

NOVEMBRE 2023

## SOLAR CAPITAL 5 S.R.L.

IMPIANTO AGRIVOLTAICO  
COLLEGATO ALLA RTN  
POTENZA NOMINALE 44 MW



COMUNE DI TORREMAGGIORE (FG)

Montagna

## PROGETTO DEFINITIVO IMPIANTO AGRIVOLTAICO

### Relazione geologica e geotecnica

**Progettista**

Ing. Laura Maria Conti n. ordine Ing. Pavia 1726

**Codice elaborato**

2748\_5572\_TM\_VIA\_R05\_Rev0\_Relazione geologica e geotecnica

## Memorandum delle revisioni

Cod. Documento	Data	Tipo revisione	Redatto	Verificato	Approvato
2748_5572_TM_VIA_R05_Rev0_Relazione geologica e geotecnica	06/2023	Prima emissione	G.d.L.	CP	L.Conti

## Gruppo di lavoro

Nome e cognome	Ruolo nel gruppo di lavoro	N° ordine
Laura Maria Conti	Direzione Tecnica	Ordine Ing. Pavia 1726
Daniele Crespi	Project Manager e Coordinamento SIA	
Corrado Pluchino	Project Manager	Ord. Ing. Milano A27174
Riccardo Festante	Progettazione Elettrica, Rumore e Comunicazioni	Tecnico acustico/ambientale n. 71
Giulia Peirano	Architetto	Ordine Arch. Milano n. 20208
Marco Corrù	Architetto	
Fabio Lassini	Ingegnere Idraulico	Ordine Ing. Milano A29719
Mauro Aires	Ingegnere strutturista	Ordine Ing. Torino 9583J
Elena Comi	Biologo	
Sergio Alifano	Architetto	
Paola Scaccabarozzi	Ingegnere Idraulico	
Andrea Delussu	Ingegnere Elettrico	
Luca Morelli	Ingegnere Ambientale	
Matteo Cuda	Naturista	
Graziella Cusmano	Architetto	
Laura Brioschi	Pianificatore territoriale	Ordine Arch. Bergamo n. 3144
Matthew Piscedda	Perito Elettrotecnico	
Vincenzo Ferrante	Ingegnere strutturista	Ordine Ingegneri Siracusa n.2216

### Montana S.p.A.

Via Angelo Carlo Fumagalli 6, 20143 Milano  
Tel. +39 02 54 11 81 73 | Fax +39 02 54 12 98 90

Milano (Sede Certificata ISO) | Brescia | Palermo | Cagliari | Roma | Siracusa

C. F. e P. IVA 10414270156  
Cap. Soc. 600.000,00 €

[www.montanambiente.com](http://www.montanambiente.com)





Nome e cognome	Ruolo nel gruppo di lavoro	N° ordine
Michele Pecorelli (Studio Geodue)	Geologo - Indagini Geotecniche Geodue	Ordine Geologi Puglia n. 327
Nazzario D'Errico	Agronomo	Ordine Agronomi di Foggia n. 382
Felice Stoico	Archeologo	
Marianna Denora	Architetto - Acustica	Ordine Architetti Bari, Sez. A n. 2521

**Montana S.p.A.**

Via Angelo Carlo Fumagalli 6, 20143 Milano  
Tel. +39 02 54 11 81 73 | Fax +39 02 54 12 98 90

Milano (Sede Certificata ISO) | Brescia | Palermo | Cagliari | Roma | Siracusa

C. F. e P. IVA 10414270156  
Cap. Soc. 600.000,00 €

[www.montanambiente.com](http://www.montanambiente.com)





## INDICE

1. PREMESSA.....	5
2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE .....	7
3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO - GEOMORFOLOGICO .....	10
3.1 GEOLOGIA .....	10
3.2 CARATTERIZZAZIONE DEI LITOTIPI E ASSETTO LITOSTRATIGRAFICO.....	13
3.3 ASPETTI GEOMORFOLOGICI.....	14
4. DEFINIZIONE DELL'AMBIENTE CLIMATICO.....	15
4.1 TEMPERATURE .....	15
4.2 PLUVIOMETRIA.....	17
5. INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO .....	18
5.1 INQUADRAMENTO PIEZOMETRICO .....	18
6. INQUADRAMENTO SISMICO .....	20
7. PIANIFICAZIONE ED ESECUZIONE DELLE INDAGINI GEOGNOSTICHE .....	24
7.1 INDAGINE SISMICA – METODOLOGIE DI INDAGINI ADOTTATE.....	24
7.2 MODALITÀ DI ESECUZIONE DEI RILIEVI: ATTIVITÀ DI CAMPO .....	26
7.3 RISULTATI INDAGINE GEOSISMICA.....	27
7.3.1 Elaborazione dell'indagine sismica di tipo MASW .....	27
7.3.2 Elaborazione dell'indagine sismica a rifrazione .....	27
7.4 INDAGINE PENETROMETRICA.....	28
8. SUCCESSIONE LITOSTRATIGRAFICA .....	30
8.1 INDIVIDUAZIONE DELLE UNITÀ LITOTECNICHE .....	30
9. VALUTAZIONE DELL'AZIONE SISMICA (D.M. 17.01.2018 N.T.C.).....	32
10. SINTESI CONCLUSIVA .....	37



## 1. PREMESSA

Il progetto in questione prevede la realizzazione, attraverso la società di scopo Solar Capital 5 S.r.l., di un impianto solare fotovoltaico in alcuni terreni a Sud-Ovest del comune di Foggia, nel territorio comunale di Torremaggiore di potenza pari a 44 MW su un'area catastale di circa 84,49 ettari complessivi di cui circa 60,39 ettari recintati.

Solar Capital 5 S.r.l. è una società italiana con sede legale in Italia nella città di Torremaggiore (FG). Le attività principali del gruppo sono lo sviluppo, la progettazione e la realizzazione di impianti di medie e grandi dimensioni per la produzione di energia da fonti rinnovabili.

Il progetto in esame è in linea con quanto previsto dal: "Pacchetto per l'energia pulita (Clean Energy Package)" presentato dalla Commissione europea nel novembre 2016 contenente gli obiettivi al 2030 in materia di emissioni di gas serra, fonti rinnovabili ed efficienza energetica e da quanto previsto dal Decreto 10 novembre 2017 di approvazione della Strategia energetica nazionale emanato dal Ministro dello sviluppo economico, di concerto con il Ministro dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare.

L'opera ha dei contenuti economico-sociali importanti e tutti i potenziali impatti sono stati mitigati. Il progetto sarà eseguito in regime "agrivoltaico" che produce energia elettrica "zero emission" da fonti rinnovabili attraverso un sistema integrato con l'attività agricola, garantendo un modello eco-sostenibile che fornisca energia pulita e prodotti sani da agricoltura biologica.

La tecnologia impiantistica prevede l'installazione di moduli fotovoltaici bifacciali che saranno installati su strutture mobili (tracker) di tipo monoassiale mediante palo infisso nel terreno.

Le strutture saranno posizionate in maniera da consentire lo sfruttamento agricolo ottimale del terreno; pertanto, saranno poste ad una distanza tra loro di 9,50 metri per consentire la coltivazione e garantire la giusta illuminazione al terreno, mentre i pannelli sono distribuiti in maniera da limitare al massimo l'ombreggiamento. Saranno utilizzate due tipologie di strutture, una da 52 moduli (Tipo 1) e l'altra da 26 moduli (Tipo 2).

I terreni non occupati dalle strutture dell'impianto continueranno ad essere adibiti ad uso agricolo ed è prevista una piantumazione e coltivazione di ulivi.

Il progetto rispetta i requisiti riportati all'interno delle "Linee Guida in materia di Impianti Agrivoltaici" in quanto la superficie minima per l'attività agricola è pari al 72,70% mentre la LAOR (percentuale di superficie ricoperta dai moduli) è pari al 38,77%.

Infine, l'impianto fotovoltaico sarà collegato in antenna a 36 kV su una futura Stazione Elettrica (SE) della RTN da inserire in entra-esce alla linea RTN a 380 kV "San Severo 380 – Rotello 380".

Il presente documento costituisce la Relazione Descrittiva Generale del Progetto Definitivo redatto, insieme con i suoi allegati, nel rispetto delle Linee Guida "Disciplina del procedimento unico di autorizzazione alla realizzazione ed all'esercizio di impianti di produzione di energia elettrica alimentati da fonti rinnovabili" approvate con DGR 28 dicembre 2010, n. 3029.

Il presente documento costituisce la Relazione di inquadramento geologico generale, morfologico, idrogeologico, geotecnico e sismico dell'area interessata dal progetto, pertanto è stata programmata una campagna di studi nel rispetto del DM. 17.01.2018 - Aggiornamento delle «Norme Tecniche per le Costruzioni», che ha previsto uno schema di lavoro come di seguito riportato:

- Inquadramento geologico dell'area, per la indicazione dell'ambiente geologico, geomorfologico, idrogeologico e strutturale generale [pericolosità geologica del territorio]
- Rilevamento geologico di dettaglio, di un'area sufficientemente ampia, entro la quale ricade l'intervento in oggetto, atto alla definizione geologica, geomorfologica, idrogeologica, con particolare riferimento alla caratterizzazione della natura e del tipo di strutture sedimentarie dei corpi geologici presenti [controllo litologico di dettaglio]



- Indagini geognostiche eseguite in sito, per la definizione delle caratteristiche geotecniche dei terreni di fondazione interessati dalle opere in progetto [accertamento litotecnico].
- Analisi delle indagini geognostiche, con l'interpretazione delle indagini di campagna e la valutazione delle proprietà elastiche e meccaniche dei terreni investigati.

Durante la prima fase è stato effettuato una ricerca bibliografica, un esame fotointerpretativo e un successivo rilievo di superficie per la verifica dello stato dei luoghi e la corretta pianificazione delle indagini geognostiche.

Da qui è stata pianificata una campagna di indagini che ha previsto l'esecuzione di prospezioni come di seguito elencate.

- n. 6 prove penetrometriche dinamiche;
- n. 3 prospezioni sismiche superficiali con tecnica MASW (Multi-channel Analysis of Surface Waves);
- n. 3 prospezioni sismiche a rifrazione.

Infine, il quadro conoscitivo è stato completato correlando le indagini eseguite in situ con indagini pregresse realizzate a più riprese dallo scrivente nell'area vasta di riferimento.

Le considerazioni tecniche conclusive sono state ponderate in funzione della conoscenza geologica della zona e dell'attendibilità dei dati ottenuti, operando con un giusto grado di cautela nella definizione delle principali caratteristiche fisico-meccaniche dei terreni, avvalendosi anche di studi pregressi realizzati nello stesso ambito di riferimento.

## 2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE

Il progetto in esame è ubicato in alcuni terreni a Nord - Ovest del comune di Torremaggiore in Provincia di Foggia. L'intera superficie catastale dell'area oggetto di intervento è pari a circa 80 ettari di cui 60,39 ettari interessati dall'impianto. Il campo fotovoltaico in progetto è costituito da 5 sezioni S1 S2, S3, S4 e S5 localizzate a circa 8 km a nord -ovest del centro abitato di Torremaggiore, a circa 7 km a sud -ovest del centro abitato di San Paolo di Civitate:

- Area S1: sito a est della SP9 di estensione catastale pari a circa 17.59 ha (12,82 ha cintati);
- Area S2: sito a est della SP9 adiacente alla S1 di estensione catastale pari a circa 25.03 ha (14,37 ha cintati);
- Area S3: sito a est della SP9 a sud dell'area S2 di estensione catastale pari a circa 9.74 ha (2,51 ha cintati)
- Area S4: sito a est della SP9 a sud dell'area S3 di estensione catastale pari a circa 6.71 ha (2,72 ha cintati);
- Area S5: sito a nord della strada SP11 di estensione catastale pari a circa 30,23 ha (27,96 ha cintati);



*Figura 2.1: Inquadramento territoriale area di progetto*

Il sito è ubicato nella parte settentrionale della piana di Capitanata e presenta una morfologia prevalentemente pianeggiante o sub-pianeggiante con quote comprese tra 85 e 75 metri sul livello del mare.



L'impianto fotovoltaico sarà collegato in antenna a 36 kV su una futura Stazione Elettrica (SE) della RTN da inserire in entra-esce alla linea RTN a 380 kV "San Severo 380 – Rotello 380".

L'impianto fotovoltaico in oggetto, con riferimento al Catasto Terreni del comune di Torremaggiore (FG), sarà installato nelle aree di cui ai Fogli e particelle indicate nella tabella seguente:

*Tabella 2.1: Particelle catastali*

AREE	COMUNE	FOGLIO	PARTICELLA
S1-S2-S3	Torremaggiore	9	171, 172
S5	Torremaggiore	16	2,39,75,78,123,124,125,145,195,196,197,198,220,221,261,265,266

Si riporta di seguito uno stralcio dell'inquadramento catastale Rif. "2748\_5572\_TM\_VIA\_R25\_Rev0\_Piano particellare".



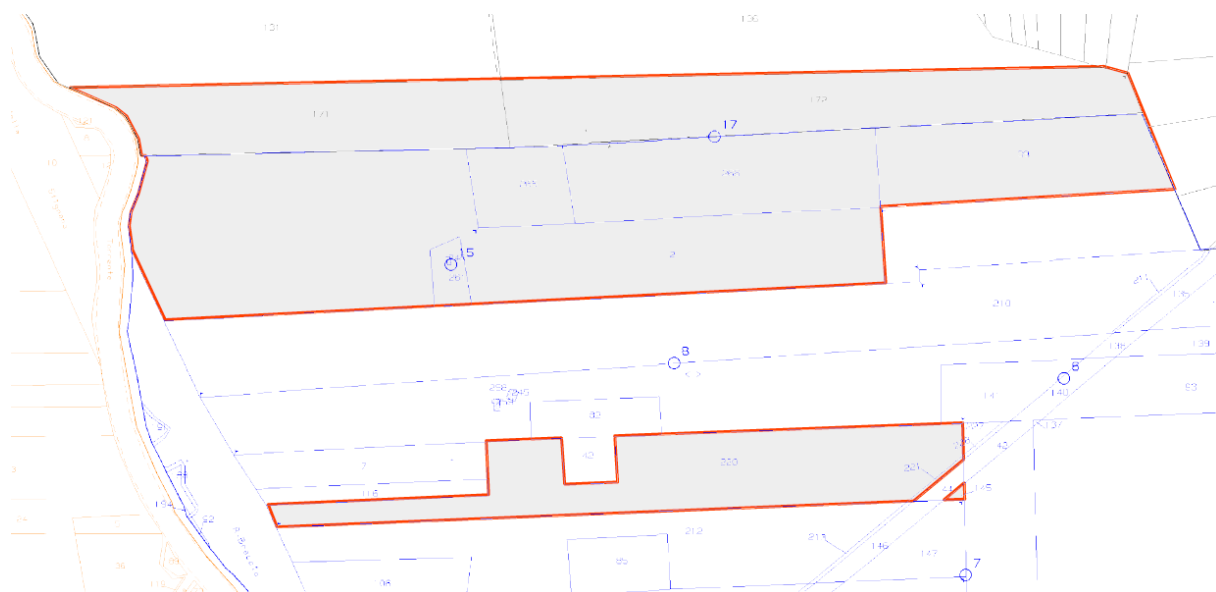


Figura 2.2: Inquadramento catastale area S1-S2-S3

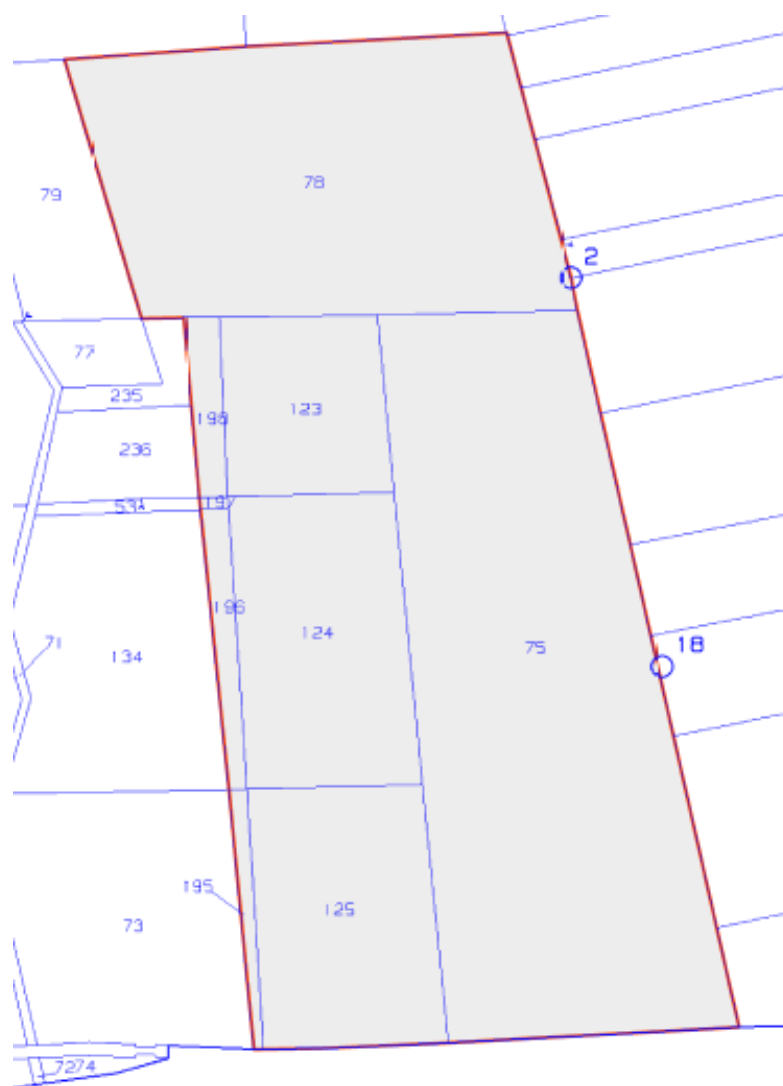


Figura 2.3: Inquadramento catastale area S5

### 3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO - GEOMORFOLOGICO

#### 3.1 GEOLOGIA

Da un punto di vista strettamente geologico gli affioramenti dell'area appartengono ad un grande complesso morfologico-strutturale, allungato per lo più in direzione appenninica (NO-SE), con carattere di bacino che ospita terreni prevalentemente clastici d'età plio-quadernaria ed è solcato dai torrenti e dai fiumi più importanti della Puglia nord-orientale. Dall'alto verso il basso stratigrafico, l'intera area è ricoperta sopra da depositi quadernari, in prevalenza di facies alluvionale. Tra questi prevale argilla più o meno marnosa, di probabile origine lagunare, ricoperta a luoghi da lenti di conglomerati e da straterelli di calcare evaporitico (crosta). Al di sotto si rinviene in generale un deposito clastico sabbioso-ghiaioso a cui fa da basamento impermeabile il complesso delle argille azzurre pliocenico-calabriere che costituisce il ciclo sedimentario più recente delle argille subappennine.

Il substrato profondo è costituito da una potente successione calcareo-dolomitica su cui poggia l'argilla con ripetute e irregolari alternanze di livelli sabbiosi e ghiaiosi.

