



COMUNE DI ORDONA
PROVINCIA DI FOGGIA



"PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO
AGROVOLTAICO AVANZATO CON ANNESSO
ALLEVAMENTO OVINO E RELATIVE OPERE
ED INFRASTRUTTURE CONNESSE DELLA POTENZA
COMPLESSIVA DI 57,348MWp - 50,000 MWac
E RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE "

PROGETTO MEDITERRANEA

Comune: Ordona (FG)
Fogli: 7 - 8

DITTA ORDONA SOLAR S.R.L.

ELABORATO: PD_00

Titolo dell'allegato:

RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA

SCALA: 1 : //

CARATTERISTICHE GENERALI D'IMPIANTO

AGROVOLTAICO
POTENZA: 50,000 MW

| 0 | EMISSIONE | 09/05/2024 |
|-----|-------------|------------|
| REV | DESCRIZIONE | DATA |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |

Il proponente:

ORDONA SOLAR S.R.L.
VIA L.CARIGLIA,22
P.IVA 04461640718
71121 Foggia FG



IDRI

Il Tecnico:

dott. geol. Michele Pecorelli

INDICE

| | | |
|-------|--|----|
| 1. | PREMESSA | 2 |
| 1.1 | INDENTICAZIONE DELL'INTERVENTO..... | 3 |
| 2. | LINEAMENTI GEOLOGICI E MORFOLOGICI GENERALI | 4 |
| 2.1 | INQUADRAMENTO MORFOLOGICO..... | 4 |
| 2.2 | LINEAMENTI GEOLOGICI..... | 5 |
| 2.3 | CARATTERI TETTONICI | 6 |
| 3. | CARATTERIZZAZIONE DEI LITOTIPI LOCALI E ASSETTO LITOSTRATIGRAFICO..... | 10 |
| 4. | ASSETTO GEOSTRUTTURALE | 12 |
| 5. | DEFINIZIONE DELL'AMBIENTE CLIMATICO | 13 |
| 5.1 | TEMPERATURE | 14 |
| 5.2 | PLUVIOMETRIA..... | 15 |
| 6. | AMBIENTE IDRICO: ACQUE SUPERFICIALI E ACQUE SOTTERRANEE..... | 16 |
| 6.1 | ACQUE SUPERFICIALI | 16 |
| 6.2 | CIRCOLAZIONE IDRICA SOTTERRANEA..... | 17 |
| 6.3 | RAPPORTI TRA L'INTERVENTO PROPOSTO E LA FALDA SUPERFICIALE..... | 19 |
| 7. | INQUADRAMENTO SISMICO..... | 20 |
| 8. | PIANIFICAZIONE ED ESECUZIONE DELLE INDAGINI GEOGNOSTICHE | 26 |
| 8.1 | INDAGINE SIMSICA - METODOLOGIE DI INDAGINE ADOTTATE | 26 |
| 8.2 | MODALITÀ DI ESECUZIONE DEI RILIEVI: ATTIVITÀ DI CAMPO | 28 |
| 8.3 | RISULTATI INDAGINE GEOSISMICA..... | 29 |
| 8.3.1 | Elaborazione dell'indagine sismica di tipo MASW..... | 29 |
| 8.3.2 | Elaborazione dell'indagine sismica a rifrazione | 30 |
| 8.4 | INDAGINE GEOELETTRICA..... | 30 |
| 8.4.1 | Prospezione E.R.T. (Electrical Resistivity Tomography)..... | 30 |
| 8.4.2 | Modalità di esecuzione dei rilievi: Attività di campo..... | 32 |
| 8.5 | ANALISI INDAGINE GEOELETTRICA..... | 33 |
| 8.5.1 | Interpretazione della sezione elettrostratigrafica | 33 |
| 8.6 | INDAGINE PENETROMETRICA..... | 34 |
| 9. | SUCCESSIONE LITOSTRATIGRAFICA | 36 |
| 9.1 | INDIVIDUAZIONE DELLE UNITÀ LITOTECNICHE..... | 36 |
| 10. | VALUTAZIONE DELL'AZIONE SISMICA (D.M. 17.01.2018 N.T.C.) | 38 |
| 11. | COMPATIBILITÀ CON IL PIANO DI ASSETTO IDROGEOLOGICO (PAI)..... | 44 |
| 12. | SINTESI CONCLUSIVA | 46 |

1. PREMESSA

Oggetto della presente relazione è la determinazione delle condizioni geologiche generali, morfologiche, idrogeologiche e geomeccaniche dell'area interessata dal progetto per la realizzazione di un Progetto per la realizzazione di un impianto agrovoltaiico avanzato con annesso allevamento ovino e relative opere ed infrastrutture connesse della potenza complessiva di 57,348 MWp – 50,000 MWac e relative opere di connessione.

L'ubicazione dell'intervento è localizzata in contrada Coppa Bianca a Nord e Contrada Marchitto a Sud di Ortona, mentre la linea di connessione alla stazione elettrica ubicata nell'agro di Castelluccio dei Sauri, si svolge lungo le S.P. 85 e S.P. 110.

Lo studio è stato indirizzato alla verifica dell'assetto geologico generale, al riconoscimento della successione stratigrafica e alla caratterizzazione geomeccanica del sito con l'ausilio di indagini pregresse realizzate nello stesso ambito di riferimento.

L'area di progetto rientra nelle aree della Puglia classificate sismiche, pertanto lo studio si è svolto secondo le normative vigenti con particolare riferimento al D.M. 11.03.1988, alla Circ. M.LL.PP. 24.09.1988 e all'Ordinanza della Presidenza del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003 e succ. mod. ed int. e al D.M. 17 gennaio 2018 approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni.

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 la indicazione dell'ambiente geologico, geomorfologico, idrogeologico e strutturale generale [pericolosità geologica del territorio]
- Rilevamento geologico di dettaglio, di un'area sufficientemente ampia, entro la quale ricade l'intervento in oggetto, atto alla definizione geologica, geomorfologica, idrogeologica, con particolare riferimento alla caratterizzazione della natura e del tipo di strutture sedimentarie dei corpi geologici presenti [controllo litologico di dettaglio]
- Indagini geognostiche eseguite in sito, per la definizione delle caratteristiche geotecniche dei terreni di fondazione interessati dalle opere in progetto [accertamento litotecnico].
- Analisi delle indagini geognostiche, con l'interpretazione delle indagini di campagna e la valutazione delle proprietà elastiche e meccaniche dei terreni investigati.

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

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

- n. 3 prospezioni sismiche superficiali con tecnica MASW (Multi-channel Analysis of Surface Waves);
- n. 3 prospezioni sismiche a rifrazione
- n. 1 Tomografia Elettrica Verticale E.R.T. Electrical Resistivity Tomography).
- n. 3 Prove penetrometriche dinamiche.

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

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

1.1 INDENTICAZIONE DELL'INTERVENTO

Il progetto in esame è ubicato in due aree rispettivamente a circa 1,5 Km a Est rispetto al centro abitato e a circa 2 a Sud rispetto al centro abitato del Comune di Ordonà.



Figura 1:1 – Inquadramento territoriale su ortofoto – da Google earth.

Il sito è ubicato nella parte centrale della piana di Capitanata e presenta una morfologia prevalentemente pianeggiante o sub-pianeggiante con quote comprese tra 95 e 115 metri sul livello del mare nell'area Nord e 130 e 148 metri s.l.m nell'area Sud.

Nella cartografia I.G.M. a scala 1:50000 l'area è compresa nel quadrante 421 (Ascoli Satriano); nella cartografia in scala 1:25000 l'intervento interessa la Tavoleta 175 IV NE (Ordonà) infine, nella sezione in scala 1:5000, l'intervento si colloca nelle sezioni 421124 e 421084.

2. LINEAMENTI GEOLOGICI E MORFOLOGICI GENERALI

2.1 INQUADRAMENTO MORFOLOGICO

Il territorio del Comune di Ortona si sviluppa lungo l'asse principale del Tavoliere delle Puglie a circa 30 Km dal litorale adriatico e comprende, la parte media della valle del Fiume Carapelle; i terreni che affiorano, sia sotto il punto di vista geologico che morfologico, costituiscono una unità omogenea. La morfologia del territorio comunale è tipica della Pianura di Capitanata, 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.

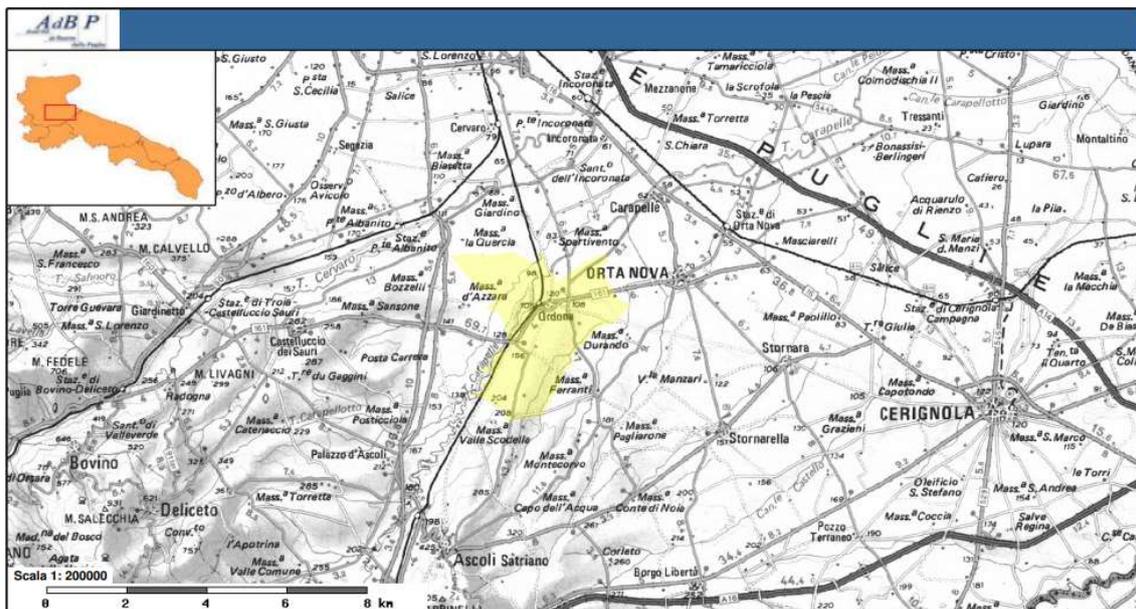


Figura 2:1 – Inquadramento territoriale

Questo fa parte dell'unità geografica e strutturale del Tavoliere di Puglia i cui terreni, sia sotto il punto di vista geologico che morfologico, costituiscono una unità omogenea. La morfologia del territorio comunale è tipica della parte alta della Pianura di Capitanata, di raccordo con i Monti Dauni, con quote minime prossime a 70 metri sul livello del mare e massime di poco superiori a 200 metri. Buona parte del territorio comunale presenta pendenze molto basse (<10%), generalmente riferibili alle piane alluvionali generate dai corsi d'acqua che lo attraversano. Nello specifico, il sito di intervento si inserisce nell'estesa valle del Torrente Carapelle e dei suoi tributari di sinistra che hanno generato gli ampi terrazzi in cui si inserisce l'area progettuale. Qui le pendenze sono piuttosto contenute, mediamente intorno a 1÷2°, localmente possono raggiungere punte di 5÷7°.

L'assetto morfologico generale è caratterizzato principalmente dalla presenza di affioramenti di natura sedimentaria, di origine marina e continentale depositatisi in ambienti diversi e riflette, in gran parte, le particolari condizioni geologiche della zona. Qui l'azione modellatrice delle forze esogene ha risentito dei diversi affioramenti presenti. Specificatamente, in seguito alla progressiva diminuzione delle spinte appenniniche, al rilascio elastico della Piastra Apula e alla compensazione isostatica del sistema Catena-Avanfossa-Avampaese (riferibile a circa un milione di anni fa), si è generato un sollevamento regionale attualmente in corso.

A questa tendenza generale si sono sovrapposte oscillazioni del livello marino tipo glacio-eustatico interferendo e complicando ulteriormente il meccanismo di regressione. Il risultato è rappresentato

da numerose e diverse unità litostratigrafiche corrispondenti a differenti oscillazioni del livello del mare (terrazzamenti), riferibili a più cicli sedimentari marini e/o a fasi continentali di alluvionamento. Allo stato attuale non sempre si riescono a definire minuziosamente le fasi di terrazzamento, a causa dell'insufficienza degli affioramenti, dei modesti dislivelli fra le scarpate, delle litologie poco differenziate dei depositi terrazzati, ma anche per la forte antropizzazione e le nuove tecniche colturali che hanno cancellato i lineamenti del paesaggio.

Si definiscono così una serie di piane alluvionali, ognuna incisa nelle precedenti, poste a quote diverse, dolcemente inclinate verso mare e delimitate da ripide scarpate verso sud, verso nord e verso l'Appennino. Queste piane sono ricoperte da una coltre di ciottoli alluvionali provenienti dall'Appennino, dove i ripidi declivi sono intagliati in peliti pleistoceniche e pliocalabriere. Le varie superfici dolcemente inclinate verso mare s'immergono sotto i sedimenti della pianura, con inclinazione tanto maggiore quanto più sono lontane dall'Appennino.

L'andamento della superficie topografica è pertanto interrotto dalle incisioni vallive, allungate generalmente in direzione SO-NE, che solcano la pianura, drenando le acque superficiali provenienti dal Subappennino. L'azione erosiva piuttosto spinta di tali corsi d'acqua ha portato ad un profondo smembramento dei terrazzi marini, di cui ne restano solo testimoni isolati di piccole dimensioni situati per lo più verso il margine occidentale, in corrispondenza delle quote più elevate del medio Tavoliere.

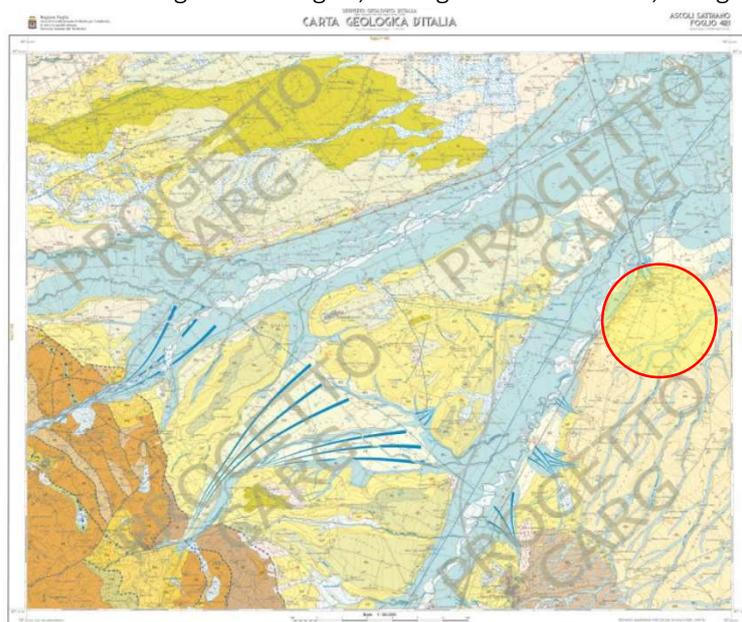
L'idrografia è piuttosto evidente è bloccata entro argini imposti negli ultimi due secoli per poter meglio esercitare la pratica agricola. Il reticolo idrografico è caratterizzato da corsi d'acqua che si manifestano, generalmente, come incisioni non molto approfondite, solitamente povere d'acqua, che hanno esercitato una debole attività erosiva consentendo al paesaggio di conservare abbastanza integra la successione dei terrazzi marini.

Il reticolo idrografico è caratterizzato da corsi d'acqua che si manifestano, generalmente, come incisioni non molto approfondite, solitamente povere d'acqua, che hanno esercitato una debole attività erosiva consentendo al paesaggio di conservare abbastanza integra la successione dei terrazzi marini.

Nell'area di intervento il reticolo idrografico è limitato essenzialmente ad una incisione principale, il Torrente Carapelle, avente direzione di deflusso verso NNE, e da una serie di corsi d'acqua secondari, tributari di destra del suddetto torrente.

2.2 LINEAMENTI GEOLOGICI

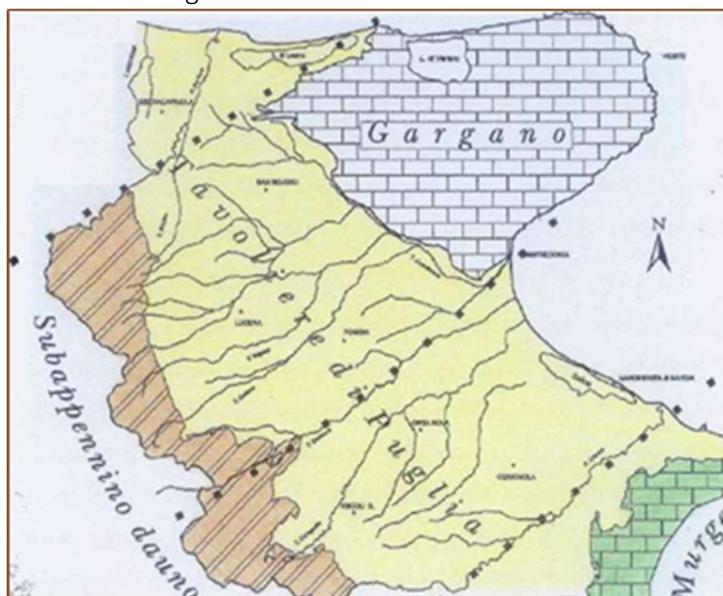
La situazione geomorfologica, stratigrafico-strutturale, idrogeologica e tettonica dei terreni presenti



nell'area è stata ricostruita partendo dai dati contenuti nel foglio 164 "Foggia" della Carta Geologica d'Italia (scala 1:100.000 redatta dal Servizio Geologico di Stato, (1967) e dal foglio 408 Foggia in scala 1:50.000 della Carta Geologica (progetto CARG, 2011), oltre alle molteplici pubblicazioni, strumenti di pianificazione territoriale ed urbanistica vigenti, unitamente ai dati del sottosuolo derivanti da indagini pregresse e da specifici sopralluoghi in campagna.

Figura 2:2 – Carta Geologica d'Italia - Foglio 421 Ascoli Satriano.

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 quadernari, in prevalenza di facies alluvionale. Tra questi prevale argilla più o meno marnosa, di probabile origine lagunare, ricoperta a luoghi da lenti di conglomerati e da straterelli di calcare evaporitico (crosta). Al di sotto 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 2:3 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 7).

- 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.
-

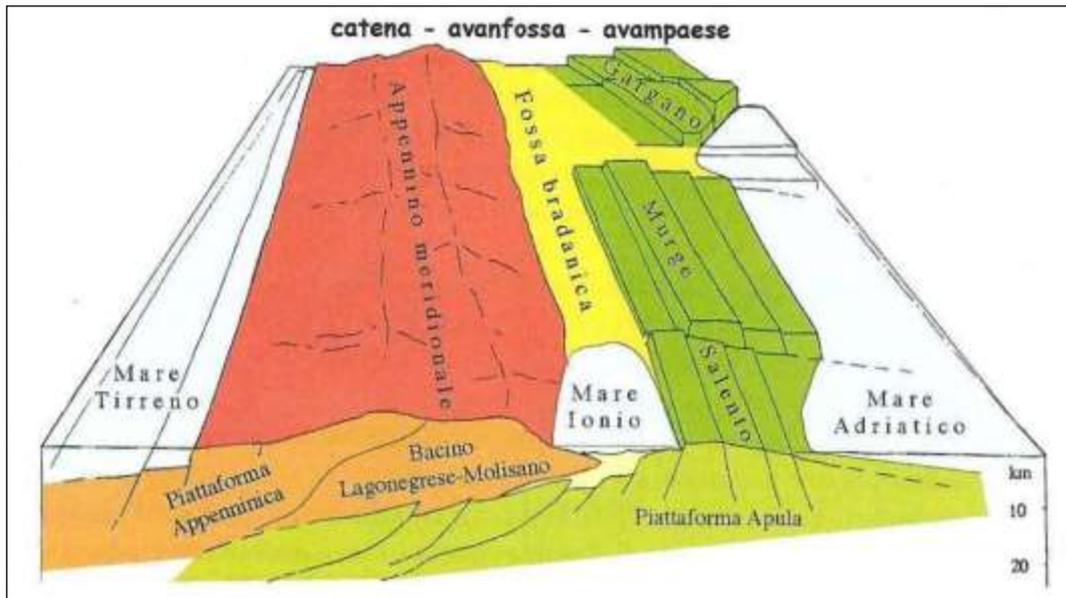


Figura 2:4 – Modello strutturale del sistema geodinamico Appenino-avampaese apulo. (da Funicello et al. 1991).

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 8) 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.

SCHEMA TETTONICO DI INQUADRAMENTO Scala 1:1.500.000

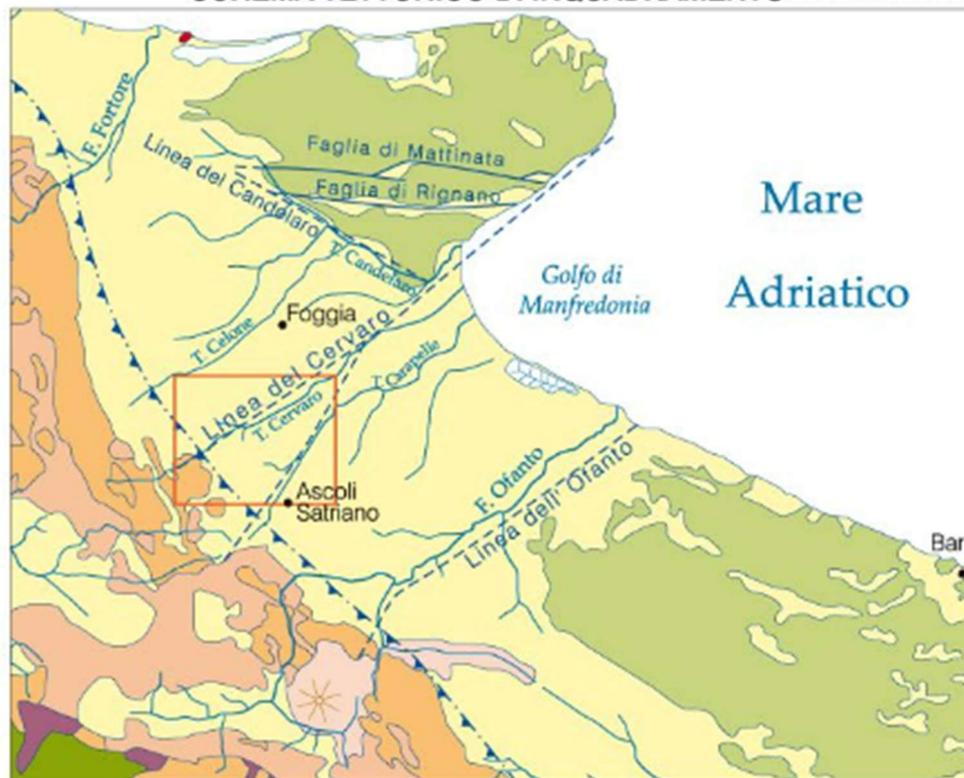


Figura 2:5 – Schema geologico e strutturale dell'area del Tavoliere e del Subappennino Dauno.

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.

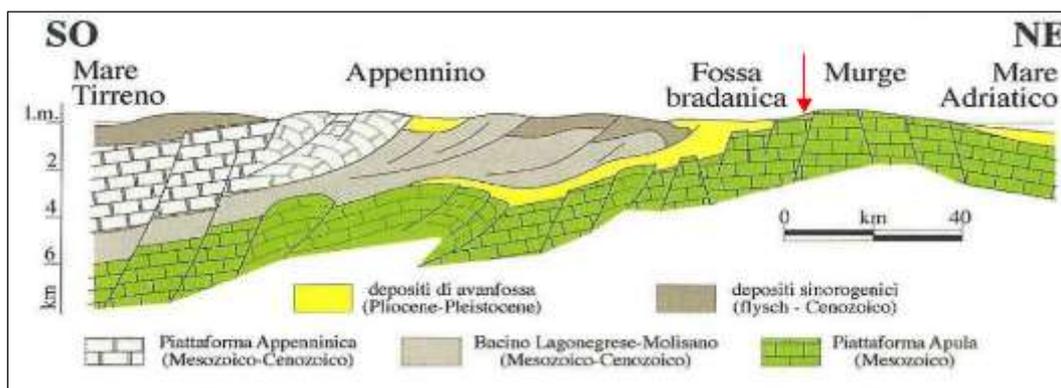


Figura 2:6 – Sezione geologica schematica attraverso l'avanfossa appenninica.

Per quanto riguarda l'area del bacino essa è stata interessata solo marginalmente dalle fasi tettoniche appenniniche precoci (Miocene), durante le quali fungeva da avanpaese. Dal Pliocene inferiore ha perso decisamente il carattere di avanpaese 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 centrale dell'estesa piana del Tavoliere, caratterizzata da affioramenti di depositi continentali terrazzati, presenti alla quota di pochi metri al di sopra di quella degli alvei attuali e poggianti sulle formazioni argillose marine Plio-Pleistoceniche.

Questi depositi alluvionali, che nel foglio n° 421 "Ascoli Satriano" della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000 (Servizio Geologico d'Italia e Progetto CARG) vengono attribuiti al "Sintema di Foggia", sono datati al Pleistocene superiore ed hanno uno spessore che varia da 10 -15 m a 40 m circa. Tale spessore è legato all'andamento del substrato sul quale si sono depositi ed all'azione erosiva superficiale.

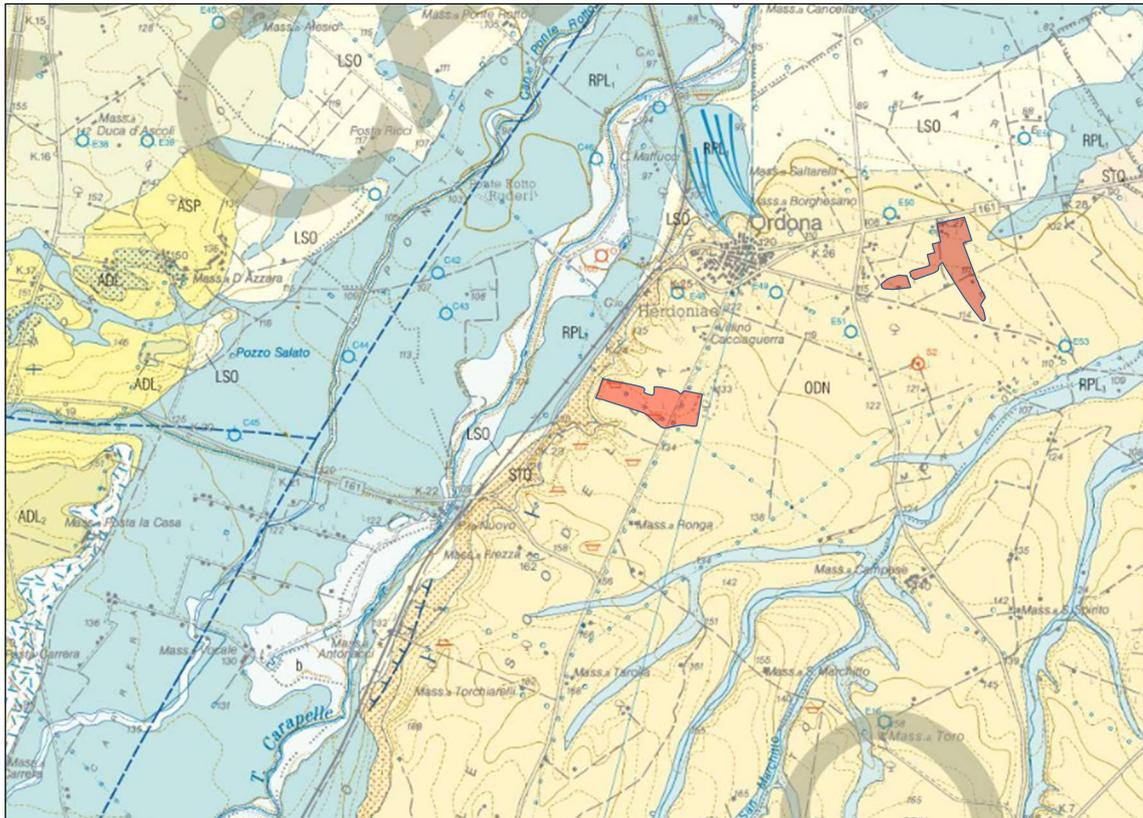


Figura 3:1 – Estratto della Carta Geologica Foglio 421 Ascoli Satriano - Nei riquadri le aree di insediamento dell'impianto fotovoltaico.

