

PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE DI UN
IMPIANTO AGROVOLTAICO DENOMINATO

"HUGO"

SITO NEL COMUNE DI
RAGUSA (RG)
C.DA IMPERATORE, SNC

RELAZIONE GEOLOGICA INDAGINE MASW

COMMITTENTE:

CML S.R.L.

Corso Buenos Aires 54 - 20124
Milano (MI)

IL TECNICO

Angelo Gilotti

CODICE

CRRELTEC010A0

REVISIONE:

00

DATA ELABORATO:

18/10/2022



Sommario

| | |
|--|-----------|
| PREMESSA | 3 |
| INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE | 5 |
| ASSETTO ATTUALE..... | 8 |
| EVOLUZIONE PALEOTETTONICA E PALEOGEOGRAFICA..... | 8 |
| CARTA GEOLOGICA | 10 |
| CARTA GEOLOGICA RILEVATA | 11 |
| GEOMORFOLOGIA E PIANO DI ASSETTO IDROGEOLOGICO..... | 14 |
| CENNI SULLA VULNERABILITÀ SISMICA | 20 |
| INDAGINI SISMICHE | 23 |
| CONCLUSIONI | 33 |

| | |
|---|----|
| Figura 1 - Ubicazione impianto e opere di connessione in relazione all'abitato di Santa Croce Camerina | 3 |
| Figura 2 - Ubicazione impianto | 4 |
| Figura 3 - Schema stratigrafico-strutturale dell'Avampese Ibleo | 5 |
| Figura 4 - Sezione geologica dell'area di Santa Croce Camerina | 7 |
| Figura 5 - Stralcio carta geologica zona di interesse..... | 10 |
| Figura 6 - Rilievo geologico dell'area di progetto. In arancio i terrazzi marini e in verde i depositi palustri. | 12 |
| Figura 7- Sezione geologica da profilo 1 | 13 |
| Figura 8 - Profilo topografico EO..... | 15 |
| Figura 9 - Profilo topografico NS | 15 |
| Figura 10 - Mappa profili | 15 |
| Figura 11 - Mappa della sismicità recente in Sicilia (1981-2002)..... | 21 |
| Figura 12 - Massime intensità sismiche registrate in Sicilia | 22 |
| Figura 13 - Mappa storia sismica di Ragusa | 22 |
| Figura 14 - Ubicazione prove MASW..... | 23 |
| Figura 15 - Schema di acquisizione dei segnali sismici con metodo MASW | 25 |
| Figura 16 - Segnali sismici acquisiti dai geofoni lungo uno stendimento..... | 25 |
| Figura 17 - Inversione | 26 |
| Figura 18 - Masw 1 profilo di velocità | 26 |
| Figura 19 - Masw 2 profilo di velocità | 27 |
| Figura 20 Masw 3 profilo di velocità | 27 |
| Figura 21 - Ricostruzione sismostratigrafica Masw 1 | 28 |
| Figura 22 - Ricostruzione sismostratigrafica Masw 2 | 28 |
| Figura 23 - Ricostruzione sismostratigrafica Masw 3 | 29 |
| Figura 24 Fase esecutiva dell'indagine MASW | 30 |

PREMESSA

Il presente documento riguarda uno studio geologico dei terreni interessati da un progetto di impianto Agrovoltaiico denominato HUGO sito in Contrada Imperatore s.n.c. nel territorio del comune di Ragusa. Lo studio verte sulle caratteristiche geologiche e geomorfologiche dei terreni interessati dall'impianto e dalle opere di connessione.

L'ubicazione di tutte le infrastrutture ricade nei territori dei comuni di Ragusa e Santa Croce Camerina (RG). Per quanto riguarda la collocazione all'interno della cartografia tecnica regionale esse ricadono all'interno del Foglio 647110 e 647150 della Carta Tecnica della Regione Sicilia in scala 1:10.000.

Il territorio del comune di Santa Croce Camerina (RG) è posto nel settore sudoccidentale della provincia di Ragusa.

L'area di interesse oggetto del progetto di Agrovoltaiico è pianeggiante e si estende tra una quota minima pari a 86 m.s.l.m. nella zona centrale fino a m. 90 s.l.m. nella parte Ovest.

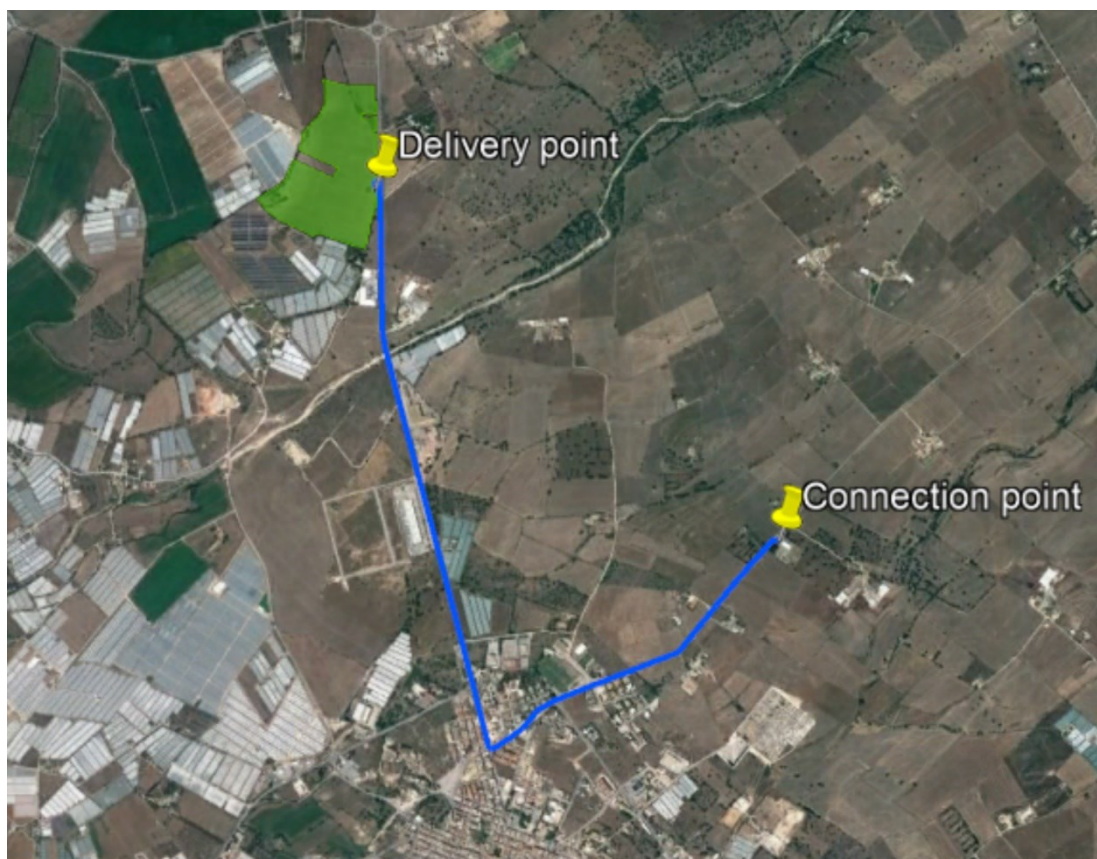


Figura 1 - Ubicazione impianto e opere di connessione in relazione all'abitato di Santa Croce Camerina



Figura 2 – Ubicazione impianto

L'area in studio ricade nel settore meridionale dell'Altopiano Ibleo, definito nella letteratura geologica come "Avampaese Ibleo". L'Avampaese Ibleo costituisce uno dei principali elementi strutturali della Sicilia orientale. Esso viene considerato parte della crosta continentale africana (spessore oltre i 30 chilometri), di cui rappresenterebbe l'attuale margine, contiguo ad un'area di intensa deformazione costituita dalla Catena Appenninico-Maghrebide (BARBERI et alii, 1974; AMODIO MORELLI et alii, 1976). Nei terreni Iblei è possibile differenziare due successioni tipo che possono essere attribuite ad ambienti deposizionali in parte differenti tra loro. **Successione orientale**, caratterizzata da una sequenza di ambiente marino poco profondo, la cui deposizione dal Trias al Pleistocene, è stata periodicamente interrotta da importanti episodi vulcanici che hanno portato alla messa in posto, a vari livelli nella serie sedimentaria, di prodotti lavici e vulcanici sottomarini.

Successione occidentale, caratterizzata da sedimenti carbonatici di mare aperto.

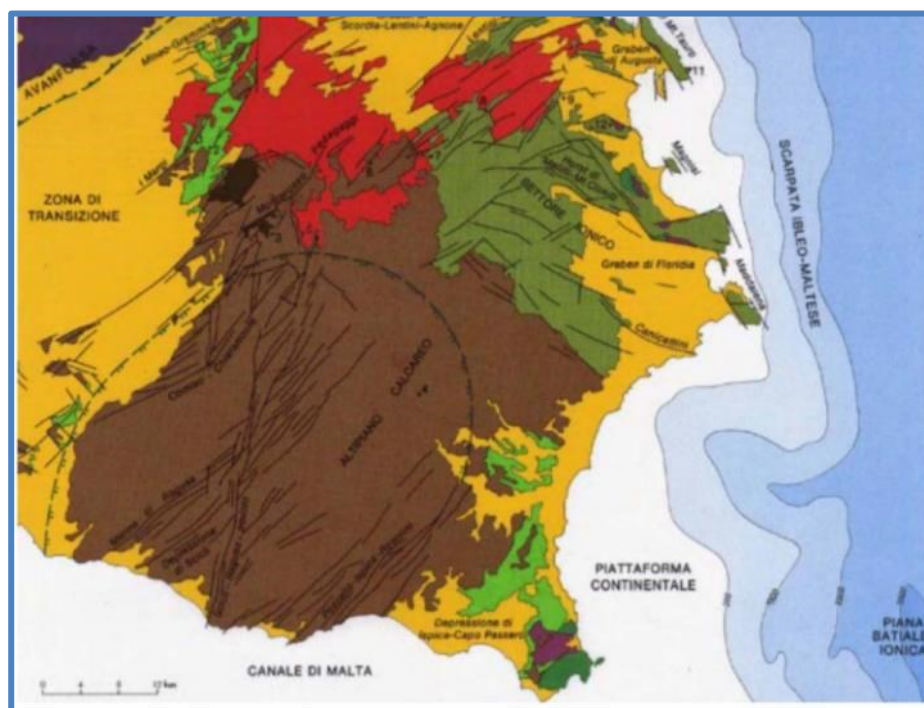


Figura 3 – Schema stratigrafico-strutturale dell'Avampaese Ibleo

La regione iblea è caratterizzata da una tettonica di tipo distensivo con due principali sistemi di dislocazione, rispettivamente NW-SE e NE-SW.

Tale tettonica ha inizio nel Miocene Superiore con il sollevamento della parte centrale del massiccio carbonatico e prosegue quindi nel Pliocene Medio-Inferiore fino al Pleistocene Inferiore. Le strutture che ne conseguono del tipo Horst e Graben o a placche monoclinali con ampio raggio di curvatura debolmente inclinate e fagliate.

Nel Tortoniano si verificano cedimenti accentuati del fondo marino accompagnati da grandi

manifestazioni vulcaniche.

La configurazione costiera attuale è il risultato di fasi successive d'abbassamento ed innalzamento con conseguenti trasgressioni e regressioni marine.

L'Altipiano calcareo Ragusano è un alto strutturale, delimitato da una serie di imponenti faglie (faglie dirette con rigetti di centinaia di metri), che rialzano i termini miocenici sia ad occidente che ad oriente. Insieme alle aree sommerse questo settore dell'avampese fa parte del Blocco Pelagiano che costituisce, nel complesso, una zona stabile estesa dalla Scarpata Ibleo-Maltese fino alla Tunisia, formata da una potente successione mesocenoica prevalentemente carbonatica con ripetute intercalazioni di vulcaniti basiche.

Nel dettaglio:

Formazione hybla (hauteriviano superiore-Albiano): I litotipi riferiti a questa unità litostratigrafica costituiscono i terreni più vecchi affioranti nell'area iblea. È costituita da un'alternanza calcarenitico-marnosa e marne grigio-verdastri ad ammoniti, aptici e belemniti, e da microfaune bentoniche. Verso l'alto i depositi della F.ne hybla, sebbene interessati da strutture deformative (pieghe e faglie) passano progressivamente ai litotipi della f.ne Amerillo.

F.ne Amerillo: (Em) (Cretaceo Superiore – Eocene medio) La formazione è ben esposta nella valle del F. Amerillo, nell'alto strutturale di Monterosso Almo– Licodia Eubea, ed è rappresentata da calcilutiti bianche a frattura concoide con noduli e liste di selce nerastra, in strati spessi 10-20 cm, separati da sottilissimi giunti argillosi. Lo spessore affiorante della formazione Amerillo è circa 250 m, quello totale è valutato, da dati di sondaggi, fino a circa 900 m.

