

TITLE:

AVAILABLE LANGUAGE: IT

# COSTRUZIONE DELL'IMPIANTO EOLICO DI "TRAPANI 2"

## PROGETTO DEFINITIVO

### Relazione geologica - geotecnica e sismica



File: GRE.EEC.R.25.IT.W.13824.00.022.00 - Relazione geologica - geotecnica e sismica.docx

REV.	DATE	DESCRIPTION	PREPARED	VERIFIED	APPROVED
00	18/12/2020	Prima emissione	G. Coduri	E. Castiello	L. Lavazza

#### GRE VALIDATION

COLLABORATORS		VERIFIED BY	VALIDATED BY
		G. Buonomo / M. Vallejo	A. Puosi

PROJECT / PLANT <b>Trapani 2</b>	GRE CODE																		
	GROUP	FUNCTION	TYPE	ISSUER	COUNTRY	TEC	PLANT				SYSTEM	PROGRESSIVE	REVISION						
	GRE	EEC	R	2	5	I	T	W	1	3	8	2	4	0	0	0	2	2	0
CLASSIFICATION	<b>PUBLIC</b>				UTILIZATION SCOPE	<b>BASIC DESIGN</b>													

**INDEX**

1. INTRODUZIONE .....	3
1.1. DESCRIZIONE DEL PROPONENTE .....	3
1.2. CONTENUTI DELLA RELAZIONE .....	3
2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE .....	4
3. INQUADRAMENTI GENERALI .....	7
3.1. Aspetti Geologici e Geologici Strutturali.....	7
3.2. Aspetti geomorlogici .....	11
3.2.1. Rischio geomorfologico.....	11
3.3. Aspetti idroGeologici generali.....	12
4. ANALISI DETTAGLIATE DELLE AREE .....	13
4.1. Aspetti generali.....	13
4.2. Analisi area per area.....	13
4.2.1. Gruppo 1 – Torri G01, G02, G09, G10, e G11 – Casale.....	13
4.2.2. Gruppo 2 – Torri G03, G04, G05, e G06 – Baglio Ludeo Maggiore .....	18
4.2.3. Gruppo 3 – Torri G12, G13, G14, G15 e G16 – Borgo Montalto.....	23
4.2.4. Gruppo 4 - Torri G07 e G08 – Borgo delle Gambine .....	28
4.3. Annotazioni sulla scelta dei parametri geotecnici .....	30
5. ANALISI SISMICA .....	31
5.1. Introduzione .....	31
5.2. Inquadramento sismico.....	31
5.2.1. Cenni generali .....	31
5.2.2. Pericolosità sismica .....	34
5.2.3. Sismicità storica .....	37
5.3. I parametri sismici locali .....	40
5.4. Determinazione dei parametri sismici .....	41
5.4.1. Pericolosità sismica Area nord .....	43
5.4.2. Pericolosità sismica Area sud.....	46
6. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE.....	50

**Allegati**

**Allegato 1 – Indagini geognostiche e geofisiche**

## **1. INTRODUZIONE**

Stantec S.p.A., in qualità di Consulente Tecnico, è stata incaricata da Enel Green Power Solar Energy S.r.l. di redigere il progetto definitivo per la realizzazione di un nuovo impianto eolico denominato "Impianto eolico Trapani 2", da ubicarsi nei comuni di Mazara del Vallo (TP) e Marsala (TP).

L'energia prodotta dagli aerogeneratori, attraverso il sistema di cavidotti interrati in media tensione a 33 kV, verrà convogliata alla sottostazione di trasformazione 220/33 kV in progetto per l'innalzamento da media ad alta tensione.

La sottostazione di trasformazione verrà collegata, tramite cavidotto in alta tensione a 220 kV in progetto, alla stazione di smistamento RTN denominata "Partanna 3", di nuova realizzazione da parte dell'ente gestore di rete.

Di conseguenza, il presente progetto prevede:

- l'installazione di 16 nuove turbine eoliche, in linea con gli standard più alti presenti sul mercato, per una potenza installata pari a 96 MW;
- La realizzazione di piazzole di montaggio e di nuovi tratti di viabilità e l'adeguamento della viabilità esistente, al fine di garantire l'accesso agli aerogeneratori;
- La realizzazione di una nuova sottostazione di trasformazione 220/33 kV e la connessione degli aerogeneratori alla stazione tramite cavidotti interrati a 33 kV;
- La realizzazione di un nuovo cavidotto interrato a 220 kV per la connessione dell'impianto alla stazione di smistamento RTN di "Partanna 3".

Il progetto è in linea con gli obiettivi nazionali ed europei per la riduzione delle emissioni di CO<sub>2</sub> legate a processi di produzione di energia elettrica.

### **1.1. DESCRIZIONE DEL PROPONENTE**

Il soggetto proponente dell'iniziativa è Enel Green Power Solar Energy S.r.l., società iscritta alla Camera di Commercio di Roma che ha come Socio Unico la società Enel Green Power S.p.A., società del Gruppo Enel che dal 2008 si occupa dello sviluppo e della gestione delle attività di generazione di energia da fonti rinnovabili.

Enel Green Power è presente in 28 paesi nei 5 continenti con una capacità gestita di oltre 46 GW e più di 1.200 impianti.

In Italia, il parco di generazione di Enel Green Power è rappresentato dalle seguenti tecnologie rinnovabili: idroelettrico, eolico, fotovoltaico, geotermia. Attualmente nel Paese conta una capacità gestita complessiva di 14,6 GW.

### **1.2. CONTENUTI DELLA RELAZIONE**

La presente relazione ha l'obiettivo di illustrare lo studio geologico e geotecnico preliminare finalizzato a fornire una caratterizzazione di massima dei tipi litologici che verranno interessati dagli scavi e dalle opere di fondazione.

L'indagine si è articolata nelle seguenti fasi:

- 1) ricerca bibliografica
- 2) elaborazione e stima dei parametri geotecnici dei terreni sia dai dati dalla ricerca bibliografica che dalla elaborazione dei sondaggi geognostici (T2-MM3-G1\_S1 e T2-MM3-G06\_S2) e delle prove geofisiche (T2-MM3-G14\_M1 e T2-MM2-G06\_M2) eseguiti durante l'attuale campagna d'indagine.

Ai fini della presente, per permettere una facile e scorrevole illustrazione di quanto in intenzione è conveniente da subito operare una suddivisione delle opere in progetto in "gruppi" in base alla loro ubicazione.

Le diverse torri eoliche in progetto risultano a tutti gli effetti essere distribuite su un territorio molto ampio, ma la loro concentrazione in determinate aree permette, in linea di massima, di considerare le varie opere per "gruppi" che verranno trattati quanto più possibile in maniera omogenea.

Pertanto, nella presente, vengono anzitutto definiti dei settori, geograficamente ben precisi e delimitati in cui, nella massima parte, si possono considerare come altrettanto omogenee le caratteristiche geologico tecniche (in senso lato e nella maggior parte dei casi).

In concreto sono stati definiti i seguenti raggruppamenti:

Gruppo 1 – Torri G01, G02, G09, G10, G11 – Casale

Gruppo 2 – Torri G03, G04, G05, G06 – Baglio Ludeo Maggiore

Gruppo 3 – Torri G12, G13, G14, G15, G16 – Borgo Montalto

Gruppo 4 – Torri G07, G08 – Borgo delle Gambine

Sulla base di questa suddivisione nel seguito si definiranno, per ciascuna delle aree omogenee così individuate, le caratteristiche geologico-tecniche preliminari, valide per ciascun sito su base bibliografica, data l'assenza di dati precisi derivanti da prove eseguite allo scopo in sito per tutti i siti.

## **2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE**

Il sito oggetto del presente elaborato è ubicato a circa 25 km a Sud-Est del centro abitato di Trapani, nei comprensori comunali di Marsala e Mazara del Vallo.

La morfologia dell'area e le zone limitrofe sono contraddistinte da un territorio collinare privo di particolari complessità morfologiche.

Il sito non presenta particolari complessità dal punto di vista orografico: è infatti caratterizzato da colline di elevazione limitata (tra i 95 m s.l.m. ed i 170 m s.l.m.) con pendii dolci e poco scoscesi.

L'impianto eolico in progetto ricade entro i confini comunali di Marsala e Mazara del Vallo e, in particolare, all'interno dei seguenti riferimenti cartografici:

- Foglio di mappa catastale del Comune di Mazara del Vallo n° 21, 22, 30, 31, 32, 33, 38, 39, 40, 42, 43, 44, 45, 56, 57, 58, 59, 63, 64, 65, 66, 67, 80, 86;
- Foglio di mappa catastale del Comune di Marsala n° 190;
- Fogli I.G.M. in scala 1:25.000, codificati 257-III-NE "Baglio Chitarra" e 257-III-SE "Borgata Costiera";
- Carta tecnica regionale CTR in scala 1:10.000, fogli n° 617040, 617080, 618010 e 618050.

Di seguito è riportato in formato tabellare un dettaglio sul posizionamento degli aerogeneratori in progetto, in coordinate WGS84 UTM fuso 33N:

**Tabella 1: Coordinate aerogeneratori**

WTG	Comune	Est [m]	Nord [m]	Altitudine [m s.l.m.]
<b>G01</b>	Mazara del Vallo	287696,01	4180827,02	126
<b>G02</b>	Mazara del Vallo	288950,00	4180709,97	138
<b>G03</b>	Mazara del Vallo	290225,73	4181539,98	154
<b>G04</b>	Mazara del Vallo	290763,09	4181661,90	98
<b>G05</b>	Mazara del Vallo	291582,00	4183123,00	92
<b>G06</b>	Mazara del Vallo	293941,43	4183028,60	146
<b>G07</b>	Mazara del Vallo	294213,01	4184250,96	148
<b>G08</b>	Marsala	296210,38	4183703,70	150
<b>G09</b>	Mazara del Vallo	290093,66	4178683,76	140
<b>G10</b>	Mazara del Vallo	290497,03	4179852,00	146
<b>G11</b>	Mazara del Vallo	288936,30	4178894,08	124
<b>G12</b>	Mazara del Vallo	292367,11	4177871,05	138
<b>G13</b>	Mazara del Vallo	292770,62	4178479,69	148
<b>G14</b>	Mazara del Vallo	293719,00	4178489,00	152
<b>G15</b>	Mazara del Vallo	295110,00	4176720,00	104
<b>G16</b>	Mazara del Vallo	294461,00	4179565,99	170

Di seguito è riportato l'inquadramento territoriale dell'area di progetto e la configurazione proposta su ortofoto:



**Figura 2-1: Inquadramento generale dell'area di progetto**

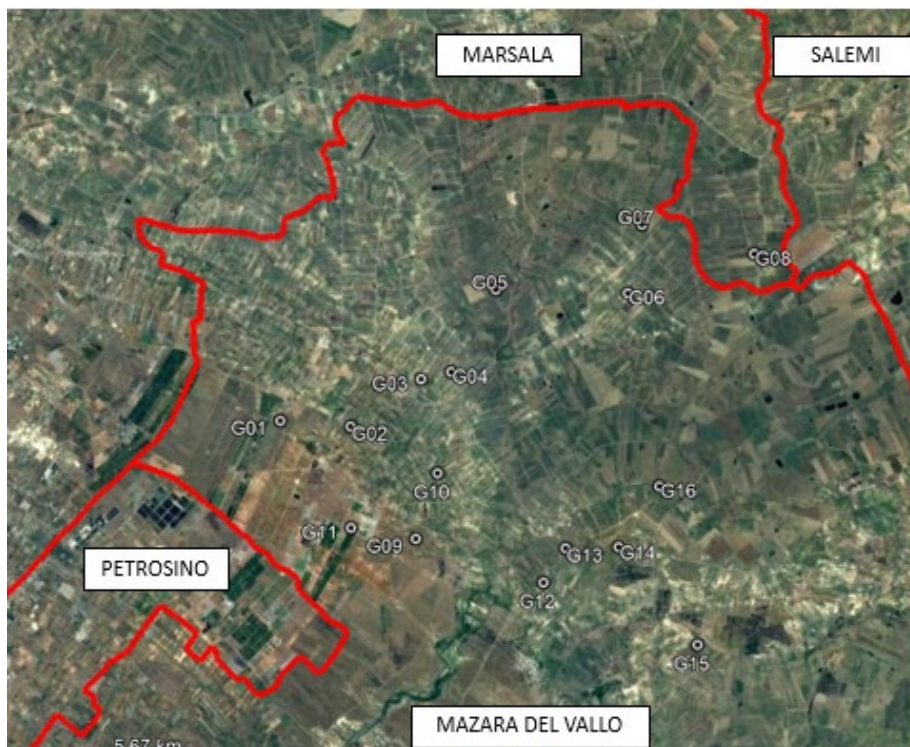
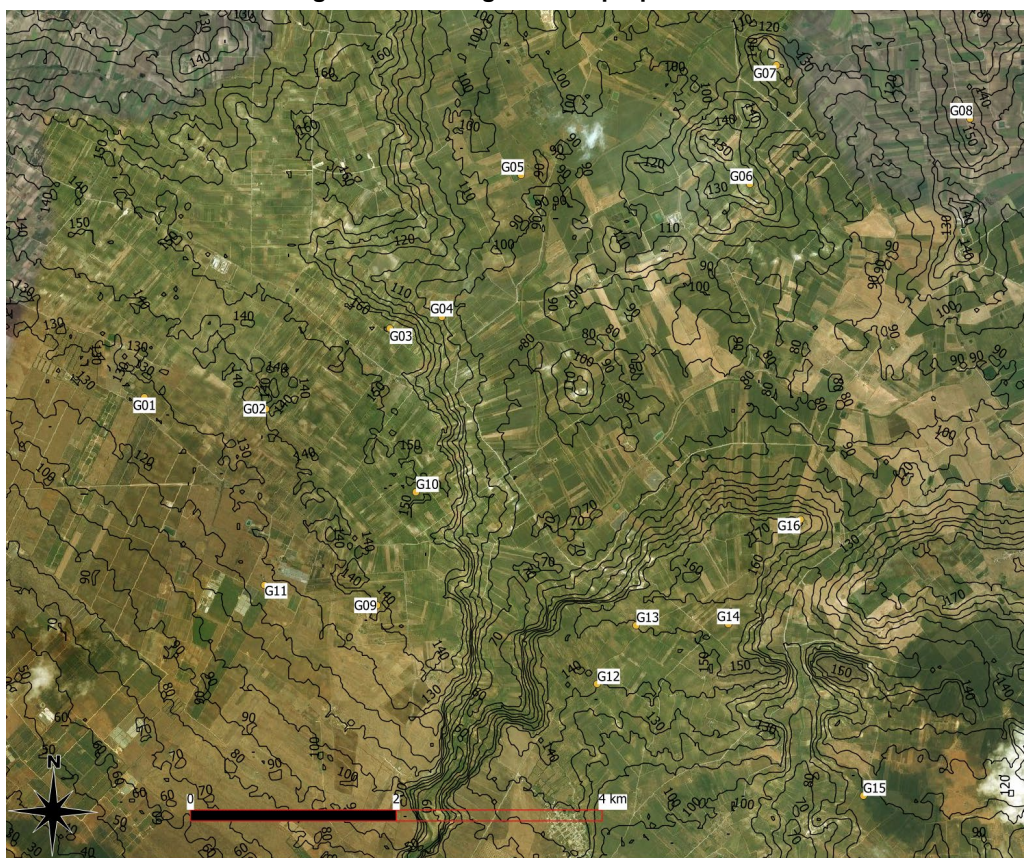
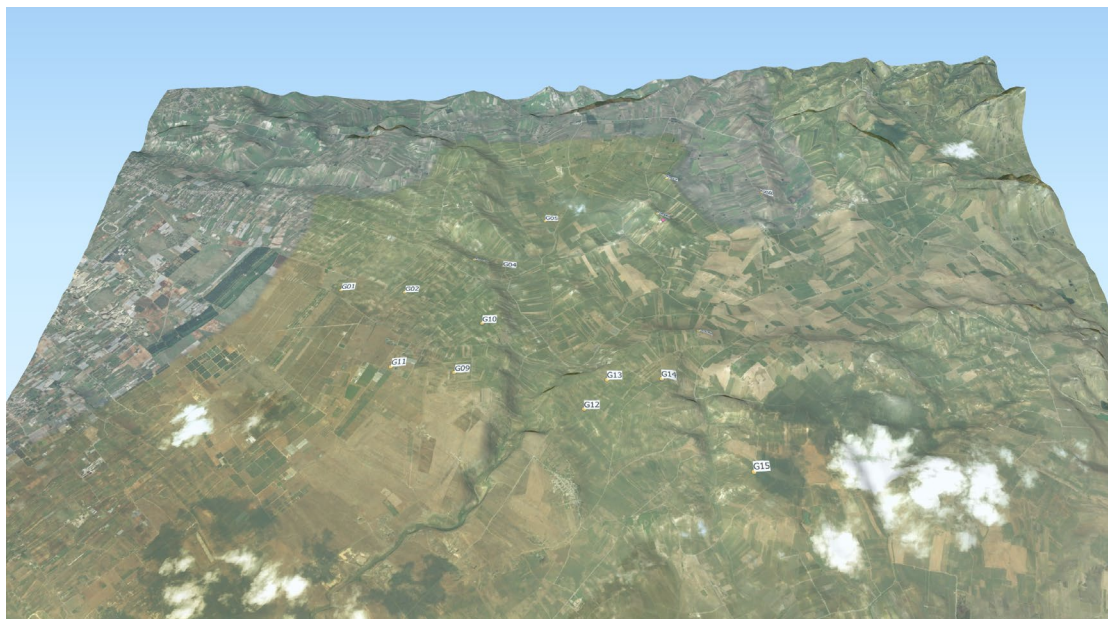


Figura 2-2: Configurazione proposta su ortofoto



Ubicazioni nuovi aerogeneratori e topografia area



Vista 3D area di studio. Scala verticale esagerata x 5 volte al fine di evidenziare le forme del rilievo

### **3. INQUADRAMENTI GENERALI**

#### **3.1. ASPETTI GEOLOGICI E GEOLOGICI STRUTTURALI**

Il settore su cui verranno realizzati i diversi impianti occupa un'ampia parte della Sicilia occidentale compresa tra i monti Sicani occidentali ad est e le aree di pianura costiere tra cui le più ampie sono quelle di Marsala e Mazara del Vallo, rispettivamente ad ovest e a sud dell'area d'interesse.

Da un punto di vista geodinamico la Sicilia si ubica nella parte centro occidentale del Mediterraneo e a tutti gli effetti è un segmento del sistema alpino che si sviluppa lungo il limite tra la placca africana e quella europea.

E' il segmento che collega i rilievi del Maghreb con l'Appennino meridionale attraverso il l'orogene Calabro

Di fatto la catena (compresa la sua parte sommersa) si estendono dal blocco sardo attraverso la Sicilia, fino al settore ionico.

La sua configurazione attuale è legata sia alla fase orogenica alpina (in una prima fase - Paleogene) sia ai movimenti compressivi legati alla rotazione antioraria del blocco Sardo-Corso che a partire dall'Oligocene superiore fino al Miocene inferiore, hanno portato alla collisione del blocco Sardo-Corso con il margine continentale africano.

La formazione della catena è dovuta alla subduzione verso Ovest della litosfera adriatica ed ionica sotto il blocco Sardo-Corso.

Attualmente si sarebbe invece instaurata la subduzione verso ovest del margine africano la cui manifestazione più evidente è il vulcanismo legato all'arco calabro-eolico.

Il piano che ne deriva immerge verso Nord, fino alla profondità di 400 km e sarebbe in accordo con il vulcanismo calcareo delle Isole Eolie.

La subduzione e la formazione della catena sarebbero contemporanee alle fasi distensive di tipo "bacino retro-arco" presenti attualmente nel Mar Tirreno.

La struttura dell'edificio tettonico affiorante in Sicilia è illustrata da profili geologici profondi che attraversano sia la Sicilia occidentale che quella orientale da nord a sud.

Dette sezioni geologiche sono il prodotto delle recenti interpretazioni di numerosi profili sismici a riflessione (AGIP) a partire dai dati stratigrafici, paleomagnetici e strutturali disponibili in letteratura e di quelli reinterpretati provenienti da pozzi esplorativi.

Il loro dettaglio però esula dalla presente relazione.

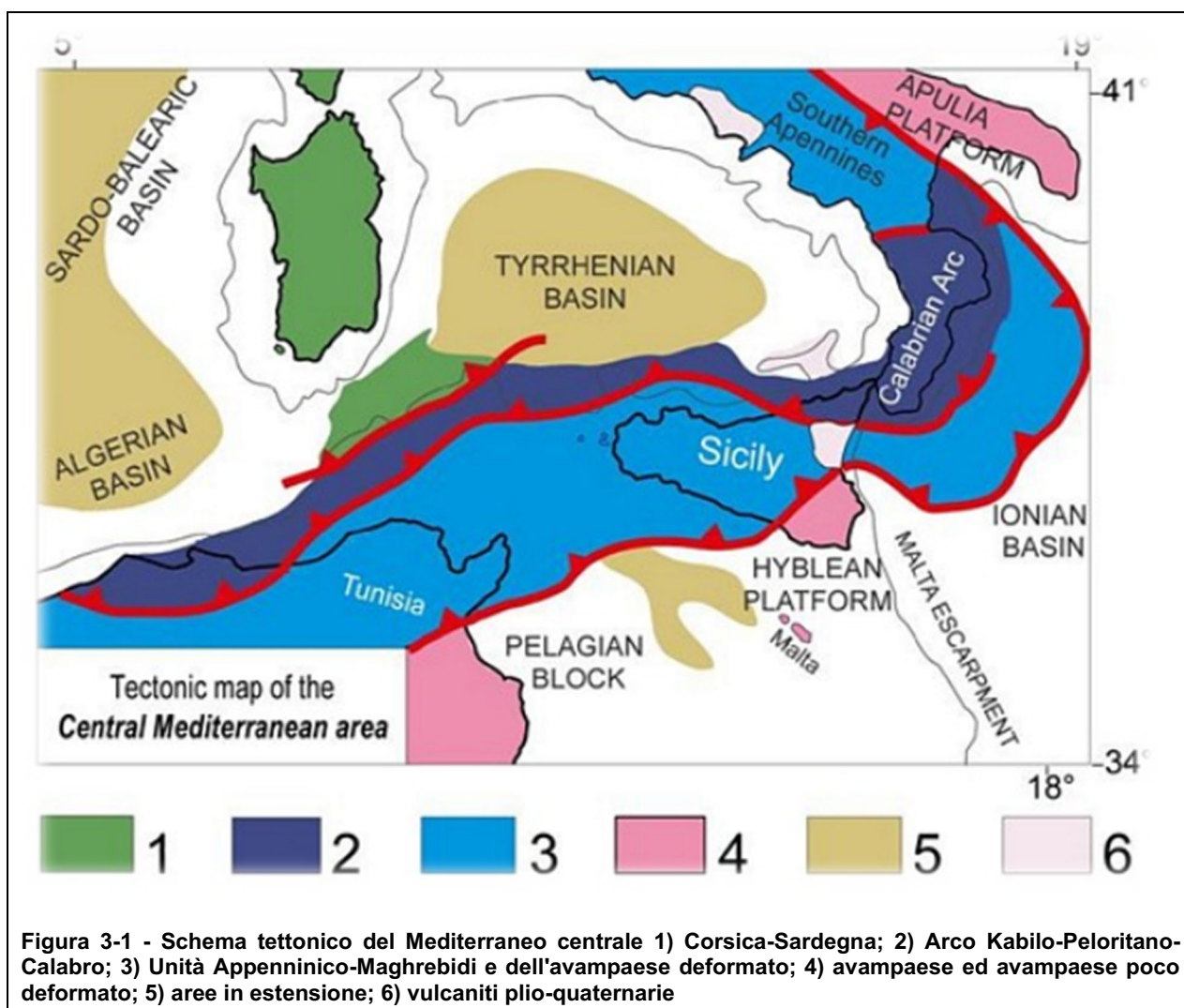
Da un punto di vista geologico le unità tettoniche risultanti da questi processi derivano in gran parte dalla deformazione di successioni carbonatiche, bacinali e di piattaforma e sono

state suddivise in Unità e Domini la cui distribuzione semplificata è riportata in Fig. 2.

Da un punto di vista litologico a livello regionale si evidenzia si registra che rocce di origine sedimentaria sono presenti in gran parte della Sicilia e diffuse in particolare nella parte settentrionale dell'Isola (Monti di Trapani e Palermo, Madonie e Nebrodi), nella parte centrale (Monti Sicani), nella parte meridionale (sedimenti della Fossa di Caltanissetta) e nella parte sud-orientale (Altopiano Ibleo). Le rocce di origine magmatica sono invece localizzate nella parte orientale della Sicilia, in corrispondenza degli attuali apparati vulcanici (Etna Isole Eolie; Ustica e a Pantelleria).

Rocce metamorfiche sono invece presenti nella parte nord-orientale della Sicilia in corrispondenza dei Monti Peloritani.

Quanto evidenziato è il prodotto di una lunga storia geologica che non riveste interesse immediato per la presente, ma che ne ha determinato tuttavia l'assetto attuale.



**Figura 3-1 - Schema tettonico del Mediterraneo centrale 1) Corsica-Sardegna; 2) Arco Kabilo-Peloritano-Calabro; 3) Unità Appenninico-Maghrebidi e dell'avampaese deformato; 4) avampaese ed avampaese poco deformato; 5) aree in estensione; 6) vulcaniti plio-quadernarie**

Per quanto d'interesse si dà invece cenno della situazione più a livello locale, focalizzando l'attenzione sulla parte occidentale della Sicilia e più in particolare sull'area del trapanese.

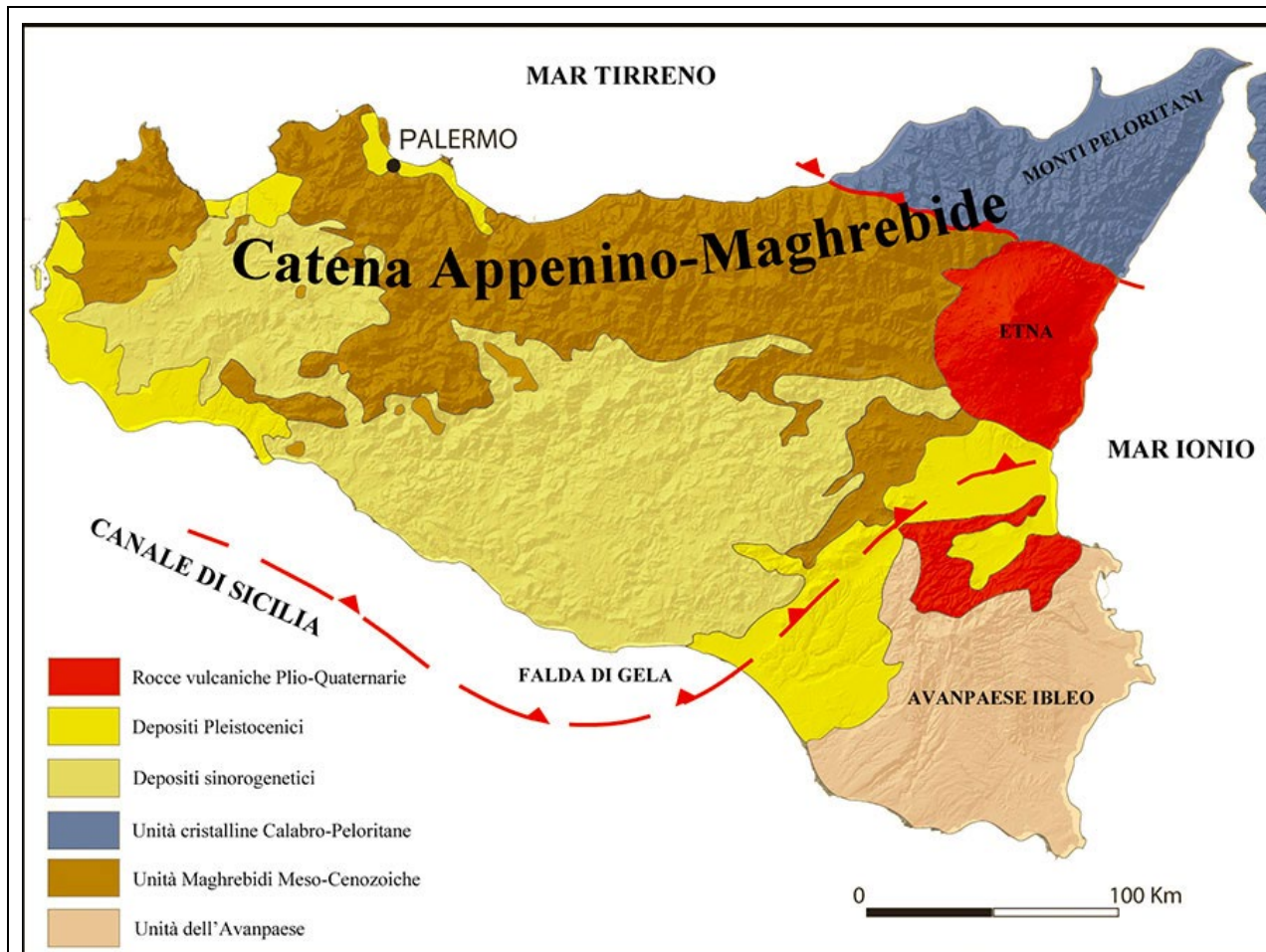
Da questo punto di vista l'assetto strutturale è caratterizzato dalla sovrapposizione di Unità di bacino (quelle "Imeresi" e quelle "Sicane") su un substrato costituito da una successione di embri di piattaforma carbonatica (Saccensi-Trapanesi e probabilmente Panormidi), a loro volta sovrascorse sull'attuale avampaese non deformato Ibleo.

Più in dettaglio l'assetto geologico è il prodotto delle deformazioni che dal Miocene inferiore e medio al Pleistocene inferiore hanno interessato l'intera area con la formazione dell'attuale catena derivante dalla deformazione delle piattaforme carbonatiche Trapanese, Panormide e in parte Saccense, e dei depositi silico-carbonatici del bacino Sicano e del sotto bacino della valle del Belice.

I litotipi che affiorano nell'area coprono un lungo periodo di tempo compreso tra il Trias e il Pleistocene superiore.



Sono di origine francamente marina ed a seguito della trasgressione dovuta all'emersione del rilievo divengono via via di tipo continentale e, fatta eccezione per i depositi permiani della valle del Sosio, rappresentano l'intera sequenza, dal più antico al più recente, delle unità geologiche ad oggi riconosciute nel territorio regionale.



**Figura 3-2 - Schema strutturale semplificato della Sicilia (mod. da Di Stefano et. Al., 2002)**

La successione stratigrafica dei terreni affioranti nell'ambito di riferimento è quella di seguito riportata (dal termine più recente a quello più antico):

- Detrito di falda [Attuale];
- Depositi di spiaggia [Attuale];
- Alluvioni recenti e antiche terrazze in più ordini [Attuale];
- Depositi di fondo valle e depositi terrazzi alluvionali in evoluzione [Attuale];
- Dune, barre marine fluviali, depositi eluviali e colluviali [Attuale];
- Sabbie quarzose eoliche [Wurmiano- Olocene];
- Calcarene di Marsala [Emiliano sup.-Siciliano];
- Conglomerati [Emiliano];
- Calcarene bianco-giallastra, sabbie, conglomerati costituenti terrazzi marini [Pleistocene sup];
- Depositi terrazzati marini costituiti da calcareniti e sabbie con ciottoli [Pleistocene medio-Tirreniano];
- Grande Terrazzo Superiore (G.T.S.) – depositi calcarenitici terrazzati;
- Sabbie quarzose con macrofossili e conglomerati [Pleistocene medio-sup.];
- Travertino [Pleistocene medio-sup.];
- Argille siltose a foraminiferi planctonici [Pleistocene inferiore];
- Arenarie, sabbie giallastre fossilifere con argille e conglomerati alla base (Baglio Chitarra) calcari grossolani e sabbiosi (Partanna) [Pliocene sup.];
- Argille e marne argillose grigio-azzurre fossilifere [Pliocene medio];
- Depositi terrigeni pelitico-arenacei (Formazione Marnoso-arenacea della Valle del Belice) [Pliocene medio-sup.];

- Calcarei teneri e marne calcaree a globigerine-Trubi [Pliocene inf.];
- Gessi selenitici in grossi banchi e gessareniti biancastre, a luoghi alternati con argille gessose [Messinano sup.];
- Biocalcareniti di colore grigio-chiaro di ambiente salmastro con fauna a Melanopsis e Dreissena [Messinano sup.];
- Biolititi a coralli, calcareniti e calciruditi a gasteropodi, lamellibranchi, alghe e briozoi [Messinano];
- Depositi carbonatici e terrigeni costituiti da calcareniti bioclastiche e calcari organogeni a Porites, passanti lateralmente a marne giallastre, calcisiltiti e calcari con intercalazioni marnose [Formazione Calcareo-arenacea di Baucina – Messinano inf.];
- Diatomiti "Tripoli" bianche in affioramento, strati silicei e marnosi bianchi intercalati [Messinano inf.];
- Argille grigie [Messinano inf.]
- Corpo carbonatico massiccio biocostruito con organismi in posizione di vita rimaneggiati (Fm. Terravecchia) [Tortoniano sup.-Messinano inf.];
- Argille e argille sabbiose a foraminiferi, lamellibranchi, gasteropodi, ostracodi [Formazione di Terravecchia – Tortoniano sup.-Messinano inf.];
- Prevalenti conglomerati rossastri con livelli di sabbie e peliti (Fm. Terravecchia) [Tortoniano sup.-Messinano inf.];
- Arenarie e conglomerati quarzosi intercalati nelle marne di S. Cipirrello [Langhiano sup-Tortoniano];
- Argille, argille sabbiose e marne a foraminiferi planctonici con intercalazioni di arenarie e conglomerati [Formazione di San Cipirrello – Langhiano sup-Tortoniano];
- Argille e argille marnose di colore grigio-verdastro con granuli di glauconite [Langhiano sup.-Tortoniano inf.];
- Depositi terrigeni costituiti da calcareniti glauconitiche con alla base conglomerato o breccia poligenica e noduli fosfatici [Burdigaliano- Tortoniano];
- Marne, argille marnose e argille di colore grigio verdastro [Burdigaliano- Tortoniano];
- Quarzo areniti in grossi banchi, calcareniti e calciruditi compatte con glauconite e livelli di marne e argille marnose [Burdigaliano-Langhiano basale];
- Argilliti siltose di colore dal grigio-piombo al giallo-ocra [Formazione di Collegano – Oligocene sup-Miocene inf.];
- Calcari marnosi bianchi fossiliferi, spesso a stratificazione incrociata della zona a S.E. di Partanna [Oligocene];
- Biocalcareniti, biocalciruditi e calciruditi a macroforaminiferi [Formazione di Monte Bonifato – Eocene sup-Oligocene];
- Calcareniti intraclastiche di colore variabile dal grigio-chiaro al grigio – scuro nella parte medio alta della successione [Cretaceo sup.- Oligocene inf.];
- Calcilutiti (tipo Scaglia) con noduli e liste di selce di colore variabile dal bianco al rosso [Cretaceo sup.- Oligocene inf.];
- Calcari marnosi e marne grigio-cenere [Cretaceo sup.-Oligocene];
- Alternanza di marne calcaree grigio-chiare o verdastre e argilliti nerastre fissili di ambiente atossico, con noduli di calcopirite (Fm. Hybla) [Cretaceo inf.];
- Depositi pelagici tipo Lattimusa a stratificazione tabulare, caratterizzati da calcilutiti di colore bianco [Titanico-Neocomiano];
- Lave basaltiche a pillow (Monte Bonifato) [Dogger-Titonico];
- Depositi carbonatici a geometria tabulare di colore variabile dal nocciola, al grigio, al rosso, passanti verso l'alto a depositi con struttura nodulare [Dogger-Malm inf.];
- Depositi carbonatici grigio-chiaro a granulometria fine, di mare basso, a geometria tabulare, talvolta luoghi dolomitizzati [Trias sup.-Lias inf.].

La successione riportata è molto ampia e dettagliata ed è indice del fatto che, pur nella linearità della suddivisione geologica in Unità, la realtà è che sia a livello formazionale che litologica la variabilità dei litotipi e dei terreni affioranti nell'area è elevata e di tale varietà andrà tenuto attento conto nella definizione delle caratteristiche dei singoli siti individuati, anche per quanto in argomento agli aspetti legati alla litologia superficiale.

I termini sottolineati in elenco sono affioranti nel settore in corso d'indagine.

Lo stesso grado di complessità si evidenzia a livello strutturale.

In questa area si individuano termini che fanno parte dell'edificio tettonico che costituisce una buona parte del rilievo della Sicilia occidentale.

Alla base si individua un cuneo di accrezione dello spessore di circa 7-8 km costituito da scaglie di piattaforma carbonatica meso-cenozoica (Unità Panormidi, Trapanese-Saccensi).

Al di sopra un complesso dello spessore variabile da 1 a 3 km formato da rocce carbonatiche e clastiche di bacino di età compresa tra il Giurassico sup. ed il Miocene medio (Unità Pre-Panormidi che sovrascorrono le Unità Trapanesi) costituite da successioni marine del Tortoniano sup.-Pleistocene medio prodotti di riempimento di bacini sintettonici.

Il cuneo tettonico di piattaforma carbonatica consiste di unità immergenti verso nord e organizzate in ampie anticlinali, il nucleo di queste pieghe si estende verso la Sicilia sud occidentale e culmina con l'alto morfologico di Montagna Grande (Calatafimi), dove lo spessore dei due corpi carbonatici si aggira attorno agli 8 km.

Lo scollamento delle coperture cretaceo-mioceniche si è probabilmente verificato prima e/o durante la messa al posto delle Unità carbonatiche.

Le strutture precedentemente formatesi come l'avampaese del tempo (Unità Trapanesi-Saccensi) vengono successivamente e progressivamente deformate o riattivate della tettonica transpressiva durante il Pliocene-Pleistocene inferiore.

A testimonianza delle varie fasi di sollevamento si rilevano nell'area numerose faglie e sovrascorrimenti, più evidenti nelle successioni meso-cenozoiche carbonatiche di Montagna Grande, Monte Bonifato, Monte Barbaro.

Dal punto di vista della sedimentazione i terreni sin e tardo-orogenici sono rappresentati dalle ruditi, areniti e peliti della Formazione Terravecchia del Tortoniano superiore-Messiniano inferiore, dalle evaporiti messiniane e dalle biolititi a coralli, calcareniti e calciruditi ricche in fossili marini.

Si sovrappongono poi le marne a globigerine (Trubi) del Pliocene inferiore e le potenti sequenze arenitiche e pelitiche della Formazione Marnoso-Arenacea della Valle del Belice riferibile al Pliocene medio - Pleistocene inferiore. Chiudono le sequenze d'origine marina le calcareniti di Marsala, le arenarie e i conglomerati del Grande Terrazzo Superiore, formati in conseguenza ai cicli di gelo e disgelo del wurmiano, i conglomerati e le sabbie dei terrazzi marini del Pleistocene superiore.

### **3.2. ASPETTI GEOMORLOGICI**

A questo aspetto si dà un cenno solamente generale, perché gli aspetti particolari verranno trattati in relazione alle singole ubicazioni individuate.

Da un punto di vista generico si può affermare che la morfologia dell'area varia tra zone a carattere basso-medio collinare, localizzate nelle aree più interne, in corrispondenza degli affioramenti di natura argilloso-marnosa, e una morfologia di tipo tabulare in presenza dei depositi calcarenitici terrazzati che, per la loro consistenza lapidea e per la loro geometria, offrono una buona resistenza all'erosione.

Le zone topograficamente più basse o prossime al mare, assumono una conformazione uniforme dovuta al livellamento operato dall'azione erosiva delle acque che ha formato, in epoche passate, morfologie sub pianeggianti e terrazzate; si ha di conseguenza una scarsa, o pressoché nulla, degradabilità dei versanti ad opera della gravità ed una intensa utilizzazione del suolo per usi agricoli. L'influenza della litologia sulle caratteristiche morfologiche del paesaggio è determinante a causa della differenza di comportamento rispetto all'erosione dei vari litotipi affioranti.

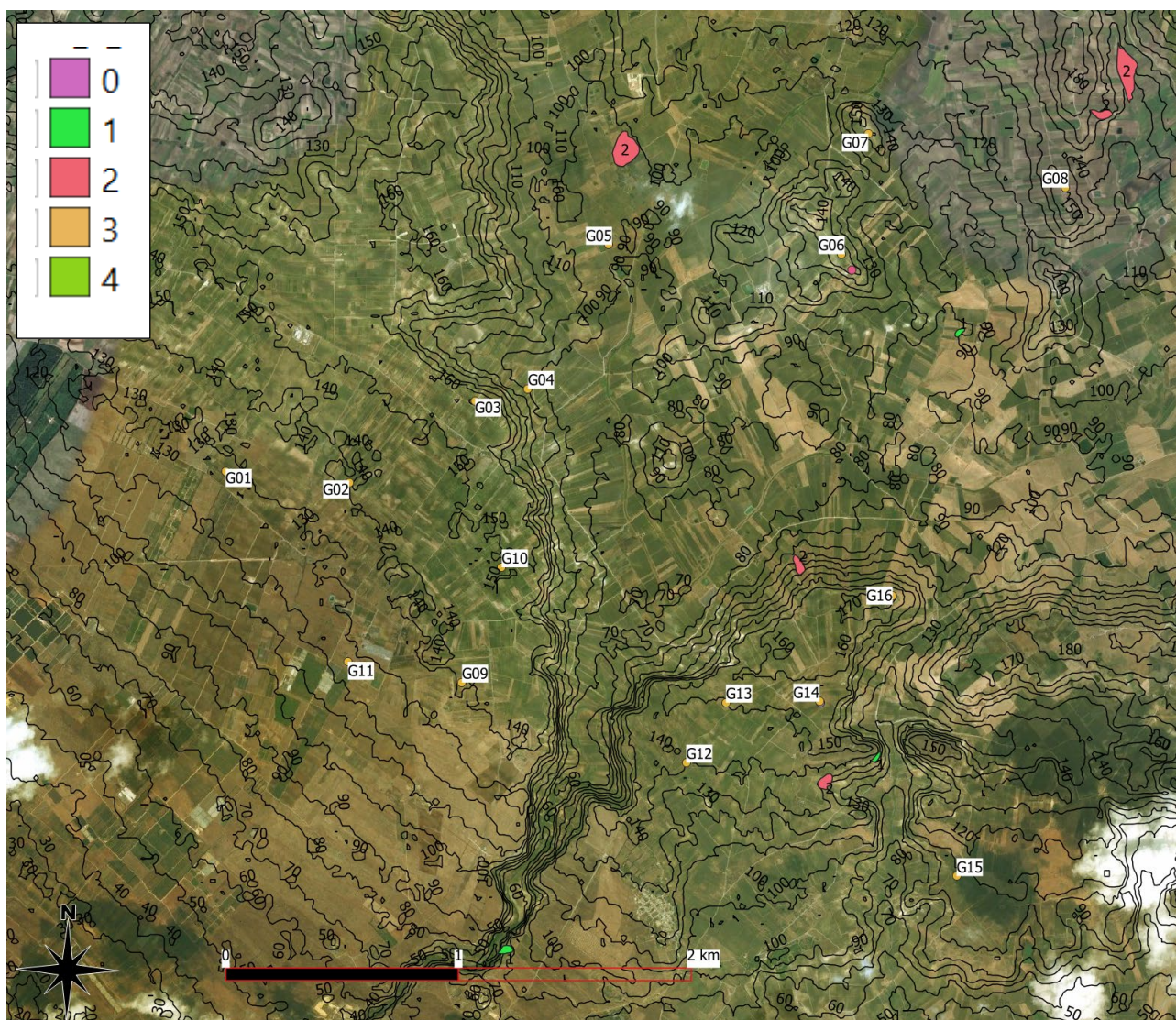
Per le aree di pianura invece, specie quella degradante verso Mazzara del Vallo, il territorio non mostra particolare complessità, essendo le pendenze particolarmente modeste e uniformemente distribuiti i litotipi.

Anche in questo caso i principali processi superficiali evidenziando quanto siano essenziali i rapporti fra morfologia, struttura geologica e caratteristiche litologiche dei terreni in affioramento.

Argomento a parte sono le forme determinate dall'attività antropica.

#### **3.2.1. RISCHIO GEOMORFOLOGICO**

In base ai dati del SIT della regione Sicilia, le forme di dissesto rischio cartografato si riconducono sostanzialmente a pochi fenomeni in classe di pericolosità 2 (media) come riportato nell'estratto cartografico riportato di seguito



**Figura 3-3 - Ubicazione aree ricadenti in classi di pericolosità geomorfologica**

### 3.3. ASPETTI IDROGEOLOGICI GENERALI

Data l'estensione dell'area ed il carattere preliminare della presente si dà cenno solo agli aspetti idrogeologici relativi alle aree di pianura riservandosi altre riflessioni sulla presenza di falda nelle aree rilevate a seguito di un'analisi più dettagliata seguente ad indagini sito specifiche.

Le caratteristiche idrogeologiche derivano da quelle geologiche, pertanto dal punto di vista geografico la zona è caratterizzata da un'estesa pianura costituita da un complesso calcarenitico permeabile per porosità che poggia, su una serie di argille e argille sabbiose di età pliocenica che fungono da limite impermeabile.

La falda idrica quindi è strettamente connessa con l'estensione, lo spessore dei depositi e gli apporti locali dei singoli livelli calcarenitici.

Nello specifico, le incisioni dei Fiumi Mazaro e Sossio (rispettivamente nel territorio di Mazara del Vallo e di Marsala) suddividono la coltre permeabile calcarenitica in bacini idrogeologici separati tra loro, mettendo a nudo il substrato argilloso.

Naturalmente i ridotti afflussi meteorici locali (488 mm/anno) e le elevate temperature medie annue influiscono negativamente sulla potenzialità idrica, favorita anche da un'elevata evapotraspirazione (81,5%).

L'acquifero principale è quindi rappresentato dal complesso calcarenitico-sabbioso e dalle limitate (per estensione e spessore) successioni di depositi fluviali, all'interno dei quali è presente un'attiva circolazione idrica sotterranea, alimentata dall'afflusso meteorico.

L'acqua piovana, trattandosi di terreni con un grado di permeabilità medio-alto (tra 10-1 e 10-4 cm/sec) tende a defluire liberamente attraverso pori e micropori, dando luogo ad una

falda a libera con moto idraulico di tipo laminare.

La falda ha una profondità variabile da 0 a -43 m dal p.c., il cui limite impermeabile è dato dal substrato prevalentemente pelitico o marnoso, caratterizzato da valori di permeabilità molto più bassi (tra 10-4 e 10-6 cm/sec) che funziona da acquiclude.

Lo spessore della frangia capillare può subire variazioni in relazione alla percentuale di frazione fine all'interno del deposito, ma generalmente non supera qualche decina di centimetri.

I moti di filtrazione che sono di tipo laminare lasciano presupporre l'assenza di brusche variazioni del gradiente idraulico all'interno degli acquiferi, che sono invece tipici di mezzi fratturati.

#### **4. ANALISI DETTAGLIATE DELLE AREE**

##### **4.1. ASPETTI GENERALI**

Come detto per l'analisi geologica si è fatto riferimento interamente a dati bibliografici ed alle esperienze acquisite dagli Scriventi in situazioni litologiche morfologiche del tutto simili a quelle oggetto della presente analisi.

Come base cartografica tematica è stata usata quella pubblicata dalla Regione Sicilia in allegato al Piano Paesaggistico la cui scala e dettaglio sono state ritenute ottimali per lo scopo della presente.

Come verifica del rilievo e come base esperienziale per l'analisi sono state utilizzate le immagini da satellite disponibili compatibilmente con il loro aggiornamenti.

Per la stima dei parametri geotecnici si è fatto riferimento a dati da bibliografia e i dati disponibili delle recenti indagini.

Per il calcolo dei parametri indiretti ci si è riferiti ad abachi e relazioni che vengono citati in dettaglio singolarmente per i vari casi ove necessario.

Stessa tipologia di metodo è stata utilizzata per la verifica degli aspetti sismici.

Va comunque ribadito che data la complessità strutturale e litologica riscontrata e dato il fatto che la definizione dei vari litotipi che costituiscono il substrato al di sotto delle varie torri considerate, è frutto dell'analisi di una carta geologica restituita al 50.000 rappresentata su una base cartografica al 25.000; la precisione raggiunta non è molto elevata; i limiti formazionali possono quindi essere considerati come indicativi.

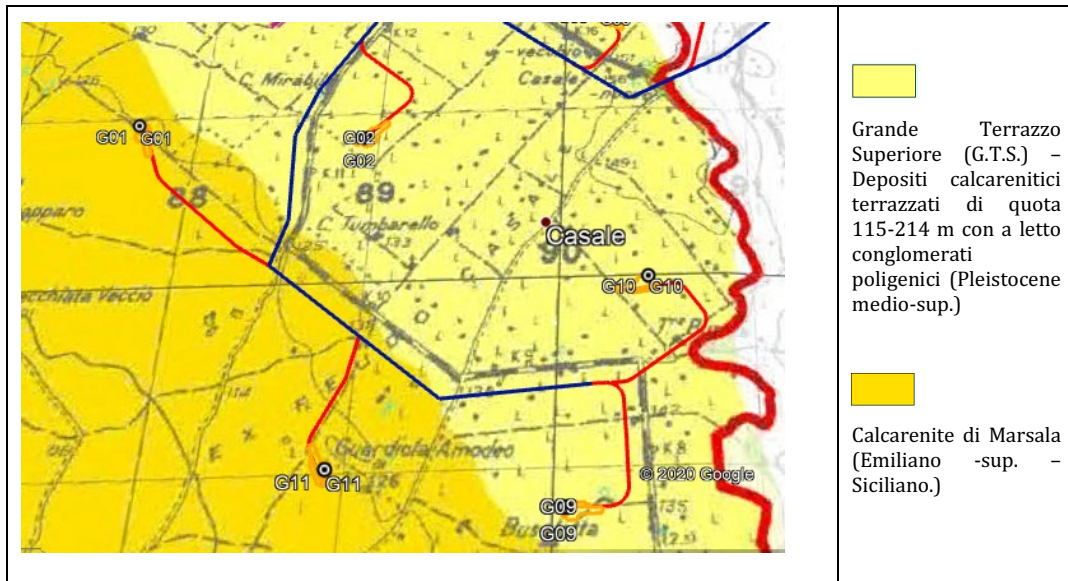
Pertanto tutte le definizioni litologiche individuate su tale base andranno necessariamente verificate e validate da una apposita compagna di rilevamento e di indagine sito specifica.

Nella compilazione delle schede il suolo in tutti i casi non è stato né considerato, né caratterizzato perché sicuro oggetto di scotico.

##### **4.2. ANALISI AREA PER AREA**

###### **4.2.1. GRUPPO 1 – TORRI G01, G02, G09, G10, E G11 – CASALE**

<b>WTG</b>	<b>Comune</b>	<b>Est [m]</b>	<b>Nord [m]</b>	<b>Altitudine [m s.l.m.]</b>
<b>G01</b>	Mazara del Vallo	287696,01	4180827,02	126
<b>G02</b>	Mazara del Vallo	288950,00	4180709,97	138
<b>G09</b>	Mazara del Vallo	290093,66	4178683,76	140
<b>G10</b>	Mazara del Vallo	290497,03	4179852,00	146
<b>G11</b>	Mazara del Vallo	288936,30	4178894,08	124



Da un punto di vista litologico gli areogeneratori ubicati in quest'area è conveniente che vengano suddivisi in due sottogruppi: il primo, Torri G01, G02, G09 e G10 caratterizzato da un substrato calcarenitico appartenente alla Formazione del Grande Terrazzo Superiore; l'altro (Torre G11) in cui il substrato, sempre di tipo calcarenitico, ma appartenente alla Formazione della Calcarenite di Marsala.

