

REGIONE SICILIA



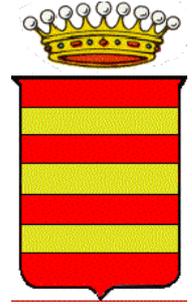
CASTRONOVO DI SICILIA



ROCCAPALUMBA



LERCARA FRIDDI



Committente:



RENANTIS SICILIA s.r.l.
CORSO ITALIA 3, 20122 MILANO (MI)
c.f. 10531600962

Titolo del Progetto:

**PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE E L'ESERCIZIO
DI UN PARCO EOLICO CON IMPIANTO DI ACCUMULO
E DELLE OPERE CONNESSE DENOMINATO "ASTRA"**

Documento:

PROGETTO DEFINITIVO

N° Documento:

REL0015

ID PROGETTO:	WF_ASTRA	DISCIPLINA:	PD	TIPOLOGIA:	REL	FORMATO:	A4
--------------	----------	-------------	----	------------	-----	----------	----

Elaborato:

Relazione Geologica

FOGLIO:	1 di 1	SCALA:	--	-
---------	--------	--------	----	---

Progettazione:



NEW DEVELOPMENTS S.r.l.
piazza Europa, 14 - 87100 Cosenza (CS)



dott. Geol. Eugenio Martire

Rev:	Data Revisione	Descrizione Revisione	Redatto	Controllato	Approvato
01	06/06/2023	PRIMA REVISIONE	EM	Renantis	Renantis
00	16/03/2022	PRIMA EMISSIONE	PG	Falck	Falck

INDICE

Sommario

PREMESSA.....	2
INQUADRAMENTO GEOGRAFICO.....	6
INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE.....	9
CARATTERISTICHE GEOLITOLOGICHE	11
CARATTERISTICHE GEOMORFOLOGICHE	14
CARATTERISTICHE IDROLOGICHE ED IDROGEOLOGICHE.....	17
INQUADRAMENTO P.A.I.....	22
MODELLO GEOLOGICO.....	23
CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA.....	24
SISMICITA' DELL'AREA.....	25
NORMATIVA SISMICA	30
SCENARI DI PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE ED EFFETTI DI SITO	33
VERIFICA DI STABILITÀ DEL PENDIO	37
POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE.....	37
CONCLUSIONI.....	39
Montalto Uffugo (CS), Dicembre 2021	69

Allegati:

- ✓ Carta del PAI - scala 1:10.000
- ✓ Report sulle indagini

ELABORATI CARTOGRAFICI

- ✓ Carta Geologica - scala 1:10.000
- ✓ Sezioni Geologiche - scala 1:10.000
- ✓ Carta Tecnica Regionale - scala 1:10.000
- ✓ Carta Geomorfologica - scala 1:10.000
- ✓ Carta Idrogeologica - scala 1:10.000
- ✓ Carta ubicazione indagini - scala 1:10.000

PREMESSA

Su incarico della società New Developments s.r.l. con sede legale in Piazza Europa n° 14, Cosenza (CS) il sottoscritto Geologo Eugenio Martire iscritto all'ordine dei Geologi della Calabria a partire dal Gennaio 2013 al n° 1129, ha effettuato uno studio GEOLOGICO-GEOMORFOLOGICO-GEOTECNICO-SISMICO DI BASE, al fine di definire le condizioni di un'area interessata dal **"Progetto per la realizzazione e l'esercizio di un impianto eolico denominato "ASTRA" nei territori dei Comuni di Roccapalumba (PA), Castronovo di Sicilia (PA) e Lercara Friddi (PA).**

Di seguito verranno illustrate in rosso sottolineato le modifiche progettuali eseguite a seguito del cambiamento di posizione della stazione SE Terna e dello spostamento di due aerogeneratori, mentre in rosso sbarrato i dettagli relativi al progetto originario.

Lo scopo della presente relazione è quello di aggiornare la relazione presentata in istanza con le modifiche progettuali eseguite a seguito dello spostamento di due aerogeneratori rispetto alla originaria posizione di progetto, nel territorio del Comune di Roccapalumba (PA), alla delocalizzazione dell'impianto di accumulo elettrochimico ed una riconfigurazione della geometria della stazione SE Terna 380/150/36 kV, di nuova costruzione, ubicata nel territorio comunale di Castronovo di Sicilia (PA) e della linea di raccordo 150 kV per il collegamento con la tratta 150 kV tra le stazioni "Ciminna-Cammarata".

La Società in data 19/5/2022 ha presentato, presso il Ministero della transizione ecologica ora MASE (ID procedura 8475, data avvio 20/5/2022) istanza dell'istanza di Valutazione di Impatto Ambientale (Art.23 D.Lgs.152/2006) relativa al progetto per la costruzione ed esercizio di un impianto per la produzione di energia da fonte rinnovabile di tipo eolico, della potenza complessiva di 39,6 MW composto da 6 aerogeneratori con potenza di 6,6 MW ciascuno, localizzato nei Comuni di Castronovo di Sicilia, Roccapalumba e Lercara Friddi (PA) e relative opere di connessione elettrica e infrastrutture necessarie.

Nel corso dell'istruttoria si è resa necessaria la rivisitazione del layout del parco, per i seguenti motivi:

- in seguito alla richiesta di integrazioni del Ministero della cultura, Soprintendenza speciale per il Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza del 24/02/2023, è stato richiesto un approfondimento in relazione agli aerogeneratori WTG.01 e WTG.02 in quanto posizionati rispettivamente e in aderenza sopra l'area di rispetto del fiume Vallone Garufa (buffer 150 mt - art. 142, lett.c D.Lgs 42/04).
- in data 18/01/2023 nell'ambito della procedura di Autorizzazione Unica del Progetto presso la Regione Siciliana si è espressa anche Snam Rete Gas – Distretto Sicilia, che a seguito di analisi effettuata dichiara incompatibili le opere in progetto per via della preesistenza del gasdotto denominato "4510130 – RAFFADALI-SCIARA DN 750 (30") 75 BAR. Per poter superare tale criticità si è quindi proceduti allo spostamento delle opere in progetto ricadenti nel Comune di

Roccapalumba (PA) Foglio 17 particelle 168-169-170-171-177-213 e Foglio 18 particelle 45-50-53-54-72-95-96-102-103-98-99-100-101-1.

- successivamente, a seguito di interlocuzioni tecniche con l'ente gestore (TERNA S.p.a.), è emersa la necessità di realizzare la futura SE 380/150/36 kV, i relativi raccordi 380 kV ed i raccordi a 150 kV secondo le soluzioni e le esigenze tecniche necessarie per permettere la connessione alla RTN di questo e di altri impianti di produzione di energia elettrica da fonte rinnovabile.

Pertanto, per come descritto nel Piano Tecnico Operativo elaborato dalla capofila e inviato a TERNA nell'ambito del progetto saranno realizzate le seguenti opere:

- Stazione elettrica AT 380/150/36kV denominata "Castronovo";
- Futuri raccordi aerei AT 380kV in doppia terna e AT 150 kV in semplice terna per alimentare la futura Stazione RTN;
- Linee 150kV dal ricollegare alla linea 150kV compresa tra le stazioni RTN di Ciminna e Cammarata.

