

**IMPIANTO AGRIVOLTAICO**  
SITO NEI COMUNI DI BRINDISI E CELLINO SAN MARCO  
IN PROVINCIA DI BRINDISI

**Valutazione di Impatto Ambientale**

(artt. 23-24-25 del D.Lgs. 152/2006)

**Commissione Tecnica PNRR-PNIEC**

(art. 17 del D.L. 77/2021, convertito in L. 108/2021)

**Prot. CIAE: DPE-0007123-P-10/08/2020**

---

**Nuova SE Terna Cellino 380/150 kV**  
SE Terna e Cabina Primaria E-Distribuzione 150/20 kV

---

|                       |   |                        |                                 |              |   |
|-----------------------|---|------------------------|---------------------------------|--------------|---|
| <i>Cartella</i>       | VIA_3/  | <i>Identificatore:</i> | <b>Relazione geotecnica-PTA</b> |              |   |
| <i>Sottocartella</i>  | DOC_SPEC/   | <b>DOCSPECSE03</b>     |                                 |              |   |
| <i>Descrizione</i>    | Relazione geotecnica-di compatibilità con il PTA - SE Terna |                        |                                 |              |   |
| <i>Nome del file:</i> | DOCSPECSE03.pdf   | <i>Tipologia</i>       | Relazione                       | <i>Scala</i> | - |

---

*Autori elaborato:* MAYA - Geol. Francesco Magno

| <i>Rev.</i> | <i>Data</i> | <i>Descrizione</i> |
|-------------|-------------|--------------------|
| 00          | 02/02/21    | Prima emissione    |
| 01          |             |                    |
| 02          |             |                    |

---

**Spazio riservato agli Enti:**

PROPONENTE:

HEPV02 S.R.L.

via Alto Adige, 160/A - 38121 Trento (TN)

hepv02srl@arubapec.it.it

MANAGEMENT:

**EHM.Solar**

EHM.SOLAR S.R.L.

Via della Rena, 20 39100 Bolzano - Italy

tel. +39 0461 1732700

fax. +39 0461 1732799

info@ehm.solar

c.fiscale, p.iva e R.I. 0303300021

NOME COMMESSA:

**COSTRUZIONE ED ESERCIZIO NUOVA SE TERNA  
380/150kV E CABINA PRIMARIA E-DISTRIBUZIONE  
150/20kV DENOMINATA CELLINO SITE NEL COMUNE DI  
CELLINO SAN MARCO (BR) PER LA CONNESSIONE  
ALLA RETE ELETTRICA DI IMPIANTO FOTOVOLTAICO  
CODICE IDENTIFICATIVO AU CZ7X8F6**

STATO DI AVANZAMENTO COMMESSA:

**PROGETTO DEFINITIVO PER AU CZ7X8F6**

CODICE COMMESSA:

**HE.19.0053**

PROGETTAZIONE INGEGNERISTICA:

**Heliopolis**



Galleria Passarella, 1 20122 Milano - Italy

tel. +39 02 37905900

via Alto Adige, 160/A 38121 Trento - Italy

tel. +39 0461 1732700

fax. +39 0461 1732799

www.heliopolis.eu

info@heliopolis.eu

c.fiscale, p.iva e R.I. Milano 08345510963

PROGETTISTA:



**MAYA ENGINEERING SRLS**

4, Via San Girolamo

70017 Putignano (BA)

C.F./P.IVA 08365980724

*francesco magno*

COLLABORATORE: Dott. Geol. Francesco MAGNO

AMBIENTE IDRAULICA STRUTTURE

MAYA ENGINEERING

Ing. Vito CALIO'

Via San Girolamo, 4 - 70017 Putignano (BA)  
v.calio@maya-eng.com



GEOLOGIA

MAYA ENGINEERING

Dott. Geol. Francesco MAGNO

Via Colonne, 38 - 72100 BRINDISI  
frmagno@libero.it



RILIEVI TOPOGRAFICI

MAYA ENGINEERING

Ing. Vito CALIO'

Via San Girolamo, 4 - 70017 Putignano (BA)  
v.calio@maya-eng.com



STUDI PEDO-AGRONOMICI

MAYA ENGINEERING

Dott. Agr. Alessandro ZURLO

Contrada Gavida snc - 72012 Carovigno (BR)  
a.zurlo.az@gmail.com



STUDI FAUNISTICI

MAYA ENGINEERING

Dott. Agr. Alessandro ZURLO

Contrada Gavida snc - 72012 Carovigno (BR)  
a.zurlo.az@gmail.com



OPERE DI ALTA TENSIONE

SIET SRL

Via Alessio Baldovinetti, 176 - 00142 Roma  
sietsrroma@gmail.com



**SIET s.r.l. - Roma**  
Servizi di ingegneria  
energia e trasporti

OGGETTO:

**Relazione di compatibilità al Piano di Tutela  
delle Acque - SE Terna e CP  
E-Distribuzione- Relazione Geotecnica - SE  
Terna e CP E-Distribuzione**

SCALA:

DATA:

FEBBRAIO 2021

NOME FILE:

TAVOLA:

**CZ7X8F6\_RelazionePTA-Geotecnica  
\_R03.SE**

R03.SE

| N. REV. | DATA    | REVISIONE |
|---------|---------|-----------|
| 0       | 02.2021 | Emissione |

ELABORATO

VERIFICATO

responsabile commessa  
A.Albuzzi

VALIDATO

direttore tecnico  
N.Zuech

## Indice

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 1     | Premessa .....   | 2  |
| 2     | Ubicazione dell'area di studio e lineamenti geomorfologici .....                               | 4  |
| 3     | Inquadramento geologico dell'area investigata .....  | 13 |
| 3.1   | Risultanze geologico-stratigrafiche. ....  | 17 |
| 4     | Definizione delle categorie di sottosuolo, condizioni topografiche e parametri sismici locali. | 23 |
| 4.1   | Categoria di sottosuolo.....   | 23 |
| 4.2   | Definizione categoria di sottosuolo.....   | 25 |
| 4.3   | In merito all'area d'imposta della "stazione elettrica". ....                                  | 27 |
| 4.3.1 | Condizioni topografiche.....   | 32 |
| 5     | Prove penetrometriche realizzate sull'area d'imposta della stazione TERNA e sulla CP. ....     | 33 |
| 5.1   | Elaborazione dinamic probing super heavy (dpsh).....   | 35 |
| 5.1   | Correlazione con Nspt.....   | 46 |
| 5.2   | Valutazione resistenza dinamica alla punta Rpd.....  | 47 |
| 5.3   | Calcolo di (N 1)60 .....   | 47 |
| 5.4   | Metodologia di Elaborazione.....   | 48 |
| 5.5   | Valutazioni statistiche e correlazioni .....   | 48 |
| 5.6   | Correlazione stratigrafica fra le prove penetrometriche effettuate .....                       | 54 |
| 6     | Idrografia ed idrogeologia dell'area indagata .....  | 56 |
| 6.1   | Lineamenti idrogeologici regionali .....   | 56 |
| 6.2   | Caratteristiche generali della falda freatica superficiale .....                               | 61 |
| 7     | Analisi del rischio idrogeologico .....  | 64 |
| 7.1   | Valutazione della pericolosità geomorfologica, idraulica e del rischio.....                    | 65 |
| 8     | Considerazioni conclusive .....  | 69 |

## 1 Premessa

La Società Maya S.r.l., ha affidato allo scrivente, iscritto all'Ordine Regionale dei Geologi al n. 105, l'incarico di effettuare uno studio relativo alle caratteristiche geologiche e geologico-tecniche, con elementi idrogeologici, per la costruzione di una nuova "stazione elettrica" di TERNA, da realizzare nell'ambito della Contrada "Masseria Cafarello", nel territorio del Comune di Cellino San Marco ed in particolare, in adiacenza alla strada comunale rurale asfaltata denominata Via Pietro Micca.

Il terreno è idoneo all'installazione della "stazione elettrica" in virtù del fatto che non presenta problemi connessi alla trasmissione di eccessivi carichi ai terreni di fondazione che, altresì, sono adeguatamente "portanti".

Per la definizione dei caratteri litologici, stratigrafici, strutturali, geotecnici e la definizione della categoria di sottosuolo e dei parametri e coefficienti sismici locali dei terreni oggetto dell'intervento in progetto, si è fatto esplicito riferimento alla bibliografia, in particolare all'esperienza dello scrivente maturata anche in prossimità dell'area d'intervento, sia su terreni allocati in Cellino S. Marco e su di una campagna geognostica effettuata sul sito, in conformità alle normative tecniche vigenti, mediante la realizzazione di:

- indagine di prospezione geologica dei terreni realizzata per mezzo di **n° 3 Prove Penetrometriche Dinamiche Super Pesanti (DYNAMIC PROBING SUPER HEAVY)**;
- indagine di prospezione sismica dei terreni per mezzo di **N° 1 prova sismica con metodologia Re.Mi. (Refraction Microtremor) e N° 1 prova sismica con metodologia MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves)**;
- indagine di prospezione sismica dei terreni per mezzo di **N° 1 prova sismica con metodologia a RIFRAZIONE**.

L'indagine effettuata risponde pienamente alle norme vigenti ed è parte integrante del progetto esecutivo per la realizzazione dell'opera strutturale.

In particolare, due prove penetrometriche dinamiche pesanti sono state effettuate nell'area destinata alla stazione elettrica di Terna ed una sui terreni posti da parte opposta rispetto alla Via Pietro Micca.

L'indagine di prospezione sismica è stata realizzata lungo la stradina rurale di penetrazione dell'area d'imposta della stazione elettrica.

In questa relazione è stato possibile riportare che i terreni non possono presentare "sorprese" geologiche, in quanto non vi sono calcari affioranti e quindi non vi è carsificazione; anche la previsione di "fondazioni dirette" può ritenersi accertata per quanto riportato in relazione circa le caratteristiche geologiche e stratigrafiche.

Per ciò che concerne la morfologia del terreno sul quale verrà a sorgere l'impianto è possibile affermare che è quella tipica e tabulare di quasi tutti i terreni posti nell'area della così detta "Conca di Brindisi", con una leggera pendenza verso W e quindi verso il territorio comunale di Sandonaci.

L'area dell'impianto presenta un'altezza media topografica di circa 58,5 m. sul livello medio mare ed è posta ad una distanza di circa 300 m. in linea d'aria, dalle prime abitazioni della periferia occidentale dell'abitato di Cellino San Marco ed in particolare con la via più estrema denominata Via G. Deledda.

Dal punto di vista idrogeologico, le indagini e gli studi effettuati, si ritengono del tutto soddisfacenti ed assicurano una totale separazione fra le acque meteoriche di displuvio, che ricadono nell'area della "stazione elettrica" ed il "reticolo idrografico" posto ad W dell'area d'impianto e che adduce le acque in un bacino endoreico allocato in territori a Sud dell'abitato di Cellino S. Marco.

Altresì, nessun problema indurrà anche il livello statico della falda freatica, fatto salvo che si possa definire tale e non come una semplice "essudazione", posta a circa 5 m. dal piano di campagna e ciò in virtù del fatto che il piano di posa delle fondazioni si ritiene non sia necessario individuarlo ad oltre 2 m. di profondità dall'attuale p.c.

L'impianto, in definitiva, non comporterà alcuna modifica sostanziale all'attuale assetto idraulico superficiale ed, ancor meno, a quello idrogeologico della falda freatica, là dove esistente; del tutto inconsistente, per la presenza dell'unità delle "argille calabriane" è il rapporto con la sottostante falda profonda che soggiace nelle unità geologiche delle calcareniti e dei calcari cretacei e quindi ad oltre 50 m. di profondità.

Pur non rientrando nell'area d'imposta della centrale elettrica, si è registrata la presenza di una grande quantità di terreni rivenienti da sfridi di demolizione che, in qualche maniera e per la presenza di una lieve depressione morfologica, potrà portare ad un ristagno di acque meteoriche.

In definitiva, lo studio dell'area che sarà interessata dai lavori, è stato finalizzato alla definizione:

- a. della situazione litostratigrafica locale;**
- b. delle forme e dei lineamenti dell'area ed in particolare dei processi morfologici e degli eventuali dissesti in atto o potenziali;**
- c. dei parametri geotecnici secondo quanto previsto dal D.M. 14.01.2008 (Norme Tecniche per le Costruzioni) e ss. mm. ii. (D.M. 17/01/2018 e ciò grazie alla realizzazione delle indagini di campagna.**

Lo studio è stato effettuato in ottemperanza alle normative vigenti ed in particolare ai:

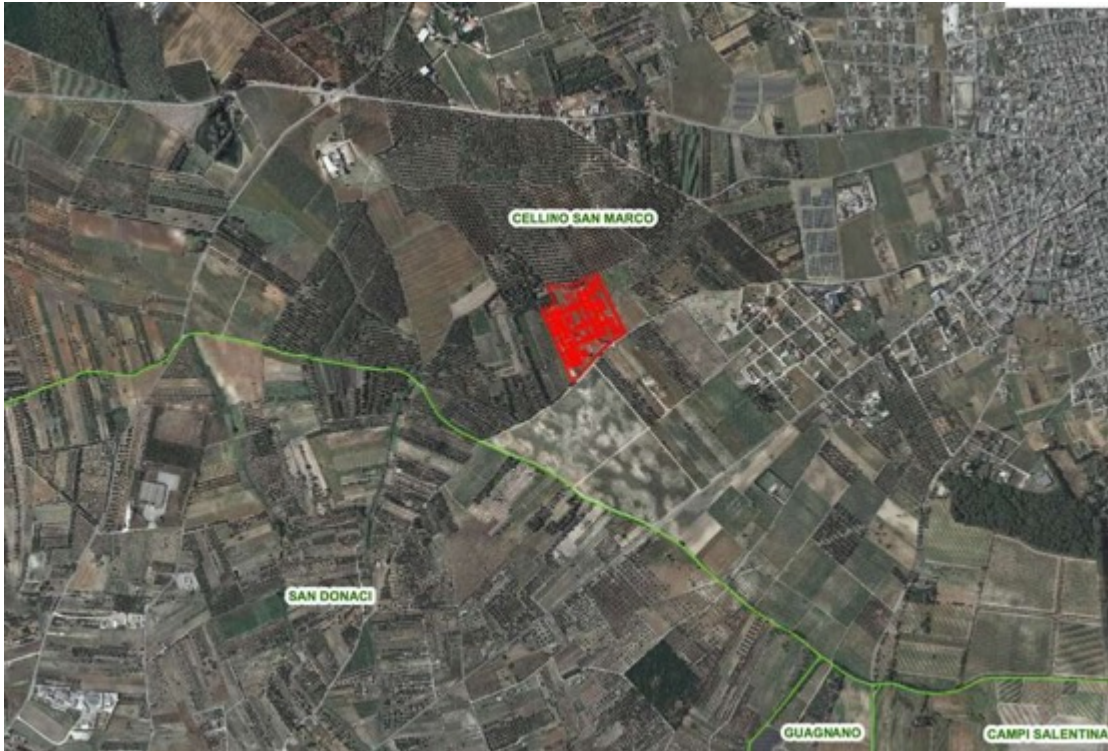
- D.M. 11/03/1988 *“Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno e delle opere di fondazione”* e successive modifiche ed integrazioni;
- Legge 109/94: *“Legge quadro in materia di lavori pubblici”*;
- DPR n. 554/99: *“Regolamento di attuazione della legge quadro in materia di lavori pubblici”*;
- Raccomandazioni dell'AGI in merito alle indagini geognostiche in situ ed alle indagini geotecniche di laboratorio.
- D.M.LL.PP. del 14/01/2008 (G.U. n. 29 del 04/02/2008): *“Norme tecniche per le costruzioni”*;
- Circolare del 02/02/2009 n. 617: *“Istruzioni per l'applicazione delle Nuove norme tecniche per le costruzioni”*.
- Ordinanza n. 3274 del 20 marzo 2003: *“Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica”*;
- Decreto Del Ministero dei Trasporti e delle Infrastrutture del 17 gennaio 2018 recante: *“Aggiornamento delle Norme tecniche per le Costruzioni”*.

## 2 Ubicazione dell'area di studio e lineamenti geomorfologici.

L'area di progetto è ubicata nel territorio comunale di Cellino San Marco (BR) ed è posta nella porzione più occidentale del territorio amministrato ed a circa 300 m. dell'estremità dell'abitato identificata nella Via G. Deledda; i terreni interessati dalla realizzazione della “stazione elettrica” sono censiti nel N.C.T. al Foglio di mappa n° 24 ed alle particelle n. 231, 232, 82, 76, 78, 77, 153 e 154.

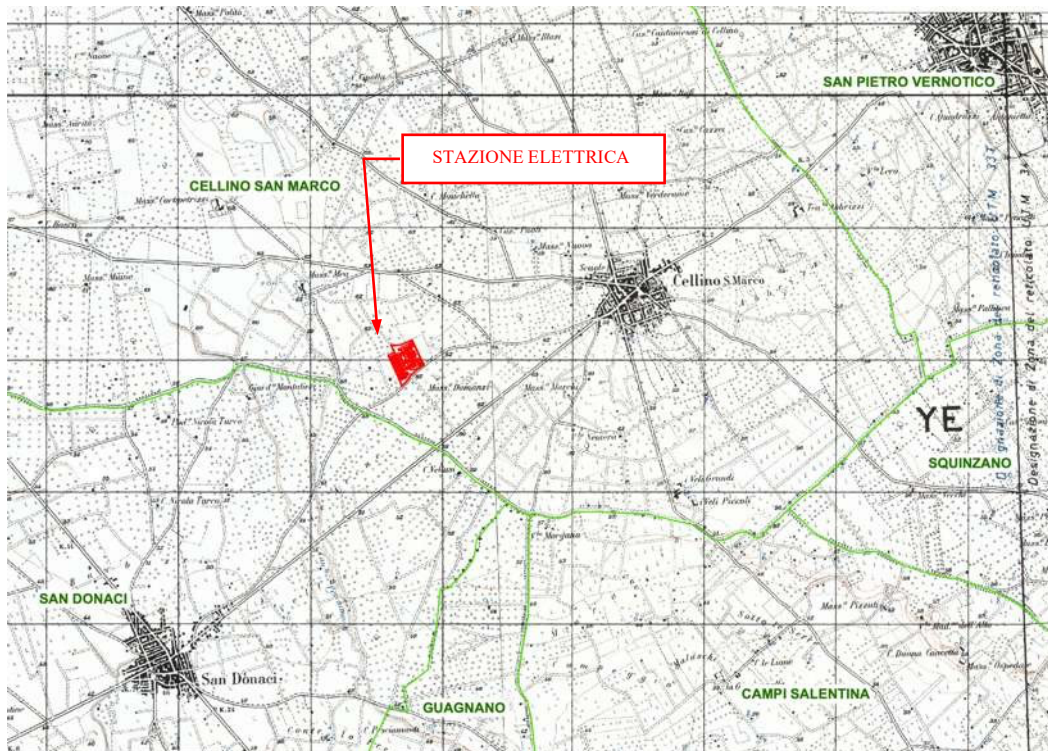
In riferimento alle norme tecniche di attuazione del vigente P.R.G. le aree in progetto sono tipizzate come zona “agricola”, così come riportato nel certificato di destinazione urbanistica rilasciato dal Comune di Cellino San Marco.

La Tavola n. 1 che segue, riporta l'ubicazione dell'area d'intervento nell'ambito del territorio vasto del Comune di Cellino San Marco ed in particolare della porzione posta a W dell'abitato ed a poca distanza con il confine con il Comune di Sandonaci.



**Tavola n. 1 : Ubicazione dell'area d'intervento**

Dalla successiva Tavola n. 2 è possibile evidenziare l'ubicazione della "stazione elettrica" da realizzare nell'ambito dello stralcio della cartografia IGM al 25:000.



**Tavola n. 2: stralcio dell'area oggetto di studio**

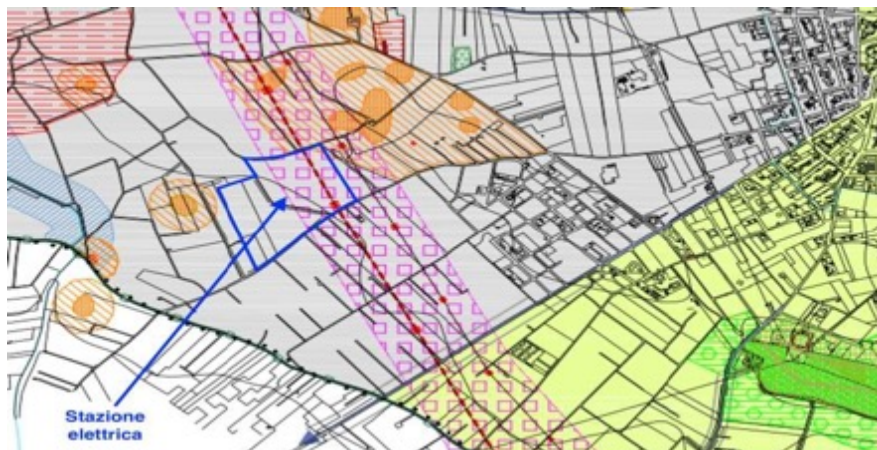
La tavola n. 3 riproduce la pianta della stazione elettrica da realizzare in parte nell'area di rispetto dovuta alla presenza di tralicci dell'alta tensione.



**Tavola n. 3: Aerofotogrammetria dell'area in studio con destinazione nel PRG.**

Dalla tavola n. 3 si evince anche il terreno posto a Sud ove è stata realizzata una prova penetrometrica.

In merito alla presenza dei tralicci di alta tensione, si rileva il PRG del Comune, alla Tavola n. 53c evidenzia un'area di rispetto, come riportato alla successiva tavola n. 4 e relativa legenda, come stralcio della richiamata tavola di Piano n. 53c.



