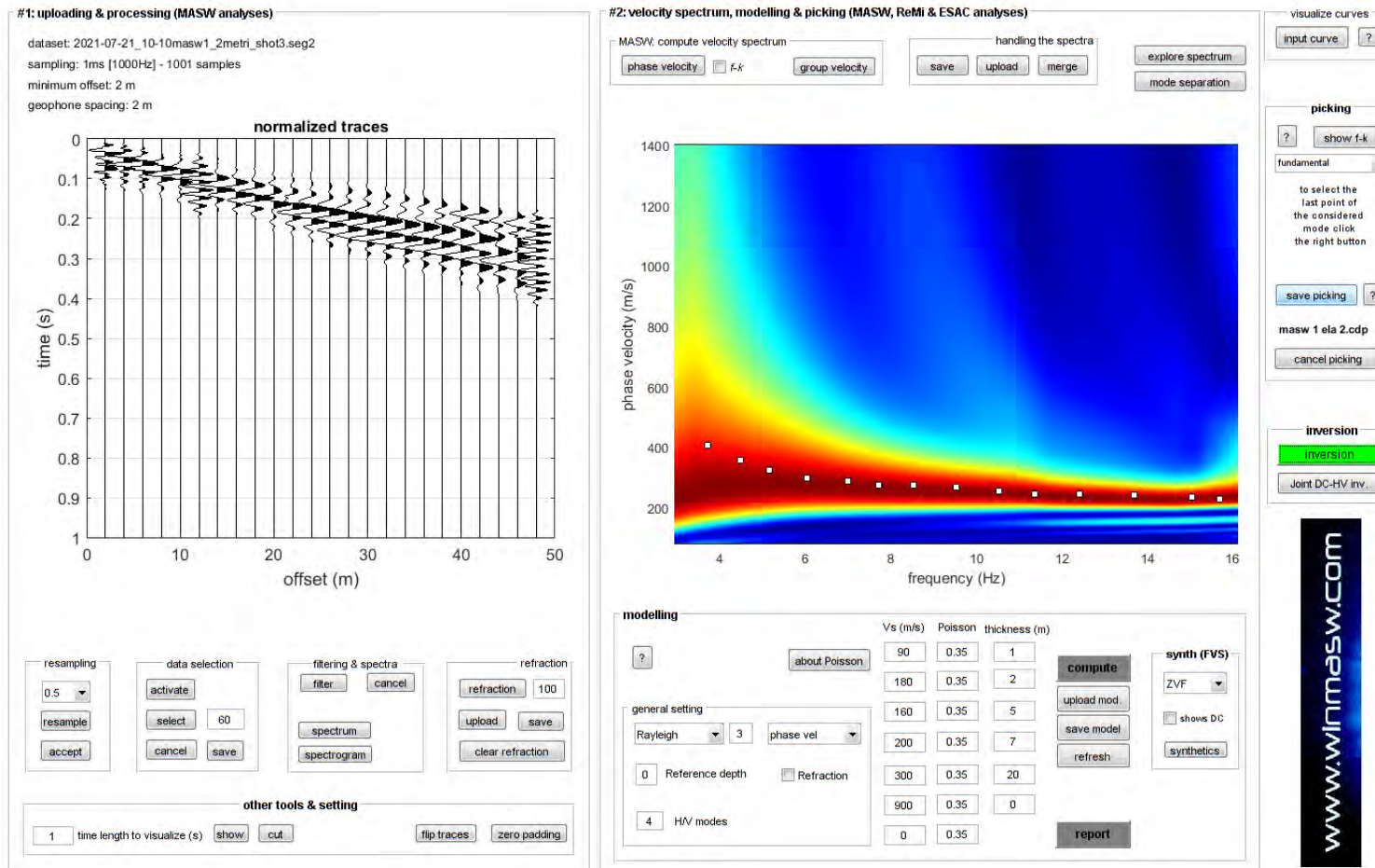


Fig. 1 – Sulla sinistra i dati di campagna e, sulla destra, lo spettro di velocità con la curva di dispersione