Formazione Ragusa (Oligocene superiore–Langhiano inferiore) La formazione Ragusa è divisa in due membri quello inferiore, denominato **Membro Leonardo (Ocm)**, è rappresentato da un'alternanza di calcisiltiti e marne di età Oligocene superiore, quello superiore, noto come **Membro Irminio (Mcm)**, è dato da calcareniti e da calciruditi e marne sabbiose, ascrivibili al Miocene inferiore-medio. Lo spessore totale della formazione varia da 200 a 550 m. E' in rapporti di discordanza stratigrafica con la precedente F.ne Amerillo. È rappresentato da un'alternanza di calcisiltiti e di calcari marnosi di colore biancastro in strati di 30-80 cm le prime e di 5- 20 cm i secondi. Lo spessore affiorante è circa 100 m. Rappresenta la porzione inferiore dell'unità. **Membro Irminio (Mc):** È caratterizzato da calcareniti e calciruditidi colore bianco grigiastro o giallastro, talora a stratificazione incrociata con numerose tracce di bioturbazione, in banchi spessi fino a 10 metri separati da sottili livelli sabbiosomarnosi pulverulenti. Lo spessore varia da poche decine di metri a un massimo di 200 m. Rappresenta la porzione intermedia dell'unità. *La parte apicale del m.bo Irminio (Mmc)*, poco rappresentata se non nella zona di San Giacomo-Bellocozzo, è costituita da marne biancastre a frattura concoide in strati di spessore metrico alternati a strati calcareo-marnosi grigiastri di spessore medio di 50-60 cm. Lo spessore complessivo è intorno ai 50-

60 metri Verso l'alto la Formazione Ragusa passa gradualmente alla *Formazione Tellaro*: tramite un'alternanza di calcari marnosi grigiastri e di marne grigiobiancastre a frattura concoide.

La **F.ne Tellaro** è suddivisa in due membri: il superiore (*Ms*) è rappresentato da una alternanza di calcari marnosi e marne giallastre, l'inferiore è caratterizzata da calcilutiti e marne biancastre o grigioazzurre a frattura subconcoide, contenenti sporadici livelli calcarenitico-marnosi di colore bianco-crema in strati di 30-50 cm. (*Mm*). Si notano slumpings alla scala delle decine di metri. L'età è Messiniano inferiore.

Trubi: (Pm) sono costituiti da marnee calcaree e calcari marnosi a foraminiferi, colore bianco crema e frattura concoide (Pliocene medio).

Terrazzi marini (Tm): sono disposti in più ordini, altimetricamente correlabili con i depositi marini di facies costiera infrapleistocenici (*Qc*) e con i depositi medipleistocenici (*Qmc* e *Qms*) ad essi associati. Si presentano in spianate di abrasione oppure in lembi di calcareniti bruno-giallastre a grana grossolana (*panchina*); essa ha significato di trasgressione marina di età milazziana con fauna banale di tipo temperato-caldo. La panchina costituisce un "lastrone calcarenitico" esteso da quota massima di 200 m fino al mare, e corrisponde al "Grande Terrazzo Superiore" (GTS) della Sicilia occidentale appartenente al "Crotoniano". (*Pleistocene medio*).

Depositi terrazzati marini (Tirr): sono costituiti da sabbie bianco-giallastre, carbonatiche o clasti carbonatici e arenitici appiattiti a matrice sabbiosa del Pleistocene superiore; *Spiagge* e *depositi eolici*: (*s*, *sd*) sono costituiti da sabbie prevalentemente quarzose e secondariamente carbonatiche.

Alluvioni attuali e recenti: (a) sono costituite da ciottoli carbonatici di dimensioni variabili in matrice sabbioso-limosa gialla – brunastra.

Nella seguente sezione, tratta dalla carta geologica del Settore Centro Meridionale dell'Altipiano Ibleo è possibile esaminare i rapporti stratigrafici intercorrenti tra le diverse formazioni geologiche nella zona di Santa Croce Camerina dal Giurassico al Miocene Medio.

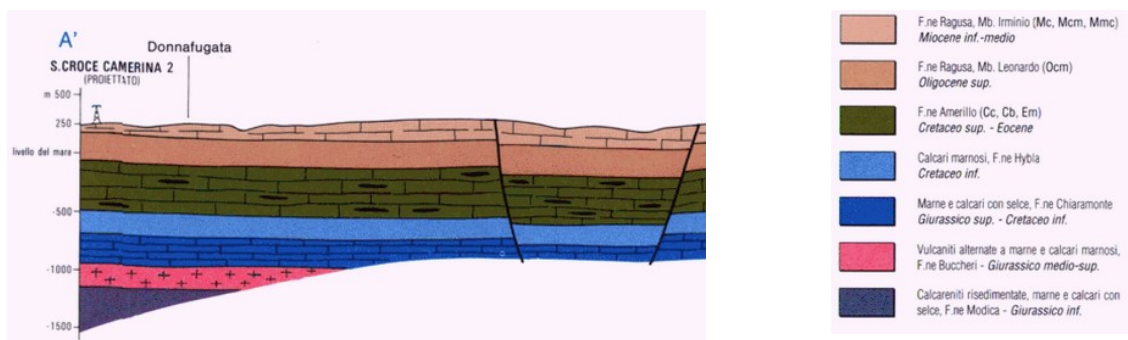
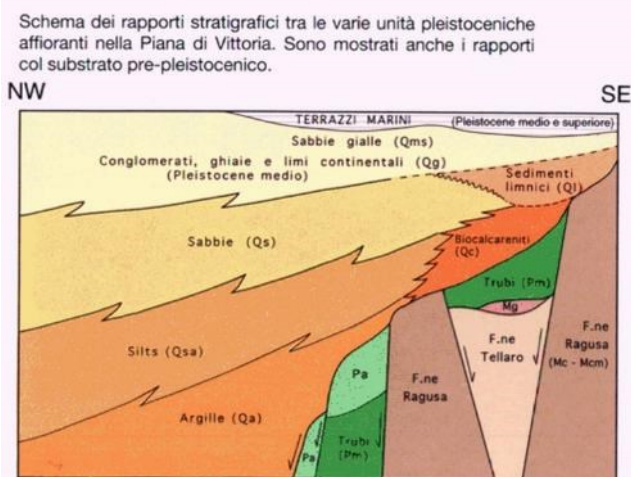


Figura 4 - Sezione geologica dell'area di Santa Croce Camerina

L'attuale assetto geologico della zona studiata è determinato dagli stadi finale della tettonica che ha caratterizzato tutta la storia geologica del sito e dagli eventi di sedimentazione pleistocenici dovuti ad eventi trasgressivo-regressivi che hanno definito l'attuale assetto geomorfologico. In particolare l'area ha visto la formazione di terrazzi marini nel Pleistocene superiore a cui è seguito un evento deposizionale continentale che ha portato alla formazione di depositi palustri in una vasta area a NO dell'abitato di Santa Croce Camerina. Il quadro evolutivo è stato completato nell'olocene dalla deposizione di alluvioni recenti lungo i diversi corsi d'acqua a carattere torrentizio che solcano la pianura a Nord di S.C. Camerina (ad esempio il torrente Petrarò che attraversa la zona studiata a Sud e ad Est dell'impianto).



EVOLUZIONE PALEOTETTONICA E PALEOGEOGRAFICA

Il quadro geologico complessivo è dato da un edificio a falde Africa-vergente, la catena Appennino-Maghrebide, sovrapposto con il suo fronte più avanzato all'Avanfossa Gela - Catania, derivante a sua volta dallo sprofondamento del bordo settentrionale ed occidentale dell'Avampaese Ibleo. Le falde derivano da deformazioni di depositi relativi a differenti paleodomini; due sono stati i momenti essenziali: la transizione da ambiente "neritico" a condizioni "pelagiche", e il passaggio ad una sedimentazione terrigena di tipo "flisch". Il Dominio Ibleo-Maltese è a sedimentazione quasi esclusivamente carbonatica, scarsamente influenzata dalle sedimentazioni silico-clastiche derivanti dalla catena in via di deformazione; esso inoltre risulta l'unico elemento stabile e indeformato dell'orogene siciliano. L'analisi dei dati geofisici dimostra che il Plateau Ibleo è ubicato sulla crosta continentale africana (spessori di circa 30 km), la quale sembrerebbe immergersi verso nord in direzione del Tirreno; l'altopiano è delimitato ad ovest e nord - ovest da un sistema di faglie noto in letteratura come "Ragusa - Chiaramonte" che ribassano gli Iblei verso la piana Gela-Catania, mentre a Est e Sud-est è limitato dai sistemi di faglie di Ispica e Rosolini che ribassano verso la Scarpata di Malta. I depositi carbonatici affioranti mostrano una giacitura sub-orizzontale o inclinata di poche gradi. Le faglie presenti sono numerose, prevalentemente orientate NNE-SSO, sintetiche e antitetiche rispetto ad una "master fault" trascorrente nota come "Scicli-RagusaGiarratana", la quale attraversando tutto l'altipiano genera una serie di strutture



estensionali e/o transtensionali quali horst, graben. Un'altra zona di taglio importante è quella plio-pleistocenica orientata da N-S a NNE-SSO nota come "Scicli-Ragusa" (Ghisetti & Vezzani, 1980) o "linea di Scicli" (Grasso et al., 1986)., sismicamente attiva e ben sviluppata lungo il Fiume Irminio ove genera sistemi morfostrutturali a gradinata, horst, graben, blande pieghe di trascinamento (Di Grande & Grasso, 1979) oppure strutture compressive.

. L'inquadramento geologico generale dell'area è fornito dalla Carta Geologica del settore Centro-Meridionale dell'Altipiano Ibleo

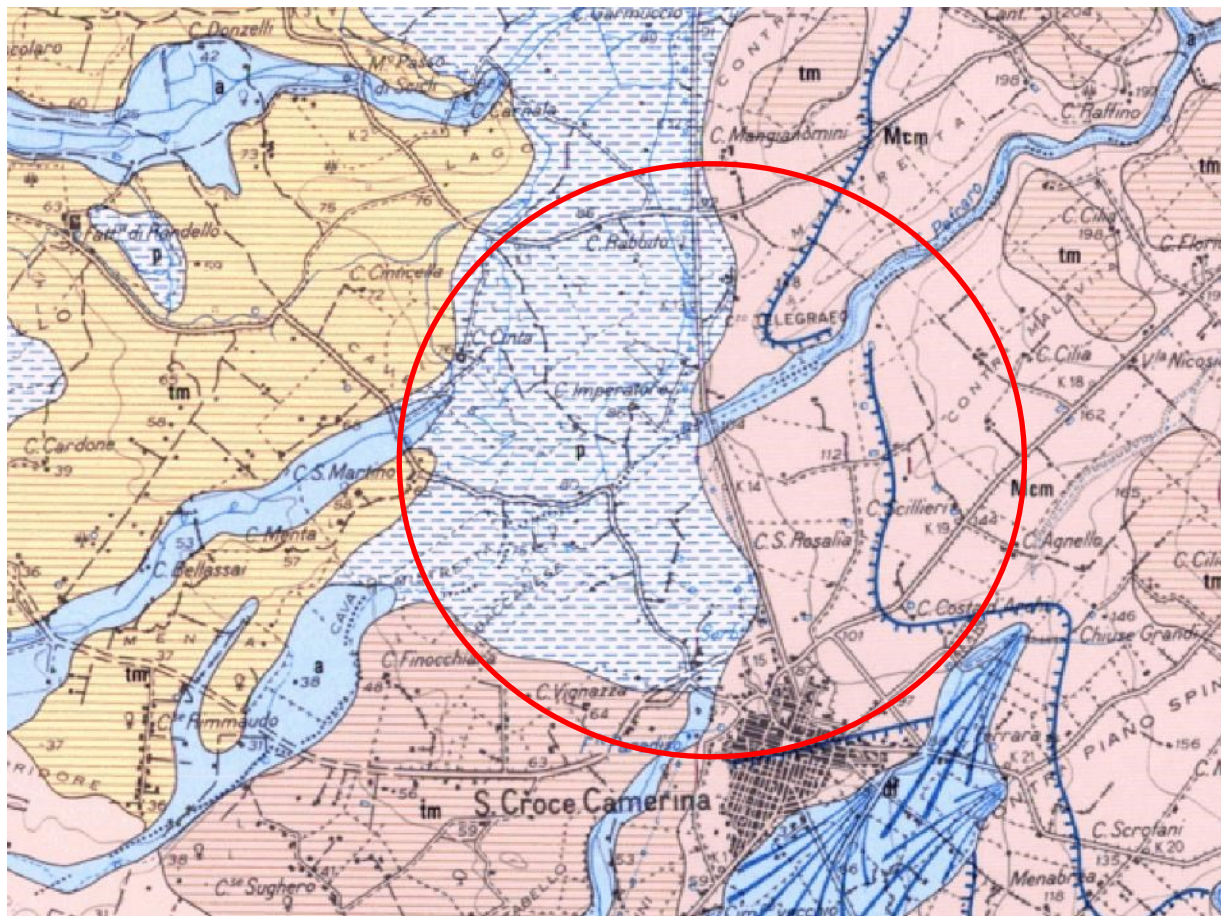
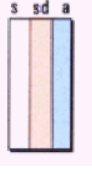

