

PROPONENTE  
**ESE GALIELLO S.R.L.**  
Via Lavaredo, 44/52  
30174 Venezia



#### PROGETTAZIONE E COORDINAMENTO

**LAAP ARCHITECTS®**  
urban quality consultants

LAAP ARCHITECTS Srl  
via Francesco Laurana 28  
90143 - Palermo - Italia  
t 091.7834427 - fax 091.7834427  
laap.it - info@laap.it

Numero di commessa laap: 365

Architetto e Dottore Agrotecnico Antonino Palazzolo



CONSULENTE  
Dott. Geologo Salvatore Lo Verme



N° COMMESSA

**1561**

IMPIANTO AGRIVOLTAICO GALIELLO  
POTENZA FOTOVOLTAICA 53,8 MW IN DC (POTENZA IN IMMISSIONE 50 MW) + 20 MW SISTEMA DI ACCUMULO  
CITTA' METROPOLITANA DI PALERMO  
IMPIANTO COMUNE DI MONREALE  
OPERE DI CONNESSIONE ALLA RTN COMUNI DI MONREALE, PIANA DEGLI ALBANESI,  
SANTA CRISTINA GELA E BELMONTE MEZZAGNO

PROGETTO DEFINITIVO

ELABORATO

RELAZIONE GEOTECNICA E SISMICA

CODICE ELABORATO

**PD.07**

NOME FILE: 365\_CARTIGLIO\_r00.dwg

REV.	DATA	DESCRIZIONE REVISIONE	REDATTO	VERIFICA	APPROVAZIONE
00	30/04/2024	PRIMA EMISSIONE	Dott. Geol. Salvatore Lo Verme	Arch. Sandro Di Gangi	Arch. e Agr. Antonino Palazzolo

## INDICE

<b>1. PREMESSA.....</b>	<b>3</b>
<b>2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....</b>	<b>5</b>
<b>3. GEOLOGIA .....</b>	<b>6</b>
3.1. Inquadramento Geologico Regionale.....	6
3.2. Tettonica.....	7
3.3. Faglie Capaci (ITHACA) .....	9
<b>4. DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITA' DI BASE E DEGLI EVENTI DI RIFERIMENTO .....</b>	<b>13</b>
<b>5. SISMICITA' STORICA DELLA SICILIA NORD OCCIDENTALE .....</b>	<b>15</b>
5.1. TERREMOTI STORICI.....	17
<b>6. SISMICITA' STORICA DELLA SICILIA NORD OCCIDENTALE DAL 1000 AL 2020.....</b>	<b>21</b>
<b>7. PERICOLOSITA' SISMICA DEL SITO .....</b>	<b>23</b>
<b>8. AMPLIFICAZIONE DELL'AZIONE SISMICA ED EFFETTI COSISMICI.....</b>	<b>29</b>
8.1. Liquefazione.....	31
8.2. Esclusione della verifica a liquefazione.....	31
8.3. Stima della pericolosità sismica locale.....	32
<b>9. SISMICITA' DEL SITO E CARATTERISTICHE DEL SUOLO DI FONDAZIONE .....</b>	<b>35</b>
<b>10. INDAGINI SISMICHE MASW .....</b>	<b>36</b>
10.1. Generalità delle indagini sismiche (MASW) .....	36
10.2. Piani di riferimento per le opere di fondazione .....	38
10.3. Interpretazione delle acquisizioni.....	39
10.4. Indagine sismica MASW 1.....	42
10.5. Indagine sismica MASW 2.....	45
10.6. Indagine sismica MASW 3.....	49
10.7. Indagine sismica MASW 4.....	53
10.8. Indagine sismica MASW 5.....	57
10.9. Indagine sismica MASW 6.....	61
<b>11. GEOTECNICA .....</b>	<b>65</b>
11.1. Report indagini penetrometriche .....	68
<b>12. PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE .....</b>	<b>70</b>
<b>13. DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA PROVE PENETROMETRICHE .....</b>	<b>92</b>
<b>14. CONCLUSIONI .....</b>	<b>96</b>

## 1. PREMESSA

La società LAAP Architects Srl è stata incaricata di redigere il progetto definitivo dell'impianto agrivoltaico denominato "Galiello" di potenza fotovoltaica **53,8 MW** in DC (potenza in immissione **50 MW**) e integrato da un sistema di accumulo da **20 MW**, ubicato nei Comuni di Monreale (PA), Piana degli Albanesi (PA), Santa Cristina Gela (PA) e Belmonte Mezzagno (PA) e proposto dalla società ESE Galiello S.r.l. con sede legale in Venezia via Lavaredo 44/52 CAP 30174, d'ora in avanti chiamato **Proponente**.

Nello specifico si propone la realizzazione di:

1. **Un impianto agrivoltaico** su di un'area di circa 101,9 ettari sito nel territorio comunale di Monreale (PA), costituito da due tipologie di strutture ovvero: tracker ad inseguimento monoassiale, composti da 30 o 15 moduli fotovoltaici da **640 Wp** disposti su una singola fila di altezza minima 2,10 m per l'attività colturale e stringhe a telaio fisso, di altezza minima 1,30 m per l'attività zootecnica, composti da 26 moduli fotovoltaici da **595 Wp** disposti su due file.

L'impianto agrivoltaico sarà suddiviso in **13 sottocampi**, così nominati:

- **Area impianto "Castellana"** ulteriormente suddiviso in 4 lotti nominati **GC1, GC2, GC3 e GC4**;
- **Area impianto "Sparaciotta"** ulteriormente suddiviso in 4 lotti nominati **GS1, GS2, GS3 e GS4**;
- **Area impianto "Marinesi"** ulteriormente suddiviso in 5 lotti nominati **GM1, GM2, GM3, GM4 e GM5**;

Al loro interno sono previste:

- mantenimento e ampliamento dell'attività colturale e zootecnica
- **opere di mitigazione** come fasce arboree/arbustive lungo il perimetro esterno dell'impianto
- **opere civili e idrauliche** a servizio dell'impianto e della produzione agricola

Da un punto di vista elettromeccanico, per il sistema di conversione dell'energia elettrica si è ipotizzato di installare un sistema di conversione DC/AC del tipo distribuito; tale tecnologia prevede l'adozione di inverter di piccola taglia (250 e 350 kW) installati all'interno del campo agrivoltaico in modo distribuito. Il sistema di trasformazione prevede l'installazione di trasformatori MT/BT 20/0.8 kV della taglia di 2.5, 2.0, 1.5 ed 1.25 MVA ubicati all'interno di apposite cabine di trasformazione all'interno del campo stesso (cabine di campo). Tutte le cabine di campo saranno collegate tra di loro in entra-esci ed infine ad una cabina utente all'interno della sottostazione utente SSEU.

1. **Cavidotti interrati interni al sito 36 kV** per collegare tra di loro, in entra-esci, le cabine di campo. Verranno utilizzati cavi unipolari in formazione a trifoglio adatti alla posa direttamente interrata;
2. **Cavidotti interrati esterni al sito 36 kV** per il collegamento tra le cabine di campo site all'interno dei lotti GC4 e GM5 e l'edificio utente sito all'interno della sottostazione utente SSEU;
3. **Sottostazione Utente SSEU** ubicata nel comune di Santa Cristina Gela, contenente l'edificio utente per la raccolta dei cavidotti a 36 kV provenienti dall'impianto agrivoltaico dalla quale partirà un successivo cavidotto che verrà collegato alla stazione RTN tramite inserimento in antenna a 36 kV con la sezione a 36 kV di una nuova stazione

elettrica di trasformazione Terna a 36/150/220 kV. All'interno della sottostazione utente sarà ubicato inoltre un **sistema di accumulo elettrochimico BESS** avente una potenza nominale di **20,8 MW**.

4. Una nuova **stazione elettrica Terna di trasformazione a 36/150/220 kV**, ubicata nel comune di Santa Cristina Gela, da inserire in doppio entra-esce alla linea RTN 220 kV "Bellolampo-Caracoli-Ciminna"
5. Una nuova **linea elettrica AT di raccordo**, ubicata nel comune di Santa Cristina Gela e Belmonte Mezzagno, da inserire in doppio entra-esce alla linea RTN 220 kV "Bellolampo-Caracoli-Ciminna"

La connessione alla rete RTN di TERNA è basata sulla soluzione tecnica minima generale per la connessione STMG, con codice pratica 202304451, ricevuta per l'impianto in oggetto da TERNA S.p.A.

Il presente documento si propone di fornire una descrizione delle caratteristiche geotecniche e sismiche dell'area interessata dal progetto definitivo dell'impianto agrivoltaico volto al rilascio, da parte delle Autorità competenti, delle autorizzazioni e concessioni necessarie alla sua realizzazione.

## 2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Per la realizzazione del presente studio geologico a supporto del progetto in oggetto si è fatto riferimento alla seguente normativa:

- **Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico, denominato anche P.A.I.**, redatto ai sensi dell'art. 17, comma 6 ter, della L. 183/89, dell'art. 1, comma 1, del D.L. 180/98, convertito con modificazioni dalla L. 267/98, e dell'art. 1 bis del D.L. 279/2000, convertito con modificazioni dalla L. 365/2000, ha valore di Piano Territoriale di Settore ed è lo strumento conoscitivo, normativo e tecnico-operativo mediante il quale sono pianificate e programmate le azioni, gli interventi e le norme d'uso riguardanti la difesa dal rischio idrogeologico del territorio siciliano.
- **Norme di attuazione sostituita dal D.P. n. 9 del 06/05/2021** - APPROVAZIONE "MODIFICHE ALLA RELAZIONE GENERALE - PIANO STRALCIO DI BACINO PER L'ASSETTO IDROGEOLOGICO DELLA REGIONE SICILIANA" - REDATTA NEL 2004 E TABELLA ELEMENTI A RISCHIO - D.P. N. 9/ADB DEL 06/05/2021.
- **Circolare applicativa del 22/02/2023 Prot. N. 4036**; Semplificazione e snellimento delle procedure di rilascio dei pareri di compatibilità geomorfologica e idraulica di cui gli articoli da 17 a 31 delle Norme di Attuazione del PAI – D.P. Reg. 6 Maggio 2021 n. 9
- **D.M. 17 Gennaio 2018** Norme tecniche per le costruzioni. Decreto del Ministro delle infrastrutture e dei trasporti.
- **Circolare Applicativa** – norme tecniche per le costruzioni. Ministero delle infrastrutture e dei trasporti. Circolare 21/gennaio/2019, n. 7 C.S.LL.PP.
- **Norme Tecniche di cui al D.M. 17.01.2018** "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione". (Capitolo 6. Progettazione geotecnica).
- **Circolare n. 3 del 20 Giugno 2014** "Studi geologici per la redazione di strumenti urbanistici" in particolare all'allegato D (Guida schematica alla definizione di unità litotecniche).
- **Compatibilità geomorfologica** ai sensi dell'art 15; legge regionale 16/16 redatto ai sensi della circolare ARTA n. 3 del 20/06/2014
- **Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n° 3274/2003** "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica.", modificata dall'O.P. C. M. 3431 del 03/05/2005.
- **Delibera della Giunta Regionale della Regione Siciliana n. 408 del 19/12/2003** "Elenco dei comuni della Sicilia classificati sismici con i criteri della delibera di Giunta Regionale n. 408 del 19 Dicembre 2003" pubblicato sulla GURS n. 7 del 13/02/2004".
- **Aggiornamento della classificazione sismica regionale** con i criteri dell'ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri del 28/04/2006 n. 3519.
- Linea guida **(Commissione tecnica per la microzonazione sismica (articolo 5, comma 7 dell'OPCM 13 novembre 2010, n. 3907).**
- **Deliberazione della giunta regionale 24/02/2022 n. 81** del dirigente generale del DRPC Sicilia 11/03/2022 n. 64

### 3. GEOLOGIA

#### 3.1. Inquadramento Geologico Regionale

Il territorio comunale di Monreale rientra nella porzione più occidentale della Sicilia. Nel contesto geologico regionale, l'isola siciliana rappresenta una porzione della megasutura che si sviluppa lungo il limite tra la placca africana e quella europea, con una porzione di catena che attraverso la Sicilia collega gli Appennini e la Calabria con le Maghrebidi.

La storia geologica dell'area Fig. 1 ha visto una prima fase orogenica alpina paleogenica, cui sono seguiti i movimenti compressivi legati alla rotazione antioraria oligo-miocenica del blocco sardo corso, la cui collisione con il margine continentale africano è generalmente considerata la causa della deformazione compressiva nella catena sudappenninica-siciliana.

All'interno del complesso collisionale siciliano e del suo prolungamento in mare si riconoscono tre elementi principali:

- **Avampaese**, affiorante nella zona sud-orientale della Sicilia e presente anche nel Canale di Sicilia a sud di Sciacca;
- **Avanfossa** recente, in parte sepolta dal fronte della catena nella Sicilia meridionale e nel Bacino di Gela, sita nell'offshore meridionale della Sicilia e nel Plateau Ibleo lungo il margine settentrionale dell'avampaese;
- Catena complessa con vergenza E-SE spesso anche più di 15 km, costituita dalle Unità calabro-peloritane e dalle Unità appenniniche siciliane.

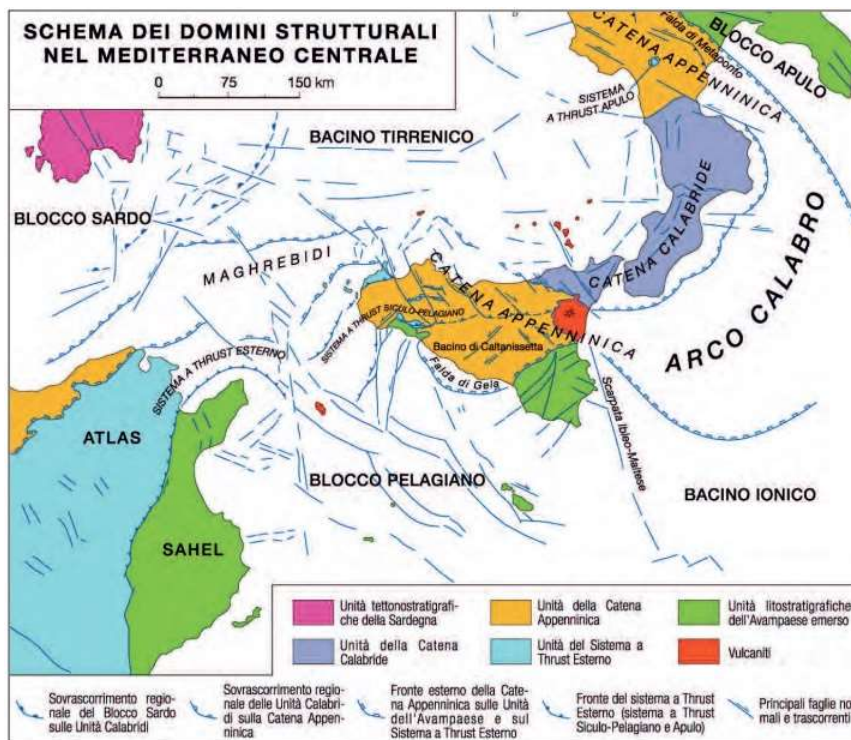


Fig. 1 – Domini strutturali del Mediterraneo Centrale (da Lentini et al., 1994 modificato)

Gran parte della Sicilia centrale ed occidentale rientrano nelle Unità della Catena Appenninica; Quest'ultimo si è strutturato nel periodo Miocene superiore-Pleistocene, contemporaneamente all'apertura tirrenica.

### 3.2. Tettonica

La Sicilia, con la sua posizione centrale nel Mediterraneo rappresenta un segmento dell'orogene Appenninico-Maghrebide, la quale collega l'Appennino al Nord Africa tramite l'Arco Calabro-Peloritano. Fig. 2

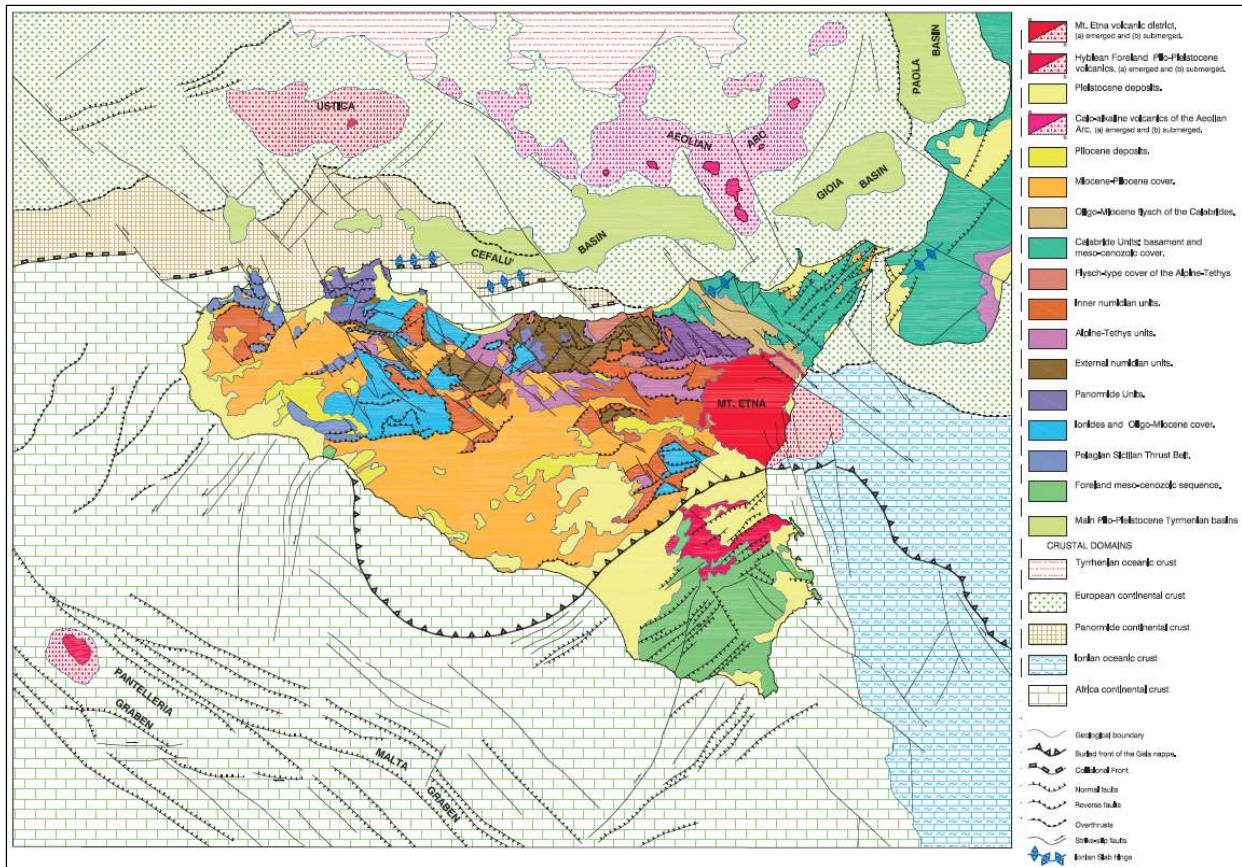


Fig.2 – Schema strutturale Sicilia (Lentini et al., 2004)

L'area del Mediterraneo centrale è caratterizzata da un dominio di Avampaese e da uno Orogenico, a sua volta costituito da un edificio multistrato in cui si riconoscono dal basso verso l'alto un Sistema di Thrust Esterno, la Catena Appenninico-Maghrebide e la Catena Calabro-Peloritana. La fascia orogenica è caratterizzata dalla presenza di crosta oceanica ionica in subduzione e tirrenica in espansione.

Per quanto concerne il dominio di avampaese, questo comprende le aree indeformate della Placca Nord-Africana, rappresentata dal Blocco Pelagiano e dal Bacino Ionico, mentre il dominio orogenico si è originato mediante il tipico sistema "catena-avanfossa-avampaese", con un progressivo coinvolgimento spazio-temporale delle aree via via più esterne, per cui settori con ruolo di avampaese si sono trasformati in unità tettoniche inglobate nell'edificio orogenico, è questo il caso delle unità Panormidi originariamente aree di avampaese durante il Miocene inferiore e successivamente in ricoprimento sulle Ionidi. Queste ultime a loro volta si trasferiranno in ricoprimento sul Sistema Siculo Pelagiano in contemporanea con l'apertura del Bacino Tirrenico. Inoltre studi paleomagnetici hanno contribuito ad arricchire il quadro geodinamico delle varie unità tettoniche, affette da rotazioni orarie che hanno accompagnato il trasporto orogenico verso Sud-Est e Sud delle varie falde nell'intervallo cronologico mio-pliocenico.

Per comprendere la storia tettonica che ha portato alla formazione dell'attuale assetto strutturale e tettonico, si riporta di seguito una ricostruzione paleogeografica lungo un transetto orientato nord-sud dalla Sardegna al Canale di Sicilia, tratto dalle "Memorie Descrittive della Carta Geologica d'Italia – Geologia della Sicilia, Cap. V Tettonica". Fig. 3

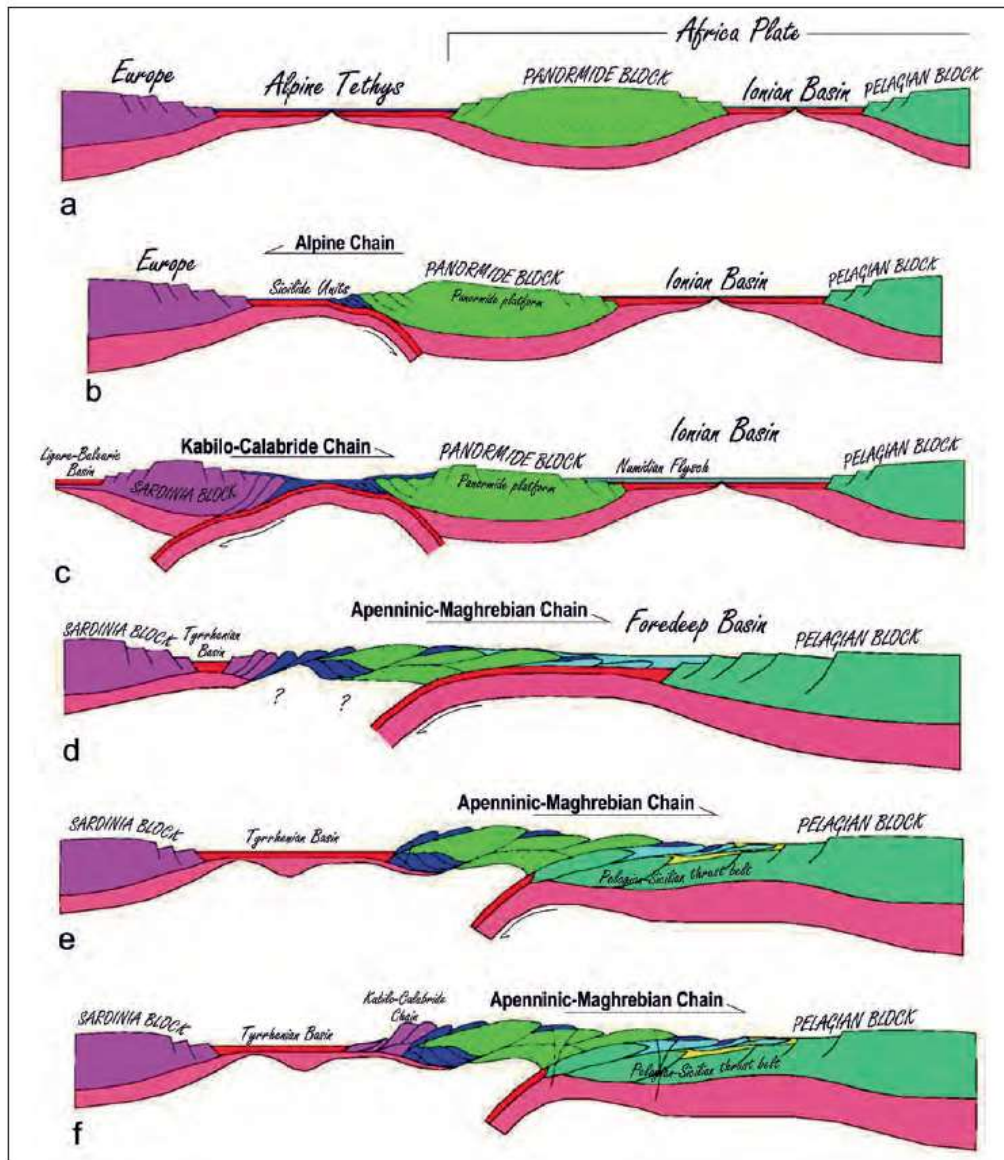


Fig.3 – Ricostruzioni paleogeografiche, transetto N-S Sardegna-Canale di Sicilia  
 (Memorie Descrittive della Carta Geologica d'Italia – Geologia della Sicilia)

Le fasi sopra rappresentate sono di seguito esposte:

- Durante il Giurassico superiore le placche Europa e quella Afro-Adriatica erano separate dal bacino oceanico Alpino-Tetideo;
- Durante lo stadio Eo-Alpino si formò l'orogene Alpino, guidato dalla subduzione verso sud della Tetide Alpina sotto la placca Afro-Adriatica durante il Cretacico-Eocene;
- A partire dall'Oligocene si attiva una subduzione verso nord che coinvolge ciò che rimane della crosta Alpino-Tetidea;
- La prima evidenza dell'inizio dell'apertura tirrenica si trova nei sedimenti del Miocene medio-superiore;
- Oceanizzazione del bacino del Vavilov a partire dal Pliocene;



- f. L'arretramento dello slab ionico ha causato la migrazione verso Sud-Est del sistema orogenico, accompagnata dallo sviluppo di un sistema di faglie trascorrenti destre (Sistema Sud-Tirrenico), connesso alla contemporanea collisione tra il blocco Panormide e quello Pelagiano ad ovest e la subduzione attiva sotto l'Arco Calabro-Peloritano ad est.

### 3.3. Faglie Capaci (ITHACA)

Passando nel dettaglio, si possono riconoscere tre sistemi di faglie derivanti dalle fasi tettoniche precedentemente descritte:

- Faglie con orientazione NE-SW e E-W a componente compressiva;
- Faglie subverticali destre con orientamento NW-SE che tagliano ed interrompono sovrascorrimenti e pieghe;
- Faglie con orientazione NE-SW ed E-W impostate su sistemi più antichi.

Le unità Pre-Panormidi presentano litologie a prevalente componente duttile, le quali hanno dato origine a strutture plicative marcate ed a numerosissime scaglie tettoniche impilate a formare struttura embricate. Per quanto concerne le strutture tettoniche dislocative, dalla consultazione del **Catalogo delle faglie capaci (ITHACA)**, Fig.4 risulta che l'area in esame, così come la gran parte della provincia di Palermo, non è attraversata da faglie capaci, definite tali in quanto ritenute in grado di produrre, entro un intervallo di tempo di interesse per la società, una deformazione o dislocazione della superficie del terreno, e/o in prossimità di essa.

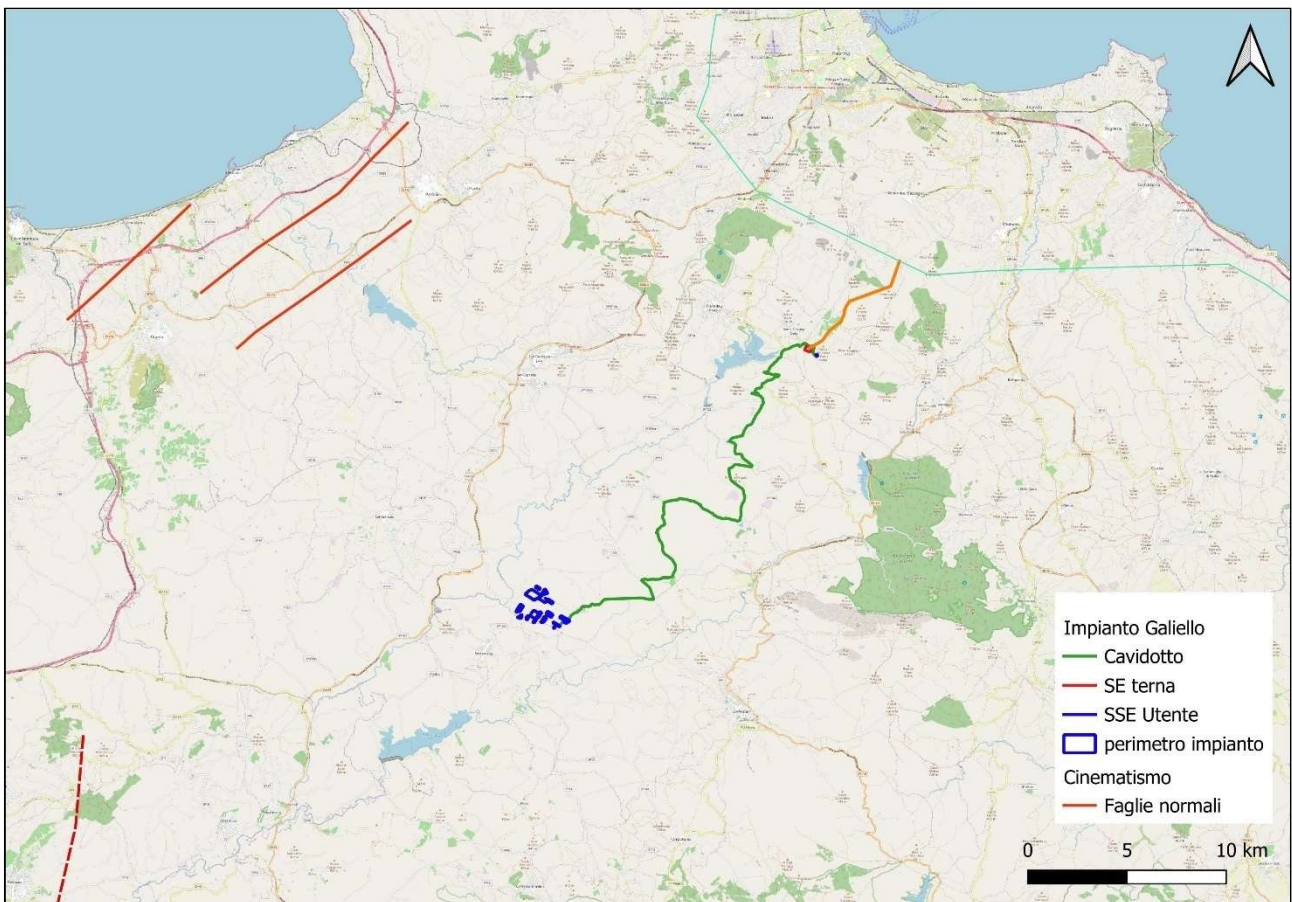


Fig.4 –Carta del rilievo con faglie capaci (Progetto ITHACA)

A tal proposito le faglie capaci vengono mappate e caratterizzate in ITHACA sulla base dei dati disponibili in letteratura, dopo una attenta revisione critica. Ne consegue che ITHACA:

- è in continuo aggiornamento e non può mai considerarsi completo o definitivo;
- non rappresenta la totalità delle faglie capaci potenzialmente presenti sul territorio nazionale, ma solo quelle per le quali esiste uno studio, anche di livello minimo e quindi un riferimento bibliografico;
- non ha una copertura omogenea a livello nazionale.

ISPRA declina ogni responsabilità in merito ad un utilizzo, tal quale, delle informazioni contenute in ITHACA per gli studi di microzonazione sismica e per la caratterizzazione di dettaglio della pericolosità da fagliazione superficiale, senza le necessarie verifiche e approfondimenti, con indagini e procedure specifiche e codificate.

Inoltre, il Catalogo ITHACA non va utilizzato per valutazioni di hazard sismico in termini di scuotimento. Per tali scopi si rimanda alla banca dati DISS–Database of IndividualSeismogenicSources. <http://diss.rm.ingv.it/diss/> che verrà descritto in maniera più dettagliata più avanti.

L'assenza di faglie capaci ha conferma anche nell'assenza di sorgenti sismogenetiche nelle aree di progetto, come rappresentato dalla Fig. 4.

In Fig. 5 estratta dal DISS “Inventario delle sorgenti sismogenetiche” dell'INGV Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (DISS Working Group (2018). Database of IndividualSeismogenic Sources (DISS), Version 3.2.1: A compilation of potential sources for earthquakeslargerthan M 5.5 in Italy and surroundingareas. <http://diss.rm.ingv.it/diss/>, IstitutoNazionale di Geofisica e Vulcanologia; DOI:10.6092/INGV.IT-DISS3.3.0). Si segnala la presenza di tre diverse faglie sorgenti sismogenetiche a sud-ovest delle aree di interesse:

- **Faglia Mazara-Belice, orientata ENE-WSW, massima magnitudo 5,6;**
- **Faglia Castelvetro-Capo Granitola, orientata NE-SW, massima magnitudo 5,5;**
- **Faglia Monte Magaggiaro-Pizzo Telegrafo, orientata NW-SE, massima magnitudo 5,5.**

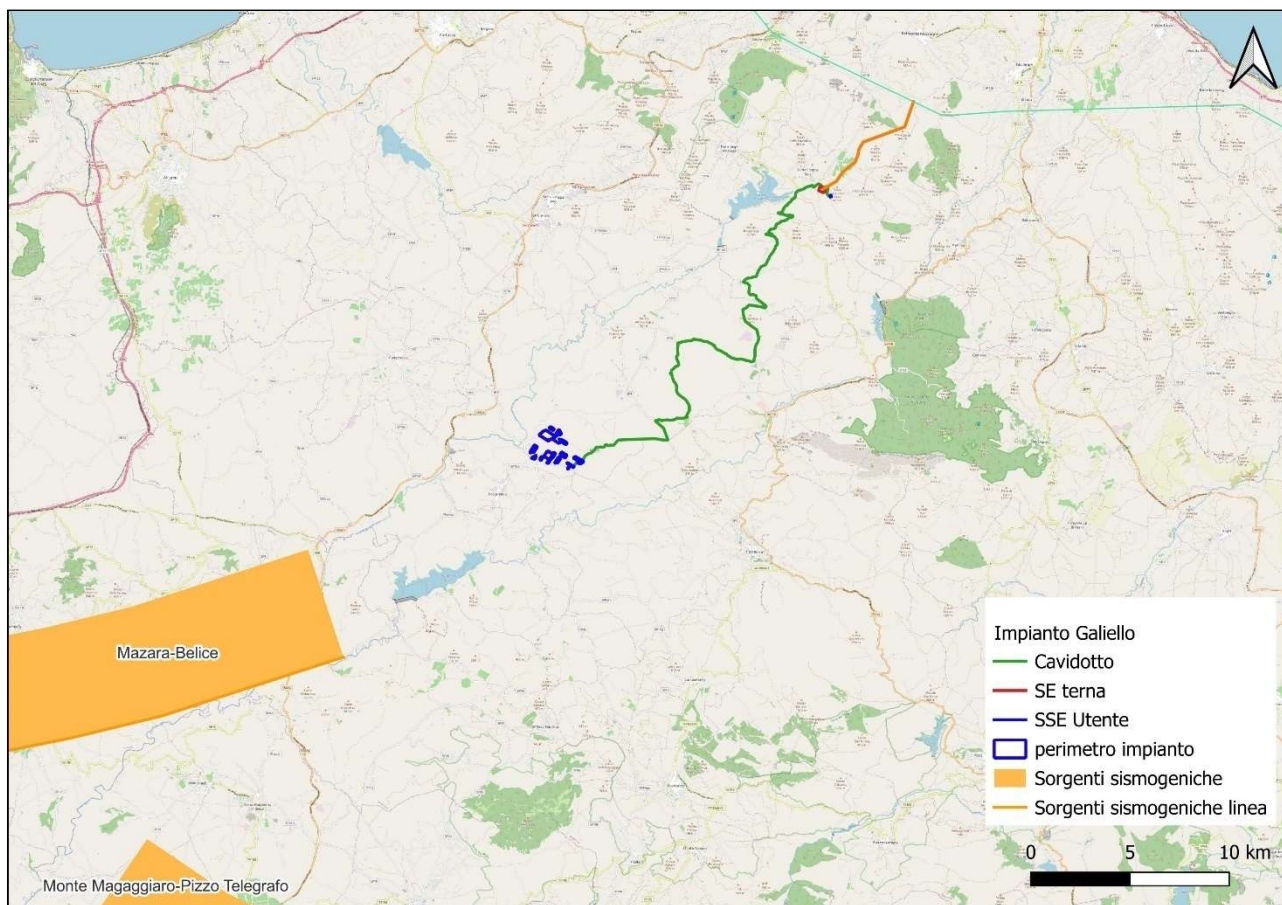


Fig.5 – Sorgenti Sismogenetiche (DISS Working Group)

I cataloghi storici e strumentali mostrano che in Sicilia e nelle aree limitrofe gli eventi sismici più importanti sono localizzati in pochi settori distinti, tra cui l'area del Belice, il Tirreno Meridionale al largo della costa settentrionale della Sicilia, i monti Nebrodi e Peloritani, l'Etna e le regioni iblee, mentre solo sismicità diffusa e minore si osserva nella Sicilia centrale (bacino di Galtanissetta) e nel Canale di Sicilia. Nella Sicilia occidentale gli unici terremoti distruttivi si sono verificati durante la sequenza sismica del 1968. Il lavoro di Guidoboni et al. (2002) e Bottari et al. (2009), sulla base di un'analisi critica dettagliata e sistematica dei dati archeologici, ha evidenziato il verificarsi di almeno due forti terremoti storici che hanno prodotto danni e distruzione ai templi di Selinunte. Questi eventi sismici, datati rispettivamente tra il IV e il III secolo A.C. e tra il IV e il VI secolo D.C., non sono attualmente inclusi nei cataloghi sismici italiani. Tali eventi possono essere stati prodotti da singole sorgenti appartenenti alla SFTB contenute in questa Fonte Composita oppure possono essere collegati all'attività dei fronti di spinta che corrono tra Castelvetro e Capo Granitola. Tuttavia, non ci sono indicazioni sulla loro entità e sulla vera ubicazione delle fonti causali. Tuttavia le sorgenti sismogenetiche composite sono state ideate per rappresentare un dataset di sorgenti sismogenetiche potenziali il più possibile esauriente. Questo obiettivo necessariamente implica una minor accuratezza nella loro descrizione spaziale e parametrizzazione rispetto alle Sorgenti Sismogenetiche Individuali. **Le Sorgenti Sismogenetiche Composite non hanno terremoti associati** (Figura 6), anche se nel corso del tempo sono stati pubblicati alcuni articoli scientifici che collegano importanti terremoti del passato anche a questa tipologia di sorgenti (si veda ad esempio Vannoli et al., 2015).

