



LUGLIO 2022

**GALILEO ENERGY 2 S.R.L.**

**IMPIANTO INTEGRATO AGRIVOLTAICO**

**COLLEGATO ALLA RTN**

**POTENZA NOMINALE 47,34 MW**

**COMUNE DI TORREMAGGIORE (FG)**

**Montagna**

**PROGETTO DEFINITIVO IMPIANTO  
AGRIVOLTAICO**

**Relazione GEOLOGICA GEOTECNICA**

**Progettista**

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

**Codice elaborato**

*2748\_4978\_TM\_VIA\_R05\_Rev0\_Relazione geologica  
geotecnica.docx*

## Memorandum delle revisioni

| Cod. Documento  | Data    | Tipo revisione  | Redatto | Verificato | Approvato |
|---|---------|-----------------|---------|------------|-----------|
| 2748_4978_TM_VIA_R05_Rev0_Relazione geologica geotecnica.docx | 07/2022 | Prima emissione | MP      | 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                 |
| Corrado Pluchino                  | Project Manager                                 | Ord. Ing. Milano A27174                |
| Riccardo Festante                 | Progettazione Elettrica, Rumore e Comunicazioni | Tecnico acustico/ambientale n. 71      |
| Daniele Crespi                    | Coordinamento SIA                               |  |
| Marco Corrù                       | Architetto                                      |  |
| Fabio Lassini                     | Ingegnere Idraulico                             |  |
| Francesca Jaspardo                | Esperto Ambientale                              |  |
| Mauro Aires                       | Ingegnere strutturista                          | Ordine Ing. Torino 9583J               |
| Andrea Fronteddu                  | Ingegnere Elettrico                             | Ordine Ing. Cagliari. 8788             |
| Matteo Lana                       | Ingegnere Ambientale                            |  |
| Sergio Alifano                    | Architetto                                      |  |
| Paola Scaccabarozzi               | Ingegnere Idraulico                             |  |
| Sonia Morgese                     | Ingegnere Idraulico                             |  |
| Matthew Piscedda                  | Perito Elettrotecnico                           |  |
| 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 |
| Andrea Fanelli                    | Perito Elettrotecnico                           |  |



## INDICE

|  |    |
|--|----|
| 1. PREMESSA .....  | 4  |
| 1.1 INQUADRAMENTO TERRITORIALE .....                                       | 5  |
| 2. LINEAMENTI GEOLOGICI E MORFOLOGICI GENERALI .....                       | 6  |
| 2.1 INQUADRAMENTO MORFOLOGICO.....   | 6  |
| 2.2 LINEAMENTI GEOLOGICI.....  | 7  |
| 2.3 CARATTERI TETTONICI .....  | 8  |
| 3. CARATTERIZZAZIONE DEI LITOTIPI LOCALI E ASSETTO LITOSTRATIGRAFICO ..... | 11 |
| 4. ASSETTO GEOSTRUTTURALE .....  | 13 |
| 5. DEFINIZIONE DELL'AMBIENTE CLIMATICO .....                               | 14 |
| 5.1 TEMPERATURE .....  | 14 |
| 5.2 PLUVIOMETRIA.....  | 15 |
| 6. AMBIENTE IDRICO: ACQUE SUPERFICIALI E ACQUE SOTTERRANEE.....            | 17 |
| 6.1 ACQUE SUPERFICIALI .....   | 17 |
| 6.2 CIRCOLAZIONE IDRICA SOTTERRANEA .....                                  | 18 |
| 6.3 RAPPORTI TRA L'INTERVENTO PROPOSTO E LA FALDA SUPERFICIALE .....       | 20 |
| 7. INQUADRAMENTO SISMICO.....  | 21 |
| 8. PIANIFICAZIONE ED ESECUZIONE DELLE INDAGINI GEOFISICHE.....             | 26 |
| 8.1 METODOLOGIE DI INDAGINE ADOTTATE .....                                 | 26 |
| 8.2 MODALITÀ DI ESECUZIONE DEI RILIEVI: ATTIVITÀ DI CAMPO .....            | 28 |
| 8.3 RISULTATI INDAGINE GEOSISMICA.....                                     | 30 |
| 8.3.1 Elaborazione dell'indagine sismica di tipo MASW .....                | 30 |
| 8.3.2 Elaborazione dell'indagine sismica a rifrazione .....                | 31 |
| 9. INDAGINE PENETROMETRICA.....  | 32 |
| 10. SUCCESSIONE LITOSTRATIGRAFICA .....                                    | 34 |
| 10.1 INDIVIDUAZIONE DELLE UNITÀ LITOTECNICHE .....                         | 34 |
| 11. VALUTAZIONE DELL'AZIONE SISMICA (D.M. 17.01.2018 N.T.C.) .....         | 36 |
| 12. SINTESI CONCLUSIVA .....   | 41 |

### 1. PREMESSA

Il progetto in questione prevede la realizzazione, attraverso la società di scopo GALILEO ENERGY 2 S.R.L., di un impianto solare fotovoltaico in alcuni terreni a Nord - Ovest del comune di Torremaggiore (FG) di potenza pari a 47,34 MW su un'area catastale di circa 73.5 ettari complessivi di cui circa 55,8 ha interessati dall'impianto. L'impianto è suddiviso in 5 area limitrofe ma separate tra loro:

- Area C1: sito a sud della SP46 di estensione catastale pari a circa 17.59 ha (15,33 ha cintati);
- Area C2: sito a nord della SP46 di estensione catastale pari a circa 25.03 ha (24,45 ha cintati);
- Area C3: sito a nord della SP46 di estensione catastale pari a circa 9.74 ha (8,5 ha cintati)
- Area C4: sito a sud della SP46 di estensione catastale pari a circa 6.71 ha (2,17 ha cintati);
- Area C5: sito a sud della SP46 di estensione catastale pari a circa 4.79 ha (3,16 ha cintati);

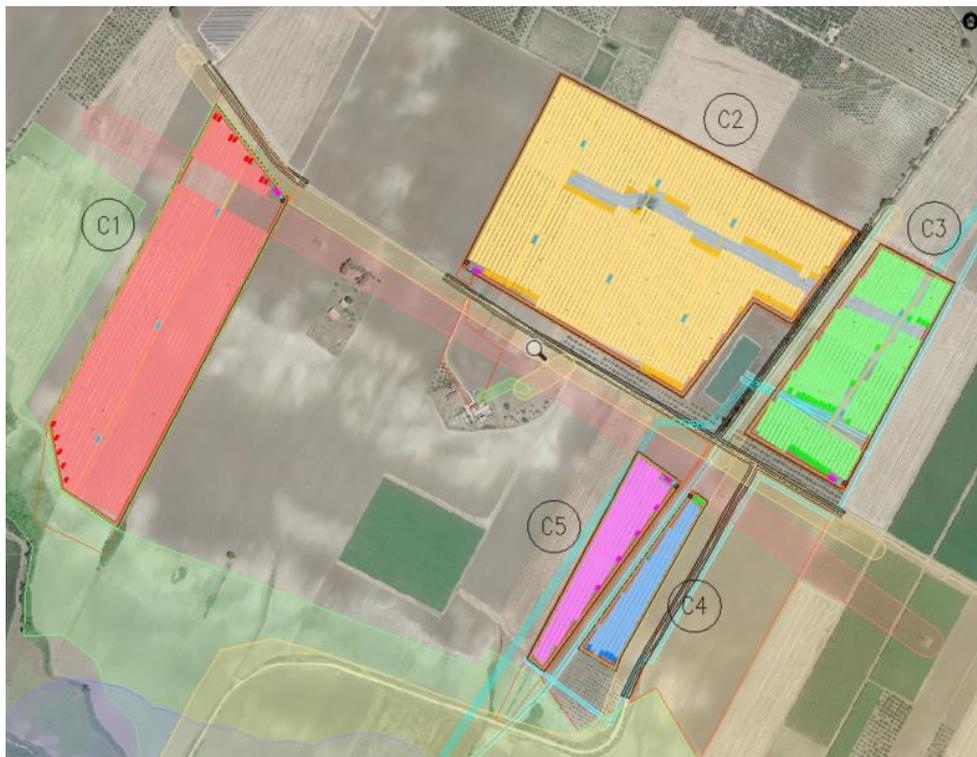


Figura 1:1: layout impianto

In particolare, lo studio geologico s'inserisce nell'ambito dei quadri conoscitivi del sistema territoriale locale, ed è stato articolato sulla base dei seguenti principali elementi di valutazione geologico-tecnica:

- Inquadramento geologico dell'area, per l'indicazione dell'ambiente geologico, geomorfologico, idrogeologico e strutturale
- Rilevamento geologico di dettaglio, di un'area sufficientemente ampia, entro la quale ricade l'impianto fotovoltaico e la linea di connessione in progetto, atto alla definizione geologica, geomorfologica, idrogeologica e strutturale, con particolare riferimento alla caratterizzazione della natura e del tipo di strutture sedimentarie dei corpi geologici ivi presenti;
- Riferimenti a indagini geognostiche e geotecniche esistenti, eseguite nell'ambito del territorio comunale (prospezioni meccaniche e sismiche, prove geotecniche in sito e in laboratorio, scavi geognostici, pozzi, ecc.), per la definizione delle principali caratteristiche geotecniche e sismiche dei terreni.

- Esecuzione di nuove indagini geofisiche e geognostiche con l'obiettivo di puntualizzare le conoscenze geologiche dirette e indirizzare la progettazione in direzione della sicurezza e della migliore efficienza, con la definizione delle caratteristiche geotecniche dei terreni di fondazione interessati dalle opere in progetto [accertamento litotecnico] 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 geofisiche che ha previsto l'esecuzione di prospezioni come di seguito elencate.

- n. 2 prospezioni sismiche superficiali con tecnica MASW (Multi-Channel Analysis of Surface Waves);
- n. 2 prospezioni sismiche a rifrazione.

Infine il quadro conoscitivo è stato completato con l'esecuzione di n. 2 prove penetrometriche dinamiche eseguite con penetrometro PENNI 30 della COMPAC di Fermignano (PU)

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.

### 1.1 INQUADRAMENTO TERRITORIALE

Il progetto in esame è ubicato nel territorio comunale di Torremaggiore a circa 13 km a Ovest-NordOvest rispetto al centro cittadino. L'area è servita dalla Strada Provinciale n. 46 che la collega direttamente al centro abitato.

Nella cartografia I.G.M. a scala 1:50000 l'area è compresa nei quadranti 395 (Torremaggiore); nella cartografia in scala 1:25000 l'intervento interessa la Tavoleta 155 III SE (Castello di Dragonara).

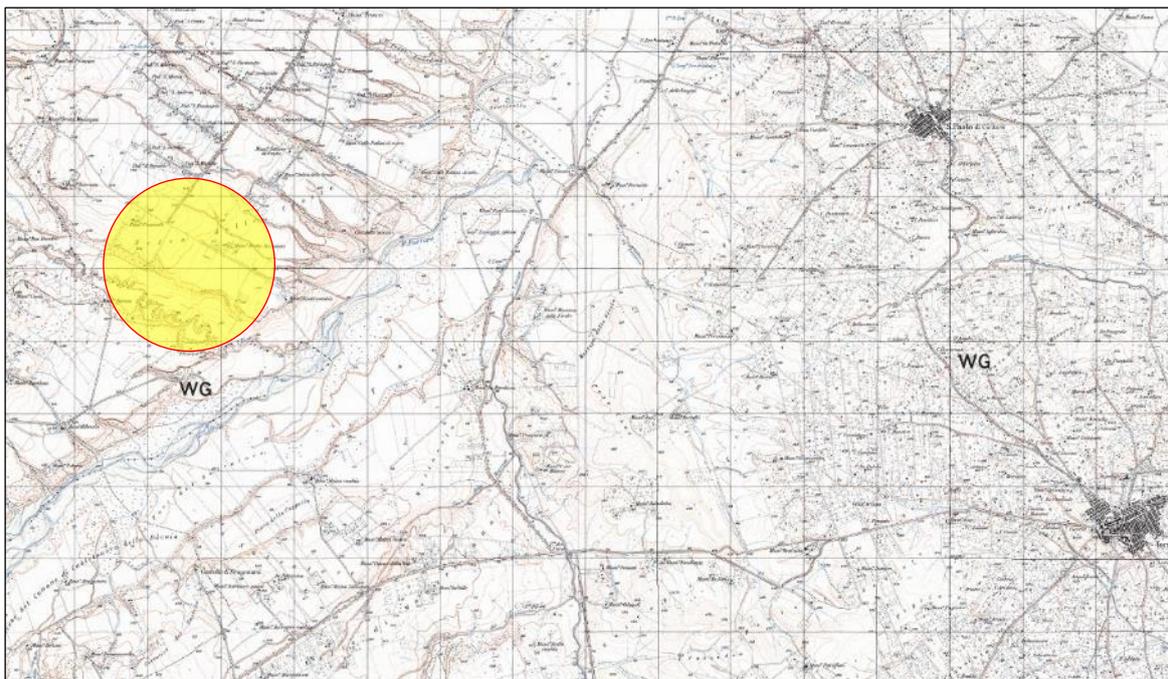


Figura 1:3 Inquadramento territoriale

## 2. LINEAMENTI GEOLOGICI E MORFOLOGICI GENERALI

### 2.1 INQUADRAMENTO MORFOLOGICO

Il territorio in cui ricade la proposta progettuale si sviluppa nell'alto Tavoliere della Puglia, in un'area compresa tra il Sub-Appennino Dauno ed il Promontorio del Gargano.

Il territorio comunale di Torremaggiore si estende nella parte nord-occidentale della provincia di Foggia a circa 40 Km dal capoluogo, a confine con la provincia molisana di Campobasso, a nord della piana del "Tavoliere", tra i comuni di Serracapriola, San Paolo di Civitate, San Severo, Lucera, Castelnuovo della Daunia, Casalvecchio di Puglia, Rotello (CB) e Santa Croce di Magliano (CB). Esso ricopre un'area di circa 208,54 Km<sup>2</sup> con un'altitudine che varia da 28 m a 220 m s.l.m..

Il centro abitato sorge su un pianalto, posto alla quota indicativa di circa 160 m s.l.m., basso pendente e dolcemente degradante verso il Mar Adriatico e verso il fondovalle del Fiume Fortore che scorre ad Ovest rispetto al centro abitato.

L'area di progetto si pone a circa 14 km a Ovest-NordOvest rispetto al centro abitato a quote comprese tra 125 e 170 metri s.l.m.