Come conseguenza, tenuto conto dei fenomeni morfici agenti sul substrato, il basamento roccioso è ricoperto da uno strato eluviale di medio spessore costituito da scaglie e frammenti da angolari a sub-angolari di dimensioni centimetriche derivanti dal disfacimento del substrato stesso in parte alterate per argillificazione ed ossidazione da "e" a "con" limo sabbioso argilloso da debolmente umido a umido dello spessore massimo di 2-3 m. Il substrato è costituito da calcareniti a cemento carbonatico da litoidi a litici

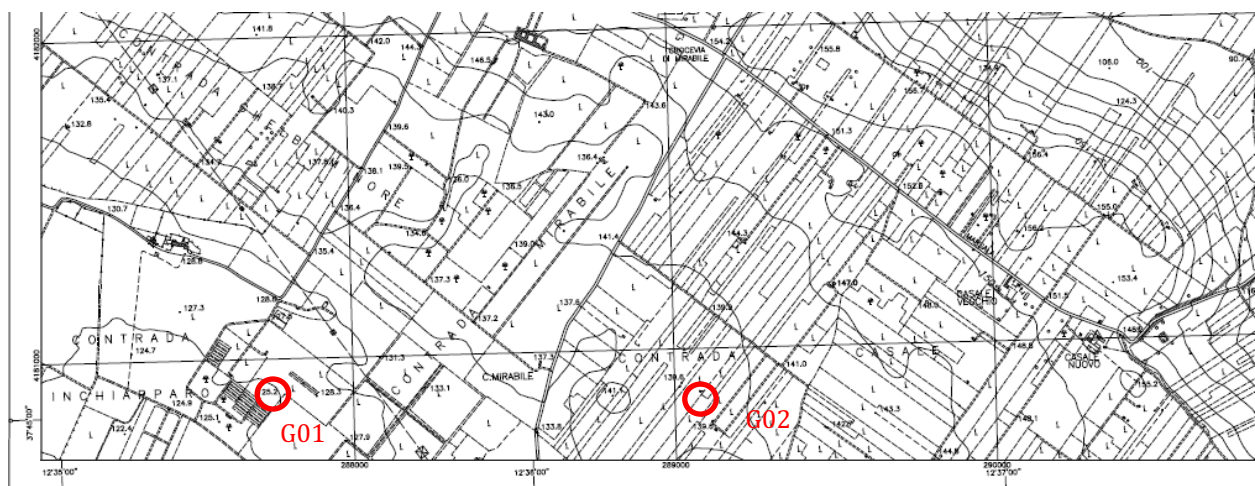
Annotazioni geomorfologiche: le opere in progetto si ubicano su un alto topografico caratterizzato da un versante con declivio dolce e graduale.

Le forme del rilievo non sono indice di fenomeni morfici attivi, L'area risulta stabile.

I corsi d'acqua presenti sono temporanei e le aste sono di primo grado e mostrano un grado di maturità molto basso.

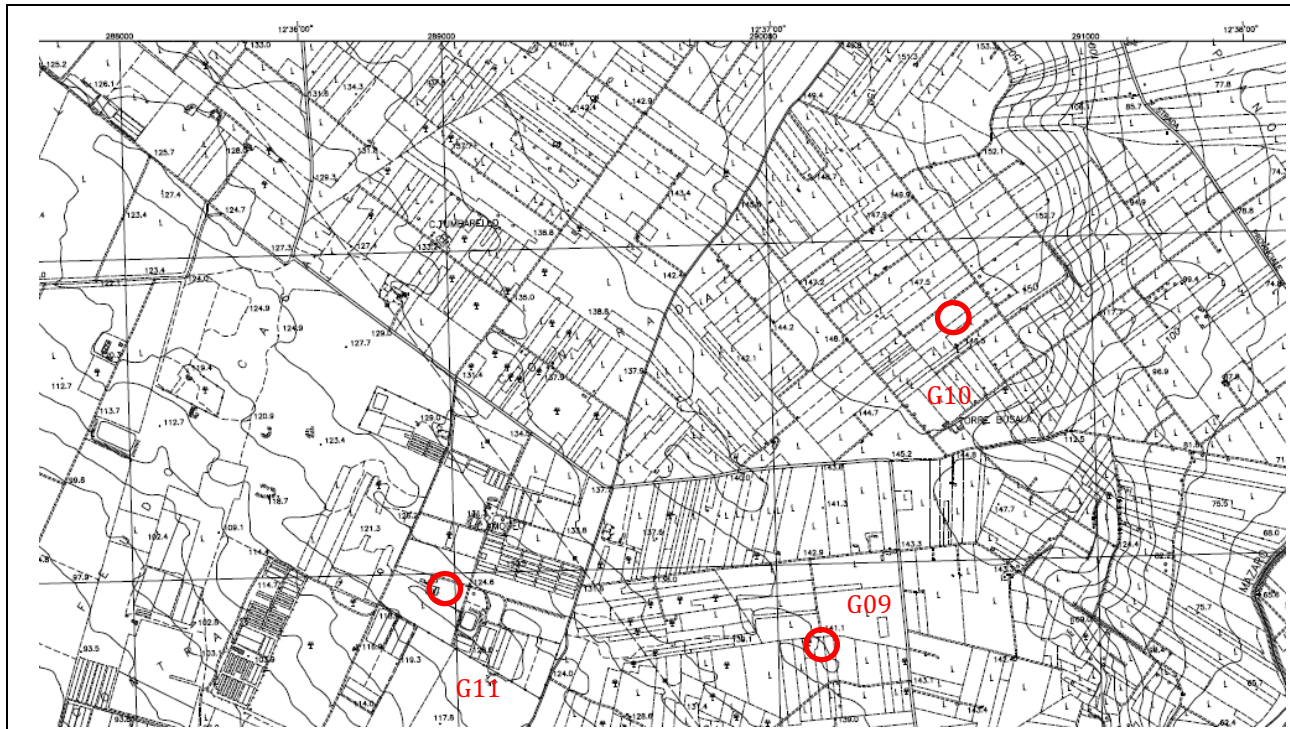
La zona in prima analisi è esente da rischi in atto e/o quiescenti nell'immediato e nel medio periodo.

### UBICAZIONI di DETTAGLIO



**Località Contrata CASALE**

*Sezione C.T.R. Regione Sicilia N:°617.030*



**Località BUSALOTTO**

*Sezione C.T.R. Regione Sicilia N:°617.080*

*(Estratti non in scala)*

NOTE DI COMMENTO SPECIFICHE: come visto la morfologia del rilievo locale è caratterizzata da forme con un declivio molto lieve.

Le cinque torri sono ubicate tutte sul fianco dei vari rilievi che hanno asse prevalentemente Nord/Est – Sud/Ovest lungo i paralleli, nei pressi delle sommità.

Non si hanno (a questa scala evidenze nei pressi delle opere della presenza di corsi d'acqua che possano originare fenomeni erosivi lineari, esiste però l'erosione superficiale diffusa a causa del dilavamento in parte calmierato dall'effetto protettivo determinato dalla presenza della copertura vegetale.

Come conseguenza dei fenomeni sopra descritti c'è da attendersi che il substrato roccioso in posto sia ricoperto da una spessa copertura eluviale derivata dal disfacimento dello stesso a sua volta coperto dal vero e proprio suolo.

L'alterazione per argillificazione ed ossidazione dovuta alla circolazione idrica ed all'azione termochimica è favorita in linea di principio anche dall'elevata fratturazione dei litotipi dovuta alla tettonica passata e presente.

In relazione alla geometria del substrato ed all'orientazione dei sistemi di fratture presenti nell'ammasso roccioso l'alterazione può penetrare anche in profondità nell'ammasso, pertanto (data l'altezza significativa dell'opera in progetto è opportuno prevedere la realizzazione di opere di fondazione profonde.

Qui di seguito si dà illustrazione di "stratigrafie tipo" presunte, stilate su base bibliografica ed esperienziale e confortate soprattutto da considerazioni di natura geologica morfologica. Il dettaglio è volutamente non elevato, in esse si distinguono i vari litotipi sulla base della loro origine e sul loro significato stratigrafico (suolo, copertura, regolite e substrato).

Il suolo come detto viene trascurato perché sicuramente oggetto di scotico (quindi non viene riportato – si ipotizza una profondità di scotico di 50 cm per ogni sito).

Si ribadisce una volta di più che, trattandosi di valori bibliografici, gli stessi possono essere utilizzati unicamente per una fase di progettazione preliminare.

Per progettazioni più approfondite occorrerà provvedere a realizzare apposite campagne d'indagine sito specifiche, utili alla determinazione di dettaglio di tutti i parametri necessari.

**4.2.1.1. Torri G01, G02, G09 E G10**

Posto quanto sopra illustrato e tenendo presente che è possibile fare la valutazione sono su

base bibliografica, la modellazione del substrato dal punto di vista litologico consiste in un modello a 3 strati così ipotizzati:

STRATO 01 da 0,50 m a 4,00 m: *strato eluviale* costituito da *scaglie e frammenti da angolari a subangolari di dimensioni centimetriche di arenaria* derivanti dal disfacimento del substrato stesso (in parte alterate per argillificazione ed ossidazione) da "e" a "con" limo sabbioso argilloso da debolmente umido a umido dello spessore massimo di 2 - 4 m - **TERRENO TIPO 1**;

STRATO 02 da 2,00 a 4,00 m: *regolite*, costituito da *ciottoli, blocchi, scaglie e frammenti in parte argillificati ed ossidati di arenaria con sabbia media e grossa con limo*. La frazione tende a diminuire con l'aumentare della profondità e parallelamente - **TERRENO TIPO 2**;

STRATO 03 oltre i 6,00 m: *substrato roccioso* costituito da *calcareniti medio grossolane, gradate, da semilitoidi a litoidi, molto fratturate ed in parte alterate* - **Grande Terrazzo Superiore (G.T.S.) (Pleistocene medio-sup.) - TERRENO TIPO 8**;

#### 4.2.1.2. Torre G11

Posto quanto sopra, la modellazione del substrato dal punto di vista litologico consiste in un modello a 3 strati così ipotizzati:

STRATO 01 da 0,50 m a 4,00 m: *strato eluviale* costituito da *scaglie e frammenti da angolari a subangolari di dimensioni centimetriche di arenaria* derivanti dal disfacimento del substrato stesso (in parte alterate per argillificazione ed ossidazione) da "e" a "con" limo sabbioso argilloso da debolmente umido a umido dello spessore massimo di 2 - 4 m - **TERRENO TIPO 1**;

STRATO 02 da 4,00 a 6,00 m: *regolite*, costituito da *ciottoli, blocchi, scaglie e frammenti in parte argillificati ed ossidati di arenaria con sabbia media e grossa con limo*. La frazione tende a diminuire con l'aumentare della profondità e parallelamente - **TERRENO TIPO 2**;

STRATO 03 oltre i 6,00 m: *substrato roccioso* costituito da *calcareniti medio grossolane, gradate, da semilitoidi a litoidi, molto fratturate ed in parte alterate* - **Calcarenite di Marsala (Emiliano -sup. - Siciliano) - TERRENO TIPO 10**.

Qui di seguito sotto forma tabellare si forniscono i principali parametri geotecnici (su base bibliografica) utili alla sola progettazione preliminare delle varie opere. La tabella qui di seguito riporta i dati di riferimento per i terreni di Tipo 1 e 2 e per il substrato costituito da arenarie da litoidi a litiche appartenenti alle arenarie da litoidi a litiche appartenenti al Grande Terrazzo Superiore (G.T.S.) (Pleistocene medio-sup.), Tipo 3 ed alle Calcarenite di Marsala (Emiliano Sup. -Siciliano) Tipo 4.

Simbolo	Parametro	[u.m.]	TERRENO 1 Copertura	TERRENO 2 Regolite	TERRENO 8 Grande Terr. Sup.	TERRENO 10 Calc. Di Marsala.
" $\gamma$ "	Peso di volume	[Ton/m <sup>3</sup> ]	1,87	2.18	2.09	2,23
" $\phi$ "	Angolo di attrito	[°]	33	36	34	44
"c"	Coesione	[Kg/cm <sup>2</sup> ]	2,255	4,0	0	0
Dr	Densità relativa	[%]	86	90	85	100
M	Modulo di elasticità	[MPa]	10	24	20	45
" $\mu$ "	Coeff. di Poisson	[-]	0,3	0,4	-	-
k <sub>w</sub>	Coeff. di Winkler	[Kg/cm <sup>3</sup> ]	18	25	12	15







Simbolo	Parametro	[u.m.]	TERRENO 1 Copertura	TERRENO 2 Regolite	TERRENO 8 Grande Terr. Sup.	TERRENO 10 Calc. Di Marsala.
V <sub>s</sub>	Velocità sismica	[m/sec]	165	220	380	2.850

**4.2.2. GRUPPO 2 – TORRI G03, G04, G05, E G06 – BAGLIO LUDEO MAGGIORE**

WTG	Comune	Est [m]	Nord [m]	Altitudine [m s.l.m.]
<b>G03</b>	Mazara del Vallo	290225,73	4181539,98	154
<b>G04</b>	Mazara del Vallo	290763,09	4181661,90	98
<b>G05</b>	Mazara del Vallo	291582,00	4183123,00	92
<b>G06</b>	Mazara del Vallo	293941,43	4183028,60	146



-  Depositi di fondovalle e terrazzi alluvionali in evoluzione
-  Grande Terrazzo Superiore (G.T.S.) - Depositi calcarenitici terrazzati di quota 115-214 m con a letto conglomerati poligenici (Pliocene medio-sup.)
-  Depositi terrigeni pelitico-arenacei - Fm. Marnoso-Arenacea della Valle del Belice (Pliocene medio-sup.)
-  Calcari teneri e marne calcaree a globigerine - Trubi (Pliocene inf.)

Da un punto di vista litologico gli areogeneratori ubicati in quest'area: Torri G03, G04, G05 e G06 sono, con l'eccezione parziale dei depositi alluvionali che occupano l'area di pianura su cui si ergerà la torre G05, caratterizzati da un substrato roccioso che è presumibilmente ricoperto da uno strato eluviale di medio spessore costituito da scaglie e frammenti da angolari a subangolari di dimensioni centimetriche derivanti dal disfacimento del substrato stesso in parte alterate per argillificazione ed ossidazione da "e" a "con" limo sabbioso argilloso da debolmente umido a umido dello spessore, in base ai dati di letteratura disponibili, massimo di 2-4 m.

Il substrato è, nel caso, costituito da flysh arenacei caratterizzati da argilliti alternate a sottili strati più competenti di arenaria medio fine, da litoide a semilitoide di dimensioni decimetriche.

Il litotipo è però molto fratturato ed in parte alterato per argillificazione ed ossidazione - Formazione marnoso arenacea della Valle del Belice (Pliocene medio-sup.).

Da un punto di vista geomorfologico generale le opere in progetto sono situate in un settore percorso da un corso d'acqua, il torrente Ludeo, tributario di destra del Torrente Bucari, regimato artificialmente.

Le torri (con la sola eccezione della G05, situata nella piana) verranno ubicate su una serie di rilievi che circondano il fondovalle percorso dal Torrente Bucari e dai suoi tributari.

Il rilievo è costituito da una serie di colline a bassissima pendenza, le forme sono ampie a definire ondulazioni a lunghezza d'onda elevata.

Il rilievo è comunque generalmente "mosso" da piccole ondulazioni originatesi in tempi

recenti e testimoni di antichi alti morfologici oramai erosi.

L'area non mostra fenomeni morfologici attualmente attivi, è quindi stabile. I corsi d'acqua presenti sono costituiti da aste comprese tra il primo e il terzo grado ma non sono maturi anche perché a prevalente regime temporaneo.

La zona in prima analisi è esente da rischi in atto e quiescenti nell'immediato e medio periodo.

**NOTE DI COMMENTO SPECIFICHE:** come visto la Torre G05 è situata in un'area di fondovalle molto ampia e caratterizzata da debole pendenza in direzione Sud, va detto che l'area è completamente antropizzata e deputata attualmente alla produzione agricola.

Il reticolo superficiale originale è completamente obliterato e trasformato in un sistema organizzato di canali e piccoli scoli.

Il rilievo è comunque generalmente "mosso" da piccole ondulazioni originatesi in tempi recenti e testimoni di antichi terrazzi di origine alluvionale.

La morfologia è quindi tipicamente di pianura. Le altre torri sono ubicate invece su piccoli rilievi che bordano il fondovalle.

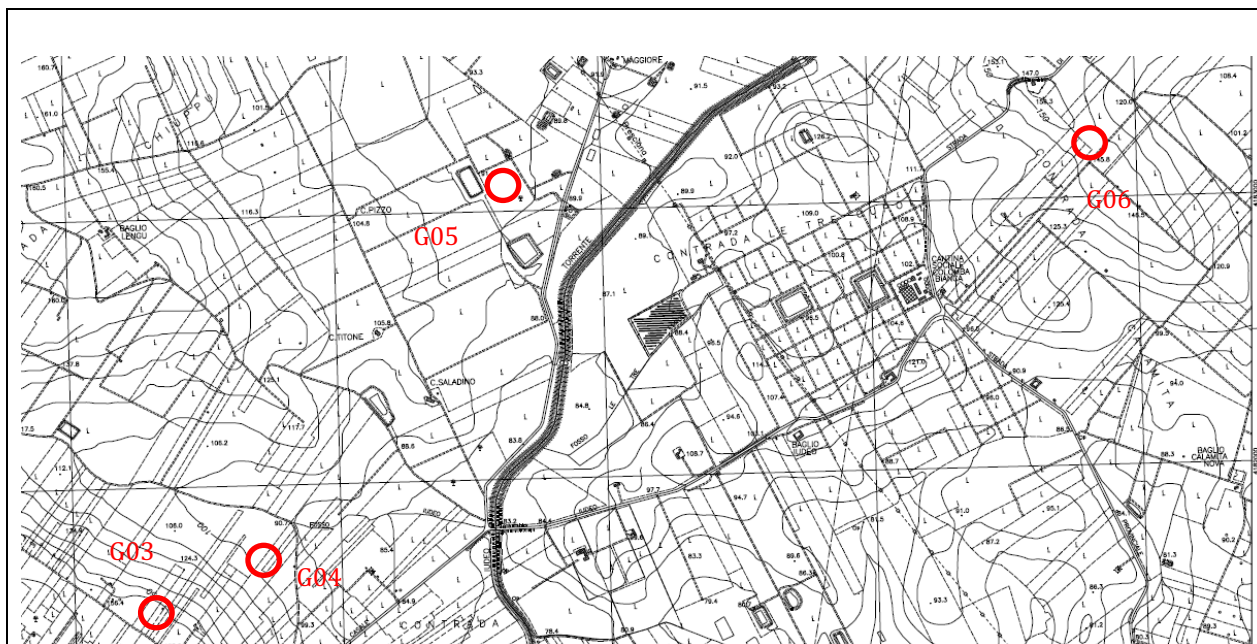
Le colline hanno morfologia dolce, i versanti sono a debole inclinazione, l'asse del rilievo ha prevalente direzione Nord/Ovest - Sud/Est.

Non sono evidenti fenomeni morfologici attivi, ciò nonostante occorre considerare però in sede di progettazione opere utili alla protezione delle strutture dall'erosione operata dalle acque dilavanti, l'erosione causata dal dilavamento superficiale solo in parte calmierato dall'effetto protettivo determinato dalla presenza della copertura vegetale.

Il substrato è costituito dappertutto da un materasso eluviale costituito da terreni granulari a clasti prevalentemente carbonatici dello spessore presunto di circa 2/4 m al di sotto del quale si incontra il substrato, in gran parte alterato per argillificazione ed ossidazione costituito in questo caso dai Flysh della Valle del Belice.

L'alterazione per argillificazione ed ossidazione dovuta alla circolazione idrica ed all'azione termochimica è favorita in linea di principio anche dall'elevata fratturazione dei litotipi dovuta alla tettonica passata e presente.

In relazione alla geometria del substrato ed all'orientazione dei sistemi di fratture presenti nell'ammasso roccioso l'alterazione può penetrare anche in profondità nell'ammasso, pertanto (data l'altezza significativa delle opere in progetto è opportuno prevedere la realizzazione di opere di fondazione profonda.



### **Località Baglio Ludeo Maggiore**

**Sezione C.T.R. Regione Sicilia N:° 617.040**

*(Estratto non in scala)*

Qui di seguito si dà illustrazione della "stratigrafia tipo" entrambe presunte, stilate su base bibliografica ed esperienziale e confortate soprattutto da considerazioni di natura geologica morfologica.

Il dettaglio è volutamente non elevato, in esse si distinguono i vari litotipi sulla base della loro origine e del loro significato stratigrafico (suolo, copertura, regolite e substrato). Il suolo come detto viene trascurato perché sicuramente oggetto di scotico (quindi non viene riportato – si ipotizza una profondità di scotico di 50 cm per ogni sito). Si ribadisce una volta di più che, trattandosi di valori bibliografici, gli stessi possono essere utilizzati unicamente per una fase di progettazione preliminare. Per progettazioni più approfondite occorrerà provvedere a realizzare apposite campagne d'indagine sito specifiche

Posto quanto sopra illustrato per le torri G03 e G04 e tenendo presente che è possibile fare la valutazione su base bibliografica e limitatamente alle Torri G06 e G07 sulla base della stratigrafia del sondaggio S 02, la modellazione del substrato dal punto di vista litologico consiste in un modello a 3 strati così ipotizzati:

STRATO 01 da 0,50 m a 4,00 m: *strato eluviale* costituito da *scaglie e frammenti da angolari a subangolari di dimensioni centimetriche di arenaria* derivanti dal disfacimento del substrato stesso (in parte alterate per argillificazione ed ossidazione) *da "e" a "con" limo sabbioso argilloso da debolmente umido a umido* dello spessore massimo di 2 - 4 m – **TERRENO TIPO 1**;

STRATO 02 da 2,00 a 4,00 m: *regolite*, costituito da *ciottoli, blocchi, scaglie e frammenti in parte argillificati ed ossidati di argillite ed arenaria con argilla sabbiosa con limo*. La frazione grossolana tende a diminuire con l'aumentare della profondità – **TERRENO TIPO 2**;

STRATO 03 oltre i 6,00 m: *substrato roccioso* costituito da *flysh arenacei costituiti da alternanze di argille e sottili strati arenacei medio fini da litoidi a semilitoidi, molto fratturate ed in parte alterate per argillificazione ed ossidazione* – **Formazione marnoso arenacea della Valle del Belice (Pliocene medio-sup.)** – **TERRENO TIPO 5**.

#### **4.2.2.1. Torri G05 e G06**

**Per le Torri 05 e 06**, ubicate in una zona di valle alluvionale la stratigrafia ipotizzata differisce dalla precedente per quanto concerne la componente eluviale, sostituita da un deposito di origine alluvionale.

Pertanto la stratigrafia consiste sempre in un modello a tre strati che comprende il deposito alluvionale, la parte alterata del substrato e il substrato roccioso situate alla base.

STRATO 01 da 0,50 m a 4,00 m: *strato colluviale* costituito da *sabia limoso argillosa con ghiaia eterometrica media fine, poligenica (a prevalenti clasti carbonatici) da subangolare a subarrotondata ad addensamento variabile*, - **TERRENO TIPO 4**;

STRATO 02 da 4,00 a 7,00 m: *regolite*, costituito da *ciottoli, blocchi, scaglie e frammenti in parte argillificati ed ossidati di argillite ed arenaria con argilla sabbiosa con limo*. La frazione grossolana tende a diminuire con l'aumentare della profondità – **TERRENO TIPO 2**;

STRATO 03 oltre i 7,00 m: *substrato roccioso* costituito da *flysh arenacei costituiti da alternanze di argille e sottili strati arenacei medio fini da litoidi a semilitoidi, molto fratturate ed in parte alterate per argillificazione ed ossidazione* – **Formazione marnoso arenacea della Valle del Belice (Pliocene medio-sup.)** – **TERRENO TIPO 5**.

Qui di seguito sotto forma tabellare si forniscono i principali parametri geotecnici (su base bibliografica) utili alla sola progettazione preliminare delle varie opera.

La tabella qui di seguito riporta I dati di riferimento per I terreni di Tipo 1, 2 e 3 e per il substrato costituito da flish arenacei da litoidi a litici appartenenti ai flysh arenacei costituiti da alternanze di argille e sottili strati arenacei medio fini da litoidi a semilitoidi, molto fratturate ed in parte alterate per argillificazione ed ossidazione – Formazione marnoso arenacea della Valle del Belice (Pliocene medio-sup.).

Simbolo	Parametro	[u.m.]	TERRENO 1 Copertura	TERRENO 2 Regolite	TERRENO 5 Flysh Valle Belice	TERRENO 4 Alluvioni Attuali
" $\gamma$ "	Peso di volume	[Ton/m <sup>3</sup> ]	1,87	2.18	2,20	1,90
" $\phi$ "	Angolo di attrito	[°]	33	36	32	38
"c"	Coesione	[Kg/cm <sup>2</sup> ]	2,25	4,0	1,25	0,75
Dr	Densità relativa	[%]	86	90	95	65
M	Modulo di elasticità	[MPa]	10	24	37	20
" $\mu$ "	Coeff. di Poisson	[-]	0,3	0,4	-	0,3
k <sub>w</sub>	Coeff. di Winkler	[Kg/cm <sup>3</sup> ]	18	25	-	8,0
V <sub>s</sub>	Velocità sismica	[m/sec]	165	220	1.250	140

**4.2.2.2. Sondaggio T2 MM2-G06\_S2**

In prossimità dell'aereogeneratore G06 è stato realizzato il sondaggio S2.

In base alla stratigrafia disponibile sono stati incontrati livelli limoso sabbiosi fino a circa 4,5 m e poi un livello argilloso fino a 30 m, con caratteristiche omogenee, ad esclusione di un livello sabbioso situato tra i 12 e i 12,5 m di profondità.

Tutti i dati ottenuti tramite le prove SPT sono stati utilizzati ed elaborati in modo da integrare il modello generale basato su dati di letteratura. In allegato viene riportata la relazione allegata alle indagini geognostiche realizzate dalla ditta Songeo per conto di EGP.

Si sottolinea come i dati di letteratura non possono sostituirsi ad indagini sito specifiche, in quanto la variabilità litologica, anche all'interno della stessa formazione, può discostarsi da quella prevedibile in base ai dati di letteratura.

**STRATIGRAFIA - T2 MM2 - G06 (S2)**

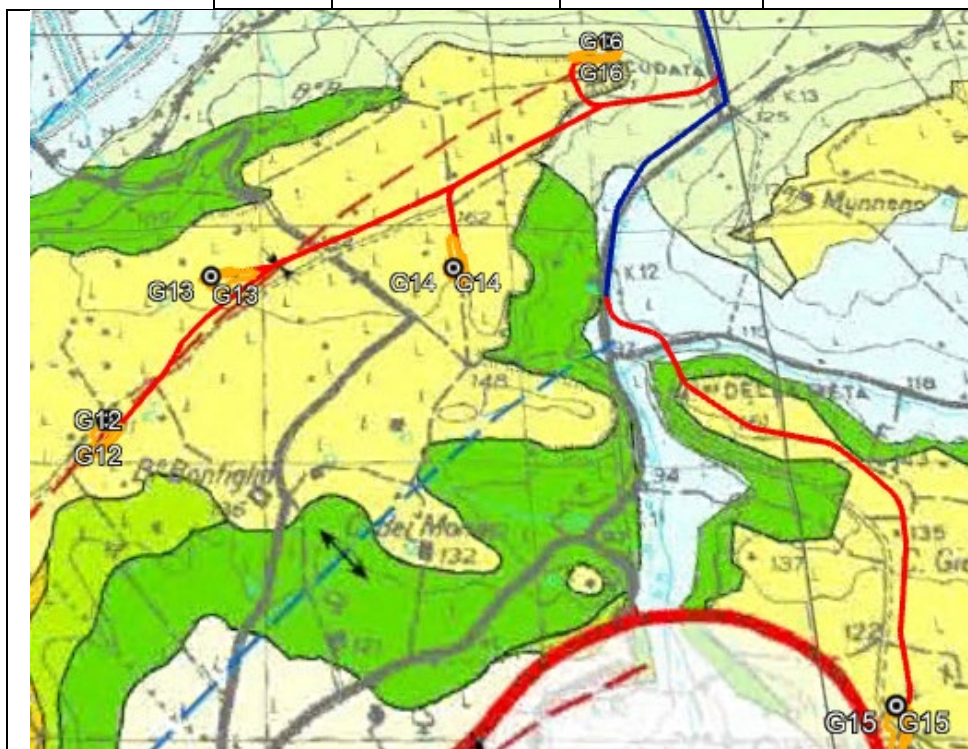
SCALA 1 : 150 Pagina 1/1

Riferimento: ENEL GREEN POWER SpA - Accordo Quadro 8400151333 (TP EOLICO)	Sondaggio: T2 MM2 - G06 (S2)
Località: Mazara del Vallo	Quota: 145,758 m s.l.m.m.
Impresa esecutrice: SONGEO SRL	Data: 30/10-02/11/2020
Coordinate: Lat. 37°46'19.7676" N Long. 12°39'33.2723" E	Redattore: Dott. Geol. Salvatore Alloro
Perforazione: Trivella SOILTEK S16 - Perforazione a carotaggio continuo	

Pz	metri tot.	LITOLOGIA	Campioni	RP	VT	Prel. % 0-100	SPT		RQD % 0-100	prof. m	DESCRIZIONE
							S.P.T.	N			
01	1			4					0,3		Terreno superficiale costituito da limo sabbioso di colore beige.
	2			4,5			5-10-16	26			Limo sabbioso debolmente argilloso di colore nocciola. Si presenta mediamente plastico e mediamente consistente.
	3			4			9-11-13	24			
	4			3							
	5			4,5			5-15-21	36		4,2	Argilla debolmente limosa di colore grigio-azzurro (a tratti presenta una colorazione più scura). Si presentano con una struttura omogenea, mediamente plastiche e mediamente consistenti.
	6			4			7-18-26	44			
	7			3,5							
	8			4,5			9-22-32	54			
	9		1) Ind < 8,50 9,50	4,5			9-18-32	50			
	10			>5			12-25-36	61			
	11			4							
	12			4,5						11,8	
	13			3,5			12-14-14	26		12,3	Sabbia eterometrica debolmente limosa di colore giallastro.
	14			1,5						13,0	Sabbia argillosa debolmente limosa di colore grigio-azzurro. Si presenta scarsamente plastica e scarsamente consistente.
	15			3,5			13-20-50/8cm	Rif			Argilla debolmente limosa di colore grigio-azzurro (a tratti presenta una colorazione più scura). Si presentano con una struttura omogenea, mediamente plastiche e mediamente consistenti.
	16			>5							
	17			>5							
	18		2) Ind < 18,00 18,50	>5							
	19			>5			13-30-48	76			
	20			4,5							
	21			4							
	22			2,5			5-18-40	58			
	23			2							
	24			2,5							
	25			>5			19-35-28	61			
	26			>5							
	27			4							
	28			4,5			14-35-50/10cm	Rif			
	29			2							
	30			4,5			17-38-50/6cm	Rif		30,0	

**4.2.3. GRUPPO 3 – TORRI G12, G13, G14, G15 E G16 – BORGO MONTALTO**

WTG	Comune	Est [m]	Nord [m]	Altitudine [m s.l.m.]
<b>G12</b>	Mazara del Vallo	292367,11	4177871,05	138
<b>G13</b>	Mazara del Vallo	292770,62	4178479,69	148
<b>G14</b>	Mazara del Vallo	293719,00	4178489,00	152
<b>G15</b>	Mazara del Vallo	295110,00	4176720,00	104
<b>G16</b>	Mazara del Vallo	292367,11	4177871,05	138



- Depositi di fondovalle e terrazzi alluvionali in evoluzione
- Grande Terrazzo Superiore (G.T.S.) - Depositi calcarenitici terrazzati di quota 115-214 m con a letto conglomerati poligenici (Pleistocene medio-sup.)

Annotazioni geomorfologiche generali: le opere in progetto si ubicano in un'area piuttosto vasta, percorsa in senso meridiano da un piccolo corso d'acqua che scorre in un fondovalle piuttosto ampio ricoperto da sedimenti fluviali.

A lato si sviluppa il rilievo che è a bassissima pendenza, le forme sono ampie a definire ondulazioni a lunghezza d'onda elevata.

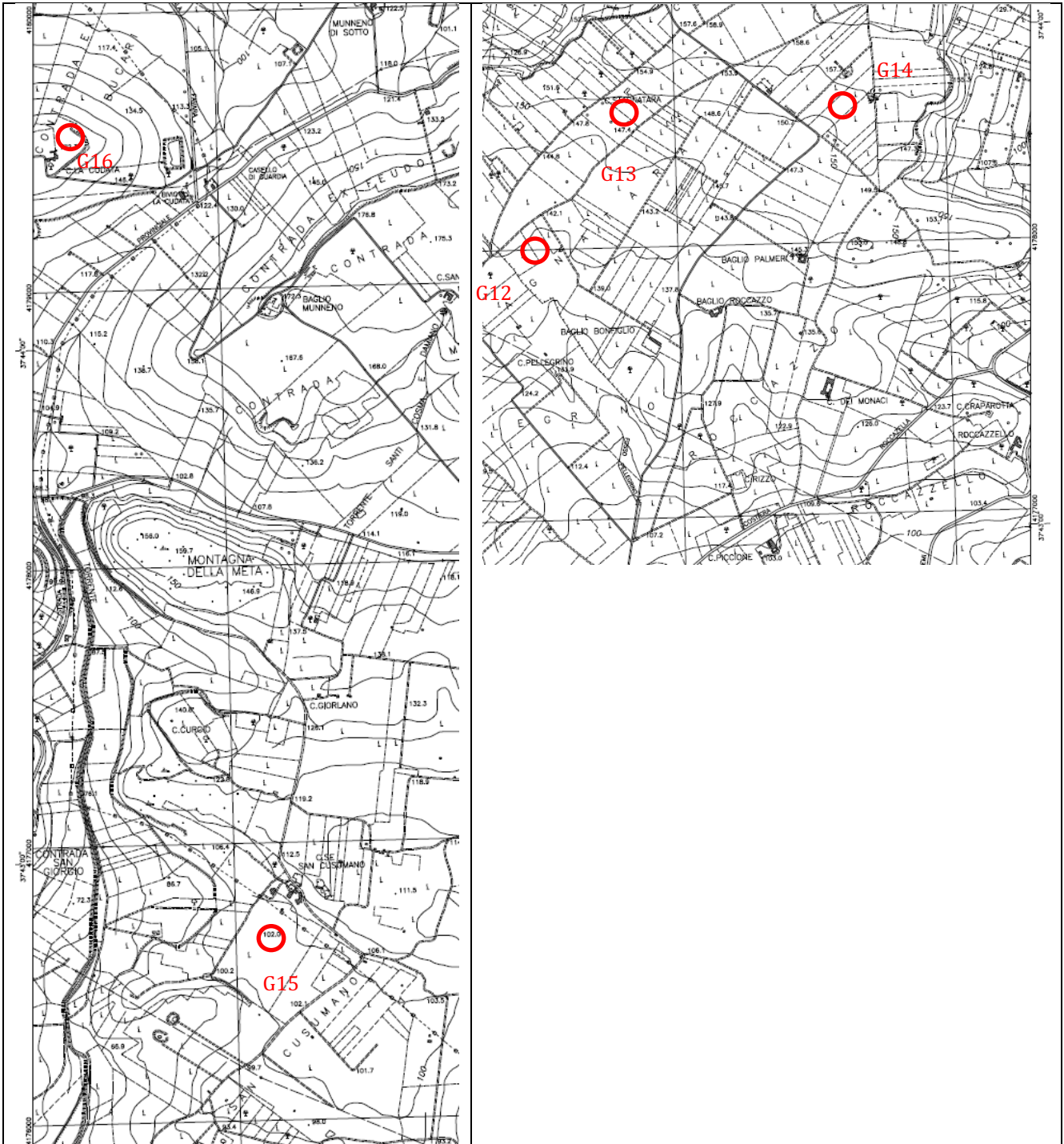
Il rilievo è comunque generalmente "mosso" da piccole ondulazioni originatesi in tempi recenti e testimoni di antichi alti morfologici oramai erosi. L'area non mostra fenomeni morfici attualmente attivi, è quindi stabile. Il corso d'acqua presente è costituito da aste di primo e secondo grado il reticolo però non è maturo.

La zona in prima analisi è esente da rischi in atto e/o quiescenti nell'immediato e nel medio periodo

Da un punto di vista litologico al di sotto del suolo il substrato calcarenitico, è ricoperto da uno strato eluviale di medio spessore costituito da scaglie e frammenti da angolari a subangolari di dimensioni centimetriche derivanti dal disfacimento del substrato stesso in parte alterate per argillificazione ed ossidazione da "e" a "con" limo sabbioso argilloso da debolmente umido a umido dello spessore massimo di 2-3 m.

Il substrato è costituito da calcareniti medio grossolane, gradate, da semilitoidi a litoidi, molto fratturate ed in parte alterate, a tetto si presenta sottoforma di ciottoli, blocchi, scaglie e frammenti in parte argillificati ed ossidati - Grande Terrazzo Superiore (G.T.S.) (Pleistocene medio-sup.)

**UBICAZIONI DI DETTAGLIO**



**Località Borgata COSTIERA**

**Sezione C.T.R. Regione Sicilia N°:617.080**

*(Estratto non in scala)*

NOTE DI COMMENTO SPECIFICHE: le cinque torri sono ubicate tutte sul fianco dei vari rilievi. In genere non si hanno (a questa scala) evidenze nei pressi delle opere della presenza di corsi d'acqua che possano originare fenomeni erosivi lineari, esiste però l'erosione superficiale diffusa a causa del dilavamento in parte calmierato dall'effetto protettivo determinato dalla presenza della copertura vegetale.



Come conseguenza dei fenomeni sopra descritti c'è da attendersi che il substrato roccioso in posto sia ricoperto da una spessa copertura eluviale derivata dal suo disfacimento a sua volta coperto dal vero e proprio suolo.

L'alterazione per argillificazione ed ossidazione dovuta alla circolazione idrica ed all'azione termochimica è favorita in linea di principio anche dall'elevata fratturazione dei litotipi dovuta alla tettonica passata e presente.

In relazione alla geometria del substrato ed all'orientazione dei sistemi di fratture presenti nell'ammasso roccioso l'alterazione può penetrare anche in profondità nell'ammasso, pertanto (data l'altezza significativa dell'opera in progetto è opportuno prevedere la realizzazione di opere di fondazione profonde. Caso a parte è la Torre G16, ubicata su un alto delimitato, verso oriente da una scarpata di qualche metro di altezza sintomo della presenza di un accidente morfologico, frutto probabilmente del controllo strutturale operato dal substrato sulla morfologia.

Qui di seguito si dà illustrazione della "stratigrafia tipo" presunta, stilata su base bibliografica ed esperienziale e confortata soprattutto da considerazioni di natura geologica morfologica. Il dettaglio è volutamente non elevato, in essa si distinguono i vari litotipi sulla base della loro origine e del loro significato stratigrafico (suolo, copertura, regolite e substrato).

Il suolo come detto viene trascurato perché sicuramente oggetto di scotico (quindi non viene riportato - si ipotizza una profondità di scotico di 50 cm per ogni sito).

Si ribadisce una volta di più che, trattandosi di valori bibliografici, gli stessi possono essere utilizzati unicamente per una fase di progettazione preliminare. Per la progettazione esecutiva occorrerà provvedere a realizzare apposite campagne d'indagine sito specifiche, utili alla determinazione di dettaglio di tutti i parametri necessari.

Posto quanto sopra illustrato e tenendo presente che è possibile fare la valutazione su base bibliografica, la modellazione del substrato dal punto di vista litologico consiste in un modello a 3 strati così ipotizzati:

STRATO 01 da 0,50 m a 4,00 m: *strato eluviale* costituito da *scaglie e frammenti da angolari a subangolari di dimensioni centimetriche di arenaria* derivanti dal disfacimento del substrato stesso (in parte alterate per argillificazione ed ossidazione) da "e" a "con" *limo sabbioso argilloso da debolmente umido a umido* dello spessore massimo di 2 - 4 m - **TERRENO TIPO 1**;

STRATO 02 da 4,00 a 6,00 m: *regolite*, costituito da *ciottoli, blocchi, scaglie e frammenti in parte argillificati ed ossidati di arenaria con sabbia media e grossa con limo*. La frazione tende a diminuire con l'aumentare della profondità - **TERRENO TIPO 2**;

STRATO 03 oltre i 6,00 m: *substrato roccioso* costituito da *costituito da calcareniti medio grossolane, gradate, da semilitoidi a litoidi, molto fratturate ed in parte alterate* - **Grande Terrazzo Superiore (G.T.S.) (Pleistocene medio-sup.) - TERRENO 8**.

Qui di seguito sotto forma tabellare si forniscono i principali parametri geotecnici (su base bibliografica) utili alla sola progettazione preliminare delle varie opere.

La tabella qui di seguito riporta i dati di riferimento per i terreni di Tipo 1 e 2 e per il substrato costituito da arenarie da litoidi a litiche appartenenti alle arenarie da litoidi a litiche appartenenti al Grande Terrazzo Superiore (G.T.S.) (Pleistocene medio-sup.), Tipo 3 ed alle Calcareniti di Marsala (Emiliano Sup. -Siciliano) Tipo 4.

Simbolo	Parametro	[u.m.]	TERRENO 1 Copertura	TERRENO 2 Regolite	TERRENO 8 Grande Terr. Sup.
" $\gamma$ "	Peso di volume	[Ton/m <sup>3</sup> ]	1,87	2.18	2.09
" $\phi$ "	Angolo di attrito	[°]	33	36	34
"c"	Coesione	[Kg/cm <sup>2</sup> ]	2,255	4,0	0
Dr	Densità relativa	[%]	86	90	85
M	Modulo di elasticità	[MPa]	10	24	20

Simbolo	Parametro	[u.m.]	TERRENO 1 Copertura	TERRENO 2 Regolite	TERRENO 8 Grande Terr. Sup.
" $\mu$ "	Coeff. di Poisson	[-]	0,3	0,4	-
$k_w$	Coeff. di Winkler	[Kg/cm <sup>3</sup> ]	18	25	12
$V_s$	Velocità sismica	[m/sec]	165	220	380

**4.2.3.1. Sondaggio T2 MM2-G06\_S1**

In prossimità dell'aereogeneratore G14 è stato realizzato il sondaggio S1.

In base alla stratigrafia disponibile sono stati incontrati livelli da calcarenitici fino a limoso sabbiosi fino a circa 9,5 m e poi un livello argilloso fino a 30 m, con caratteristiche omogenee per tutto il tratto.

Tutti i dati ottenuti tramite le prove SPT sono stati utilizzati ed elaborati in modo da integrare il modello generale basato su dati di letteratura. In allegato viene riportata la relazione allegata alle indagini geognostiche realizzate dalla ditta Songeo per conto di EGP.

Si sottolinea come i dati di letteratura non possono sostituirsi ad indagini sito specifiche, in quanto la variabilità litologica, anche all'interno della stessa formazione, può discostarsi da quella prevedibile in base ai dati di letteratura

**STRATIGRAFIA - T2 MM3 - G14 (S1)**

SCALA 1:150 Pagina 1/1

Riferimento: ENEL GREEN POWER SpA - Accordo Quadro 8400151333 (TP EOLICO)										Sondaggio: T2 MM3 - G14 (S1)					
Località: Mazara del Vallo										Quota: 152.601 m s.l.m.					
Impresa esecutrice: SONGEO SRL										Data: 28-29/10/2020					
Coordinate: Lat. 37°43'49.9062" N Long. 12°39'33.5388" E										Redattore: Dott. Geol. Salvatore Alloro					
Perforazione: Trivella SOILTEK S16 - Perforazione a carotaggio continuo															
σ mm	R v	A r	A s	Pz	metri bar	LITOLOGIA	Campioni	RP	VT	Prel. % 0 --- 100	S.P.T. S.P.T.	N	RQD % 0 --- 100	prof m	DESCRIZIONE
101					1									0,0	Terreno vegetale di colore bruno-rossastro, costituito da una matrice sabbiosa debolmente limosa. Nella parte superficiale si nota la presenza di elementi litici spigolosi eterometrici di natura carbonatica-calcarenitica.
					2						50/2cm	Rif		2,0	
					3						3.9-9	18			Calcarenite bioclastica di colore bianco-giallastro. Presenta delle porzioni vacuolari e si notano dei livelli calcilutitici. Le porzioni decementate sono state disgregate durante le operazioni di carotaggio.
					4										
					5		1) Ind < 5,00								
					6						5.8-10	18			Limo sabbioso di colore nocciola. Si presenta mediamente plastico e mediamente consistente.
					7										
					8						7.11-12	23			
					9										
					10						9.13-18	31		9,5	Argilla debolmente limosa di colore grigio-azzurro (a tratti presenta una colorazione più scura). Si presentano con una struttura omogenea, mediamente plastiche e mediamente consistenti.
					11						7.17-29	46			
					12						20-32-35	67			
					13						33-41-43	84			
					14										
					15		2) Ind < 15,00								
					16										
					17										
					18						8-20-33	53			
					19										
					20										
					21						16-30-36	66			
					22										
					23										
					24						20-35-42	77			
					25										
					26										
					27						16-38-48	86			
					28										
					29										
					30						18-41-50/3cm	Rif		30,0	

**4.2.4. GRUPPO 4 - TORRI G07 E G08 – BORGO DELLE GAMBINE**

WTG	Comune	Est [m]	Nord [m]	Altitudine [m s.l.m.]
<b>G07</b>	Mazara del Vallo	294213,01	4184250,96	148
<b>G08</b>	Marsala	296210,38	4183703,70	150



Annotazioni geomorfologiche generali: le opere in progetto sono situate su due alti topografici caratterizzati da un declivio dolce e graduale.

Il rilievo non mostra indice di fenomeni morfici attivi, l'area risulta stabile. I corsi d'acqua presenti sono aste di primo grado e mostrano un grado di maturità molto basso. La zona in prima analisi è esente da rischi in atto e/o quiescenti nell'immediato e nel medio periodo.

Da un punto di vista litologico, al di sotto del suolo, il substrato arenaceo marnoso in un caso e calcareo nell'altro è ricoperto da uno strato eluviale di medio spessore costituito da scaglie e frammenti da angolari a subangolari di dimensioni centimetriche derivanti dal disfacimento del substrato stesso in parte alterate per argillificazione ed ossidazione da "e" a "con" limo sabbioso argilloso da debolmente umido a umido dello spessore massimo di 2-3 m.

Il substrato è costituito da calcari teneri a globigerine e flysh calcarei marnosi a cemento carbonatico da litoidi a litici.

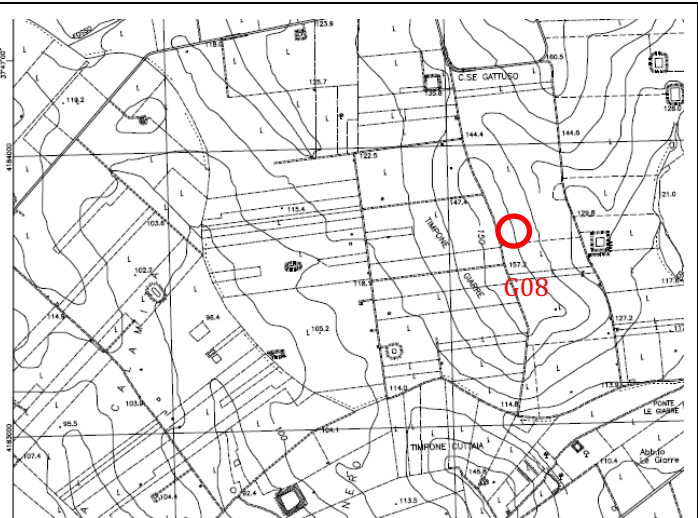
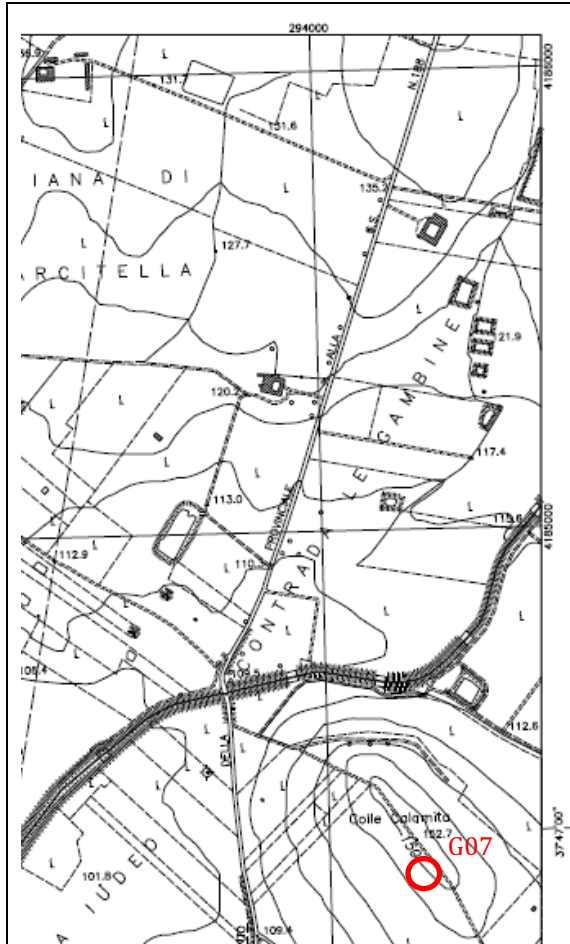
NOTE DI COMMENTO SPECIFICHE: le due torri sono ubicate sull'area sommitale di due colline con asse meridiano. I rilievi hanno forme dolci e circondate da declivi lievi.

In genere non si hanno (a questa scala) evidenze nei pressi delle opere della presenza di corsi d'acqua che possano originare fenomeni erosivi lineari, esiste però l'erosione superficiale diffusa a causa del dilavamento determinato dalle acque superficiali solo in parte calmierate dall'effetto protettivo determinato dalla presenza della copertura vegetale.

Come conseguenza dei fenomeni sopra descritti c'è da attendersi che il substrato roccioso in posto sia ricoperto da una spessa copertura eluviale derivata dal disfacimento dello stesso a sua volta coperto dal vero e proprio suolo.

L'alterazione per argillificazione ed ossidazione dovuta alla circolazione idrica ed all'azione termochimica è favorita in linea di principio anche dall'elevata fratturazione dei litotipi dovuta alla tettonica passata e presente.

In relazione alla geometria del substrato ed all'orientazione dei sistemi di fratture presenti nell'ammasso roccioso l'alterazione può penetrare anche in profondità nell'ammasso, pertanto (data l'altezza significativa delle opere in progetto) è opportuno prevedere opere di fondazione profonde.



**Località Contrada GAMBINE**

Sezioni C.T.R. Regione Sicilia N:°617.040

e 618.010

(Estratto non in scala)

Qui di seguito si dà illustrazione di due "stratigrafie tipo" una presunta, stilata su base bibliografica ed esperienziale e confortata soprattutto da considerazioni di natura geologica morfologica.