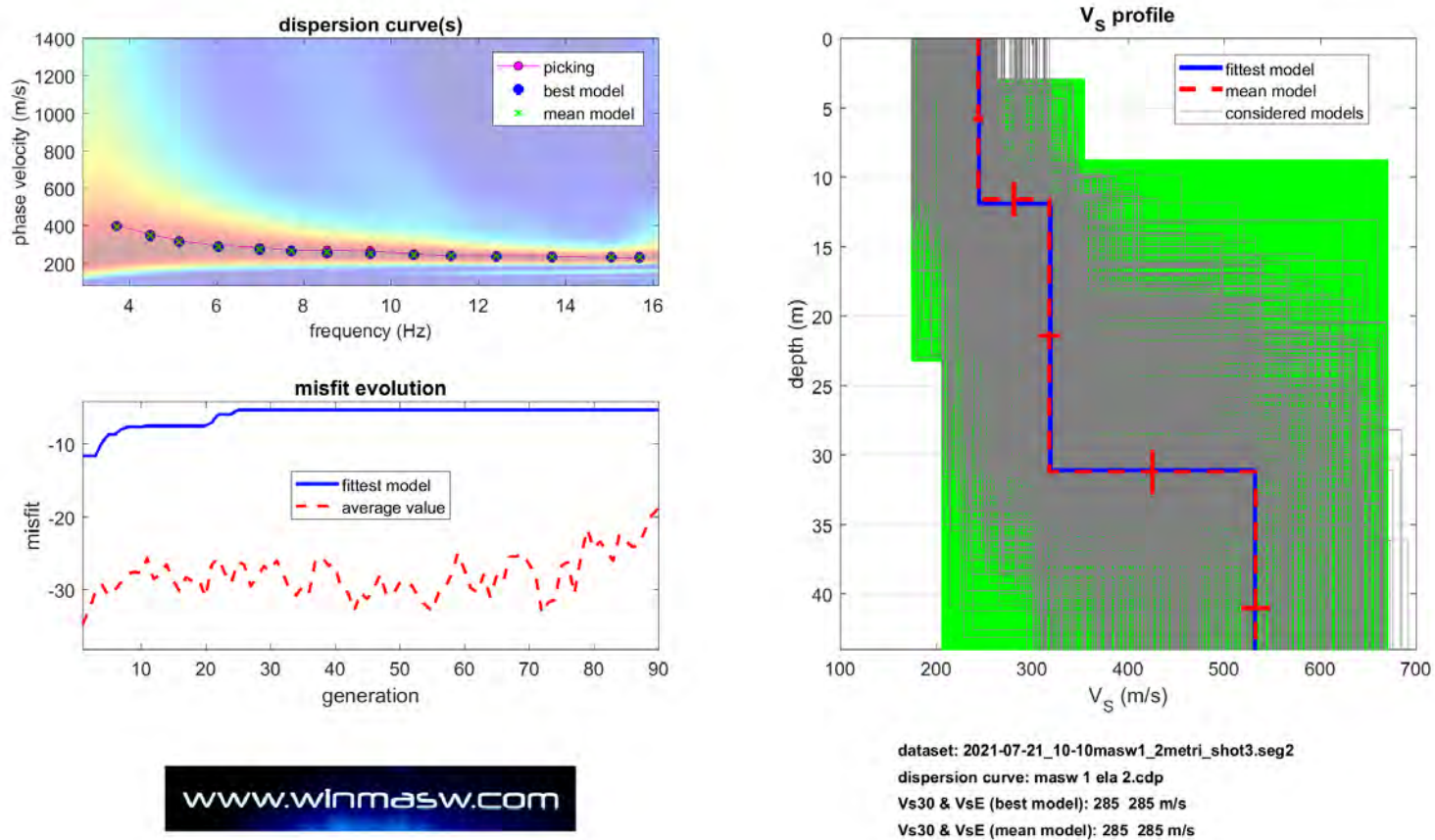


Fig. 2 - In alto a sinistra: spettro osservato, curve di dispersione piccate e curve del modello individuato dall'inversione. Sulla destra il profilo verticale VS identificato

Vs (m/s)	Vp (m/s)	Spessore (m)	Densità (g/cm ³)	Poisson	Modulo di Young (MPa)
244	510	11.9	1.89	0.35	114
319	664	19.2	1.95	0.35	199
532	1107	semispazio	2.08	0.35	588