Fascia di rispetto linee elettriche



Area di pertinenza segnalazioni archeologiche



Area annessa segnalazioni archeologiche

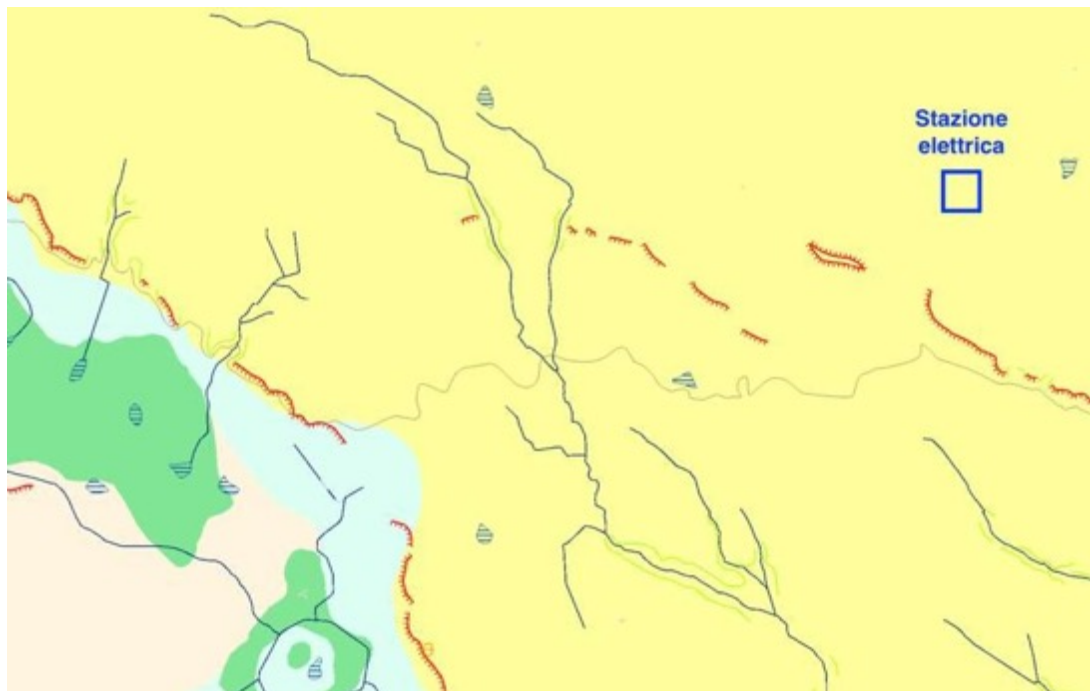
**Tavola n. 4: Vincolo linee elettriche da PRG tavola n. 53 c.**



L'area oggetto dell'intervento progettuale è ubicata alla quota media di 58,5 m. s.l.m.m., in un'area leggermente degradante verso W e quindi nella pertinenza valliva di un reticolo idrografico di displuvio delle acque meteoriche che presenta il recapito finale a Sud ed all'esterno del territorio comunale di Cellino San Marco, in territorio di Guagnano (LE).

La Tavola n. 5 riproduce la carta geolitologica dell'area d'interesse dalla quale si evince l'unica colorazione gialla relativa che la legenda riporta come "unità a prevalente componente siltoso-sabbiosa e/o arenitica"; in sostanza, come si avrà modo di riportare nell'apposito capitolo relativo alle caratteristiche geologiche, si tratta di sedimenti tutti appartenenti alla così detta "Conca di Brindisi".

La Tavola n. 5 riporta anche parte del "reticolo idrografico" posto ad W dell'area d'imposta della "stazione elettrica" il cui sviluppo si concretizza verso Sud, là dove confluisce in una "vora" calcarea di dispersione delle acque di pioggia.



Litologia del substrato

- Unità prevalentemente calcarea o dolomitica
- Unità a prevalente componente argillosa
- Unità a prevalente componente siltoso-sabbiosa e/o arenitica
- Unità a prevalente componente arenitica
- Unità a prevalente componente ruditica
- Unità costituite da alternanze di rocce a composizione e/o granulometria variabile
- Unità a prevalente componente argillitica con un generale assetto caotico
- Depositi sciolti a prevalente componente sabbioso-ghiaiosa
- Depositi sciolti a prevalente componente pelitica

**Tavola n. 5: ubicazione dell'area della "stazione elettrica" su carta geolitologica.**

Dalla tavola n. 5 si evince che l'area d'imposta della "stazione elettrica" e della CP è del tutto avulsa e distante dalle forme di modellamento tipiche dell'area che si evincono a W e SW e che sono rappresentate, in particolare, da "cigli di scarpata" che fanno intendere ad una tettonica attiva periodo in cui si è venuta a formare la "conca di Brindisi" e di modellamento marino, nei periodi di trasgressione e regressione del mar Adriatico, costituendo "paleo falesie".

La tavola n. 6 che segue, riporta lo stralcio d'interesse della "Carta idrogeomorfologica" regionale, senza la caratterizzazione della litologia superficiale.

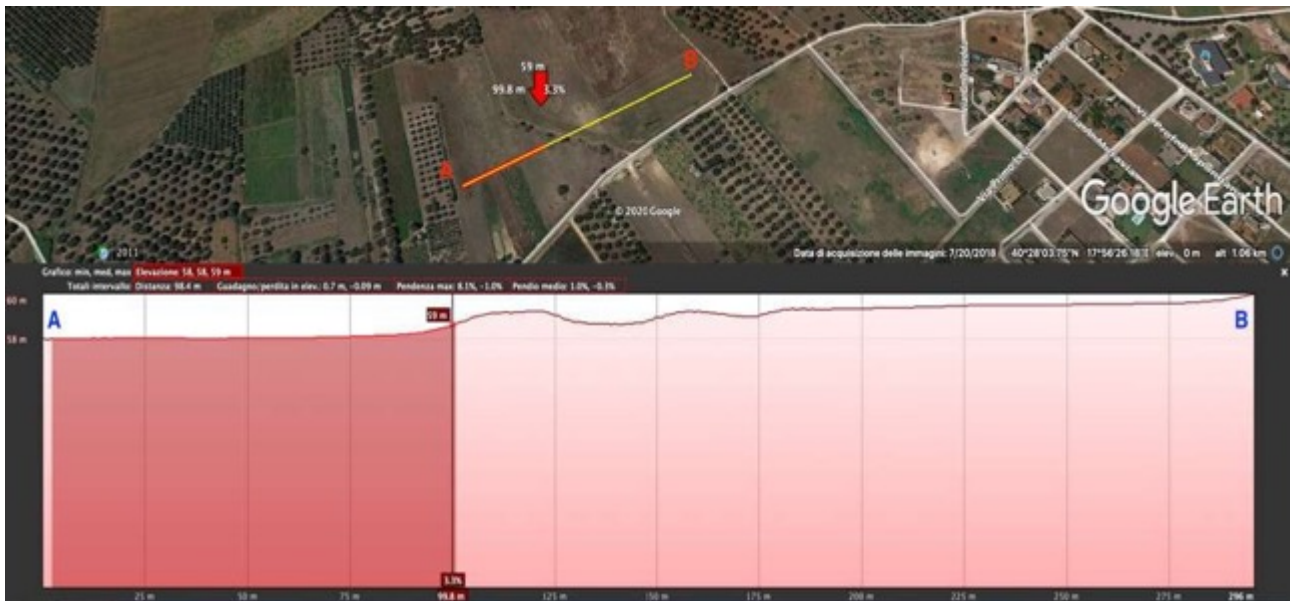


**Tavola n. 6: stralcio dalla "Carta Idrogeomorfologica" della R. P.**

In merito alle caratteristiche geomorfologiche dell'area d'intervento e del suo intorno, facendo esplicito riferimento a documentazione di accesso pubblico e, nel qual caso, utilizzando il motore di google map, sono state desunte due sezioni che hanno fornito, in mancanza di un rilievo topografico, importanti elementi di definizione delle caratteristiche morfo-topografiche dell'area d'intervento.

Le tavole n. 7 ed 8 riportano una sezione longitudinale e parallela alla strada comunale Cellino-Sandonaci ed una sezione trasversale N-S e normale alla strada comunale.

Da ambedue le tavole è possibile rilevare la sostanziale mancanza di "solchi erosivi" che fanno intendere ad una preferenziale superficie di raccolta e scorrimento delle acque meteoriche; in realtà e se pur al di fuori dell'area d'imposta della stazione elettrica, in direzione N-NE si rileva la presenza di una minima depressione del suolo che costituisce una zona di accumulo delle acque. Vi è anche da dire che in quest'area si registra l'abbandono di una grande quantità di materiali rivenienti da demolizioni (sfridi) che deturpano profondamente il territorio.



**Tavola n. 7: sezione longitudinale sull'area di realizzazione della stazione elettrica.**

**Tavola n. 7: sezione longitudinale sull'area di realizzazione della stazione elettrica.**



**Tavola n. 8: sezione trasversale sull'area di realizzazione della stazione elettrica.**

Dalle due sezioni sinteticamente si evince che:

- Una pendenza minima si evince nella sezione longitudinale e, come riportato, il suolo tende a scendere di quota in direzione W e quindi verso il reticolo idrografico precedentemente evidenziato;
- Nella sezione trasversale si rileva una totale mancanza di differenza di quota e nella porzione più orientale della sezione si rileva quel piccolo avvallamento ove oggi svengono smaltiti gli sfridi di demolizione;

- la pendenza massima riportata è dell'ordine dell'1% e quindi, essendo la soglia del 5% quella della "significatività", tale pendenza non va considerata come di rilievo;
- Nella sezione non si evidenziano salti di quota tali da far intendere alla presenza di "ripe di erosione" e/o quanto altro possa far riferimento ad azioni di alluvionamento dell'area.

In definitiva, non vi è alcuna rispondenza idraulica, idrogeologica e morfos-trutturale fra l'area destinata ad accogliere la "stazione elettrica" e le varie componenti, sia della modellazione idraulica (area golenale, versante di destra, ciglio, ecc.) che, di quella tettonica strutturale (orlo di scarpata, faglie, ecc.).

L'area d'imposta presenta, quindi, la morfologia tipica dei terreni costituenti la "Conca di Brindisi", pianeggiante, dolce e leggermente degradante verso il mare, fatta salva, come in questo caso, la presenza di incisioni che influiscono l'andamento topografico e morfologico locale.

Di seguito si riportano alcune foto dell'area della stazione elettrica.

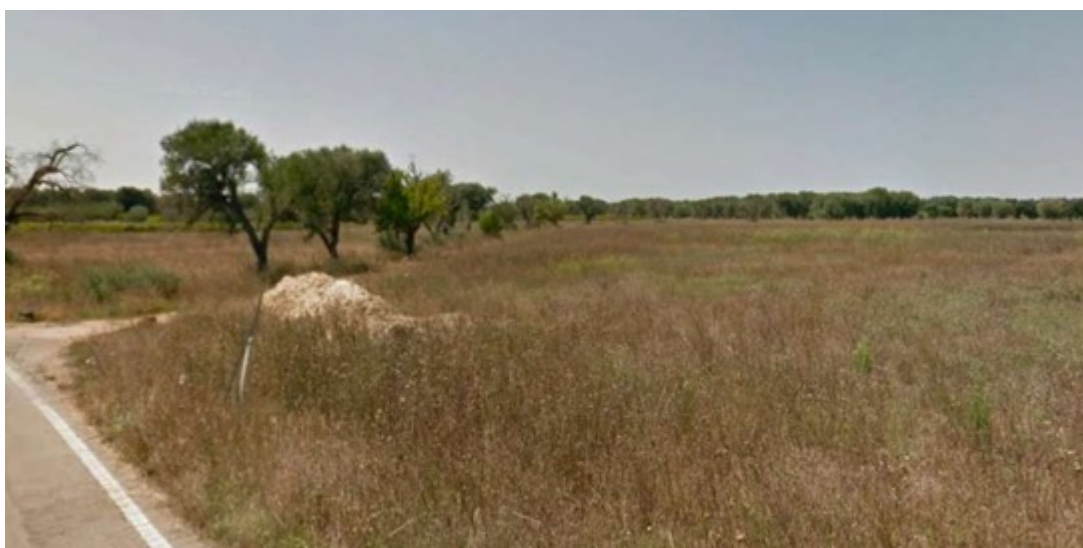


**Foto n.1: parte dell'area d'imposta con evidenziati gli sfridi.**

Dalla foto, oltre che i cumuli di sfridi posti comunque all'esterno dell'area d'imposta della stazione, si rileva anche la vegetazione spontanea tipica del lento defluire e/o sosta delle acque meteoriche.



**Foto n. 2: area d'imposta della stazione elettrica.**



**Foto n. 3: area d'imposta della stazione elettrica.**



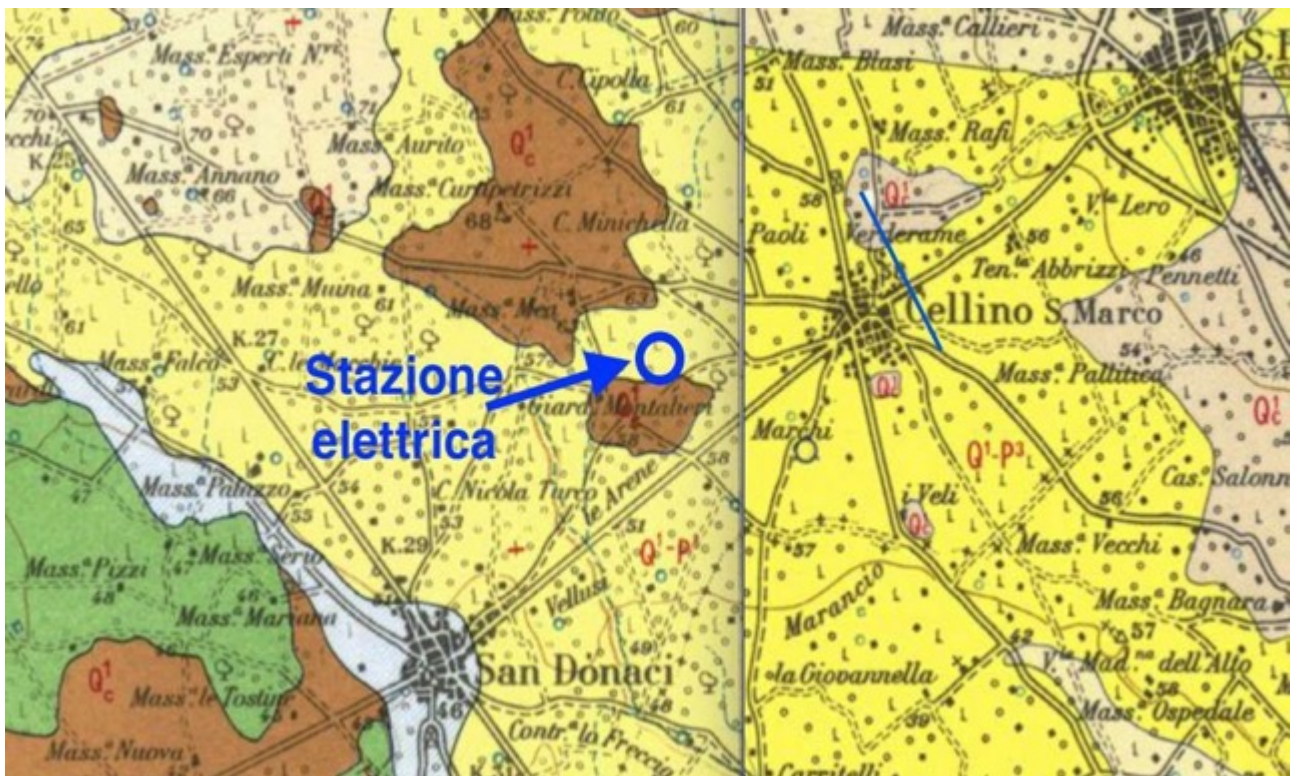
**Foto n. 4: area d'imposta con particolare dei pochi ulivi intaccati dal batterio "xilella".**

### 3 Inquadramento geologico dell'area investigata.

L'area investigata, ubicata nel territorio comunale di Cellino San Marco (BR) in prossimità della strada comunale che dall'abitato perviene a quello di Sandonaci (BR), è allocata al Foglio di mappa n° 24 ed alle particelle n.231-232-82-78-77-153-154 e 76.

Geologicamente l'area d'imposta della stazione elettrica è cartografata nel Foglio n. 203 della Carta Geologica d'Italia scala 1:100.000 denominata "Brindisi"; la parte restante del territorio comunale di Cellino S. Marco è invece riportata nel Foglio n. 204, denominato "Lecce".

Per fornire organicità di rappresentazione si è provveduto ad unire i due richiamati Fogli della cartografia geologica e ad ubicare l'area d'imposta della stazione elettrica; la tavola n. 9 che segue e la relativa legenda riportano l'area.





**Tavola n. 9: ubicazione stazione elettrica su cartografia geologica.**

Il territorio in oggetto di studio é inquadrato, geologicamente, nell'ambito del foglio n° 203, denominato "Brindisi" della Carta Geologica d'Italia a scala 1:100.000.

Nell'ambito di questa carta, a grande classificazione geologica é possibile distinguere essenzialmente due termini:

- **Q<sup>1</sup>-P<sup>3</sup>**= Sabbie calcaree poco cementate con intercalati banchi di "panchina; sabbie argillose grigio-azzurre;
- **Q1c**= sabbie argillose giallastre, talora debolmente cementate in strati di qualche centimetro di spessore, con intercalati banchi arenacei, che passano inferiormente a sabbie argillose ed argille grigio-azzurre.

Ambedue le unità stratigrafiche appartengono alla così detta "Formazione di Gallipoli".

Qui di seguito si riportano alcune considerazioni di massima relative alla struttura geologica del territorio in studio, mentre maggiori dettagli verranno riportati nel capitolo successivo.

La struttura geologica del territorio di Brindisi occupata dalla vasta area costiera posta a NW del centro abitato, presenta dal basso verso l'alto, una successione di termini stratigrafici così distinti: il substrato calcareo-dolomitico, le calcareniti, le argille azzurre calabriane ed i depositi recenti.

L'unità geologica più profonda e quindi più antica, costituente anche il substrato rigido, è rappresentata dai calcari cretacei; la sedimentazione di tali calcari, può farsi risalire al periodo



Cretacico (160 B.P.) ed è terminata, presumibilmente, attorno a 1,5 Milioni di anni fa, alla fine del Pliocene.

Per ciò che concerne l'andamento degli strati calcarei, la bibliografia parla di una "*Conca di Brindisi*" avente massima depressione conosciuta di circa 80 m. sotto il livello del mare in corrispondenza di Capo Bianco; in particolare, l'area di studio, è prossima all'horst occidentale della "*Conca di Brindisi*" e quindi a poca distanza dal territorio di Sandonaci a SW di Cellino San Marco, ove si rilevano i primi affioramenti di calcare e calcarenite.

Variazioni dell'andamento delle isobate dei calcari con una diminuzione delle stesse, altimetricamente, da Ovest verso Est, hanno fatto intendere alla presenza di una faglia trascorrente che ha provocato uno spostamento orizzontale, con parziale immersione di questa massa carbonatica.

Il rigetto è di massimo 30 m. e sembra annullarsi al livello del Canale Pigonati, nel porto di Brindisi.

Dopo il ritiro del mare, a causa della prima grande glaciazione, si è venuta a depositare una sabbia calcarea ottenuta dall'erosione degli stessi calcari e per fenomeni sia genetici che elettrostatici si sono costituite le calcareniti, meglio note come "*tufi calcarei*".

Nuove variazioni eustatiche, in questo caso un aumento del mare, hanno portato alla sedimentazione di minerali argillosi che vengono conosciuti dalla bibliografia come "*Argille Calabriane*".

Come si evincerà dalla parte relativa alle prove prese in considerazione, al di sopra di tali sedimenti argillosi si individuano le coperture di depositi recenti costituiti essenzialmente dall'unità "panchina", caratterizzata da una alternanza di livelli arenacei e da sabbia, quasi totalmente smantellata dai fenomeni di erosione sviluppati più recentemente.

Sovrastante la panchina si riscontrano, in genere e nel territorio di Brindisi, i materiali di copertura sabbio-limosi ed evaporitici più recenti, mentre più superficialmente, si rinviene l'unità geologica denominata "*Calcareniti del Casale*" che, dopo le dune costiere ed i terreni eluviali, rappresenta l'episodio più recente di sedimentazione; tale "unità" non è presente nell'area di studio e destinata ad accogliere la stazione elettrica.

In definitiva, può affermarsi che la morfologia e la litologia del territorio è legata essenzialmente alla successione degli eventi geologici quaternari.

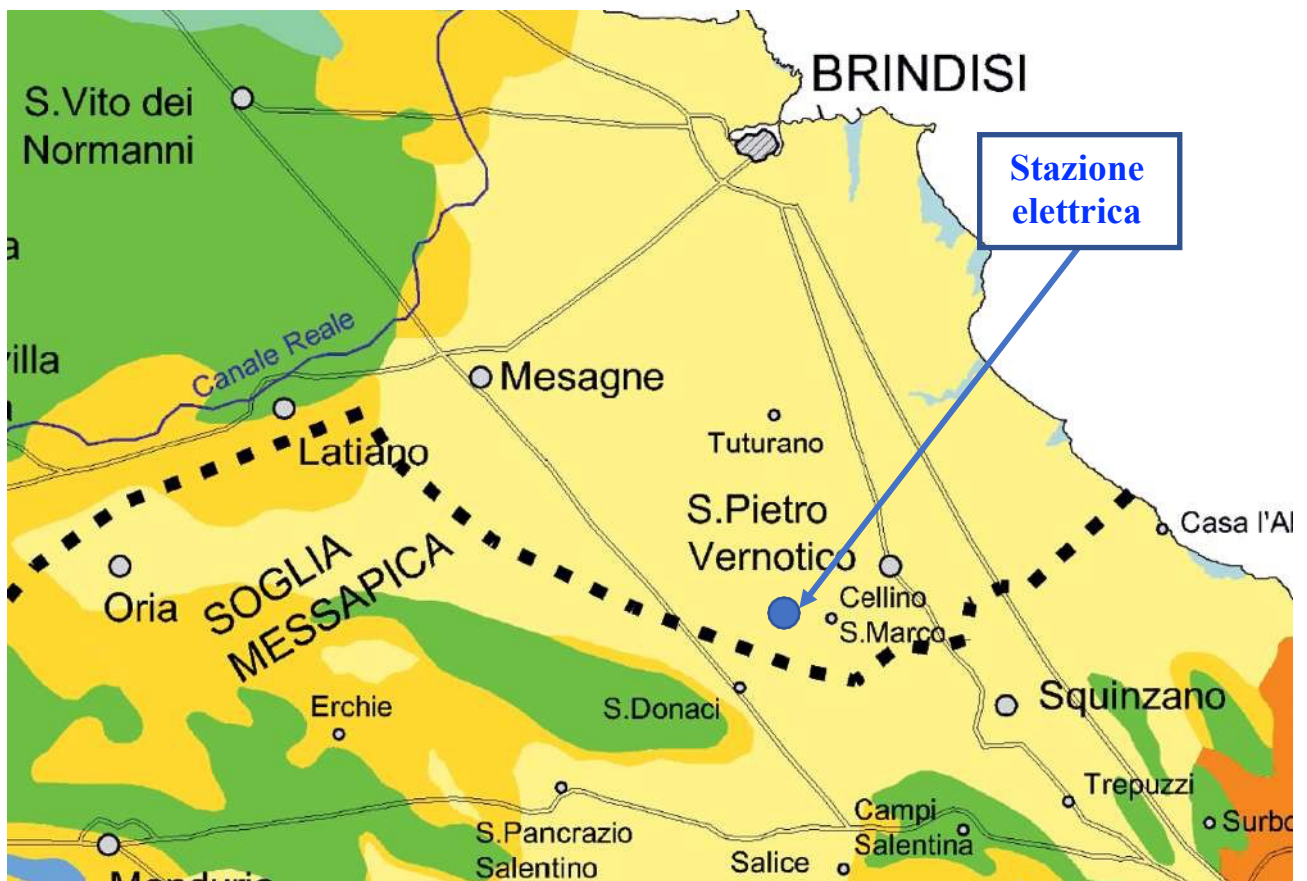
L'osservazione della morfologia attuale con le indicazioni rivenienti dallo studio delle stratigrafie già realizzate dallo scrivente nei territori richiamati in premessa, non individuano sostanziali problemi in virtù anche di una totale assenza di "reticolo idrografico".