Il dettaglio è volutamente non elevato, in esse si distinguono i vari litotipi sulla base della loro origine e del loro significato stratigrafico (suolo, copertura, regolite e substrato).

Il suolo come detto viene trascurato perché sicuramente oggetto di scotico (quindi non viene riportato - si ipotizza una profondità di scotico di 50 cm per ogni sito).

Si ribadisce una volta di più che, trattandosi di valori bibliografici, gli stessi possono essere utilizzati unicamente per una fase di progettazione preliminare.

Per la progettazione in fase esecutiva occorrerà realizzare apposite campagne d'indagine sito specifiche, utili alla determinazione di dettaglio di tutti i parametri necessari.

Posto quanto sopra illustrato e tenendo presente che è possibile fare la valutazione sono su base bibliografica, la modellazione del substrato dal punto di vista litologico consiste in un modello a 3 strati così ipotizzati:

**STRATO 01** da 0,50 m a 2,00 m: *strato eluviale* costituito da *scaglie e frammenti da angolari a subangolari di dimensioni centimetriche di arenaria* derivanti dal disfacimento del substrato stesso (in parte alterate per argillificazione ed ossidazione) da "e" a "con" *limo sabbioso argilloso da debolmente umido a umido* dello spessore massimo di 2 - 4 m - **TERRENO TIPO 1**;

**STRATO 02** da 2,00 a 6,00 m: *regolite*, costituito da *ciottoli, blocchi, scaglie e frammenti in parte argillificati ed ossidati di arenaria con sabbia media e grossa con limo*. La frazione tende a diminuire con l'aumentare della profondità - **TERRENO TIPO 2**;

**STRATO 03** oltre i 6,00 m: *substrato roccioso* costituito da *flysh arenacei costituiti da alternanze di argille e sottili strati arenacei medio fini da litoidi a semilitoidi, molto fratturate ed in parte alterate per argillificazione ed ossidazione* - **Formazione marnoso arenacea della Valle del Belice (Pliocene medio-sup.) - TERRENO TIPO 5- PER TORRE G07.**

**STRATO 03** oltre i 6,00 m: *substrato roccioso* costituito da *calcareni medio grossolane,*

*gradate, da semilitoidi a litoidi, molto fratturate ed in parte alterate - **Calcarenite di Marsala (Emiliano -sup. - Siciliano) – TERRENO TIPO 10 – PER TORRE G08***

Qui di seguito sotto forma tabellare si forniscono i principali parametri geotecnici (su base bibliografica) utili alla sola progettazione preliminare delle varie opera.  
La tabella qui di seguito riporta I dati di riferimento per I terreni di Tipo 1 e 2 e per il substrato costituito da Flysh Marnoso arenacei della Formazione dei Flysh della Valle del Belice – Tipo 5 e dai calcari della Formazione delle Calcareniti di Marsala – Tipo 10.

Simbolo	Parametro	[u.m.]	TERRENO 1 Copertura	TERRENO 2 Regolite	TERRENO 5 Flysh Val Belice	TERRENO 10 Calc. di Marsala
" $\gamma$ "	Peso di volume	[Ton/m <sup>3</sup> ]	1,87	2.18	2,20	2,23
" $\phi$ "	Angolo di attrito	[°]	33	36	32	44
"c"	Coesione	[Kg/cm <sup>2</sup> ]	2,255	4,0	1,25	0
Dr	Densità relativa	[%]	86	90	95	100
M	Modulo di elasticità	[MPa]	10	24	37	45
" $\mu$ "	Coeff. di Poisson	[-]	0,3	0,4	-	-
k <sub>w</sub>	Coeff. di Winkler	[Kg/cm <sup>3</sup> ]	18	25	-	15
V <sub>s</sub>	Velocità sismica	[m/sec]	165	220	1.250	2.850

#### 4.3. ANNOTAZIONI SULLA SCELTA DEI PARAMETRI GEOTECNICI

In questo caso, data l'assenza di prove sito specifiche per la determinazione dei parametri geotecnici necessari alla progettazione preliminare delle opere, ci si è affidati a dati bibliografici, considerazioni geomorfologiche e a prove ed analisi eseguite in terreni e contesti del tutto simili al caso indagato.

Le informazioni così ricavate sono state confrontate ed integrate con quelle derivate dall'analisi di due sondaggi geognostici eseguiti ad inizio novembre di quest'anno nei pressi di due delle opere in Progetto e denominati: T 2 MM2 S1 (eseguito nei pressi della torre G14) e T 2 MM2 S2 (eseguito nei pressi della torre G06); in essi sono state eseguite prove tipo Standard Penetration Test e misure con pocket penetrometer tascabile.

Per estensione i due fori possono essere ragionevolmente considerati come rappresentativi di settori, oggetto d'intervento, analoghi a quelli in cui sono stati eseguiti i fori.

Pertanto si considerano rappresentativi di tutte le aree in cui risultano affiorare le formazioni dei flysh arenaceo marnosi della Valle del Belice (S 2) e quelle in cui affiorano le Calcareniti di Marsala (S 1), ovviamente a parità di condizioni morfologiche e giaciture.

Come ulteriore estensione, i valori tecnici ricavati da S 1 possono essere considerati come utili alla determinazione delle caratteristiche aree in cui affiorano le calcarenite della Formazione del Grande Terrazzo Superiore.

Per I terreni alluvionali ci si è interment basati su valori ricavati dalla bibliografia.

Nella pratica sono stati considerati i singoli valori di N<sub>S,P,T</sub>, ricavati dalla singola prova suddivisi in gruppi su base litologica e degli insiemi di numeri così ricavati è stato considerato il valore medio ponderato ove il numero di campioni era sufficientemente esteso.

Qui di seguito si illustrano le relazioni utilizzate per ricavare i valori del peso di volume, dell'angolo d'attrito, della densità relativa, della coesione, del modulo confinato, del coefficient di Winkler e del coefficient di Poisson.

E' stata valutata anche la velocità sismica delle onde trasversali ma l'esperienza degli scriventi suggerisce che, utilizzando algoritmi di questo tipo si sottostima grandemente il valore della velocità.

- Per la valutazione del peso di volume – il valore del parametro è stato ricavato a

partire dal numero medio ponderato di colpi  $N_{S,P.T.}$  con la relazione di Bruschi (2005), scritta per valori di  $N_{S,P.T.}$  maggiori di 20,

- Per la valutazione dell'angolo di attrito – il valore del parametro è stato ricavato a partire dal numero medio ponderato di colpi  $N_{S,P.T.}$  con la relazione di Wolf (1989), scritta appositamente per micropali,
- La coesione è stata posta uguale a zero per i terreni granulari (a favore di sicurezza) e per gli altri ottenuta come media dei valori misurati con il Pocket Penetrometer;
- Per la valutazione del Modulo confinato – il valore del parametro è stato ricavato a partire dal numero medio ponderato di colpi  $N_{S,P.T.}$  con la relazione di Huang (2003), scritta per limi sabbiosi, per lo strato eluviale di copertura e con la relazione di Bowles (1987) per tutti gli altri strati;
- Per la valutazione della Densità Relativa – il valore del parametro è stato ricavato a partire dal numero medio ponderato di colpi  $N_{S,P.T.}$  con la relazione di Kokusho (1983), scritta per limi sabbiosi, per il terreno eluviale di copertura e per lo strato di alterazione del bed rock, per i litotipi francamente rocciosi il parametro perde di significato;
- Per la valutazione della velocità sismica – il valore del parametro è stato ricavato a partire dal numero medio ponderato di colpi  $N_{S,P.T.}$  con la relazione di Stephenson (2004);
- Per la valutazione del Coefficiente di Poisson e del Modulo di Winkler (vertical) ci si è basati su quanto riportato sulla tabelle riportate su "Fondazioni" – Bowles (1987).

## **5. ANALISI SISMICA**

### **5.1. INTRODUZIONE**

Per quanto riguarda gli aspetti sismici la Normativa prende atto della classificazione fornita in prima approssimazione dalla O.P.C.M. N. 3274/03 ed impone l'obbligo della progettazione antisismica per i comuni che ricadono nelle zone 2, 3 e 4 esclusivamente per gli edifici considerati strategici e/o rilevanti di uso pubblico.

Per quanto riguarda i Comuni nel territorio dei quali ricadono le torri in progetto i Comuni di Marsala e Mazara del Vallo sono classificati di Categoria 2, mentre quello di Salemi risulta in un'area classificata di categoria 1. Si segnala che le accelerazioni al suolo previste, per le torri site nel comune di Salemi, sono comunque ricadenti in una fascia del comune con valori di categoria 2

Si segnala anticipatamente che i dati elencati sono stati stimati su base bibliografica, sono come tali validi per una valutazione di progettazione preliminare, come d'altra parte tutti i contenuti e le indicazioni della presente.

Per una valutazione propedeutica ad una progettazione esecutiva si ritiene indispensabile l'esecuzione di una serie di prove in sito, utili alla determinazione precisa e reale dei parametri da utilizzare in corso di progettazione costruttiva.

La tipologia, il numero e l'ubicazione delle prove necessarie saranno oggetto di specifica progettazione da parte del Progettista incaricato.

Per quanto riguarda invece le N.T.C. 2018 gli edifici e le strutture vengono suddivisi in 4 categorie al § 2.4.3 come nel caso precedente.

La classificazione delle N.T.C. riveste importanza, per quanto concerne la valutazione sismica, in quanto la stessa fa esplicito riferimento a dette classificazioni per quanto riguarda il "livello di valutazione" da adoperare nella assegnazione dei parametri sismici.

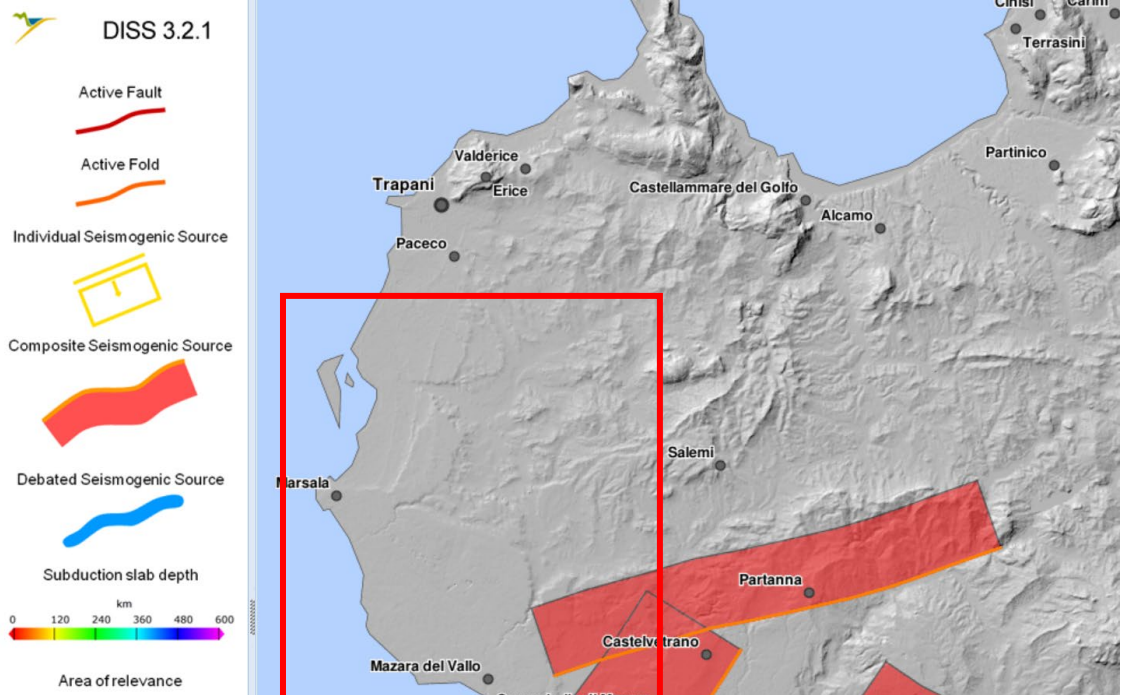
Tenendo conto di detta procedura l'analisi sismica predisposta a livello geotecnico sarà quindi limitata alla così detta "Fase di secondo livello", verrà quindi semplicemente riportata una valutazione numerica dei parametri  $a_g$  ed  $F_0$  sulla base del tempo di ritorno  $T_c$  relativa ad ogni singola torre.

### **5.2. INQUADRAMENTO SISMICO**

#### **5.2.1. CENNI GENERALI**

Considerando l'ampiezza dell'area su cui sono previsti i nuovi aereogeneratori, risulta utile un inquadramento della sismicità della Sicilia sudoccidentale.

La Sicilia è caratterizzata da una sismicità che si distribuisce lungo fasce sismiche omogenee (*zone sismogenetiche*), con centri sismici sia all'interno alla regione sia esterni (*vedi fig. di seguito*).

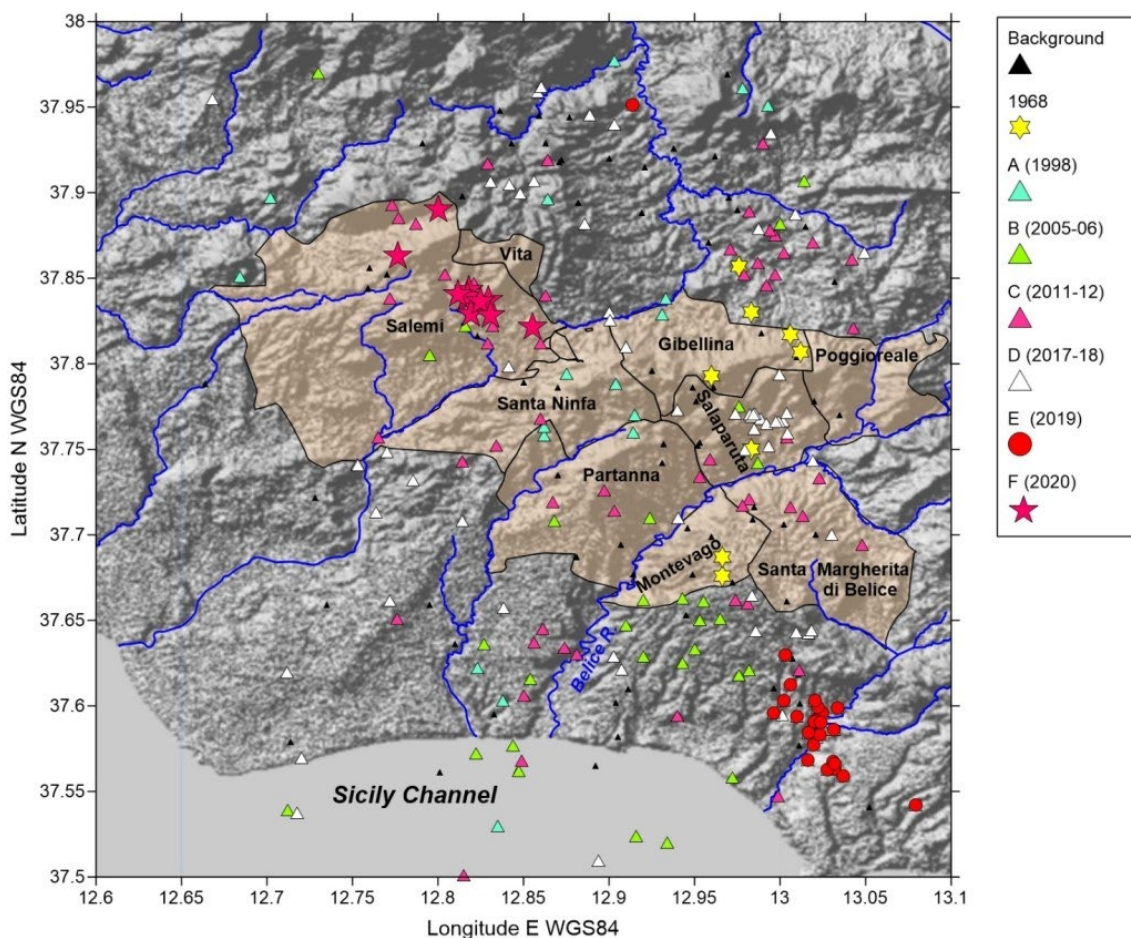


**Figura 5-1 – Stralcio della zonazione sismogenetica (da Meletti & Valensise 2004, <http://zone.mi.ingv.it>);**

L'area di studio ricade in zona sismica 2, ed è contigua con l'area della Valle del Belice, compresa tra le province di Agrigento, Trapani e Palermo, che anche recentemente ha mostrato una sequenza sismica, iniziata il 9 settembre 2020, che finora ha prodotto circa venti terremoti, in cui l'evento energeticamente più rilevante è stato il primo della sequenza, di magnitudo Mw 3.5 (ML 3.4).

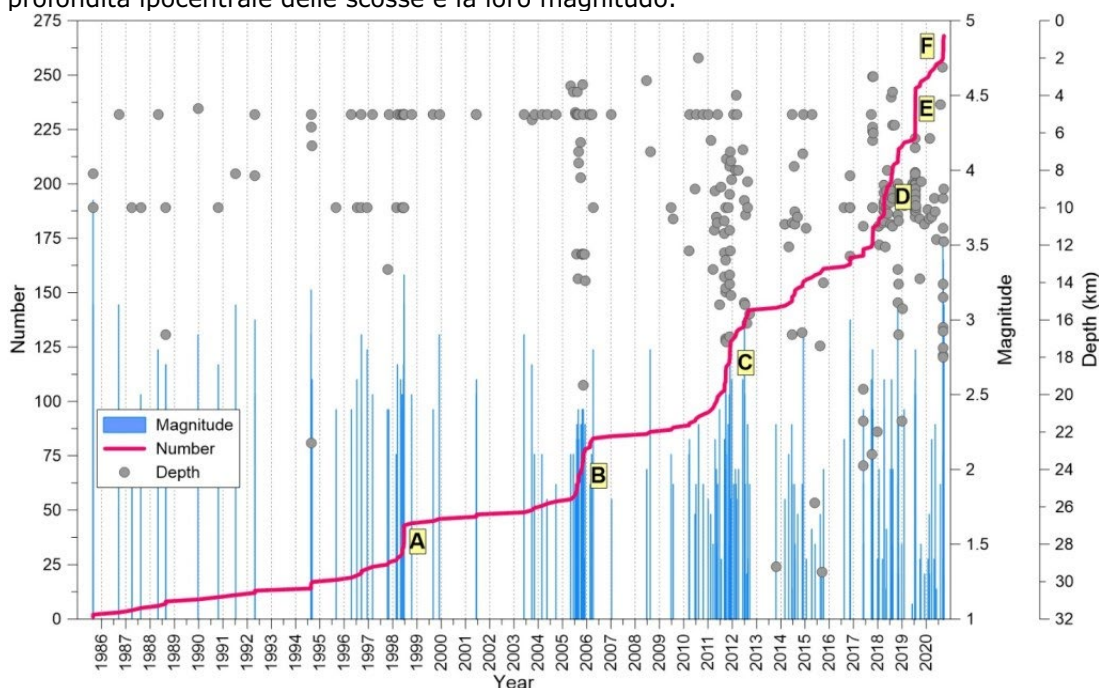
Di seguito sono mostrate tutte le sequenze sismiche che si sono verificate in Sicilia sud-occidentale dal 1985 ad oggi, distinguendo, ove possibile, singole sequenze con simboli diversi.





Mapa con le principali sequenze sismiche verificatesi in Sicilia sudoccidentale dal 1985 ad oggi (fonte: database ISIDE INGV <http://terremoti.ingv.it/iside>).

Di seguito viene riportato il grafico dell'andamento temporale della sismicità della Sicilia sudoccidentale con i dati di questa sequenza; dal grafico è possibile estrapolare anche la profondità ipocentrale delle scosse e la loro magnitudo.

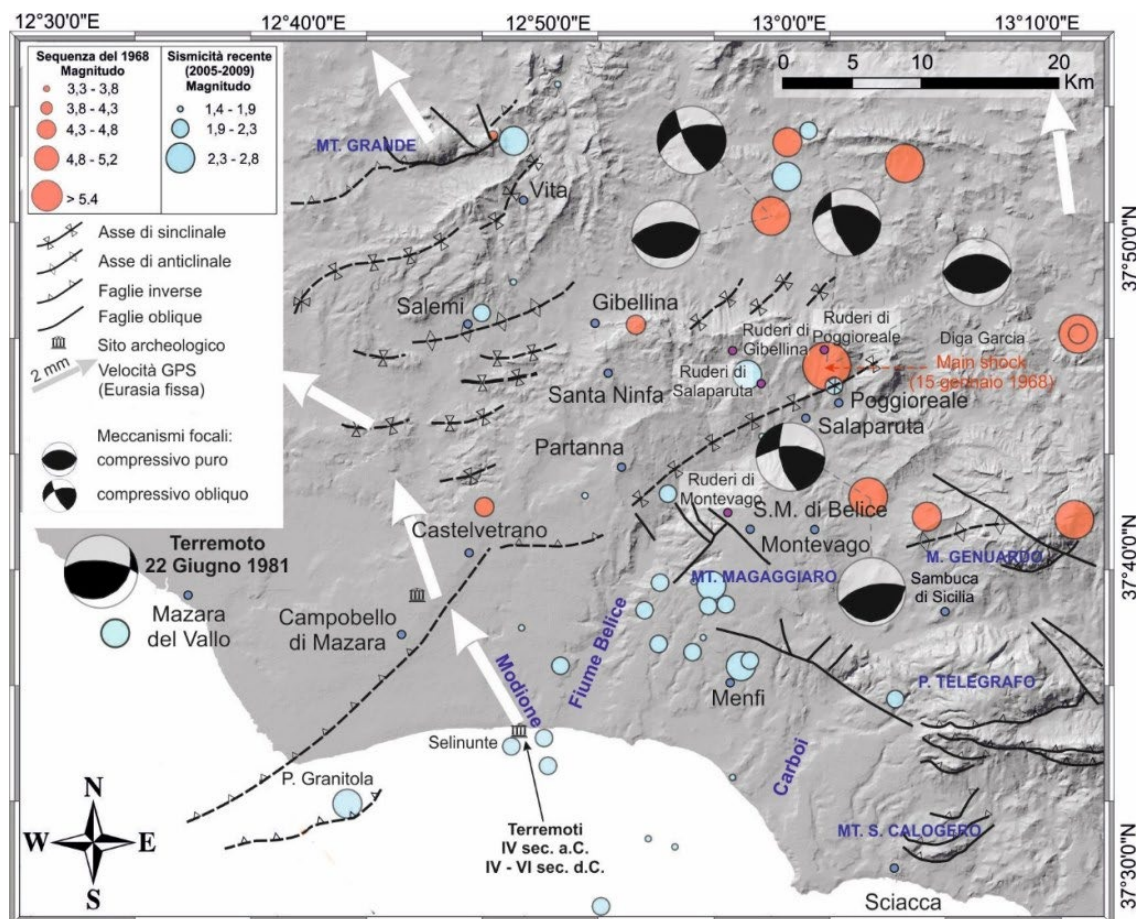


Andamento temporale della sismicità in Sicilia sudoccidentale: in rosso il numero cumulativo degli eventi, le barre azzurre indicano la magnitudo mentre i punti grigi le profondità ipocentrali.

Le lettere individuano le singole sequenze nella mappa delle sequenze sismiche.

Principali evidenze suggerite dall'osservazione della distribuzione epicentrale e temporale:

1. Dal 2017 in poi le sequenze sismiche sembrano allinearsi su un asse circa NW-SE.
2. Dal 2015-2017 si osserva una tendenza allo spostamento a minore profondità degli ipocentri.
3. Dal 2012 in poi si assiste ad un accorciamento dei tempi che separano le diverse sequenze.



Schema sismo-tettonico dell'area del terremoto del 1968.

La distribuzione epicentrale e ipocentrale degli eventi principali e le mappe del danno cumulativo suggeriscono che la sorgente sismogenetica fosse orientata secondo una direzione WSW-ENE e inclinata verso NW secondo un angolo di circa 60°. L'insieme dei dati è consistente con un sovrascorrimento profondo, vergente verso SSE, ubicato al di sotto della Valle del Belice.

### 5.2.2. PERICOLOSITÀ SISMICA

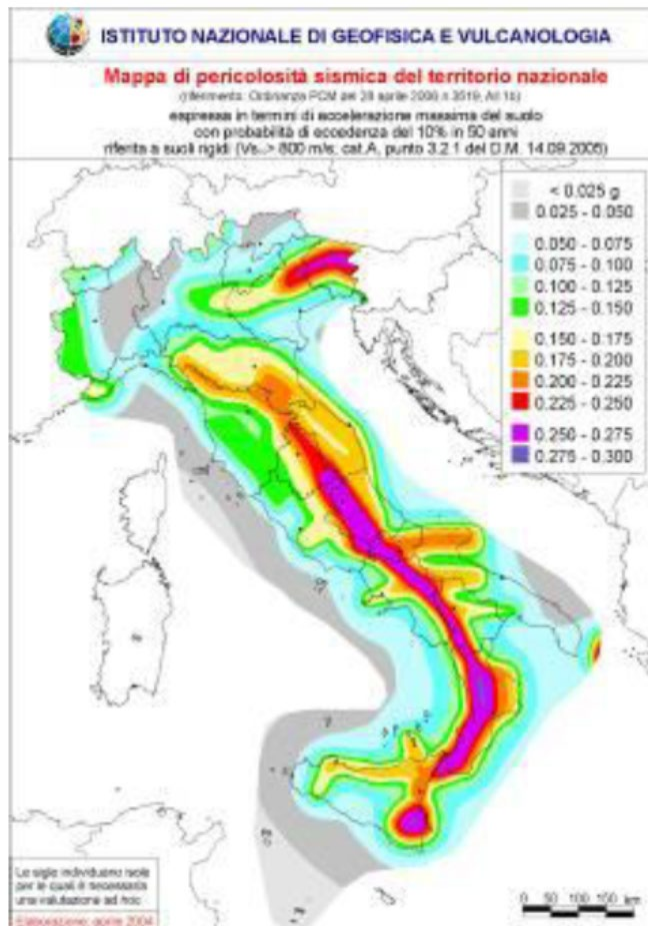
L'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n° 3274 del 20/03/2003 (e successive modifiche ed integrazioni) – "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di Normative tecniche per le costruzioni in zona sismica" disciplinava la classificazione sismica dei comuni d'Italia.

In seguito a tale classificazione, effettuata per ognuno dei comuni d'Italia, è stato emanato un nuovo provvedimento che prevede l'adozione delle stime di pericolosità sismica contenute nel Progetto S1 dell'INGV-DPC.

Detto studio è stato condotto dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) che ha prodotto, per l'intera comunità nazionale, uno strumento scientificamente valido ed avanzato, nonché utilizzabile nell'immediato in provvedimenti normativi.

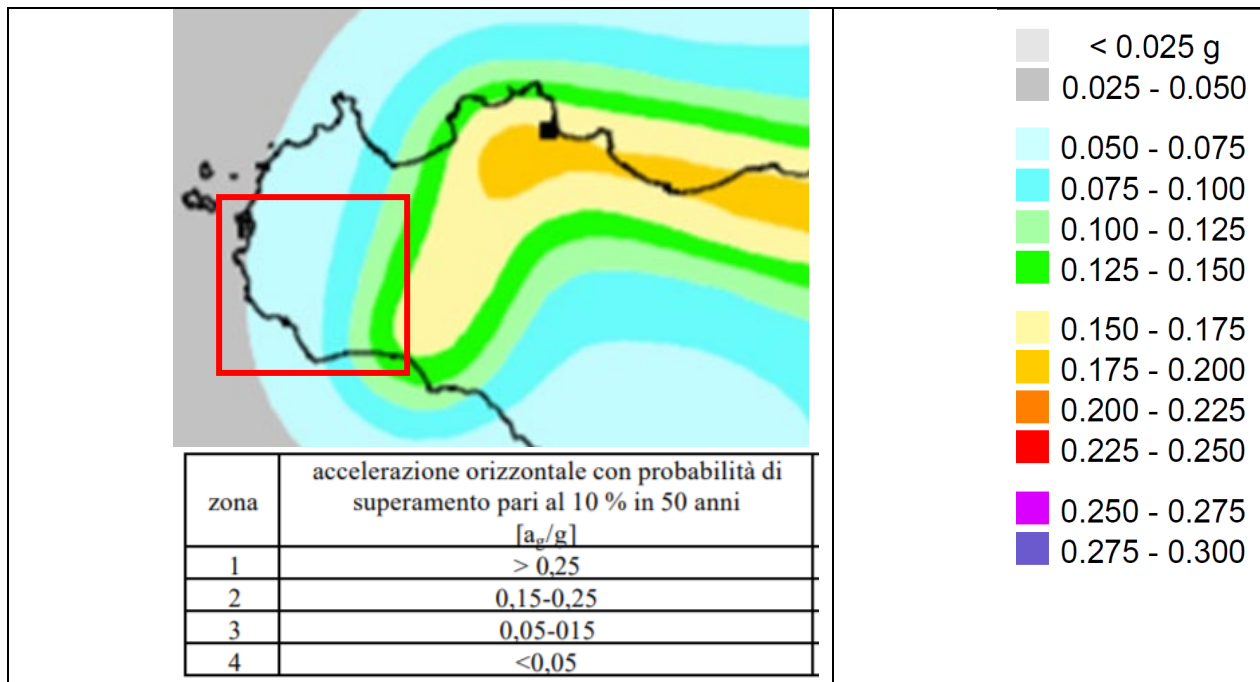
In particolare, con tale provvedimento è stato superato il concetto di una classificazione sismica legata al singolo territorio comunale e si è posta nuova attenzione sul concetto di una pericolosità sismica uniforme a livello nazionale, stimata sulla base di quattro zone

sismiche fondamentali. Infatti, la vecchia classificazione sismica produceva spesso numerose situazioni in cui un comune classificato sismico era fisicamente confinante con un comune non classificato e, pertanto, si assisteva ad un brusco cambiamento nei parametri sismici in un breve arco di territorio.



**Figura 5-2 – Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale (da Meletti & Montaldo 2007) contenuta nel Progetto S1 dell’INGV-DPC (<http://esse1.mi.ingv.it/d2.html>).**

Attualmente, la pericolosità sismica è stimata con una precisione maggiore e, di fatto, le variazioni tra le caratteristiche sismiche di aree adiacenti sono sempre continue e graduali. Successivamente verrà quindi mantenuta la classificazione del territorio nazionale in quattro differenti classi sismiche, ma a scopo esclusivamente amministrativo.

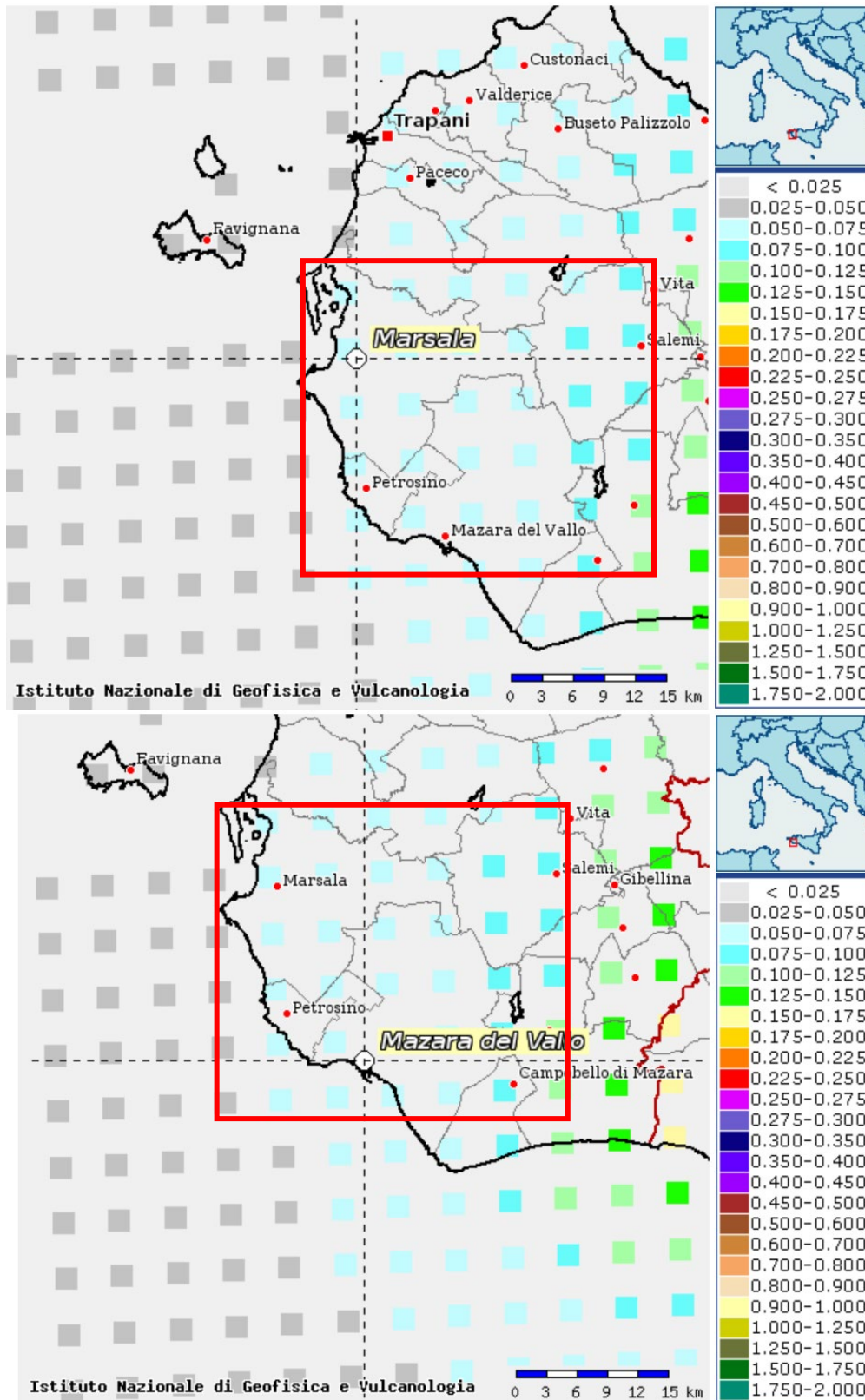


**Figura 5-3 – Mappa di pericolosità sismica dell’area di studio (rettangolo rosso) riferimento Ordinanza PCM del 28 aprile 2006 n.3519, All.1b, espressa in termini di accelerazione massima del suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli rigidi (Vs > 800 m/s; cat.A, punto 3.2.1 del 30 D.M. 14.09.2005)**

La **zona sismica** per il territorio di Marsala e Mazara del Vallo, indicata nell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274/2003, aggiornata con la Delibera della Giunta Regionale del Lazio n. 387 del 22 maggio 2009, successivamente modificata con la D.G.R. n. 571 del 2 agosto 2019, risulta essere:

<b>Zona sismica 2</b>	Zona con pericolosità sismica media dove possono verificarsi forti terremoti.
-----------------------	---

I criteri per l'aggiornamento della mappa di **pericolosità sismica** sono stati definiti nell'Ordinanza del PCM n. 3519/2006, che ha suddiviso l'intero territorio nazionale in quattro zone sismiche sulla base del valore dell'**accelerazione orizzontale massima (ag)** su suolo rigido o pianeggiante, che ha una probabilità del 10% di essere superata in 50 anni.



**Figura** Mappa interattiva di pericolosità sismica per le zone di interesse; i colori della legenda indicano le diverse accelerazioni del suolo (<http://esse1-gis.mi.ingv.it>).

### 5.2.3. SISMICITÀ STORICA

La storia sismica dell'area è stata ricavata dal Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (versione CPTI11) (disponibile sul sito dell'INGV all'indirizzo: <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI11/>) che rappresenta il più completo e aggiornato database

dei parametri macrosismici e strumentali dell'intero territorio nazionale. Nelle figure seguenti sono riportate sia la tabella riassuntiva della storia sismica che il grafico intensità macrosismica/tempo per il comune oggetto di studio.

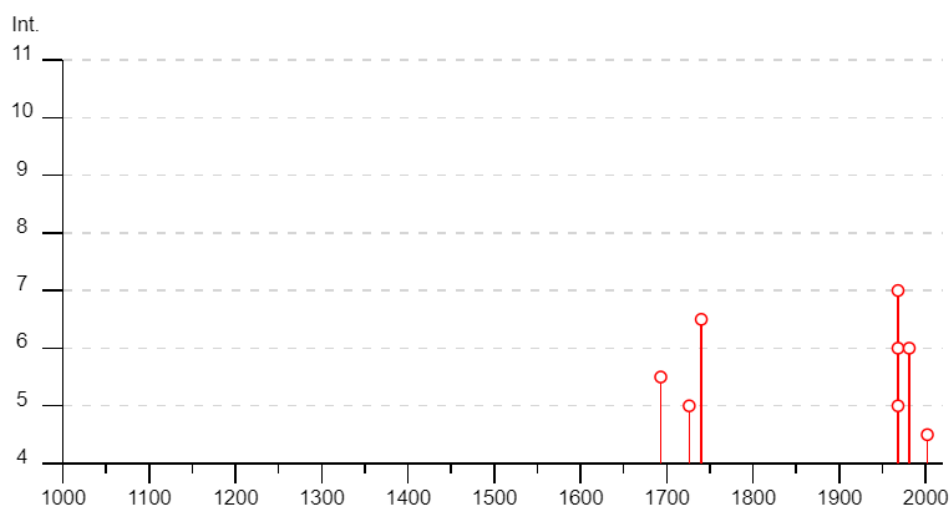
Sia Marsala che Mazara del Vallo registrano gli stessi eventi principali come visibile dalle tabelle proposte di seguito

## Mazara del Vallo



PlaceID IT\_66236  
 Coordinates (lat, lon) 37.656, 12.596  
 Municipality (ISTAT 2015) Mazara del Vallo  
 Province Trapani  
 Region Sicilia  
 No. of reported earthquakes 14

Effects	Reported earthquakes									
Int.	Year	Mo	Da	Ho	Mi	Se	Epicentral area	NMDP	Io	Mw
5-6	1693	01	11	13	30		Sicilia sud-orientale	179	11	7.32
5	1726	09	01	21	55		Tirreno meridionale	8	7-8	5.48
6-7	1740	06	13				Stretto di Sicilia	3	6-7	4.86
3	1897	05	15	13	42	3	Tirreno meridionale	85	5	4.52
3	1908	12	28	04	20	2	Stretto di Messina	772	11	7.10
NF	1910	01	25	08	27		Tirreno meridionale	34	5	4.48
3	1940	01	15	13	19	2	Tirreno meridionale	60	7-8	5.29
7	1968	01	15	02	01	0	Valle del Belice	162	10	6.41
6	1968	01	25	09	56	4	Valle del Belice	32	8	5.37
5	1968	02	12	16	26	0	Valle del Belice	14	6	4.66
F	1980	05	28	19	51	2	Tirreno meridionale	44	5-6	5.66
6	1981	06	07	13	00	5	Mazara del Vallo	50	6	4.93
3-4	1995	05	29	06	52	2	Isole Egadi	45	5	4.78
4-5	2002	09	06	01	21	2	Tirreno meridionale	132	6	5.92

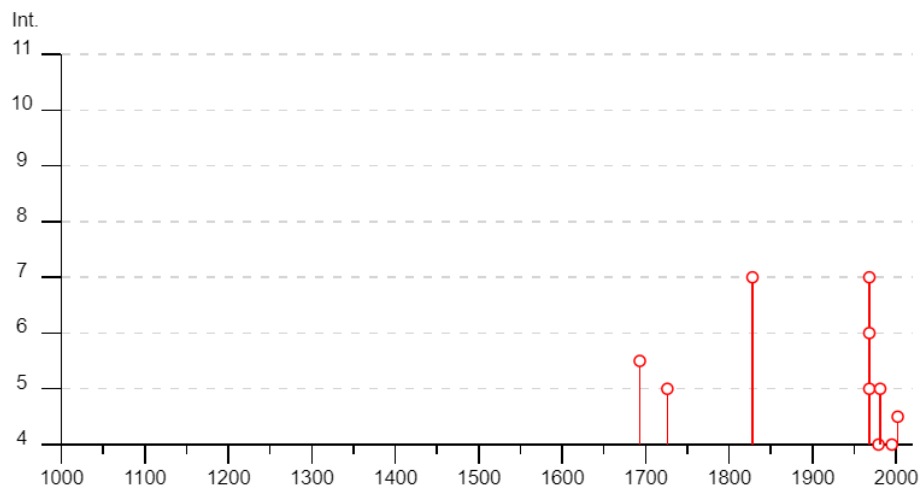


## Marsala

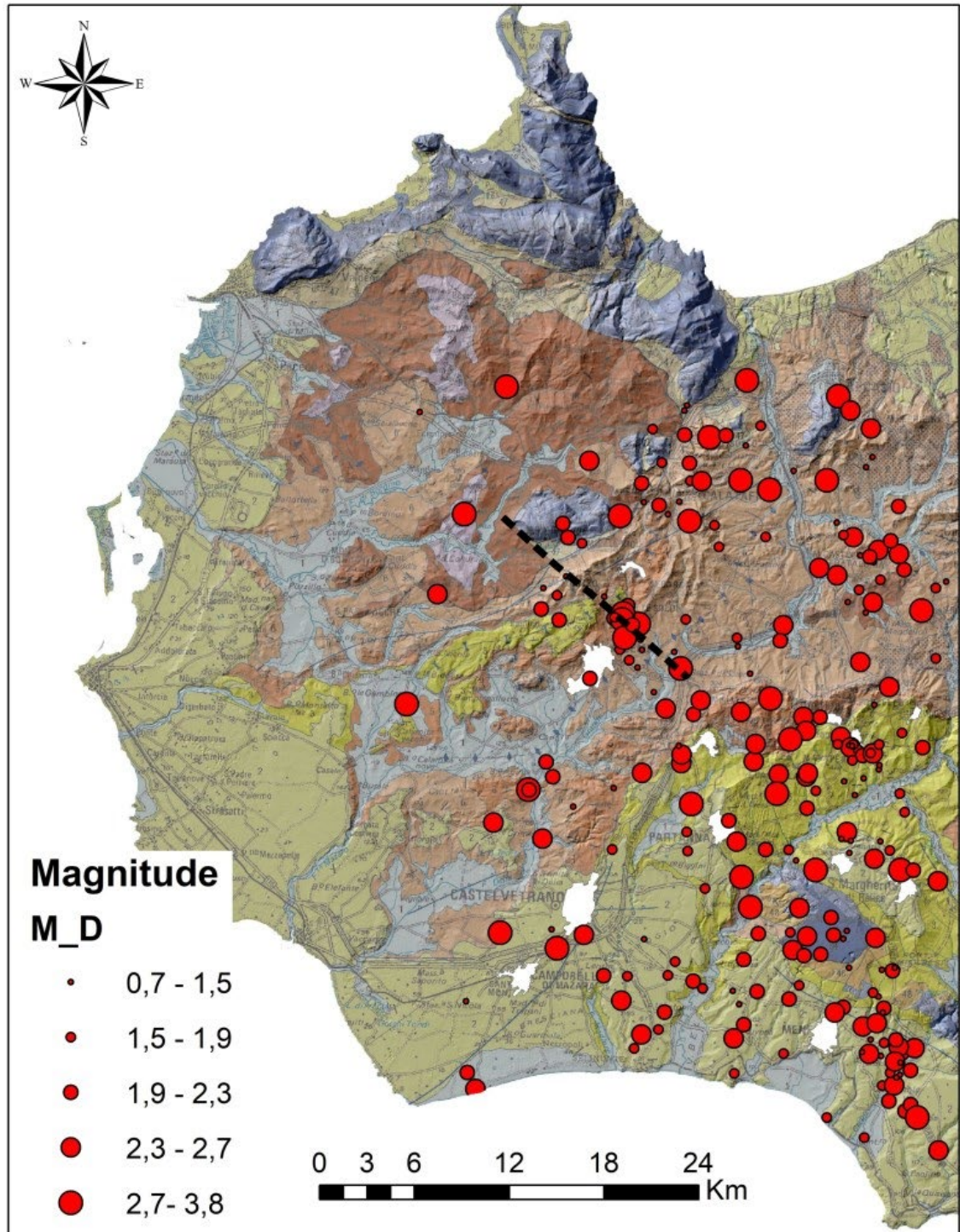


PlaceID IT\_65983  
 Coordinates (lat, lon) 37.797, 12.447  
 Municipality (ISTAT 2015) Marsala  
 Province Trapani  
 Region Sicilia  
 No. of reported earthquakes 14

Effects	Reported earthquakes									
Int.	Year	Mo	Da	Ho	Mi	Se	Epicentral area	NMDP	Io	Mw
5-6	1693	01	11	13	30		Sicilia sud-orientale	179	11	7.32
5	1726	09	01	21	55		Tirreno meridionale	8	7-8	5.48
7	1828	05	18				Sicilia occidentale	1	7	5.10
F	1897	05	15	13	42	3	Tirreno meridionale	85	5	4.52
3	1908	12	28	04	20	2	Stretto di Messina	772	11	7.10
NF	1910	01	25	08	27		Tirreno meridionale	34	5	4.48
7	1968	01	15	02	01	0	Valle del Belice	162	10	6.41
6	1968	01	25	09	56	4	Valle del Belice	32	8	5.37
5	1968	02	12	16	26	0	Valle del Belice	14	6	4.66
4	1979	01	20	13	49	5	Tirreno meridionale	9		4.87
5	1981	06	07	13	00	5	Mazara del Vallo	50	6	4.93
4	1995	05	29	06	52	2	Isole Egadi	45	5	4.78
NF	1999	12	30	18	34	3	Tirreno meridionale	29		4.83
4-5	2002	09	06	01	21	2	Tirreno meridionale	132	6	5.92



► Customize the diagram



Sismicità dell'area attorno alla valle del Belice dal 1985 ad oggi (fonte: database ISIDE INGV, <http://terremoti.ingv.it/iside>). Tratteggiata in nero la possibile sorgente della sequenza del settembre 2020.

### 5.3. I PARAMETRI SISMICI LOCALI

Data la preliminarità della presente e l'indisponibilità di dati sito specifici misurati in sito la determinazione delle azioni sismiche in fase di progettazione verrà eseguita su base zonale territorialmente definita sito sulla base dei valori riportati nell'Allegato B al D.M. 2008 "Tabelle dei parametri che definiscono l'azione sismica", a questo proposito la suddivisione del territorio in zone operata dall'OPCM 3274/03 (più volte ri aggiornato) individua unicamente l'ambito di applicazione dei vari livelli di approfondimento dei parametri sismici che sono al massimo 4.



Il primo grado d'indagine si riferisce semplicemente all'individuazione della classe di appartenenza dell'area su base normativa.

In base alla suddivisione vigente in Sicilia i territori comunali di Marsala e Mazara del Vallo rientrano in un'area classificata di Classe II.

Questo da un punto di vista generale, ma andrebbe considerato anche il dettaglio locale, che è funzione della geometria del rilievo e della litologia che costituisce il substrato.

Questa fase della verifica non può essere effettuata in questa sede mancando gli utili dati di dettaglio.

La stessa fase va rimandata ad un secondo documento che verrà emesso quando saranno disponibili dati di sito. La valutazione presente rimane comunque utile per una fase preliminare e sarà frutto di un'analisi essenzialmente bibliografica derivante da dati pubblicati in rete o da dati forniti dalla Committente provenienti da lavori precedenti.

Per quanto concerne la classificazione dati i tipi litologici, lo spessore presunto delle coperture e prove M.A.SW. eseguite nell'area vasta che possono essere ritenute valide i terreni di fondazione possono essere ritenuti di classe C o D a seconda dei casi, come riportato nelle schede e come definiti nella Tabella riportata in Fig. LL. Così come definito nell'elenco seguente.

Suolo	Descrizione geotecnica	Vs30(m/s)
A	Formazioni litoidi o suoli omogenei molto rigidi caratterizzati da valori di Vs30 > 800m/s, comprendenti eventuali strati di alterazione superficiale di spessore massimo pari a 5m	
B	Depositi di sabbie o ghiaie molto addensate o argille molto consistenti, con spessori di diverse decine di metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs30 compresi tra 360 m/s e 800 m/s	
C	Depositi di sabbie o ghiaie mediamente addensate o argille di media consistenza, con spessori variabili da diverse decine fino a centinaia di metri, caratterizzati da valori di Vs30 compresi tra 180 m/s e 360 m/s	
D	Depositi di granulari da sciolti a poco addensati o coesivi da poco a mediamente consistenti, caratterizzati da valori di	
E	Depositi di granulari da sciolti a poco addensati o coesivi da poco a mediamente consistenti, caratterizzati da valori di Vs30	

#### **5.4. DETERMINAZIONE DEI PARAMETRI SISMICI**

Date le considerazioni sopra effettuate a questo punto si può procedere con la valutazione dei parametri da applicare.

Il calcolo va effettuato su base normativa e sarà finalizzato a fornire le informazioni il più complete possibili sui parametri sismici da applicare in sede di progetto.

La categoria sismica di appartenenza dei terreni di fondazione è già stata definita al Capitolo precedente a partire da dati bibliografici "e dalle prove MASW eseguite, nel dettaglio si può considerare come terreni di fondazione di tipo B" quello delle Torri G06 e G14 e come terreno di tipo o "C" quello di tutti gli altri casi.

Per quanto riguarda invece il valore dei parametri sono frutto dello studio statistico di tipo macro e micro sismico effettuato dall'I.N.G.V. (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia) elaborati con programma dedicato.

Al fine di applicare i parametri corretti occorre fare riferimento alla Normativa Tecnica delle Costruzioni del 2018.

La sicurezza e le prestazioni di un'opera, o di una parte di essa devono essere valutate in relazione agli stati limite che si possono verificare durante la vita nominale del progetto, che è dirimente e stabilita su base normativa in base alla tipologia di struttura.

Si possono quindi definire due tipologie di Stati Limite:

- stati limite ultimi (S.L.U.): "capacità di evitare crolli, perdite di equilibrio e dissesti gravi, totali o parziali, che possano compromettere l'incolumità delle persone oppure comportare la perdita di beni, oppure provocare gravi danni ambientali e sociali, oppure mettere fuori servizio l'opera".

Tra essi si definiscono quelli dinamici:

- Stato Limite di salvaguardia della Vita (S.L.V.);
- Stato Limite di prevenzione del Collasso (S.L.C.).

Oppure stati limite di esercizio (S.L.E.): "capacità di garantire le prestazioni previste per le condizioni di esercizio". Anche in questo caso ve ne sono di tipo dinamico:

- Stato Limite di Operatività (S.L.O.);
- Stato Limite di Danno (S.L.D.).

Per quanto concerne le verifiche di stato che vanno applicate a ciascuna parte degli, dello o a parte delle strutture le verifiche da effettuare sono composte di due parti, verifiche strutturali e verifiche di carattere geotecnico legate all'interazioni esistenti tra i terreni e le strutture attraverso le fondazioni.

Solo di questa seconda parte si occupa il presente paragrafo.

Per farlo occorre procedere per gradi fino alla definizione dei parametri sismici veri e propri da applicare nel corso delle successive verifiche di carattere strutturale. Sotto l'effetto dell'azione sismica le opere e i sistemi geotecnici devono rispettare lo Stato Limite di Salvaguardia della Vita dell'edificio come sopra definito e altrettanti requisiti di sicurezza.