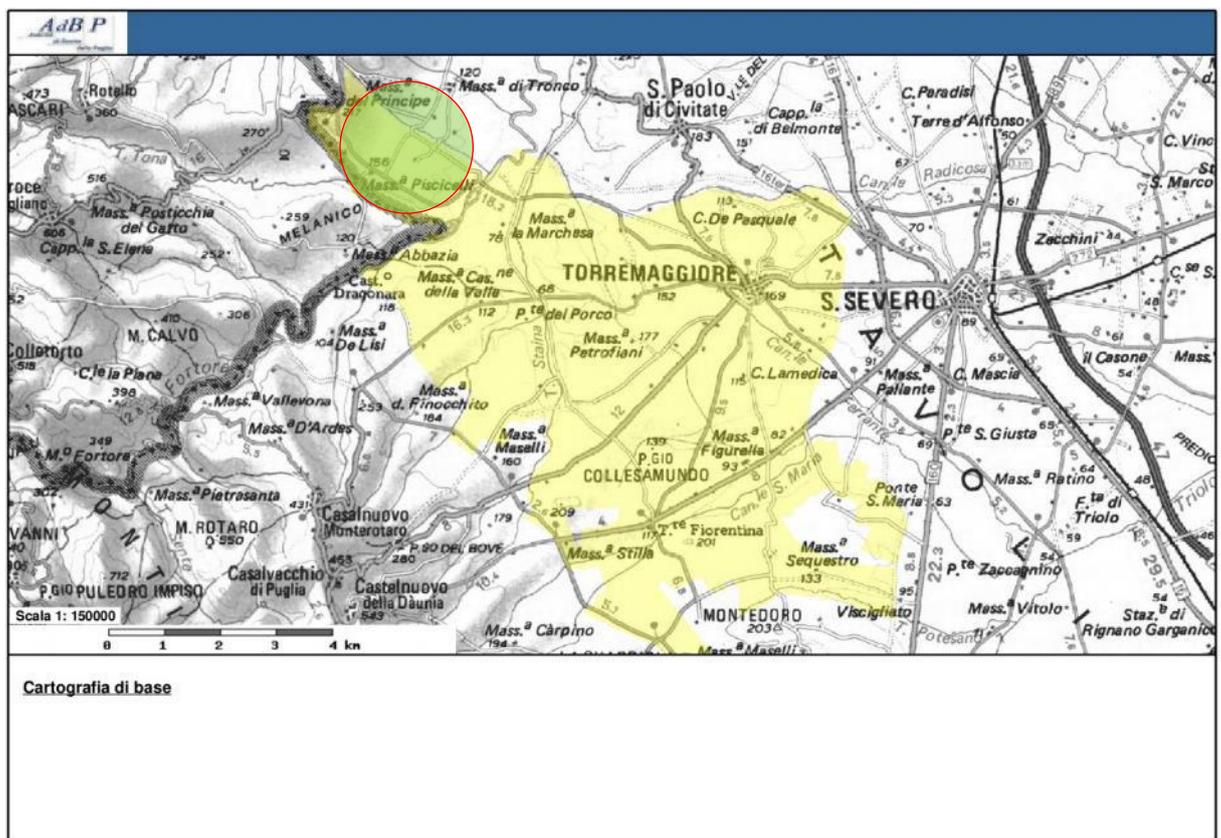


Figura 2:1 Inquadramento territoriale

La morfologia del territorio comunale è tipica delle falde in quota del Tavoliere della Puglia, ad assetto sub-orizzontale, che è l'espressione attuale dello smantellamento delle falde tettoniche dell'Appennino Dauno e della sedimentazione nell'Avanfossa Bradanica avvenuta dapprima in ambiente marino (quindi con grandi continuazioni orizzontali dei terreni) poi in condizioni d'emersione totale con la deposizione di terreni a continuità orizzontale locale.



La totalità del territorio comunale presenta pendenze molto basse (ca 5%), generalmente riferibili alle piane alluvionali generate dai corsi d'acqua che lo attraversano. Solo l'area del centro abitato di Serracapriola arriva al centro abitato di Chieuti, si pone su un alto morfologico caratterizzato da pendenze che arrivano a sfiorare i 10°.

Nello specifico, il sito di intervento rientra nel distretto morfologico e geologico dell'estrema porzione settentrionale del 'Tavoliere di Puglia', che corrisponde come unità geologico-strutturale all'Avanfossa Adriatica racchiusa tra la Catena Appenninica (corrispondente ai Monti della Daunia) e l'Avampaese Apulo (rappresentato dal Promontorio del Gargano e l'Altopiano delle Murge). Come emerso da più studi e pubblicazioni, la successione temporale della paleogeografia regionale può essere così sintetizzata:

- Formazione della Piattaforma Carbonatica Apula mesozoica-paleogenica;
- Successivamente al Miocene, frammentazione della Piattaforma e successiva individuazione dell'Avanfossa;
- Nel Pliocene-Pleistocene: fase di riempimento del bacino subsidente di Avanfossa;
- Nel tardo Pleistocene - Olocene: sollevamento tettonico regionale contemporaneo all'oscillazione glacio-eustatiche del livello marino con conseguente fase di terrazzamento e riempimento ad opera dei corsi d'acqua e/o bacini lacustri.

Il Basamento pre-pleiocenico del Tavoliere è composto da un potente pacco di rocce carbonatiche mesozoiche di facies di piattaforma che localmente possono presentarsi trasgressive coi depositi paleogenici delle 'Calcareni di Peschici'. Dal Miocene, durante l'intensa fase di tectogenesi appenninica, la piattaforma assume il ruolo di avampaese con la frammentazione delle sue parti estreme in direzione NO-SE: così si è formato l'esteso semigraben del Tavoliere (costituente l'Avanfossa) e l'horst del Gargano (l'Avampaese). Di seguito, a partire dal Pliocene, si assiste al riempimento dell'Avanfossa con sedimenti prevalentemente pelitici e sabbiosi di facies bacinale o distale di flussi torbiditici provenienti dalla catena posta a NO; tale fase è accompagnata da una tettonica prevalentemente compressiva e da una tendenza alla subsidenza dell'Avanfossa, favorita dal peso del crescente pacco sedimentari

Il territorio comunale di Serracapriola, dal punto di vista geomorfologico, è caratterizzato da una conformazione di bassa collina dolcemente degradante, a partire dall'alto morfologico costituito dal rilievo del Centro Storico che raggiunge la quota di 269 m s.l.m., verso il Mare Adriatico posto a Nord e verso i fondovali del F. Fortore e T. Saccione posti rispettivamente a Est, Sud ed Ovest.

Come noto, la conformazione del paesaggio è fortemente influenzato dalla litologia dei terreni affioranti lì dove il substrato è composto da terreni pelitici-argillosi prevalgono le forme addolcite e basso pendenti, rispetto a terreni sabbio-conglomeratici che possono pure presentare salti di pendenza. Forme eversive di versante sono state rilevate di modesta entità e vastità soprattutto sui versanti occidentali impostati sulle Argille di Montesecco.

Il territorio è inciso, come detto, da due assi fluviali principali ad andamento SW-NE e sub-parallelo tra loro: il Fiume Saccione a Ovest ed il Fortore a Est; l'abitato sorge proprio sullo spartiacque tra questi due bacini imbriferi. I loro affluenti sono di carattere tipicamente stagionale con portate che si riducono molto nella stagione secca fino ad annullarsi quasi completamente. Il pattern è di tipo dendritico per i terreni argillosi mentre assume forme di parallelo per i settori sabbio-conglomeratici ed infine una conformazione a meandri nel fondovalle soprattutto del Fortore.

## 2.2 LINEAMENTI GEOLOGICI

La situazione geomorfologica, stratigrafico-strutturale, idrogeologica e tettonica dei terreni presenti nell'area è stata ricostruita partendo dai dati contenuti nel foglio 155 "San Severo" della Carta Geologica d'Italia (scala 1:100.000 redatta dal Servizio Geologico di Stato, (1967). Al momento non si

dispone ancora del rilievo in scala 1:50000 (Progetto CARG), pertanto si è fatto riferimento a diverse pubblicazioni, strumenti di pianificazione territoriale ed urbanistica vigenti, unitamente ai dati del sottosuolo derivanti da indagini pregresse e da specifici sopralluoghi in campagna.

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. Trattasi di un esteso bassopiano morfologico cui si fa corrispondere la colmata del "bacino" e l'area di raccordo tra la prosecuzione verso sud della stessa colmata (Fossa Bradanica) e quella verso nord (Fossa Adriatica). L'intera area è ricoperta da depositi quaternari, 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 dell'argilla si rinviene in generale un deposito clastico sabbioso-ghiaioso cui fa da basamento impermeabile il complesso delle argille azzurre pliocenico-calabriere che costituisce il ciclo sedimentario più recente delle argille subappennine. Queste, che sono trasgressive sulle argille azzurre infra medio-plioceniche (ciclo più antico), costituiscono i principali affioramenti argillosi.

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. Al di sopra di tali depositi argillosi, plio-pleistocenici, sono presenti depositi marini ed alluvioni terrazzate del 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. L'area non presenta segni di dissesto in atto o potenziali.

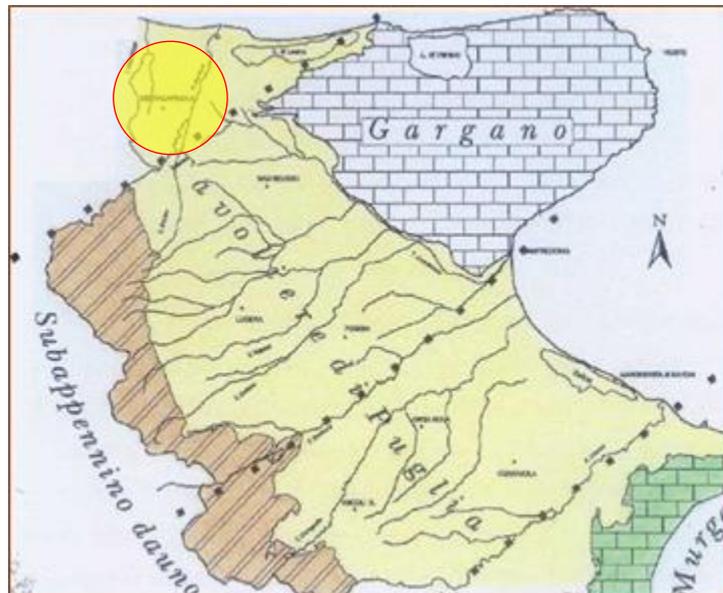


Figura 2:2 – I distretti morfoambientali legati alla diversa struttura e costituzione litologica del sottosuolo.

## 2.3 CARATTERI TETTONICI

La regione pugliese può essere suddivisa in tre grandi elementi geologici: Avampaese apulo (all'interno del quale si distinguono il Promontorio del Gargano, l'Altopiano delle Murge e le Serre Salentine), Fossa Bradanica (differenziata geograficamente in Tavoliere delle Puglie, a nord, e Fossa Premurgiana, a sud) e catena subappenninica (cui appartiene il Subappennino Dauno o Monti della Daunia).

Da un punto di vista geologico, il Tavoliere delle Puglie rappresenta il settore settentrionale della Fossa Bradanica, limitato ad O dal Subappennino Dauno e ad E dal Gargano.

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 (figura 2:3).

- formazione della piattaforma carbonatica mesozoico-paleogenica;
- frammentazione della piastra Apula con relativa individuazione dell'avanfossa a partire dal Miocene;
- riempimento di questo bacino subsidente durante il Plio-Pleistocene;
- sollevamento regionale concomitante con oscillazioni glacio-eustatiche del livello del mare e conseguente importante fase di terrazzamento mesopleistocenico-olocenica.

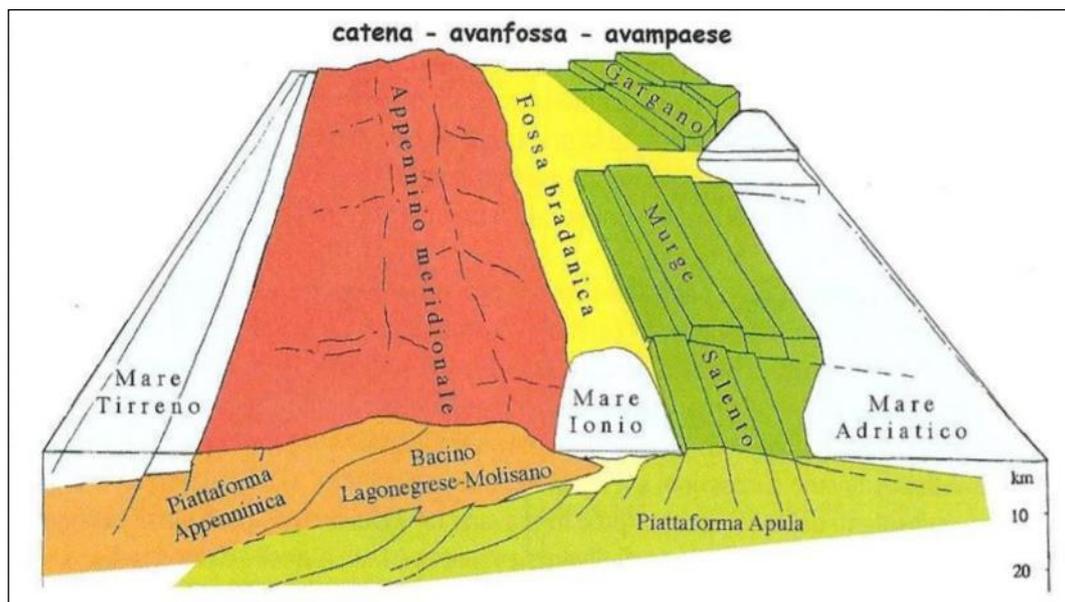


Figura 2:3 – Modello strutturale del sistema geodinamico Appennino-avampaese apulo. (da Funicello et al. 1991).

Le varie unità lito-stratigrafiche presenti nella parte più occidentale dell'area sono state interessate da fasi tettoniche mioceniche e plioceniche (Aprile et al., 1979; Di Nocera e Torre, 1987). Queste hanno determinato strutture geologiche complesse con rapporti di sovrapposizione e contatti (stratigrafici e/o tettonici) diversi e variabili da zona a zona.

Il motivo strutturale più evidente (figura 2:4) 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, individuate fin dal Miocene medio. 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.

L'evoluzione strutturale generale, che caratterizza la zona del Preappennino Dauno, è sostanzialmente iniziata con la sedimentazione, nel miocene, di una potente serie fliscioide sopra il complesso basale.

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.

In seguito, nel periodo pliocenico, si configura una sedimentazione trasgressiva anche sui depositi flyscioidi, dovuta a un successivo abbassamento.

Le strutture, oggi visibili, sono da attribuire ad una tettonica di tipo gravitativo dove i complessi flyscioidi sono "scivolati" verso NE, in più riprese, sulle argille varicolori e successivamente anche sul termine argilloso-marnoso della formazione della Daunia, nel tardo Miocene.

In seguito si registra la ripresa dei movimenti gravitativi delle masse di flysch e successivi scivolamenti delle argille varicolori, in concomitanza dei fenomeni di subsidenza che hanno caratterizzato la formazione della Fossa Bradanica, legata a una tettonica di tipo epirogenico (sprofondamento).

La tettonica dei depositi pliocenici rispecchia all'incirca quella del substrato miocenico. Naturalmente tale stile influenza notevolmente la rete idrografica superficiale, fenomeno evidenziato dall'allineamento delle valli principali secondo i motivi tettonici preminenti.