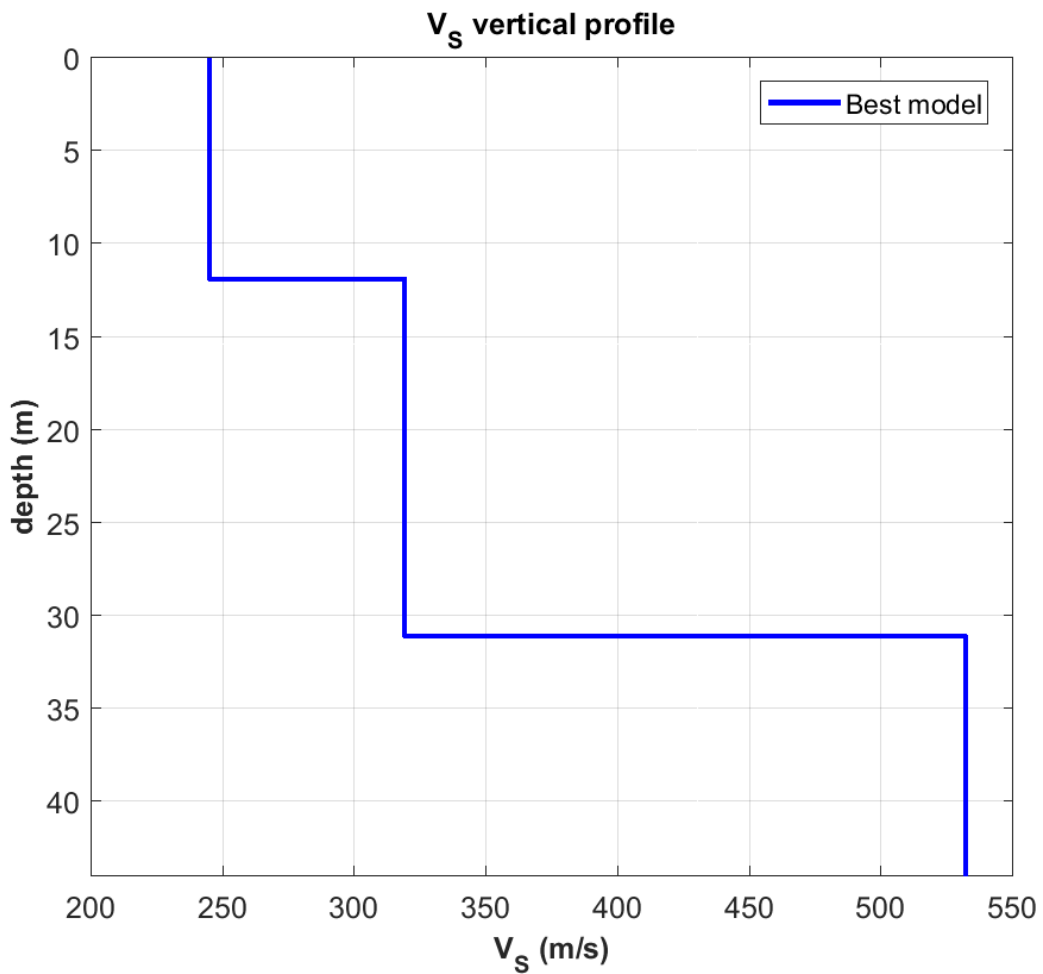


Fig. 3 Profilo verticale delle Vs

Nel nostro caso la profondità del substrato è superiore a 30 m, pertanto, la velocità equivalente $V_{s,eq}$ delle onde di taglio è stata definita dal parametro $V_{s,30}$, ottenuto ponendo $H=30$ m nella espressione seguente e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{S,i}}}$$

dove:

h_i è lo spessore dello strato i esimo

V_i è la velocità dello strato i esimo

H profondità del substrato definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzato da V_s non inferiore a 800 m/s.

Il valore calcolato della V_{seq} è pari a 285 m/s, cui corrisponde una categoria di suolo di fondazione di tipo C.

Tabella 3.2. II Categorie di sottosuolo NTC 2018 (approccio semplificato)

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	Depositati 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	Depositati 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 m/s 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 30m.