Infatti le verifiche agli stati limite ultimi di opere e sistemi geotecnici si riferiscono al solo stato limite di salvaguardia della vita (S.L.V.) mentre quelle agli stati limite di esercizio si riferiscono al solo stato limite di danno (S.L.D.).

Data la dipendenza normativa dal tempo e dalla tipologia di edificio delle sollecitazioni a cui la struttura può essere sottoposta è necessario tenere conto di altri parametri definiti in ultima analisi dalle N.T.C. al § 2.4. I e che sono i parametri utili alla determinazione del tipo di edificio e, sulla base del tipo di edificio, sono i parametri necessari alla valutazione del Tempo T0, ossia il tempo di ritorno caratteristico da considerare in sede di progetto che nel presente caso è di 50 anni. Nel dettaglio i parametri da considerare sono stati definiti come qui di seguito:

Vita Nominale di progetto (VN):

1) è convenzionalmente definita come il numero di anni nel quale è previsto che l'opera, purché soggetta alla necessaria manutenzione, mantenga specifici livelli prestazionali; i valori minimi di VN da adottare per i diversi tipi di costruzione sono riportati in tabella LLL.

TIPI DI COSTRUZIONI		Valori minimi di V <sub>N</sub> (anni)
1	Costruzioni temporanee e provvisorie	10
2	Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari	50
3	Costruzioni con livelli di prestazioni elevati	100

Tabella 4: Valore nominale delle costruzioni

occorre poi valutare la classe d'uso del suolo che è conseguenza della classe a cui appartiene l'edificio, in questo caso la classe dell'edificio è IV e il corrispondente valore di CU è 2,0. in base alla D.D.G. n. 344 /2020.

CLASSE D'USO	I	II	III	IV
COEFFICIENTE C <sub>U</sub>	0,7	1,0	1,5	2,0

Tabella 5: Valori del Coefficiente d'uso del suolo

2) le classi d'uso sono definite come nella tabella 5;

3) Le azioni sismiche sulle costruzioni vengono valutate in relazione ad un periodo di riferimento VR che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicando la vita nominale di progetto VN per il coefficiente d'uso CU.

CU è anche in questo caso tabulato, pertanto:

$$VR = VN * CU$$

VR è a tutti gli effetti un periodo di riferimento, caratteristico per ciascun tipo di edificio e per un dato tipo di stato limite. Nel presente caso VR = 50 [anni]

Le azioni sismiche di progetto si definiscono a partire dalla "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione, che è descritta dalla probabilità che, in un dato lasso di tempo (appunto il periodo di riferimento VR espresso in anni), in un dato sito si verifichi un evento sismico di entità almeno pari ad un valore prefissato.

In relazione ai differenti tipi di edificio si definiscono, sulla base del periodo VR una serie di parametri numerici che descrivono lo scuotimento del suolo, in particolare:

- accelerazione orizzontale massima attesa "ag" in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido (categoria A), con superficie topografica orizzontale (categoria T1, in questo caso);

- valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro "F0" di accelerazione orizzontale (-);
- periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale Tc (sec).

Nel caso in esame la classe dell'edificio e la II e il periodo di riferimento VN è 50 anni, di conseguenza la vita utile (VR) che abbiamo visto si debba considerare è 50 anni. Su tale periodo vanno eseguiti i calcoli per valutare i tre parametri qui sopra elencati che costituiscono la base le verifiche da eseguire in campo strutturale. Per i valori numerici di ag, F0 e Tc si faccia quindi riferimento agli abachi e tabelle riportate nei paragrafi seguenti.

Sulla base dei parametri riportati nei paragrafi successivi si dovrà quindi provvedere alla determinazione dell'accelerogramma di progetto" ossia alla determinazione della funzione che descrive la forma e l'intensità dell'energia sismica a cui il generico edificio in progetto deve opporsi durante un sisma naturale. La relazione che ne scaturisce ha la tipica forma di un'equazione d'onda che è quella che viene applicata nel calcolo della sollecitazione orizzontale a cui la struttura in progetto è soggetta.

Si ricorda che, ai sensi della vigente normativa, il rispetto dei vari stati limite viene considerato conseguito nei confronti di tutti gli stati limite ultimi S.L.U. quando siano soddisfatte le verifiche al solo S.L.V., mentre nei confronti di tutti gli stati limite di esercizio S.L.E. quando siano rispettate le verifiche relative al solo S.L.D..

#### 5.4.1. PERICOLOSITÀ SISMICA AREA NORD

E' stata condotta una verifica, utilizzando una posizione baricentrica rispetto alla disposizione prevista degli aereogeneratori, e la vicinanza ad un carotaggio eseguito durante la campagna d'indagini (S3)

L'area scelta è l'intorno della località di Baglio Chitarra

Data: 07/11/2020

Vita nominale (Vn): 50 [anni]  
Classe d'uso: IV  
Coefficiente d'uso (Cu): 2  
Periodo di riferimento (Vr): 100 [anni]

Periodo di ritorno (Tr) SLO: 60 [anni]  
Periodo di ritorno (Tr) SLD: 101 [anni]  
Periodo di ritorno (Tr) SLV: 949 [anni]  
Periodo di ritorno (Tr) SLC: 1950 [anni]

Tipo di interpolazione: Media ponderata

##### 5.4.1.1. PERICOLOSITÀ SISMICA DI SITO

Coefficiente di smorzamento viscoso  $\xi$ : 5 %  
Fattore di alterazione dello spettro elastico  $\eta = [10/(5+\xi)]^{(1/2)}$ : 1.000

Categoria sottosuolo: C

Categoria topografica:

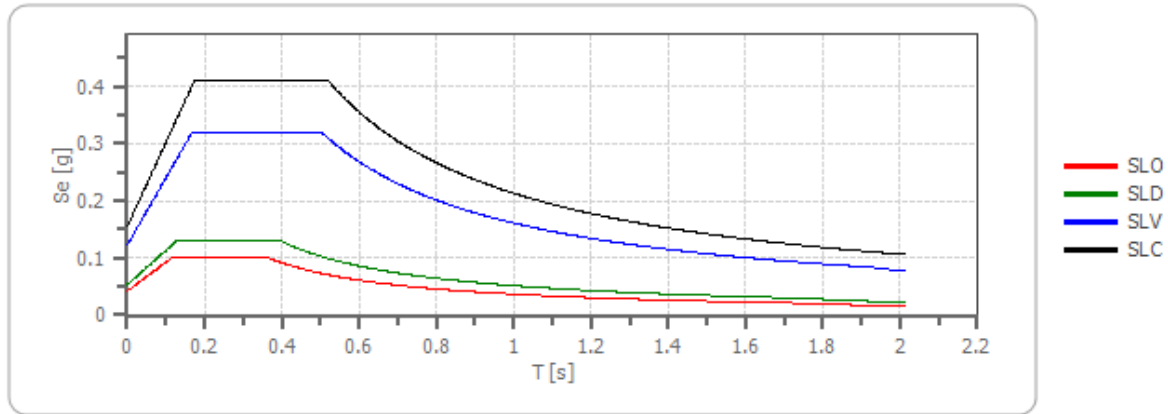
T1: Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media minore o uguale a 15°

#### Stabilità di pendii e fondazioni

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.008	0.011	0.024	0.037
kv	0.004	0.005	0.012	0.019
amax [m/s <sup>2</sup> ]	0.411	0.519	1.199	1.517
Beta	0.200	0.200	0.200	0.240

Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali

**Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali**

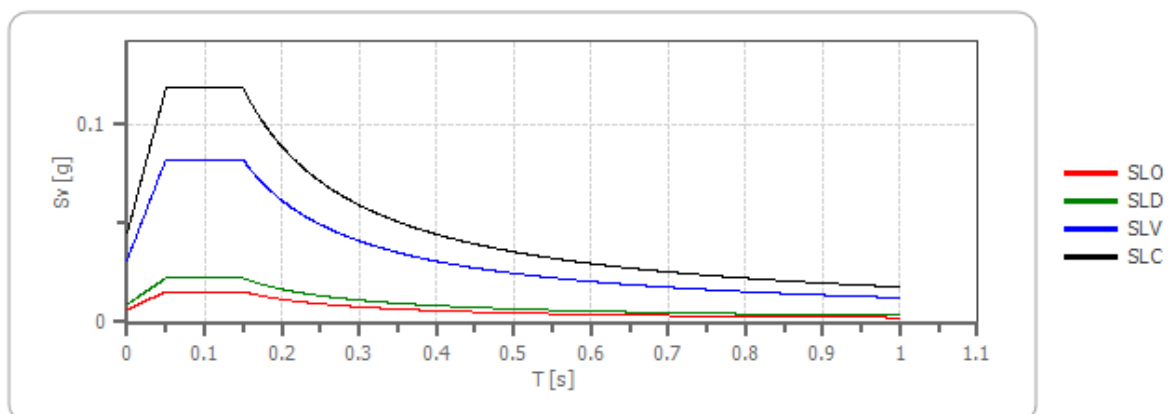


	cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	η [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]
SLO	2.0	0.028	2.443	0.200	1.500	1.790	1.000	1.500	1.000	0.119	0.358	1.712	0.042	0.102
SLD	2.0	0.035	2.481	0.231	1.500	1.700	1.000	1.500	1.000	0.131	0.392	1.741	0.053	0.131
SLV	2.0	0.082	2.612	0.334	1.500	1.510	1.000	1.500	1.000	0.168	0.504	1.926	0.122	0.319
SLC	2.0	0.103	2.648	0.352	1.500	1.480	1.000	1.500	1.000	0.173	0.520	2.012	0.155	0.409

**Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti verticali**

Coefficiente di smorzamento viscoso  $\xi$ : 5 %  
 Fattore di alterazione dello spettro elastico  $\eta = [10 / (5 + \xi)]^{1/2}$ : 1.000

**Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti verticali**



	cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	$\eta$ [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]
SLO	2.0	0.028	2.443	0.200	1	1.790	1.000	1.000	1.000	0.050	0.150	1.000	0.006	0.015
SLD	2.0	0.035	2.481	0.231	1	1.700	1.000	1.000	1.000	0.050	0.150	1.000	0.009	0.022
SLV	2.0	0.082	2.612	0.334	1	1.510	1.000	1.000	1.000	0.050	0.150	1.000	0.031	0.082
SLC	2.0	0.103	2.648	0.352	1	1.480	1.000	1.000	1.000	0.050	0.150	1.000	0.045	0.118

Spettro di progetto

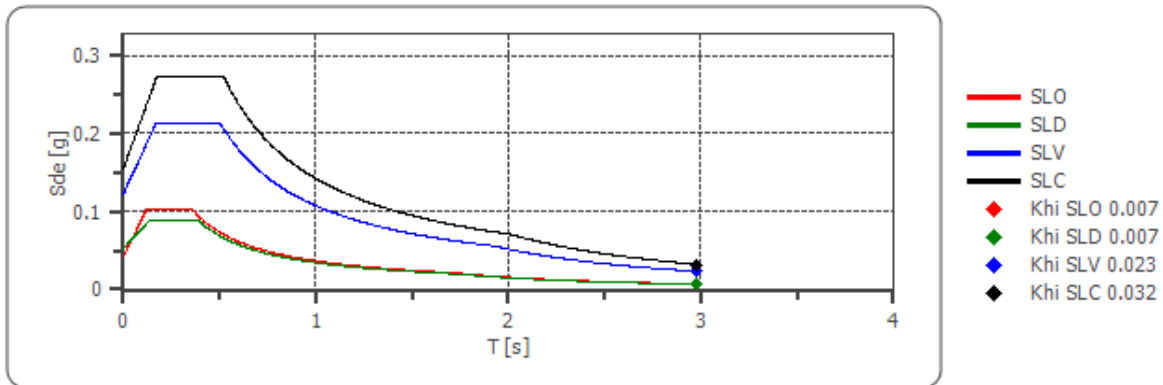
Fattore di struttura spettro orizzontale q: 1.50

Fattore di struttura spettro verticale q: 1.50

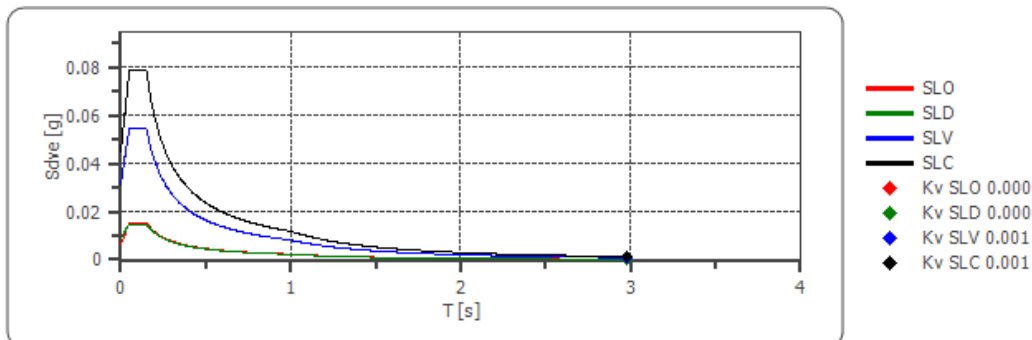
Periodo fondamentale T: 2.98 [s]

	SLO	SLD	SLV	SLC
khi = Sde(T) Orizzontale [g]	0.007	0.007	0.023	0.032
kv = Sdve(T) Verticale [g]	0.000	0.000	0.001	0.001

**Spettro di progetto delle componenti orizzontali**



**Spettro di progetto delle componenti verticali**



	cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	q [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Sd(0) [g]	Sd(TB) [g]
SLO orizzontale	2.0	0.028	2.443	0.200	1.500	1.790	1.000	1.500	1.000	0.119	0.358	1.712	0.042	0.102
SLO verticale	2.0	0.028	2.443	0.200	1.500	1.790	1.000	1.000	1.000	0.050	0.150	1.000	0.006	0.015
SLD orizzontale	2.0	0.035	2.481	0.231	1.500	1.700	1.000	1.500	1.500	0.131	0.392	1.741	0.053	0.088
SLD verticale	2.0	0.035	2.481	0.231	1.500	1.700	1.000	1.000	1.500	0.050	0.150	1.000	0.009	0.015
SLV orizzontale	2.0	0.082	2.612	0.334	1.500	1.510	1.000	1.500	1.500	0.168	0.504	1.926	0.122	0.213
SLV verticale	2.0	0.082	2.612	0.334	1.500	1.510	1.000	1.000	1.500	0.050	0.150	1.000	0.031	0.055
SLC orizzontale	2.0	0.103	2.648	0.352	1.500	1.480	1.000	1.500	1.500	0.173	0.520	2.012	0.155	0.273
SLC verticale	2.0	0.103	2.648	0.352	1.500	1.480	1.000	1.000	1.500	0.050	0.150	1.000	0.045	0.079

#### 5.4.2. PERICOLOSITÀ SISMICA AREA SUD

E' stata condotta una verifica, utilizzando una posizione baricentrica rispetto alla disposizione prevista degli aereogeneratori, e la vicinanza ai carotaggi eseguiti durante la campagna d'indagini (S1-S2)

L'area scelta è l'intorno della località di Casale

Data: 07/11/2020

Vita nominale (Vn): 50 [anni]

Classe d'uso: IV

Coefficiente d'uso (Cu): 2

Periodo di riferimento (Vr): 100 [anni]

Periodo di ritorno (Tr) SLO: 60 [anni]

Periodo di ritorno (Tr) SLD: 101 [anni]

Periodo di ritorno (Tr) SLV: 949 [anni]

Periodo di ritorno (Tr) SLC: 1950 [anni]

Tipo di interpolazione: Media ponderata

#### 5.4.2.1. PERICOLOSITÀ SISMICA DI SITO

Coefficiente di smorzamento viscoso  $\xi$ : 5 %

Fattore di alterazione dello spettro elastico  $\eta = [10/(5+\xi)]^{(1/2)}$ : 1.000

Categoria sottosuolo: C

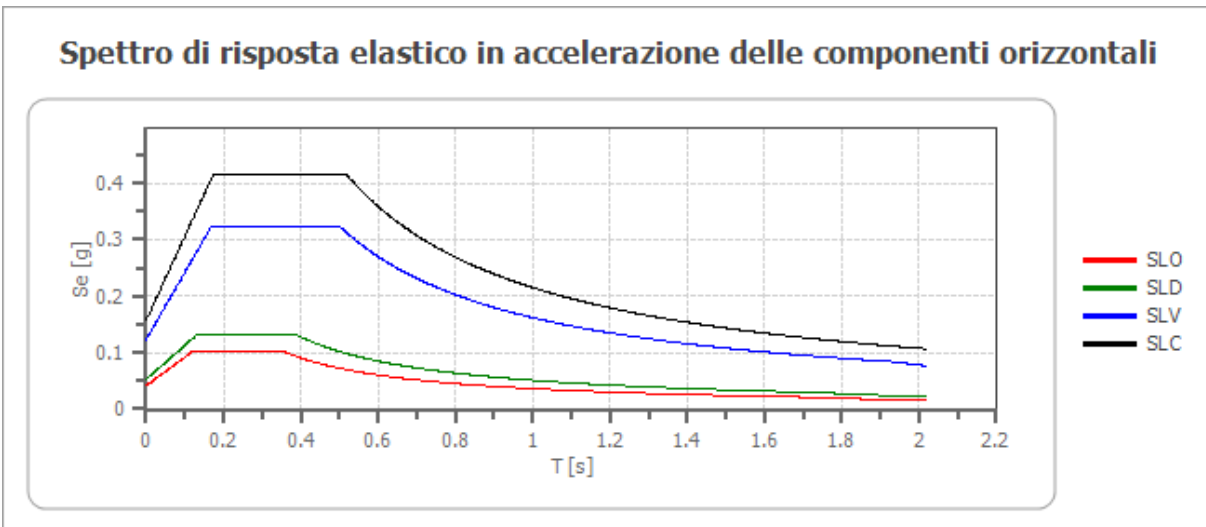
Categoria topografica:

T1: Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media minore o uguale a 15°

**Stabilità di pendii e fondazioni**

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.008	0.011	0.025	0.038
kv	0.004	0.005	0.012	0.019
amax [m/s <sup>2</sup> ]	0.408	0.518	1.210	1.542
Beta	0.200	0.200	0.200	0.240

**Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali**



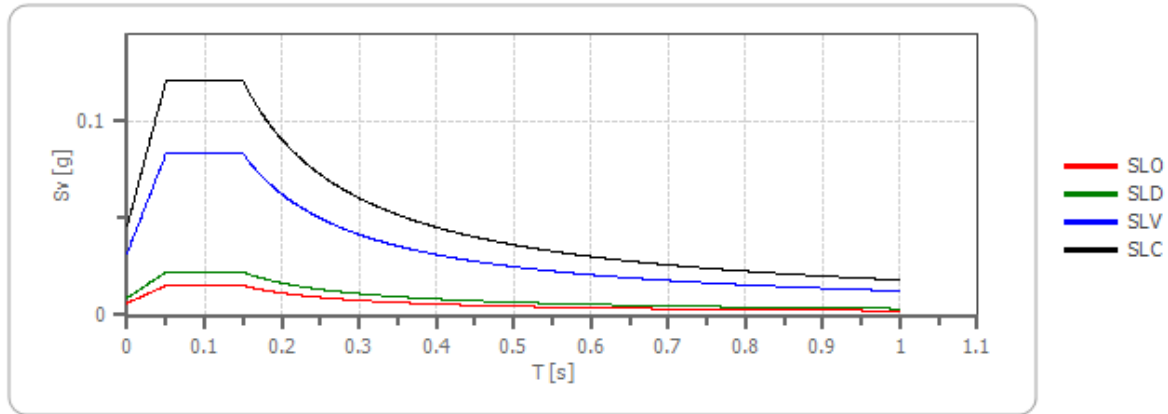
	cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	η [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]
SLO	2.0	0.028	2.441	0.199	1.500	1.790	1.000	1.500	1.000	0.119	0.357	1.711	0.042	0.101
SLD	2.0	0.035	2.477	0.228	1.500	1.710	1.000	1.500	1.000	0.130	0.390	1.741	0.053	0.131
SLV	2.0	0.082	2.610	0.333	1.500	1.510	1.000	1.500	1.000	0.168	0.503	1.929	0.123	0.322
SLC	2.0	0.105	2.637	0.351	1.500	1.480	1.000	1.500	1.000	0.173	0.519	2.019	0.157	0.414

**Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti verticali**

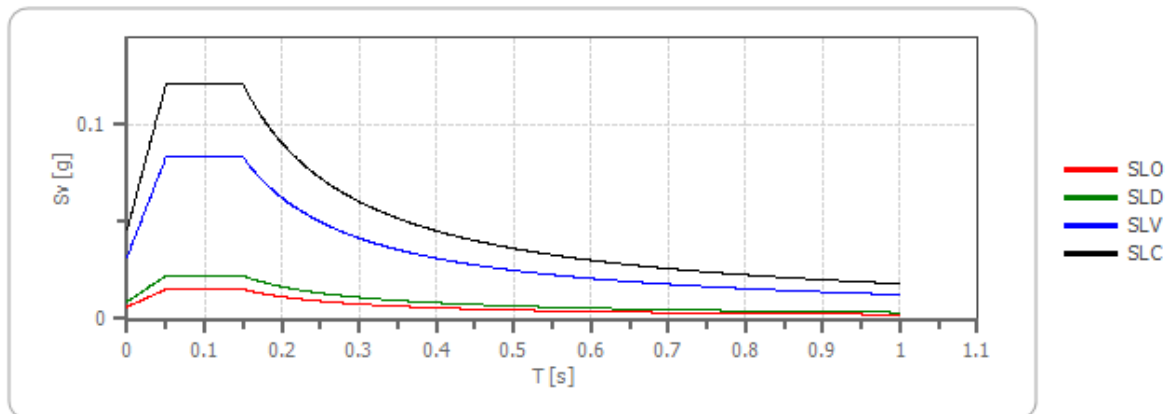
Coefficiente di smorzamento viscoso  $\xi$ : 5 %

Fattore di alterazione dello spettro elastico  $\eta = [10 / (5 + \xi)]^{(1/2)}$ : 1.000

**Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti verticali**



**Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti verticali**



	cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	η [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]
SLO	2.0	0.028	2.441	0.199	1	1.790	1.000	1.000	1.000	0.050	0.150	1.000	0.006	0.015
SLD	2.0	0.035	2.477	0.228	1	1.710	1.000	1.000	1.000	0.050	0.150	1.000	0.009	0.022
SLV	2.0	0.082	2.610	0.333	1	1.510	1.000	1.000	1.000	0.050	0.150	1.000	0.032	0.083
SLC	2.0	0.105	2.637	0.351	1	1.480	1.000	1.000	1.000	0.050	0.150	1.000	0.046	0.121

**Spettro di progetto**

Fattore di struttura spettro orizzontale q: 1.50

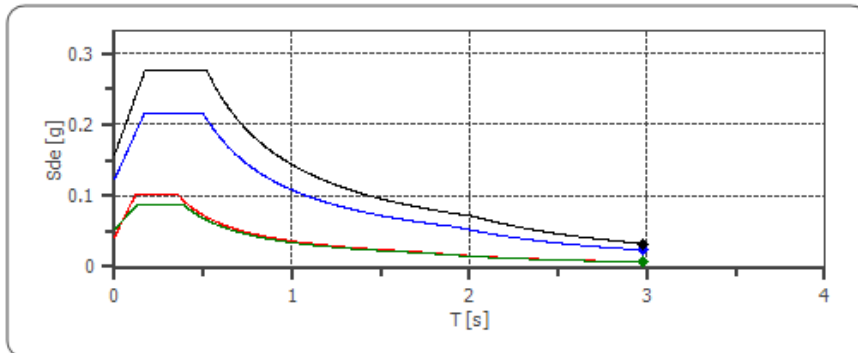
Fattore di struttura spettro verticale q: 1.50

Periodo fondamentale T: 2.98 [s]

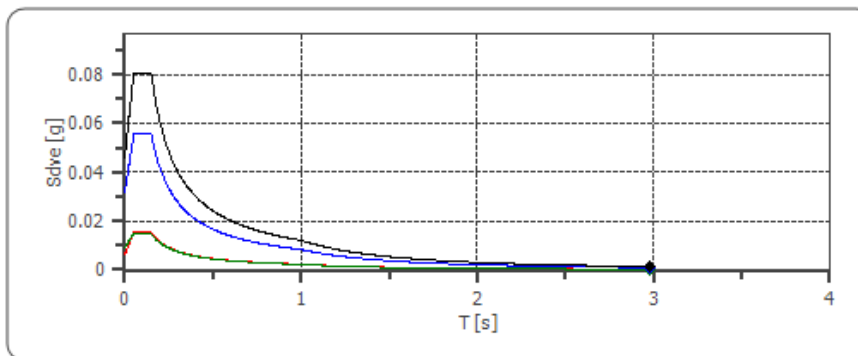
	SLO	SLD	SLV	SLC
khi = Sde(T) Orizzontale [g]	0.007	0.007	0.023	0.033
kv = Sdve(T) Verticale [g]	0.000	0.000	0.001	0.001



**Spettro di progetto delle componenti orizzontali**



**Spettro di progetto delle componenti verticali**



	cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	q [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Sd(0) [g]	Sd(TB) [g]
SLO orizzontale	2.0	0.028	2.441	0.199	1.500	1.790	1.000	1.500	1.000	0.119	0.357	1.711	0.042	0.101
SLO verticale	2.0	0.028	2.441	0.199	1.500	1.790	1.000	1.000	1.000	0.050	0.150	1.000	0.006	0.015
SLD orizzontale	2.0	0.035	2.477	0.228	1.500	1.710	1.000	1.500	1.500	0.130	0.390	1.741	0.053	0.087
SLD verticale	2.0	0.035	2.477	0.228	1.500	1.710	1.000	1.000	1.500	0.050	0.150	1.000	0.009	0.015
SLV orizzontale	2.0	0.082	2.610	0.333	1.500	1.510	1.000	1.500	1.500	0.168	0.503	1.929	0.123	0.215
SLV verticale	2.0	0.082	2.610	0.333	1.500	1.510	1.000	1.000	1.500	0.050	0.150	1.000	0.032	0.055
SLC orizzontale	2.0	0.105	2.637	0.351	1.500	1.480	1.000	1.500	1.500	0.173	0.519	2.019	0.157	0.276
SLC verticale	2.0	0.105	2.637	0.351	1.500	1.480	1.000	1.000	1.500	0.050	0.150	1.000	0.046	0.081

## 6. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

L'impianto in progetto si sviluppa su un'area caratterizzata dal punto di vista morfologico da una serie di basse colline con asse prevalente Nord/Est – Sud/Ovest i cui versanti hanno perlopiù leggera inclinazione, il rilievo è dolce e regolare.

Le valli e vallecole presenti sono ampie e poco incise.

Non ci sono evidenze di dissesti gravitativi in atto e sia la cartografia consultata sia le immagini da satellite di dettaglio acquisite ne escludono la presenza.

Da un punto di vista litologico l'area è caratterizzata da un substrato roccioso di varia competenza essenzialmente di natura calcareo arenitica, le argilliti e le marne sono sub ordinate.

Nel corso dell'illustrazione sopra riportata se ne sono discussi i dettagli litologici e nel limite della disponibilità dei dati sono state identificate per le singole torri le stratigrafie di riferimento.

Al netto dei casi in cui si assiste alla presenza di terreni di copertura colluviali, attuali o recenti, il substrato roccioso è ricoperto in genere da uno strato eluviale di alterazione figlio della lenta disgregazione del substrato stesso, detta copertura è solo raramente grano sostenuta ed è costituita essenzialmente da sabbie e sabbie argillose con limo che in qualche caso diventa prevalente.

Per questo motivo si ritiene che la tipologia del terreno dal punto di vista sismico prevalente sia la categoria "C".

Qui di seguito in forma tabellare si presentano tutti i valori geotecnici relativi alle 10 litologie individuate nel presente lavoro.

Simbolo	" $\gamma$ "	" $\phi$ "	" $c$ "	Dr	M	" $\mu$ "	$k_{wv}$	$V_s$
Parametro	Peso di Volume	Angolo di Attrito	Coesione	Densità Relativa	Modulo confinato	Coeff. di Poisson	Coeff. di Winkler (verticale)	Velocità onde di taglio
[u.m]	[Ton/m <sup>3</sup> ]	[°]	[Kg/cm <sup>2</sup> ]	[%]	[MPa]	[-]	[Kg/cm <sup>3</sup> ]	[m/sec]
Cop. Eluviale	1,87	33	2,25	86	10	0,3	18,0	165
Regolite	2,18	36	4,0	90	24	0,4	25,0	220
Dep. Terrazzati marini	2,18	40	0	90	38		14,0	2.200
Alluvioni attuali	1,90	38	0,75	65	20	0,3	8,0	140
Flysh della Valle del Belice	2,20	32	1,25	95	37			1.250
Alluvioni Recenti	1,95	33	1,0	85	22	0,4	14,0	200
Calcarì a Turbi	2,50	45	0	100	40			3000
Grande Terrazzo Superiore	2,09	34	0	85	20		12,0	380
Argilliti a foraminiferi	2,25	45	4,5	100	40			2.800
Calcarenite di Marsala	2,23	44	0	100	45		15,0	2.850
Parametro	Peso di Volume	Angolo di Attrito	Coesione	Densità Relativa	Modulo confinato	Coeff. di Poisson	Coeff. di Winkler (verticale)	Velocità onde di taglio

Per la loro applicazione si deve fare riferimento alle singole stratigrafie "modello" riportate per ciascuna torre nel testo, nella tabella qui di seguito se ne trova una sintesi schematica. Per quanto concerne gli aspetti sismici si deve fare riferimento ai contenuti del Cap. 5. Sulle varie installazioni non sono stati individuati possibili dissesti e nemmeno si sono individuate possibili indicazioni del fatto che le varie zone individuate possano essere soggette a vincolo idrogeologico.

Data la tipologia di opera da installare e la tipologia di substrato presunto è necessario prevedere fondazioni profonde.

A tutela delle opere dovranno essere previsti adeguati sistemi di raccolta e smaltimento delle acque superficiali data la bassa permeabilità degli strati superficiali di suolo.

Per le torri G05, G06 e G07 potrebbe esserci la presenza di falda.

Per le altre opere non si ritiene che ci siano particolari cautele da adottare, se non quelle generali sopra descritte.

**TABELLA STRATIGRAFIE SINTETICHE**

TORRE T3-	STRATO 01		STRATO 02		STRATO 03	
	da m	a m	da m	a m	da m	a m
G01	0,50	4,00	4,00	6,00	6,00	> 6
	TERRENO 1		TERRENO 1		TERRENO 8	
G02	0,50	4,00	4,00	6,00	6,00	> 6
	TERRENO 1		TERRENO 1		TERRENO 8	
G03	0,50	4,00	4,00	6,00	6,00	> 6
	TERRENO 1		TERRENO 2		TERRENO 5	
G04	0,50	4,00	4,00	6,00	6,00	> 6
	TERRENO 1		TERRENO 2		TERRENO 5	
G05	0,50	4,00	4,00	7,00	7,00	> 7
	TERRENO 4		TERRENO 2		TERRENO 5	
G06	0,50	4,00	4,00	7,00	7,00	> 7
	TERRENO 4		TERRENO 2		TERRENO 5	
G07	0,50	4,00	4,00	7,00	7,00	> 7
	TERRENO 4		TERRENO 2		TERRENO 5	
G08	0,50	4,00	4,00	6,00	6,00	> 6
	TERRENO 1		TERRENO 2		TERRENO 10	
G09	0,50	4,00	4,00	6,00	6,00	> 6
	TERRENO 1		TERRENO 1		TERRENO 8	
G10	0,50	4,00	4,00	6,00	6,00	> 6
	TERRENO 1		TERRENO 1		TERRENO 8	
G11	0,50	4,00	4,00	6,00	6,00	> 6
	TERRENO 1		TERRENO 2		TERRENO 10	
G12	0,50	4,00	4,00	6,00	6,00	> 6
	TERRENO 1		TERRENO 1		TERRENO 8	
G13	0,50	4,00	4,00	6,00	6,00	> 6
	TERRENO 1		TERRENO 1		TERRENO 8	
G14	0,50	4,00	4,00	6,00	6,00	> 6
	TERRENO 1		TERRENO 1		TERRENO 8	
G15	0,50	4,00	4,00	6,00	6,00	> 6
	TERRENO 1		TERRENO 1		TERRENO 8	
G16	0,50	4,00	4,00	6,00	6,00	> 6
	TERRENO 1		TERRENO 1		TERRENO 8	

Si tenga presente che quanto sopra è stato ricavato principalmente da dati bibliografici oltre tutto alla grande scala, pertanto per livelli di progettazione definitiva ed esecutiva sono assolutamente necessarie indagini sito specifiche di verifica, adeguatamente pensate e progettate e che quanto illustrato è valido per i siti su cui si ubicano le torri, diventa molto più indicativo per quanto concerne eventuali opere necessarie per la realizzazioni di accessi, opere a servizio o viabilità.

Tenuto presente quanto sopra espresso non ci sono (allo stato attuale delle indagini) condizioni che ostino la realizzazione delle opere in progetto.



Engineering & Construction



GRE CODE  
**GRE.EEC.R.25.IT.W.13824.49.001.00**

PAGE  
1 di/of 96

TITLE:

AVAILABLE LANGUAGE: IT

## Trapani 2

# Indagini Geognostiche e Geofisiche

File: GRE.EEC.R.25.IT.W.13824.49.001.00\_Indagini geognostiche e geofisiche

REV.	DATE	DESCRIPTION	PREPARED	VERIFIED	APPROVED
00	20/11/2020	Issued	SONGEO SRL GEOL. S. ALLORO	SONGEO SRL GEOL. S. BIANCHI	SONGEO SRL GEOL. S. BIANCHI

### GRE VALIDATION

Name (GRE)	G. Buonomo	A. Puosi
COLLABORATORS	VERIFIED BY	VALIDATED BY

PROJECT / PLANT <b>Trapani 2</b>	GRE CODE																		
	GROUP	FUNCION	TYPE	ISSUER	COUNTRY	TEC	PLANT				SYSTEM	PROGRESSIVE	REVISION						
	GRE	EEC	R	2	5	I	T	W	1	3	8	2	4	4	9	0	0	1	0

CLASSIFICATION	<b>PUBLIC</b>	UTILIZATION SCOPE	<b>BASIC DESIGN</b>
----------------	---------------	-------------------	---------------------

This document is property of Enel Green Power S.p.A. It is strictly forbidden to reproduce this document, in whole or in part, and to provide to others any related information without the previous written consent by Enel Green Power S.p.A.

## INDICE

<b>1. PREMESSA</b> .....	4
<b>2. SONDAGGI GEOGNOSTICI MECCANICI A CAROTAGGIO CONTINUO</b> .....	10
2.1 Modalità tecniche esecutive .....	10
2.2 Prove con Pocket Penetrometer .....	16
2.3 Prelievo campioni e prove geotecniche di laboratorio .....	19
2.4 Prove in foro di sondaggio SPT - (Standard Penetration Test) .....	19
<b>3. PROVA SISMICA MULTICANALE MASW (MULTICHANNEL ANALYSIS OF SURFACE WAVES)</b> .....	23
3.1 Generalità .....	23
3.2 Strumentazione e configurazione geometrica utilizzata .....	23
3.3 Elaborazione dati .....	25
3.4 Definizione “ <i>Categoria di sottosuolo</i> ” .....	29
3.5 Risultati prove MASW .....	31
3.6 Calcolo “ <i>Moduli elastici</i> ” e “ <i>Parametri Geosismici</i> ” .....	32
3.6.1 Moduli elastici .....	32
3.6.2 Parametri geosismici .....	34
3.6.3 Impedenza sismica (IS) .....	34
<b>4. PROSPEZIONE GEOELETTRICA TOMOGRAFICA (ERT)</b> .....	35
4.1 Generalità .....	35
4.2 Resistività delle rocce .....	35
4.3 Strumentazione ed acquisizione dati .....	38
4.4 Risultati Tomografie Elettriche (ERT) .....	44
<b>5. RILIEVO PLANO-ALTIMETRICO GPS DELLE INDAGINI</b> .....	45
5.1 Generalità e metodologia .....	45
5.2 Strumentazione utilizzata .....	45
5.3 Risultati del rilievo .....	46

## Indice delle figure

<b>Figura 1.</b> Ubicazione siti di indagine. ....	5
<b>Figura 2.</b> Ubicazione indagini sito n. 1: T2 MM3-G14. ....	7
<b>Figura 3.</b> Ubicazione indagini sito n. 2: T2 MM2-G06. ....	7
<b>Figura 4.</b> Ubicazione indagini sito n. 3: T3 MM2-T3_12. ....	8
<b>Figura 5.</b> Ubicazione indagini sito n. 4: T3 MM1. ....	8
<b>Figura 6.</b> Ubicazione indagini sito n. 5: T2 MM1. ....	9
<b>Figura 7.</b> Sonda oleodinamica su cingoli “Soiltek S16” (postazione sondaggio T3 MM2-T3_12_S3). ....	11
<b>Figura 8.</b> Caratteristiche e funzionamento Magnetometro “Ebinger Magnex 120 LW”. ....	12
<b>Figura 9.</b> Dati tecnici e funzionamento Magnetometro “Ebinger Magnex 120 LW”. ....	13
<b>Figura 10.</b> Esempio di cassetta catalogatrice (Cassetta n. 4 sondaggio T2 MM3-G14_S1). ....	14
<b>Figura 11.</b> Cassette depositate nel cantiere di Partanna (n. 19 cassette totali). ....	15
<b>Figura 12.</b> Legenda con le informazioni riportate nelle stratigrafie. ....	15
<b>Figura 13.</b> Rappresentazione grafica delle percentuali di tipologia dei litotipi perforati. ....	16
<b>Figura 14.</b> Penetrometro tascabile a “stilo”. ....	16
<b>Figura 15.</b> Rappresentazione grafica prove S.P.T. ....	20
<b>Figura 16.</b> Esecuzione prova SPT10, con punta aperta, durante il sondaggio T2 MM2-G06_S2. ....	21
<b>Figura 17.</b> Apparecchiatura modulare per sismica a rifrazione e riflessione M.A.E. A6000S. ....	24
<b>Figura 18.</b> Tracce sismiche prova MASW (scoppio 7.5 m andata T2 MM3-G14_M1). ....	26
<b>Figura 19.</b> Analisi dominio f-k (T2 MM3-G14_M1). ....	26
<b>Figura 20.</b> Densità spettrale normalizzata nel piano Velocità di fase apparente /frequenza (T2 MM3-G14_M1). ....	27
<b>Figura 21.</b> Modello di velocità del sottosuolo MASW T2 MM3-G14_M1 (in verde Vp calcolate). ....	28
<b>Figura 22.</b> Confronto tra curva di dispersione teorica calcolata attraverso il modello di velocità teorico del sottosuolo (curva nera) con la curva sperimentale (curva rossa a pallini) MASW T2 MM3-G14_M1. ....	29
<b>Figura 23.</b> Georesistivimetro M.A.E. X612-EM+ (postazione T2 MM3-G14_ERT1). ....	40
<b>Figura 24.</b> Tabella misure di campagna (prime 27 misure Wenner $\alpha$ T2 MM3-G14_ERT1). ....	40
<b>Figura 25.</b> Dispositivi elettrodi lineari quadripolari di misura comunemente usati. ....	41

- Figura 26.** Disposizione degli elettrodi sul terreno per indagini geoelettriche multielettrodiche 2D (a) e 3D (b). .....42  
**Figura 27.** Sistema GPS/GNSS Stonex S8 Plus usato (durante il rilievo degli elettrodi T3 MM2-T3\_12\_ERT3).....46

### Indice delle tabelle

<b>Tabella 1.</b> Tabella riassuntiva delle indagini eseguite. ....	6
<b>Tabella 2.</b> Caratteristiche tecniche Sonda “Soiltek S16”.....	10
<b>Tabella 3.</b> Tabella riassuntiva delle misure RP eseguite sul sondaggio T2 MM2-G06_S2.....	17
<b>Tabella 4.</b> Tabella riassuntiva delle misure RP eseguite sul sondaggio T3 MM2-T3_12_S3.....	18
<b>Tabella 5.</b> Tabella riassuntiva dei campioni prelevati durante i sondaggi. ....	19
<b>Tabella 6.</b> Tabella riassuntiva delle prove SPT eseguite e dei valori $N_{SPT}$ ed $N_{60}$ per i tre siti di indagine. ....	22
<b>Tabella 7.</b> Caratteristiche generali delle prove MASW eseguite. ....	25
<b>Tabella 8.</b> Modello di velocità teorico relativo alla curva teorica di fig. 20. ....	28
<b>Tabella 9.</b> Categorie di sottosuolo che permettono l’utilizzo dell’approccio semplificato - DM 17/01/2018. ....	30
<b>Tabella 10.</b> Calcolo categoria sottosuolo (DM 17/01/2018) MASW T2 MM3-G14_M1.....	31
<b>Tabella 11.</b> Calcolo dei moduli elasto-dinamici MASW T2 MM3-G14_M1.....	34
<b>Tabella 12.</b> Valori della resistività per alcune rocce, minerali e metalli.....	38
<b>Tabella 13.</b> Caratteristiche generali delle tomografie elettriche eseguite. ....	43
<b>Tabella 14.</b> Profondità di investigazione dei vari dispositivi elettrodi (Loke, 2001); (L: lunghezza dello stendimento elettrodi; a: distanza interelettrodi; z: profondità di indagine; n: numero di livelli nel sottosuolo).....	44
<b>Tabella 15.</b> Caratteristiche tecniche della strumentazione usata. ....	46
<b>Tabella 16.</b> Coordinate metriche rilevate dei sondaggi eseguiti (Sistema di riferimento UTM WGS84 33S). ....	47
<b>Tabella 17.</b> Coordinate metriche rilevate dei geofoni iniziali e finali degli stendimenti sismici eseguiti (Sistema di riferimento UTM WGS84 33S).....	47
<b>Tabella 18.</b> Coordinate metriche rilevate degli elettrodi T2 MM3-G14_ERT1 (Sistema di riferimento UTM WGS84 33S).....	48
<b>Tabella 19.</b> Coordinate metriche rilevate degli elettrodi T2 MM2-G06_ERT2 (Sistema di riferimento UTM WGS84 33S).....	49
<b>Tabella 20.</b> Coordinate metriche rilevate degli elettrodi T3 MM2-T3_12_ERT3 (Sistema di riferimento UTM WGS84 33S).....	50

## 1. PREMESSA

La società scrivente “**SONGEO S.r.l.**”, risultata affidataria dei servizi inerenti e contenuti nell’**“Accordo Quadro 8400151333 per l’esecuzione di indagini geognostiche-geofisiche in sito nel territorio nazionale italiano ed europeo”** stipulato con ENEL GREEN POWER SPA, espone con il presente rapporto tecnico di prova le risultanze di una campagna di indagini geognostiche caratterizzata dall’esecuzione di sondaggi a carotaggio continuo, prove geotecniche in sito durante i suddetti carotaggi (SPT), prelievo di campioni indisturbati da sottoporre a prove di laboratorio geotecnico e da prove geofisiche di tipo sismico e geoelettrico.

L’esecuzione delle prospezioni in oggetto, come si vedrà nei successivi paragrafi, ha permesso di fornire tutte le informazioni geometriche e stratigrafiche, con la relativa caratterizzazione fisico-meccanica, sismica ed elettrica dei litotipi interessati dalle opere in progetto.

Tale elaborato, quindi, è parte integrante degli elaborati tecnici e degli atti richiesti, in fase di progettazione preliminare, dagli organi competenti per gli interventi inerenti i lavori di realizzazione di un impianto eolico denominato **“Trapani eolico”**.

Il presente lavoro è stato eseguito seguendo i criteri e le disposizioni contenute:

- ✓ nel D.M. 11.03.88 e nelle precedenti normative riguardanti le **“Indagini sui terreni e sulle rocce”**;
- ✓ nelle vigenti **“Norme Tecniche per le Costruzioni”** emanate con il D.M. 17 gennaio 2018 e sue ss. mm. ed ii. per quanto concerne gli aspetti connessi alla **“sicurezza strutturale”**, nonché nelle vigenti e cogenti norme in campo antisismico;
- ✓ nelle precedenti NTC approvate con il D.M. 14 gennaio 2008 e sue ss. mm. ed ii.;
- ✓ negli elaborati forniti dalla società committente:
  - ⇒ Capitolato Tecnico REV.02 del 20 dicembre 2018;
  - ⇒ Computo Metrico Estimativo;
  - ⇒ Ubicazione delle indagini fornita su file .kmz (Google Earth).

Le attività geognostiche hanno avuto inizio e fine rispettivamente il 28 ottobre ed il 04 novembre c.a. e sono state eseguite sotto la direzione tecnica del Dott. Geol. Salvatore Alloro, redattore del presente report di indagine conclusivo.

Nello specifico, le prospezioni geognostiche e geofisiche eseguite, in termini di quantità e tipologia eseguite e concordate con la DL, possono essere così elencate:

- a. n. 03 **sondaggi geognostici meccanici a carotaggio continuo**;
- b. n. 06 **prelievi di campioni “relativamente indisturbati” a diverse profondità per analisi e prove geotecniche di laboratorio**;
- c. n. 40 **prove SPT in foro**;

- d. n. 5 prove MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves);
- e. n. 3 Tomografie elettriche 2D (ERT).



**Figura 1.** Ubicazione siti di indagine.

Di seguito si fornisce una tabella riepilogativa delle indagini eseguite distinte per ogni sito investigato. La denominazione (ID) di ogni tipologia di indagine è costituita dalla prima parte che identifica il sito, così come da indicazioni della DL, e dalla seconda parte che identifica l'indagine eseguita con la numerazione progressiva di esecuzione (ID\_Sx = sondaggio geognostico, ID\_SxCx = campione prelevato durante il sondaggio, ID\_Mx = Masw e ID\_ERTx = tomografia elettrica).



**TABELLA RIASSUNTIVA DELLE INDAGINI ESEGUITE**

ID Indagine eseguita	Tipologia indagine eseguita	Profondità raggiunta (m)	Prelievo campioni Denominazione e prof. prelievo		Lunghezza stendimento sismico (m)	Prove SPT (n°)
<b>Sito n. 1: T2 MM3-G14</b>						
T2 MM3-G14_S1	Sondaggio geognostico	30,00	T2 MM3-G14_S1C1	5,00÷5,50		n. 13 in totale
			T2 MM3-G14_S1C2	15,00÷15,50		
T2 MM3-G14_M1	MASW				57,50	
T2 MM3-G14_ERT1	Tomografia elettrica				213,00	
<b>Sito n. 2: T2 MM2-G06</b>						
T2 MM2-G06_S2	Sondaggio geognostico	30,00	T2 MM2-G06_S2C1	8,50÷9,00		n. 14 in totale
			T2 MM2-G06_S2C2	18,00÷18,50		
T2 MM2-G06_M2	MASW				57,50	
T2 MM2-G06_ERT2	Tomografia elettrica				213,00	
<b>Sito n. 3: T3 MM2-T3_12</b>						
T3 MM2-T3_12_S3	Sondaggio geognostico	30,00	T3 MM2-T3_12_S3C1	7,50÷8,00		n. 13 in totale
			T3 MM2-T3_12_S3C2	13,00÷13,60		
T3 MM2-T3_12_M3	MASW				57,50	
T3 MM2-T3_12_ERT3	Tomografia elettrica				213,00	
<b>Sito n. 4: T3 MM1</b>						
T3 MM1_M4	MASW				57,50	
<b>Sito n. 5: T2 MM1</b>						
T2 MM1_M5	MASW				57,50	

**Tabella 1.** Tabella riassuntiva delle indagini eseguite.

Per l'esecuzione delle prove si sono scelte le ubicazioni ottimali in relazione agli spazi disponibili ed alle opere di interesse progettuale. Inoltre, sia i sondaggi meccanici che le prove geofisiche (punti di inizio-fine dei transetti geofisici eseguiti riguardanti le prove Masw e gli elettrodi nelle tomografie elettriche) sono state oggetto di rilievo plano-altimetrico mediante metodologia GPS.

Di seguito si riportano le ubicazioni di tutte le indagini eseguite e di cui si tratterà più avanti nei paragrafi successivi.

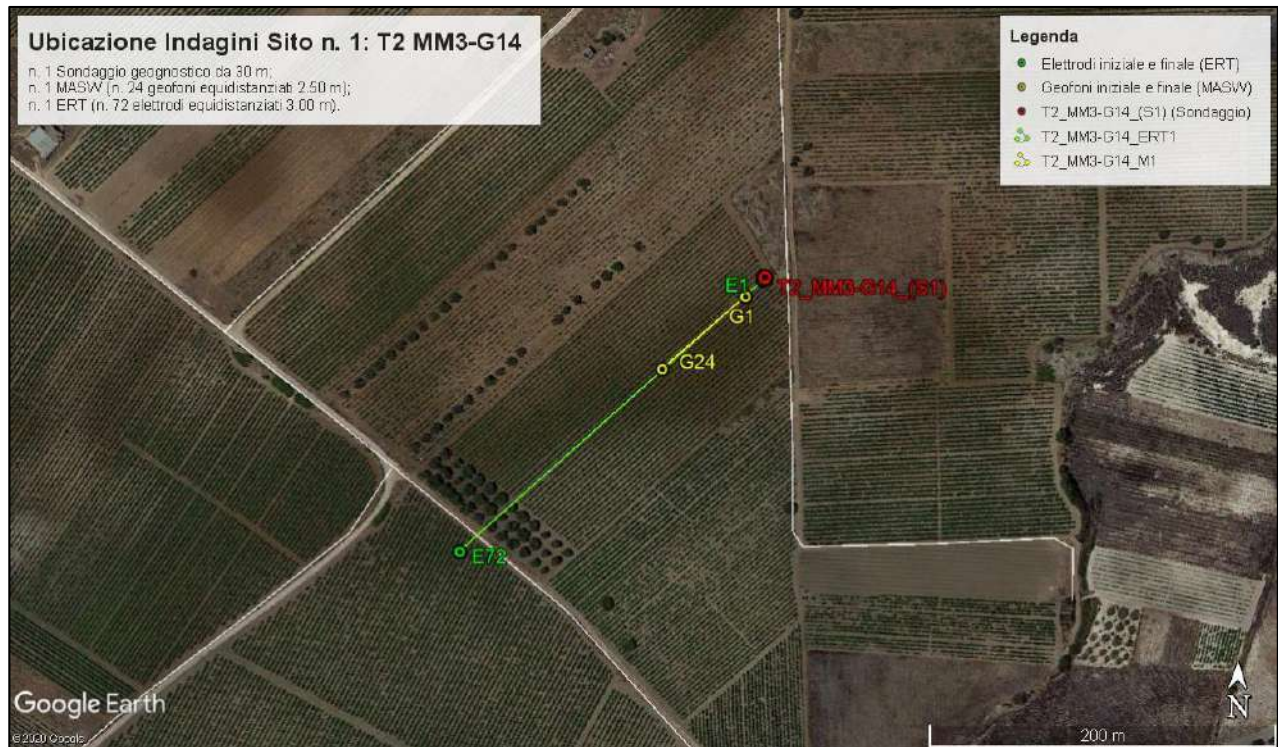


Figura 2. Ubicazione indagini sito n. 1: T2 MM3-G14.



Figura 3. Ubicazione indagini sito n. 2: T2 MM2-G06.



Figura 4. Ubicazione indagini sito n. 3: T3 MM2-T3\_12.



Figura 5. Ubicazione indagini sito n. 4: T3 MM1.