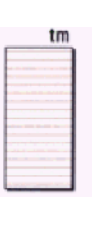



Figura 5 - Stralcio carta geologica zona di interesse

Nella legenda qui di seguito sono riportati i litotipi e le Formazioni presenti nell'areale dell'impianto e lungo il percorso della connessione (circolo rosso).

| | |
|--|---|
|  | <p>A – Alluvioni attuali – sono costituite da ciottoli carbonatici arrotondati in abbondante matrice sabbiosa generalmente rossastra, che raggiungono spessori fino ad oltre 10 metri. PLEISTOCENE MEDIO – OLOCENE.</p> |
|  | <p>P – Depositi palustri I depositi palustri antichi sono costituiti da argille e limi bruno – giallastri con livelli di torba e, localmente, rari resti di vertebrati. – PLEISTOCENE SUPERIORE. Nell'area studiata tali sedimenti hanno uno spessore compreso tra 0 e 6-7 m.</p> |
|  | <p>Tm - Terrazzi marini – depositi terrazzati marini costituiti da sabbie biancogiallastre, carbonatiche, o da conglomerati a clasti carbonatici e arenitici appiattiti a matrice sabbiosa, distribuiti lungo la linea di costa a quote da 0 a 10 m e terrazzi marini altimetricamente correlabili con i depositi medio – pleistocenici. Si rinvenivano fino a quote massime di 200 metri e risultano essere costituiti quasi sempre da spianate di abrasione con rari depositi costituiti da lembidi calcareniti bruno – giallastre a grana grossolana. PLEISTOCENE MEDIO.</p> |
|  | <p>Formazione Ragusa – Membro Irminio – Alternanza di biocalcareni cementate a macroforaminiferi di colore bianco-grigiastro in banchi ad andamento irregolare dello spessore da 50 cm a 2-3 m e di calcareniti marnose giallastre scarsamente cementate e mal classate (area a Sud di Ragusa). A volte si osservano calciruditi e calcareniti a macroforaminiferi laminate e a stratificazione incrociata (Valle del Tellesimo). Verso l'alto della successione compaiono calcareniti grigio-giallastre cementate in strati di 30-40 cm, irregolarmente alternate a marne siltose friabili. Per graduale aumento dello spessore dei livelli marnosi si passa verso l'alto alla formazione Tellaro. AQUITANIANO – LANGHIANO INF.</p> |

CARTA GEOLOGICA RILEVATA

Il rilevamento geologico di superficie e i dati bibliografici esistenti, hanno consentito di redigere una carta geologica dell'area di stretto interesse, ed hanno permesso di definire i rapporti stratigrafico-strutturali intercorrenti tra i terreni in esame e le altre formazioni presenti

Un rilievo geologico eseguito in fase di sopralluogo ha evidenziato la presenza di una discrepanza tra la carta geologica 1:50.000 e la situazione sul terreno. Si è rilevata, infatti, lungo una fascia di larghezza variabile, la presenza di sedimenti sabbiosi appartenenti alla Formazione dei terrazzi marini pleistocenici. Tale fascia segue il confine occidentale dell'impianto in direzione NS.

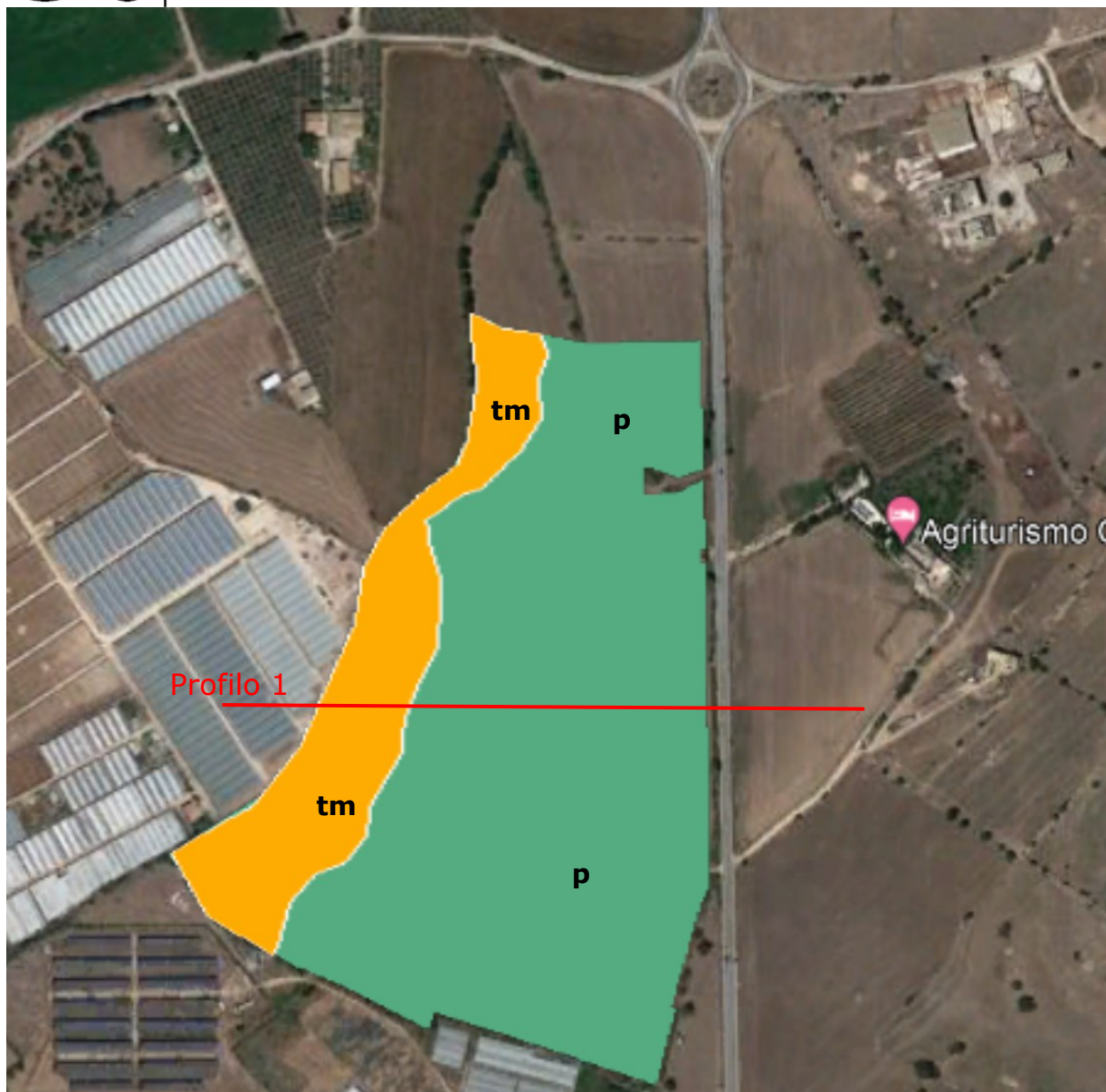


Figura 6 - Rilievo geologico dell'area di progetto. In arancio i terrazzi marini (tm) e in verde i depositi palustri (p).

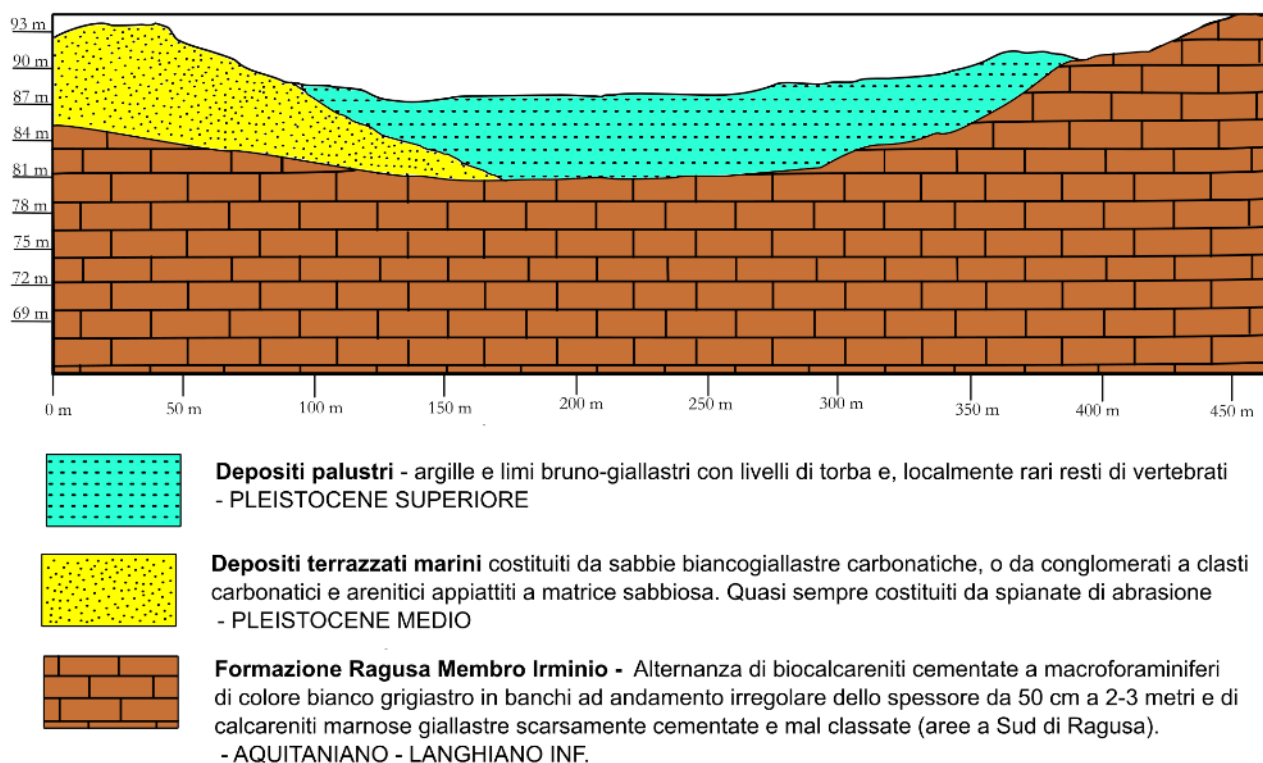


Figura 7- Sezione geologica da profilo 1

Il rilievo ha messo in evidenza un assetto geologico che vede la Formazione Ragusa ospitare dei sedimenti incoerenti di tipologia mista marino-continentale. In particolare nella porzione occidentale dell'area studiata affiorano delle spianate di abrasione marina medio-pleistoceniche a cui si sovrappongono dei sedimenti limoso-argilloso dovuti ad una deposizione in ambiente paludale risalenti al Pleistocene superiore. Gli spessori di quest'ultimi sono compresi tra gli 0 e i 6-7 metri, mentre i depositi marini si aggirano intorno ai 6-10 m (da letteratura).

L'impianto in progetto è collocato nell'area del Bacino del Fiume Ippari ed aree comprese tra il bacino del Fiume Acate - Dirillo e il bacino del Fiume Irminio. Dal punto di vista morfologico l'impluvio del fiume Ippari, presenta caratteri diversi, dovuti alla natura litologica dei terreni che lo costituiscono e alla sua storia tettonica dalla fine del Miocene ad oggi. All'interno del bacino è possibile distinguere tre settori a diversa ampiezza, ma con caratteri morfologici univoci: un settore montano, uno pedemontano e uno pianeggiante.

La zona montana, compresa tra i 400 mt s.l.m. e gli 882 mt di Serra di Burgio, che rappresenta la quota massima del bacino, si estende secondo una fascia di circa 40 kmq, orientata NESW, da Comiso sino ai pressi di Chiaramonte Gulfi. In questa area la morfologia è condizionata dai calcari della Formazione Ragusa dove si osservano forme aspre con incisioni a forte pendenza e incassate in valli strette con versanti molto ripidi.

La zona pedemontana è una cintura che contorna gli affioramenti calcarei terziari ed è costituita da accumuli di sedimenti clastici (conoidi) recenti caratterizzati da forme a ventaglio tipiche di questi accumuli.