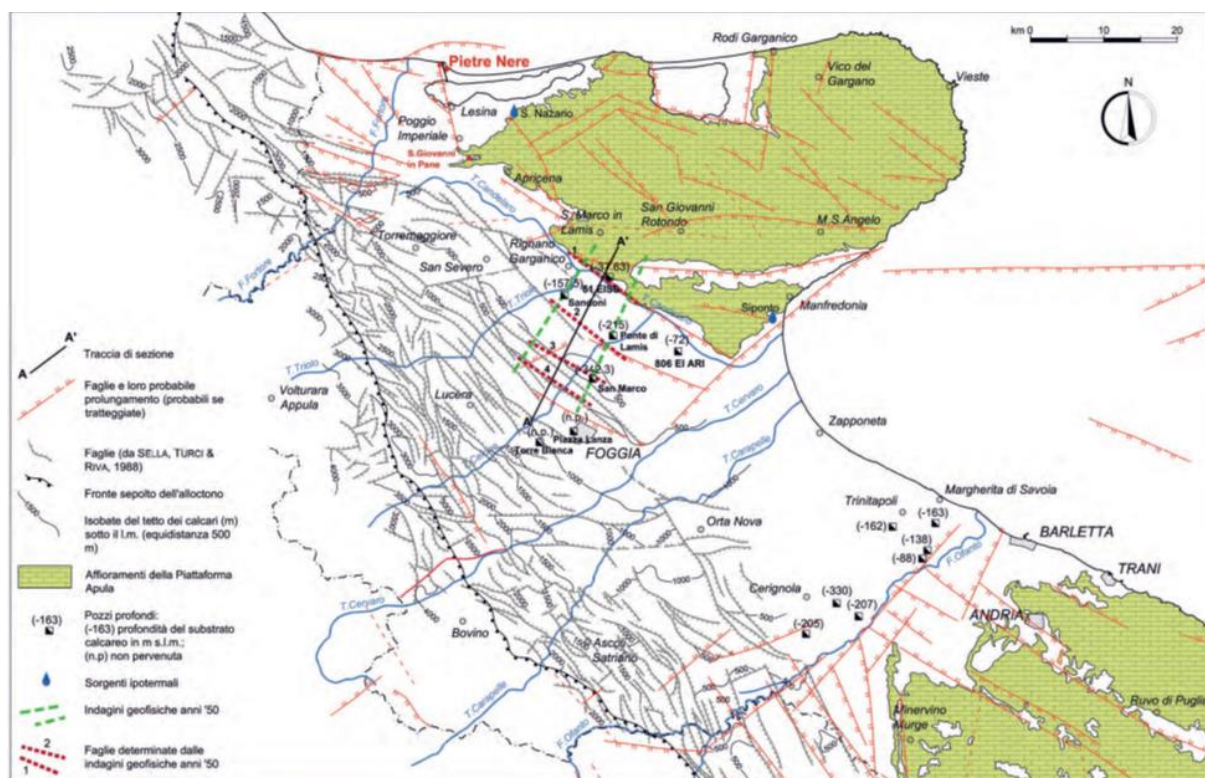


Figura 3.1: Lineamenti strutturali del Gargano e del Tavoliere con indicazione dei risultati delle indagini geognostiche e geofisiche condotte nella prima metà del secolo scorso. Indicazione dei pozzi profondi ubicati in destra Ofanto, delle sorgenti ipotermali e della Punta delle Pietre Nere sita lungo il litorale del lago di Lesina

Il motivo geologico strutturale più evidente è rappresentato da linee tettoniche con direzione NNO-SSE e NE-SO e in tale direzione si sviluppano anche gli assi di ampie strutture plicative in un regime compressivo, individuate fin dal Miocene medio. Queste hanno determinato strutture geologiche complesse con rapporti di sovrapposizione e contatti (stratigrafici e/o tettonici) diversi e variabili da zona a zona. Le fasi tettoniche successive non hanno modificato sostanzialmente questi allineamenti strutturali anche se ne hanno accentuati gli effetti coinvolgendo le formazioni plioceniche, determinando sovrascorrimenti e faglie inverse e rendendo tettonici molti dei contatti tra le varie formazioni geologiche.

In base alle più recenti interpretazioni, il modello geodinamico di questa porzione di territorio può essere di contro schematizzato con la seguente evoluzione paleogeografico-strutturale:

- formazione della piattaforma carbonatica mesozoico-paleogenica (substrato profondo – Piattaforma Apula), caratterizzata da strutture horst e graben associate ad un regime distensivo;
- riattivazione della Piattaforma Apula in un regime compressivo con relativa individuazione dell'avanfossa a partire dal Miocene (Fossa Bradanica);
- riempimento di questo bacino subsidente durante il Plio-Pleistocene con la sedimentazione di depositi argillosi di mare profondo (Argille Azzurre);
- sollevamento regionale dovuto a sovrascorrimento NE vergenti, concomitante con oscillazioni glacio-eustatiche del livello del mare e conseguente importante fase di terrazzamento con depositi marini ed alluvionali nel Pleistocene-Olocene. La generale pendenza verso oriente rappresenta, probabilmente, l'originaria inclinazione della superficie di regressione del mare pleistocenico e dei depositi fluviali che su di essa si sono adagiati.

Entrando più nel dettaglio l'evoluzione strutturale generale, che caratterizza la zona del Preappennino Dauno, è sostanzialmente iniziata con la sedimentazione, nel Miocene, di una potente serie torbiditica (depositi accumulatisi in seguito a eventi gravitativi sui fondali marini) sopra il complesso basale carbonatico (substrato). Contemporaneamente alla trasgressione miocenica si determina un abbassamento dell'area con la formazione di un bacino di accumulo di depositi clastici provenienti, in prevalenza, da aree emerse limitrofe.

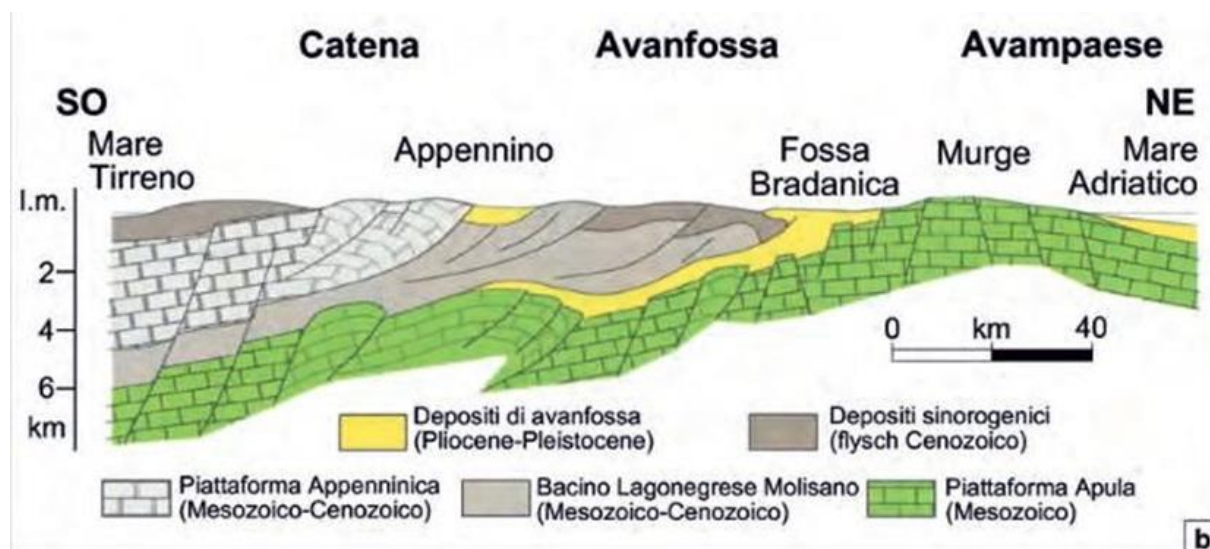


Figura 3.2: Sezione geologica schematica attraverso l'avanfossa appenninica

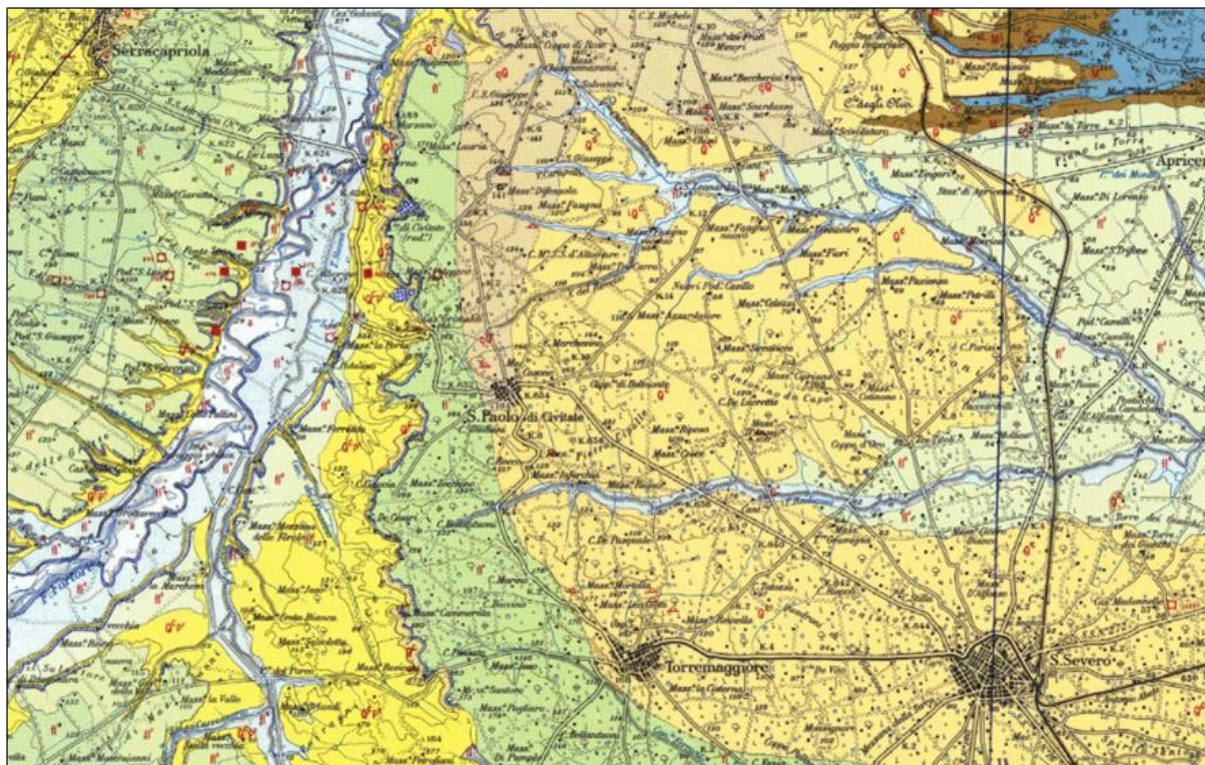
Dal Pliocene inferiore si ha un progressivo approfondimento del bacino diventando di avanfossa in seguito al sovrascorrimento delle unità appenniniche più esterne su di esso. Le geometrie tra le unità nel bacino sono tali che i depositi prevalentemente argillosi, di ambiente marino vanno a sedimentarsi al di sopra di queste unità appenniniche sovrascorse (depositi di avanfossa – Argille Azzurre).

Successivamente, nel Pliocene superiore-Olocene la regressione marina ha consentito la deposizione di materiale continentale clastico limoso – sabbioso e ghiaioso. Il sollevamento che ha causato la regressione è tuttora attivo con l'attivazione di dislocazioni tettoniche trasversali.

#### Caratterizzazione dei litotipi locali e assetto litostratigrafico

L'area in progetto ricade nel settore centrale dell'estesa piana del Tavoliere, caratterizzata da affioramenti di depositi continentali terrazzati, presenti alla quota di pochi metri al di sopra di quella degli alvei attuali e poggianti sulle formazioni argillose marine Plio-Pleistoceniche.

La formazione dei depositi continentali è legata all'ultima fase dell'evoluzione geodinamica della regione, caratterizzata dal progressivo sollevamento ed emersione di tutta l'area avvenuta a partire dal Pleistocene medio e tuttora in atto. Durante tale processo l'azione degli agenti esogeni, esercitata sulle terre già emerse, causava erosione con trasporto verso il mare in regressione dei prodotti erosi. Le concomitanti oscillazioni glacio-eustatiche del livello del mare hanno favorito la formazione dei depositi terrazzati.



*Figura 3.3: Estratto della Carta Geologica d'Italia in scala 1:100.00, foglio 155 "San Severo" - nel riquadro le aree di insediamento dell'impianto fotovoltaico*

I terreni alluvionali sono costituiti da limi sabbiosi talora argillosi con ghiaie e ciottoli poligenici ed eterometrici, talora addensati e debolmente cementati, in matrice sabbioso limosa di colore avana. Tali depositi contengono intercalazioni lentiformi di limi sabbiosi più o meno argillosi. Nella parte superficiale si rinvencono talvolta croste biancastre a lamine orizzontali, costituiti da limi sabbiosi di natura carbonatica contenenti talora elementi di ghiaia. La natura continentale del deposito alluvionale è evidenziata dalla morfologia dei ciottoli che si presentano generalmente sub-arrotondati, anche se non mancano talora quelli appiattiti ad indicare un parziale rimaneggiamento ad opera del moto ondoso del mare in regressione.

Questi depositi alluvionali, che nel foglio n° 396 "S. Severo" della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000 (Servizio Geologico d'Italia e Progetto CARG) vengono attribuiti al "Sintema di Motta del Lupo", sono datati Pleistocene Superiore ed hanno uno spessore massimo di 30 m circa. Tale spessore è legato all'andamento del substrato sul quale si sono depositi ed all'azione erosiva superficiale.

Il substrato dei depositi continentali è rappresentato dalla formazione argilloso-marnosa sovraconsolidata, costituita dalle "argille grigio-azzurre subappennine" del Pleistocene inf. e dalle sottostanti argille Plioceniche, la cui potenza è dell'ordine di centinaia di metri.

Il passaggio fra i depositi alluvionali e la formazione argillosa plio-pleistocenica avviene gradatamente ed è segnato dalla presenza di sabbie limo-argillose giallastre marine di età post-calabrianica, affioranti in aree abbastanza estese a N-E e a S-E di Foggia.

### 3.2 CARATTERIZZAZIONE DEI LITOTIPI E ASSETTO LITOSTRATIGRAFICO

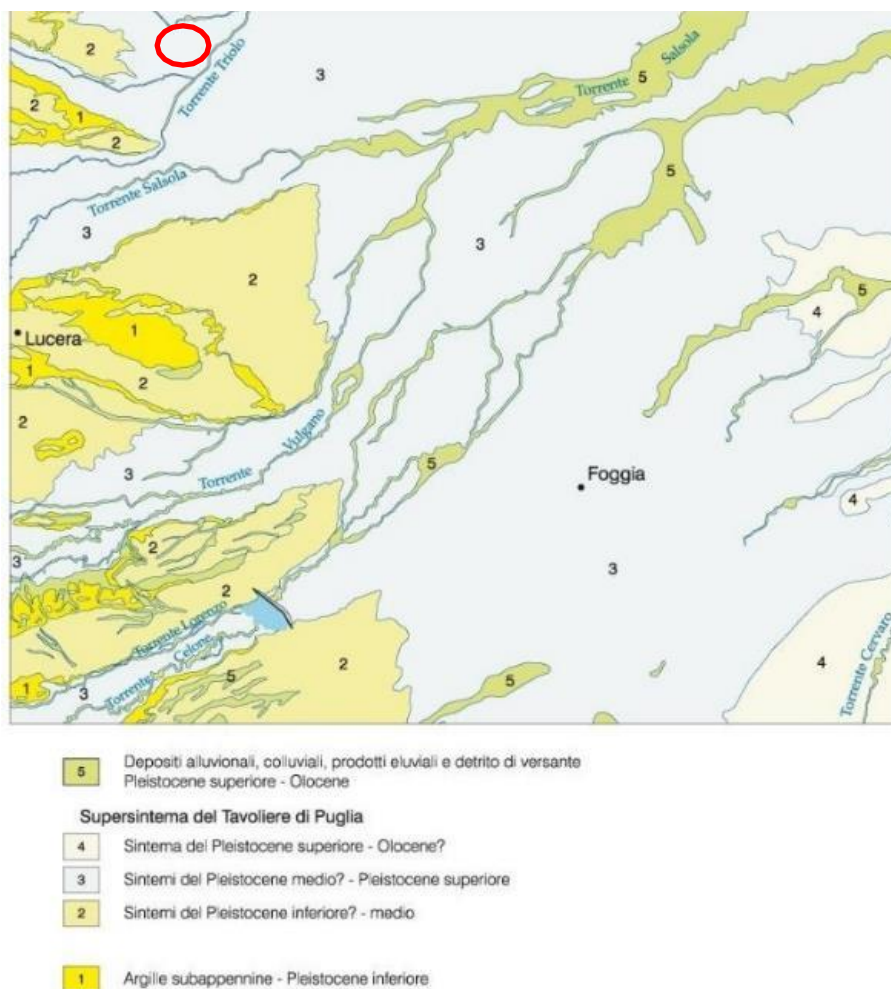


Figura 3.4: Schema stratigrafico

L'area in progetto ricade nel settore settentrionale dell'estesa piana del Tavoliere, caratterizzata da affioramenti di depositi continentali terrazzati, presenti alla quota di pochi metri al di sopra di quella degli alvei attuali e poggianti sulle formazioni argillose marine Plio-Pleistoceniche.

Questi depositi alluvionali, che nel foglio n. 396 "San Severo" della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000 (Servizio Geologico d'Italia e Progetto CARG) vengono attribuiti al "Sintema del Tavoliere di Puglia", sono datati al Pleistocene superiore ed hanno uno spessore che varia da 10 -15 m a 40 m circa. Tale spessore è legato all'andamento del substrato sul quale si sono depositi ed all'azione erosiva superficiale.

Come già descritto, dal punto di vista geologico generale il sottosuolo in esame è parte integrante dei depositi alluvionali olocenici, poggianti sui sedimenti Plio-pleistocenici, in prevalenza formati da sabbie e argille, che costituiscono i terreni affioranti alle pendici meridionali dei Monti della Daunia, ai margini sud occidentali del Tavoliere delle Puglie, nell'Appennino Meridionale. Il basamento è costituito da una potente serie di sedimenti carbonatici di età mesozoica, in prevalenza di piattaforma.

In ambito sufficientemente ampio, circoscritto al territorio in esame, la Carta Geologica d'Italia<sup>1</sup> evidenzia una potente successione terrigena di avanfossa, sormontata tettonicamente da lembi dell'Unità tettonica della Daunia. Questi ultimi sono a loro volta coperti da una successione terrigena di

<sup>1</sup> Foglio 396 "San Severo" scala 1:50.000.

avanfossa di età più recente (Pliocene superiore – Pleistocene inferiore), che viene comunemente indicata come ciclo della Fossa Bradanica.

Nello specifico si rilevano 2 formazioni ascrivibili all'Unità Quaternarie del Tavoliere di Puglia, riferibili al Pleistocene medio-superiore-Olocene.

- Unità Quaternarie del Tavoliere di Puglia
  - Supersistema del Tavoliere di Puglia (TP)
    - TGF – Sintema di Foggia
    - TLP – Sintema di Motta del Lupo

1. TGF – Sintema di Foggia – Pleistocene medio – Pleistocene superiore

Si tratta di depositi alluvionali terrazzati del V Ordine costituiti dal silt argillosi sottilmente laminati con intercalazioni di sabbie siltose gradate (depositi di piana di inondazione). Nel sottosuolo a diverse profondità si rinvencono conglomerati polienici ed eterometrici in copi di spessore variabile da circa un metro a circa 5-6 metri intercalati a silt argillosi nerastri laminati che contengono a luoghi ciottoli isolati e gasteropodi continentali.

2. TLP – Sintema di Motta del Lupo – Pleistocene superiore.

È costituito da una coltre di depositi alluvionali terrazzati del VI ordine, costituiti da sabbie fini alternate a peliti sottilmente stratificate. Sono riferibili ad aree di pianure alluvionali o ad aree di esondazione. Poggia in erosione sulle argille subappennine e sui sintemi più antichi. Lo spessore varia da pochi metri sino ad un massimo di 10 metri.

### 3.3 ASPETTI GEOMORFOLOGICI

Il territorio del Comune di Torremaggiore posto nella parte nordorientale del Tavoliere di Puglia, presenta un andamento tipicamente collinare.