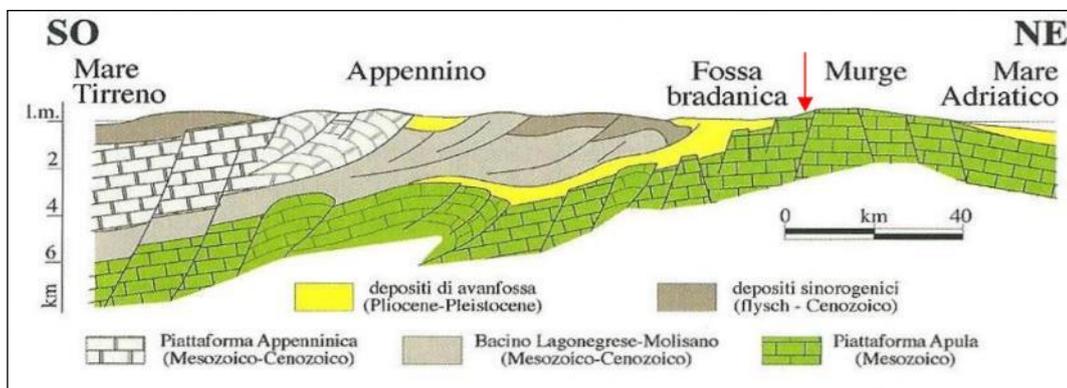


Figura 2:4 Sezione geologica schematica attraverso l'avanfossa appenninica.

Per quanto riguarda l'area del bacino essa è stata interessata solo marginalmente dalle fasi tettoniche appenniniche precoci (Miocene), durante le quali fungeva da avampaese. Dal Pliocene inferiore ha perso decisamente il carattere di avampaese ed ha assunto, almeno fino al Pleistocene inferiore, quello di avanfossa. In essa si sono depositati sedimenti prevalentemente argillosi di ambiente marino, sui più occidentali dei quali hanno finito per sovrascorrere le unità appenniniche più esterne, come risulta dall'analisi delle stratigrafie di molti pozzi profondi e da sezioni sismiche (AGIP, 1977; ENEL, 1985; Moscardini e Merlini, 1986).

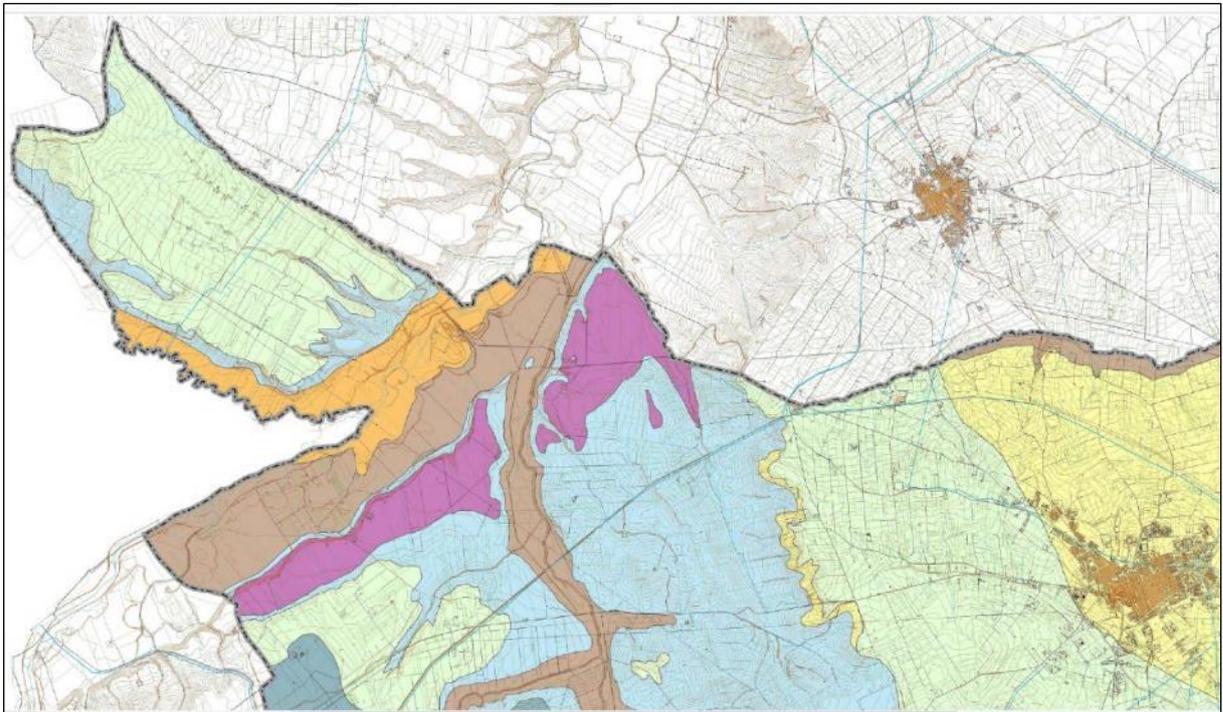
Successivamente la regressione marina ha consentito la deposizione di materiale continentale clastico limoso – sabbioso e ghiaioso. Il sollevamento che ha causato la regressione è tuttora attivo e, secondo alcuni autori (Ciaranfi et al., 1983), sarebbe legato almeno in parte ad un generale riaggiustamento isostatico della catena. Durante quest'ultimo periodo l'area è stata anche interessata da una ripresa dell'attività di dislocazioni tettoniche trasversali che potevano aver accompagnato in precedenza la messa in posto dei thrusts appenninici. Tale ripresa è segnalata nella carta neotettonica dell'Italia 1:500.000 del C.N.R.

Il basamento calcareo dolomitico del mesozoico, che costituisce l'ossatura fondamentale del Tavoliere, ha prevalentemente una struttura a Horst e Graben, originata da un sistema di faglie appenniniche, parallele alla faglia marginale del Gargano.

### 3. CARATTERIZZAZIONE DEI LITOTIPI LOCALI E ASSETTO LITOSTRATIGRAFICO

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

Questi depositi alluvionali, che nel foglio n° 155 "San Severo" della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000 (Servizio Geologico d'Italia) vengono attribuiti alla formazione delle "coperture fluvio-lacustri dei pianalti e del I Ordine di terrazzi", sono datati al Pleistocene medio 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.



*Figura 3:1 Estratto della Carta Geologica Piano regolatore Generale Comune di Torremaggiore.*

Come già descritto, dal punto di vista geologico generale il sottosuolo in esame è parte integrante dei depositi alluvionali pleistocenici, 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 avanfossa di età più recente (Pliocene superiore – Pleistocene inferiore), che viene comunemente indicata come ciclo della Fossa Bradanica.

<sup>1</sup> Foglio 155 "San Severo" scala 1:100.000



Nello specifico si rilevano depositi ascrivibili alla formazione delle *Coperture fluvio-lacustri dei pianli e del I ordine di terrazzi (Pleistocene Medio – Olocene)*. Si tratta di ghiaie più o meno cementate, livelli informi travertinosi con impronte di piante e gasteropodi, argille sabbiose, sabbie, calcari pulvirulenti bianchi ricoperti in genere da terre nere ad alto tenore humico.

#### 4. ASSETTO GEOSTRUTTURALE

Le formazioni geologiche sopra descritte, non permettono, per loro natura e giacitura, il riconoscimento immediato di lineazioni tettoniche e/o strutturali. Trattandosi di depositi sciolti o al più debolmente cementati non subiscono un comportamento fragile alle deformazioni.

Da immagini satellitari e, ancor di più, da rilevazioni direttamente al suolo e da considerazioni di carattere strutturale, è possibile ipotizzare una linea di faglia lungo l'asse della Valle del Torrente Fortore orientata a circa 30° rispetto alla direzione Nord e una linea corrispondente alla Valle del Torrente Candellaro, orientata circa 135°N (direzione antiappenninica).

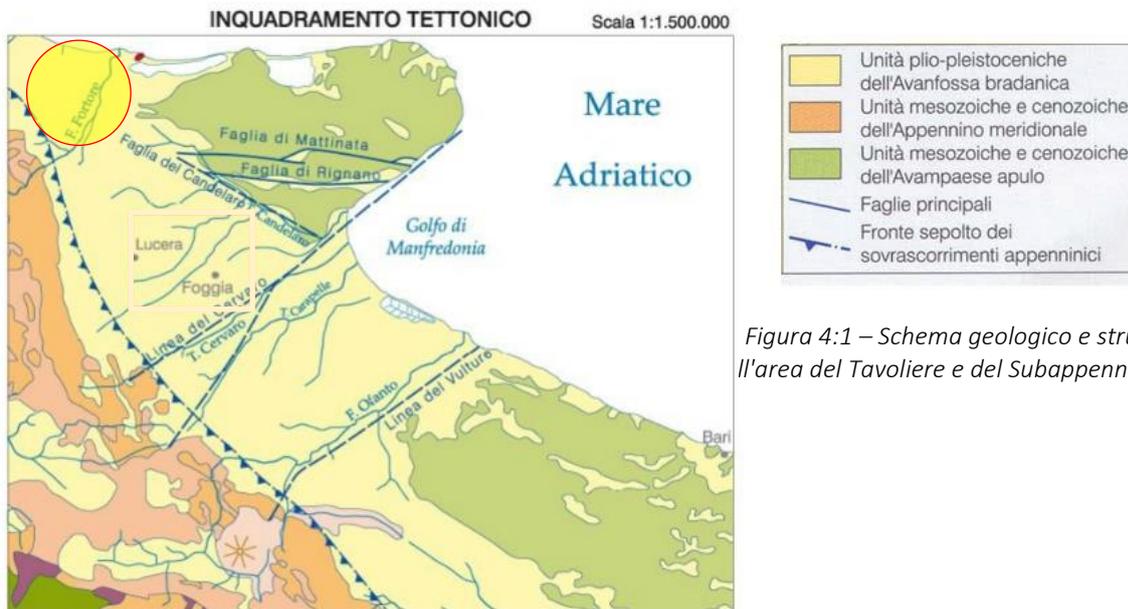


Figura 4:1 – Schema geologico e strutturale l'area del Tavoliere e del Subappennino Dauno.

Sempre analizzando le immagini satellitari è possibile verificare le diverse azioni di sistemazione idraulica che ha subito il Fiume Fortore e alcuni dei suoi tributari principali ; ciò nonostante è possibile riconoscere le valli relitte e tracciare un andamento che il più delle volte interseca il torrente principale con andamento appenninico.

Il reticolo idrografico, quindi, è fortemente condizionato dall'assetto tettonico-strutturale. Le linee di scorrimento idrico, specie nella parte alta del Bacino, sono impostate su lineazioni tettoniche che interrompono la continuità litologica degli affioramenti carbonatici.

In conclusione, dopo la breve e sommaria descrizione dei sistemi di frattura presenti, appaiono chiari almeno due fasi tettoniche principali: una prima fase Appenninica, con fratture disposte con direzione compresa tra 120° e 160° rispetto alla direzione Nord, e una seconda fase che ha visto la comparsa di fratture con direzione compresa tra i 45° e i 65° rispetto al Nord (Fase antiappenninica) che ha tagliato profondamente le precedenti ed ha contribuito a dare un'impronta precisa alla morfologia dei luoghi.

## 5. 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, tra cui una anche nel territorio comunale di Torremaggiore.

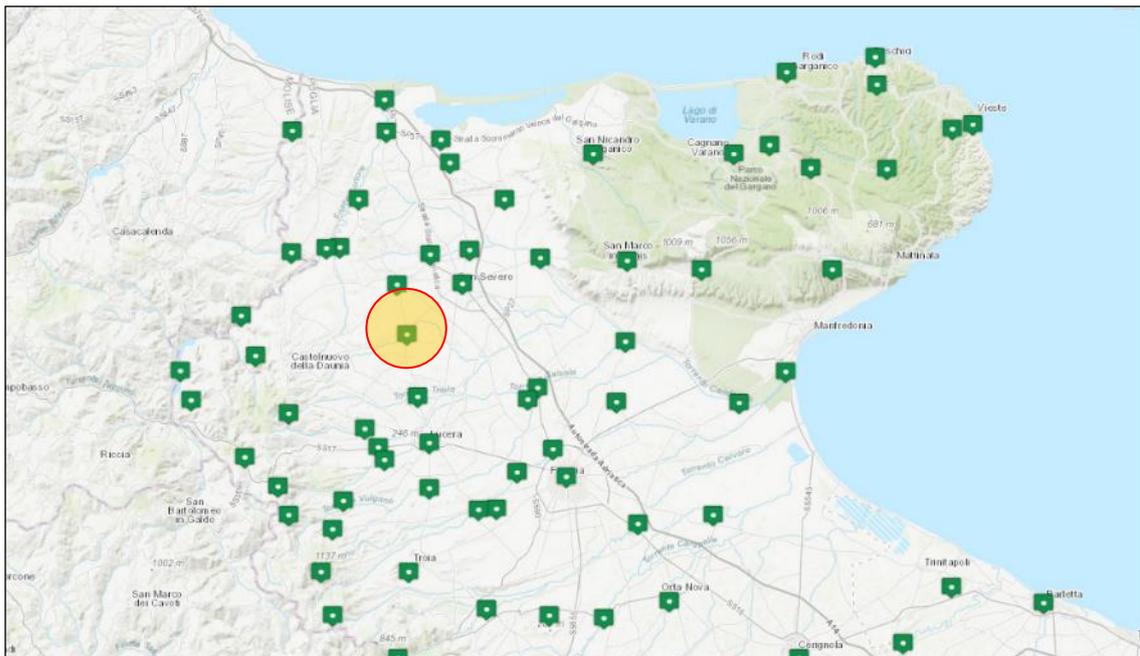


Figura 5:1 Rete in telemisura Protezione Civile Puglia – Centro Funzionale decentrato

### 5.1 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 5:1 e nella rispettiva figura 5:2.

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).