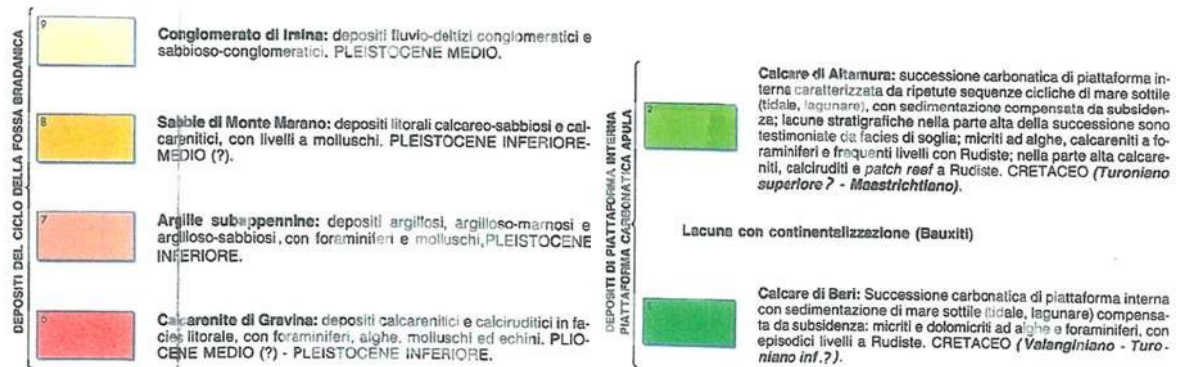
In particolare, sempre per ciò che concerne l'area di studio, dalle indicazioni ricavate dalla conoscenza quarantennale dello scrivente è facilmente identificabile che l'area ha subito forti

fenomeni erosivi che si sono verificati nel momento in cui il livello del mare si è abbassato, fino ai valori attuali e che negli ultimi 3 millenni tende a rialzarsi nuovamente.

L'osservazione della morfologia attuale con le indicazioni rivenienti dallo studio delle stratigrafie realizzate nell'area vasta del territorio posto ad W dell'abitato cittadino, individuano una chiara azione erosiva sviluppata nell'area di studio dall'intrusione marina e dalla successiva regressione, con erosione areale delle acque di pioggia; tale forte azione erosiva si è sviluppata asportando le unità geologiche più superficiali, non raggiungendo, comunque, le argille azzurre calabriane, se non nelle zone umide dei canali più significativi del territorio della provincia di Brindisi (Giancola e canale Reale).

La Tavola n. 10 che segue, individua l'area di studio e tutta la "Conca di Brindisi" riportata in giallo; da questa si evince come ad W ed a poca distanza, si rinvencono in affioramento i "tufi calcarei" ed ancora più ad W e nel territorio di Sandonaci, direttamente gli affioramenti dei calcari cretacei, definita dalla colorazione verde, come riportato in legenda.





**Tavola n. 10: carta relativa agli affioramenti geologici nell'alto Salento**

Dalla tavola n.10 si evince chiaramente che l'area di studio è posta all'interno della "Conca di Brindisi" (in giallo) e proprio nell'area del "graben" e quindi nella porzione abbassata tettonicamente del territorio da azioni tettoniche; l'area di studio, anche se non ben evidente dalla tavola è posta in prossimità dell'horst meridionale della "Conca di Brindisi" e quindi nel territorio di Sandonaci e, ove i terreni sedimentari, tipici dell'area, sono stati parzialmente asportati e lo spessore delle argille calabriane è rappresentato da solo pochi metri (8-10 m.).

Qui di seguito si riproduce, nelle proprie linee essenziali, la successione dei terreni che dall'alto verso il basso caratterizzano la "Conca di Brindisi" e, con leggere modifiche anche l'area di studio.

- **Terreno vegetale ;**
- **Unità delle "Calcareniti del Casale"**
- **Limo sabbioso giallo rossastro, suddiviso in alcuni livelli stratigrafici;**
- **Unità "panchina";**
- **Sabbia e sabbia leggermente limosa di colore grigio-verdastro.**
- **Sabbia limosa e limi sabbiosi di colore grigio-azzurro (argille calabriane).**
- **Unità delle "calcareniti" o "tufi calcarei";**
- **Unità dei calcari cretacei.**

### 3.1 Risultanze geologico-stratigrafiche.

Per l'accertamento della natura e delle caratteristiche dei terreni costituenti il sottosuolo dell'area in studio, ci si è affidati alla realizzazione di n. 3 prove penetrometriche pesanti, alle osservazioni di campagna effettuate ed all'esperienza acquisita dallo scrivente in molti lustri di lavoro professionale sviluppato sui terreni della "Conca di Brindisi" ed in particolare, nel qual

caso, dalle campagne geognostiche, realizzate con sondaggi effettuati per la realizzazione di opere strutturali poste nell'area vasta di quella in studio.

Nelle sue linee essenziali lo schema stratigrafico dei terreni in studio è semplice: depositi post-calabriani, in parte alloctoni ed in parte autoctoni, poggianti sui depositi limo-so-argillosi calabriani.

In particolare, per ciò che concerne i depositi post-calabriani, si individua una parte più superficiale di materiali in parte alloctoni ed in parte lacuali, posti al di sopra delle sabbie siltose con presenza di trovanti arenacei, costituenti l'unità "panchina", a sua volta posta al di sopra dell'unità delle argille calabriane.

In definitiva, grazie ai dati dello scrivente e dalle risultanze rivenienti dalla campagna geognostica effettuata sul sito d'imposta della stazione di TERNA e della CP, sono stati individuati una serie di livelli stratigrafici che vengono a costituire un "modello" stratigrafico e geotecnico avente differenti caratteristiche composizionali.

Qui di seguito si riportano le considerazioni stratigrafiche desunte.

#### **a. Copertura superficiale- livello "A"**

Costituita da materiali essenzialmente omogenei in composizione; in particolare si rinvencono terreni a matrice sabbiosa alloctona frammista a terreni rossi eluviali trasportati di recente ed una discreta componente limo-argillosa non riveniente da sedimentazione ma da una trasformazione secondaria della matrice organica accumulata in superficie e nell'immediata prossimità di questa.

La colorazione è, ovviamente, scura con toni rosso bruni dovuti sia alla terra rossa depositatisi che, alla trasformazione della matrice organica in minerali argillosi secondari.

Tale livello superficiale, in base alle analisi granulometriche, volumetriche dei "limiti" è classificabile come "SM": sabbie siltose .

Lo spessore medio di tale livello è di circa 40-50 cm.

#### **b. Livello stratigrafico "B" dei sedimenti recenti di "argilla siltosa".**

Il colore scuro del livello fa intendere ad un deposito "lacustre" nel quale si è depositata una grande quantità di materiale organico che, nel corso degli ultimi millenni, ha subito una trasformazione vigorosa in minerali limo-argillosi. La sostanziale differenza fra i limi e le argille sta nelle dimensioni delle particelle essendo entrambi dei fillosilicati; i primi (limi) hanno una struttura morfologica tridimensionale e sono solo parzialmente impermeabili, i secondi (argille), presentano la tipica struttura bidimensionale piatta e, quindi, sono sostanzialmente impermeabili.

Nel caso dei terreni in studio, comunque, la trasformazione secondaria non è ancora del tutto avvenuta per cui la morfologia è ancora accentuatamente tridimensionale (limi). A tali materiali di origine lacustre, si aggiungono anche residuali presenze di “terre rosse” eluviali sempre a maggiore matrice limo-argillosa.

In definitiva, si ritiene corretto classificare tali materiali quali “CL” e quindi argille siltose.

La potenza stimata di tale livello è, nella media da 2,5 a 3,80 m. dal p.c.

Infine, il passaggio verso il sottostante livello, costituito da sabbie limose sedimentate con la presenza di un “mare sottile”, avviene gradualmente, con incremento della resistenza alla penetrazione da parte della punta penetrometrica.

### **c. Livello stratigrafico “C” dei sedimenti “limo-argilloso-sabbiosi”.**

La relativa (nelle vicende quaternarie) vicinanza con il mare e la diretta connessione con questo, negli aspetti relativi alla morfogenesi costiera, hanno creato in alcuni punti lo smantellamento dell’unità “panchina”, presente nell’area di studio e caratterizzante tutto l’entroterra brindisino e fino agli “horst” della “Conca di Brindisi” e, nel qual caso fino all’horst meridionale.

Trattasi di un livello abbastanza conosciuto nell’area di Brindisi e caratterizzato, solitamente al di sotto del terreno vegetale, da una successione di livelli stratigrafici dello spessore variabile dai 3 ai 5 m. e caratterizzata, dall’alto verso il basso, da:

- Livello limo-argilloso sabbioso, più o meno limoso, con presenza di elementi millimetrici granulari di origine arenacea ed abbondanza di liste e lenti sia di materiali evaporitici che di sabbie del tutto incoerenti e di colore rossastro;
- Ammasso di colore bianco-giallastro costituito da grumi o liste di materiali evaporitici (talco, ecc.) in matrice limosa. Tali ammassi evaporitici recenti si sono formati per sedimentazione in ambiente marino intercotidale sembrano, a prima vista, massicci ma ad una minima sollecitazione si sfarinano e dimostrano tutta la loro inconsistenza; hanno inoltre la capacità di assorbire una grande quantità di acqua per cui sono particolarmente adatti a contenere una sub-irrigazione. Lo spessore medio di tale livello è di circa 70-80 cm.
- Sabbia limosa passante verso il fondo a sabbia totalmente incoerente inglobante elementi centimetrici lapidei di origine arenacea. Tale livello fa intendere alla presenza dell’unità “panchina” posta a poca profondità.

Si ritiene di poter classificare i sedimenti di tale unico livello come: “SC-SM” e quindi “sabbie limose ed argillose”. Lo spessore variabile fra 1,20 ÷ 1,60 m. è rinvenibile fino alla profondità di circa 5,40 m.

Al di sotto di tale livello si rinviene chiaramente la porzione biancastra "limo-evaporitica" che, rispetto al livello superiore, presenta una minore resistenza alla penetrazione. Da qui si può riportare che il livello "limo-evaporitico" presenta uno spessore compreso tra 40 ÷ 60 cm. Complessivamente, quindi, questo livello presenta spessori compresi tra 1,80 ÷ 2,20 m.

Superato questo livello la resistenza alla penetrazione aumenta per la maggiore presenza di sabbia e di trovanti arenacei.

#### **d. livello sabbioso con trovanti. "panchina".**

Trattasi del membro geologico noto come "panchina" e caratterizzato da un'alternanza di livelli centimetrici di arenaria con sabbia ocrea totalmente incoerente. Questi livelli lapidei sono costituiti da materiali sabbiosi cementati da carbonato di calcio per azioni elettrostatiche.

Ha spessori estremamente variabili da zona a zona e non sempre è presente e quindi può definirsi del tutto discontinua. Esaminata nel dettaglio la superficie del muro della panchina presenta delle ondulazioni che possono essere messe in relazione con i processi di formazione.

Sono sempre presenti sia nella sabbia che nella panchina frammenti o gusci di foraminiferi e di molluschi. Il colore della sabbia è solitamente giallognolo con tonalità più o meno scure in funzione del minore o maggiore grado di ossidazione.

Le alternanze lapidee sono piuttosto scarse, favorendo, invece una maggiore componente sabbiosa costituita da un aggregato di gusci foraminiferi, briozoi, molluschi e di materiale clastico, cementato da matrice calcarea. Sensibili differenze da punto a punto si riscontrano per l'aspetto del materiale e ciò sia per variazioni della porosità e sia in conseguenza di alterazioni superficiali.

Con maggiore attenzione, in alcune zone corrispondenti agli strati inferiori, il cemento ha completamente inglobato i nuclei originari, sicchè questi non sono più visibili ad occhio nudo e la roccia risulta essere molto compatta e tenace. In altre zone invece si riscontrano, fra i veli calcitici costituenti il cemento, numerosissimi vacuoli, probabilmente conseguenti di una dissoluzione da parte dei granuli originari; in questo caso i gusci e i frammenti clastici sono nettamente più visibili e la roccia appare più tenera e porosa.

Infine, in alcune zone, il materiale risulta più o meno alterato, fino al punto da sfarinarsi sotto la pressione delle dita; tale alterazione è da presumersi sia stata provocata dalle acque diluvianti che hanno ridissolto il  $\text{CaCO}_3$  e ne hanno attenuato il potere legante.

Circa il susseguirsi delle alternanze di sabbia e di materiali lapidei, si può dire che esso è del tutto irregolare così che non è possibile seguire un determinato strato lapideo o sabbioso, da una verticale all'altra, anche se risulta a breve distanza.

Uno stesso strato può presentare ondulazioni del tutto disuniformi che probabilmente sono causate dalla variazione locale dell'andamento dell'originaria superficie topografica e nelle condizioni di deposizione.

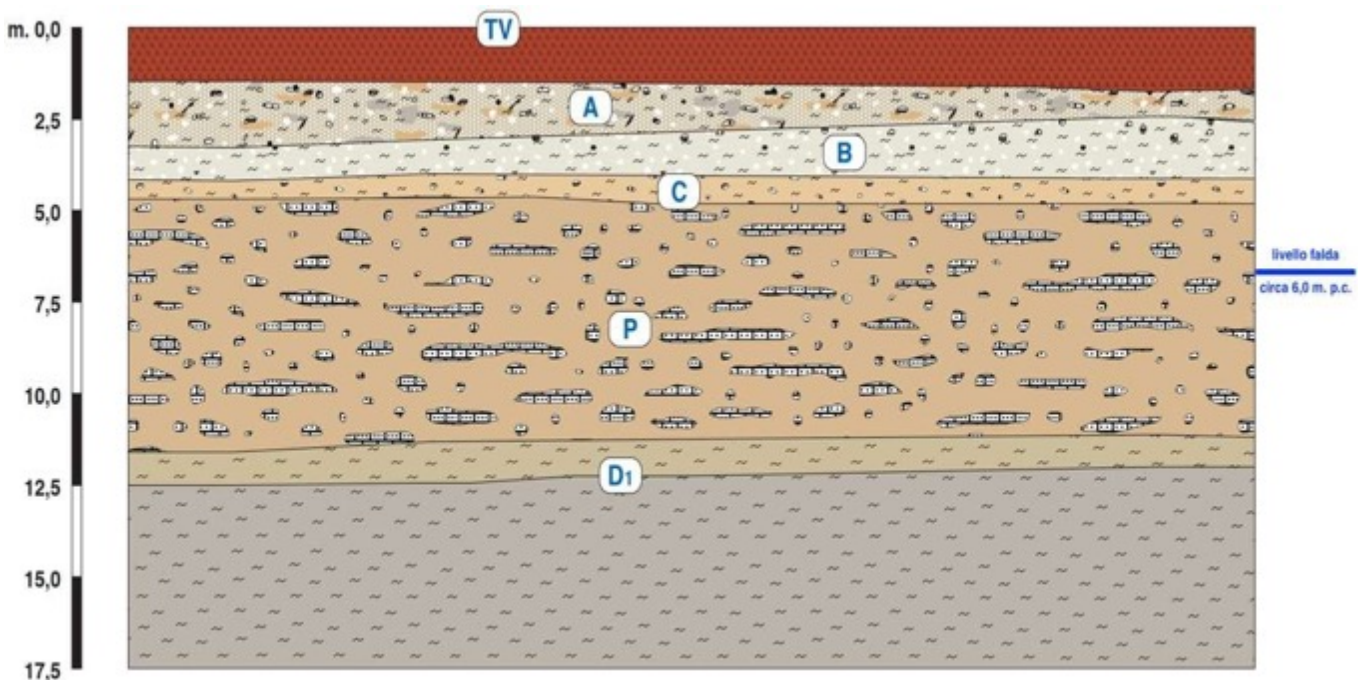
All'anzidetta disuniformità in senso orizzontale, fa riscontro qualcosa di analogo nella successione stratigrafica in direzione verticale.

A parte il diverso susseguirsi degli strati lapidei e di quelli sabbiosi e la naturale variabilità dei rispettivi spessori, si è infatti riscontrato come talvolta i materiali poco tenaci erano al tetto di quelli più teneri mentre in tutt'altra area si invertono.

Le risultanze delle indagini geognostiche di riferimento di fatto rispondono pienamente alla eterogeneità di questo livello; ciò al punto che le Prove Penetrometriche, in genere sono ultimate alla profondità di 6- 8 m dal piano di campagna, in quanto la presenza di un trovante/livello comporta il "rifiuto" all'avanzamento della punta penetrometrica.

Infine, è necessario riportare che l'estrazione delle aste del penetrometro ha permesso di individuare il livello statico della falda che soggiace alla profondità dal piano di campagna a circa 5,0÷ 5,2 m. dal piano di campagna.

La tavola n. 11 riproduce la correlazione stratigrafica, come interpretata dalle prove penetrometriche e che di seguito si riporta.



## LEGENDA

- |           |   |          |   |
|-----------|---|----------|---|
| <b>TV</b> | Terreno vefetale  | <b>C</b> | Sabbia leggermente limosa con ciottoli e noduli arenacei.   |
| <b>A</b>  | Limo-sabbioso in aggregazione caotica con noduli arenacei liste e lenti di sabbia rossastra e limi grigi, noduletti di natura calcitica, ecc. | <b>P</b> | Unità "panchina" : alternanza di sabbia a ciottoli e livelli di natura arenacea.                  |
| <b>B</b>  | Limo leggermente sabbioso con noduli calcitici.   | <b>D</b> | Unità "Argille Calabriane" : costituita nell'ordine da sabbie leggermente limose e sabbie-limose. |

**Tavola n. 11 = correlazione stratigrafica dell'area in studio.**



## 4 Definizione delle categorie di sottosuolo, condizioni topografiche e parametri sismici locali.

### 4.1 Categoria di sottosuolo.

L'attuale normativa sismica si fonda sull'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n° 3274 del 20.03.2003 pubblicata sulla G.U. n° 105 del 08.05.2003 recante *“Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per la costruzione in zone sismiche”*

L'O.P.C.M. n° 3274/2003 rappresenta un primo tentativo di allineamento della normativa italiana con quella europea dato che esso si ispira completamente all'Eurocodice 8.

In prima fase di applicazione dell'ordinanza e fino alla formale individuazione e riclassificazione delle zone sismiche delle singole regioni, tale ordinanza, individua 4 nuove zone sismiche da 1 (maggiore pericolo) a 4 (minore pericolo) nelle quali suddivide l'intero territorio nazionale in relazione all'intensità e frequenza dei terremoti del passato.

A differenza della precedente classificazione, con l'O.P.C.M. n° 3274/2003, sparisce il territorio “non classificato”, e viene introdotta la zona 4.

Secondo tale provvedimento legislativo, tutti i comuni italiani sono stati classificati in 4 categorie principali, indicative del loro rischio sismico, calcolato in base al PGA, Peak Ground Acceleration, cioè il valore di accelerazione massima del suolo (picco di accelerazione al suolo) misurata nel corso di un terremoto o attesa in un determinato sito che tiene conto dell'influenza degli eventuali effetti di amplificazione del moto sismico dovuti alle caratteristiche del sottosuolo o alla topografia.

- **Zona 1** (identificata nella carta della “Classificazione sismica del territorio nazionale” con il colore **ROSSO**): Sismicità alta Identifica la zona più pericolosa dove “possono verificarsi fortissimi terremoti” (PGA oltre 0,25 g).
- **Zona 2** (identificata nella carta della “Classificazione sismica del territorio nazionale” con il colore **ARANCIONE**): Sismicità medio-alta In questa zona possono verificarsi forti terremoti (PGA fra 0,15 e 0,25 g).
- **Zona 3** (identificata nella carta della “Classificazione sismica del territorio nazionale” con il colore **GIALLO**): Sismicità medio-bassa In questa zona possono verificarsi forti terremoti ma rari (PGA fra 0,05 e 0,15 g).
- **Zona 4** (identificata nella carta della “Classificazione sismica del territorio nazionale” con il colore **GRIGIO**): Sismicità bassa È la zona meno pericolosa (PGA inferiore a 0,05 g).

L'O.P.C.M. n° 3274/2003 attribuisce alle singole regioni la facoltà di introdurre o meno l'obbligo della progettazione antisismica in opere da edificare in zona 4 ad eccezione delle tipologie di edifici ed opere strategiche e rilevanti ai fini di protezione civile e del collasso degli stessi ove sussiste comunque l'obbligo di progettazione antisismica anche in zona 4.

In seguito con Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n° 3519 del 28 aprile 2006, è stato adottato un aggiornamento dello studio di pericolosità di riferimento nazionale, fornendo alle Regioni uno strumento aggiornato per la classificazione del proprio territorio, introducendo degli intervalli di accelerazione (ag), con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni, da attribuire alle 4 zone sismiche.

Nel rispetto degli indirizzi e criteri stabiliti a livello nazionale, alcune Regioni hanno classificato il territorio nelle quattro zone proposte, altre Regioni hanno classificato diversamente il proprio territorio, ad esempio adottando solo tre zone (zona 1, 2 e 3) e introducendo, in alcuni casi, delle sottozone per meglio adattare le norme alle caratteristiche di sismicità.