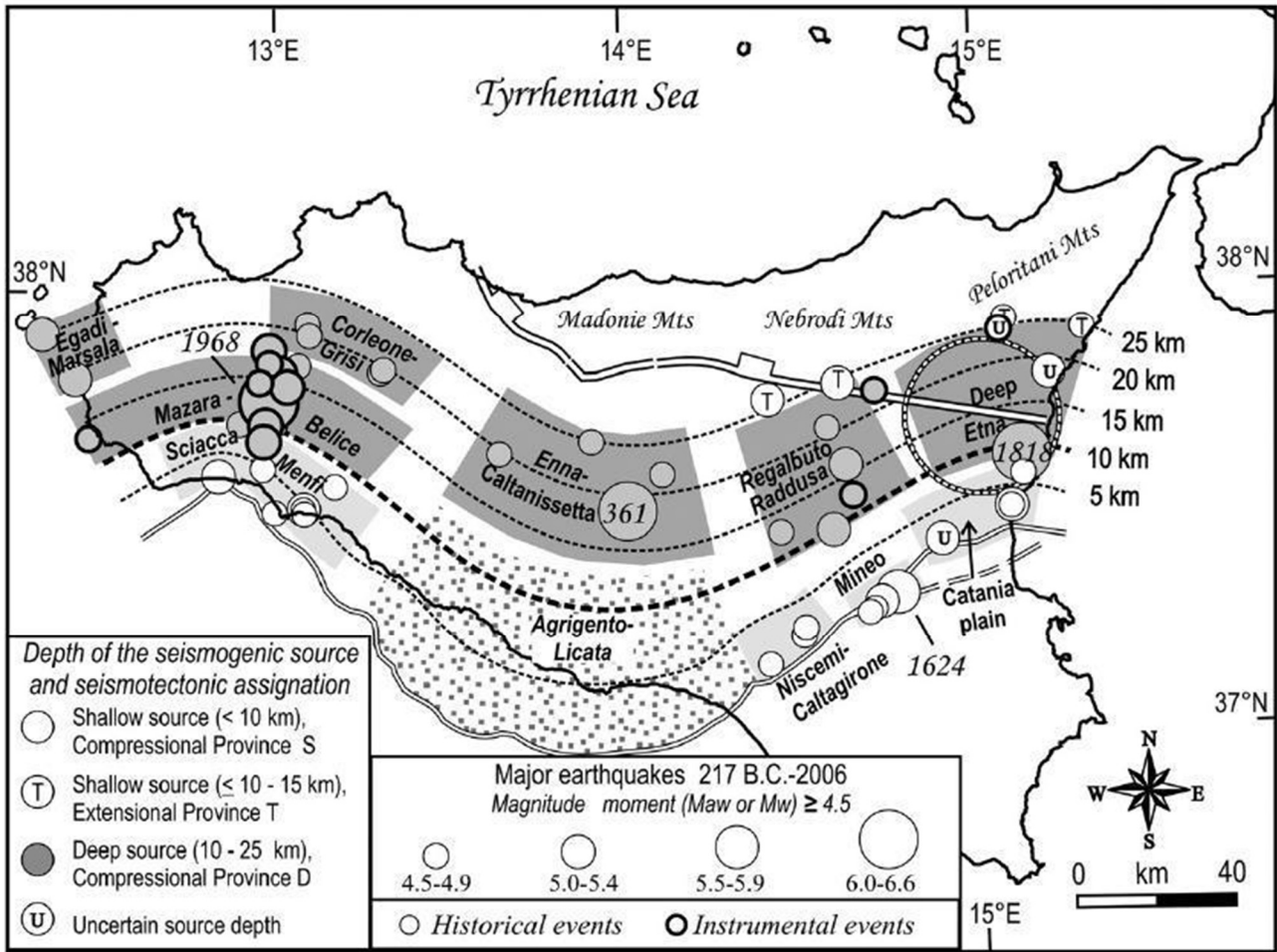


Fig. 6 - Distribuzione dei terremoti significativi di  $M_w > 4.5$  rispetto ai settori dei maggiori fronti di spinta sepolti (da Lavecchia et al. [2007]).

## 4. DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITA' DI BASE E DEGLI EVENTI DI RIFERIMENTO

La "pericolosità sismica di base", più generalmente indicata semplicemente come pericolosità sismica, costituisce l'elemento di conoscenza primario per la valutazione delle azioni sismiche attese.

La pericolosità sismica di un generico sito deve essere descritta con un sufficiente livello di dettaglio, in termini sia spaziali sia temporali. I relativi risultati sono forniti, in corrispondenza dell'area considerata, come valori di accelerazione orizzontale massima ag, riferita ad un sito rigido orizzontale ( $V_s > 800$  m/s), e per diverse probabilità di superamento e/o diversi periodi di ritorno.

L'azione sismica così individuata viene successivamente variata, per tenere conto delle modifiche prodotte dalle condizioni locali stratigrafiche del sottosuolo e dalla morfologia della superficie topografica. Tali modifiche riguardano gli studi di risposta sismica locale.

La valutazione della pericolosità sismica deve derivare da studi estesi a livello nazionale, su dati aggiornati, con procedure e metodologie validate che devono essere rese pubbliche in modo da consentire la riproduzione dell'intero processo.

### - CPTI15 CATALOGO PARAMETRICO DEI TERREMOTI ITALIANI - VERSIONE 4.0

Il **Catalogo parametrico dei terremoti italiani** fornisce dati parametrici omogenei, sia macrosismici, sia strumentali, relativi ai terremoti con **intensità massima  $\geq 5$  o magnitudo  $\geq 4.0$**  d'interesse per l'Italia nella finestra temporale 1000-2020.

La nuova versione del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani rappresenta una significativa evoluzione rispetto alle versioni precedenti, che sono quindi da considerare del tutto superate. Il contenuto del catalogo è stato ampiamente rivisto per quanto concerne:

- **la copertura temporale, estesa a tutto il 2020**
- **il database macrosismico** di riferimento (DBMI15 versione 4.0; Locati et. al., 2022), significativamente **aggiornato**
- **i dati strumentali** considerati, nuovi e/o aggiornati
- le soglie di ingresso dei terremoti, **abbassate a intensità massima 5 o magnitudo 4.0** (invece di 5-6 e 4.5 rispettivamente)
- la determinazione dei **parametri macrosismici** (basata su una nuova calibrazione dell'algoritmo Boxer)
- **le magnitudo strumentali**, che comprendono un nuovo set di dati e nuove relazioni di conversione.

### - DBMI15 DATABASE MACROSISMICO ITALIANO VERSIONE 4.0

Il **Database Macrosismico Italiano** fornisce un set omogeneo di intensità macrosismiche provenienti da diverse fonti relativo ai terremoti con **intensità massima  $\geq 5$**  e d'interesse per l'Italia nella finestra temporale 1000-2020.

La **versione 4.0** del Database Macrosismico Italiano aggiorna e sostituisce la precedente versione che venne pubblicata a gennaio 2021. La nuova versione estende la **copertura temporale da dicembre 2019 a dicembre 2020** (con l'inserimento del solo terremoto del 22 dicembre nel ragusano, con 25 MDP, i cui dati provengono da una campagna di rilievo macrosismico post-terremoto).

**CPTI15 e DBMI15** sono consultabili liberamente all'indirizzo <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15> e attraverso il "web service" dell'Archivio Storico Macrosismico Italiano (ASMI) all'indirizzo <https://emidius.mi.ingv.it/ASMI/services/>.

- Rovida A., Locati M., Camassi R., Loli, B., Gasperini P., Antonucci A., 2022. Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI15), versione 4.0. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). <https://doi.org/10.13127/cpti/cpti15.4>
- Rovida A., Locati M., Camassi R., Loli, B., Gasperini P., 2020. The Italian earthquake catalogue CPTI15. Bulletin of Earthquake Engineering 18, 2953-2984. <https://doi.org/10.1007/s10518-020-00818-y>
- Locati M., Camassi R., Rovida A., Ercolani E., Bernardini F., Castelli V., Caracciolo C.H., Tertulliani A., Rossi A., Azzaro R., D'Amico S., Antonucci A. (2022). Database Macrosismico Italiano (DBMI15), versione 4.0. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). <https://doi.org/10.13127/DBMI/DBMI15.4>

## 5. SISMICITA' STORICA DELLA SICILIA NORD OCCIDENTALE

Il quadro della sismicità che in epoca storica ha interessato la Sicilia nord occidentale, area di riferimento per il presente studio, si può utilmente derivare dai cataloghi sismici:

- CFTI5MED (GUIDOBONI et al., 2007);
- DBMI15(LOCATI et al., 2011);
- CPTI15(ROVIDAetal.,2011).

Nella Fig. 7, estratta dal **CPTI15**, è mostrata la distribuzione degli epicentri dei terremoti avvenuti nell'area considerata nell'intervallo temporale 1000 -2020 con un'indicazione della classe di magnitudo MW (Magnitudo momento).

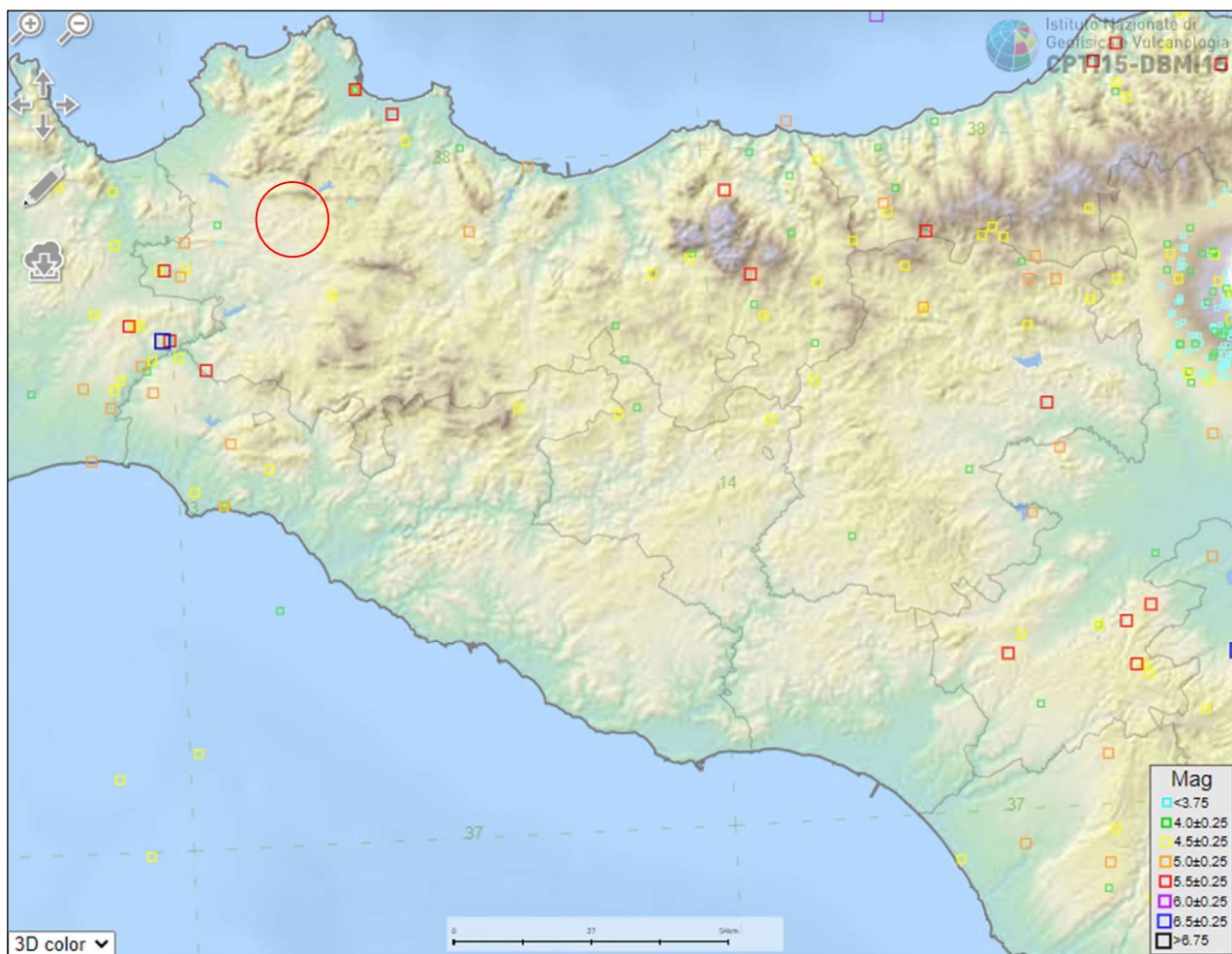


Fig. 7. Distribuzione degli epicentri dei terremoti della Sicilia nord occidentale nell'intervallo temporale 1000-2020 (CPTI15, Rovida et al., 2011)

In Fig. 8 sono riportate le massime intensità risentite per la località di studio aventi coordinate (37.912, 13.201) per un raggio di circa 40 Km. I dati sono estratti dal catalogo DBMI15 che contiene 91 località su 15343 relativi ai terremoti avvenuti dopo il 1000. Ad ogni punto riportato in figura è associata la massima intensità risentita.

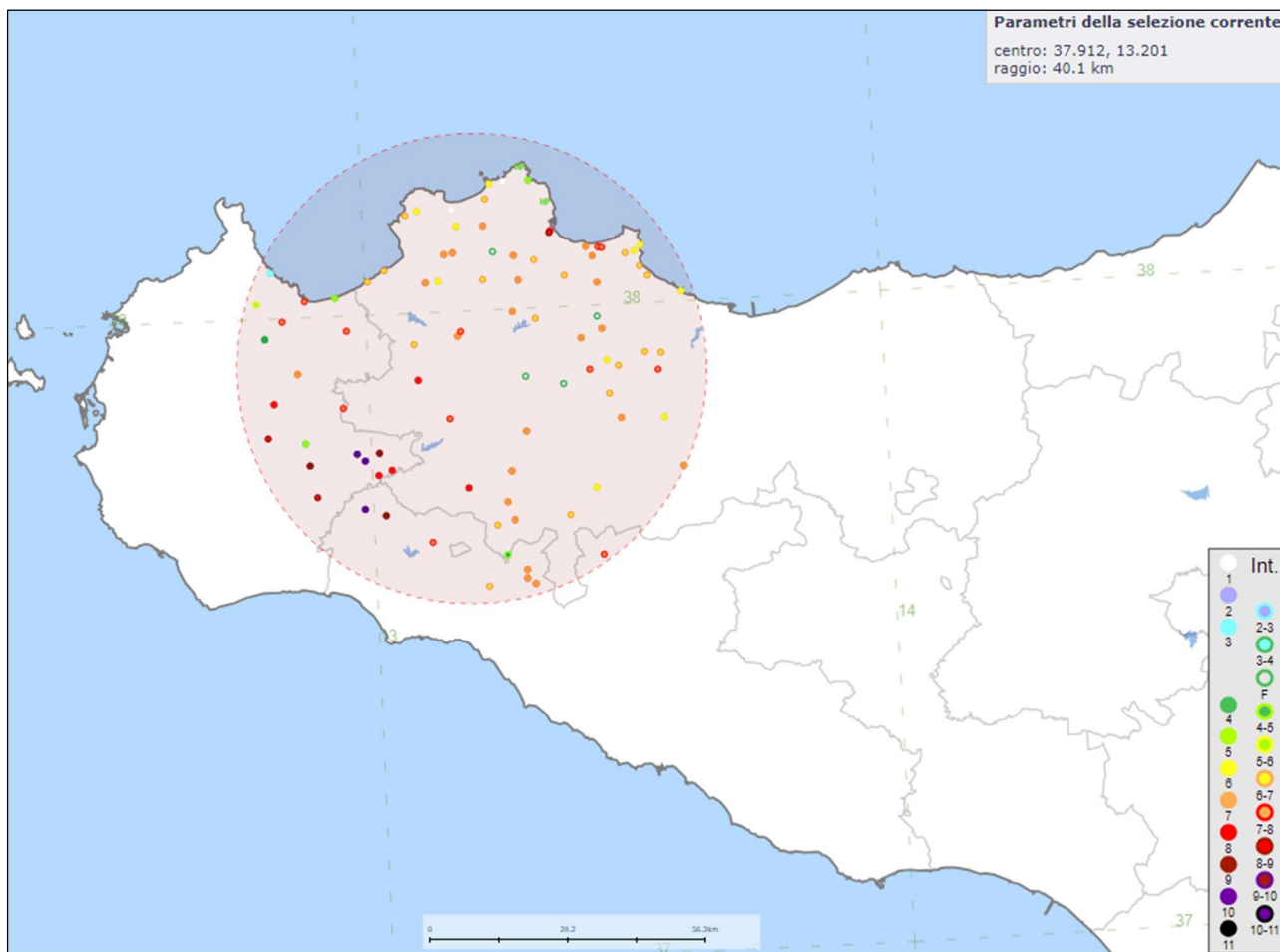


Fig. 8 - Massime intensità risentite per ogni località che ricade per un raggio di 40 Km dal baricentro del sito di studio (DBMI15, Locati et al., 2011)

L'immagine estratta dal portale <https://storing.ingv.it/cfti/cfti5/> (INGV) istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (Fig.9) che contiene i dati di intensità macrosismica per tutti i terremoti della Sicilia sud occidentale. I dati derivano da studi, database, rapporti e bollettini pubblicati fino al 2014.



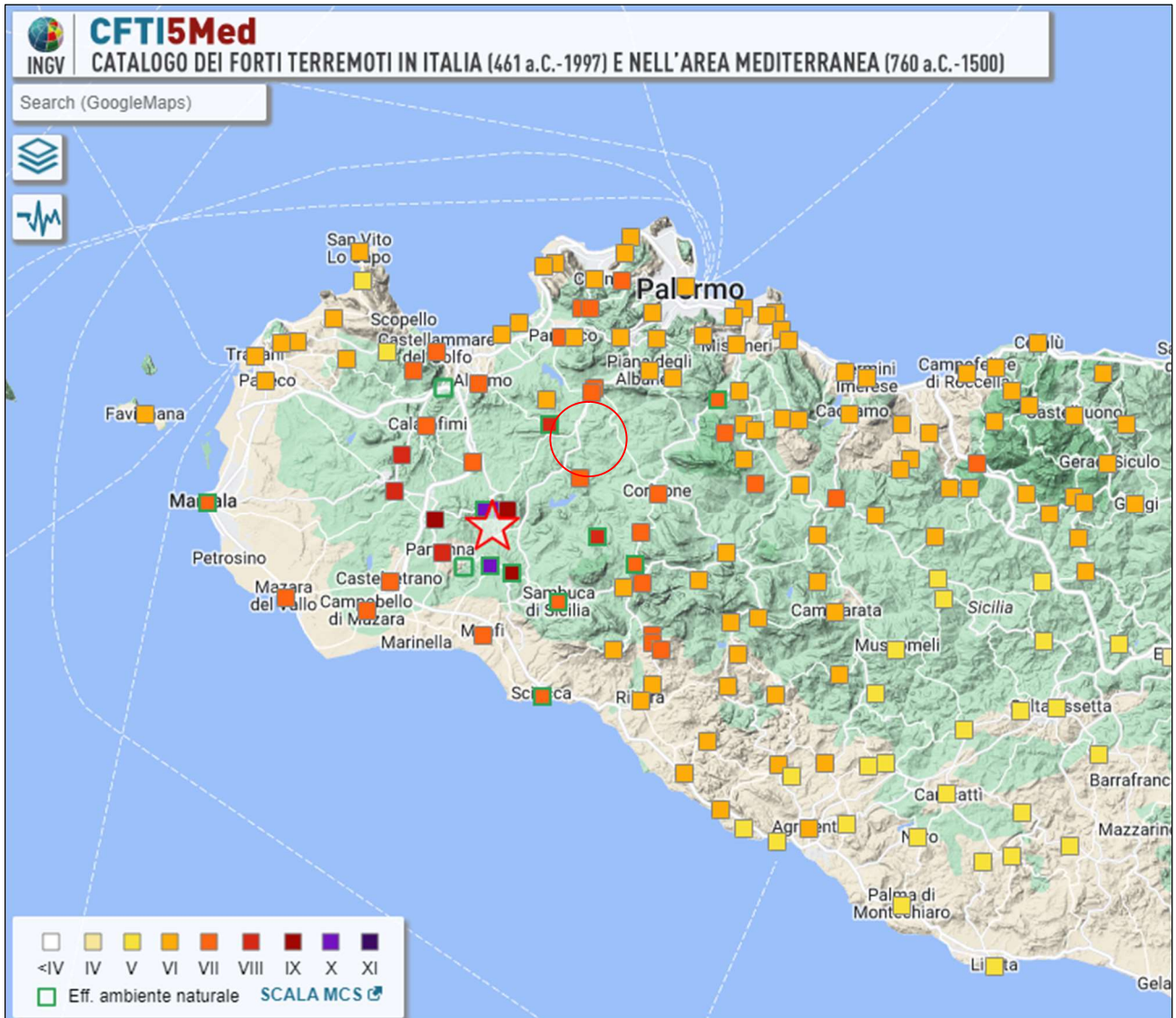


Fig. 9 CFTI5 MED Catalogo dei forti terremoti in Italia 461 a.c. – 1997 e nell'area mediterranea 760 a.c. - 1500

Vengono di seguito descritti i principali terremoti storici che hanno avuto effetti macrosismici significativi nella Sicilia nord occidentale. Le informazioni di seguito riportate sono state estratte dal catalogo dei forti terremoti CFTI (Guidoboni et al., 2007) al quale si rimanda per maggiori dettagli.

### 5.1. TERREMOTI STORICI

Data: **1968 01 15** Ora: **02:01:09** Area epicentrale: **Valle del Belice**

Epicentro **calcolato**

(Lat.: **37.760** - Lon.: **12.987**)

Intensità

Epicentrale: **10**

Intensità

Massima: **10**

Magnitudo

Equivalentemente: **6.5**

Numero di osservazioni macrosismiche: **162**

### **Gallitello Stazione (TP) - Intensità MCS: VII-VIII**

La scossa principale fece crollare il fabbricato viaggiatori della stazione.

### **Roccamena (PA) - Intensità MCS: VII**

La scossa principale e le successive repliche distrussero, secondo le stime ufficiali, lo 0,25% delle unità immobiliari danneggiandone gravemente il 17,02% e lesionando lievemente il 31,53% delle unità su di un totale che, prima del periodo sismico, assommava a 793. Dopo la replica del 25 gennaio la Prefettura di Palermo rese noto che erano crollate due case. Il 29 gennaio il sindaco dichiarò alla stampa che l'80% dell'abitato aveva subito danni e lesioni.

### **Corleone (PA) - Intensità MCS: VII**

La scossa delle ore 1.33.02 fu violentissima. La scossa delle ore 2.01.09 distrusse lo 0,12% delle unità immobiliari, danneggiò gravemente il 2,42% e lesionò lievemente il 28,71%, su un totale di 4179 edifici. Lesioni estese a tutto l'edificio si aprirono nella chiesa Madre; furono gravemente danneggiati anche la chiesa della Madonna delle Grazie e il vicino convento dove crollò il tetto di un locale; lesioni notevoli si aprirono nelle chiese del Collegio e di San Leoluca, che divennero pericolanti. I dati pubblicati dalla stampa prima della replica del 25 gennaio segnalavano il crollo completo di 7 case, 30 edifici pericolanti e 1000 lesioni.

### **Camporeale (PA) - Intensità MCS: VIII**

La scossa principale ebbe effetti rovinosi e distrusse l'1,09% delle unità immobiliari, danneggiandone gravemente il 23,69% e lesionandone lievemente il 33,35% su di un totale di 1562. Secondo alcune notizie comparse sulla stampa nazionale le case crollate completamente furono una dozzina, mentre dopo la replica del 25 gennaio i dati provvisori resi noti dalla Prefettura di Palermo recarono la cifra di 15 edifici crollati.

### **Effetti sull'ambiente naturale:**

- Rottura del terreno, fratturazione, fessure, spaccature
- Esalazione di gas associata a eruzioni di salse o maccalube
- Fuoriuscita di acqua o fanghi dal terreno (liquefazione)

Nelle vicinanze si aprirono fenditure nel terreno e furono rilevati fenomeni di liquefazione; dai vulcanetti di fango formati fuoriuscirono anche sostanze gassose

### **Grisì (PA) - Intensità MCS: VI-VII**

La località, accorpata dai dati ufficiali a Pioppo e Monreale, risentì soprattutto della scossa principale del 15 gennaio. I dati relativi alle tre località riportano le cifre dell'1,30% di unità immobiliari gravemente danneggiate e dell'1,36% lievemente lesionate su di un totale di 7344.

### **San Cipirello (PA) - Intensità MCS: VII**

Le scosse succedutesi nel corso del periodo sismico e soprattutto quella principale del 15 gennaio danneggiarono gravemente il 2,27% delle unità immobiliari e ne lesionarono lievemente il 18,94% su di un totale di 1320. Dopo la replica del 25 gennaio fu comunicato dalle autorità che il numero totale delle case lesionate era di 250 e furono emesse dal Sindaco 30 ordinanze di sgombero per altrettanti edifici.

### **San Giuseppe Jato (PA) - Intensità MCS: VII-VIII**

La scossa principale e le successive repliche distrussero lo 0,04% delle unità immobiliari danneggiandone gravemente il 6,34% e lesionando lievemente il 19,03% delle unità su di un totale che, prima del periodo sismico, assommava a 2365. Dopo la replica del 25 gennaio la Prefettura di Palermo rese noto che era crollata una casa. Il 29 gennaio il sindaco rese noti alla stampa i dati relativi alla situazione degli edifici della località: 400 fabbricati lesionati dei quali 200 da demolire

### **Poggioreale Vecchio (TP) - Intensità MCS: IX**

*La località ha cambiato sito dopo il terremoto del 1968.*

La scossa delle ore 1.33.02 causò il crollo di alcuni edifici. La scossa delle ore 2.01.09 e le successive repliche distrussero il 100% delle unità immobiliari che, prima del terremoto, assommavano a 993 edifici. La replica del 25 gennaio causò danni molto gravi ai pochi edifici rimasti in piedi dopo le scosse del 15 gennaio.

### **Salaparuta Vecchia (TP) - Intensità MCS: X**

*La località ha cambiato sito dopo il terremoto del 1968.*

La scossa delle ore 1.33.02 causò il crollo di alcuni edifici. La scossa delle ore 2.01.09 e le successive repliche distrussero il 100% delle unità immobiliari che, prima del terremoto, assommavano a 1001 edifici. La replica del 25 gennaio fece crollare alcuni muri ancora in piedi, causando il ferimento di tre persone.

### **Gibellina Vecchia (TP) - Intensità MCS: X**

*La località ha cambiato sito dopo il terremoto del 1968.*

La scossa delle ore 1.33.02 causò il crollo di alcuni edifici. La scossa delle ore 2.01.09 e le successive repliche distrussero il 100% delle unità immobiliari che, prima del terremoto, assommavano a 1980 edifici. La replica del 25 gennaio fece crollare completamente i pochi muri ancora rimasti in piedi causando la morte di 5 persone.

### **Effetti sull'ambiente naturale:**

- Esalazioni sulfuree
- Comparsa o scomparsa di sorgenti
- Rottura del terreno, fratturazione, fessure, spaccature
- Frana, smottamento, colata di fango, scoscendimento, scivolamento, crollo, distacco
- Variazione del chimismo dell'acqua

Data: **1940 01 15** Ora: **13:19:24** Area epicentrale: **Golfo di Palermo**

**Epicentro calcolato**

(Lat.: **38.076** - Lon.: **13.428**)

Intensità

Epicentrale: **7.5**

Intensità

Massima: **8**

Magnitudo

Equivalente: **5.3**

Numero di osservazioni macrosismiche: **60**

**Marineo (PA) - Intensità MCS: VI-VII**

La scossa causò leggere lesioni in tutte le abitazioni; 10 case costruite su terreno franoso divennero pericolanti

**Mezzojuso (PA) - Intensità MCS: V**

La scossa suscitò molto panico nella popolazione, ma non causò danni.

Data: **1726 09 01** Ora: **21:55** Area epicentrale: **Palermo**

**Epicentro calcolato**

(Lat.: **38.121** - Lon.: **13.353**)

Intensità

Epicentrale: **7.5**

Intensità

Massima: **8.5**

Magnitudo

Equivalente: **5.6**

Numero di osservazioni macrosismiche: **8**

**Monreale (PA) - Intensità MCS: V**

Il terremoto fu avvertito, ma non causò danni.

## 6. SISMICITA' STORICA DELLA SICILIA NORD OCCIDENTALE DAL 1000 AL 2020

Il "Catalogo parametrico dei terremoti italiani dal 1000 al 2020 dell'INGV a permesso di individuare terremoti con epicentro in Sicilia nord occidentale che, ipotizzando normali leggi di attenuazione dell'Intensità macrosismica, dovrebbero avere avuto nell'area di studio effetti macrosismici di notevole intensità ( $I = 7 - 8$  MCS) (Fig.10)



(Fig.10) "Catalogo parametrico dei terremoti dal1000 a.C. al 2020" dell'INGV avrebbe avuto nell'area di studio effetti macrosismici di notevole intensità

( $I > 6 - 7$  MCS) Guidoboni E., Ferrari G., Mariotti D., Comastri A., Tarabusi G., Sgattoni G., Valensise G. (2018) – CFT15Med, Catalogo dei Forti Terremoti in Italia. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). Doi: <https://doi.org/10.6092/ingv.it-cft15>

Guidoboni E., Ferrari G., Tarabusi G., Sgattoni G., Comastri A., Mariotti D., Ciuccarelli C., Bianchi M.G.Valensise G. (2019), CFT15Med, the new release of the catalogue of strong earthquakes in Italy and in the Mediterranean area, Scientific Data 6, Article number: 80 (2019). Doi:

<https://doi.org/10.1038/s41597-019-0091-9>

L'analisi della "storia sismica" è stata eseguita consultando il sito <http://emidius.mi.ingv.it>; dal quale si è desunta la tabella della Fig.11 nella quale vengono riportati gli eventi sismici storici relativi all'areale dove ricade l'area di studio.

**Dalla storia sismica si evince che gli eventi che hanno colpito la Sicilia centro settentrionale ha avuto una Mw6.5: terremoto del 15/01/1968. Valle del Belice. Mentre il territorio di Roccamena (Pa) distante dal sito di studio circa 8.5 Km ha avuto una MCS di 7 - 8.**

In Fig. 11 e Tabella 1 la storia sismica del territorio di Roccamena.

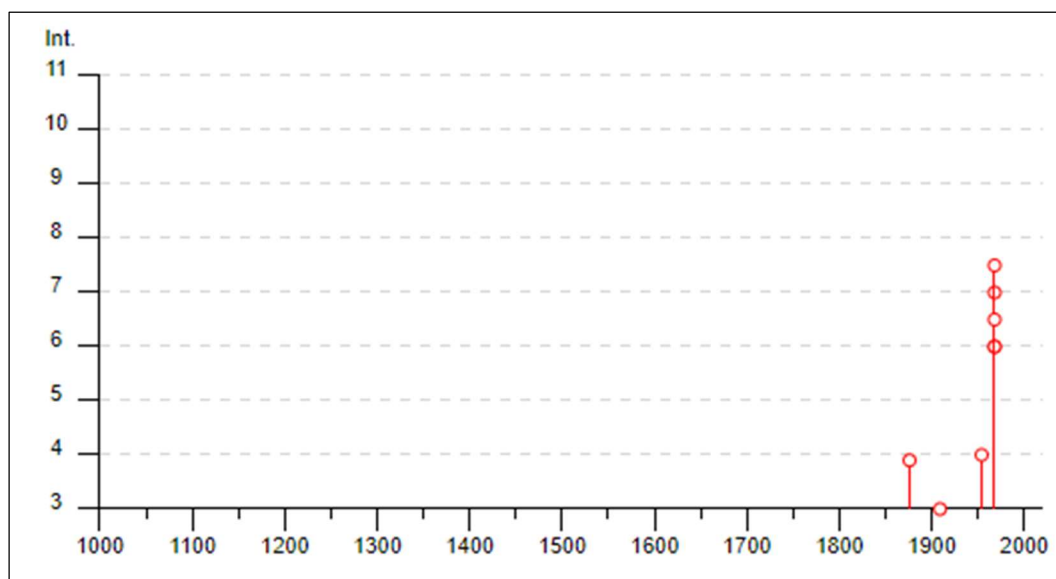


Fig. 11. Eventi che hanno avuto MCS nell'area di studio. Diagramma MCS-Anni

Effetti	In occasione del terremoto del									
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
F	1876	06	11	01	20		Corleone	20	6	4.71
NF	1897	05	15	13	42	3	Tirreno meridionale	85	5	4.52
2	1909	06	07	01	30		Corleone	16	3-4	3.73
3	1909	12	03	11	50		Camporeale	15	4	3.70
NF	1910	01	25	08	27		Tirreno meridionale	34	5	4.48
4	1954	11	20	05	35	2	Sicilia centro-occidentale	34	5-6	4.24
6	1968	01	14	12	28	2	Valle del Belice	15	6-7	5.10
6	1968	01	14	15	48	3	Valle del Belice	18	7	4.84
7	1968	01	15	02	01	0	Valle del Belice	162	10	6.41
7-8	1968	01	16	16	42	4	Valle del Belice	17	8	5.45
6-7	1968	01	25	09	56	4	Valle del Belice	32	8	5.37
2	1981	06	07	13	00	5	Mazara del Vallo	50	6	4.93
NF	1999	12	30	18	34	3	Tirreno meridionale	29		4.83

Tabella 1 - Storia sismica dell'area (DBMI15 Locati et al., 2011); Is è l'intensità macrosismica risentita (MCS); l'area epicentrale; NMDP è il numero di località in cui è disponibile il dato macrosismico; I è l'intensità macrosismica dell'epicentro (MCS); M è la magnitudo momento dell'evento

## 7. PERICOLOSITA' SISMICA DEL SITO

Secondo l'**UNDRO** (United Nations Disaster Relief Office) con il termine Pericolosità sismica si definisce la probabilità del verificarsi in una determinata area e in un determinato periodo temporale, con una certa eccedenza, lo scuotimento atteso e generato da un evento sismico dannoso per le attività umane con l'insieme degli effetti geologici e geofisici a esso connessi.

Gli elementi fondamentali che concorrono ad una moderna valutazione della "Pericolosità sismica" sono pertanto da ricercare nelle caratteristiche storiche, sismologiche, sismogenetiche, geologiche, relative al territorio analizzato. Per quanto riguarda la quantificazione della pericolosità si fa riferimento ad alcune grandezze.

La prima è l'intensità sismica, misura della potenzialità distruttiva del terremoto che può essere valutata in modi diversi: sono infatti ben note le Scale Mercalli Modificata (MM), Medvedev-Sponhenar- Karnik (MSK) e Mercalli-Cancani-Sieberg (MCS) che si riferiscono a gradi macrosismici.

Un altro parametro, che viene attualmente molto utilizzato è il valore massimo dell'accelerazione  $a(t)$  al suolo (P.G.A.: Peak Ground Acceleration); l'accelerazione è misurata relativamente all'accelerazione di gravità ( $g = 9,80 \text{ m/sec}^2$ ), un valore di 0,1g è già capace di generare danni.

Il parametro generalmente usato da Geologi e Geofisici per la quantificazione della pericolosità sismica è l'intensità macrosismica, per cui i valori di pericolosità possono essere espressi con riferimento sia all'uno che all'altro parametro.

Le zone sismiche previste dalle nuove norme vengono definite in base ai valori di accelerazione al suolo. La magnitudo di un terremoto è l'energia totale scaricata dal sisma.