Tabella 5:2 – Medie Mensili e annuali delle precipitazioni e dei giorni piovosi (anni di osservazione 1921-2020)

| PRECIPITAZIONI MEDIE ANNUE |                      |               |   |    |   |    |   |      |   |      |   |      |   |      |   |             |   |      |   |      |   |      |   |      |   |     |    |
|----------------------------|----------------------|---------------|---|----|---|----|---|------|---|------|---|------|---|------|---|-------------|---|------|---|------|---|------|---|------|---|-----|----|
| 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 |

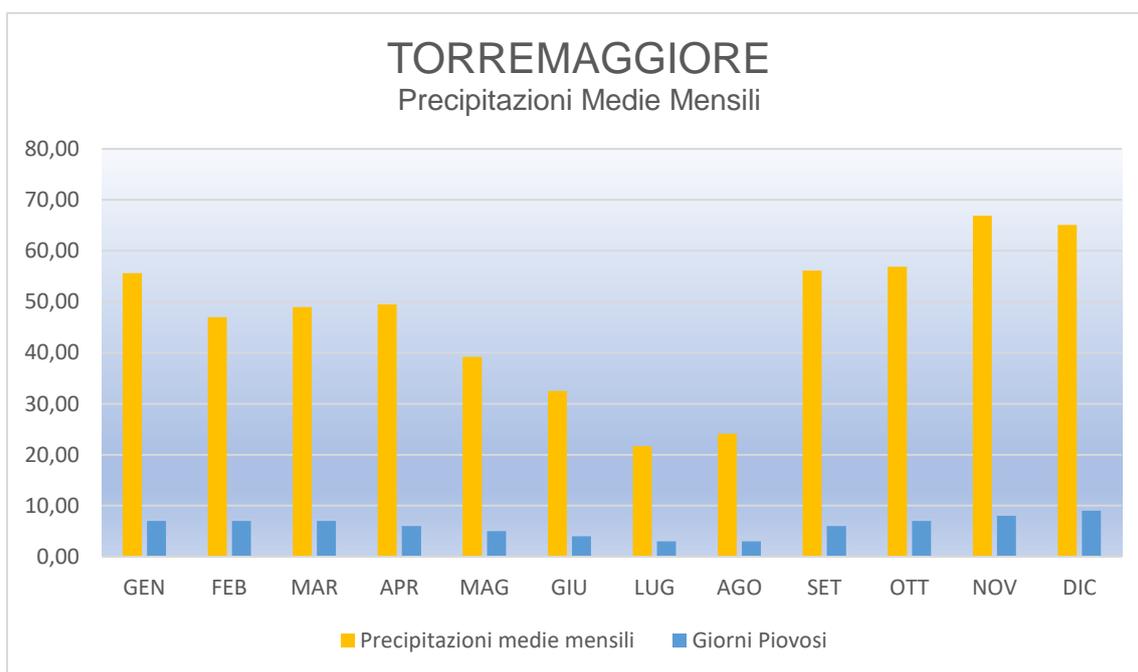


Figura 5:3 – Precipitazioni medie mensili e numero dei giorni piovosi nella stazione pluviometrica di Torremaggiore. Anno idrologico medio 1921 - 2020.

## 6. AMBIENTE IDRICO: ACQUE SUPERFICIALI E ACQUE SOTTERRANEE

### 6.1 ACQUE SUPERFICIALI

Come già descritto in precedenza nell'area del Tavoliere di Puglia si individua un'idrografia superficiale piuttosto diffusa. Ciò è da mettere in relazione sia alla natura geolitologica, con affioramenti di litologie prevalentemente limo argillose che favoriscono il ruscellamento superficiale sia anche alla collocazione morfologica e geografica, ai piedi di importanti rilievi dove si verificano intense precipitazioni e forti ruscellamenti a causa delle pendenze elevate e degli affioramenti lapidei impermeabili.

Il fiume Fortore rappresenta l'elemento idrografico principale, ma a differenza di tutti i corsi d'acqua del tavoliere che scorrono in direzione NO-SE, il Fortore defluisce in direzione SSO-NNE seguendo lo schema dei fiumi del medio Adriatico. (Figura 6:1).

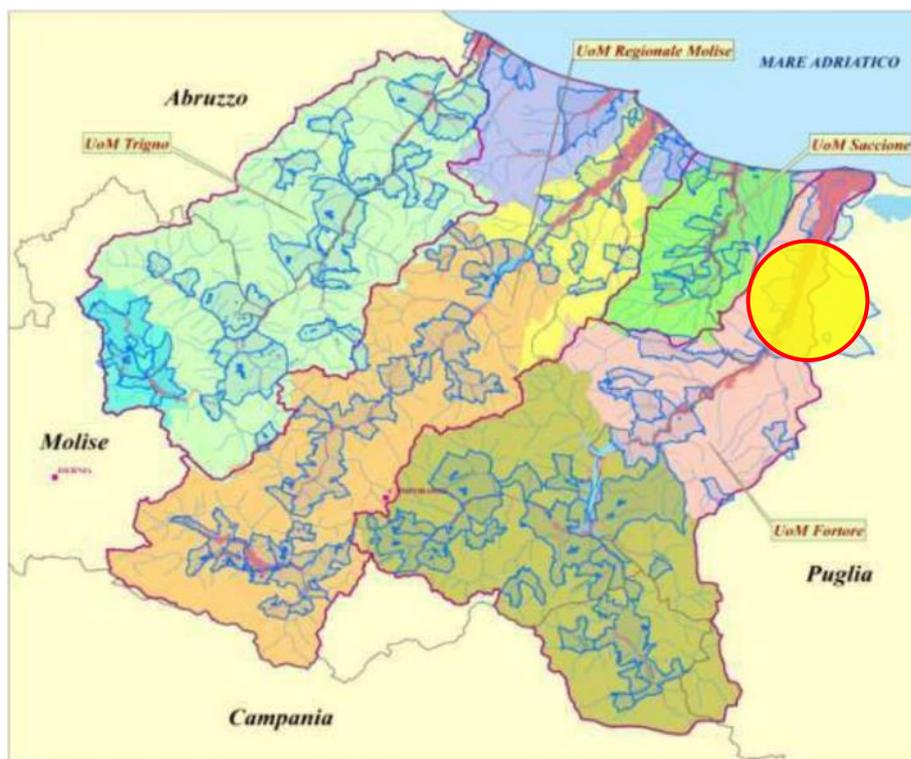


Figura 6:1 Schema della rete idrografica

Si tratta di un corso d'acqua con carattere torrentizio e le portate assumono un valore significativo solo a seguito di precipitazioni particolarmente abbondanti e prolungate. Generalmente con le prime forti precipitazioni autunnali non si vengono a determinare deflussi idrici di particolare rilievo, tanto che gli alvei restano privi d'acqua, persino fino a dicembre. Nei periodi piovosi invernali, anche se per breve durata, si possono determinare inaspettate piene con portate e coefficienti di deflusso alquanto elevati, il che è da mettere in relazione con il fatto che i terreni dei bacini imbriferi sono portati a saturazione dalle precipitazioni liquide e solide più frequenti anche se meno copiose, e con valori di evapotraspirazione molto bassi che non permettono il drenaggio verso l'alto delle acque.

Nello specifico del sito di intervento il deflusso idrico superficiale avviene in direzione NO-SE, secondo le linee di massima pendenza che normalmente seguono una direzione ortogonale alla linea di

scorrimento principale del Fiume Fortore. L'idrografia rivela nel complesso una fase di maturità con un andamento meandriforme e con presenza talora di alvei abbandonati.

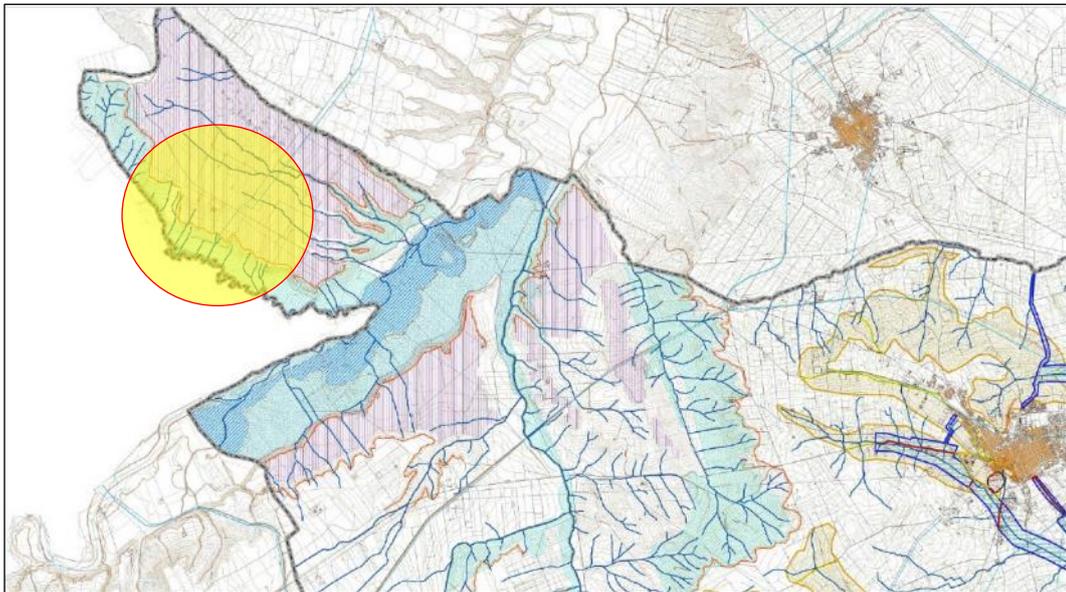


Figura 6:2 Rete idrografica locale

## 6.2 CIRCOLAZIONE IDRICA SOTERRANEA

In relazione alle caratteristiche stratigrafico-strutturali dell'area e in funzione della profondità, si identificano *tre unità acquifere* principali, di seguito elencate, dal basso verso l'alto [Maggiore et alii, 1996] (figura 6:3).

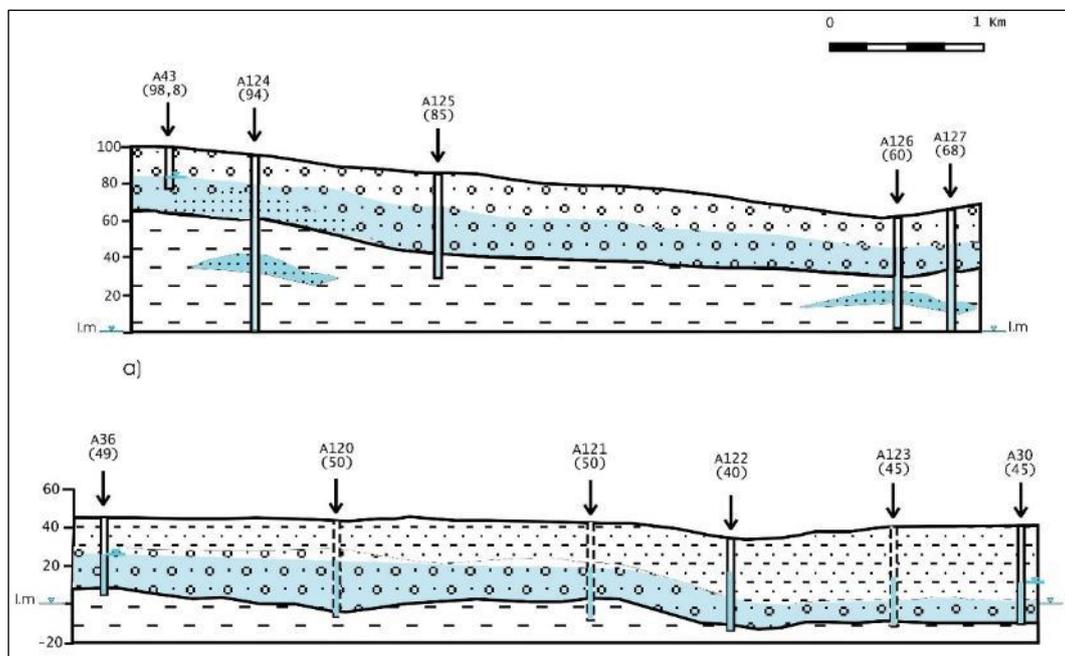


Figura 6:3 – Sezioni idrogeologiche. Legenda 1) Depositi d'alveo (Olocene); 2) depositi della pianura alluvionale (Olocene – Pleistocene sup.); 3) argille grigio-azzurrognole con intercalazioni sabbiose (Pleistocene inf. – Pliocene sup.) 4) Calcarenite (Pliocene sup. – Miocene); calcari della piattaforma arbonatica apula (Cretaceo); 6) Conoidi detritiche (Olocene – Pleistocene sup.) 7) Pozzo (in tratteggio, se proiettato).



Si distinguono, a partire dal basso.

- *Acquifero fessurato-carsico profondo*, situato in corrispondenza del substrato carbonatico pre-pleiocenico.
- *Acquifero poroso profondo*, situato in corrispondenza delle lenti sabbiose intercalate alle argille plio-pleistoceniche.
- *Acquifero poroso superficiale*, la cui falda ha sede nei livelli sabbioso ghiaiosi dei depositi marini e alluvionali del Pleistocene sup.-Olocene.

Le principali differenze tra queste tre unità acquifere risiedono nei caratteri della circolazione idrica sotterranea e nelle caratteristiche chimiche delle acque, legate a un diverso grado di mescolamento di tre componenti fondamentali: acque di origine meteorica, acque salate di intrusione marina e acque connate.

#### Acquifero poroso superficiale.

Si viene a formare nella porzione più superficiale del sottosuolo negli estesi depositi marini e alluvionali quaternari, che ricoprono con continuità le argille grigio-azzurre plio-pleistoceniche. La falda idrica si rinviene a modeste profondità dal piano campagna, variabili da zona a zona e può essere ripartita su più livelli.

Si tratta di un acquifero articolato, costituito da alternanze irregolari di strati ghiaiosi, sabbiosi, argillosi e argilloso-limosi con diverso grado di permeabilità. La presenza di livelli argillosi impermeabili intercalati, in configurazione lenticolare, consente in ogni caso l'interconnessione idraulica tra i vari livelli acquiferi, per cui i caratteri della circolazione idrica sono riferibili a un'unica falda, molto eterogenea, frazionata su più livelli.

L'acquifero è sostenuto dalle argille grigio-azzurre impermeabili di base e la potenza dello stesso è variabile tra i 25 e 50 m, talora superiore, solo nelle aree più interne si riscontrano valori inferiori a 25 m.

Specifici studi di carattere idrogeologico indicano che la morfologia della superficie piezometrica del territorio è notevolmente influenzata da quella del substrato impermeabile. Orientativamente si evidenzia che i corpi sedimentari a granulometria più grossolana (di maggiore permeabilità) prevalgono nelle aree di alta pianura e, man mano verso la costa, la presenza d'intercalazioni argilloso-limose (scarsamente permeabili) aumenta sia come spessore sia in frequenza. Cosicché nella fascia pedemontana la falda circola liberamente, mentre, nella parte mediana e bassa è in pressione, in condizioni artesiane.

La particolare configurazione litostratigrafica è tale che le zone di maggiore alimentazione sono quelle dove affioramento i depositi più grossolani, adatti ad assorbire buona parte delle acque meteoriche, destinandole alla circolazione idrica sotterranea.

Come già rilevato lo spessore complessivo di questi terreni, è piuttosto esiguo in corrispondenza del lembo appenninico, aumenta sensibilmente verso est, raggiungendo i 50 m nella zona mediana della pianura e a luoghi i 100 m presso il litorale adriatico.

La superficie piezometrica si rinviene a circa 250 m s.l.m. nelle zone più interne e degrada fino alla costa con gradienti compresi tra 0,15% e 0,25%. Nell'area in studio è compresa tra -18 e -40 metri rispetto alla quota del piano di campagna.

#### Acquifero poroso profondo.

L'acquifero poroso profondo, plio-pleistocenico, è situato in corrispondenza degli strati sabbioso-



limosi e localmente ghiaiosi intercalati alla successione argillosa dell'avanfossa.

I livelli acquiferi sono rappresentati da corpi discontinui di forma lenticolare, dello spessore di pochi metri, alternati a strati argillosi impermeabili spessi anche alcune decine di metri.