La morfologia del territorio comunale è tipica della parte alta della Pianura di Capitanata, di raccordo con i Monti Dauni, con quote minime prossime a 50 metri sul livello del mare e massime di poco superiori a 200 metri. L'area di studio è ubicata a quote comprese tra 100 e 120 metri s.l.m. Buona parte del territorio comunale presenta pendenze variabili, generalmente riferibili alle piane alluvionali generate dai corsi d'acqua che lo attraversano. L'andamento della superficie topografica è pertanto interrotto dalle incisioni vallive, allungate generalmente in direzione E-O, che solcano la pianura, drenando le acque superficiali provenienti dal Subappennino. L'azione erosiva piuttosto spinta di questi corsi d'acqua ha portato ad un profondo smembramento dei terrazzi marini in corrispondenza delle quote più elevate del medio Tavoliere.

Il reticolo idrografico è caratterizzato anche da corsi d'acqua di minor intensità che si manifestano con incisioni non molto approfondite, solitamente povere d'acqua, che hanno esercitato una debole attività erosiva.

Nell'area di intervento il reticolo idrografico è caratterizzato da un corso d'acqua (canale Santa Maria) con direzione E-O che poco a Est del sito confluisce nel torrente Triolo.

## 4. DEFINIZIONE DELL'AMBIENTE CLIMATICO

Il clima è indubbiamente fra i più importanti fattori ambientali che condiziona vari elementi degli ecosistemi e, in primo luogo, la vegetazione reale e potenziale e di conseguenza l'erosione superficiale, il trasporto solido e il deflusso idrico. La definizione dell'ambiente climatico è la risultante di una serie di elementi come la ventosità, la piovosità, la temperatura, ecc. La stessa morfologia sembra costituire uno dei fattori climatici principali. Infatti, sulle terrazze più alte in inverno si avvertono gli effetti dell'esposizione ai venti di provenienza dai quadranti settentrionali generalmente freddi e carichi di umidità prelevata attraversando l'Adriatico; in questi stessi luoghi, in estate, si registrano i massimi di temperature. Altri condizionamenti vengono dalla prevalente esposizione a SE dei versanti, dalla presenza di correnti marine provenienti sottocosta dall'Adriatico settentrionale e dalla scarsa copertura arborea. Il clima determina anche i cicli di gelo e disgelo che sono, a volte, determinanti nella meccanica dei terreni.

Come tutto il Tavoliere, anche l'area in esame è soggetta ad un tipico clima mediterraneo caratterizzato da stagioni secche e calde (Primavera-Estate) alternate a stagioni fredde e umide (Autunno-Inverno). La rete di stazioni di rilevamento termo-pluviometrica della Puglia ha installato più stazioni di misura nell'intero territorio regionale. Si è pertanto fatto riferimento alla stazione di Torremaggiore che si trova in un ambito climatico simile all'area di progetto.

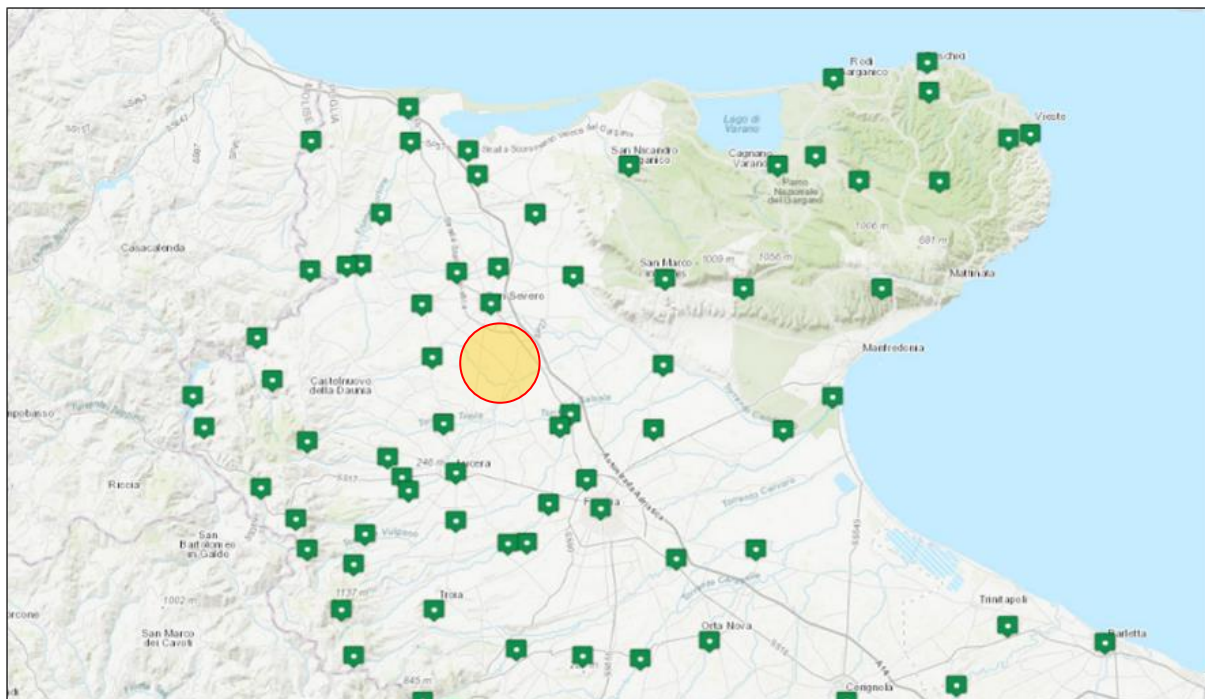


Figura 4.1: Rete in telemisura Protezione Civile Puglia - Centro funzionale decentrato

### 4.1 TEMPERATURE

Sono stati considerati i valori medi delle temperature massime, medie e minime mensili, considerando 88 anni di misurazione. I dati sono riportati nella tabella 4:1 e nella rispettiva figura 4:2.

Il valore medio della temperatura annua è di 16,8°C con valori medi minimi prossimi a 5°C registrabili nel mese di gennaio e valori medi massimi che superano 31°C rilevabili in pieno periodo estivo (luglio e agosto).

I dati analizzati mostrano, inoltre, che le temperature minime assolute non di rado scendono ben al di sotto di 0 °C, sia in pieno inverno che all'inizio della primavera (da novembre a marzo), con un valore minimi assoluti inferiori a -5°C.

Durante l'estate (giugno, luglio e agosto) sono state registrate temperature massime assolute comprese fra i 40 e i 43 °C.

Tabella 4.1: Temperature medie mensili – <http://www.protezionecivile.puglia.it/centro-funzionale/analisielaborazione-dati>

TEMPERATURE MEDIE MENSILI																											
Stazione	Anni di osservazione		MEDIE MENSILI												Medie annue												
			G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D													
Torremaggiore	2013-2020		8.2	9.8	11.4	15.0	18.5	23.6	26.4	26.5	22.1	17.4	13.3	9.5	16.8												
	Max	Min	11.6	4.8	13.6	6.0	15.6	7.2	19.9	10.2	23.4	13.6	28.8	18.5	31.6	21.2	31.6	21.4	26.7	17.5	21.5	13.3	16.8	9.8	12.9	6.2	21.1

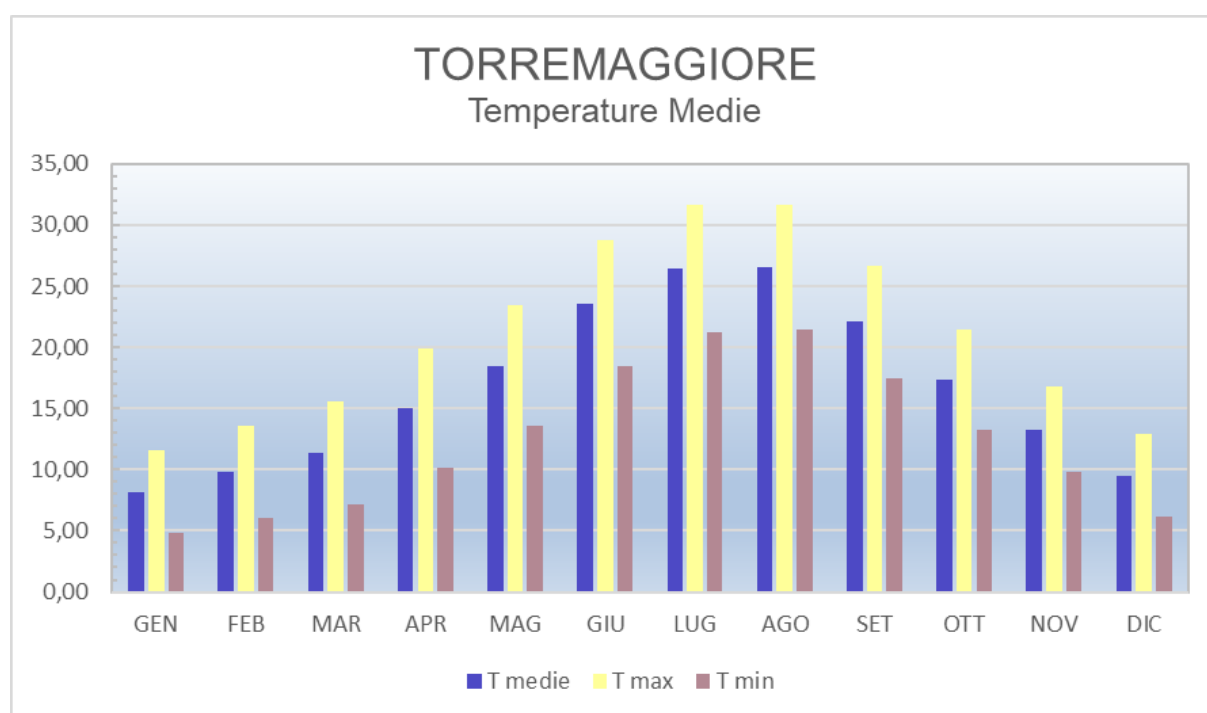


Figura 4.2: Andamento delle temperature medie mensili registrate nella stazione di Torremaggiore



## 4.2 PLUVIOMETRIA

I dati delle precipitazioni medie disponibili, forniti dal Servizio di Protezione Civile della Regione Puglia, coprono un periodo di osservazione dal 1921 al 2020.

Nella tabella 4:2 e nella relativa figura 4:3, sono riportate le medie mensili ed annuali delle precipitazioni e dei giorni piovosi relativi alla stazione di registrazione di Torremaggiore.

Tabella 4.2: Medie Mensili e annuali delle precipitazioni e dei giorni piovosi (anni di osservazione 1921-2020)

PRECIPITAZIONI MEDIE MENSILI																											
Stazione	Anni di osservazione	MEDIE MENSILI																								Medie annue	
		G		F		M		A		M		G		L		A		S		O		N		D			
Torremaggiore	1921 - 2020	55.6	8	47	7	49	7	49.5	6	39.2	5	32.5	4	21.7	3	24.1	3	56.1	6	56.9	7	66.9	8	65.1	9	561	73

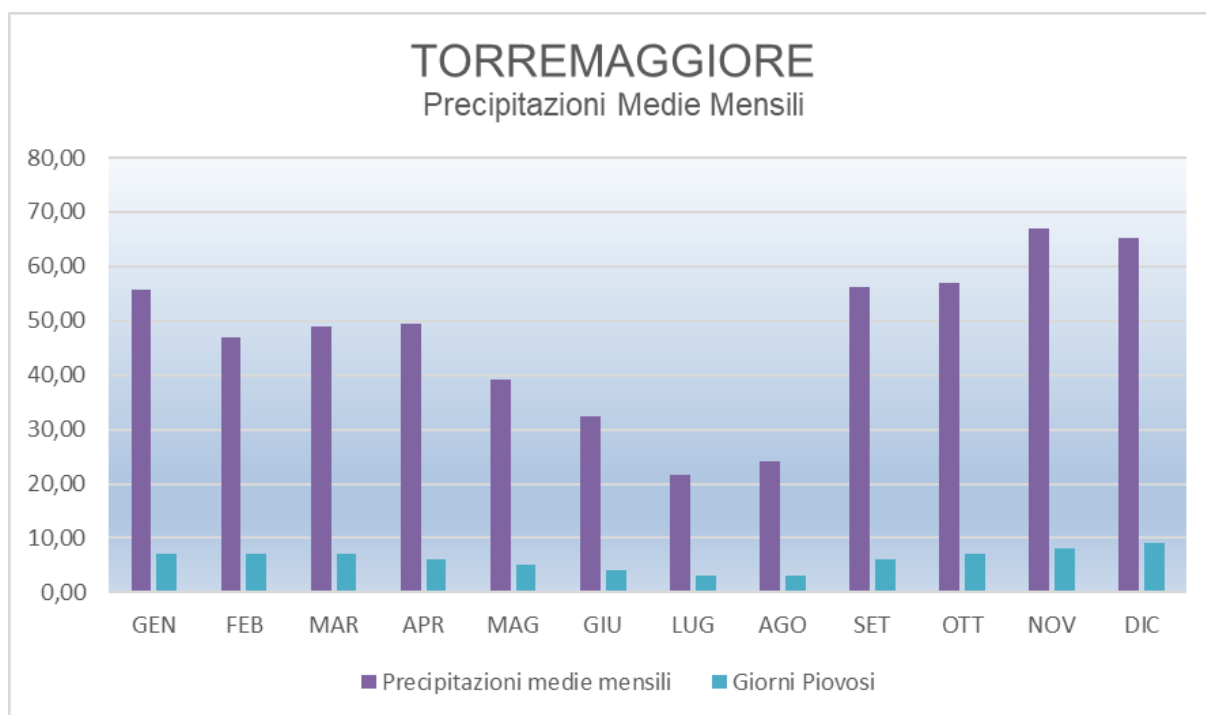


Figura 4.3: Precipitazioni medie mensili e numero dei giorni piovosi nella stazione pluviometrica di Foggia Istituto Agrario. Anno idrologico medio 1921 - 2020

## 5. INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

La situazione stratigrafica e strutturale del Tavoliere porta a riconoscere tre unità acquifere principali:

**ACQUIFERO FESSURATO CARSICO PROFONDO:** Situato in corrispondenza del substrato carbonatico pre-pliocenico del Tavoliere, esso costituisce l'unità acquifera più profonda;

**ACQUIFERO POROSO PROFONDO:** È costituito dai diversi livelli sabbiosi intercalati nella formazione pliopleistocenica delle "Argille grigio-azzurre". I livelli acquiferi sono costituiti da corpi discontinui di forma lenticolare, localizzati a profondità variabili tra i 150 m e i 3000 m dal piano campagna, il cui spessore non supera le poche decine di metri;

**ACQUIFERO POROSO SUPERFICIALE:** Corrisponde agli interstrati sabbioso-ghiaiosi dei depositi marini e continentali del Pleistocene superiore-Olocene che ricoprono con notevole continuità laterale le sottostanti argille.

Più dettagliatamente, dalle stratigrafie di numerosi pozzi per acqua realizzati in zona, si evidenzia l'esistenza di una successione di terreni sabbioso-ghiaioso-ciottolosi, permeabili ed acquiferi, intercalati da livelli limo-argillosi a minore permeabilità.

Questi, tuttavia, non costituiscono orizzonti separati ma idraulicamente interconnessi e danno luogo ad un unico sistema acquifero. In linea generale, si può affermare che i sedimenti più permeabili prevalgono nella zona di monte mentre, procedendo verso la costa, si fanno più frequenti ed aumentano di spessore le intercalazioni limoso-sabbiose che svolgono il ruolo di acquitardo.

Nell'area di studio i depositi continentali affioranti sono caratterizzati da una permeabilità primaria per porosità, molto variabile nei litotipi presenti, sia in senso orizzontale che verticale. Il coefficiente di permeabilità è compreso tra valori medi e bassi; i valori maggiori, stimati in  $10^{-2}$  -  $10^{-4}$  cm/s, sono attribuibili ai banchi sabbioso-ghiaioso-ciottolosi, mentre quelli inferiori stimati in  $10^{-4}$  -  $10^{-7}$  cm/s, si riferiscono agli intervalli limo-sabbioso-argillosi o a livelli di sabbie e ghiaie più cementate.

### 5.1 INQUADRAMENTO PIEZOMETRICO

La carta delle isopieze (Figura 5.1) dell'ISPRA aggiornata al 2003, rileva che i massimi valori del gradiente idraulico si registrano nella parte più interna, corrispondente alla zona di maggiore ricarica dell'acquifero, mentre tendono a diminuire nella parte centrale e ancor più verso la costa adriatica.

In relazione all'area di progetto, la particolare morfologia assunta dalla superficie piezometrica permette, innanzitutto, di definire una direttrice di deflusso idrico preferenziale più marcata, con direzione pressoché parallela al torrente Triolo.

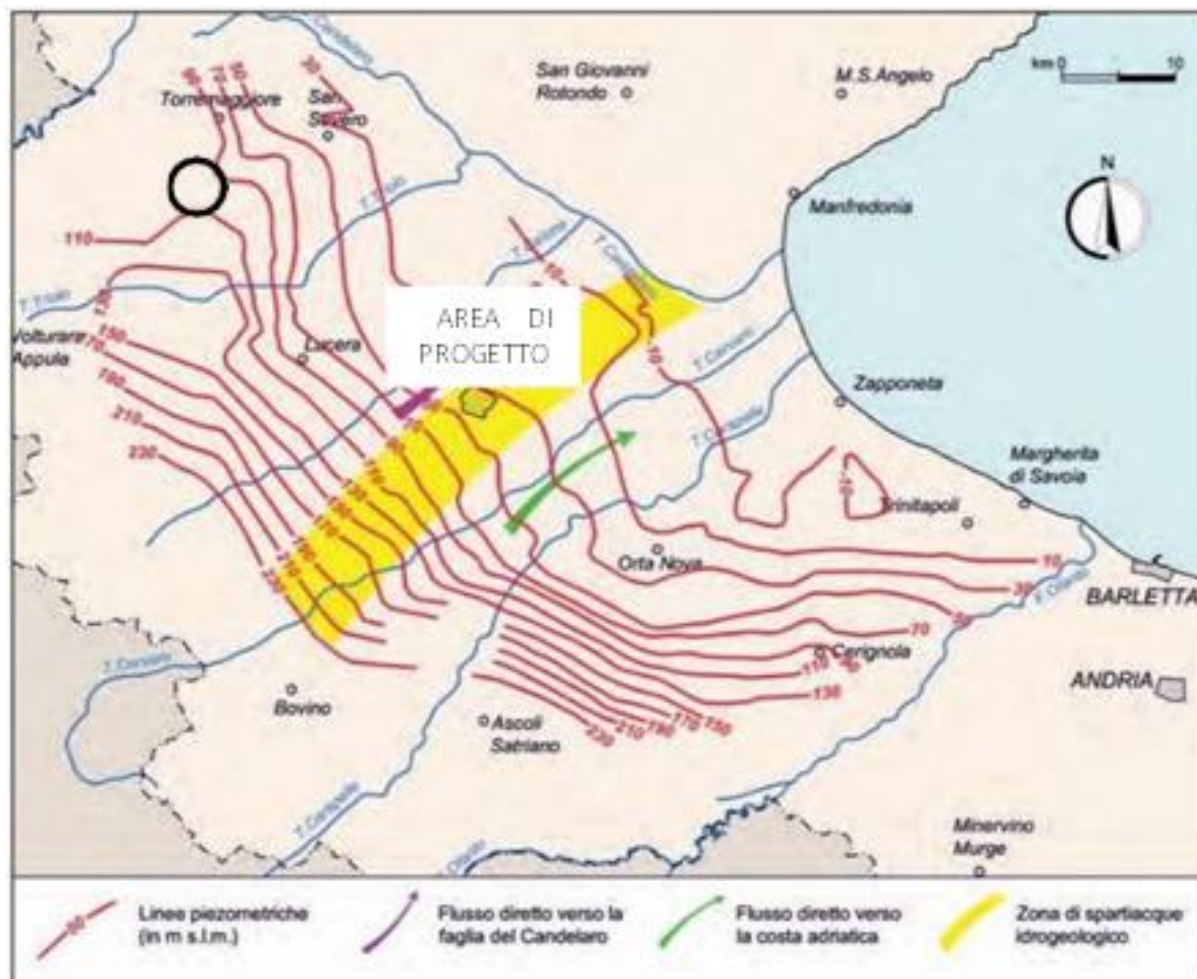


Figura 5.1: Isopieziche della falda superficiale del Tavoliere relativa all'anno 2003 con indicazione delle zone ove è ubicato lo spartiacque idrogeologico (fonte ISPRA), insieme all'area di progetto

Nell'area di studio il livello freaticometrico non è stato rilevato direttamente. Infatti durante l'indagine di superficie non sono stati rilevati pozzi per l'attingimento dell'acqua dal sottosuolo. Una ricerca condotta nella banca dati dell'ISPRA<sup>2</sup> ha messo in evidenza che nell'area di studio non sono stati censiti pozzi. Questo può essere ricondotto alla natura limo argillosa dei suoli e del sottosuolo che non permettono l'immagazzinamento di acqua<sup>3</sup>.