Figura 6. Ubicazione indagini sito n. 5: T2 MM1.

In particolare le singole tipologie di indagine hanno consentito, in ultima analisi, di ottenere le seguenti informazioni diagnostiche:

- a. determinazione della “*stratigrafia geologica locale*” (per soli 3 siti rispetto ai 5 complessivi), verifica dell'eventuale presenza di falde idriche superficiali e prelievo di “*campioni relativamente indisturbati e rappresentativi*” da sottoporre a successive prove geotecniche di laboratorio;
- b. “*calcolo*” delle velocità di propagazione delle onde di taglio (S) per la caratterizzazione elasto-dinamica dei litotipi investigati fino a 30 metri di profondità e per la classificazione del suolo tipo secondo normativa ( $V_{seq} - V_{s30}$ );
- c. ricostruzione in “*immagini*” della struttura interna del terreno, dal punto di vista elettro-resistivo (profili di resistività).

I risultati delle attività prima citate e svolte in campo hanno consentito di elaborare e fornire i seguenti allegati (sia cartacei che digitali) costituenti parte integrante alla presente relazione:

- ⇒ **ALLEGATO 01: UBICAZIONE DELLE INDAGINI ESEGUITE (in scala 1:10.000);**
- ⇒ **ALLEGATO 02: STRATIGRAFIE SONDAGGI GEOGNOSTICI E DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA;**
- ⇒ **ALLEGATO 03: RISULTATI INDAGINI GEOFISICHE E DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA.**

## 2. SONDAGGI GEOGNOSTICI MECCANICI A CAROTAGGIO CONTINUO

### 2.1 Modalità tecniche esecutive

Come accennato in premessa (tab. 1), sono stati eseguiti in totale n. 3 sondaggi per uno sviluppo totale complessivo di 90,00 ml di litotipi perforati.

Per l'esecuzione delle perforazioni è stata utilizzata, nello specifico, la seguente sonda oleodinamica assemblata su cingoli:

⇒ Marca e modello: "Soiltek S16" (fig. 7);

Tecnici	Data	Techniques	Daten		S6	S8
Motore diesel Potenza In sonorizzazione	Diesel engine Power Soundproofing	Moteur Puissance Insonorization	Motor Entriebsleistung Schallgedempft	Hp - Kw dB	Cummins B3.3T 85 - 62,50 80	
Impianto Idraulico	Hydraulic Plant	Systeme Hydraulique	Hydraulik System	(1) (2)	Load Sensyng Proporzionale   Proportional	
Pompa princ. Pompa di servizio	Main pump Service pump	Pompe princ. Pompe de service	Hydraulische leistung Hydraulische dienst	lt/min l/min	140 30	160 32
Mast Lunghezza Corsa utile Prolunga mast Spinta Tiro	Mast Length Rotary stroke Extention mast Pull-down Pull-up	Glissiere Longueur Course utile Rallonge gliss. Pousse Traction	Lafette Gesamtlänge Vorschub Verlängerung lafette Vorsechubkraft Rückzugskraft	E mm F mm P mm Kg Kg	min max 3450 4800 2300 3300 1350 4000 4000	min max 3900 5200 2300 3600 1300
Rotary	Rotary	Rotary	Rotary		TRT -2 620 130 2	TRT -3 800 110 2
Coppia max Velocità max Rapporti	Max torque Max speed Speed	Max couple Max vitesse Vitesses	Drehmoment max Drehzahl max Schaltstufe	dNm rpm Speed		
Morse Diametro min Diametro max	Clamps Min Diametre Max Diametre	Mors Min. Diameter Max Diameter	Klem und brechvorrichtung Durchmesser min Durchmesser max	mm mm	M2 70 250	
Argano Tiro max Dia fune	Winch Max pull Rope diameter	Treuil Traction Cable	Seiwinde Zugkraft Seil	Kg mm	1000 8	1500 8

**S6** Peso Weight

Kg	5500
----	------

Tabella 2. Caratteristiche tecniche Sonda "Soiltek S16".



**Figura 7.** Sonda oleodinamica su cingoli “Soiltek S16” (postazione sondaggio T3 MM2-T3\_12\_S3).

Un’attività preliminare e propedeutica alla realizzazione di ogni sondaggio è stata quella di **rintracciamento di sottoservizi e masse metalliche isolate sepolte** mediante l’utilizzo di un **magnetometro differenziale marca Ebinger modello Magnex 120 LW**. Una volta individuato il punto di indagine e sistemata l’area per la cantierizzazione, la stessa è stata ispezionata con il magnetometro, sopra menzionato, in configurazione “indagine di superficie”. Successivamente, una volta individuato un punto libero da masse metalliche sepolte sino la profondità di rilievo (1,00 m), si procederà a predisporre il magnetometro in configurazione “da foro” e si procederà per strati successivi, metro dopo metro, alternando perforazione ed inserimento della antenna magnetometrica ricevente nel foro, fino ad arrivare alla quota prevista di 5,00 m con ricerca fino a 6,00 m.

Di seguito viene illustrato il magnetometro differenziale Ebinger modello Magnex 120 LW.

### Caratteristiche

- Efficace detezone di oggetti ferromagnetici
- Sondaggio attraverso fori trivellati
- Utilizzo terrestre e acquatico
- Registrazione digitale dei dati: registratore di dati EPAD® e software EPAS®
- Sistema digitale multicanale
- Robusto e affidabile
- Impugnatura ergonomica

### Funzionamento

MAGNEX® 120 LW sfrutta il principio del gradiometro, che rileva interferenze nel campo magnetico terrestre: gli oggetti ferromagnetici causano nelle loro vicinanze un campo di disturbo, la cui intensità e linea di campo (polarità) vengono elaborate come informazioni di ricerca per la localizzazione.



*Detezione di oggetti ferromagnetici*

### Campi d'applicazione

Il MAGNEX® 120 LW consente d'individuare oggetti ferromagnetici che si trovano nel terreno o sul fondale di specchi d'acqua. Un ulteriore e importante campo d'applicazione di MAGNEX® 120 LW è rappresentato dal sondaggio attraverso fori trivellati, in cui è necessario rilevare eventuali anomalie magnetiche a grandi profondità o in aree di ricerca fortemente disturbate. Le sonde MAGNEX® ricoprono un ruolo di punta sul mercato internazionale.

### Sonda MAGNEX®

La sonda contiene un induttore sviluppato da EBINGER. La distanza di base è pari a circa 430 mm. Lo strumento è robusto, impermeabile e vanta una stabilità a lungo termine per quel che riguarda parallelismo e scarto di oscillazione.

### Sondaggio attraverso fori trivellati

Uno speciale cavo subacqueo consente di calare la sonda in fori trivellati. Tale cavo presenta una lunghezza standard di 25 m e collega il tubo della sonda all'unità elettronica del dispositivo assicurando resistenza alla pressione dell'acqua. Su richiesta, EBINGER fornisce anche cavi di lunghezza diversa.



*Sondaggio di fori di trivellazione*

**Figura 8.** Caratteristiche e funzionamento Magnetometro "Ebinger Magnex 120 LW".

**Funzionamento**

Dopo aver avvitato il cavo della batteria, MAGNEX® è pronto all'uso. Gli elementi di regolazione come il selettore a più stadi e la manopola per compensare manualmente il punto di zero, sono a portata di mano. Grazie al selettore a stadi, è possibile impostare sei livelli di sensibilità tra 10 nT/m e 3000 nT/m.

Livelli di sensibilità configurabili	
Livello 1	3.000 nT/m
Livello 2	1.000 nT/m
Livello 3	300 nT/m
Livello 4	100 nT/m
Livello 5	30 nT/m
Livello 6	10 nT/m

**Dati tecnici**

<b>Alimentazione</b>	6 batterie ANSI D (Mono) 1,5 V 7 batterie ricaricabili ANSI D (Mono) 1,2 V
<b>Durata di funzionamento*</b>	Batteria a secco ca. 40 h a +20 °C Batteria ricaricabile ca. 25 h a +20 °C
<b>Campo di temperatura</b>	Da ca. -20 °C a +55 °C
<b>Dimensioni</b>	Vedere schema Custodia ca. 850 x 350 x 170 mm
<b>Peso</b>	In funzione ca. 4.300 g con custodia ca. 11.000 g

Conforme alle normative militari. Test ambientale secondo MIL STD 810E (passo 901 A, 902 A, 903 A, 904 A, 905 A, 906 A, 907 A, 908 A, 909 A, 910 A, 911 A, 912 A, 913 A, 914 A, 915 A, 916 A, 917 A, 918 A, 919 A, 920 A, 921 A, 922 A, 923 A, 924 A, 925 A, 926 A, 927 A, 928 A, 929 A, 930 A, 931 A, 932 A, 933 A, 934 A, 935 A, 936 A, 937 A, 938 A, 939 A, 940 A, 941 A, 942 A, 943 A, 944 A, 945 A, 946 A, 947 A, 948 A, 949 A, 950 A, 951 A, 952 A, 953 A, 954 A, 955 A, 956 A, 957 A, 958 A, 959 A, 960 A, 961 A, 962 A, 963 A, 964 A, 965 A, 966 A, 967 A, 968 A, 969 A, 970 A, 971 A, 972 A, 973 A, 974 A, 975 A, 976 A, 977 A, 978 A, 979 A, 980 A, 981 A, 982 A, 983 A, 984 A, 985 A, 986 A, 987 A, 988 A, 989 A, 990 A, 991 A, 992 A, 993 A, 994 A, 995 A, 996 A, 997 A, 998 A, 999 A, 1000 A).

\*A seconda della temperatura e della qualità delle batterie/batterie REPERIR UTILIZZATE.

**Accessori opzionali**

- Cuffie
- Strumento di bilanciamento
- Set di batterie con caricatore

**Moduli di ampliamento del sistema**

- Cavo immergibile in acqua per fori trivellati profondi fino a 50 m
- Telaio multicanale
- Registratore di dati EPAD® con software EPAS®

MAGNEX® 120 LW nella custodia.

Unità elettronica con indicatore a Lcd

**Costruzione**

MAGNEX® 120 LW è costituito dai seguenti componenti:

1 Tubo della sonda svitabile	5 Tubo per batterie
2 Estremità della sonda con unità elettronica e display	6 Batterie
3 Segnalatore removibile	7 Tracolla da trasporto
4 Elemento di regolazione con selettore a stadi e compensazione del punto zero	8 Barra per test
	9 Strumento di bilanciamento (opzionale) Custodia da trasporto (senza fig.)
	10 Zavorra (opzionale)

Tubo della sonda con zavorra e cavo per fori trivellati

Sondaggio di una superficie

Figura 9. Dati tecnici e funzionamento Magnetometro "Ebinger Magnex 120 LW".

I fori sono stati eseguiti con la tecnica del carotaggio continuo a conservazione di nucleo per tutti i tratti investigati, utilizzando dei carotieri semplici in acciaio del diametro min.  $\phi = 101$  mm e con tutte le cautele compatibili con la natura dei lito tipi indagati: manovre corte, corretta e costante pressione di spinta adeguata alla velocità della perforazione e portata della pompa d'acqua di circolazione opportunamente moderata (solo per i tratti lapidei attraversati).

La stabilizzazione delle pareti del foro è stata ottenuta con l'ausilio di rivestimenti provvisori (tubi  $\phi = 127$  mm) risultati necessari per complessivi 6,00 ml. Le carote estratte sono state riposte in n. 18 apposite cassette catalogatrici in PVC, con scomparti divisori e coperchio incefnierato, con l'indicazione della denominazione del sondaggio, profondità raggiunte e numero della cassetta (fig. 10) (vds Allegato n. 02). In un'altra cassetta catalogatrice, invece, sono stati riposti tutti i campioni prelevati durante le prove SPT. Ogni foro, terminate le operazioni di carotaggio, è stato opportunamente richiuso.





**Figura 10.** Esempio di cassetta catalogatrice (Cassetta n. 4 sondaggio T2 MM3-G14\_S1).

Infine, le cassette catalogatrici, su indicazione della DL, sono state riposte in un cantiere sito a Partanna (TP) e tutti i siti di indagine, ultimate le operazioni di cantiere, sono stati lasciati nelle stesse condizioni in cui si sono trovati senza creare nessun danno a coltivazioni e ai terreni stessi.

Nelle colonne stratigrafiche, redatte e fornite nell'allegato 02, vengono riportate le informazioni illustrate nella figura 12 "Legenda stratigrafia". I litotipi incontrati durante le perforazioni sono tutti di origine sedimentaria (fig. 13), sia granulari che litoidi (solo in piccola parte).



Figura 11. Cassette depositate nel cantiere di Partanna (n. 19 cassette totali).

## LEGENDA STRATIGRAFIA

o mm	R v	A r s	Pz	metri batt	LITOLOGIA	Campioni	RP	VT	Prel. % 0 --- 100	S.P.T. S.P.T.	R.Q.D. % 0 --- 100	prof. m	DESCRIZIONE							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15						
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 60%;"> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) Diametro del foro / Tipo di carotiere</li> <li>2) Rivestimento</li> <li>3) Profondità dell'acqua (rinvenimento e stabilizzazione)</li> <li>4) Piezometri</li> <li>5) Scala metrica con limiti delle battute (&gt;)</li> <li>6) Simbolo litologico</li> <li>7) Campioni (numero, tipo, profondità testa e scarpa)</li> <li>8) Resistenza alla punta (kg/cm<sup>2</sup>)</li> <li>9) Vane test (kg/cm<sup>2</sup>)</li> <li>10) Percentuale di prelievo (1-10, 11-20, ..., 91-100 %)</li> <li>11) Prova S.P.T.</li> <li>12) Valore di N<sub>spt</sub></li> <li>13) Percentuale R.Q.D. (1-10, 11-20, ..., 91-100 %)</li> <li>14) Profondità della base dello strato (m)</li> <li>15) Descrizione della litologia dello strato</li> </ol> </div> <div style="width: 35%;"> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center;"><i>Tubo aperto</i></td> <td style="text-align: center;"><i>Casagrande</i></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><i>tubo cieco</i></td> <td style="text-align: center;"><i>tubo cieco</i></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><i>finestrato</i></td> <td style="text-align: center;"><i>cella drenaggio</i></td> </tr> </table>   <div style="font-size: small;"> <p><i>She = Shelby</i>  <i>Den = Denison</i>  <i>Ost = Osterberg</i>  <i>Maz = Mazier</i>  <i>Crp = Craps</i>  <i>nk3 = NK3</i>  <i>Ind = Indisturbato</i>  <i>Dis = Disturbato</i>  <i>SDi = Semi disturbato</i>  <i>SPT = SPT</i></p> </div> </div> </div>															<i>Tubo aperto</i>	<i>Casagrande</i>	<i>tubo cieco</i>	<i>tubo cieco</i>	<i>finestrato</i>	<i>cella drenaggio</i>
<i>Tubo aperto</i>	<i>Casagrande</i>																			
<i>tubo cieco</i>	<i>tubo cieco</i>																			
<i>finestrato</i>	<i>cella drenaggio</i>																			

Figura 12. Legenda con le informazioni riportate nelle stratigrafie.

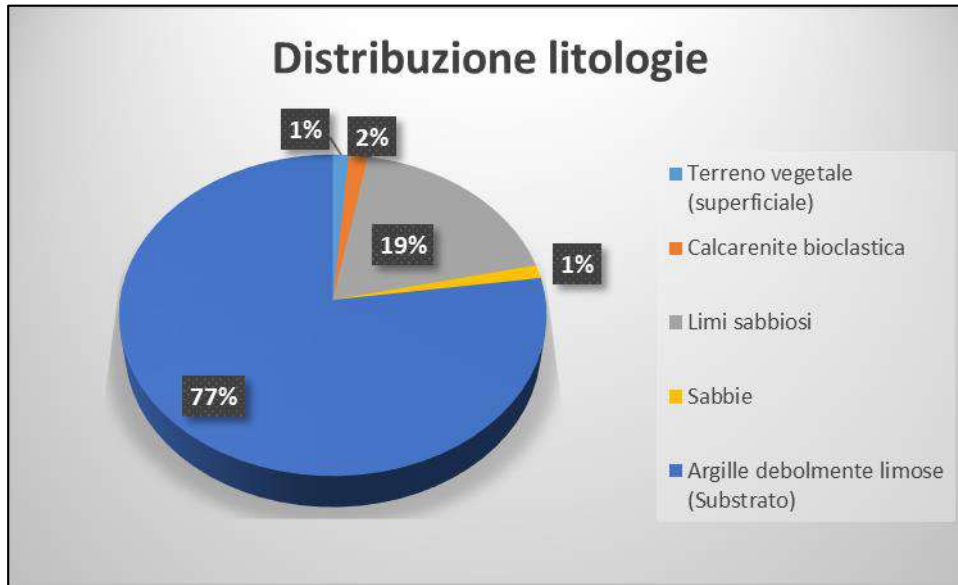


Figura 13. Rappresentazione grafica delle percentuali di tipologia dei litotipi perforati.

## 2.2 Prove con Pocket Penetrometer

Nel corso dei sondaggi T2 MM2-G06\_S2 e T3 MM2-T3\_12\_S3, sulle carote estratte, sono stati misurati i valori di resistenza alla punta con il penetrometro tascabile ad intervalli di circa 0.50 m. Il penetrometro tascabile usato (fig. 14) ha permesso di eseguire una rapida valutazione della resistenza al taglio e della consistenza dei terreni limoso-argillosi carotati in condizioni non drenate.

La prova consiste nel far penetrare, su una superficie tagliata di fresco assialmente alla carota, una punta a fondo piatto del diametro di 6,4 mm, fino ad una tacca prefissata. Il valore di resistenza (RP in  $\text{kg}/\text{cm}^2$ ) è misurato grazie ad una molla dinamometrica e letto su un'apposita scala.

I valori sono riportati nelle apposite stratigrafie e di seguito si forniscono, in forma tabellare, le misure eseguite e la relativa classificazione in termini di "consistenza".



Pocket ( $\text{Kg}/\text{cm}^2$ )	Consistenza
< 0.25	Molto molle
0.25 – 0.50	Molle
0.50 – 1.00	Plastico
1.00 – 2.00	Consistente
2.00 – 4.00	Molto consistente
> 4.00	Duro

Figura 14. Penetrometro tascabile a "stilo".

<b>SONDAGGIO T2 MM2-G06_S2</b>				
<b>n° Misura</b>	<b>Prof. (m dal p.c.)</b>	<b>Rp (Kg/cmq)</b>	<b>Litologia</b>	<b>Consistenza</b>
1	0,50	4,0	<i>Limo sabbioso debolmente argilloso color nocciola</i>	Molto consistente
2	1,00	4,0		Molto consistente
3	1,50	4,0		Molto consistente
4	2,00	4,5		Duro
5	2,50	4,0		Molto consistente
6	3,00	3,0		Molto consistente
7	3,50	4,0		Molto consistente
8	4,00	3,0		Molto consistente
9	4,50	4,5		Duro
10	5,00	4,0		Molto consistente
11	5,50	3,5	Molto consistente	
12	6,00	4,5	Duro	
13	6,50	4,5	Duro	
14	7,00	4,0	Molto consistente	
15	7,50	4,5	Duro	
16	8,00	3,5	Molto consistente	
17	8,50	3,5	Molto consistente	
18	9,00	4,0	Molto consistente	
19	9,50	4,5	Duro	
20	10,00	> 5	Duro	
21	10,50	4,0	Molto consistente	
22	11,00	> 5	Duro	
23	11,50	4,5	Duro	
24	12,50	3,5	Molto consistente	
25	13,00	1,5	Consistente	
26	13,50	3,5	Molto consistente	
27	14,00	> 5	Duro	
28	14,50	> 5	Duro	
29	15,00	> 5	Duro	
30	15,50	> 5	Duro	
31	16,00	> 5	Duro	
32	16,50	> 5	Duro	
33	17,00	> 5	Duro	
34	17,50	> 5	Duro	
35	18,00	> 5	Duro	
36	18,60	4,5	Duro	
37	19,00	4,0	Molto consistente	
38	19,50	4,5	Duro	
39	20,00	2,5	Molto consistente	
40	20,50	2,0	Molto consistente	
41	21,00	2,5	Molto consistente	
42	21,50	2,5	Molto consistente	
43	22,00	> 5	Duro	
44	22,50	> 5	Duro	
45	23,00	3,0	Molto consistente	
46	23,50	> 5	Duro	
47	24,00	4,0	Molto consistente	
48	24,50	4,5	Duro	
49	25,00	2,0	Molto consistente	
50	25,50	4,5	Duro	
51	26,00	> 5	Duro	
52	26,50	> 5	Duro	
53	27,00	4,5	Duro	
54	27,50	4,5	Duro	
55	28,00	4,0	Molto consistente	
56	28,50	> 5	Duro	
57	29,00	4,5	Duro	
58	29,50	> 5	Duro	
59	30,00	> 5	Duro	

**Tabella 3.** Tabella riassuntiva delle misure RP eseguite sul sondaggio T2 MM2-G06\_S2.

<b>SONDAGGIO T3 MM2-T3_12_S3</b>				
<b>n° Misura</b>	<b>Prof. (m dal p.c.)</b>	<b>Rp (Kg/cmq)</b>	<b>Litologia</b>	<b>Consistenza</b>
1	0,50	2,0	<i>Limo sabbioso debolmente argilloso color nocciola</i>	Consistente
2	1,00	4,0		Molto consistente
3	1,50	4,5		Duro
4	2,00	2,0		Consistente
5	2,50	4,5		Duro
6	3,00	4,5		Duro
7	3,50	3,5		Molto consistente
8	4,00	3,5		Molto consistente
9	4,50	4,0		Molto consistente
10	5,00	3,5		Molto consistente
11	5,50	1,5		Consistente
12	6,00	> 5	<i>Argilla debolmente limosa grigio- azzurra</i>	Duro
13	6,50	> 5		Duro
14	7,00	> 5		Duro
15	7,50	> 5		Duro
16	8,00	2,5		Molto consistente
17	8,50	> 5		Duro
18	9,00	4,0		Molto consistente
19	9,50	4,5		Duro
20	10,00	4,5		Duro
21	10,50	> 5		Duro
22	11,00	> 5		Duro
23	11,50	4,5		Duro
24	12,00	> 5		Duro
25	12,50	> 5		Duro
26	13,00	> 5		Duro
27	14,00	1,0		Plastico
28	14,50	4,5		Duro
29	15,00	> 5		Duro
30	15,50	4,5		Duro
31	16,00	4,5		Duro
32	16,50	4,5		Duro
33	17,00	> 5		Duro
34	17,50	1,5		Consistente
35	18,00	> 5		Duro
36	18,50	2,5		Molto consistente
37	19,00	4,5		Duro
38	19,50	> 5		Duro
39	20,00	> 5		Duro
40	20,50	> 5	Duro	
41	21,00	0,5	Molle	
42	21,50	4,5	Duro	
43	22,00	1,0	Plastico	
44	22,50	> 5	Duro	
45	23,00	> 5	Duro	
46	23,50	> 5	Duro	
47	24,00	4,5	Duro	
48	24,50	4,5	Duro	
49	25,00	4,5	Duro	
50	25,50	> 5	Duro	
51	26,00	4,5	Duro	
52	26,50	> 5	Duro	
53	27,00	> 5	Duro	
54	27,50	> 5	Duro	
55	28,00	4,5	Duro	
56	28,50	1,5	Consistente	
57	29,00	3,0	Molto consistente	
58	29,50	4,5	Duro	
59	30,00	> 5	Duro	

**Tabella 4.** Tabella riassuntiva delle misure RP eseguite sul sondaggio T3 MM2-T3\_12\_S3.

### 2.3 Prelievo campioni e prove geotecniche di laboratorio

Come accennato in premessa, sono stati prelevati durante i sondaggi dei campioni (n. 6) “relativamente indisturbati e rappresentativi” dei litotipi incontrati durante le perforazioni. Tutti i campioni sono stati spediti, alla fine delle attività di perforazione, al laboratorio geotecnico indicato dalla DL: C.G.G. S.r.l. di Piacenza. Nella documentazione fotografica presente nell’allegato 02 è possibile vedere le fustelle, opportunamente sigillate, dei campioni prelevati e poi spediti.

ID Sondaggio	Prelievo campioni	
	Denominazione e prof. prelievo	
T2 MM3-G14_S1	T2 MM3-G14_S1C1	5,00÷5,50
	T2 MM3-G14_S1C2	15,00÷15,50
T2 MM2-G06_S2	T2 MM2-G06_S2C1	8,50÷9,00
	T2 MM2-G06_S2C2	18,00÷18,50
T3 MM2-T3_12_S3	T3 MM2-T3_12_S3C1	7,50÷8,00
	T3 MM2-T3_12_S3C2	13,00÷13,60

Tabella 5. Tabella riassuntiva dei campioni prelevati durante i sondaggi.

### 2.4 Prove in foro di sondaggio SPT - (Standard Penetration Test)

La prova penetrometrica dinamica in foro è sicuramente quella che più frequentemente si esegue nel corso di sondaggi geognostici in depositi terrosi. Per l’esecuzione della prova e per gli aspetti tecnologici delle attrezzature si è fatto riferimento alle seguenti normative e specifiche tecniche:

1. ASTM D 1586-84 (1992): “*Standard Test Method for Penetration Test and Split-Barrel Sampling of Soils*”;
2. A.G.I. (1977): “*Raccomandazioni sulla Programmazione ed Esecuzione delle Indagini Geotecniche*”;
3. ISSMFE Technical Committee (1988): “*Standard Penetration Test (SPT): International Reference Test Procedure*”.

Sono state eseguite in totale **n. 40 prove nel corso delle perforazioni a varie profondità**, infiggendo a percussione una punta conica o un campionatore a tubo aperto (a seconda dei litotipi incontrati) per tre tratti consecutivi ciascuno di 15 cm, rilevando il numero di colpi (N) necessari per la penetrazione di ciascun tratto di 15 cm.

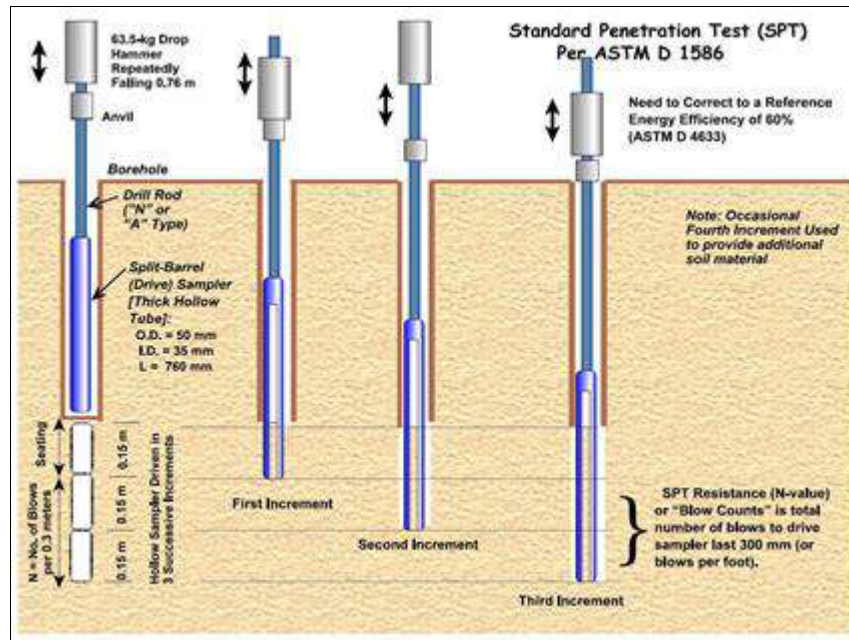


Figura 15. Rappresentazione grafica prove S.P.T..

Le caratteristiche strumentali possono essere così riassunte:

- campionatore  $\varnothing$  50.8 - 35.0 mm;
- L utile = 630 mm munito di valvola a sfera alla sommità;
- massa battente di peso 63.5 kg con altezza di caduta di 76.2 cm;
- aste collegate al campionatore aventi peso per metro lineare 11.50 kg/m;
- la caduta libera del maglio viene comandata da un particolare dispositivo di sganciamento automatico che lo libera all'altezza voluta;
  - fra testa di battuta in sommità alle aste e il piano campagna è stato installato un centratore di guida ad irrigidimento delle aste stesse;
    - la differenza tra il diametro esterno delle aste ed il diametro interno della tubazione metallica provvisoria di rivestimento è di 60 mm;
    - come utensile di penetrazione, in funzione della granulometria grossolana presente, è stata utilizzata una punta aperta  $\varnothing$  50,8 mm.

Nello specifico si ottengono tre valori  $N_1$ ,  $N_2$  ed  $N_3$  ma, il valore da prendere in considerazione per la prova è il  $N_{SPT}$  dato dalla somma dei secondi due valori:

$$N_{SPT} = N_2 + N_3$$

Il numero di colpi  $N_1$  relativo al primo tratto è scartato per superare la porzione superficiale di terreno disturbato dalla perforazione, in effetti, i primi 15 cm da scartare dovrebbero contenere anche l'infissione dovuta al solo peso delle aste al momento dell'installazione dell'attrezzatura, quando la punta tocca il terreno al fondo del foro di sondaggio. La lunghezza delle aste ha un'influenza decisiva in quanto partecipa con il proprio peso e con la sua deformazione elastica a

modificare l'energia che effettivamente raggiunge la punta, per tale motivo le prove SPT si reputano attendibili fino a profondità non superiori a 20-25 m. Altri fattori di influenza sono ad esempio:

- ✓ la modalità di perforazione;
- ✓ perforazione a fango o ad acqua;
- ✓ diametro del foro;
- ✓ presenza o meno del rivestimento;
- ✓ presenza o meno di falda;
- ✓ lunghezza totale delle aste (profondità di prova).

Un altro importante elemento di variabilità nei risultati è rappresentata dall'energia cinetica effettiva che raggiunge la punta e quella dissipata lungo le aste. Skempton (1986) ha riscontrato che l'energia reale di una prova penetrometrica è pari al 60 % di quella teorica, pertanto il valore di  $N_{SPT}$  misurato in situ sarà ridotto con il valore  $N_{60}$  corrispondente all'effettiva energia del penetrometro. In particolare, per i tre siti di indagine sono state eseguite **n. 40 prove S.P.T.** (tab. 6).



**Figura 16.** Esecuzione prova SPT10, con punta aperta, durante il sondaggio T2 MM2-G06\_S2.



ID Sondaggio	ID SPT eseguita	Profondità di indagine	N° di colpi N1-N2-N3	$N_{SPT}$ (N2+N3)	$N_{60}$
T2 MM3-G14_S1	SPT1	1.50 – 1.95	50/2 cm	Rif.	Rif.
	SPT2	3.00 – 3.45	3-9-9	18	11
	SPT3	5.50 – 5.95	5-8-10	18	11
	SPT4	8.00 – 8.45	7-11-12	23	14
	SPT5	9.50 – 9.95	9-13-18	31	19
	SPT6	11.00 – 11.45	7-17-29	46	28
	SPT7	12.50 – 12.95	20-32-35	67	40
	SPT8	14.00 – 14.45	33-41-43	84	50
	SPT9	18.00 – 18.45	8-20-33	53	32
	SPT10	21.00 – 21.45	18-30-36	66	40
	SPT11	24.00 – 24.45	20-35-42	77	46
	SPT12	27.00 – 27.45	16-38-48	86	52
	SPT13	29.55 – 30.00	18-41-50/3 cm	Rif.	Rif.
T2 MM2-G06_S2	SPT1	1.50 – 1.95	5-10-16	26	16
	SPT2	3.00 – 3.45	9-11-13	24	14
	SPT3	4.50 – 4.95	5-15-21	36	22
	SPT4	6.00 – 6.45	7-18-26	44	26
	SPT5	7.50 – 7.95	9-22-32	54	32
	SPT6	9.00 – 9.45	9-18-32	50	30
	SPT7	10.50 – 10.95	12-25-36	61	37
	SPT8	12.30 – 12.75	12-14-14	28	17
	SPT9	15.00 – 15.45	13-26-50/8 cm	Rif.	Rif.
	SPT10	18.50 – 18.95	13-30-48	78	47
	SPT11	21.00 – 21.45	5-18-40	58	35
	SPT12	24.00 – 24.45	19-35-26	61	37
	SPT13	27.00 – 27.45	14-35-50/10 cm	Rif.	Rif.
	SPT14	29.55 – 30.00	17-38-50/6 cm	Rif.	Rif.
T3 MM2-T3_12_S3	SPT1	1.50 – 1.95	6-9-11	20	12
	SPT2	3.00 – 3.45	7-9-10	19	11
	SPT3	4.50 – 4.95	6-13-17	30	18
	SPT4	6.00 – 6.45	8-14-20	34	20
	SPT5	8.00 – 8.45	13-25-25	50	30
	SPT6	9.50 – 9.95	13-25-28	53	32
	SPT7	11.00 – 11.45	14-24-29	53	32
	SPT8	13.60 – 14.05	15-29-49	78	47
	SPT9	15.00 – 15.45	17-50/4 cm	Rif.	Rif.
	SPT10	18.00 – 18.45	20-50/6 cm	Rif.	Rif.
	SPT11	21.00 – 21.45	15-25-35	60	36
	SPT12	24.00 – 24.45	16-31-41	72	43
	SPT13	27.00 – 27.45	27-39-50/10 cm	Rif.	Rif.

**Tabella 6.** Tabella riassuntiva delle prove SPT eseguite e dei valori  $N_{SPT}$  ed  $N_{60}$  per i tre siti di indagine.

### 3. PROVA SISMICA MULTICANALE MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves)

#### 3.1 Generalità

Il metodo MASW è una tecnica di indagine non invasiva che consente la definizione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali  $V_s$ , basandosi sulla misura delle onde superficiali fatta in corrispondenza di diversi sensori posti sulla superficie del suolo. Il contributo predominante alle onde superficiali è dato dalle onde di Rayleigh, che si trasmettono con una velocità correlata alla rigidità della porzione di terreno interessata dalla propagazione delle onde. In un mezzo stratificato le onde di Rayleigh sono dispersive, cioè onde con diverse lunghezze d'onda che si propagano con diverse velocità di fase e velocità di gruppo o detto in maniera equivalente la velocità di fase (o di gruppo) apparente delle onde di Rayleigh dipende dalla frequenza di propagazione, cioè sono onde la cui velocità dipende dalla frequenza di propagazione.

Nel caso specifico, le finalità ultime di questo tipo di indagine sono state:

- la definizione del profilo 1D di velocità delle “*onde di taglio verticali*” ( $V_s$ ), basandosi sulla misura delle onde superficiali fatta in corrispondenza di diversi sensori (geofoni) posti sulla superficie del suolo;
- “*definizione del suolo tipo*” secondo la normativa sismica vigente, NTC 2018 (calcolo del parametro  $V_{Seq}$  e  $V_{S30}$ ) approvate con il decreto MIT del 17 gennaio 2018 e pubblicate sulla Serie Generale n. 42 del 20-2-2018.

Durante le suddette indagini si è cercato sempre di eseguire gli stendimenti sismici il più vicino possibile alle ubicazioni fornite dalla DL e ai sondaggi geognostici eseguiti, compatibilmente con gli spazi a disposizione e con le condizioni della superficie topografica (vegetazione e andamento). Si precisa, infine, che le indagini geofisiche sono state eseguite direttamente dallo scrivente, garantendo pertanto gli standard procedurali esposti nelle relative norme **ASTM D5777-00 (2006)**. L'ubicazione delle prove è fornita nell'allegato 01.

#### 3.2 Strumentazione e configurazione geometrica utilizzata

La strumentazione utilizzata è costituita da un sismografo multicanale M.A.E. A6000S (fig. 17), avente le seguenti caratteristiche tecniche:

- Convertitori: risoluzione 24 bit, tecnologia sigma-delta;
- Range dinamico: 144 dB (teorico);
- Distorsione massima: +/-0.0010%;
- Banda passante: 2Hz - 30KHz;
- Common mode rejection: 110 dB a 60 Hz;

- Diafonia: -120dB a 20 Hz;
- Soglia di rumore dell'amplificatore programmabile: 27nV;
- Precisione del trigger: 1/30 del tempo di campionatura;
- Range massimo segnale in ingresso: +/-5V;
- Impedenza di ingresso a 1000 campioni/secondo: 20 Mohm;
- Livelli di amplificazione: 0 dB, 6 dB, 12 dB, 18 dB, 24 dB, 30 dB, 36 dB impostabili singolarmente per ogni canale o per gruppi di canali liberamente organizzabili;
- Filtro anti-alias: -3dB, 80% della frequenza di Nyquist, -80Db;
- Tempo pre-trigger: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 50, 100, 200, 300, 400, 500 ms;
- Intervalli di campionamento: 1/30, 1/15, 1/7.5, 1/3.75, 0.5, 1.0, 2.0, 10.0, 20.0 ms; 8.0, 4.0, 2.0 ms in registrazione continua.



**Figura 17.** Apparecchiatura modulare per sismica a rifrazione e riflessione M.A.E. A6000S.

La configurazione spaziale in sito è equivalente ad un dispositivo geometrico punto di scoppio-geofoni "*base distante in linea*". In particolare è stato utilizzato il seguente set-up:

- 24 geofoni ad asse di oscillazione verticale con interspazio (Gx) di 2.50 metri;
- n. 3 energizzazioni ad offset (Sx) 2.50, 5.00 e 7.50 metri in andata;
- passo di campionatura pari a 1000 Hz;
- lunghezza delle tracce sismiche pari a 4.096 sec.;

- massa battente pesante da 10 Kg.

Tale configurazione ha consentito di mitigare gli effetti near-field dovuti alle onde di volume ed ha altresì consentito di avere le seguenti risoluzioni spazio-temporali: lungo i numeri d'onda  $k$  la risoluzione è stata di  $0.143 \text{ m}^{-1}$ , mentre la risoluzione in frequenza è pari a  $0.244 \text{ Hz}$ .

Nello specifico **sono state eseguite complessivamente n. 5 prove MASW** utilizzando delle configurazioni geometriche (geofoni e scoppi) uguali per tutti gli stendimenti (tab. 7).

ID	Data esecuzione prova	n° sensori (geofoni)	Interspazio geofonico (m)	Posizione shots esterni (m) in andata	Lungh. compl. (m)	Sondaggi geognostici vicini	Velocità onde "calcolate"
T2 MM3-G14_M1	28.10.20	24	2.50	2.50 5.00 7.50	57.50	T2 MM3-G14_S1	V <sub>s</sub>
T2 MM2-G06_M2	31.10.20	24	2.50	2.50 5.00 7.50	57.50	T2 MM2-G06_S2	V <sub>s</sub>
T3 MM2-T3_12_M3	01.11.20	24	2.50	2.50 5.00 7.50	57.50	T3 MM2-T3_12_S3	V <sub>s</sub>
T3 MM1_M4	31.10.20	24	2.50	2.50 5.00 7.50	57.50	----	V <sub>s</sub>
T2 MM1_M5	31.10.20	24	2.50	2.50 5.00 7.50	57.50	----	V <sub>s</sub>

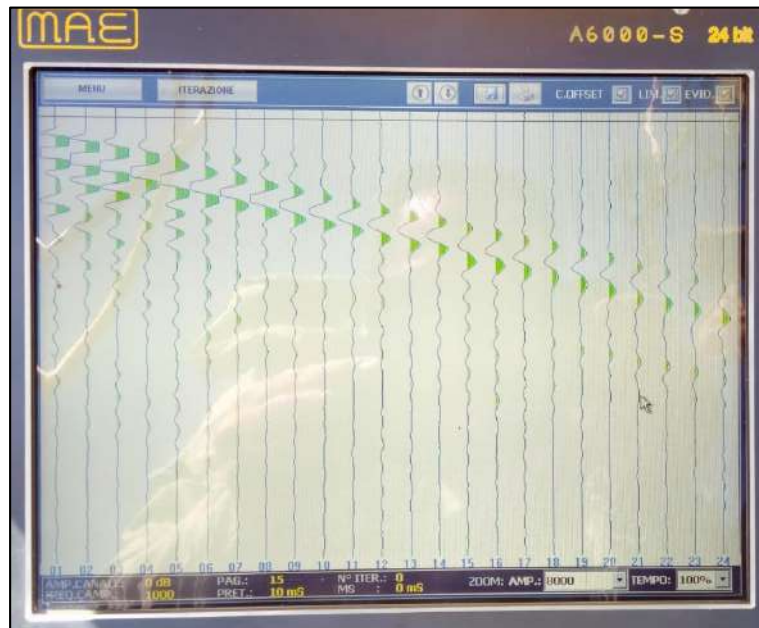
**Tabella 7.** Caratteristiche generali delle prove MASW eseguite.

### 3.3 Elaborazione dati

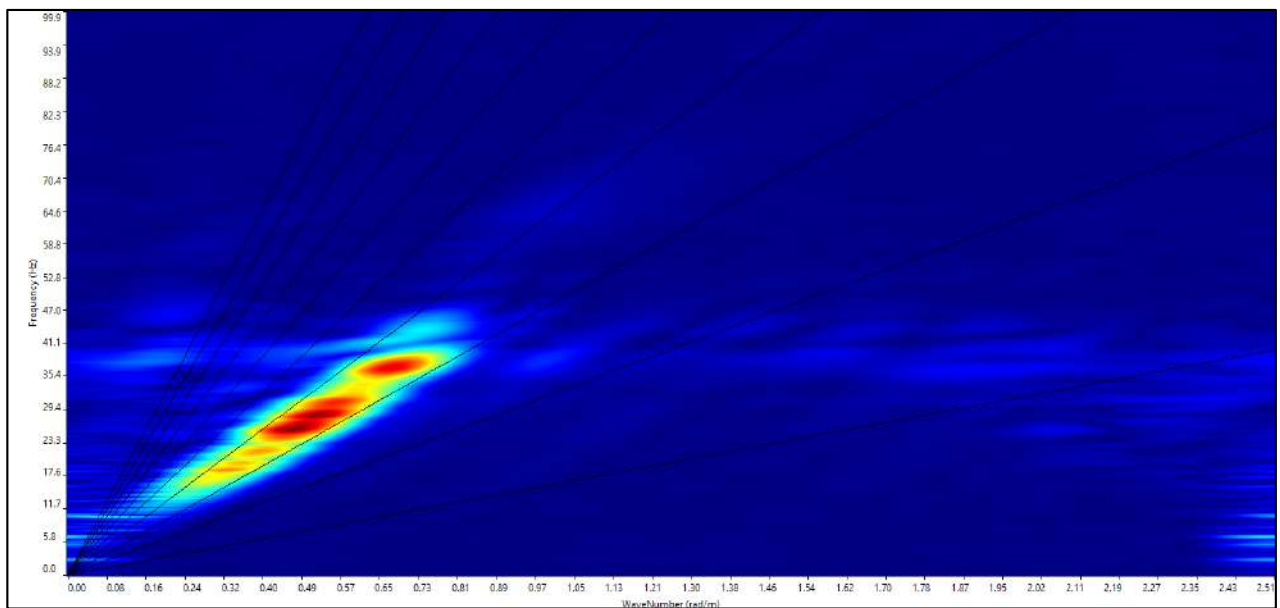
L'analisi MASW può essere ricondotta in quattro fasi:

- la prima fase prevede la trasformazione delle serie temporali (fig. 18) nel dominio frequenza  $f$  – numero d'onda  $K$  (fig. 19);
- la seconda fase consiste nella individuazione delle coppie  $f$ - $k$  cui corrispondono i massimi spettrali d'energia (densità spettrale). Attraverso tali punti applicando la (1) si ottiene la curva di dispersione delle onde di Rayleigh nel piano  $V_{\text{fase}}$  (m/sec) – frequenza (Hz) (fig. 20);

$$V_R(\omega) = \frac{2\pi f}{k_{MAX}} \quad (1)$$

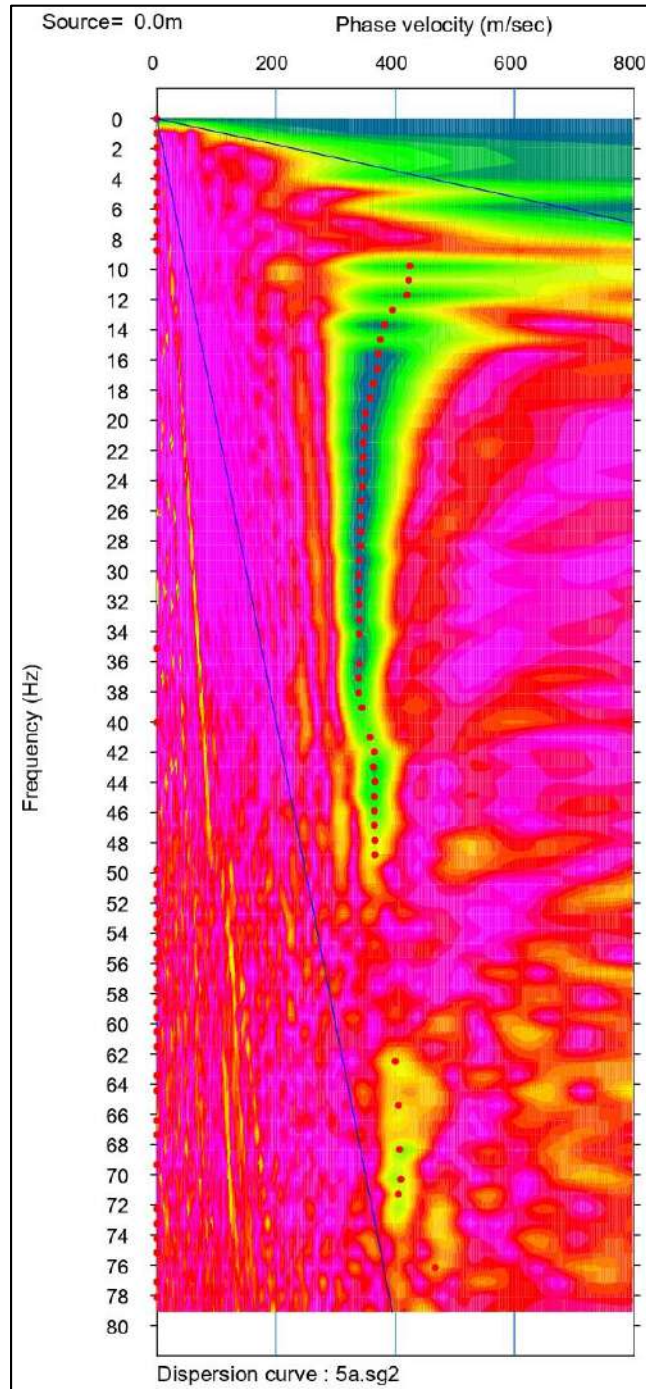


**Figura 18.** Tracce sismiche prova MASW (scoppio 7.5 m andata T2 MM3-G14\_M1).



**Figura 19.** Analisi dominio f-k (T2 MM3-G14\_M1).

- la terza fase consiste nel calcolo della curva di dispersione teorica attraverso la formulazione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali  $V_s$ , modificando opportunamente lo spessore  $h$ , le velocità delle onde di taglio  $V_s$  e di compressione  $V_p$ , la densità di massa  $\rho$  degli strati che costituiscono il modello del suolo (fig. 21);
- la quarta ed ultima fase consiste nella modifica della curva teorica fino a raggiungere una sovrapposizione ottimale tra la velocità di fase (o curva di dispersione) *sperimentale* e la velocità di fase (o curva di dispersione) *numerica* corrispondente al modello di suolo (fig. 22).



**Figura 20.** Densità spettrale normalizzata nel piano Velocità di fase apparente /frequenza (T2 MM3-G14\_M1).

La velocità di fase risulta dispersa nel piano velocità (m/s) - frequenza (Hz) in un intervallo di frequenza compreso tra 9.8 Hz e 47.7 Hz. La corrispondente velocità di fase apparente è compresa, rispettivamente, tra 428.6 m/s e 355.8 m/s. La curva di dispersione, estratta nel campo di frequenza analizzato, mostra avere, nel suo complesso, un andamento normale dispersivo.

Profondità - H(m)	V <sub>s</sub> (m/s)	V <sub>p</sub> (m/s)
0,00	421,39	1.757,74
2,50	340,74	1.668,22
6,00	351,25	1.679,89
10,50	437,34	1.775,45
16,00	486,29	1.829,78
22,50	505,84	1.851,48

Tabella 8. Modello di velocità teorico relativo alla curva teorica di fig. 20.

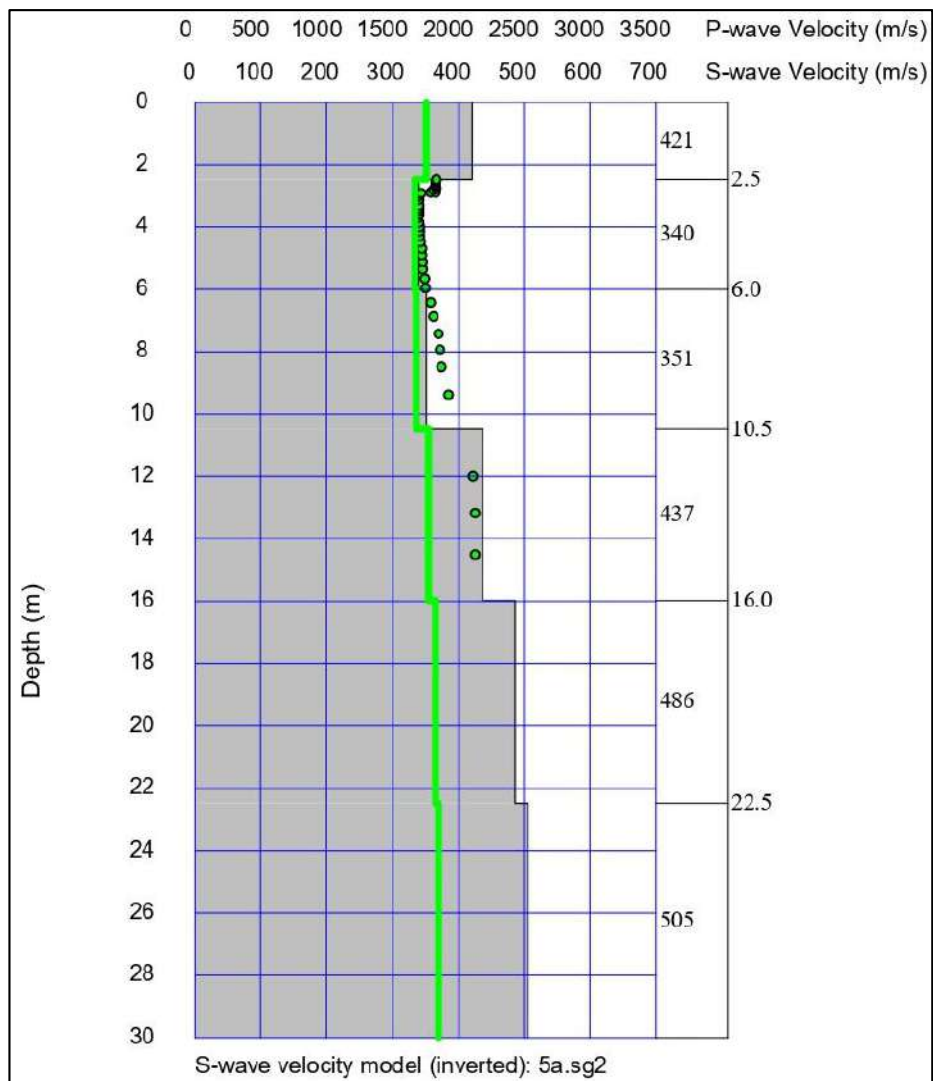
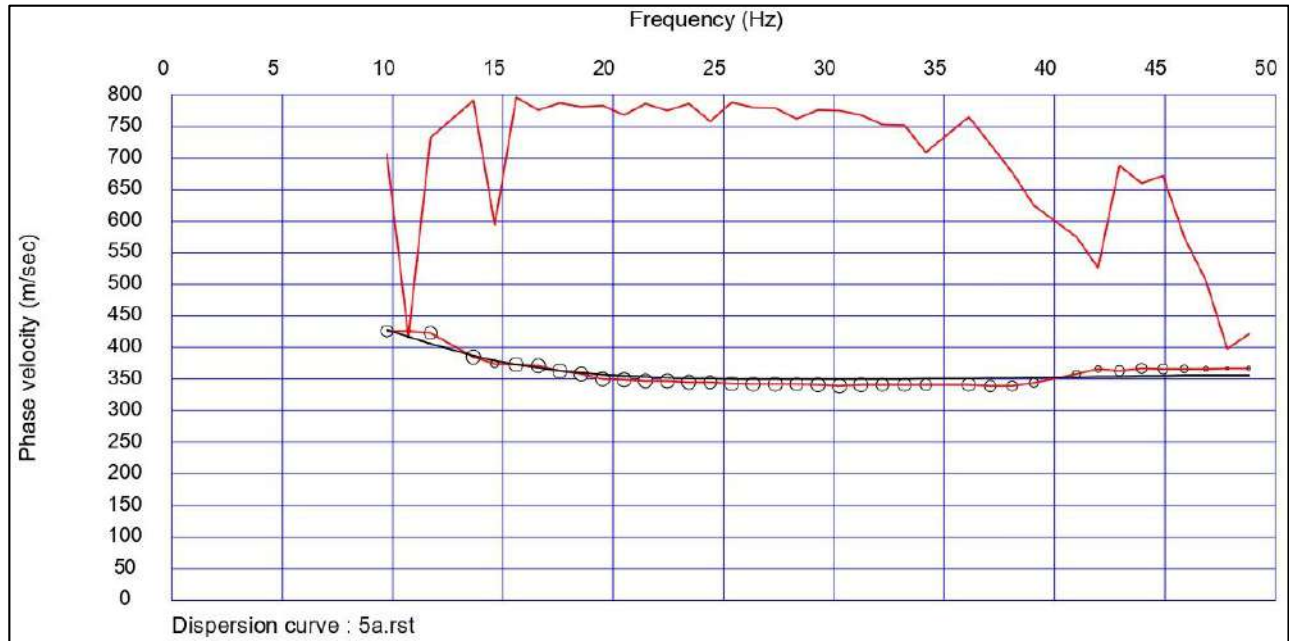


Figura 21. Modello di velocità del sottosuolo MASW T2 MM3-G14\_M1 (in verde V<sub>p</sub> calcolate).