Un sisma di una certa magnitudo genera alla base di una costruzione una certa accelerazione sismica (espressa convenzionalmente come fattore dell'accelerazione di gravità) che può variare in relazione alla distanza, alla conformazione degli strati rocciosi di fondazione, alla morfologia e alle caratteristiche dell'onda.

Magnitudo e accelerazione sono comunque in relazione, ma ai fini edificatori è più importante definire l'accelerazione sismica di progetto o PGA (Parametro di scuotimento sismico).

Con l'emanazione della OPCM 3274/2003, seguita dall' Ordinanza PCM del 28 aprile 2006 n.3519 e quindi dalle norme tecniche (NTC-2018), è stata introdotta un'importante evoluzione in materia di progettazione antisismica. Il territorio nazionale viene riclassificato in 4 zone sismiche a pericolosità decrescente, abbandonando il concetto di "categoria" e superando il problema dei limiti amministrativi<sup>1</sup>.

Le zone sismiche previste dalle nuove norme vengono definite in base ai valori di accelerazione sismica al suolo  $a_g$  (accelerazione orizzontale massima su suolo di Cat. A) che sostituisce il coefficiente S.

La pericolosità sismica del territorio italiano viene espressa in termini di accelerazione massima del suolo come frazione dell'accelerazione di gravità ( $g$ ) con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni, riferita a suoli molto rigidi ( $V_s \geq 800 \text{ m/sec}$  – Cat A).

I valori base attribuiti di  $a_g$  per ciascuna zona del territorio siciliano sono quelli riportati nella tab. 2 e nella figura 12.

La mappa riportata in Fig 13 mostra come l'area di studio ricada in un'area con PGA con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni, cioè periodo di ritorno 475 a, compresa fra 0.050 g e 0.075 g. Questa è una scelta di parametri convenzionale e in particolare è il valore di riferimento per l'Eurocodice 8 (EC8), nel quale vengono stabilite le norme per il progetto e la costruzione di strutture.

<sup>1</sup> Stucchi M., Meletti C., Montaldo V., Akinci A., Faccioli E., Gasperini P., Malagnini L., Valensise G. (2004). Pericolosità sismica di riferimento per il territorio nazionale MPS04 [Data set]. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). <https://doi.org/10.13127/sh/mps04/ag>

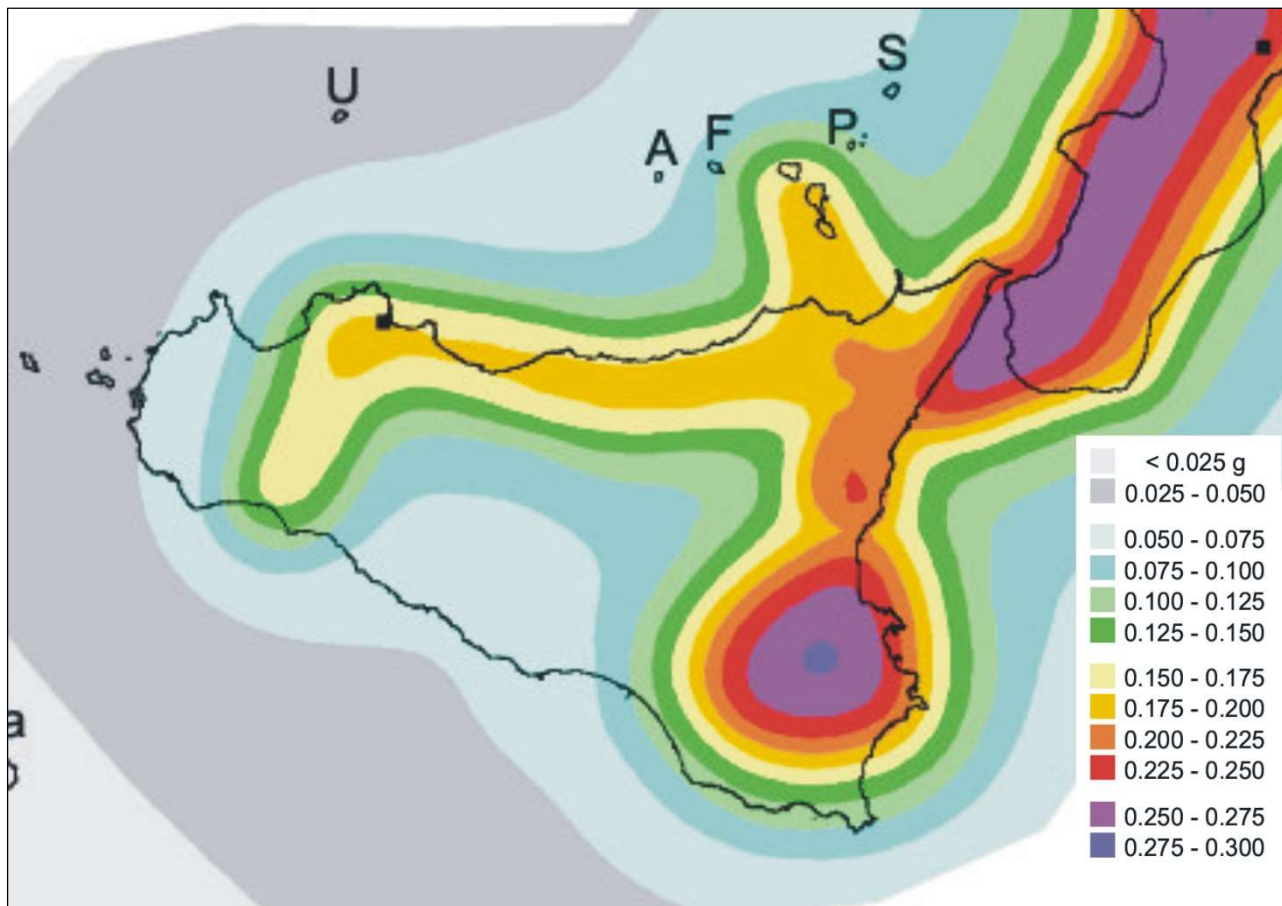


Fig. 12– Mappa della pericolosità sismica espressa in termini di accelerazione massima al suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli rigidi ( $VS > 800\text{ m/s}$ ), Ordinanza PCM del 28 aprile 2006 n. 3519, All. 1b; estratta da: <http://zonesismiche.mi.ingv.it>

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 ( $a_g$ ) su suolo rigido o pianeggiante, che ha una probabilità del 10% di essere superata in 50 anni.



<i>Zona sismica</i>	<i>Descrizione</i>	<i>accelerazione con probabilità di superamento del 10% in 50 anni [ag]</i>	<i>accelerazione orizzontale massima convenzionale (Norme Tecniche) [ag]</i>	<i>numero comuni con territori ricadenti nella zona (*)</i>
<b>1</b>	Indica la zona più pericolosa, dove possono verificarsi fortissimi terremoti.	$0,25 < ag \leq 0,35 \text{ g}$	0,35 g	740
<b>2</b>	Zona dove possono verificarsi forti terremoti.	$0,15 < ag \leq 0,25 \text{ g}$	0,25 g	2.367
<b>3</b>	Zona che può essere soggetta a forti terremoti ma rari.	$0,05 < ag \leq 0,15 \text{ g}$	0,15 g	3.014
<b>4</b>	E' la zona meno pericolosa, dove i terremoti sono rari ed è facoltà delle Regioni prescrivere l'obbligo della progettazione antisismica.	$ag \leq 0,05 \text{ g}$	0,05 g	1.791

Tabella 2

Il nuovo studio di pericolosità, allegato all'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274/2003, aggiornata con la Delibera della Giunta Regionale della Sicilia n. 81 del 24/02/2022, adottata con D.D.G. n. 64/S.03 del 11/03/2022, ha fornito alla Regione Siciliana uno strumento aggiornato per la classificazione del proprio territorio, introducendo degli intervalli di accelerazione (ag), da attribuire alle 4 zone sismiche.

Nella figura 13 sono riportate le zone sismiche in cui è suddiviso il territorio della regione siciliana, con evidenziate anche le aree ricadenti in 2° categoria nelle quali gli studi relativi alle strutture strategiche devono essere condotti con un grado di approfondimento simile a quello della zona 1. Il sito in esame ricade in Zona Sismica 2. Zona con pericolosità sismica media dove possono verificarsi forti terremoti. (Fig.13).

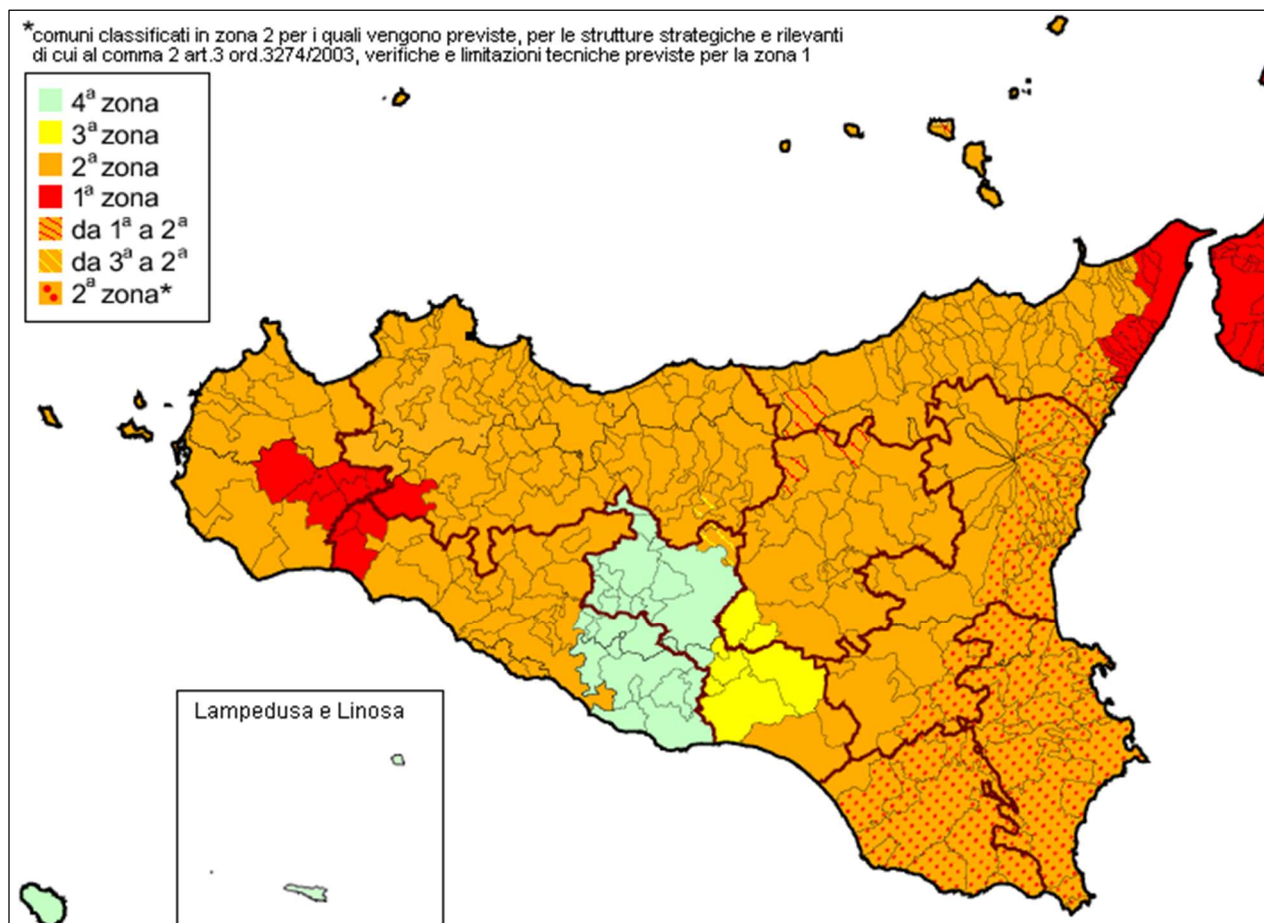


Figura 13 – Classificazione sismica comunale, Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274/2003, aggiornata con la delibera della Giunta Regionale della Sicilia n. 81 del 24/02/2022, adottata con D.D.G. n. 64/S.03 del 11/03/2022.

L'INGV, insieme al Dipartimento nazionale della Protezione Civile, ha sviluppato il Progetto S1 nell'ambito del quale è stata predisposta la mappa nazionale di pericolosità sismica dove vengono forniti, in una griglia regolare con passo 0,05°, i parametri di accelerazione al suolo in 'g' (accelerazione di gravità) con probabilità di superamento in 50 anni in funzione del periodo di ritorno (81%, 63%, 50%, 39%, 30%, 22%, 5% e 2% rispettivamente corrispondenti a periodi di ritorno di 30, 50, 72, 101, 140, 201, 475, 975, e 2475 anni).

I parametri significativi della pericolosità sismica sono disponibili, in forma interattiva, sul sito istituzionale del Progetto S1 dell'INGV.

Il sistema permette di ottenere anche, per ciascun nodo della griglia, il dettaglio in forma grafica e tabellare dell'analisi di disaggregazione (cioè il contributo delle possibili coppie di valori di magnitudo-distanza alla pericolosità del sito), nonché i valori medi di magnitudo.

La figura 14 che segue e i dati tabellati sono stati integralmente scaricati dal sito <https://esse1-gis.mi.ingv.it/> per l'area di studio, (considerando il punto baricentrico dell'impianto); tra 4 nodi della griglia di pericolosità sismica.

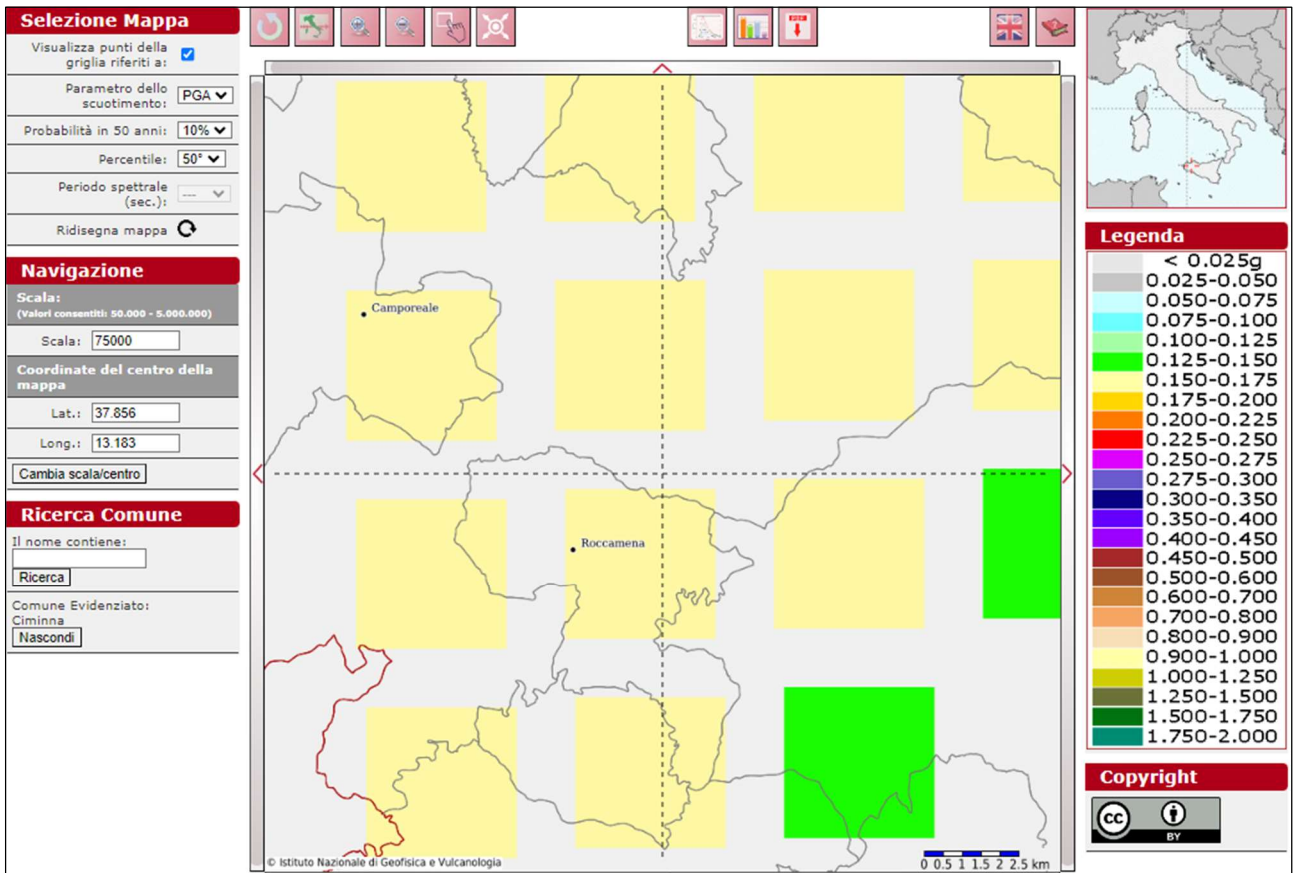


Figura 14 – Es. griglia di pericolosità sismica per il sito (Lat. 37.856-Long. 13.183) con probabilità in 50 anni al 5% e percentile al 50

Le tabelle che seguono riportano i valori della pericolosità sismica relativi all'area di interesse, questa è espressa in termini di accelerazione orizzontale massima al suolo (PGA) con probabilità di eccedenza del 2, 5, 10, 22, 30% in 50 anni, su suoli rigidi ( $V_S > 800$  m/s), come previsto dall'Ordinanza PCM del 28 aprile 2006 n. 3519, All. 1b, estratta da: <http://zonesismiche.mi.ingv.it>. Le stime di PGA sono state determinate con la tecnica di analisi statistica degli effetti stimati sulla base dei dati contenuti nei cataloghi sismici, proposta da Cornell (Cornell, 1968; Bender&Perkins, 1987; Gruppo di Lavoro MPS, 2004) e la loro incertezza è espressa mediante percentili, considerando il catalogo un campione rappresentativo dell'intera popolazione di eventi possibili con effetti significativi nel luogo.

Valori di accelerazione per frequenze annuali di eccedenza (Coordinate del punto: lat. 37.884 lon. 13.175 - id 46282)			
Frequenza annuale di eccedenza	PGA (g)		
	16° percentile	50° percentile	84° percentile
0.0004	0.2702	0.3219	0.3901
0.0010	0.1952	0.2265	0.2582
0.0021	0.1471	0.1695	0.1925
0.0050	0.0989	0.1164	0.1304
0.0071	0.0813	0.0980	0.1083
0.0099	0.0671	0.0831	0.0902
0.0139	0.0538	0.0694	0.0743
0.0199	0.0408	0.0563	0.0592
0.0332	0.0266	0.0403	0.0422

Valori di accelerazione per frequenze annuali di eccedenza (Coordinate del punto: lat. 37.885 lon. 13.238 - id 46283)			
Frequenza annuale di eccedenza	PGA (g)		
	16° percentile	50° percentile	84° percentile
0.0004	0.2578	0.3061	0.3674
0.0010	0.1855	0.2167	0.2450
0.0021	0.1390	0.1631	0.1816
0.0050	0.0934	0.1129	0.1237
0.0071	0.0768	0.0952	0.1035
0.0099	0.0633	0.0806	0.0874
0.0139	0.0513	0.0677	0.0725
0.0199	0.0394	0.0554	0.0584
0.0332	0.0266	0.0404	0.0424

Valori di accelerazione per frequenze annuali di eccedenza (Coordinate del punto: lat. 37.835 lon. 13.238 - id 46505)			
Frequenza annuale di eccedenza	PGA (g)		
	16° percentile	50° percentile	84° percentile
0.0004	0.2452	0.2918	0.3496
0.0010	0.1753	0.2055	0.2341
0.0021	0.1306	0.1540	0.1747
0.0050	0.0864	0.1057	0.1183
0.0071	0.0708	0.0892	0.0986
0.0099	0.0580	0.0757	0.0827
0.0139	0.0468	0.0634	0.0688
0.0199	0.0362	0.0524	0.0558
0.0332	0.0241	0.0385	0.0401

Valori di accelerazione per frequenze annuali di eccedenza (Coordinate del punto: lat. 37.834 lon. 13.175 - id 46504)			
Frequenza annuale di eccedenza	PGA (g)		
	16° percentile	50° percentile	84° percentile
0.0004	0.2659	0.3168	0.3847
0.0010	0.1914	0.2221	0.2551
0.0021	0.1434	0.1657	0.1904
0.0050	0.0957	0.1133	0.1285
0.0071	0.0782	0.0950	0.1053
0.0099	0.0641	0.0800	0.0877
0.0139	0.0512	0.0668	0.0721
0.0199	0.0386	0.0543	0.0575
0.0332	0.0249	0.0389	0.0406

Valori di PGA stimati per l'area di studio per differenti livelli di probabilità in 50 anni, o equivalentemente differenti periodi di ritorno, e per diverso percentile. I dati sono stati estratti dalla mappa digitale della pericolosità sismica presente al sito <http://esse1.mi.ingv.it/> e risultano riferiti a suoli rigidi ( $V_S > 800/m$ )

## 8. AMPLIFICAZIONE DELL'AZIONE SISMICA ED EFFETTI COSISMICI

Da quanto sopra riportato emerge chiaramente che il territorio in cui ricade la zona di studio si colloca in un'area sismica in cui resta sicuramente confermato l'interesse a definire il pericolo sismico anche in relazione a possibili effetti sul suolo indotti dal passaggio delle onde sismiche.

L'analisi geologico tecnica e sismica deve prestare attenzione agli scenari di hazardsismico, riconducibili alle seguenti situazioni:

- a** - situazioni in cui gli effetti cosismici si possono risolvere in una amplificazione dell'azione sismica.
  - b** - situazioni in cui gli effetti cosismici sono rappresentati da rotture superficiali per faglie e da instabilità dei pendii;
  - c** - situazioni in cui gli effetti cosismici possono essere rappresentati da fenomeni di densificazione e/o liquefazione dei terreni;
- La pericolosità sismica locale in termini di scuotibilità (**Caso A**) può essere influenzata dalla stratigrafia e dalla topografia. Pertanto si è reso necessario valutare l'effetto della risposta sismica locale, tenendo in considerazione la possibile amplificazione stratigrafica e topografica.

Le NTC 2018 individuano 5 "categorie di sottosuolo" (Tabella 3.2.II delle N.T.C.) la cui identificazione avviene mediante l'esecuzione di apposite indagini geofisiche (masw, Hvsr ecc.) e che consente di stimare il fattore  $S_s$  che interviene nelle espressioni utilizzate per la definizione degli spettri elastici di progetto.

Tab. 3.2.II - Categorie di sottosuolo per l'approccio semplificato

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

Tali effetti sono legati alla successione stratigrafica presente nei 30 metri sotto il piano di posa delle fondazioni ed in particolare sono legati oltre che alla successione stratigrafica anche alle proprietà meccaniche dei terreni, alla geometria del contatto tra il substrato rigido e i terreni sovrastanti ed alla geometria dei contatti tra gli strati di terreno.

I risultati delle MASW eseguite hanno individuato una tipologia di suolo di fondazione riconducibile alla Categoria C i cui risultati sono riportati di seguito al paragrafo indagini geofisiche.

Grazie alla conoscenza delle categorie di sottosuolo è stato possibile stimare i coefficienti  $S_s$  e  $C_c$ , che entrano in gioco nel calcolo dell'accelerazione max del sito, secondo la seguente tabella di riferimento (tabella 3.2.IV delle NTC 2018).

**Tabella 3.2.V – Espressioni di  $S_s$  e di  $C_c$**

Categoria sottosuolo	$S_s$	$C_c$
<b>A</b>	1,00	1,00
<b>B</b>	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,20$	$1,10 \cdot (T_C^*)^{-0,20}$
<b>C</b>	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,50$	$1,05 \cdot (T_C^*)^{-0,33}$
<b>D</b>	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,80$	$1,25 \cdot (T_C^*)^{-0,50}$
<b>E</b>	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,60$	$1,15 \cdot (T_C^*)^{-0,40}$

Il calcolo eseguito ha consentito di stimare che il coefficiente di amplificazione stratigrafica è pari a 1,38.

Gli "effetti topografici" sono legati alla configurazione topografica del piano campagna. La modifica delle caratteristiche del moto sismico per effetto della geometria superficiale del terreno è dovuta alla focalizzazione delle onde sismiche in prossimità della cresta dei rilievi a seguito dei fenomeni di riflessione delle onde sismiche ed all'interazione tra il campo d'onda incidente e quello diffratto. I fenomeni di amplificazione cresta-base aumentano in proporzione al rapporto tra l'altezza del rilievo e la sua larghezza. In base a questi presupposti si può classificare i vari siti di costruzione in funzione della tabella 4 di seguito riportata.

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
<b>T1</b>	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
<b>T2</b>	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
<b>T3</b>	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
<b>T4</b>	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

Tabella 4

La classificazione delle categorie topografiche riportata in precedenza individua come categoria topografiche la **T1**.

Grazie alla stima di queste categorie è stato possibile stimare il coefficiente  $S_t$  che entra in gioco nel calcolo dell'accelerazione max del sito, secondo la seguente tabella 5 di riferimento (tabella 3.2.V delle NTC 2018).

<b>Categoria topografica</b>	<b>Ubicazione dell'opera e dell'intervento</b>	<b>S<sub>T</sub></b>
<b>T1</b>		<b>1,0</b>
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media minore o uguale a 30°	1,2
T4	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media maggiore di 30°	1,4

Tabella 5

Con riferimento al “**Caso B**” è da escludere l’instaurarsi di faglie (rottture superficiali) perché come descritto precedentemente nell’area in esame e nelle aree circostanti non sono presenti faglie attive e capaci e non sono presenti sorgenti sismogenetiche. Per quanto concerne la instabilità dei pendii è un fenomeno da escludere per la totale assenza di fenomeni attivi o inattivi e cause innescanti (vedi relazione geologica) e laddove presenti non sono state previste strutture.

Infine, con riferimento al “**Caso C**” valgono le considerazioni fatte al capitolo liquefazione che portano ad escludere la possibilità di fenomeni di densificazione e/o liquefazione dei terreni.

## 8.1. Liquefazione

In fase di progettazione e di verifiche sismiche di un qualsiasi manufatto, è necessario che si riscontri la stabilità dello stesso alla liquefazione. La stessa definisce quei fenomeni associati alla perdita di resistenza al taglio o ad accumulo di deformazioni plastiche in terreni saturi, prevalentemente sabbiosi, sollecitati da azioni cicliche e dinamiche che agiscono in condizioni non drenate. Se il terreno risulta suscettibile di liquefazione e gli effetti conseguenti appaiono tali da influire sulle condizioni di stabilità di pendii o manufatti, occorre procedere ad interventi di consolidamento del terreno e/o trasferire il carico a strati di terreno non suscettibili di liquefazione.

## 8.2. Esclusione della verifica a liquefazione

Nel caso si manifesti almeno una delle circostanze indicate dalle Norme Tecniche per le Costruzioni, la verifica a liquefazione può essere omessa. Di seguito sono indicate le condizioni di riferimento:

1. Accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1 g.

Per il calcolo dell’accelerazione massima vanno considerate l’accelerazione di base  $a_g$  e l’amplificazione  $S$ , data dal prodotto tra l’amplificazione stratigrafica  $S_s$  e quella topografica  $S_t$ :

$$a_{max} = a_g + S = a_g + S_s * S_t$$

Considerato che il valore di  $a_g$  per il sito considerato è uguale a 0,6 g, che il valore del coefficiente di amplificazione sismica  $maxS$  è pari a 1,38 e che il valore del coefficiente di amplificazione topografica  $S$  è pari a 1 il loro prodotto restituisce un valore

di accelerazione al suolo per lo stato limite SLV è pari a 0,882 la quale è superiore al limite definito di 0,1. Dunque questa circostanza risulta **non verificata**.

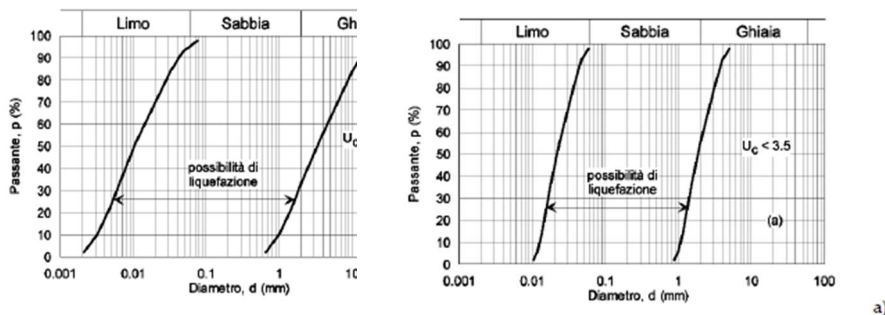
2. Profondità media stagionale della falda superiore a 15 metri dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali.

Circostanza **verificata** in quanto la falda è assente e pertanto non saranno suscettibili a fenomeni di liquefazione.

3. Depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata  $(N1) 60 > 30$  oppure  $qc1N > 180$  dove  $(N1)60$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e  $qc1N$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (ConePenetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa.

La circostanza risulta **non verificata** in quanto non siamo in presenza di sabbie pulite anche se il valore della resistenza normalizzato  $(N1) 60$  risulta essere ad alcune profondità maggiore del valore soglia di 30 indicato.

4. Distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella figura seguente (a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c < 3,5$  e nella figura seguente (b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c > 3,5$ . Non sono state effettuate delle analisi granulometriche sui terreni, ma la natura sabbiosa e ghiaiosa dei depositi porta a considerare che tali depositi siano esterni al fuso indicante la possibilità di liquefazione. Dunque questa circostanza risulta **non verificata**.



Come descritto in precedenza, una delle quattro circostanze (la numero 2) definite dalle Norme Tecniche per le Costruzioni 2018 risulta verificata facendo sì che la verifica a liquefazione non sia necessaria in questa fase progettuale.

### 8.3. Stima della pericolosità sismica locale

Al fine di individuare le azioni sismiche è necessario caratterizzare le forme spettrali di sito. In accordo con quanto previsto dalle Norme Tecniche per le Costruzioni 2018, occorre preventivamente fissare: la vita di riferimento VR della costruzione; le probabilità di superamento nella vita di riferimento PVR associate a ciascuno degli stati limite considerati.

Per il progetto in oggetto si considerano:

- **Classe d'uso** = IV; (Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al D.M. 5 novembre 2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica).

- **Coefficiente d'uso**  $C_u = 2$ ;



- Vita nominale  $\geq$  50 anni;
- Periodo di riferimento per l'azione sismica VR = 100 anni;
- Categoria sottosuolo: C
- Categoria topografica: T1

Per il Sito (Vedi Fig. 15) di coordinate medie (ED50) - WGS84 sono: lat.37,857066; long. 13,183859 si ricavano i seguenti parametri sismici.

Siti di riferimento				
Sito 1	ID: 46504	Lat: 37,8345	Lon: 13,1753	Distanza: 2623,306
Sito 2	ID: 46505	Lat: 37,8346	Lon: 13,2384	Distanza: 5397,057
Sito 3	ID: 46283	Lat: 37,8847	Lon: 13,2382	Distanza: 5668,720
Sito 4	ID: 46282	Lat: 37,8845	Lon: 13,1750	Distanza: 3144,408



Fig. 15

### STATI LIMITE

Stato Limite	Tr [anni]	$a_g$ [g]	Fo	Tc* [s]
Operatività (SLO)	60	0.061	2.337	0.253
Danno (SLD)	101	0.080	2.340	0.266
Salvaguardia vita (SLV)	949	0.217	2.481	0.309
Prevenzione collasso (SLC)	1950	0.285	2.516	0.327
Periodo di riferimento per l'azione sismica:	100			

### PARAMETRI SISMICI

	SLO	SLD	SLV	SLC
SS Amplificazione stratigrafica	1,50	1,50	1,38	1,27
CC Coeff. funz categoria	1,65	1,63	1,55	1,52
ST Amplificazione topografica	1,00	1,00	1,00	1,00

### COEFFICIENTI SISMICI

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.012	0.012	0.017	0.017
kv	0.006	0.006	0.009	0.009
Amax [m/s <sup>2</sup> ]	0.600	0.600	0.600	0.600
Beta	0.200	0.200	0.280	0.280

## 9. SISMICITA' DEL SITO E CARATTERISTICHE DEL SUOLO DI FONDAZIONE

La normativa nazionale sulla nuova classificazione sismica del territorio nazionale, di cui all'O.P.C.M. n. 3274 del 20.03.2002 e la riclassificazione sismica Regionale proposta con la Deliberazione della Giunta Regionale n. 81 del 24/02/2022 adottata con D.D.G. n. 64/S.03 del 11/03/2022 colloca il territorio di studio) nella "Zona sismica 2".

Zona sismica	Descrizione	accelerazione con probabilità di superamento del 10% in 50 anni [a <sub>g</sub> ]	accelerazione orizzontale massima convenzionale (Norme Tecniche) [a <sub>g</sub> ]	numero comuni con territori ricadenti nella zona (*)
1	Indica la zona più pericolosa, dove possono verificarsi fortissimi terremoti.	0,25 < a <sub>g</sub> ≤ 0,35 g	0,35 g	740
2	Zona dove possono verificarsi forti terremoti.	0,15 < a <sub>g</sub> ≤ 0,25 g	0,25 g	2.367
3	Zona che può essere soggetta a forti terremoti ma rari.	0,05 < a <sub>g</sub> ≤ 0,15 g	0,15 g	3.014
4	E' la zona meno pericolosa, dove i terremoti sono rari ed è facoltà delle Regioni prescrivere l'obbligo della progettazione antisismica.	a <sub>g</sub> ≤ 0,05 g	0,05 g	1.788

*Zone sismiche sulla base del valore dell'accelerazione orizzontale massima (a<sub>g</sub>) su suolo rigido o pianeggiante, che ha una probabilità del 10% di essere superata in 50 anni.*

Al fine di valutare la velocità delle onde S nei primi 30 metri sono state eseguite delle indagini sismiche di tipo MASW che analizzando la dispersione delle onde di **Rayleigh** hanno consentito di determinare il profilo verticale della VS e di conseguenza del parametro Vs equivalente sul sito dell'impianto.

Pertanto in accordo con le norme tecniche per le costruzioni (DM 17/01/2018) le aree che saranno interessate dal presente studio fig. 16 ricadono su terreni ascrivibili alla seguente Categoria di sottosuolo **C: Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.** (MASW 1 – 2 – 3 – 4 – 5 – 6);

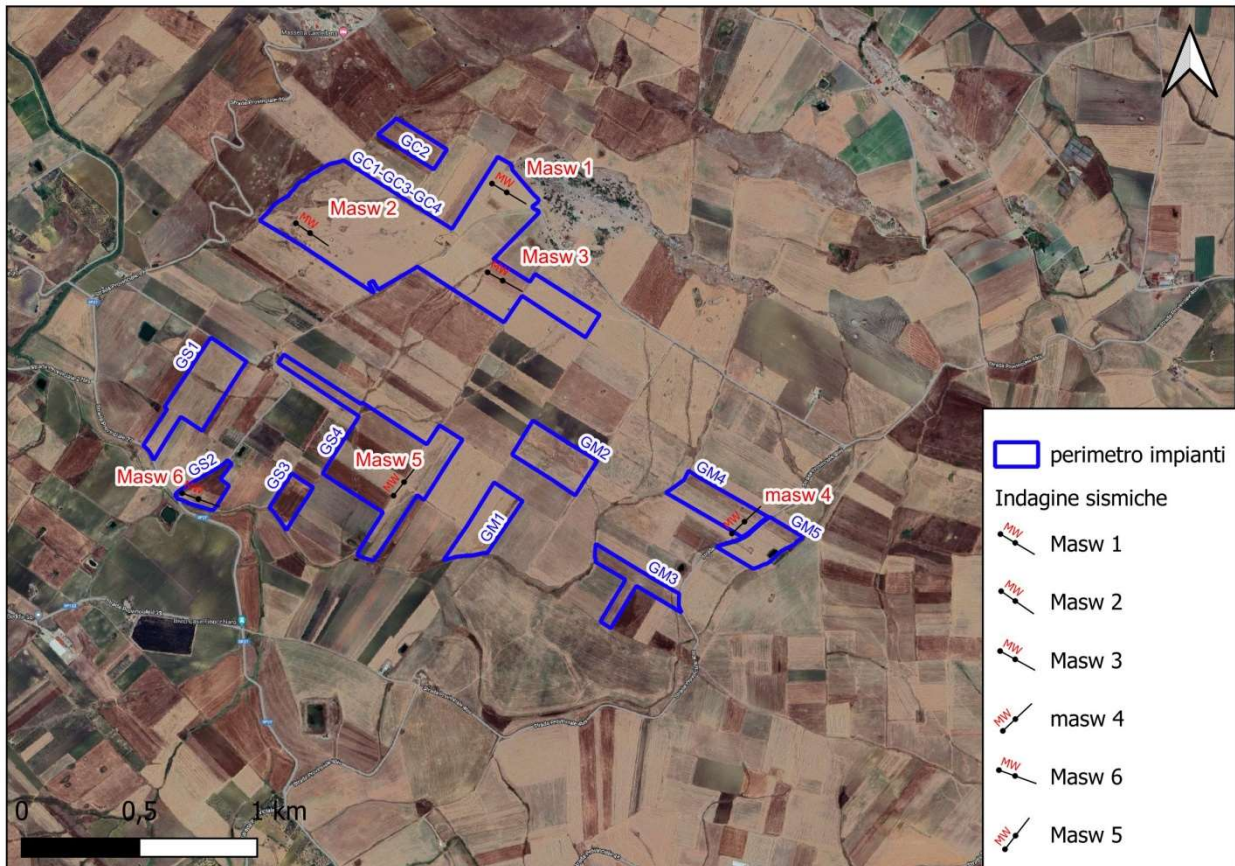


Fig. 16 - Indagini MASW

## 10. INDAGINI SISMICHE MASW

La finalità delle indagini di seguito descritte è stata quella di accertare i valori di velocità delle onde S dei vari sismostrati, utili a ricavare la categoria di suolo di fondazione. In tale ottica si è proceduto alla esecuzione di n° 6 indagini sismiche di tipo MASW eseguite nell'area d'intervento vedi fig.16.