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

In ambito sufficientemente ampio, circoscritto al territorio in esame, la Carta Geologica d'Italia¹ 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.

¹ Foglio 408 "Foggia" e 409 "Zapponeta" scala 1:50.000.

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

- Unità Quaternarie del Tavoliere di Puglia
 - Supersistema del Tavoliere di Puglia (TP)
 - Sistema dei Torrenti Carapelle e Cervaro
 - ODN – Conglomerati di Ortona

1. ODN – Conglomerati di Ortona – Pleistocene medio–Pleistocene superiore

Corpi ghiaiosi, con foreset progradanti verso NE intercalati a strati suborizzontali di sabbie o ghiaie a stratificazione inclinata. Spessore massimo rilevato 20 metri.

4. ASSETTO GEOSTRUTTURALE

Le formazioni geologiche sopra descritte appartenenti alle due Unità, 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 Carapelle orientata a circa 30° rispetto alla direzione Nord e una linea corrispondente alla Valle del Torrente Cervaro, orientata circa 45÷50°N (direzione antiappenninica).

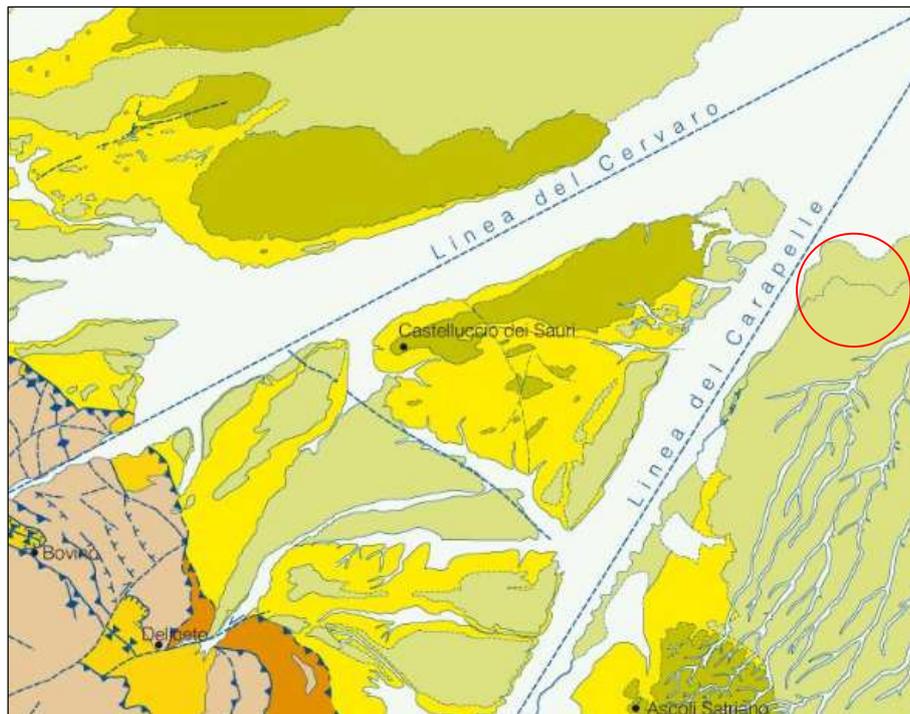


Figura 4:1 – Schema strutturale del foglio 421 – Ascoli Satriano.

Sempre analizzando le immagini satellitari è possibile verificare l'azione di sistemazione idraulica che hanno subito i diversi corsi d'acqua tributari del Fiume Carapelle; 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 non prevede una stazione di misura nel Comune di Ortona, pertanto per le determinazioni termopluviometriche si è fatto riferimento alla stazione di Orta Nova collocata a poco meno di 5 Km dall'area di intervento e in un ambito fisiografico e climatologico simile all'area di indagine.

La rete di stazioni di rilevamento termo-pluviometrica della Puglia non ha installato una stazione di misura nel Comune di Ortona, pertanto per determinare il contesto climatico si è fatto riferimento alla stazione termopluviometrica di Orta Nova ubicata in un contesto meteorologico del tutto analogo.

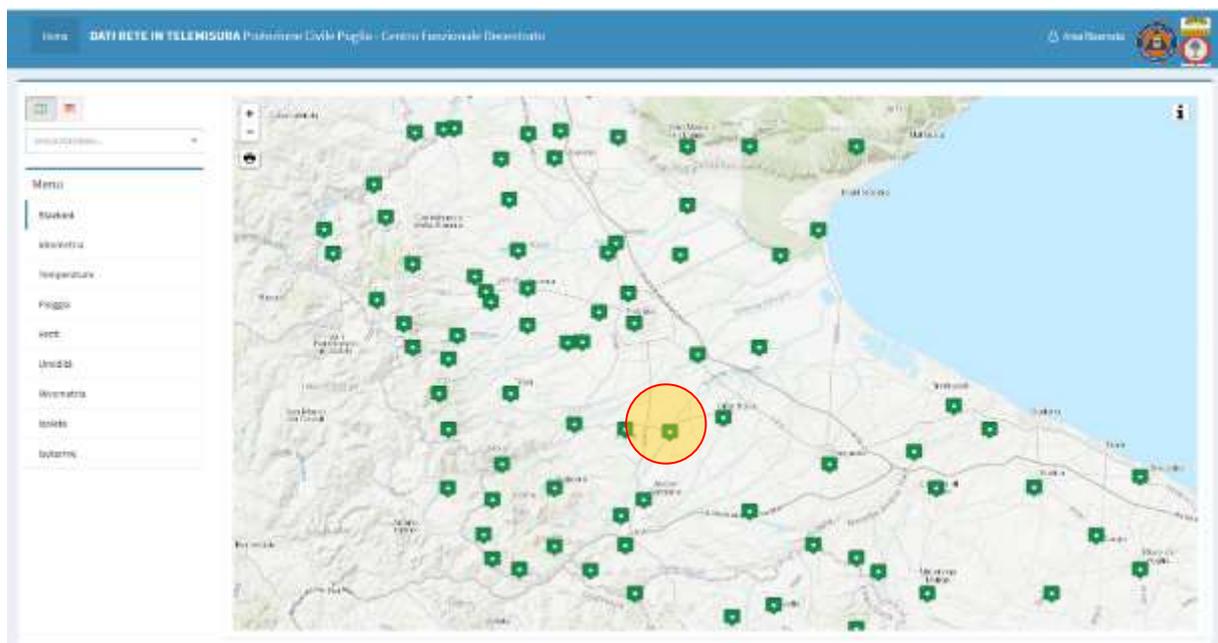


Figura 5:1 – Ubicazione delle stazioni di rilevamento dati termo-pluviometrici.

5.1 TEMPERATURE

Sono stati considerati i valori medi delle temperature massime, medie e minime mensili, considerando solo 27 anni di misurazione, comunque sufficienti ad avere un quadro dell'andamento medio delle temperature. I dati sono riportati nella tabella 1 e nella rispettiva figura 12.

Il valore medio della temperatura annua è di 17,0°C con valori medi minimi prossimi a 5°C registrabili nel mese di febbraio e valori medi massimi che superano 32°C rilevabili in pieno periodo estivo (luglio ed agosto).

I dati analizzati mostrano, inoltre, che le temperature minime assolute non di rado scendono ben al di sotto di 0 °C, sia in pieno inverno che all'inizio della primavera (da novembre ad marzo), con un valore minimi assoluti inferiori a -2°C.

Durante l'estate (giugno, luglio e agosto) sono state registrate temperature massime assolute comprese fra i 40 e i 42 °C.

Tabella 5:1 Temperature medie mensili – <http://www.protezionecivile.puglia.it/centro-funzionale/analisielaborazione-dati>

| TEMPERATURE MEDIE MENSILI | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------|----------------------|-----|---------------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|------|-----|------|
| Stazione | Anni di osservazione | | MEDIE MENSILI | | | | | | | | | | | | Medie annue | | | | | | | | | | | | |
| | | | G | F | M | A | M | G | L | A | S | O | N | D | | | | | | | | | | | | | |
| Orta Nova | 1987-2020 | | 8.8 | 9.3 | 11.8 | 14.8 | 19.4 | 24.0 | 26.7 | 26.9 | 22.3 | 18.1 | 13.3 | 9.7 | 17.0 | | | | | | | | | | | | |
| | Max | Min | 12.5 | 5.1 | 13.5 | 5.0 | 16.5 | 7.2 | 20.0 | 9.6 | 25.0 | 13.8 | 29.8 | 18.2 | 32.5 | 20.9 | 32.6 | 21.2 | 27.4 | 17.3 | 22.7 | 13.5 | 17.2 | 9.3 | 13.3 | 6.1 | 21.9 |

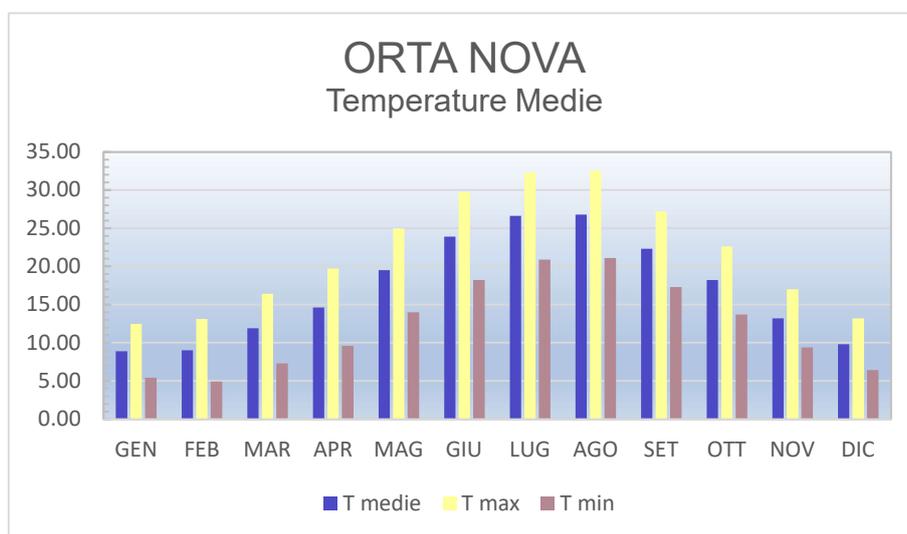


Figura 5:2 – Andamento delle temperature medie mensili registrate nella stazione di Orta Nova.

5.2 PLUVIOMETRIA

I dati delle precipitazioni medie disponibili, forniti dal Servizio di Protezione Civile della Regione Puglia, coprono un periodo di osservazione dal 1921 al 2013.

Nella tabella 2 e nella relativa figura 13, sono riportate le medie mensili ed annuali delle precipitazioni e dei giorni piovosi relativi alla stazione di registrazione di Orta Nova.

Tabella 5:2 – Medie Mensili e annuali delle precipitazioni e dei giorni piovosi (anni di osservazione 1946-2020)

| PRECIPITAZIONI MEDIE ANNUE | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------------|----------------------|---------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|---|-------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|
| Stazione | Anni di osservazione | MEDIE MENSILI | | | | | | | | | | | | | | Medie annue | | | | | | | | | | | |
| | | G | F | M | A | M | G | L | A | S | O | N | D | | | | | | | | | | | | | | |
| ORTA Nova | 1921 - 2020 | 47,2 | 43,0 | 46,2 | 39,9 | 34,5 | 32,3 | 19,1 | 23,1 | 46,3 | 48,7 | 59,0 | 54,2 | 49,4 | 7 | 7 | 6 | 6 | 5 | 4 | 3 | 3 | 5 | 6 | 7 | 7 | 65 |

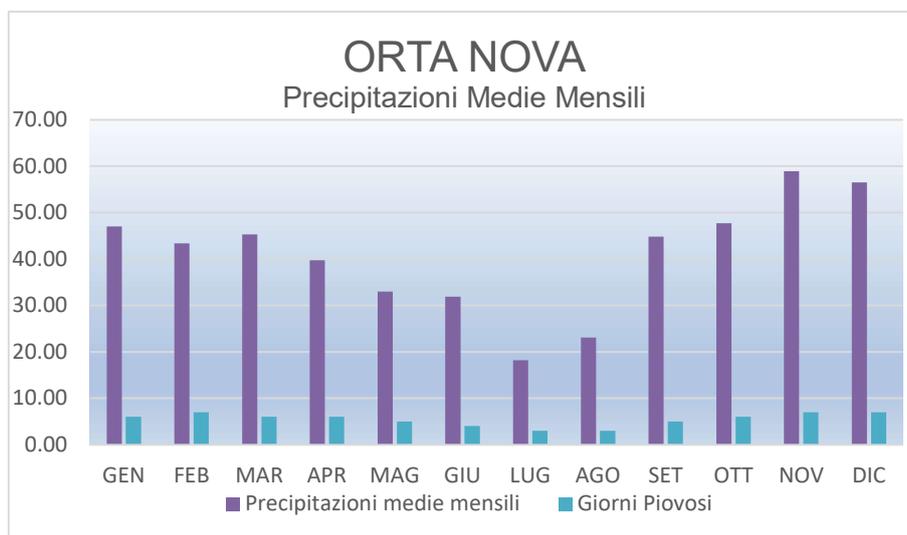


Figura 5:3 – Precipitazioni medie mensili e numero dei giorni piovosi nella stazione pluviometrica di Orta Nova 1921 – 2020.

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 torrente Cervaro, il Carapelle e il fiume Ofanto rappresentano gli elementi idrografici principali, mentre quelli minori sono rappresentati da canali artificiali e di bonifica dislocati verso la costa (Figura 14).

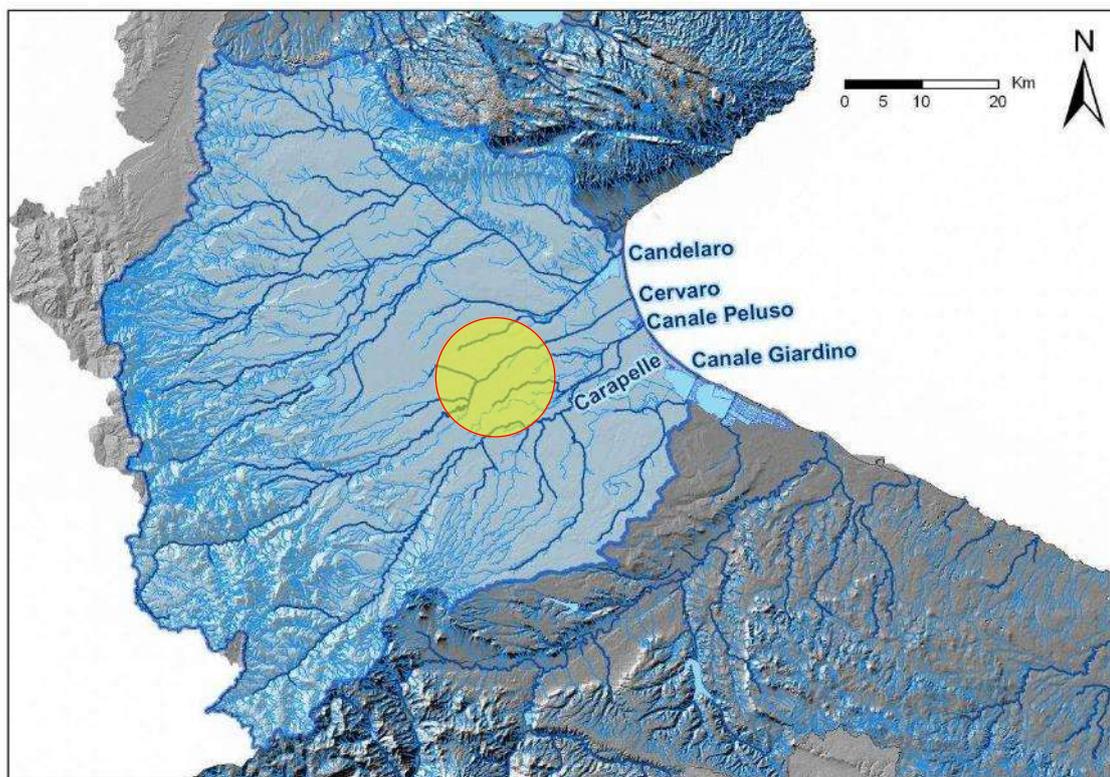


Figura 6:1 – Reticolo idrografico schematico dell'area del Tavoliere di Puglia.

Lo scorrimento idrico in superficie, pertanto, avviene secondo linee di massima pendenza che normalmente seguono una direzione ortogonale alla linea di costa. L'idrografia rivela nel complesso una fase di maturità con un andamento meandriforme e con presenza talora di alvei abbandonati.

Ad eccezione dell'Ofanto, che evidenzia un regime a carattere perenne, i suddetti corsi d'acqua hanno 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.

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 15).

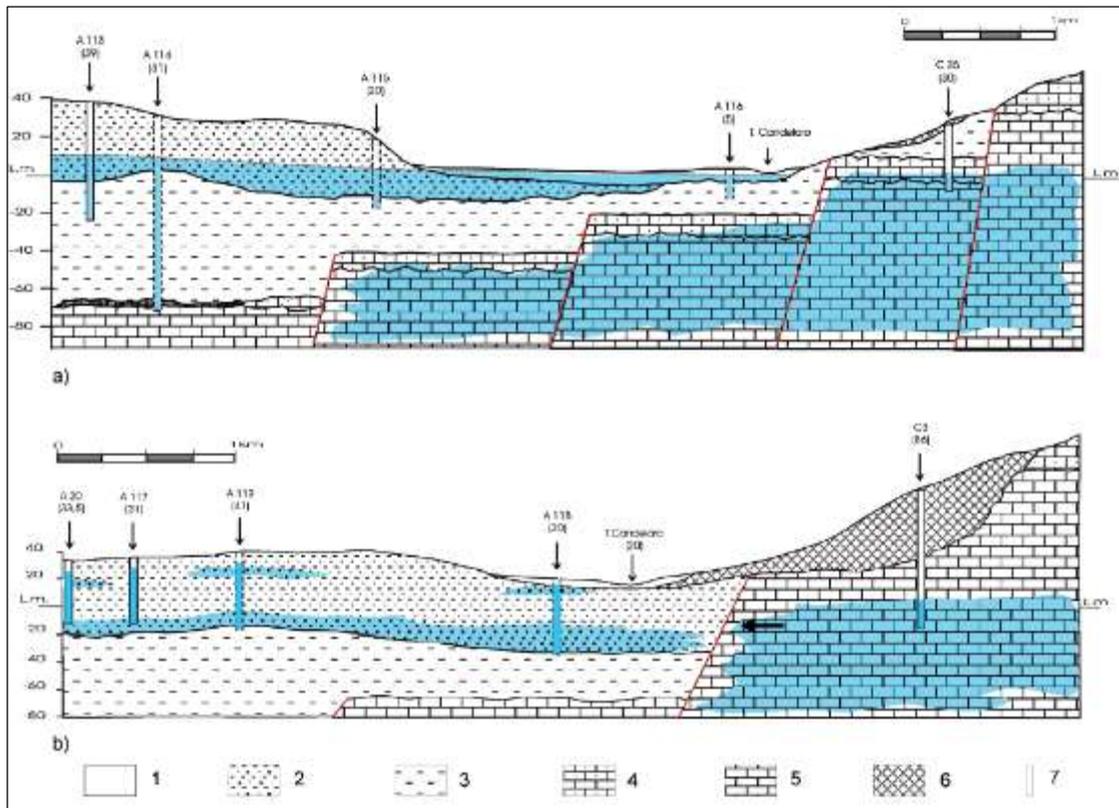


Figura 6:2 – Sezioni idrogeologiche. Legenda 1) Depositi d'alveo (Olocene); 2) depositi della pianura alluvionale (Olocene – Pleistocene sup.); 3) argille grigio- azzurrognole con intercalazioni sabbiose (Pleistocene inf. – Pliocene sup.) 4) Calcarenite (Pliocene sup. – Miocene); calcari della piattaforma carbonatica 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-pliocenico.
- 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 50 e 80 m, talora superiore, solo nelle aree più interne si riscontrano valori inferiori a 50 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. Coticché 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

Una verifica eseguita sulla carta delle isopieze), relativa alla campagna di misura 2002, rileva che i massimi valori del gradiente idraulico si registrano nella parte più interna, corrispondente alla zona di maggiore ricarica dell'acquifero, mentre tendono a diminuire nella parte centrale e ancor più verso il Torrente Carapelle. La particolare morfologia assunta dalla superficie piezometrica permette, innanzitutto, di definire una direttrice di deflusso idrico preferenziale più marcata, osservabile verso il Torrente Carapelle che funge da asse drenante.

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 -15 e -20 metri dal piano di campagna, con oscillazioni annuali influenzate dalle precipitazioni locali contenute nel metro.

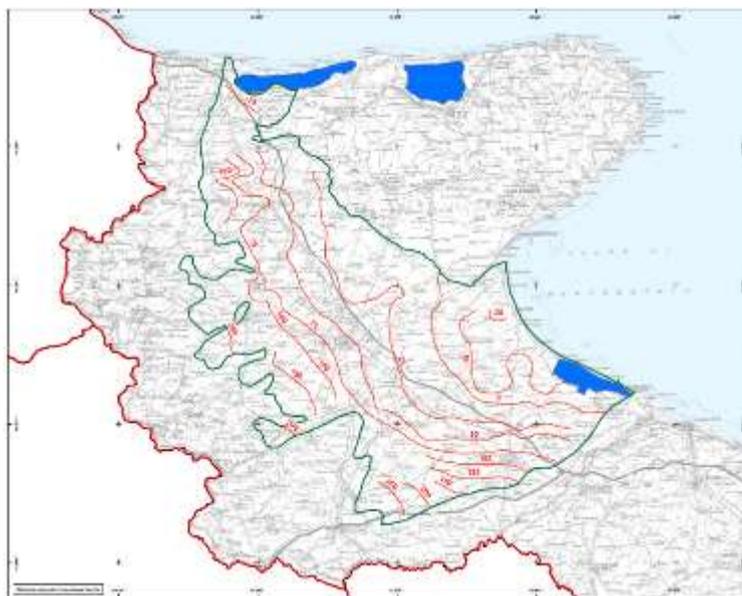


Figura 6:3 – Estratto della Tavola 6.3.1 del PTA Puglia. Distribuzione media dei carichi piezometrici dell'acquifero poroso del Tavoliere.

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 ≤ 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.

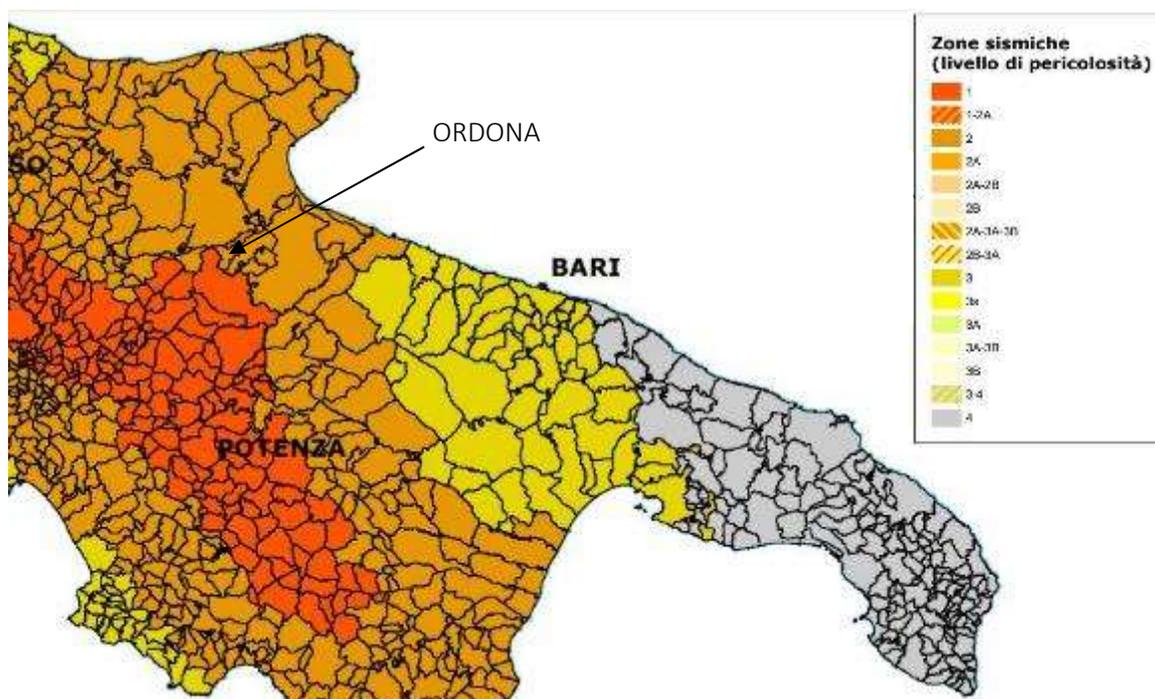


Figura 7:1 – Classificazione sismica del gennaio 2019.

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 17).



Figura 7:2 – Carta della pericolosità sismica della Puglia.

I dati a disposizione indicano che gli epicentri della maggior parte dei terremoti si localizzano nel settore alto del tavoliere, in zona garganica e appenninica (Irpinia). Tali eventi, in gran parte distruttivi nelle immediate vicinanze degli epicentri, hanno avuto influenza e continueranno ad agire in maniera tangibile sul Territorio in esame (figura 19).