L'area interessata dall'opera si trova a Nord dell'abitato di S. Croce Camerina, nella zona di pianura; questa porzione di territorio è racchiusa tra quota 300 a NNE e il livello del mare a SW e rappresenta quasi il 70% del bacino. Tale area è caratterizzata dalla netta predominanza di depositi plio-pleistocenici, per la maggior parte incoerenti. La parte bassa della pianura, dall'abitato di Comiso sino al mare, è interessata dall'incisione del Fiume Ippari, il cui andamento è del tipo meandriforme incassato nel tratto compreso tra Comiso e Vittoria, mentre da Vittoria alla foce scorre in una valle ad ampiezza via via crescente, a fondo piatto, ma con versanti sempre ripidi che mettono a giorno il substrato roccioso. L'uniformità della pianura è interrotta localmente da blande ondulazioni e lievi depressioni. Nel complesso il bacino si può definire di tipo "collinare". Infine, nella fascia litorale si rileva la presenza di depositi sabbiosi di età attuale che rappresentano la componente litologica più giovane e maggiormente soggetta ad evoluzione anche in concomitanza di estesi interventi antropici (spianamento di dune).

La superficie dell'area di progetto si presenta pianeggiante, con un dislivello totale di pochi metri (87 m quota minima, 90 quota max). L'area risulta leggermente depressa rispetto alla quota dei terreni circostanti come si può vedere nei seguenti profili eseguiti nella parte centrale dell'area in direzione EO e NS. Inoltre risulta in leggera pendenza verso Sud, come è possibile vedere dal profilo ricavato in quella direzione.

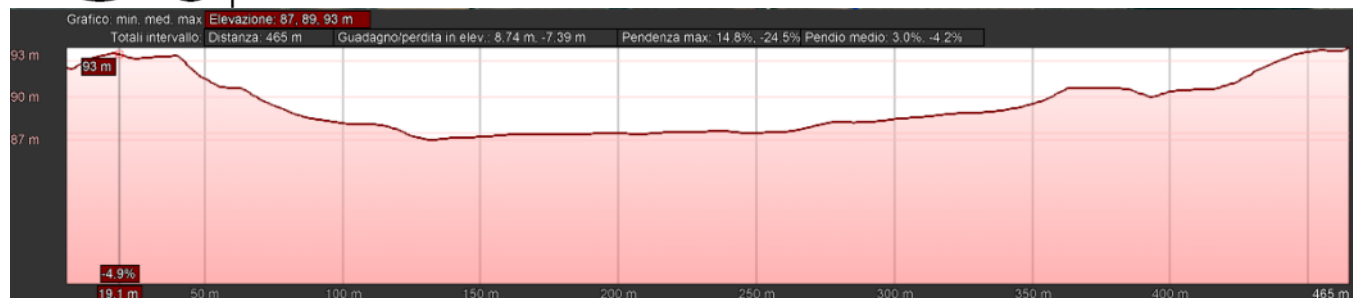


Figura 8 - Profilo topografico EO

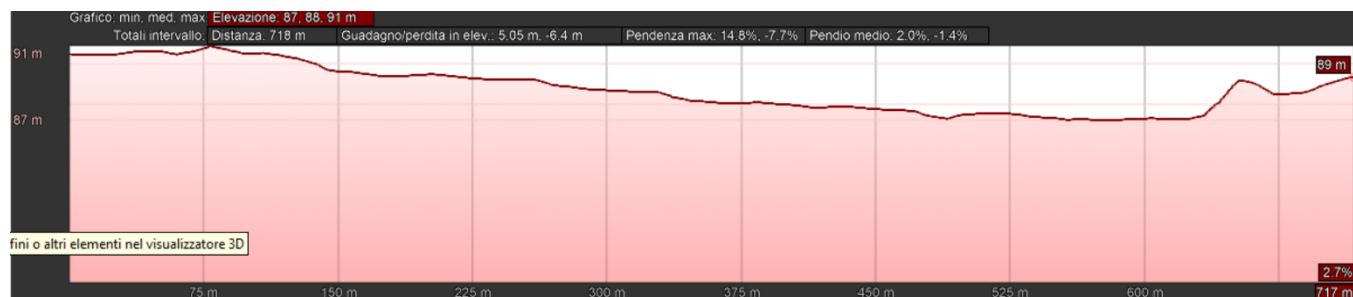


Figura 9 - Profilo topografico NS



Figura 10 - Mappa profili

In generale, la regolarità morfologica dell'area e l'assenza di fattori morfogenetici attivi, assicurano alla zona condizioni geostatiche affidabili, non sono stati rilevati dissesti in atto e/o potenziali né particolari fenomeni erosivi.

Nella zona studiata sono presenti in modo esteso dei sedimenti classificabili come limi bruno-giallastri con livelli di torba che hanno un'attitudine all'erosività (propensione di una

formazione geologica ad essere soggetta all'erosione in senso lato) altissima, minore, ma sempre rilevante è invece l'erodibilità dei terrazzi marini pleistocenici che affiorano nella fascia occidentale del terreno studiato. Sebbene la tendenza alla mobilizzazione dei sedimenti nell'area sia elevata, la stabilità in questo senso è favorita dalla morfologia pianeggiante di tutta la zona. L'impianto Agrovoltaioco, quindi, sarà realizzato all'interno di un'area pressoché pianeggiante e stabile modellata su litotipi prevalentemente limosi e sabbiosi. Si ribadisce che in tale comparto non si rilevano forme, depositi e processi connessi con l'azione di gravità o delle acque superficiali. La morfologia del sito si presenta generalmente tabulare, con una debole vergenza in direzione est in direzione del Torrente Petraro, il cui alveo si dipana a Sud e ad Est dell'area in esame. Quest'ultimo torrente, ad asse NE-SW, si presenta praticamente secco per la quasi totalità dell'anno.

Ai fini della cartografia prevista dal PAI, l'area di progetto ricade nella tavola 647110 647150 del **Bacino Idrografico del Fiume Ippari ed aree comprese tra il bacino del F. Acate-Dirillo e il bacino del F. Irminio**".

L'analisi delle cartografie:

- carta dei dissesti n. 17 e n. 21
- carta della pericolosità e del rischio geomorfologico n. 17 e n. 21.
- carta della pericolosità idraulica per fenomeni di esondazione n. 21



ha evidenziato, per tutte le opere prese in esame, l'assenza di pericolosità di natura geomorfologica ed idraulica; pertanto il sito risulta idoneo dal punto di vista degli aspetti presi in considerazione dal Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.).

CARATTERISTICHE CLIMATICHE ED IDROGEOLOGICHE

Dal punto di vista orografico e climatico il territorio provinciale presenta una situazione fortemente differenziata, con sottozone caratterizzate da ampia variabilità, determinata dalla variabile "altitudine". Infatti, in funzione dell'altitudine, è possibile distinguere tre aree:

- la pianura costiera, che si estende dal fiume Dirillo all'Irminio e comprende i territori comunali di Acate, S.Croce Camerina, Scicli e Vittoria;
- la fascia di transizione collinare, che separa la pianura costiera dall'altopiano ibleo, nella quale ricadono i territori dei comuni di Modica, Comiso e parte di quello di Ragusa;
- la zona interna degli Iblei, che comprende la rimanente parte del territorio comunale di Ragusa e i territori di Monterosso Almo, Chiaramonte Gulfi e Giarratana.

Nel complesso il clima è tipicamente mediterraneo, di tipo temperato-caldo, con autunni miti; le precipitazioni sono concentrate nei mesi invernali e le estati sono caratterizzate da una quasi totale assenza di precipitazioni, distribuite in maniera non uniforme tra la parte settentrionale montana e la parte costiera, più arida e dalle temperature più miti. Volendo rappresentare scientificamente in maniera sintetica il rapporto tra le temperature e le precipitazioni, sono stati presi in considerazione i dati, per ciascuna stazione di rilevamento, del trentennio disponibile che va dal 1965 al 1994. Va evidenziata una netta maggiore variabilità delle temperature minime rispetto alle massime, in tutti i mesi. Ciò dipende dagli effetti della radiazione solare, elemento dominante del clima, legato principalmente a fattori geografici e topografici (latitudine ed esposizione dei versanti), che esercita una marcata azione sulla temperatura massima. Per la temperatura minima, invece, altri fattori caratterizzati da maggiore dinamismo temporale, quali ad esempio l'avvezione di area fredda e l'inversione termica, associati comunque ad alcune particolari caratteristiche della località, quali la posizione (fondovalle o crinale) e le condizioni topografiche, finiscono per esercitare un ruolo pari o addirittura superiore rispetto all'energia radiante che arriva sulla Terra. Pertanto, mentre la problematica delle temperature massime può essere affrontata a livello mesoclimatico (aree territoriali sub-regionali), quella che riguarda le temperature minime va affrontata a livello topoclimatico o microclimatico.

Regime termico

Per l'analisi delle condizioni termometriche si è fatto riferimento soltanto ai dati registrati dalla stazione termo-pluviometrica di Ragusa.

Ragusa m 515 s.l.m.

| <i>mese</i> | <i>T max</i> | <i>T min</i> | <i>T med</i> | <i>P</i> |
|-------------|--------------|--------------|--------------|----------|
| gennaio | 11,6 | 4,7 | 8,2 | 96 |
| febbraio | 12,5 | 4,8 | 8,7 | 69 |
| marzo | 14,8 | 6,5 | 10,7 | 51 |
| aprile | 18,0 | 8,5 | 13,2 | 40 |
| maggio | 22,8 | 12,6 | 17,7 | 21 |
| giugno | 27,9 | 16,7 | 22,3 | 8 |
| luglio | 31,0 | 19,6 | 25,3 | 6 |
| agosto | 31,3 | 19,6 | 25,4 | 17 |
| settembre | 27,2 | 16,8 | 22,0 | 40 |
| ottobre | 21,9 | 13,0 | 17,4 | 84 |
| novembre | 17,0 | 9,2 | 13,1 | 71 |
| dicembre | 13,1 | 6,0 | 9,5 | 97 |

Agosto è il mese più caldo dell'anno con una temperatura media di 25,4°C, mentre gennaio è il più freddo con temperature medie di 8,2°C; nel corso dell'anno le temperature medie variano di 17,2 °C.

Precipitazioni

Dai dati disponibili riguardanti le stazioni pluviometriche di riferimento, si evince un valore di precipitazione media annua di 421 mm concentrata nel periodo ottobre-marzo, mentre nell'intervallo maggio-settembre le piogge sono pressoché assenti; è di 84 mm la differenza di pioggia tra il mese più secco e quello più piovoso. Il mese più secco è luglio con 1 mm di pioggia, mentre quello più piovoso è ottobre con una media di 85 mm.

I caratteri pluviometrici delineano un clima di tipo temperato- mediterraneo, caratterizzato da precipitazioni concentrate nel periodo autunnale - invernale e quasi assenti in quello estivo. Gli elementi climatici esaminati influiscono direttamente sul regime delle acque sotterranee e, essendo le piogge concentrate in pochi mesi, assumono particolare interesse i fenomeni di ruscellamento superficiale, di infiltrazione e di evaporazione. L'evaporazione, che è sempre modesta nei mesi freddi e nelle zone di affioramento dei termini litoidi di natura calcareo-calcareo marnosa, lo è anche nei mesi caldi, a causa dell'elevata permeabilità di tali litotipi (per fessurazione e/o per porosità nella coltre d'alterazione) che favorisce notevolmente l'infiltrazione delle acque ruscellanti. Si evince, dunque, che la ricarica degli acquiferi dell'area in esame avviene sostanzialmente nel periodo piovoso e che, pur non mancando saltuari eventi piovosi negli altri mesi dell'anno, durante l'estate, caratterizzata generalmente da lunghi periodi di siccità ed elevate temperature, si verificano condizioni di deficit di umidità negli strati più superficiali del terreno per la mancanza di risalita di acqua per capillarità.

Permeabilità

I litotipi affioranti nell'area in studio mostrano una permeabilità sia primaria per porosità che secondaria per fratturazione e, in misura minore, per carsismo. Il grado di permeabilità è molto variabile, oscillando da medio-alto a bassissimo. I litotipi calcarei, non affioranti

nell'area di impianto, ma presenti in profondità, hanno una permeabilità medio-alta, essendo sempre interessati da fratturazione e/o carsismo, pur a livelli variabili; pertanto, in essi si instaura una sicura circolazione idrica. I litotipi a composizione prevalentemente argilloso-marnosa, invece, sono caratterizzati da un grado di permeabilità scarso o quasi nullo (impermeabili) che fa sì che in essi la circolazione idrica sotterranea sia praticamente assente. Talvolta, in corrispondenza di una coltre eluvio-colluviale spessa e/o contenente una frazione sabbiosa e/o intercalazioni litoidi si possono verificare delle infiltrazioni d'acqua fino ad alcuni metri di profondità a formare effimere falde acquifere superficiali. Di seguito vengono distinte e raggruppate le formazioni affioranti nel bacino in base al tipo e al grado di permeabilità che possiedono.