La curva di dispersione teorica calcolata attraverso l'inversione del modello di velocità ha uno scarto pari RMSE = 8.62 m/s con la curva di dispersione sperimentale (fig. 22).



**Figura 22.** Confronto tra curva di dispersione teorica calcolata attraverso il modello di velocità teorico del sottosuolo (curva nera) con la curva sperimentale (curva rossa a pallini) MASW T2 MM3-G14\_M1.

### 3.4 Definizione “Categoria di sottosuolo”

Il D.M. 17/01/2018 consente di definire l’azione sismica di progetto, in assenza di analisi specifiche, mediante un “*approccio semplificato*”. Infatti, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab. 3.2.II della norma (vedi **tab. 9**), si ci può basare sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio  $V_S$ . La norma suddivide il territorio nazionale in zone sismiche, contraddistinte dal valore  $a_g$  dell’accelerazione di picco al suolo, normalizzata rispetto all’accelerazione di gravità. I valori convenzionali di  $a_g$  assegnati alle aree sismiche fanno riferimento all’accelerazione di picco in superficie per suolo di tipo A, cioè roccia affiorante o suolo omogeneo molto rigido, per il quale il moto sismico al bedrock non subisce variazioni sostanziali.

In presenza di suoli di tipo B, C, D ed E il moto sismico in superficie in genere risulta modificato rispetto al moto sismico al bedrock, in funzione dell’intensità e del contenuto in frequenza dell’input sismico e delle caratteristiche geotecniche-sismiche e dello spessore del suolo attraversato dalle onde sismiche per giungere in superficie. In assenza di una specifica analisi di amplificazione sismica locale per il suolo in esame, per valutare l’accelerazione sismica spettrale in presenza di suoli di tipo B, C, D ed E la normativa introduce un fattore di amplificazione  $S$  e i periodi  $T$  che definiscono lo spettro di risposta di un oscillatore semplice con smorzamento pari al 5%.



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

**Tabella 9.** Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato - DM 17/01/2018.

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

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

dove:

$V_i$  e  $h_i$  sono la velocità delle onde di taglio verticali e lo spessore dello strato  $i$ -esimo;

$N$  è il numero di strati;

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

**Per depositi con profondità  $H$  del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio  $V_{Seq}$  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:**

$$V_{S30} = \frac{30}{\sum_{i=1, N} \frac{h}{V_i}}$$

dove:

$V_i$  e  $h_i$  sono la velocità delle onde di taglio verticali e lo spessore dello strato  $i$ -esimo.

A titolo di esempio si riporta il calcolo eseguito per la MASW T2 MM3-G14\_M1, utilizzando i valori del modello di velocità relativo alle onde di taglio (tab. 8) e limitando il 6° sismostrato alla profondità di 30 m, risulta che il sottosuolo appartiene alla CATEGORIA **B** (*il calcolo è stato eseguito dal piano campagna*).

### CALCOLO ESEGUITO DAL P.C

Sismostrato	Spessore (h 30 m di progetto)	$V_s$ (m/s)	$h/V_s$ (sec <sup>-1</sup> )	$V_{S30}/V_{Seq}$
1	2,50	421,39	0,0059	<b>429,89</b>
2	3,50	340,74	0,0103	
3	4,50	351,25	0,0128	
4	5,50	437,34	0,0126	
5	6,50	486,29	0,0134	
6	7,50	505,84	0,0148	

<b>Suolo tipo A</b>	$V_s > 800$ m/s
<b>Suolo tipo B</b>	$360$ m/s < $V_{Seq}$ < $800$ m/s
<b>Suolo tipo C</b>	$180$ m/s < $V_{Seq}$ < $360$ m/s
<b>Suolo tipo D</b>	$100$ m/s < $V_{Seq}$ < $180$ m/s
<b>Suolo tipo E</b>	Terreni C e D giacenti su di un substrato con profondità < 30 m

**Tabella 10.** Calcolo categoria sottosuolo (DM 17/01/2018) MASW T2 MM3-G14\_M1.

In questo caso, il substrato sismico ( $V_s > 800$  m/s) non si rinviene ad una profondità di – 30.00 m dal p.c. e quindi, secondo le NTC 2018, il calcolo della  $V_{Seq}$  è pari a quello eseguito per le  $V_{S30}$ .

### 3.5 Risultati prove MASW

I risultati grafici e numerici delle prove MASW sono riportati nel dettaglio nell'allegato 03 e consistono, essenzialmente, nella restituzione dei grafici e tabelle illustrate nei paragrafi precedenti.

In generale le velocità di propagazione delle onde sismiche S “calcolate” sono distribuite in un range compreso tra 110,29 m/s e 505,84 m/s, in particolare si fornisce il range per ogni prova masw eseguita:

1. T2 MM3-G14\_M1 → 340,74 ÷ **505,84** m/s;
2. T2 MM2-G06\_M2 → 214,96 ÷ 435,20 m/s;
3. T3 MM2-T3\_12\_M3 → 193,58 ÷ 488,53 m/s;

4. T3 MM1\_M4 → 110,29 ÷ 455,89 m/s;
5. T2 MM1\_M5 → 235,12 ÷ 313,21 m/s.

Per quanto riguarda le categorie di sottosuolo, invece, le prove hanno permesso di attribuire ai litotipi dei siti investigati le categorie di sottosuolo “B” e “C” (*calcolo eseguito dal piano campagna*):

1. T2 MM3-G14\_M1 → 429,89 m/s (*Suolo tipo “B”*);
2. T2 MM2-G06\_M2 → 367,46 m/s (*Suolo tipo “B”*);
3. T3 MM2-T3\_12\_M3 → 354,75 m/s (*Suolo tipo “C”*);
4. T3 MM1\_M4 → 285,51 m/s (*Suolo tipo “C”*);
5. T2 MM1\_M5 → 293,39 m/s (*Suolo tipo “C”*).

Il substrato sismico ( $V_s > 800$  m/s) non si rinviene in nessuna prova, entro una profondità di – 30.00 m dal p.c., quindi, secondo le NTC 2018, il calcolo della  $V_{seq}$  è pari a quello eseguito per le  $V_{s30}$ .

### 3.6 Calcolo “Moduli elastici” e “Parametri Geosismici”

#### 3.6.1 Moduli elastici

Il calcolo dei moduli elastici si basa sulla teoria dell’elasticità, la quale prevede che, per sforzi impulsivi e di piccola energia, i corpi subiscono deformazioni linearmente proporzionali alle forze che le originano.

In presenza di tali condizioni anche ai terreni ed alle rocce si possono attribuire le proprietà dei corpi elastici, vale a dire: omogeneità, isotropia e continuità. Pertanto, per sollecitazioni impulsive e di bassa energia, terreni e rocce rispondono nel campo della legge di Hooke:

$$\sigma = \varepsilon K$$

dove:

$\sigma$  = sforzo applicato

$\varepsilon$  = deformazione prodotta

$K$  = coefficiente di proporzionalità.

$K$ , è un generico coefficiente di proporzionalità che assume significato fisico diverso in relazione al tipo di forze applicate e deformazioni conseguenti (costanti elastiche dei mezzi).

Le deformazioni e le tensioni generate da un transiente sismico rispondono al requisito di sollecitazioni impulsive di bassa energia; quindi, come già detto, i terreni e le rocce attraversate da onde sismiche subiscono deformazioni di tipo elastico.

Tali deformazioni trovano un'intrinseca corrispondenza biunivoca con le fasi P e S dell'input sismico. Infatti, le velocità di propagazione delle onde sismiche variano al variare delle caratteristiche geomeccaniche e fisiche dei litotipi coinvolti e, pertanto, consentono di ottenere informazioni sulle proprietà elastiche dei mezzi attraversati.

Tali parametri, riportati nella tabella seguente, esprimono le caratteristiche elastiche di un corpo quando è sottoposto ad uno sforzo e sono:

- **modulo d'elasticità o di Young (E)** che fornisce una misura del rapporto sforzo-deformazione nel caso di una semplice torsione o compressione. Il modulo di Young dipende dalla porosità e dalla pressione litostatica. I valori minimi del modulo si registrano in litotipi ad alta porosità saturi in gas, mentre i valori massimi si hanno per litotipi a bassa porosità, sotto pressione e saturi d'acqua.

- **densità geofisica ( $\gamma^{dim}$ )** è un parametro che indica lo stato di addensamento dei terreni ed è paragonabile al peso di volume geotecnico;

- **rapporto di Poisson ( $\sigma$ )** che dà la misura della deformazione geometrica subita da un corpo elastico e varia da 0.2 a 0.3 per le rocce compatte; da 0.3 a 0.35 per le sabbie e da 0.4 a 0.5 per le argille;

- **modulo di rigidità (G)** che esprime la misura del rapporto sforzo-deformazione nel caso di uno sforzo di taglio, stabilendo pertanto la resistenza del corpo alle variazioni di forma. Tale parametro è fortemente dipendente dalla porosità e dalla pressione litostatica. Assume valori più bassi in litotipi ad alta porosità, sottoposti a bassa pressione e saturi d'acqua.

- **modulo di volume o di compressibilità (K)** misura il rapporto sforzo-deformazione nel caso di una pressione idrostatica ed indica la resistenza del corpo alle variazioni di volume. Tale parametro varia con la porosità, con la pressione e con la quantità d'acqua presente nella roccia.

Aumenta con il grado di saturazione, con il decrescere della porosità e con l'aumentare della pressione litostatica.

- **modulo di contrasto (M)** esprime la misura del rapporto sforzo-deformazione nel caso di uno sforzo di compressione, stabilendo pertanto la resistenza del corpo alle variazioni in direzione perpendicolare al fronte di propagazione. Tale parametro è fortemente dipendente dalla porosità e dalla pressione litostatica. Assume valori più bassi in litotipi ad alta porosità, sottoposti a bassa pressione e privi d'acqua.

### 3.6.2 Parametri geosismici

Tali parametri consentono di quantizzare il comportamento sismico di un pacchetto lito-stratigrafico, in termini di potere di trasmissione dell'energia sismica da una formazione all'altra.

Tale caratteristica è legata all'**impedenza sismica (IS)** ed a due coefficienti ad essa dipendenti: il *coefficiente di rifrazione (t)* ed il *coefficiente di riflessione (ξ)*.

### 3.6.3 Impedenza sismica (IS)

L'impedenza sismica è data dal prodotto della velocità di propagazione delle onde trasversali per la densità del mezzo in cui l'onda si propaga. L'IS è un parametro che permette di valutare l'amplificazione sismica al sito.

#### COEFFICIENTE DI RIFRAZIONE E DI RIFLESSIONE (t E ξ)

Altri due valori legati alla rigidità dei terreni sono: i coefficienti di rifrazione (t) e di riflessione (ξ). Tali coefficienti rappresentano il rapporto tra l'ampiezza dell'onda riflessa o rifratta con l'ampiezza dell'onda incidente.

ξ può assumere valori compresi tra -1 e +1: quando ξ tende a +1, l'onda riflessa ha la stessa fase ed ampiezza dell'onda incidente, mentre quando ξ tende a -1, l'onda riflessa avrà la stessa ampiezza dell'onda incidente, ma sarà in opposizione di fase. Il coefficiente t è sempre positivo e, laddove i terreni hanno forte contrasto di impedenza sismica ( $\rho_2 \gg \rho_1$ ), t tende a 2 a cui corrisponde un aumento della frazione di energia trasmessa.

Infine, nell'allegato 03 vengono riportati tutte le tabelle riguardanti i calcoli eseguiti, a titolo di esempio si riporta quella relativa alla MASW T2 MM3-G14\_M1.

Tabella Moduli elasto-dinamici						
	1° sismostrato	2° sismostrato	3° sismostrato	4° sismostrato	5° sismostrato	6° sismostrato
VP (m/s)	1.757,74	1.668,22	1.679,89	1.775,45	1.829,78	1.851,48
VS (m/s)	421,39	340,74	351,25	437,34	486,29	505,84
γ (g/cm <sup>3</sup> )	2,11	2,09	2,09	2,11	2,13	2,13
σ	0,47	0,48	0,48	0,47	0,46	0,46
E (Kg/cm <sup>2</sup> )	11.224,44	7.309,69	7.772,12	12.098,36	14.985,66	16.225,23
K (Kg/cm <sup>2</sup> )	61.358,99	55.966,80	56.667,36	62.430,81	65.727,93	67.048,74
G (Kg/cm <sup>2</sup> )	3.819,10	2.472,44	2.630,80	4.121,53	5.125,05	5.557,85
M (Kg/cm <sup>2</sup> )	66.451,13	59.263,39	60.175,09	67.926,18	72.561,33	74.459,20
IS (t/m <sup>2</sup> *sec.)	888,78	711,58	734,50	924,18	1.033,53	1.077,49
t	0,89	1,02	1,11	1,06	1,02	0,00
ξ	0,11	-0,02	-0,11	-0,06	-0,02	1,00

Tabella 11. Calcolo dei moduli elasto-dinamici MASW T2 MM3-G14\_M1.

## 4. PROSPEZIONE GEOELETRICA TOMOGRAFICA (ERT)

### 4.1 Generalità

La tecnica “Tomografica” è un processo di calcolo che consente la ricostruzione per immagini di un mezzo da investigare. Si tratta di un processo di stima dei parametri del modello che meglio approssimano i dati osservati. Il calcolo dovrà condurre ad un modello finale, accettabile dal punto di vista fisico-matematico, quando lo scarto tra i dati osservati e quelli calcolati tende al minimo.

La “*Tomografia Elettrica*”, il cui acronimo inglese è **ERT** (Electrical Resistivity Tomography), consiste nella determinazione di profili o volumi di resistività e/o caricabilità attraverso la disposizione sul terreno di un numero elevato di elettrodi che progressivamente vengono spostati lungo una data direzione variandone la distanza inter-elettrodica al fine di aumentare la profondità d’investigazione. Il set di dati così ottenuto consente la costruzione di una matrice di valori di resistività la cui “*inversione*”, mediante algoritmi matematici, restituisce la definizione del mezzo investigato in “immagini” di tipo elettro-resistivo.

Le indagini geoelettriche sono state eseguite dallo scrivente secondo i criteri della norma tecnica *ASTM D6431-99 (2005)*.

Lo scopo principale è stato quello di determinare un dettagliato andamento della distribuzione della resistività (ohm\*m) nel sottosuolo. L’ubicazione delle prove è fornita nell’allegato 01.

### 4.2 Resistività delle rocce

Il metodo geoelettrico della resistività si basa sulla circolazione di corrente elettrica stazionaria (continua o a bassissima frequenza, affinché siano trascurabili i fenomeni di induzione) nel sottosuolo. I mezzi materiali, infatti, rispondono ad un flusso di corrente in maniera diversa, in base al valore che assume il parametro fisico della resistività. La resistività delle rocce, considerando che queste sono praticamente isolanti, dipende principalmente dalla presenza di **acqua** nei pori (acqua interstiziale), dalla temperatura, dal contenuto di gas disciolti nell’acqua, dalla presenza di ioni liberi e dalle discontinuità in genere. La quantità dei pori nella roccia è definita dalla *porosità* che è data dal rapporto tra il volume dei pori ed il volume totale dell’ammasso roccioso.

Macrofessure o cavità laddove l’unica presenza è l’aria hanno un comportamento elettrico nullo, cioè la resistività tende a valori altissimi (*infinito dal punto di vista teorico*).

La resistività di una roccia dipende ancora dalla *tessitura*, cioè dalla disposizione, forma e dimensioni dei granuli che la compongono, oltre che dai vuoti riempiti di acqua. Si precisa che le rocce ed i minerali non sono mezzi *isotropi* e cioè corpi materiali dove le grandezze fisiche si

mantengono le stesse prescindendo dalla direzione, ma variano da leggermente a fortemente, quindi si possono considerare come mezzi *anisotropi*.

L'anisotropia delle rocce, relativamente alla resistività, è il risultato di una combinazione di differenti caratteristiche spaziali legate a *microfessurazioni*, *stratificazioni variabili*, *tessitura*, e *porosità*.

Quindi riepilogando la resistività elettrica, oltre che dalle proprietà elettriche intrinseche del materiale indagato, dipende principalmente dai seguenti fattori:

- ✓ porosità;
- ✓ la presenza di vuoti;
- ✓ l'eventuale grado di fratturazione;
- ✓ la presenza di acqua nei pori, e nelle discontinuità in genere, o di umidità e quindi il grado di saturazione;
- ✓ salinità del fluido presente nei pori;
- ✓ la densità, ovvero lo stato d'addensamento (specie in terreni alluvionali) della formazione;
- ✓ la granulometria;
- ✓ temperatura;
- ✓ presenza di sostanze organiche (idrocarburi, solventi, ecc.);
- ✓ presenza di argilla.

La relazione empirica proposta da Archie, invece, è valida per suoli avente scarsa componente argillosa (sabbie, ghiaie):

$$\rho_s = \rho_f a \phi^{-n} S^{-m}$$

dove:

- $\rho_s$ : resistività ( $\Omega \cdot m$ ) del suolo parzialmente saturo di fluido;
- $\rho_f$ : resistività ( $W \cdot m$ ) del fluido presente nei pori;
- $S$ : frazione del volume di pori occupata dal fluido;
- $m$ : coefficiente di saturazione (solitamente assunto essere pari a 2 in caso di saturazione in acqua);
- $a$ : costante empirica, detta di Winsaur (tipico per sabbia: 0.62);
- $n$ : coefficiente empirico, detto di "tortuosità" (tipico per sabbia: 2.15);
- $\phi$ : porosità del suolo.

La resistività del fluido  $\rho_f$  è calcolabile, qualora si conoscano le concentrazioni di ioni in soluzione (ad es. Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>=</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, ecc.), utilizzando la formula:

$$\rho_f = 0.0123 + 10 (3.562 - 0.955 \log_{10} C)$$

dove  $C$  è la somma delle concentrazioni (pesate da opportuni coefficienti ricavati sperimentalmente per ciascun ione) di tutti gli ioni presenti.

In geoelettrica si osserva il “*flusso*” delle cariche attraverso le rocce, trascurando le tendenze allo squilibrio elettrico. Il flusso di cariche è la corrente elettrica che scorre per convezione da un polo positivo (+) ad un altro negativo (-). Questa si misura in Ampere (**A**) e cioè la quantità che passa in un punto del circuito nell’unità di tempo (1 secondo). Ciò che determina il flusso è la differenza di potenziale (**d.d.p.**) e cioè la depressione elettrica tra due punti distanti. La d.d.p. si misura in Volt (**V**). Nelle rocce il flusso di corrente è direttamente proporzionale alla differenza di potenziale (**V**). Il rapporto tra d.d.p. e corrente (**I**), a meno di un coefficiente geometrico (**K**), definisce la resistenza offerta da un corpo a farsi attraversare da cariche. Questo semplice rapporto, definito come *legge di Ohm*, introduce una terza grandezza: la *resistività elettrica* ( $\rho$ ).

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

Vengono di seguito elencati i “range” di resistività di alcune rocce, minerali e metalli:



**ROCCE – MINERALI - METALLI**

<b>Rocce sedimentarie</b>	<b>Resistività (ohm*m)</b>
Calcare	100 – 5000
Argilla	1 – 100
Ghiaia	100 – 5000
Sabbia	100 – 10 <sup>3</sup>
Arenaria	100 -10 <sup>4</sup>
Marna	1 - 100
Quarzite	5000 – 10 <sup>5</sup>
<b>Rocce ignee e metamorfiche</b>	
Basalto	10 – 10 <sup>5</sup>
Granito	100- 10 <sup>5</sup>
Marmo	100 – 10 <sup>6</sup>
Scisto	10 – 10 <sup>4</sup>
Gabbro	10 <sup>3</sup> – 10 <sup>6</sup>
Ardesia	100 – 10 <sup>6</sup>
<b>Minerali e metalli</b>	
Pirite	0,0001 - 10
Argento	10 <sup>-7</sup>
Grafite	0,001 - 1
Quarzo	10 <sup>5</sup>
Salgemma	10 – 10 <sup>9</sup>
Bauxite	200 - 6000
Galena	0,01 - 200
<b>Acque</b>	
Di mare	< 0,2
Pura	100 – 10 <sup>3</sup>
Naturale	1 - 100
Con 20% di sale (NaCl)	0,001

**Tabella 12.** Valori della resistività per alcune rocce, minerali e metalli.

In realtà quella che viene calcolata è una resistività apparente ( $\rho_a$ ) ossia è un valore di resistività dovuto ai diversi contributi di tutto il sottosuolo che si sentiranno, in maniera più o meno forte, a seconda della distanza dal dispositivo di misura.

#### 4.3 Strumentazione ed acquisizione dati

La strumentazione utilizzata è costituita da un georesistivimetro multielettrodico digitale di ultima generazione (24 bit) modello X612-EM+ della M.A.E. (fig. 23) aventi le seguenti caratteristiche tecniche:

**Corrente in uscita:**

- ✓ Regolazione automatica (5 step);
- ✓ Intensità massima: 5 A a 50 V;
- ✓ Tensioni di uscita:  $\pm 50V$ ,  $\pm 100V$ ,  $\pm 250V$ ,  $\pm 500V$ ,  $\pm 800V$  (950V con generatore esterno opzionale);
- ✓ Potenza massima: 250W (600W con generatore esterno opzionale);
- ✓ Tempo di immissione: impostabile a partire da 0.25 sec. (visualizzazione grafica dell'onda impostata);
- ✓ Precisione della misura:  $\pm 0.2 \mu A$ ;
- ✓ Elettrodi gestibili: fino a 96.

**Misura di potenziale:**

- ✓ Misura simultanea su tutti i canali impostati;
- ✓ Auto range;
- ✓ Fondo scala massimo:  $\pm 25V$ ;
- ✓ Impedenza di ingresso: 150 M $\Omega$ ;
- ✓ Filtro frequenza di rete: 50 Hz;
- ✓ Protezione: superiore;
- ✓ Precisione della misura:  $\pm 1,5 \mu V$  nel range  $\pm 25V$ ;
- ✓ Riduzione del rumore: con media da 2 a 10 misure;
- ✓ Azzeramento automatico del potenziale spontaneo;
- ✓ Accuratezza della resistività misurata:  $\pm 0.5 \%$ .

L'acquisizione dei dati consiste nel generare corrente continua tramite elettrodi di corrente (poli d'immissione) e misurare la differenza di potenziale che si genera nei picchetti di misura M – N, secondo geometrie prefissate. Le procedure eseguite, in generale, per le operazioni d'acquisizione dati possono essere così riassunte:

- ricerca preliminare dei sottoservizi prima dell'infezione degli elettrodi nel terreno;
- disposizione sul campo degli elettrodi lungo la geometria prefissata (configurazione geometrica utilizzata: *Wenner  $\alpha$* );
- controllo della resistenza di contatto elettrodo/terreno;
- controllo della continuità elettrica tra cavo ed elettrodi;
- riduzione della resistenza di contatto, fino ad un 1K ohm, mediante l'utilizzo di bentonite e di acqua con aggiunta di Sali;

- scelta delle tabelle di misura;
- misura dei potenziali spontanei;
- immissione della corrente secondo forma d'onda quadra ad intervalli di tempo regolari;
- misura ed archiviazione dati.



**Figura 23.** Georesistivimetro M.A.E. X612-EM+ (postazione T2 MM3-G14\_ERT1).

I dati archiviati sono in forma matriciale e contengono informazioni sulle acquisizioni di campagna consentendone l'immediata elaborazione (Software ERTLlab e/o Res2DInv).

Stazione	I (mA)	V (mV)	$\rho$ (ohm m)
1	1	1	1
2	2	2	2
3	3	3	3
4	4	4	4
5	5	5	5
6	6	6	6
7	7	7	7
8	8	8	8
9	9	9	9
10	10	10	10
11	11	11	11
12	12	12	12
13	13	13	13
14	14	14	14
15	15	15	15
16	16	16	16
17	17	17	17
18	18	18	18
19	19	19	19
20	20	20	20
21	21	21	21
22	22	22	22
23	23	23	23
24	24	24	24
25	25	25	25
26	26	26	26
27	27	27	27
28	28	28	28
29	29	29	29
30	30	30	30
31	31	31	31
32	32	32	32
33	33	33	33
34	34	34	34
35	35	35	35
36	36	36	36
37	37	37	37
38	38	38	38
39	39	39	39
40	40	40	40
41	41	41	41
42	42	42	42
43	43	43	43
44	44	44	44
45	45	45	45
46	46	46	46
47	47	47	47
48	48	48	48
49	49	49	49
50	50	50	50
51	51	51	51
52	52	52	52
53	53	53	53
54	54	54	54
55	55	55	55
56	56	56	56
57	57	57	57
58	58	58	58
59	59	59	59
60	60	60	60
61	61	61	61
62	62	62	62
63	63	63	63
64	64	64	64
65	65	65	65
66	66	66	66
67	67	67	67
68	68	68	68
69	69	69	69
70	70	70	70
71	71	71	71
72	72	72	72
73	73	73	73
74	74	74	74
75	75	75	75
76	76	76	76
77	77	77	77
78	78	78	78
79	79	79	79
80	80	80	80
81	81	81	81
82	82	82	82
83	83	83	83
84	84	84	84
85	85	85	85
86	86	86	86
87	87	87	87
88	88	88	88
89	89	89	89
90	90	90	90
91	91	91	91
92	92	92	92
93	93	93	93
94	94	94	94
95	95	95	95
96	96	96	96
97	97	97	97
98	98	98	98
99	99	99	99
100	100	100	100

**Figura 24.** Tabella misure di campagna (prime 27 misure Wenner  $\alpha$  T2 MM3-G14\_ERT1).

Il sistema di acquisizione consente una gestione automatica degli elettrodi, in grado cioè, di commutare gli elettrodi disposti lungo la sezione da investigare (geometria lineare) in elettrodi d'immissione (A e B) ed in elettrodi di ricezione (M ed N) con tutte le possibili combinazioni (configurazioni) quadripolari degli elettrodi (figura seguente).

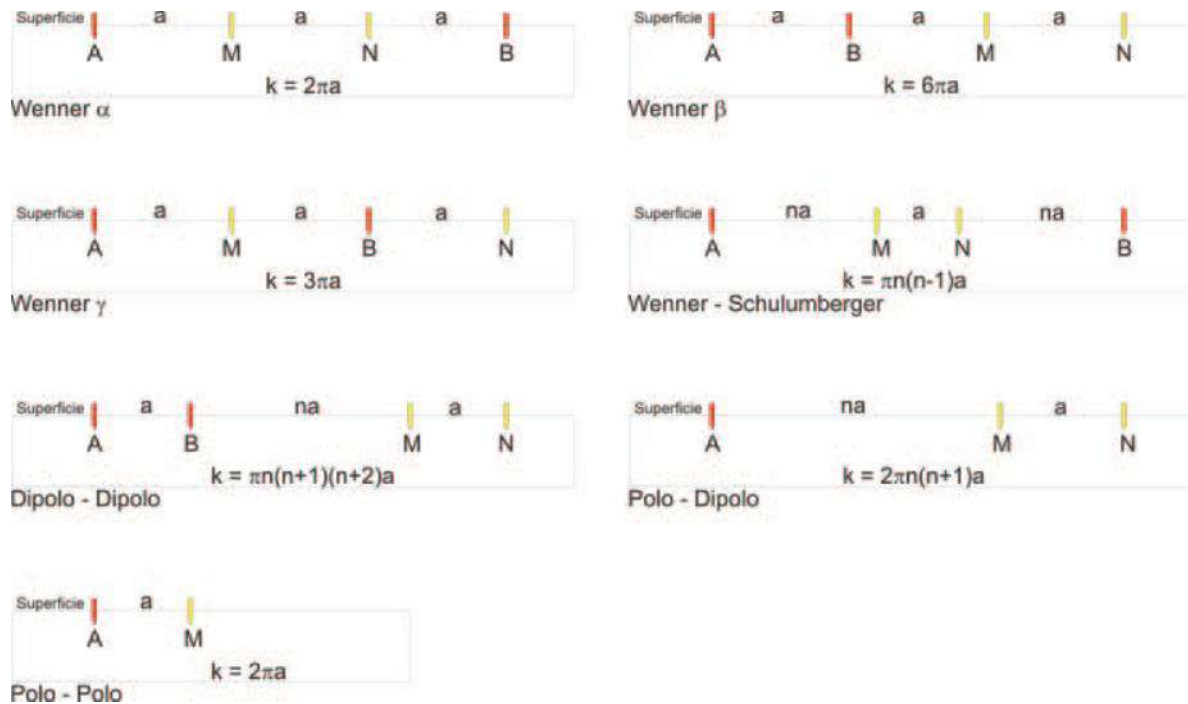


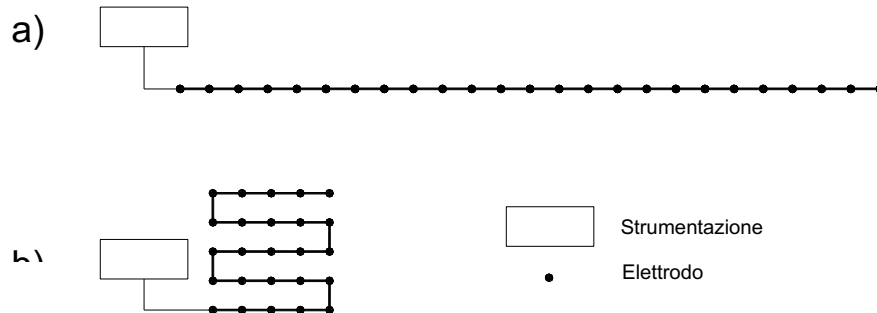
Figura 25. Dispositivi elettrodi lineari quadripolari di misura comunemente usati.

I vari metodi di prospezione elettrica differiscono, quindi, tra loro essenzialmente per la disposizione dei quattro elettrodi sul terreno e il diverso modo di spostarli da una misura alla successiva. La scelta del particolare metodo da impiegare in ciascun caso, sarà legata alla possibilità di mettere in massimo risalto le variazioni di resistività dovute ai corpi che si vogliono evidenziare.

I dispositivi più usati sono il Wenner, lo Schlumberger ed il Dipolo-dipolo (fig. 25). I primi due dispositivi sono detti lineari, perché i quattro elettrodi si trovano tutti sulla stessa linea, mentre il terzo è, in generale, non lineare. Nel caso in esame è stato utilizzato il dispositivo geometrico "Wenner  $\alpha$ ".

Negli ultimi decenni è stata sviluppata una nuova tecnica di indagine, in cui le misure di resistività sono fatte usando un sistema costituito da un gran numero di elettrodi. Questa tecnica, indicata con il nome di **tomografia geoelettrica**, risulta particolarmente adatta per investigazioni in aree di interesse geologico, minerario, idrogeologico, ingegneristico ed archeologico. La tomografia elettrica, può essere bidimensionale o tridimensionale, a seconda che la zona di interesse sia una sezione piana verticale del sottosuolo o un intero volume di terreno. Nel primo caso, gli elettrodi saranno disposti sul terreno tutti allineati ed equispaziati, mentre nel secondo caso, saranno disposti

sempre sulla superficie del terreno, ma sui nodi di una griglia quadrata o con geometrie non convenzionali. In fig. 26 sono rappresentati i due modi in cui si possono disporre gli elettrodi.



**Figura 26.** Disposizione degli elettrodi sul terreno per indagini geoelettriche multielettrodiche 2D (a) e 3D (b).

Nel caso della multielettrodica, si lavora con una serie di elettrodi equispaziati collegati, per mezzo di un cavo multicanale, ad uno strumento in grado di gestire l'immissione di corrente e la misura della differenza di potenziale dai quattro elettrodi volta per volta interessati dalla misura (M.A.E. X612-EM+); da qui se ne deduce la grande innovazione nell'indagine geoelettrica apportata dalla multielettrodica: essa infatti non solo permette di raccogliere un gran numero di dati in poco tempo e a costi contenuti, ma anche di risolvere alcuni problemi, ad esempio quello della rappresentazione dei dati.

I vari dispositivi elettrodici, sono caratterizzati da una serie di parametri, dai quali dipenderà l'investigazione. Sarà l'operatore a decidere, in base agli scopi dell'indagine, alle caratteristiche della regione interessata dalla misura, al tempo a disposizione e alla quantità di memoria disponibile sul computer, qual è quello più adatto alle misure, caso per caso.

Nello specifico **sono state eseguite n. 3 tomografie elettriche bidimensionali**, per uno sviluppo totale di 639,00 ml, con lo scopo di ricostruire l'immagine bidimensionale geo-resistiva del sottosuolo. I dati sono stati acquisiti, per tutte le tomografie, utilizzando le stesse configurazioni geometriche (tab. 13).

La strumentazione utilizzata per le misure (georesistivimetro M.A.E. X612-EM+) contiene assemblati sia il sistema energizzante che quello ricevente. Il sistema di ricezione è costituito da un millivoltmetro digitale, atto a misurare la tensione correlata al segnale di corrente inviato, mentre il trasmettitore, alimentato da batteria esterna, invia nel terreno un segnale di corrente regolare.

L'apparecchiatura procede ad una rimozione immediata del fattore di disturbo stazionario (generato da fenomeni di polarizzazione spontanea) tramite l'inversione della polarità del flusso di

corrente continua nel sottosuolo, cioè grazie all'uso dell'onda quadra di corrente. Con la stessa strumentazione e geometria sono stati rilevati anche i potenziali spontanei.

ID	Data esecuzione prova	n° elettrodi	Interspazio elettrodo (m)	Dispositivo di misura	Lungh. compl. (m)	Sondaggi geognostici vicini	Grandezza fisica "misurata"
T2 MM3-G14_ERT1	29.10.20	72	3.00	Wenner $\alpha$	213.00	T2 MM3-G14_S1	Resistività elettrica $\rho$
T2 MM2-G06_ERT2	30.10.20	72	3.00	Wenner $\alpha$	213.00	T2 MM2-G06_S2	Resistività elettrica $\rho$
T3 MM2-T3_12_ERT3	01.11.20	72	3.00	Wenner $\alpha$	213.00	T3 MM2-T3_12_S3	Resistività elettrica $\rho$

**Tabella 13.** Caratteristiche generali delle tomografie elettriche eseguite.

La pseudo-sezione di resistività fornisce un'immagine approssimativa ed immediata della distribuzione di resistività lungo la sezione verticale di sottosuolo sottesa al profilo di misura; può essere quindi considerata come un'immagine sfocata della configurazione elettrica del sottosuolo.

La tomografia geoelettrica vera e propria si ottiene mettendo a fuoco l'immagine di resistività apparente in modo da definire meglio le geometrie dei corpi sepolti. È possibile risolvere questo problema (cioè passare da una pseudo-sezione a una tomografia) applicando la tecnica d'inversione di Loke & Barker (1996).

La tecnica è essenzialmente un'ottimizzazione del "metodo dei minimi quadrati" in cui un modello di partenza viene iterativamente modificato finché la differenza tra questo e la pseudo-sezione sperimentale risulta ridotta al minimo. L'assunto di base della tecnica per la costruzione del modello è che nel sottosuolo ci sono tanti strati quanti sono i valori di resistività sulla curva sperimentale di  $\rho_a$ . La profondità media di ogni strato è uguale alla spaziatura elettrodica utilizzata per la misura di resistività moltiplicata per una costante il cui valore deve essere tale da ridurre al minimo la differenza tra la curva teorica (ricavata dal modello) e la curva sperimentale. Questa costante viene determinata utilizzando l'algoritmo del "trial and error", ovvero calcolando la percentuale di scarto "root mean squared" (*r.m.s.*, radice quadrata media) tra i valori di  $\rho_a$  osservati ed i valori  $\rho_a$  calcolati nei punti considerati. Dopo ogni iterazione la curva modello di resistività apparente viene ricalcolata e confrontata con la curva di resistività apparente osservata.

Questa procedura viene ripetuta fino a quando la differenza *r.m.s.* tra le due curve è ridotta al minimo. Questa tecnica è stata estesa al caso bidimensionale da Barker (1992) e successivamente ampliata da Loke & Barker (1996). In questo caso il modello utilizzato è ottenuto suddividendo il sottosuolo in volumetti rettangolari ad ognuno dei quali corrisponde un valore di resistività

apparente misurato in campagna. La profondità media di ciascuno di questi elementi sarà funzione delle differenti spaziature elettrode utilizzate (tab. 14).

Da questo modello iniziale di sottosuolo si calcola una pseudo-sezione teorica di resistività apparente. Le differenze tra i valori di resistività apparente della pseudo-sezione teorica e della pseudo-sezione sperimentale vengono utilizzate per ricavare delle resistività quanto più vicine alla realtà per ognuno degli elementi del modello. L'intero processo è ripetuto iterativamente fino a quando la differenza *r.m.s.* raggiunge un valore minimo fissato dall'operatore. Non sempre, però, al più basso valore *r.m.s.* possibile, corrisponde il modello geologico di sottosuolo più vicino alla realtà. A volte, infatti, si possono ottenere variazioni poco realistiche nei valori di resistività del modello. Pertanto, l'approccio più corretto è quello di scegliere il modello di sottosuolo corrispondente all'iterazione dopo la quale l'errore *r.m.s.* non cambia significativamente.

DISPOSITIVI ELETTRICI		$z_{med/a}$	$z_{med/L}$
Wenner Alfa		0,519	0,173
Wenner Beta		0,416	0,139
Wenner Gamma		0,594	0,198
Dipolo-dipolo	n = 1	0,416	0,139
	n = 2	0,697	0,174
	n = 3	0,962	0,192
	n = 4	1,22	0,203
	n = 5	1,476	0,211
	n = 6	1,73	0,216
Wenner-Schlumberger	n = 1	0,52	0,173
	n = 2	0,93	0,186
	n = 3	1,32	0,189
	n = 4	1,71	0,19
	n = 5	2,09	0,19
	n = 6	2,48	0,19
Polo-dipolo	n = 1	0,52	
	n = 2	0,93	
	n = 3	1,32	
	n = 4	1,71	
	n = 5	2,09	
	n = 6	2,48	
Polo-polo		0,867	

**Tabella 14.** Profondità di investigazione dei vari dispositivi elettrofici (Loke, 2001); (L: lunghezza dello stendimento elettrofico; a: distanza interelettrofica; z: profondità di indagine; n: numero di livelli nel sottosuolo).

#### 4.4 Risultati Tomografie Elettriche (ERT)

I risultati grafici delle tomografie elettriche eseguite, in termini di immagini elettriche del sottosuolo investigato espresse in resistività ( $\text{ohm} \cdot \text{m}$ ) sono riportati nel dettaglio nell'allegato 03.

In generale, le sezioni geo-elettriche invertite mostrano, nel loro complesso, come il sottosuolo sia caratterizzato da una discreta variazione latero-verticale degli elettrostrati che lo costituiscono.

In particolare, i valori di resistività molto bassi misurati sono concordanti con i litotipi presenti nelle aree di indagine rappresentati prevalentemente da depositi limosi ed argillosi, così come riscontrato durante i sondaggi geognostici eseguiti.

Nelle linee generali la struttura elettrica del sottosuolo investigato può essere ricondotta ad un modello di terreno costituito da “*terreni conduttivi*” aventi valori di resistività minori di 5 ohm\*m riconducibili, probabilmente, ai depositi argillosi caratterizzanti il substrato delle aree di indagine, interrotto da sparsi “*nuclei relativamente più resistivi*” attribuibili ai depositi più limoso-sabbiosi.

Si nota, infine, che i terreni di copertura (poco spessi), presentano un comportamento elettrico “*medio-alto resistivo*” a tratti, soprattutto nella tomografia elettrica T2 MM3-G14\_ERT1, presentando un range di resistività rientrante nel campo dei calcari e delle ghiaie (100-5000 ohm\*m - tab. 12).

I risultati grafici ottenuti dall’elaborazione dei dati sono riportati nel dettaglio nell’allegato 03.

## **5. RILIEVO PLANO-ALTIMETRICO GPS DELLE INDAGINI**

### **5.1 Generalità e metodologia**

Tralasciando la teoria che sta alla base di un rilievo topografico satellitare (GPS/GNSS), lo scopo prefissato è stato quello di materializzare dal punto di vista plano-altimetrico i punti di inizio-fine dei transetti geofisici eseguiti riguardanti le prove Masw, tutti gli elettrodi nelle tomografie elettriche ed i sondaggi geognostici eseguiti. È stata utilizzata la tecnica GPS cinematica in modalità RTK (Real Time Kinematic), con correzione differenziale in tempo reale tramite comunicazione via radio-modem dei ricevitori, permettendo così un rilievo senza la necessità di una mutua intervisibilità dei punti come invece richiesta nelle tecniche di rilievo tradizionale.

### **5.2 Strumentazione utilizzata**

La strumentazione utilizzata per il rilievo è costituita da un ricevitore geodetico GPS/GNSS Stonex S8 Plus (fig. 27), con relativa componentistica, allestito in configurazione Rover (su palina).





Figura 27. Sistema GPS/GNSS Stonex S8 Plus usato (durante il rilievo degli elettrodi T3 MM2-T3\_12\_ERT3).

Le caratteristiche tecniche principali del sistema Rover utilizzato sono elencate nella seguente tabella.

RICEVITORE		POSIZIONAMENTO <sup>1</sup>	
Canali	120	RILIEVO STATICO (Cosservazioni in tempo lunghi)	
Satelliti tracciati	GPS: Simultanei L1, L2, L2C, L5	Orizzontale	5 mm + 0,5 ppm RMS
	GLONASS: Simultanei L1, L2	Verticale	10 mm + 0,5 ppm RMS
	GALILEO: E5a, E5b, Alt-BOC	POSIZIONAMENTO CON CODICE DIFFERENZIALE	
	BeiDou: B1, B2	3D	0,25 m RMS
	SBAS: Simultanei L1 C/A, L5	SBAS positioning	0,6 m 3D RMS <sup>2</sup>
	L-Band	REAL TIME KINEMATIC (< 25 Km) – COLLEGAMENTO IN RETE <sup>3</sup>	
Frequenza di aggiornamento	Fino a 5 Hz (frequenza maggiore opzionale)	Fixed RTK orizzontale	10 mm + 1 ppm RMS
Riacquisizione segnale	< 1 secondi	Fixed RTK verticale	20 mm + 1 ppm RMS
Inizializzazione RTK	< 10 secondi	COMMUNICAZIONE	
Acquisizione iniziale	< 35 secondi	Connessione I/O	Porte Lemo 7-pins e Lemo 5-pins. Uscita USB per collegamento a PC o palmare.
Affidabilità inizializzazione	> 99,9 %	Bluetooth	2,4 GHz class II: fino a 50 m
Memoria interna	256 MB	Output di uscita	CMR, CMR+, RTCM 2.1, 2.3, 3.0, 3.1
Micro SD Card	Memoria Interna 4 GB (fino a 60 giorni di acquisizione in modalità statica continua con registrazione dati ogni secondo)	Output di navigazione	Supporto NMEA-0183 con ASCII NovAtel e registrazione binaria.
		ANTENNA GNSS INTEGRATA	
		Antenna di alta precisione "microstrip", con tecnologia di abbattimento multipath in grado di tracciare le 4 Costellazioni	

Tabella 15. Caratteristiche tecniche della strumentazione usata.

### 5.3 Risultati del rilievo

Di seguito si riportano i risultati del rilievo eseguito in forma tabellare, mentre graficamente nell'allegato 01 "Ubicazione delle indagini eseguite", precisando che nella fase di misura si è posta particolare attenzione all'altezza e alla verticalità dell'antenna mediante l'ausilio della livella sferica solidale alla palina di supporto, al numero complessivo di satelliti disponibili ed ai valori dei parametri indicativi della qualità della geometria e dei segnali della costellazione satellitare e quindi della misura.

ID Sondaggi geognostici	Coordinate Piane Assolute UTM WGS84 33 S		Quote Z (m.s.l.m.m.)
	Latitudine Nord (m)	Longitudine Est (m)	Piano Camp.
<b>T2 MM3-G14_S1</b>	4178496.553	293729.983	152.601
<b>T2 MM2-G06_S2</b>	4183116.227	293839.069	145.758
<b>T3 MM2-T3_12_S3</b>	4186883.975	291180.978	124.536

**Tabella 16.** Coordinate metriche rilevate dei sondaggi eseguiti (Sistema di riferimento UTM WGS84 33S).

ID Indagine Sismica (MASW)		Coordinate Piane Assolute UTM WGS84 33 S		Quote Z (m.s.l.m.m.)
		Latitudine Nord (m)	Longitudine Est (m)	Piano Camp.
<b>T2 MM3-G14_M1</b>	<b>G1</b>	4178485.904	293718.742	152.056
	<b>G24</b>	4178448.180	293675.394	151.131
<b>T2 MM2-G06_M2</b>	<b>G1</b>	4183123.320	293829.250	144.844
	<b>G24</b>	4183083.937	293870.897	148.355
<b>T3 MM2-T3_12_M3</b>	<b>G1</b>	4186911.942	291188.196	123.814
	<b>G24</b>	4186856.014	291175.222	126.138
<b>T3 MM1_M4</b>	<b>G1</b>	4185186.370	287175.824	146.263
	<b>G24</b>	4185137.018	287146.495	145.910
<b>T2 MM1_M5</b>	<b>G1</b>	4180196.825	290567.062	149.809
	<b>G24</b>	4180151.026	290601.760	149.214

**Tabella 17.** Coordinate metriche rilevate dei geofoni iniziali e finali degli stendimenti sismici eseguiti (Sistema di riferimento UTM WGS84 33S).