### 10.1. Generalità delle indagini sismiche (MASW)

Lo studio sugli effetti di sito è un aspetto fondamentale nella valutazione e mitigazione del rischio sismico. Tale studio si effettua in termini di risposta sismica locale, partendo dal concetto di amplificazione del moto sismico che si origina dal basamento roccioso (definito *bedrock* sismico) e che si propaga all'interno di un deposito sino a raggiungere la superficie. Valutare questi effetti non è sempre del tutto facile anche perché, in molti casi, l'amplificazione è dovuta ai cosiddetti fenomeni di risonanza nei terreni stratificati posti al di sopra del *bedrock*, di riflessione e rifrazione delle onde sismiche nelle interfacce di discontinuità e tra mezzi a diversa densità, dove le onde vengono per così dire "intrapolate" e successivamente trasmesse allo strato più superficiale generando così onde di tipo Love e di Rayleigh. A questi, poi, si aggiunge l'effetto di focalizzazione del raggio sismico nelle zone morfologicamente più acclive. Sul territorio italiano la valutazione degli effetti della risposta sismica locale viene fatta sulla base delle vigenti norme tecniche per le costruzioni pubblicate in *GU n.42 del 20/02/2018 - Suppl. Ordinario n. 8*. In particolare per situazioni riconducibili alle categorie definite in Tab. 3.2.II di cui al § 3.2.2 si può fare riferimento ad un approccio semplificato basato sui valori di velocità di propagazione delle onde di taglio,  $V_s$ , che costituiscono parte integrante della carat-

terizzazione geotecnica dei terreni compresi nel volume significativo di cui al § 6.2.2. In tal caso si calcola la velocità equivalente con la seguente espressione:

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

$h_i$  lo spessore in metri dell' $i$ esimo strato di terreno;

$V_{S,i}$  la velocità dell'onda di taglio media corrispondente;

N il numero di strati;

H 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  $V_{S,eq}$  è definita dal parametro  $V_{S,30}$  dove H = 30 m considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Mentre per tutti quei casi non rientranti è richiesta una specifica analisi della risposta sismica locale, così come previsto al § 7.11.3.

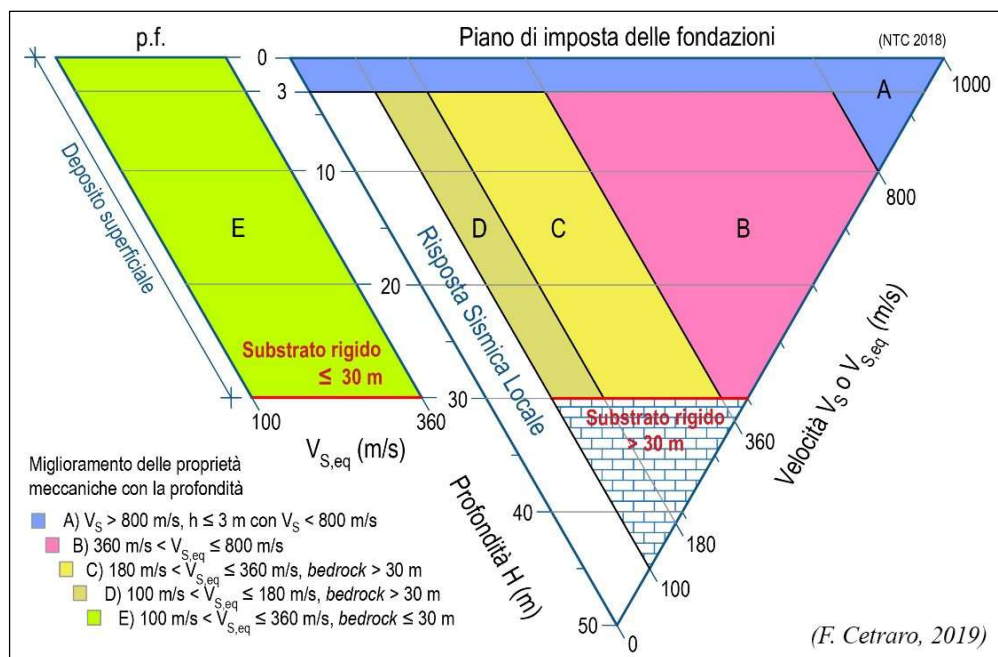


Fig. 17 – Diagramma per le categorie di sottosuolo secondo i riferimenti del § 3.2.2 delle NTC 2018.

Tabella 3 - Categorie di sottosuolo per l'approccio semplificato (Tab. 3.2.11 delle NTC 2018).

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
<b>A</b>	<b>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</b> 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>	<b>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti</b> , 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>	<b>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti</b> 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>	<b>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fine scarsamente consistenti</b> , 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>	<b>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D</b> , con profondità del substrato non superiore a 30 m.

## 10.2. Piani di riferimento per le opere di fondazione

Ricordando che per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali. Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell'opera. Per muri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano di imposta della fondazione.

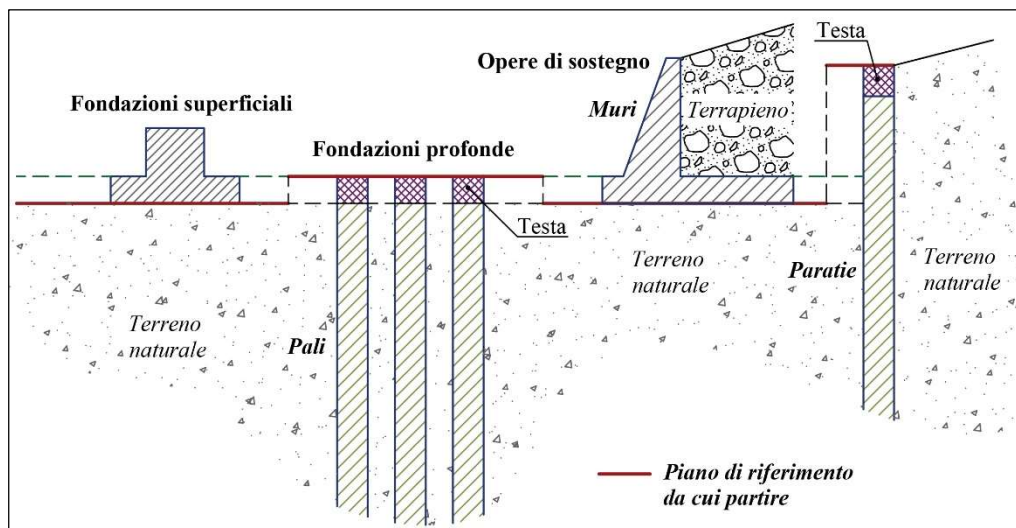


Fig. 18 – Schemi di riferimento richiamati al § 3.2.2 delle NTC 2018.

### 10.3. Interpretazione delle acquisizioni

Il metodo MASW (Multi-channel Analysis of Surface Waves, analisi della dispersione delle onde di **Rayleigh** da misure di sismica attiva) è una tecnica di indagine non invasiva per la definizione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali Vs. Nel suo insieme, le procedure adottate sono state eseguite in accordo con le norme tecniche per le costruzioni DM 17 gennaio 2018 (ex DM 14/01/2008 e sua circolare esplicativa 2 febbraio 2009, n. 617 - Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni").

L'analisi dei dati ha consentito di definire i valori del profilo verticale VS ed ottenere una stima del Vs equivalente alla quota del piano di campagna. Tale metodica si basa sulla misurazione e interpretazione di tre tipi di onde:

1. Onde superficiali
2. Onde di Rayleigh
3. Onde di Love

(nel dominio del tempo) in corrispondenza di diversi sensori (accelerometri o geofoni) posti sulla superficie del suolo e la successiva analisi nel dominio della frequenza. Il metodo di indagine MASW si distingue in metodo attivo e metodo passivo (Zywicki, D.J.1999) o in una combinazione di entrambi. Nel metodo attivo, come nel caso in esame, le onde superficiali generate in un punto sulla superficie del suolo con mazza battente, sono misurate da uno stendimento lineare di sensori. Nel metodo passivo (REMI) lo stendimento dei sensori può essere sia lineare, sia circolare e si misura il rumore ambientale di fondo esistente.

#### **PRINCIPI DEL METODO DI PROVA**

Come sopra detto questa metodologia consente di determinare il profilo di velocità delle onde di taglio verticali VS basandosi sulla misura delle onde superficiali. In particolare, quelle con bassi valori di lunghezze d'onda (alte frequenze) interessano gli strati superficiali, mentre quelle a maggior lunghezza d'onda (minore frequenza) interessano anche gli strati più profondi. Le onde di Rayleigh in un semispazio omogeneo sono non dispersive, mentre in presenza di un mezzo stratificato, l'avanzamento di un fronte d'onda si deforma in rapporto alla velocità di propagazione (nel singolo strato) in funzione della frequenza, quindi differenti frequenze hanno velocità di propagazione diverse (comportamento dispersivo).

La velocità di propagazione delle onde di Rayleigh ( $V_r$ ) e delle onde di taglio ( $V_s$ ) sono dipendenti e sono legate dalla relazione (Richart et al. 1970):

$$V_r^6 - 8V_s^2 V_r^4 + (24 - 16\nu^2/\nu_p^2) V_s^4 V_r^2 + (16V_s^6/\nu_p^6 - 1) V_s^6 = 0$$

Pertanto, la velocità di propagazione delle onde di Rayleigh ( $V_r$ ) è leggermente inferiore alla velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ), ovvero secondo Achenbach (1999):

$$V_r = (0.862 + 1.14 \nu / (1 + \nu)) V_s$$

$$\nu = \text{modulo di poisson}$$

che significa che al variare di  $\nu$ , la  $V_r$  è inferiore rispetto alla  $V_s$  di un valore compreso tra 0.862 e 0.955 traducendosi nel fatto che misurando la  $V_r$  si ottiene la  $V_s$  con un errore di calcolo del tutto trascurabile potendosi così scrivere la relazione  $V_r = 0.91V_s \pm 0.046$ .

#### **ANALISI DEI DATI**

L'analisi dei dati è suddivisa in due stadi: la determinazione della "curva di dispersione" (calcolo della velocità di fase) e l'inversione della curva per ottenere un modello 1D velocità/profondità.

## **CURVA DI DISPERSIONE**

La "Curva di dispersione" si ottiene da una analisi spettrale del sismogramma che trasforma il moto misurato, dal dominio "spazio-tempo" al dominio frequenza-numero d'onda" e parallelamente al dominio "velocità di fase-frequenza". Sul diagramma di fig. 19 bisogna ricostruire la curva di dispersione sperimentale interpretando l'andamento delle massime ampiezze del modo fondamentale delle onde di Rayleigh (Ivanov et al., 2001), discriminando le riflessioni indotte da orizzonti più rigidi, riflessioni multiple, onde d'aria e onde guidate (Baker, 1999) che possono provocare gravi errori interpretativi.

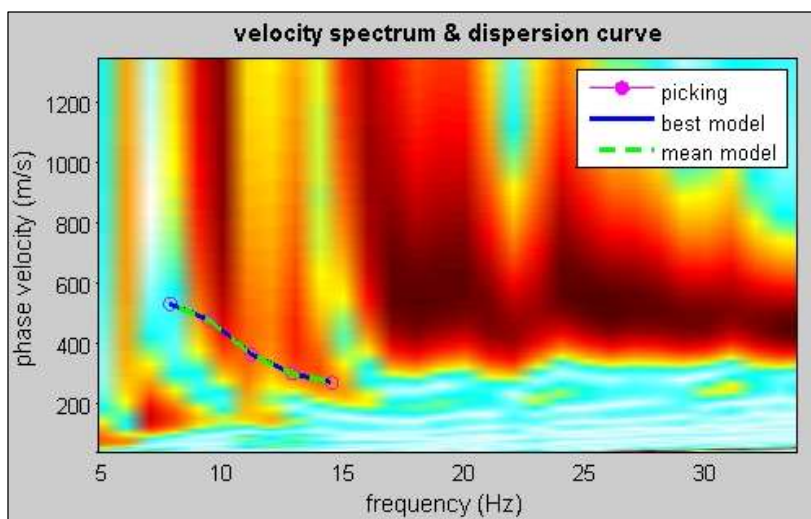


Fig. 19

## **INVERSIONE DELLA CURVA DI DISPERSIONE**

Successivamente al riconoscimento ed al tracciamento della curva di dispersione, si passa alla ricostruzione della curva di dispersione teorica attraverso la formulazione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali  $V_s$ . Il modello di inversione verrà vincolato attraverso l'inserimento di un range di possibili spessori, di velocità delle onde  $V_S$  e di coefficienti di Poisson ( $\nu$ ). L'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. Il prodotto ottenuto sarà un diagramma che esprimerà valori delle velocità delle onde di taglio ( $S$ ) associati a spessori e profondità di un mezzo stratificato reale. La profondità d'indagine è direttamente dipendente dalla minima frequenza riconoscibile nella curva di dispersione.

## **STRUMENTAZIONE UTILIZZATA E GEOMETRIA DELLO STRUMENTO**

Per eseguire la prova sono state utilizzate le seguenti attrezzature:

Sismografo DOLANG modello DBS280 digitale, 24 canali, 24 bit ;

12 Trasduttori di velocità del moto del suolo a componente verticale con frequenza propria = 10 Hz (geofoni);

Sistema di energizzazione costituito da massa battente di 8 kg dotata di starter piezoelettrico e piastra di battuta.

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:

- 12 geofoni con interspazio ( $G_x$ ) di 2 metri;
- n. 1 energizzazioni ad offset ( $S_x$ ) -5 m;
- passo temporale di campionamento pari a 1,2 msec ;
- tempo di acquisizione 1,24 sec.



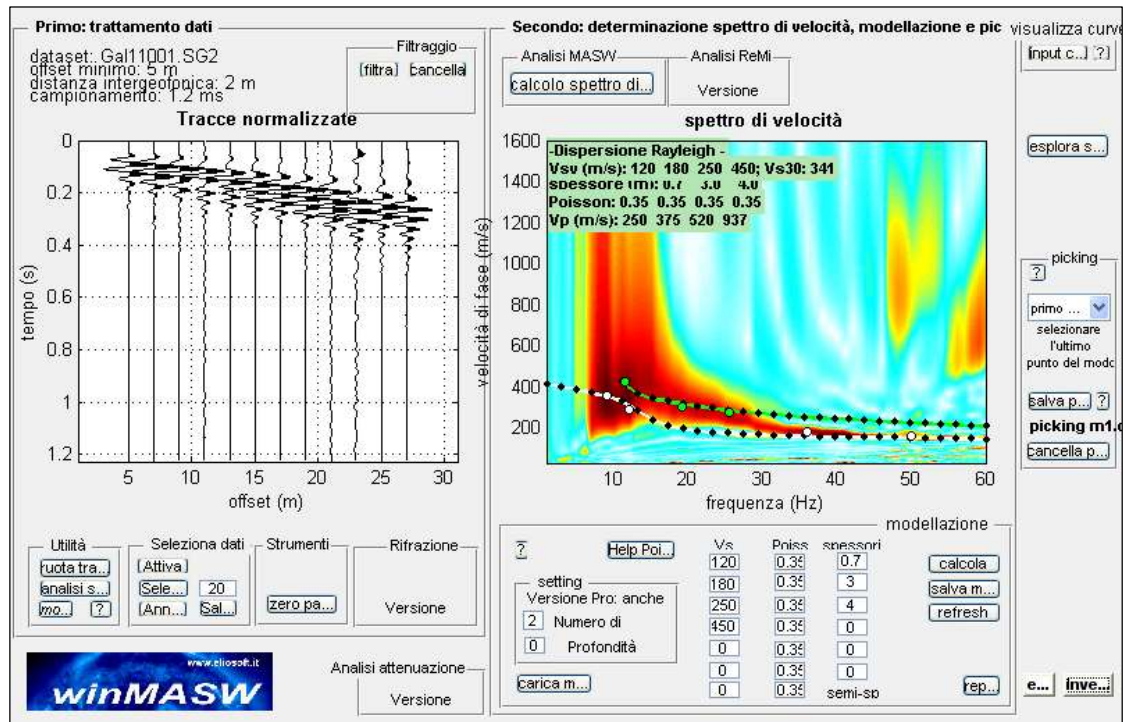
### **ELABORAZIONE DATI**

Per l'elaborazione della prova e stato utilizzato il software "WinMASW 4.1 Std" della Eliosoft. I dati MASW sono stati elaborati (determinazione spettro di velocità, identificazione curve di dispersione, inversione di queste ultime) per ricostruire il profilo verticale della velocità delle onde di taglio (VS).

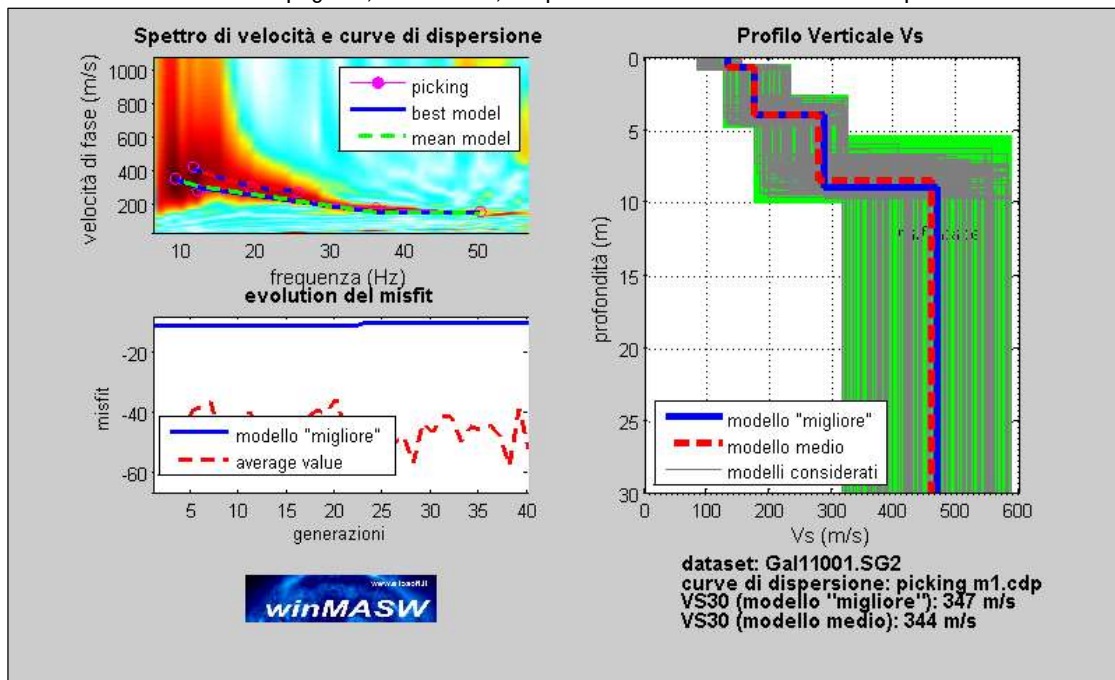
## 10.4. Indagine sismica MASW 1

Lo stendimento masw è stato eseguito sull'area ove sarà realizzato l'omonimo campo con il seguente set-up:

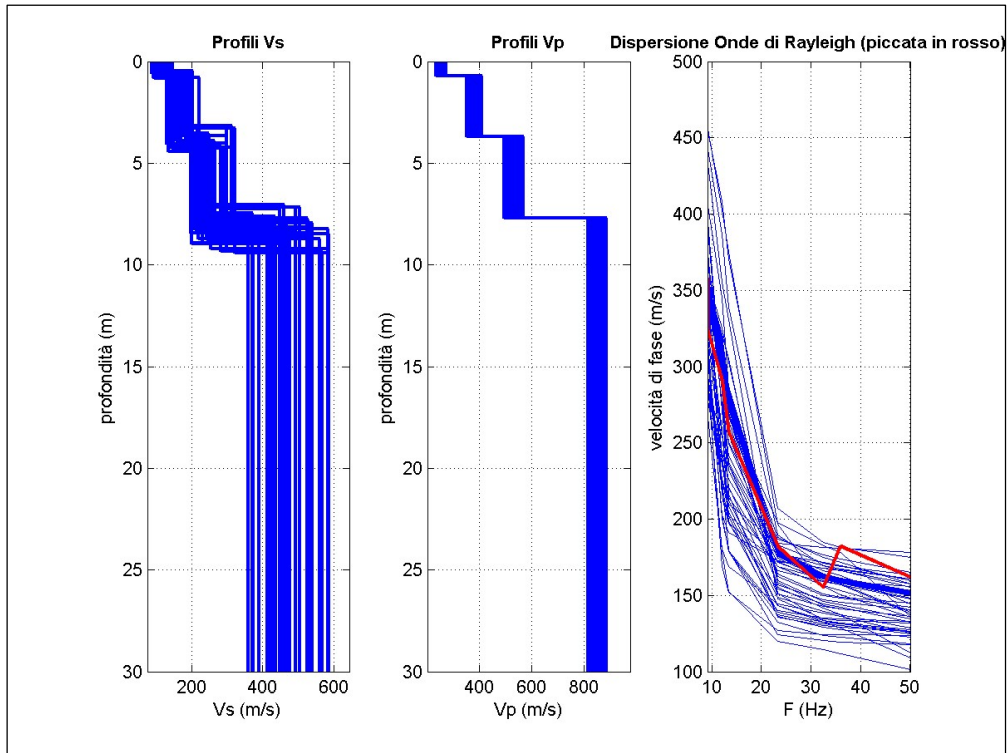
- 12 geofoni con interspazio (Gx) di 2 metri;
- n. 1 energizzazioni ad offset (Sx) -5 m;
- passo temporale di campionamento pari a 1,2 msec;
- tempo di acquisizione 1,2 sec



Sulla sinistra i dati di campagna e, sulla destra, lo spettro di velocità con la curva di dispersione identificata

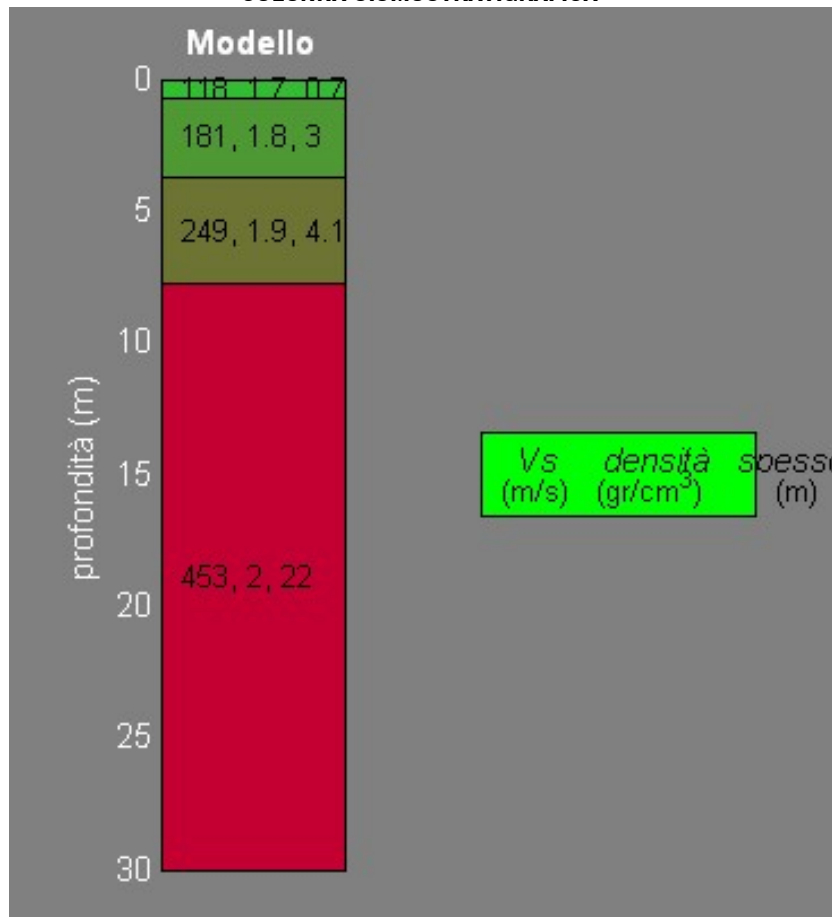


In alto a sinistra: spettro osservato, curve di dispersione piccate e curve del modello individuato dall'inversione. Sulla destra il profilo verticale VS identificato



In basso a sinistra l'evolversi del modello al passare delle "generazioni" (l'algoritmo utilizzato per l'inversione delle curve di dispersione appartiene alla classe degli Algoritmi Genetici).

**COLONNA SISMOSTRATIGRAFICA**



### TABELLA RIASSUNTIVA DEI RISULTATI OTTENUTI

Sismostrato (n°)	Profondità in metri dal p.c. (m)	Spessore (m)	Velocità onde S (m/s)
1	0.7	0.7	118
2	3.7	3.0	181
3	7.8	4.1	249
4	30,0	semispazio	453

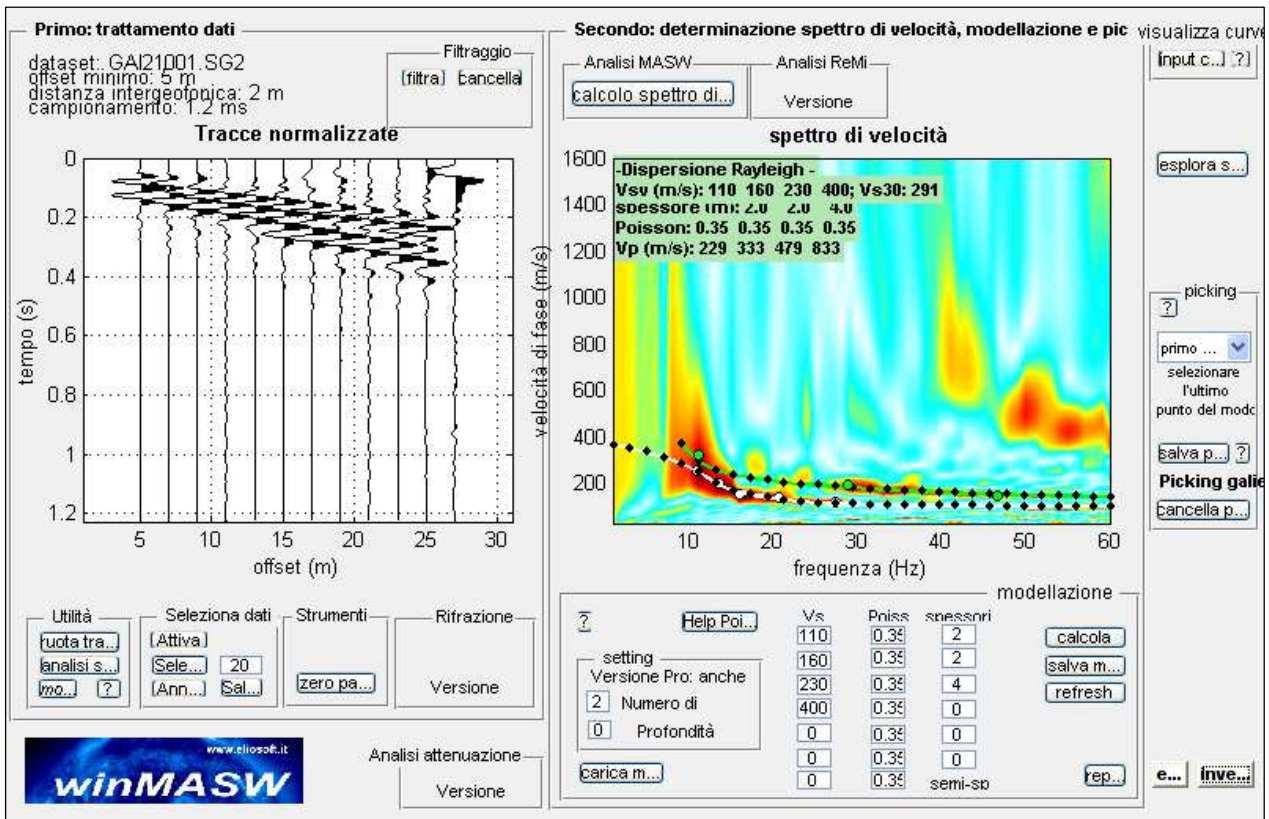
$V_{s30}$  al piano di campagna =  $V_s$  equivalente = **341 m/s** Categoria di suolo di fondazione = **C**

**Categoria di suolo di fondazione** = C - Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 m caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e valori del  $V_s$  equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.

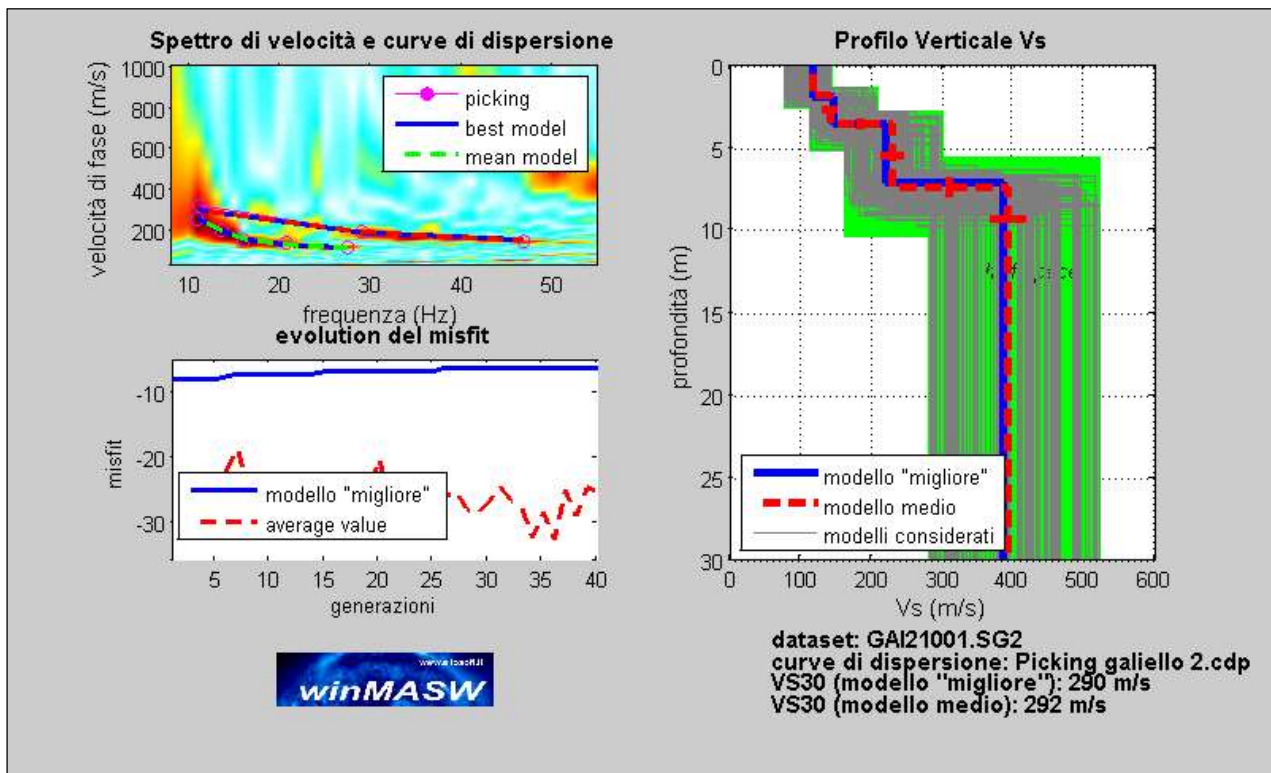
### Documentazione fotografica



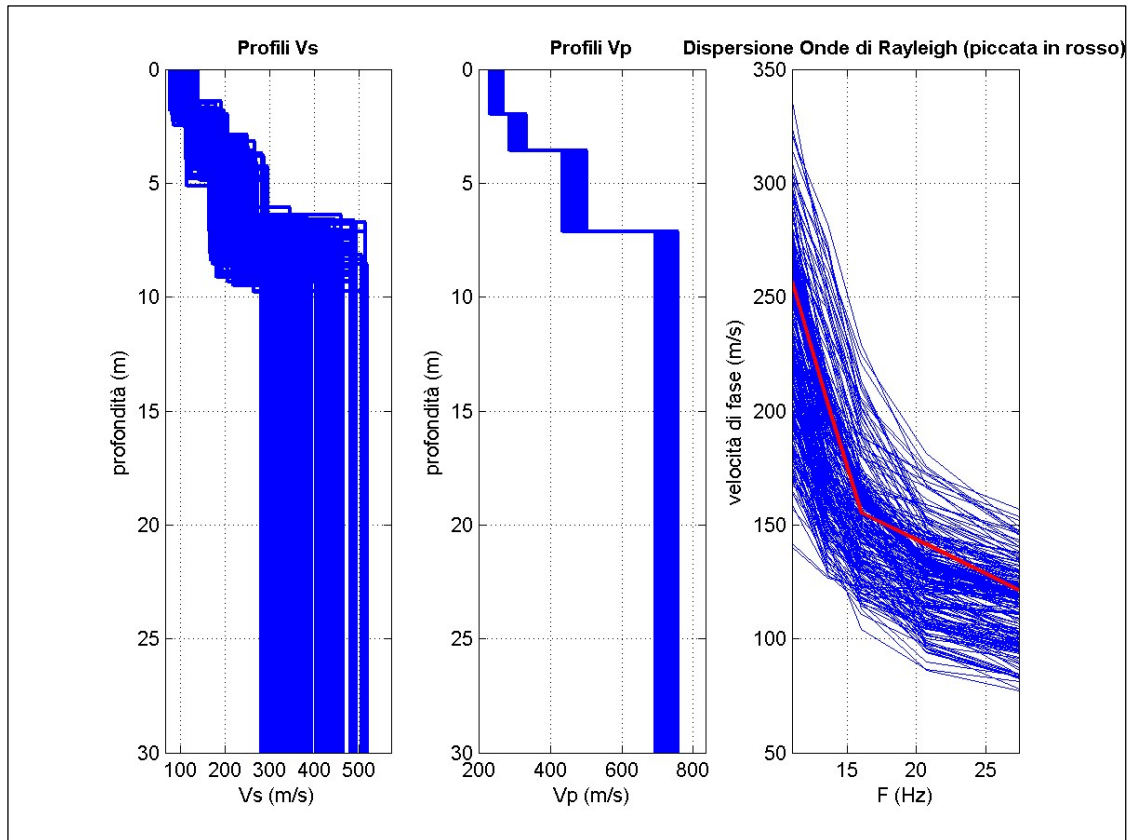
## 10.5. Indagine sismica MASW 2



Sulla sinistra i dati di campagna e sulla destra lo spettro di velocità con la curva di dispersione identificata.



In alto a sinistra: spettro osservato, curve di dispersione piccate e curve del modello individuato dall'inversione. Sulla destra il profilo verticale VS identificato



In basso a sinistra l'evolversi del modello al passare delle "generazioni" (l'algoritmo utilizzato per l'inversione delle curve di dispersione appartiene alla classe degli Algoritmi Genetici).