<sup>2</sup> [www.isprambiente.gov.it/it/banche-dati//banche-dati-folder/suolo-e-territorio/dati-geognostici-e-geofisici](http://www.isprambiente.gov.it/it/banche-dati//banche-dati-folder/suolo-e-territorio/dati-geognostici-e-geofisici).

<sup>3</sup> ALLEGATO I

## 6. INQUADRAMENTO SISMICO

Con l'introduzione dell'O.P.C.M. n. 3274 del 20 Marzo 2003 e s.m.i. sono stati rivisti i criteri per l'individuazione delle zone sismiche. Inoltre, sono state definite le nuove norme tecniche per la progettazione di nuovi edifici, di nuovi ponti, per le opere di fondazione, per le strutture di sostegno, ecc.

Nel 2003 sono stati emanati i criteri di nuova classificazione sismica del territorio nazionale, basati Sugli studi e le elaborazioni più recenti relative alla pericolosità sismica del territorio, ossia sull'analisi della probabilità che il territorio venga interessato in un certo intervallo di tempo (generalmente 50 anni) da un evento che superi una determinata soglia di intensità o magnitudo.

A tal fine è stata pubblicata l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003, sulla Gazzetta Ufficiale n. 105 dell'8 maggio 2003.

Il provvedimento detta i principi generali sulla base dei quali le Regioni, a cui lo Stato ha delegato l'adozione della classificazione sismica del territorio (Decreto Legislativo n. 112 del 1998 e Decreto del Presidente della Repubblica n. 380 del 2001 - "Testo Unico delle Norme per l'Edilizia"), hanno compilato l'elenco dei comuni con la relativa attribuzione ad una delle quattro zone, a pericolosità decrescente, nelle quali è stato riclassificato il territorio nazionale.

*Tabella 6.1: Zone a pericolosità sismica*

ZONE A PERICOLOSITÀ SISMICA	
Zona	Definizione
1	È la zona più pericolosa, dove possono verificarsi forti terremoti
2	Nei comuni inseriti in questa zona possono verificarsi terremoti abbastanza forti
3	I comuni inseriti in questa zona possono essere soggetti a scuotimenti modesti
4	È la zona meno pericolosa

Di fatto, viene eliminato il territorio "non classificato", che diviene zona 4, nel quale è facoltà delle Regioni prescrivere l'obbligo della progettazione antisismica. A ciascuna zona, inoltre, viene attribuito un valore dell'azione sismica utile per la progettazione, espresso in termini di accelerazione massima su roccia (zona 1=0.35; zona 2=0.25 g; zona 3=0.15 g; zona 4=0.05 g).

Il nuovo studio di pericolosità, allegato all'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3519 del 28 aprile 2006, ha fornito 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.

*Tabella 6.2: Suddivisione in zone sismiche in relazione all'accelerazione di picco su terreno rigido (OPCM 3519/06)*

SUDDIVISIONE DELLE ZONE SISMICHE	
Zona sismica	Accelerazione con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni (ag)
1	ag >0.25
2	0.15 <ag≤ 0.25
3	0.05 <ag≤ 0.15
4	ag ≤ 0.05

La Regione Puglia, con D.G.R. n. 153 dell'02/03/2004, ha provveduto all'aggiornamento della classificazione sismica dei Comuni della Puglia.

Dalla nuova classificazione regionale si rileva che il Comune di Torremaggiore rientra in zona 2 che significa, secondo la più recente normativa regionale un valore dell'azione sismica utile per la progettazione, espresso in termini di accelerazione massima ( $a_g \max$ ) compreso tra 0,15 e 0,25.

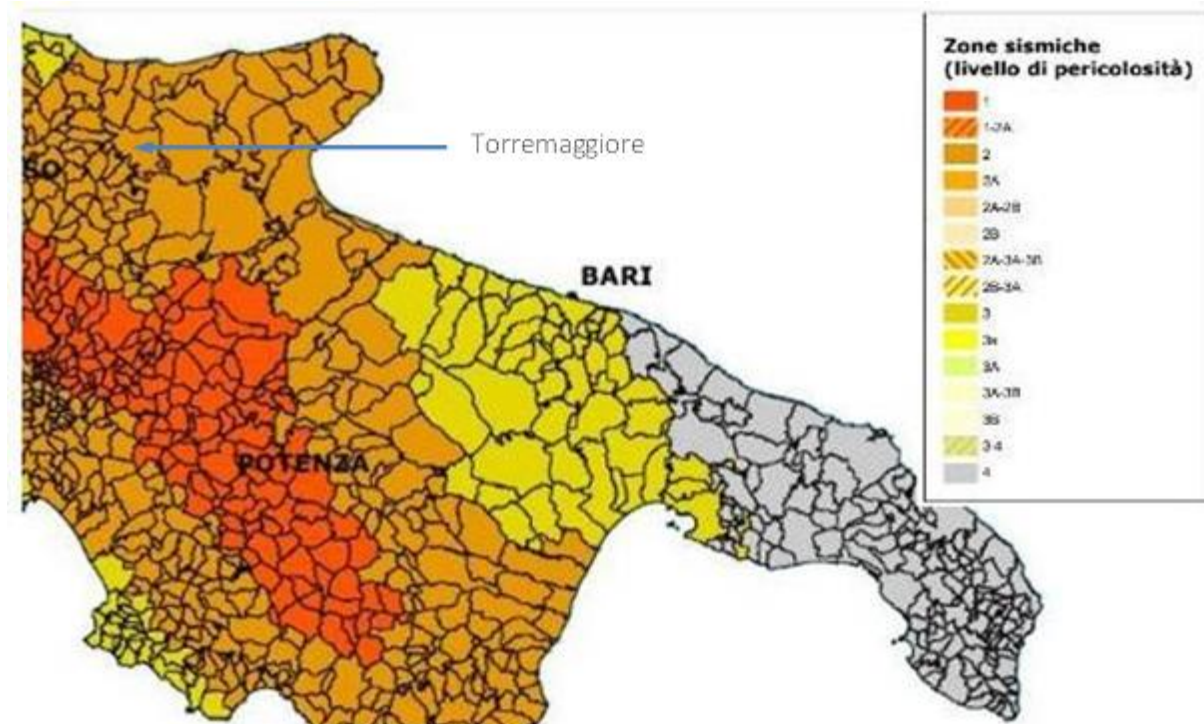


Figura 6.1: Classificazione sismica del gennaio 2019

Per quanto riguarda i rischi correlati all'attività sismica, l'intero territorio è stato interessato da numerosi eventi sismici ed è compreso tra due regioni ad alto rischio: l'Appennino meridionale e il Promontorio del Gargano che sono notoriamente aree sismogenetiche attive a causa della particolare configurazione strutturale (con forti disturbi imputabili a numerose faglie), che nel corso degli anni sono state interessate da energia sismica intensa, con magnitudo  $M \geq 4.0$  (Figura 6.1).



Figura 6.2: carta della pericolosità sismica della Puglia

I dati a disposizione indicano che gli epicentri della maggior parte dei terremoti si localizzano nel settore alto del tavoliere, in zona garganica e appenninica (Irpinia). Tali eventi, in gran parte distruttivi nelle immediate vicinanze degli epicentri, hanno avuto influenza e continueranno ad agire in maniera tangibile sul Territorio in esame (Figura 6.3).

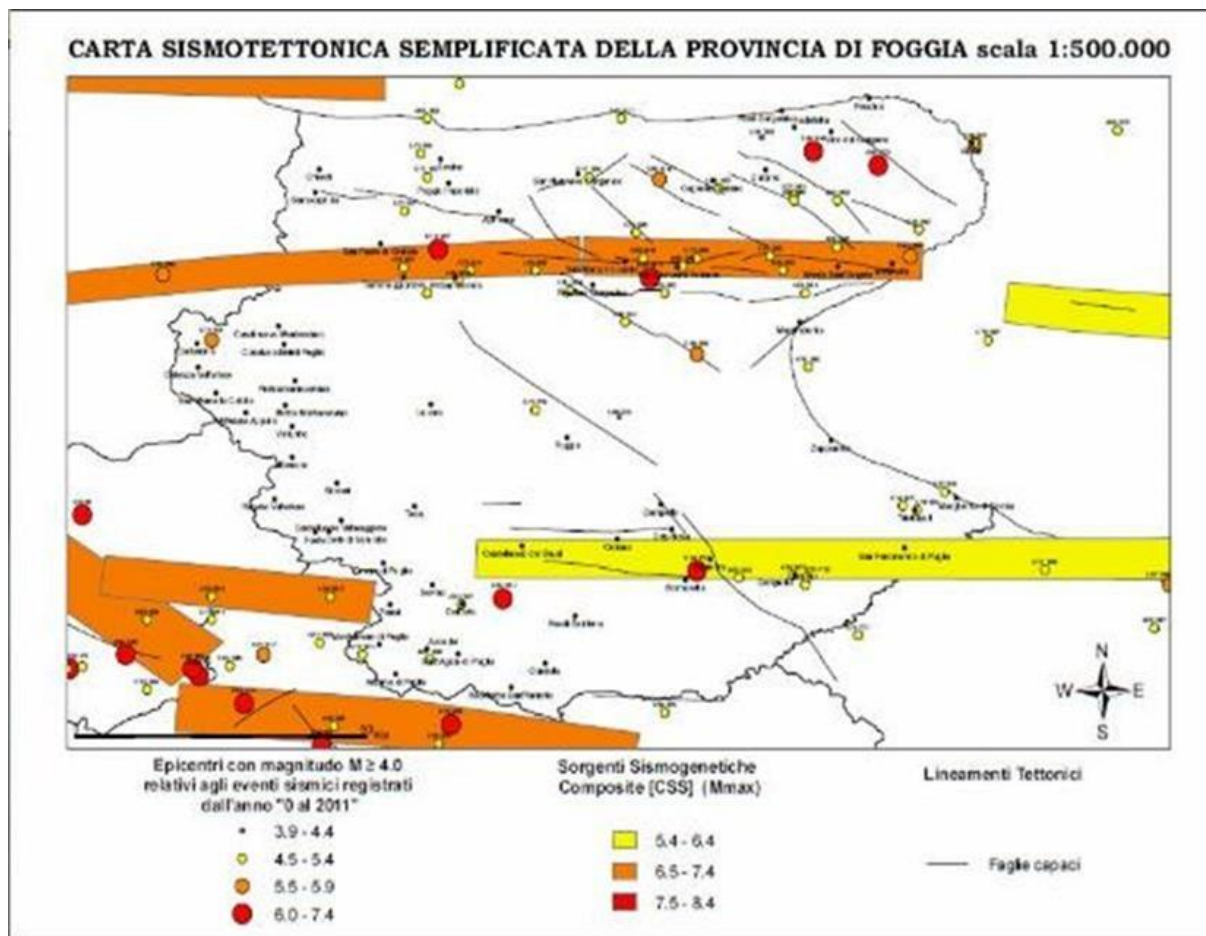


Figura 6.3: Carta sismotettonica della Provincia di Foggia

L'energia sismica generata negli ipocentri dell'Appennino meridionale (e del Gargano) è trasmessa, attenuata dalla distanza, per mezzo del basamento calcareo mesozoico posto alla profondità di parecchie centinaia di metri sotto all'area in esame.

È evidente che le sollecitazioni sismiche, passando alla sovrastante formazione argillosa plio-pleistocenica di grande potenza, con rigidità sismica inferiore, subiscono amplificazioni che possono ritenersi (grosso modo) uniformi nel sottosuolo dell'intera pianura foggiana fino al tetto delle argille grigio-azzurre.

L'altro decremento di rigidità sismica dovuta al passaggio dalle argille ai sovrastanti depositi sabbiosi, con presenza di falda acquifera, genera nell'onda che proviene dal bed-rock modificazioni negli spettri di accelerazione del terreno, con attenuazione delle frequenze più elevate ed amplificazione.

La caratterizzazione sismica delle principali unità litotecniche che costituiscono il territorio (categoria di sottosuolo, dell'azione sismica di progetto, D.M. 17.01.2018) è stata determinata facendo riferimento ai numerosi dati a disposizione ottenuti da indagini pregresse.

Per eseguire un'analisi di pericolosità sismica di un'area è necessario acquisire studi mirati a individuare le caratteristiche spaziali, temporali ed energetiche dell'attività sismica.

L'area in studio si localizza tra il fronte della catena appenninica e la Pianura di Capitanata. La sismicità registrata nell'ultimo secolo sembrerebbe alquanto limitata, ma qualora si vada a esaminare l'intero catalogo CPTI 04 (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia), si evince che l'area è stata interessata da molti eventi sismici particolarmente intensi.

## 7. PIANIFICAZIONE ED ESECUZIONE DELLE INDAGINI GEOGNOSTICHE

L'area è stata già investigata a più riprese, in relazione a diversi interventi eseguiti nell'intero comprensorio, con la realizzazione di sondaggi geognostici a carotaggio continuo, con esecuzione di indagini geofisiche e prove penetrometriche dinamiche. Partendo dalle conoscenze pregresse e dopo un rilievo di superficie è stata pianificata una campagna di indagini che ha previsto l'esecuzione di prospezioni come di seguito elencate.

- n. 3 prospezioni sismiche superficiali con tecnica MASW (Multi-channel Analysis of Surface Waves);
- n. 3 prospezioni sismiche a rifrazione;
- n. 6 prove penetrometriche dinamiche.

### 7.1 INDAGINE SISMICA – METODOLOGIE DI INDAGINI ADOTTATE

La prospezione MASW è stata eseguita in accordo alle Norme Tecniche per le Costruzioni del D. M. 17 gennaio 2018. Queste, in buona misura, fanno risalire la stima dell'effetto di sito alle caratteristiche del profilo di velocità delle onde di taglio (VS).

Inoltre, con l'indagine sismica a rifrazione è stato possibile determinare le caratteristiche dinamiche del sottosuolo nelle prime decine di metri con l'individuazione delle principali unità geofisiche e delle relative proprietà meccaniche elastiche, quali velocità delle onde longitudinali P ( $V_p$ ), velocità delle onde trasversali S ( $V_s$ ) ed i relativi parametri elastici ( $E$ ,  $G$ ,  $K$  e  $\nu$ )<sup>4</sup>.

L'ubicazione degli stendimenti sismici è stata accuratamente valutato in campagna, per fornire indicazioni utili sulle successioni litostratigrafiche e ricoprire l'intera area interessata dal Parco Fotovoltaico. Di seguito metodologia d'indagine geofisica, di cui vengono evidenziati brevemente i fondamenti teorici.

#### Prospezione sismica di tipo MASW

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 dall'espressione:

$$V_{s30} = \frac{H}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_i}}$$

Dove

$h_i$  = spessore dello strato  $i$ esimo;

$V_{si}$  = velocità delle onde di taglio nell' $i$ esimo strato;

$N$  = numero di strati;

$H$  = profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da  $V_s$  non inferiore a 800 m/sec<sup>5</sup>.

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  $VS30$ , ottenuto ponendo  $H=30$  m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Questo parametro può essere determinato attraverso indagini indirette ed in particolar modo tramite l'analisi delle onde di Rayleigh, ossia onde di superficie generate dall'interazione tra onde di pressione

---

<sup>4</sup> Allegato IV

<sup>5</sup> 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.



(P) e le onde di taglio verticali (Sv) ogni qualvolta esiste una superficie libera in un mezzo omogeneo ed isotropo.

In presenza di un semispazio non omogeneo la velocità dipende dalla frequenza, che provoca dispersione dell'energia trasportata dalle onde stesse, vale a dire che la deformazione del treno di onde nel sottosuolo è dovuta ad una variazione di velocità di propagazione al variare della frequenza; per le onde di Rayleigh questa deformazione non si manifesta all'interno di un semispazio omogeneo e isotropo ma solo quando questi presenta delle discontinuità come può essere una stratificazione.

Nelle nuove metodologie d'indagine sismica del sottosuolo si valutano le onde di superficie in quanto la percentuale di energia convertita è di gran lunga superiore rispetto alle onde P ed S; inoltre l'ampiezza di queste onde dipende da  $r$  anziché da  $r$  (distanza dalla sorgente in superficie) come per le onde di volume.

La propagazione delle onde di Rayleigh, sebbene influenzata dalla  $V_p$  e dalla densità, è funzione anzitutto della  $V_s$ , che rappresenta un parametro di fondamentale importanza nella caratterizzazione geotecnica di un sito.

L'analisi delle onde S, operata con tecnica MASW, viene eseguita con la trattazione spettrale del sismogramma, che, a seguito di una trasformata di Fourier, restituisce lo spettro del segnale. In questo dominio è possibile separare il segnale relativo alle onde S da altri tipi di segnale, come onde P, propagazione in aria ecc.

Osservando lo spettro di frequenza è possibile evidenziare che l'onda S si propaga a velocità variabile a seconda della sua frequenza, come risultato del fenomeno della dispersione.

La metodologia MASW risulta particolarmente indicata in ambienti con spazature limitate e, a differenza della sismica a rifrazione, consente di individuare la presenza di inversioni di velocità con la profondità, associabili alla presenza di strati "lenti" al di sotto del bedrock. Tuttavia, un limite di questa metodologia è che esso risente particolarmente del principio di indeterminazione e, fornendo un modello mono-dimensionale del sottosuolo, rende necessaria l'applicazione di altre metodologie d'indagine per fornire un modello geofisico-geologico più attendibile.

#### Prospezione sismica a rifrazione

La prospezione sismica a rifrazione prende in considerazione i tempi di propagazione delle onde elastiche che, generate al suolo, si diffondono nel semispazio riflettendosi e rifrangendosi su eventuali superfici di discontinuità presenti.

Quando un'onda sismica incontra una superficie di separazione tra due mezzi con caratteristiche elastiche differenti, una parte dell'energia dell'onda si riflette nello stesso mezzo in cui si propaga l'onda incidente, e una parte si rifrange nel mezzo sottostante.

Le relazioni matematiche dei principi fisici della riflessione e rifrazione sono regolate dalle note leggi di Snell. La condizione necessaria per la riflessione e la rifrazione di un'onda sismica è la variazione del parametro impedenza sismica fra i 2 mezzi separati dalla superficie di discontinuità. L'impedenza sismica si determina attraverso il prodotto tra la velocità di propagazione dell'onda nel mezzo e la densità del materiale attraversato.

Ogni litotipo è caratterizzato dalla capacità di lasciarsi attraversare dalle onde elastiche con determinata velocità, questa è definita sperimentalmente attraverso prove di laboratorio o in situ. La velocità di propagazione delle onde sismiche nelle rocce dipende essenzialmente dai parametri elastici che sono influenzati, a loro volta, da numerosi fattori quali, ad esempio, la densità, la porosità, la tessitura, il grado di alterazione e/o di fratturazione, la composizione mineralogica, il contenuto di fluidi, la pressione ed altro.

Questi parametri rendono piuttosto ampio il campo di variabilità della velocità per uno stesso litotipo. Per questo motivo, non sempre un orizzonte individuato con metodologie sismiche coincide con un orizzonte litologico.

Un impulso generato da una sorgente sismica in superficie genera un treno d'onde sismiche di varia natura; in fase di acquisizione e di elaborazione è possibile analizzare onde sismiche di volume o di superficie, a seconda delle modalità con cui esse si propagano nel sottosuolo.