T2 MM3-G14_ERT1			
ID_EL	Long. Est (m)	Lat. Nord (m)	Quota (m.s.l.m.m.)
E1	293727.728	4178494.352	152.545
E2	293725.500	4178492.347	152.383
E3	293723.258	4178490.355	152.243
E4	293721.031	4178488.345	152.112
E5	293718.785	4178486.298	151.983
E6	293716.555	4178484.332	151.912
E7	293714.329	4178482.382	151.862
E8	293712.087	4178480.331	151.798
E9	293709.867	4178478.319	151.739
E10	293707.623	4178476.339	151.680
E11	293705.360	4178474.362	151.625
E12	293703.141	4178472.338	151.601
E13	293700.903	4178470.351	151.570
E14	293698.666	4178468.365	151.485
E15	293696.497	4178466.379	151.482
E16	293694.200	4178464.368	151.443
E17	293691.967	4178462.359	151.425
E18	293689.722	4178460.370	151.386
E19	293687.467	4178458.374	151.349
E20	293685.225	4178456.368	151.259
E21	293682.985	4178454.385	151.191
E22	293680.778	4178452.436	151.181
E23	293678.546	4178450.391	151.114
E24	293676.313	4178448.409	151.084
E25	293674.046	4178446.400	151.039
E26	293671.860	4178444.376	151.026
E27	293669.612	4178442.379	151.026
E28	293667.419	4178440.390	151.028
E29	293665.166	4178438.362	151.020
E30	293662.940	4178436.369	150.955
E31	293660.733	4178434.389	150.994
E32	293658.472	4178432.392	150.933
E33	293656.252	4178430.377	150.920
E34	293654.028	4178428.410	150.869
E35	293651.717	4178426.354	150.829
E36	293649.480	4178424.370	150.783
E37	293647.250	4178422.370	150.719
E38	293645.011	4178420.349	150.682
E39	293642.788	4178418.353	150.613
E40	293640.541	4178416.347	150.606
E41	293638.338	4178414.312	150.613
E42	293636.102	4178412.355	150.577
E43	293633.877	4178410.329	150.521
E44	293631.641	4178408.352	150.485
E45	293629.423	4178406.326	150.379
E46	293627.213	4178404.313	150.284
E47	293625.016	4178402.316	150.232
E48	293622.703	4178400.353	150.170
E49	293620.456	4178398.321	150.145
E50	293618.269	4178396.345	150.092
E51	293615.973	4178394.339	150.041
E52	293613.821	4178392.288	149.958
E53	293611.560	4178390.258	149.877
E54	293609.331	4178388.300	149.775
E55	293607.066	4178386.313	149.685
E56	293604.859	4178384.286	149.647
E57	293602.651	4178382.254	149.513
E58	293600.428	4178380.310	149.408
E59	293598.132	4178378.272	149.342
E60	293595.940	4178376.260	149.261
E61	293593.727	4178374.286	149.252
E62	293591.523	4178372.275	149.395
E63	293589.317	4178370.201	149.460
E64	293587.060	4178368.240	149.520
E65	293584.845	4178366.291	149.318
E66	293582.525	4178364.295	149.343
E67	293580.353	4178362.237	149.410
E68	293578.159	4178360.218	149.259
E69	293575.859	4178358.334	149.182
E70	293573.662	4178356.355	149.139
E71	293571.357	4178354.391	149.168
E72	293569.180	4178352.413	149.088

**Tabella 18.** Coordinate metriche rilevate degli elettrodi T2 MM3-G14\_ERT1 (Sistema di riferimento UTM WGS84 33S).

T2 MM2-G06_ERT2			
ID_EL	Long. Est (m)	Lat. Nord (m)	Quota (m.s.l.m.m.)
E1	293838.696	4183120.268	145.703
E2	293840.756	4183122.411	145.932
E3	293842.795	4183124.626	146.111
E4	293844.871	4183126.797	146.305
E5	293846.885	4183128.988	146.484
E6	293848.988	4183131.143	146.642
E7	293851.043	4183133.350	146.738
E8	293853.064	4183135.581	146.807
E9	293855.132	4183137.710	146.835
E10	293857.198	4183139.906	146.822
E11	293859.226	4183142.122	146.795
E12	293861.290	4183144.278	146.738
E13	293863.361	4183146.484	146.667
E14	293865.402	4183148.631	146.519
E15	293867.481	4183150.812	146.348
E16	293869.515	4183152.950	146.190
E17	293871.611	4183155.146	145.976
E18	293873.628	4183157.332	145.726
E19	293875.667	4183159.514	145.432
E20	293877.685	4183161.680	145.148
E21	293879.755	4183163.895	144.812
E22	293881.821	4183165.982	144.502
E23	293883.876	4183168.175	144.187
E24	293885.937	4183170.337	143.896
E25	293888.018	4183172.438	143.593
E26	293890.056	4183174.632	143.307
E27	293892.064	4183176.822	143.012
E28	293894.119	4183178.984	142.731
E29	293896.198	4183181.144	142.431
E30	293898.208	4183183.335	142.107
E31	293900.227	4183185.517	141.814
E32	293902.264	4183187.695	141.537
E33	293904.310	4183189.876	141.157
E34	293906.348	4183192.068	140.844
E35	293908.410	4183194.245	140.475
E36	293910.431	4183196.444	140.116
E37	293912.459	4183198.615	139.768
E38	293914.482	4183200.782	139.374
E39	293916.469	4183202.997	138.978
E40	293918.465	4183205.242	138.589
E41	293920.440	4183207.384	138.172
E42	293922.514	4183209.544	137.720
E43	293924.513	4183211.696	137.226
E44	293926.543	4183213.876	136.729
E45	293928.585	4183216.036	136.215
E46	293930.574	4183218.170	135.717
E47	293932.634	4183220.332	135.223
E48	293934.661	4183222.467	134.678
E49	293936.673	4183224.614	134.131
E50	293938.736	4183226.758	133.591
E51	293940.705	4183228.859	133.055
E52	293942.837	4183230.982	132.563
E53	293944.848	4183233.178	132.038
E54	293946.859	4183235.255	131.532
E55	293948.771	4183237.601	131.020
E56	293950.939	4183239.597	130.495
E57	293952.897	4183241.762	130.062
E58	293954.960	4183243.914	129.595
E59	293956.946	4183246.081	129.209
E60	293958.971	4183248.251	128.807
E61	293961.015	4183250.397	128.397
E62	293963.063	4183252.558	127.974
E63	293965.112	4183254.750	127.632
E64	293967.192	4183256.878	127.291
E65	293969.259	4183259.016	126.958
E66	293971.288	4183261.211	126.592
E67	293973.326	4183263.358	126.241
E68	293975.395	4183265.552	125.884
E69	293977.410	4183267.685	125.481
E70	293979.405	4183269.854	125.059
E71	293981.486	4183272.025	124.566
E72	293983.502	4183274.157	124.121

Tabella 19. Coordinate metriche rilevate degli elettrodi T2 MM2-G06\_ERT2 (Sistema di riferimento UTM WGS84 33S).

T3 MM2-T3_12_ERT3			
ID_EL	Long. Est (m)	Lat. Nord (m)	Quota (m.s.l.m.m.)
E1	291179.169	4186884.494	124.492
E2	291176.247	4186885.125	124.527
E3	291173.335	4186885.811	124.586
E4	291170.396	4186886.451	124.542
E5	291167.489	4186887.079	124.454
E6	291164.537	4186887.687	124.293
E7	291161.601	4186888.321	124.096
E8	291158.683	4186888.985	123.826
E9	291155.777	4186889.612	123.578
E10	291152.887	4186890.247	123.285
E11	291149.956	4186890.897	122.965
E12	291147.042	4186891.554	122.694
E13	291144.165	4186892.240	122.388
E14	291141.253	4186892.825	122.057
E15	291138.338	4186893.483	121.743
E16	291135.431	4186894.136	121.451
E17	291132.481	4186894.704	121.156
E18	291129.555	4186895.417	120.842
E19	291126.652	4186896.120	120.512
E20	291123.736	4186896.745	120.168
E21	291120.831	4186897.415	119.847
E22	291117.899	4186897.994	119.536
E23	291115.008	4186898.648	119.169
E24	291112.125	4186899.301	118.779
E25	291109.242	4186899.955	118.333
E26	291106.355	4186900.604	117.895
E27	291103.450	4186901.266	117.395
E28	291100.570	4186901.928	116.919
E29	291097.692	4186902.562	116.384
E30	291094.819	4186903.251	115.852
E31	291091.926	4186903.877	115.321
E32	291089.051	4186904.525	114.794
E33	291086.176	4186905.134	114.264
E34	291083.302	4186905.815	113.715
E35	291080.408	4186906.456	113.155
E36	291077.517	4186907.061	112.605
E37	291074.668	4186907.649	112.094
E38	291071.784	4186908.332	111.523
E39	291068.910	4186908.855	111.069
E40	291066.000	4186909.571	110.522
E41	291063.127	4186910.156	110.024
E42	291060.217	4186910.804	109.535
E43	291057.352	4186911.448	109.058
E44	291054.459	4186912.025	108.585
E45	291051.572	4186912.660	108.138
E46	291048.647	4186913.296	107.663
E47	291045.769	4186914.038	107.282
E48	291042.902	4186914.620	106.884
E49	291039.973	4186915.256	106.461
E50	291037.104	4186915.873	106.044
E51	291034.224	4186916.499	105.602
E52	291031.258	4186917.099	105.129
E53	291028.354	4186917.733	104.666
E54	291025.479	4186918.354	104.251
E55	291022.562	4186918.985	103.786
E56	291019.669	4186919.625	103.314
E57	291016.809	4186920.285	102.845
E58	291013.906	4186920.909	102.404
E59	291011.044	4186921.538	101.962
E60	291008.138	4186922.075	101.504
E61	291005.216	4186922.771	101.063
E62	291002.358	4186923.447	100.658
E63	290999.407	4186923.954	100.242
E64	290996.485	4186924.629	99.838
E65	290993.621	4186925.220	99.409
E66	290990.723	4186925.850	99.022
E67	290987.806	4186926.425	98.604
E68	290984.888	4186926.960	98.128
E69	290981.975	4186927.783	97.697
E70	290979.103	4186928.401	97.366
E71	290976.244	4186929.134	96.991
E72	290973.298	4186929.748	96.538

**Tabella 20.** Coordinate metriche rilevate degli elettrodi T3 MM2-T3\_12\_ERT3 (Sistema di riferimento UTM WGS84 33S).



Engineering & Construction



GRE CODE

**GRE.EEC.R.25.IT.W.13824.49.001.00**

PAGE

51 di/of 96

*L'impresa rimane disponibile a qualsiasi chiarimento tecnico che abbia come oggetto la presente e/o per assistenza in cantiere durante eventuali fasi di accertamento.*

Tanto si doveva per l'espletamento dell'incarico affidatoci.

Latina (LT), li 20 Novembre 2020

**Il Direttore Tecnico**

*Dott. Geol. Salvatore Alloro*

(ORGS n. 3128 sez. A)

**L'impresa**

*SONGEO S.r.l.*

## **ALLEGATI:**

*ALLEGATO 01: **UBICAZIONE DELLE INDAGINI ESEGUITE***

*in scala 1:10.000*

*ALLEGATO 02: **STRATIGRAFIE SONDAGGI GEOGNOSTICI***

**E DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA**

*ALLEGATO 03: **RISULTATI INDAGINI GEOFISICHE***

**E DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA**



Engineering & Construction



GRE CODE

**GRE.EEC.R.25.IT.W.13824.49.001.00**

PAGE

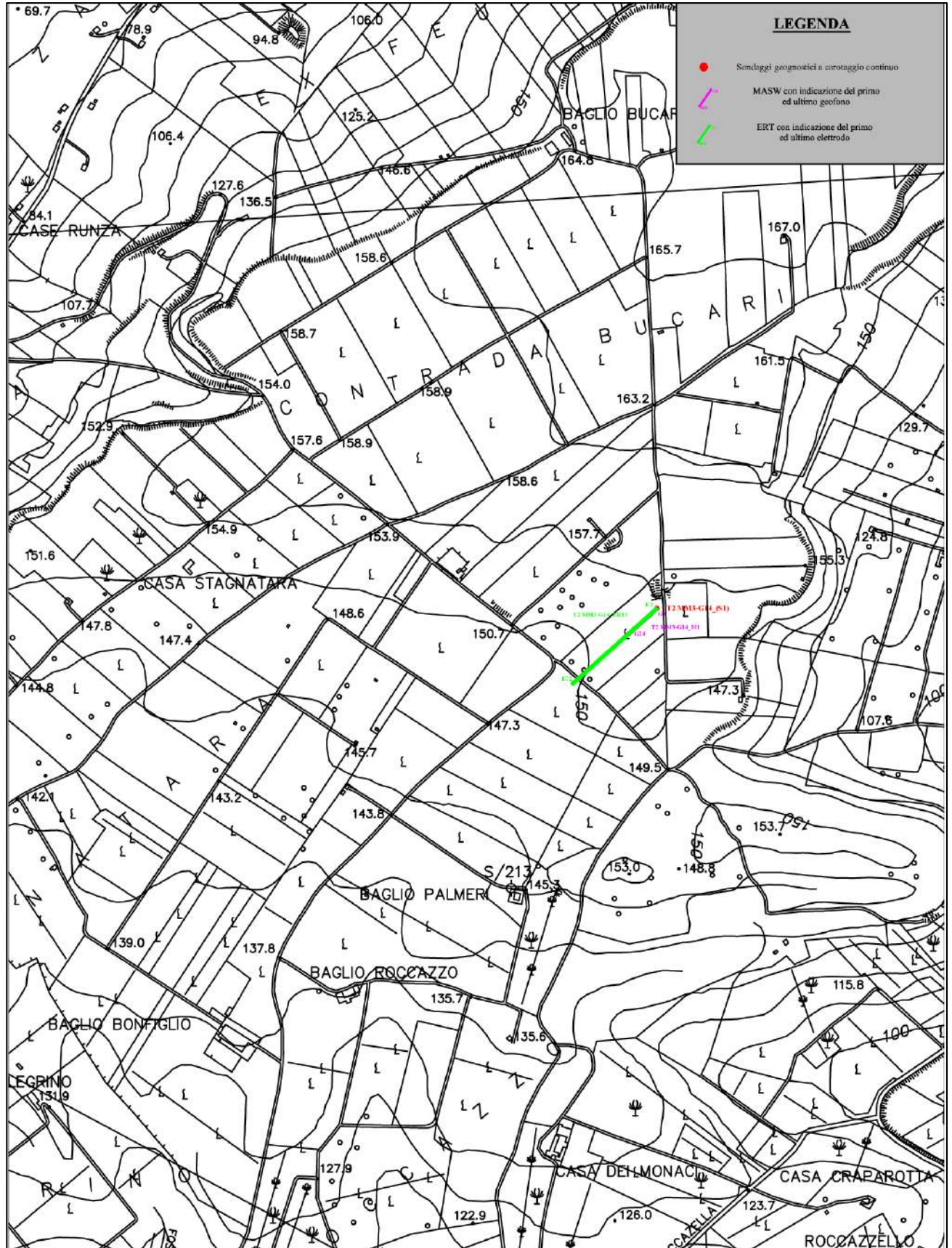
53 di/of 96

**ALLEGATO 01**  
***UBICAZIONE DELLE INDAGINI ESEGUITE***  
***IN SCALA 1:10.000***



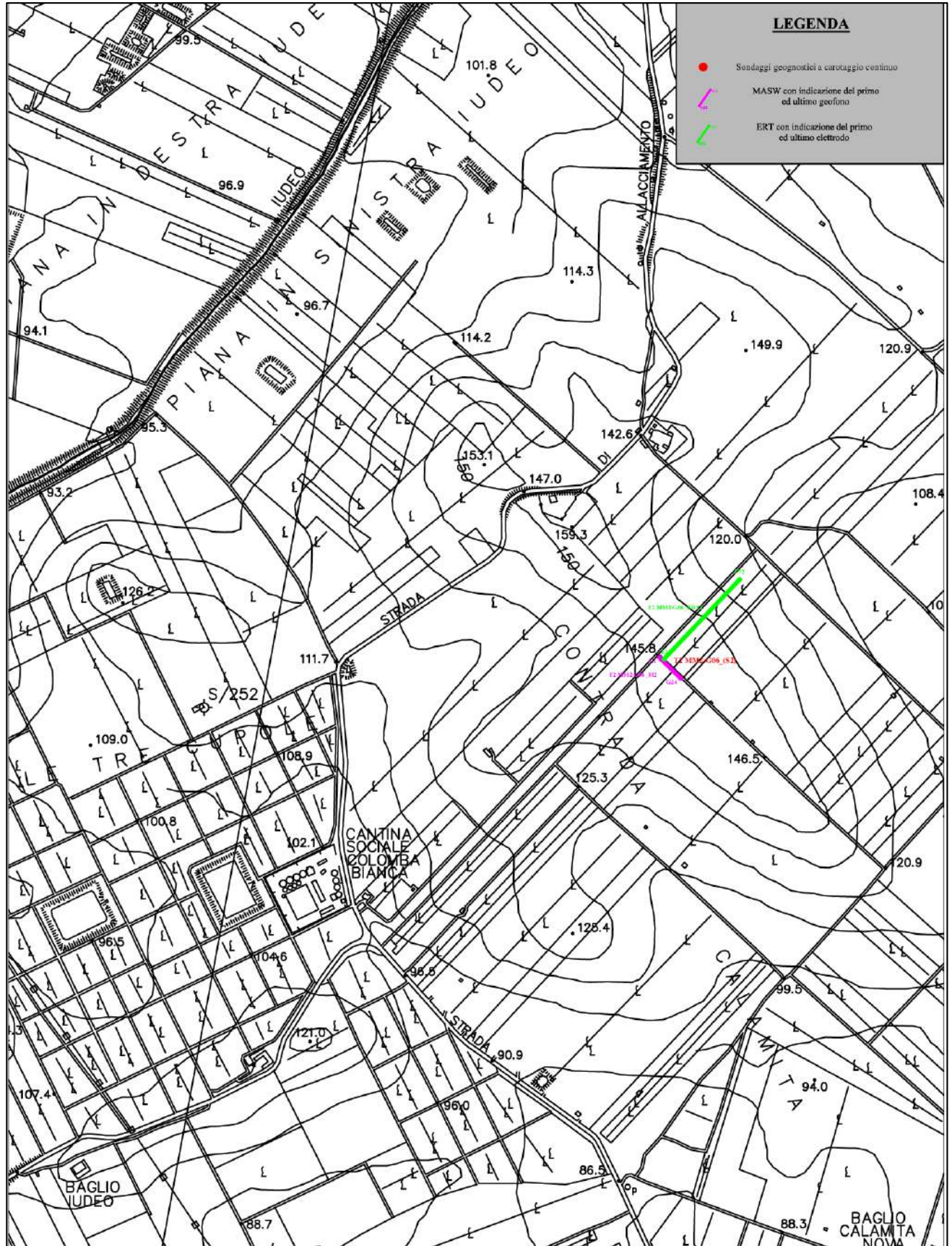
## SITO N° 1: T2 MM3-G14

### STRALCIO CTR 617080



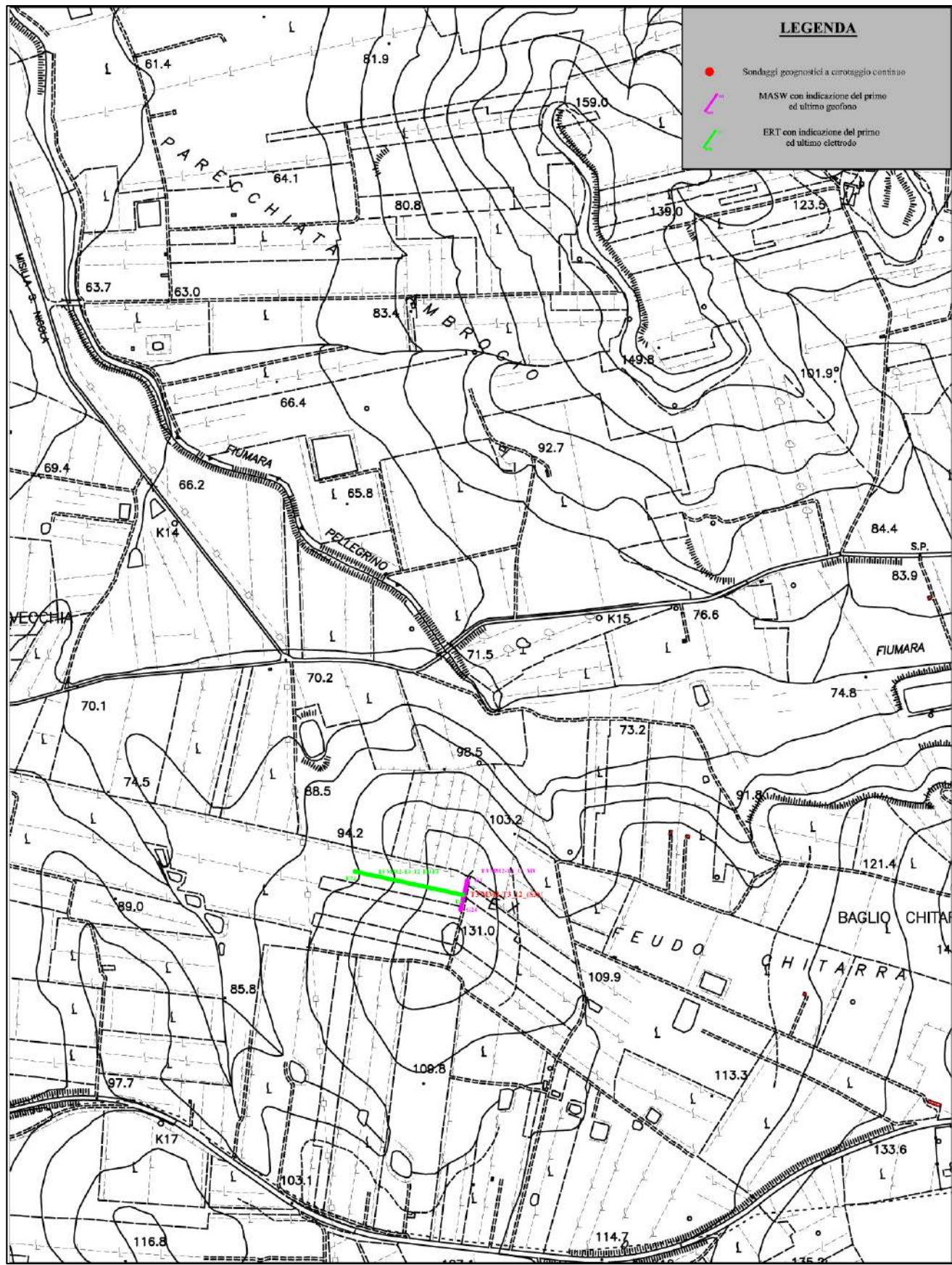
## SITO N° 2: T2 MM2-G06

### STRALCIO CTR 617040



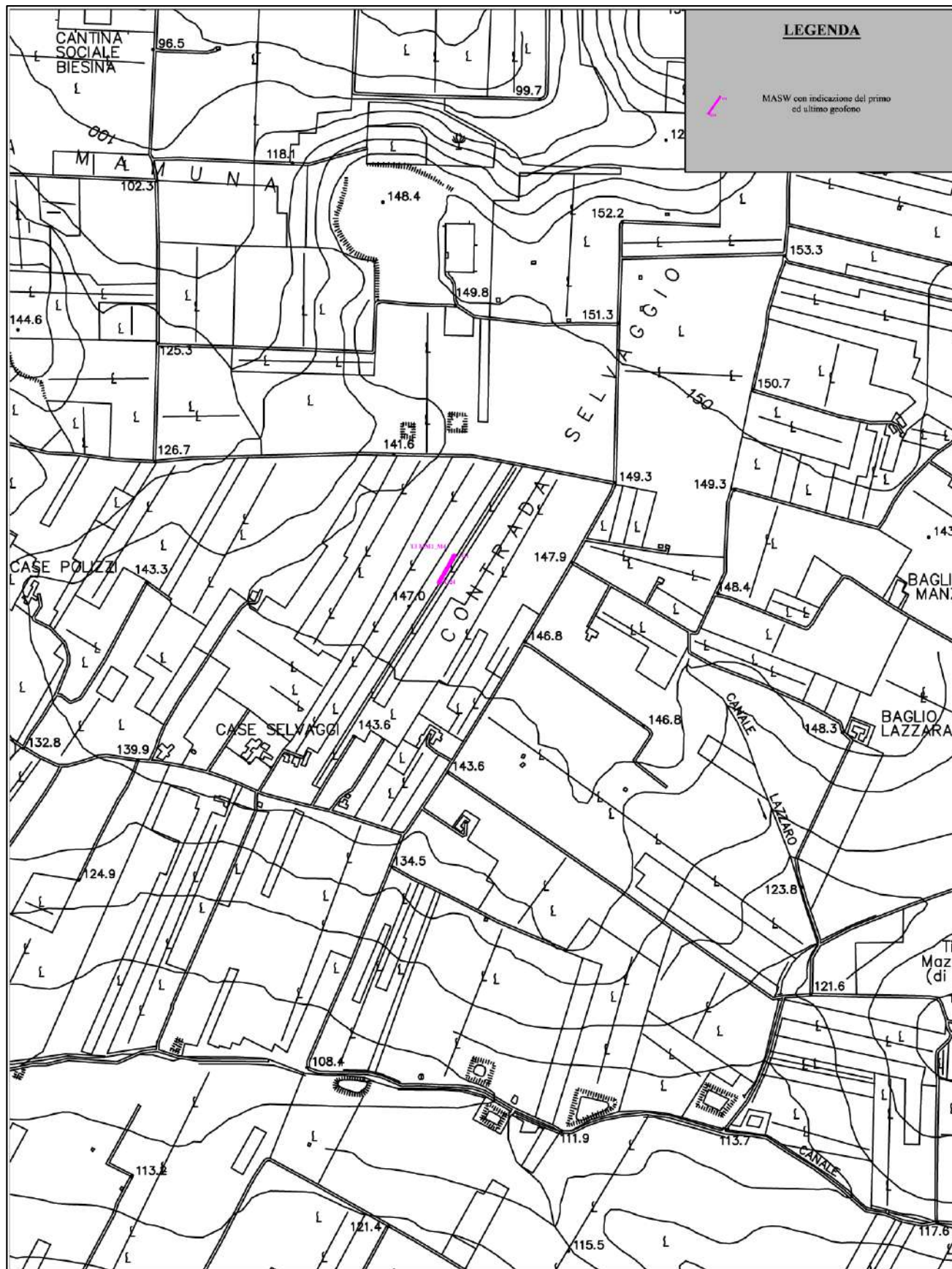
# SITO N° 3: T3 MM2-T3 12

## STRALCIO CTR 605160

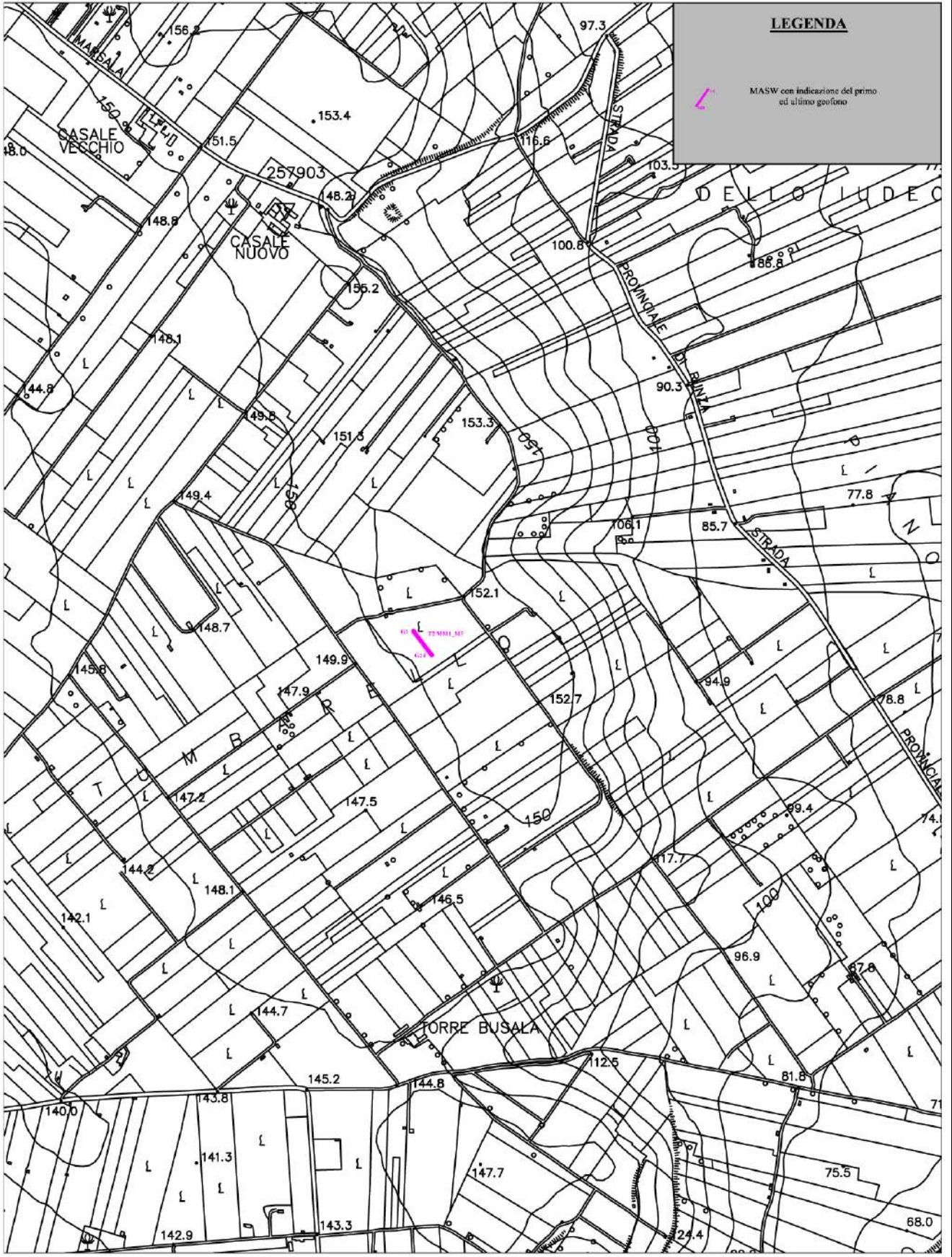


# SITO N° 4: T3 MM1

## STRALCIO CTR 617040



## SITO N° 5: T2 MM1 STRALCIO CTR 617080





Engineering & Construction



GRE CODE

**GRE.EEC.R.25.IT.W.13824.49.001.00**

PAGE

59 di/of 96

**ALLEGATO 02**  
***STRATIGRAFIE SONDAGGI GEOGNOSTICI***  
***E DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA***

## STRATIGRAFIA - T2 MM3 - G14 (S1)

SCALA 1 : 150      Pagina 1/1

Riferimento: ENEL GREEN POWER SpA - Accordo Quadro 8400151333 (TP EOLICO)										Sondaggio: T2 MM3 - G14 (S1)					
Località: Mazara del Vallo										Quota: 152,601 m s.l.m.m,					
Impresa esecutrice: SONGEO SRL										Data: 28-29/10/2020					
Coordinate: Lat. 37°43'49.9062" N Long. 12°39'33.5388" E										Redattore: Dott. Geol. Salvatore Alloro					
Perforazione: Trivella SOILTEK S16 - Perforazione a carotaggio continuo															
Ø mm	R v	A r	S	Pz	metri bat.	LITOLOGIA	Campioni	RP	VT	Prel. % 0 --- 100	S.P.T. S.P.T.	N	RQD % 0 --- 100	prof. m	DESCRIZIONE
101					1									0,6	Terreno vegetale di colore bruno-rossastro, costituito da una matrice sabbiosa debolmente limosa. Nella parte superficiale si nota la presenza di elementi litici spigolosi eterometrici di natura carbonatica-calcarenitica.
					2						50/2cm		Rif	2,0	
					3						3-9-9	18			Calcarenite bioclastica di colore bianco-giallastro. Presenta delle porzioni vacuolari e si notano dei livelli calcilutitici. Le porzioni decementate sono state disgregate durante le operazioni di carotaggio.
					4										
					5		1) ind < 5,00								
					6						5-8-10	18			Limo sabbioso di colore nocciola. Si presenta mediamente plastico e mediamente consistente.
					7										
					8						7-11-12	23			
					9										
					10						9-13-18	31		9,5	Argilla debolmente limosa di colore grigio-azzurro (a tratti presenta una colorazione più scura). Si presentano con una struttura omogenea, mediamente plastiche e mediamente consistenti.
					11						7-17-29	46			
					12										
					13						20-32-35	67			
					14						33-41-43	84			
					15		2) ind < 15,00								
					16										
					17										
					18						8-20-33	53			
					19										
					20										
					21						18-30-36	66			
					22										
					23										
					24						20-35-42	77			
					25										
					26										
					27						16-38-48	86			
					28										
					29										
					30						18-41-50/3cm	Rif		30,0	

N. 06 Casette catalogatrici. N. 02 prelievi di campioni indisturbati. N. 13 SPT eseguite in foro.

## SONDAGGIO T2 MM3-G14 (S1)



**Postazione Sondaggio**



**Cassetta Catalogatrice n. 1  
Profondità da 00.00 a 5.00 m**





**Cassetta Catalogatrice n. 2**  
**Profondità da 5.00 a 10.00 m**



**Cassetta Catalogatrice n. 3**  
**Profondità da 10.00 a 15.00 m**



**Cassetta Catalogatrice n. 4**  
**Profondità da 15.00 a 20.00 m**



**Cassetta Catalogatrice n. 5**  
**Profondità da 20.00 a 25.00 m**



**Cassetta Catalogatrice n. 6  
Profondità da 25.00 a 30.00 m**

## STRATIGRAFIA - T2 MM2 - G06 (S2)

SCALA 1 : 150      Pagina 1/1

Riferimento: ENEL GREEN POWER SpA - Accordo Quadro 8400151333 (TP EOLICO)										Sondaggio: T2 MM2 - G06 (S2)				
Località: Mazara del Vallo										Quota: 145.758 m s.l.m.m.				
Impresa esecutrice: SONGEO SRL										Data: 30/10-02/11/2020				
Coordinate: Lat. 37°46'19.7676" N Long. 12°39'33.2723" E										Redattore: Dott. Geol. Salvatore Alloro				
Perforazione: Trivella SOILTEK S16 - Perforazione a carotaggio continuo														
Prof. m	R m	A r	Pz	metri bat.	LITOLOGIA	Campioni	RP	VT	Prel. % 0-100	S.P.T. S.P.T.	N	ROD % 0-100	prof. m	DESCRIZIONE
101				1			4						0.3	Terreno superficiale costituito da limo sabbioso di colore beige.
				2			4			5-10-16	26			Limo sabbioso debolmente argilloso di colore nocciola. Si presenta mediamente plastico e mediamente consistente.
				3			4.5			9-11-13	24			
				4			4						4.2	
				5			3							
				6			4			5-15-21	36			Argilla debolmente limosa di colore grigio-azzurro (a tratti presenta una colorazione più scura). Si presentano con una struttura omogenea, mediamente plastiche e mediamente consistenti.
				7			4			7-18-26	44			
				8			3.5							
				9		1) Ind < 8.50 / 9.00	4.5			9-22-32	54			
				10			4			9-18-32	50			
				11			4.5			12-25-36	61			
				12			>5						11.8	Sabbia eterometrica debolmente limosa di colore giallastro.
				13			3.5			12-14-14	28		12.3	Sabbia argillosa debolmente limosa di colore grigio-azzurro. Si presenta scarsamente plastica e scarsamente consistente.
				14			1.5						13.0	
				15			3.5			13-26-50/8cm	Rif			Argilla debolmente limosa di colore grigio-azzurro (a tratti presenta una colorazione più scura). Si presentano con una struttura omogenea, mediamente plastiche e mediamente consistenti.
				16			>5							
				17			>5							
				18		2) Ind < 18.00 / 18.50	>5							
				19			>5			13-30-48	76			
				20			4.5							
				21			4			5-18-40	58			
				22			2.5							
				23			2							
				24			3			19-35-26	61			
				25			>5							
				26			4							
				27			4.5			14-35-50/10cm	Rif			
				28			2							
				29			4.5							
				30			4			17-38-50/6cm	Rif		30.0	

N. 06 Casette catalogatrici. N. 02 prelievi di campioni indisturbati. N. 14 SPT eseguite in foro.

## **SONDAGGIO T2 MM2-G06 (S2)**



**Postazione Sondaggio**



**Cassetta Catalogatrice n. 1  
Profondità da 00.00 a 5.00 m**



**Cassetta Catalogatrice n. 2**  
**Profondità da 5.00 a 10.00 m**



**Cassetta Catalogatrice n. 3**  
**Profondità da 10.00 a 15.00 m**



**Cassetta Catalogatrice n. 4**  
**Profondità da 15.00 a 20.00 m**



**Cassetta Catalogatrice n. 5**  
**Profondità da 20.00 a 25.00 m**



**Cassetta Catalogatrice n. 6**  
**Profondità da 25.00 a 30.00 m**



## STRATIGRAFIA - T3 MM2 - T3 12 (S3)

SCALA 1 : 150 Pagina 1/1

Riferimento: ENEL GREEN POWER SpA - Accordo Quadro 8400151333 (TP EOLICO)										Sondaggio: T3 MM2 - T3_12 (S3)				
Località: Mazara del Vallo										Quota: 124,536 m s.l.m.,				
Impresa esecutrice: SONGEO SRL										Data: 3-4/11/2020				
Coordinate: Lat. 37°48'19.7455" N Long. 12°37'40.8032" E										Redattore: Dott. Geol. Salvatore Alloro				
Perforazione: Trivella SOILTEK S16 - Perforazione a carotaggio continuo														
Prof. m	R	A	Pz	metri ben.	LITOLOGIA	Campioni	RP	VT	Prel. % 0 -- 100	S.P.T. S.P.T.	N	RQD % 0 -- 100	prof. m	DESCRIZIONE
101				1			2					0,3		Terreno superficiale costituito da limo sabbioso di colore beige.
				2			4							
				2			4,5			6-9-11	20	1,5		Limo sabbioso debolmente argilloso di colore nocciola. Si nota la presenza di noduli calcarei biancastri.
				3			2							
				3			4,5			7-9-10	19			Limo sabbioso di colore nocciola. Si presenta mediamente plastico e mediamente consistente.
				4			4,5							
				4			3,5							
				4			3,5							
				5			4			6-13-17	30			
				5			3,5							
				5			1,5						5,6	
				6			>5			8-14-20	34			Argilla debolmente limosa di colore grigio-azzurro (a tratti presenta una colorazione più scura). Si presentano con una struttura omogenea, mediamente plastiche e mediamente consistenti.
				6			>5							
				7			>5							
				7			>5							
				8			>5							
				8			1) Ind < 7,50 9,00			13-25-25	50			
				8			2,5							
				8			>5							
				9			>5							
				9			4							
				10			4,5			13-25-28	53			
				10			4,5							
				11			>5							
				11			>5			14-24-29	53			
				11			>5							
				12			4,5							
				12			>5							
				12			>5							
				13			>5							
				13			2) Ind < 13,00 13,00							
				13			>5			15-29-49	78			
				13			>5							
				14			1							
				14			4,5							
				15			>5			17-50/4cm	Rif			
				15			>5							
				16			4,5							
				16			4,5							
				17			>5							
				17			>5							
				18			1,5			20-50/8cm	Rif			
				18			>5							
				19			>5							
				19			2,5							
				19			4,5			15-25-35	60			
				19			>5							
				20			>5							
				20			>5							
				21			>5							
				21			0,5							
				22			4,5							
				22			1							
				23			>5							
				23			>5							
				24			>5							
				24			4,5			16-31-41	72			
				24			4,5							
				25			4,5							
				25			>5							
				26			4,5							
				26			>5							
				27			>5			27-39-50/10cm	Rif			
				27			>5							
				28			>5							
				28			4,5							
				29			1,5							
				29			3							
				30			4,5						30,0	

N. 06 Casette catalogatrici. N. 02 prelievi di campioni indisturbati. N. 13 SPT eseguite in foro.

**SONDAGGIO T3 MM2-T3 13 (S3)**



**Postazione Sondaggio**



**Cassetta Catalogatrice n. 1  
Profondità da 00.00 a 5.00 m**



**Cassetta Catalogatrice n. 2**  
**Profondità da 5.00 a 10.00 m**



**Cassetta Catalogatrice n. 3**  
**Profondità da 10.00 a 15.00 m**



**Cassetta Catalogatrice n. 4**  
**Profondità da 15.00 a 20.00 m**



**Cassetta Catalogatrice n. 5**  
**Profondità da 20.00 a 25.00 m**



**Cassetta Catalogatrice n. 6**  
**Profondità da 25.00 a 30.00 m**



Engineering & Construction



GRE CODE

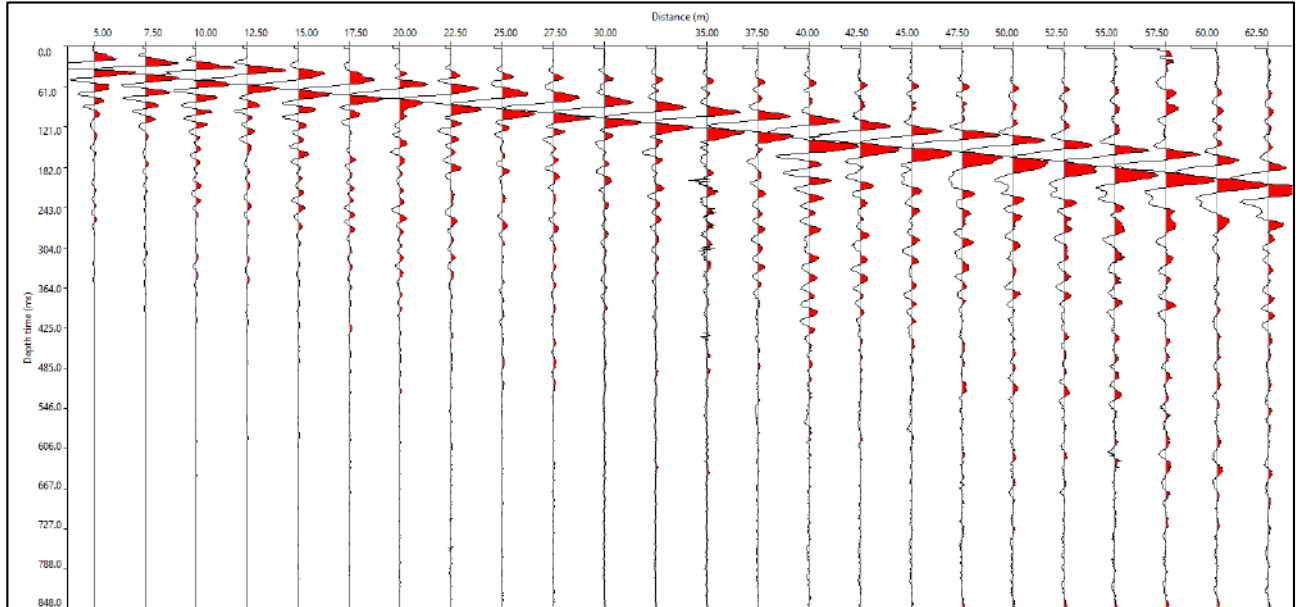
**GRE.EEC.R.25.IT.W.13824.49.001.00**

PAGE

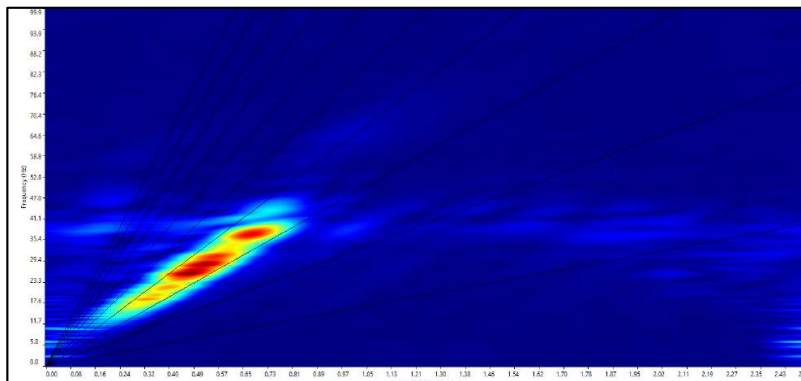
75 di/of 96

**ALLEGATO 03**  
***RISULTATI INDAGINI GEOFISICHE***  
***E DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA***

## MASW T2 MM3-G14 M1



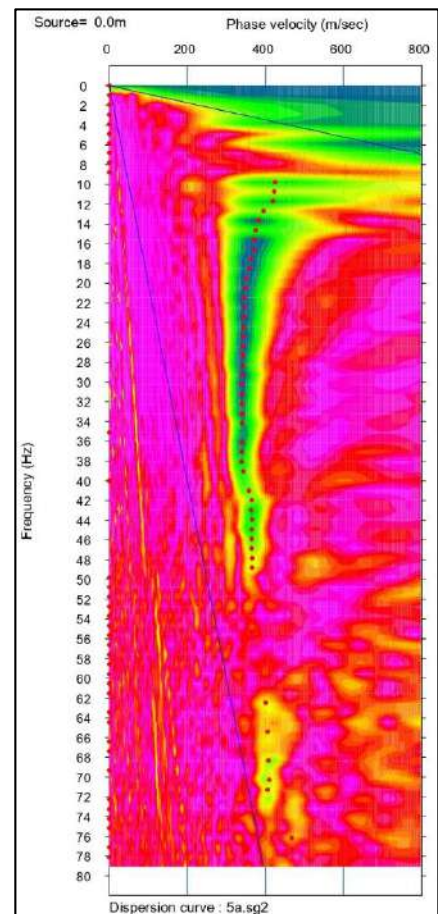
Tracce sismiche prova MASW (scoppio 5 m andata)



Analisi dominio f-k



Confronto tra curva di dispersione teorica (curva nera) con la curva sperimentale (curva rossa a pallini)



Densità spettrale normalizzata nel piano Velocità di fase apparente/frequenza





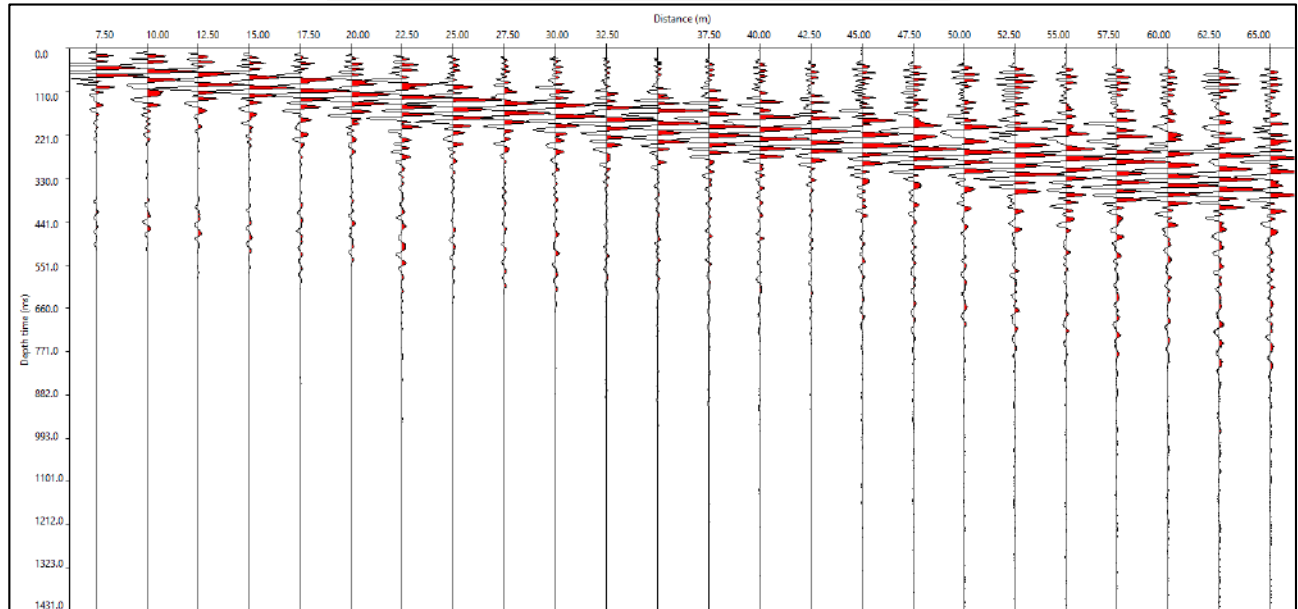


*Scoppio in andata*

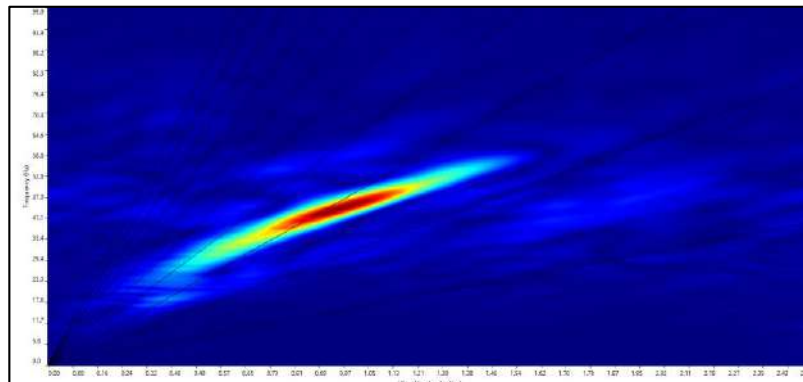


*Fine stendimento*

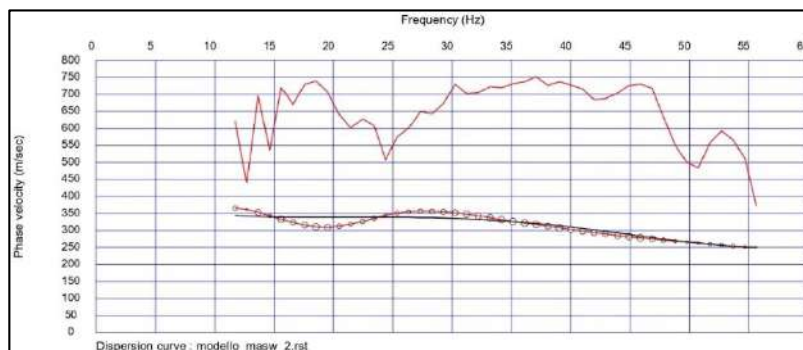
## MASW T2 MM2-G06 M2



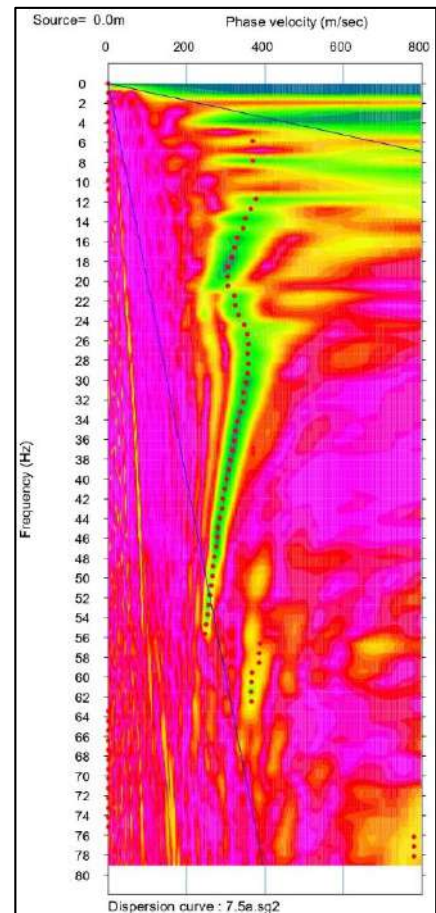
Tracce sismiche prova MASW (scoppio 7.5 m andata)



Analisi dominio f-k



Confronto tra curva di dispersione teorica (curva nera) con la curva sperimentale (curva rossa a pallini)

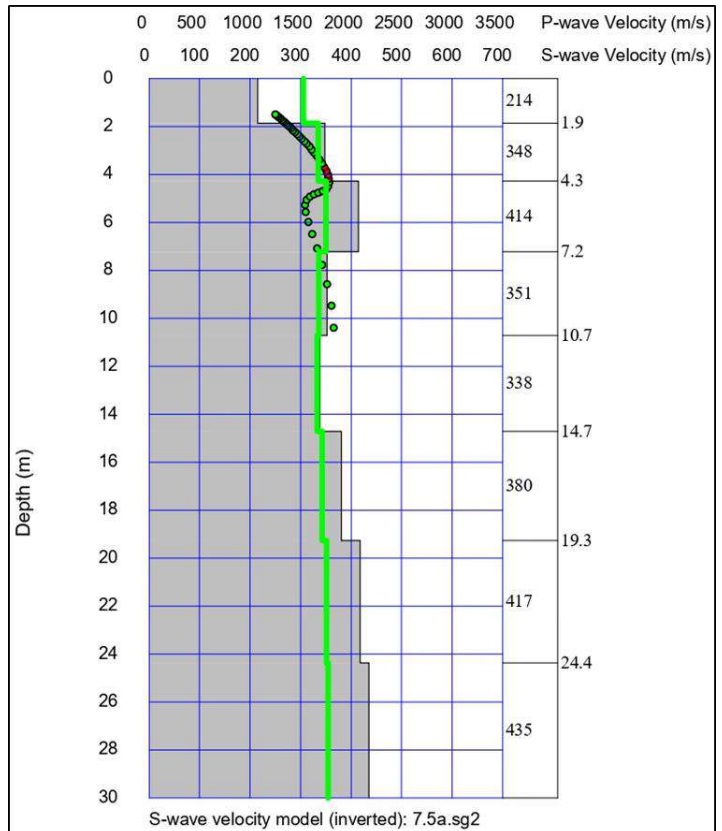


Densità spettrale normalizzata nel piano Velocità di fase apparente/frequenza

**Risultati:** La velocità di fase risulta dispersa nel piano velocità (m/s) - frequenza (Hz) in un intervallo di frequenza compreso tra 11.6 Hz e 55.2 Hz. La corrispondente velocità di fase apparente è compresa, rispettivamente, tra 358.4 m/s e 250.5 m/s. La curva di dispersione, estratta nel campo di frequenza analizzato, mostra avere, nel suo complesso, un andamento normale dispersivo.

La curva di dispersione teorica calcolata attraverso l'inversione del modello di velocità ha uno scarto pari RMSE = 12.54 m/s con la curva di dispersione sperimentale.