Matera, Luglio 2021

Dr. Geol. Angelo Capodilupo

1. PREMESSA

Il presente studio geofisico riguarda il progetto di "Ampliamento stazione elettrica e linea aerea di collegamento a San Martino in Pensilis"; pertanto, si è reso necessario effettuare n° 1 un rilievo sismico di superficie tipo MASW, per la misura della velocità delle onde S nei vari strati di terreno, fino a circa 30 m di profondità, in modo da calcolare la categoria di suolo sismico ai sensi delle norme tecniche NTC 2018.



Foto n° 1 – Ubicazione indagine geofisica masw

1.1 Prospezione sismica masw e determinazione della VS,eq

La Normativa sismica nazionale (OPCM 3274 del 2003 e successive modifiche ed integrazioni, il **DM 14/09/2005 "Norme Tecniche per le Costruzioni**, emanate con D.M. Infrastrutture del 14/01/2008, pubblicato su Gazzetta Ufficiale Supplemento ordinario n. 29 del 04/02/2008 ed, infine, le nuove Norme Tecniche **"NTC 2018"** entrate in vigore il **22 Marzo 2018 a seguito**

del D.M. 17.01.2018), impone che ai fini della definizione sismica di progetto, **l'effetto della risposta** sismica locale si valuta mediante specifiche analisi, da eseguire con le modalità indicate nel paragrafo 7.11.3 del D.M. 17.01.2018. In alternativa, si può fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione della velocità di propagazione delle onde di taglio, V_s . Nel caso in esame i valori di V_s sono stati ottenuti attraverso una prospezione sismica del tipo masw eseguita in loco; quindi, la classificazione del sottosuolo è stata effettuata in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, $V_{s,eq}$ (m/s), attraverso l'espressione:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}}$$

Con

H_i = spessore dell' i -esimo strato;

$V_{s,i}$ = velocità delle onde di taglio nell' i -esimo strato;

N = numero di strati;

H = profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_s non inferiore a 800 m/s.

Il metodo di prospezione sismica MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) consente di ottenere un modello verticale delle VS, a partire dalle modalità di propagazione delle onde di superficie, in particolare le onde di Rayleigh, e non attraverso quelle di volume come invece accade per i metodi propri della sismica più tradizionale.

In particolare osservando le caratteristiche dispersive del sito e applicando opportune tecniche di inversione è possibile stimare alcune proprietà meccaniche del sottosuolo in condizioni di sollecitazione sismica.

E' noto che la propagazione delle onde, nel caso di mezzi stratificati trasversalmente isotropi, avviene in maniera diversa rispetto al caso di mezzi omogenei; non esiste più una unica velocità ma ogni frequenza è caratterizzata da una diversa velocità di propagazione, a sua volta legata alle varie lunghezze **d'onda. Queste interessano il terreno** a diverse profondità e risultano influenzate dalle caratteristiche elastiche, variabili con la profondità. Questo comportamento viene definito *dispersione in frequenza* ed è fondamentale nello sviluppo dei metodi sismici che utilizzano le onde di superficie. Ovviamente le **lunghezze d'onda più grandi corrispondono alle frequenze più basse e vanno ad interessare il terreno più in profondità al contrario le lunghezze d'onda più piccole, poichè sono associate alle frequenze più alte, rimangono nelle immediate vicinanze della superficie.**

I metodi di prospezione sismica che utilizzano le onde di superficie, si basano su modelli fisicomatematici nei quali il sottosuolo viene schematizzato come una serie di strati sovrapposti con caratteristiche elastiche lineari. Per ogni strato si devono definire quattro parametri: lo spessore, ad esclusione **dell'ultimo considerato infinito; la densità; la velocità di propagazione delle onde** di taglio Vs al suo interno; il coefficiente di Poisson.

A partire dai parametri del sottosuolo è quindi possibile ricavare le proprietà dispersive delle onde di Rayleigh, per un determinato sito.

Quanto detto rappresenta il *problema diretto*: quello cioè che a partire dalla conoscenza delle caratteristiche del terreno ci permette di descrivere la dispersione delle onde di Rayleigh. Nella prospezione occorre invece affrontare il *problema inverso*: a partire dalla curva di dispersione rilevata, si arriva al modello di stratificazione del terreno con i relativi parametri meccanici e sismici.