La Regione Puglia, con Deliberazione di Giunta n° 153 del 02.03.2004 pubblicata sul B.U.R.P. n° 33 del 18.03.2004, in recepimento della previgente normativa statale ha, provveduto alla classificazione sismica dell'intero territorio pugliese, elencando i comuni ricadenti nelle zone sismiche 1, 2, 3 e 4, nonché individuando le tipologie di edifici di interesse strategico e delle opere infrastrutturali la cui funzionalità, durante gli eventi sismici assumeva rilievo fondamentale per le finalità di protezione civile, nonché degli edifici e delle opere infrastrutturali che potevano assumere rilevanza in relazione alle conseguenze di un eventuale collasso, così come distinti negli elenchi "A" e "B", allegati alla medesima delibera n° 153/04.

Contestualmente, stabiliva, *"sino ad eventuale diversa determinazione"* l'insussistenza dell'obbligo "della progettazione antisismica per gli edifici e le opere da realizzare sul territorio pugliese classificato in zona sismica 4", eccezion fatta per gli edifici di interesse strategico e/o rilevanti di cui ai suddetti elenchi "A" e "B", per i quali erano immediatamente applicabili i disposti normativi introdotti dalla citata O.P.C.M. n° 3274/03 e s.m.i., di cui all'O.P.C.M. n° 3316/03.

A seguito dell'anticipazione alla data dell'01.07.2009 dell'entrata in vigore delle Norme Tecniche, approvate con D.M. 14.01.2008, in conseguenza degli eventi sismici avvenuti in Abruzzo, al fine di meglio tutelare la pubblica e privata incolumità, la Regione Puglia con D.G.R. n. 1626 del 15 settembre 2009 ha ritenuto opportuno l'estensione dell'obbligo della progettazione antisismica anche per le costruzioni private da realizzare in zona sismica classificata "4", modificando quanto precedentemente previsto, nella fattispecie, dalla succitata delibera di G.R. n° 153/04. Pertanto, per tutte le tipologie di fabbricati ricadenti in siti classificati come zona sismica 4, il riferimento normativo è da ricondursi al disposto di cui al cap. 2 punto 2.7 delle Norme Tecniche di cui al D.M. 14.01.2008 come aggiornate dal D.M. 17

gennaio 2018 “Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni”, nonché al capitolo C7 della relativa circolare esplicativa ministeriale 02 febbraio 2009 n° 617.

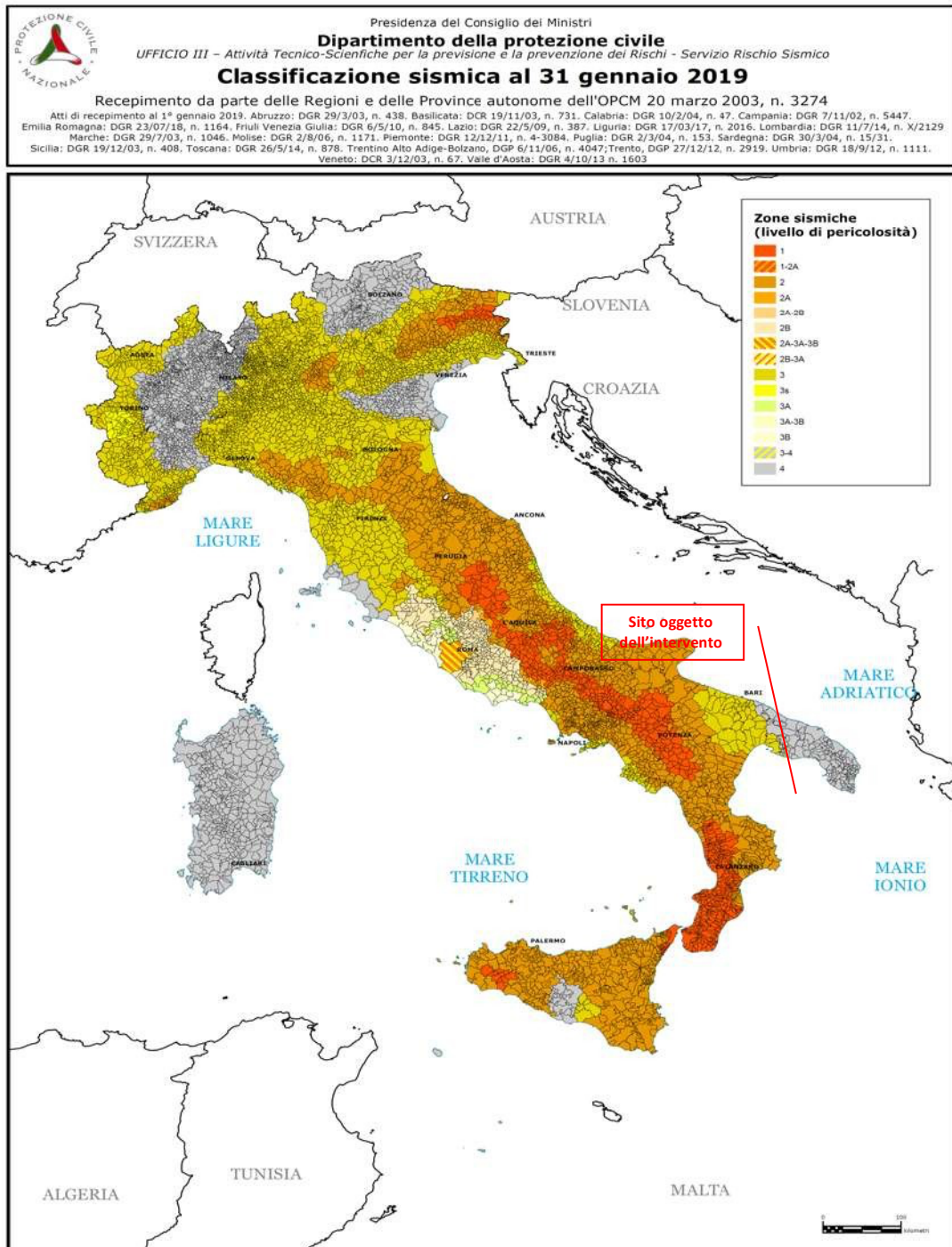


Tavola n. 12: Classificazione sismica del territorio nazionale aggiornata al 2015

(<http://www.protezionecivile.gov.it/jcms/it/classificazione.wp>)

#### 4.2 Definizione categoria di sottosuolo

In ottemperanza a quanto prescritto dal D.M. 14.01.2008 “Norme Tecniche per le Costruzioni” come aggiornate dal D.M. 17 gennaio 2018 “Aggiornamento delle Norme tecniche

per le costruzioni”, ai fini della definizione dell’azione sismica di progetto, si rende necessario valutare l’effetto della risposta sismica locale mediante specifiche analisi da eseguire con le modalità indicate nel § 7.11.3 del D.M. 17 gennaio 2018 (NTC 2018).

In alternativa, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab. 3.2.II di cui al D.M. 17 gennaio 2018 come sotto riportata, 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.

**Tabella 3.2.II - Categorie di sottosuolo che permettono l’utilizzo dell’approccio semplificato**

| CATEGORIA | DESCRIZIONE  |
|-----------|--|
| <b>A</b>  | 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>B</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.  |
| <b>C</b>  | 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.   |
| <b>D</b>  | Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s. |
| <b>E</b>  | 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 (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 del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio  $V_{S,eq}$  (in m/s), definita dalla seguente espressione

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

dove:

$h_i$  = 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 VS non inferiore a 800 m/s.

Per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato 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.

Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio  $V_{S,eq}$  è definita dal parametro  $V_{S,30}$ , ottenuto ponendo H=30 m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Il profilo delle velocità equivalenti di propagazione delle onde di taglio  $V_{seq}$  risulta necessario per:

- valutare l'azione sismica di progetto al livello delle fondazioni di qualunque struttura;
- valutare il rischio di liquefazione del terreno in sito;
- valutare rischi di instabilità dei pendii e/o delle opere di sostegno;
- valutare i cedimenti dei rilevati stradali, delle opere di sostegno, delle fondazioni degli edifici;
- valutare la trasmissione delle vibrazioni generate dai treni, dalle macchine vibranti, dalle esplosioni in superficie o in sottoterraneo, dal traffico veicolare.

Le azioni sismiche delle cinque categorie di sottosuolo descritte nella tabella 3.2. II sopra riportata, sono definite al § 3.2.3 delle NTC 2018.

Per qualsiasi condizione di sottosuolo non classificabile nelle categorie precedenti, è necessario predisporre specifiche analisi di risposta locale per la definizione delle azioni sismiche.

#### 4.3 In merito all'area d'imposta della "stazione elettrica".

Per la definizione della categoria di sottosuolo, come anticipato in premessa, ci si è riferiti alla bibliografia esistente, a quella personale ed alle indicazioni rivenienti dal PRG del Comune di Cellino San Marco.

Di seguito si riporta l'ortofotocarta con l'ubicazione delle prove effettuate nella campagna geognostica.



**Tavola n. 13: ubicazione prove penetrometriche e profilo sismico.**

Di seguito si riportano dati costituenti un range verranno a trovarsi i terreni allorquando si potrà fare l'indagine di prospezione sismica a mezzo di n° 2 stendimenti in onda S a tecnica MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves), e n° 2 stendimenti sismici in onda S a tecnica RE.MI. (Refraction Micro-tremor); la previsione dei due stendimenti è relativa solo all'ampiezza dell'area d'imposta ed al necessario confronto di almeno due risultati.

Le metodologie sopra riportate permettono di definire il parametro  $V_{seq}$  utile per la classificazione dei terreni nelle categorie di suolo da utilizzare in seguito per la progettazione delle costruzioni secondo la normativa antisismica.

L'elaborazione del segnale consiste nell'operare una trasformata bidimensionale "slowness-frequency" (p-f), che analizza l'energia di propagazione del rumore in entrambe le direzioni (orizzontale e verticale) della linea sismica, e nel rappresentarne poi lo spettro di potenza su un grafico p-f.

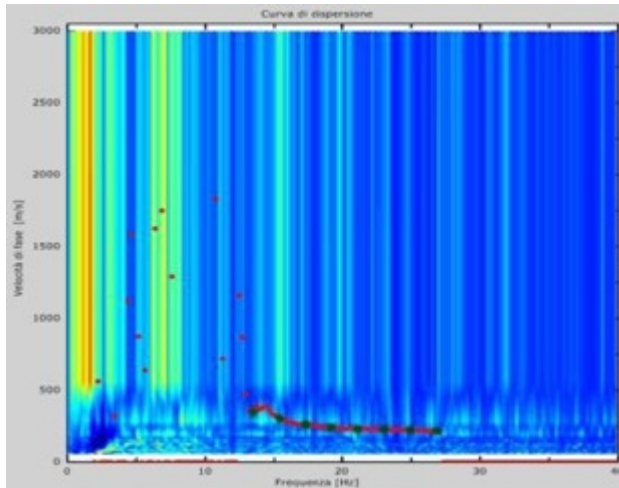


Fig. 14: Esempio di spettro di potenza p-f con picking.

Nell'immagine, riportata sopra, sono evidenziati gli andamenti che possiedono sia una spiccata coerenza di fase che una potenza rilevante, e ciò consente un riconoscimento visivo delle onde di Rayleigh in quanto queste presentano un carattere dispersivo rispetto a quelle riconducibili ad altre modalità e tipi d'onda.

Sullo spettro di frequenza è eseguito un "picking" (soprassegno con quadratini neri) attribuendo ad un certo numero di punti una o più slowness (inverso della velocità di fase) per alcune frequenze. Tali valori poi sono riportati su di un diagramma periodo-velocità di fase per l'analisi della curva di dispersione e l'ottimizzazione di un modello interpretativo.

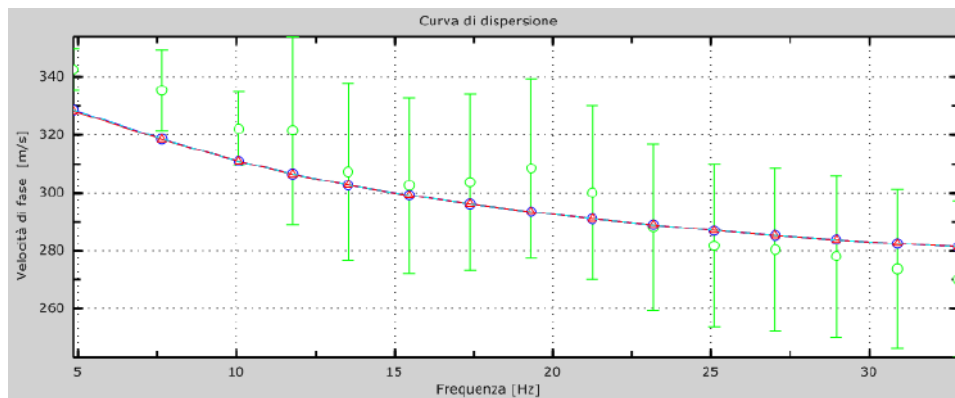


Fig. 15: Esempio di diagramma periodo-velocità di fase estratto dalla prova Re.Mi.

Variando la geometria del modello interpretativo ed i valori di velocità delle onde "S" si modifica automaticamente la curva calcolata di dispersione, rappresentata con il colore magenta; si consegue un buon fitting con i valori sperimentali e si assume tale modello come interpretativo.

Lo studio dello spettro di potenza permette in definitiva la ricostruzione di un modello sismico monodimensionale del sottosuolo, con le velocità delle onde di superficie "S" (esprese in m/s) e la profondità (espressa in metri).

Si riporta di seguito la documentazione fotografica e la restituzione grafica delle risultanze dell'indagine in oggetto.

**Documentazione fotografica di campagna.**



**Tavola n. 16: Documentazione fotografica Indagini Sismiche Re.Mi.-MASW**



## RESTITUZIONE GRAFICA INDAGINE RE.MI. - MASW

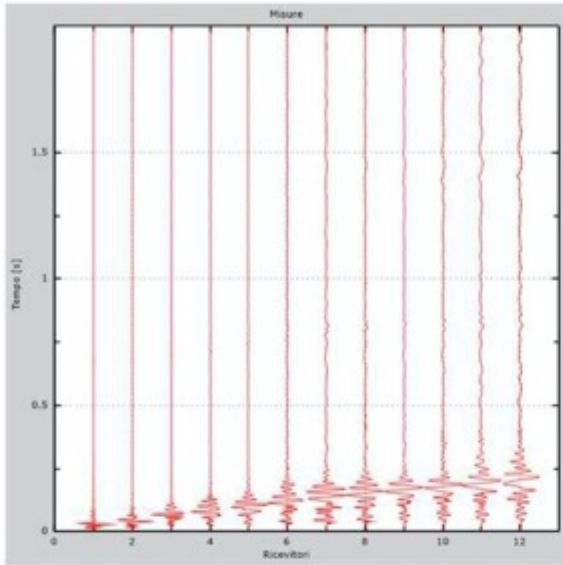


Fig. 4.5 Tracce sperimentali MASW

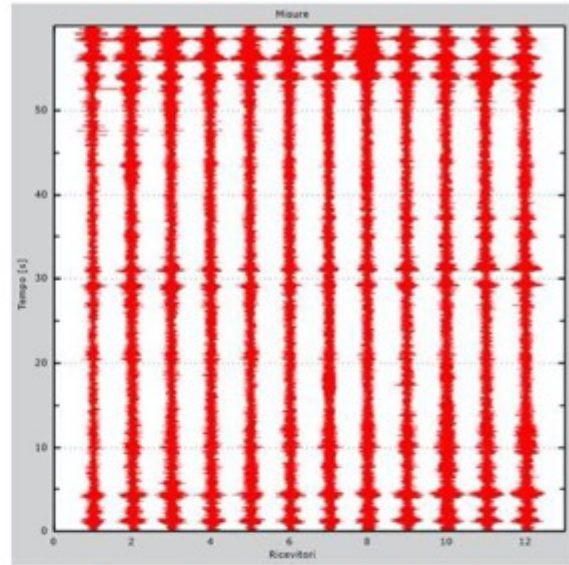


Fig. 4.6 Tracce sperimentali RE.MI

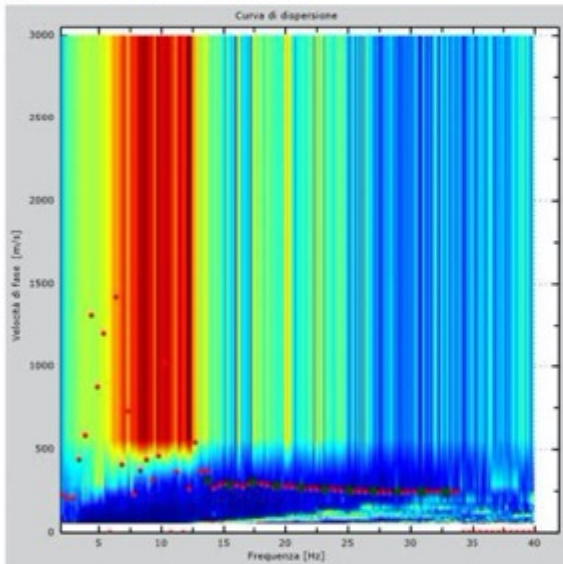


Fig. 4.7 Curva di dispersione nel piano f-p

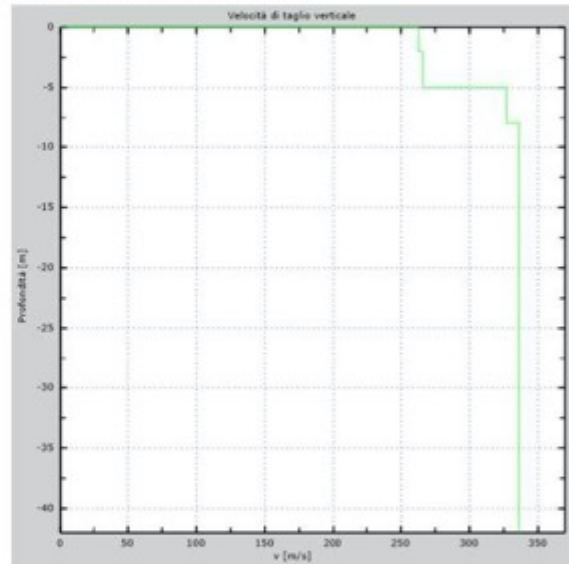


Fig. 4.8 Profilo Vs numerico

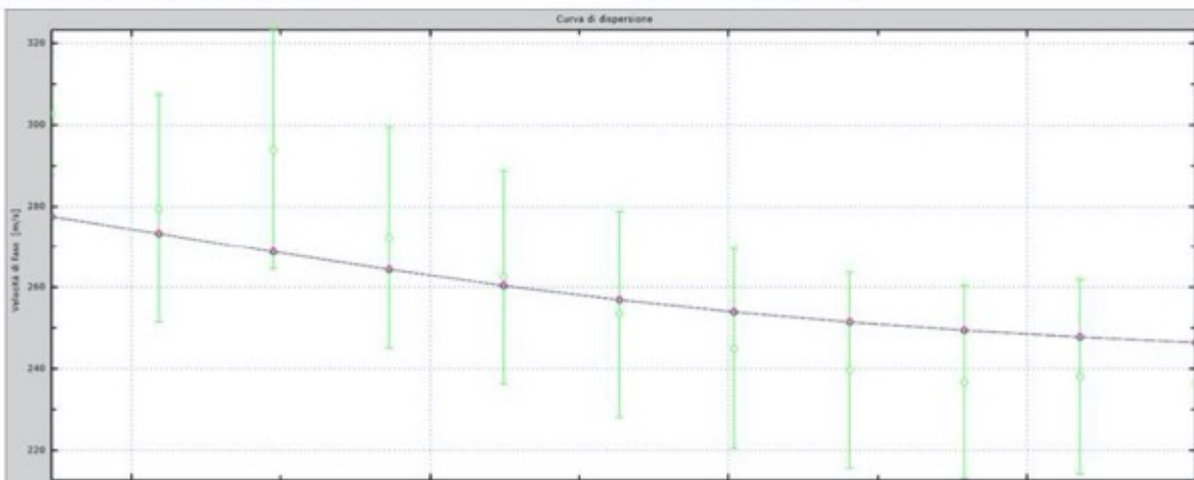


Tavola n. 17: Velocità numeriche – punti sperimentali (verde), modi di Rayleigh (ciano), curva apparente(blu), curva numerica (rosso)

Dall'analisi sismica in sito effettuata tramite la metodologia **Re.Mi. (Refraction Microtremor)** e **MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves)**, di cui sopra come riferimento, ci si è ricavati un valore medio di  $V_{S30}$ , pur considerando che nell'area di studio la profondità del substrato è inferiore ai 30 m; tale valore si ritiene possa coincidere con la velocità equivalente delle onde di taglio  $V_{S,eq}$ , sulla base della quale è possibile classificare il sottosuolo di fondazione appartenente alla categoria:

**Tabella: Classificazione della categoria di sottosuolo.**

| $V_{S,eq}$<br>(m/s) | Descrizione  | Stima<br>categori<br>a<br>sottosu<br>olo |
|---------------------|--|--|
| 320                 | 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. | C  |

Dalla documentazione in possesso, proprio in virtù che la copertura sedimentaria è sostanzialmente "sottile" con riduzione dello spessore sempre maggiore verso W e quindi verso Sandonaci, non sono pochi i casi di valori di  $V_{S,eq}$ , che superano e di non poco il limite di 320 m/sec della categoria "C", rientrando pienamente nella categoria "B".

In questa circostanza, pur nella piena conoscenza della stratigrafia della stazione elettrica, appare necessario considerare la categoria "C" quale quella più garantista.

#### 4.3.1 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 (Tab. 3.2.III - NTC-2018):

**Tabella 3.2.III - 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 $i > 30^\circ$                  |

Trovandoci in condizioni superficiali semplici sulla base di quanto sopra esposto, è possibile classificare le condizioni topografiche dell'area indagata come rientranti nella categoria T1 "Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media  $i \leq 15^\circ$ ".

## 5 Prove penetrometriche realizzate sull'area d'imposta della stazione TERNA e sulla CP.

Per la definizione delle caratteristiche geotecniche dei depositi indagati, è stata eseguita una campagna di indagine di prospezione geologica dei terreni a mezzo di N° 3 Prove Penetrometriche Dinamiche Superpesanti (Dynamic Probing Super Heavy) all'interno della sagoma di ingombro delle opere in progetto.