### COLONNA SISMOSTRATIGRAFICA

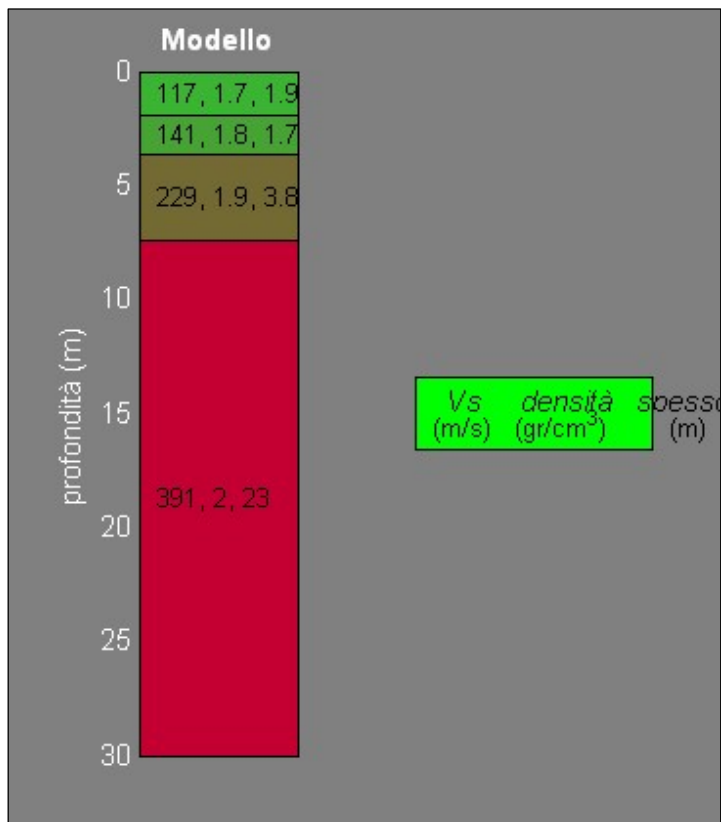


TABELLA RIASSUNTIVA DEI RISULTATI OTTENUTI

Sismostrato (n°)	Profondità in metri dal p.c. (m)	Spessore (m)	Velocità onde S (m/s)
1	0.75	1.9	117
2	2.45	1.7	141
3	6.25	3.8	229
4	30	semispazio	391

$V_{s30}$  al piano di campagna = Vs equivalente = **292 m/s** Categoria di suolo di fondazione = **C**

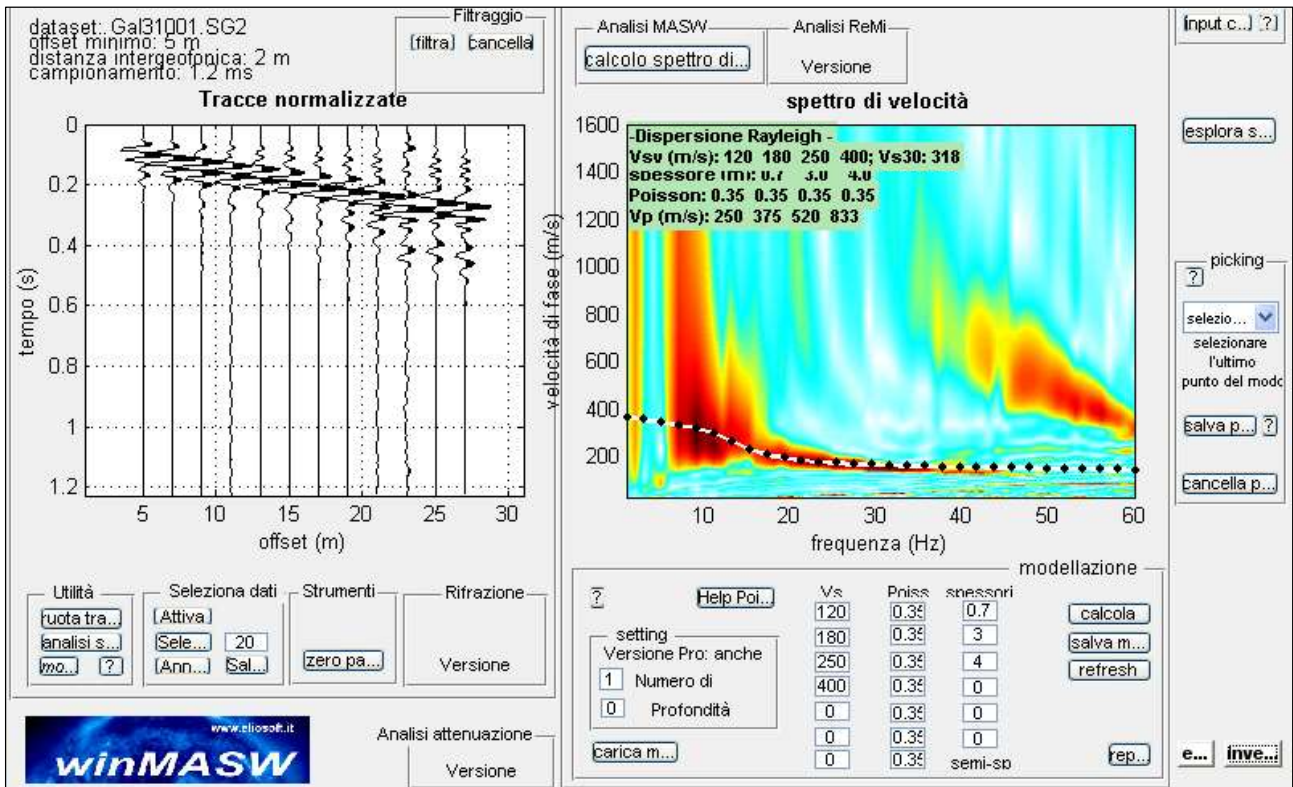
**Categoria di suolo di fondazione = C** - Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 m caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e valori del VS equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.

### Documentazione fotografica

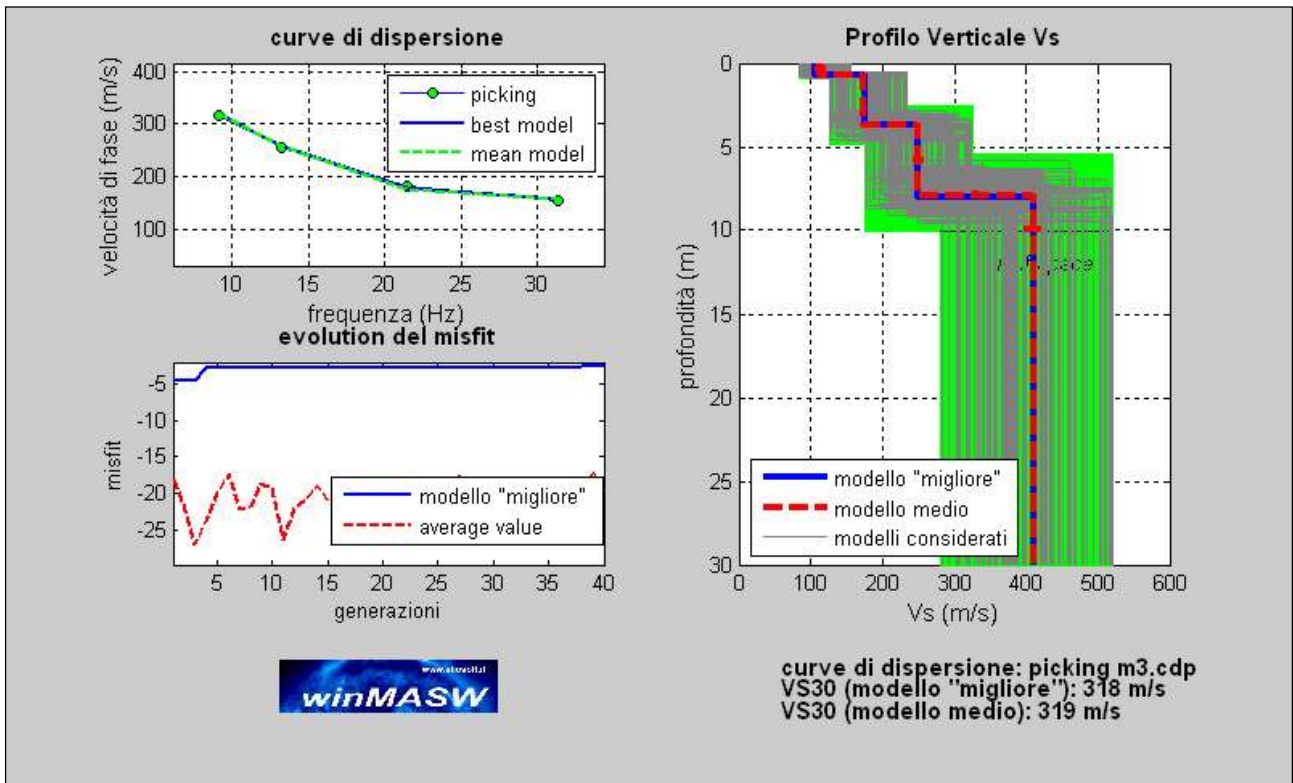




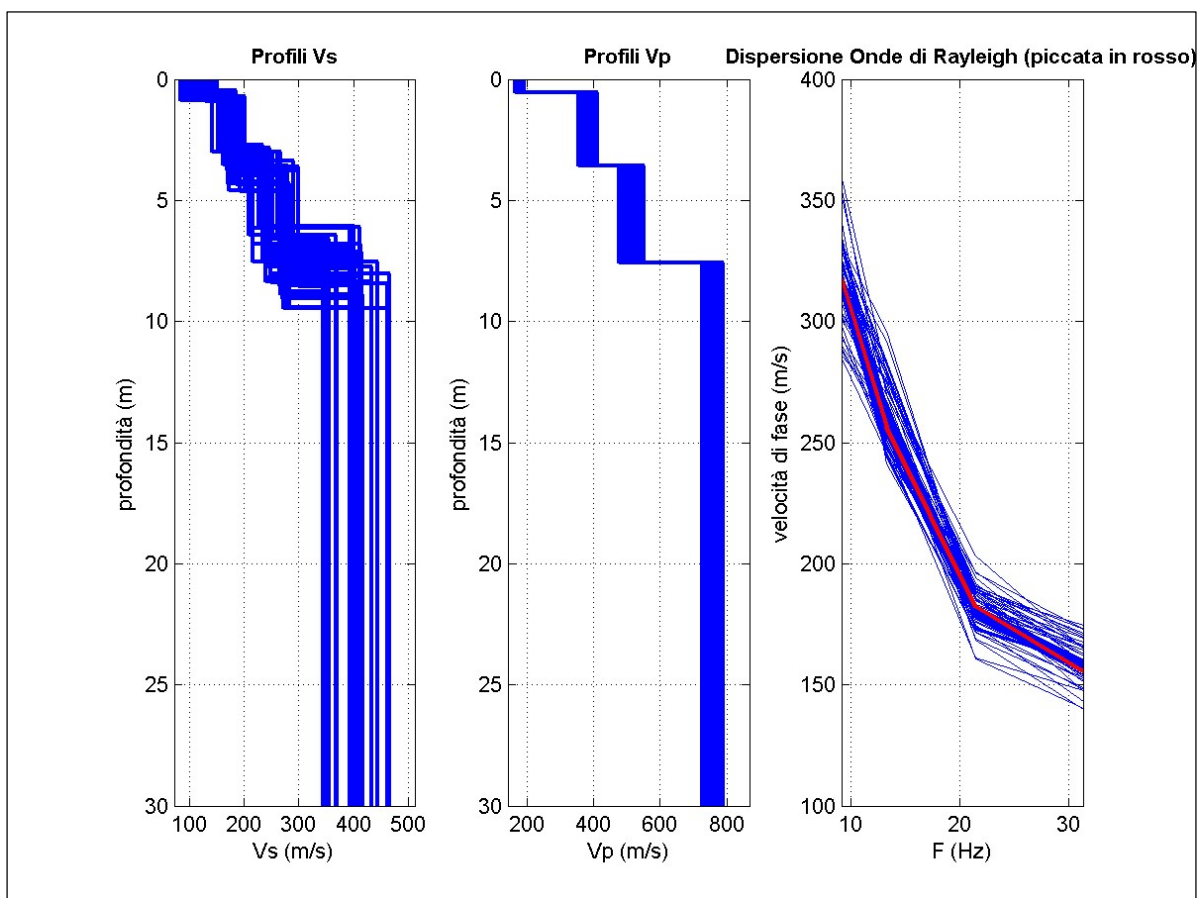
### 10.6. Indagine sismica MASW 3



Sulla sinistra i dati di campagna e sulla destra lo spettro di velocità con la curva di dispersione identificata.



In alto a sinistra: spettro osservato, curve di dispersione piccate e curve del modello individuato dall'inversione. Sulla destra il profilo verticale VS identificato



In basso a sinistra l'evolversi del modello al passare delle "generazioni" (l'algoritmo utilizzato per l'inversione delle curve di dispersione appartiene alla classe degli Algoritmi Genetici).

## COLONNA SISMOSTRATIGRAFICA

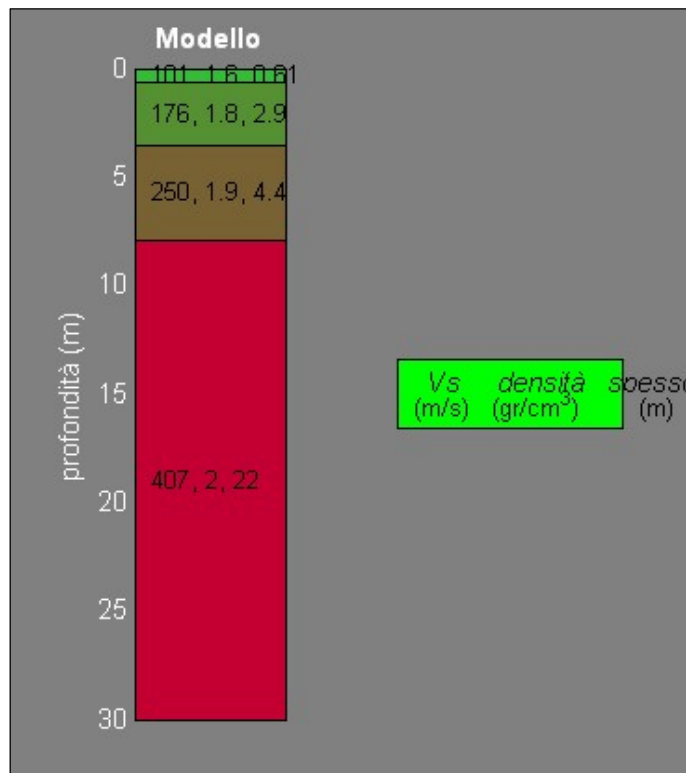


TABELLA RIASSUNTIVA DEI RISULTATI OTTENUTI

Sismostrato (n°)	Profondità in metri dal p.c. (m)	Spessore (m)	Velocità onde S (m/s)
1	0.7	0.7	114
2	3.7	3.0	174
3	7.9	4.2	250
4	30	Semispazio	410

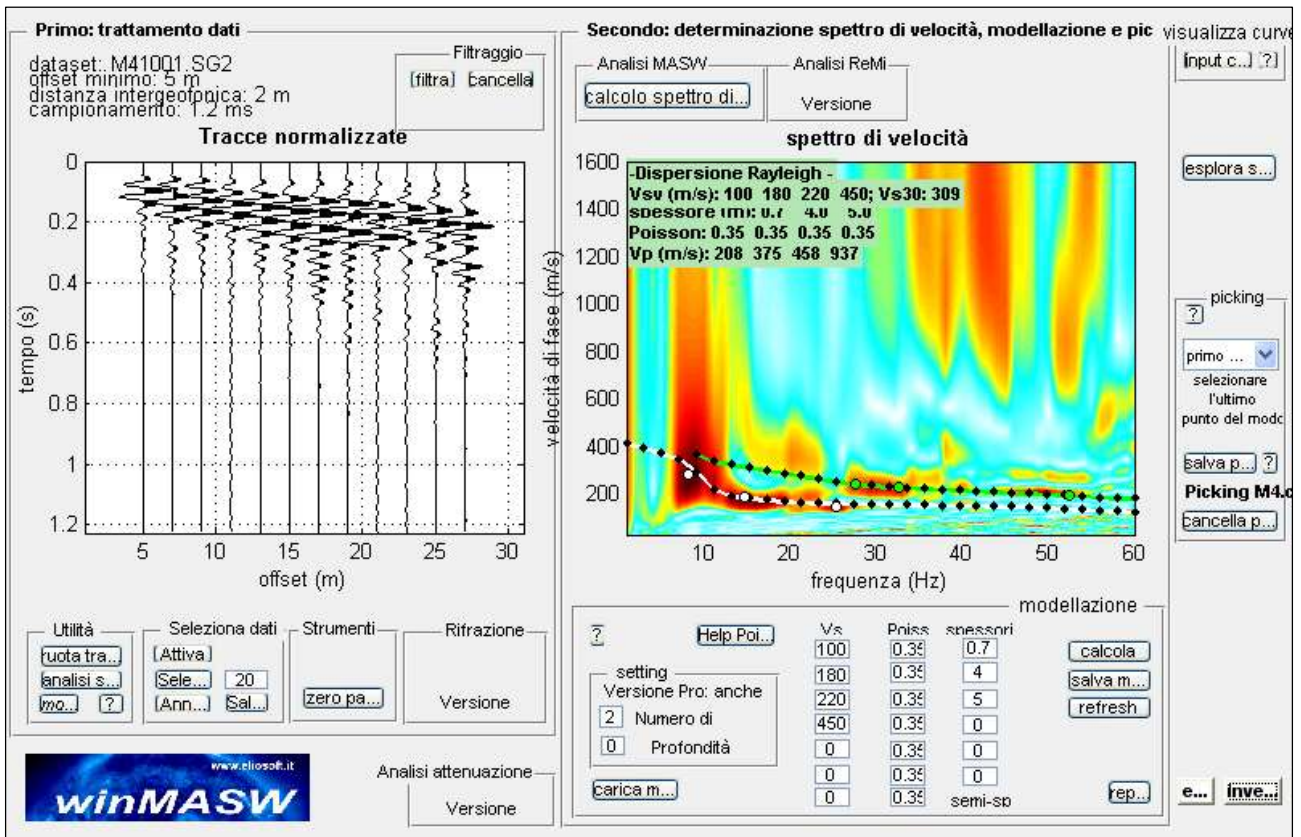
$V_{S30}$  al piano di campagna = Vs equivalente = **319 m/s** Categoria di suolo di fondazione = **C**

Categoria di suolo di fondazione = **C** - Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 m caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e valori del VS equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.

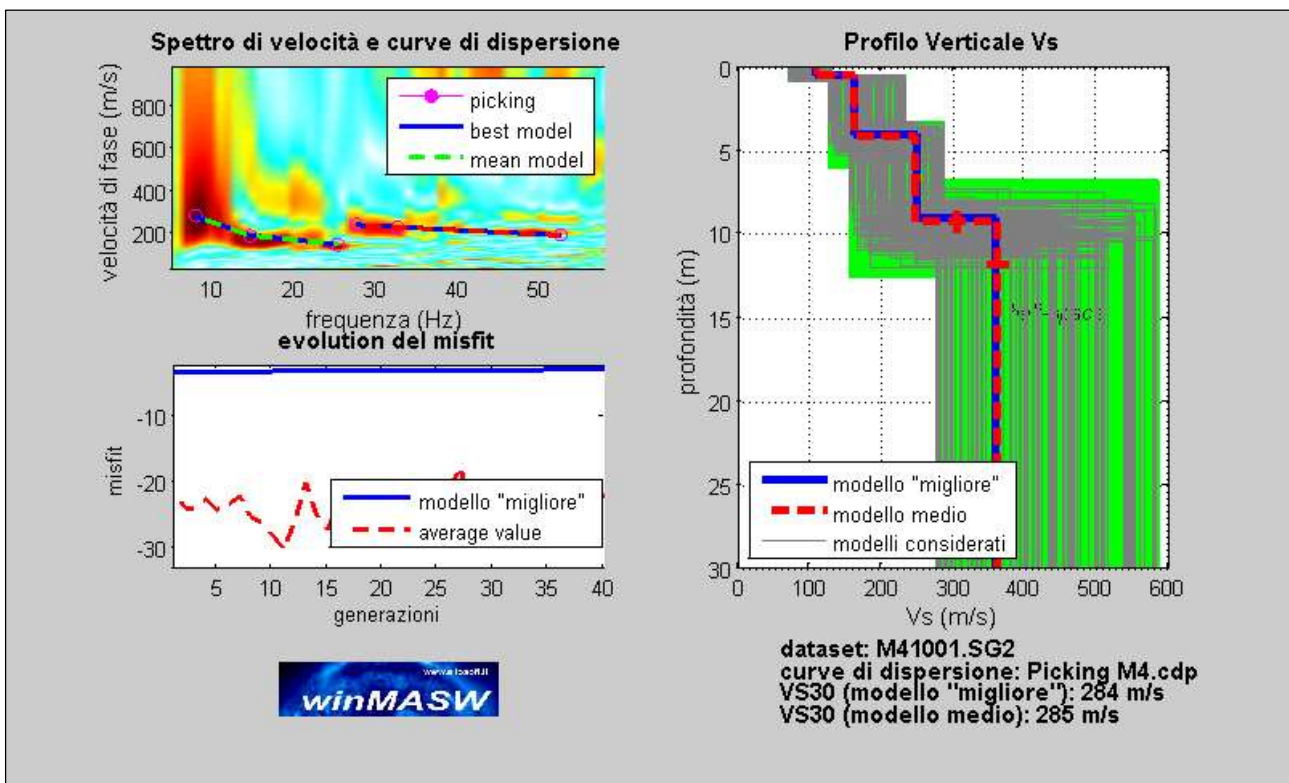
### Documentazione fotografica



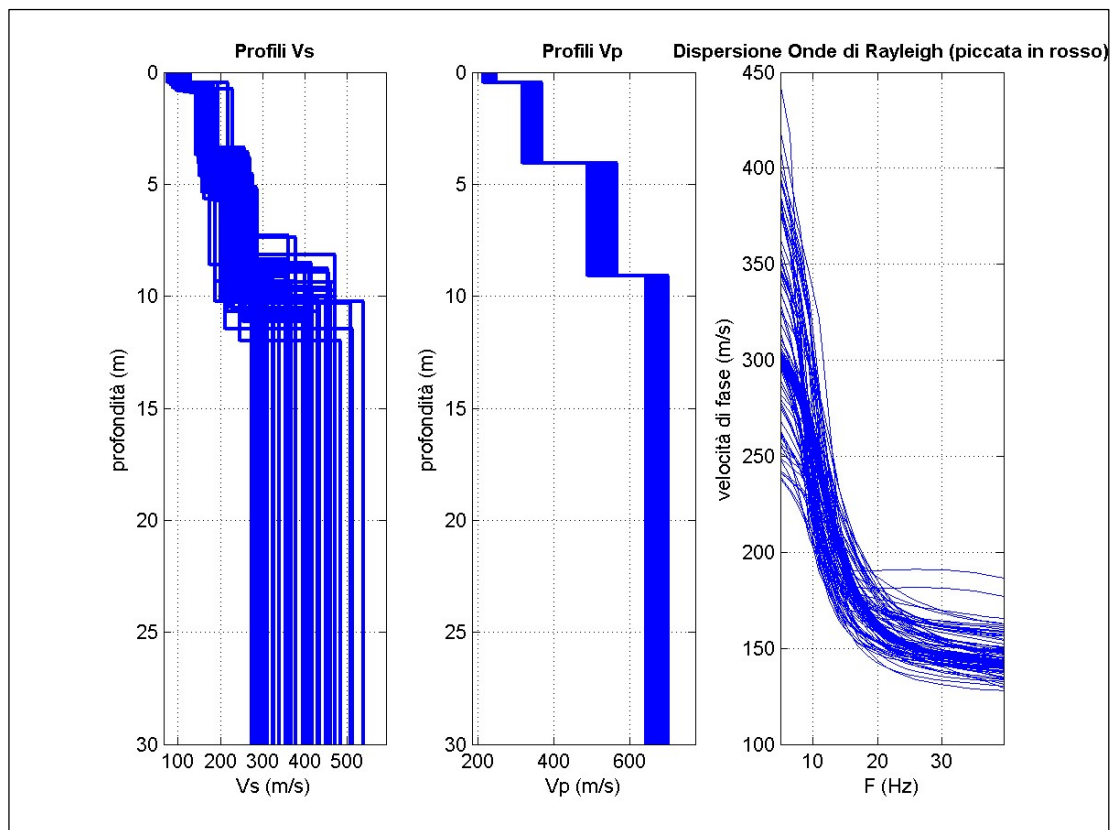
## 10.7. Indagine sismica MASW 4



Sulla sinistra i dati di campagna e sulla destra lo spettro di velocità con la curva di dispersione identificata.



In alto a sinistra: spettro osservato, curve di dispersione piccate e curve del modello individuato dall'inversione. Sulla destra il profilo verticale VS identificato



In basso a sinistra l'evolversi del modello al passare delle "generazioni" (l'algoritmo utilizzato per l'inversione delle curve di dispersione appartiene alla classe degli Algoritmi Genetici).

### COLONNA SISMOSTRATIGRAFICA

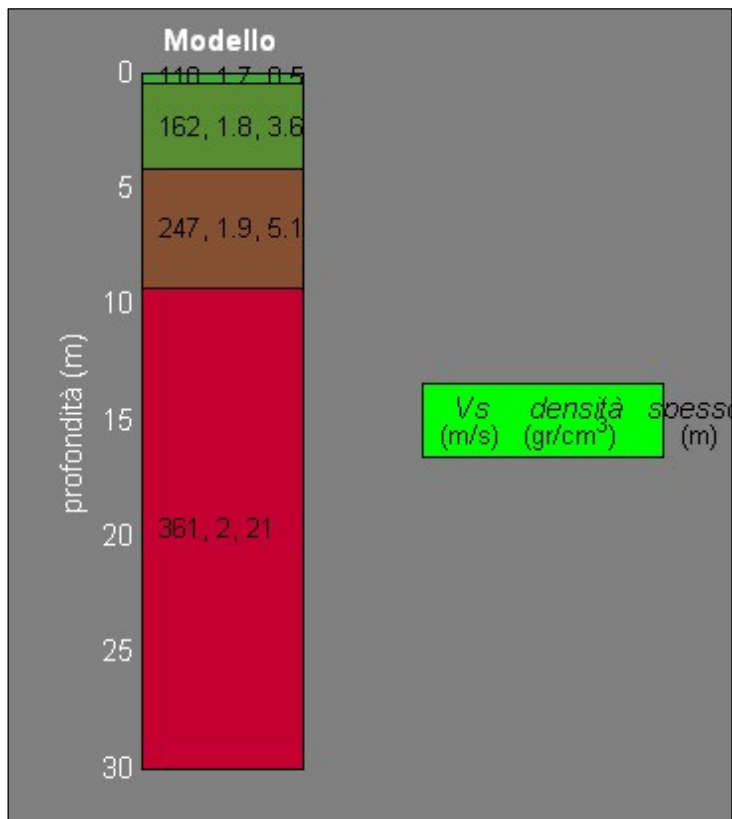


TABELLA RIASSUNTIVA DEI RISULTATI OTTENUTI

Sismostrato (n°)	Profondità in metri dal p.c. (m)	Spessore (m)	Velocità onde S (m/s)
1	0.5	0.5	110
2	4.1	3.6	162
3	9.2	5.1	247
4	30	Semispazio	361

$V_{s30}$  al piano di campagna = Vs equivalente = **285 m/s** Categoria di suolo di fondazione = **C**

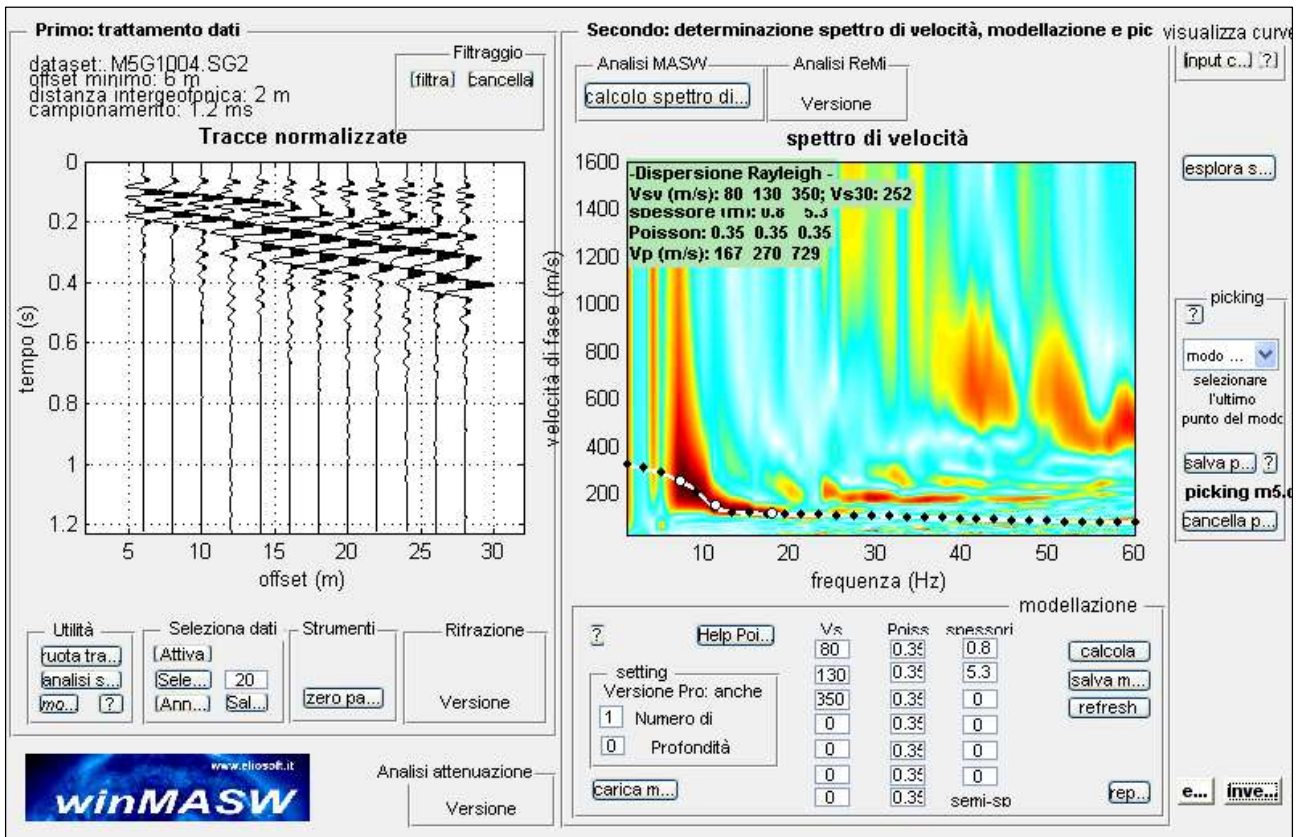
Categoria di suolo di fondazione = **C** - Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 m caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e valori del VS equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.

### Documentazione fotografica

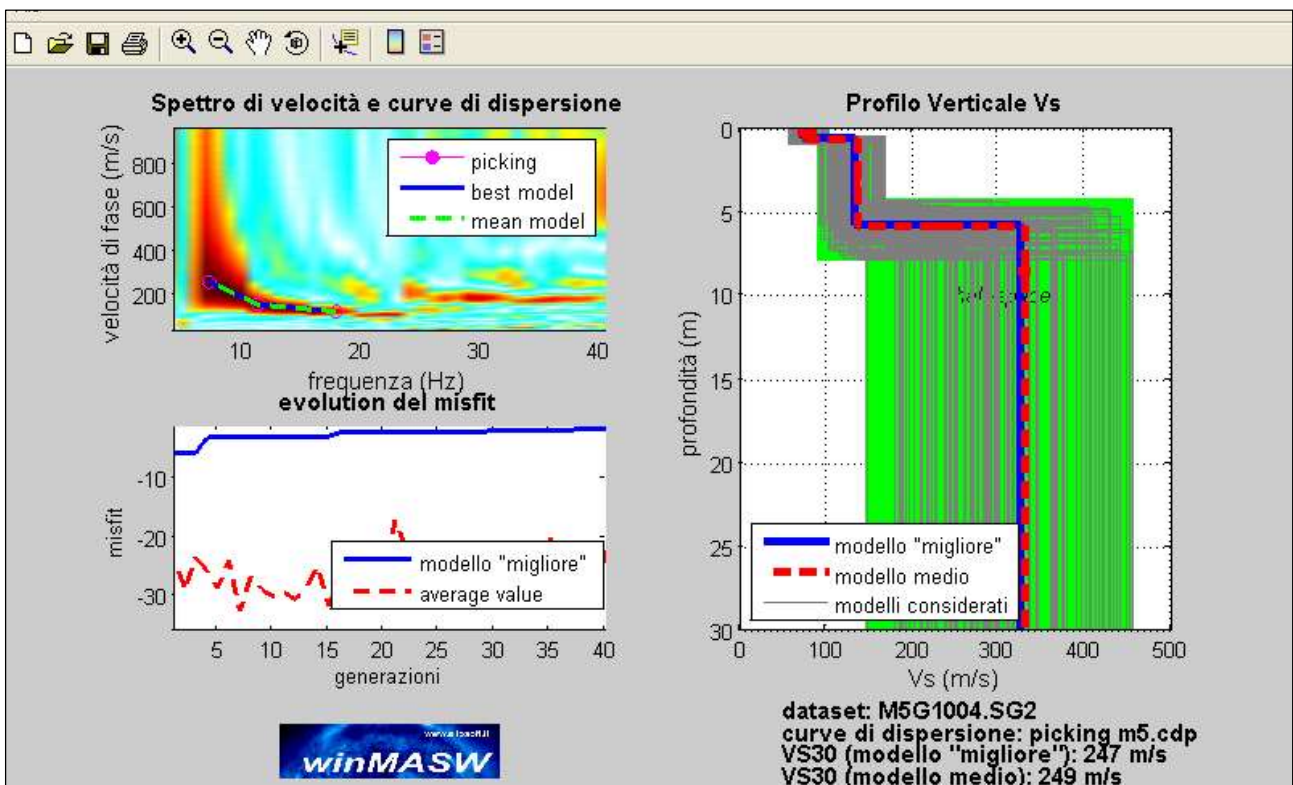




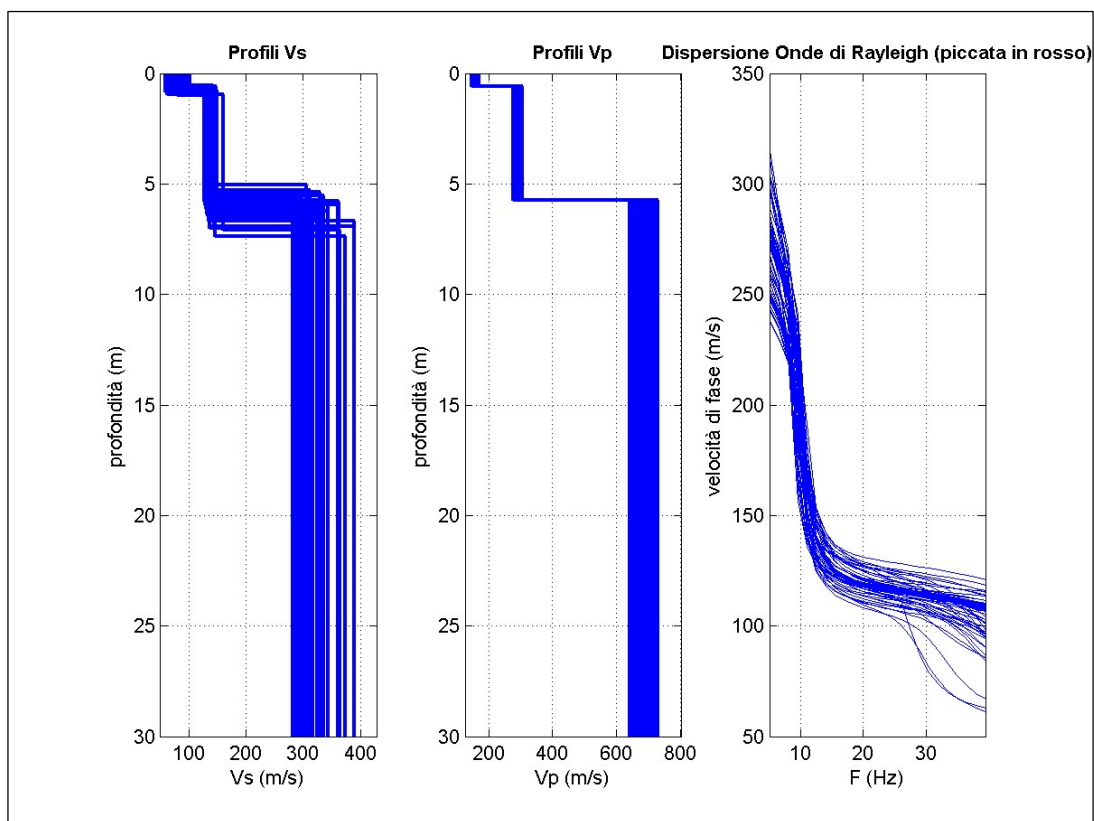
## 10.8. Indagine sismica MASW 5



Sulla sinistra i dati di campagna e sulla destra lo spettro di velocità con la curva di dispersione identificata.



In alto a sinistra: spettro osservato, curve di dispersione piccate e curve del modello individuato dall'inversione. Sulla destra il profilo verticale VS identificato



In basso a sinistra l'evolversi del modello al passare delle "generazioni" (l'algoritmo utilizzato per l'inversione delle curve di dispersione appartiene alla classe degli Algoritmi Genetici).