La procedura utilizzata può essere suddivisa in tre fasi:

1. Acquisizione: registrazione e osservazione dei dati sismici contenenti le onde di Rayleigh per un intervallo sufficientemente ampio di frequenze;
2. Elaborazione: trattamento dei dati finalizzate **all'estrazione delle** caratteristiche di dispersione, in particolare espresse come velocità di fase in funzione della frequenza;
3. Inversione: uso di un modello del terreno che permette di ricavare un profilo

monodimensionale della velocità delle onde S ed altri parametri in funzione della profondità. Tutto ciò è quindi possibile sfruttando le relazioni che legano le proprietà meccaniche alla dispersione frequenziale.

La metodologia MASW viene presentata nel 1999 in seguito agli studi effettuati dal Kansas Geological Survey (Park et al., 1999).

L'acquisizione simultanea di molti canali, che aumentano la ridondanza statistica, insieme alla semplicità delle operazioni, permettono al MASW, di superare pienamente le limitazioni incontrate con precedenti metodi.

Normalmente si accetta l'approssimazione secondo cui la massima profondità di indagine MASW per la quale calcolare il valore VS, può essere **paragonato alla metà della lunghezza d'onda λ_{max}** misurata dai ricevitori (Park et al., 1999), **quest'ultima in generale** è considerata circa pari alla lunghezza L dello stendimento.

1.2 Acquisizione dati

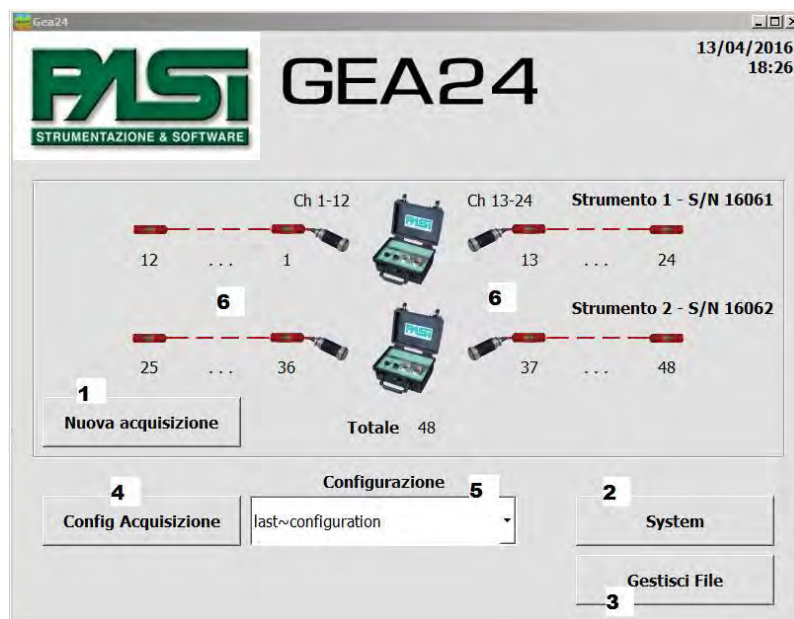
Le indagini sono state condotte mediante **l'utilizzo di** un sismografo marca PASI modello GEA 24, costituito da una centralina di controllo e da due cavi sismici a 12 canali, dotati di 12 takeout singoli e terminati con connettori standard Cannon NK2721C . La strumentazione si compone delle seguenti parti:

- Centralina Gea24
- Cavo USB per collegamento a PC

- Sistema di trigger (geofono o piezoelettrico)
- Chiavetta USB Gea24 contenente manuale e software
- Scheda di registrazione



Nel caso specifico sono stati impiegati 24 geofoni con frequenza di 4.5 Hz con distanza intergeofonica di 2.00 m.



Il tempo di acquisizione è stato impostato a 1 secondo.

Come energizzatore è stato adoperato un martello (Hammer blow) di massa 8.00 Kg.

Lo stendimento sismico masw realizzato, ha avuto lunghezza massima 56.00 m, così suddivisa:

- 46.00 m stendimento geofonico;
- energizzazioni eseguite a 2.0 m, 5.0 m e 10.0 m dal primo geofono.

Per migliorare la qualità del segnale per ogni offset si è proceduto con la tecnica di stacking, sommando cioè algebricamente i segnali di successive energizzazioni.

1.3 Elaborazione masw

L'elaborazione dei dati acquisiti in campagna è stata effettuata con il software winMASW 2018 Standard della Eliosoft.