Rocce permeabili per porosità: all'aumentare del grado di addensamento ed al diminuire della granulometria, diminuisce la permeabilità, con la conseguenza che si hanno notevoli variazioni laterali ed in profondità della stessa (bassa - alta) al variare dei tipi litologici, delle condizioni locali di granulometria e dello stato di addensamento. Appartengono a questo gruppo i depositi clastici incoerenti dei detriti di falda presenti ai piedi dei rilievi, le alluvioni, i depositi palustri (presenti estensivamente nell'area di progetto), le paleoconoidi, i depositi limnici nonché i depositi sabbioso e sabbioso - calcarenitici (presenti anche questi nella fascia occidentale del terreno oggetto di studio).

Rocce permeabili per fessurazione e carsismo: tale tipo di permeabilità è dovuto ad una fitta rete di fessurazione originatasi in seguito ad intensi sforzi tettonici a cui sono state sottoposte tali rocce. Successivamente, le acque arricchite in CO₂, svolgendo un'azione solvente sulle rocce di composizione carbonatica, allargano le fessure, dando luogo a fenomeni carsici più o meno spinti che aumentano la permeabilità creando delle vie preferenziali di drenaggio in corrispondenza delle fratture principali. A questo gruppo appartengono le calcareniti e calciruditi organogene, l'alternanza calcarea della Formazione Ragusa (presente immediatamente al di fuori dell'area di progetto e lungo il percorso delle opere di connessione).

Rocce impermeabili: Notoriamente vengono considerate impermeabili tutte le rocce che presentano una frazione argillosa prevalente, nonché quelle rocce che si presentano in banchi integri e/o con strati calcilutitici alternati o intercalati a livelli marnosi

Il percorso della linea di connessione si dipana nel territorio del comune di S. Croce Camerina attraversando per lo più i calcari della Formazione Ragusa.

L'intera area della Sicilia è nota per i numerosi eventi sismici che l'hanno da sempre interessata, vista la presenza di alcune accertate faglie sismogenetiche. Nell'immagine seguente riportata viene rappresentata la distribuzione dei soli eventi tra il 1981 e il 2002. Alcuni di essi hanno avuto caratteristiche di forti terremoti: la carta successiva mostra i terremoti storici con Momento Magnitudo $> 5,5$ (Catalogo Parametrico dei terremoti Italiani, CPTI11, Rovida et al., 2011). La storia sismica mostra gli eventi storici documentati nel comune di Ragusa. Tra questi spicca per intensità il terremoto del 16/01/1693, di magnitudo $M_w = 7.41$. Le strutture sismogenetiche originanti i sismi in area sono ampiamente studiate e riconosciute, e la loro ubicazione è visionabile presso il database DISS. In Sicilia sud-orientale la sismicità è distribuita principalmente in due settori: lungo la costa ionica, dove gli eventi raggiungono magnitudo circa 7.0; nell'area interna, con terremoti di $MS \leq 5.5$. La Scarpata di Malta, per la quale si hanno evidenze di attività tardo-Quaternaria, sembra la sorgente più probabile per i grandi terremoti che hanno colpito la regione (1169, 1693, 1818). Essa è costituita da un sistema di faglie prevalentemente normali a direzione NNO-SSE, con un rigetto verticale cumulativo di 3000 m, suddiviso in segmenti il più settentrionale dei quali si estende in terra fino all'area etnea. Il settore interno del Plateau Ibleo è attraversato dalla Linea di Scicli, una zona di trascorrenza di primo ordine che si sviluppa per una lunghezza di circa 100 km dallo Stretto di Sicilia fino al margine settentrionale del plateau. Sebbene per questo sistema non si osservino evidenze di attività tettonica successiva al Pleistocene medio, la distribuzione dei terremoti (1698, 1818, 1895, 1949, 1980, 1990) indica l'esistenza di strutture sismogenetiche minori ad esso riferibili. Il margine settentrionale e nord-occidentale dell'avampese risulta fagliato da un sistema orientato NE-SO sotto il fronte delle unità più esterne della Catena Appenninico-Maghrebide. Esso è caratterizzato da ampie depressioni strutturali quaternarie come il graben Scordia-Lentini, attivo fino al Pleistocene medio, e da faglie cieche lungo il fronte della catena ai quali si possono associare terremoti con magnitudo massima 6.4 (1542, 1990) e 5.2 (1898, 1903, 1909, 1959) rispettivamente. Altre strutture sismogenetiche sono individuabili nella Piana di Vittoria, dove si sviluppano faglie cieche responsabili degli eventi del 1717-1937, e nel sistema di Ispica, l'unico dell'area per il quale è documentata un'attività tardo quaternario-olocenica (terremoti del 1727-1903).

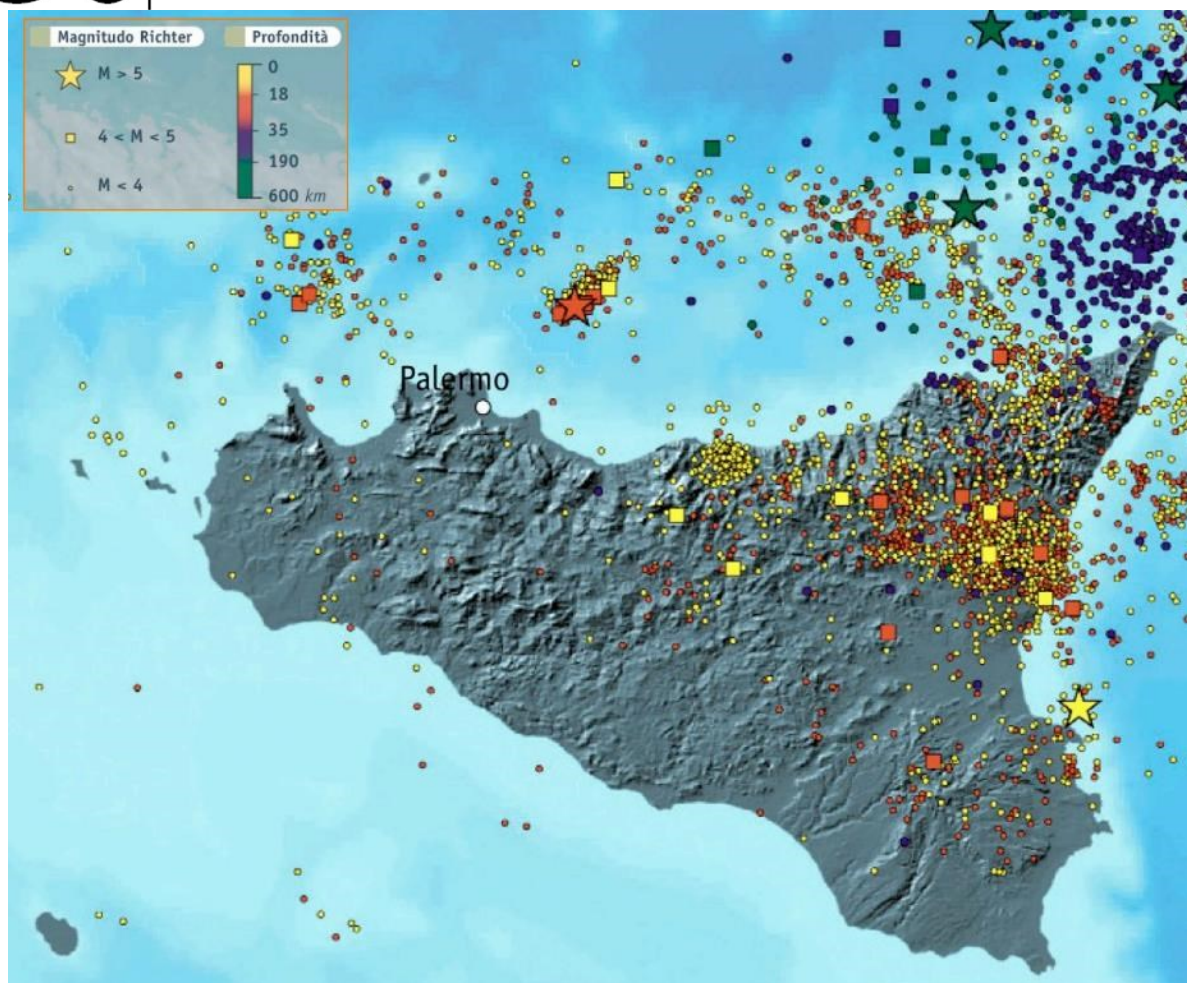


Figura 11 - Mappa della sismicità recente in Sicilia (1981-2002)

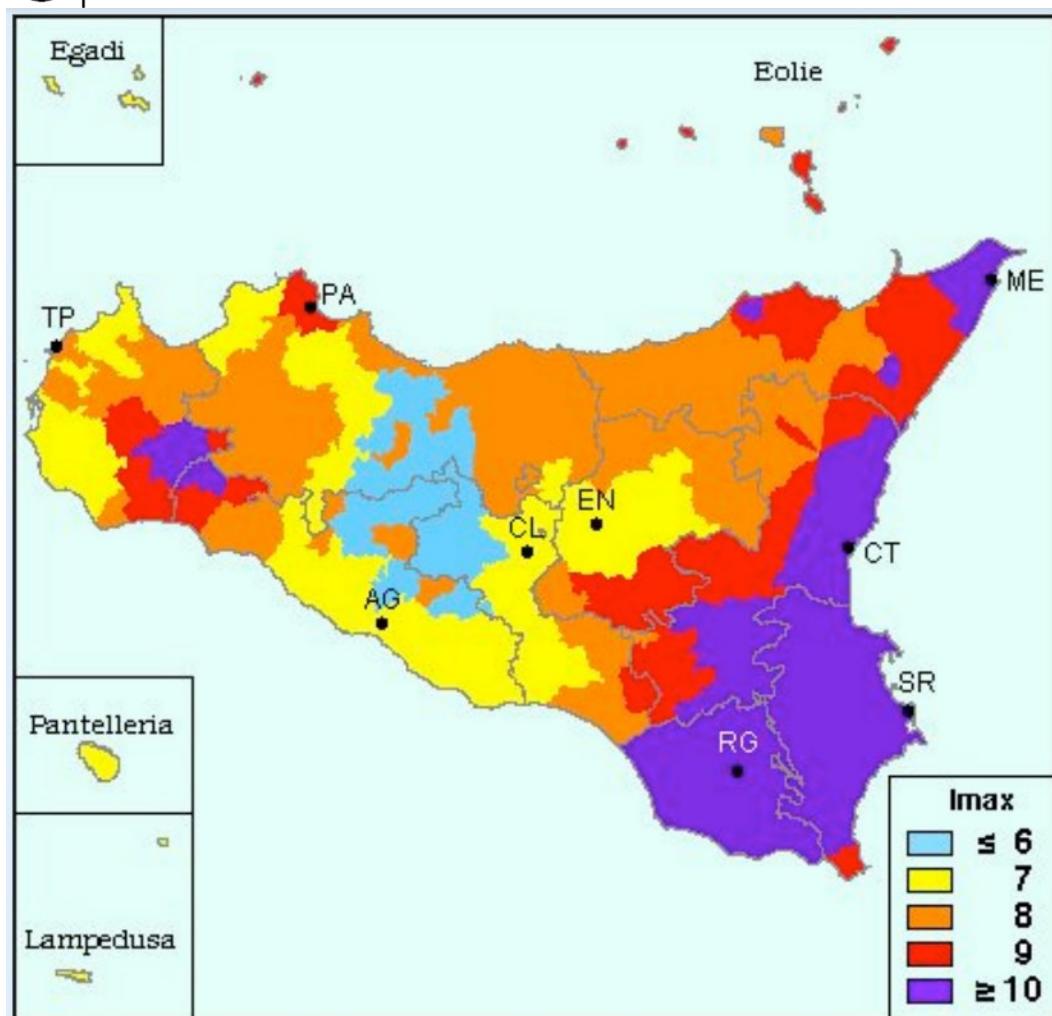


Figura 12 - Massime intensità sismiche registrate in Sicilia

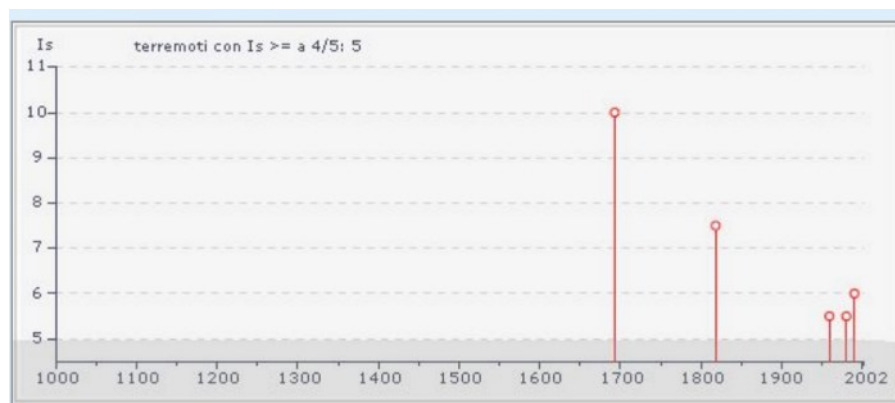


Figura 13 - Mappa storia sismica di Ragusa

A supporto del rilievo geologico dell'area e per individuare la categoria di sottosuolo di riferimento (v. § 3.2.2 delle NTC 2018) sono state eseguite tre prove di sismica attiva di tipo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves).