### COLONNA SISMOSTRATIGRAFICA

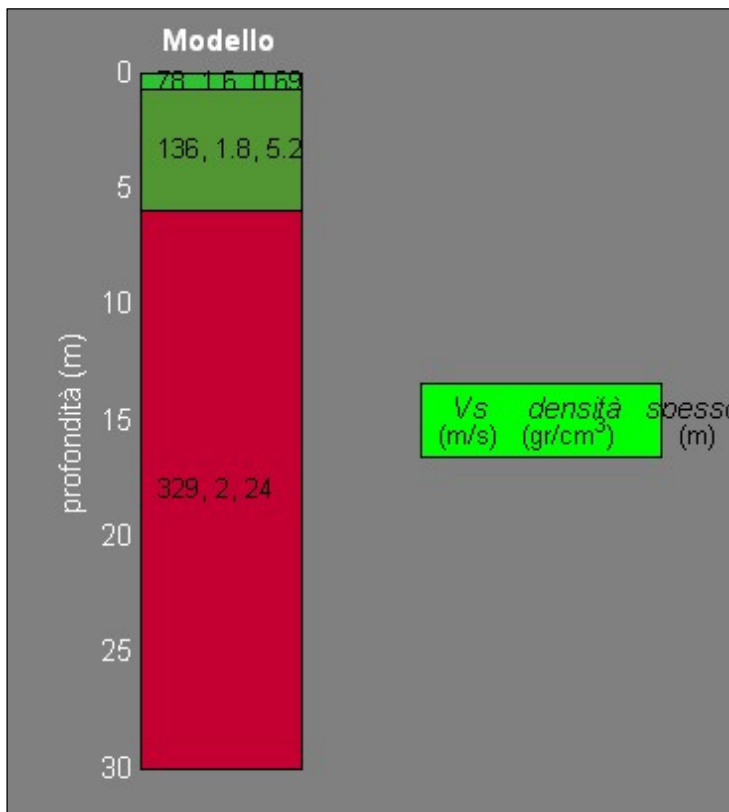


TABELLA RIASSUNTIVA DEI RISULTATI OTTENUTI

Sismostrato (n°)	Profondità in metri dal p.c. (m)	Spessore (m)	Velocità onde S (m/s)
1	0.7	0.7	78
2	5.9	5.2	136
3	30	Semispazio	329

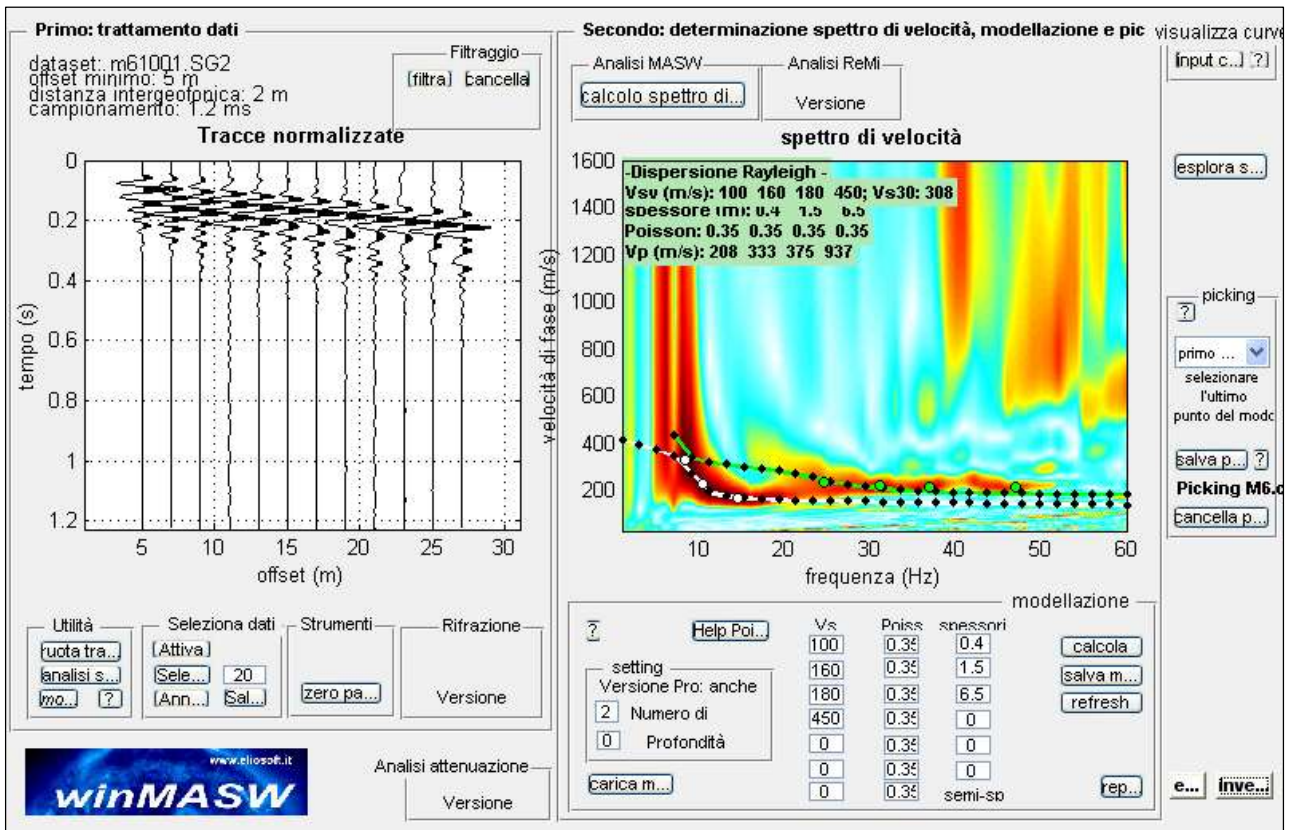
$V_{s30}$  al piano di campagna =  $V_s$  equivalente = **249 m/s** Categoria di suolo di fondazione = **C**

**Categoria di suolo di fondazione = C** - Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 m caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e valori del  $V_s$  equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.

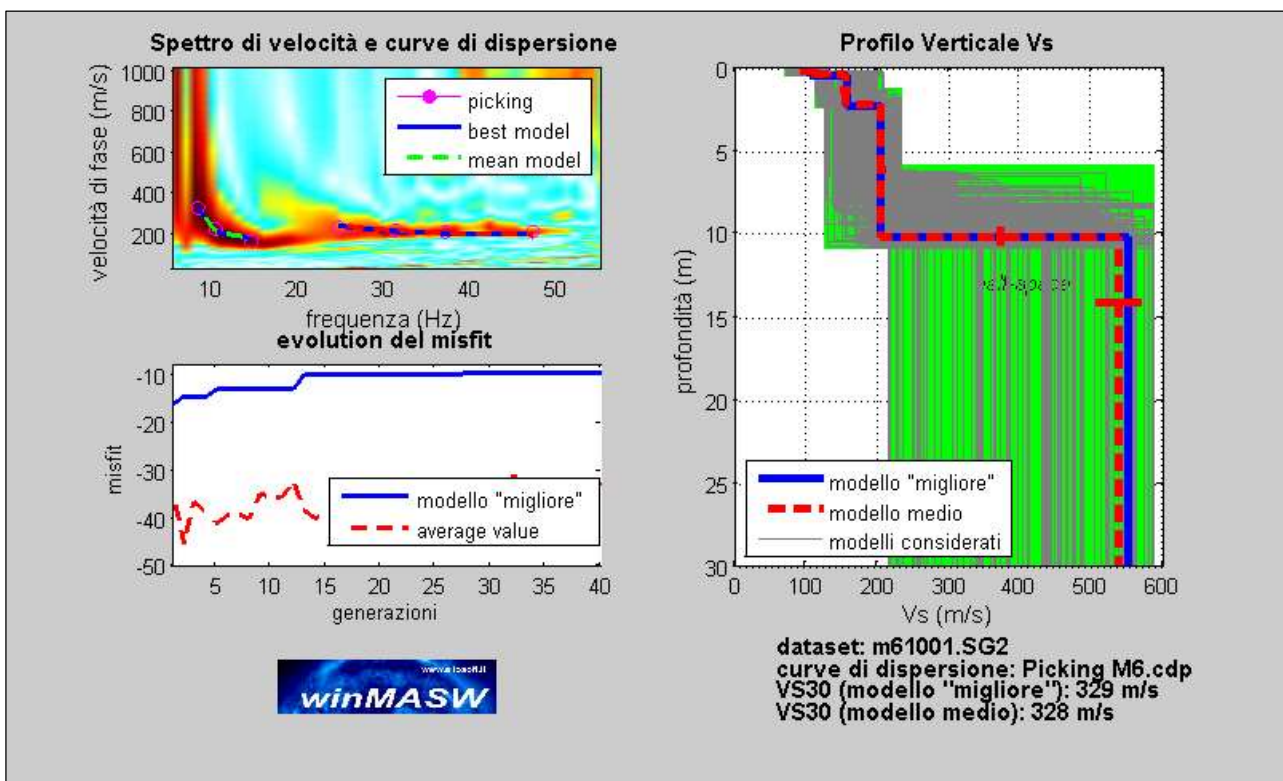
### Documentazione fotografica



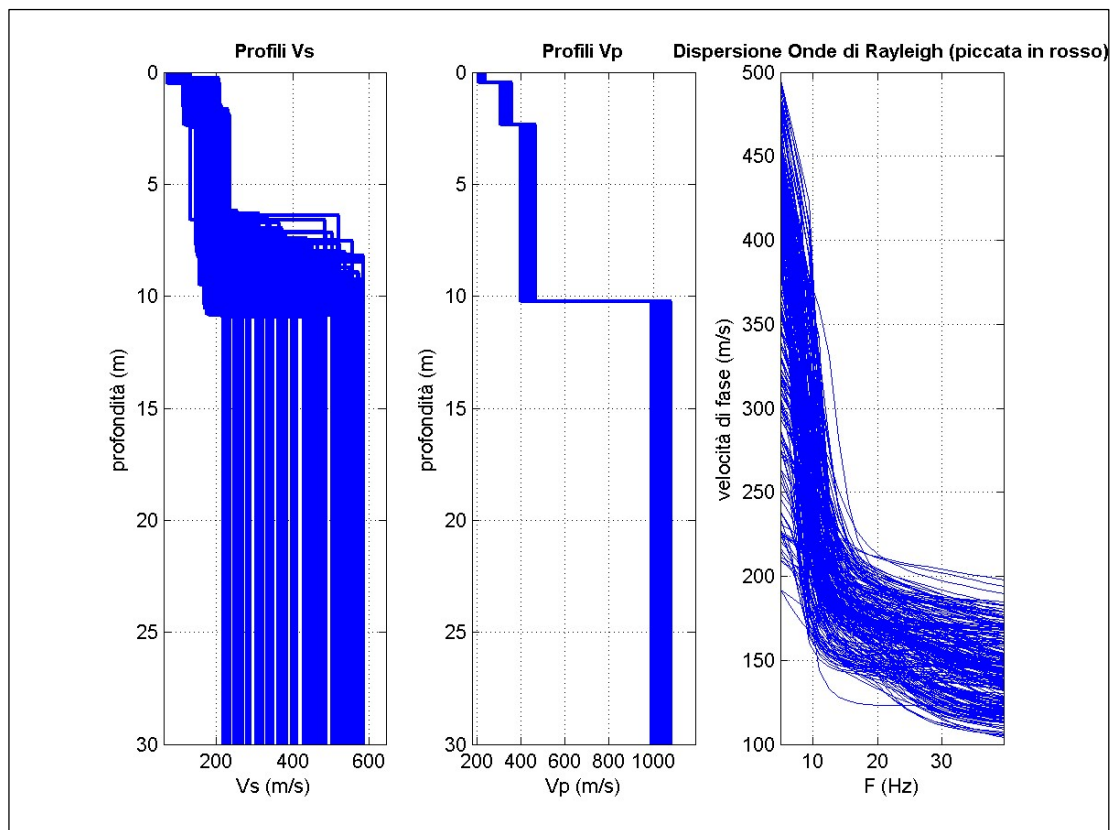
## 10.9. Indagine sismica MASW 6



Sulla sinistra i dati di campagna e sulla destra lo spettro di velocità con la curva di dispersione identificata.



In alto a sinistra: spettro osservato, curve di dispersione piccate e curve del modello individuato dall'inversione. Sulla destra il profilo verticale VS identificato



In basso a sinistra l'evolversi del modello al passare delle "generazioni" (l'algoritmo utilizzato per l'inversione delle curve di dispersione appartiene alla classe degli Algoritmi Genetici).

### COLONNA SISMOSTRATIGRAFICA

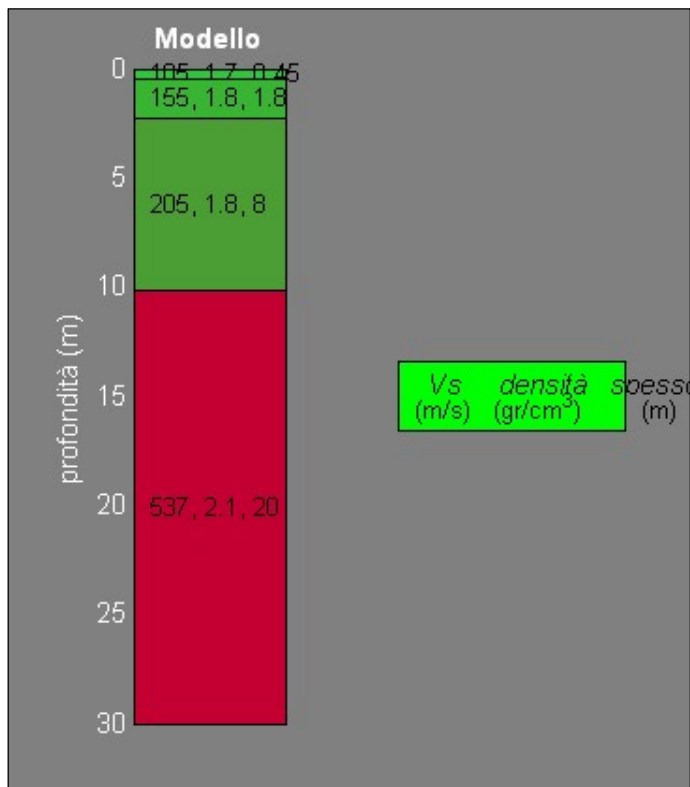


TABELLA RIASSUNTIVA DEI RISULTATI OTTENUTI

Sismostrato (n°)	Profondità in metri dal p.c. (m)	Spessore (m)	Velocità onde S (m/s)
1	1.6	0.4	105
2	3.6	1.8	155
3	11.6	8.0	205
4	30	Semispazio	537

$V_{s30}$  al piano di campagna = Vs equivalente = **328 m/s** Categoria di suolo di fondazione = **C**

**Categoria di suolo di fondazione = C** - Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 m caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e valori del VS equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.

### Documentazione fotografica





## 11. GEOTECNICA

Per la caratterizzazione dei luoghi costituenti l'area dell'impianto, in accordo con quanto previsto dalle NTC 2018 e Circolare Applicativa n° 7 del 21/01/2019, in prima istanza è stato eseguito un lavoro di ricerca e censimento dei dati di carattere geologico esistenti (sondaggi meccanici, prove di laboratorio e indagini penetrometriche).

E' stato elaborato un programma quali-quantitativo delle indagini necessarie a caratterizzare il substrato delle aree d'intervento. Sono state eseguite 7 prove penetrometriche dinamiche di tipo leggero (DL 030) che hanno consentito di caratterizzare stratigraficamente e geotecnicamente le aree caratterizzate dalla presenza di terreni coesivi.

La posizione e la distribuzione delle prove eseguite è riportata sulla seguente Fig. 20.

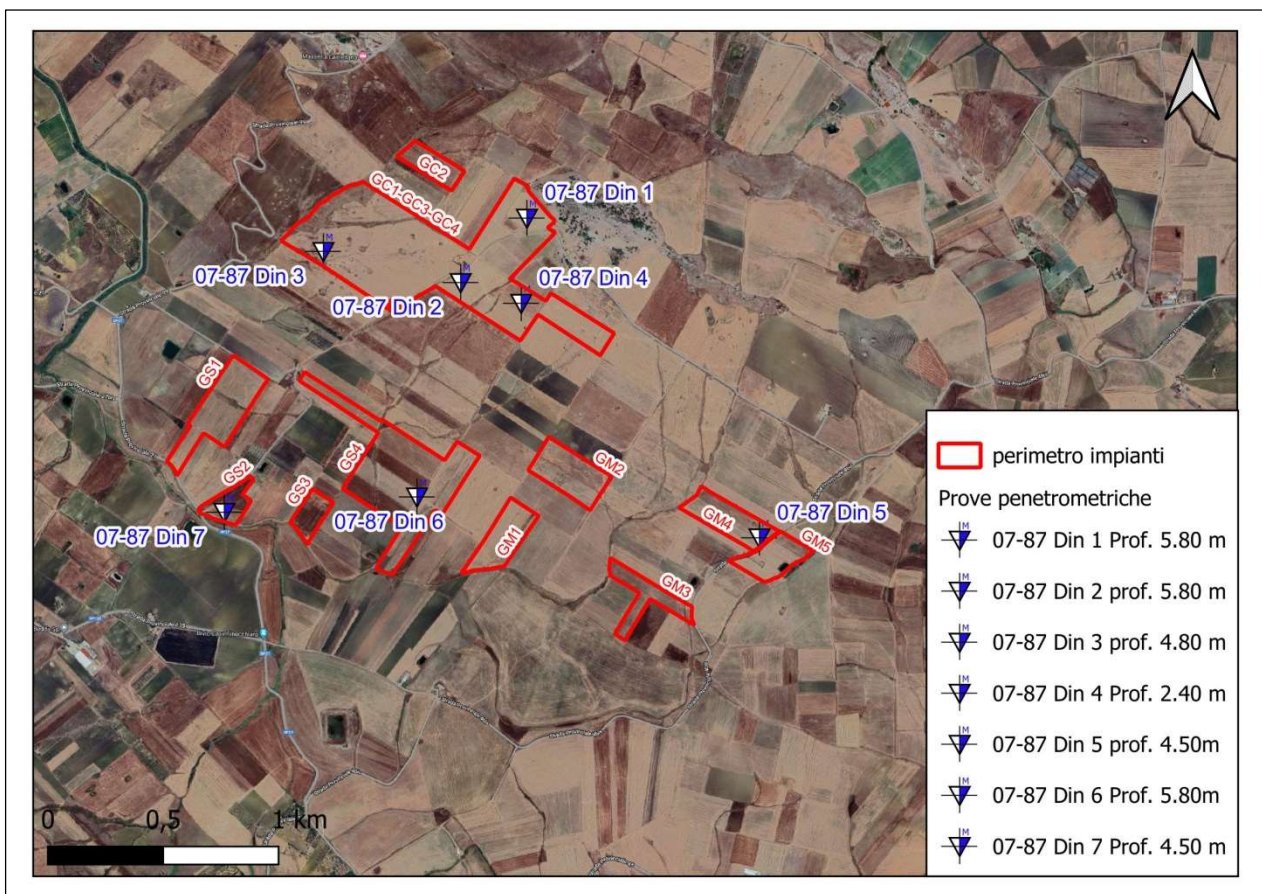


Fig. 20 – Ubicazione prove penetrometriche

Si riportano di seguito le tabelle riassuntive dei parametri geotecnici da adottare per il calcolo delle strutture fondali.

### Prova 07-87 Din 1

Profondità (m.)	Peso di volume Secco ( $\gamma_d$ ) T/m <sup>3</sup>	Peso di volume saturo ( $\gamma_{sat}$ ) T/ m <sup>3</sup>	gamma naturale T/ m <sup>3</sup>	Angolo di attrito ( $\phi$ )°	Coesione Drenata (C°) Kg/cmq	Coesione Non drenata (Cu) Kg/cmq
Da 0,0 a 0,7	1.36	1.85	1.61	16.38	0.04	0.13
Da 0,7 a 1,8	1.41	1.88	1.65	18	0.10	0.31
Da 1,8 a 3,5	1.48	1.92	1.7	19.6	0.19	0.56
Da 3,5 in poi	1.56	1.97	1.77	22.1	0.35	1.06

Descrizione	Modulo elastico Kg/cmq	coeff. di Poisson (Adimensionale)	Coeff. di lambe (Adimensionale)	Modulo Edometrico Kg/cmq	Grado Sovraconsolidamento (Adimensionale)
Suolo agrario	78	0.35	0.25	207	1
Limi con trovanti	186	0.36	0	230	1
Limi argillosi	336	0.33	0	261	1
Argille limose	636	0.41	0	322	1

#### Prova 07-87 Din 2

Profondità (m.)	Peso di volume Secco ( $\gamma_d$ ) T/m <sup>3</sup>	Peso di volume saturato ( $\gamma_{sat}$ ) T/ m <sup>3</sup>	gamma naturale T/ m <sup>3</sup>	Angolo di attrito ( $\phi$ )°	Coesione Drenata (C') Kg/cmq	Coesione Non drenata (Cu) Kg/cmq
Da 0,0 a 0,9	1.36	1.85	1.61	16.8	0.04	0.13
Da 0,9 a 1,8	1.45	1.9	1.68	18.8	0.10	0.31
Da 1,8 a 4.0	1.45	1.9	1.675	18.8	0.19	0.56
Da 4.0 in poi	1.57	1.98	1.78	22.4	0.35	1.06

Descrizione	Modulo elastico Kg/cmq	coeff. di Poisson (Adimensionale)	Coeff. di lambe (Adimensionale)	Modulo Edometrico Kg/cmq	Grado Sovraconsolidamento (Adimensionale)
Suolo agrario	78	0.35	0.25	207	1
Limi con trovanti	186	0.33	0	245	1
Limi argillosi	336	0.32	0	245	1
Argille limose	636	0.22	0	330	1

#### Prova 07-87 Din 3

Profondità (m.)	Peso di volume Secco ( $\gamma_d$ ) T/m <sup>3</sup>	Peso di volume saturato ( $\gamma_{sat}$ ) T/ m <sup>3</sup>	gamma naturale T/ m <sup>3</sup>	Angolo di attrito ( $\phi$ )°	Coesione Drenata (C') Kg/cmq	Coesione Non drenata (Cu) Kg/cmq
Da 0,0 a 1,9	1.36	1.85	1.61	16.8	0.04	0.13
Da 1,9 a 4,3	1.57	1.99	1.78	22.4	0.38	1.13
Da 4.3 in poi	1.6	2	1.8	23.3	0.44	1.31

Descrizione	Modulo elastico Kg/cmq	coeff. di Poisson (Adimensionale)	Coeff. di lambe (Adimensionale)	Modulo Edometrico Kg/cmq	Grado Sovraconsolidamento (Adimensionale)
Suolo agrario	78	0.35	0.25	207	1
Limi con trovanti	678	0.33	0	330	1
Limi argillosi	786	0.32	0	353	1

#### Prova 07-87 Din 4

Profondità (m.)	Peso di volume Secco ( $\gamma_d$ ) T/m <sup>3</sup>	Peso di volume saturato ( $\gamma_{sat}$ ) T/ m <sup>3</sup>	gamma naturale T/ m <sup>3</sup>	Angolo di attrito ( $\phi$ )°	Coesione Drenata (C') Kg/cmq	Coesione Non drenata (Cu) Kg/cmq
Da 0,0 a 0,2	1,38	1,86	1,62	17,2	0,06	0,19
Da 0,2 a 0,8	1,48	1,89	1,69	19,6	0,19	0,56
Da 0,8 a 1,9	1,38	1,78	1,58	17,2	0,06	0,19
Da 1,9 a 2,4	1,54	1,96	1,72	21,5	0,31	0,94
Da 2,4 in poi	1,85	2,4	2,08	26,2	0,42	1,61

Descrizione	Modulo elastico Kg/cmq	coeff. di Poisson (Adimensionale)	Coeff. di lambe (Adimensionale)	Modulo Edometrico Kg/cmq	Grado Sovraconsolidamento (Adimensionale)
Suolo agrario	114	0,35	0,25	214	1
Limi argillosi duri	336	0,36	0	261	1
Limi soffici	114	0,33	0	214	1
Limi argillosi molto duri	564	0,31	0	307	1
Argille marnose	966	0,3	0	585	1

#### Prova 07-87 Din 5

Profondità (m.)	Peso di volume Secco ( $\gamma_d$ ) T/m <sup>3</sup>	Peso di volume saturato ( $\gamma_{sat}$ ) T/ m <sup>3</sup>	gamma naturale T/ m <sup>3</sup>	Angolo di attrito ( $\phi$ )°	Coesione Drenata (C') Kg/cmq	Coesione Non drenata (Cu) Kg/cmq
Da 0,0 a 1.10	1.51	1.94	1.73	20.3	0.23	0.69
Da 1.10 a 2.10	1.41	1.88	1.65	18	0.10	0.31
Da 2.10 a 3.30	1.46	1.91	1.685	19.2	0.17	0.5
Da 3.30 a 4.20	1.53	1.95	1.74	20.9	0.27	0.81
Da 4,2 in poi	1.71	2.06	2.08	26.5	0.42	2

Descrizione	Modulo elastico Kg/cmq	coeff. di Poisson (Adimensionale)	Coeff. di lambe (Adimensionale)	Modulo Edometrico Kg/cmq	Grado Sovraconsolidamento (Adimensionale)
Suolo agrario	414	0.35	0.25	276	1
Limi sabbiosi	186	0.33	0	230	1
Limi argillosi	300	0.32	0	253	1
Argille limose	486	0.22	0	292	1
Argille dure	1200	0.3	0	438	1

#### Prova 07-87 Din 6

Profondità (m.)	Peso di volume Secco ( $\gamma_d$ ) T/m <sup>3</sup>	Peso di volume saturato ( $\gamma_{sat}$ ) T/ m <sup>3</sup>	gamma naturale T/ m <sup>3</sup>	Angolo di attrito ( $\phi$ )°	Coesione Drenata (C') Kg/cmq	Coesione Non drenata (Cu) Kg/cmq
Da 0,0 a 0.80	1.41	1.88	1.65	18	0.10	0.31
Da 0.8 a 1.60	1.41	1.88	1.65	18	0.10	0.31
Da 1.6 a 2.70	1.43	1.89	1.66	18.4	0.13	0.38
Da 2.7 a 4.90	1.41	1.88	1.65	18	0.10	0.31
Da 4,9 in poi	1.5	1.93	2.08	20	0.42	0.63

Descrizione	Modulo elastico Kg/cmq	coeff. di Poisson (Adimensionale)	Coeff. di lambe (Adimensionale)	Modulo Edometrico Kg/cmq	Grado Sovraconsolidamento (Adimensionale)
Suolo agrario	186	0.35	0.25	230	1
Limi argillosi	186	0.33	0	230	1
Limi sabbiosi	228	0.32	0	238	1
Argille limose	186	0.22	0	230	1
Argille dure	378	0.3	0	268	1

### Prova 07-87 Din 7

Profondità (m.)	Peso di volume Secco ( $\gamma_d$ ) T/m <sup>3</sup>	Peso di volume saturo ( $\gamma_{sat}$ ) T/m <sup>3</sup>	gamma naturale T/m <sup>3</sup>	Angolo di attrito ( $\phi$ )°	Coesione Drenata (C') Kg/cmq	Coesione Non drenata (Cu) Kg/cmq
Da 0,0 a 0.80	1.46	1.91	1.69	19.2	0.17	0.5
Da 0.8 a 3.60	1.41	1.88	1.65	18	0.10	0.31
Da 3.6 a 4.10	1.46	1.91	1.685	19.2	0.17	0.5
Da 4.1 in poi	1.68	2.05	1.87	25.7	0.60	1.81

Descrizione	Modulo elastico Kg/cmq	coeff. di Poisson (Adimensionale)	Coeff. di lambe (Adimensionale)	Modulo Edometrico Kg/cmq	Grado Sovraconsolidamento (Adimensionale)
Suolo agrario	300	0.35	0.25	253	1
Limi argillosi	186	0.33	0	230	1
Limi sabbiosi	300	0.32	0	253	1
Argille limose	1086	0.22	0	415	1

## 11.1. Report indagini penetrometriche

### Dispositivo per l'esecuzione delle indagini e sue caratteristiche

Dal punto di vista tecnico, la strumentazione utilizzata per eseguire le prove è data dal penetrometro dinamico medio del tipo DL30IT. Si tratta di un penetrometro dinamico medio - classificazione ISSMFE 1988 - con elevata capacità di acquisizione dati in ogni condizione d'uso. È dotato di estrattore idraulico e permette l'uso campionamento mediante coclea da  $\varnothing$  38mm.

I comandi sono posizionati sulla torre di infissione lasciando le mani libere, per una più agevole registrazione dei numeri di colpi in avanzamento.

#### Caratteristiche strumento

#### **Gruppo motore:**

Centralina oleodinamica a doppia funzione, poco ingombrante, leggera e potente;

dotata di motore a scoppio, 3,5 Hp di potenza.

#### **Sistema d'infissione:**

Maglio oleodinamico del peso di 30 Kg con frequenza di battuta di 50-40colpi/min,

con base in acciaio trattato, dotata di alloggiamento per l'infissione di aste ( $\varnothing$  22 mm). Altezza di caduta del maglio da 20 cm

#### **Colonna di guida ed estrattore idraulico:**

Struttura di guida per l'esecuzione della prova penetrometrica, per l'innalzamento automatico della massa battente, per l'estrazione idraulica delle aste, o del carotiere. Capacità estrazione circa 1500kg.

### Esecuzione ed interpretazione delle indagini

Tale prova consiste nell'infingere una punta conica avente angolo di 60° ed una superficie di 10 cm<sup>2</sup>, tramite una massa battente di 30 Kg. e volata 20 cm., contando il numero di colpi necessari per avanzare di 10 cm. L'utilizzo di più aste, giuntabili tra di loro, permette di raggiungere profondità di 10 metri e oltre misurando, durante l'avanzamento, la resistenza la penetrazione.

Attraverso il conteggio del numero di colpi in avanzamento si riesce a desumere la resistenza alla penetrazione media per ogni strato. Durante la fase di interpretazione si procede all'individuazione dei vari strati discretizzando quelli accomunati dalla stessa resistenza alla penetrazione. Successivamente, tramite opportune formule, i valori di resistenza alla penetrazione sono trasformati in parametri fisici e meccanici caratterizzanti il terreno attraversato.

I parametri geotecnici riportati nelle tabelle riassuntive sopra proposte sono stati ricavati da una elaborazione matematica dei dati di resistenza alla penetrazione registrati durante l'esecuzione della prova correlati ad un terreno con comportamento puramente coesivo o puramente granulare. Successivamente tali parametri dovranno essere opportunamente ridimensionati, attribuendo di volta in volta un fattore di ridimensionamento che tiene conto della natura coesiva, intermedia o granulare del terreno attraversato e del grado di consolidazione del deposito.

### **Formule utilizzate per la correlazione tra Numero di colpi e Parametri fisici e meccanici**

Densità relativa %, secondo Terzaghi e Peck (1948,1967)

Angolo di Attrito Efficace secondo Peck e Hanson (1953,1974)

Modulo di deformazione Drenato secondo D` Appollonia (1970)

Peso di volume saturo per granulari Terzaghi e Peck (1948,1967)

Peso di volume secco per granulari Terzaghi e Peck (1948,1967)

Coesione non drenata Terzaghi e Peck (1948,1967)

Peso di volume saturo per coesivi Bowles, Terzaghi e Peck (1982,1948,1967)

Contenuto in acqua % Bowles, Terzaghi e Peck (1982,1948,1967)

Indice dei vuoti Bowles, Terzaghi e Peck (1982,1948,1967)

### **Segue report indagini penetrometriche e documentazione fotografica**

## 12. PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE

### Studio di Geologia Applicata

Dott. Salvatore Lo Verme  
 Indagini Geofisiche e Geotecniche

Riferimento: 07-83

### PENETROMETRO DINAMICO IN USO : DM-30 (60°)

Classificazione ISSMFE (1988) dei penetrometri dinamici		
TIPO	Sigla riferimento	Peso Massa Battente M (kg)
Leggero	DPL (Light)	$M \leq 10$
Medio	DPM (Medium)	$10 < M < 40$
Pesante	DPH (Heavy)	$40 \leq M < 60$
Super pesante	DPSH (Super Heavy)	$M \geq 60$

### CARATTERISTICHE TECNICHE : DM-30 (60°)

PESO MASSA BATTENTE	M = 30,00 kg
ALTEZZA CADUTA LIBERA	H = 0,20 m
PESO SISTEMA BATTUTA	Ms = 13,60 kg
DIAMETRO PUNTA CONICA	D = 35,70 mm
AREA BASE PUNTA CONICA	A = 10,00 cm <sup>2</sup>
ANGOLO APERTURA PUNTA	$\alpha = 60^\circ$
LUNGHEZZA DELLE ASTE	La = 1,00 m
PESO ASTE PER METRO	Ma = 2,40 kg
PROF. GIUNZIONE 1 <sup>a</sup> ASTA	P1 = 0,80 m
AVANZAMENTO PUNTA	$\delta = 0,10$ m
NUMERO DI COLPI PUNTA	N = N(10) $\Rightarrow$ Relativo ad un avanzamento di 10 cm
RIVESTIMENTO / FANGHI	NO
ENERGIA SPECIFICA x COLPO	Q = (MH)/(A $\delta$ ) = 6,00 kg/cm <sup>2</sup> ( prova SPT : Qspt = 7.83 kg/cm <sup>2</sup> )
COEFF. TEORICO DI ENERGIA	$\beta_t = Q/Q_{spt} = 0,766$ ( teoricamente : Nspt = $\beta_t N$ )

Valutazione resistenza dinamica alla punta Rpd [funzione del numero di colpi N] (FORMULA OLANDESE) :

$$R_{pd} = M^2 H / [A e (M+P)] = M^2 H N / [A \delta (M+P)]$$

Rpd = resistenza dinamica punta [ area A]  
 e = infissione per colpo =  $\delta / N$

M = peso massa battente (altezza caduta H)  
 P = peso totale aste e sistema battuta

#### UNITA' di MISURA (conversioni)

1 kg/cm<sup>2</sup> = 0.098067 MPa  $\approx$  0,1 MPa  
 1 MPa = 1 MN/m<sup>2</sup> = 10.197 kg/cm<sup>2</sup>  
 1 bar = 1.0197 kg/cm<sup>2</sup> = 0.1 MPa  
 1 kN = 0.001 MN = 101.97 kg

**Studio di Geologia Applicata**

Dott. Salvatore Lo Verme  
 Indagini Geofisiche e Geotecniche

Riferimento: 07-83

**PROVA PENETROMETRICA DINAMICA  
 TABELLE VALORI DI RESISTENZA**

**DIN 1**

- committente :	Laap Architects	- data :	22/03/2024
- lavoro :	Realizzazione impianto agrivoltaico Galiello	- quota inizio :	
- località :	Galiello nel territorio di Monreale (Pa)	- prof. falda :	Falda non rilevata
- note :		- pagina :	1

Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm <sup>2</sup> )	asta	Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm <sup>2</sup> )	asta
0,00 - 0,10	3	11,7	1	2,90 - 3,00	14	47,4	4
0,10 - 0,20	4	15,7	1	3,00 - 3,10	13	44,0	4
0,20 - 0,30	3	11,7	1	3,10 - 3,20	13	44,0	4
0,30 - 0,40	4	15,7	1	3,20 - 3,30	13	44,0	4
0,40 - 0,50	1	3,9	1	3,30 - 3,40	13	44,0	4
0,50 - 0,60	2	7,8	1	3,40 - 3,50	12	40,6	4
0,60 - 0,70	4	15,7	1	3,50 - 3,60	18	60,9	4
0,70 - 0,80	6	23,5	1	3,60 - 3,70	19	64,3	4
0,80 - 0,90	7	26,0	2	3,70 - 3,80	19	64,3	4
0,90 - 1,00	8	29,8	2	3,80 - 3,90	20	64,7	5
1,00 - 1,10	6	22,3	2	3,90 - 4,00	21	68,0	5
1,10 - 1,20	5	18,6	2	4,00 - 4,10	22	71,2	5
1,20 - 1,30	5	18,6	2	4,10 - 4,20	22	71,2	5
1,30 - 1,40	4	14,9	2	4,20 - 4,30	19	61,5	5
1,40 - 1,50	4	14,9	2	4,30 - 4,40	17	55,0	5
1,50 - 1,60	5	18,6	2	4,40 - 4,50	19	61,5	5
1,60 - 1,70	6	22,3	2	4,50 - 4,60	20	64,7	5
1,70 - 1,80	6	22,3	2	4,60 - 4,70	19	61,5	5
1,80 - 1,90	8	28,3	3	4,70 - 4,80	19	61,5	5
1,90 - 2,00	11	39,0	3	4,80 - 4,90	20	62,1	6
2,00 - 2,10	8	28,3	3	4,90 - 5,00	20	62,1	6
2,10 - 2,20	7	24,8	3	5,00 - 5,10	21	65,2	6
2,20 - 2,30	9	31,9	3	5,10 - 5,20	22	68,3	6
2,30 - 2,40	11	39,0	3	5,20 - 5,30	22	68,3	6
2,40 - 2,50	13	46,1	3	5,30 - 5,40	27	83,8	6
2,50 - 2,60	15	53,1	3	5,40 - 5,50	28	86,9	6
2,60 - 2,70	12	42,5	3	5,50 - 5,60	27	83,8	6
2,70 - 2,80	14	49,6	3	5,60 - 5,70	28	86,9	6
2,80 - 2,90	12	40,6	4	5,70 - 5,80	30	93,1	6