La falda è in pressione ovunque e di solito presenta forti caratteri di artesianità. Le reali caratteristiche di questo sistema acquifero sono poco conosciute, soprattutto riguardo alla geometria e distribuzione spaziale dei corpi acquiferi, alla connessione idraulica tra i diversi livelli e con le altre falde del Tavoliere, alle modalità di alimentazione e di deflusso.

I livelli utilizzati, captati di norma per uso irriguo, sono localizzati a profondità variabili tra 150 m e 500 m dal p.c.; nei livelli sabbiosi più profondi la possibilità di rinvenimento di acque dolci utilizzabili è fortemente condizionata dall'esistenza di acque connate, associate ad accumuli d'idrocarburi.

#### Acquifero fessurato-carsico profondo.

Dal Torrente Candelaro, procedendo verso ovest, l'acquifero carbonatico mesozoico del Gargano risulta ribassato a gradinata da sistemi di faglie dirette, a direzione appenninica e antiappenninica, che danno origine nel substrato un'articolata struttura ad horst e graben.

L'interesse pratico per questo acquifero è limitato alle zone dove il substrato è situato a profondità inferiori a qualche centinaio di metri, quali si riscontrano nella fascia pedegarganica del Tavoliere. Questa limitazione è giustificata dal fatto che procedendo verso la parte mediana dell'avanfossa, con la profondità del substrato aumenta notevolmente il contenuto salino delle acque che passano da valori tipici di acque di origine meteorica, più o meno contaminate dagli apporti marini, a valori e chimismo caratteristici delle acque connate associate ai giacimenti di idrocarburi.

Le acque di falda circolano nelle rocce carbonatiche del substrato e sono confinate sotto la successione argillosa o di livelli poco fratturati delle stesse rocce calcaree. La circolazione idrica risente delle caratteristiche idrauliche dell'acquifero, variabili da zona a zona in funzione del grado di fessurazione e carsismo della roccia. Le modalità di deflusso della falda sono anche influenzate dalla presenza delle numerose faglie del substrato che determinano direttrici di deflusso preferenziali.

### **6.3 RAPPORTI TRA L'INTERVENTO PROPOSTO E LA FALDA SUPERFICIALE**

Come già ampiamente verificato nei paragrafi precedenti, la superficie piezometrica, è stata verificata direttamente misurandone il livello nei diversi pozzi presenti nell'intero comprensorio ed è stata determinata a profondità comprese tra - 50 e -65 metri dal piano di campagna, con oscillazioni annuali influenzate dalle precipitazioni locali contenute nel metro.

Tenuto conto che le opere progettate interferiscono solo con i primi metri della successione stratigrafica, in quanto sia le strutture di sostegno dei singoli pannelli che Sottostazione Elettrica saranno fondate a profondità non superiori a -3,50 metri dal p.c, si può concludere che non c'è nessuna interferenza tra le stesse opere fondali e la superficie piezometrica della falda superficiale



## 7. 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 7:1 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 g, 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 7:2 – Suddivisione delle 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 | $ag \leq 0.05$ |
|---|----------------|

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 Foggia 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 ( $ag_{max}$ ) di **0,15 a 0,25**.

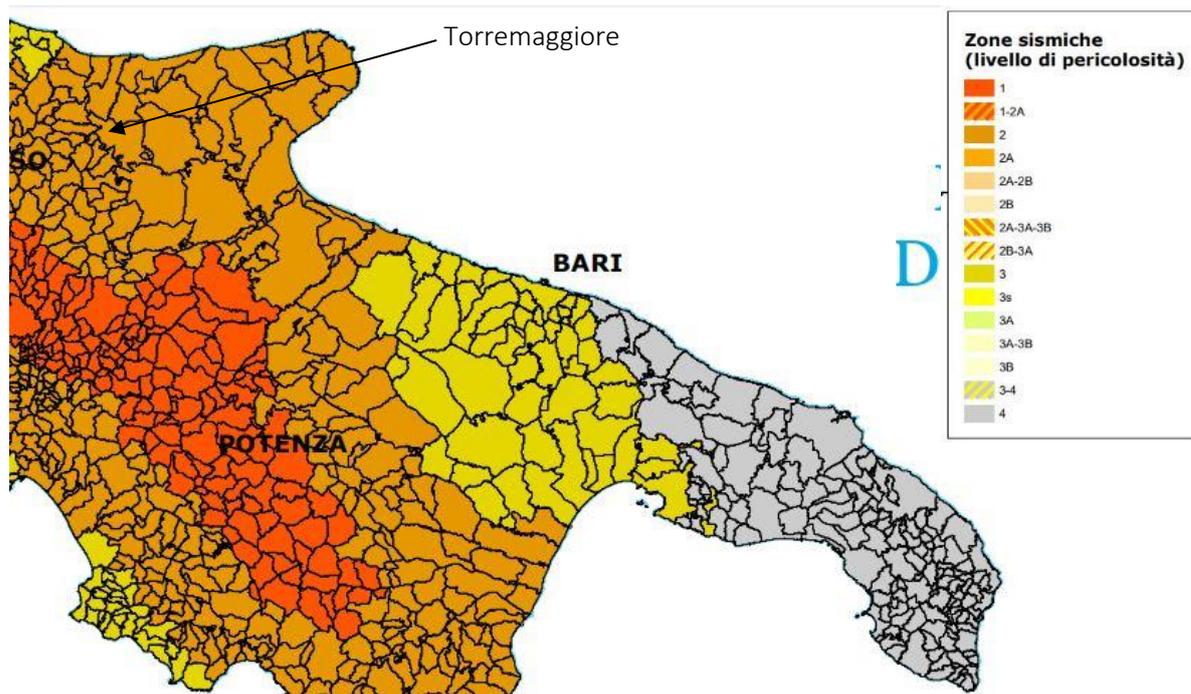
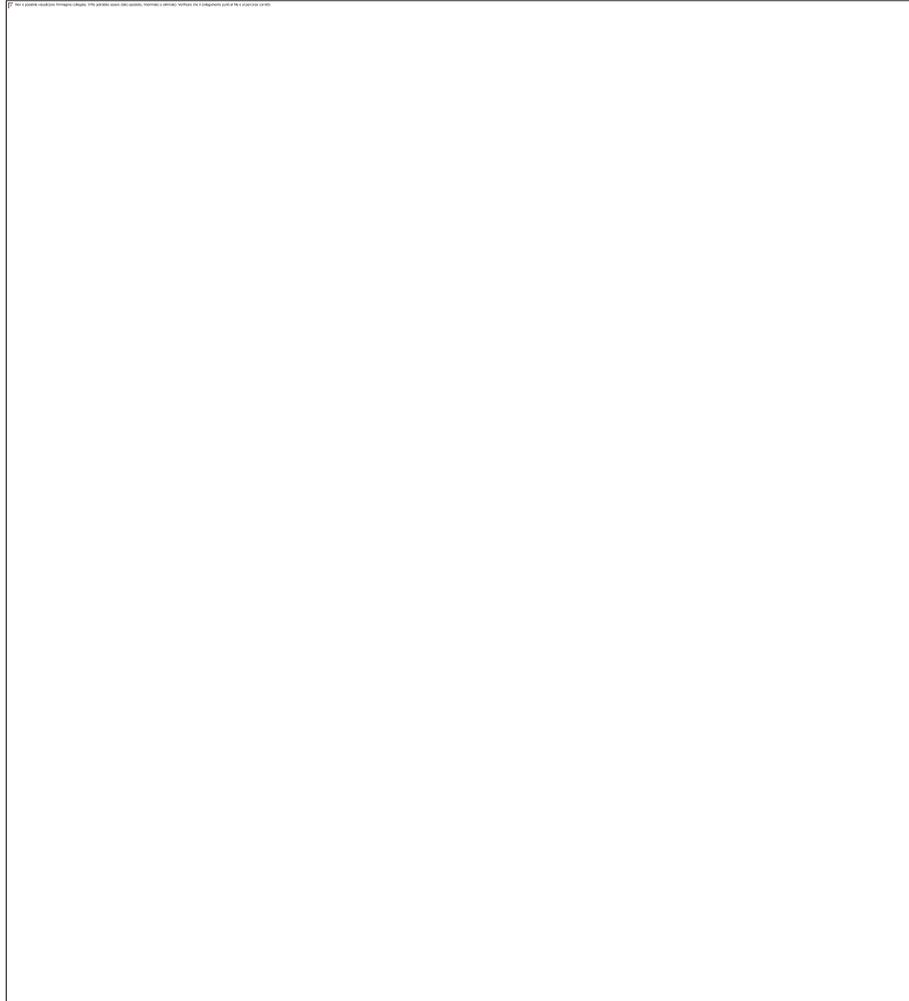


Figura 7:1 – Classificazione sismica del gennaio 2019

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 7:2).



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 7:4).

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.

E' 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.

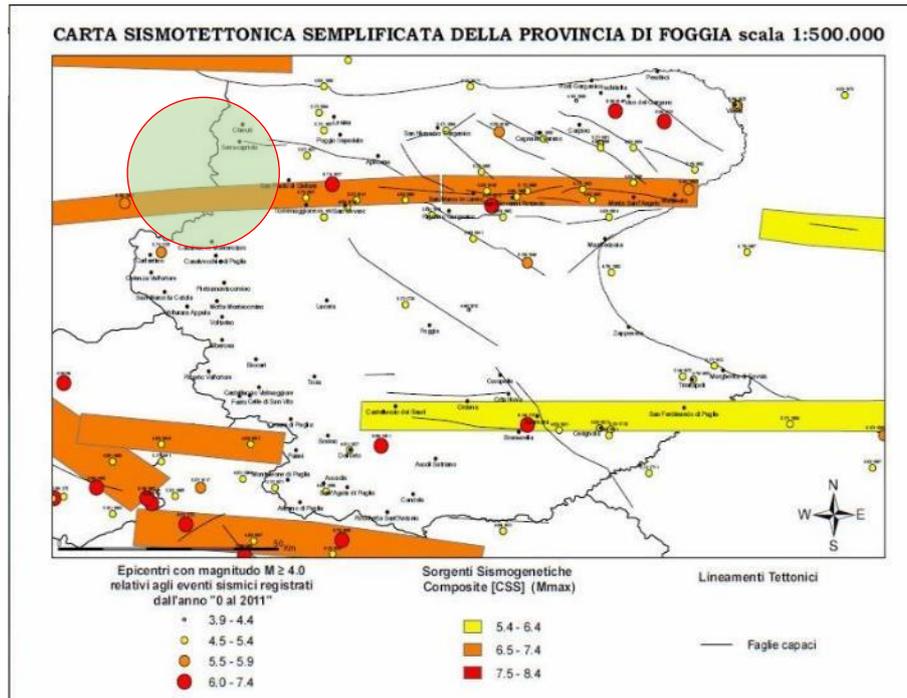


Figura 7:3 Carta sismotettonica della Provincia di Foggia.

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. Nella seguente tabella sono elencati i terremoti registrati nel territorio di Torremaggiore.

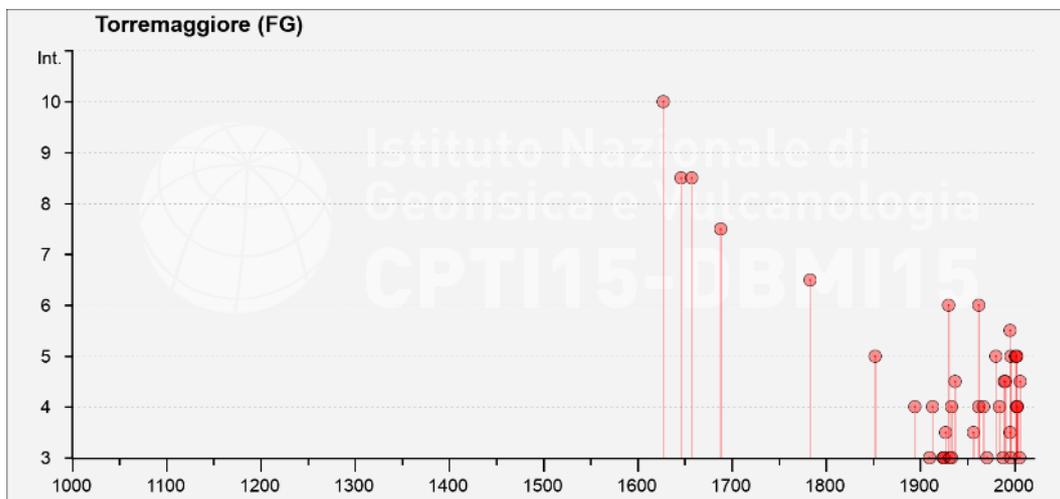


Figura 7:4 – Storia sismica del Comune di Torremaggiore [41.689, 15.292] – [https://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15\\_v1.5/query\\_place/](https://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15_v1.5/query_place/)



Tabella 7:3 Elenco dei principali eventi sismici nel Comune di Torremaggiore. - [https://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15\\_v1.5/query\\_place/](https://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15_v1.5/query_place/)

| CPTI15 - DBMI15  |                     |                        |      |     |      |
|--|---------------------|------------------------|------|-----|------|
| Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani 2015 - Database Macrosismico Italiano 2015 |                     |                        |      |     |      |
| Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia   |                     |                        |      |     |      |
| Seismic history of   | Torremaggiore       |                        |      |     |      |
| PlaceID  | IT_62250            |                        |      |     |      |
| Coordinates (lat, long)  | 41.806, 15.160      |                        |      |     |      |
| Municipality (ISTAT 2015)  | Torremaggiore       |                        |      |     |      |
| Province   | Foggia              |                        |      |     |      |
| Regione  | Puglia              |                        |      |     |      |
| Is   | Anno Me Gi Ho Mi Se | Area epicentrale       | NMDP | Io  | Mw   |
| 10   | 1627 07 30 10 50    | Capitanata             | 64   | 10  | 6.66 |
| 8-9  | 1646 05 31          | Gargano                | 35   | 10  | 6,72 |
| 8-9  | 1657 01 29 02       | Capitanata             | 12   | 8-9 | 5.96 |
| NC   | 1688 06 05 15 30    | Sannio                 | 215  | 11  | 7.06 |
| 7-8  | 1688 07 23          | Capitanata             | 3    | 7-8 | 5.33 |
| 6-7  | 1783 11 15          | Tavoliere delle Puglie | 1    | 6-7 | 4.86 |
| 5  | 1852 12 09 21 15    | Gargano                | 12   | 5   | 4.31 |
| 5  | 1894 03 25          | Gargano                | 27   | 6-7 | 4.90 |
| 5  | 1913 10 04 18 26    | Molise                 | 205  | 7-8 | 5.35 |
| 6  | 1930 07 23 00 08    | Irpinia                | 547  | 10  | 6.67 |
| 6  | 1937 12 15 21 25    | Tavoliere delle Puglie | 16   | 4-5 | 4.58 |
| 4-5  | 1955 02 0 10 06     | Gargano                | 31   | 6-7 | 5.05 |
| 6  | 1962 08 21 18 19    | Irpinia                | 562  | 9   | 6.15 |
| 5  | 1980 23 11 18 34 5  | Irpinia - Basilicata   | 1394 | 10  | 6.81 |
| 5  | 1995 09 30 10 14 3  | Gargano                | 45   | 6   | 5.15 |
| 5  | 1996 11 10 23 23 1  | Tavoliere delle Puglie | 55   | 5-6 | 4.35 |
| 5  | 2001 07 02 10 04 4  | Tavoliere delle Puglie | 60   | 5   | 4.26 |
| 5  | 2002 10 31 10 32 5  | Molise                 | 51   | 7-8 | 5.74 |
| 5  | 2002 11 01 15 09 0  | Molise                 | 638  | 7   | 5.72 |
| 4  | 2002 11 12 09 27 4  | Molise                 | 174  | 5-6 | 4.57 |
| 4-5  | 2006 05 29 02 20 0  | Gargano                | 384  |     | 4.64 |



## 8. PIANIFICAZIONE ED ESECUZIONE DELLE INDAGINI GEOFISICHE

L'area è stata già investigata a più riprese, in relazione a diversi interventi eseguiti nell'intero comprensorio, con la realizzazione indagini geomeccaniche finalizzate alla ricerca di acque sotterranee a carotaggio continuo e indagini geofisiche.