Le indagini sono state eseguite in tre punti della superficie destinata ad accogliere l'impianto. Nell'immagine a lato è possibile vedere l'ubicazione delle tre prove sismiche.

I punti hanno le seguenti coordinate:

| Nome | Latitudine | Longitudine |
|---------------|----------------|---------------|
| Masw 1 | 4078311.00 m N | 457210.00 m E |
| Masw 2 | 4078226.00 m N | 456888.00 m E |
| Masw 3 | 4078560.00 m N | 457197.00 m E |



Figura 14 - Ubicazione prove MASW

Teoria dell'indagine MASW

La tecnica MASW è stata proposta da Park nel 1999 e consiste nella registrazione simultanea di più ricevitori di una vibrazione prodotta da una sorgente sismica artificiale, posta ad una data distanza dal primo ricevitore. La MASW consente l'identificazione dei modi di vibrazione dell'onda di Rayleigh e può essere applicata in aree interessate da elevato rumore "sismico".

Moto del segnale sismico

Il segnale sismico può essere scomposto in più fasi ognuna delle quali identifica il movimento delle particelle investite dalle onde sismiche. Le fasi possono essere:

- **P**-Longitudinale: onda profonda di compressione;
- **S**-Trasversale: onda profonda di taglio;
- **L**-Love: onda di superficie, composta da onde P e S;
- **R**-Rayleigh: onda di superficie composta da un movimento ellittico e retrogrado.

Onde di Rayleigh – "R"

In passato gli studi sulla diffusione delle onde sismiche si sono concentrati sulla propagazione delle onde profonde (onde P, onde S) considerando le onde di superficie come un disturbo del segnale sismico da analizzare. Recenti studi hanno consentito di creare dei modelli matematici avanzati per l'analisi delle onde di superficie in mezzi a differente rigidità.

Analisi del segnale con tecnica MASW

Secondo l'ipotesi fondamentale della fisica lineare (Teorema di Fourier) i segnali possono essere rappresentati come la somma di segnali indipendenti, dette armoniche del segnale. Tali armoniche, per analisi monodimensionali, sono funzioni trigonometriche seno e coseno, e si comportano in modo indipendente non interagendo tra di loro. Concentrando l'attenzione

su ciascuna componente armonica il risultato finale in analisi lineare risulterà equivalente alla somma dei comportamenti parziali corrispondenti alle singole armoniche. L'analisi di Fourier (analisi spettrale FFT) è lo strumento fondamentale per la caratterizzazione spettrale del segnale. L'analisi delle onde di Rayleigh, mediante tecnica MASW, viene eseguita con la trattazione spettrale del segnale nel dominio trasformato dove è possibile, in modo abbastanza agevole, identificare il segnale relativo alle onde di Rayleigh rispetto ad altri tipi di segnali, osservando, inoltre, che le onde di Rayleigh si propagano con velocità che è funzione della frequenza. Il legame velocità frequenza è detto spettro di dispersione. La curva di dispersione individuata nel dominio $f-k$ è detta curva di dispersione sperimentale, e rappresenta in tale dominio le massime ampiezze dello spettro.

Modellizzazione

È possibile simulare, a partire da un modello geotecnico sintetico caratterizzato da spessore, densità, coefficiente di Poisson, velocità delle onde S e velocità delle Onde P, la curva di dispersione teorica la quale lega velocità e lunghezza d'onda secondo la relazione:

$$v = \lambda \times v$$

Modificando i parametri del modello geotecnico sintetico, si può ottenere una sovrapposizione della curva di dispersione teorica con quella sperimentale: questa fase è detta di inversione e consente di determinare il profilo delle velocità in mezzi a differente rigidità.

Modi di vibrazione

Sia nella curva di inversione teorica che in quella sperimentale è possibile individuare le diverse configurazioni di vibrazione del terreno. I modi per le onde di Rayleigh possono essere: deformazioni a contatto con l'aria, deformazioni quasi nulle a metà della lunghezza d'onda e deformazioni nulle a profondità elevate.

Profondità di indagine

Le onde di Rayleigh decadono a profondità circa uguali alla lunghezza d'onda. Piccole lunghezze d'onda (alte frequenze) consentono di indagare zone superficiali mentre grandi lunghezze d'onda (basse frequenze) consentono indagini a maggiore profondità.

Strumentazione e procedura sperimentale

Nella prova MASW la relazione tra velocità delle onde Rayleigh e loro lunghezza d'onda è determinata attraverso il calcolo dello spettro 2D nel dominio $f-k$ o lentezza-frequenza. Le sequenze operative che conducono alla determinazione della curva di dispersione e del profilo finale di velocità, possono essere così riassunte:

- acquisizioni multicanale dei segnali sismici (Fig. 3), generati dalle vibrazioni prodotte da una sorgente sismica artificiale (massa battente su piastra) applicata sulla superficie libera del terreno;

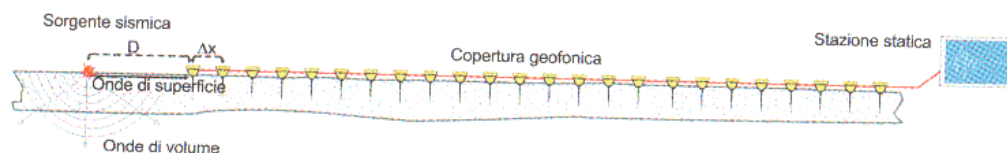
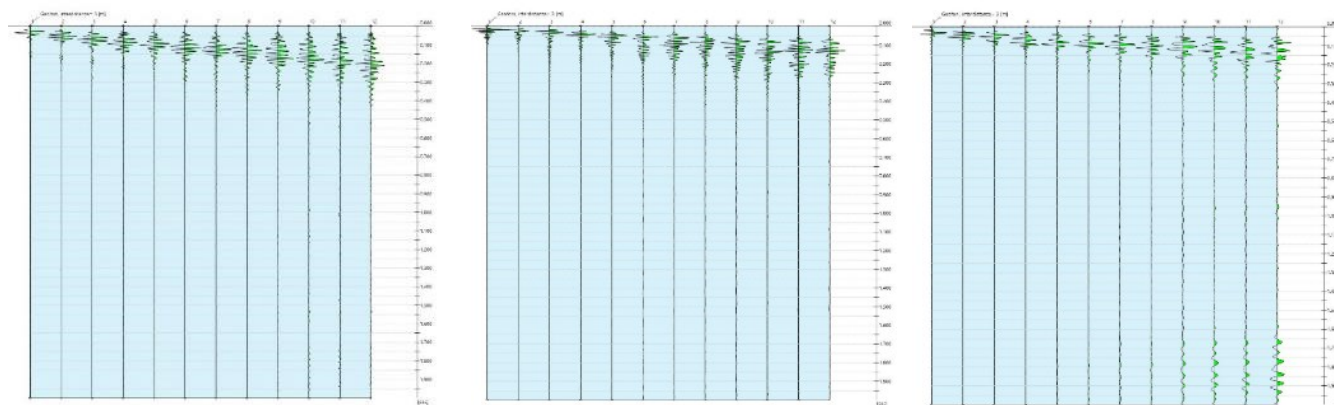


Figura 15 - Schema di acquisizione dei segnali sismici con metodo MASW



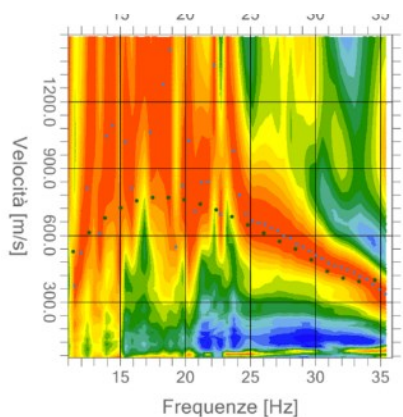
Sismogramma MASW 1

Sismogramma MASW 2

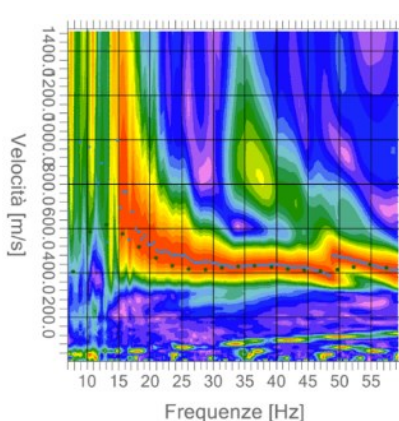
Sismogramma MASW 3

Figura 16 - Segnali sismici acquisiti dai geofoni lungo uno stendimento

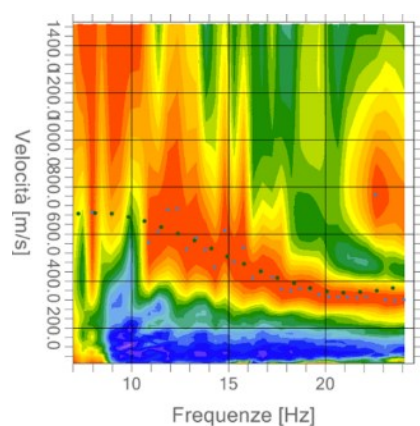
- calcolo della curva di dispersione;



MASW 1



MASW 2



MASW 3

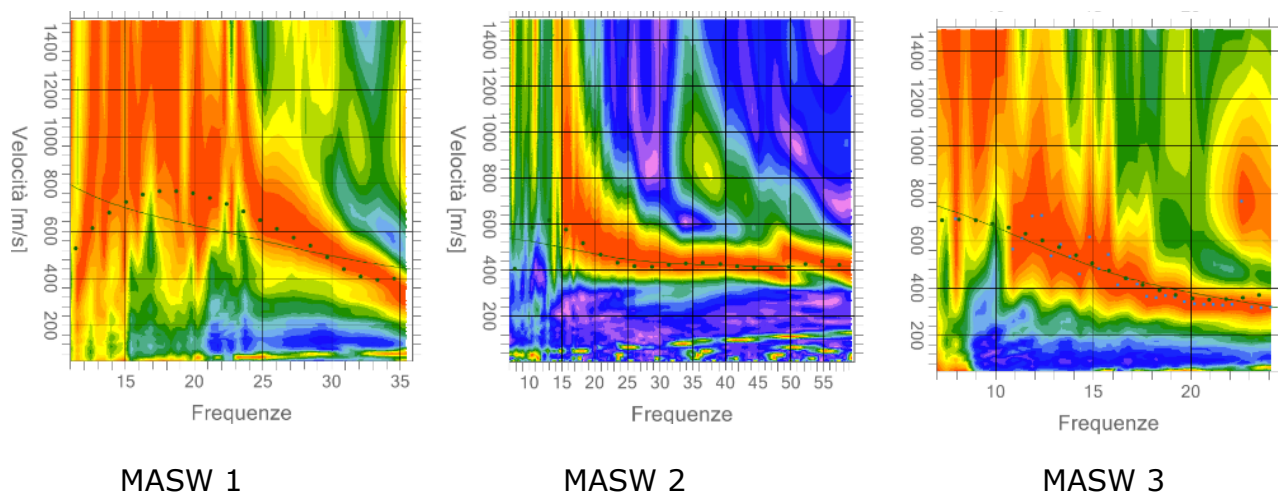


Figura 17 – Inversione

- interpretazione dei risultati sperimentali mediante la simulazione numerica della propagazione di onde di superficie in un semispazio stratificato (processo di inversione).