Nella fattispecie gli interventi per i raccordi saranno due:

- Il primo riguarderà i raccordi aerei in entra-esce a doppia terna a 380 kV alla costruenda linea RTN autorizzata "CHIARAMONTE GULFI-CIMINNA", della lunghezza complessiva di circa 1,7 km e installazione di n.6 nuovi sostegni da porre in adiacenza alla costruenda linea e di n.2 sostegni esistenti da smantellare.
- Il secondo intervento riguarderà i raccordi aerei a 150 kV in entra-esce a semplice terna dalla linea 150kV RTN esistente della lunghezza complessiva di circa 16 km e installazione di n.40 nuovi sostegni e di n.3 sostegni esistenti da smantellare.

In sintesi quindi le modifiche apportate al progetto "Astra" considerato quanto sopra esposto riguarderanno:

a) Spostamento WTG.01 di circa 100 metri e WTG.02 di circa 250 metri rispetto al progetto presentato in istanza;

b) Ridefinizione della geometria della SE TERNA 380/150/36 kV, dei raccordi 380 kV, della linea di raccordo a 150 kV e la delocalizzazione dell'area di sedime dell'impianto di accumulo elettrochimico.

A seguito di tali modifiche la potenza complessiva dell'impianto in progetto risulta essere inalterata e pari sempre a 39,6 MW, poiché si avranno 6 aerogeneratori ciascuno avente potenza 6,6 MW, come del resto anche la potenza dell'impianto di accumulo elettrochimico pari a 10 MW/40 MWh.

Inoltre la progettazione è stata sviluppata tenendo in considerazione un sistema di indicatori sociali, ambientali e territoriali, che hanno permesso di valutare gli effetti della pianificazione elettrica nell'ambito territoriale considerato, nel pieno rispetto degli obiettivi della salvaguardia, tutela e miglioramento della qualità dell'ambiente, della protezione della salute umana e dell'utilizzazione accorta e razionale delle risorse naturali.

Si sottolinea inoltre che rimane invariato lo schema di connessione: un cavidotto interrato in Alta Tensione collegherà tra loro gli aerogeneratori e convoglierà la produzione elettrica alla futura Stazione di trasformazione (SE) della RTN 380/150/36 kV.

Le finalità che si vogliono raggiungere con il presente studio si esplicano nella definizione geologica/geomorfologica, geotecnica e sismica del sito esaminato. A tal fine è stato predisposto, nell'area in esame, un programma di studi di ampiezza commisurata al contesto delle opere previste in progetto, costituito da:

- esame della cartografia ufficiale, unitamente a ricerche bibliografiche atte al reperimento di notizie (storiche, morfologiche, tettoniche, sismiche, idrologiche, idrogeologiche, ecc.) e dati tecnici riguardanti l'area in oggetto;
- caratterizzazione geologica ed esame delle condizioni geomorfologiche con il rilievo diretto di superficie esteso anche alle aree limitrofe per acquisire i dati necessari alla valutazione delle caratteristiche morfologiche, idrologiche, climatiche ed ambientali più evidenti, relative al territorio in oggetto.

Il modello geologico rilevato, gli studi e le analisi effettuate hanno consentito di definire:

// quadro geologico/geomorfologico:

L'inquadramento geologico, con riferimento alla bibliografia geologica esistente, alla cartografia acquisita, alle indagini stratigrafiche consultate e a quelle svolte ex-novo per questo studio, consente di definire i caratteri litostratigrafici, l'origine e la natura dei litotipi, lo stato di alterazione e di aggregazione, i caratteri strutturali generali, la descrizione dei lineamenti geomorfologici della zona in generale e infine la descrizione delle forme naturali ed antropiche e degli elementi morfo-strutturali significativi ai fini geomorfologici e sismici.

// quadro geotecnico:

Il modello geologico/tecnico di riferimento ha altresì consentito di determinare gli spessori e le caratteristiche geotecniche dei terreni, di valutare l'effetto della presenza di falde idriche sotterranee che potrebbero influenzare la stabilità dell'area e dei futuri manufatti e infine di

valutare gli eventuali processi morfologici e le azioni di dissesto potenziali o in atto nell'area in studio ed in quella circostante.

Il quadro sismico di riferimento:

La definizione del quadro sismico locale è connessa alla macrozonazione sismica dell'area attraverso l'individuazione della zona sismica del Comune in cui ricade l'intervento da realizzare, ai sensi dell'O.P.C.M. n° 3274 del 20/03/2003 e alla caratterizzazione della pericolosità sismica dell'area mediante l'individuazione del parametro a_g (accelerazione orizzontale massima del terreno) e dell'intensità macrosismica I_{max} .

Lo studio è stato condotto secondo i dettami delle seguenti normative tecniche:

- **D.M. 17/01/2018** "Norme Tecniche sulle Costruzioni";
- **D.M. 11/3/88** "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 ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione";
- **D.P.R. 380/2001 parte II capo II** "Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica";
- **D.P.R. 380/2001 parte II capo IV** "Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche";
- **D.P.R. 5/10/2010, n. 207** "Regolamento di esecuzione ed attuazione del decreto legislativo 12 aprile 2006, n°163 recante "Codice dei contratti pubblici relativi a lavori, servizi e forniture in attuazione delle direttive 2004/17/CE e 2004/18/CE";
- **LEGGE regionale 13 agosto 2020, n. 19** "Norme per il governo del territorio";
- **Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI)** di seguito denominato Piano Stralcio o Piano o 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;
- **Direttiva 2007/60/CE** relativa alla valutazione e alla gestione dei rischi di alluvioni.

Il risultato di tale studio, infine, è focalizzato alla definizione degli eventuali accorgimenti tecnici necessari al mantenimento di un equilibrio idrologico e morfologico accettabile, tali da migliorare o in ogni caso non aggravare, le condizioni di sicurezza del territorio e garantire per il progetto adeguati livelli di sicurezza.

Di seguito verranno illustrate in rosso sottolineato le le modifiche progettuali eseguite a seguito del cambiamento di posizione della stazione SE Terna e dello spostamento di due aerogeneratori, mentre in rosso sbarrato i dettagli relativi al progetto originario.

INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

Il sito oggetto di studio è ubicato all'interno dei territori Comunali di Roccapalumba, Castronovo di Sicilia e Lercara Friddi, tutti appartenenti alla provincia di Palermo. I comuni che ospiteranno il futuro parco eolico hanno un numero di abitanti inferiore alle 10.000 unità con Lercara Friddi che rappresenta il più popoloso dei tre con circa 6400 abitanti.

In particolare gli aerogeneratori ricadono nel territorio del comune di Castronovo di Sicilia (PA) e Roccapalumba (PA) mentre parte dell'elettrodotto interrato ricade anche nel territorio di Lercara Friddi (PA); il parco eolico comprende n° 6 aerogeneratori e un cavo dritto che si sviluppa per diversi km ~~con un percorso che può essere così riassunto:~~

~~—— Tratti di elettrodotto interrato su strada asfaltata: ——— 5.923 ml~~

~~—— Tratti di elettrodotto interrato su strada non asfaltata: ——— 7.455 ml~~

~~—— Tratti di elettrodotto su terreno agricolo: ——— 2.760 ml~~

._ Gli aerogeneratori n° 03, 04, 05 e 06 sorgono sul territorio comunale di Castronovo di Sicilia, mentre, il comune di Roccapalumba ospiterà gli aerogeneratori n° 01 e 02.