In questa fase di studi è stata eseguita una prima ricognizione cartografica e aerofotogrammetrica a cui ha fatto seguito una indagine di superficie che è stata integrata con i risultati di indagini geofisiche che comprendono indagini sismiche a rifrazione e indagini tipo MASW (Multi-channel Analysis of Surface Waves); il quadro conoscitivo è stato, infine, completato con l'esecuzione di n. 2 prove penetrometriche dinamiche necessarie a determinare la resistenza del suolo nei primi metri (max 7 metri) della successione stratigrafica.

Da qui si è risaliti alla determinazione dei parametri sismo-elastici del terreno indagato

### 8.1 METODOLOGIE DI INDAGINE 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 (Vp), velocità delle onde trasversali S (Vs) ed i relativi parametri elastici (E, G, K e  $\nu$ )<sup>2</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:

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

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 Vs non inferiore a 800 m/sec<sup>3</sup>.

<sup>2</sup> Allegato IV

<sup>3</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.



Per depositi con profondità  $H$  del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio  $V_{s,eq}$  è definita dal parametro  $V_{s30}$ , 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 ( $P$ ) e le onde di taglio verticali ( $S_v$ ) 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  $\sqrt{r}$  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:

- a) 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;
- b) 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  $h < 0,25 * z$ ;
- c) 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;
- d) 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.

## 8.2 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 a 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 µsec;
- Frequenza geofoni = 10.00 Hz;
- Sistema di energizzazione = "massa battente".

### 8.3 RISULTATI INDAGINE GEOSISMICA

La topografia della superficie del sito investigato è perfettamente 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.

#### 8.3.1 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 3 unità sismostratigrafiche valore di  $V_{s,eq}$  comprese tra 272 e 456 m/sec,

Tabella 8:1– Valore della  $V_{s,eq}$  per i singoli stendimenti MASW

| PROFILO MASW | $V_{s,eq}$ | Categoria Sottosuolo               | Sito |
|--------------|------------|------------------------------------|------|
| n.           | m/sec      | Tab. 3.2.II - D.M. 17 gennaio 2018 |      |
| 1            | 476        | B                                  | C2   |
| 2            | 419        | B                                  | C1   |

Pur evidenziando che 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, è stato possibile evidenziare una congruenza fra il modello ricavato dalle indagini MASW con quello determinato dall'indagine sismica a rifrazione.

Sulla base di valutazioni incrociate sull'attendibilità dei risultati ottenuti dalle ricostruzioni sismiche è possibile scegliere il modello ritenuto più conforme alla situazione litostratigrafica presente nell'area e di cui è sempre preferibile avere a disposizione informazioni dirette di tipo geologico, geotecnico e/o idrogeologico.



### 8.3.2 Elaborazione dell'indagine sismica a rifrazione

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.



## 9. 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 a);
- avanzamento (penetrazione);
- 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 9:1 – 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  $d = 10$  cm;
- punta conica ( $a = 60-90^\circ$ );
- 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:

$$N_{SPT} = (\beta_t N)$$

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.



## 10.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-grossa, subordinatamente limosa, di colore beige, a volte rossastra. Queste lenti sono tendenzialmente non cementate. Poco frequenti sono sottili livelli, di spessore contenuto, di argilla o di arenaria.

L'analisi delle stratigrafie, ottenute da sondaggi sismici e penetrometrici eseguiti, 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.

La successione stratigrafica così individuata è si compone di uno strato superficiale costituito da terreno vegetale localmente misto a riporto generico, che poggia su banco ghiaioso talora molto cementato. Infine al di sotto si ha un livello sabbioso a tratti molto cementato.

### 10.1 INDIVIDUAZIONE DELLE UNITÀ LITOTECNICHE

L'analisi delle indagini pregresse e la conoscenza diretta dei luoghi hanno 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.

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. Il modello geotecnico che se ne ricava è un modello a tre unità litotecniche.

#### Unità Litotecnica "A"

Si tratta di suoli di copertura, di natura prevalentemente limo-sabbiosa, raramente localmente arricchiti di sostanza organica. È considerato un suolo incoerente, al più poco coesivo, da molto sciolto a sciolto, mediamente permeabile.

Lo spessore è compreso tra 1,20 e 2,0 metri.

Tabella 10:1

| CARATTERISTICHE ELASTICHE E MECCANICHE DELL'UNITÀ LITOLOGICA "A"          |                                   |
|---|-----------------------------------|
| Spessore variabile  | $h = 1,20 \div 2,00 \text{ m}$    |
| Peso volume medio   | $\gamma_m = 16,85 \text{ KN/m}^3$ |
| Angolo di resistenza al taglio medio (tensioni efficaci, a lungo termine) | $\varphi'_m = 28^\circ$           |
| Coesione drenata media (tensioni efficaci, a lungo termine)               | $c'_m = 9,8 \text{ kPa}$          |
| Modulo di Edometrico medio  | $E_m = 30,43 \text{ MPa}$         |
| Modulo di Poisson   | $\nu = 0.41$                      |
| Modulo di Young dinamico  | $E_{din} = 112.50 \text{ MPa}$    |
| Modulo di Taglio dinamico   | $G_d = 4 \text{ MPa}$             |



Unità Litotecnica "B"

È costituita da depositi limo sabbiosi con ghiaie poligeniche, e rari trovanti. È un suolo non coesivo, molto denso, poco compressibile, permeabile. Lo spessore è compreso tra 4,70 e 6,50 metri.

Tabella 10:2

| CARATTERISTICHE ELASTICHE E MECCANICHE DELL'UNITÀ LITOLOGICA "B"          |                                   |
|---|-----------------------------------|
| Spessore variabile  | $h = 4,70 \div 6,50 \text{ m}$    |
| Peso volume medio   | $\gamma_m = 18,50 \text{ KN/m}^3$ |
| Angolo di resistenza al taglio medio (tensioni efficaci, a lungo termine) | $\varphi'_m = 30^\circ$           |
| Coesione drenata media (tensioni efficaci, a lungo termine)               | $c'_m = 14,70 \text{ kPa}$        |
| Modulo di Edometrico medio  | $E_m = 187,20 \text{ MPa}$        |
| Modulo di Poisson   | $\nu = 0.45$                      |
| Modulo di Young dinamico  | $E_{din} = 530 \text{ MPa}$       |
| Modulo di Taglio dinamico   | $G_d = 18 \text{ MPa}$            |

Unità litotecnica "C"

Questa unità è formata prevalentemente da depositi argillosi, con diverso grado di consistenza, con intercalazioni limoso-argilloso-sabbiose e minuto ghiaietto. Ha un comportamento coerente, compressibile, poco permeabile.

Tabella 10:3

| CARATTERISTICHE ELASTICHE E MECCANICHE DELL'UNITÀ LITOLOGICA "C"          |                                   |
|---|-----------------------------------|
| Spessore medio  | $h = 7,50 \text{ m}$              |
| Peso volume medio   | $\gamma_m = 20,73 \text{ KN/m}^3$ |
| Angolo di resistenza al taglio medio (tensioni efficaci, a lungo termine) | $\varphi'_m = 33^\circ$           |
| Coesione drenata media (tensioni efficaci, a lungo termine)               | $c'_m = 19,61 \text{ kPa}$        |
| Modulo Edometrico medio   | $E_m = 726.96 \text{ MPa}$        |
| Modulo di Poisson   | $\nu = 0.45$                      |
| Modulo di Young dinamico  | $E_{din} = 1038.23 \text{ MPa}$   |
| Modulo di Taglio dinamico   | $G_d = 74.50 \text{ Mpa}$         |

## 11. 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.

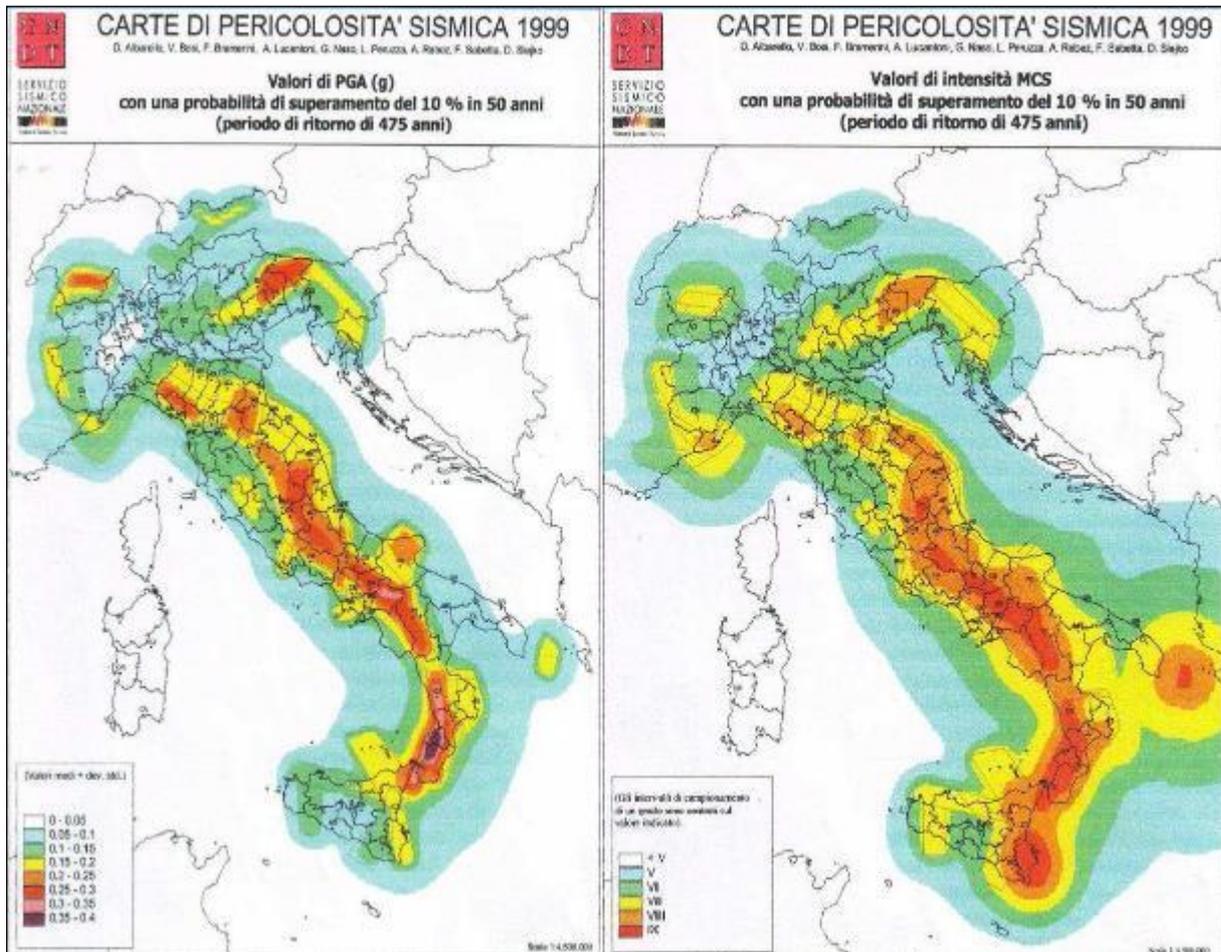


Figura 11:1 – Carta della pericolosità sismica (Servizio Sismico Nazionale)

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  $P_{VR}$  nel periodo di riferimento  $V_R$ . 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  $P_{VR}$ , a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:



$a_g$  = accelerazione orizzontale massima al sito;

$F_0$  = 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. 15.131224; Lat. 41.728965;
- La velocità media di propagazione potrà essere assunta mediamente superiore a 360 m/s, entro 30 m di profondità delle onde di taglio ( $V_{s,eq}$ ) per deformazioni di taglio  $\gamma < 10^{-6}$ , dello strato  $i_{esimo}$ , 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 "B".

Tabella 11:1 – tab. 3.2.II NTC/18 - Categoria 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  | <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.</b>                                  |
| 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. |
| 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 di entrambi i siti sono quelle di aree perfettamente pianeggianti con inclinazione media  $i < 15^\circ$  (max  $5^\circ$ ), sono riferibili alla categoria “T<sub>1</sub>”, per cui il coefficiente di amplificazione topografica (S<sub>T</sub>) è pari a 1,0 (valori massimi del coefficiente tab. 3.2. III Norme Tecniche per le Costruzioni 2018).