La fase successiva di elaborazione consente di diagrammare le velocità delle onde in funzione delle profondità in modo da ricostruire l'andamento delle velocità nel sottosuolo:

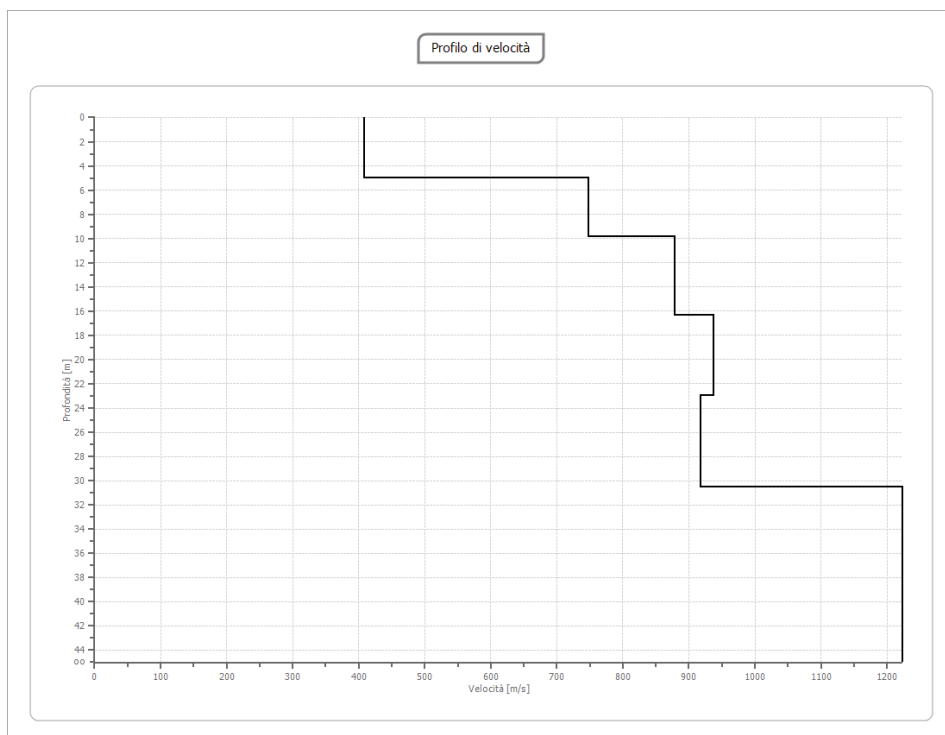


Figura 18 - Masw 1 profilo di velocità

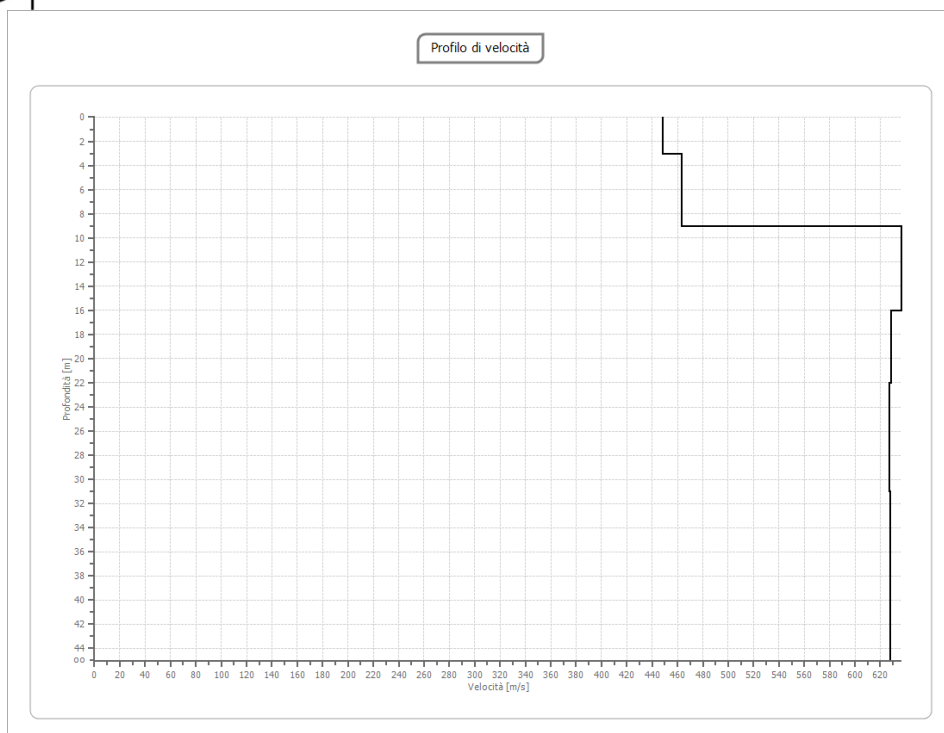


Figura 19 - Masw 2 profilo di velocità

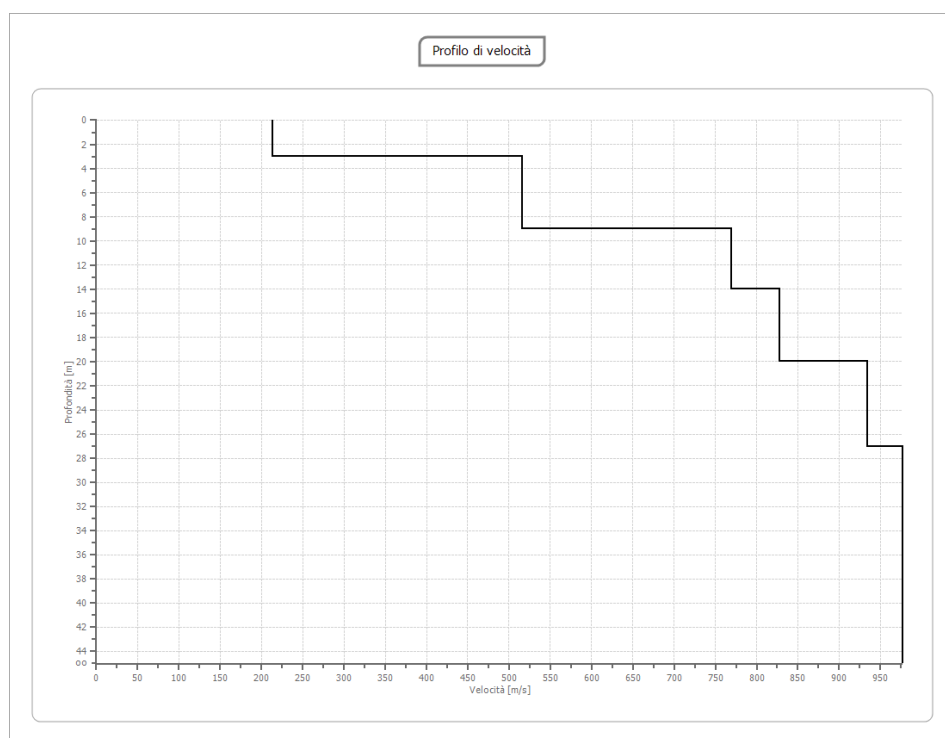


Figura 20 Masw 3 profilo di velocità

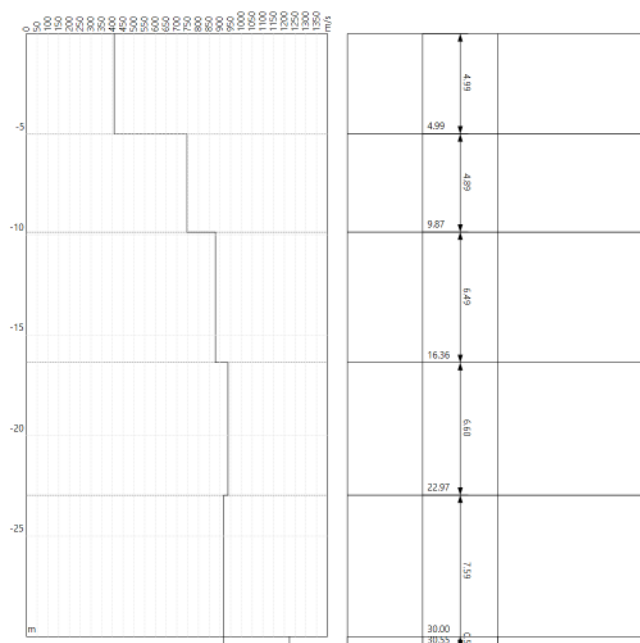


Figura 21 - Ricostruzione sismostratigrafica Masw 1

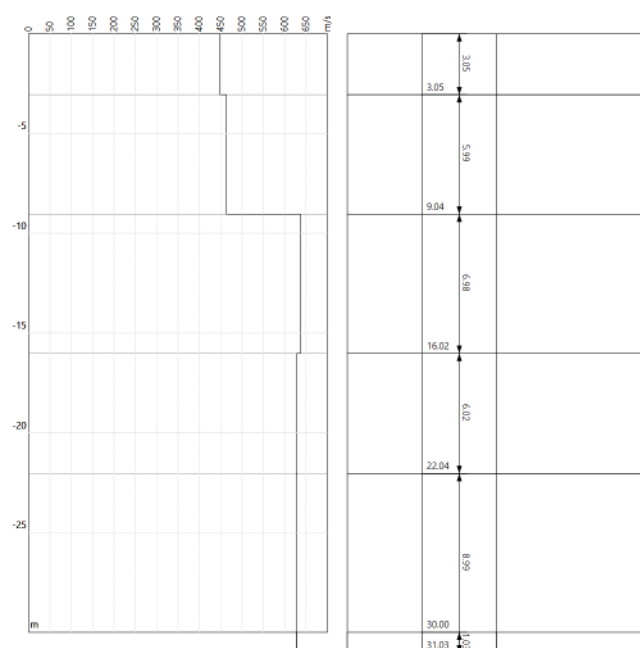


Figura 22 - Ricostruzione sismostratigrafica Masw 2

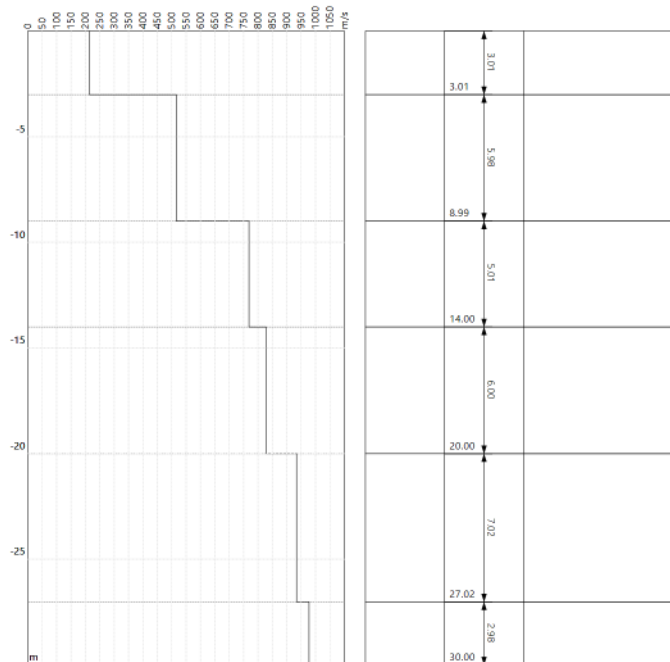


Figura 23 - Ricostruzione sismostratigrafica Masw 3

Prova Masw eseguita

La strumentazione utilizzata per l'indagine è costituita da:

- sismografo a trasmissione digitale del segnale SARA Do.Re.Mi 16 bit 12 canali;
- trasduttori di velocità verticali Geospace GS11D da 4,5 Hz.
- Sorgente sismica costituita da massa battente del peso di 8 Kg.

L'acquisizione è stata eseguita posizionando 12 geofoni da 4,5 Hz secondo la seguente configurazione spaziale e temporale:

- lunghezza stendimento ricevitori: 22 m
- distanza intergeofonica: 2 m
- numero punti di energizzazione: 2 con offset da 2 m e da 4 m
- lunghezza campionamento: 2 s
- frequenza di campionamento: 1.500 Hz

L'elaborazione è stata eseguita con il software *EasyMASW* della *Geostru*.



Masw 1



Masw 2



Masw 3

Figura 24 Fase esecutiva dell'indagine MASW

Risultati prova Masw

Analizzando i grafici di dispersione si nota che le V_s si presentano disperse in un range di frequenza tra 0 e 35 Hz per la masw 1, 0 – 60 Hz per la Masw 2 e 0-30 Hz per la Masw 3.

Il calcolo della velocità media equivalente $V_{s,eq}$ è stato eseguito come da normativa (NTC 2018) con la formula:

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

dove:

h_i spessore dell'i-esimo strato;

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

N numero di strati;

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

ne segue che la $V_{s,eq}$ ottenuta per le 3 masw sono le seguenti

MASW 1 è pari a **526,32 m/s**,

MASW 2 è pari a **566,48 m/s**,

MASW 3 è pari a **434,83 m/s**,

quindi per tutte le prove eseguite la categoria di sottosuolo è la **B** (v. Tabella 3.2.II delle NTC 2018).

Tab. 3.2.II – Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.

| Categoria | Descrizione |
|-----------|--|
| A | Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m. |
| B | Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s. |
| C | Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s. |
| D | Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s. |
| E | Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m. |

1. Parametri geotecnici dinamici del terreno

Stimata la velocità delle onde P e S lungo la verticale d'indagine, è possibile stimare, attraverso alcune correlazioni analitiche, non empiriche, i parametri geotecnici dinamici del terreno.

Modulo di deformazione al taglio:

$$G(kPa) = \rho V_s^2$$

dove:

ρ (kNs²/m⁴) = densità del mezzo, data dal rapporto fra il peso di volume del terreno (saturo nel caso sia immerso in falda) e l'accelerazione di gravità (9,81 m/s²);

V_s (m/s) = velocità delle onde S.