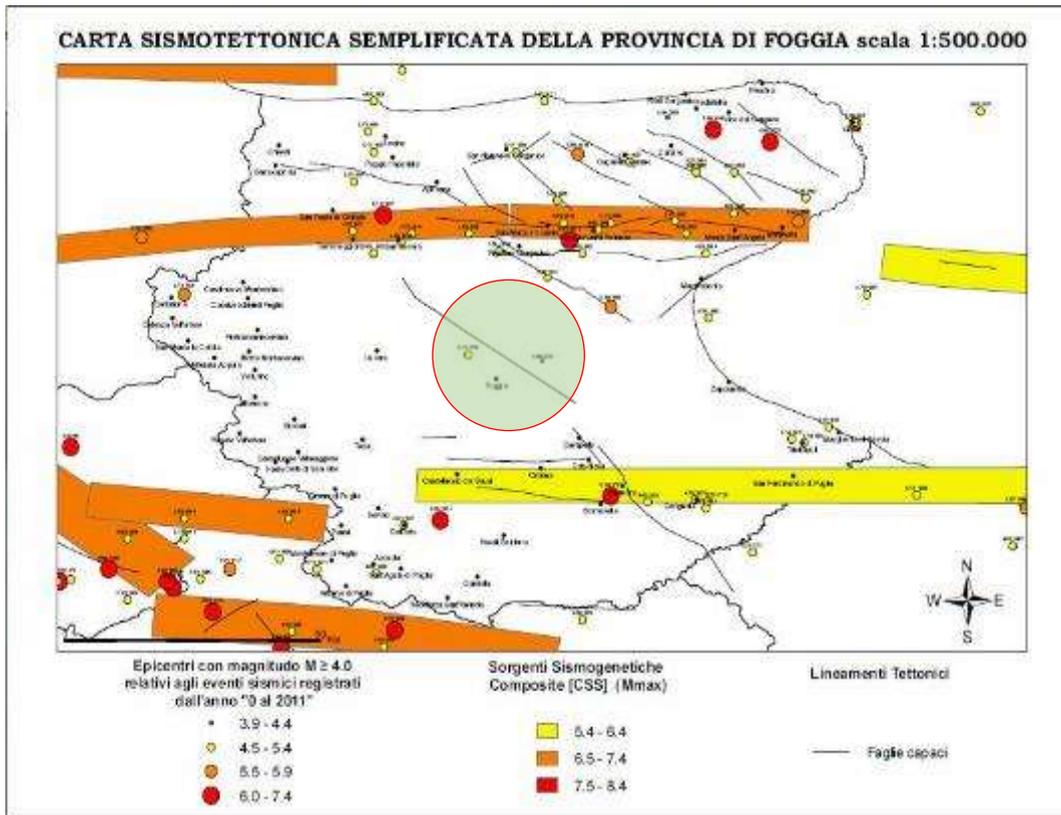


Figura 7:3 – Carta sismotettonica della Provincia di Foggia.

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

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.

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 Ortona.

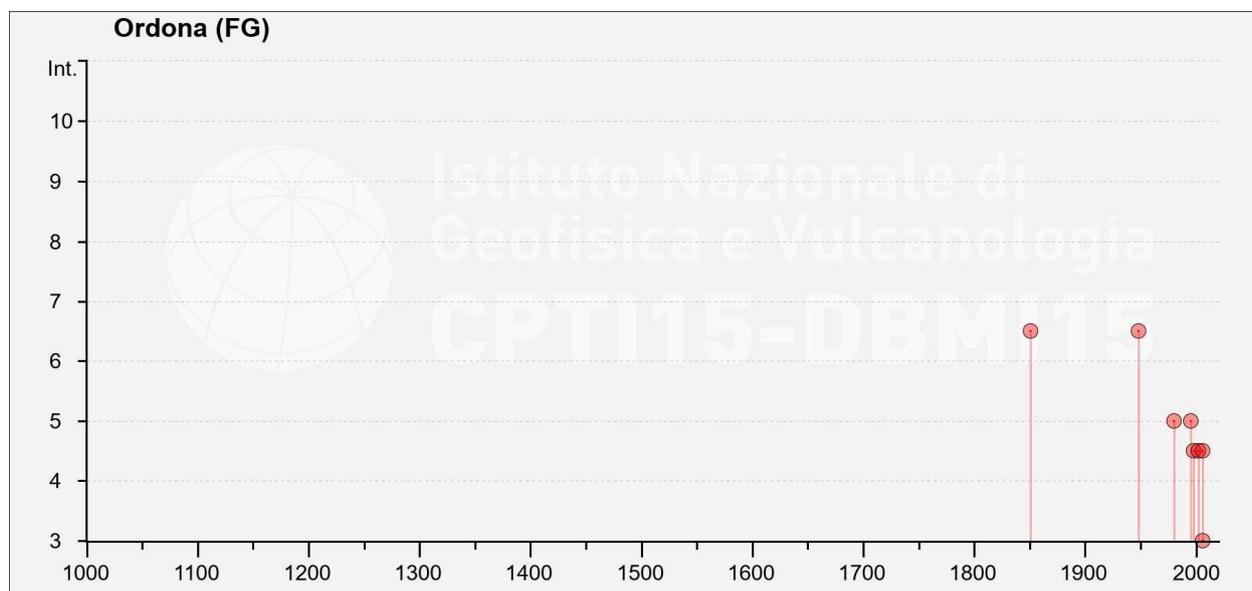


Figura 7:4 – Storia sismica del Comune di Ortona [41.315, 15.628] – https://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15_v1.5/query_place/

Tabella 7:3– Elenco dei principali eventi sismici nel comune di Ordonara. - https://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/query_place/

| CPTI15 - DBMI15 | | | | | |
|--|------------------------|--------------------|------|-----|------|
| Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani 2015 - Database Macrosismico Italiano 2017 | | | | | |
| Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia | | | | | |
| Seismic history of | Ordonara | | | | |
| PlaceID | IT_62220 | | | | |
| Coordinates (lat, long) | 41.315, 15.628 | | | | |
| Municipality (ISTAT 2015) | Ordonara | | | | |
| Province | Foggia | | | | |
| Regione | Puglia | | | | |
| Is | Anno Me Gi Ho Mi Se | Area epicentrale | NMDP | Io | Mw |
| 06-lug | 1851 08 14 13 20 | Vulture | 103 | 10 | 6,52 |
| 6-7 | 1948 08 18 21 12 20.00 | Gargano | 58 | 7-8 | 5,55 |
| 5 | 1980 11 23 18 34 52.00 | Irpinia-Basilicata | 1394 | 10 | 6,81 |
| NF | 1988 04 26 00 53 43.83 | Adriatico centrale | 78 | | 5,36 |
| 2 | 1992 11 05 13 34 27.86 | Gargano | 32 | 5 | 4,34 |
| 5 | 1995 09 30 10 14 33.86 | Gargano | 145 | 6 | 5,15 |
| 2 | 1996 04 03 13 04 34.98 | Irpinia | 557 | 6 | 4,9 |
| 4-5 | 1998 04 07 21 36 55.30 | Valle dell'Ofanto | 45 | 5 | 4,31 |
| 4-5 | 2002 11 01 15 09 01.92 | Molise | 638 | 7 | 5,72 |
| NF | 2003 06 01 15 45 18.04 | Molise | 501 | 5 | 4,44 |
| 2 | 2003 12 30 05 31 38.26 | Molise | 326 | 4-5 | 4,53 |
| NF | 2004 09 03 00 04 12.75 | Potentino | 156 | 5 | 4,41 |
| 4-5 | 2006 05 29 02 20 06.26 | Gargano | 384 | | 4,64 |
| 3 | 2006 10 04 17 34 20.50 | Adriatico centrale | 98 | 4-5 | 4,3 |
| NF | 2006 12 10 11 03 41.57 | Adriatico centrale | 54 | | 4,48 |

8. PIANIFICAZIONE ED ESECUZIONE DELLE INDAGINI GEOGNOSTICHE

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

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

8.1 INDAGINE SIMSICA - 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 (V_s).

Inoltre, con l'indagine sismica a rifrazione è stato possibile determinare le caratteristiche dinamiche del sottosuolo nelle prime decine di metri con l'individuazione delle principali unità geofisiche e delle relative proprietà meccaniche elastiche, quali velocità delle onde longitudinali P (V_p), velocità delle onde trasversali S (V_s) ed i relativi parametri elastici (E, G, K e ν)².

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

Prospezione sismica di tipo MASW

La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, $V_{s,eq}$ (in m/s), definita dall'espressione:

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

Dove

h_i = spessore dello strato i_{esimo} ;

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

N = numero di strati;

H = profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_s non inferiore a 800 m/sec³.

² Allegato IV

³ 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 (Sv) ogni qualvolta esiste una superficie libera in un mezzo omogeneo ed isotropo.

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

Nelle nuove metodologie d'indagine sismica del sottosuolo si valutano le onde di superficie in quanto la percentuale di energia convertita è di gran lunga superiore rispetto alle onde P ed S; inoltre l'ampiezza di queste onde dipende da \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 ad asse verticale con frequenza di taglio non superiore a 4,5 Hz.

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

- lunghezza stendimento = 16,50 m;
- numero geofoni = 12;

- Spaziatura = 1,50 m;
- offset di scoppio = 3,00 metri;
- durata dell'acquisizione = 1 secondo;
- tempo di campionamento = 1 millisecondo.

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

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

Indagine sismica a rifrazione

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

- lunghezza stendimento = 44,00 m;
- numero geofoni = 12;
- Spaziatura = 4,00 m;
- End Shot A = 0,00 metri;
- Central Shot E = 24,00 metri;
- End Shot B = 48,00 metri;
- durata dell'acquisizione = 128 msec;
- tempo di campionamento = 250 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 pianeggiante e quindi non è stato necessario correggere le quote di acquisizione. Il rumore ambientale rilevato è stato assolutamente trascurabile e riferito alle normali attività di lavorazione dei campi limitrofi. Per tutte le stese si è utilizzato un sistema di riferimento relativo, la cui origine è posta in corrispondenza dell'endshot esterno al 1° geofono sia per l'indagine sismica a rifrazione e sia per l'indagine MASW.

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 7 unità sismostratigrafiche e un valore di $V_{s,eq}$ misurato in 277 m/sec.

8.3.2 Elaborazione dell'indagine sismica a rifrazione

L'indagine MASW risente particolarmente del problema della non univocità del modello geofisico rispetto ai dati sperimentali ed è principalmente finalizzata alla determinazione del parametro $V_{s,eq}$ più che alla ricostruzione sismostratigrafica del sottosuolo. Pertanto, è stato eseguito uno stendimento sismico con la tecnica della rifrazione che ha permesso, unitamente a informazioni dirette di carattere geologico, geotecnico e idrogeologico, di ricostruire un modello geomeccanico ben definito.

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

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

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

8.4 INDAGINE GEOELETRICA

8.4.1 Prospezione E.R.T. (Electrical Resistivity Tomography)

I metodi di prospezione geoelettrica in corrente continua sono comunemente utilizzati per l'indagine del sottosuolo attraverso lo studio della resistività elettrica.

Il metodo si basa sul principio che la distribuzione di un campo di potenziale elettrico (U) sulla superficie del terreno dipende, oltre che dalle caratteristiche geometriche della sorgente, anche dalla distribuzione della resistività elettrica (ρ) nel sottosuolo.

La resistività elettrica, inverso della conducibilità elettrica, è un parametro fisico intrinseco delle rocce ed indica la resistenza specifica che oppongono i vari litotipi a farsi attraversare dalla corrente elettrica quando questi sono sottoposti all'azione di una forza elettromotrice. Essa può variare notevolmente da punto a punto poiché sono molti i fattori che la influenzano, tra i quali la presenza di acqua, la porosità, la temperatura e la pressione. La tecnica della prospezione geoelettrica consiste nell'inviare corrente continua nel terreno attraverso un dipolo (dipolo di energizzazione) e registrare la differenza di potenziale del campo elettrico indotto attraverso altri distinti dipoli (dipolo di misura), posti in successione a distanze progressivamente maggiori lungo uno stendimento. Questi poli elettrici sono costituiti da elettrodi di ferro o acciaio, possibilmente impolarizzabili.

In un semispazio omogeneo e isotropo il campo elettrico si distribuisce attraverso linee di corrente radiali e superfici equipotenziali semisferiche aventi il loro centro nel punto sorgente in superficie (figura 5).

In un sottosuolo non omogeneo, la presenza di un corpo anomalo o di una struttura geologica conduttiva o resistiva determina la distorsione delle linee di corrente, in funzione delle caratteristiche elettriche del corpo attraversato, addensandole o diradandole a seconda che si tratti di corpi isolanti o conduttori.

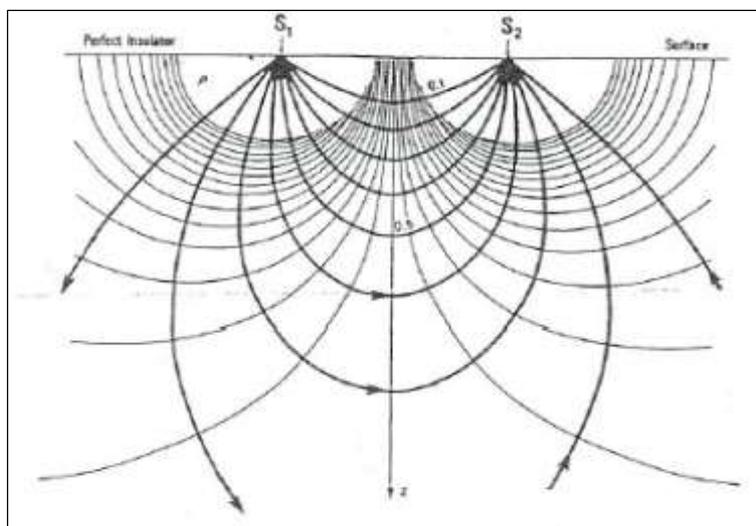


Figura 8:1 – Linee di corrente in un mezzo omogeneo (Carrara et alii 1997)

Per un semispazio omogeneo la resistività è determinata attraverso la relazione:

$$\rho = \frac{K\Delta V}{I}$$

Dove:

I = corrente iniettata misurata in Ampere

ΔV = differenza di potenziale misurata in Volt

K = Fattore geometrico che varia a seconda del dispositivo utilizzato

ρ è espresso in $\Omega \cdot m$.

La resistività ottenuta dalla precedente relazione rappresenta una resistività “apparente” del sottosuolo, ipotizzando un modello di sottosuolo omogeneo.

Una modellizzazione geofisica di un sottosuolo eterogeneo si ottiene attraverso un processo di “inversione” dei dati sperimentali. Invertire i dati sperimentali vuol dire ricostruire un modello significativo del sottosuolo a partire dai dati osservati.

Fra i dispositivi quadripolari collineari e simmetrici i più utilizzati sono: 1) Wenner ; 2) Schlumberger; 3) dipolo-dipolo; 4) Wenner-Schlumberger; 5) polo-dipolo; 6) polo-polo.

La scelta del dispositivo più idoneo per una prospezione geoelettrica dipende da diversi fattori, quali la profondità d’investigazione, risoluzione dei dati, sensibilità del dispositivo e il rapporto segnale/rumore.

La profondità d’investigazione è la massima profondità a cui può essere individuata una “struttura” presente nel sottosuolo ed è proporzionale alla lunghezza dello stendimento elettrico.

La risoluzione è la minima distanza a cui è possibile distinguere due oggetti o strutture poste nel sottosuolo ed è funzione della spaziatura fra gli elettrodi e del tipo di dispositivo elettrodico utilizzato.

Il rapporto segnale/rumore costituisce una funzione molto importante nella scelta del dispositivo elettrodico più efficace in quanto la presenza di sorgenti di disturbo, naturali o artificiali, costanti o variabili nel tempo, può inficiare il risultato interpretativo. Infatti, il riconoscimento delle fonti di disturbo è importante per evitare che esse siano interpretate erroneamente come anomalie generate dalle sorgenti che rappresentano l'oggetto della prospezione.

Un tipo di disturbo variabile nel tempo è dato da correnti telluriche naturali prodotte dalle variazioni del campo magnetico della terra o, ancor più, da fluidi sotterranei in movimento. Influiscono anche sorgenti artificiali generate da macchine elettriche con prese di terra attraverso le quali possono essere immesse correnti nel terreno.

Questo rapporto può essere incrementato aumentando l'intensità del segnale, che è inversamente proporzionale al fattore geometrico K, funzione del dispositivo elettrodico.

Preliminarmente all'acquisizione dei dati geoelettrici, è stata condotta una fase operativa riguardante l'organizzazione e l'approntamento delle indagini in sito.

8.4.2 Modalità di esecuzione dei rilievi: Attività di campo

Per il profilo E.R.T eseguiti è stato utilizzato l'array elettrodico Wenner-Schlumberger, previa infissione nel terreno di n. 32 elettrodi in acciaio impolarizzabile, utilizzando una spaziatura di 5 m per una lunghezza di ogni singola stesa pari a 155 m.

Il terreno è stato energizzato con l'impiego dell'energizzatore Pasi mod. P300T, avente le seguenti caratteristiche tecniche: 500 mA di corrente erogabile e 300 V di potenziale misurabile.

Brevemente viene descritta la caratteristica dell'array utilizzato.

Nel quadripolo Schlumberger, gli elettrodi di corrente AB rappresentano gli elettrodi esterni, mentre di elettrodi di potenziale MN quelli interni (figura 5).

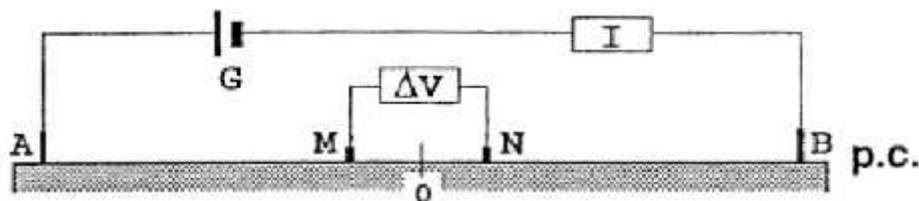


Figura 8:2 – Dispositivo di Schlumberger; $MN = 1/5 AB$

Questo tipo di dispositivo è un ibrido tra il dispositivo Wenner e quello Schlumberger (Pazdirek e Blaha, 1996). Come evidenziato in precedenza, il classico dispositivo Schlumberger è utilizzato comunemente per realizzare dei sondaggi di resistività ma, con degli opportuni accorgimenti, è possibile utilizzare lo stesso dispositivo anche per effettuare delle tomografie disponendo un certo numero di elettrodi lungo uno stendimento.

La spaziatura tra gli elettrodi di potenziale rimane costante e pari ad "a" mentre la spaziatura tra gli elettrodi di corrente aumenta secondo multipli interi di "a" (figura 7). In questo modo si ottiene una maggiore copertura orizzontale e la possibilità di ottenere una distribuzione 2D della resistività elettrica nel sottosuolo. Per il dispositivo Schlumberger il fattore geometrico K è il seguente:

$$\text{con } K = \pi n (n+1) a$$

$$\text{dove } a = AM = NB \text{ e } n = \frac{AM}{MN}$$

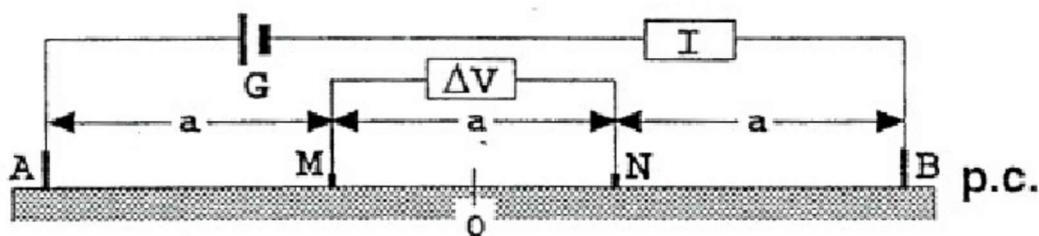


Figura 8:3

8.5 ANALISI INDAGINE GEOLETTRICA

La fase di elaborazione dei profili ERT è consistita nell'applicazione di un filtraggio dei dati, rimuovendo i valori acquisiti aventi letture di potenziale inferiori a 5 mV. Successivamente è stato generato un file di testo in modo da poter essere caricato sul software "RES2DINV", della Geotomo Software, utilizzato per ottenere il modello di inversione.

Il programma di inversione utilizza un modello 2D che consiste nel suddividere il profilo in blocchi rettangolari in cui all'interno è ipotizzato un valore di resistività costante. La disposizione dei blocchi è legata alla distribuzione dei dati nella pseudosezione (Sasaki Y., 1992).

La pseudosezione è una rappresentazione artificiosa dei dati sperimentali di resistività apparente, dalla quale non si possono ricavare direttamente forme e dimensioni dei corpi. Questo tipo di rappresentazione fu introdotta da Hallof (1957) e modificata da Edwards (1977). L'indagine qualitativa si rende necessaria per poter impostare un modello iniziale su cui operare numericamente.

Nel processo d'inversione la distribuzione dei blocchi, la grandezza e la profondità possono essere scelte dall'operatore qualora si abbiano conoscenze a priori dei parametri geologici (profondità e dimensione degli strati).

Nel caso specifico, per ottenere un maggior dettaglio e migliore risoluzione, è stato adottato il criterio di modellizzare il sottosuolo utilizzando dei blocchi aventi dimensioni pari a metà della spaziatura elettroica.

Per ottimizzare la risposta della procedura di inversione viene adottato il metodo dei minimi quadrati con vincolo di omogeneità (modelli teorici d), basato anche sull'approssimazione quasi-newtoniana di ottimizzazione (Loke e Barker 1996, deGroot-Hedlin e Constable 1990, Sasaki 1992).

8.5.1 Interpretazione della sezione elettrostratigrafica

Dall'analisi della sezione elettrostratigrafica è stato possibile verificare la presenza di materiale eterogeneo, dal punto di vista elettrico, caratterizzato da variazioni sia verticali che orizzontali dei valori di resistività elettrica.

Il modello ricavato dai dall'esame dei profili eseguiti è sovrapponibile a quanto già determinato con l'indagine sismica e suggerisce la presenza di materiale eterogeneo con variazioni laterali e verticali di resistività. Dalle sezioni allegate⁴ è possibile verificare un modello costituito da elettrostrutture dalla forma lenticolare; ciò può essere ricondotto oltre che a variazioni litologiche anche ad un diverso grado di umidità al suolo. Infatti l'assenza di piogge e le interruzioni dell'irrigazione hanno provocato un accumulo di Sali negli strati superficiali del suolo, favorendo la cementazione delle litologie con conseguente aumento della resistività.

L'esito dell'indagine è sintetizzato in un modello a 2 unità:

⁴ Allegato V

- Elettrostruttura mediamente conduttiva (MC), con valori di resistività elettrica compresi tra 33,00 ÷ 54,80 Ω·m
- Elettrostruttura mediamente resistiva (MR), con valori di resistività elettrica compresi tra 54,81 ÷ 196,00 Ω·m.

| STRATIGRAFIA ELETTRICA | | | | |
|------------------------|---------|---------------------------|-----------------------|----------------------------------|
| Quota [m. dal p.c.] | | Litologia | | Resistività Elettrica (ohm*m) |
| da | A | | | |
| 0.00 | - 25,00 | Limi Sabbiosi con ghiaia | Mediamente Resistivo | 54,81 ÷ 196,00 |
| 0,00 | - 18,00 | Limi sabbiosi con argilla | Mediamente Conduttivo | 33,00 ÷ 54,80 |

Tabella 8:1 – Stratigrafia elettrica nell'area di impostazione del campo fotovoltaico

In allegato si riportano la sezione elettrostratigrafica interpretativa⁵.

8.6 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 α);
- avanzamento (penetrazione) S;
- presenza o meno del rivestimento esterno (fanghi bentonitici).

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

Tabella 8:2: –Classificazione ISSMFE dei penetrometri dinamici

⁵ Allegato V

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

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

- altezza di caduta $H = 0.20$ m;
- avanzamento $\delta = 10$ cm;
- punta conica ($\alpha = 60-90^\circ$);
- diametro $D = 35.7$ mm;
- area base cono $A = 10$ cm²

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.

Le tre prove sono state eseguite in prossimità degli stendimenti sismici.

9. 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 dai sondaggi sismici e penetrometrici ragguagliati con stratigrafie ottenute con sondaggi meccanici a carotaggio continuo realizzate in ambiti limitrofi, 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.

9.1 INDIVIDUAZIONE DELLE UNITÀ LITOTECNICHE

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

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

Unità Litotecnica "A"

Si tratta di suoli di copertura, di natura prevalentemente limo-sabbiosa, con ciottoli poligenici eterometrici. È considerato un suolo incoerente, al più poco coesivo, generalmente addendato, mediamente permeabile.

Lo spessore è compreso tra 8,50 e 9,50 metri.

Tabella 9:1

| CARATTERISTICHE ELASTICHE E MECCANICHE DELL'UNITÀ LITOLOGICA "A" | |
|---|--------------------------------------|
| Spessore medio | $h = 8,50 - 9,50 \text{ m}$ |
| Peso volume medio | $\gamma_m = 20,00 \text{ kN/m}^3$ |
| Angolo di resistenza al taglio medio (tensioni efficaci, a lungo termine) | $\varphi'_m = 35-42^\circ$ |
| Coesione drenata media (tensioni efficaci, a lungo termine) | $c'_m = 0.02 - 0.05 \text{ kg/cm}^2$ |
| Modulo di Edometrico medio | $E_m = 1543 \text{ MPa}$ |
| Modulo di Poisson | $\nu = 0.42$ |
| Modulo di Young dinamico | $E_{din} = 874 \text{ MPa}$ |
| Modulo di Taglio dinamico | $G_d = 295 \text{ MPa}$ |

Unità Litotecnica "B"

È costituita da depositi sabbiosi con rari ciottoli poligenici eterometrici. È un suolo non coesivo, molto denso, poco compressibile, permeabile. Lo spessore varia da 10,20 metri sino ad un massimo di 14,60 metri.

Tabella 9:2

| CARATTERISTICHE ELASTICHE E MECCANICHE DELL'UNITÀ LITOLOGICA "B" | |
|---|-----------------------------------|
| Spessore variabile | $h = 10.20 - 14.60 \text{ m}$ |
| Peso volume medio | $\gamma_m = 20,00 \text{ kN/m}^3$ |
| Angolo di resistenza al taglio medio (tensioni efficaci, a lungo termine) | $\varphi'_m = 42^\circ$ |
| Coazione drenata media (tensioni efficaci, a lungo termine) | $c'_m = 0,01 \text{ kN/m}^2$ |
| Modulo Edometrico medio | $E_m = 4041 \text{ MPa}$ |
| Modulo di Poisson | $\nu = 0.42$ |
| Modulo di Young dinamico | $E_{din} = 1911 \text{ MPa}$ |
| Modulo di Taglio dinamico | $G_d = 672 \text{ MPa}$ |

Unità litotecnica "C"

Questa unità è formata prevalentemente da limi argillosi con sabbia fine. Ha un comportamento tendenzialmente coesivo, molto denso, poco compressibile, poco o nulla permeabile.