La prova penetrometrica dinamica consiste nel misurare la resistenza alla penetrazione di una punta conica, infissa per battitura nel terreno, per mezzo di un idoneo dispositivo di percussione, secondo una procedura standardizzata.

Le prove in sito sono state effettuate utilizzando un penetrometro dinamico modello DPSH63-73 della GEO DEEP DRILL, con attrezzatura superpesante, DPSH (peso massa battente  $M \geq 60$  kg), eseguite secondo lo standard DIN 4094 (la prova consiste nell'infiggere la punta conica nel terreno, per tratti consecutivi di 20 cm, misurando il numero di colpi N20 necessari).



| <b>Caratteristiche Tecniche-Strumentali Sonda: DPSH63-73 GEO DEEP DRILL</b> |                       |
|---|-----------------------|
| Rif. Norme  | DIN 4094              |
| Peso Massa battente   | 63,4 Kg               |
| Altezza di caduta libera  | 0,75 m                |
| Peso sistema di battuta   | 5,00 Kg               |
| Diametro punta conica   | 50,46 mm              |
| Area di base punta  | 20,00 cm <sup>2</sup> |
| Lunghezza delle aste  | 1 m                   |
| Peso aste a metro   | 6,30 Kg/m             |
| Profondità giunzione prima asta   | 0,80 m                |
| Avanzamento punta   | 0,20 m                |
| Numero colpi per punta  | N(20)                 |
| Coeff. Correlazione   | 1,504                 |
| Rivestimento/fanghi   | No                    |
| Angolo di apertura punta  | 60°                   |

La resistenza opposta dal terreno alla punta conica viene correlata alle caratteristiche fisico-meccaniche e portanti del terreno, consentendo inoltre di riconoscere, con buona approssimazione, la stratigrafia del sottosuolo; il tutto fino alla profondità a cui la resistenza del terreno è tale da non permetterne più l'infissione (rigetto della punta).

Per il riconoscimento ed il calcolo delle più significative caratteristiche fisico-meccaniche del terreno di fondazione, sono state elaborate le norme relative al penetrometro superpesante medio italiano usato per le prove (DPSH63-73 GEO DEEP DRILL).

Attraverso la nota "Formula degli Olandesi", di seguito riportata, si è ricavato la resistenza dinamica alla punta (altrimenti detta resistenza di rottura dinamica alla punta) (Rpd), parametro caratteristico dello stato di addensamento di un terreno incoerente e della consistenza di un terreno coesivo.

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

Dove:

Rpd = resistenza dinamica punta;

A = 10 cmq (sezione della punta conica);

e = infissione media per colpo (10 / N) = 10/N cm (con N corrispondente al n° di colpi per ogni approfondimento di 10 cm);

M = peso massa battente (maglio) pari a 30 Kg

H = altezza caduta massa battente pari a 20 cm;

P = peso totale aste e sistema battuta pari a 14,9 kg (2,9 Kg/m peso delle aste + 12 Kg peso dell'incudine).

La resistenza dinamica alla punta (Rpd) è correlata alla pressione ammissibile specifica sull'interstrato (Qad altrimenti detta portanza) (con effetto di riduzione energia per svergolamento aste o no) calcolata secondo le note elaborazioni proposte da Herminier,

applicando un coefficiente di sicurezza (generalmente =  $20 \div 22$ ) che corrisponde ad un coefficiente di sicurezza standard delle fondazioni pari a 4.

$$Q_{ad} = \frac{R_{pd}}{[20 \div 22]} [kg / cmq]$$

Dall'elaborazione delle risultanze delle prove penetrometriche dinamiche, attraverso l'utilizzo del software Dynamic Probing versione 2018.25.5.954 ci si è ricavati i principali parametri fisico meccanici che caratterizzano il modello geotecnico dei depositi indagati, di cui al capitolo 10.

### 5.1 Elaborazione dynamic probing super heavy (dpsh)

Dall'elaborazione delle risultanze delle prove penetrometriche, si può notare come la resistenza dinamica alla punta si presenta variabile in funzione della composizione mineralogica dei livelli stratigrafici riscontrati durante l'avanzamento della punta penetrometrica; il calcolo delle capacità portanti dei terreni è stato effettuato non considerando la, se pur minima, coesione che i terreni presentano ed adottando un coefficiente di sicurezza pari a 22 che tenga conto delle caratteristiche dei terreni, della posizione morfologica degli stessi e della particolare struttura che il terreno verrà ad ospitare.

## DINAMIC PROBING SUPER HEAVY N° 1

Strumento utilizzato: **DPSH63-73 GEO DEEP DRILL (superpesante)**  
 Prova eseguita in data: **26/06/2020**  
 Profondità prova: **10,00 mt**  
 Falda (profondità dal p.c.): **3,80 mt**  
 Certificato **Nr. 1 del 26.06.2020**  
 Codice commessa nr. **24/2020GT MAGNOF**  
 Tipo elaborazione nr. colpi **Medio**

| Profondità (m) | Nr. Colpi | Calcolo coeff. riduzione sonda Chi | Res. dinamica ridotta (Kg/cm <sup>2</sup> ) | Res. dinamica (Kg/cm <sup>2</sup> ) | Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> ) | Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> ) |
|----------------|-----------|------------------------------------|---|-------------------------------------|--|--|
| 0,20           | 5         | 0,855                              | 43,19                                       | 50,54                               | 1,96   | 2,30   |
| 0,40           | 10        | 0,851                              | 85,99                                       | 101,08                              | 3,91   | 4,59   |
| 0,60           | 7         | 0,847                              | 59,93                                       | 70,75                               | 2,72   | 3,22   |
| 0,80           | 10        | 0,843                              | 85,24                                       | 101,08                              | 3,87   | 4,59   |
| 1,00           | 19        | 0,790                              | 139,89                                      | 177,13                              | 6,36   | 8,05   |
| 1,20           | 12        | 0,836                              | 93,55                                       | 111,87                              | 4,25   | 5,08   |
| 1,40           | 8         | 0,833                              | 62,11                                       | 74,58                               | 2,82   | 3,39   |
| 1,60           | 6         | 0,830                              | 46,40                                       | 55,93                               | 2,11   | 2,54   |
| 1,80           | 6         | 0,826                              | 46,22                                       | 55,93                               | 2,10   | 2,54   |
| 2,00           | 5         | 0,823                              | 35,60                                       | 43,25                               | 1,62   | 1,97   |
| 2,20           | 5         | 0,820                              | 35,47                                       | 43,25                               | 1,61   | 1,97   |
| 2,40           | 5         | 0,817                              | 35,34                                       | 43,25                               | 1,61   | 1,97   |
| 2,60           | 6         | 0,814                              | 42,26                                       | 51,90                               | 1,92   | 2,36   |
| 2,80           | 5         | 0,811                              | 35,10                                       | 43,25                               | 1,60   | 1,97   |
| 3,00           | 4         | 0,809                              | 26,10                                       | 32,28                               | 1,19   | 1,47   |
| 3,20           | 4         | 0,806                              | 26,01                                       | 32,28                               | 1,18   | 1,47   |
| 3,40           | 4         | 0,803                              | 25,93                                       | 32,28                               | 1,18   | 1,47   |
| 3,60           | 4         | 0,801                              | 25,85                                       | 32,28                               | 1,17   | 1,47   |
| 3,80           | 14        | 0,748                              | 84,54                                       | 112,96                              | 3,84   | 5,13   |
| 4,00           | 20        | 0,746                              | 112,81                                      | 151,21                              | 5,13   | 6,87   |
| 4,20           | 18        | 0,744                              | 101,21                                      | 136,09                              | 4,60   | 6,19   |
| 4,40           | 18        | 0,741                              | 100,90                                      | 136,09                              | 4,59   | 6,19   |
| 4,60           | 22        | 0,689                              | 114,64                                      | 166,33                              | 5,21   | 7,56   |
| 4,80           | 14        | 0,737                              | 78,02                                       | 105,85                              | 3,55   | 4,81   |
| 5,00           | 6         | 0,785                              | 33,50                                       | 42,67                               | 1,52   | 1,94   |
| 5,20           | 8         | 0,783                              | 44,55                                       | 56,90                               | 2,03   | 2,59   |
| 5,40           | 8         | 0,781                              | 44,44                                       | 56,90                               | 2,02   | 2,59   |
| 5,60           | 9         | 0,779                              | 49,87                                       | 64,01                               | 2,27   | 2,91   |
| 5,80           | 13        | 0,727                              | 67,24                                       | 92,46                               | 3,06   | 4,20   |
| 6,00           | 9         | 0,775                              | 46,86                                       | 60,43                               | 2,13   | 2,75   |
| 6,20           | 11        | 0,774                              | 57,15                                       | 73,86                               | 2,60   | 3,36   |
| 6,40           | 9         | 0,772                              | 46,65                                       | 60,43                               | 2,12   | 2,75   |
| 6,60           | 8         | 0,770                              | 41,38                                       | 53,72                               | 1,88   | 2,44   |
| 6,80           | 10        | 0,769                              | 51,62                                       | 67,14                               | 2,35   | 3,05   |
| 7,00           | 10        | 0,767                              | 48,78                                       | 63,59                               | 2,22   | 2,89   |
| 7,20           | 25        | 0,666                              | 105,82                                      | 158,97                              | 4,81   | 7,23   |
| 7,40           | 29        | 0,664                              | 122,47                                      | 184,40                              | 5,57   | 8,38   |
| 7,60           | 14        | 0,713                              | 63,45                                       | 89,02                               | 2,88   | 4,05   |
| 7,80           | 14        | 0,711                              | 63,32                                       | 89,02                               | 2,88   | 4,05   |
| 8,00           | 13        | 0,710                              | 55,73                                       | 78,50                               | 2,53   | 3,57   |
| 8,20           | 23        | 0,659                              | 91,47                                       | 138,89                              | 4,16   | 6,31   |
| 8,40           | 18        | 0,707                              | 76,88                                       | 108,70                              | 3,49   | 4,94   |
| 8,60           | 13        | 0,706                              | 55,42                                       | 78,50                               | 2,52   | 3,57   |
| 8,80           | 16        | 0,705                              | 68,09                                       | 96,62                               | 3,09   | 4,39   |
| 9,00           | 9         | 0,753                              | 38,99                                       | 51,74                               | 1,77   | 2,35   |
| 9,20           | 11        | 0,752                              | 47,58                                       | 63,24                               | 2,16   | 2,87   |
| 9,40           | 10        | 0,751                              | 43,18                                       | 57,49                               | 1,96   | 2,61   |
| 9,60           | 12        | 0,750                              | 51,74                                       | 68,99                               | 2,35   | 3,14   |
| 9,80           | 14        | 0,699                              | 56,25                                       | 80,49                               | 2,56   | 3,66   |
| 10,00          | 14        | 0,698                              | 53,59                                       | 76,81                               | 2,44   | 3,49   |

| Profondità (m) | Nr. Colpi | Calcolo coeff. riduzione sonda Chi | Res. dinamica ridotta (Kg/cm <sup>2</sup> ) | Res. dinamica (Kg/cm <sup>2</sup> ) | Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> ) | Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> ) |
|----------------|-----------|------------------------------------|---|-------------------------------------|--|--|
|----------------|-----------|------------------------------------|---|-------------------------------------|--|--|



## DINAMIC PROBING SUPER HEAVY N° 2

Strumento utilizzato: **DPSH63-73 GEO DEEP DRILL (superpesante)**  
 Prova eseguita in data: **26/06/2020**  
 Profondità prova: **2,20 mt**  
 Falda (profondità dal p.c.): **non rilevata**  
 Certificato **Nr. 2 del 26.06.2020**  
 Codice commessa nr. **24/2020GT MAGNOF**  
 Tipo elaborazione nr. colpi **Medio**

| Profondità (m) | Nr. Colpi | Calcolo coeff. riduzione sonda Chi | Res. dinamica ridotta (Kg/cm <sup>2</sup> ) | Res. dinamica (Kg/cm <sup>2</sup> ) | Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> ) | Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> ) |
|----------------|-----------|------------------------------------|---|-------------------------------------|--|--|
| 0,20           | 6         | 0,855                              | 51,83                                       | 60,65                               | 2,36   | 2,76   |
| 0,40           | 6         | 0,851                              | 51,60                                       | 60,65                               | 2,35   | 2,76   |
| 0,60           | 10        | 0,847                              | 85,61                                       | 101,08                              | 3,89   | 4,59   |
| 0,80           | 10        | 0,843                              | 85,24                                       | 101,08                              | 3,87   | 4,59   |
| 1,00           | 12        | 0,840                              | 93,94                                       | 111,87                              | 4,27   | 5,08   |
| 1,20           | 17        | 0,786                              | 124,61                                      | 158,48                              | 5,66   | 7,20   |
| 1,40           | 17        | 0,783                              | 124,07                                      | 158,48                              | 5,64   | 7,20   |
| 1,60           | 18        | 0,780                              | 130,81                                      | 167,80                              | 5,95   | 7,63   |
| 1,80           | 10        | 0,826                              | 77,03                                       | 93,22                               | 3,50   | 4,24   |
| 2,00           | 8         | 0,823                              | 56,97                                       | 69,20                               | 2,59   | 3,15   |
| 2,20           | 7         | 0,820                              | 49,66                                       | 60,55                               | 2,26   | 2,75   |

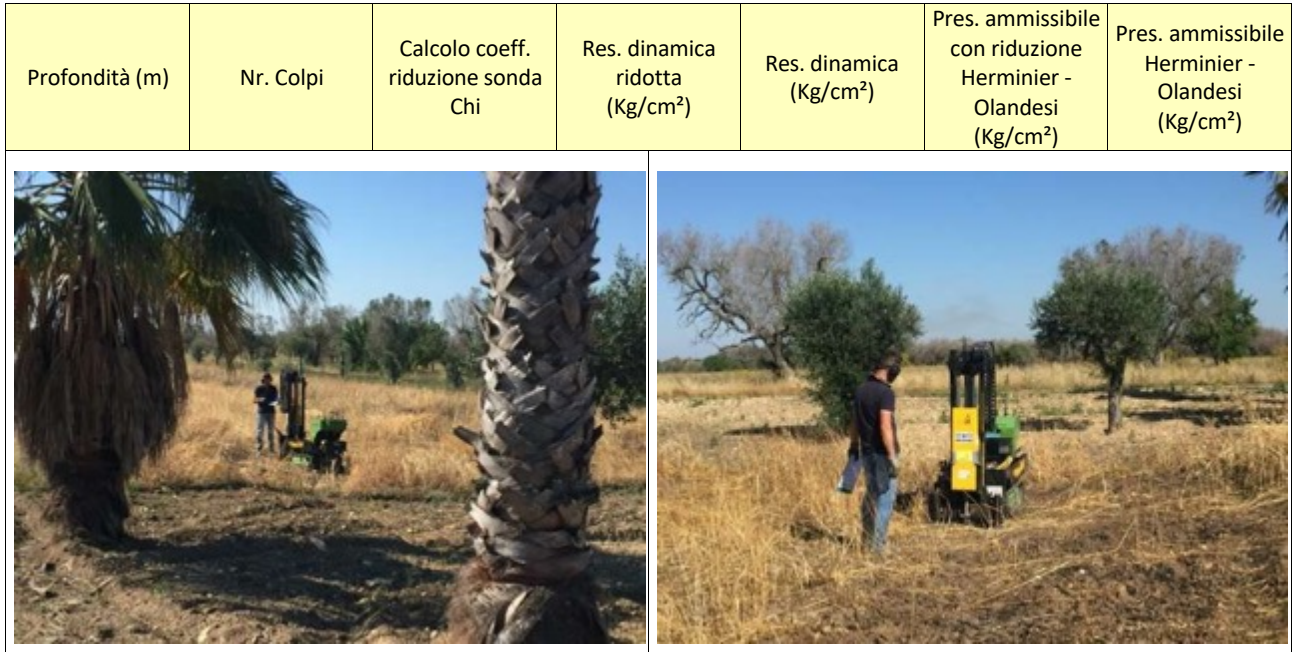


## DINAMIC PROBING SUPER HEAVY N° 3

Strumento utilizzato: **DPSH63-73 GEO DEEP DRILL (superpesante)**  
 Prova eseguita in data: **26/06/2020**  
 Profondità prova: **10,00 mt**  
 Falda (profondità dal p.c.): **4,60 mt**  
**Certificato** **Nr. 3 del 26.06.2020**  
 Codice commessa nr. **24/2020GT MAGNOF**  
 Tipo elaborazione nr. colpi **Medio**



| Profondità (m) | Nr. Colpi | Calcolo coeff. riduzione sonda Chi | Res. dinamica ridotta (Kg/cm <sup>2</sup> ) | Res. dinamica (Kg/cm <sup>2</sup> ) | Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> ) | Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> ) |
|----------------|-----------|------------------------------------|---|-------------------------------------|--|--|
| 0,20           | 5         | 0,855                              | 43,19                                       | 50,54                               | 1,96   | 2,30   |
| 0,40           | 5         | 0,851                              | 43,00                                       | 50,54                               | 1,95   | 2,30   |
| 0,60           | 8         | 0,847                              | 68,49                                       | 80,86                               | 3,11   | 3,68   |
| 0,80           | 11        | 0,843                              | 93,76                                       | 111,18                              | 4,26   | 5,05   |
| 1,00           | 13        | 0,790                              | 95,71                                       | 121,19                              | 4,35   | 5,51   |
| 1,20           | 13        | 0,786                              | 95,29                                       | 121,19                              | 4,33   | 5,51   |
| 1,40           | 13        | 0,783                              | 94,88                                       | 121,19                              | 4,31   | 5,51   |
| 1,60           | 8         | 0,830                              | 61,87                                       | 74,58                               | 2,81   | 3,39   |
| 1,80           | 4         | 0,826                              | 30,81                                       | 37,29                               | 1,40   | 1,69   |
| 2,00           | 4         | 0,823                              | 28,48                                       | 34,60                               | 1,29   | 1,57   |
| 2,20           | 23        | 0,720                              | 143,28                                      | 198,96                              | 6,51   | 9,04   |
| 2,40           | 16        | 0,767                              | 106,18                                      | 138,41                              | 4,83   | 6,29   |
| 2,60           | 29        | 0,714                              | 179,18                                      | 250,86                              | 8,14   | 11,40  |
| 2,80           | 39        | 0,611                              | 206,27                                      | 337,37                              | 9,38   | 15,33  |
| 3,00           | 37        | 0,659                              | 196,64                                      | 298,55                              | 8,94   | 13,57  |
| 3,20           | 35        | 0,656                              | 185,26                                      | 282,41                              | 8,42   | 12,84  |
| 3,40           | 30        | 0,703                              | 170,27                                      | 242,06                              | 7,74   | 11,00  |
| 3,60           | 25        | 0,701                              | 141,38                                      | 201,72                              | 6,43   | 9,17   |
| 3,80           | 15        | 0,748                              | 90,58                                       | 121,03                              | 4,12   | 5,50   |
| 4,00           | 7         | 0,796                              | 42,13                                       | 52,92                               | 1,91   | 2,41   |
| 4,20           | 7         | 0,794                              | 42,01                                       | 52,92                               | 1,91   | 2,41   |
| 4,40           | 11        | 0,791                              | 65,82                                       | 83,17                               | 2,99   | 3,78   |
| 4,60           | 8         | 0,789                              | 47,74                                       | 60,48                               | 2,17   | 2,75   |
| 4,80           | 11        | 0,787                              | 65,46                                       | 83,17                               | 2,98   | 3,78   |
| 5,00           | 9         | 0,785                              | 50,25                                       | 64,01                               | 2,28   | 2,91   |
| 5,20           | 14        | 0,733                              | 72,99                                       | 99,57                               | 3,32   | 4,53   |
| 5,40           | 13        | 0,731                              | 67,59                                       | 92,46                               | 3,07   | 4,20   |
| 5,60           | 10        | 0,779                              | 55,42                                       | 71,12                               | 2,52   | 3,23   |
| 5,80           | 12        | 0,777                              | 66,34                                       | 85,35                               | 3,02   | 3,88   |
| 6,00           | 10        | 0,775                              | 52,07                                       | 67,14                               | 2,37   | 3,05   |
| 6,20           | 9         | 0,774                              | 46,76                                       | 60,43                               | 2,13   | 2,75   |
| 6,40           | 34        | 0,622                              | 142,00                                      | 228,29                              | 6,45   | 10,38  |
| 6,60           | 25        | 0,670                              | 112,53                                      | 167,86                              | 5,11   | 7,63   |
| 6,80           | 18        | 0,719                              | 86,87                                       | 120,86                              | 3,95   | 5,49   |
| 7,00           | 12        | 0,767                              | 58,54                                       | 76,30                               | 2,66   | 3,47   |
| 7,20           | 14        | 0,716                              | 63,71                                       | 89,02                               | 2,90   | 4,05   |
| 7,40           | 21        | 0,664                              | 88,69                                       | 133,53                              | 4,03   | 6,07   |
| 7,60           | 27        | 0,663                              | 113,78                                      | 171,68                              | 5,17   | 7,80   |
| 7,80           | 16        | 0,711                              | 72,37                                       | 101,74                              | 3,29   | 4,62   |
| 8,00           | 13        | 0,710                              | 55,73                                       | 78,50                               | 2,53   | 3,57   |
| 8,20           | 13        | 0,709                              | 55,62                                       | 78,50                               | 2,53   | 3,57   |
| 8,40           | 12        | 0,757                              | 54,87                                       | 72,46                               | 2,49   | 3,29   |
| 8,60           | 14        | 0,706                              | 59,68                                       | 84,54                               | 2,71   | 3,84   |
| 8,80           | 14        | 0,705                              | 59,58                                       | 84,54                               | 2,71   | 3,84   |
| 9,00           | 13        | 0,703                              | 52,58                                       | 74,74                               | 2,39   | 3,40   |
| 9,20           | 12        | 0,752                              | 51,90                                       | 68,99                               | 2,36   | 3,14   |
| 9,40           | 13        | 0,701                              | 52,40                                       | 74,74                               | 2,38   | 3,40   |
| 9,60           | 13        | 0,700                              | 52,32                                       | 74,74                               | 2,38   | 3,40   |
| 9,80           | 13        | 0,699                              | 52,23                                       | 74,74                               | 2,37   | 3,40   |
| 10,00          | 15        | 0,698                              | 57,42                                       | 82,30                               | 2,61   | 3,74   |