In funzione del tipo di analisi delle onde sismiche investigate, è possibile distinguere fra la metodologia d'indagine sismica a rifrazione (analisi di onde di volume) e di tipo MASW (analisi di onde di superficie).

Disponendo un certo numero di sensori (geofoni) sul terreno lungo uno stendimento sismico e osservando il tempo di percorrenza delle onde per giungere ai sensori, è possibile determinare la velocità di propagazione delle onde sismiche che attraversano i vari strati nel sottosuolo, consentendo una ricostruzione attendibile delle sue caratteristiche elastico-dinamiche.

Al fine di una corretta interpretazione dei risultati dell'indagine sismica è importante sottolineare che:

- i sismostrati non sono necessariamente associabili a litotipi ben definiti, ma sono rappresentativi di livelli con simili caratteristiche elastiche, in cui le onde sismiche si propagano con la stessa velocità;
- la risoluzione del metodo è funzione della profondità di indagine e la risoluzione diminuisce con la profondità: considerato uno strato di spessore  $h$  ubicato a profondità  $z$  dal piano campagna, in generale non è possibile individuare sismostrati in cui  $h < 0,25 * z$ ;
- nelle indagini superficiali, le onde di taglio (onde S), meno veloci, arrivano in un tempo successivo, per cui il segnale registrato sarà la risultante delle onde S con le onde P; quindi la lettura dei tempi di arrivo delle onde S può risultare meno precisa della lettura dei tempi di arrivo delle onde P;
- le velocità delle onde p, misurate in terreni saturi o molto umidi dipende, talora in maniera decisiva, dalle vibrazioni trasmesse dall'acqua interstiziale e non dallo scheletro solido del materiale, perciò tale valore può non essere rappresentativo delle proprietà meccaniche del materiale in questione. Ne consegue che per alcuni terreni al di sotto della falda, le uniche onde in grado di fornire informazioni precise sulla rigidezza del terreno sono quelle di taglio.

## **7.2 MODALITÀ DI ESECUZIONE DEI RILIEVI: ATTIVITÀ DI CAMPO**

### Indagine sismica di tipo MASW

Le prospezioni geofisiche sono state eseguite con strumentazione Combinata PASI mod. 16SG24 (sismica 24 canali + tomografia elettrica 32 elettrodi).

La tecnica MASW prevede l'utilizzo di una sorgente attiva per l'energizzazione (massa battente di peso pari a 8 Kg) e la registrazione simultanea di 12 o più canali, utilizzando geofoni a bassa frequenza. L'esigenza di analizzare con elevato dettaglio basse frequenze (tipicamente anche al di sotto dei 20 Hz e corrispondenti a maggiori profondità d'investigazione) richiede la necessità di utilizzare geofoni ad asse verticale con frequenza di taglio non superiore a 4,5 Hz.

Per il profilo MASW eseguito è stata adottata la seguente configurazione:

- lunghezza stendimento = 16,50 m;
- numero geofoni = 12;
- Spaziatura = 1,50 m;
- offset di scoppio = 3,00 metri;
- durata dell'acquisizione = 1 secondo;
- tempo di campionamento = 1 millisecondo.

Per energizzare il terreno è stata usata una sorgente impulsiva del tipo "mazza battente" del peso di 8 Kg, ad impatto verticale su piastra per la generazione delle onde elastiche.

Contrariamente a quanto richiesto nell'indagine sismica a rifrazione, il segnale sismico acquisito nella tecnica MASW deve includere tutto il treno d'onda superficiale; pertanto la durata dell'acquisizione deve essere definita in modo da contenere tutto il segnale e non troncato nelle ultime tracce. Inoltre, lo stesso segnale viene acquisito senza applicazione di filtri e incrementi del segnale.

#### Indagine sismica a rifrazione

L'indagine sismica a rifrazione è consistita nell'esecuzione di n. 01 profilo con acquisizione di onde longitudinali (P), avente la seguente configurazione:

- lunghezza stendimento = 44,00 m;
- numero geofoni = 12;
- Spaziatura = 4,00 m;
- End Shot A = 0,00 metri;
- Central Shot E = 24,00 metri;
- End Shot B = 48,00 metri;
- durata dell'acquisizione = 128 msec;
- tempo di campionamento = 250  $\mu$ sec;
- Frequenza geofoni = 10.00 Hz;
- Sistema di energizzazione = "massa battente".

### **7.3 RISULTATI INDAGINE GEOSISMICA**

La topografia della superficie del sito investigato è perfettamente pianeggiante e quindi non è stato necessario correggere le quote di acquisizione. Il rumore ambientale rilevato è stato assolutamente trascurabile e riferito alle normali attività di lavorazione dei campi limitrofi. Per tutte le stese si è utilizzato un sistema di riferimento relativo, la cui origine è posta in corrispondenza dell'endshot esterno al 1° geofono sia per l'indagine sismica a rifrazione e sia per l'indagine MASW.

#### **7.3.1 Elaborazione dell'indagine sismica di tipo MASW**

L'elaborazione è stata sviluppata in due fasi:

1. determinazione della curva di dispersione e la valutazione dello spettro di velocità;
2. inversione della curva di dispersione interpretata con picking della curva di dispersione, vale a dire che sono stati selezionati i punti che appartengono ad un certo modo di propagazione dell'onda superficiale con successiva applicazione di algoritmi genetici.

La sovrapposizione della curva teorica e sperimentale fornisce un parametro abbastanza indicativo sull'attendibilità del modello geofisico risultante.

Per l'inversione dei dati sperimentali è stato utilizzato il software WinMasw 4.0 della Eliosoft.

Dall'esame dei profili sismici si mette in evidenza una sostanziale omogeneità della successione litologica, pur osservando variazione degli spessori delle singole unità litostratigrafiche che possono essere messe in relazione alle modalità di sedimentazione e alle diverse lavorazioni agricole.

In particolare emerge, abbastanza chiaramente, un modello costituito da 7 unità sismostratigrafiche e un valore di  $V_{s,eq}$  misurato in 277 m/sec.

#### **7.3.2 Elaborazione dell'indagine sismica a rifrazione**

L'indagine MASW risente particolarmente del problema della non univocità del modello geofisico rispetto ai dati sperimentali ed è principalmente finalizzata alla determinazione del parametro  $V_{s,eq}$ .

più che alla ricostruzione sismostratigrafica del sottosuolo. Pertanto, è stato eseguito uno stendimento sismico con la tecnica della rifrazione che ha permesso, unitamente a informazioni dirette di carattere geologico, geotecnico e idrogeologico, di ricostruire un modello geomeccanico ben definito.

Dai sismogrammi sperimentali sono stati letti i tempi di arrivo dei "first-break" attraverso l'utilizzo del software SISMOPC per la costruzione delle relative dromocrone (diagrammi tempo-distanza), mostrate in allegato.

L'interpretazione delle dromocrone, anche questa eseguita con l'ausilio di processi computerizzati, è stata effettuata attraverso il software INTERSISM della Geo&Soft, utilizzando come tecnica di interpretazione il Metodo GRM.

In allegato sono riportate le sezioni sismostratigrafiche interpretative, ottenute, scegliendo dei modelli a 3 strati, dove vengono indicate con SnA – SnB, rispettivamente le progressive iniziali e finali delle stese.

## 7.4 INDAGINE PENETROMETRICA

La prova penetrometrica dinamica consiste nell'infiggere 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 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  $\alpha$ );
- avanzamento (penetrazione) S;
- presenza o meno del rivestimento esterno (fanghi bentonitici).

Con riferimento alla classificazione ISSMFE (1988) dei diversi tipi di penetrometri dinamici (Tabella 3) si rileva una prima suddivisione in quattro classi (in base al peso M della massa battente):

Tabella 7.1: Classificazione ISSMFE dei penetrometri dinamici

TIPO	SIGLA DI RIFERIMENTO	PESO DELLA MASSA BATTENTE	PRPF. MAX. DI INDAGINE
Leggero	DPL	$M \leq 10$	8 m.
Medio	DPM	$10 \leq M \leq 60$	20 ÷ 25 m.
Pesante	DPH	$40 \leq M \leq 60$	25 m.
Super Pesante	DPSH	$M \geq 60$	25 m.

Il penetrometro in uso nel corso dell'indagine PENNI 30 COMPAC, ha le seguenti caratteristiche:

- altezza di caduta  $H = 0.20$  m;
- avanzamento  $\delta = 10$  cm;
- punta conica ( $\alpha = 60-90^\circ$ );
- diametro  $D = 35.7$  mm;
- area base cono  $A = 10$  cm<sup>2</sup>

#### Correlazione con $N_{SPT}$

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

$$NSPT = (\beta_t N)$$

Dove:

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

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

Le prove penetrometriche eseguite hanno ricoperto l'intera area interessata dalla proposta progettuale, per quanto possibile, sovrapponendole alle linee degli stendimenti geofisici.

Tutte le prove eseguite sono state ripetute in adiacenza, a distanza di circa 1 metro in quanto, per la presenza a diverse profondità di elementi lapidei anche di grosse dimensioni, il rifiuto all'avanzamento della punta interveniva a profondità non compatibili con il quadro geolitologico d'insieme.

In appendice sono riportate le valutazioni statistiche e le correlazioni che permettono l'utilizzazione delle prove penetrometriche.

Dall'esame delle prove si è potuto sintetizzare un modello costituito da tre diverse unità litotecniche.

Delle tre prove una è stata eseguita in prossimità dello stendimento sismico e le restanti in corrispondenza della stazione di consegna.

Delle tre prove una è stata eseguita in prossimità dello stendimento sismico e le restanti in corrispondenza della stazione di consegna.

Tabella 7.2: Correlazioni con prove penetrometriche

UNITÀ LITOTECNICA	SPESSORE	PROFONDITÀ	PESO DI VOLUME	$N_{SPT}$	ANGOLO DI ATTRITO
	(metri)	(metri)	[Kg/m <sup>3</sup> ]		(°)
Coltre superficiale	1,80	1,80	1715	3	28
Limo sabbioso	6,20	8,00	1956	20	30
Limo sabbioso con argilla	> 8,50	>16,50	1999	22	33

## 8. SUCCESSIONE LITOSTRATIGRAFICA

Le esposizioni naturali e i tagli di origine antropica in corrispondenza di piccole sezioni occasionali, osservati in vari luoghi del comprensorio, unitamente ai sondaggi eseguiti nell'intera area hanno evidenziato la presenza di una sequenza di sabbie fini, talora limose, con intercalate lenti di ghiaia e ciottoli subarrotondati, poligenici, eterometrici, in matrice sabbiosa, medio-fine, localmente limosa, di colore beige. Queste lenti sono tendenzialmente non cementate. Poco frequenti sono sottili livelli, di spessore contenuto, di argilla o di arenaria.

L'analisi delle stratigrafie, ottenute dai pozzetti geognostici, dai sondaggi meccanici e dall'indagine sismica consente di definire che i terreni in esame, nella loro variabilità granulometrica e nei rapporti geometrici verticali tra i vari strati, pur nella loro eterogenietà, mostrano una sostanziale uniformità che permette di inquadrarli in unità litotecniche dalle caratteristiche geotecniche definite.

### 8.1 INDIVIDUAZIONE DELLE UNITÀ LITOTECNICHE

L'analisi delle indagini pregresse e la conoscenza diretta dei luoghi ha permesso la ricostruzione dettagliata e il locale assetto litostratigrafico, con l'identificazione e la caratterizzazione dei principali orizzonti litologici caratteristici del substrato dell'area d'intervento e definendo, per ognuno di essi, le caratteristiche litotecniche peculiari indispensabili per una corretta progettazione geotecnica e strutturale delle opere che si vogliono realizzare consolidando alla base quanto già edificato.

Da quanto emerso nel corso delle indagini geognostiche è stato possibile individuare, nell'ambito della successione stratigrafica, diverse unità litotecniche omogenee per litologia e geotecnica.

#### Unità Litotecnica "A"

Si tratta di suoli di copertura, di natura prevalentemente limo-sabbiosa con argilla nerastro, arricchito di sostanza organica. È considerato un suolo coesivo da molle a mediamente consistente. A questo si associa anche il sottostante livello limo-sabbioso beige, molle, compressibile e mediamente permeabile.

Tabella 8.1: Unità litologica A

CARATTERISTICHE ELASTICHE E MECCANICHE DELL'UNITÀ LITOLOGICA "A"	
Spessore medio	$h = 1,80 \text{ m}$
Peso volume medio	$\gamma = 1715 \text{ Kg/m}^3$
Angolo di resistenza al taglio medio (tensioni efficaci, a lungo termine)	$\varphi' = 28^\circ$
Coesione drenata media (tensioni efficaci, a lungo termine)	$c' = 0.1 \text{ kg/cm}^2$
Modulo di Edometrico medio	$E_m = 206 \text{ Kg/cm}^2$
Modulo di Poisson	$\nu = 0.45$
Modulo di Young dinamico	$E_{din} = 856 \text{ Kg/cm}^2$
Costante di Winkler	$K_0 = 1.25 \text{ Kg/cm}^3$

#### Unità Litotecnica "B"

È costituita da depositi limo-sabbiosi con argilla di colore marrone, talora verdastro, con calcinelli frequenti rilevati sino alla profondità di circa 1,70 m. per poi proseguire con colorazioni grigio scure quasi nerastre per la presenza di fustoli di sostanza organica. Lo spessore complessivo è di circa 8.60 m.

Tabella 8.2: Unità litologica B

CARATTERISTICHE ELASTICHE E MECCANICHE DELL'UNITÀ LITOLOGICA "B"	
Spessore medio	$h = 6.20 \text{ m}$
Peso volume medio	$\gamma = 1956 \text{ Kg/m}^3$
Angolo di resistenza al taglio medio (tensioni efficaci, a lungo termine)	$\varphi' = 30^\circ$
Coesione drenata media (tensioni efficaci, a lungo termine)	$c' = 0.15 \text{ kg/cm}^2$
Modulo di Edometrico medio	$E_m = 2827 \text{ Kg/cm}^2$
Modulo di Poisson	$\nu = 0.46$
Modulo di Young dinamico	$E_{din} = 5445 \text{ Kg/cm}^2$
Costante di Winkler	$K_0 = 3.70 \text{ Kg/cm}^3$

### Unità litotecnica "C"

Questa unità è formata prevalentemente da sabbie fini limose e ghiaie poligeniche ad elementi di piccole dimensioni in matrice sabbioso-limosa di colore beige. È considerato un suolo non coesivo, mediamente denso di bassa compressibilità.

CARATTERISTICHE ELASTICHE E MECCANICHE DELL'UNITÀ LITOLOGICA "C"	
Spessore medio	$h = 8.50 \text{ m}$
Peso volume medio	$\gamma = 1999 \text{ Kg/m}^3$
Angolo di resistenza al taglio medio (tensioni efficaci, a lungo termine)	$\varphi' = 33^\circ$
Coesione drenata media (tensioni efficaci, a lungo termine)	$c' = 0.20 \text{ kg/cm}^2$
Modulo di Edometrico medio	$E_m = 8351 \text{ Kg/cm}^2$
Modulo di Poisson	$\nu = 0.45$
Modulo di Young dinamico	$E_{din} = 23922 \text{ Kg/cm}^2$
Costante di Winkler	$K_0 = 2.60 \text{ Kg/cm}^3$

## 9. VALUTAZIONE DELL'AZIONE SISMICA (D.M. 17.01.2018 N.T.C.)

Come evidenziato in precedenza, la regione del Tavoliere è notoriamente un'area a bassa attività sismica, ma che risente della vicinanza con zone sismogeneticamente attive (il Promontorio del Gargano e i monti del Subappennino Dauno), a causa dei particolari caratteri tettonici che li contraddistinguono, con notevoli disturbi (faglie), che nel corso degli anni è stata interessata da energia sismica intensa, con magnitudo comprese tra 5.0 e 6.5 e VIII/X grado MSK.

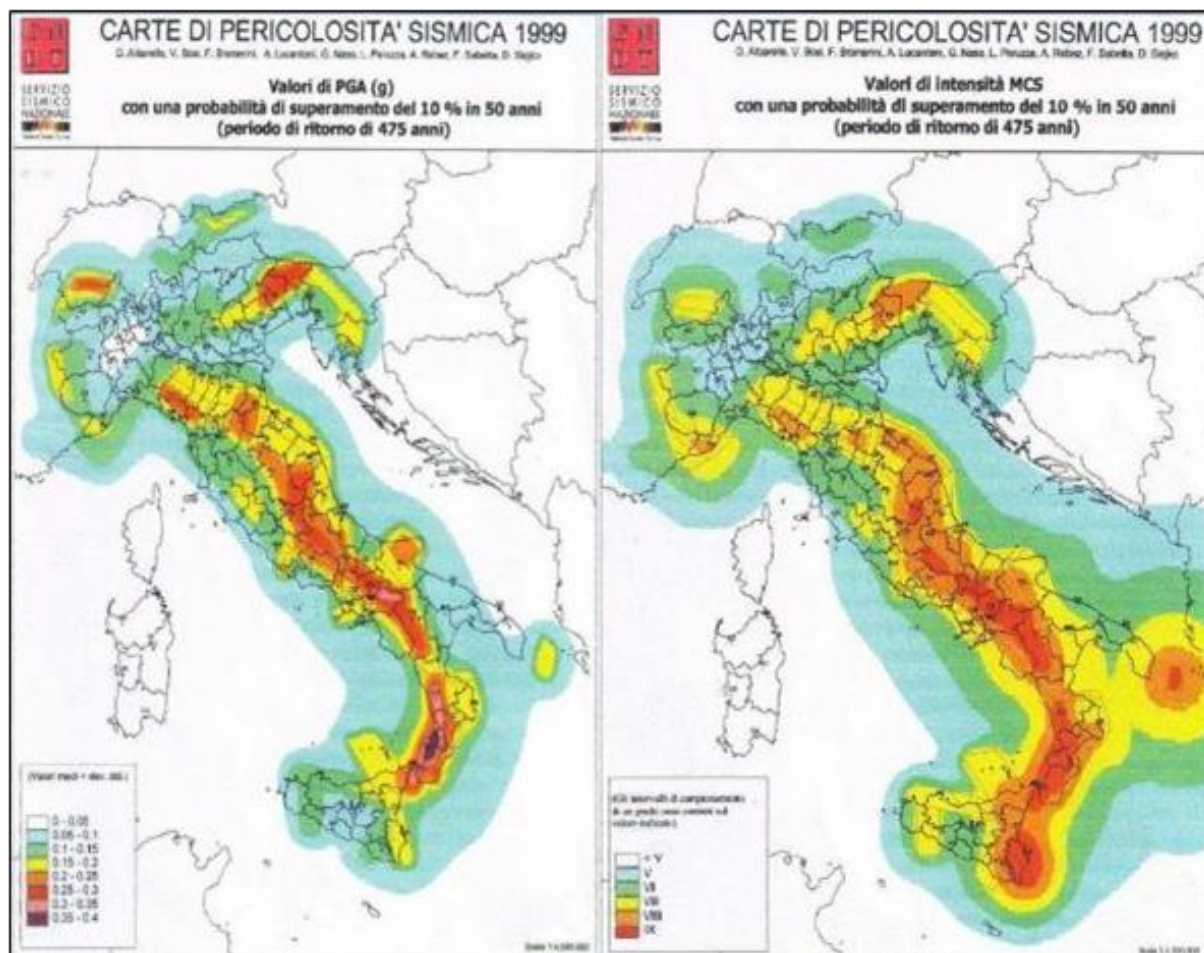


Figura 9.1: Carte della pericolosità sismica (Servizio Sismico Nazionale)

Gli studi effettuati, negli ultimi anni, sulla pericolosità sismica del territorio italiano, dal Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti (G.N.D.T.), dall'Osservatorio Geofisico Sperimentale di Trieste (O.G.S.) e dal Servizio Sismico Nazionale (S.S.N.), hanno consentito di sviluppare una metodologia probabilistica sismo-tettonica, ampiamente consolidata ed adottata a livello internazionale, che prevede l'utilizzo di dati di base: catalogo sismico e Zonazione Sismogenetica (Z.S.), oltre all'adozione di criteri e metodi per l'elaborazione degli stessi dati.