I 6 aerogeneratori saranno ubicati in un contesto collinare di campagna; i diversi siti sono attualmente raggiungibili attraverso piccole stradine di campagna (spesso sterrate) con l'ausilio di fuoristrada o mezzi simili. L'area oggetto di realizzazione del parco eolico si trova ad un'altitudine media di m 550 s.l.m. e le coordinate geografiche, nel sistema WGS84 nell'intorno del parco eolico sono le seguenti:

- latitudine: 37.744583 N

- longitudine: 13.662183E





Fig. 1 - Ubicazione di Castronovo di Sicilia (che ospita 4 aerogeneratori, su 6 totali in progetto) su scala nazionale

Nella tabella che segue sono riportate le posizioni dei sei aerogeneratori in progetto, in coordinate piane nei sistemi di riferimento UTM WGS84 - fuso 33 N e con la loro ubicazione catastale.

WTG N.	COORDINATE PIANE SISTEMA UTM WGS 84 - FUSO 33 NORD		Ubicazione catastale
	EST	NORD	
01	13°38'34.743 8'38.04"	37°46'16.474 6'18.56"	Roccapalumba (PA) foglio 18 part. 100
02	13°39'0.1038 '54.39"	37°46'12.294 6'18.82"	Roccapalumba (PA) foglio 18 part. 66
03	13°41'55.86"	37°45'22.23"	Castronovo di Sicilia (PA) foglio 2 part. 144
04	13°41'9.70"	37°45'9.41"	Castronovo di Sicilia (PA) foglio 2 part. 452
05	13°41'25.01"	37°44'55.59"	Castronovo di Sicilia (PA) foglio 2 part. 370
06	13°40'44.84"	37°43'59.41"	Castronovo di Sicilia (PA) foglio 10 part. 592

La disposizione degli aerogeneratori nell'area d'interesse è frutto dell'analisi di numerosi fattori: in primis delle peculiarità anemologiche del sito e alle conseguenti potenzialità in accordo con una tipologia di aerogeneratore particolarmente efficiente, poi dall'accessibilità, dalla geomorfologia, dalla scarsa presenza di edifici e abitazioni.

Le mutue distanze tra gli aerogeneratori in progetto sono riportate nella tabella che segue:

Coppia	Interdistanza
WTG_01 – WTG_02	633,9400,2 m
WTG_02 – WTG_03	4569,24770,7 m
WTG_02 – WTG_04	3716,93942,2 m
WTG_03 – WTG_04	1196,7 m
WTG_03 – WTG_05	1115,5 m
WTG_05 – WTG_06	1991,2 m
WTG_02 – WTG_06	48125076,6 m

Da un punto di vista cartografico, il sito d'intervento è rappresentato nella cartografia della Regione Sicilia, con Carta Tecnica Regionale nelle sezioni n° 620040 denominato "Manganaro", 621010 denominato "Alia" e 621050 denominato "Marcato Bianco" in scala 1:10.000 e nella cartografia geologica "Carta geologica d'Italia" redatta in scala 1:100.000 dal foglio n° 259 chiamato "Termini

Imerese". Gli aerogeneratori sono suddivisi in due distinte aree; gli aerogeneratori n° 1 e 2 sono separati dagli aerogeneratori 3, 4, 5 e 6 da una grande vallata le cui quote altimetriche scendono fino a 380 m s.l.m. Gli aerogeneratori sono ubicati, ovviamente, a quote altimetriche decisamente superiori rispetto al fondovalle.

Una più precisa individuazione dell'ubicazione degli aerogeneratori può essere desunta dal corpus cartografico allegato alla presente.

INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE

La Sicilia occupa un settore del Mediterraneo centro-occidentale ed è un segmento del sistema alpino che si sviluppa lungo il limite di placca Africa-Europa. Questo segmento di catena collega le Maghrebidi africane con l'Appennino meridionale, attraverso il cuneo di accrezione della Calabria. La catena ed il suo prolungamento sommerso occidentale e settentrionale si estendono dal blocco sardo attraverso la Sicilia, fino al settore ionico-pelagiano ed in parte sono affioranti nel Mar Tirreno centro-meridionale. Dopo la fase orogenica alpina paleogenica, i movimenti compressivi più importanti di questo settore del Mediterraneo sono legati alla rotazione antioraria del blocco Sardo-Corso, considerato da alcuni autori come un arco vulcanico. La rotazione, che si sviluppò dall'Oligocene superiore al Miocene inferiore, ha portato alla collisione del blocco Sardo-Corso con il margine continentale africano.

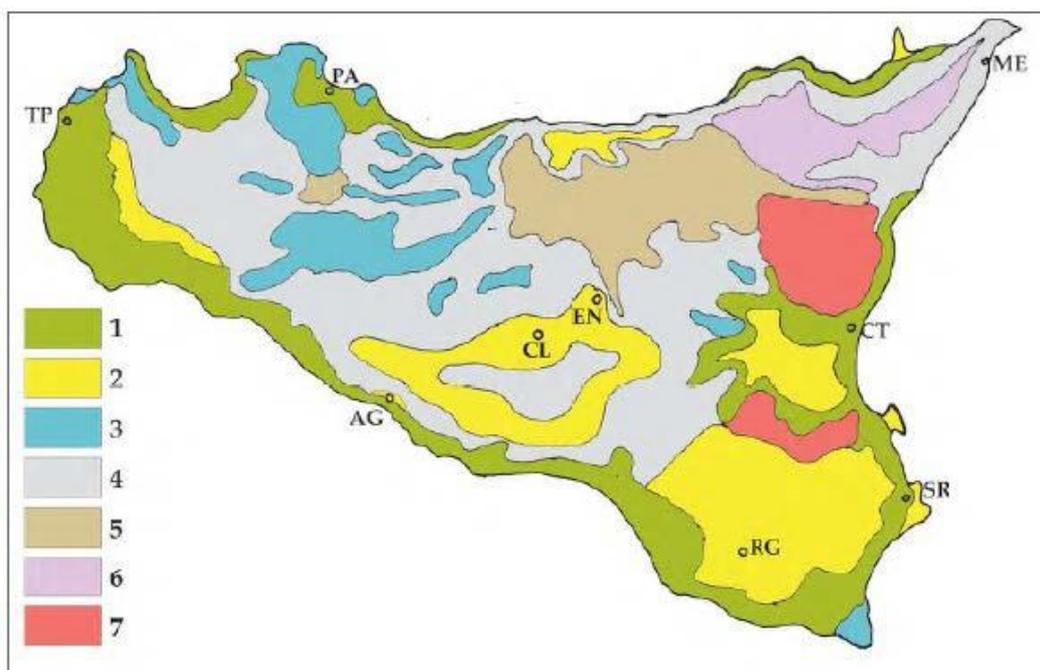
Le unità tettoniche presenti nella Sicilia Centro occidentale derivano in gran parte dalla deformazione di successioni carbonatiche, bacinali e di piattaforma carbonatica. Catalano & D'Argenio (1978, 1982), Catalano et al. (1989 a, con bibliografia), Roure et al. (1990), Lentini et al. (1995), Giunta (1993), Catalano et al. (1996), Monaco et al. (1996), Nigro & Renda (1999) hanno descritto la Sicilia occidentale e centrale come un cuneo embricato di scaglie tettoniche pellicolari costituite da rocce carbonatiche e silicoclastiche meso-cenozoiche.

L'area in esame ricadente nel Foglio 259 "Termini Imerese" della Carta Geologica d'Italia (scala 1:100.000), è ubicata nella zona centro occidentale della Sicilia, caratterizzato da affioramenti di formazioni età compresa tra il Miocene superiore e l'Eocene medio.