### MODELLO GEOTECNICO

Profondità prova: **10,00 mt**  
 Falda (profondità dal p.c.): **3,80 mt**  
 Codice commessa nr. **24/2020GT MAGNOF**

| Profondità (m) | Nr. Colpi | Calcolo coeff. riduzione sonda Chi | Res. dinamica ridotta (Kg/cm <sup>2</sup> ) | Res. dinamica (Kg/cm <sup>2</sup> ) | Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> ) | Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> ) |
|----------------|-----------|------------------------------------|---|-------------------------------------|--|--|
| 0,20           | 4         | 0,855                              | 34,55                                       | 40,43                               | 1,57   | 1,84   |
| 0,40           | 4         | 0,851                              | 34,40                                       | 40,43                               | 1,56   | 1,84   |
| 0,60           | 4         | 0,847                              | 34,24                                       | 40,43                               | 1,56   | 1,84   |
| 0,80           | 4         | 0,843                              | 34,10                                       | 40,43                               | 1,55   | 1,84   |
| 1,00           | 4         | 0,840                              | 31,31                                       | 37,29                               | 1,42   | 1,69   |
| 1,20           | 4         | 0,836                              | 31,18                                       | 37,29                               | 1,42   | 1,69   |
| 1,40           | 4         | 0,833                              | 31,06                                       | 37,29                               | 1,41   | 1,69   |
| 1,60           | 4         | 0,830                              | 30,93                                       | 37,29                               | 1,41   | 1,69   |
| 1,80           | 4         | 0,826                              | 30,81                                       | 37,29                               | 1,40   | 1,69   |
| 2,00           | 4         | 0,823                              | 28,48                                       | 34,60                               | 1,29   | 1,57   |
| 2,20           | 4         | 0,820                              | 28,38                                       | 34,60                               | 1,29   | 1,57   |
| 2,40           | 4         | 0,817                              | 28,27                                       | 34,60                               | 1,29   | 1,57   |
| 2,60           | 4         | 0,814                              | 28,17                                       | 34,60                               | 1,28   | 1,57   |
| 2,80           | 4         | 0,811                              | 28,08                                       | 34,60                               | 1,28   | 1,57   |
| 3,00           | 4         | 0,809                              | 26,10                                       | 32,28                               | 1,19   | 1,47   |
| 3,20           | 4         | 0,806                              | 26,01                                       | 32,28                               | 1,18   | 1,47   |
| 3,40           | 4         | 0,803                              | 25,93                                       | 32,28                               | 1,18   | 1,47   |
| 3,60           | 4         | 0,801                              | 25,85                                       | 32,28                               | 1,17   | 1,47   |
| 3,80           | 7         | 0,798                              | 45,10                                       | 56,48                               | 2,05   | 2,57   |
| 4,00           | 7         | 0,796                              | 42,13                                       | 52,92                               | 1,91   | 2,41   |
| 4,20           | 7         | 0,794                              | 42,01                                       | 52,92                               | 1,91   | 2,41   |
| 4,40           | 7         | 0,791                              | 41,89                                       | 52,92                               | 1,90   | 2,41   |
| 4,60           | 7         | 0,789                              | 41,77                                       | 52,92                               | 1,90   | 2,41   |
| 4,80           | 7         | 0,787                              | 41,66                                       | 52,92                               | 1,89   | 2,41   |
| 5,00           | 7         | 0,785                              | 39,08                                       | 49,79                               | 1,78   | 2,26   |

| Profondità (m) | Nr. Colpi | Calcolo coeff. riduzione sonda Chi | Res. dinamica ridotta (Kg/cm <sup>2</sup> ) | Res. dinamica (Kg/cm <sup>2</sup> ) | Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> ) | Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> ) |
|----------------|-----------|------------------------------------|---|-------------------------------------|--|--|
| 5,20           | 7         | 0,783                              | 38,98                                       | 49,79                               | 1,77   | 2,26   |
| 5,40           | 7         | 0,781                              | 38,89                                       | 49,79                               | 1,77   | 2,26   |
| 5,60           | 7         | 0,779                              | 38,79                                       | 49,79                               | 1,76   | 2,26   |
| 5,80           | 7         | 0,777                              | 38,70                                       | 49,79                               | 1,76   | 2,26   |
| 6,00           | 7         | 0,775                              | 36,45                                       | 47,00                               | 1,66   | 2,14   |
| 6,20           | 7         | 0,774                              | 36,37                                       | 47,00                               | 1,65   | 2,14   |
| 6,40           | 7         | 0,772                              | 36,29                                       | 47,00                               | 1,65   | 2,14   |
| 6,60           | 7         | 0,770                              | 36,21                                       | 47,00                               | 1,65   | 2,14   |
| 6,80           | 10        | 0,769                              | 51,62                                       | 67,14                               | 2,35   | 3,05   |
| 7,00           | 10        | 0,767                              | 48,78                                       | 63,59                               | 2,22   | 2,89   |
| 7,20           | 10        | 0,766                              | 48,68                                       | 63,59                               | 2,21   | 2,89   |
| 7,40           | 10        | 0,764                              | 48,59                                       | 63,59                               | 2,21   | 2,89   |
| 7,60           | 10        | 0,763                              | 48,50                                       | 63,59                               | 2,20   | 2,89   |
| 7,80           | 10        | 0,761                              | 48,41                                       | 63,59                               | 2,20   | 2,89   |
| 8,00           | 10        | 0,760                              | 45,89                                       | 60,39                               | 2,09   | 2,74   |
| 8,20           | 10        | 0,759                              | 45,81                                       | 60,39                               | 2,08   | 2,74   |
| 8,40           | 10        | 0,757                              | 45,73                                       | 60,39                               | 2,08   | 2,74   |
| 8,60           | 10        | 0,756                              | 45,65                                       | 60,39                               | 2,08   | 2,74   |
| 8,80           | 10        | 0,755                              | 45,58                                       | 60,39                               | 2,07   | 2,74   |
| 9,00           | 10        | 0,753                              | 43,32                                       | 57,49                               | 1,97   | 2,61   |
| 9,20           | 10        | 0,752                              | 43,25                                       | 57,49                               | 1,97   | 2,61   |
| 9,40           | 10        | 0,751                              | 43,18                                       | 57,49                               | 1,96   | 2,61   |
| 9,60           | 10        | 0,750                              | 43,12                                       | 57,49                               | 1,96   | 2,61   |
| 9,80           | 10        | 0,749                              | 43,05                                       | 57,49                               | 1,96   | 2,61   |
| 10,00          | 10        | 0,748                              | 41,02                                       | 54,87                               | 1,86   | 2,49   |

### STIMA PARAMETRI MODELLO GEOTECNICO TERRENI INCOERENTI

#### Densità relativa

| Descrizione  | NSPT  | Prof. Strato (m) | N. Calcolo | Correlazione       | Densità relativa (%) |
|--|-------|------------------|------------|--------------------|----------------------|
| Strato (1)<br>Limi sabbiosi  | 6,02  | 0,00-2,80        | 6,02       | Gibbs & Holtz 1957 | 26,07                |
| Strato (2)<br>Sabbie debolmente limose con presenza di trovanti eterometrici di natura arenitica (tipo Panchina) | 9,75  | 2,80-6,60        | 9,75       | Gibbs & Holtz 1957 | 27,99                |
| Strato (3)<br>Limi sabbiosi passanti a debolmente argillosi  | 15,54 | 6,60-10,00       | 15,27      | Gibbs & Holtz 1957 | 33,17                |

#### Angolo di resistenza al taglio

| Descrizione  | NSPT  | Prof. Strato (m) | N. Calcolo | Correlazione  | Angolo d'attrito (°) |
|--|-------|------------------|------------|---------------|----------------------|
| Strato (1)<br>Limi sabbiosi  | 6,02  | 0,00-2,80        | 6,02       | Sowers (1961) | 29,69                |
| Strato (2)<br>Sabbie debolmente limose con presenza di trovanti eterometrici di natura arenitica (tipo Panchina) | 9,75  | 2,80-6,60        | 9,75       | Sowers (1961) | 30,73                |
| Strato (3)<br>Limi sabbiosi passanti a debolmente argillosi  | 15,54 | 6,60-10,00       | 15,27      | Malcev (1964) | 29,34                |

#### Modulo di Young

| Descrizione  | NSPT  | Prof. Strato (m) | N. Calcolo | Correlazione        | Modulo di Young (Kg/cm <sup>2</sup> ) |
|--|-------|------------------|------------|---------------------|---------------------------------------|
| Strato (1)<br>Limi sabbiosi  | 6,02  | 0.00-2,80        | 6,02       | Schultze-Menzenbach | 52,57                                 |
| Strato (2)<br>Sabbie debolmente limose con presenza di trovanti eterometrici di natura arenitica (tipo Panchina) | 9,75  | 2,80-6,60        | 9,75       | Schultze-Menzenbach | 46,47                                 |
| Strato (3)<br>Limi sabbiosi passanti a debolmente argillosi  | 15,54 | 6,60-10,00       | 15,27      | Schultze-Menzenbach | 91,57                                 |

#### Modulo Edometrico

| Descrizione  | NSPT  | Prof. Strato (m) | N. Calcolo | Correlazione                       | Modulo Edometrico (Kg/cm <sup>2</sup> ) |
|--|-------|------------------|------------|------------------------------------|---|
| Strato (1)<br>Limi sabbiosi  | 6,02  | 0.00-2,80        | 6,02       | Menzenbach e Malcev                | 59,31                                   |
| Strato (2)<br>Sabbie debolmente limose con presenza di trovanti eterometrici di natura arenitica (tipo Panchina) | 9,75  | 2,80-6,60        | 9,75       | Menzenbach e Malcev (Sabbia media) | 81,49                                   |
| Strato (3)<br>Limi sabbiosi passanti a debolmente argillosi  | 15,54 | 6,60-10,00       | 15,27      | Menzenbach e Malcev                | 92,06                                   |

#### Classificazione AGI

| Descrizione  | NSPT  | Prof. Strato (m) | N. Calcolo | Correlazione          | Classificazione AGI     |
|--|-------|------------------|------------|-----------------------|-------------------------|
| Strato (1)<br>Limi sabbiosi  | 6,02  | 0.00-2,80        | 6,02       | Classificazione A.G.I | POCO ADDENSATO          |
| Strato (2)<br>Sabbie debolmente limose con presenza di trovanti eterometrici di natura arenitica (tipo Panchina) | 9,75  | 2,80-6,60        | 9,75       | Classificazione A.G.I | POCO ADDENSATO          |
| Strato (3)<br>Limi sabbiosi passanti a debolmente argillosi  | 15,54 | 6,60-10,00       | 15,27      | Classificazione A.G.I | MODERATAMENTE ADDENSATO |

#### Peso unità di volume

| Descrizione  | NSPT  | Prof. Strato (m) | N. Calcolo | Correlazione            | Peso Unità di Volume (t/m <sup>3</sup> ) |
|--|-------|------------------|------------|-------------------------|--|
| Strato (1)<br>Limi sabbiosi  | 6,02  | 0.00-2,80        | 6,02       | Terzaghi-Peck 1948-1967 | 1,43                                     |
| Strato (2)<br>Sabbie debolmente limose con presenza di trovanti eterometrici di natura arenitica (tipo Panchina) | 9,75  | 2,80-6,60        | 9,75       | Terzaghi-Peck 1948-1967 | 1,47                                     |
| Strato (3)<br>Limi sabbiosi passanti a debolmente argillosi  | 15,54 | 6,60-10,00       | 15,27      | Terzaghi-Peck 1948-1967 | 1,54                                     |

#### Peso unità di volume saturo

| Descrizione | NSPT | Prof. Strato (m) | N. Calcolo | Correlazione        | Peso Unità Volume Saturo (t/m <sup>3</sup> ) |
|-------------|------|------------------|------------|---------------------|--|
| Strato (1)  | 6,02 | 0.00-2,80        | 6,02       | Terzaghi-Peck 1948- | 1,89   |

| Limi sabbiosi  |       |            |       | 1967                    |      |
|--|-------|------------|-------|-------------------------|------|
| Strato (2)<br>Sabbie debolmente limose con presenza di trovanti eterometrici di natura arenitica (tipo Panchina) | 9,75  | 2,80-6,60  | 9,75  | Terzaghi-Peck 1948-1967 | 1,92 |
| Strato (3)<br>Limi sabbiosi passanti a debolmente argillosi  | 15,54 | 6,60-10,00 | 15,27 | Terzaghi-Peck 1948-1967 | 1,95 |

#### Modulo di Poisson

| Descrizione  | NSPT  | Prof. Strato (m) | N. Calcolo | Correlazione | Poisson |
|--|-------|------------------|------------|--------------|---------|
| Strato (1)<br>Limi sabbiosi  | 6,02  | 0.00-2,80        | 6,02       | (A.G.I.)     | 0,34    |
| Strato (2)<br>Sabbie debolmente limose con presenza di trovanti eterometrici di natura arenitica (tipo Panchina) | 9,75  | 2,80-6,60        | 9,75       | (A.G.I.)     | 0,33    |
| Strato (3)<br>Limi sabbiosi passanti a debolmente argillosi  | 15,54 | 6,60-10,00       | 15,27      | (A.G.I.)     | 0,32    |

#### Modulo di deformazione a taglio dinamico

| Descrizione  | NSPT  | Prof. Strato (m) | N. Calcolo | Correlazione           | G (Kg/cm <sup>2</sup> ) |
|--|-------|------------------|------------|------------------------|-------------------------|
| Strato (1)<br>Limi sabbiosi  | 6,02  | 0.00-2,80        | 6,02       | Ohsaki (Sabbie pulite) | 351,35                  |
| Strato (2)<br>Sabbie debolmente limose con presenza di trovanti eterometrici di natura arenitica (tipo Panchina) | 9,75  | 2,80-6,60        | 9,75       | Ohsaki (Sabbie pulite) | 552,81                  |
| Strato (3)<br>Limi sabbiosi passanti a debolmente argillosi  | 15,54 | 6,60-10,00       | 15,27      | Ohsaki (Sabbie pulite) | 842,80                  |

#### Coefficiente spinta a Riposo K0=SigmaH/PO

| Descrizione  | NSPT  | Prof. Strato (m) | N. Calcolo | Correlazione     | K0   |
|--|-------|------------------|------------|------------------|------|
| Strato (1)<br>Limi sabbiosi  | 6,02  | 0.00-2,80        | 6,02       | Navfac 1971-1982 | 1,22 |
| Strato (2)<br>Sabbie debolmente limose con presenza di trovanti eterometrici di natura arenitica (tipo Panchina) | 9,75  | 2,80-6,60        | 9,75       | Navfac 1971-1982 | 2,05 |
| Strato (3)<br>Limi sabbiosi passanti a debolmente argillosi  | 15,54 | 6,60-10,00       | 15,27      | Navfac 1971-1982 | 3,18 |

#### Qc ( Resistenza punta Penetrometro Statico)

| Descrizione                                | NSPT | Prof. Strato (m) | N. Calcolo | Correlazione   | Qc (Kg/cm <sup>2</sup> ) |
|--|------|------------------|------------|----------------|--------------------------|
| Strato (1)<br>Limi sabbiosi                | 6,02 | 0.00-2,80        | 6,02       | Robertson 1983 | 12,04                    |
| Strato (2)<br>Sabbie debolmente limose con | 9,75 | 2,80-6,60        | 9,75       | Robertson 1983 | 19,50                    |

|   |       |            |       |                |       |
|---|-------|------------|-------|----------------|-------|
| presenza di trovanti eterometrici di natura arenitica (tipo Panchina) |       |            |       |                |       |
| Strato (3)<br>Limi sabbiosi passanti a debolmente argillosi           | 15,54 | 6,60-10,00 | 15,27 | Robertson 1983 | 30,54 |

### SINTESE PARAMETRI GEOTECNICI

| LITOLOGIA<br>(ORIZZONTE)   | PROFONDITA'<br>dal P.C. (mt) |              | PARAMETRI GEOTECNICI                                     | CORRELAZIONE              | VALORE                  |
|--|------------------------------|--------------|--|---------------------------|-------------------------|
|  | DA                           | A            |  |                           |                         |
| Limi sabbiosi<br>(ORIZZONTE 1)   | 0,00                         | 2,80         | Coesione (C)   | =                         | 0 (Kg/cmq)              |
|  |                              |              | Angolo di attrito  | [Sower 1961]              | 29°                     |
|  |                              |              | Modulo Elastico (di Young)                               | [Schultze-Menzenbach]     | 52 (Kg/cmq)             |
|  |                              |              | Modulo Edometrico  | [Menzenbach e Malcev]     | 59 (Kg/cmq)             |
|  |                              |              | Classificazione AGI (1977)                               | AGI (1977)                | POCO ADDENSATO          |
|  |                              |              | Peso unità di volume naturale ( $\gamma$ )               | [Terzaghi-Peck 1948-1967] | 1,43 (t/mc)             |
|  |                              |              | Peso unità di volume saturo ( $\gamma_s$ )               | [Terzaghi-Peck 1948-1967] | 1,89 (t/mc)             |
| Falda superficiale dal p.c.  | =                            | NON RILEVATA |  |                           |                         |
| Sabbie debolmente limose con presenza di trovanti eterometrici di natura arenitica (ORIZZONTE 2) | 2,80                         | 6,60         | Coesione (C)   | =                         | 0,0 (Kg/cmq)            |
|  |                              |              | Angolo di attrito  | [Sower 1961]              | 30°                     |
|  |                              |              | Modulo Elastico (di Young)                               | [Schultze-Menzenbach]     | 46 (Kg/cmq)             |
|  |                              |              | Modulo Edometrico  | [Menzenbach e Malcev]     | 81 (Kg/cmq)             |
|  |                              |              | Classificazione AGI (1977)                               | AGI (1977)                | POCO ADDENSATO          |
|  |                              |              | Modulo di Poisson  | A.G.I.                    | 0,34                    |
|  |                              |              | Peso unità di volume naturale ( $\gamma$ )               | [Terzaghi-Peck 1948-1967] | 1,47 (t/mc)             |
|  |                              |              | Peso unità di volume saturo ( $\gamma_s$ )               | [Terzaghi-Peck 1948-1967] | 1,92 (t/mc)             |
|  |                              |              | Coefficiente spinta a Riposo $K_0 = \sigma_h / \sigma_v$ | [Navfac 1971-1982]        | 1,45                    |
| Falda superficiale dal p.c.  | =                            | 3,8 mt       |  |                           |                         |
| Limi sabbiosi passanti da debolmente argillosi ad argillosi (ORIZZONTE 3)                        | 6,60                         | 10,0         | Coesione (C)   | [Terzaghi-Peck]           | 0 (Kg/cmq)              |
|  |                              |              | Angolo di attrito  | [Sower 1961]              | 29°                     |
|  |                              |              | Modulo Elastico (di Young)                               | [Schultze-Menzenbach]     | 91 (Kg/cmq)             |
|  |                              |              | Modulo Edometrico  | [Menzenbach e Malcev]     | 92 (Kg/cmq)             |
|  |                              |              | Classificazione AGI (1977)                               | AGI (1977)                | MODERATAMENTE ADDENSATO |
|  |                              |              | Peso unità di volume naturale ( $\gamma$ )               | [Terzaghi-Peck 1948-1967] | 1,54 (t/mc)             |
|  |                              |              | Peso unità di volume saturo ( $\gamma_s$ )               | [Terzaghi-Peck 1948-1967] | 1,95 (t/mc)             |
|  |                              |              | Falda superficiale dal p.c.                              | =                         | 3,8 mt                  |

**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 d) 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 a);
- avanzamento (penetrazione) d ;
- 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)          | 5.1.1.1.1.1 M ≤ 10      | 8                               |
| Medio                       | DPM (Medium)         | 10 < M < 40             | 20-25                           |
| Pesante                     | DPH (Heavy)          | 40 ≤ M < 60             | 25                              |
| Super pesante (Super Heavy) | DPSH                 | M ≥ 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 d = 10 cm, punta conica (α = 60-90°), diametro D 35.7 mm, area base cono A=10 cm<sup>2</sup> 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 d = 10 cm, punta conica (α = 60-90°), diametro D 35.7 mm, area base cono A=10 cm<sup>2</sup> 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 d=30 cm, punta conica (α = 60°), diametro D = 50.8 mm, area base cono A=20.27 cm<sup>2</sup> rivestimento: previsto secondo precise indicazioni;

- DINAMICO SUPERPESANTE (Tipo EMILIA)  
 massa battente M=63.5 kg, altezza caduta H=0.75 m, avanzamento d=20-30 cm, punta conica (α = 60°-90°) diametro D = 50.5 mm, area base cono A = 20 cm<sup>2</sup>, rivestimento / fango bentonitico : talora previsto.

### 5.1 Correlazione con N<sub>spt</sub>.

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<sub>spt</sub> ottenuto con la suddetta prova, pertanto si presenta la necessità di rapportare il numero di colpi di una prova dinamica con N<sub>spt</sub>. Il passaggio viene dato da:

$$NSPT = \beta_t \cdot N$$

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. |
| d  | passo di avanzamento.   |

## 5.2 Valutazione resistenza dinamica alla punta Rpd.

Viene sviluppata e calcolata attraverso la c.d. "Formula degli 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 ( $\square / N$ ). |
| M   | peso massa battente (altezza caduta H).       |
| P   | peso totale aste e sistema battuta.           |

## 5.3 Calcolo di $(N_1)_{60}$

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

$$(N_1)_{60} = CN \cdot N_{60} \quad \text{con } CN = \sqrt{(Pa' / \sigma_{v0})} \quad CN < 1.7 \quad Pa = 101.32 \text{ kPa} \quad (\text{Liao e Whitman 1986})$$

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

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.

## 5.4 Metodologia di Elaborazione.

Le elaborazioni sono 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 della resistenza alla punta.

## 5.5 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  $N_{spt}$  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 immorsamento  $d = 1$  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) □ >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) □ >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  $t$  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 - $M_0$  ( $E_{ed}$ ) (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.

### 5.6 Correlazione stratigrafica fra le prove penetrometriche effettuate.

La correlazione stratigrafica che si riporta alla tavola che segue, ripercorre quella di massima rappresentata alla precedente tavola n. 11 e che, dopo la realizzazione delle tre prove penetrometriche ha bisogno di un adattamento.