Attraverso l'elaborazione dei dati, la pericolosità sismica, ossia "la stima dello scuotimento del suolo, previsto in un certo sito, durante un dato periodo, a causa di terremoti" è stata rappresentata dallo S.S.N. su due carte di pericolosità (1999).

Il Decreto 17 gennaio 2018 - Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni" - fornisce le indicazioni per la progettazione e la verifica di nuove strutture secondo criteri antisismici.

Ai sensi del decreto, le azioni sismiche di progetto si definiscono a partire dalla "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione. La pericolosità sismica è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa  $a_g$  in condizioni di campo libero su sito di riferimento con superficie topografica





orizzontale, nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente  $S_e(T)$ , con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza PVR nel periodo di riferimento VR. In alternativa è ammesso l'uso di accelerogrammi, purché correttamente commisurati alla pericolosità sismica del sito.

Le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento PVR, a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

ag = accelerazione orizzontale massima al sito;

F0 = valore massimo di fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;

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

Per l'area in esame, sulla base delle indagini eseguite, si verifica l'assoluta stabilità dell'area; ai fini della determinazione dell'azione sismica di progetto e della categoria di sottosuolo (Ordinanza P.C.M. n.3274 del 20/03/03 e aggiornamenti, modifiche, integrazioni, sostituzioni del D.M. 14/09/2005 "Norme Tecniche per le Costruzioni" D.M. Infrastrutture del 17/01/2018, si potranno prendere in considerazione i seguenti elementi di valutazione:

- In base alla localizzazione geografica del sito di progetto vengono definiti i parametri di riferimento del moto sismico in superficie, successivamente correlati con gli stati limite e la vita nominale dell'opera. Ciò al fine di definire gli obiettivi da raggiungere in termini di sicurezza e prestazioni delle opere o parti di essa.
  - Individuazione del sito
    - Regione Puglia, Provincia di Foggia, Comune di Torremaggiore;
- Ricerca per coordinate: Long. 15.387402; Lat. 41.590796.
- La velocità media di propagazione potrà essere assunta mediamente superiore a 277 m/s, entro 30 m di profondità delle onde di taglio ( $V_{S,eq}$ ) per deformazioni di taglio  $\epsilon < 10^{-6}$ , dello strato iesimo, per un totale di N strati presente nei 30 m superiori;
- Sulla base del valore  $V_{S,eq}$  avendo considerato l'insieme delle indagini effettuate durante la campagna geognostica, considerando in modo cautelativo i risultati peggiori riscontrati, non considerando l'aumento delle caratteristiche geotecniche dei terreni con la profondità, si ipotizza un sottosuolo riferibile alla categoria "C", Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m., caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e valori di velocità equivalente comprese tra 180 m/s e 360 m/s.. (tab. 3.2.II NTC/18).

Tabella 9.1: Categorie di sottosuoli

CATEGORIE SUOLI DI FONDAZIONE	
<b>Tab. 3.2.II - D.M. 17 gennaio 2018 "Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni"</b>	
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi, caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.
B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.
C	<b>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m., caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e valori di velocità equivalente comprese tra 180 m/s e 360 m/s.</b>

D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o terreni a grana fine scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.
E	Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definiti per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.

- Le condizioni topografiche del sito che si colloca su un'area perfettamente pianeggiante con inclinazione media  $i < 15^\circ$  (max  $2^\circ$ ), sono riferibili alla categoria "T1", per cui il coefficiente di amplificazione topografica ( $S_t$ ) è pari a 1,0 (valori massimi del coefficiente tab. 3.2. III Norme Tecniche per le Costruzioni 2018).

Tabella 9.2: Tabella 3.2.III NTC 2018 – Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica  $S_t$

VALORI MASSIMI DEL COEFFICIENTE DI AMPLIFICAZIONE TOPOGRAFICA		
Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	$S_t$
T <sub>1</sub>	-	1,0
T <sub>2</sub>	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T <sub>3</sub>	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,2
T <sub>4</sub>	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,4

Per il calcolo dei parametri sopra citati sono stati considerati i seguenti parametri:

- Classe d'uso:** classe nella quale sono suddivise le opere, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso; per le opere in progetto è la II (tab. 2.4.II) il cui uso prevede normali affollamenti), per cui il coefficiente d'uso risulta  $CU=1,0$ ;

Tabella 9.3: Tab. 2.4.II NTC 2018 – Valori del coefficiente d'uso  $CU$

VALORI DEL COEFFICIENTE D'USO $C_U$				
Classe d'uso	I	II	III	IV
Coefficiente $C_U$	0,7	1,0	1,5	2,0

- Vita nominale dell'opera  $V_N$ :** intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla necessaria manutenzione, mantiene gli specifici livelli prestazionali di progetto (da questo valore viene calcolato il Periodo di riferimento per l'azione sismica  $V_R$  come:

$$V_R = V_N * C_U \text{ (dove } C_U \text{ è il coefficiente d'uso);}$$

- Probabilità di superamento nel periodo di riferimento  $P_{VR}$ :** in funzione dello stato limite di riferimento.

Nel caso dell'opera in oggetto sono considerati i seguenti valori:

**Classe d'uso "II":** Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente.

Vita nominale  $V_N$ : 50 anni: costruzioni con livelli di prestazione ordinari.

Coefficiente d'uso  $C_U$ : 1 relativo alla classe d'uso II.

Periodo di riferimento per l'azione sismica:  $V_R = V_N * C_U = 50 * 1 = 50$  anni

In funzione della probabilità di superamento nel periodo di riferimento  $P_{VR}$  vengono calcolati i valori  $a_g$ ,  $F_0$ ,  $T^*C$  e del periodo di ritorno:

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

Tabella 9.4: Spettri di risposta

SPETTRI DI RISPOSTA SECONDE LE NTC 2018						
Strati limite		$P_{VR}$	Periodo di ritorno (anni)	$a_g^6$ (g)	$F_0$	$T^*C$ (sec)
SLE	SLO	81%	30	0,058	2,468	0,280
	SLD	63%	50	0,076	2,492	0,293
SLU	SLV	10%	475	0.207	2,462	0,339
	SLC	5%	975	0.273	2,442	0,347

Dove:

- SLE = stati limite di esercizio
  - SLO = **stato limite di operatività**: a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e le apparecchiature rilevanti in relazione alla sua funzione, non deve subire danni ed interruzioni d'uso significativi;
  - SLD = **stato limite di danno**: a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, subisce danni tali da non mettere a rischio gli utenti e da non compromettere significativamente la capacità di resistenza e di rigidità nei confronti delle azioni verticali e orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature.
- SLU = stati limite ultimi
  - SLV = **stato limite di salvaguardia della vita**: a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidità nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidità per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali;
  - SLC = **stato limite di prevenzione del collasso**: a seguito del terremoto la costruzione subisce gravi rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e danni molto gravi dei componenti strutturali; la costruzione conserva ancora un margine di sicurezza

<sup>6</sup>  $a_g$  espressa come frazione dell'accelerazione di gravità  $g$ .

per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni orizzontali.

Tabella 9.5: Calcolo dei coefficienti sismici (per stabilità di pendii e fondazioni) con Categoria di Suolo di categoria B

COEFFICIENTI SISMICI (PER ABILITÀ DI PENDII E FONDAZIONI)				
coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.017	0.023	0,081	0,099
kv	0.009	0,011	0,040	0,050
$a_{\max}$ [m/s <sup>2</sup> ]	0.852	1,120	2,820	3,476
$\beta$	0.200	0.200	0.280	0.280

Dove:

$\beta$  = coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito.

$\alpha_{\max}$  = accelerazione orizzontale massima attesa al sito

$a_g$  = accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido (ag/g)

g = accelerazione di gravità

$S_s$  = coefficiente di amplificazione stratigrafica = 1,5 (SLO)-1,5 (SLD)-1,48 (SLV)-1,42 (SLC)

$S_t$  = coefficiente di amplificazione topografica = 1,0

## 10.SINTESI CONCLUSIVA

Il presente studio descrive le caratteristiche geologiche generali, morfologiche, idrogeologiche, geotecniche e sismiche dell'area interessata dalla realizzazione, attraverso la società di scopo Solar Capital 5 S.r.l., di un impianto solare fotovoltaico in alcuni terreni a circa 8 km ad Ovest rispetto al centro abitato del Comune di Torremaggiore di potenza pari a 43,94 MW su un'area catastale di circa 85,1 ettari complessivi di cui circa 60,39 ettari recintati.

È stata così programmata una campagna di studi nel rispetto del DM. 17.01.2018 - Aggiornamento delle «Norme Tecniche per le Costruzioni», che ha previsto:

- n. 6 prove penetrometriche dinamiche.
- n. 3 prospezioni sismiche superficiali con tecnica MASW (Multi-channel Analysis of Surface Waves);
- n. 3 prospezioni sismiche a rifrazione.

L'area oggetto di intervento è ubicata in un ambito pianeggiante espressione attuale di un terrazzo alluvionale a quote comprese tra 75 e 85 metri s.l.m. con pendenze minime, prossime ad  $2^\circ$  in direzione Nord. Qui affiorano depositi alluvionali, di età compresa tra il Pleistocene medio e l'Olocene.

La successione stratigrafica individuata e la caratterizzazione geomeccanica delle singole unità litostratigrafiche è stata eseguita sulla base di un rilievo geologico tecnico e dalle correlazioni dei risultati dell'indagine geognostica meccanica (pozzetti geognostici e carotaggi) e delle indagini geofisiche (MASW e a Rifrazione). È stato così ipotizzato un modello geotecnico a 3 unità litotecniche.

Le indagini sismiche eseguite, hanno consentito di determinare le caratteristiche elasto-dinamiche dei terreni investigati e definire la categoria del sottosuolo di fondazione.

Il substrato di fondazione, sulla base dei risultati dell'indagine sismica è, per l'intera area di intervento, classificabile come un suolo di categoria C, caratterizzato da  $V_{S,eq} = 277$  m/sec, spessore  $> 30$  metri.

Per quanto attiene le condizioni topografiche, valutata la pendenza generale della piana si attribuisce una categoria topografica T1 (pendii e rilievi isolati con inclinazione media  $i \leq 15^\circ$  - valori misurati pari ad  $1^\circ$ ) e in assenza di specifiche analisi di risposta sismica locale si adotta un coefficiente topografico  $ST = 1,0$ .

Nel sottosuolo del sito non è stata riscontrata la presenza di acqua; da considerazioni di carattere geometrico e idrogeologico generale si può ipotizzare un livello di circolazione idrica profonda che si attesta alla profondità di circa 100 metri rispetto al piano di campagna. Un potenziale livello acquifero è costituito dalle sabbie fini confinate tra due livelli limosi con argilla a profondità compresa tra 10 e 13 metri. Si tratta di un acquifero effimero, di scarsa capacità di immagazzinamento e bassa trasmissività

Tutto quanto sopra porta ad escludere l'insorgenza di sovrappressioni neutre nel sistema terreno – fondazione.

dott. geol. Michele Pecorelli



---

**ALLEGATO I**

**LEGGE 484 – INDAGINI DEL SOTTOSUOLO**

# ISPRA-Servizio Geologico d'Italia

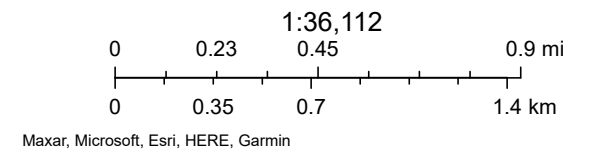


November 1, 2023

- ALTRE TIPOLOGIE
- PIEZOMETRI
- POZZI
- POZZI GEOTERMICI
- SONDAGGI
- POZZI IDRICI

Perforazioni

- Perforazioni con acqua
- Perforazioni con stratigrafia



## ALLEGATO II

### PROSPEZIONI SISMICHE



 Indagine Sismica a Rifrazione

 Indagine Sismica Tipo MASW





## ALLEGATO II

### PROSPEZIONI SISMICHE TIPO MASW

#### Prospezione MASW 1

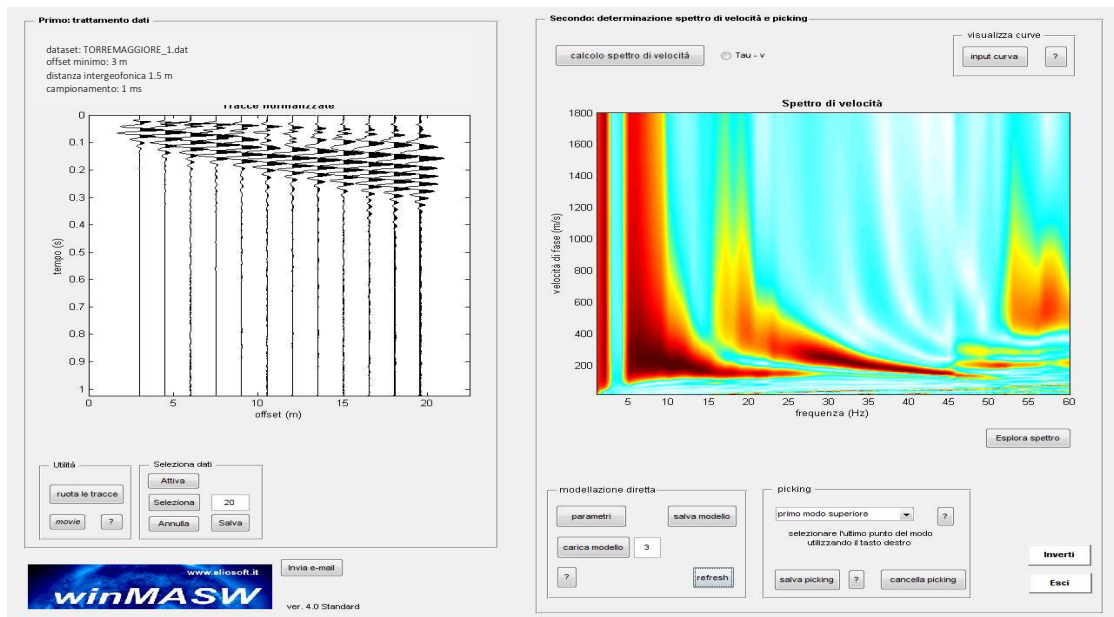
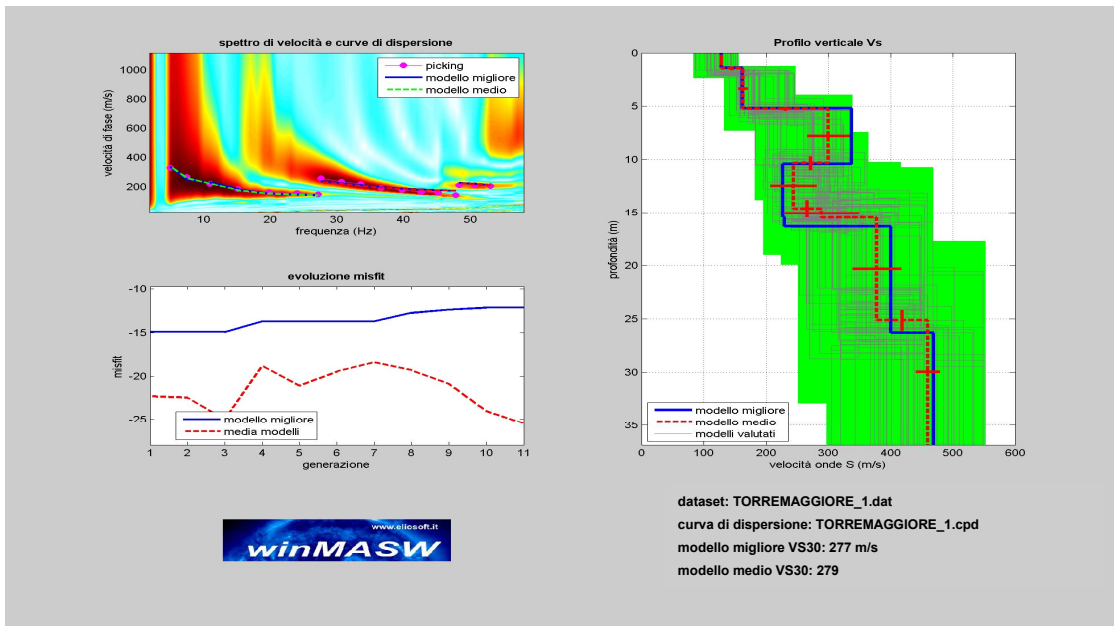
L'indagine MASW 1 ha restituito un valore di  $V_{s30}=277$  m/s, coincidente col valore della  $V_{s,eq}$ , in quanto non è stato intercettato il bedrock (definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, con  $V_s>800$  m/sec) ad una profondità  $H = 30.00$  m dal p.c..

Di seguito si riportano i valori delle  $V_s$  in funzione delle profondità investigate.

MASW 1			
MASW	Velocità di taglio (m/sec)	Spessori (m)	Profondità (m)
SISMOSTRATO I	128	1,40	0.00 – 1.40
SISMOSTRATO II	163	3,80	1.40 – 5.20
SISMOSTRATO III	300	5,10	5,20 – 10,30
SISMOSTRATO IV	255	5,10	10,30 – 14,70
SISMOSTRATO V	378	9,7	15,50 – 25,20
SISMOSTRATO VI	460	Semispazio	Semispazio
<b><math>V_{s,eq} = 277</math> m/sec</b>			

Per quanto attiene le correlazioni tra le unità sismostratigrafiche e litologie investigate, si rimanda alla tabella seguente.