Il basamento dell'area in esame è costituito da formazioni *argillose, scagliose variegata con arenarie silicee o cloritiche e con calcare* risalenti all'Eocene medio (**e2**). L'evoluzione tettonico

sedimentaria dell'intero bacino ha portato alla successiva deposizione di *argille sabbiose con lenti di salgemma e gesso in cristalli (m3)* e *sabbie e arenarie a grana variabile, più o meno cementate (m3a)*, entrambe del Miocene superiore.

In generale questo contesto abbraccia gran parte della Sicilia centro/occidentale; la natura geologica dei luoghi consente agli agenti atmosferici una modellazione del paesaggio con la formazione di colline dalle forme dolci e arrotondate in corrispondenza dei rilievi a sedimenti fini e di scarpate e forme più spigolose in corrispondenza di aree in cui le formazioni sono di natura più lapidea/cementata (come appunto per il sito in esame).



Distribuzione morfo-altimetrica. 1: pianure calcarenitiche costiere; 2: altipiani calcarenitici; 3: monti a calcarei; 4: colline argillose con spuntoni di gessi nelle zone centrali ed occidentali; 5: monti e colline mammoso-arenacee; 6: monti a metamorfiti; 7: monti e colline vulcaniche.

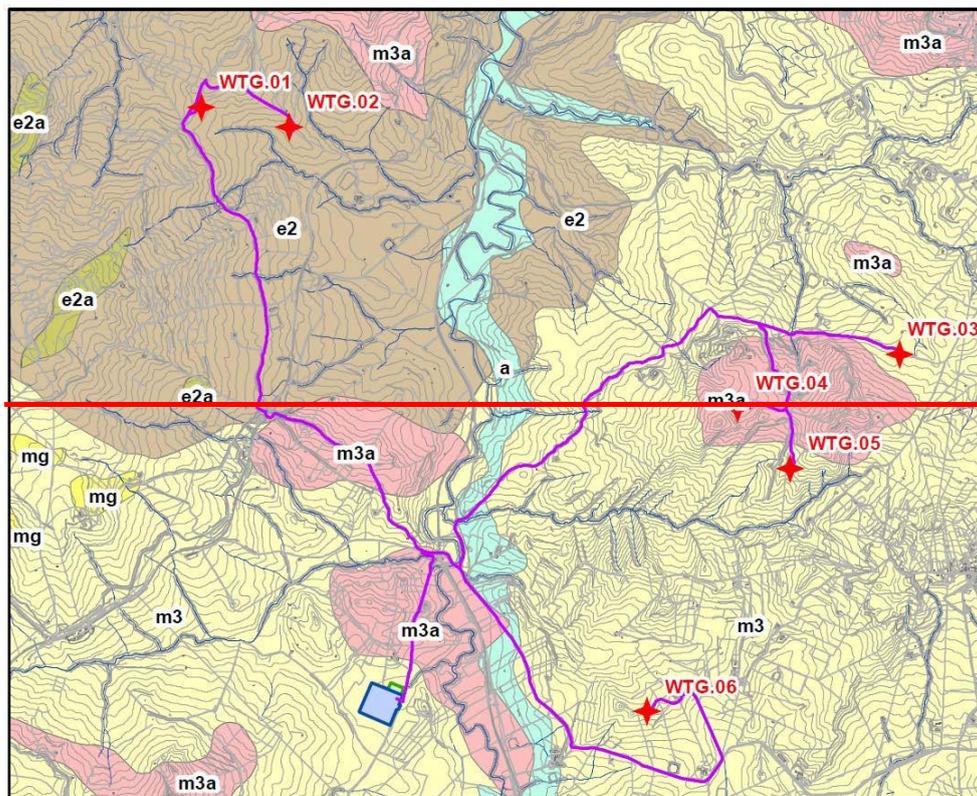
Fig. 2 – Lo schema in figura rapporta il contesto morfo-altimetrico con la natura geologica dei luoghi, per quanto concerne la regione Sicilia.

CARATTERISTICHE GEOLITOLOGICHE

In dettaglio, nell'intera area esaminata si rinvencono sostanzialmente n° 6 litologie in affioramento:

- **a** : Alluvione Sabbie , ghiaie ed argille fluviali di età recente.
- **mg**: Gessi amorfi, saccaroidi o a grossi cristalli di associati a straterelli di argille bituminose (tufi) con Età stimata in tra il Miocene superiore e il Pliocene inferiore (zona di congerie).
- **m3**: Argille sabbiose con lenti di salgemma e gesso in cristalli con Età stimata in Miocene superiore.
- **m3a**: Sabbie e arenarie a grana variabile, più o meno cementate con Età stimata in Miocene superiore.
- **e2**: Argille scagliose variegata con arenarie silicee o cloritiche e con calcare con Età stimata in Eocene medio.
- **e2a**: Arenarie silicee ferruginose ed arenarie a grana fine cloritiche con Età stimata in Eocene medio.

Si precisa che gli aerogeneratori n° 1 e 2 sono ubicati sulla litologia **e2** (Argille scagliose variegata), mentre gli aerogeneratori n° 3, 5, 6 e la sottostazione elettrica sono ubicati sulla litologia miocenica **m3** (Argille sabbiose con lenti di salgemma); l'aerogeneratore n° 4 è il solo ad essere ubicato su **m3a**, (Sabbie e arenarie) sempre mioceniche.



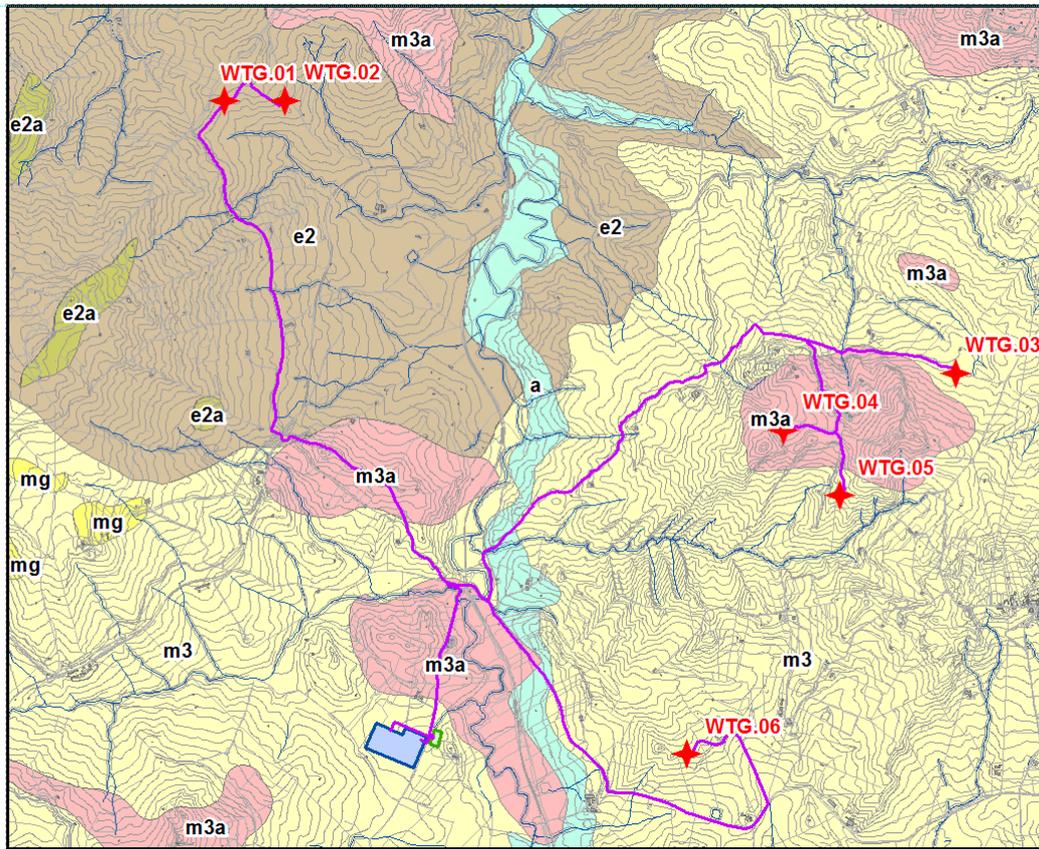


Fig. 3 Stralcio carta geologica con in evidenza aerogeneratori, cavidotto e sottostazione elettrica

Dall'immagine precedente è possibile apprezzare oltre che l'ubicazione degli aerogeneratori su carta geologica, anche il percorso del cavidotto che attraversa numerose litologie lungo il suo tragitto.