Tabella 11:2– Tabella 3.2.III NTC 2018 – Categorie Topografiche

| CARATTERISTICHE DELLA SUPERFICIE TOPOGRAFICA |   |
|--|---|
| Categoria Topografica                        | Ubicazione dell’opera o dell’intervento   |
| T <sub>1</sub>                               | Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$                      |
| T <sub>2</sub>                               | Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$  |
| T <sub>3</sub>                               | Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$ |
| T <sub>4</sub>                               | Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$                  |

Tabella 11:3 Tabella 3.2.III NTC 2018 – Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica S<sub>T</sub>

| VALORI MASSIMI DEL COEFFICIENTE DI AMPLIFICAZIONE TOPOGRAFICA |  |                |
|---|--|----------------|
| Categoria Topografica   | Ubicazione dell’opera o dell’intervento    | S <sub>T</sub> |
| 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 C<sub>U</sub>=1,0;

Tabella 11:4- Tab. 2.4.II NTC 2018 – Valori del coefficiente d’uso C<sub>U</sub>.

| VALORI DEL COEFFICIENTE D’USO C <sub>U</sub> . |     |     |     |     |
|--|-----|-----|-----|-----|
| CLASSE D’USO                                   | I   | II  | III | IV  |
| COEFFICIENTE C <sub>U</sub>                    | 0,7 | 1,0 | 1,5 | 2,0 |

- **Vita nominale dell’opera V<sub>N</sub>:** 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<sub>R</sub> 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 11:5

| SPETTRI DI RISPOSTA SECONDO LE NTC 2018 |     |          |                           |                |       |               |
|---|-----|----------|---------------------------|----------------|-------|---------------|
| Stati limite                            |     | $P_{VR}$ | Periodo di ritorno (anni) | $a_g^4$ (g/10) | $F_0$ | $T^*_c$ (sec) |
| SLE                                     | SLO | 81%      | 30                        | 0,057          | 2,461 | 0,280         |
|   | SLD | 63%      | 50                        | 0,076          | 2,486 | 0,290         |
| SLU                                     | SLV | 10%      | 475                       | 0,207          | 2,460 | 0,340         |
|   | SLC | 5%       | 975                       | 0,273          | 2,440 | 0,347         |

Nota:

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

<sup>4</sup>  $a_g$  espressa come frazione dell'accelerazione di gravità g



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

Tabella 11:6 Calcolo dei coefficienti sismici (per stabilità di pendii e fondazioni) con Categoria di Suolo di categoria C

| COEFFICIENTI SISMICI (PER STABILITÀ DI PENDII E FONDAZIONI) |       |       |       |       |
|---|-------|-------|-------|-------|
| coefficienti  | SLO   | SLD   | SLV   | SLC   |
| kh  | 0,016 | 0,022 | 0,060 | 0,079 |
| kv  | 0,008 | 0,011 | 0,030 | 0,040 |
| a <sub>max</sub> [m/s <sup>2</sup> ]                        | 0,566 | 0,774 | 2,113 | 2,784 |
| β   | 0,280 | 0,280 | 0,280 | 0,280 |

Dove:

β = coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito = 0,2

a<sub>max</sub> = accelerazione orizzontale massima attesa al sito

a<sub>g</sub> = accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido (a<sub>g</sub>/g)

g = accelerazione di gravità

S<sub>s</sub> = coefficiente di amplificazione stratigrafica = 1,5 (SLO)-1,5 (SLD)-1,48 (SLV)-1,42 (SLC)

S<sub>t</sub> = coefficiente di amplificazione topografica = 1,0

coefficiente di amplificazione topografica = 1,0



## 12.SINTESI CONCLUSIVA

Il presente studio descrive le caratteristiche geotecniche delle litologie affioranti nell'area interessata dal progetto prevede la realizzazione, attraverso la società di scopo GALILEO ENERGY 2 S.r.l., di un impianto solare fotovoltaico in alcuni terreni a Nord - Ovest del comune di Torremaggiore (FG) di potenza pari a 47,34 MW

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. 2 prospezioni sismiche superficiali con tecnica MASW (Multi-channel Analysis of Surface Waves);
- n. 2 prospezioni sismiche a rifrazione;
- n. 2 Prove penetrometriche dinamiche.

L'area oggetto di intervento è ubicata in un ambito debole pendenza espressione attuale di un terrazzo alluvionale a quote comprese tra 125 e 170 metri s.l.m.. Qui affiorano depositi alluvionali di età compresa tra il Pleistocene sup. e 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 di indagini geosismiche (MASW e a Rifrazione) e penetrometriche. 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 quasi interamente classificato come un suolo di categoria "B".

La  $V_{s,eq}$  calcolata, per ciascun profilo di indagine MASW è risultata pari a:

- |                  |                      |               |
|------------------|----------------------|---------------|
| ➤ Profilo MASW 1 | $V_{s,eq} = 479$ m/s | Categoria "B" |
| ➤ Profilo MASW 2 | $V_{s,eq} = 419$ m/s | Categoria "B" |

Per quanto attiene le condizioni topografiche, valutata la pendenza generale della piana si attribuisce una categoria topografica  $T_1$  (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  $S_T = 1,0$ .

La presenza della falda freatica è stata riscontrata in numerosi pozzi diffusi in tutto il comprensorio utilizzati quasi esclusivamente per uso irriguo. Il livello freatico varia in relazione alla eterogeneità dell'acquifero e comunque la quota è sempre individuata a profondità superiori a 50 metri dal piano di campagna), il che porta ad escludere l'insorgenza di sovrappressioni neutre nel sistema terreno – fondazione.

luglio 2022

*dott. geol. Michele Pecorelli*

ALLEGATO I  
UBICAZIONE INDAGINI - CAMPO FOTOVOLTAICO



LEGENDA

|  |                       |
|--|-----------------------|
|  | MASW                  |
|  | SISMICA A RIFRAZIONE  |
|  | PROVE PENETROMETRICHE |





## ALLEGATO II

### PROSPEZIONI SISMICHE TIPO MASW

#### Prospezione MASW 1

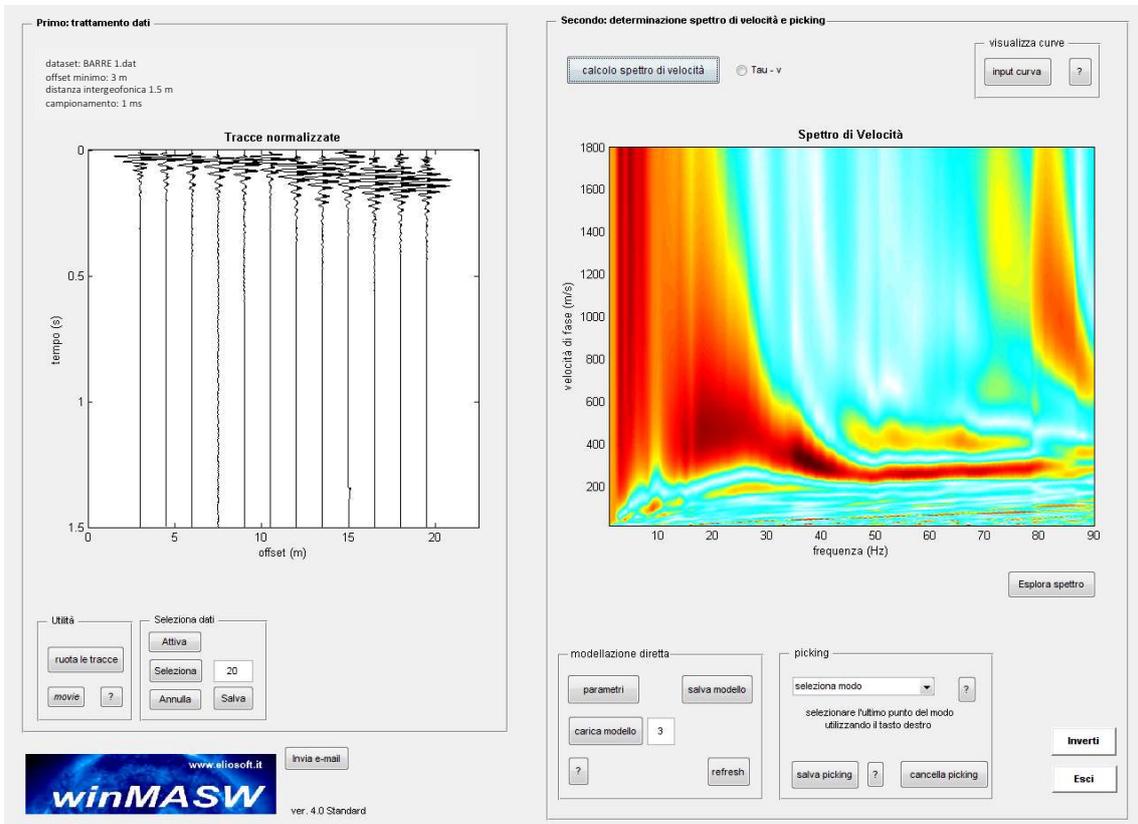
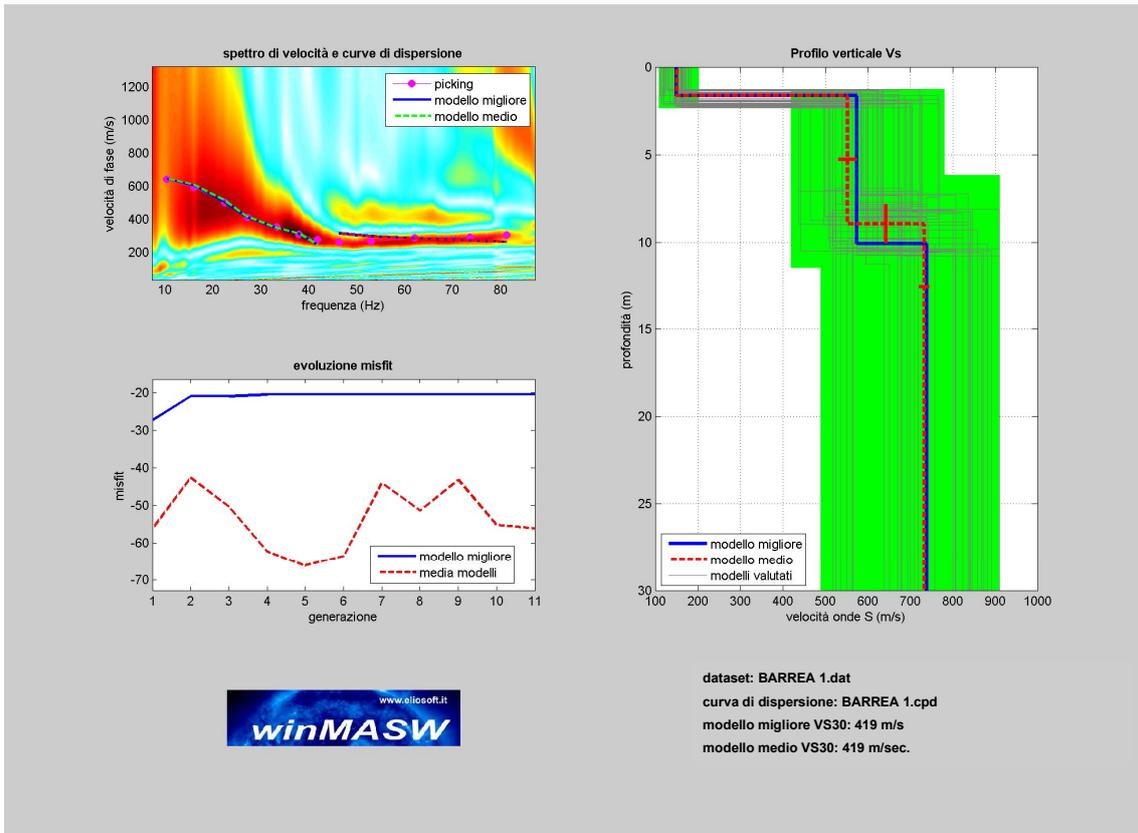
L'indagine MASW 1 ha restituito un valore di  $V_{s30}=419$  m/s, coincidente col valore della  $V_{s,eq}$ , in quanto non è stato intercettato il bedrock (definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, con  $V_s > 800$  m/sec) ad una profondità  $H = 30.00$  m dal p.c..

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

| MASW 1                 |                               |                   |                   |
|------------------------|-------------------------------|-------------------|-------------------|
| MASW                   | Velocità di taglio<br>(m/sec) | Spessori<br>(m)   | Profondità<br>(m) |
| SISMOSTRATO I          | 170                           | 1,20              | 0.00 – 1.20       |
| SISMOSTRATO II         | 318                           | 4,70              | 1.20 – 5.90       |
| SISMOSTRATO III        | 585                           | <i>Semispazio</i> | <i>Semispazio</i> |
| $V_{s,eq} = 419$ m/sec |                               |                   |                   |

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

| MASW 1          |  |                   |
|-----------------|--|-------------------|
| SISMOSTRATI     | LITOLOGIA INVESTIGATA                    | Profondità<br>(m) |
| SISMOSTRATO I   | Terreno vegetale di natura limo sabbiosa | 0.00 – 1.20       |
| SISMOSTRATO II  | Limo sabbioso con ghiaia                 | 1.20 – 5.90       |
| SISMOSTRATO III | Argille limose con sabbia                | <i>Semispazio</i> |





### Prospezione MASW 2

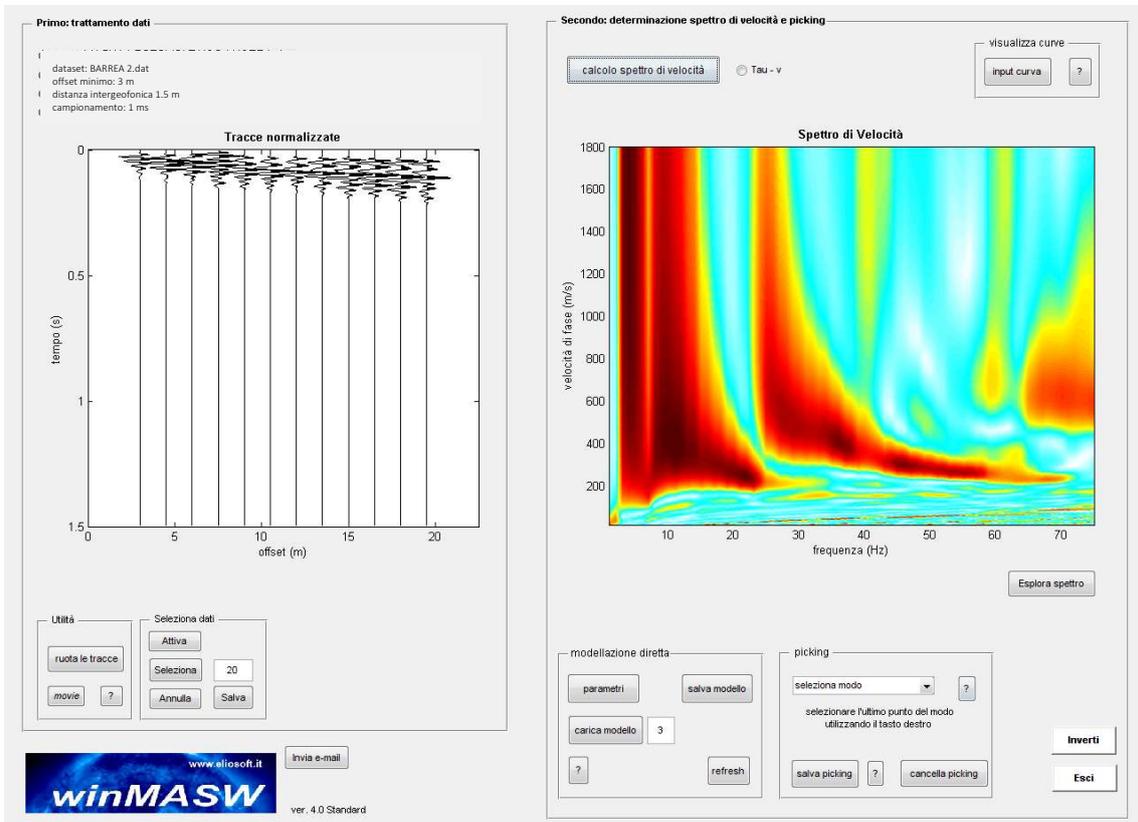
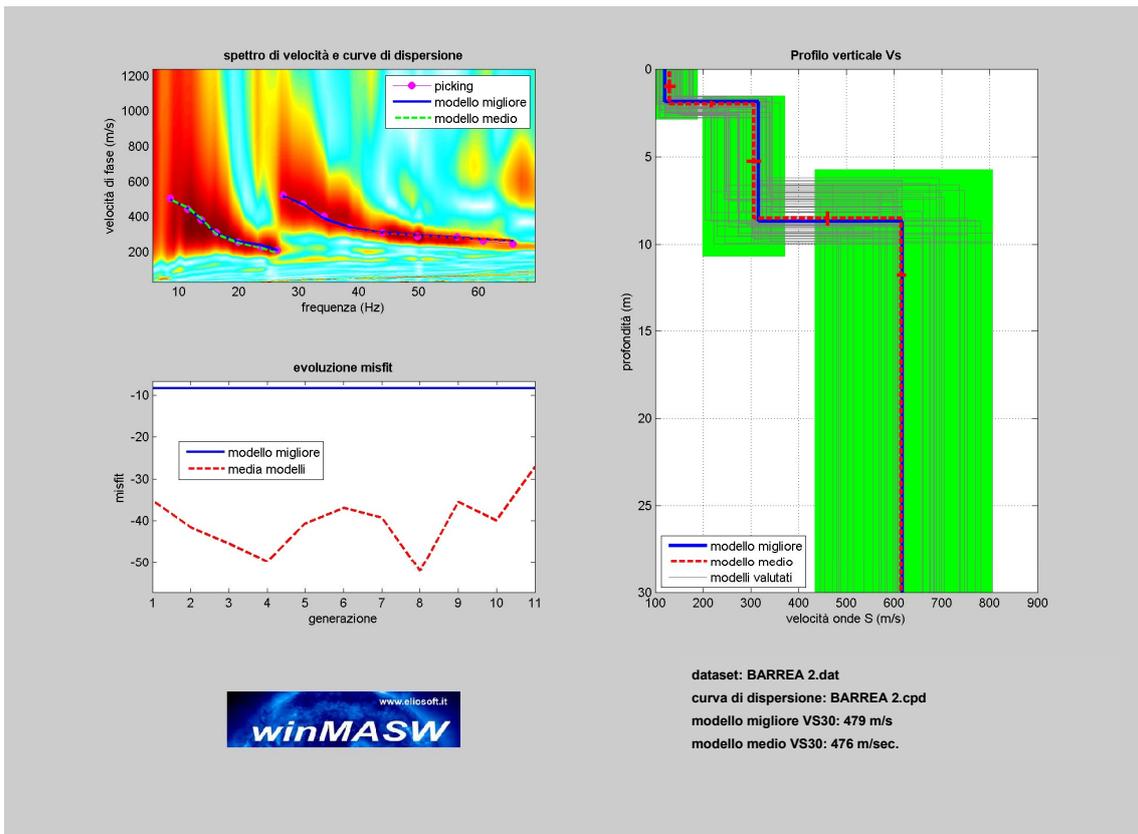
L'indagine MASW 2 ha restituito un valore di  $V_{s,eq}=277$  m/s, coincidente col valore della  $V_{s,eq}$ , in quanto non è stato intercettato il bedrock (definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, con  $V_s > 800$  m/sec) ad una profondità  $H = 30.00$  m dal p.c..