MASW 1		
SISMOSTRATI	LITOLOGIA INVESTIGATA	Profondità (m)
SISMOSTRATO I	Terreno vegetale	0.00 – 1.40
SISMOSTRATO II	Limo sabbioso-argilloso con calcinelli	1.40 – 5.20
SISMOSTRATO III	Limo sabbioso talora argilloso	5,20 – 10,30
SISMOSTRATO IV	Sabbia fine limosa	10,30 – 14,70
SISMOSTRATO V	Ghiaia arrotondata poligenica in matrice sabbioso-limosa	15,50 – 25,20
SISMOSTRATO VI	Limo con argilla	Semispazio



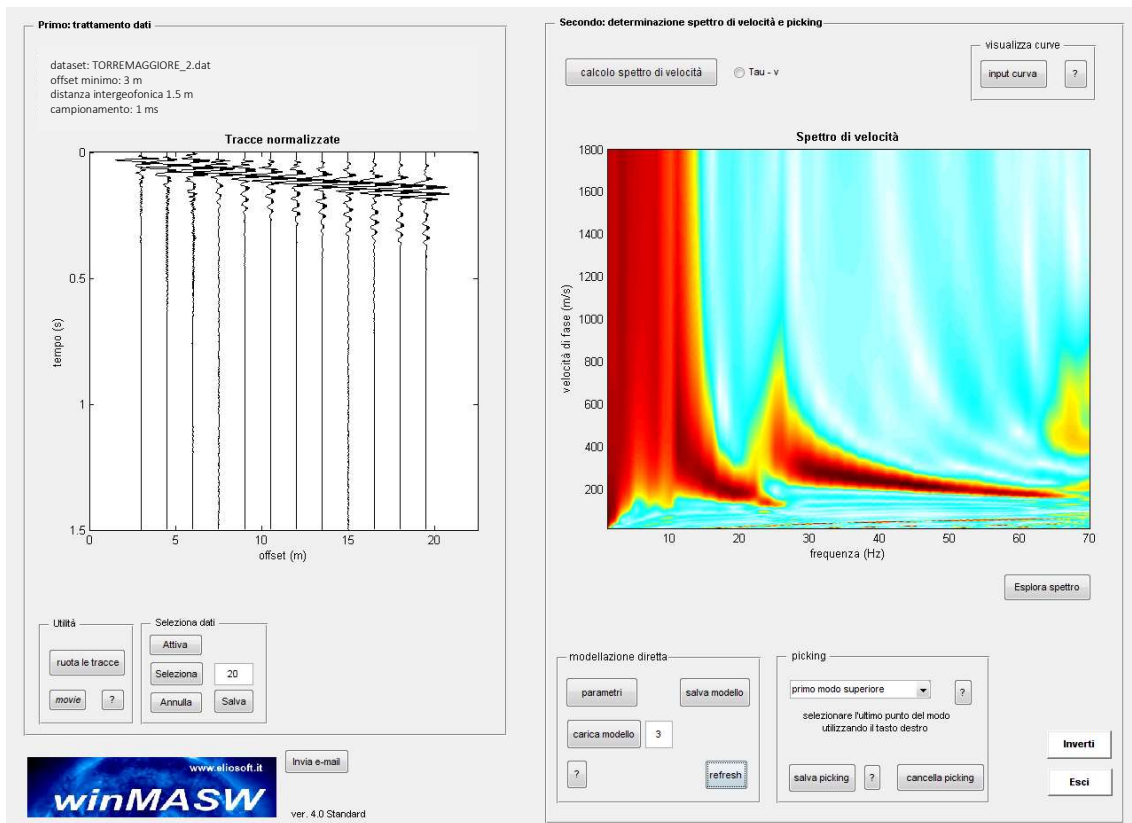
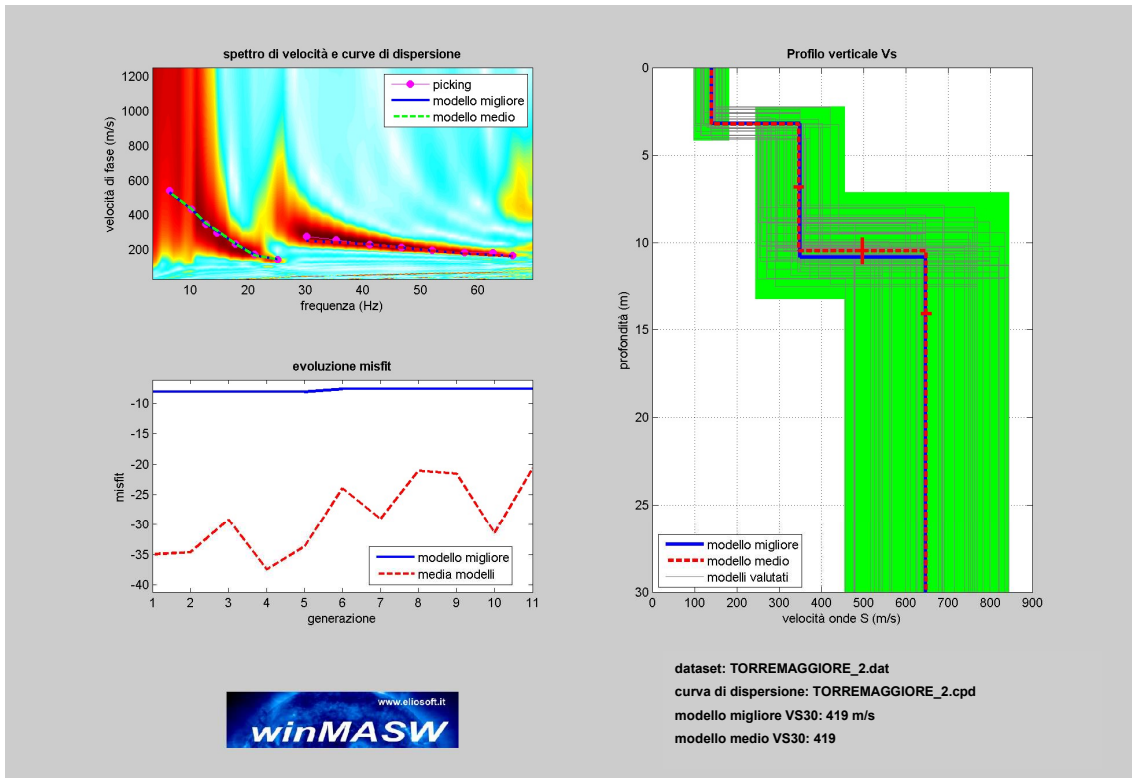


Prospezione MASW 2

L'indagine MASW 2 ha restituito un valore di  $V_{s30} = V_{s,eq} = 274$  m/sec.

MASW 2			
MASW	Velocità di taglio (m/sec)	Spessori (m)	Profondità (m)
SISMOSTRATO I	105	2,20	0,00 – 2,20
SISMOSTRATO II	413	2,70	2,20 – 4,90
SISMOSTRATO III	587	Semispazio	Semispazio
<b><math>V_{s30} = 274</math> m/sec</b>			

MASW 2		
SISMOSTRATI	LITOLOGIA INVESTIGATA	Profondità (m)
SISMOSTRATO I	Terreno vegetale su limo argilloso	0,00 – 2,20
SISMOSTRATO II	Limo argilloso con ghiaietto e rari trovanti lapidei	2,20 – 4,90
SISMOSTRATO III	Argilla Limosa con sabbia	Semispazio





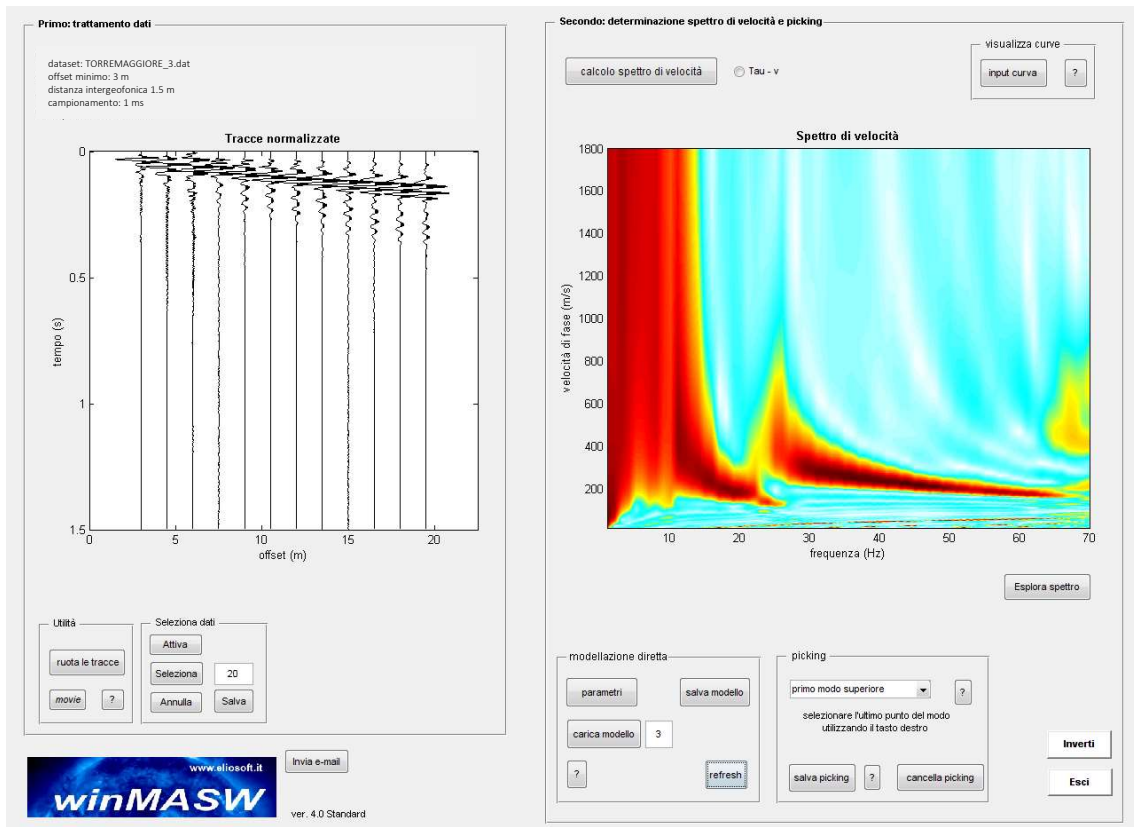
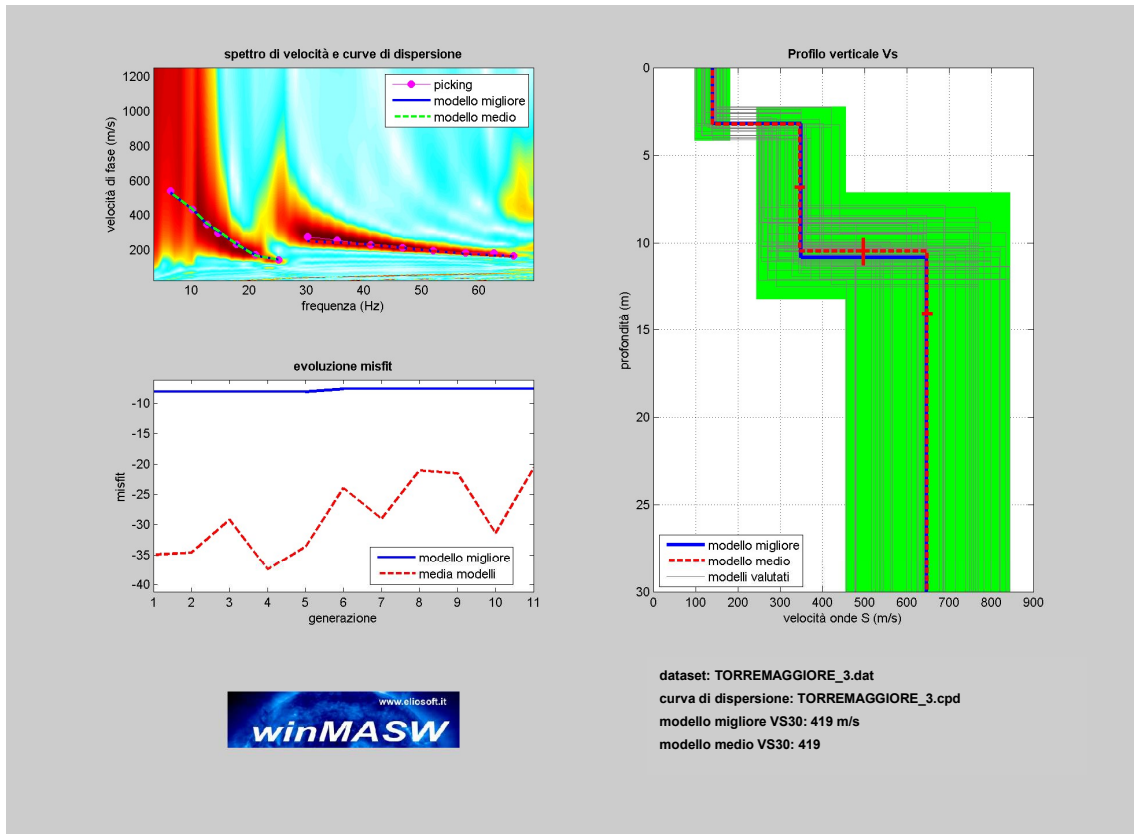
**Prospezione MASW 3**

L'indagine MASW 2 ha restituito un valore di  $V_{s30} = V_{s,eq} = 406$  m/sec.

MASW 2			
MASW	Velocità di taglio (m/sec)	Spessori (m)	Profondità (m)
SISMOSTRATO I	140	3.20	0.00 – 3.20
SISMOSTRATO II	347	7.30	3.20 – 10.50
SISMOSTRATO III	649	Semispazio	<i>Semispazio</i>
<b><math>V_{s,eq} = 406</math> m/sec</b>			

Per quanto attiene le correlazioni tra le unità sismostratigrafiche e litologie investigate, si rimanda alla tabella seguente.

MASW 2		
SISMOSTRATI	LITOLOGIA INVESTIGATA	Profondità (m)
SISMOSTRATO I	Terreno vegetale su sabbia fine debolmente limosa	0.00 – 2.30
SISMOSTRATO II	Sabbia fine con ghiaia	2.30 – 10.50
SISMOSTRATO III	Ghiaia in matrice sabbiosa	Semispazio





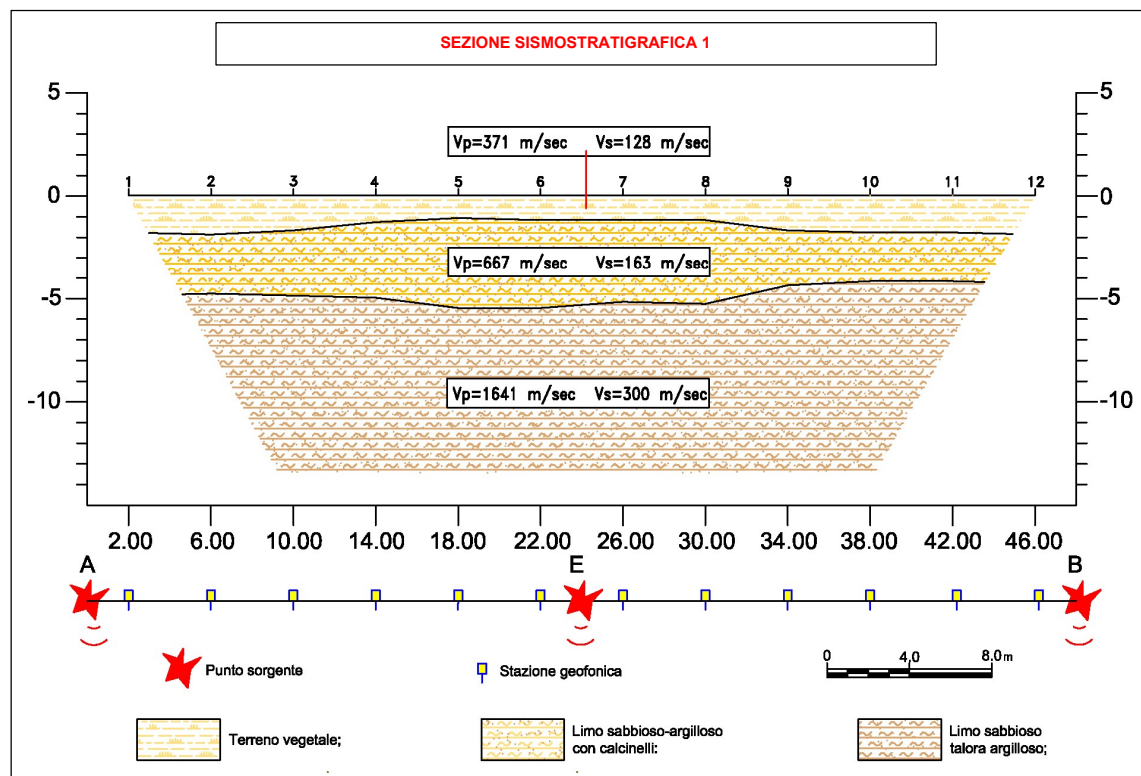
## PROSPEZIONI SISMICHE A RIFRAZIONE

### Prospezione Sismica 1

PROSPEZIONE SISMICA 1				
Sismica a Rifrazione	Velocità Onde P (m/sec)	Velocità Onde S (m/sec)	Profondità	
			Da (m)	a (m)
I	371	128	0.00	1.10 – 1.90
II	667	163	1.10 – 1.90	4.20 – 5.50
III	1641	300	indefinito	

A queste si associano le unità litostratigrafiche di seguito riportate

PROSPEZIONE SISMICA 1	
SISMOSTRATI	LITOLOGIA INVESTIGATA
SISMOSTRATO I	Terreno vegetale
SISMOSTRATO II	Limo sabbioso-argilloso con calcinelli
SISMOSTRATO III	Limo sabbioso talora argilloso



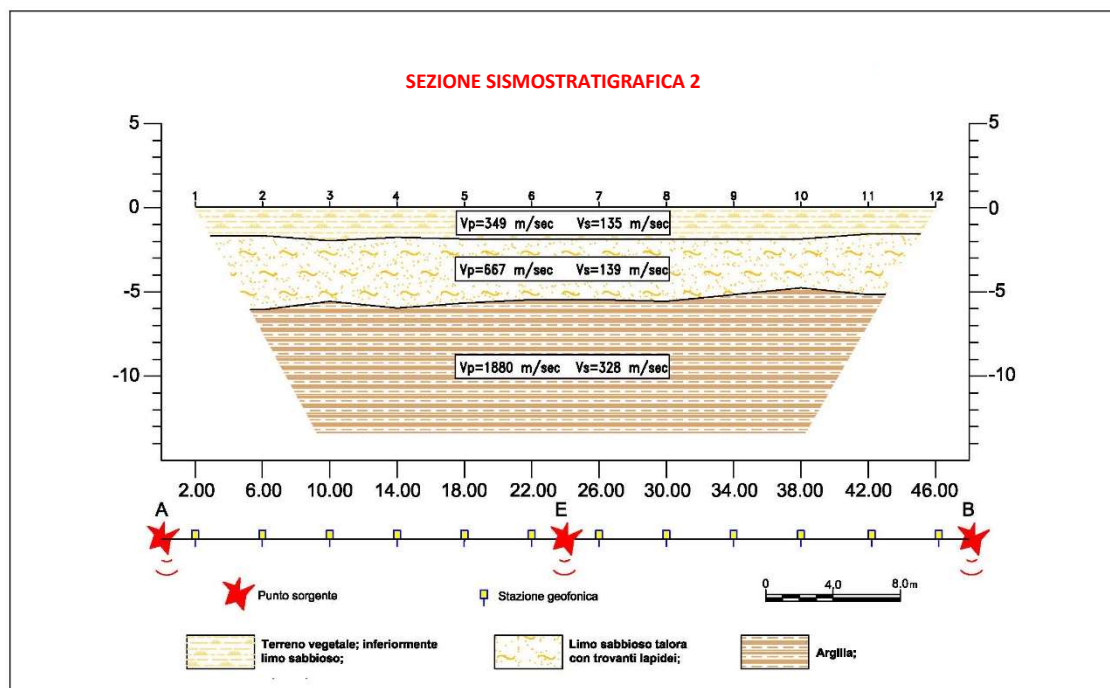


Prospezione Sismica 2

PROSPEZIONE SISMICA 2				
Sismica a Rifrazione	Velocità Onde P (m/sec)	Velocità Onde S (m/sec)	Profondità	
			Da (m)	a (m)
SISMOSTRATO I	349	135	0,00	1,60 – 2,00
SISMOSTRATO II	667	139	1,60 – 2,00	4,80 – 6,10
SISMOSTRATO III	1880	328	Indefinito	

A queste si associano le unità litostratigrafiche di seguito riportate

PROSPEZIONE SISMICA 2	
SISMOSTRATI	LITOLOGIA INVESTIGATA
SISMOSTRATO I	Terreno vegetale su limo argilloso
SISMOSTRATO II	Limo argilloso con ghiaietto e rari trovanti lapidei
SISMOSTRATO III	Argilla Limosa con sabbia







Prospezione Sismica 3

PROSPEZIONE SISMICA 3				
Sismica a Rifrazione	Velocità Onde P (m/sec)	Velocità Onde S (m/sec)	Profondità	
			Da (m)	a (m)
SISMOSTRATO I	387	140	0.00	2,9 - 3,5
SISMOSTRATO II	952	347	2,9 - 3,5	9,3 – 10,30
SISMOSTRATO III	1795	649	indefinito	

A queste si associano le unità litostratigrafiche di seguito riportate

PROSPEZIONE SISMICA 3	
SISMOSTRATI	LITOLOGIA INVESTIGATA
SISMOSTRATO I	Terreno agrario; inferiormente sabbia sottile limosa;
SISMOSTRATO II	Silt argillosi con intercalazioni di sabbie siltose con ghiaia;
SISMOSTRATO III	Ghiaia in matrice sabbiosa;

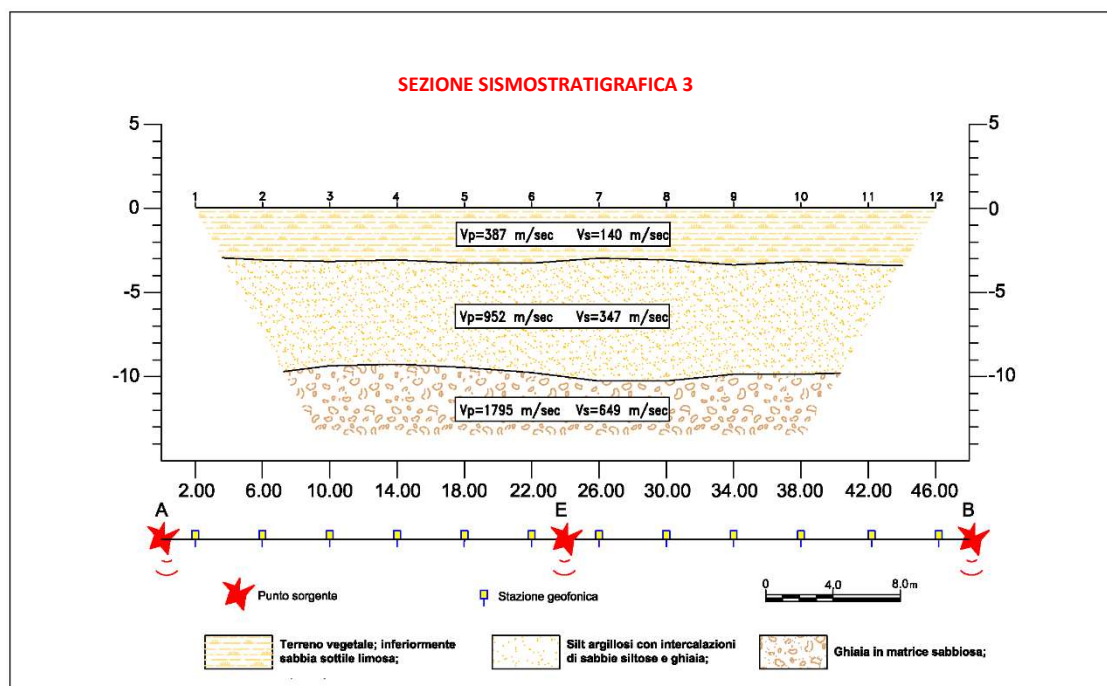




Foto 1 - Particolare esecuzione indagine sismica



Foto 2 - Particolare esecuzione indagine sismica

## ALLEGATO III

### PROVE PENETROMETRICHE

#### A. VALUTAZIONI STATISTICHE E CORRELAZIONI

##### A.1 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.

##### A.2 PRESSIONE AMMISSIBILE

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

##### A.3 CORRELAZIONI GEOTECNICHE TERRENI INCOERENTI

###### **LIQUEFAZIONE**

Permette di calcolare utilizzando dati **Nspt** 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 **Nspt** dello strato considerato risulta inferiore a **Nspt** critico calcolato con l'elaborazione di **SHI-MING**.