Per meglio comprendere gli spessori delle formazioni presenti nell'area esaminata, sono state prodotte n° 2 sezioni Geo-litologiche in scala 1:10.000 tracciate sui due diversi rilievi che accolgono gli aerogeneratori.

Dalle risultanze delle prove penetrometriche dpm_30 e delle prove simiche di tipo M.A.S.W. risulta evidente di come ci sia qualche decimetro di copertura vegetale sulle formazioni presenti, e che le caratteristiche geotecniche dei terreni vadano migliorando man mano che si scende in profondità dal p.c.



Fig. 4. La foto, effettuata in corrispondenza dell'aerogeneratore n° 2, evidenzia di come sia presente una copertura vegetale al di sotto del piano campagna.

Si può asserire che, in generale, da un punto di vista geologico i siti si presentano abbastanza omogenei; le unità litologiche presenti in loco sono molto antiche e presentano valori geotecnici simili, fatta eccezione per la *Coesione* che risulta minore in corrispondenza dell'aerogeneratore n° 4 che è il solo a non essere stato previsto su unità argillose.

Anche analizzando gli spettri delle prove M.A.S.W. effettuate, è evidente di come ci si trovi in corrispondenza di terreni con velocità V_s inferiori a 800 m/s, a testimonianza del fatto che il substrato sismico non è rinvenibile nei primi 35/40 m di profondità dal piano campagna.

CARATTERISTICHE GEOMORFOLOGICHE

Geomorfologicamente l'area oggetto di studio si presenta collinare con pendenze massime che arrivano a 12° circa (aerogeneratore n° 5) e comunque mai superiori ai 15°, con conseguente classificazione topografica del terreno: **T1**.

Le quote altimetriche su cui verranno realizzati gli aerogeneratori sono le seguenti:

- Aerogeneratore n°1: ~~523~~524 m s.l.m.
- Aerogeneratore n°2: ~~468~~495 m s.l.m.
- Aerogeneratore n°3: 573 m s.l.m.
- Aerogeneratore n°4: 633 m s.l.m.
- Aerogeneratore n°5: 618 m s.l.m.
- Aerogeneratore n°6: 540 m s.l.m.

In generale, da un punto di vista geomorfologico, il sito presenta una serie di dolci picchi isolati, spesso raccordati fra loro da piccole creste morfologiche; sono frequenti anche orli di scarpate morfologiche che si sono formate in corrispondenza di piccole incisioni dei versanti causate dallo scorrere delle acque meteoriche.

In cartografia, sono riportati anche dei piccoli movimenti franosi, di cui uno in particolare lambisce il sito che accoglierà l'aerogeneratore n° 3; tuttavia da sopralluogo effettuato non si segnalano evidenze sulla presenza e soprattutto sulla perimetrazione dello stesso. Essendo l'area caratterizzata dalla presenza di depositi argillosi, ne consegue che a seguito di eventi meteorici, la copertura presente in loco giunge facilmente a saturazione; questo fenomeno potrebbe dar luogo a fenomeni localizzati di instabilità di versante.

Le immagini seguenti, estratte dalla "carta geomorfologica" allegata alla presente relazione, rendono l'idea dell'ubicazione degli aerogeneratori in relazione alle forme geomorfologiche dell'area.

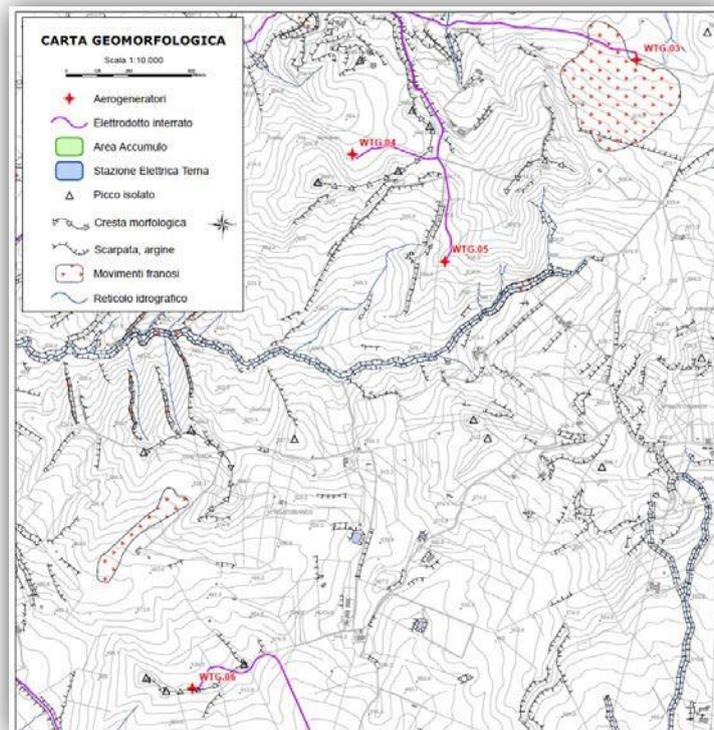
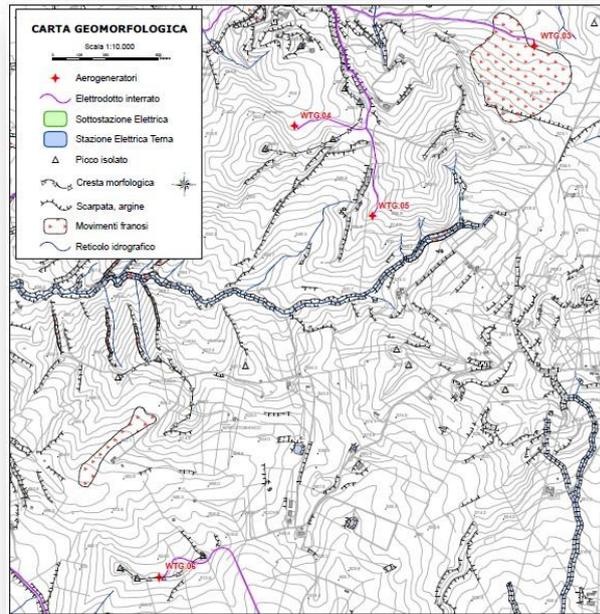


Fig. 5a – Forme geomorfologiche nell'intorno degli aerogeneratori n° 3, 4, 5 e 6 (con annessa legenda)

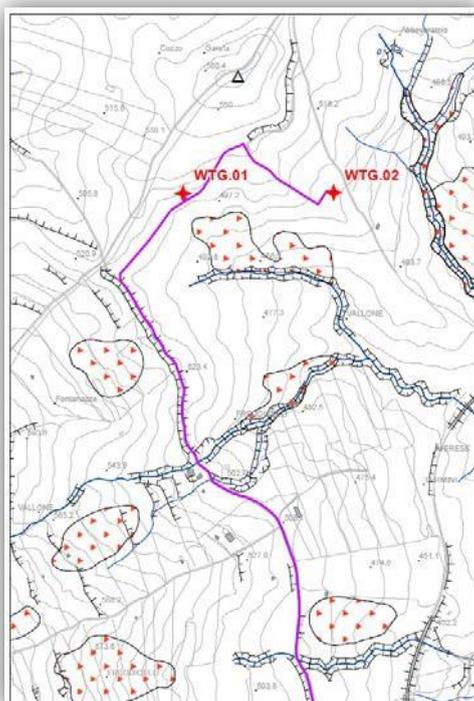


Fig. 5b – Forme geomorfologiche nell'intorno degli aerogeneratori n° 1 e 2

Dalla consultazione del database del catalogo delle faglie capaci del sistema ITHACA risulta evidente che l'area di studio è priva di qualsiasi lineazione tettonica classificata.