Tabella 9:3

| CARATTERISTICHE ELASTICHE E MECCANICHE DELL'UNITÀ LITOLOGICA "C" | |
|---|-----------------------------------|
| Spessore variabile | $h > 10.00 \text{ m}$ |
| Peso volume medio | $\gamma_m = 19,24 \text{ kN/m}^3$ |
| Angolo di resistenza al taglio medio (tensioni efficaci, a lungo termine) | $\varphi'_m = 25^\circ$ |
| Coazione drenata media (tensioni efficaci, a lungo termine) | $c'_m = 28.1 \text{ kPa}$ |
| Modulo Edometrico medio | $E_m = 6148 \text{ MPa}$ |
| Modulo di Poisson | $\nu = 0.33$ |
| Modulo di Young dinamico | $E_{din} = 6193 \text{ MPa}$ |
| Modulo di Taglio dinamico | $G_d = 2326 \text{ MPa}$ |

10. 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.

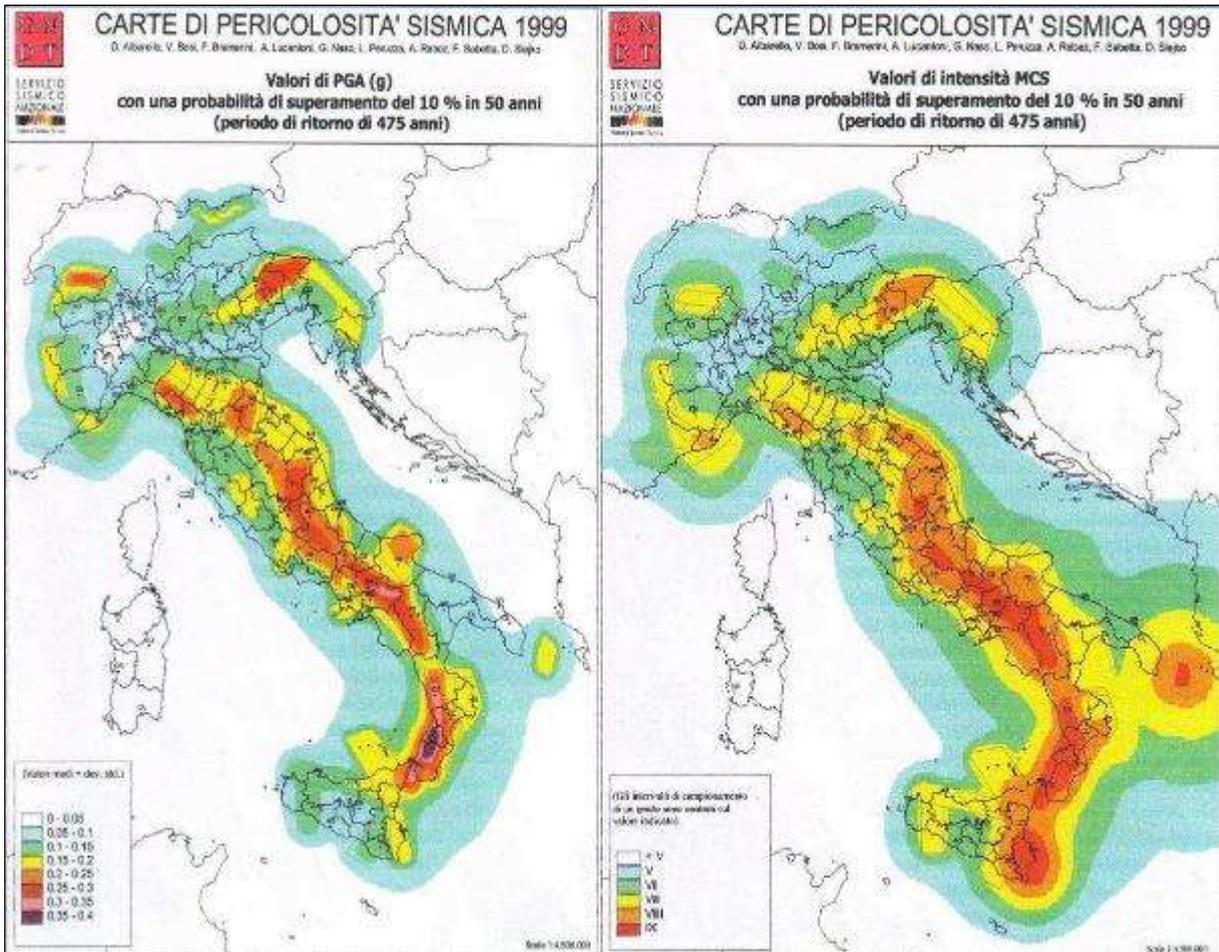


Figura 10:1 – Carta della pericolosità sismica (Servizio Sismico Nazionale)

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 Ortona;
- Sito Nord - Ricerca per coordinate: Long. 15.65442; Lat. 41.31632;
- Sito Sud - Ricerca per coordinate: Long. 15.62645; Lat. 41.29497;
- Stazione Terna - Ricerca per coordinate: Long. 15.518032; Lat. 41.307658;
 - La velocità media di propagazione è stata misurata in $V_{s,eq} > 405$ m/s;
 - 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, si ipotizza un sottosuolo riferibile alla categoria "B".

Tabella 10:1 Categoria di sottosuoli

| CATEGORIE SUOLI DI FONDAZIONE | |
|---|---|
| Tab. 3.2.II - D.M. 17 gennaio 2018 "Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni". | |
| A | Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi, caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m. |
| B | Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s. |
| C | 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 del sito che si colloca su un'area quasi perfettamente pianeggiante con inclinazione media $i < 15^\circ$ (max 2°), sono riferibili alla categoria "T₁", per cui il coefficiente di amplificazione topografica (ST) è pari a 1,0 (valori massimi del coefficiente tab. 3.2. III Norme Tecniche per le Costruzioni 2018).

Tabella 10:2 - Tabella 3.2.III NTC 2018 – Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica S_T

| VALORI MASSIMI DEL COEFFICIENTE DI AMPLIFICAZIONE TOPOGRAFICA | | |
|---|--|------------|
| Categoria Topografica | Ubicazione dell'opera o dell'intervento | S_T |
| T₁ | - | 1,0 |
| T ₂ | In corrispondenza della sommità del pendio | 1,2 |
| T ₃ | In corrispondenza della cresta del rilievo | 1,2 |
| T ₄ | 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 $C_U=1,0$;

Tabella 10:3 - Tab. 2.4.II NTC 2018 – Valori del coefficiente d'uso C_U .

| VALORI DEL COEFFICIENTE D'USO C_U . | | | | |
|---------------------------------------|-----|-----|-----|-----|
| CLASSE D'USO | I | II | III | IV |
| COEFFICIENTE C_U | 0,7 | 1,0 | 1,5 | 2,0 |

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Tabella 10:4

| SPETTRI DI RISPOSTA SECONDO LE NTC 2018 – SITO NORD | | | | | | |
|---|-----|-----------------|---------------------------|---------------------------------|----------------|-----------------------|
| Stati limite | | P _{VR} | Periodo di ritorno (anni) | a _g ⁶ (g) | F ₀ | T* _c (sec) |
| SLE | SLO | 81% | 30 | 0,044 | 2,476 | 0,287 |
| | SLD | 63% | 50 | 0,055 | 2,559 | 0,322 |
| SLU | SLV | 10% | 475 | 0.148 | 2,580 | 0,433 |
| | SLC | 5% | 975 | 0.197 | 2,548 | 0,442 |

Tabella 10:5

| SPETTRI DI RISPOSTA SECONDO LE NTC 2018 – SITO SUD | | | | | | |
|--|-----|-----------------|---------------------------|--------------------|----------------|-----------------------|
| Stati limite | | P _{VR} | Periodo di ritorno (anni) | a _g (g) | F ₀ | T* _c (sec) |
| SLE | SLO | 81% | 30 | 0,045 | 2,472 | 0,287 |
| | SLD | 63% | 50 | 0,057 | 2,563 | 0,316 |
| SLU | SLV | 10% | 475 | 0.161 | 2,535 | 0,421 |
| | SLC | 5% | 975 | 0.220 | 2,487 | 0,431 |

Tabella 10:6

| SPETTRI DI RISPOSTA SECONDO LE NTC 2018 – STAZIONE TERNA | | | | | | |
|--|-----|-----------------|---------------------------|--------------------|----------------|-----------------------|
| Stati limite | | P _{VR} | Periodo di ritorno (anni) | a _g (g) | F ₀ | T* _c (sec) |
| SLE | SLO | 81% | 30 | 0,046 | 2,434 | 0,289 |
| | SLD | 63% | 50 | 0,058 | 2,556 | 0,321 |
| SLU | SLV | 10% | 475 | 0.160 | 2,549 | 0,426 |
| | SLC | 5% | 975 | 0.217 | 2,508 | 0,436 |

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

⁶ a_g espressa come frazione dell'accelerazione di gravità g

ed orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature.

➤ SLU = stati limite ultimi

- SLV = **stato limite di salvaguardia della vita**: a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidità nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidità per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali;
- SLC = **stato limite di prevenzione del collasso**: a seguito del terremoto la costruzione subisce gravi rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e danni molto gravi dei componenti strutturali; la costruzione conserva ancora un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni orizzontali.

Tabella 10:7

| COEFFICIENTI SISMICI (PER STABILITÀ DI PENDII E FONDAZIONI) SITO NORD | | | | |
|--|-------|-------|-------|-------|
| coefficienti | SLO | SLD | SLV | SLC |
| kh | 0,011 | 0,013 | 0,043 | 0,057 |
| kv | 0,005 | 0,007 | 0,021 | 0,028 |
| a _{max} [m/s ²] | 0,520 | 0,653 | 1.737 | 2.322 |
| β | 0,200 | 0,200 | 0,240 | 0,240 |

Tabella 10:8

| COEFFICIENTI SISMICI (PER STABILITÀ DI PENDII E FONDAZIONI) SITO SUD | | | | |
|---|-------|-------|-------|-------|
| coefficienti | SLO | SLD | SLV | SLC |
| kh | 0,013 | 0,017 | 0,056 | 0,084 |
| kv | 0,007 | 0,008 | 0,028 | 0,042 |
| a _{max} [m/s ²] | 0,660 | 0,831 | 2.305 | 2.954 |
| β | 0,200 | 0,200 | 0,240 | 0,280 |

Tabella 10:9

| COEFFICIENTI SISMICI (PER STABILITÀ DI PENDII E FONDAZIONI) STAZIONE TERNA | | | | |
|---|-------|-------|-------|-------|
| coefficienti | SLO | SLD | SLV | SLC |
| kh | 0,011 | 0,014 | 0,046 | 0,072 |
| kv | 0,006 | 0,007 | 0,023 | 0,036 |
| a _{max} [m/s ²] | 0,541 | 0,677 | 1.886 | 2.515 |
| β | 0,200 | 0,200 | 0,240 | 0,280 |

Dove:

β_s = coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito

a_{max} = accelerazione orizzontale massima attesa al sito

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

g = accelerazione di gravità

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

S_t = coefficiente di amplificazione topografica = 1,0

11.COMPATIBILITÀ CON IL PIANO DI ASSETO IDROGEOLOGICO (PAI)

Le aree interessate dalla realizzazione del campo agrivoltaico sono esterne alle perimetrazioni del PAI

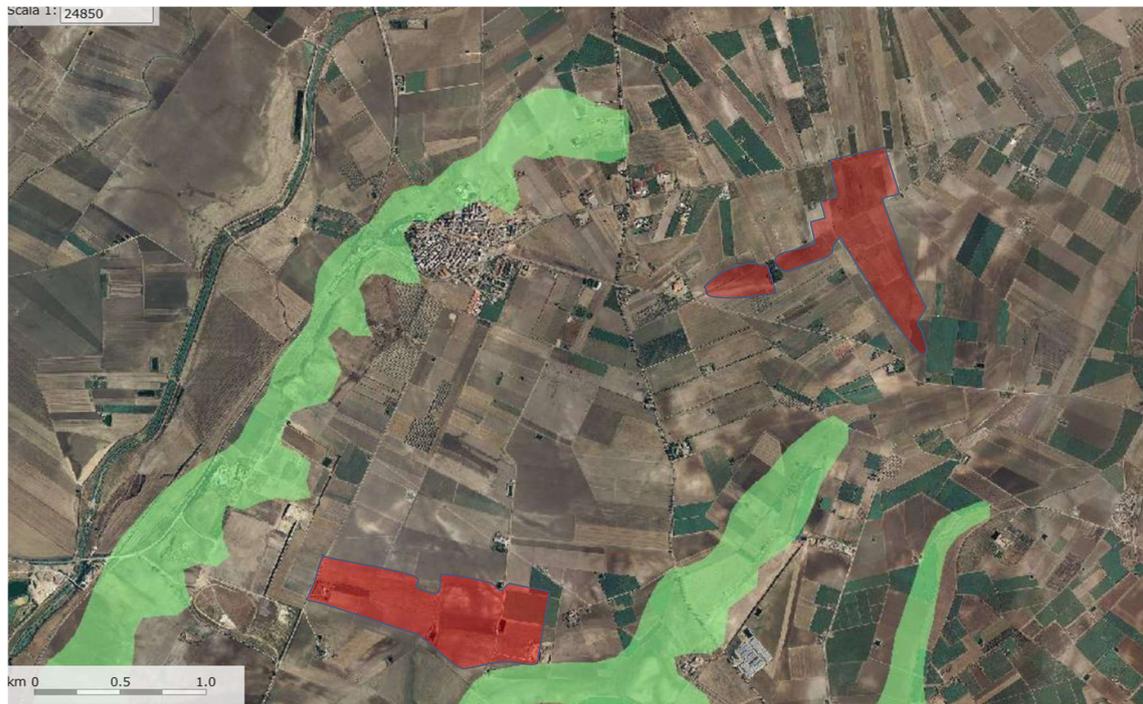


Figura 11:1 – Stralcio della cartografia PAI [WebGIS del PAI Puglia \(distrettoappenninomeridionale.it\)](http://WebGIS del PAI Puglia (distrettoappenninomeridionale.it)).

Per quanto attiene il cavidotto, corre attraverso aree a Pericolosità Geomorfologica media e moderata (PG1) e attraversa il Fiume Carapelle in località Ponte Nuovo. La stazione di consegna TERNA nell'agro del Comune di Castelluccio dei Sauri è in area PG1.



Figura 11:2 – Tracciato del cavidotto.

Il cavidotto interrato si sviluppa per una lunghezza complessiva di circa 9,39 Km in asse con la viabilità. Lungo il percorso interseca il Torrente Carapelle ma, essendo completamente interrato, non modifica in nessun modo l'attuale assetto idraulico. Infatti, l'attraversamento sarà effettuato con la tecnica della Trivellazione Orizzontale Controllata (TOC) e non interferirà in alcun modo con l'elemento idrografico.

Per quanto attiene il cavidotto e la futura stazione TERNA, come già evidenziato, saranno realizzati in area a Pericolosità Media e Moderata (PG1). Le NTA del PAI Puglia stabiliscono che nelle aree a pericolosità geomorfologica media e moderata (P.G.1) sono consentiti tutti gli interventi previsti dagli strumenti di governo del territorio purché l'intervento garantisca la sicurezza, non determini condizioni di instabilità e non modifichi negativamente le condizioni ed i processi geomorfologici nell'area e nella zona potenzialmente interessata dall'opera e dalle sue pertinenze.

A tal uopo è stata condotta una analisi della stabilità dei luoghi nell'area di costruzione della Stazione Terna che ha permesso di determinare il valore minimo del coefficiente di stabilità che è risultato $F_{sic} > 7.66$, da cui la stabilità dei luoghi. È utile sottolineare che il pendio potrebbe essere considerato in teoria stabile quando F_{sic} risulta maggiore di 1,0 ($T_{max} > T_{mob}$), instabile in caso contrario ($T_{max} < T_{mob}$). In realtà, per tener conto dell'incertezza introdotta dalle ipotesi semplificatrici nelle procedure di calcolo, sebbene sempre più affidabili e raffinate, e, soprattutto dell'approssimazione con cui sono noti i parametri geomeccanici della roccia per consuetudine pratica la stabilità può dirsi raggiunta solo nel caso in cui $F_{sic} > 1,3$

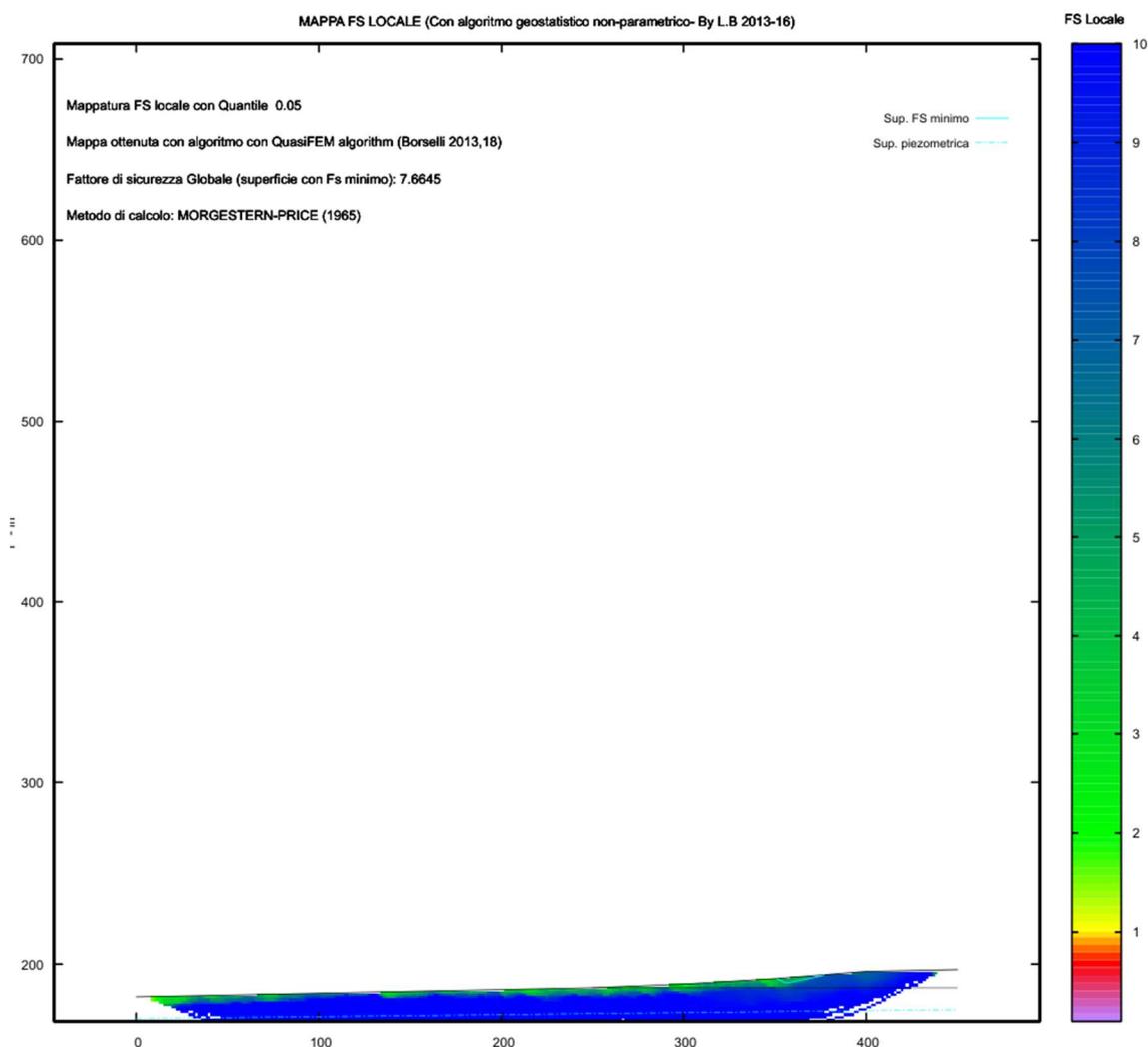


Figura 11:3 – Mappatura dei coefficienti di sicurezza.

12.SINTESI CONCLUSIVA

Lo studio geologico condotto al fine di definire le condizioni geologiche, idrogeologiche e morfologiche generali del sito sul quale si intende intervenire con il Progetto per la realizzazione di un impianto agrovoltaico avanzato con annesso allevamento ovino e relative opere ed infrastrutture connesse della potenza complessiva di 57,348 MWp – 50,000 MWac e relative opere di connessione, consente di formulare le seguenti considerazioni conclusive.

L'area oggetto di intervento è ubicata in un ambito debolmente ondulato espressione di un terrazzo alluvionale a quote comprese tra 140 metri sul livello del mare a Sud e 100 m.s.l.m. a Nord. Psatrtte integrante del Tavoliere di Puglia.

Qui affiorano depositi alluvionali di età compresa tra il Pleistocene medio-sup. e Olocene che poggiano sulle formazioni argillose marine plio-pleistoceniche

La successione stratigrafica è stata riconosciuta correlando i dati ottenuti dal rilievo geologico tecnico effettuato in situ, dall'esame delle indagini eseguite, integrate con i dati conseguenti da indagini pregresse eseguite nello stesso ambito. Da qui si ipotizza un modello geotecnico a 3 unità litotecniche con caratteristiche tecniche migliori con la profondità.

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 eterogenità dell'acquifero; le quote rilevate nei diversi fori di sondaggio indicano il livello freatico a circa 14 metri rispetto al piano di campagna.

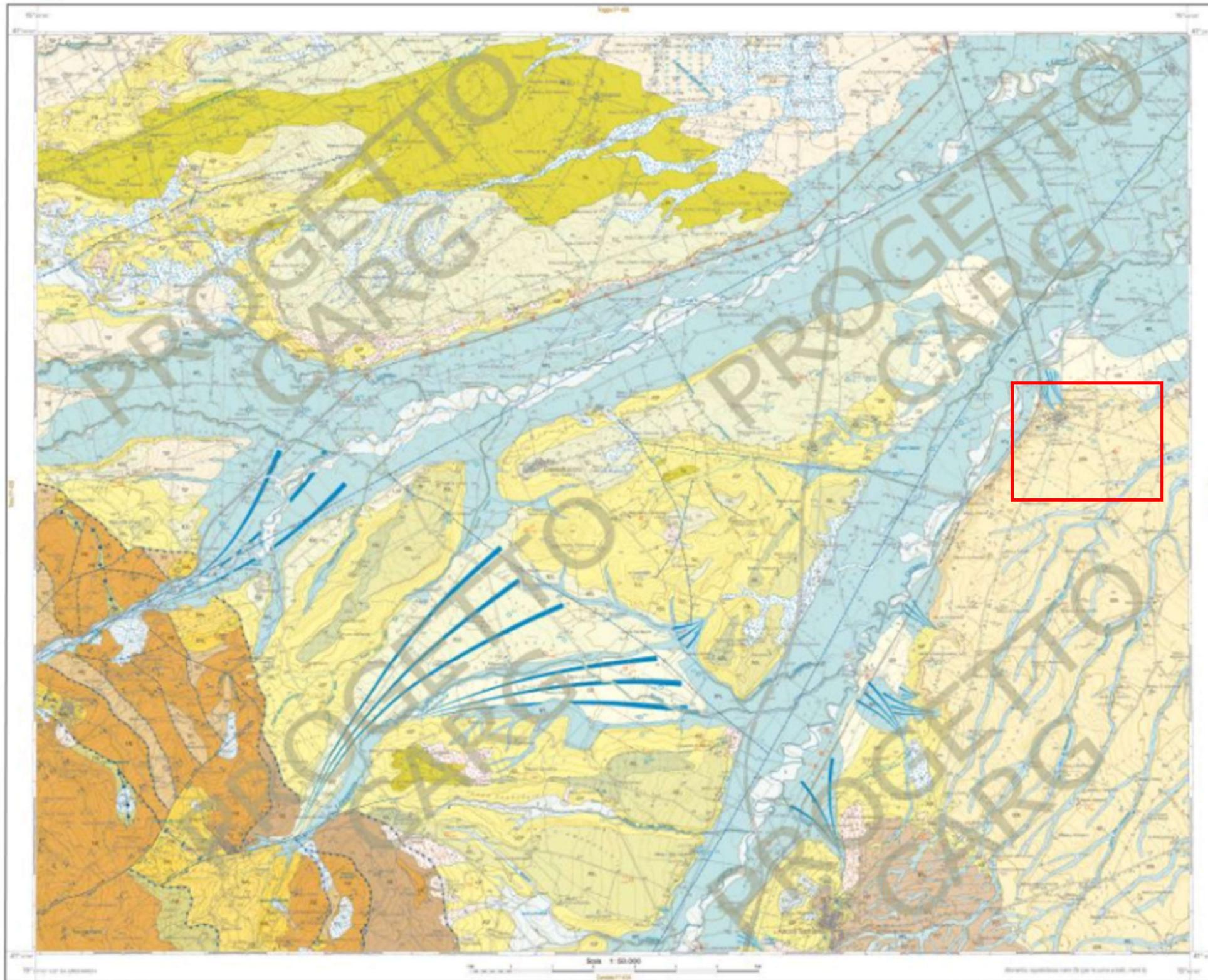
L'area di progetto è esterna alle perimetrazioni introdotte dal Piano Stralcio di Assetto Idrogeologico (PAI) redatto dall'Autorità di Bacino della Puglia. Il cavidotto interrato corre attraverso aree a Pericolosità Geomorfologica media e moderata (PG1) e attraversa il Fiume Carapelle in località Ponte Nuovo. La stazione di consegna TERNA nell'agro del Comune di Castelluccio dei Sauri è in area PG1. La verifica di stabilità eseguita lungo una sezione passante per l'area di realizzazione della stazione Terna ha dato un valore del coefficiente di stabilità $F_{SIC} > 7.66$.

La tipologia dell'intervento da attuare, così come riportato nei grafici progettuali, non prevede sbancamenti e/o movimenti di terra tali da pregiudicare l'assetto geomorfologico e idrogeologico generale, né il buon ruscellamento delle acque superficiali. Pertanto si ritiene che siano da escludere l'insorgenza di fenomeni perturbativi alla stabilità dei luoghi.