Il software *winMASW* consente di analizzare dati sismici per ricavare il profilo verticale della VS (velocità delle onde di taglio).

Tale risultato viene ottenuto tramite modellazione o inversione delle curve di dispersione delle onde di superficie Rayleigh. Per quanto riguarda la determinazione del profilo verticale della VS la procedura *classica* si sviluppa in due operazioni svolte in successione:

- 1) determinazione dello spettro di velocità sul quale **l'utente deve identificare la** curva di dispersione (Picking);
- 2) inversione o modellazione della/e curva/e di dispersione.

1.4 Risultati MASW

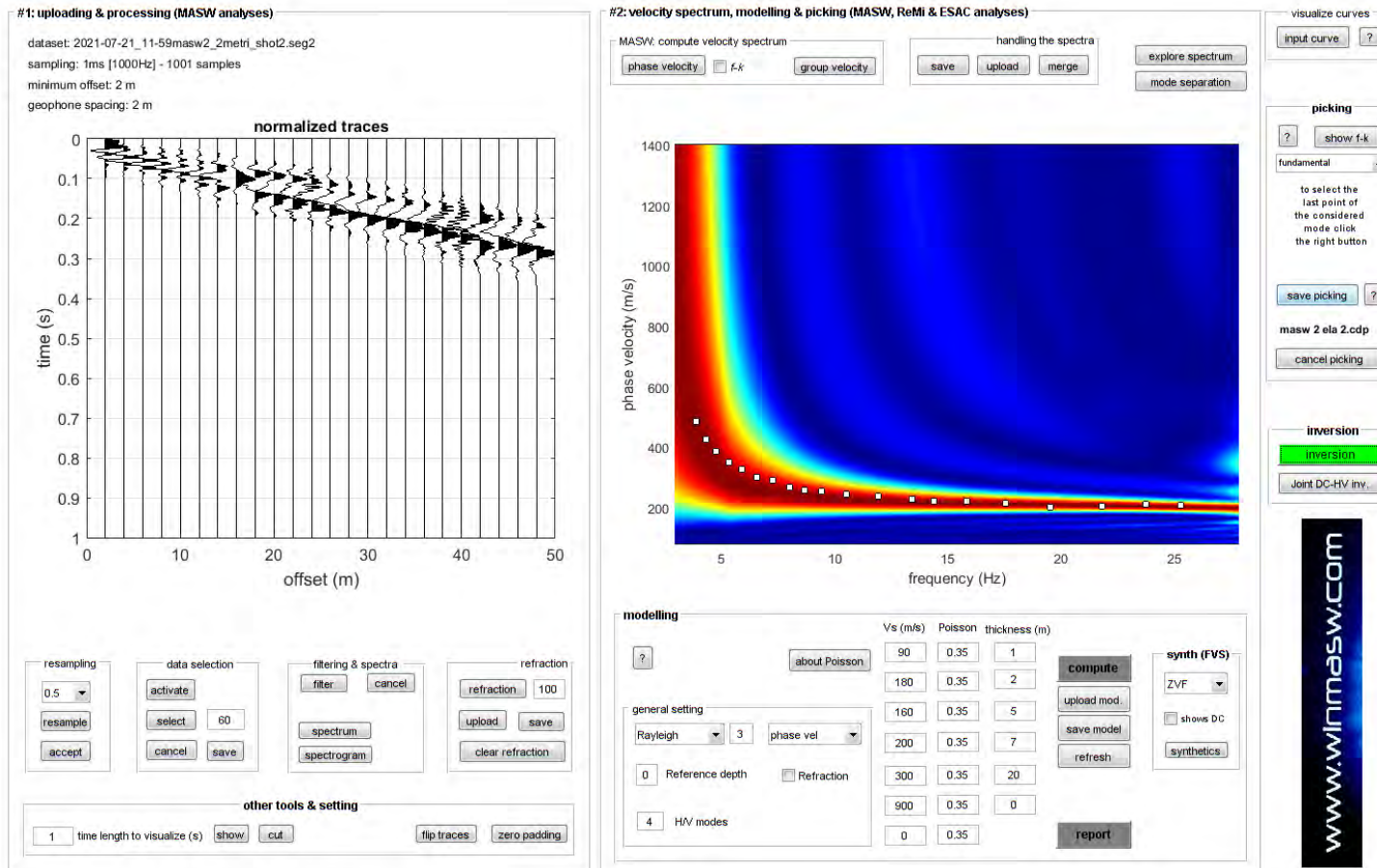


Fig. 1 – Sulla sinistra i dati di campagna e, sulla destra, lo spettro di velocità con la curva di dispersione