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

| MASW 2                 |                            |              |                |
|------------------------|----------------------------|--------------|----------------|
| MASW                   | Velocità di taglio (m/sec) | Spessori (m) | Profondità (m) |
| SISMOSTRATO I          | 130                        | 2.00         | 0.00 – 2.00    |
| SISMOSTRATO II         | 306                        | 6.50         | 2.00 – 8.50    |
| SISMOSTRATO III        | 615                        | Semispazio   | Semispazio     |
| $V_{s,eq} = 419$ m/sec |                            |              |                |

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 di natura limo sabbiosa | 0.00 – 2.00    |
| SISMOSTRATO II  | Limo sabbioso con ghiaia                 | 2.00 – 8.50    |
| SISMOSTRATO III | Argille limose con sabbia                | Semispazio     |





## ALLEGATO IV

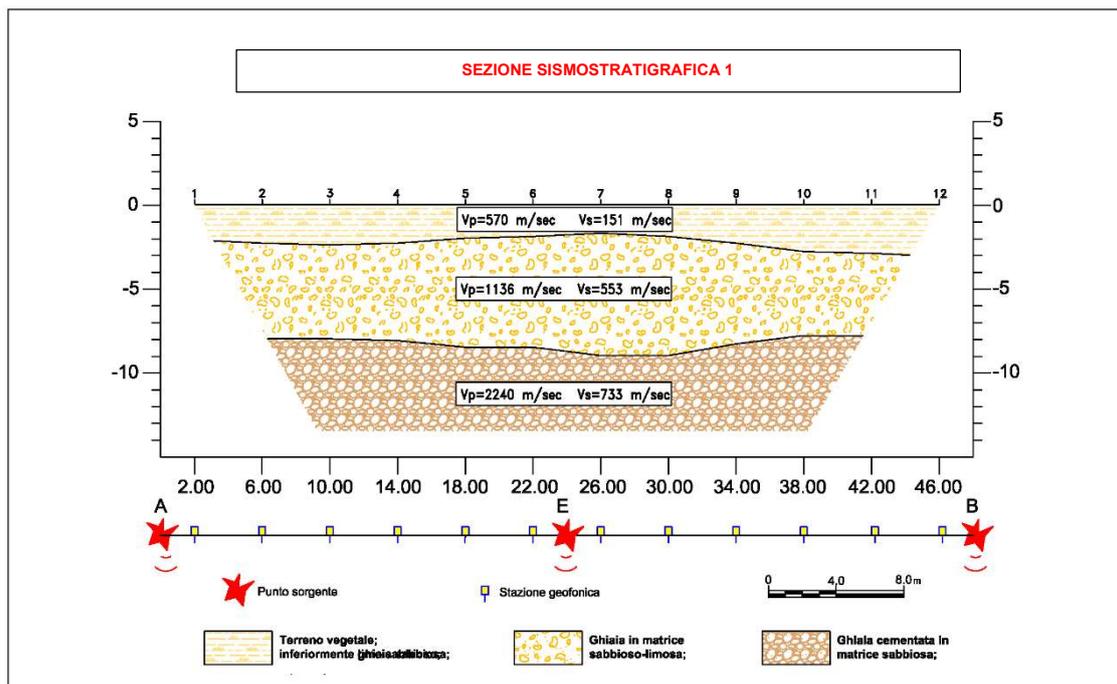
### PROSPEZIONI SISMICHE A RIFRAZIONE

#### 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                     | 570                     | 151                     | 0.00              | 1.70 – 3.10 |
| II                    | 1136                    | 553                     | 1.70 – 3.10       | 7.70 – 9.00 |
| III                   | 2240                    | 733                     | <i>indefinito</i> |             |

A queste si associano le unità litostratigrafiche di seguito riportate

| PROSPEZIONE SISMICA 1 |  |
|-----------------------|--|
| SISMOSTRATI           | LITOLOGIA INVESTIGATA                    |
| SISMOSTRATO I         | Terreno vegetale di natura limo sabbiosa |
| SISMOSTRATO II        | Limo sabbioso con ghiaia                 |
| SISMOSTRATO III       | Argille limose con sabbia                |





| MODULI DINAMICI PROFILO 1   |          |          |          |
|---|----------|----------|----------|
|   | Strato 1 | Strato 2 | Strato 3 |
| Velocità Onde P (m/s):  | 570      | 1136     | 2240     |
| Velocità Onde S (m/s):  | 151      | 553      | 733      |
| Modulo di Poisson:  | 0.46     | 0.34     | 0.44     |
| Peso di volume (KN/m <sup>3</sup> ):  | 17.14    | 19.27    | 21.48    |
| SPESSORE MEDIO STRATO (m)   | 1.60     | 7.30     | 8.90     |
| MODULO DI YOUNG DINAMICO E <sub>din</sub> (Mpa o Nmm <sup>2</sup> )                   | 117      | 1617     | 3392     |
| MODULO DI TAGLIO DINAMICO G <sub>din</sub> (Mpa o Nmm <sup>2</sup> )                  | 4        | 59       | 115      |
| MODULO DI BULK (K) (Mpa o Nmm <sup>2</sup> )<br>(mod. di incompressibilità di volume) | 515      | 1736     | 9427     |
| MODULO DI YOUNG STATICO E <sub>stat</sub> (Kg/cm <sup>2</sup> )                       | 143      | 1987     | 4167     |
| POROSITÀ %<br>(correlazione Rzhesvky e Novik (1971) (%))                              | 45.42    | 40.13    | 29.81    |
| MODULO DI COMPRESSIONE EDOMETRICA (Kg/cm <sup>2</sup> )                               | 568      | 2536     | 10990    |
| RIGIDITÀ SISMICA (m/sec · KN/m <sup>3</sup> )   | 2588     | 10657    | 15745    |
| Frequenza dello strato  | 23.59    | 18.94    | 20.59    |
| Periodo dello strato  | 0.04     | 0.053    | 0.049    |

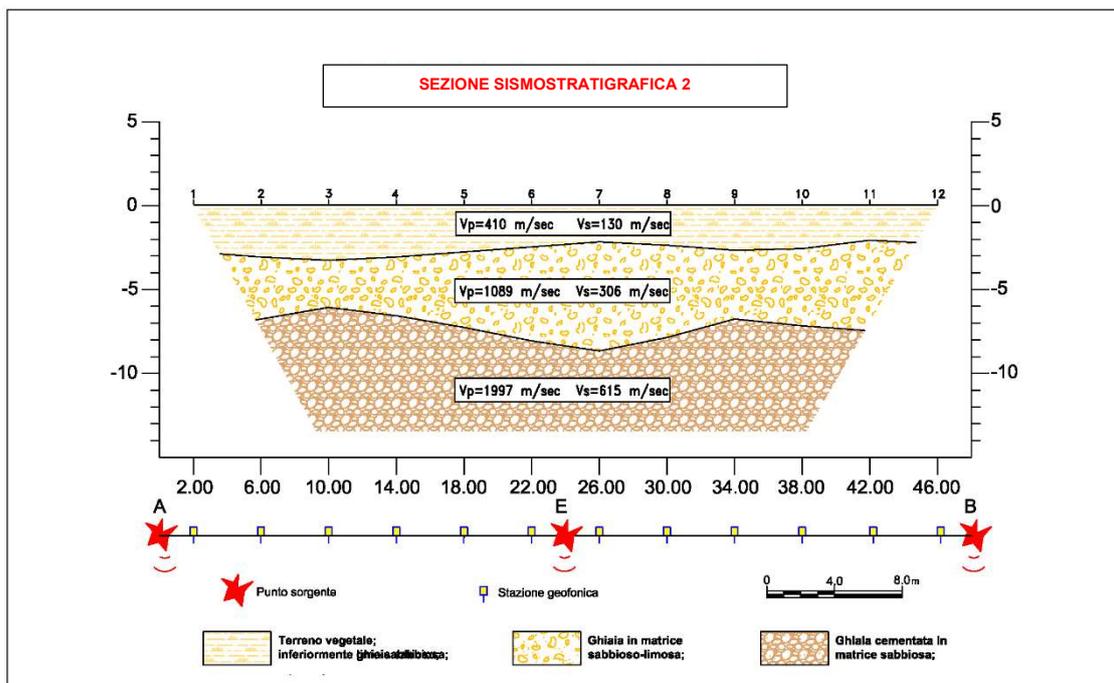


Prospezione Sismica 2

| PROSPEZIONE SISMICA 2 |                         |                         |                   |             |
|-----------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------|-------------|
| Sismica a Rifrazione  | Velocità Onde P (m/sec) | Velocità Onde S (m/sec) | Profondità        |             |
|                       |                         |                         | Da (m)            | a (m)       |
| SISMOSTRATO I         | 410                     | 130                     | 0.00              | 2.10 – 3.30 |
| SISMOSTRATO II        | 1089                    | 306                     | 2.10 – 3.30       | 6.10 – 8.70 |
| SISMOSTRATO III       | 1997                    | 615                     | <i>indefinito</i> |             |

A queste si associano le unità litostratigrafiche di seguito riportate

| PROSPEZIONE SISMICA 2 |  |
|-----------------------|--|
| SISMOSTRATI           | LITOLOGIA INVESTIGATA                    |
| SISMOSTRATO I         | Terreno vegetale di natura limo sabbiosa |
| SISMOSTRATO II        | Limo sabbioso con ghiaia                 |
| SISMOSTRATO III       | Argille limose con sabbia                |





| MODULI DINAMICI PROFILO 2   |          |          |          |
|---|----------|----------|----------|
|   | Strato 1 | Strato 2 | Strato 3 |
| Velocità Onde P (m/s):  | 410      | 1089     | 1997     |
| Velocità Onde S (m/s):  | 130      | 306      | 615      |
| Modulo di Poisson:  | 0.44     | 0.46     | 0.45     |
| Peso di volume (KN/m <sup>3</sup> ):  | 16.82    | 19.18    | 20.99    |
| SPESSORE MEDIO STRATO (m)   | 2.00     | 6.50     | 8.50     |
| MODULO DI YOUNG DINAMICO E <sub>din</sub> (Mpa o Nmm <sup>2</sup> )                   | 84       | 534      | 2346     |
| MODULO DI TAGLIO DINAMICO G <sub>din</sub> (Mpa o Nmm <sup>2</sup> )                  | 3        | 18       | 79       |
| MODULO DI BULK (K) (Mpa o Nmm <sup>2</sup> )<br>(mod. di incompressibilità di volume) | 250      | 2076     | 7463     |
| MODULO DI YOUNG STATICO E <sub>stat</sub> (Kg/cm <sup>2</sup> )                       | 103      | 656      | 2882     |
| POROSITÀ %<br>(correlazione Rzheshvsky e Novik (1971) (%))                            | 46.92    | 40.57    | 32.08    |
| MODULO DI COMPRESSIONE EDOMETRICA (Kg/cm <sup>2</sup> )                               | 288      | 2319     | 8537     |
| RIGIDITÀ SISMICA (m/sec · KN/m <sup>3</sup> )   | 2187     | 5668     | 12911    |
| Frequenza dello strato  | 16.25    | 11.77    | 18.09    |
| Periodo dello strato  | 0.06     | 0.085    | 0.055    |



## ALLEGATO IV

### A. PROVE PENETROMETRICHE - 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**

$N_{SPT\text{Corretto}} = 15 + 0.5 \times (N_{spt} - 15)$  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/cm<sup>2</sup>)**

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

**MODULO EDOMETRICO-CONFINATO Mo (Eed) (Kg/cm<sup>2</sup>)**

- Stroud e Butler (1975) - Mo (Eed) (Kg/cm<sup>2</sup>)- 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/cm<sup>2</sup>) - valida per litotipi argillosi e limosi-argillosi (rapporto Qc/Nspt=1.5-2.0).
- Buisman- Sanglerat, valida per argille compatte (Nspt < 30) medie e molli (Nspt < 4) e argille sabbiose (Nspt=6-12).

**MODULO DI YOUNG E (Kg/cm<sup>2</sup>)**

- Schultze-Menzenbach - Ey (Kg/cm<sup>2</sup>) (Min. e Max.), correlazione valida per limi coerenti e limi argillosi con I.P. > 15
- D'Appollonia ed altri (1983) - E Young (Kg/cm<sup>2</sup>) 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)