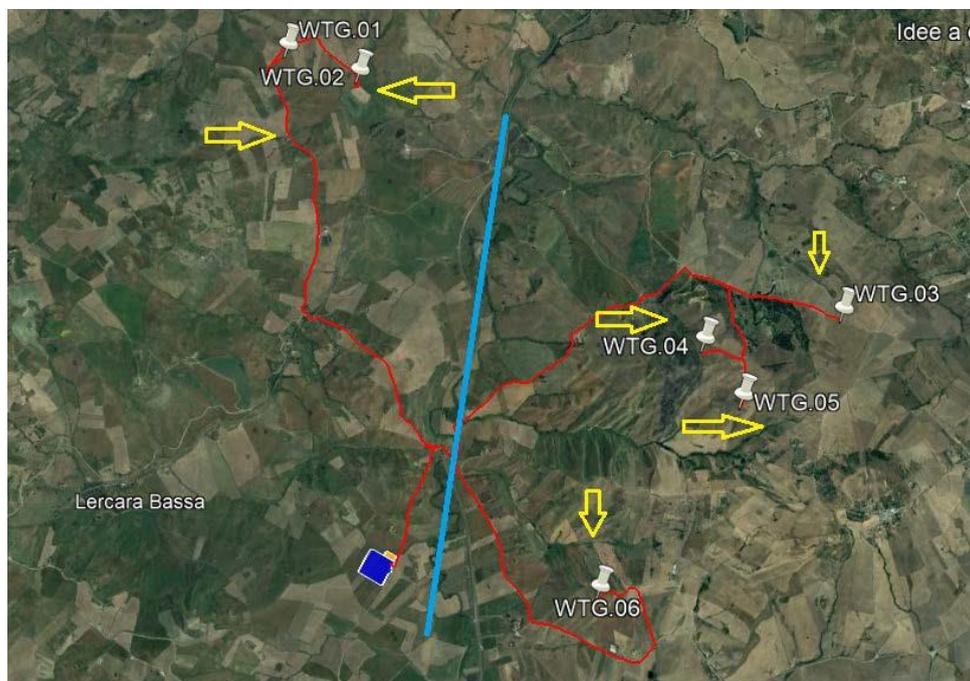
CARATTERISTICHE IDROLOGICHE ED IDROGEOLOGICHE

Il locale sistema idrografico, costituito da torrenti, presenta un andamento di tipo lineare di basso ordine gerarchico; esso si sviluppa in parte in loco sulle formazioni sedimentarie in affioramento e in parte dai rilievi limitrofi.

I 6 aerogeneratori sono ubicati a debita distanza da ogni canale o impluvio e ne deriva che il rischio inondazione sia praticamente nullo.

In generale si segnalano numerosi piccoli impluvi che si presentano in secca per gran parte dell'anno e fungono da scolo di acque piovane a seguito di eventi meteorici intensi. L'evoluzione di questi impluvi ha contribuito alla formazione di numerose piccole creste morfologiche intorno alle quali sono ubicati i 6 aerogeneratori.

Il corso fluviale principale è rappresentato dal **Torrente Torto** che scorre nel fondovalle a debita distanza dagli aerogeneratori. Il torrente Torto sorge a circa 1000 m di quota, sfocia a Termini Imerese e presenta un bacino imbrifero di ben 420 km².



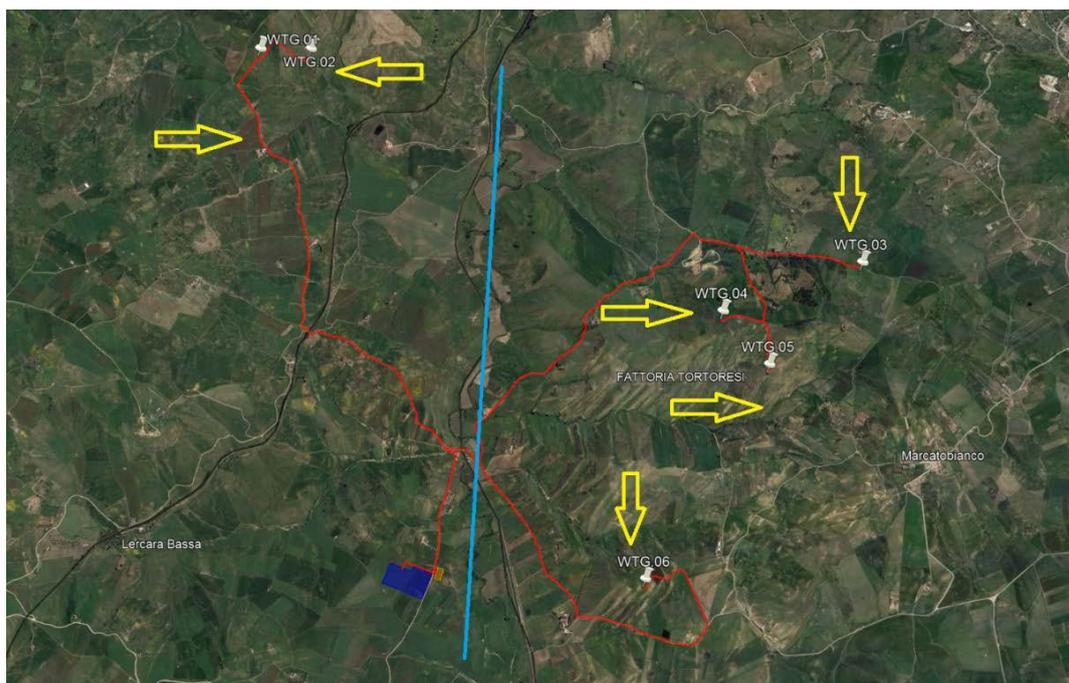


Fig. 6 – L'immagine indica l'ubicazione degli aerogeneratori (segnaposto **bianchi**), cavidotto (segmento rosso) e sottostazione elettrica (poligoni blu e giallo) su base ortofoto; si evidenzia la presenza di numerose piccole aste (freccie gialle) di bassissimo ordine gerarchico che hanno solcato il rilievo favorendo la formazione di numerose creste morfologiche e picchi isolati; il segmento azzurro indica l'asse principale del *Torrente Torto*.

Nelle vicinanze degli aerogeneratori si segnala la presenza di piccole incisioni che trovano alimentazione idrica a seguito di eventi meteorici; nell'immagine seguente è possibile apprezzare l'ubicazione degli aerogeneratori rispetto al corso idrico principale e rispetto ai canali presenti nei pressi degli aerogeneratori.