Vieste, maggio 2024

dott. geol. Michele Pecorelli

ALLEGATO II CARTA GEOLOGICA



LEGENDA

| | |
|--|---|
| UNITÀ QUATERNARIE DEL TAVOLIERE DI PUGLIA SUPERSISTEMA DEL TAVOLIERE DI PUGLIA (TP) | |
| SISTEMA DEI TORRENTI CARAPPELLE E CERVARO | |
| Silt argillosi, silt, sabbie silteose e lenti di ghiaie poligeniche; a luoghi livelli di limi nerastri con coperture decimetriche di sabbie con gradazione diretta, laminata e con al tetto sottili livelli argillosi. <i>PLEISTOCENE SUPERIORE? - OLOCENE</i> | |
| RPL ₁ | Subsistema delle Marane la Pidocchiosa-Castello Ghiaie poligeniche con lenti di sabbie silteose. <i>PLEISTOCENE SUPERIORE? - OLOCENE</i> |
| RPL ₂ | Subsistema dell'Incoronata Silt argillosi, silt, sabbie silteose e lenti di ghiaie poligeniche; a luoghi livelli di limi nerastri con coperture decimetriche di sabbie con gradazione diretta, laminata e con al tetto sottili livelli argillosi. <i>PLEISTOCENE SUPERIORE? - OLOCENE</i> |
| SISTEMA DE LA SEDIA DI ORLANDO | |
| E' corrispondente come posizione stratigrafica al sistema di Foggia che affiora nell'area a Nord del T. Cervaro. Sabbie silteose intercalate ad argille silteose; a luoghi lenti di ghiaia con clasti poligenici fino a 10 cm, scarsamente cementate. <i>PLEISTOCENE SUPERIORE</i> | |
| SISTEMA DI CERIGNOLA | |
| Sabbie di spiaggia con ripple e rari frammenti di macrofossili marini passanti verso l'alto a corpi ghiaiosi tabulari mediamente cementati. <i>PLEISTOCENE MEDIO - SUPERIORE</i> | |
| OON | Conglomerati di Ordona Corpi ghiaiosi, con foreset progradanti verso NE intercalati a strati suborizzontali di sabbie o ghiaie a stratificazione inclinata. Spessore massimo 20 m. <i>PLEISTOCENE MEDIO? - SUPERIORE</i> |
| STQ | Sabbie di Torre Quarto Sabbie a granulometria media, ben stratificate con lamine piano-parallele, strutture da deformazione per fuga d'acqua e superfici modellate da ripple coperti da livelli di fango. Rari frammenti di fossili marini. Spessore massimo 10 m. <i>PLEISTOCENE MEDIO? - SUPERIORE</i> |
| SISTEMA DI FOGGIA | |
| Depositi alluvionali terrazzati costruiti da silt argillosi sottilmente laminati con intercalazioni di sabbie silteose gradate e laminare (depositi di piena di inondazione). Nei sottosuolo a diverse profondità si rinvencono conglomerati poligenici ed eterometrici in corpi di spessore variabile da circa un metro a circa 5-6 m intercalati a silt argillosi nerastri laminati che contengono a luoghi ciottoli isolati e gastropodi continentali. Lo spessore complessivo dell'unità, ricavato dall'analisi di numerosi pozzi per la ricerca di acqua, varia da 10-15 m a 40 m. <i>PLEISTOCENE MEDIO? - SUPERIORE</i> | |
| TGF | SISTEMA DI RADOGNA |
| E' corrispondente come posizione stratigrafica al sistema di Vigna Boccola che affiora a Nord del T. Cervaro. Si tratta di sabbie con ciottoli prive di strutture interne con rare lenti ghiaiose e polliche decimetriche che affiorano, per uno spessore massimo 10 m, lungo il versante destro del T. Ceione. <i>PLEISTOCENE MEDIO</i> | |
| RDG | SISTEMA DI VIGNA BOCOLA |
| Depositi alluvionali terrazzati costituiti da sabbie laminare, con rare intercalazioni argillose. Verso l'alto ghiaie gradate, ben selezionate e massive, con base erosiva. Lo spessore osservabile è di circa 10 m. <i>PLEISTOCENE MEDIO</i> | |
| TPB | SISTEMA DI PIANO D'AMENDOLA |
| Depositi di conoidi alluvionali, da prossimali ad intermedii, costituiti da conglomerati disorganizzati o poco organizzati; nella porzione distale anche lenti sabbiose. Affiorano soltanto tra il T. Cervaro e il T. Carapele. <i>PLEISTOCENE MEDIO</i> | |
| Pleistocene | |

ALLEGATO II

UBICAZIONE INDAGINI GEOGNOSTICHE



LEGENDA

-  Indagine sismica con sovrapposizione di stendimento a Rifrazione e stendimento con tecnica MASW
-  Prova Penetrometrica Dinamica
-  Tomografia Elettrica Verticale



ALLEGATO III

PROSPEZIONI SISMICHE TIPO MASW

Prospezione MASW 1

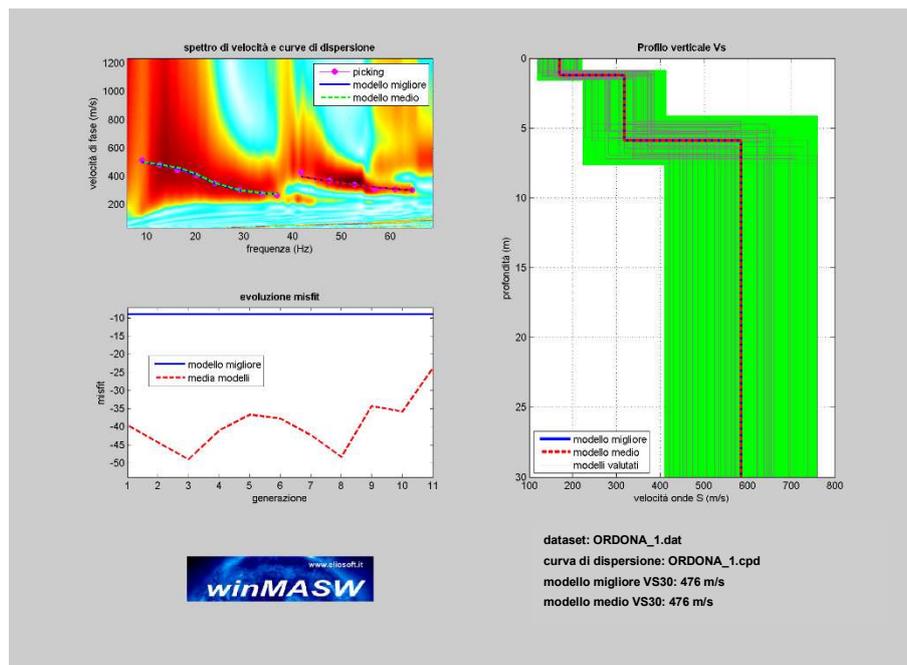
L'indagine MASW 1 ha restituito un valore di $V_{s30}=297$ m/s, coincidente col valore della $V_{s,eq}$, in quanto non è stato intercettato il bedrock (definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, con $V_s > 800$ m/sec) ad una profondità $H = 30.00$ m dal p.c..

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

| MASW 1 | | | |
|------------------------|----------------------------|--------------|----------------|
| MASW | Velocità di taglio (m/sec) | Spessori (m) | Profondità (m) |
| SISMOSTRATO I | 170 | 1,20 | 0.00 – 1.20 |
| SISMOSTRATO II | 318 | 4,70 | 1.20 – 5.90 |
| SISMOSTRATO III | 585 | Semispazio | Semispazio |
| $V_{s,eq} = 476$ 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 (m) |
| SISMOSTRATO I | Terreno vegetale; inferiormente ghiaia sabbiosa; | 0.00 – 2.00 |
| SISMOSTRATO II | Ghiaia in matrice sabbioso-limoso; | 2.00 – 8.50 |
| SISMOSTRATO III | Ghiaia cementata in matrice sabbiosa; | <i>Semispazio</i> |

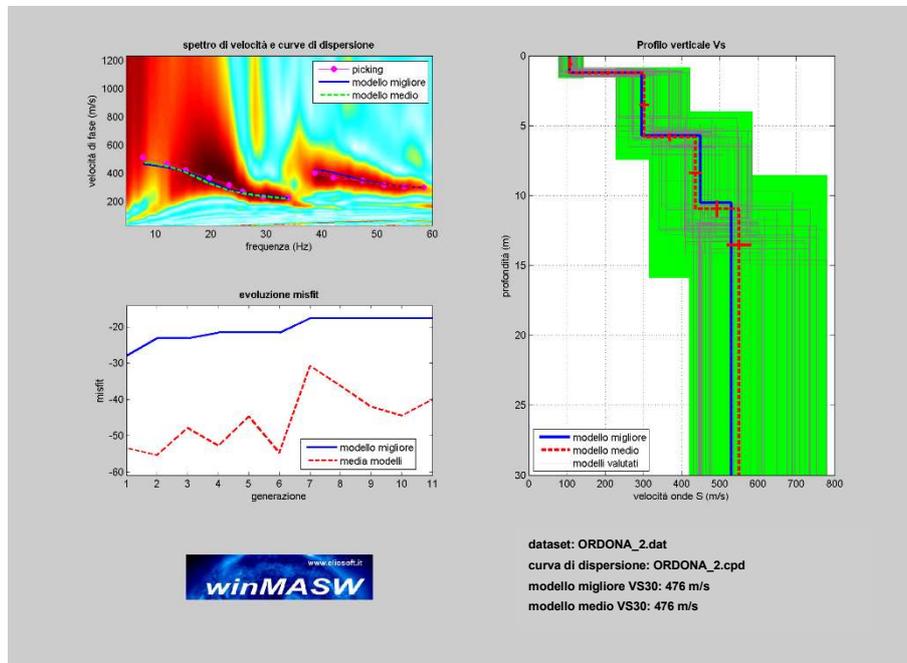


Prospezione MASW 2

L'indagine MASW 2 ha restituito un valore di $V_{s30} = V_{s,eq} = 410$ m/sec.

| MASW 2 | | | |
|--|----------------------------|--------------|----------------|
| MASW | Velocità di taglio (m/sec) | Spessori (m) | Profondità (m) |
| SISMOSTRATO I | 108 | 1,30 | 0,00 – 1,30 |
| SISMOSTRATO II | 302 | 4,60 | 1,30 – 5,90 |
| SISMOSTRATO III | 436 | 5,20 | 5,90 – 11,10 |
| SISMOSTRATO IV | 550 | Semispazio | Semispazio |
| $V_{s,eq} = 410$ m/sec | | | |

| MASW 2 | | |
|-----------------|---|----------------|
| SISMOSTRATI | LITOLOGIA INVESTIGATA | Profondità (m) |
| SISMOSTRATO I | Terreno vegetale su sabbia con ciottoli | 0,00 – 1,30 |
| SISMOSTRATO II | Sabbia con ghiaia e ciottoli | 1,30 – 5,90 |
| SISMOSTRATO III | Sabbia e ghiaia | 5,90 – 11,10 |
| SISMOSTRATO IV | Sabbia e ghiaia con migliori caratteristiche tecniche | Semispazio |

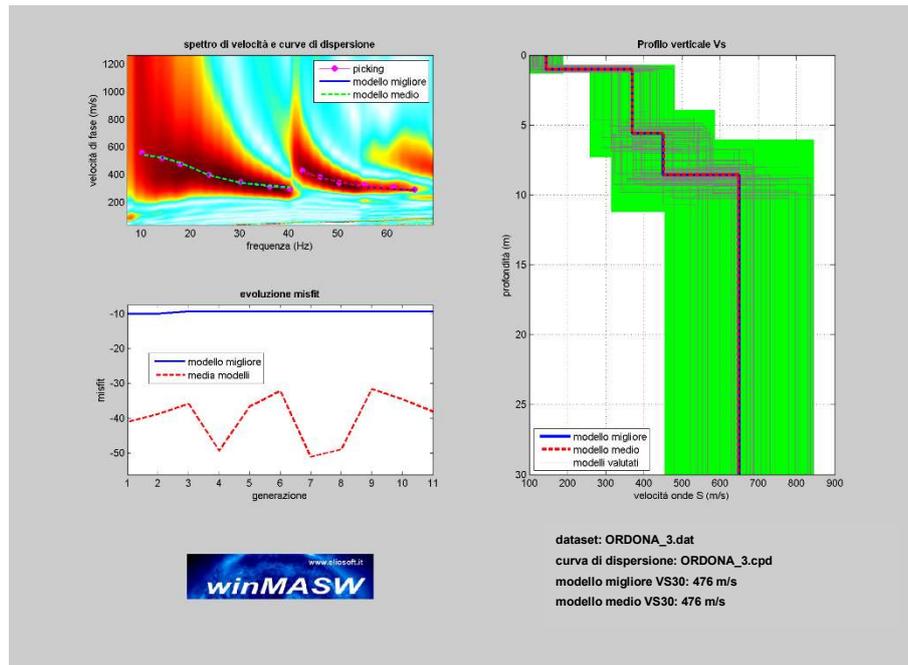


Prospezione MASW 3

L'indagine MASW 2 ha restituito un valore di $V_{s30} = V_{s,eq} = 476$ m/sec.

| MASW 3 | | | |
|-----------------|----------------------------|-------------------|-------------------|
| MASW | Velocità di taglio (m/sec) | Spessori (m) | Profondità (m) |
| SISMOSTRATO I | 145 | 1,00 | 0.00 – 1.00 |
| SISMOSTRATO II | 370 | 4,60 | 1.00 – 5.60 |
| SISMOSTRATO III | 453 | 3,00 | 5.60 – 8.60 |
| SISMOSTRATO IV | 649 | <i>Semispazio</i> | <i>Semispazio</i> |
| SISMOSTRATO I | | | |

| MASW 3 | | |
|-----------------|---|----------------|
| SISMOSTRATI | LITOLOGIA INVESTIGATA | Profondità (m) |
| SISMOSTRATO I | Terreno vegetale su sabbia con ciottoli | 0,00 – 1,40 |
| SISMOSTRATO II | Sabbia con ghiaia e ciottoli | 1,40 – 7,70 |
| SISMOSTRATO III | Limo argilloso con sabbia fine | 7,70 – 21,90 |
| SISMOSTRATO IV | Sabbia e ghiaia con migliori caratteristiche tecniche | Semispazio |



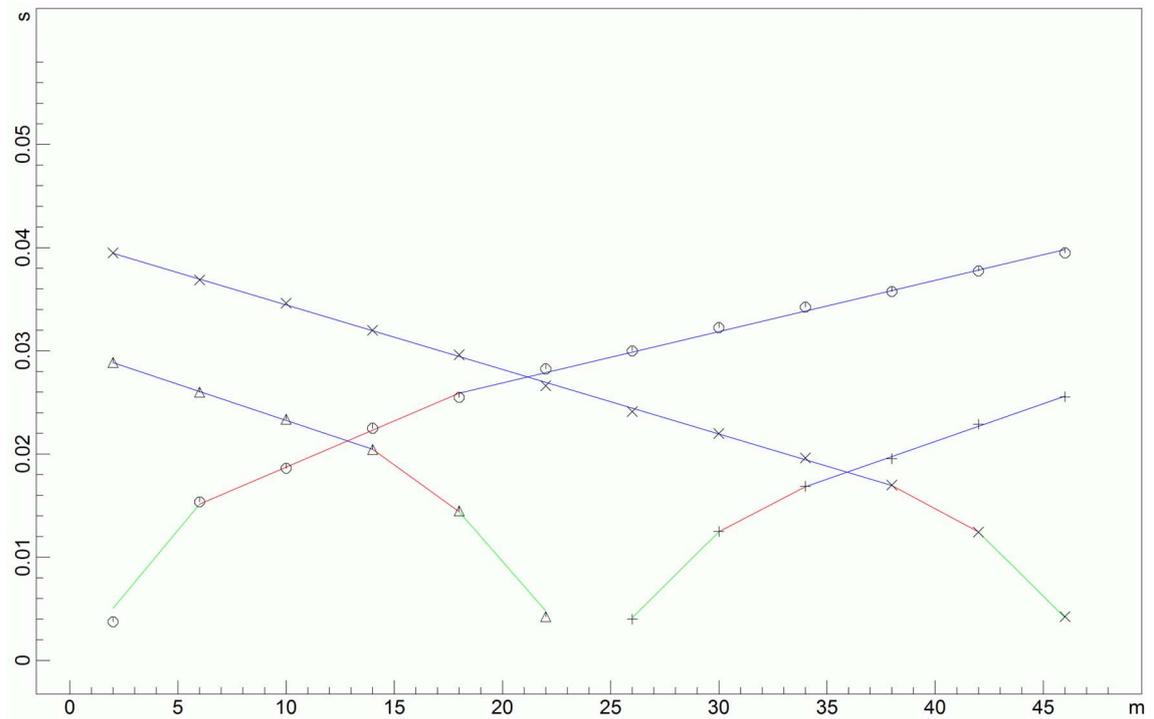
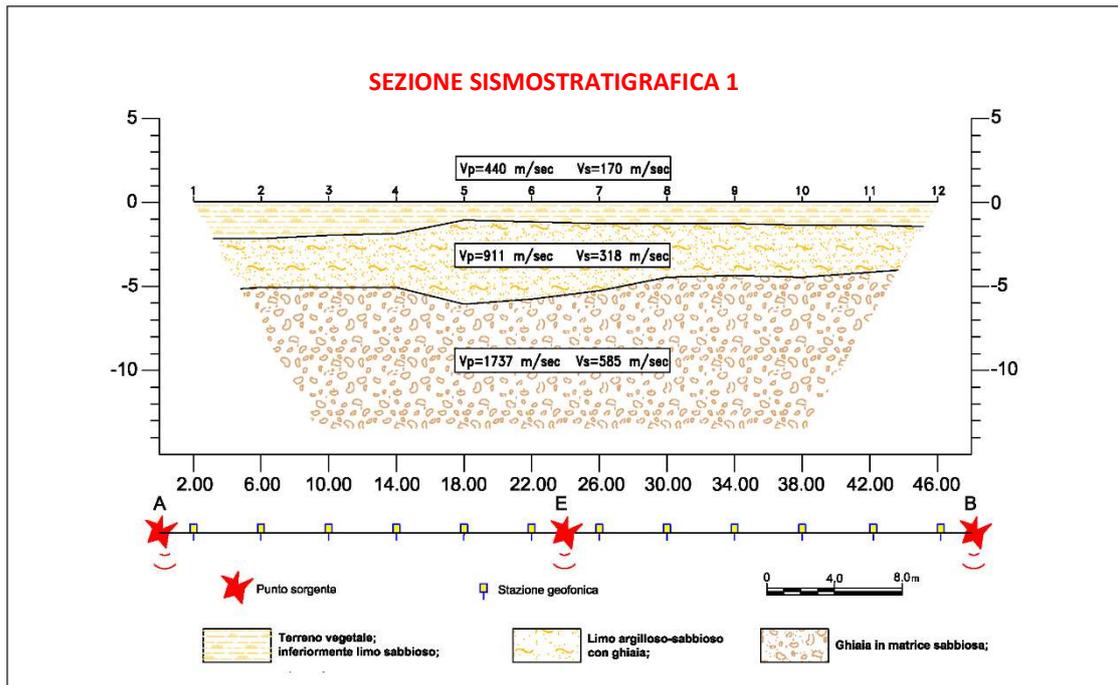
PROSPEZIONI SISMICHE A RIFRAZIONE

Prospezione Sismica 1

| PROSPEZIONE SISMICA 1 | | | | |
|-----------------------|----------------------------|----------------------------|-------------|-------------|
| Sismica a Rifrazione | Velocità Onde P (m/sec) | Velocità Onde S (m/sec) | Profondità | |
| | | | Da (m) | a (m) |
| SISMOSTRATO I | 440 | 170 | 0.00 | 1.10 – 2.20 |
| SISMOSTRATO II | 911 | 318 | 1.10 – 2.20 | 3.90 – 6.10 |
| SISMOSTRATO III | 1737 | 585 | indefinito | |

A queste si associano le unità litostratigrafiche di seguito riportate

| PROSPEZIONE SISMICA 1 | |
|-----------------------|--|
| SISMOSTRATI | LITOLOGIA INVESTIGATA |
| SISMOSTRATO I | Terreno vegetale su sabbia con ghiaia e ciottoli |
| SISMOSTRATO II | Sabbia limosa con ghiaia e ciottoli |
| SISMOSTRATO III | Limo argilloso con sabbia fine |

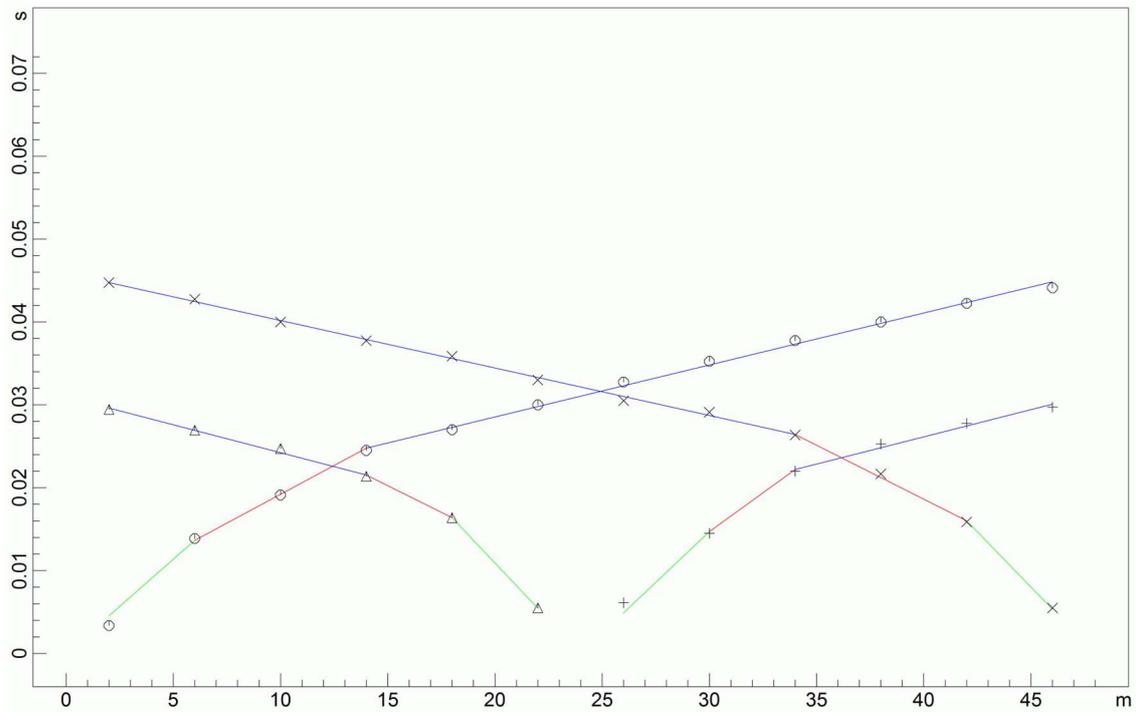
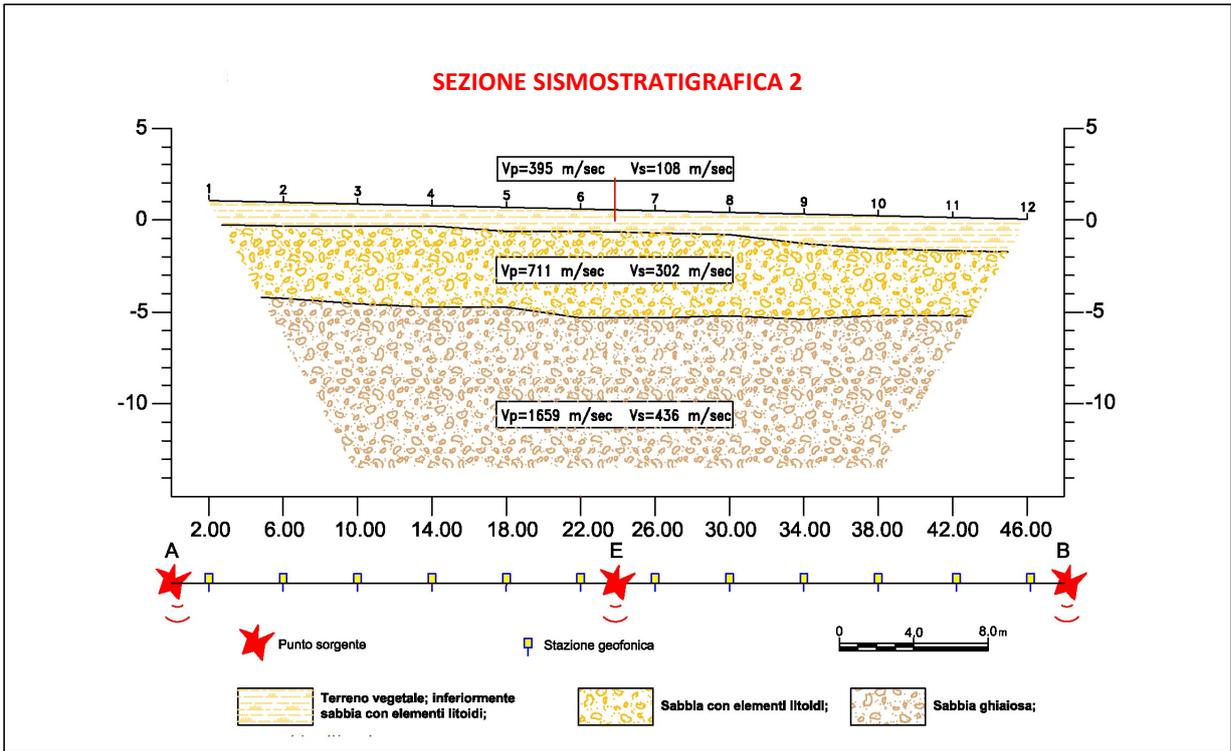


Prospezione Sismica 2

| PROSPEZIONE SISMICA 2 | | | | |
|-----------------------|----------------------------|----------------------------|-------------|-------------|
| Sismica a Rifrazione | Velocità Onde P (m/sec) | Velocità Onde S (m/sec) | Profondità | |
| | | | Da (m) | a (m) |
| SISMOSTRATO I | 396 | 108 | 0,00 | 1,10 – 1,80 |
| SISMOSTRATO II | 711 | 302 | 1,10 – 1,80 | 5,10 – 5,90 |
| SISMOSTRATO III | 1659 | 436 | Indefinito | |

A queste si associano le unità litostratigrafiche di seguito riportate

| PROSPEZIONE SISMICA 2 | |
|-----------------------|--|
| SISMOSTRATI | LITOLOGIA INVESTIGATA |
| SISMOSTRATO I | Terreno vegetale su sabbia con ghiaia e ciottoli |
| SISMOSTRATO II | Sabbia con ghiaia e ciottoli |
| SISMOSTRATO III | Sabbia e ghiaia |