Il substrato sismico ( $V_s > 800$  m/s) non si rinviene ad una profondità di - 30.00 m dal p.c., quindi, secondo le NTC 2018, il calcolo della  $V_{Seq}$  è pari a quello eseguito per le  $V_{S30}$ .



Modello di velocità del sottosuolo (in verde  $V_p$  calcolate)

Sismostrato	Profondità (m)	Spessore30 (h - (m))	$V_s$ (m/s)	$h/V_s$ (sec)	$V_{S30}$
1	0,00	1,90	214,96	0,0088	367,46
2	1,90	2,40	348,52	0,0069	
3	4,30	2,90	414,50	0,0070	
4	7,20	3,50	351,97	0,0099	
5	10,70	4,00	338,17	0,0118	
6	14,70	4,60	380,88	0,0121	
7	19,30	5,10	417,96	0,0122	
8	24,40	5,60	435,20	0,0129	
		<b>Suolo tipo A</b>	$V_{S30} > 800$ m/s		
		<b>Suolo tipo B</b>	$360$ m/s < $V_{S30}$ < $800$ m/s		
		<b>Suolo tipo C</b>	$180$ m/s < $V_{S30}$ < $360$ m/s		
		<b>Suolo tipo D</b>	$V_{S30} < 180$ m/s		
		<b>Suolo tipo E</b>	$V_s < 360$ m/s spess. max 20 m giacenti su di un substrato $V_s > 800$ m/sec		

Calcolo categoria sottosuolo (DM 17/01/2018)

Tabella Moduli elasto-dinamici								
	1° sismostrato	2° sismostrato	3° sismostrato	4° sismostrato	5° sismostrato	6° sismostrato	7° sismostrato	8° sismostrato
VP (m/s)	1.528,61	1.676,85	1.750,10	1.680,68	1.665,37	1.712,77	1.753,93	1.773,07
VS (m/s)	214,96	348,52	414,50	351,97	338,17	380,88	417,96	435,20
$\gamma$ (g/cm <sup>3</sup> )	2,05	2,09	2,11	2,09	2,09	2,10	2,11	2,11
$\sigma$	0,49	0,48	0,47	0,48	0,48	0,47	0,47	0,47
E (Kg/cm <sup>2</sup> )	2.883,86	7.650,62	10.857,12	7.804,32	7.198,79	9.152,82	11.040,80	11.979,19
K (Kg/cm <sup>2</sup> )	47.649,33	56.484,64	60.897,32	56.714,64	55.795,89	58.644,82	61.128,58	62.286,59
G (Kg/cm <sup>2</sup> )	967,80	2.589,17	3.692,18	2.641,83	2.434,50	3.104,78	3.755,64	4.080,26
M (Kg/cm <sup>2</sup> )	48.939,72	59.936,87	65.820,23	60.237,08	59.041,89	62.784,53	66.136,10	67.726,93
IS (t/m <sup>2</sup> *sec.)	441,51	728,54	873,53	736,07	705,98	799,39	881,19	919,43
t	1,25	1,09	0,91	0,98	1,06	1,05	1,02	0,00
$\xi$	-0,25	-0,09	0,09	0,02	-0,06	-0,05	-0,02	1,00

Calcolo dei moduli elasto-dinamici

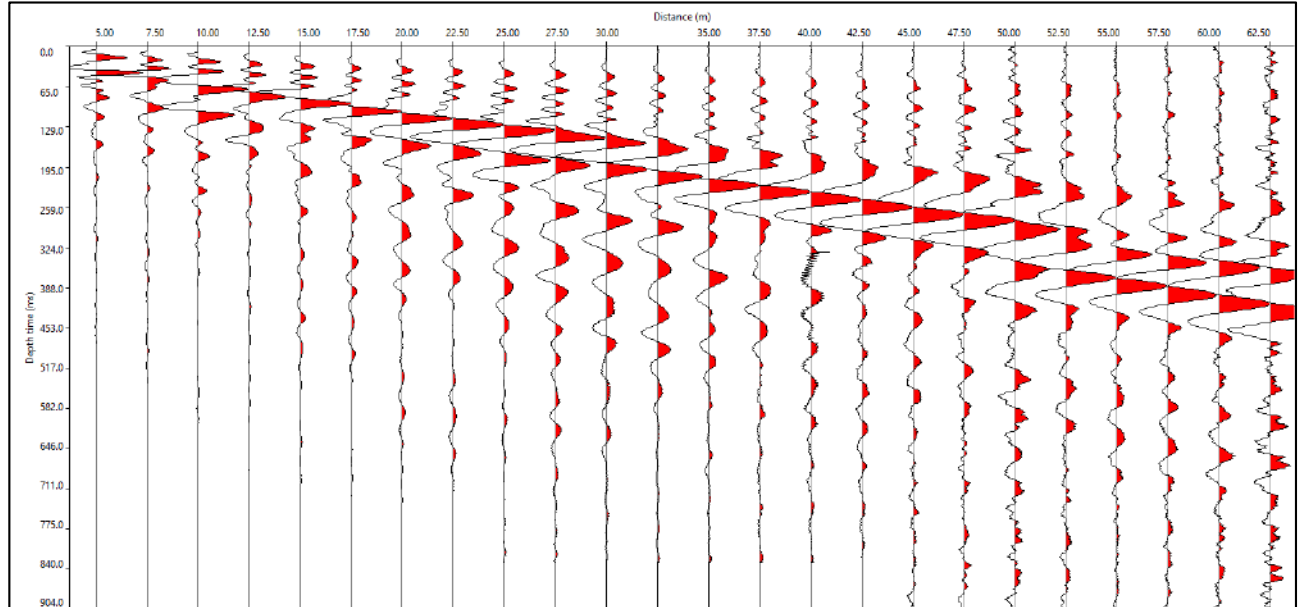


*Scoppio in andata*

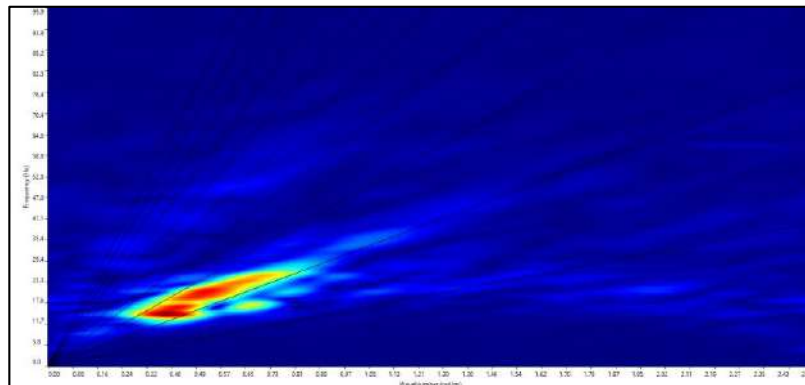


*Fine stendimento*

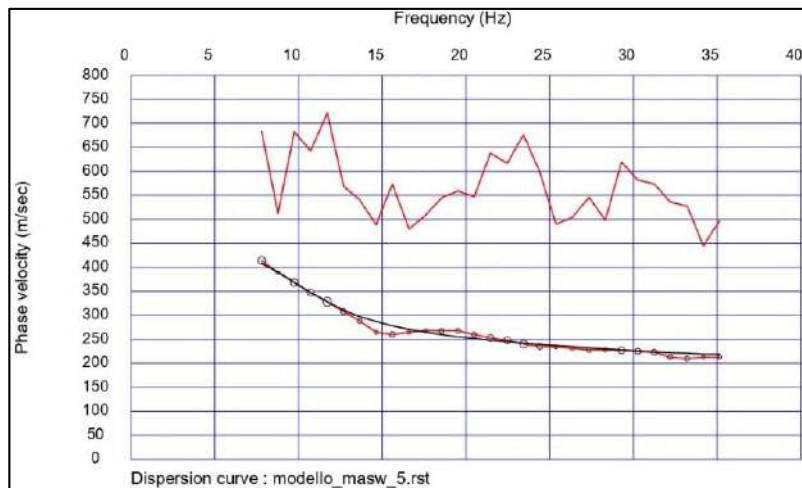
## MASW T3 MM2-T3 12 M3



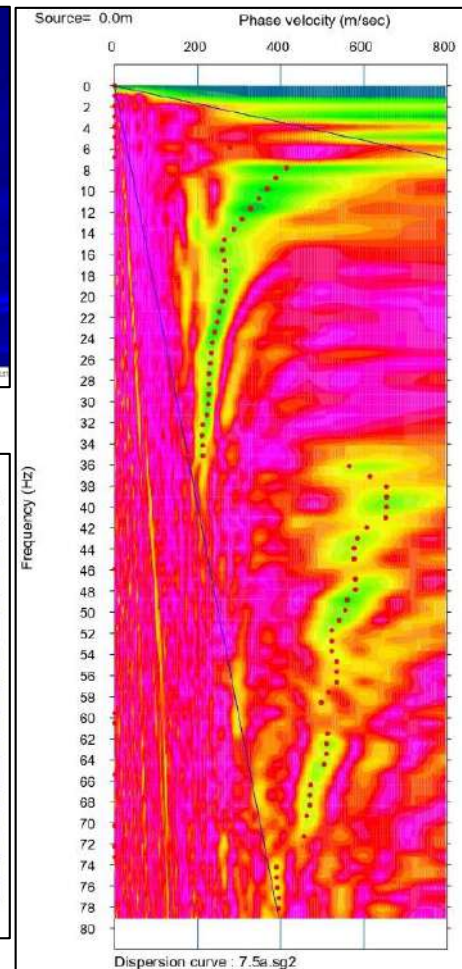
Tracce sismiche prova MASW (scoppio 5 m andata)



Analisi dominio f-k



Confronto tra curva di dispersione teorica (curva nera) con la curva sperimentale (curva rossa a pallini)

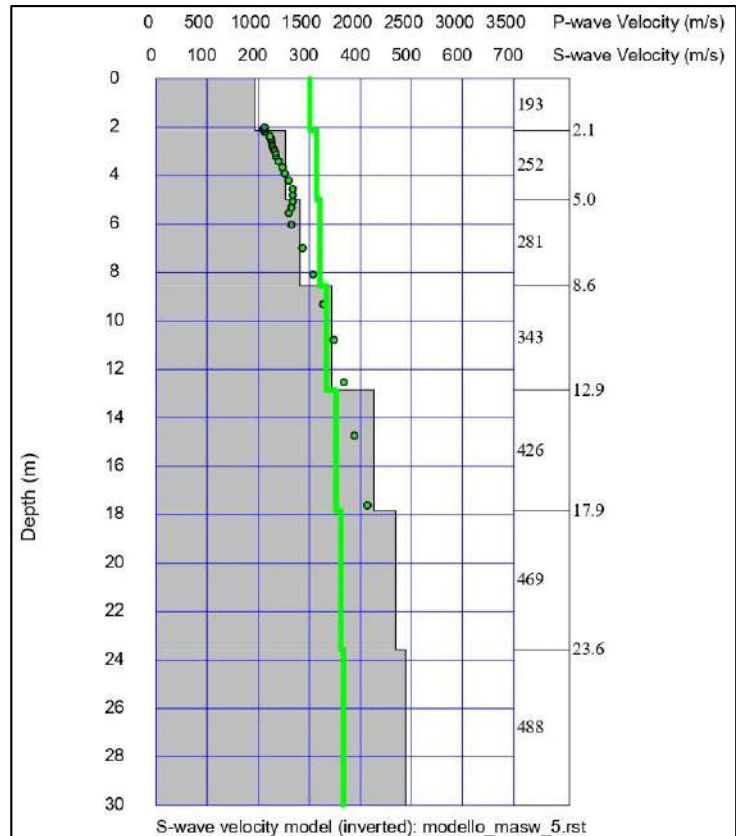


Densità spettrale normalizzata nel piano Velocità di fase apparente/frequenza

**Risultati:** La velocità di fase risulta dispersa nel piano velocità (m/s) - frequenza (Hz) in un intervallo di frequenza compreso tra 7.7 Hz e 35.4 Hz. La corrispondente velocità di fase apparente è compresa, rispettivamente, tra 415.2 m/s e 225.4 m/s. La curva di dispersione, estratta nel campo di frequenza analizzato, mostra avere, nel suo complesso, un andamento normale dispersivo.

La curva di dispersione teorica calcolata attraverso l'inversione del modello di velocità ha uno scarto pari  $RMSE = 7.42$  m/s con la curva di dispersione sperimentale.

Il substrato sismico ( $V_s > 800$  m/s) non si rinviene ad una profondità di -30.00 m dal p.c., quindi, secondo le NTC 2018, il calcolo della  $V_{s30}$  è pari a quello eseguito per le  $V_{s30}$ .



Modello di velocità del sottosuolo (in verde  $V_p$  calcolate)

Sismostrato	Profondità (m)	Spessore30 (h - (m))	$V_s$ (m/s)	$h/V_s$ (sec)	$V_{s30}$
1	0,00	2,10	193,58	0,0108	354,75
2	2,10	2,90	252,99	0,0115	
3	5,00	3,60	281,42	0,0128	
4	8,60	4,30	343,94	0,0125	
5	12,90	5,00	426,93	0,0117	
6	17,90	5,70	469,13	0,0122	
7	23,60	6,40	488,53	0,0131	
		<b>Suolo tipo A</b>	$V_{s30} > 800$ m/s		
		<b>Suolo tipo B</b>	$360$ m/s < $V_{s30}$ < $800$ m/s		
		<b>Suolo tipo C</b>	$180$ m/s < $V_{s30}$ < $360$ m/s		
		<b>Suolo tipo D</b>	$V_{s30} < 180$ m/s		
		<b>Suolo tipo E</b>	$V_s < 360$ m/s spess. max 20 m giacenti su di un substrato $V_s > 800$ m/sec		

Calcolo categoria sottosuolo (DM 17/01/2018)

Tabella Moduli elasto-dinamici							
	1° sismostrato	2° sismostrato	3° sismostrato	4° sismostrato	5° sismostrato	6° sismostrato	7° sismostrato
<b>VP (m/s)</b>	1.504,88	1.570,81	1.602,37	1.671,77	1.763,89	1.810,73	1.832,86
<b>VS (m/s)</b>	193,58	252,99	281,42	343,94	426,93	469,13	488,53
<b><math>\gamma</math> (g/cm<sup>3</sup>)</b>	2,05	2,06	2,07	2,09	2,11	2,12	2,13
<b><math>\sigma</math></b>	0,49	0,49	0,48	0,48	0,47	0,46	0,46
<b>E (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	2.334,41	4.006,55	4.967,71	7.448,97	11.524,25	13.938,25	15.126,39
<b>K (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	46.247,89	50.150,61	52.028,77	56.179,77	61.730,98	64.570,15	65.930,38
<b>G (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	782,52	1.347,48	1.673,66	2.520,12	3.922,79	4.760,26	5.174,03
<b>M (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	47.291,25	51.947,25	54.260,31	59.539,93	66.961,36	70.917,16	72.829,09
<b>IS (t/m<sup>2</sup>*sec.)</b>	396,42	522,32	583,22	718,55	901,07	995,07	1.038,62
<b>t</b>	1,14	1,06	1,10	1,11	1,05	1,02	0,00
<b><math>\xi</math></b>	-0,14	-0,06	-0,10	-0,11	-0,05	-0,02	1,00

Calcolo dei moduli elasto-dinamici

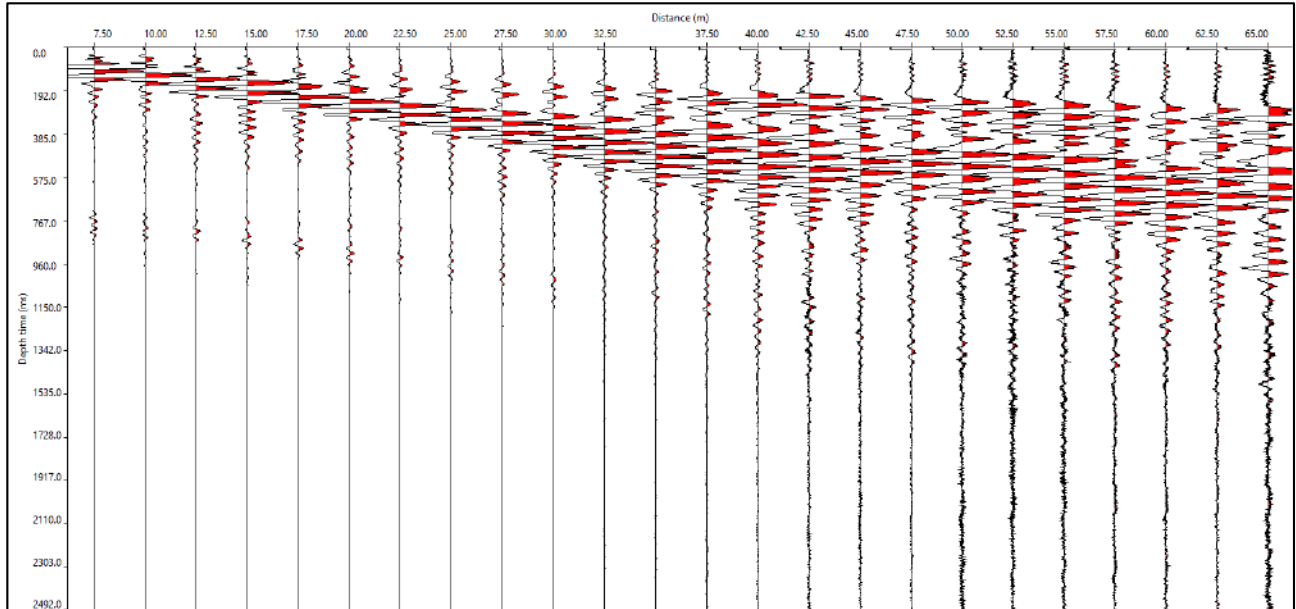


*Scoppio in andata*

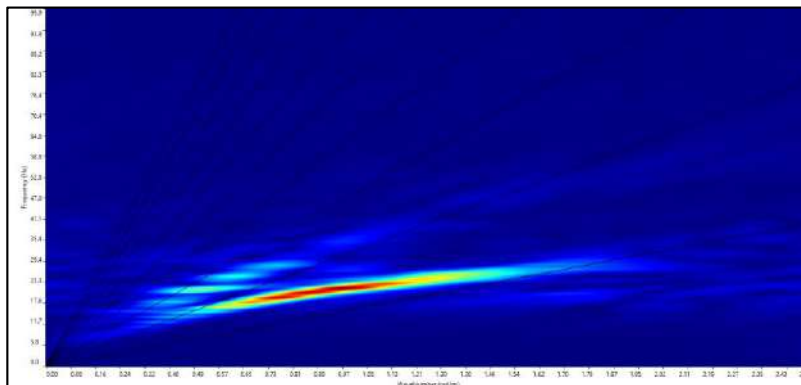


*Fine stendimento*

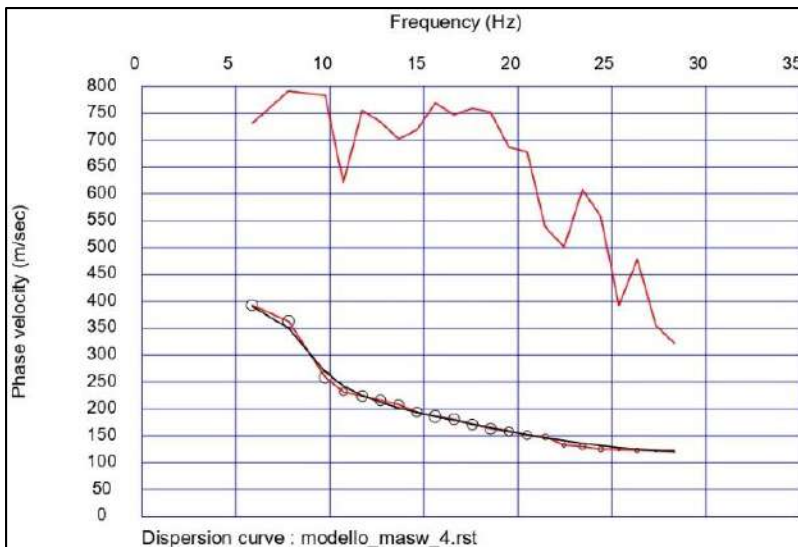
## MASW T3 MM1 M4



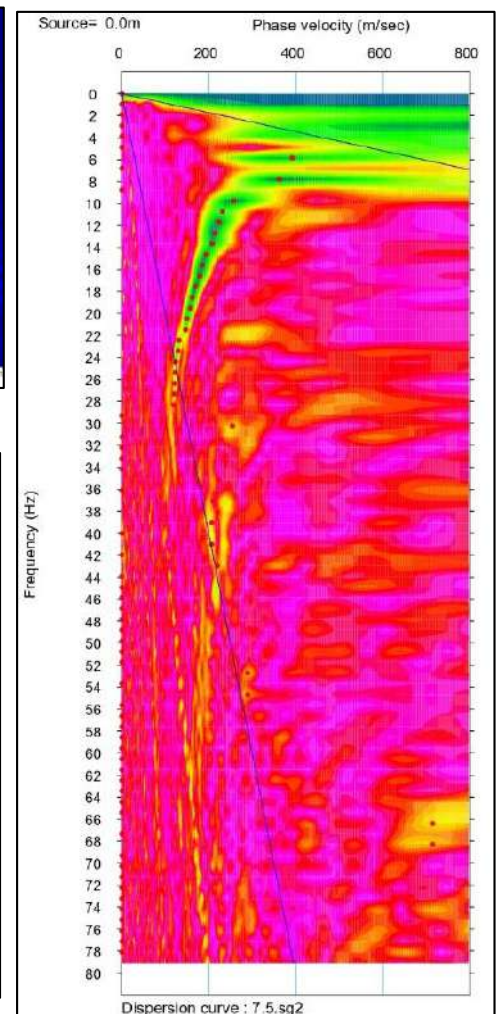
Tracce sismiche prova MASW (scoppio 7.5 m andata)



Analisi dominio f-k



Confronto tra curva di dispersione teorica (curva nera) con la curva sperimentale (curva rossa a pallini)



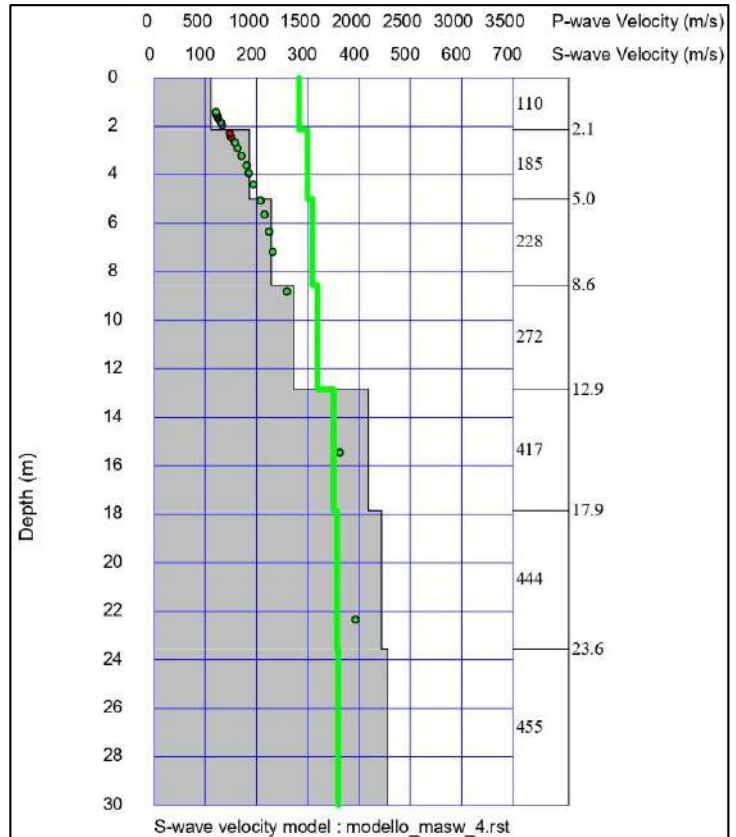
Densità spettrale normalizzata nel piano Velocità di fase apparente/frequenza



**Risultati:** La velocità di fase risulta dispersa nel piano velocità (m/s) - frequenza (Hz) in un intervallo di frequenza compreso tra 6.1 Hz e 28.3 Hz. La corrispondente velocità di fase apparente è compresa, rispettivamente, tra 396.2 m/s e 122.8 m/s. La curva di dispersione, estratta nel campo di frequenza analizzato, mostra avere, nel suo complesso, un andamento normale dispersivo.

La curva di dispersione teorica calcolata attraverso l'inversione del modello di velocità ha uno scarto pari  $RMSE = 5.29$  m/s con la curva di dispersione sperimentale.

Il substrato sismico ( $V_s > 800$  m/s) non si rinviene ad una profondità di - 30.00 m dal p.c., quindi, secondo le NTC 2018, il calcolo della  $V_{Seq}$  è pari a quello eseguito per le  $V_{S30}$ .



Modello di velocità del sottosuolo (in verde  $V_p$  calcolate)

Sismostrato	Profondità (m)	Spessore30 (h - (m))	$V_s$ (m/s)	$h/V_s$ (sec)	$V_{s30}$
1	0,00	2,10	110,29	0,0190	<b>285,51</b>
2	2,10	2,90	185,36	0,0156	
3	5,00	3,60	228,15	0,0158	
4	8,60	4,30	272,95	0,0158	
5	12,90	5,00	417,36	0,0120	
6	17,90	5,70	444,03	0,0128	
7	23,60	6,40	455,89	0,0140	
		<b>Suolo tipo A</b>	$V_{s30} > 800$ m/s		
		<b>Suolo tipo B</b>	$360$ m/s < $V_{s30}$ < $800$ m/s		
		<b>Suolo tipo C</b>	$180$ m/s < $V_{s30}$ < $360$ m/s		
		<b>Suolo tipo D</b>	$V_{s30} < 180$ m/s		
		<b>Suolo tipo E</b>	$V_s < 360$ m/s spess. max 20 m giacenti su di un substrato $V_s > 800$ m/sec		

Calcolo categoria sottosuolo (DM 17/01/2018)

Tabella Moduli elasto-dinamici							
	1° sismostrato	2° sismostrato	3° sismostrato	4° sismostrato	5° sismostrato	6° sismostrato	7° sismostrato
<b>VP (m/s)</b>	1.412,42	1.495,75	1.543,25	1.592,98	1.753,27	1.782,87	1.796,04
<b>VS (m/s)</b>	110,29	185,36	228,15	272,95	417,36	444,03	455,89
<b><math>\gamma</math> (g/cm<sup>3</sup>)</b>	2,02	2,05	2,06	2,07	2,11	2,11	2,12
<b><math>\sigma</math></b>	0,50	0,49	0,49	0,48	0,47	0,47	0,47
<b>E (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	751,36	2.138,77	3.252,15	4.670,44	11.008,84	12.474,70	13.156,11
<b>K (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	40.825,11	45.709,65	48.515,81	51.469,49	61.088,82	62.880,14	63.678,72
<b>G (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	250,97	716,65	1.092,18	1.572,67	3.744,59	4.251,96	4.488,40
<b>M (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	41.159,73	46.665,18	49.972,05	53.566,38	66.081,61	68.549,42	69.663,26
<b>IS (t/m<sup>2</sup>*sec.)</b>	223,15	379,15	469,45	565,03	879,86	939,06	965,50
<b>t</b>	1,26	1,11	1,09	1,22	1,03	1,01	0,00
<b><math>\xi</math></b>	-0,26	-0,11	-0,09	-0,22	-0,03	-0,01	1,00

Calcolo dei moduli elasto-dinamici

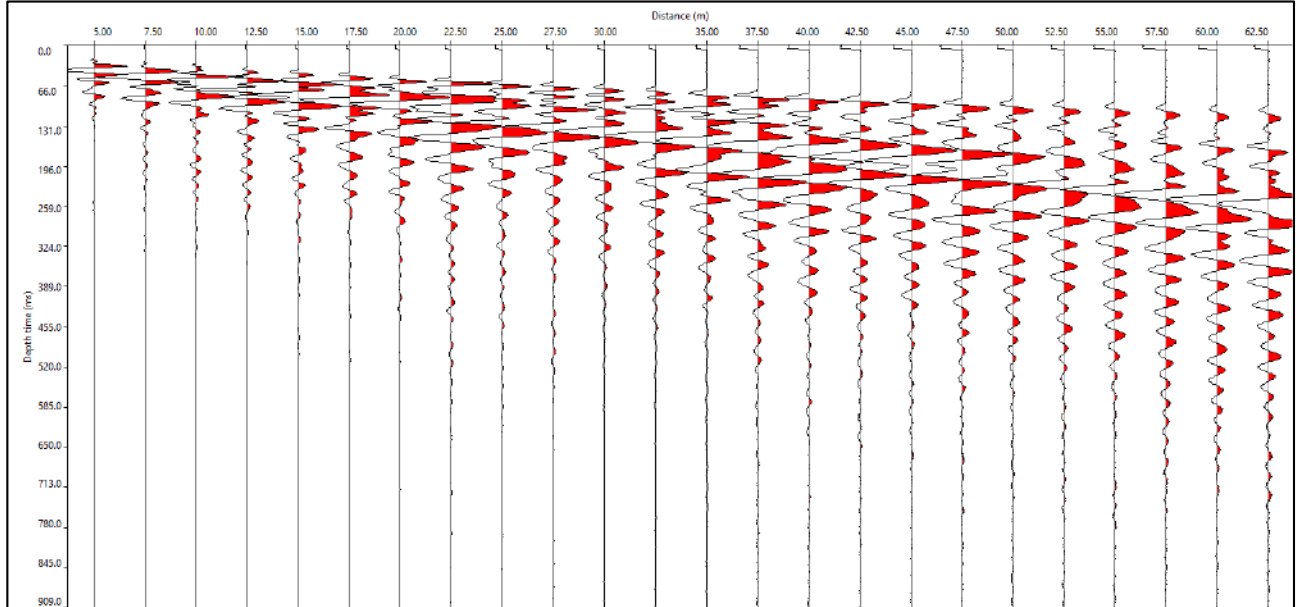


*Scoppio in andata*

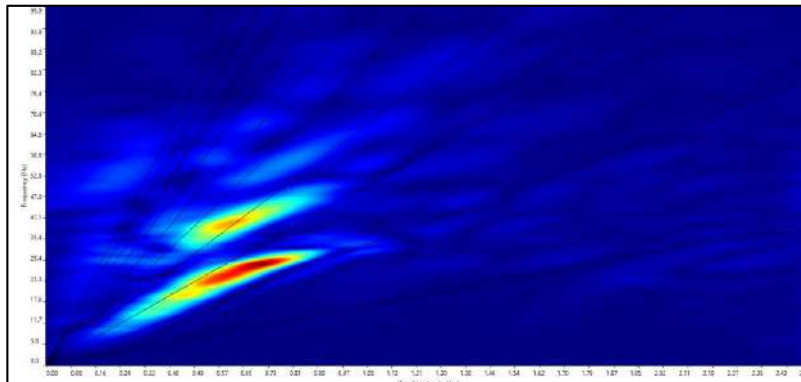


*Fine stendimento*

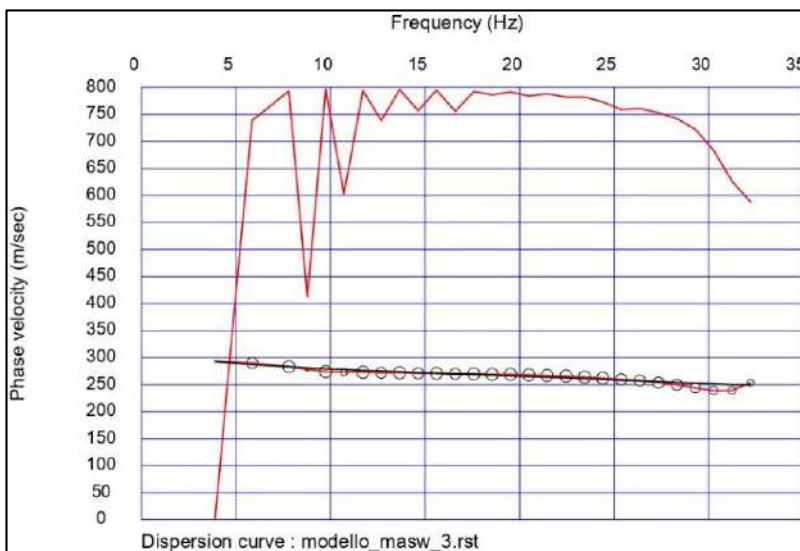
## MASW T2 MM1 M5



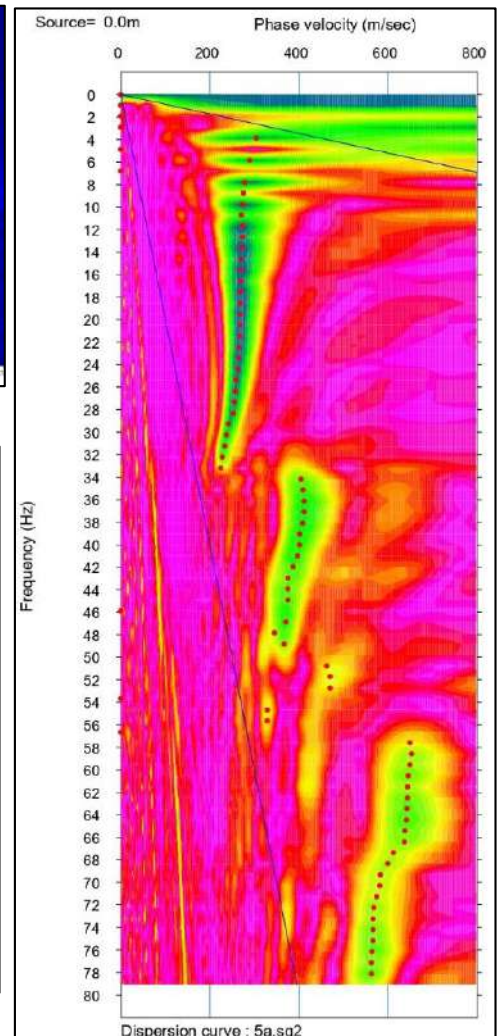
Tracce sismiche prova MASW (scoppio 5 m andata)



Analisi dominio f-k



Confronto tra curva di dispersione teorica (curva nera) con la curva sperimentale (curva rossa a pallini)

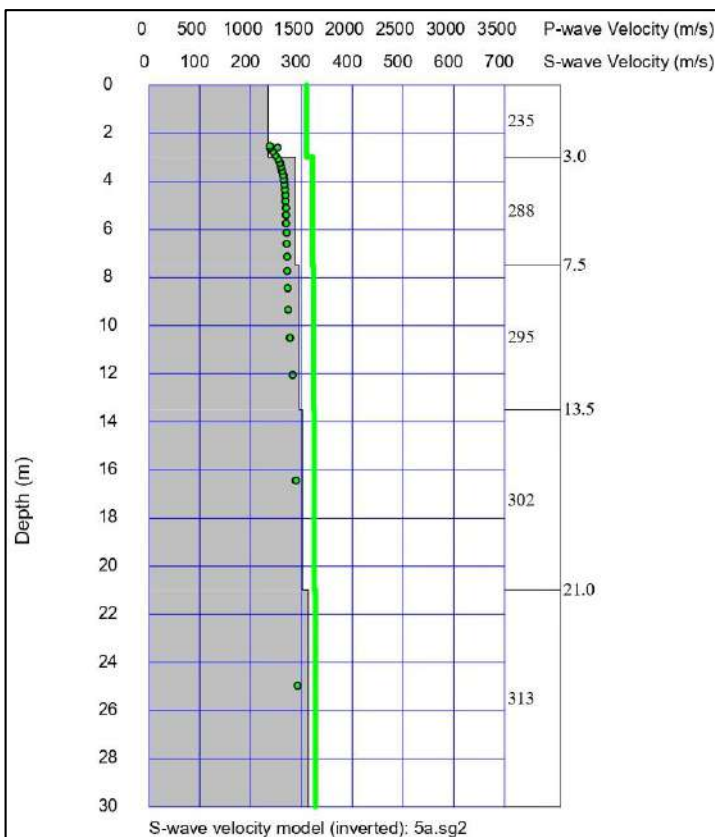


Densità spettrale normalizzata nel piano Velocità di fase apparente/frequenza

**Risultati:** La velocità di fase risulta dispersa nel piano velocità (m/s) - frequenza (Hz) in un intervallo di frequenza compreso tra 4.1 Hz e 32.2 Hz. La corrispondente velocità di fase apparente è compresa, rispettivamente, tra 295.4 m/s e 250.8 m/s. La curva di dispersione, estratta nel campo di frequenza analizzato, mostra avere, nel suo complesso, un andamento normale dispersivo.

La curva di dispersione teorica calcolata attraverso l'inversione del modello di velocità ha uno scarto pari RMSE = 4.52 m/s con la curva di dispersione sperimentale.

Il substrato sismico ( $V_s > 800$  m/s) non si rinviene ad una profondità di - 30.00 m dal p.c., quindi, secondo le NTC 2018, il calcolo della  $V_{S30}$  è pari a quello eseguito per le  $V_{S30}$ .



Modello di velocità del sottosuolo (in verde  $V_p$  calcolate)

Sismostrato	Profondità (m)	Spessore $_{30}$ (h - (m))	$V_s$ (m/s)	$h/V_s$ (sec)	$V_{s30}$
1	0,00	3,00	235,12	0,0128	<b>293,39</b>
2	3,00	4,50	288,01	0,0156	
3	7,50	6,00	295,50	0,0203	
4	13,50	7,50	302,06	0,0248	
5	21,00	9,00	313,21	0,0287	
		<b>Suolo tipo A</b>	$V_{s30} > 800$ m/s		
		<b>Suolo tipo B</b>	$360$ m/s $< V_{s30} < 800$ m/s		
		<b>Suolo tipo C</b>	$180$ m/s $< V_{s30} < 360$ m/s		
		<b>Suolo tipo D</b>	$V_{s30} < 180$ m/s		
		<b>Suolo tipo E</b>	$V_s < 360$ m/s spess. max 20 m giacenti su di un substrato $V_s > 800$ m/sec		

Calcolo categoria sottosuolo (DM 17/01/2018)

Tabella Moduli elasto-dinamici					
	1° sismostrato	2° sismostrato	3° sismostrato	4° sismostrato	5° sismostrato
<b>VP (m/s)</b>	1.550,98	1.609,69	1.618,00	1.625,29	1.637,66
<b>VS (m/s)</b>	235,12	288,01	295,50	302,06	313,21
$\gamma$ (g/cm <sup>3</sup> )	2,06	2,07	2,08	2,08	2,08
$\sigma$	0,49	0,48	0,48	0,48	0,48
<b>E (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	3.455,80	5.205,41	5.482,39	5.730,94	6.166,17
<b>K (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	48.973,81	52.465,32	52.961,18	53.396,68	54.136,07
<b>G (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	1.161,04	1.754,48	1.848,73	1.933,37	2.081,74
<b>M (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	50.521,85	54.804,63	55.426,14	55.974,51	56.911,72
<b>IS (t/m<sup>2</sup>*sec.)</b>	484,26	597,39	613,53	627,68	651,79
<b>t</b>	1,10	1,01	1,01	1,02	0,00
<b><math>\xi</math></b>	-0,10	-0,01	-0,01	-0,02	1,00

Calcolo dei moduli elasto-dinamici



*Scoppio in andata*

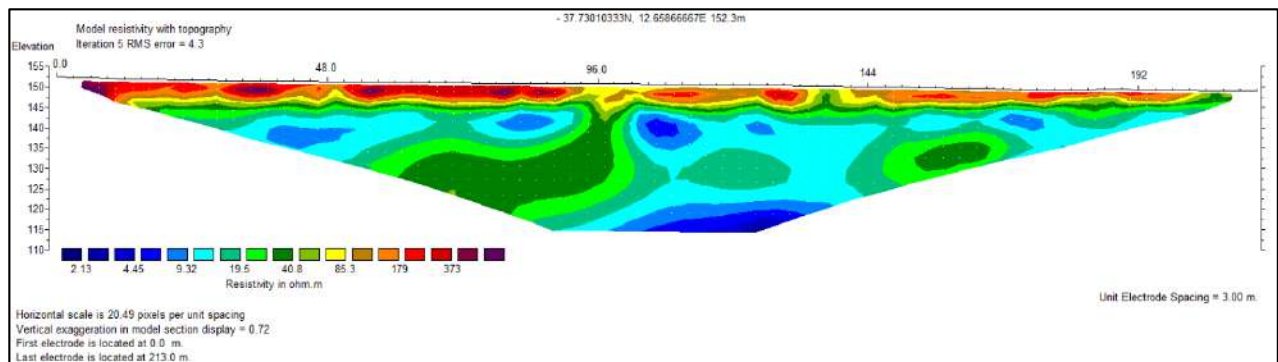


*Fine stendimento*

## ***T2 MM3-G14 ERT1***

**ERT 1** → Nr. Elettrodi 72. Spaziatura tra gli elettrodi 3.00 m. Profondità di investigazione raggiunta circa 37.00 m. Risoluzione 1.50 m. Non sono state riscontrate particolari problematiche logistiche e di posizionamento elettrodo. In riferimento alla resistenza di contatto, si è registrata una resistenza < 1Kohm in tutti gli elettrodi.

### ***Wenner α***



**Risultati:** La struttura elettrica del sottosuolo investigato può essere ricondotta ad un modello di terreno costituito da “*terreni conduttivi*” aventi valori di resistività minori di 10 ohm\*m riconducibili, probabilmente, ai depositi argillosi caratterizzanti il substrato dell’area di indagine, interrotto da sparsi “*nuclei relativamente più resistivi*” attribuibili ai depositi più limoso-sabbiosi.

Si nota, infine, che i terreni di copertura, presentano un comportamento elettrico “*medio-alto resistivo*” più o meno continuo, presentando un range di resistività rientrante nel campo dei calcari e delle ghiaie (100-5000 ohm\*m).

#### **ROCCE – MINERALI – METALLI**

<b>Rocce sedimentarie</b>	<b>Resistività (ohm*m)</b>
Calcare	100 – 5000
Argilla	1 – 100
Ghiaia	100 – 5000
Sabbia	100 – 10 <sup>3</sup>
Arenaria	100 - 10 <sup>4</sup>
Marna	1 - 100
Quarzite	5000 – 10 <sup>5</sup>
<b>Rocce ignee e metamorfiche</b>	
Basalto	10 – 10 <sup>5</sup>
Granito	100 - 10 <sup>5</sup>
Marmo	100 – 10 <sup>6</sup>
Scisto	10 – 10 <sup>4</sup>
Gabbro	10 <sup>3</sup> – 10 <sup>6</sup>
Ardesia	100 – 10 <sup>6</sup>
<b>Minerali e metalli</b>	
Pirite	0.0001 - 10
Argento	10 <sup>-7</sup>
Grafite	0,001 - 1
Quarzo	10 <sup>5</sup>
Salgemma	10 – 10 <sup>9</sup>
Bauxite	200 - 6000
Galena	0,01 - 200
<b>Acque</b>	
Di mare	< 0.2
Pura	100 – 10 <sup>3</sup>
Naturale	1 - 100
Con 20% di sale (NaCl)	0.001

*Valori della resistività per alcune rocce, minerali e metalli.*



*Inizio stendimento*

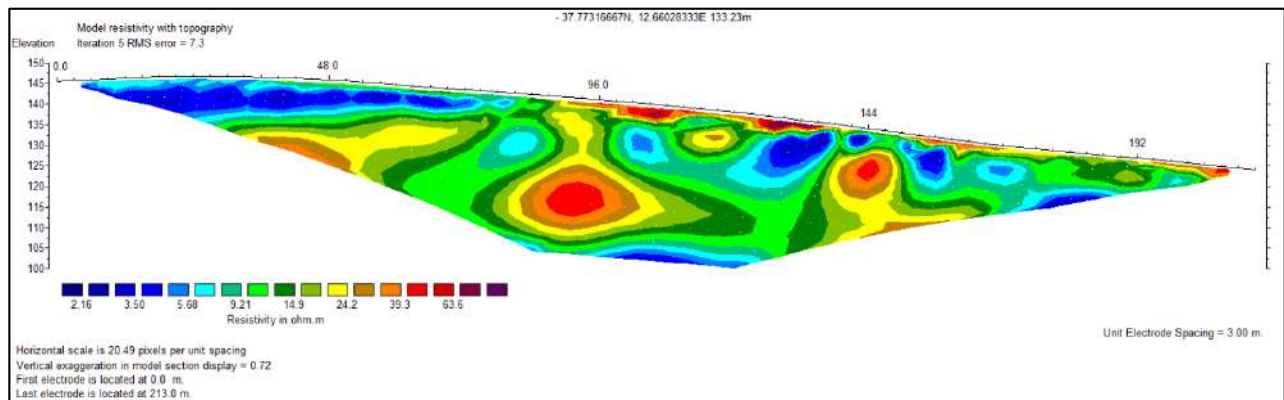


*Fine stendimento*

## T2 MM2-G06 ERT2

**ERT 2** → Nr. Elettrodi 72. Spaziatura tra gli elettrodi 3.00 m. Profondità di investigazione raggiunta circa 40.00 m. Risoluzione 1.50 m. Non sono state riscontrate particolari problematiche logistiche e di posizionamento elettrodico. In riferimento alla resistenza di contatto, si è registrata una resistenza < 1Kohm in tutti gli elettrodi.

### Wenner a



**Risultati:** La struttura elettrica del sottosuolo investigato può essere ricondotta ad un modello di terreno costituito da “*terreni conduttivi*” aventi valori di resistività minori di 10 ohm\*m (in prevalenza) riconducibili, probabilmente, ai depositi argillosi caratterizzanti il substrato dell’area di indagine, interrotto da sparsi “*nuclei relativamente più resistivi*” attribuibili ai depositi più limoso-sabbiosi.

Si nota, infine, che i terreni di copertura presentano un comportamento elettrico “*conduttivo*” nella parte iniziale e “*medio-alto resistivo*”, più o meno continuo, a partire dai 90 m fino alla fine dello stendimento.

### ROCCE – MINERALI – METALLI

Rocce sedimentarie	Resistività (ohm*m)
Calcare	100 – 5000
Argilla	1 – 100
Ghiaia	100 – 5000
Sabbia	100 – 10 <sup>3</sup>
Arenaria	100 - 10 <sup>4</sup>
Marna	1 - 100
Quarzite	5000 – 10 <sup>5</sup>
Rocce ignee e metamorfiche	
Basalto	10 – 10 <sup>5</sup>
Granito	100 - 10 <sup>5</sup>
Marmo	100 – 10 <sup>6</sup>
Scisto	10 – 10 <sup>4</sup>
Gabbro	10 <sup>3</sup> – 10 <sup>6</sup>
Ardesia	100 – 10 <sup>9</sup>
Minerali e metalli	
Pirite	0,0001 - 10
Argento	10 <sup>-7</sup>
Grafite	0,001 - 1
Quarzo	10 <sup>5</sup>
Salgenma	10 – 10 <sup>9</sup>
Bauxite	200 - 6000
Galena	0,01 - 200
Acque	
Di mare	< 0,2
Pura	100 – 10 <sup>3</sup>
Naturale	1 - 100
Con 20% di sale (NaCl)	0,001

*Valori della resistività per alcune rocce, minerali e metalli.*





*Inizio stendimento*

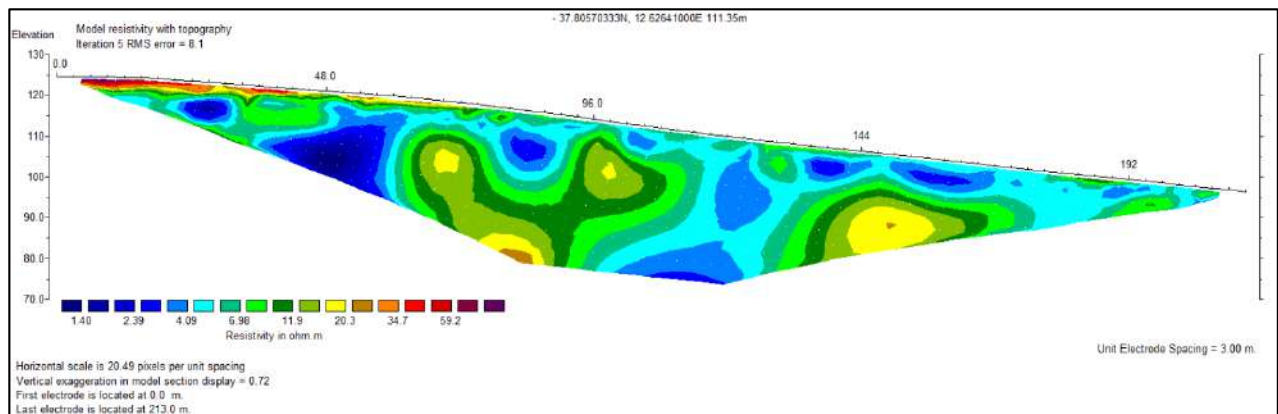


*Parte mediana dello stendimento*

## T3 MM2-T3 12 ERT3

**ERT 3** → Nr. Elettrodi 72. Spaziatura tra gli elettrodi 3.00 m. Profondità di investigazione raggiunta circa 35.00 m. Risoluzione 1.50 m. Non sono state riscontrate particolari problematiche logistiche e di posizionamento elettrodo. In riferimento alla resistenza di contatto, si è registrata una resistenza < 1Kohm in tutti gli elettrodi.

### Wenner $\alpha$



**Risultati:** La struttura elettrica del sottosuolo investigato può essere ricondotta ad un modello di terreno costituito da “*terreni conduttivi*” aventi valori di resistività minori di 5 ohm\*m (in prevalenza) riconducibili, probabilmente, ai depositi argillosi caratterizzanti il substrato dell’area di indagine, interrotto da sparsi “*nuclei relativamente più resistivi*” attribuibili ai depositi più limoso-sabbiosi.

Si nota, infine, che i terreni di copertura presentano un comportamento elettrico relativamente “*medio-basso resistivo*” nella parte finale e “*medio-alto resistivo*”, più o meno continuo, all’inizio dello stendimento.

ROCCE – MINERALI - METALLI	
Rocce sedimentarie	Resistività (ohm*m)
Calcare	100 – 5000
Argilla	1 – 100
Ghiaia	100 – 5000
Sabbia	100 – 10 <sup>3</sup>
Arenaria	100 - 10 <sup>4</sup>
Marna	1 - 100
Quarzite	5000 – 10 <sup>5</sup>
Rocce ignee e metamorfiche	
Basalto	10 – 10 <sup>5</sup>
Granito	100 - 10 <sup>5</sup>
Marmo	100 – 10 <sup>6</sup>
Scisto	10 – 10 <sup>4</sup>
Gabbro	10 <sup>3</sup> – 10 <sup>6</sup>
Ardesia	100 – 10 <sup>6</sup>
Minerali e metalli	
Pirite	0,0001 - 10
Argento	10 <sup>-7</sup>
Grafite	0,001 - 1
Quarzo	10 <sup>5</sup>
Salgemma	10 – 10 <sup>9</sup>
Bauxite	200 - 6000
Galena	0,01 - 200
Acque	
Di mare	< 0,2
Pura	100 – 10 <sup>3</sup>
Naturale	1 - 100
Con 20% di sale (NaCl)	0,001

*Valori della resistività per alcune rocce, minerali e metalli.*



*Inizio stendimento*



*Fine stendimento*