In allegato al presente studio, è stata prodotta la **Carta Idrogeologica** in scala 1:10.000 in cui le varie unità litologiche presenti nell'area sono state classificate in base al loro gradiente di permeabilità. In generale si riscontrano due unità differenti:

LITOTIPI A PERMEABILITÀ MEDIO-ALTA

Questa classe è identificabile con l'unità **m3a**: *Sabbie e arenarie a grana variabile, più o meno cementate* con Età stimata in Miocene superiore; su questa litologia sorgerà l'aerogeneratore n° 4. Queste formazioni, essendo costituite da sedimenti principalmente grossolani, risultano caratterizzate da una permeabilità primaria per porosità ($10^{-2} < K < 10^{-4}$ m/sec), con medio alte caratteristiche di trasmissività.

Nell'ambito di questi depositi si distinguono orizzonti molto permeabili, dati dai livelli di ghiaia e sabbia a granulometria grossolana.

L'idrologia si sviluppa attraverso una circolazione idrica per falde abbastanza estese e in profondità con deflusso preferenziale dell'acqua nei litotipi a più alta permeabilità.

LITOTIPI A PERMEABILITÀ BASSA

Questa classe è identificabile con le litologie:

- **m3**: *Argille sabbiose con lenti di salgemma e gesso in cristalli* con Età stimata in Miocene superiore; su questa litologia sono ubicati i recinti del sito 1 e gran parte dei recinti del sito 2.
- **e2**: *Argille scagliose variegata con arenarie silicee o cloritiche e con calcare* con Età stimata in Eocene medio.

Queste formazioni, essendo costituite da depositi principalmente argillosi, risultano caratterizzate da una scarsa permeabilità, con bassissime caratteristiche di trasmissività ($10^{-7} < K < 10^{-9}$ m/sec). La caratteristica principale dell'argilla è che la dimensione dei suoi pori è talmente piccola da non consentire il passaggio dell'acqua che viene praticamente trattenuta per ritenzione; ne deriva una circolazione idrica nulla o comunque trascurabile che favorisce il ruscellamento superficiale.

Dalle indagini effettuate non è stata rilevata la presenza della falda freatica; tuttavia oltre alle varie considerazioni che si possono fare, è stato consultato il sito dell'ISPRA http://sgi2.isprambiente.it/viewersgi2/?resource=wms%3Ahttp%3A//sgi2.isprambiente.it/arcgis/services/servizi/indagini464/MapServer/WMServer%3Frequest%3DGetCapabilities%26service%3DWMS&title=ITA_Indagini_sottosuolo464#, in cui sono riportati i dati di vari pozzi eseguiti su territorio nazionale.

Dalla consultazione del portale, non si rileva la presenza di un pozzo nelle immediate vicinanze del sito, il pozzo più vicino è a oltre 20 km di distanza.

In tutto il territorio nazionale e in particolar modo in aree urbanizzate e/o devote all'agricoltura, si ricorre all'utilizzo di pozzi per la captazione delle acque sotterranee; la mancanza di un pozzo nelle vicinanze del sito in esame, generalmente indica **la mancanza di una falda freatica nei primi 100 m di profondità dal piano campagna.**

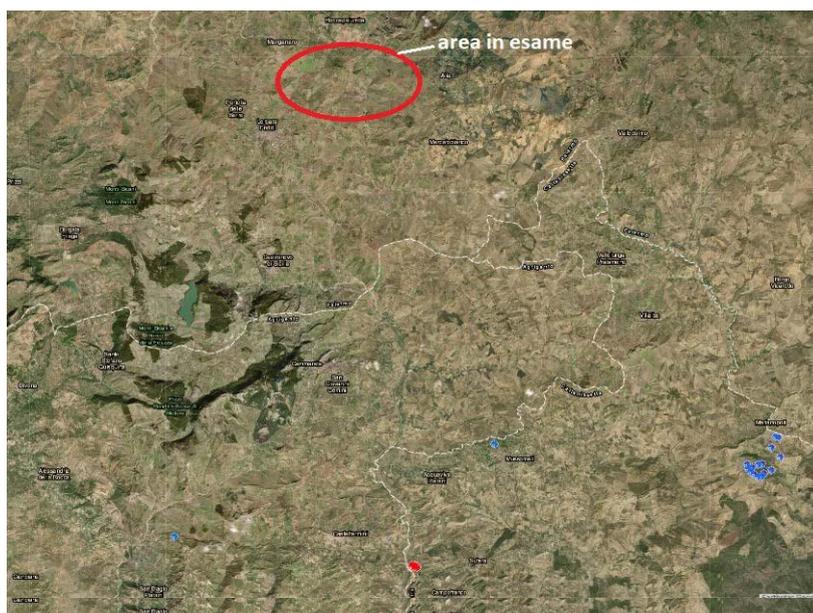


Fig. 7. La figura indica l'ubicazione dei pozzi (punti azzurri) nelle aree limitrofe al sito d'intervento; il pozzo più vicino si trova nei pressi del comune di Mussomeli (CL) ad oltre 20 km di distanza dal sito in esame (ellisse rosso)

Per quanto riguarda la piovosità, nella provincia di Palermo gli apporti maggiori derivano da correnti orientali e occidentali. La piovosità media del comune di Lercara Friddi è di soli 340 mm di pioggia con una temperatura media annuale di 21°C.

Per quanto riguarda le temperature, la provincia di Palermo è fra le più calde per quanto concerne le temperature medie, ma comunque non soggetta agli eventi estremi che coinvolgono altre parti dell'isola. La figura successiva mostra le temperature medie mese per mese in riferimento al comune di Prizzi (PA) a pochissimi km dal sito in esame

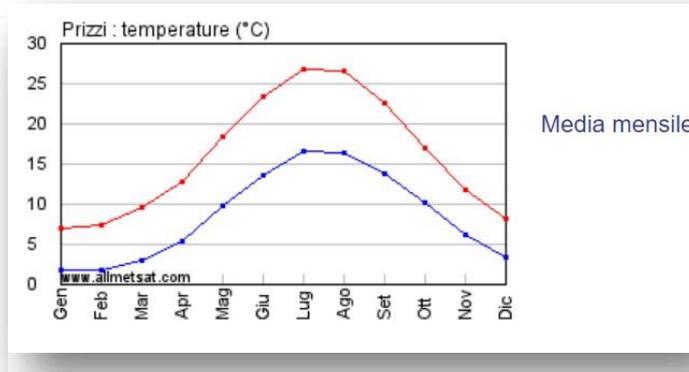


Fig. 8. La figura indica le temperature medie mese per mese, registrate dalla stazione metereologica di Prizzi (PA)

INQUADRAMENTO P.A.I.

Il Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico 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.

Il P.A.I. ha sostanzialmente tre funzioni:

- La funzione conoscitiva, che comprende lo studio dell'ambiente fisico e del sistema antropico, nonché della ricognizione delle previsioni degli strumenti urbanistici e dei vincoli idrogeologici e paesaggistici;
- La funzione normativa e prescrittiva, destinata alle attività connesse alla tutela del territorio e delle acque fino alla valutazione della pericolosità e del rischio idrogeologico e alla conseguente attività di vincolo in regime sia straordinario che ordinario;
- La funzione programmatica, che fornisce le possibili metodologie d'intervento finalizzate alla mitigazione del rischio, determina l'impegno finanziario occorrente e la distribuzione temporale degli interventi.