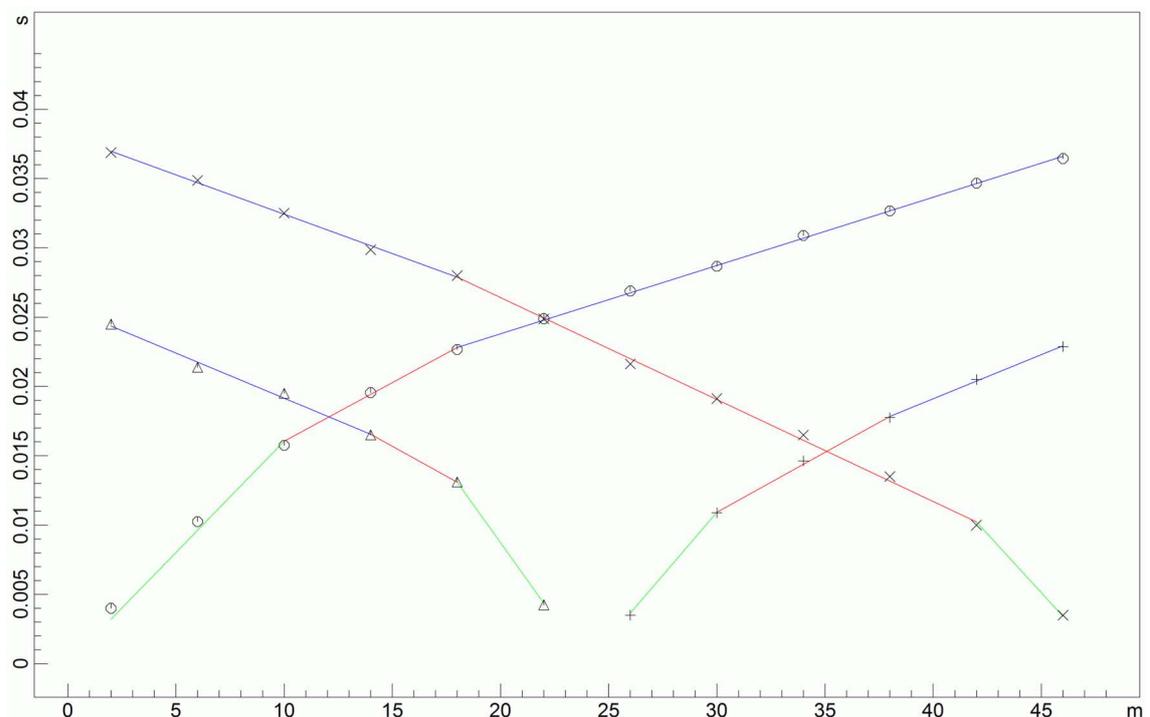
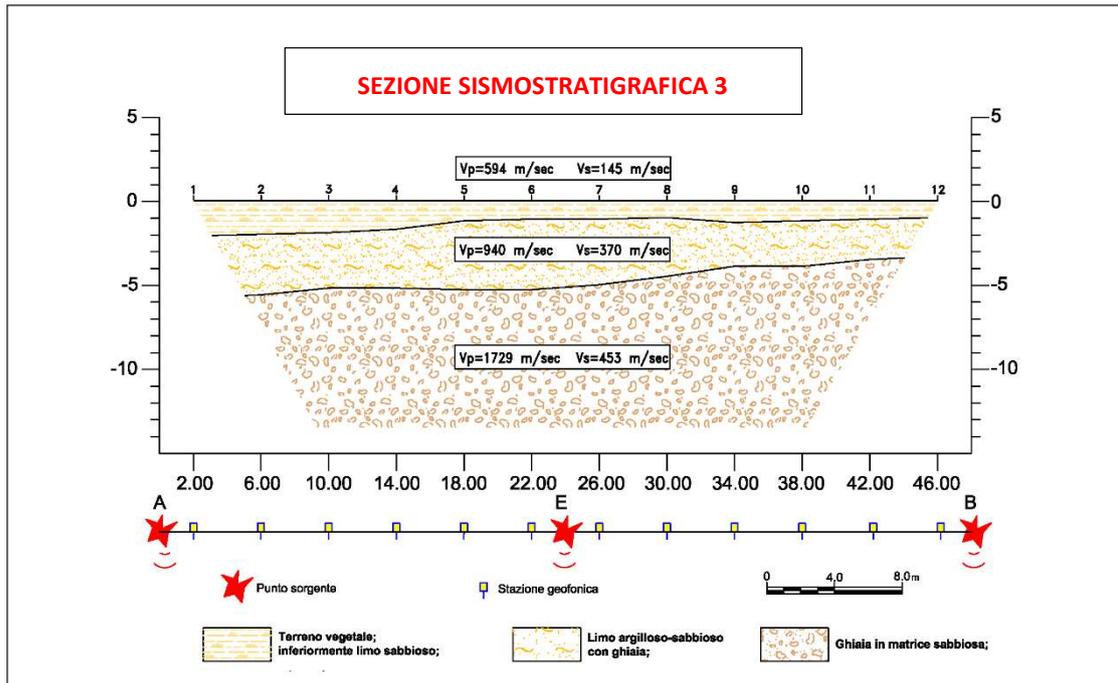


Prospezione Sismica 3

| PROSPEZIONE SISMICA 3 | | | | |
|-----------------------|----------------------------|----------------------------|-------------|-------------|
| Sismica a Rifrazione | Velocità Onde P (m/sec) | Velocità Onde S (m/sec) | Profondità | |
| | | | Da (m) | a (m) |
| SISMOSTRATO I | 396 | 108 | 0,00 | 1,10 – 1,80 |
| SISMOSTRATO II | 711 | 302 | 1,10 – 1,80 | 5,10 – 5,90 |
| SISMOSTRATO III | 1659 | 436 | Indefinito | |

A queste si associano le unità litostratigrafiche di seguito riportate

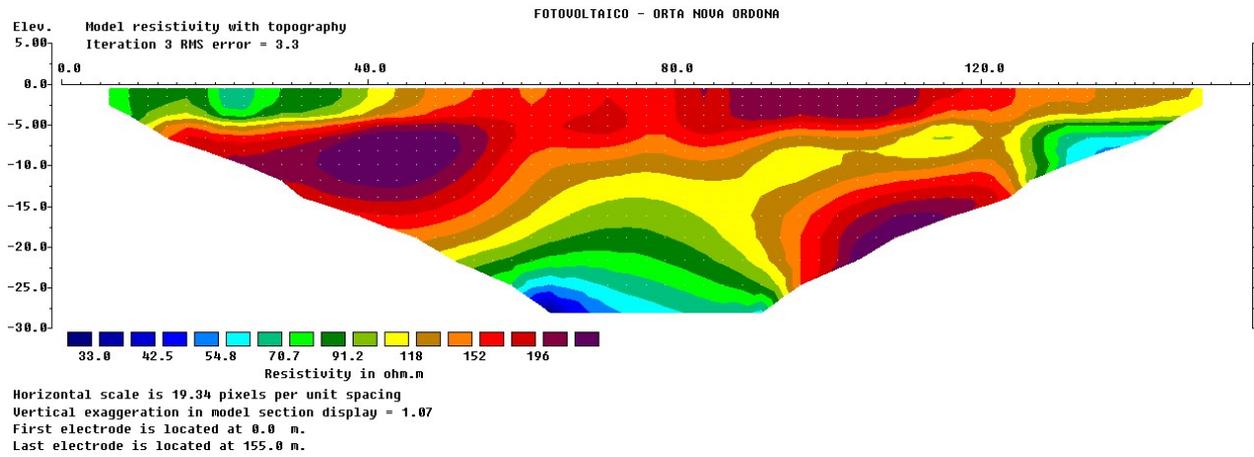
| PROSPEZIONE SISMICA 3 | |
|-----------------------|--|
| SISMOSTRATI | LITOLOGIA INVESTIGATA |
| SISMOSTRATO I | Terreno vegetale su sabbia con ghiaia e ciottoli |
| SISMOSTRATO II | Sabbia con ghiaia e ciottoli |
| SISMOSTRATO III | Sabbia e ghiaia |



ALLEGATO IV

SEZIONE ELETTROSTRATIGRAFICA

SEZIONE ELETTROSTRATIGRAFICA 1 (ERT1):



ALLEGATO V

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 D_r %.
- Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION) Angolo di attrito in gradi valido per sabbie - sabbie fini o limose e limi siltosi (cond. ottimali per prof. di prova > 8 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 D_r viene sovrastimato, per limi sottostimato.
- Skempton (1986) elaborazione valida per limi e sabbie e sabbie da fini a grossolane NC a qualunque pressione efficace, per ghiaie il valore di D_r % viene sovrastimato, per limi sottostimato.
- Meyerhof (1957).
- Schultze & Menzenbach (1961) metodo valido per qualunque valore di pressione efficace in depositi NC, per sabbie fini e ghiaiose NC ; per ghiaie il valore di D_r % 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.
- Buismann-Sanglerat, correlazione valida per sabbia e sabbia argillosa.
- Farrent (1963) valida per sabbie, talora anche per sabbie con ghiaia (da modifica sperimentale di dati).
- Menzenbach e Malcev valida per sabbia fine, sabbia ghiaiosa e sabbia e ghiaia.

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 ($N_{spt}=0$) a 1,99 ($N_{spt}=95$)

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/cmq)

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

MODULO DI REAZIONE DEL SOTTOFONDO K_0 (Kg/cm²)

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

RESISTENZA ALLA PUNTA DEL PENETROMETRO STATICO – Q_c (Kg/cm²)

- Robertson 1983 Q_c (Kg/cm²).

A.4 CORRELAZIONI GEOTECNICHE TERRENI COESIVI

COESIONE NON DRENATA C_u (Kg/cm²)

- Benassi & Vannelli- correlazioni scaturite da esperienze ditta costruttrice Penetrometri SUNDA 1983.
- Terzaghi-Peck (1948-1967), correlazione valida per argille sabbiose-siltose NC con $N_{spt} < 8$, argille limose-siltose mediamente plastiche, argille marnose alterate-fessurate.
- Terzaghi-Peck (1948). C_u min-max.
- Sanglerat , da dati Penetr. Statico per terreni coesivi saturi, tale correlazione non è valida per argille sensitive con sensitività > 5 , per argille sovraconsolidate fessurate e per i limi a bassa plasticità.
- Sanglerat , (per argille limose-sabbiose poco coerenti), valori validi per resistenze penetrometriche < 10 colpi, per resistenze penetrometriche > 10 l'elaborazione valida è comunque quella delle "argille plastiche " di Sanglerat.
- (U.S.D.M.S.M.) U.S. Design Manual Soil Mechanics Coesione non drenata per argille limose e argille di bassa media ed alta plasticità, (C_u - N_{spt} -grado di plasticità).
- Schmertmann 1975 C_u (Kg/cm²) (valori medi), valida per argille e limi argillosi con $N_c=20$ e $Q_c/N_{spt}=2$.
- Schmertmann 1975 C_u (Kg/cm²) (valori minimi), valida per argille NC.
- Fletcher 1965 - (Argilla di Chicago). Coesione non drenata C_u (Kg/cm²), 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 - Q_c (Kg/cm²)

- Robertson 1983 Q_c (Kg/cm²).

MODULO EDOMETRICO-CONFINATO M_o (Eed) (Kg/cm²)

- Stroud e Butler (1975) - M_o (Eed) (Kg/cm²)- per litotipi a media plasticità, valida per litotipi argillosi a media-medio-alta plasticità - da esperienze su argille glaciali.
- Stroud e Butler (1975), per litotipi a medio-bassa plasticità ($IP < 20$), valida per litotipi argillosi a medio-bassa plasticità ($IP < 20$) - da esperienze su argille glaciali.
- Vesic (1970) correlazione valida per argille molli (valori minimi e massimi).
- Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner Modulo Confinato - M_o (Eed) (Kg/cm²) - valida per litotipi argillosi e limosi-argillosi (rapporto $Q_c/N_{spt}=1.5-2.0$).
- Buismann- Sanglerat, valida per argille compatte ($N_{spt} < 30$) medie e molli ($N_{spt} < 4$) e argille sabbiose ($N_{spt}=6-12$).

MODULO DI YOUNG E (Kg/cm²)

- Schultze-Menzenbach - E_y (Kg/cm²) (Min. e Max.), correlazione valida per limi coerenti e limi argillosi con I.P. > 15
- D'Appollonia ed altri (1983) - E Young (Kg/cm²) correlazione valida per argille sature - argille fessurate.

STATO DI CONSISTENZA

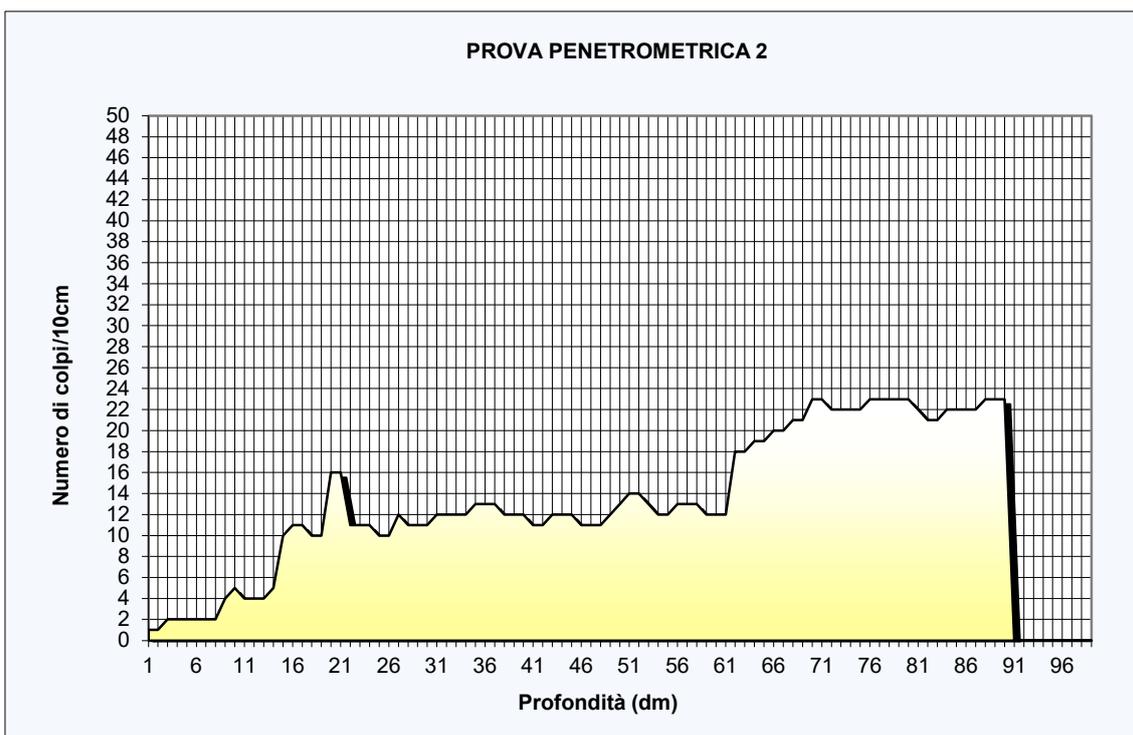
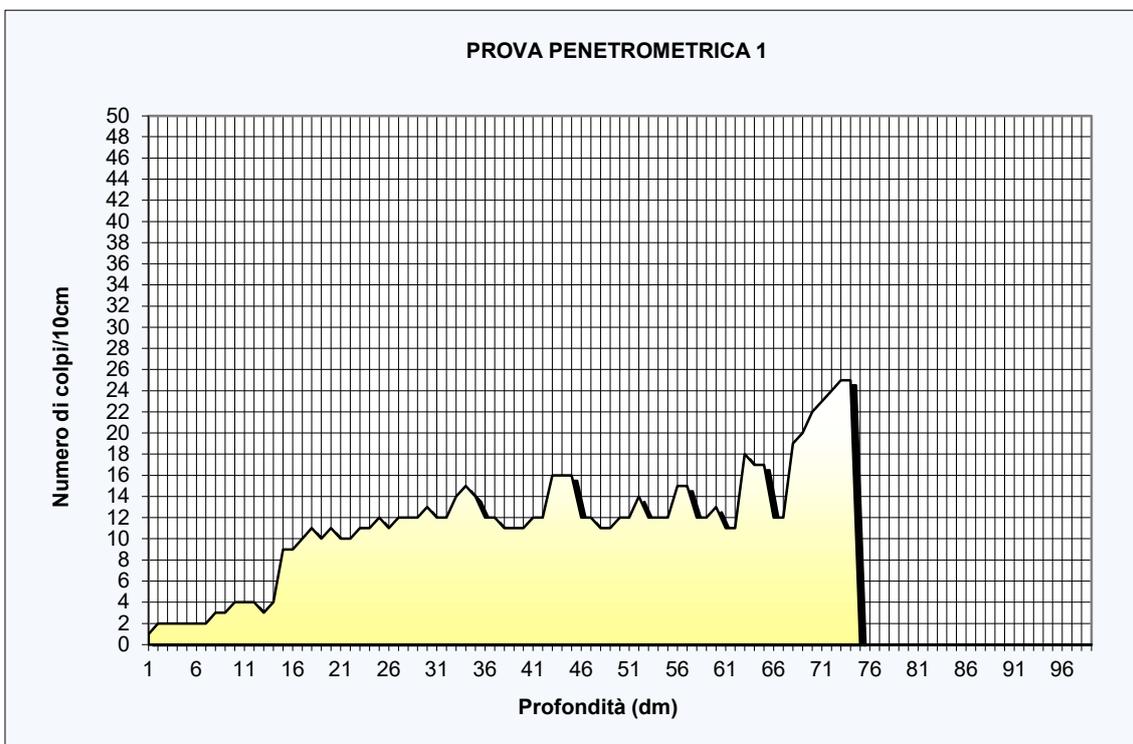
- Classificazione A.G.I. 1977

PESO DI VOLUME GAMMA (t/m³)

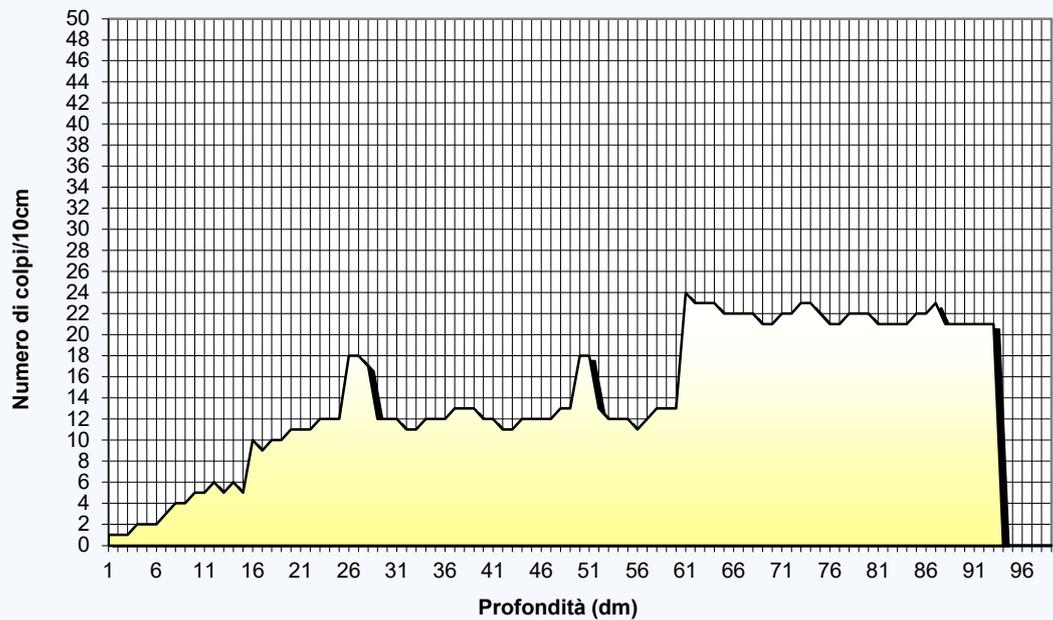
- Meyerhof ed altri, valida per argille, argille sabbiose e limose prevalentemente coerenti.

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 ($N_{spt}=0$) a 0,545 ($N_{spt}=28$)



PROVA PENETROMETRICA 3



ALLEGATO VI
VERIFICA DI STABILITÀ

Report elaborazioni

SSAP 5.2 - Slope Stability Analysis Program (1991,2023)

WWW.SSAP.EU

Build No. 13366

BY

Dr. Geol. LORENZO BORSELLI

UASLP, San Luis Potosi, Mexico

e-mail: lborselli@gmail.com

CV e WEB page personale: WWW.LORENZO-BORSELLI.EU

Ricercatore Associato CNR-IRPI

Ultima Revisione struttura tabelle del report: 14 dicembre 2022

File report: D:\UFFICIO\2. ORDONA\Report.txt

Data: 26/5/2024

Localita' : Comune di Castelluccio dei Sauri

Descrizione: ORDONA_SOLAR - STAZIONE TERNA

Modello pendio: ORDONA_SOLAR.mod

----- PARAMETRI DEL MODELLO DEL PENDIO -----

___ PARAMETRI GEOMETRICI - Coordinate X,Y (in m) ___

| SUP T. | | SUP 2 | | SUP 3 | | SUP 4 | |
|--------|--------|--------|--------|-------|---|-------|---|
| X | Y | X | Y | X | Y | X | Y |
| 0.00 | 182.00 | 250.00 | 187.00 | - | - | - | - |
| 50.00 | 183.00 | 450.00 | 187.00 | - | - | - | - |
| 100.00 | 184.00 | - | - | - | - | - | - |
| 150.00 | 185.00 | - | - | - | - | - | - |
| 200.00 | 186.00 | - | - | - | - | - | - |
| 250.00 | 187.00 | - | - | - | - | - | - |
| 300.00 | 189.00 | - | - | - | - | - | - |
| 350.00 | 192.00 | - | - | - | - | - | - |
| 400.00 | 196.00 | - | - | - | - | - | - |
| 450.00 | 197.00 | - | - | - | - | - | - |

SUP FALDA

X Y

0.00 170.00

450.00 175.00

----- GESTIONE ACQUIFERI -----

Strati esclusi da acquifero e effetto pressione dei pori:

Esclusione sovraccarico pendio sommerso: ATTIVATA fino a progressiva X(m):

450.00 Con Effetto memoria nella pressione dei pori : NON ATTIVATO

EFFETTO TENSION CRACK IN TESTA RIEMPITO DI ACQUA: ----> DISATTIVATO

In caso di superfici con tension crack in testa, la frattura di tensione
puo' venir viene considerata completamente riempita di acqua per la sua intera

profondita'.

Viene quindi considerato una forza in testa, prodotta dalla pressione idrostatica.

La forza applicata ha un effetto destabilizzante aggiuntivo alle altre forze destabilizzanti agenti.

Peso unitario fluido (kN/m³): 9.81

Parametri funzione dissipazione superficiale pressione dei fluidi:

Coefficiente A 0
Coefficiente K 0.000800
Pressione minima fluidi Uo_Min (kPa) 0.01
Coefficiente di soprapressione oltre pressione idrostatica 1.00
Limitazione dissipazione a Pressione Idrostatica = ATTIVA

STABILITE CONDIZIONI PER LA VERIFICA CON SOVRAPPRESSIONE ACQUIFERI CON DISSIPAZIONE IN DIREZIONE DELLA SUPERFICIE

CALCOLO EFFETTO DI FILTRAZIONE NON ATTIVATO

----- PARAMETRI GEOMECCANICI -----

| STR_IDX | sgci | fi` GSI | mi | C` D | Cu | Gamm | Gamm_sat |
|----------|------|------------|------|---------|------|-------|----------|
| STRATO 1 | 1 | 39.00 | | 0.00 | 0.00 | 20.00 | 20.15 |
| 2.916 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | | | |
| STRATO 2 | 2 | 42.00 | | 0.00 | 0.00 | 20.00 | 20.10 |
| 3.349 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | | | |

LEGENDA: fi` _____ Angolo di attrito interno efficace(in gradi)
C` _____ Coesione efficace (in Kpa)
Cu _____ Resistenza al taglio Non drenata (in Kpa)
Gamm _____ Peso di volume terreno fuori falda (in KN/m³)
Gamm_sat _____ Peso di volume terreno immerso (in KN/m³)
STR_IDX _____ Indice di resistenza (usato in solo in 'SNIFF SEARCH)

(adimensionale)

----- SOLO Per AMMASSI ROCCIOSI FRATTURATI - Parametri Criterio di Rottura di Hoek et al.(2002)-

sigci _____ Resistenza Compressione Uniassiale Roccia Intatta (in MPa)

GSI _____ Geological Strenght Index ammasso(adimensionale)

mi _____ Indice litologico ammasso(adimensionale)

D _____ Fattore di disturbo ammasso(adimensionale)

NOTA BENE:

FATTORI DI RIDUZIONE NTC2018/EC-7: gammaPHI=1.25, gammaC=1.25 e gammaCu=1.4 - DISATTIVATI

----- INFORMAZIONI GENERAZIONE SUPERFICI RANDOM -----

*** PARAMETRI PER LA GENERAZIONE DELLE SUPERFICI

MOTORE DI RICERCA: RANDOM SEARCH - Siegel (1981)

FILTRAGGIO SUPERFICI : ATTIVATO

COORDINATE X1,X2,Y OSTACOLO : 0.00 0.00 0.00

LUNGHEZZA MEDIA SEGMENTI (m)*: 18.0 (+/-) 50%

INTERVALLO ASCISSE RANDOM STARTING POINT (Xmin .. Xmax): 9.00
 414.00
 LIVELLO MINIMO CONSIDERATO (Ymin): 168.50
 INTERVALLO ASCISSE AMMESSO PER LA TERMINAZIONE (Xmin .. Xmax): 54.00
 441.00

TOTALE SUPERFICI GENERATE : 15000

*NOTA IMPORTANTE: La lunghezza media dei segmenti non viene considerata nel caso

di uso del motore di ricerca NEW RANOM SEARCH

----- INFORMAZIONI PARAMETRI DI CALCOLO -----

METODO DI CALCOLO : MORGENSTERN - PRICE (Morgenstern & Price, 1965)
 METODO DI ESPLORAZIONE CAMPO VALORI (λ_0, F_{s0}) ADOTTATO : A (rapido)
 COEFFICIENTE SISMICO UTILIZZATO K_h : 0.0230
 COEFFICIENTE SISMICO UTILIZZATO K_v (assunto Positivo): 0.0115
 COEFFICIENTE $c=K_v/K_h$ UTILIZZATO : 0.5000
 FORZA ORIZZONTALE ADDIZIONALE IN TESTA (kN/m): 0.00
 FORZA ORIZZONTALE ADDIZIONALE ALLA BASE (kN/m): 0.00

N.B. Le forze orizzontali addizionali in testa e alla base sono poste uguali a 0

durante le tutte le verifiche globali.