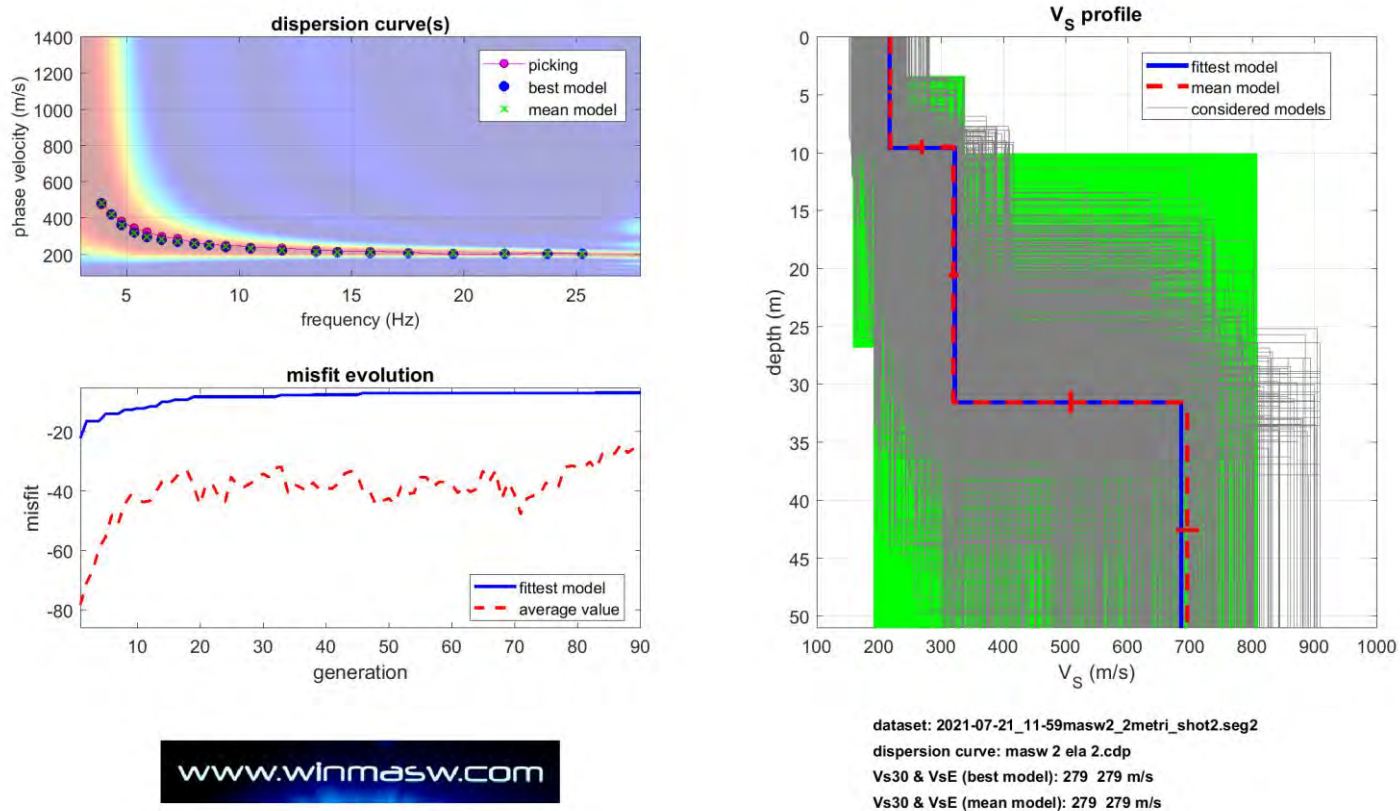


Fig. 2 - In alto a sinistra: spettro osservato, curve di dispersione piccate e curve del modello individuato dall'inversione. Sulla destra il profilo verticale VS identificato