Le prove hanno raggiunto le sottostanti profondità:

- **PP n. 1 = 10,0 m. di approfondimento in area stazione elettrica TERNA;**
- **PP n. 2 = 2,2 m. di approfondimento in area stazione elettrica TERNA;**
- **PP n. 3 = 10,0 m. di approfondimento in area stazione elettrica TERNA.**

L'anomalia è costituita dal rifiuto all'avanzamento della punta penetrometrica a 2,2 m. per la prova penetrometrica n. 2; ciò è stato dovuto alla presenza di un "nodulo" arenaceo di dimensioni tali da non poter essere rotto e superato dalla pressione indotta dallo strumento.

Le altre due prove, approfondite fino a 10 m. e ultimate senza che si verificasse il rifiuto all'avanzamento, hanno permesso di individuare una situazione tipica della "Conca di



Brindisi”, come innanzi riportato; da queste e sinteticamente si possono desumere le seguenti succinte considerazioni:

- Il livello di “panchina” è caratterizzato in particolare da una grande livello di “sabbie” con pochi inclusi arenacei; ciò al punto che due prove su tre, lo hanno superato in maniera molto semplice;
- Il livello (trovante/nodulo) arenaceo della prova penetrometrica n. 2 avrebbe potuto far intendere all’inizio del livello della “panchina”; questa ipotesi è stata però smentita dalla regolarità dell’approfondimento nella fascia della “panchina”;
- Al di sotto di circa 8,5 m. l’avanzamento della punta penetrometrica è stata quella tipica dell’incontro con matrici a componente limo-argillosa; per tale ragione si ritiene che il livello delle argille calabriane possa essere individuato a circa 8,5 m. dal piano di campagna ed al letto dell’unità panchina;
- L’estrazione delle aste del penetrometro ha fatto rilevare la presenza della falda freatica superficiale che si attesta attorno ai 5/5,2 m. dal piano di campagna;

Si registra uniformità di correlazione stratigrafica fra l’area d’imposta della stazione TERNA e della C.P.

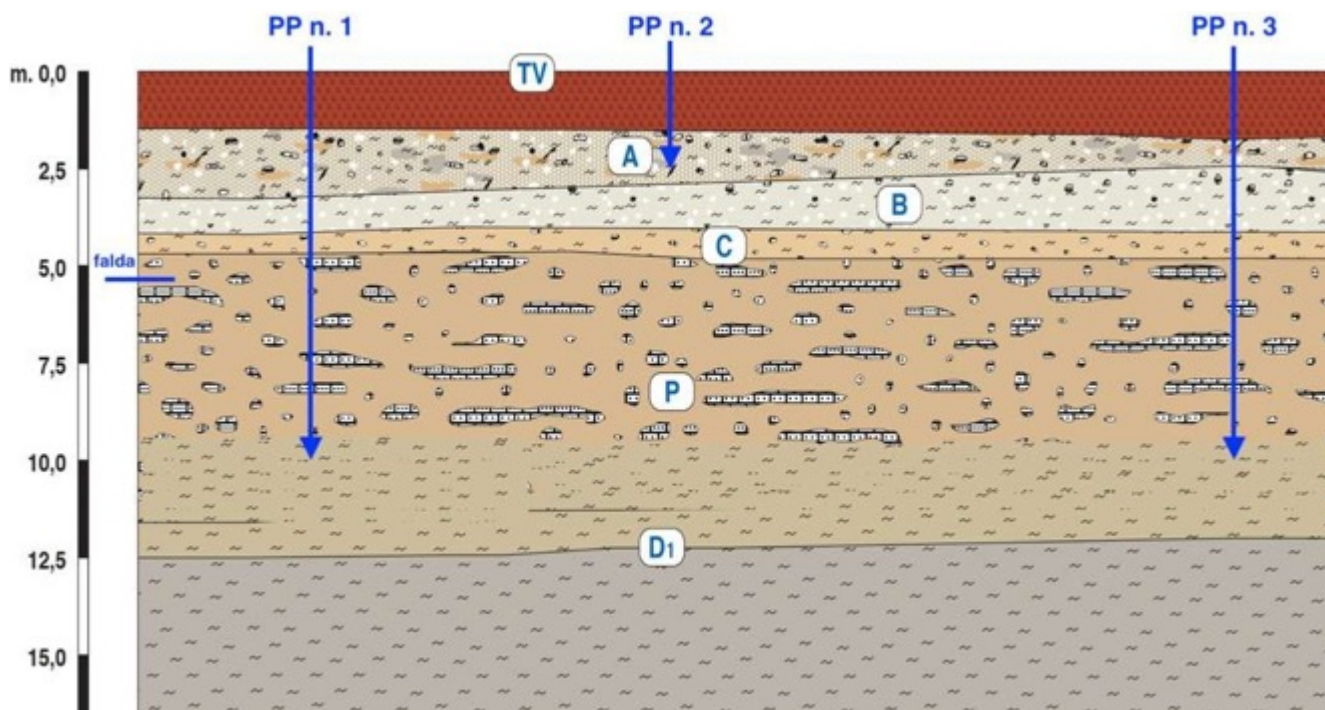


Tavola n. 18: correlazione stratigrafica desunta dalle tre prove penetrometriche effettuate.

## 6 Idrografia ed idrogeologia dell'area indagata.

### 6.1 Lineamenti idrogeologici regionali.

I caratteri litologici delle diverse formazioni, le loro giaciture ed i relativi rapporti di posizione, fanno sì che in Puglia la circolazione idrica sotterranea si espliciti attraverso di due distinti sistemi la cui interazione tende a variare da luogo a luogo.

Il primo, più profondo, come falda di base o profonda è rappresentato dalla falda carsica circolante nel basamento carbonatico mesozoico, fortemente fratturato e carsificato; il secondo, rinvenibile nei depositi della copertura post-cretacea è costituito da una serie di falde superficiali, che si rinvencono a profondità ridotte dal piano campagna, ovunque la presenza di livelli impermeabili vada a costituire uno sbarramento al letto.

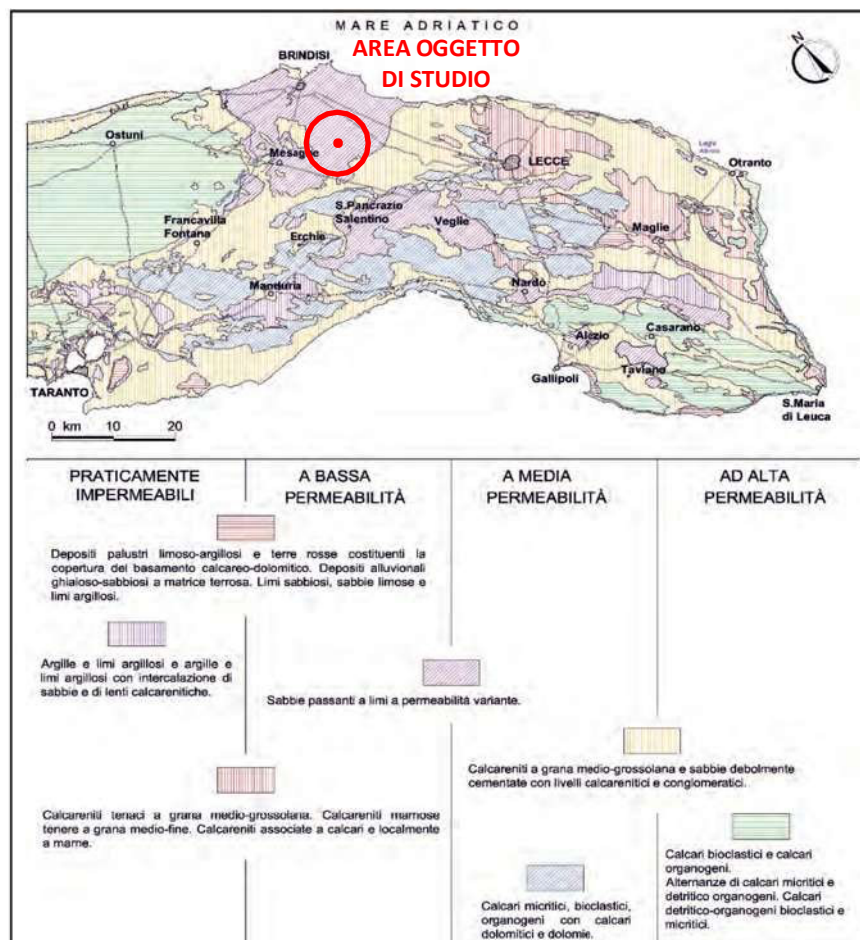
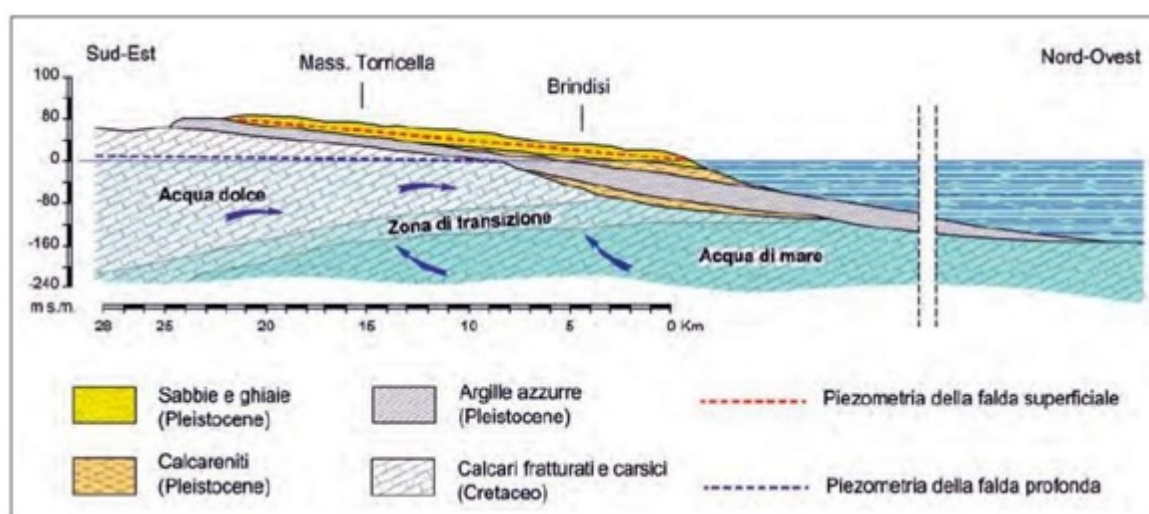


Tavola n. 19 – Carta della permeabilità del Salento.

La tavola n. 19 che precede, riporta la “carta delle permeabilità” dell’area Jonico salentina ed in particolare l’area d’intervento per la realizzazione della stazione elettrica; da questa si evincono chiaramente i limiti della “Conca di Brindisi” e la copertura dei terreni sedimentari quaternari che sono spostati al di sopra delle argille calabriane e, per tale motivo, permettono il formarsi della falda freatica superficiale.

Le acque dolci della falda profonda, invece, sono sostenute alla base dalle acque marine di invasione continentale, dalle quali sono separate da una fascia idrica di transizione, la zona di diffusione, caratterizzata da un rapido incremento verticale del contenuto salino; naturalmente, essendo l'equilibrio fra queste acque legato al carico idraulico delle acque dolci, lo spessore di queste ultime si riduce man mano che ci si avvicina alla linea di costa, fino ad annullarsi completamente.

Nella tavola n. 20 si rappresenta lo schema idrico di una sezione del territorio di Brindisi con indicate la falda freatica superficiale (tratteggio in rosso) e la sottostante imponente falda di fondo con le differenziazioni fra la falda di acqua dolce, la zona di transizione e le acque di invasione marina.

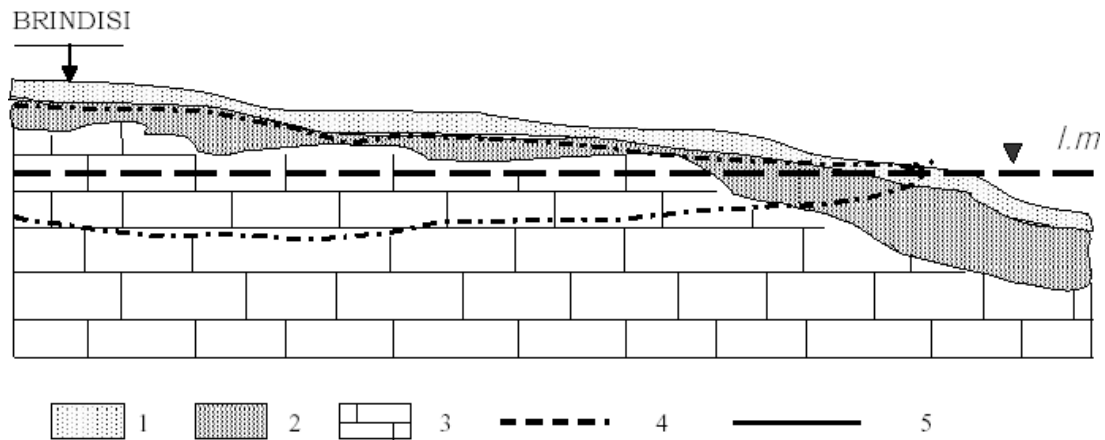


**Tavola n.20- Schema idrico del territorio di Brindisi.**

Nell'ambito della falda profonda della Puglia, sono individuabili tre distinte unità idrogeologiche; la garganica, la murgiana e la salentina. In particolare, queste ultime due sono in contiguità laterale tra di loro lungo l'allineamento Taranto-Brindisi attraverso il quale, in virtù dei differenti carichi idraulici, si concretizza un forte sversamento di acque sotterranee dall'unità murgiana in quella salentina; nell'unità idrogeologica murgiana, infatti, si riscontrano sempre carichi idraulici molto alti, anche oltre i 50 metri ed una circolazione prevalentemente in pressione, mentre in tutto il Salento si hanno carichi modesti, mai superiori ai 4 metri, con una circolazione usualmente a pelo libero.

L'area indagata rappresenta la zona centro-meridionale della "Conca di Brindisi" il cui assetto stratigrafico e le cui caratteristiche litologiche ne condizionano la circolazione idrica superficiale e sotterranea. Il fenomeno carsico, i caratteri di permeabilità delle formazioni presenti nonché quelle delle precipitazioni meteoriche non favoriscono il regolare deflusso delle acque di origine meteorica verso il mare per via superficiale, portando ad un modesto sviluppo della rete idrografica e ad uno schema di circolazione idrica sotterranea, le cui

proprietà geometriche ed idrogeologiche costituiscono, di norma, un sistema idrico discontinuo.



Schizzo mostrante la situazione delle falde superficiali e profonde. 1 – Sabbie più o meno limose, talora debolmente cementate; 2 – Calcareniti biancastre tipo panchina; 3 – Calcari e dolomie permeabili per fessurazione e carsismo; 4 – Traccia della superficie freatica della falda superficiale e profonda; 5 – Livello medio del mare

#### Tavola n. 21: schema idrico,

I depositi presenti si suddividono pertanto, a seconda delle loro caratteristiche di permeabilità, in tre gruppi:

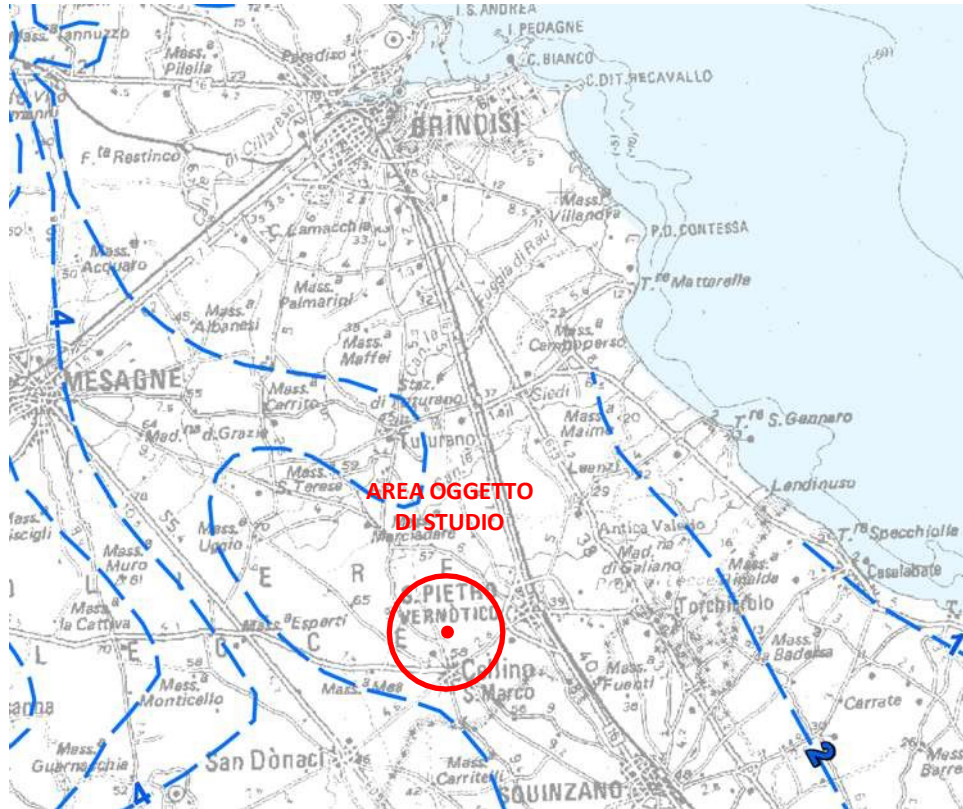
- Impermeabili;
- permeabili per porosità;
- permeabili per fessurazione.

Al primo gruppo appartengono i terreni affioranti costituiti da argille e limi, presenti seppur fino a modeste profondità, in maniera quasi omogenea su tutto il territorio comunale ed in particolar modo in quello indagato.

Al secondo gruppo appartengono i terreni più superficiali quali le sabbie, i limi e i depositi calcarenitici, il cui grado di permeabilità aumenta all'aumentare della componente sabbiosa costituente il deposito e rappresentano i depositi utilizzati per lo smaltimento delle acque meteoriche.

Al terzo gruppo, cioè le rocce permeabili per fessurazione, appartiene il complesso carbonatico; la formazione mesozoica calcarea che, come detto, costituisce l'acquifero sotterraneo, è caratterizzato dalla presenza di fratture, piani di stratificazione e condotti carsici dovuti all'allargamento di fratture e giunti di strato che conferiscono al deposito in oggetto un'elevata permeabilità che varia sia verticalmente che lateralmente al variare della natura litologica ed al relativo grado di carsificazione.





## Legenda

— Distribuzione media dei carichi piezometrici (m s.l.m.)

Tav. 23: Distribuzione media dei carichi piezometrici degli acquiferi carsici della Murgia e del Salento di cui alla TAV. 6.2 allegata al Piano di tutela delle acque della Regione Puglia.

## 6.2 Caratteristiche generali della falda freatica superficiale.

La falda superficiale, come già riferito, è ospitata all'interno dell'acquifero sabbioso calcarenitico quaternario (panchina) ed è sostenuta da una base impermeabile costituita dai terreni argillosi delle Argille Subappennine.

Il coefficiente di permeabilità dell'acquifero risulta abbastanza variabile sia in senso orizzontale che verticale; prove di assorbimento e di portata indicano che esso varia da  $5 \cdot 10^{-6}$  cm/sec a  $1 \cdot 10^{-4}$  cm/sec (Spizzico et Al., 2006; Lopez et Al., 2008) ed è in stretta dipendenza del contenuto di limo e argilla presente.

Si tratta di una falda che alloggia interamente nella "Conca di Brindisi" che è sempre caratterizzata dalla presenza dell'unità delle argille calabriane; lo spessore della "roccia serbatoio" è piuttosto modesto e generalmente non superiore a 6-8 metri e si rinviene di norma a pochi metri dal piano campagna con l'acqua che circola ovunque a pelo libero.

Il rinvenimento del livello statico della falda freatica superficiale è connesso alle condizioni topografiche dell'area ed alla distanza dal mare.

La falda superficiale viene alimentata dalle acque meteoriche che incidono direttamente sulle aree di affioramento dei depositi quaternari e le quote del livello piezometrico sono quindi soggette ad escursioni stagionali che rappresentano la risposta della falda ai meccanismi ciclici di accumulo (che avvengono durante la stagione piovosa) e di rilascio (durante la stagione secca) dei volumi idrici immagazzinati. L'andamento generale della superficie piezometrica della falda risulta invece influenzato principalmente dalle variazioni di permeabilità dell'acquifero sabbioso-calcarenitico, dalle condizioni di assetto topografico del terreno e dalla morfologia del "tetto" della formazione impermeabile di base.

Nel complesso, la superficie piezometrica della falda superficiale si presenta inclinata verso mare e/o in caso di bacini imbriferi, verso questi, con cadenti dell'ordine del  $4 \div 8\%$ , variabili in funzione del grado di permeabilità dell'acquifero.

Le massime quote piezometriche si rinvencono quindi nelle zone dell'entro-terra, mentre in prossimità della costa il tetto della falda freatica risulta attestato su quote prossime al livello marino.

L'andamento generale delle pendenze della superficie piezometrica individua un deflusso generalizzato delle acque di falda dall'entroterra in direzione della costa adriatica; tuttavia, il deflusso diretto a mare della falda superficiale è assai limitato, poiché, in condizioni di massima ricarica, il drenaggio della stessa viene espletato principalmente dalle incisioni e dai canali presenti sul territorio.