I valori >0 impostati dall'utente sono utilizzati solo in caso di verifica singola

 ----- RISULTATO FINALE ELABORAZIONI -----

DATI RELATIVI ALLE 10 SUPERFICI GENERATE CON MINOR F_s

 X(m) Y(m) #Superficie N.1 - #FS_minimo #Fattore di
 sicurezza(FS)= 7.6645 #Lambda= 1.2500
 350.900 192.072
 356.222 189.538
 369.880 192.287
 375.577 193.657
 376.954 194.156

X(m) Y(m) #Superficie N. 2 #Fattore di sicurezza(FS)= 7.7133
 #Lambda= 1.2500
 358.500 192.680
 361.837 191.149
 367.466 192.248
 370.724 192.845
 374.555 193.205
 377.998 194.240

| X(m) | Y(m) | #Superficie N. 3 #Fattore di sicurezza(FS)= 7.7176 |
|-----------------|---------|--|
| #Lambda= 1.2500 | | |
| 357.464 | 192.597 | |
| 365.155 | 188.951 | |
| 374.407 | 190.362 | |
| 390.185 | 193.993 | |
| 394.086 | 195.527 | |

| X(m) | Y(m) | #Superficie N. 4 #Fattore di sicurezza(FS)= 7.7275 |
|-----------------|---------|--|
| #Lambda= 1.2500 | | |
| 350.501 | 192.040 | |
| 359.618 | 187.707 | |
| 371.659 | 190.189 | |
| 391.040 | 192.935 | |
| 398.425 | 194.348 | |
| 404.303 | 196.086 | |

| X(m) | Y(m) | #Superficie N. 5 #Fattore di sicurezza(FS)= 7.7434 |
|-----------------|---------|--|
| #Lambda= 1.2500 | | |
| 351.433 | 192.115 | |
| 354.818 | 190.552 | |
| 358.056 | 191.249 | |
| 363.559 | 192.372 | |
| 366.093 | 192.713 | |
| 367.656 | 193.412 | |

| X(m) | Y(m) | #Superficie N. 6 #Fattore di sicurezza(FS)= 7.7441 |
|-----------------|---------|--|
| #Lambda= 1.2500 | | |
| 353.301 | 192.264 | |
| 363.002 | 187.932 | |
| 393.110 | 194.048 | |
| 403.059 | 196.061 | |

| X(m) | Y(m) | #Superficie N. 7 #Fattore di sicurezza(FS)= 7.7466 |
|-----------------|---------|--|
| #Lambda= 1.2500 | | |
| 359.886 | 192.791 | |
| 362.141 | 191.765 | |
| 366.525 | 192.351 | |
| 370.524 | 193.236 | |
| 372.053 | 193.764 | |

| X(m) | Y(m) | #Superficie N. 8 #Fattore di sicurezza(FS)= 7.7556 |
|-----------------|---------|--|
| #Lambda= 1.2500 | | |
| 359.569 | 192.766 | |
| 363.451 | 191.110 | |
| 370.728 | 192.094 | |
| 378.670 | 193.324 | |
| 383.603 | 194.688 | |

X(m) Y(m) #Superficie N. 9 #Fattore di sicurezza(FS)= 7.7562
 #Lambda= 1.2500
 357.106 192.568
 359.138 191.663
 365.370 192.262
 369.570 192.799
 371.969 193.027
 377.443 194.156
 377.511 194.201

X(m) Y(m) #Superficie N.10 #Fattore di sicurezza(FS)= 7.7593
 #Lambda= 1.2500
 353.067 192.245
 355.034 191.345
 359.998 191.962
 364.277 193.060
 364.400 193.152

----- ANALISI DEFICIT DI RESISTENZA -----
 # DATI RELATIVI ALLE 10 SUPERFICIE GENERATE CON MINOR FS *
 # Analisi Deficit in riferimento a FS(progetto) = 1.200

| Sup N. | FS | FTR(kN/m) | FTA(kN/m) | Bilancio(kN/m) | ESITO |
|--------|-------|-----------|-----------|----------------|---------|
| 1 | 7.664 | 699.4 | 91.3 | 589.9 | Surplus |
| 2 | 7.713 | 310.9 | 40.3 | 262.5 | Surplus |
| 3 | 7.718 | 1547.3 | 200.5 | 1306.8 | Surplus |
| 4 | 7.727 | 2494.3 | 322.8 | 2107.0 | Surplus |
| 5 | 7.743 | 269.5 | 34.8 | 227.7 | Surplus |
| 6 | 7.744 | 2163.7 | 279.4 | 1828.5 | Surplus |
| 7 | 7.747 | 152.2 | 19.6 | 128.6 | Surplus |
| 8 | 7.756 | 479.6 | 61.8 | 405.4 | Surplus |
| 9 | 7.756 | 245.2 | 31.6 | 207.3 | Surplus |
| 10 | 7.759 | 127.6 | 16.4 | 107.9 | Surplus |

Esito analisi: SURPLUS di RESISTENZA!

Valore minimo di SURPLUS di RESISTENZA (kN/m): 107.9

Note: FTR --> Forza totale Resistente lungo la superficie di scivolamento
 FTA --> Forza totale Agente lungo la superficie di scivolamento

IMPORTANTE! : Il Deficit o il Surplus di resistenza viene espresso in kN per metro di LARGHEZZA rispetto al fronte della scarpata, ovvero in kN/m

 TABELLA PARAMETRI CONCI DELLA SUPERFICIE INDIVIDUATA CON MINOR FS

X dx alpha W ru U

| phi' | (c',Cu) | (m) | () | (kN/m) | (-) | (kPa) |
|-------|---------|-------|--------|--------|------|-------|
| () | (kPa) | (m) | () | (kN/m) | (-) | (kPa) |
| 39.00 | 350.900 | 0.276 | -25.46 | 0.43 | 0.00 | 0.00 |
| 39.00 | 0.00 | | | | | |
| 39.00 | 351.176 | 0.276 | -25.46 | 1.29 | 0.00 | 0.00 |
| 39.00 | 0.00 | | | | | |
| 39.00 | 351.452 | 0.276 | -25.46 | 2.14 | 0.00 | 0.00 |
| 39.00 | 0.00 | | | | | |
| 39.00 | 351.728 | 0.276 | -25.46 | 3.00 | 0.00 | 0.00 |
| 39.00 | 0.00 | | | | | |
| 39.00 | 352.004 | 0.276 | -25.46 | 3.86 | 0.00 | 0.00 |
| 39.00 | 0.00 | | | | | |
| 39.00 | 352.280 | 0.276 | -25.46 | 4.71 | 0.00 | 0.00 |
| 39.00 | 0.00 | | | | | |
| 39.00 | 352.556 | 0.276 | -25.46 | 5.57 | 0.00 | 0.00 |
| 39.00 | 0.00 | | | | | |
| 39.00 | 352.832 | 0.276 | -25.46 | 6.43 | 0.00 | 0.00 |
| 39.00 | 0.00 | | | | | |
| 39.00 | 353.108 | 0.276 | -25.46 | 7.28 | 0.00 | 0.00 |
| 39.00 | 0.00 | | | | | |
| 39.00 | 353.384 | 0.276 | -25.46 | 8.14 | 0.00 | 0.00 |
| 39.00 | 0.00 | | | | | |
| 39.00 | 353.660 | 0.276 | -25.46 | 9.00 | 0.00 | 0.00 |
| 39.00 | 0.00 | | | | | |
| 39.00 | 353.936 | 0.276 | -25.46 | 9.85 | 0.00 | 0.00 |
| 39.00 | 0.00 | | | | | |
| 39.00 | 354.212 | 0.276 | -25.46 | 10.71 | 0.00 | 0.00 |
| 39.00 | 0.00 | | | | | |
| 39.00 | 354.488 | 0.276 | -25.46 | 11.57 | 0.00 | 0.00 |
| 39.00 | 0.00 | | | | | |
| 39.00 | 354.764 | 0.276 | -25.46 | 12.43 | 0.00 | 0.00 |
| 39.00 | 0.00 | | | | | |
| 39.00 | 355.040 | 0.276 | -25.46 | 13.28 | 0.00 | 0.00 |
| 39.00 | 0.00 | | | | | |
| 39.00 | 355.316 | 0.276 | -25.46 | 14.14 | 0.00 | 0.00 |
| 39.00 | 0.00 | | | | | |
| 39.00 | 355.592 | 0.276 | -25.46 | 15.00 | 0.00 | 0.00 |
| 39.00 | 0.00 | | | | | |
| 39.00 | 355.868 | 0.276 | -25.46 | 15.85 | 0.00 | 0.00 |
| 39.00 | 0.00 | | | | | |
| 39.00 | 356.144 | 0.078 | -25.46 | 4.65 | 0.00 | 0.00 |
| 39.00 | 0.00 | | | | | |
| 39.00 | 356.222 | 0.276 | 11.38 | 16.43 | 0.00 | 0.00 |
| 39.00 | 0.00 | | | | | |
| 39.00 | 356.499 | 0.276 | 11.38 | 16.24 | 0.00 | 0.00 |
| 39.00 | 0.00 | | | | | |
| 39.00 | 356.775 | 0.276 | 11.38 | 16.06 | 0.00 | 0.00 |
| 39.00 | 0.00 | | | | | |
| 39.00 | 357.051 | 0.276 | 11.38 | 15.87 | 0.00 | 0.00 |
| 39.00 | 0.00 | | | | | |
| 39.00 | 357.327 | 0.276 | 11.38 | 15.68 | 0.00 | 0.00 |
| 39.00 | 0.00 | | | | | |
| 39.00 | 357.603 | 0.276 | 11.38 | 15.50 | 0.00 | 0.00 |

| | | | | | | |
|-------|---------|-------|-------|-------|------|------|
| 39.00 | 0.00 | | | | | |
| | 357.879 | 0.276 | 11.38 | 15.31 | 0.00 | 0.00 |
| 39.00 | 0.00 | | | | | |
| | 358.155 | 0.276 | 11.38 | 15.12 | 0.00 | 0.00 |
| 39.00 | 0.00 | | | | | |
| | 358.431 | 0.276 | 11.38 | 14.94 | 0.00 | 0.00 |
| 39.00 | 0.00 | | | | | |
| | 358.707 | 0.276 | 11.38 | 14.75 | 0.00 | 0.00 |
| 39.00 | 0.00 | | | | | |
| | 358.983 | 0.276 | 11.38 | 14.56 | 0.00 | 0.00 |
| 39.00 | 0.00 | | | | | |
| | 359.259 | 0.276 | 11.38 | 14.38 | 0.00 | 0.00 |
| 39.00 | 0.00 | | | | | |
| | 359.535 | 0.276 | 11.38 | 14.19 | 0.00 | 0.00 |
| 39.00 | 0.00 | | | | | |
| | 359.811 | 0.276 | 11.38 | 14.00 | 0.00 | 0.00 |
| 39.00 | 0.00 | | | | | |
| | 360.087 | 0.276 | 11.38 | 13.82 | 0.00 | 0.00 |
| 39.00 | 0.00 | | | | | |
| | 360.363 | 0.276 | 11.38 | 13.63 | 0.00 | 0.00 |
| 39.00 | 0.00 | | | | | |
| | 360.639 | 0.276 | 11.38 | 13.44 | 0.00 | 0.00 |
| 39.00 | 0.00 | | | | | |
| | 360.915 | 0.276 | 11.38 | 13.25 | 0.00 | 0.00 |
| 39.00 | 0.00 | | | | | |
| | 361.191 | 0.276 | 11.38 | 13.07 | 0.00 | 0.00 |
| 39.00 | 0.00 | | | | | |
| | 361.467 | 0.276 | 11.38 | 12.88 | 0.00 | 0.00 |
| 39.00 | 0.00 | | | | | |
| | 361.743 | 0.276 | 11.38 | 12.69 | 0.00 | 0.00 |
| 39.00 | 0.00 | | | | | |
| | 362.019 | 0.276 | 11.38 | 12.51 | 0.00 | 0.00 |
| 39.00 | 0.00 | | | | | |
| | 362.295 | 0.276 | 11.38 | 12.32 | 0.00 | 0.00 |
| 39.00 | 0.00 | | | | | |
| | 362.571 | 0.276 | 11.38 | 12.13 | 0.00 | 0.00 |
| 39.00 | 0.00 | | | | | |
| | 362.847 | 0.276 | 11.38 | 11.95 | 0.00 | 0.00 |
| 39.00 | 0.00 | | | | | |
| | 363.123 | 0.276 | 11.38 | 11.76 | 0.00 | 0.00 |
| 39.00 | 0.00 | | | | | |
| | 363.399 | 0.276 | 11.38 | 11.57 | 0.00 | 0.00 |
| 39.00 | 0.00 | | | | | |
| | 363.675 | 0.276 | 11.38 | 11.39 | 0.00 | 0.00 |
| 39.00 | 0.00 | | | | | |
| | 363.951 | 0.276 | 11.38 | 11.20 | 0.00 | 0.00 |
| 39.00 | 0.00 | | | | | |
| | 364.227 | 0.276 | 11.38 | 11.01 | 0.00 | 0.00 |
| 39.00 | 0.00 | | | | | |
| | 364.503 | 0.276 | 11.38 | 10.83 | 0.00 | 0.00 |
| 39.00 | 0.00 | | | | | |
| | 364.779 | 0.276 | 11.38 | 10.64 | 0.00 | 0.00 |
| 39.00 | 0.00 | | | | | |
| | 365.055 | 0.276 | 11.38 | 10.45 | 0.00 | 0.00 |

| | | | | | | |
|-------|---------|-------|-------|-------|------|------|
| 39.00 | 0.00 | | | | | |
| | 365.331 | 0.276 | 11.38 | 10.27 | 0.00 | 0.00 |
| 39.00 | 0.00 | | | | | |
| | 365.607 | 0.276 | 11.38 | 10.08 | 0.00 | 0.00 |
| 39.00 | 0.00 | | | | | |
| | 365.883 | 0.276 | 11.38 | 9.89 | 0.00 | 0.00 |
| 39.00 | 0.00 | | | | | |
| | 366.159 | 0.276 | 11.38 | 9.70 | 0.00 | 0.00 |
| 39.00 | 0.00 | | | | | |
| | 366.435 | 0.276 | 11.38 | 9.52 | 0.00 | 0.00 |
| 39.00 | 0.00 | | | | | |
| | 366.711 | 0.276 | 11.38 | 9.33 | 0.00 | 0.00 |
| 39.00 | 0.00 | | | | | |
| | 366.987 | 0.276 | 11.38 | 9.14 | 0.00 | 0.00 |
| 39.00 | 0.00 | | | | | |
| | 367.263 | 0.276 | 11.38 | 8.96 | 0.00 | 0.00 |
| 39.00 | 0.00 | | | | | |
| | 367.539 | 0.276 | 11.38 | 8.77 | 0.00 | 0.00 |
| 39.00 | 0.00 | | | | | |
| | 367.815 | 0.276 | 11.38 | 8.58 | 0.00 | 0.00 |
| 39.00 | 0.00 | | | | | |
| | 368.091 | 0.276 | 11.38 | 8.40 | 0.00 | 0.00 |
| 39.00 | 0.00 | | | | | |
| | 368.367 | 0.276 | 11.38 | 8.21 | 0.00 | 0.00 |
| 39.00 | 0.00 | | | | | |
| | 368.643 | 0.276 | 11.38 | 8.02 | 0.00 | 0.00 |
| 39.00 | 0.00 | | | | | |
| | 368.919 | 0.276 | 11.38 | 7.84 | 0.00 | 0.00 |
| 39.00 | 0.00 | | | | | |
| | 369.195 | 0.276 | 11.38 | 7.65 | 0.00 | 0.00 |
| 39.00 | 0.00 | | | | | |
| | 369.471 | 0.276 | 11.38 | 7.46 | 0.00 | 0.00 |
| 39.00 | 0.00 | | | | | |
| | 369.747 | 0.133 | 11.38 | 3.52 | 0.00 | 0.00 |
| 39.00 | 0.00 | | | | | |
| | 369.880 | 0.276 | 13.52 | 7.16 | 0.00 | 0.00 |
| 39.00 | 0.00 | | | | | |
| | 370.156 | 0.276 | 13.52 | 6.91 | 0.00 | 0.00 |
| 39.00 | 0.00 | | | | | |
| | 370.432 | 0.276 | 13.52 | 6.66 | 0.00 | 0.00 |
| 39.00 | 0.00 | | | | | |
| | 370.708 | 0.276 | 13.52 | 6.41 | 0.00 | 0.00 |
| 39.00 | 0.00 | | | | | |
| | 370.984 | 0.276 | 13.52 | 6.17 | 0.00 | 0.00 |
| 39.00 | 0.00 | | | | | |
| | 371.260 | 0.276 | 13.52 | 5.92 | 0.00 | 0.00 |
| 39.00 | 0.00 | | | | | |
| | 371.536 | 0.276 | 13.52 | 5.67 | 0.00 | 0.00 |
| 39.00 | 0.00 | | | | | |
| | 371.812 | 0.276 | 13.52 | 5.42 | 0.00 | 0.00 |
| 39.00 | 0.00 | | | | | |
| | 372.088 | 0.276 | 13.52 | 5.18 | 0.00 | 0.00 |
| 39.00 | 0.00 | | | | | |
| | 372.364 | 0.276 | 13.52 | 4.93 | 0.00 | 0.00 |

| | | | | | | |
|-------|---------|-------|-------|------|------|------|
| 39.00 | 0.00 | | | | | |
| | 372.640 | 0.276 | 13.52 | 4.68 | 0.00 | 0.00 |
| 39.00 | 0.00 | | | | | |
| | 372.916 | 0.276 | 13.52 | 4.43 | 0.00 | 0.00 |
| 39.00 | 0.00 | | | | | |
| | 373.192 | 0.276 | 13.52 | 4.19 | 0.00 | 0.00 |
| 39.00 | 0.00 | | | | | |
| | 373.468 | 0.276 | 13.52 | 3.94 | 0.00 | 0.00 |
| 39.00 | 0.00 | | | | | |
| | 373.744 | 0.276 | 13.52 | 3.69 | 0.00 | 0.00 |
| 39.00 | 0.00 | | | | | |
| | 374.020 | 0.276 | 13.52 | 3.45 | 0.00 | 0.00 |
| 39.00 | 0.00 | | | | | |
| | 374.296 | 0.276 | 13.52 | 3.20 | 0.00 | 0.00 |
| 39.00 | 0.00 | | | | | |
| | 374.572 | 0.276 | 13.52 | 2.95 | 0.00 | 0.00 |
| 39.00 | 0.00 | | | | | |
| | 374.848 | 0.276 | 13.52 | 2.70 | 0.00 | 0.00 |
| 39.00 | 0.00 | | | | | |
| | 375.124 | 0.276 | 13.52 | 2.46 | 0.00 | 0.00 |
| 39.00 | 0.00 | | | | | |
| | 375.400 | 0.178 | 13.52 | 1.45 | 0.00 | 0.00 |
| 39.00 | 0.00 | | | | | |
| | 375.577 | 0.276 | 19.94 | 1.96 | 0.00 | 0.00 |
| 39.00 | 0.00 | | | | | |
| | 375.853 | 0.276 | 19.94 | 1.52 | 0.00 | 0.00 |
| 39.00 | 0.00 | | | | | |
| | 376.129 | 0.276 | 19.94 | 1.08 | 0.00 | 0.00 |
| 39.00 | 0.00 | | | | | |
| | 376.406 | 0.276 | 19.94 | 0.65 | 0.00 | 0.00 |
| 39.00 | 0.00 | | | | | |
| | 376.682 | 0.273 | 19.94 | 0.21 | 0.00 | 0.00 |
| 39.00 | 0.00 | | | | | |

 LEGENDA SIMBOLI

X(m) : Ascissa sinistra concio
 dx(m) : Larghezza concio
 alpha() : Angolo pendenza base concio
 W(kN/m) : Forza peso concio
 ru(-) : Coefficiente locale pressione interstiziale
 U(kPa) : Pressione totale dei pori base concio
 phi'() : Angolo di attrito efficace base concio
 c'/Cu (kPa) : Coesione efficace o Resistenza al taglio in condizioni non drenate

TABELLA DIAGRAMMA DELLE FORZE DELLA SUPERFICIE INDIVIDUATA CON MINOR FS

| T(x) | X (m) | ht E' | yt rho(x) | yt' FS_qFEM | E(x) FS_p-qPATH |
|-------------------|----------|--------------------|--------------|----------------|--------------------|
| (kN/m) | | (m) (kN) | (m) (--) | (--) (--) | (kN/m) (--) |
| 0.0000000000E+000 | 350.900 | 0.000 | 192.072 | -0.293 | 0.0000000000E+000 |
| 2.5043685505E-003 | 351.176 | 0.051 | 191.991 | -0.293 | 2.0152347568E-001 |
| 2.0667417748E-002 | 351.452 | 0.101 | 191.911 | -0.293 | 4.8952907863E-001 |
| 8.8636580129E-002 | 351.728 | 0.152 | 191.830 | -0.293 | 9.9943207411E-001 |
| 2.0326680668E-001 | 352.004 | 0.203 | 191.749 | -0.293 | 1.7518927913E+000 |
| 3.6473643315E-001 | 352.280 | 0.253 | 191.668 | -0.293 | 2.7181309281E+000 |
| 5.8851639725E-001 | 352.556 | 0.304 | 191.588 | -0.293 | 4.2618068695E+000 |
| 8.4263519271E-001 | 352.832 | 0.355 | 191.507 | -0.293 | 6.2291164707E+000 |
| 1.1407068068E+000 | 353.108 | 0.405 | 191.426 | -0.293 | 8.6507923559E+000 |
| 1.5070863559E+000 | 353.384 | 0.456 | 191.345 | -0.293 | 1.1802545532E+001 |
| 1.9466367927E+000 | 353.660 | 0.506 | 191.265 | -0.293 | 1.5824635979E+001 |
| 2.4597997772E+000 | 353.936 | 0.557 | 191.184 | -0.293 | 2.0685889773E+001 |
| 3.0411653207E+000 | 354.212 | 0.608 | 191.103 | -0.293 | 2.6344248571E+001 |
| 3.6789964840E+000 | 354.488 | 0.658 | 191.022 | -0.306 | 3.2746427867E+001 |
| 4.4167156222E+000 | 354.764 | 0.702 | 190.934 | -0.308 | 4.0593181562E+001 |
| 5.1367104521E+000 | 355.040 | 0.751 | 190.852 | -0.281 | 4.8456380252E+001 |
| 5.8101170581E+000 | 355.316 | 0.809 | 190.779 | -0.245 | 5.5943998627E+001 |
| 6.4113462401E+000 | 355.592 | 0.878 | 190.717 | -0.200 | 6.2737362687E+001 |
| 6.9199004936E+000 | 355.868 | 0.962 | 190.669 | -0.146 | 6.8547658524E+001 |
| 7.3218107980E+000 | 356.144 | 1.061 | 190.636 | -0.107 | 7.3097797242E+001 |
| 7.4190230805E+000 | 356.222 | 1.092 | 190.630 | -0.032 | 7.4125518609E+001 |
| 7.6727690987E+000 | 356.499 | 1.031 | 190.625 | 0.008 | 7.6455316281E+001 |
| 7.7323052777E+000 | 357.051 | 0.953 | 190.658 | 0.103 | 7.7560565836E+001 |
| 7.8943801975E+000 | 357.327 | -1.5070321035E+000 | 190.692 | 0.138 | 7.6709984943E+001 |
| | | -4.2511805519E+000 | | 0.973 | 8.089 |
| | | | | | 8.268 |

| | | | | | |
|-------------------|--------------------|---------|-------|-------------------|-------|
| 357.603 | 0.918 | 190.734 | 0.163 | 7.5213850055E+001 | |
| 7.8207494785E+000 | -6.1357125473E+000 | | 0.980 | 8.162 | 8.430 |
| 357.879 | 0.910 | 190.782 | 0.167 | 7.3322979077E+001 | |
| 7.6974417330E+000 | -6.6404757742E+000 | | 0.986 | 8.229 | 8.574 |
| 358.155 | 0.899 | 190.826 | 0.161 | 7.1548207275E+001 | |
| 7.5449273965E+000 | -6.3862426898E+000 | | 0.991 | 8.279 | 8.672 |
| 358.431 | 0.888 | 190.871 | 0.161 | 6.9797676795E+001 | |
| 7.3757445089E+000 | -6.2999337225E+000 | | 0.995 | 8.317 | 8.743 |
| 358.707 | 0.877 | 190.915 | 0.161 | 6.8070548844E+001 | |
| 7.1987285012E+000 | -6.2163488947E+000 | | 0.998 | 8.344 | 8.789 |
| 358.983 | 0.866 | 190.960 | 0.161 | 6.6366158449E+001 | |
| 7.0196399243E+000 | -6.1348475887E+000 | | 1.000 | 8.361 | 8.815 |
| 359.259 | 0.855 | 191.004 | 0.161 | 6.4684020449E+001 | |
| 6.8416932897E+000 | -6.0548064671E+000 | | 1.001 | 8.369 | 8.827 |
| 359.535 | 0.844 | 191.049 | 0.161 | 6.3023813960E+001 | |
| 6.6661519654E+000 | -5.9756852486E+000 | | 1.001 | 8.372 | 8.829 |
| 359.811 | 0.833 | 191.093 | 0.161 | 6.1385352066E+001 | |
| 6.4929945755E+000 | -5.8970831556E+000 | | 1.001 | 8.371 | 8.826 |
| 360.087 | 0.822 | 191.138 | 0.161 | 5.9768535118E+001 | |
| 6.3221453728E+000 | -5.8187470466E+000 | | 1.001 | 8.369 | 8.822 |
| 360.363 | 0.811 | 191.182 | 0.161 | 5.8173315937E+001 | |
| 6.1535912432E+000 | -5.7405290482E+000 | | 1.001 | 8.366 | 8.818 |
| 360.639 | 0.800 | 191.227 | 0.161 | 5.6599676504E+001 | |
| 5.9873244238E+000 | -5.6623516896E+000 | | 1.001 | 8.364 | 8.815 |
| 360.915 | 0.789 | 191.271 | 0.161 | 5.5047612405E+001 | |
| 5.8233406901E+000 | -5.5841822000E+000 | | 1.001 | 8.363 | 8.812 |
| 361.191 | 0.778 | 191.316 | 0.161 | 5.3517123709E+001 | |
| 5.6616379533E+000 | -5.5060117628E+000 | | 1.001 | 8.362 | 8.811 |
| 361.467 | 0.767 | 191.360 | 0.161 | 5.2008210870E+001 | |
| 5.5022152882E+000 | -5.4278401541E+000 | | 1.001 | 8.361 | 8.810 |
| 361.743 | 0.756 | 191.405 | 0.161 | 5.0520874080E+001 | |
| 5.3450723425E+000 | -5.3496680429E+000 | | 1.001 | 8.361 | 8.809 |
| 362.019 | 0.745 | 191.449 | 0.161 | 4.9055113426E+001 | |
| 5.1902090118E+000 | -5.2714957066E+000 | | 1.001 | 8.361 | 8.808 |
| 362.295 | 0.734 | 191.494 | 0.161 | 4.7610928945E+001 | |
| 5.0376252794E+000 | -5.1933232667E+000 | | 1.001 | 8.362 | 8.808 |
| 362.571 | 0.723 | 191.538 | 0.161 | 4.6188320656E+001 | |
| 4.8873211491E+000 | -5.1151507838E+000 | | 1.002 | 8.362 | 8.808 |
| 362.847 | 0.712 | 191.583 | 0.161 | 4.4787288565E+001 | |
| 4.7392966253E+000 | -5.0369782853E+000 | | 1.002 | 8.363 | 8.808 |
| 363.123 | 0.701 | 191.627 | 0.161 | 4.3407832675E+001 | |
| 4.5935517099E+000 | -4.9588057828E+000 | | 1.002 | 8.363 | 8.807 |
| 363.399 | 0.690 | 191.672 | 0.161 | 4.2049952984E+001 | |
| 4.4500864039E+000 | -4.8806332807E+000 | | 1.002 | 8.364 | 8.807 |
| 363.675 | 0.678 | 191.716 | 0.161 | 4.0713649494E+001 | |
| 4.3089007075E+000 | -4.8024607817E+000 | | 1.002 | 8.364 | 8.807 |
| 363.951 | 0.667 | 191.761 | 0.161 | 3.9398922202E+001 | |
| 4.1699946218E+000 | -4.7242882893E+000 | | 1.002 | 8.365 | 8.807 |
| 364.227 | 0.656 | 191.805 | 0.161 | 3.8105771106E+001 | |
| 4.0333681510E+000 | -4.6461158094E+000 | | 1.002 | 8.366 | 8.807 |
| 364.503 | 0.645 | 191.850 | 0.161 | 3.6834196202E+001 | |
| 3.8990213072E+000 | -4.5679433523E+000 | | 1.002 | 8.366 | 8.806 |
| 364.779 | 0.634 | 191.894 | 0.161 | 3.5584197481E+001 | |
| 3.7669541172E+000 | -4.4897708954E+000 | | 1.002 | 8.367 | 8.806 |