Vs (m/s)	Vp (m/s)	Spessore (m)	Densità (g/cm ³)	Poisson	Modulo di Young (MPa)
217	452	9.6	1.86	0.35	88
322	679	22.0	1.96	0.35	203
686	1428	semispazio	2.14	0.35	1007

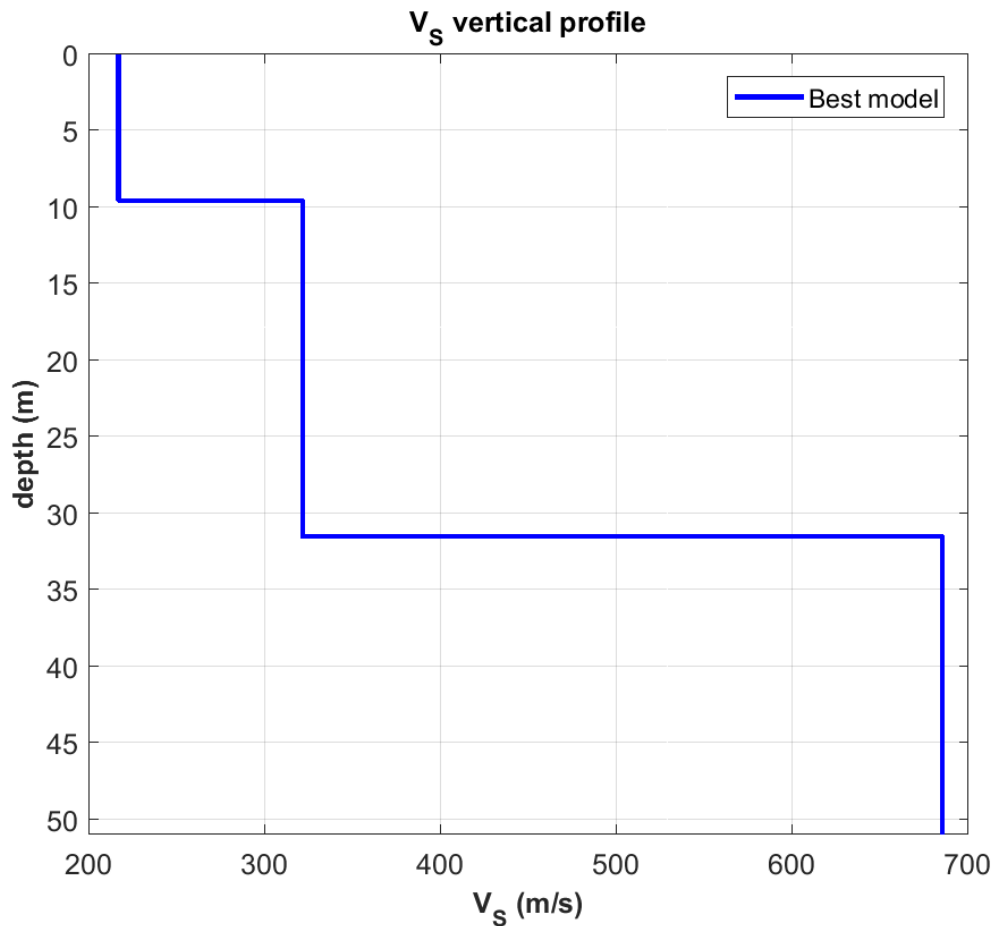


Fig. 3 Profilo verticale delle Vs

Nel nostro caso la profondità del substrato è superiore a 30 m, pertanto, la velocità equivalente $V_{s,eq}$ delle onde di taglio è stata definita dal parametro $V_{s,30}$, ottenuto ponendo $H=30$ m nella espressione seguente e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{S,i}}}$$

dove:

h_i è lo spessore dello strato i esimo

V_i è la velocità dello strato i esimo

H profondità del substrato definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzato da V_s non inferiore a 800 m/s.

Il valore calcolato della V_{seq} è pari a 279 m/s, cui corrisponde una categoria di suolo di fondazione di tipo C.

Tabella 3.2. II Categorie di sottosuolo NTC 2018 (approccio semplificato)

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	Depositati 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	Depositati 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 m/s 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 30m.

Matera, Luglio 2021

Dr. Geol. Angelo Capodilupo