###### **CORREZIONE NSPT IN PRESENZA DI FALDA**

$N_{SPT}Corretto = 15 + 0.5 \times (N_{spt} - 15)$  **Nspt** 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 - GRADI**

- Peck-Hanson-Thornburn-Meyerhof 1956 - Correlazione valida per terreni non molli a prof.< 5 mt.; correlazione valida per sabbie e ghiaie rappresenta valori medi. - Correlazione storica molto usata, valevole per prof. < 5 mt. per terreni sopra falda e < 8 mt. per terreni in falda (tensioni < 8-10 t/mq);

- Meyerhof 1956 - Correlazione utilizzata per terreni coesivi in genere, argillosi ed argillosi marnosi fessurati, terreni di riporto sciolti, terreno vegetale, coltri detritiche e terreni flyschoidi (da modifica sperimentale di dati).
- Sowers 1961)- Angolo di attrito in gradi valido per sabbie in genere (cond. ottimali per prof. < 4 mt. sopra falda e < 7 mt. per terreni in falda)  $s > 5$  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 mt. 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 Dr %.
- 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 mt. sopra falda e > 15 mt. per terreni in falda)  $s > 15$  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 mt. sopra falda e > 15 mt. per terreni in falda)  $s > 15$  t/mq.
- Meyerhof 1965 - Correlazione valida per terreni per sabbie con % di limo < 5% a profondità < 5 mt. e con % di limo > 5% a profondità < 3 mt.
- Mitchell e Katti (1965) - Correlazione valida per sabbie e ghiaie.

#### **DENSITÀ RELATIVA %**

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

#### **MODULO DI YOUNG E (Kg/cmq)**

- 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 (Kg/cmq)**

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

#### **GRADO DI ADDENSAMENTO**

- Classificazione AG.I. 1977

#### **PESO DI VOLUME GAMMA (t/mc)**

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

#### **PESO DI VOLUME SATURO (t/mc)**

- Bowles 1982, Terzaghi-Peck 1948-1967. Correlazione valida per peso specifico del materiale pari a circa  $G=2,65$  t/mc) e per peso di volume secco variabile da 1,33 (Nspt=0) a 1,99 (Nspt=95)

#### **MODULO DI POISSON (MU)**

- Classificazione A.G.I.

#### **VELOCITÀ ONDE DI TAGLIO Vs (m/sec)**

- Ohta e Goto (1978); correlazione valida per terreni limosi, sabbie e sabbie e ghiaia.

#### **MODULO DI DEFORMAZIONE DI TAGLIO G (kg/cm<sup>2</sup>)**

- Ohsaki & Iwasaki - G (kg/cm<sup>2</sup>) 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/cm<sup>2</sup>.

#### **MODULO DI REAZIONE DEL SOTTOFONDO Ko (Kg/cm<sup>2</sup>)**

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

#### **RESISTENZA ALLA PUNTA DEL PENETROMETRO STATICO – QC (Kg/cm<sup>2</sup>)**

- Robertson 1983 Qc (Kg/cm<sup>2</sup>).

#### **A.4 CORRELAZIONI GEOTECNICHE TERRENI COESIVI**

##### **COESIONE NON DRENATA Cu (Kg/cm<sup>2</sup>)**

- Benassi & Vannelli- correlazioni scaturite da esperienze ditta costruttrice Penetrometri SUNDA 1983.
- Terzaghi-Peck (1948-1967), correlazione valida per argille sabbiose-siltose NC con Nspt <8, argille limose-siltose mediamente plastiche, argille marnose alterate-fessurate.
- Terzaghi-Peck (1948). Cu 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, (Cu-Nspt-grado di plasticità).
- Schmertmann 1975 Cu (Kg/cm<sup>2</sup>) (valori medi), valida per argille e limi argillosi con Nc=20 e Qc/Nspt=2.
- Schmertmann 1975 Cu (Kg/cm<sup>2</sup>) (valori minimi), valida per argille NC.
- Fletcher 1965 - (Argilla di Chicago). Coesione non drenata Cu (Kg/cm<sup>2</sup>), colonna valori validi per argille a mediobassa 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 - QC (Kg/cmq)**

- Robertson 1983 Qc (Kg/cmq).

#### **MODULO EDOMETRICO-CONFINATO Mo (Eed) (Kg/cmq)**

- Stroud e Butler (1975) - Mo (Eed) (Kg/cmq)- per litotipi a media plasticità, valida per litotipi argillosi a medio-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 -Mo (Eed) (Kg/cmq) - valida per litotipi argillosi e limosi-argillosi (rapporto Qc/Nspt=1.5-2.0).
- Buismann- Sanglerat, valida per argille compatte (Nspt <30) medie e molli (Nspt <4) e argille sabbiose (Nspt=6-12).

#### **MODULO DI YOUNG E (Kg/cmq)**

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

#### **STATO DI CONSISTENZA**

- Classificazione A.G.I. 1977

#### **PESO DI VOLUME GAMMA (t/mc)**

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

#### **PESO DI VOLUME SATURO (t/mc)-**

- Correlazione Bowles (1982), Terzaghi-Peck (1948-1967), valida per condizioni specifiche:  
peso specifico del materiale pari a circa  $G=2,70$  (t/mc) e per indici dei vuoti variabili da 1,833 (Nspt=0) a 0,545 (Nspt=28)

## UBICAZIONE PROVE PENETROMETRICHE





**PROVA PENETROMETRICA 1**

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda $\kappa$	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> )
0,30	0	0,853	0,00	0,00	0,00	0,00
0,60	1	0,826	5,69	6,88	0,28	0,34
0,90	1	0,826	5,69	6,88	0,28	0,34
1,20	3	0,809	15,70	19,42	0,79	0,97
1,50	3	0,809	15,70	19,42	0,79	0,97
1,80	3	0,809	15,70	19,42	0,79	0,97
2,10	4	0,822	22,61	27,52	1,13	1,38
2,40	5	0,817	26,45	32,37	1,32	1,62
2,70	6	0,809	31,41	38,84	1,57	1,94
3,00	6	0,809	31,41	38,84	1,57	1,94
3,30	5	0,805	24,59	30,56	1,23	1,53
3,60	5	0,801	24,47	30,56	1,22	1,53
3,90	5	0,797	23,07	28,94	1,15	1,45
4,20	7	0,794	32,16	40,52	1,61	2,03
4,50	12	0,790	54,90	69,47	2,75	3,47
4,80	14	0,690	39,32	56,96	1,97	2,85
5,10	14	0,690	39,32	56,96	1,97	2,85
5,40	16	0,720	60,34	83,76	3,02	4,19
5,70	16	0,720	60,34	83,76	3,02	4,19
6,00	16	0,720	60,34	83,76	3,02	4,19
6,30	14	0,690	39,32	56,96	1,97	2,85
6,60	14	0,690	39,32	56,96	1,97	2,85
6,90	16	0,720	60,34	83,76	3,02	4,19
7,20	16	0,720	60,34	83,76	3,02	4,19
7,50	18	0,737	72,95	98,97	3,65	4,95
7,80	18	0,737	72,95	98,97	3,65	4,95
8,10	19	0,781	102,12	130,72	5,11	6,54
8,40	19	0,781	102,12	130,72	5,11	6,54
8,70	22	0,639	57,17	89,50	2,86	4,48
9,00	21	0,701	89,96	128,35	4,50	6,42





**PROVA PENETROMETRICA 2**

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda $\kappa$	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> )
0,30	0	0,853	0,00	0,00	0,00	0,00
0,60	1	0,826	5,69	6,88	0,28	0,34
0,90	2	0,847	12,44	14,68	0,62	0,73
1,20	2	0,847	12,44	14,68	0,62	0,73
1,50	3	0,809	15,70	19,42	0,79	0,97
1,80	3	0,809	15,70	19,42	0,79	0,97
2,10	4	0,822	22,61	27,52	1,13	1,38
2,40	5	0,817	26,45	32,37	1,32	1,62
2,70	5	0,817	26,45	32,37	1,32	1,62
3,00	6	0,809	31,41	38,84	1,57	1,94
3,30	6	0,809	31,41	38,84	1,57	1,94
3,60	5	0,801	24,47	30,56	1,22	1,53
3,90	5	0,797	23,07	28,94	1,15	1,45
4,20	7	0,794	32,16	40,52	1,61	2,03
4,50	11	0,822	62,18	75,68	3,11	3,78
4,80	11	0,822	62,18	75,68	3,11	3,78
5,10	12	0,790	54,90	69,47	2,75	3,47
5,40	14	0,690	39,32	56,96	1,97	2,85
5,70	14	0,690	39,32	56,96	1,97	2,85
6,00	16	0,720	60,34	83,76	3,02	4,19
6,30	16	0,720	60,34	83,76	3,02	4,19
6,60	16	0,720	60,34	83,76	3,02	4,19
6,90	14	0,690	39,32	56,96	1,97	2,85
7,20	14	0,690	39,32	56,96	1,97	2,85
7,50	16	0,720	60,34	83,76	3,02	4,19
7,80	16	0,720	60,34	83,76	3,02	4,19
8,10	18	0,737	72,95	98,97	3,65	4,95
8,40	18	0,737	72,95	98,97	3,65	4,95
8,70	22	0,639	57,17	89,50	2,86	4,48
9,00	21	0,701	89,96	128,35	4,50	6,42



### PROVA PENETROMETRICA 3

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda $\kappa$	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> )
0,30	0	0,853	0,00	0,00	0,00	0,00
0,60	1	0,826	5,69	6,88	0,28	0,34
0,90	2	0,847	12,44	14,68	0,62	0,73
1,20	3	0,809	15,70	19,42	0,79	0,97
1,50	3	0,809	15,70	19,42	0,79	0,97
1,80	4	0,822	22,61	27,52	1,13	1,38
2,10	4	0,822	22,61	27,52	1,13	1,38
2,40	5	0,817	26,45	32,37	1,32	1,62
2,70	6	0,809	31,41	38,84	1,57	1,94
3,00	6	0,809	31,41	38,84	1,57	1,94
3,30	5	0,805	24,59	30,56	1,23	1,53
3,60	5	0,801	24,47	30,56	1,22	1,53
3,90	5	0,797	23,07	28,94	1,15	1,45
4,20	7	0,794	32,16	40,52	1,61	2,03
4,50	12	0,790	54,90	69,47	2,75	3,47
4,80	11	0,822	62,18	75,68	3,11	3,78
5,10	14	0,690	39,32	56,96	1,97	2,85
5,40	14	0,690	39,32	56,96	1,97	2,85
5,70	16	0,720	60,34	83,76	3,02	4,19
6,00	16	0,720	60,34	83,76	3,02	4,19
6,30	14	0,690	39,32	56,96	1,97	2,85
6,60	14	0,690	39,32	56,96	1,97	2,85
6,90	16	0,720	60,34	83,76	3,02	4,19
7,20	16	0,720	60,34	83,76	3,02	4,19
7,50	18	0,737	72,95	98,97	3,65	4,95
7,80	19	0,781	102,12	130,72	5,11	6,54
8,10	19	0,781	102,12	130,72	5,11	6,54
8,40	19	0,781	102,12	130,72	5,11	6,54
8,70	19	0,781	102,12	130,72	5,11	6,54
9,00	21	0,701	89,96	128,35	4,50	6,42



**PROVA PENETROMETRICA 4**

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda $\kappa$	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> )
0,30	0	0,853	0,00	0,00	0,00	0,00
0,60	1	0,826	5,69	6,88	0,28	0,34
0,90	2	0,847	12,44	14,68	0,62	0,73
1,20	2	0,847	12,44	14,68	0,62	0,73
1,50	3	0,809	15,70	19,42	0,79	0,97
1,80	3	0,809	15,70	19,42	0,79	0,97
2,10	4	0,822	22,61	27,52	1,13	1,38
2,40	4	0,822	22,61	27,52	1,13	1,38
2,70	5	0,805	24,59	30,56	1,23	1,53
3,00	5	0,805	24,59	30,56	1,23	1,53
3,30	6	0,809	31,41	38,84	1,57	1,94
3,60	6	0,809	31,41	38,84	1,57	1,94
3,90	7	0,794	32,16	40,52	1,61	2,03
4,20	11	0,822	62,18	75,68	3,11	3,78
4,50	12	0,790	54,90	69,47	2,75	3,47
4,80	12	0,790	54,90	69,47	2,75	3,47
5,10	14	0,690	39,32	56,96	1,97	2,85
5,40	16	0,720	60,34	83,76	3,02	4,19
5,70	16	0,720	60,34	83,76	3,02	4,19
6,00	14	0,690	39,32	56,96	1,97	2,85
6,30	14	0,690	39,32	56,96	1,97	2,85
6,60	16	0,720	60,34	83,76	3,02	4,19
6,90	16	0,720	60,34	83,76	3,02	4,19
7,20	16	0,720	60,34	83,76	3,02	4,19
7,50	18	0,737	72,95	98,97	3,65	4,95
7,80	18	0,737	72,95	98,97	3,65	4,95
8,10	19	0,781	102,12	130,72	5,11	6,54
8,40	19	0,781	102,12	130,72	5,11	6,54
8,70	22	0,639	57,17	89,50	2,86	4,48
9,00	21	0,701	89,96	128,35	4,50	6,42

### **PROVA PENETROMETRICA 5**

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda $\kappa$	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> )
0,30	1	0,826	5,69	6,88	0,28	0,34
0,60	1	0,826	5,69	6,88	0,28	0,34
0,90	2	0,847	12,44	14,68	0,62	0,73
1,20	2	0,847	12,44	14,68	0,62	0,73
1,50	3	0,809	15,70	19,42	0,79	0,97
1,80	4	0,822	22,61	27,52	1,13	1,38
2,10	4	0,822	22,61	27,52	1,13	1,38
2,40	5	0,817	26,45	32,37	1,32	1,62
2,70	6	0,809	31,41	38,84	1,57	1,94
3,00	6	0,809	31,41	38,84	1,57	1,94
3,30	5	0,805	24,59	30,56	1,23	1,53
3,60	7	0,794	32,16	40,52	1,61	2,03
3,90	11	0,822	62,18	75,68	3,11	3,78
4,20	11	0,822	62,18	75,68	3,11	3,78
4,50	12	0,790	54,90	69,47	2,75	3,47
4,80	14	0,690	39,32	56,96	1,97	2,85
5,10	16	0,720	60,34	83,76	3,02	4,19
5,40	16	0,720	60,34	83,76	3,02	4,19
5,70	14	0,690	39,32	56,96	1,97	2,85
6,00	16	0,720	60,34	83,76	3,02	4,19
6,30	18	0,737	72,95	98,97	3,65	4,95
6,60	18	0,737	72,95	98,97	3,65	4,95
6,90	16	0,720	60,34	83,76	3,02	4,19
7,20	16	0,720	60,34	83,76	3,02	4,19
7,50	19	0,781	102,12	130,72	5,11	6,54
7,80	18	0,737	72,95	98,97	3,65	4,95
8,10	21	0,701	89,96	128,35	4,50	6,42
8,40	24	0,709	110,10	155,36	5,50	7,77
8,70	24	0,709	110,10	155,36	5,50	7,77
9,00	21	0,701	89,96	128,35	4,50	6,42



**PROVA PENETROMETRICA 6**

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda $\kappa$	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> )
0,30	1	0,826	5,69	6,88	0,28	0,34
0,60	2	0,847	12,44	14,68	0,62	0,73
0,90	3	0,809	15,70	19,42	0,79	0,97
1,20	2	0,847	12,44	14,68	0,62	0,73
1,50	4	0,822	22,61	27,52	1,13	1,38
1,80	3	0,809	15,70	19,42	0,79	0,97
2,10	4	0,822	22,61	27,52	1,13	1,38
2,40	5	0,817	26,45	32,37	1,32	1,62
2,70	6	0,809	31,41	38,84	1,57	1,94
3,00	7	0,794	32,16	40,52	1,61	2,03
3,30	7	0,794	32,16	40,52	1,61	2,03
3,60	11	0,822	62,18	75,68	3,11	3,78
3,90	12	0,790	54,90	69,47	2,75	3,47
4,20	11	0,822	62,18	75,68	3,11	3,78
4,50	12	0,790	54,90	69,47	2,75	3,47
4,80	14	0,690	39,32	56,96	1,97	2,85
5,10	16	0,720	60,34	83,76	3,02	4,19
5,40	16	0,720	60,34	83,76	3,02	4,19
5,70	18	0,737	72,95	98,97	3,65	4,95
6,00	18	0,737	72,95	98,97	3,65	4,95
6,30	18	0,737	72,95	98,97	3,65	4,95
6,60	19	0,781	102,12	130,72	5,11	6,54
6,90	16	0,720	60,34	83,76	3,02	4,19
7,20	16	0,720	60,34	83,76	3,02	4,19
7,50	21	0,701	89,96	128,35	4,50	6,42
7,80	21	0,701	89,96	128,35	4,50	6,42
8,10	24	0,709	110,10	155,36	5,50	7,77
8,40	24	0,709	110,10	155,36	5,50	7,77
8,70	28	0,697	113,01	162,09	5,65	28
9,00	28	0,697	113,01	162,09	5,65	28