| | | | | | |
|-------------------|--------------------|---------|-------|-------------------|-------|
| 365.055 | 0.623 | 191.939 | 0.161 | 3.4355774952E+001 | |
| 3.6371666357E+000 | -4.4115980992E+000 | | 1.002 | 8.368 | 8.806 |
| 365.331 | 0.612 | 191.983 | 0.161 | 3.3148928794E+001 | |
| 3.5096589752E+000 | -4.3334237024E+000 | | 1.002 | 8.368 | 8.806 |
| 365.607 | 0.601 | 192.028 | 0.161 | 3.1963659711E+001 | |
| 3.3844313577E+000 | -4.2552453752E+000 | | 1.002 | 8.369 | 8.806 |
| 365.883 | 0.590 | 192.072 | 0.161 | 3.0799969169E+001 | |
| 3.2614841462E+000 | -4.1770600496E+000 | | 1.002 | 8.369 | 8.806 |
| 366.159 | 0.579 | 192.117 | 0.161 | 2.9657859565E+001 | |
| 3.1408178536E+000 | -4.0988640807E+000 | | 1.002 | 8.369 | 8.806 |
| 366.435 | 0.568 | 192.162 | 0.161 | 2.8537334377E+001 | |
| 3.0224331332E+000 | -4.0206465396E+000 | | 1.002 | 8.368 | 8.807 |
| 366.711 | 0.557 | 192.206 | 0.161 | 2.7438402036E+001 | |
| 2.9062922711E+000 | -3.9423758633E+000 | | 1.002 | 8.366 | 8.807 |
| 366.987 | 0.546 | 192.251 | 0.161 | 2.6361083441E+001 | |
| 2.7922369309E+000 | -3.8640415342E+000 | | 1.002 | 8.363 | 8.807 |
| 367.263 | 0.535 | 192.295 | 0.161 | 2.5305392831E+001 | |
| 2.6801618876E+000 | -3.7856672910E+000 | | 1.002 | 8.359 | 8.806 |
| 367.539 | 0.524 | 192.340 | 0.161 | 2.4271338001E+001 | |
| 2.5699940277E+000 | -3.7072751194E+000 | | 1.002 | 8.355 | 8.805 |
| 367.815 | 0.513 | 192.384 | 0.161 | 2.3258921052E+001 | |
| 2.4616735922E+000 | -3.6288838110E+000 | | 1.001 | 8.350 | 8.804 |
| 368.091 | 0.502 | 192.429 | 0.167 | 2.2268139406E+001 | |
| 2.3551375136E+000 | -3.6653234478E+000 | | 1.001 | 8.346 | 8.803 |
| 368.367 | 0.494 | 192.476 | 0.170 | 2.1235607228E+001 | |
| 2.2434104365E+000 | -3.6631091208E+000 | | 1.000 | 8.346 | 8.800 |
| 368.643 | 0.485 | 192.523 | 0.167 | 2.0246047924E+001 | |
| 2.1364040949E+000 | -3.5217066477E+000 | | 0.999 | 8.350 | 8.798 |
| 368.919 | 0.475 | 192.568 | 0.164 | 1.9291572044E+001 | |
| 2.0338518948E+000 | -3.4073947562E+000 | | 0.999 | 8.358 | 8.795 |
| 369.195 | 0.464 | 192.613 | 0.162 | 1.8365114628E+001 | |
| 1.9353207367E+000 | -3.3172846780E+000 | | 0.999 | 8.373 | 8.792 |
| 369.471 | 0.453 | 192.658 | 0.161 | 1.7460380870E+001 | |
| 1.8402766867E+000 | -3.2486796358E+000 | | 1.000 | 8.394 | 8.789 |
| 369.747 | 0.442 | 192.702 | 0.160 | 1.6571794472E+001 | |
| 1.7481417492E+000 | -3.1964391155E+000 | | 1.001 | 8.420 | 8.784 |
| 369.880 | 0.436 | 192.723 | 0.164 | 1.6149187064E+001 | |
| 1.7048234389E+000 | -3.2209741263E+000 | | 1.001 | 8.435 | 8.782 |
| 370.156 | 0.416 | 192.769 | 0.170 | 1.5239740684E+001 | |
| 1.6126175561E+000 | -3.3438061589E+000 | | 1.003 | 8.469 | 8.775 |
| 370.432 | 0.397 | 192.817 | 0.177 | 1.4303355633E+001 | |
| 1.5177977228E+000 | -3.4276276301E+000 | | 1.004 | 8.506 | 8.767 |
| 370.708 | 0.381 | 192.867 | 0.184 | 1.3347638536E+001 | |
| 1.4204571946E+000 | -3.4839901788E+000 | | 1.007 | 8.544 | 8.757 |
| 370.984 | 0.366 | 192.919 | 0.191 | 1.2380140508E+001 | |
| 1.3209841159E+000 | -3.5130955535E+000 | | 1.009 | 8.582 | 8.745 |
| 371.260 | 0.354 | 192.972 | 0.197 | 1.1408356806E+001 | |
| 1.2200220141E+000 | -3.5151425666E+000 | | 1.011 | 8.618 | 8.734 |
| 371.536 | 0.342 | 193.027 | 0.194 | 1.0439728796E+001 | |
| 1.1184295554E+000 | -3.3202408527E+000 | | 1.013 | 8.651 | 8.723 |
| 371.812 | 0.328 | 193.079 | 0.188 | 9.5755337789E+000 | |
| 1.0267534029E+000 | -3.0625980439E+000 | | 1.014 | 8.679 | 8.717 |
| 372.088 | 0.313 | 193.131 | 0.188 | 8.7491284852E+000 | |
| 9.3871824893E-001 | -2.9257891143E+000 | | 1.015 | 8.706 | 8.717 |

| | | | | | |
|-------------------|--------------------|---------|-------|-------------------|-------|
| 372.364 | 0.299 | 193.183 | 0.188 | 7.9604540608E+000 | |
| 8.5466582837E-001 | -2.7891324996E+000 | | 1.016 | 8.735 | 8.728 |
| 372.640 | 0.284 | 193.235 | 0.188 | 7.2094852795E+000 | |
| 7.7473470868E-001 | -2.6525232814E+000 | | 1.017 | 8.773 | 8.754 |
| 372.916 | 0.269 | 193.286 | 0.188 | 6.4962212039E+000 | |
| 6.9894025649E-001 | -2.5158761686E+000 | | 1.018 | 8.829 | 8.802 |
| 373.192 | 0.255 | 193.338 | 0.188 | 5.8206836898E+000 | |
| 6.2718213746E-001 | -2.3791157906E+000 | | 1.017 | 8.912 | 8.876 |
| 373.468 | 0.240 | 193.390 | 0.188 | 5.1829134055E+000 | |
| 5.5925716428E-001 | -2.2422265345E+000 | | 1.015 | 9.038 | 8.980 |
| 373.744 | 0.226 | 193.442 | 0.192 | 4.5829408253E+000 | |
| 4.9488467816E-001 | -2.1464788015E+000 | | 1.010 | 9.224 | 9.119 |
| 374.020 | 0.213 | 193.496 | 0.196 | 3.9980247337E+000 | |
| 4.3027622193E-001 | -2.0382655915E+000 | | 0.999 | 9.544 | 9.308 |
| 374.296 | 0.201 | 193.550 | 0.194 | 3.4577874775E+000 | |
| 3.6898595046E-001 | -1.8858409264E+000 | | 0.979 | 10.023 | 9.516 |
| 374.572 | 0.188 | 193.603 | 0.195 | 2.9570120999E+000 | |
| 3.1083521287E-001 | -1.7485167659E+000 | | 0.944 | 10.756 | 9.694 |
| 374.848 | 0.176 | 193.657 | 0.198 | 2.4925798514E+000 | |
| 2.5594590642E-001 | -1.6189249083E+000 | | 0.876 | 11.584 | 9.757 |
| 375.124 | 0.164 | 193.712 | 0.196 | 2.0633411337E+000 | |
| 2.0464423202E-001 | -1.5057104840E+000 | | 0.778 | 12.396 | 9.813 |
| 375.400 | 0.151 | 193.765 | 0.194 | 1.6614049550E+000 | |
| 1.5488216376E-001 | -1.4264844645E+000 | | 0.700 | 13.463 | 9.884 |
| 375.577 | 0.143 | 193.800 | 0.205 | 1.4111885937E+000 | |
| 1.2302185938E-001 | -1.3987285950E+000 | | 0.653 | 14.339 | 9.832 |
| 375.853 | 0.101 | 193.858 | 0.231 | 1.0288056775E+000 | |
| 7.5866866770E-002 | -1.4099280625E+000 | | 0.561 | 16.146 | 9.386 |
| 376.129 | 0.070 | 193.927 | 0.272 | 6.3288703856E-001 | |
| 3.4432003725E-002 | -1.3943835866E+000 | | 0.444 | 18.000 | 7.725 |
| 376.406 | 0.051 | 194.009 | 0.282 | 2.5908490752E-001 | |
| 8.0128639359E-003 | -1.0426495916E+000 | | 0.315 | 8.676 | 4.857 |
| 376.682 | 0.025 | 194.083 | 0.282 | 5.7328738657E-002 | |
| 7.1243456698E-004 | -4.6902821747E-001 | | 0.255 | 8.676 | 4.768 |

LEGENDA SIMBOLI

X(m) : Ascissa sinistra concio
ht(m) : Altezza linea di thrust da nodo sinistro base concio
yt(m) : coordinata Y linea di trust
yt'(-) : gradiente pendenza locale linea di trust
E(x)(kN/m) : Forza Normale interconcio
T(x)(kN/m) : Forza Tangenziale interconcio
E' (kN) : derivata Forza normale interconcio
Rho(x) (-) : fattore mobilizzazione resistenza al taglio verticale interconcio
Zhu et al.(2003)
FS_qFEM(x)(-) : fattore di sicurezza locale stimato (locale in X) by qFEM
FS_p-qPATH(x)(-) : fattore di sicurezza locale stimato (locale in X) by p-qPATH
Procedure

TABELLA SFORZI DI TAGLIO DISTRIBUITI LUNGO SUPERFICIE INDIVIDUATA CON MINOR FS

| TauStrength (kPa) | X (m) | TauS (kN/m) | dx (m) | dI (m) | alpha () | TauStress (kPa) | TauF (kN/m) |
|----------------------|----------|----------------|-----------|-----------|--------------|--------------------|----------------|
| 1.069 | 350.900 | 0.327 | 0.276 | 0.306 | -25.457 | -0.573 | -0.175 |
| 3.347 | 351.176 | 1.023 | 0.276 | 0.306 | -25.457 | -1.720 | -0.526 |
| 6.075 | 351.452 | 1.857 | 0.276 | 0.306 | -25.457 | -2.867 | -0.876 |
| 8.762 | 351.728 | 2.678 | 0.276 | 0.306 | -25.457 | -4.014 | -1.227 |
| 11.451 | 352.004 | 3.500 | 0.276 | 0.306 | -25.457 | -5.160 | -1.577 |
| 14.344 | 352.280 | 4.385 | 0.276 | 0.306 | -25.457 | -6.307 | -1.928 |
| 16.816 | 352.556 | 5.140 | 0.276 | 0.306 | -25.457 | -7.454 | -2.279 |
| 19.466 | 352.832 | 5.951 | 0.276 | 0.306 | -25.457 | -8.601 | -2.629 |
| 22.438 | 353.108 | 6.859 | 0.276 | 0.306 | -25.457 | -9.748 | -2.980 |
| 25.474 | 353.384 | 7.787 | 0.276 | 0.306 | -25.457 | -10.894 | -3.330 |
| 28.516 | 353.660 | 8.717 | 0.276 | 0.306 | -25.457 | -12.041 | -3.681 |
| 31.486 | 353.936 | 9.625 | 0.276 | 0.306 | -25.457 | -13.188 | -4.031 |
| 34.302 | 354.212 | 10.486 | 0.276 | 0.306 | -25.457 | -14.335 | -4.382 |
| 37.689 | 354.488 | 11.521 | 0.276 | 0.306 | -25.457 | -15.481 | -4.732 |
| 39.528 | 354.764 | 12.083 | 0.276 | 0.306 | -25.457 | -16.628 | -5.083 |
| 40.987 | 355.040 | 12.529 | 0.276 | 0.306 | -25.457 | -17.775 | -5.434 |
| 42.108 | 355.316 | 12.872 | 0.276 | 0.306 | -25.457 | -18.922 | -5.784 |
| 42.960 | 355.592 | 13.132 | 0.276 | 0.306 | -25.457 | -20.069 | -6.135 |
| 43.628 | 355.868 | 13.336 | 0.276 | 0.306 | -25.457 | -21.215 | -6.485 |
| 44.181 | 356.144 | 3.829 | 0.078 | 0.087 | -25.457 | -21.951 | -1.902 |
| 45.471 | 356.222 | 12.802 | 0.276 | 0.282 | 11.379 | 12.831 | 3.612 |
| 45.187 | 356.499 | 12.722 | 0.276 | 0.282 | 11.379 | 12.685 | 3.571 |
| 44.889 | 356.775 | 12.638 | 0.276 | 0.282 | 11.379 | 12.539 | 3.530 |

| | | | | | |
|---------|--------|-------|--------|--------|-------|
| 357.051 | 0.276 | 0.282 | 11.379 | 12.393 | 3.489 |
| 44.566 | 12.547 | | | | |
| 357.327 | 0.276 | 0.282 | 11.379 | 12.247 | 3.448 |
| 44.208 | 12.446 | | | | |
| 357.603 | 0.276 | 0.282 | 11.379 | 12.101 | 3.407 |
| 43.810 | 12.334 | | | | |
| 357.879 | 0.276 | 0.282 | 11.379 | 11.955 | 3.366 |
| 43.361 | 12.208 | | | | |
| 358.155 | 0.276 | 0.282 | 11.379 | 11.809 | 3.325 |
| 42.879 | 12.072 | | | | |
| 358.431 | 0.276 | 0.282 | 11.379 | 11.663 | 3.284 |
| 42.374 | 11.930 | | | | |
| 358.707 | 0.276 | 0.282 | 11.379 | 11.518 | 3.243 |
| 41.855 | 11.784 | | | | |
| 358.983 | 0.276 | 0.282 | 11.379 | 11.372 | 3.202 |
| 41.328 | 11.635 | | | | |
| 359.259 | 0.276 | 0.282 | 11.379 | 11.226 | 3.161 |
| 40.797 | 11.486 | | | | |
| 359.535 | 0.276 | 0.282 | 11.379 | 11.080 | 3.119 |
| 40.266 | 11.337 | | | | |
| 359.811 | 0.276 | 0.282 | 11.379 | 10.934 | 3.078 |
| 39.736 | 11.187 | | | | |
| 360.087 | 0.276 | 0.282 | 11.379 | 10.788 | 3.037 |
| 39.206 | 11.038 | | | | |
| 360.363 | 0.276 | 0.282 | 11.379 | 10.642 | 2.996 |
| 38.675 | 10.889 | | | | |
| 360.639 | 0.276 | 0.282 | 11.379 | 10.496 | 2.955 |
| 38.145 | 10.739 | | | | |
| 360.915 | 0.276 | 0.282 | 11.379 | 10.350 | 2.914 |
| 37.615 | 10.590 | | | | |
| 361.191 | 0.276 | 0.282 | 11.379 | 10.204 | 2.873 |
| 37.085 | 10.441 | | | | |
| 361.467 | 0.276 | 0.282 | 11.379 | 10.058 | 2.832 |
| 36.554 | 10.292 | | | | |
| 361.743 | 0.276 | 0.282 | 11.379 | 9.913 | 2.791 |
| 36.024 | 10.142 | | | | |
| 362.019 | 0.276 | 0.282 | 11.379 | 9.767 | 2.750 |
| 35.494 | 9.993 | | | | |
| 362.295 | 0.276 | 0.282 | 11.379 | 9.621 | 2.709 |
| 34.963 | 9.844 | | | | |
| 362.571 | 0.276 | 0.282 | 11.379 | 9.475 | 2.668 |
| 34.433 | 9.694 | | | | |
| 362.847 | 0.276 | 0.282 | 11.379 | 9.329 | 2.626 |
| 33.903 | 9.545 | | | | |
| 363.123 | 0.276 | 0.282 | 11.379 | 9.183 | 2.585 |
| 33.373 | 9.396 | | | | |
| 363.399 | 0.276 | 0.282 | 11.379 | 9.037 | 2.544 |
| 32.842 | 9.246 | | | | |
| 363.675 | 0.276 | 0.282 | 11.379 | 8.891 | 2.503 |
| 32.312 | 9.097 | | | | |
| 363.951 | 0.276 | 0.282 | 11.379 | 8.745 | 2.462 |
| 31.782 | 8.948 | | | | |
| 364.227 | 0.276 | 0.282 | 11.379 | 8.599 | 2.421 |
| 31.252 | 8.799 | | | | |

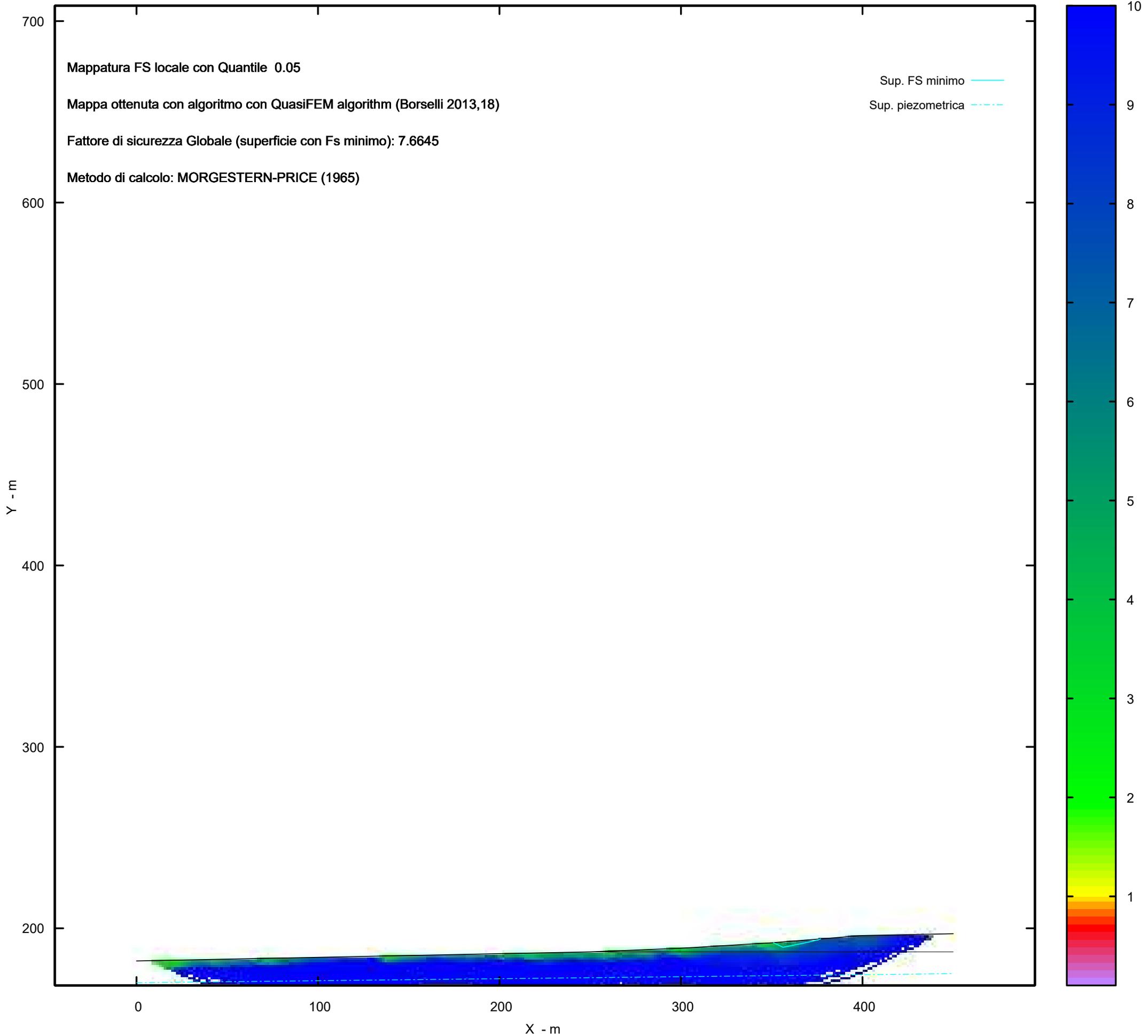
| | | | | | |
|---------|-------|-------|--------|-------|-------|
| 364.503 | 0.276 | 0.282 | 11.379 | 8.453 | 2.380 |
| 30.721 | 8.649 | | | | |
| 364.779 | 0.276 | 0.282 | 11.379 | 8.307 | 2.339 |
| 30.191 | 8.500 | | | | |
| 365.055 | 0.276 | 0.282 | 11.379 | 8.162 | 2.298 |
| 29.661 | 8.351 | | | | |
| 365.331 | 0.276 | 0.282 | 11.379 | 8.016 | 2.257 |
| 29.130 | 8.201 | | | | |
| 365.607 | 0.276 | 0.282 | 11.379 | 7.870 | 2.216 |
| 28.600 | 8.052 | | | | |
| 365.883 | 0.276 | 0.282 | 11.379 | 7.724 | 2.175 |
| 28.070 | 7.903 | | | | |
| 366.159 | 0.276 | 0.282 | 11.379 | 7.578 | 2.133 |
| 27.540 | 7.754 | | | | |
| 366.435 | 0.276 | 0.282 | 11.379 | 7.432 | 2.092 |
| 27.009 | 7.604 | | | | |
| 366.711 | 0.276 | 0.282 | 11.379 | 7.286 | 2.051 |
| 26.480 | 7.455 | | | | |
| 366.987 | 0.276 | 0.282 | 11.379 | 7.140 | 2.010 |
| 25.950 | 7.306 | | | | |
| 367.263 | 0.276 | 0.282 | 11.379 | 6.994 | 1.969 |
| 25.421 | 7.157 | | | | |
| 367.539 | 0.276 | 0.282 | 11.379 | 6.848 | 1.928 |
| 24.892 | 7.008 | | | | |
| 367.815 | 0.276 | 0.282 | 11.379 | 6.702 | 1.887 |
| 24.363 | 6.859 | | | | |
| 368.091 | 0.276 | 0.282 | 11.379 | 6.556 | 1.846 |
| 23.851 | 6.715 | | | | |
| 368.367 | 0.276 | 0.282 | 11.379 | 6.411 | 1.805 |
| 23.315 | 6.564 | | | | |
| 368.643 | 0.276 | 0.282 | 11.379 | 6.265 | 1.764 |
| 22.779 | 6.413 | | | | |
| 368.919 | 0.276 | 0.282 | 11.379 | 6.119 | 1.723 |
| 22.244 | 6.263 | | | | |
| 369.195 | 0.276 | 0.282 | 11.379 | 5.973 | 1.682 |
| 21.711 | 6.113 | | | | |
| 369.471 | 0.276 | 0.282 | 11.379 | 5.827 | 1.641 |
| 21.179 | 5.963 | | | | |
| 369.747 | 0.133 | 0.135 | 11.379 | 5.719 | 0.774 |
| 20.786 | 2.813 | | | | |
| 369.880 | 0.276 | 0.284 | 13.522 | 6.457 | 1.833 |
| 20.062 | 5.695 | | | | |
| 370.156 | 0.276 | 0.284 | 13.522 | 6.234 | 1.770 |
| 19.389 | 5.504 | | | | |
| 370.432 | 0.276 | 0.284 | 13.522 | 6.011 | 1.706 |
| 18.716 | 5.313 | | | | |
| 370.708 | 0.276 | 0.284 | 13.522 | 5.788 | 1.643 |
| 18.041 | 5.121 | | | | |
| 370.984 | 0.276 | 0.284 | 13.522 | 5.564 | 1.580 |
| 17.364 | 4.929 | | | | |
| 371.260 | 0.276 | 0.284 | 13.522 | 5.341 | 1.516 |
| 16.684 | 4.736 | | | | |
| 371.536 | 0.276 | 0.284 | 13.522 | 5.118 | 1.453 |
| 15.967 | 4.533 | | | | |

| | | | | | |
|---------|-------|-------|--------|-------|-------|
| 371.812 | 0.276 | 0.284 | 13.522 | 4.895 | 1.390 |
| 15.272 | 4.335 | | | | |
| 372.088 | 0.276 | 0.284 | 13.522 | 4.672 | 1.326 |
| 14.576 | 4.138 | | | | |
| 372.364 | 0.276 | 0.284 | 13.522 | 4.448 | 1.263 |
| 13.879 | 3.940 | | | | |
| 372.640 | 0.276 | 0.284 | 13.522 | 4.225 | 1.199 |
| 13.182 | 3.742 | | | | |
| 372.916 | 0.276 | 0.284 | 13.522 | 4.002 | 1.136 |
| 12.486 | 3.544 | | | | |
| 373.192 | 0.276 | 0.284 | 13.522 | 3.779 | 1.073 |
| 11.790 | 3.347 | | | | |
| 373.468 | 0.276 | 0.284 | 13.522 | 3.556 | 1.009 |
| 11.095 | 3.150 | | | | |
| 373.744 | 0.276 | 0.284 | 13.522 | 3.332 | 0.946 |
| 10.414 | 2.956 | | | | |
| 374.020 | 0.276 | 0.284 | 13.522 | 3.109 | 0.883 |
| 9.720 | 2.759 | | | | |
| 374.296 | 0.276 | 0.284 | 13.522 | 2.886 | 0.819 |
| 9.026 | 2.562 | | | | |
| 374.572 | 0.276 | 0.284 | 13.522 | 2.663 | 0.756 |
| 8.333 | 2.365 | | | | |
| 374.848 | 0.276 | 0.284 | 13.522 | 2.440 | 0.693 |
| 7.638 | 2.168 | | | | |
| 375.124 | 0.276 | 0.284 | 13.522 | 2.216 | 0.629 |
| 6.950 | 1.973 | | | | |
| 375.400 | 0.178 | 0.183 | 13.522 | 2.033 | 0.372 |
| 6.388 | 1.168 | | | | |
| 375.577 | 0.276 | 0.294 | 19.936 | 2.415 | 0.709 |
| 5.325 | 1.563 | | | | |
| 375.853 | 0.276 | 0.294 | 19.936 | 1.877 | 0.551 |
| 4.168 | 1.224 | | | | |
| 376.129 | 0.276 | 0.294 | 19.936 | 1.339 | 0.393 |
| 2.953 | 0.867 | | | | |
| 376.406 | 0.276 | 0.294 | 19.936 | 0.800 | 0.235 |
| 1.713 | 0.503 | | | | |
| 376.682 | 0.273 | 0.290 | 19.936 | 0.266 | 0.077 |
| 0.558 | 0.162 | | | | |

 LEGENDA SIMBOLI

X(m) : Ascissa sinistra concio
 dx(m) : Larghezza concio
 dl(m) : lunghezza base concio
 alpha() : Angolo pendenza base concio
 TauStress(kPa) : Sforzo di taglio su base concio
 TauF (kN/m) : Forza di taglio su base concio
 TauStrength(kPa) : Resistenza al taglio su base concio
 TauS (kN/m) : Forza resistente al taglio su base concio

MAPPA FS LOCALE (Con algoritmo geostatistico non-parametrico- By L.B 2013-16)



MAPPA PRESSIONI FLUIDI (Con algoritmo geostatistico non-parametrico- By L.B 2013-16)

Uo (kPa)