- PENETROMETRO DINAMICO tipo : **DM-30 (60°)**  
 - M (massa battente)= **30,00 kg** - H (altezza caduta)= **0,20 m** - A (area punta)= **10,00 cm<sup>2</sup>** - D(diam. punta)= **35,70 mm**  
 - Numero Colpi Punta N = N(10) [  $\delta = 10 \text{ cm}$  ] - Uso rivestimento / fanghi iniezione : **NO**

**Studio di Geologia Applicata**

Dott. Salvatore Lo Verme  
 Indagini Geofisiche e Geotecniche

Riferimento: 07-83

**PROVA PENETROMETRICA DINAMICA  
 TABELLE VALORI DI RESISTENZA**

**DIN 2**

- committente :	Laap Architects	- data :	22/03/2024
- lavoro :	Realizzazione impianto agrivoltaico Galiello	- quota inizio :	
- località :	Galiello nel territorio di Monreale (Pa)	- prof. falda :	Falda non rilevata
- note :		- pagina :	1

Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm <sup>2</sup> )	asta	Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm <sup>2</sup> )	asta
0,00 - 0,10	1	3,9	1	2,90 - 3,00	10	33,8	4
0,10 - 0,20	5	19,6	1	3,00 - 3,10	11	37,2	4
0,20 - 0,30	3	11,7	1	3,10 - 3,20	11	37,2	4
0,30 - 0,40	3	11,7	1	3,20 - 3,30	11	37,2	4
0,40 - 0,50	3	11,7	1	3,30 - 3,40	11	37,2	4
0,50 - 0,60	3	11,7	1	3,40 - 3,50	10	33,8	4
0,60 - 0,70	3	11,7	1	3,50 - 3,60	11	37,2	4
0,70 - 0,80	3	11,7	1	3,60 - 3,70	16	54,1	4
0,80 - 0,90	4	14,9	2	3,70 - 3,80	15	50,8	4
0,90 - 1,00	6	22,3	2	3,80 - 3,90	12	38,8	5
1,00 - 1,10	7	26,0	2	3,90 - 4,00	11	35,6	5
1,10 - 1,20	9	33,5	2	4,00 - 4,10	25	80,9	5
1,20 - 1,30	9	33,5	2	4,10 - 4,20	22	71,2	5
1,30 - 1,40	10	37,2	2	4,20 - 4,30	19	61,5	5
1,40 - 1,50	10	37,2	2	4,30 - 4,40	17	55,0	5
1,50 - 1,60	11	40,9	2	4,40 - 4,50	19	61,5	5
1,60 - 1,70	9	33,5	2	4,50 - 4,60	16	51,8	5
1,70 - 1,80	8	29,8	2	4,60 - 4,70	15	48,6	5
1,80 - 1,90	6	21,3	3	4,70 - 4,80	13	42,1	5
1,90 - 2,00	5	17,7	3	4,80 - 4,90	17	52,8	6
2,00 - 2,10	6	21,3	3	4,90 - 5,00	27	83,8	6
2,10 - 2,20	5	17,7	3	5,00 - 5,10	29	90,0	6
2,20 - 2,30	5	17,7	3	5,10 - 5,20	29	90,0	6
2,30 - 2,40	4	14,2	3	5,20 - 5,30	28	86,9	6
2,40 - 2,50	6	21,3	3	5,30 - 5,40	20	62,1	6
2,50 - 2,60	6	21,3	3	5,40 - 5,50	22	68,3	6
2,60 - 2,70	9	31,9	3	5,50 - 5,60	29	90,0	6
2,70 - 2,80	10	35,4	3	5,60 - 5,70	29	90,0	6
2,80 - 2,90	7	23,7	4	5,70 - 5,80	30	93,1	6

- PENETROMETRO DINAMICO tipo : **DM-30 (60°)**

- M (massa battente)= 30,00 kg - H (altezza caduta)= 0,20 m

- Numero Colpi Punta N = N(10) [  $\delta = 10$  cm ]

- A (area punta)= 10,00 cm<sup>2</sup> - D(diam. punta)= 35,70 mm

- Uso rivestimento / fanghi iniezione : **NO**



**Studio di Geologia Applicata**

Dott. Salvatore Lo Verme  
 Indagini Geofisiche e Geotecniche

Riferimento: 07-83

**PROVA PENETROMETRICA DINAMICA  
 TABELLE VALORI DI RESISTENZA**

**DIN 3**

- committente :	Laap Architects	- data :	22/03/2024
- lavoro :	Realizzazione impianto agrivoltaico Galiello	- quota inizio :	
- località :	Galiello nel territorio di Monreale (Pa)	- prof. falda :	Falda non rilevata
- note :		- pagina :	1

Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm <sup>2</sup> )	asta	Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm <sup>2</sup> )	asta
0,00 - 0,10	2	7,8	1	2,40 - 2,50	39	138,2	3
0,10 - 0,20	3	11,7	1	2,50 - 2,60	17	60,2	3
0,20 - 0,30	3	11,7	1	2,60 - 2,70	20	70,9	3
0,30 - 0,40	2	7,8	1	2,70 - 2,80	18	63,8	3
0,40 - 0,50	2	7,8	1	2,80 - 2,90	14	47,4	4
0,50 - 0,60	2	7,8	1	2,90 - 3,00	14	47,4	4
0,60 - 0,70	3	11,7	1	3,00 - 3,10	16	54,1	4
0,70 - 0,80	2	7,8	1	3,10 - 3,20	15	50,8	4
0,80 - 0,90	2	7,4	2	3,20 - 3,30	16	54,1	4
0,90 - 1,00	2	7,4	2	3,30 - 3,40	20	67,7	4
1,00 - 1,10	2	7,4	2	3,40 - 3,50	22	74,4	4
1,10 - 1,20	2	7,4	2	3,50 - 3,60	21	71,1	4
1,20 - 1,30	3	11,2	2	3,60 - 3,70	58	196,2	4
1,30 - 1,40	12	44,6	2	3,70 - 3,80	25	84,6	4
1,40 - 1,50	4	14,9	2	3,80 - 3,90	21	68,0	5
1,50 - 1,60	9	33,5	2	3,90 - 4,00	55	178,1	5
1,60 - 1,70	3	11,2	2	4,00 - 4,10	29	93,9	5
1,70 - 1,80	2	7,4	2	4,10 - 4,20	22	71,2	5
1,80 - 1,90	3	10,6	3	4,20 - 4,30	22	71,2	5
1,90 - 2,00	13	46,1	3	4,30 - 4,40	23	74,5	5
2,00 - 2,10	11	39,0	3	4,40 - 4,50	26	84,2	5
2,10 - 2,20	29	102,8	3	4,50 - 4,60	28	90,6	5
2,20 - 2,30	20	70,9	3	4,60 - 4,70	30	97,1	5
2,30 - 2,40	29	102,8	3	4,70 - 4,80	33	106,8	5

- PENETROMETRO DINAMICO tipo : **DM-30 (60°)**  
 - M (massa battente)= 30,00 kg - H (altezza caduta)= 0,20 m - A (area punta)= 10,00 cm<sup>2</sup> - D(diam. punta)= 35,70 mm  
 - Numero Colpi Punta N = N(10) [  $\delta = 10$  cm ] - Uso rivestimento / fanghi iniezione : **NO**

**Studio di Geologia Applicata**

Dott. Salvatore Lo Verme  
 Indagini Geofisiche e Geotecniche

Riferimento: 07-83

**PROVA PENETROMETRICA DINAMICA  
 TABELLE VALORI DI RESISTENZA**

**DIN 4**

- committente :	Laap Architects	- data :	22/03/2024
- lavoro :	Realizzazione impianto agrivoltaico Galiello	- quota inizio :	
- località :	Galiello nel territorio di Monreale (Pa)	- prof. falda :	Falda non rilevata
- note :		- pagina :	1

Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm <sup>2</sup> )	asta	Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm <sup>2</sup> )	asta
0,00 - 0,10	1	3,9	1	1,20 - 1,30	9	33,5	2
0,10 - 0,20	1	3,9	1	1,30 - 1,40	11	40,9	2
0,20 - 0,30	6	23,5	1	1,40 - 1,50	12	44,6	2
0,30 - 0,40	7	27,4	1	1,50 - 1,60	10	37,2	2
0,40 - 0,50	8	31,3	1	1,60 - 1,70	10	37,2	2
0,50 - 0,60	16	62,6	1	1,70 - 1,80	10	37,2	2
0,60 - 0,70	14	54,8	1	1,80 - 1,90	8	28,3	3
0,70 - 0,80	12	47,0	1	1,90 - 2,00	8	28,3	3
0,80 - 0,90	9	33,5	2	2,00 - 2,10	8	28,3	3
0,90 - 1,00	10	37,2	2	2,10 - 2,20	8	28,3	3
1,00 - 1,10	10	37,2	2	2,20 - 2,30	11	39,0	3
1,10 - 1,20	8	29,8	2	2,30 - 2,40	100	354,3	3

- PENETROMETRO DINAMICO tipo : **DM-30 (60°)**

- M (massa battente)= 30,00 kg - H (altezza caduta)= 0,20 m - A (area punta)= 10,00 cm<sup>2</sup> - D(diam. punta)= 35,70 mm

- Numero Colpi Punta N = N(10) [ δ = 10 cm ]

- Uso rivestimento / fanghi iniezione : **NO**

**Studio di Geologia Applicata**

Dott. Salvatore Lo Verme  
 Indagini Geofisiche e Geotecniche

Riferimento: 07-83

**PROVA PENETROMETRICA DINAMICA  
 TABELLE VALORI DI RESISTENZA**

**DIN 5**

- committente :	Laap Architects	- data :	22/03/2024
- lavoro :	Realizzazione impianto agrivoltaico Galiello	- quota inizio :	
- località :	Galiello nel territorio di Monreale (Pa)	- prof. falda :	Falda non rilevata
- note :		- pagina :	1

Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm <sup>2</sup> )	asta	Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm <sup>2</sup> )	asta
0,00 - 0,10	8	31,3	1	2,30 - 2,40	11	39,0	3
0,10 - 0,20	21	82,2	1	2,40 - 2,50	13	46,1	3
0,20 - 0,30	21	82,2	1	2,50 - 2,60	12	42,5	3
0,30 - 0,40	17	66,5	1	2,60 - 2,70	10	35,4	3
0,40 - 0,50	17	66,5	1	2,70 - 2,80	8	28,3	3
0,50 - 0,60	14	54,8	1	2,80 - 2,90	8	27,1	4
0,60 - 0,70	13	50,9	1	2,90 - 3,00	10	33,8	4
0,70 - 0,80	12	47,0	1	3,00 - 3,10	11	37,2	4
0,80 - 0,90	11	40,9	2	3,10 - 3,20	12	40,6	4
0,90 - 1,00	10	37,2	2	3,20 - 3,30	10	33,8	4
1,00 - 1,10	8	29,8	2	3,30 - 3,40	14	47,4	4
1,10 - 1,20	6	22,3	2	3,40 - 3,50	16	54,1	4
1,20 - 1,30	5	18,6	2	3,50 - 3,60	20	67,7	4
1,30 - 1,40	5	18,6	2	3,60 - 3,70	18	60,9	4
1,40 - 1,50	5	18,6	2	3,70 - 3,80	18	60,9	4
1,50 - 1,60	4	14,9	2	3,80 - 3,90	16	51,8	5
1,60 - 1,70	7	26,0	2	3,90 - 4,00	14	45,3	5
1,70 - 1,80	8	29,8	2	4,00 - 4,10	17	55,0	5
1,80 - 1,90	6	21,3	3	4,10 - 4,20	17	55,0	5
1,90 - 2,00	7	24,8	3	4,20 - 4,30	27	87,4	5
2,00 - 2,10	7	24,8	3	4,30 - 4,40	42	136,0	5
2,10 - 2,20	9	31,9	3	4,40 - 4,50	58	187,8	5
2,20 - 2,30	11	39,0	3				

- PENETROMETRO DINAMICO tipo : **DM-30 (60°)**  
 - M (massa battente)= **30,00 kg** - H (altezza caduta)= **0,20 m** - A (area punta)= **10,00 cm<sup>2</sup>** - D(diam. punta)= **35,70 mm**  
 - Numero Colpi Punta N = N(10) [  $\delta = 10 \text{ cm}$  ] - Uso rivestimento / fanghi iniezione : **NO**

**Studio di Geologia Applicata**

Dott. Salvatore Lo Verme

Indagini Geofisiche e Geotecniche

Riferimento: 07-83

**PROVA PENETROMETRICA DINAMICA  
 TABELLE VALORI DI RESISTENZA**

**DIN 6**

- committente :	Laap Architects	- data :	22/03/2024
- lavoro :	Realizzazione impianto agrivoltaico Galiello	- quota inizio :	
- località :	Galiello nel territorio di Monreale (Pa)	- prof. falda :	Falda non rilevata
- note :		- pagina :	1

Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm <sup>2</sup> )	asta	Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm <sup>2</sup> )	asta
0,00 - 0,10	3	11,7	1	2,90 - 3,00	7	23,7	4
0,10 - 0,20	8	31,3	1	3,00 - 3,10	6	20,3	4
0,20 - 0,30	9	35,2	1	3,10 - 3,20	6	20,3	4
0,30 - 0,40	8	31,3	1	3,20 - 3,30	6	20,3	4
0,40 - 0,50	8	31,3	1	3,30 - 3,40	6	20,3	4
0,50 - 0,60	7	27,4	1	3,40 - 3,50	6	20,3	4
0,60 - 0,70	7	27,4	1	3,50 - 3,60	6	20,3	4
0,70 - 0,80	8	31,3	1	3,60 - 3,70	5	16,9	4
0,80 - 0,90	6	22,3	2	3,70 - 3,80	6	20,3	4
0,90 - 1,00	6	22,3	2	3,80 - 3,90	5	16,2	5
1,00 - 1,10	6	22,3	2	3,90 - 4,00	6	19,4	5
1,10 - 1,20	6	22,3	2	4,00 - 4,10	5	16,2	5
1,20 - 1,30	4	14,9	2	4,10 - 4,20	6	19,4	5
1,30 - 1,40	6	22,3	2	4,20 - 4,30	7	22,7	5
1,40 - 1,50	6	22,3	2	4,30 - 4,40	8	25,9	5
1,50 - 1,60	6	22,3	2	4,40 - 4,50	9	29,1	5
1,60 - 1,70	8	29,8	2	4,50 - 4,60	7	22,7	5
1,70 - 1,80	10	37,2	2	4,60 - 4,70	8	25,9	5
1,80 - 1,90	9	31,9	3	4,70 - 4,80	12	38,8	5
1,90 - 2,00	10	35,4	3	4,80 - 4,90	9	27,9	6
2,00 - 2,10	9	31,9	3	4,90 - 5,00	11	34,1	6
2,10 - 2,20	9	31,9	3	5,00 - 5,10	12	37,2	6
2,20 - 2,30	8	28,3	3	5,10 - 5,20	11	34,1	6
2,30 - 2,40	8	28,3	3	5,20 - 5,30	9	27,9	6
2,40 - 2,50	7	24,8	3	5,30 - 5,40	10	31,0	6
2,50 - 2,60	8	28,3	3	5,40 - 5,50	19	59,0	6
2,60 - 2,70	7	24,8	3	5,50 - 5,60	20	62,1	6
2,70 - 2,80	6	21,3	3	5,60 - 5,70	13	40,3	6
2,80 - 2,90	5	16,9	4	5,70 - 5,80	12	37,2	6

- PENETROMETRO DINAMICO tipo : **DM-30 (60°)**

- M (massa battente)= **30,00 kg** - H (altezza caduta)= **0,20 m** - A (area punta)= **10,00 cm<sup>2</sup>** - D(diam. punta)= **35,70 mm**

- Numero Colpi Punta N = **N(10)** [  $\delta = 10 \text{ cm}$  ]

- Uso rivestimento / fanghi iniezione : **NO**

**Studio di Geologia Applicata**

Dott. Salvatore Lo Verme  
 Indagini Geofisiche e Geotecniche

Riferimento: 07-83

**PROVA PENETROMETRICA DINAMICA  
 TABELLE VALORI DI RESISTENZA**

**DIN 7**

- committente :	Laap Architects	- data :	22/03/2024
- lavoro :	Realizzazione impianto agrivoltaico Galiello	- quota inizio :	
- località :	Galiello nel territorio di Monreale (Pa)	- prof. falda :	Falda non rilevata
- note :		- pagina :	1

Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm²)	asta	Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm²)	asta
0,00 - 0,10	9	35,2	1	2,30 - 2,40	7	24,8	3
0,10 - 0,20	15	58,7	1	2,40 - 2,50	7	24,8	3
0,20 - 0,30	12	47,0	1	2,50 - 2,60	6	21,3	3
0,30 - 0,40	14	54,8	1	2,60 - 2,70	5	17,7	3
0,40 - 0,50	11	43,0	1	2,70 - 2,80	6	21,3	3
0,50 - 0,60	9	35,2	1	2,80 - 2,90	6	20,3	4
0,60 - 0,70	7	27,4	1	2,90 - 3,00	6	20,3	4
0,70 - 0,80	7	27,4	1	3,00 - 3,10	7	23,7	4
0,80 - 0,90	6	22,3	2	3,10 - 3,20	7	23,7	4
0,90 - 1,00	5	18,6	2	3,20 - 3,30	7	23,7	4
1,00 - 1,10	6	22,3	2	3,30 - 3,40	7	23,7	4
1,10 - 1,20	7	26,0	2	3,40 - 3,50	6	20,3	4
1,20 - 1,30	5	18,6	2	3,50 - 3,60	6	20,3	4
1,30 - 1,40	6	22,3	2	3,60 - 3,70	7	23,7	4
1,40 - 1,50	5	18,6	2	3,70 - 3,80	9	30,5	4
1,50 - 1,60	6	22,3	2	3,80 - 3,90	11	35,6	5
1,60 - 1,70	5	18,6	2	3,90 - 4,00	11	35,6	5
1,70 - 1,80	5	18,6	2	4,00 - 4,10	12	38,8	5
1,80 - 1,90	5	17,7	3	4,10 - 4,20	22	71,2	5
1,90 - 2,00	6	21,3	3	4,20 - 4,30	28	90,6	5
2,00 - 2,10	7	24,8	3	4,30 - 4,40	42	136,0	5
2,10 - 2,20	8	28,3	3	4,40 - 4,50	61	197,5	5
2,20 - 2,30	7	24,8	3				

- PENETROMETRO DINAMICO tipo : **DM-30 (60°)**

- M (massa battente)= **30,00 kg** - H (altezza caduta)= **0,20 m** - A (area punta)= **10,00 cm²** - D(diam. punta)= **35,70 mm**

- Numero Colpi Punta N = N(10) [  $\delta = 10 \text{ cm}$  ]

- Uso rivestimento / fanghi iniezione : **NO**

**Studio di Geologia Applicata**

Dott. Salvatore Lo Verme  
 Indagini Geofisiche e Geotecniche

Riferimento: 07-83

**PROVA PENETROMETRICA DINAMICA**

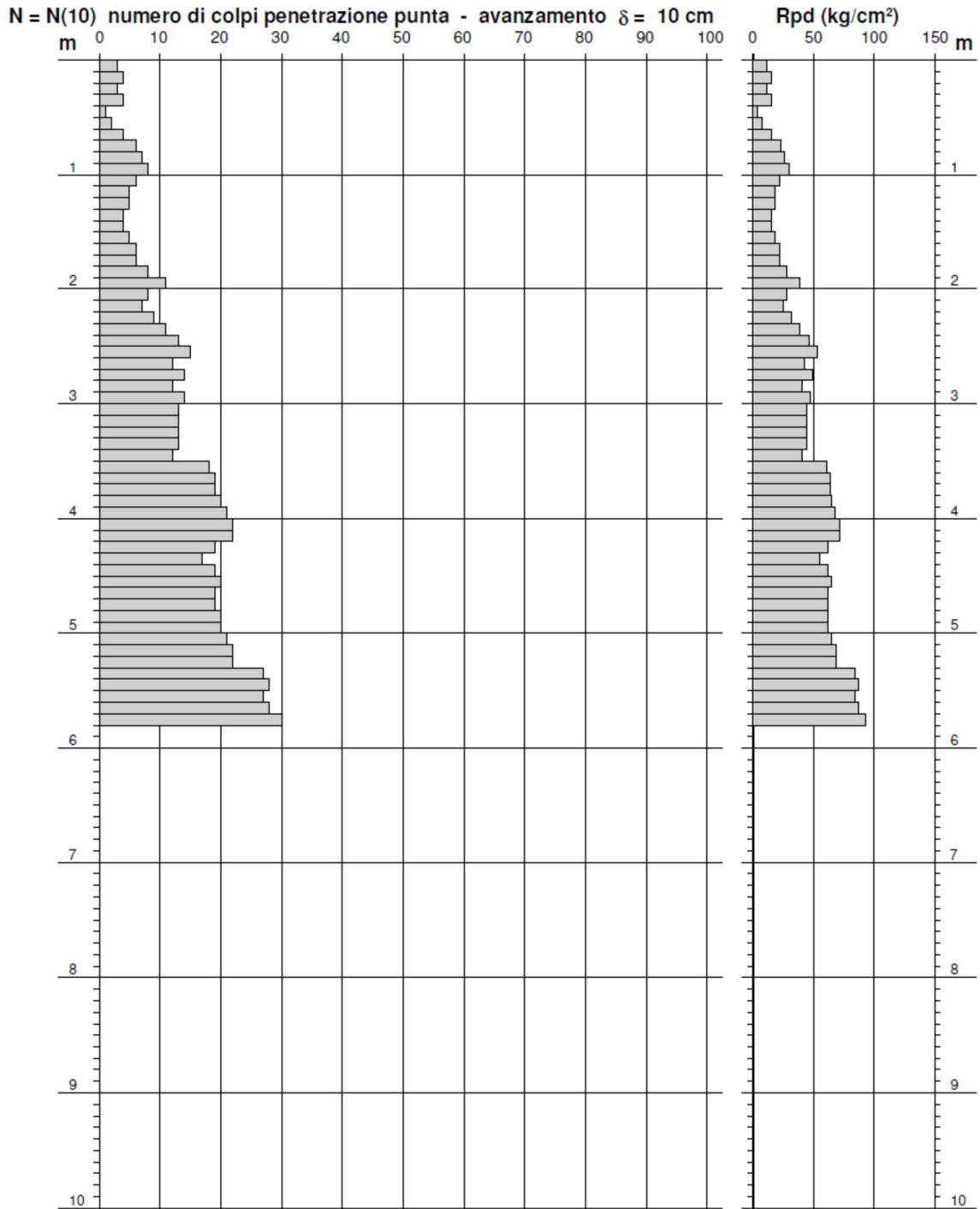
**DIN 1**

**DIAGRAMMA NUMERO COLPI PUNTA - Rpd**

Scala 1: 50

- committente : Laap Architects  
 - lavoro : Realizzazione impianto agrivoltaico Galiello  
 - località : Galiello nel territorio di Monreale (Pa)  
 - note :

- data : 22/03/2024  
 - quota inizio :  
 - prof. falda : Falda non rilevata  
 - pagina : 1



**Studio di Geologia Applicata**

Dott. Salvatore Lo Verme  
 Indagini Geofisiche e Geotecniche

Riferimento: 07-83

**PROVA PENETROMETRICA DINAMICA**

**DIN 2**

**DIAGRAMMA NUMERO COLPI PUNTA - Rpd**

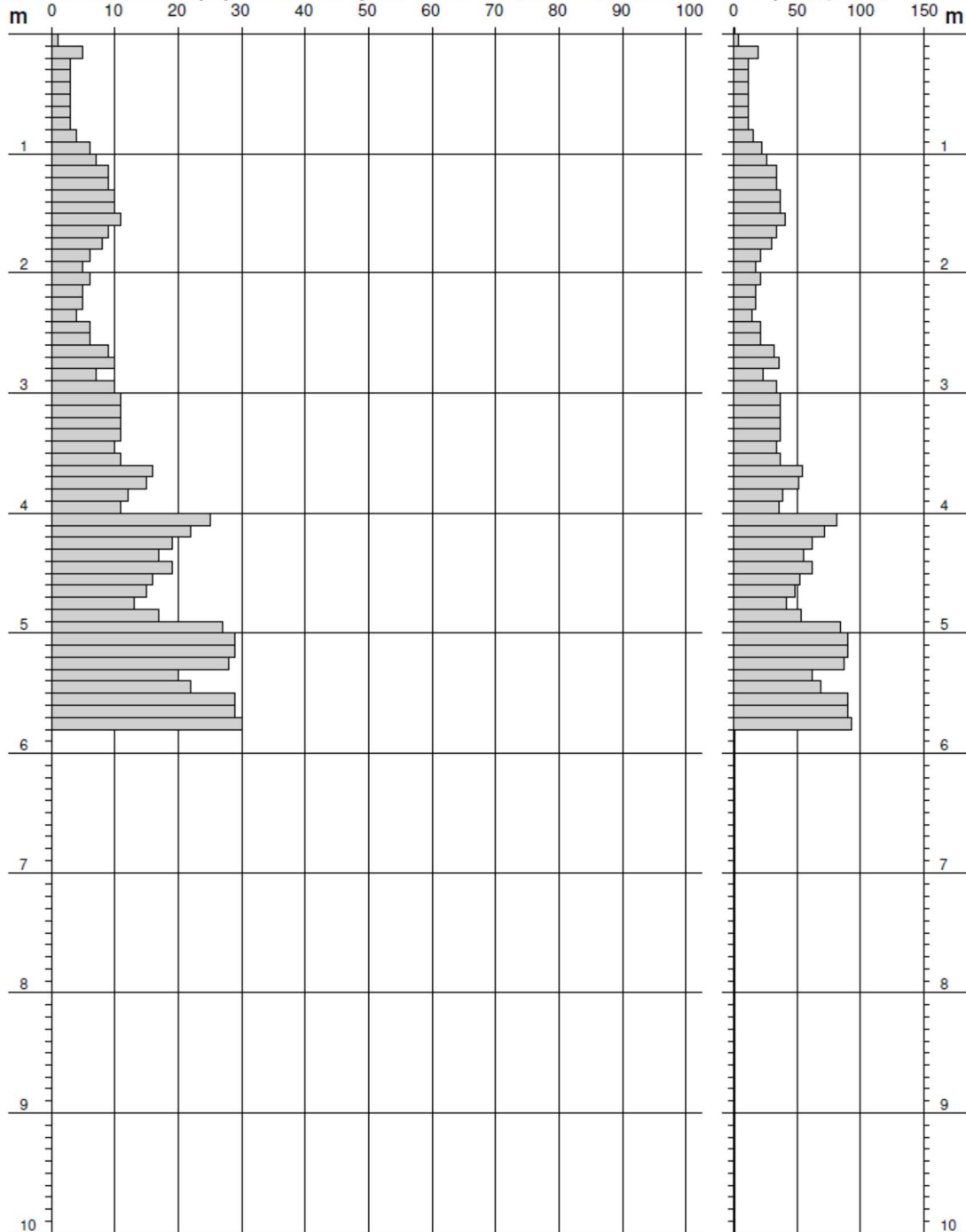
Scala 1: 50

- committente : Laap Architects  
 - lavoro : Realizzazione impianto agrivoltaico Galiello  
 - località : Galiello nel territorio di Monreale (Pa)  
 - note :

- data : 22/03/2024  
 - quota inizio :  
 - prof. falda : Falda non rilevata  
 - pagina : 1

**N = N(10) numero di colpi penetrazione punta - avanzamento  $\delta = 10$  cm**

**Rpd (kg/cm<sup>2</sup>)**



**Studio di Geologia Applicata**

Dott. Salvatore Lo Verme  
 Indagini Geofisiche e Geotecniche

Riferimento: 07-83

**PROVA PENETROMETRICA DINAMICA**

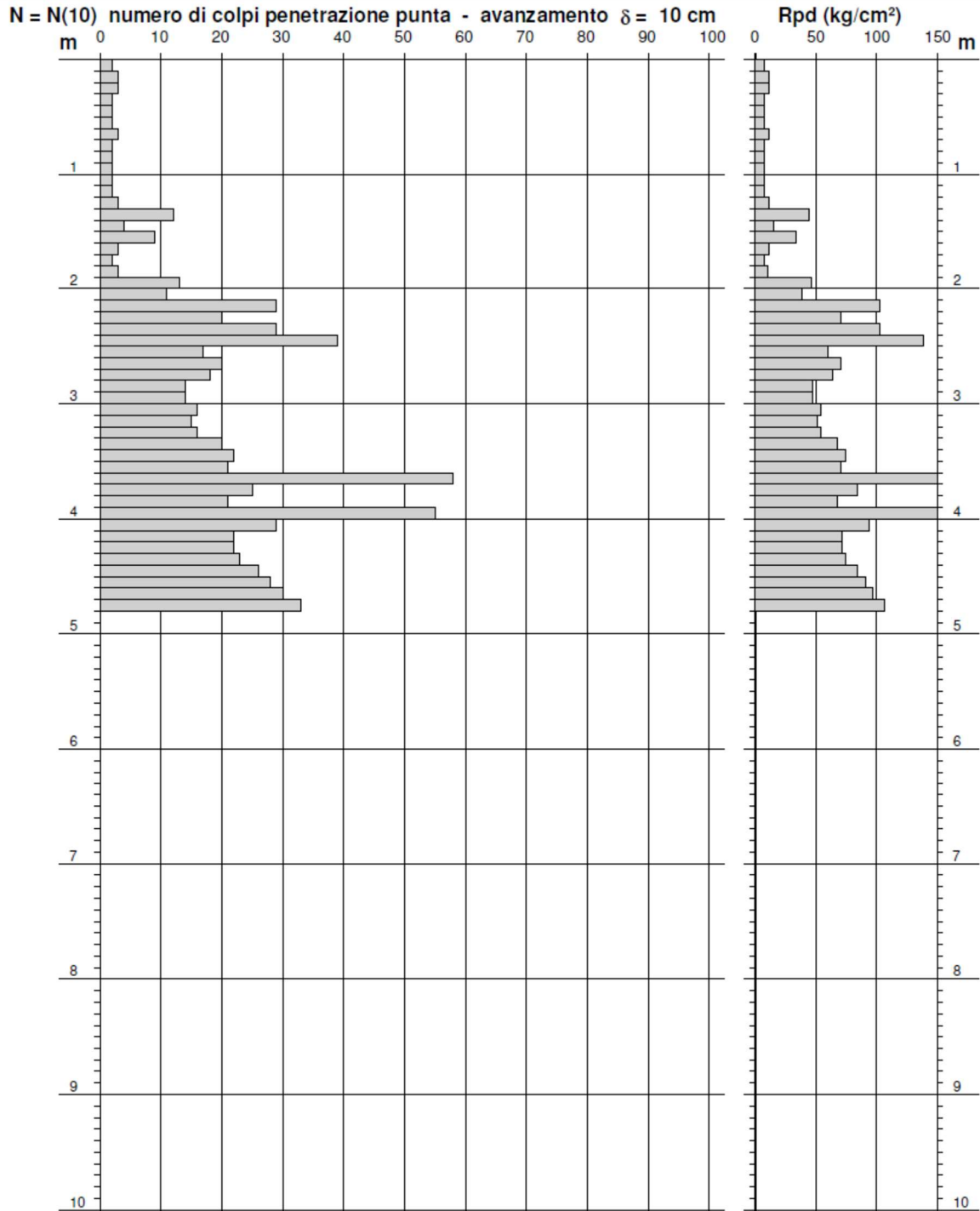
**DIN 3**

**DIAGRAMMA NUMERO COLPI PUNTA - Rpd**

Scala 1: 50

- committente : Laap Architects  
 - lavoro : Realizzazione impianto agrivoltaico Galiello  
 - località : Galiello nel territorio di Monreale (Pa)  
 - note :

- data : 22/03/2024  
 - quota inizio :  
 - prof. falda : Falda non rilevata  
 - pagina : 1





**Studio di Geologia Applicata**

Dott. Salvatore Lo Verme  
 Indagini Geofisiche e Geotecniche

Riferimento: 07-83

**PROVA PENETROMETRICA DINAMICA**

**DIN 4**

**DIAGRAMMA NUMERO COLPI PUNTA - Rpd**

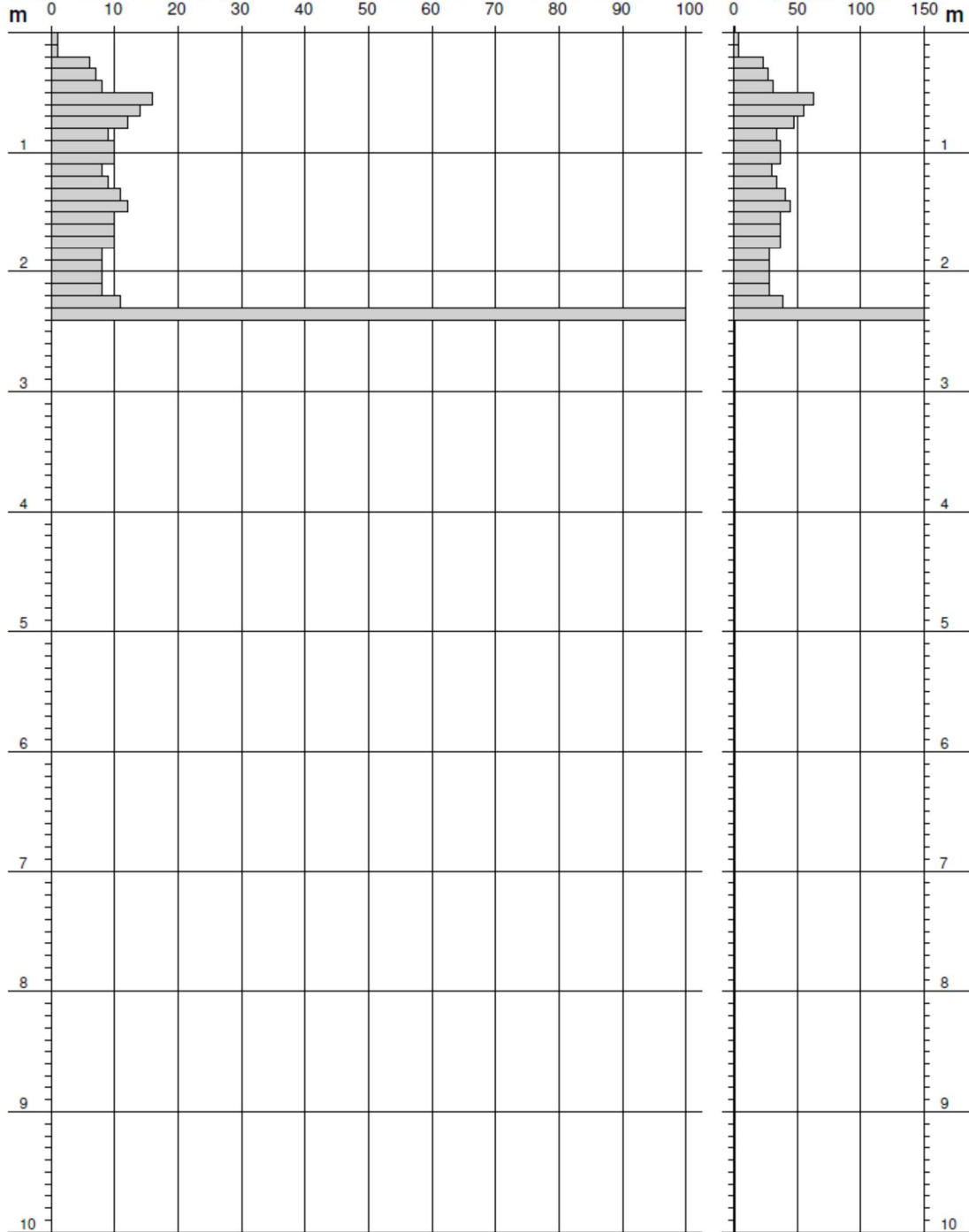
Scala 1: 50

- committente : Laap Architects  
 - lavoro : Realizzazione impianto agrivoltaico Galiello  
 - località : Galiello nel territorio di Monreale (Pa)  
 - note :

- data : 22/03/2024  
 - quota inizio :  
 - prof. falda : Falda non rilevata  
 - pagina : 1