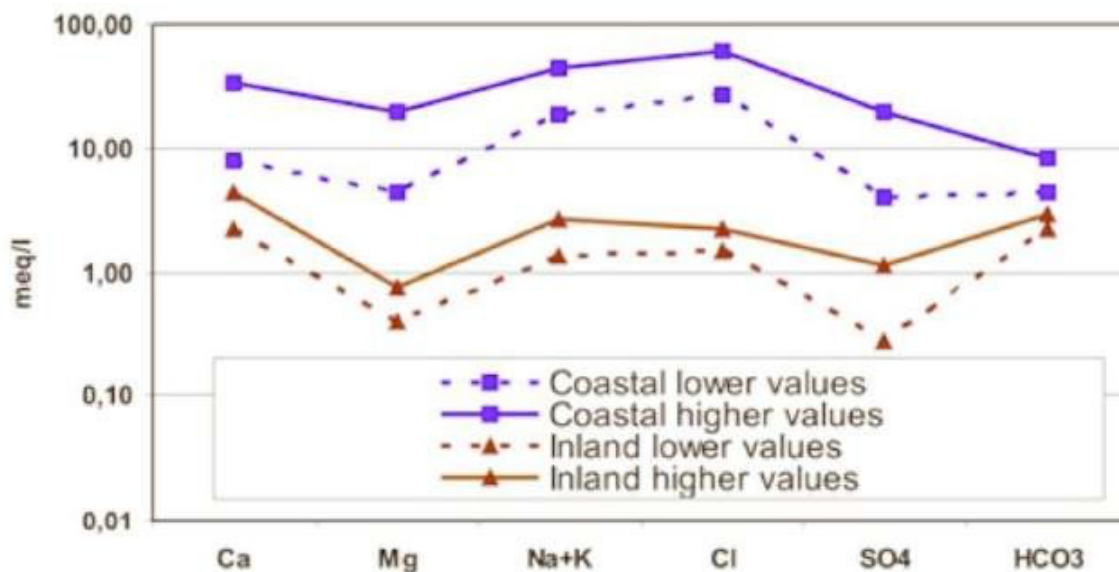
Per il suo ciclo spiccatamente stagionale e la sua scarsa produttività, quest'ultima evidenziata dalle modeste portate specifiche dei pozzi ( $0,5 \div 1$  l/s x m), la falda superficiale

presenta valenza ed importanza economica solo a livello locale e solo per colture di minore richiesta idrica.

La posizione dell'investigazione della falda, rispetto alla linea di costa, condiziona anche le caratteristiche del chimismo delle acque di falda che, nel qual caso possono risentire dell'influenza delle maree e, quindi, se pur molto limitatamente, della presenza di un maggiore e/o minore contenuto salino.

Non avendo effettuato ancora prove sul chimismo delle acque di falda, è possibile rifarsi alla bibliografia classica che, nella logica dinamica riportata, individua minori contenuti salini in funzione di una maggiore distanza dal mare.

In particolare, nelle aree interne della "Conca di Brindisi" la falda superficiale presenta valori di residuo fisso bassi, generalmente pari o inferiori ad 1 g/l e caratterizzati da rapporti anionico-cationici tipici delle acque bicarbonatiche e calcitiche; al contrario, in prossimità della zona costiera le acque denotano dei contenuti salini significativamente più elevati (anche superiori a 3 g/l) e dei rapporti caratteristici tipici di acque cloruro-sodiche.



**Tavola n. 20: variazioni del chimismo delle acque superficiali dall'entroterra alle zone costiere (Lopez et Al., 2008)**

Il fenomeno dell'incremento del contenuto salino delle acque di falda lungo la fascia costiera è legato solo marginalmente al fenomeno dell'intrusione marina, essendo localmente influenzato più che altro da fattori locali.

D'altronde, la permeabilità dell'acquifero superficiale è, prevalentemente, medio bassa, il che non favorisce l'ingresso delle acque marine nell'entroterra.

Molto più importanti sembrano invece essere i tempi di interazione tra acqua e terreno: infatti, laddove l'acquifero è meno permeabile, le velocità di filtrazione risultano molto basse,



il che prolunga i tempi di contatto tra le acque di falda e la componente argillosa presente sia nell'acquifero (anche se in basse percentuali) che nel substrato impermeabile di base, aumentando così le quantità di anioni e cationi che possono entrare in soluzione.

Viceversa, laddove la permeabilità è più elevata, le acque possono defluire verso mare con maggiore velocità e con tempi di residenza minori, prendendo in carico una quantità minore di sali.

La spiccata anisotropia della conducibilità idraulica dell'acquifero potrebbe inoltre spiegare il motivo per cui, a distanze anche brevi, le acque possono presentare variazioni del contenuto salino anche di 2 g/l.

## 7 Analisi del rischio idrogeologico.

La Regione Puglia, con Deliberazione del Comitato Istituzionale n. 39 del 30 novembre 2005, ha adottato il Piano di Bacino stralcio per l'Assetto Idrogeologico dell'Autorità di Bacino (AdB) della Puglia (PAI), finalizzato al miglioramento delle condizioni di regime idraulico e della stabilità geomorfologia, necessario a ridurre gli attuali livelli di pericolosità e a consentire uno sviluppo sostenibile del territorio nel rispetto degli assetti naturali, della loro tendenza evolutiva e delle potenzialità d'uso.

Il PAI costituisce Piano Stralcio del Piano di Bacino, ai sensi dall'articolo 17, comma 6 ter, della Legge 18 maggio 1989, n. 183, ed è lo strumento conoscitivo, normativo e tecnico-operativo mediante il quale sono pianificate e programmate le azioni e le norme d'uso finalizzate alla conservazione, alla difesa e alla valorizzazione del suolo ricadente nel territorio di competenza dell'Autorità di Bacino della Puglia.

Le finalità del Piano sono:

1. la definizione del quadro della pericolosità idrogeologica in relazione ai fenomeni di esondazione e di dissesto dei versanti;
2. la definizione degli interventi per la disciplina, il controllo, la salvaguardia, la regolarizzazione dei corsi d'acqua e la sistemazione dei versanti e delle aree instabili a protezione degli abitati e delle infrastrutture, indirizzando l'uso di modalità di intervento che privilegino la valorizzazione ed il recupero delle caratteristiche naturali del territorio;
3. l'individuazione, la salvaguardia e la valorizzazione delle aree di pertinenza fluviale;
4. la manutenzione, il completamento e l'integrazione dei sistemi di protezione esistenti;
5. la definizione degli interventi per la protezione e la regolazione dei corsi d'acqua;
6. la definizione di nuovi sistemi di protezione e difesa idrogeologica, ad integrazione di quelli esistenti, con funzioni di controllo dell'evoluzione dei fenomeni di dissesto e di esondazione, in relazione al livello di riduzione del rischio da conseguire.

Come riportato all'Art. 1, comma 6 del Piano, nei programmi di previsione e prevenzione e nei piani di emergenza per la difesa delle popolazioni e del loro territorio ai sensi della Legge 24 febbraio 1992 n. 225 si dovrà tener conto delle aree a "*pericolosità idraulica*" e a "*pericolosità geomorfologica*" considerate rispettivamente ai titoli II e III del Piano.

A tal fine, il Piano individua le aree caratterizzate da un significativo livello di "*pericolosità idraulica*" e, in funzione della frequenza con cui esse sono interessate dai deflussi, le classifica in:

- **Aree a alta pericolosità idraulica (AP).** Porzione di territorio soggette ad

essere allagate con un tempo di ritorno (frequenza) inferiore a 30 anni;

- **Aree a media pericolosità idraulica (MP).** Porzione di territorio soggette ad essere allagate con un tempo di ritorno (frequenza) compresa fra 30 anni e 200 anni;
- **Aree a bassa pericolosità idraulica (BP).** Porzione di territorio soggette ad essere allagate con un tempo di ritorno (frequenza) compresa fra 200 anni 500 anni

Inoltre, il territorio è stato così suddiviso in tre fasce a “*pericolosità geomorfologica*” crescente: **PG1**, **PG2** e **PG3**; la **PG3** comprende tutte le aree già coinvolte da un fenomeno di dissesto franoso, versanti più o meno acclivi (a secondo della litologia affiorante), creste strette ed allungate, solchi di erosione ed in genere tutte quelle situazioni in cui si riscontrano bruschi salti di acclività sono aree **PG2**.

Le aree **PG1** si riscontrano in corrispondenza di depositi alluvionali (terrazzi, letti fluviali, piane di esondazione) o di aree morfologicamente spianate (paleosu-perfici).

Il Piano definisce, infine, il “*Rischio idraulico*” (**R**) come entità del danno atteso correlato alla probabilità di inondazione (**P**), alla vulnerabilità del territorio (**V**), al valore esposto o di esposizione al rischio (**E**) determinando:

- **Aree a rischio molto elevato - R4;**
- **Aree a rischio elevato - R3;**
- **Aree a rischio medio/moderato - R2;**
- **Aree a rischio moderato - R1.**

All’art. 36 delle NTA del PAI si riporta, appunto che il “*rischio R*” è fornito dall’applicazione della formula:

$$R = P \times V \times E$$

## 7.1 Valutazione della pericolosità geomorfologica, idraulica e del rischio.

Al fine di effettuare una valutazione complessiva della pericolosità geomorfologia, idraulica e del rischio, è stata effettuata:

1. l’analisi della cartografia allegata al **Piano di bacino stralcio assetto idrogeologico (P.A.I.)** della Regione Puglia in cui l’Autorità di Bacino ha individuato le aree esposte a pericolosità geomorfologia e idraulica e pertanto a rischio, di cui agli stralci riportati

nelle pagine seguenti, estratte dal sito internet dell’Autorità di Bacino della Puglia <http://www.adb.puglia.it> e dal sito web del Comune di Brindisi;




2. **L’analisi della Carta Idro-geomorfologica della Regione Puglia allegata al Piano di bacino stralcio assetto idrogeologico (P.A.I.)** della Regione Puglia in cui l’Autorità di Bacino, al fine della salvaguardia dei corsi d’acqua, della limitazione del rischio idraulico e per consentire il libero deflusso delle acque, ha individuato il reticolo idrografico in tutto il territorio di competenza, nonché l’insieme degli alvei fluviali in modellamento attivo e le aree golenali, ove vige il divieto assoluto di edificabilità, di cui agli stralci riportate nelle pagine seguenti, estratte dal sito internet dell’Autorità di Bacino della Puglia <http://www.adb.puglia.it>.




Dall’analisi di cui ai punti precedenti, si evidenzia che l’area ove verrà realizzata la stazione elettrica **non ricade, neanche parzialmente:**

- in aree perimetrate a “*pericolosità idraulica*”;
- in aree perimetrate a “*pericolosità geomorfologica*”;
- in aree perimetrate a “*rischio*” idraulico o geomorfologico.

Nella valutazione globale dell’area in studio è stato opportuno e necessario verificare quale fosse il rapporto esistente fra l’area in studio ed il Piano di Bacino per l’assetto idrogeologico, realizzato dall’Autorità di Bacino della Regione Puglia e finalizzato alla individuazione delle “*aree di rischio*” ed al successivo miglioramento delle condizioni del regime idraulico e della stabilità geomorfologica, finalizzati alla riduzione dei livelli di “*pericolosità*” rilevati sul territorio, consentendone anche uno sviluppo sostenibile rispetto agli assesti naturali ed alla loro tendenza evolutiva.

Il Piano di Assetto Idrogeologico (PAI) della Regione Puglia per il rischio geomorfologico ed idrogeologico individua, come riferito, con colorazioni differenti in funzione del grado di pericolosità, le seguenti aree:











-  **Aree a pericolosità geomorfologica molto elevata (P.G. 3):** porzione di territorio interessata da fenomeni franosi attivi o quiescenti.
-  **Aree a pericolosità geomorfologica elevata (P.G. 2):** porzione del territorio caratterizzata dalla presenza di due o più fattori predisponenti l’occorrenza di instabilità di versante e/o sede di frana stabilizzata;
-  **Aree a pericolosità geomorfologica media e bassa (P.G. 1):** porzione di territorio caratterizzata da bassa suscettività geomorfologica alla instabilità

-  **Aree ad alta pericolosità idraulica (A.P.):** porzione di territorio soggette ad essere allagate per eventi di piena con tempo di ritorno inferiore o pari a 30 anni.
-  **Aree a media pericolosità idraulica (M.P.):** porzione di territorio soggette ad essere allagate per eventi di piena con tempo di ritorno compreso fra 30 e 200 anni.
-  **Aree bassa pericolosità idraulica (B.P.):** porzione di territorio soggette ad essere allagate per eventi di piena con tempo di ritorno compreso fra 200 e 500 anni.

Inoltre, sulla base del DPCM del 29 settembre 1998 sono individuate le aree a rischio:

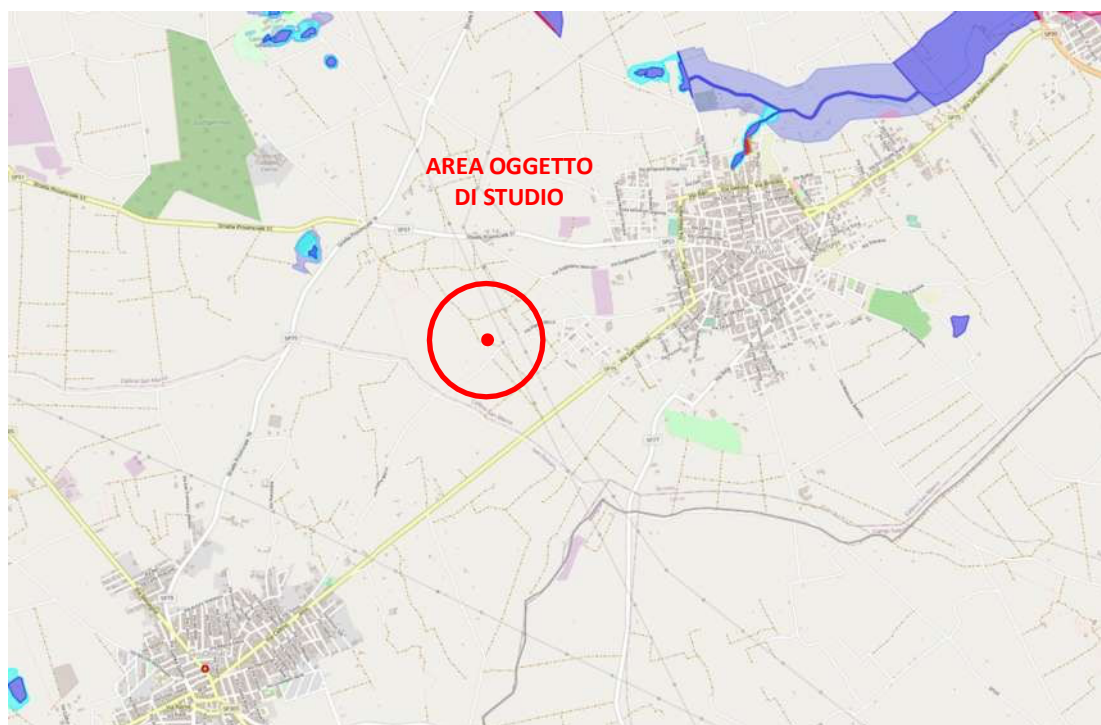
- **Molto elevato (R4)**
- **Elevato (R3)**
- **Medio (R2)**
- **Moderato (R1)**

La tabella che segue, riporta sinteticamente i vari livelli di rischio e pericolosità geomorfologica ed idraulica riportati nel PAI.

| Pericolosità Geomorfologica   |                        | Classe di rischio   |    |
|---|------------------------|---|----|
|  | media e moderata (PG1) |  | R1 |
|  | media (PG2)            |  | R2 |
|  | molto elevata (PG3)    |  | R3 |
| <b>Pericolosità Idraulica</b>   |                        |  | R4 |
|  | bassa (BP)             |   |    |
|  | media (MP)             |   |    |
|  | alta (AP)              |   |    |

**Tabella : Rappresentazione delle classi di rischio e della pericolosità geomorfologica ed idraulica.**

La Tavola n. 21, che segue, riporta lo stralcio del PAI relativo all'intera area del territorio comunale di Cellino San Marco con evidenziate le aree a "pericolosità" idraulica e geomorfologica e le aree a "rischio", così come evidenziato in legenda, congiuntamente ai vincoli riportati dal PPTR; la tavola è tratta dal richiamato sito della Regione e non evidenzia alcun "vincolo".



**Tavola n. 21: Vincoli idrogeologici e del PPTR per il territorio di Brindisi.**

## 8 Considerazioni conclusive.

Lo scopo dello studio è stato quello di conoscere le caratteristiche geologico-stratigrafiche, geotecniche ed idrogeologiche dei terreni che saranno interessati dalla realizzazione di una “*stazione elettrica*” da realizzare nel Comune di Cellino San Marco, al Foglio di mappa n. 24 ed alle particelle n.232, 231, 82, 78, 77, 153, 154, e 76.

Lo studio dell’area è stato finalizzato alla definizione:

- a. della situazione litostratigrafica locale;**
- b. delle forme e dei lineamenti dell’area ed in particolare dei processi morfologici e degli eventuali dissesti in atto o potenziali;**
- c. di uno schema semplificato della circolazione idrica superficiale e sotterranea..**
- d. dei parametri geotecnici del progetto** e della definizione della categoria di sottosuolo ed i parametri e coefficienti sismici locali, secondo le norme attualmente vigenti e riportate in premessa.

L’indagine, presa in considerazione per l’uniformità delle matrici geologiche, connesse alla vicinanza delle aree prese in considerazione, svolta in conformità alle normative tecniche vigenti, è stata articolata nelle seguenti fasi di studio:

- consultazione della documentazione geologica e geomorfologica esistente relativa a studi ed analisi effettuate nella stessa area, dallo scrivente e nel corso di circa 8 lustri di lavoro professionale, in aree limitrofe o in situazioni morfostrutturali del tutto analoghe;
- raccolta ed analisi accurata della cartografia dell’area;
- rilievi di superficie, effettuati allo scopo di definire le forme e l’estensione delle strutture di superficie e di descrivere l’idrografia superficiale, di riconoscere l’estensione areale ed i limiti dei litotipi presenti nell’area, di individuare eventuali strutture di tipo fragile e di tipo duttile;
- indagine di prospezione geologica dei terreni realizzata per mezzo di n° 3 Prove Penetrometriche Dinamiche Super Pesanti (DYNAMIC PROBING SUPER HEAVY);
- indagine di prospezione sismica dei terreni per mezzo di N° 1 prova sismica con metodologia Re.Mi. (Refraction Microtremor) e N° 1 prova sismica con metodologia MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves);
- indagine di prospezione sismica dei terreni per mezzo di N° 1 prova sismica con metodologia a RIFRAZIONE.

L'indagine geognostica effettuata è del tutto rispondente alle norme vigenti ed ha fornito una chiara situazione stratigrafica, come riportato sia nell'apposito capitolo che nella elaborazione della correlazione stratigrafica di Tavola n. 18, alla quale si rimanda.

Inoltre, l'elaborazione delle n. 3 prove penetrometriche effettuate ha fornito tutta una serie di ulteriori informazioni sulle caratteristiche geotecniche e geomeccaniche dei terreni che saranno da considerare nella progettazione delle fondazioni a cui si rimanda.

In virtù di quanto riportato in relazione si è in grado di riportare che l'area destinata alla realizzazione della stazione elettrica evidenzia quanto di seguito riportato:

- si è riscontrato il livello statico della falda superficiale alla profondità di circa 5,0-5,2 m. dal p.c.;
- sulla base del valore della velocità equivalente  $V_{S,eq}$  di propagazione delle onde di taglio ricavata dall'analisi sismica in sito è possibile classificare, in termini di sicurezza per questa fase prodromica, il sottosuolo di fondazione riconducibile alla categoria di **tipo "C"** ( $V_{S,eq} = 320,00$  m/s);
- le condizioni topografiche dell'area indagata fanno sì che la stessa rientri nella categoria T1 *"Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media  $i \leq 15^\circ$ "*;
- sulla base delle premesse riportate e considerando che l'area oggetto di studio è sismicamente classificata come *"zona 4"*;;
- dalle prove penetrometriche effettuate, si è anche desunto che, considerato che la composizione dei terreni allocati sotto lo strato di terreno vegetale è rappresentata da un'aggregazione caotica di limo ed argille, la permeabilità dei terreni può essere considerata come *"bassa"* e quindi dello ordine di  $10^{-5/-6}$  m/s. Tale permeabilità permette, comunque, il deflusso delle acque meteoriche ricadenti nell'area d'imposta dell'impianto, verso la sottostante falda freatica.

In merito alle caratteristiche morfologiche dell'area in studio, è possibile affermare che l'area è sostanzialmente pianeggiante e degrada leggermente verso est e quindi verso la valle imbrifera del reticolo idrografico presente nel territorio di Sandonaci.

In definitiva, dalla campagna geognostica effettuata è stato possibile riconoscere le caratteristiche stratigrafiche e geotecniche dei terreni destinati ad accogliere la stazione elettrica di Terna e la CP.

Dalle conoscenze richiamate è possibile prevedere la realizzazione di una fondazione diretta, adeguatamente ammorsata alla profondità non inferiore a 1,5-2,0 m. dal piano di



campagna; a tale profondità inizia la presenza di una sempre maggiore presenza della matrice sabbiosa con arricchimento di trovanti arenacei (vedi PP. n. 2).

Tali terreni sono perfettamente in grado di reggere le tensioni (orizzontali e verticali) indotte dalle strutture portanti e di evitare anche la realizzazione di cedimenti differenziali che, ove possibili ed in virtù della maggioritaria matrice sabbiosa, si esauriranno nella fase di realizzazione della fondazione diretta; inoltre, considerato l'alleggerimento geostrutturale dovuto allo scavo, il peso della sovrastruttura dovrebbe essere facilmente compensato da quello geostatico.

In definitiva, qui di seguito si riportano i range dei parametri geotecnici dei terreni che si ritiene costituiscano il piano di fondazione della stazione elettrica che sono meglio definiti nel capitolo relativo all'elaborazione delle prove:

- **caratteristiche geotecniche: peso di volume:  $\gamma=1,80-1,85$  t/mc**  
**angolo d'attrito:  $\phi= 29-31^\circ$**   
**coesione:  $c= 0,0-0,1$  kg/cmq.**

Tali caratteristiche geotecniche sono da intendere in condizioni anidre in quanto il livello statico della falda freatica sottostante è a circa 5,0-5,2 m. dal p.c; condizione essenziale perchè possano aversi i requisiti di buona stabilità è necessario che la fondazione del manufatto siano sempre in condizioni di assenza di acque di circolazione meteorica.

Dal punto di vista idrogeologico ed idraulico, dall'analisi della cartografia allegata al Piano di bacino stralcio assetto idrogeologico (P.A.I.) della Regione Puglia, in cui l'Autorità di Bacino ha individuato le aree esposte a pericolosità geo-morfologia e idraulica e pertanto a rischio, si evince come l'area oggetto di interesse **non ricade**, neanche parzialmente:

- in aree identificate e perimetrate a pericolosità idraulica,
- in aree identificate e perimetrate a pericolosità geomorfologica,
- in aree identificate e perimetrate a rischio idraulico o geomorfologico.

Con le considerazioni su esposte sarà possibile, quindi, realizzare le fondazioni e permettere, nel suo complesso, la buona tenuta statica della struttura della stazione della CP.

Brindisi 02/07 2020

prof. dott. Francesco Magno  
geologo-consulente ambientale