Modulo di compressibilità volumetrica

$$M(kPa) = \rho \left(V_p^2 - \frac{4}{3} V_s^2 \right)$$

dove:

V_p (m/s) = velocità delle onde P.

Modulo edometrico

$$E_{ed}(kPa) = \rho V_p^2$$

Modulo di Young

$$E(kPa) = 2\rho V_s^2(1 + \nu)$$

dove:

ν = coefficiente di Poisson, dato dalla relazione analitica:

$$\nu = \frac{0.5 \left(\frac{V_p}{V_s} \right)^2 - 1}{\left(\frac{V_p}{V_s} \right)^2 - 1}$$

I risultati dei calcoli relativi ai parametri geotecnici dinamici sono esposti dettagliatamente nel capitolo relativo alle caratteristiche geotecniche dei terreni interessati.

Parametri geotecnici MASW 1

| n. | Profondità [m] | Spessore [m] | Vs [m/s] | Vp [m/s] | Densità [kg/mc] | Coefficiente Poisson | G0 [MPa] | Ed [MPa] | M0 [MPa] | Ey [MPa] |
|----|-------------------|-----------------|-------------|-------------|--------------------|-------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 1 | 4.99 | 4.99 | 408.09 | 666.41 | 1800.00 | 0.20 | 299.76 | 799.37 | 399.69 | 719.44 |
| 2 | 9.87 | 4.89 | 747.21 | 1220.19 | 1800.00 | 0.20 | 1004.99 | 2679.97 | 1339.99 | 2411.97 |
| 3 | 16.36 | 6.49 | 878.99 | 1435.38 | 1800.00 | 0.20 | 1390.71 | 3708.56 | 1854.28 | 3337.70 |
| 4 | 22.97 | 6.60 | 937.78 | 1531.40 | 1800.00 | 0.20 | 1582.99 | 4221.31 | 2110.65 | 3799.18 |
| 5 | 30.55 | 7.59 | 917.36 | 1498.04 | 1800.00 | 0.20 | 1514.79 | 4039.44 | 2019.72 | 3635.49 |
| 6 | oo | oo | 1223.93 | 1998.67 | 1800.00 | 0.20 | 2696.42 | 7190.46 | 3595.23 | 6471.42 |

Parametri geotecnici MASW 2

| n. | Profondità [m] | Spessore [m] | Vs [m/s] | Vp [m/s] | Densità [kg/mc] | Coefficiente Poisson | G0 [MPa] | Ed [MPa] | M0 [MPa] | Ey [MPa] |
|----|-------------------|-----------------|-------------|-------------|--------------------|-------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 1 | 3.05 | 3.05 | 448.33 | 732.12 | 1800.00 | 0.20 | 361.80 | 964.81 | 482.41 | 868.33 |
| 2 | 9.04 | 5.99 | 463.21 | 756.42 | 1800.00 | 0.20 | 386.22 | 1029.92 | 514.96 | 926.93 |
| 3 | 16.02 | 6.98 | 636.79 | 1039.87 | 1800.00 | 0.20 | 729.89 | 1946.38 | 973.19 | 1751.74 |
| 4 | 22.04 | 6.02 | 628.59 | 1026.49 | 1800.00 | 0.20 | 711.23 | 1896.62 | 948.31 | 1706.96 |
| 5 | 31.03 | 8.99 | 627.45 | 1024.63 | 1800.00 | 0.20 | 708.66 | 1889.76 | 944.88 | 1700.78 |
| 6 | oo | oo | 627.93 | 1025.40 | 1800.00 | 0.20 | 709.73 | 1892.60 | 946.30 | 1703.34 |

Parametri geotecnici MASW 3

| n. | Profondità [m] | Spessore [m] | Vs [m/s] | Vp [m/s] | Densità [kg/mc] | Coefficiente Poisson | G0 [MPa] | Ed [MPa] | M0 [MPa] | Ey [MPa] |
|----|-------------------|-----------------|-------------|-------------|--------------------|-------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 1 | 3.01 | 3.01 | 213.56 | 348.75 | 1800.00 | 0.20 | 82.10 | 218.92 | 109.46 | 197.03 |
| 2 | 8.99 | 5.98 | 516.09 | 842.77 | 1800.00 | 0.20 | 479.43 | 1278.48 | 639.24 | 1150.64 |
| 3 | 14.00 | 5.01 | 768.73 | 1255.33 | 1800.00 | 0.20 | 1063.71 | 2836.56 | 1418.28 | 2552.90 |
| 4 | 20.00 | 6.00 | 827.99 | 1352.11 | 1800.00 | 0.20 | 1234.03 | 3290.76 | 1645.38 | 2961.68 |
| 5 | 27.02 | 7.02 | 934.11 | 1525.39 | 1800.00 | 0.20 | 1570.61 | 4188.29 | 2094.15 | 3769.46 |
| 6 | oo | oo | 977.31 | 1595.94 | 1800.00 | 0.20 | 1719.24 | 4584.64 | 2292.32 | 4126.18 |

Il coefficiente di reazione del terreno, o coefficiente di Winkler è normalmente indicato come k o k_s [kg/cm³]. Nel modello di **Winkler** il sottosuolo è caratterizzato da una relazione lineare fra il cedimento di un punto (s) e la pressione di contatto (p) nello stesso punto: $p = k s$. La capacità portante del terreno di fondazione viene stimata anche in funzione solo di V_s secondo la relazione proposta da Imai e Yoshimura (1976):

$$q_{ult} = V_s^{2,4} / 1590$$

La valutazione di q_{ult} consente di calcolare il coefficiente di Winkler, dato per definizione dal rapporto tra carico e cedimento, tramite la nota relazione empirica di Bowles (1997):

$$k \text{ (kN/m}^3\text{)} = 40 \cdot q_{ult}$$

che in funzione di V_s , sostituendo q_{ult} con la relazione di Keceli (2012) o con quella di Imai e Yoshimura (1976), diventa:

$$k = 17,2 \cdot V_s^{1,25} \text{ o } k = 0,025 \cdot V_s^{2,4}$$

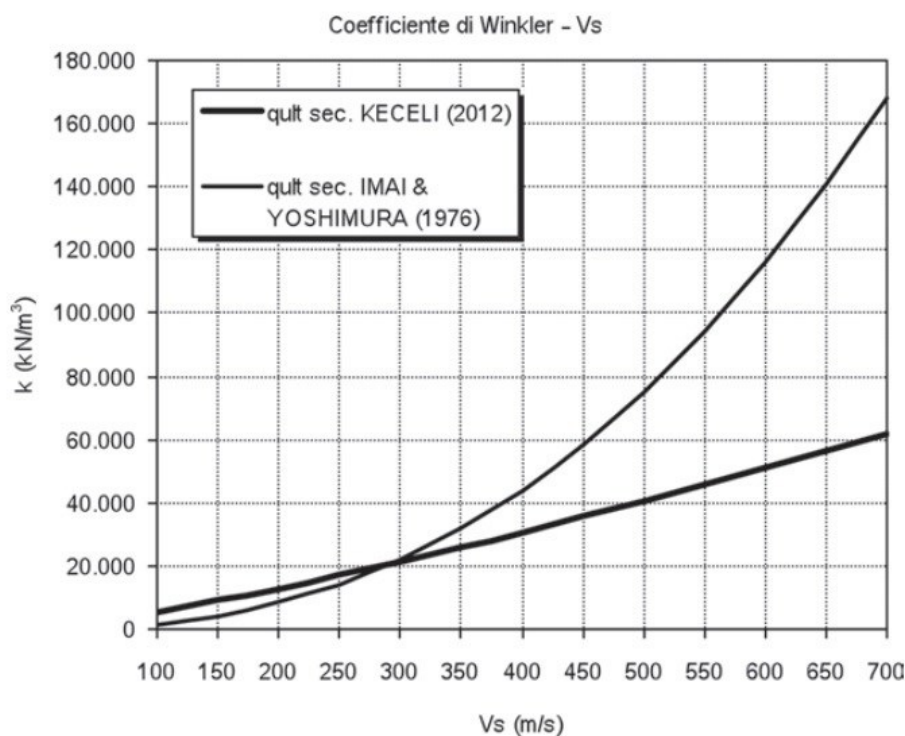


Figura 25 - Andamento del coefficiente di Winkler in funzione di V_s

- Considerando, per la prima prova Masw, una V_s media dello strato di fondazione pari a 408,09 m/s si ha:

$$k = 17,2 \cdot 408,09^{1,25} = 31548,1 \text{ kN/m}^3 = \mathbf{3,21 \text{ Kg/cm}^3} \text{ [Keceli (2012)]}$$

$k = 0,025 \cdot 408,09^{2,4} = 46105,6 \text{ kN/m}^3 = \mathbf{4,70 \text{ Kg/cm}^3}$ [Imai e Yoshimura (1976)]

Pertanto, il coefficiente dinamico di Winkler k spazierà nel range compreso tra **3,21** e **4,70** Kg/cm³.

- Per la seconda prova Masw, si rileva una Vs media dello strato di fondazione pari a 448,33 m/s si ha:

$$k = 17,2 \cdot 448,33^{1,25} = 35483,4 \text{ kN/m}^3 = \mathbf{3,61 \text{ Kg/cm}^3} \text{ [Keceli (2012)]}$$

$$k = 0,025 \cdot 448,33^{2,4} = 57779,6 \text{ kN/m}^3 = \mathbf{5,89 \text{ Kg/cm}^3} \text{ [Imai e Yoshimura (1976)]}$$

Pertanto, per la MASW 2, il coefficiente dinamico di Winkler k spazierà nel range compreso tra **3,61** e **5,89** Kg/cm³.

- Per la terza prova Masw, si rileva una Vs media dello strato di fondazione pari a 213,56 m/s si ha:

$$k = 17,2 \cdot 213,56^{1,25} = 14041,9 \text{ kN/m}^3 = \mathbf{1,43 \text{ Kg/cm}^3} \text{ [Keceli (2012)]}$$

$$k = 0,025 \cdot 213,56^{2,4} = 9745,13 \text{ kN/m}^3 = \mathbf{0,99 \text{ Kg/cm}^3} \text{ [Imai e Yoshimura (1976)]}$$

Pertanto, per la MASW 2, il coefficiente dinamico di Winkler k spazierà nel range compreso tra **0,99** e **1,43** Kg/cm³.

CONCLUSIONI

Il rilevamento geologico di superficie, le osservazioni dirette, le indagini geofisiche, i dati bibliografici ed i dati desunti da precedenti lavori eseguiti in aree adiacenti consentono di definire per l'area interessata dal progetto quanto segue:

- ✓ L'opera in progetto è in una situazione geologica stabile.
- ✓ L'analisi della cartografia del P.A.I. ha evidenziato, per tutte le opere prese in esame, l'assenza di pericolosità di natura geomorfologica ed idraulica;
- ✓ Non sono potenzialmente possibili dissesti di natura profonda e superficiale, vista la situazione pianeggiante;
- ✓ Possono essere considerati come rappresentativi del substrato di fondazione i seguenti *parametri geotecnici* per l'area di impianto:

| Limi Caratteristiche fisiche e meccaniche | | |
|---|----------|--------------------------------|
| Peso di Volume | γ | 1.7÷1.8 tonn/m ³ |
| Coesione efficace | C' | 0 MPa |
| Angolo di attrito efficace | ϕ' | 26°÷30° |

| Sabbie dei terrazzi marini Caratteristiche fisiche e meccaniche | | |
|---|----------|--------------------------------|
| Peso di Volume | γ | 1.7÷1.8 tonn/m ³ |
| Coesione efficace | C' | 0 MPa |
| Angolo di attrito efficace | ϕ' | 27°÷35° |

Le opere di connessione sono invece ubicate prevalentemente sui calcari della formazione Ragusa, qui di seguito si riportano i parametri geotecnici per tale litotipo:

| Calcareniti della Formazione Ragusa Caratteristiche fisiche e meccaniche | | |
|--|----------|----------------------------------|
| Peso di Volume | γ | 2.0 ÷ 2.2 tonn/m ³ |
| Coesione efficace | C' | 1,5 Kg/mq |
| Angolo di attrito efficace | ϕ' | 33°÷36° |

- ✓ I terreni in oggetto, caratterizzati da valori di $V_{S,eq}$ pari a **526,32 m/s**, **566,48 m/s** e **434,83 m/s** appartengono tutti alla **Categoria B** (Tab. 3.2.II – D.M. 17-01-2018 - Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni").
- ✓ La configurazione superficiale dei terreni in oggetto, in virtù delle caratteristiche della superficie topografica, individua gli stessi nella Categoria **T1** (Tab. 3.2.III – D.M. 17/01/2018- Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni").

Sulla base di quanto sopra esposto, nella realizzazione dell'opera in progetto non esistono particolari problematiche dal punto di vista geologico e geomorfologico tali da inficiarne l'esecuzione.

Dott. Geol. Angelo Gilotti