**N = N(10) numero di colpi penetrazione punta - avanzamento  $\delta = 10$  cm**

**Rpd (kg/cm<sup>2</sup>)**



**Studio di Geologia Applicata**

Dott. Salvatore Lo Verme  
 Indagini Geofisiche e Geotecniche

Riferimento: 07-83

**PROVA PENETROMETRICA DINAMICA**

**DIN 5**

**DIAGRAMMA NUMERO COLPI PUNTA - Rpd**

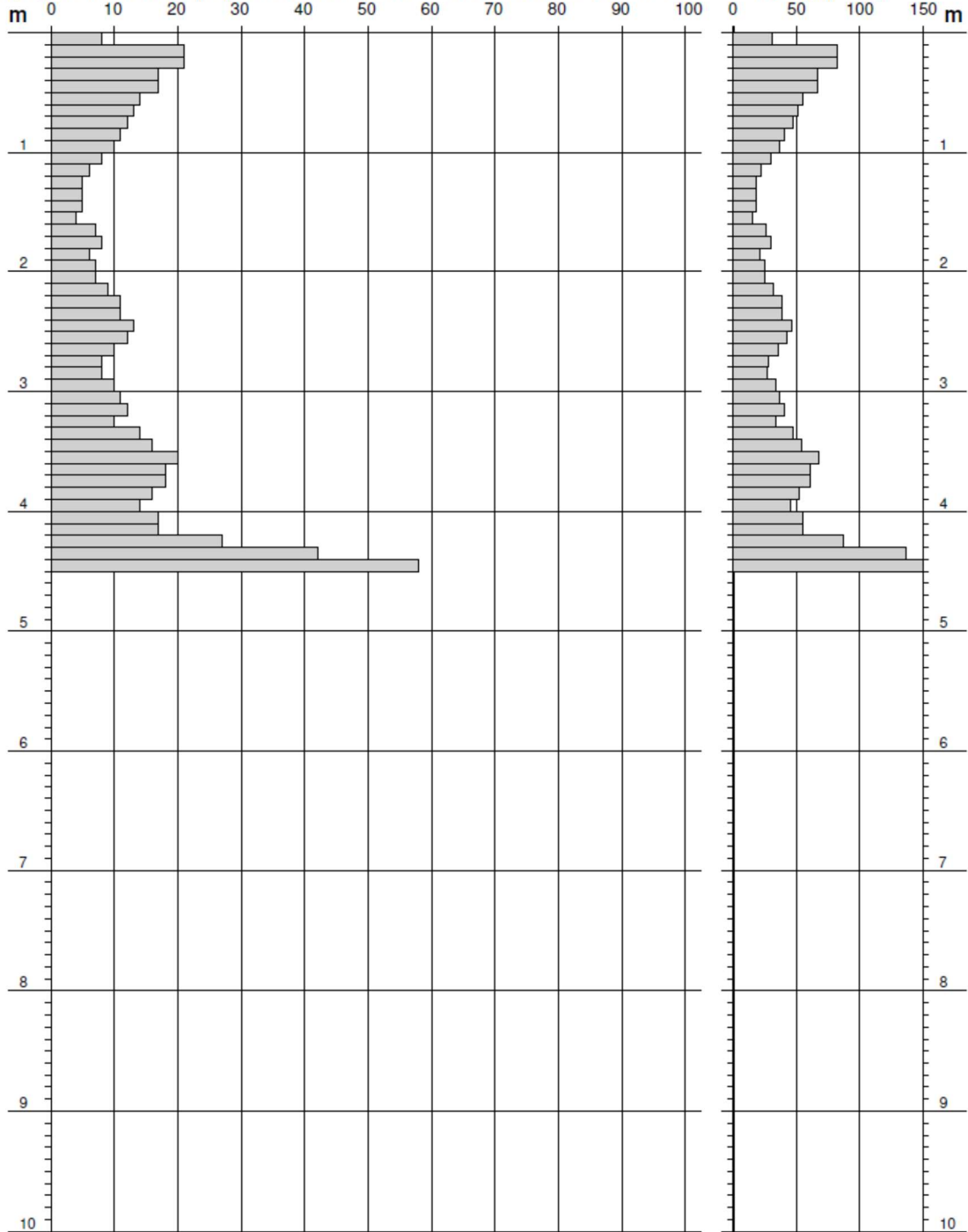
Scala 1: 50

- committente : Laap Architects  
 - lavoro : Realizzazione impianto agrivoltaico Galiello  
 - località : Galiello nel territorio di Monreale (Pa)  
 - note :

- data : 22/03/2024  
 - quota inizio :  
 - prof. falda : Falda non rilevata  
 - pagina : 1

**N = N(10) numero di colpi penetrazione punta - avanzamento  $\delta = 10$  cm**

**Rpd (kg/cm<sup>2</sup>)**



**Studio di Geologia Applicata**

Dott. Salvatore Lo Verme  
 Indagini Geofisiche e Geotecniche

Riferimento: 07-83

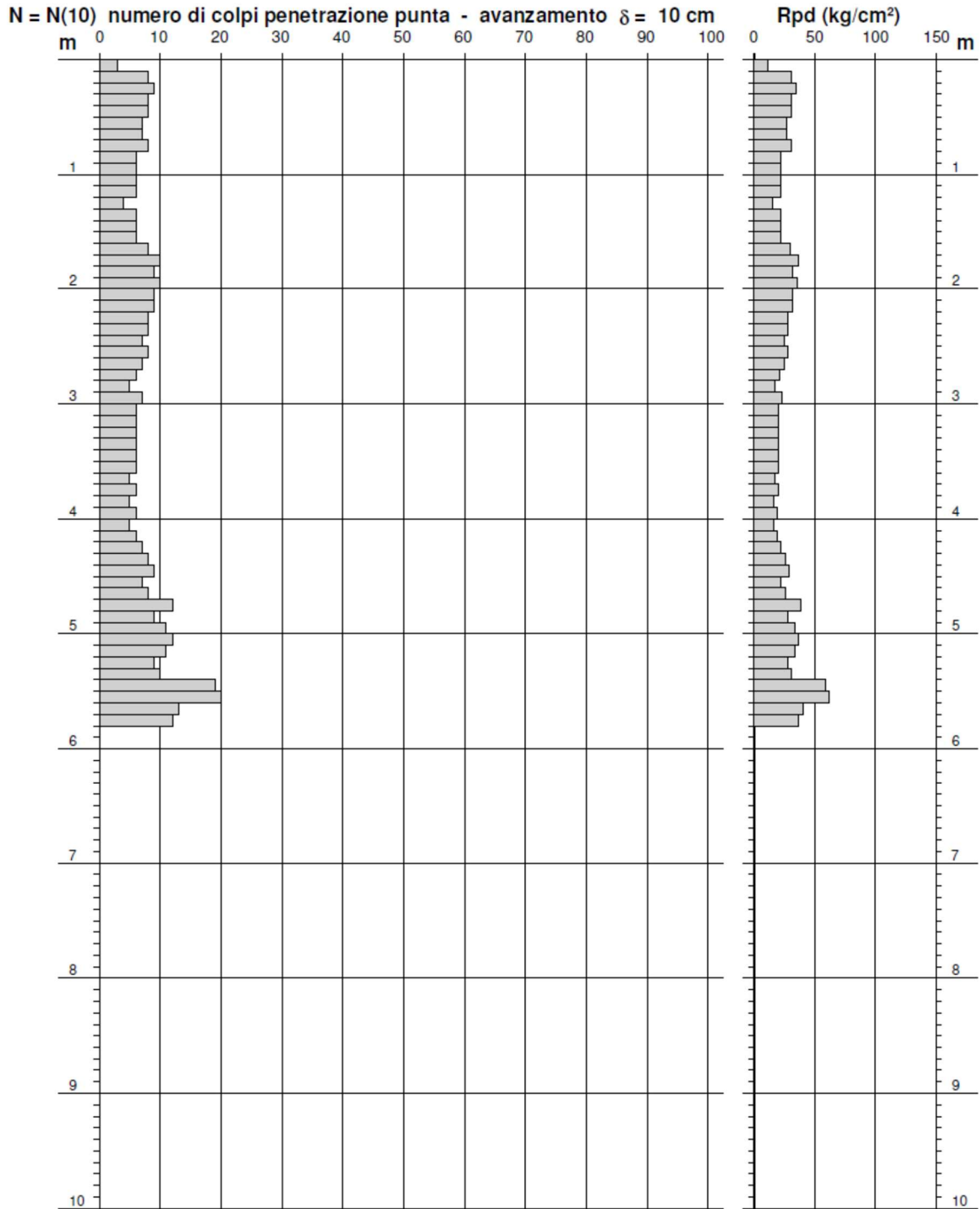
**PROVA PENETROMETRICA DINAMICA  
 DIAGRAMMA NUMERO COLPI PUNTA - Rpd**

**DIN 6**

Scala 1: 50

- committente : Laap Architects  
 - lavoro : Realizzazione impianto agrivoltaico Galiello  
 - località : Galiello nel territorio di Monreale (Pa)  
 - note :

- data : 22/03/2024  
 - quota inizio :  
 - prof. falda : Falda non rilevata  
 - pagina : 1



**Studio di Geologia Applicata**  
 Dott. Salvatore Lo Verme  
 Indagini Geofisiche e Geotecniche

Riferimento: 07-83

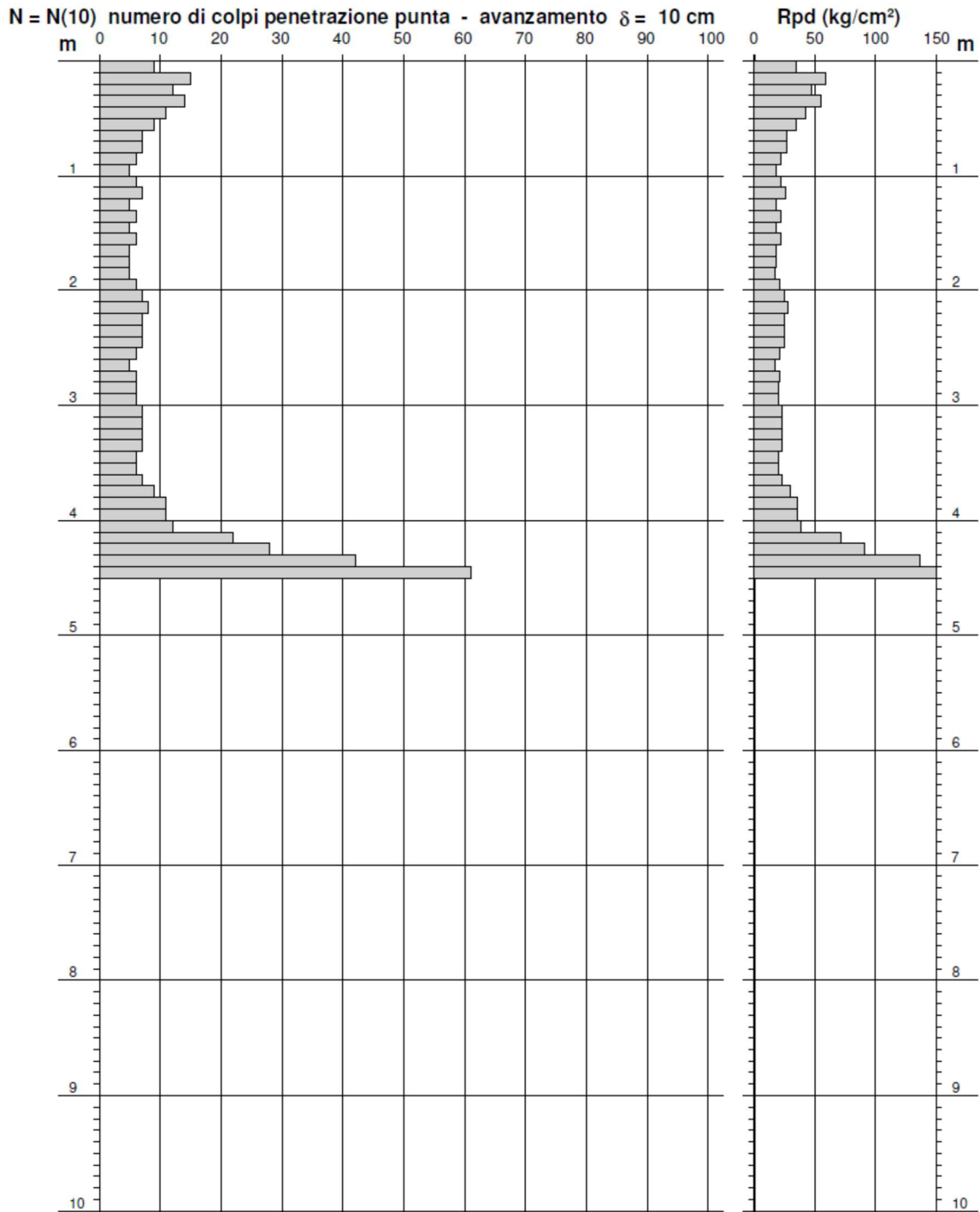
**PROVA PENETROMETRICA DINAMICA**  
**DIAGRAMMA NUMERO COLPI PUNTA - Rpd**

**DIN 7**

Scala 1: 50

- committente : Laap Architects  
 - lavoro : Realizzazione impianto agrivoltaico Galiello  
 - località : Galiello nel territorio di Monreale (Pa)  
 - note :

- data : 22/03/2024  
 - quota inizio :  
 - prof. falda : Falda non rilevata  
 - pagina : 1



**Studio di Geologia Applicata**

Dott. Salvatore Lo Verme  
 Indagini Geofisiche e Geotecniche

Riferimento: 07-83

**PROVA PENETROMETRICA DINAMICA  
 ELABORAZIONE STATISTICA**

**DIN 1**

- committente :	Laap Architects	- data :	22/03/2024
- lavoro :	Realizzazione impianto agrivoltaico Galiello	- quota inizio :	
- località :	Galiello nel territorio di Monreale (Pa)	- prof. falda :	Falda non rilevata
- note :		- pagina :	1

n°	Profondità (m)		PARAMETRO	ELABORAZIONE STATISTICA							VCA	β	Nspt
				M	min	Max	½(M+min)	s	M-s	M+s			
1	0,00	0,70	N	3,0	1	4	2,0	1,2	1,8	4,2	3	0,77	2
			Rpd	11,7	4	16	7,8	4,5	7,2	16,3			
2	0,70	1,80	N	5,6	4	8	4,8	1,2	4,4	6,8	6	0,77	5
			Rpd	21,1	15	30	18,0	4,5	16,5	25,6			
3	1,80	3,50	N	11,6	7	15	9,3	2,3	9,3	14,0	12	0,77	9
			Rpd	40,4	25	53	32,6	7,9	32,5	48,3			
4	3,50	5,80	N	21,7	17	30	19,3	3,7	18,0	25,4	22	0,77	17
			Rpd	69,2	55	93	62,1	10,3	58,8	79,5			

M: valore medio min: valore minimo Max: valore massimo s: scarto quadratico medio VCA: valore caratteristico assunto  
 N: numero Colpi Punta prova penetrometrica dinamica (avanzamento δ = 10 cm) Rpd: resistenza dinamica alla punta (kg/cm²)  
 β: Coefficiente correlazione con prova SPT (valore teorico βt = 0,77) Nspt: numero colpi prova SPT (avanzamento δ = 30 cm)

**Nspt - PARAMETRI GEOTECNICI**

**DIN 1**

n°	Prof.(m)		LITOLOGIA	Nspt	NATURA GRANULARE					NATURA COESIVA			
					DR	σ'	E'	Ysat	Yd	Cu	Ysat	W	e
1	0.00	0.70		2	7.5	16.8	207	1.85	1.36	0.13	1.75	47	1.267
2	0.70	1.80		5	18.3	18.0	230	1.88	1.41	0.31	1.83	39	1.061
3	1.80	3.50		9	31.7	19.6	261	1.92	1.48	0.56	1.89	34	0.918
4	3.50	5.80		17	45.5	22.1	322	1.97	1.56	1.06	1.98	27	0.729

Nspt: numero di colpi prova SPT (avanzamento δ = 30 cm)

DR % = densità relativa σ' (°) = angolo di attrito efficace E' (kg/cm²) = modulo di deformazione drenato W% = contenuto d'acqua  
 e (-) = indice dei vuoti Cu (kg/cm²) = coesione non drenata Ysat, Yd (t/m³) = peso di volume saturo e secco (rispettivamente) del terreno

**Studio di Geologia Applicata**

Dott. Salvatore Lo Verme

Indagini Geofisiche e Geotecniche

Riferimento: 07-83

**PROVA PENETROMETRICA DINAMICA  
 ELABORAZIONE STATISTICA**

**DIN 2**

- committente :	Laap Architects	- data :	22/03/2024
- lavoro :	Realizzazione impianto agrivoltaico Galiello	- quota inizio :	
- località :	Galiello nel territorio di Monreale (Pa)	- prof. falda :	Falda non rilevata
- note :		- pagina :	1

n°	Profondità (m)		PARAMETRO	ELABORAZIONE STATISTICA							VCA	β	Nspt
				M	min	Max	½(M+min)	s	M-s	M+s			
1	0,00	0,90	N	3,1	1	5	2,1	1,1	2,1	4,2	3	0,77	2
			Rpd	12,1	4	20	8,0	4,1	8,0	16,1			
2	0,90	1,80	N	8,8	6	11	7,4	1,6	7,2	10,3	9	0,77	7
			Rpd	32,6	22	41	27,5	5,8	26,8	38,5			
3	1,80	4,00	N	9,0	4	16	6,5	3,3	5,7	12,3	9	0,77	7
			Rpd	30,7	14	54	22,5	10,9	19,9	41,6			
4	4,00	5,80	N	22,6	13	30	17,8	5,8	16,8	28,3	23	0,77	18
			Rpd	71,1	42	93	56,6	17,2	53,9	88,3			

M: valore medio min: valore minimo Max: valore massimo s: scarto quadratico medio VCA: valore caratteristico assunto  
 N: numero Colpi Punta prova penetrometrica dinamica (avanzamento δ = 10 cm) Rpd: resistenza dinamica alla punta (kg/cm²)  
 β: Coefficiente correlazione con prova SPT (valore teorico βt = 0,77) Nspt: numero colpi prova SPT (avanzamento δ = 30 cm)

**Nspt - PARAMETRI GEOTECNICI**

**DIN 2**

n°	Prof.(m)		LITOLOGIA	Nspt	NATURA GRANULARE					NATURA COESIVA			
					DR	σ'	E'	Ysat	Yd	Cu	Ysat	W	e
1	0.00	0.90		2	7.5	16.8	207	1.85	1.36	0.13	1.75	47	1.267
2	0.90	1.80		7	25.0	18.8	245	1.90	1.45	0.44	1.86	36	0.972
3	1.80	4.00		7	25.0	18.8	245	1.90	1.45	0.44	1.86	36	0.972
4	4.00	5.80		18	47.0	22.4	330	1.98	1.57	1.13	2.00	26	0.708

Nspt: numero di colpi prova SPT (avanzamento δ = 30 cm)

DR % = densità relativa σ' (°) = angolo di attrito efficace E' (kg/cm²) = modulo di deformazione drenato W% = contenuto d'acqua  
 e (-) = indice dei vuoti Cu (kg/cm²) = coesione non drenata Ysat, Yd (t/m³) = peso di volume saturo e secco (rispettivamente) del terreno

**Studio di Geologia Applicata**

Dott. Salvatore Lo Verme  
 Indagini Geofisiche e Geotecniche

Riferimento: 07-83

**PROVA PENETROMETRICA DINAMICA  
 ELABORAZIONE STATISTICA**

**DIN 3**

- committente : Laap Architects - data : 22/03/2024  
 - lavoro : Realizzazione impianto agrivoltaico Galiello - quota inizio :  
 - località : Galiello nel territorio di Monreale (Pa) - prof. falda : Falda non rilevata  
 - note : - pagina : 1

n°	Profondità (m)		PARAMETRO	ELABORAZIONE STATISTICA						VCA	$\beta$	Nspt	
				M	min	Max	$\frac{1}{2}(M+min)$	s	M-s				M+s
1	0,00	1,90	N	3,3	2	12	2,7	2,6	---	6,0	3	0,77	2
			Rpd	12,5	7	45	10,0	9,8	2,7	22,3			
2	1,90	4,30	N	23,6	11	58	17,3	11,9	11,6	35,5	24	0,77	18
			Rpd	80,2	39	196	59,6	39,7	40,5	119,9			
3	4,30	4,80	N	28,0	23	33	25,5	---	---	---	28	0,77	21
			Rpd	90,6	75	107	82,6	---	---	---			

M: valore medio min: valore minimo Max: valore massimo s: scarto quadratico medio VCA: valore caratteristico assunto  
 N: numero Colpi Punta prova penetrometrica dinamica (avanzamento  $\delta = 10$  cm) Rpd: resistenza dinamica alla punta (kg/cm<sup>2</sup>)  
 $\beta$ : Coefficiente correlazione con prova SPT (valore teorico  $\beta = 0,77$ ) Nspt: numero colpi prova SPT (avanzamento  $\delta = 30$  cm)

**Nspt - PARAMETRI GEOTECNICI**

**DIN 3**

n°	Prof.(m)		LITOLOGIA	Nspt	NATURA GRANULARE					NATURA COESIVA			
					DR	$\sigma'$	E'	Ysat	Yd	Cu	Ysat	W	e
1	0.00	1.90		2	7.5	16.8	207	1.85	1.36	0.13	1.75	47	1.267
2	1.90	4.30		18	47.0	22.4	330	1.98	1.57	1.13	2.00	26	0.708
3	4.30	4.80		21	51.5	23.3	353	2.00	1.60	1.31	2.03	24	0.648

Nspt: numero di colpi prova SPT (avanzamento  $\delta = 30$  cm)

DR % = densità relativa  $\sigma'$  (°) = angolo di attrito efficace E' (kg/cm<sup>2</sup>) = modulo di deformazione drenato W% = contenuto d'acqua  
 e (-) = indice dei vuoti Cu (kg/cm<sup>2</sup>) = coesione non drenata Ysat, Yd (t/m<sup>3</sup>) = peso di volume saturo e secco (rispettivamente) del terreno

**Studio di Geologia Applicata**

Dott. Salvatore Lo Verme

Indagini Geofisiche e Geotecniche

Riferimento: 07-83

**PROVA PENETROMETRICA DINAMICA  
 ELABORAZIONE STATISTICA**

**DIN 4**

- committente :	Laap Architects	- data :	22/03/2024
- lavoro :	Realizzazione impianto agrivoltaico Galiello	- quota inizio :	
- località :	Galiello nel territorio di Monreale (Pa)	- prof. falda :	Falda non rilevata
- note :		- pagina :	1

n°	Profondità (m)	PARAMETRO	ELABORAZIONE STATISTICA							VCA	$\beta$	Nspt
			M	min	Max	$\frac{1}{2}(M+min)$	s	M-s	M+s			
1	0,00 0,50	N	4,6	1	8	2,8	----	----	----	5	0,77	4
		Rpd	18,0	4	31	11,0	----	----	----			
2	0,50 2,30	N	10,2	8	16	9,1	2,2	8,0	12,4	10	0,77	8
		Rpd	38,0	28	63	33,2	9,4	28,6	47,5			
3	2,30 2,40	N	100,0	100	100	100,0	----	----	----	100	0,77	77
		Rpd	354,3	354	354	354,3	----	----	----			

M: valore medio min: valore minimo Max: valore massimo s: scarto quadratico medio VCA: valore caratteristico assunto  
 N: numero Colpi Punta prova penetrometrica dinamica (avanzamento  $\delta = 10$  cm) Rpd: resistenza dinamica alla punta (kg/cm<sup>2</sup>)  
 $\beta$ : Coefficiente correlazione con prova SPT (valore teorico  $\beta_t = 0,77$ ) Nspt: numero colpi prova SPT (avanzamento  $\delta = 30$  cm)

**Nspt - PARAMETRI GEOTECNICI**

**DIN 4**

n°	Prof.(m)	LITOLOGIA	Nspt	NATURA GRANULARE					NATURA COESIVA			
				DR	$\phi'$	E'	Ysat	Yd	Cu	Ysat	W	e
1	0.00 0.50		4	15.0	17.6	222	1.87	1.39	0.25	1.80	42	1.125
2	0.50 2.30		8	28.3	19.2	253	1.91	1.46	0.50	1.87	35	0.945
3	2.30 2.40		77	95.1	34.4	785	2.21	1.94	4.81	2.71	----	-0.006

Nspt: numero di colpi prova SPT (avanzamento  $\delta = 30$  cm)

DR % = densità relativa  $\phi'$  (°) = angolo di attrito efficace E' (kg/cm<sup>2</sup>) = modulo di deformazione drenato W% = contenuto d'acqua  
 e (-) = indice dei vuoti Cu (kg/cm<sup>2</sup>) = coesione non drenata Ysat, Yd (t/m<sup>3</sup>) = peso di volume saturo e secco (rispettivamente) del terreno



**Studio di Geologia Applicata**

Dott. Salvatore Lo Verme  
 Indagini Geofisiche e Geotecniche

Riferimento: 07-83

**PROVA PENETROMETRICA DINAMICA  
 ELABORAZIONE STATISTICA**

**DIN 5**

- committente : Laap Architects - data : 22/03/2024  
 - lavoro : Realizzazione impianto agrivoltaico Galiello - quota inizio :  
 - località : Galiello nel territorio di Monreale (Pa) - prof. falda : Falda non rilevata  
 - note : - pagina : 1

n°	Profondità (m)	PARAMETRO	ELABORAZIONE STATISTICA								VCA	$\beta$	Nspt
			M	min	Max	$\frac{1}{2}(M+min)$	s	M-s	M+s				
1	0,00 1,10	N	13,8	8	21	10,9	4,7	9,2	18,5	14	0,77	11	
		Rpd	53,6	30	82	41,7	18,8	34,8	72,3	54			
2	1,10 2,10	N	6,0	4	8	5,0	1,2	4,8	7,2	6	0,77	5	
		Rpd	22,0	15	30	18,4	4,5	17,5	26,4	22			
3	2,10 3,30	N	10,4	8	13	9,2	1,6	8,9	12,0	10	0,77	8	
		Rpd	36,2	27	46	31,6	5,6	30,6	41,9	35			
4	3,30 4,20	N	16,7	14	20	15,3	1,9	14,7	18,6	17	0,77	13	
		Rpd	55,4	45	68	50,3	7,0	48,4	62,4	56			
5	4,20 4,50	N	42,3	27	58	34,7	---	---	---	42	0,77	32	
		Rpd	137,1	87	188	112,2	---	---	---	136			

M: valore medio min: valore minimo Max: valore massimo s: scarto quadratico medio VCA: valore caratteristico assunto  
 N: numero Colpi Punta prova penetrometrica dinamica (avanzamento  $\delta = 10$  cm) Rpd: resistenza dinamica alla punta (kg/cm<sup>2</sup>)  
 $\beta$ : Coefficiente correlazione con prova SPT (valore teorico  $\beta_t = 0,77$ ) Nspt: numero colpi prova SPT (avanzamento  $\delta = 30$  cm)

**Nspt - PARAMETRI GEOTECNICI**

**DIN 5**

n°	Prof.(m)	LITOLOGIA	Nspt	NATURA GRANULARE					NATURA COESIVA			
				DR	$\sigma'$	E'	Ysat	Yd	Cu	Ysat	W	e
1	0.00 1.10		11	36.5	20.3	276	1.94	1.51	0.69	1.91	32	0.867
2	1.10 2.10		5	18.3	18.0	230	1.88	1.41	0.31	1.83	39	1.061
3	2.10 3.30		8	28.3	19.2	253	1.91	1.46	0.50	1.87	35	0.945
4	3.30 4.20		13	39.5	20.9	292	1.95	1.53	0.81	1.93	30	0.818
5	4.20 4.50		32	67.0	26.5	438	2.06	1.71	2.00	2.17	17	0.459

Nspt: numero di colpi prova SPT (avanzamento  $\delta = 30$  cm)

DR % = densità relativa  $\sigma'$  (°) = angolo di attrito efficace E' (kg/cm<sup>2</sup>) = modulo di deformazione drenato W% = contenuto d'acqua  
 e (-) = indice dei vuoti Cu (kg/cm<sup>2</sup>) = coesione non drenata Ysat, Yd (t/m<sup>3</sup>) = peso di volume saturo e secco (rispettivamente) del terreno

**Studio di Geologia Applicata**

Dott. Salvatore Lo Verme  
 Indagini Geofisiche e Geotecniche

Riferimento: 07-83

**PROVA PENETROMETRICA DINAMICA  
 ELABORAZIONE STATISTICA**

**DIN 6**

- committente : Laap Architects - data : 22/03/2024  
 - lavoro : Realizzazione impianto agrivoltaico Galiello - quota inizio :  
 - località : Galiello nel territorio di Monreale (Pa) - prof. falda : Falda non rilevata  
 - note : - pagina : 1

n°	Profondità (m)		PARAMETRO	ELABORAZIONE STATISTICA							VCA	$\beta$	Nspt
				M	min	Max	$\frac{1}{2}(M+min)$	s	M-s	M+s			
1	0,00	0,80	N	7,3	3	9	5,1	1,8	5,4	9,1	7	0,77	5
			Rpd	28,4	12	35	20,1	7,2	21,2	35,5			
2	0,80	1,60	N	5,8	4	6	4,9	---	5,0	6,5	6	0,77	5
			Rpd	21,4	15	22	18,1	2,6	18,8	24,0			
3	1,60	2,70	N	8,5	7	10	7,7	1,0	7,4	9,5	8	0,77	6
			Rpd	30,2	25	37	27,5	3,9	26,3	34,2			
4	2,70	4,90	N	6,7	5	12	5,8	1,7	5,0	8,4	7	0,77	5
			Rpd	22,1	16	39	19,1	5,2	16,9	27,2			
5	4,90	5,80	N	13,0	9	20	11,0	3,9	9,1	16,9	13	0,77	10
			Rpd	40,3	28	62	34,1	12,0	28,3	52,4			

M: valore medio min: valore minimo Max: valore massimo s: scarto quadratico medio VCA: valore caratteristico assunto  
 N: numero Colpi Punta prova penetrometrica dinamica (avanzamento  $\delta = 10$  cm) Rpd: resistenza dinamica alla punta (kg/cm<sup>2</sup>)  
 $\beta$ : Coefficiente correlazione con prova SPT (valore teorico  $\beta_t = 0,77$ ) Nspt: numero colpi prova SPT (avanzamento  $\delta = 30$  cm)

**Nspt - PARAMETRI GEOTECNICI**

**DIN 6**

n°	Prof.(m)		LITOLOGIA	Nspt	NATURA GRANULARE					NATURA COESIVA			
					DR	$\phi'$	E'	Ysat	Yd	Cu	Ysat	W	e
1	0.00	0.80		5	18.3	18.0	230	1.88	1.41	0.31	1.83	39	1.061
2	0.80	1.60		5	18.3	18.0	230	1.88	1.41	0.31	1.83	39	1.061
3	1.60	2.70		6	21.7	18.4	238	1.89	1.43	0.38	1.85	37	1.000
4	2.70	4.90		5	18.3	18.0	230	1.88	1.41	0.31	1.83	39	1.061
5	4.90	5.80		10	35.0	20.0	268	1.93	1.50	0.63	1.90	33	0.892

Nspt: numero di colpi prova SPT (avanzamento  $\delta = 30$  cm)

DR % = densità relativa  $\phi'$  (°) = angolo di attrito efficace E' (kg/cm<sup>2</sup>) = modulo di deformazione drenato W% = contenuto d'acqua  
 e (-) = indice dei vuoti Cu (kg/cm<sup>2</sup>) = coesione non drenata Ysat, Yd (t/m<sup>3</sup>) = peso di volume saturo e secco (rispettivamente) del terreno

**Studio di Geologia Applicata**

Dott. Salvatore Lo Verme  
 Indagini Geofisiche e Geotecniche

Riferimento: 07-83

**PROVA PENETROMETRICA DINAMICA  
 ELABORAZIONE STATISTICA**

**DIN 7**

- committente : Laap Architects - data : 22/03/2024  
 - lavoro : Realizzazione impianto agrivoltaico Galiello - quota inizio :  
 - località : Galiello nel territorio di Monreale (Pa) - prof. falda : Falda non rilevata  
 - note : - pagina : 1

n°	Profondità (m)		PARAMETRO	ELABORAZIONE STATISTICA							VCA	$\beta$	Nspt
				M	min	Max	$\frac{1}{2}(M+min)$	s	M-s	M+s			
1	0,00	0,80	N	10,5	7	15	8,8	3,0	7,5	13,5	10	0,77	8
			Rpd	41,1	27	59	34,2	11,8	29,3	52,9			
2	0,80	3,60	N	6,1	5	8	5,6	---	5,3	7,0	6	0,77	5
			Rpd	21,8	18	28	19,8	2,8	19,1	24,6			
3	3,60	4,10	N	10,0	7	12	8,5	---	---	---	10	0,77	8
			Rpd	32,8	24	39	28,3	---	---	---			
4	4,10	4,50	N	38,3	22	61	30,1	---	---	---	38	0,77	29
			Rpd	123,8	71	198	97,5	---	---	---			

M: valore medio min: valore minimo Max: valore massimo s: scarto quadratico medio VCA: valore caratteristico assunto  
 N: numero Colpi Punta prova penetrometrica dinamica (avanzamento  $\delta = 10$  cm) Rpd: resistenza dinamica alla punta (kg/cm<sup>2</sup>)  
 $\beta$ : Coefficiente correlazione con prova SPT (valore teorico  $\beta_t = 0,77$ ) Nspt: numero colpi prova SPT (avanzamento  $\delta = 30$  cm)

**Nspt - PARAMETRI GEOTECNICI**

**DIN 7**

n°	Prof.(m)		LITOLOGIA	Nspt	NATURA GRANULARE					NATURA COESIVA			
					DR	$\sigma'$	E'	Ysat	Yd	Cu	Ysat	W	e
1	0.00	0.80		8	28.3	19.2	253	1.91	1.46	0.50	1.87	35	0.945
2	0.80	3.60		5	18.3	18.0	230	1.88	1.41	0.31	1.83	39	1.061
3	3.60	4.10		8	28.3	19.2	253	1.91	1.46	0.50	1.87	35	0.945
4	4.10	4.50		29	63.5	25.7	415	2.05	1.68	1.81	2.13	19	0.506

Nspt: numero di colpi prova SPT (avanzamento  $\delta = 30$  cm)

DR % = densità relativa  $\sigma'$  (°) = angolo di attrito efficace E' (kg/cm<sup>2</sup>) = modulo di deformazione drenato W% = contenuto d'acqua  
 e (-) = indice dei vuoti Cu (kg/cm<sup>2</sup>) = coesione non drenata Ysat, Yd (t/m<sup>3</sup>) = peso di volume saturo e secco (rispettivamente) del terreno

### 13. DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA PROVE PENETROMETRICHE



**Prova 07-83 Din 1**



**Prova 07-83 Din 2**



**Prova 07-83 Din 3**



**Prova 07-83 Din 4**



**Prova 07-83 Din 5**



**Prova 07-83 Din 6**



**Prova 07-83 Din 7**

## 14. CONCLUSIONI

L'area dell'impianto di produzione è posizionata su un'area caratterizzata per lo più da litotipi coesivi e pseudocoesivi con discrete caratteristiche geotecniche che per la conformazione morfologica dei luoghi non destano problemi di stabilità nelle aree occupate dall'impianto.

Non si rilevano dissesti interferenti con le strutture in progetto né tanto meno evidenze che lascino presagire dei dissesti potenziali. Si ritiene che i siti d'intervento siano geomorfologicamente idonei ad accogliere le strutture progettate e che le stesse non interferiscano negativamente con l'assetto geomorfologico del territorio.

Anche le opere di connessione saranno realizzate in un'area priva di dissesti in cui le condizioni morfologiche sub-pianeggianti sono ostative all'innescio di fenomenologie morfo-degradanti.

Tutto ciò permette di dedurre che nelle sedi d'intervento vi siano condizioni geomorfologicamente favorevoli alla realizzazione delle strutture dell'impianto fotovoltaico e che le stesse non pregiudichino l'assetto geomorfologico del territorio.

Dal punto di vista sismico viste le considerazioni fatte ai precedenti paragrafi, l'assenza di faglie attive nelle vicinanze, la mancanza di elementi che possano indurre fenomeni di liquefazione, nonché di condizioni che possano indurre fenomeni di amplificazione sismica ai siti d'intervento, si ritiene che non ci siano condizioni pregiudizievoli o limitanti nei confronti delle strutture in progetto. Dal punto di vista geotecnico e sismico si è cercato di analizzare i contesti sito-specifici per fornire gli elementi numerici utili alla progettazione di livello definitivo. Le indagini eseguite hanno consentito di appurare che le strutture dell'impianto ricadono su terreni a comportamento coesivo/pseudocoerenti (argille/depositi eluvio-colluviali). Tutti i siti sono caratterizzati da parametri geotecnici e sismici discreti, con spessori delle coperture modeste e profondità del substrato compreso tra i 1,0 metro e 3,6 metri. Per l'area della Stazione Utente in questa fase non si è ritenuto necessario eseguire indagini in quanto il substrato è costituito da materiali competenti ricoperti da un sottile strato di depositi di alterazione ma saranno eseguite nella fase esecutiva.

In ogni caso nella fase esecutiva si dovrà approntare una campagna di indagini in situ e laboratorio che accerti i parametri geotecnici desunti durante la campagna di indagini attualmente eseguita.

Anche dal punto di vista sismico sono stati forniti i dati di input per calcolare le sollecitazioni attese desunte dallo studio della morfologia dei luoghi e dalla tipologia di categoria di suolo di fondazione. Quest'ultima calcolata attraverso l'ausilio di indagini specifiche (MASW) ha consentito di ricavare la categoria di suolo di fondazione per tutte le varie aree interessate dalle strutture.

Tanto doveva il sottoscritto a seguito dell'incarico ricevuto ed espletato.