Per il sito in esame, il P.A.I. non riporta alcun tipo di criticità sia per quanto riguarda il rischio idraulico che per ciò che concerne il rischio frane. Da sopralluogo effettuato non si segnalano criticità o situazione di precaria stabilità per quanto riguarda i punti in cui sorgeranno gli aerogeneratori.

Si segnalano, nell'area d'interesse, diverse piccole instabilità, spesso legate ad acclività maggiori dei pendii. Si tratta di movimenti molto piccoli e circoscritti che non destano preoccupazione ai fini progettuali in quanto posti a debita distanza dai siti che accoglieranno gli aerogeneratori.

MODELLO GEOLOGICO

Per la definizione del *modello geologico* dell'area, sono state eseguite n° 4 prove sismiche di tipo MASW e n° 3 prove penetrometriche DPM30 all'interno del sito in esame. La figura seguente indica l'ubicazione delle prove effettuate.

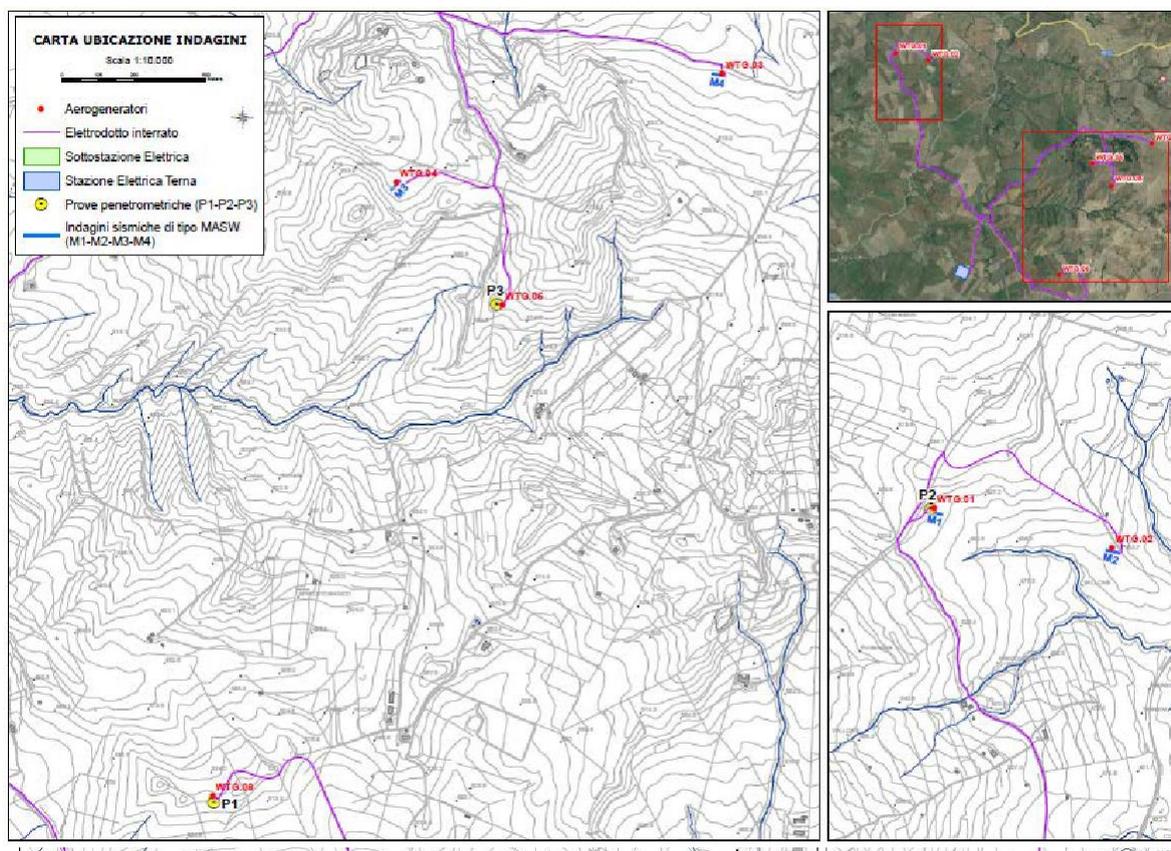


Fig. 9– Ubicazione prove in situ, su base c.t.r.

Tutte le informazioni sulle risultanze delle prove penetrometriche e sismiche effettuate in sito, è consultabile il **Report sulle indagini** allegato alla presente relazione.

In generale, si segnala in affioramento uno strato di terreno vegetale con spessore pari a circa 1 m, che presenta caratteristiche geotecniche piuttosto basse; successivamente, man mano che si scende in profondità rispetto al piano campagna, i parametri geotecnici delle formazioni in loco migliorano sensibilmente.

Sulla base delle indagini effettuate, dalle consultazioni di carte tematiche e di referti bibliografici sui litotipi affioranti, è stato possibile produrre il seguente **Modello Geologico** del sito in esame.

- **Terreno di copertura** con spessore di circa 1 m;
- **Depositi argilloso/sabbiosi** - poco consistenti, con spessori variabili da 2 a 4 m
- **Depositi argilloso/sabbiosi** mediamente consistenti, riscontrabili a partire da profondità variabili dai da 3 a 8 m dal piano campagna.

N.b in concomitanza dell'aerogeneratore n° 4, i depositi sedimentari si presentano a carattere sabbioso/conglomeratico con una riduzione della coesione rispetto alle formazioni su cui sorgeranno i restati aerogeneratori caratterizzate dalla presenza di depositi argillosi.

CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

Il modello geotecnico che qui si propone è un compendio di tutte le prove e le indagini storiche esaminate oltre che delle risultanze di quelle eseguite ex novo in situ. Nella tabella sono riportati i parametri geotecnici che meglio caratterizzano i terreni in loco (ad eccezione del sito che ospita l'aerogeneratore n° 4)

Strato	φ (°) Picco	Cu (Kg/cm²) Picco	γ (t/m³)
Terreno di copertura	19 – 20	0,1 – 0,2	1,60 - 1,65
Depositi costituiti da argille e sabbie poco consistenti	24 – 25	0,25 – 0,35	1,65 - 1,85
Depositi costituiti da argille e sabbie mediamente consistenti	27 - 30	0,35 – 0,45	1,85 - 2,00

Per il sito che accoglie l'aerogeneratore n° 4 si possono considerare i parametri della tabella soprastante ma riducendo la Coesione di picco del 50%.

N.B. Altri parametri geotecnici derivanti dall'elaborazione delle varie prove effettuate in situ, sono reperibili all'interno del Report sulle indagini allegato alla presente relazione geologica.

SISMICITA' DELL'AREA

La caratterizzazione sismica del sito è un elemento necessario ai fini della modellazione geologica e della progettazione geotecnica degli interventi.

L'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV), ha dato conto dei principali terremoti registrati dalle diverse fonti di carattere storiografico, letterario e naturalistico nella pubblicazione del **DBMI15** - Database Macrosismico Italiano 2015, di cui a seguire si riporta, un estratto degli eventi sismici più significativi per l'area, negli ultimi anni.

Roccapalumba



PlaceID	IT_66602
Coordinate (lat, lon)	37.805, 13.639
Comune (ISTAT 2015)	Roccapalumba
Provincia	Palermo
Regione	Sicilia
Numero di eventi riportati	7

Effetti	In occasione del terremoto del									
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
7	📄	1823	03	05	16	37	Sicilia settentrionale	107	8	5.81
3	📄	1907	01	21	03	41	Tirreno meridionale	32	5	4.14
4-5	📄	1908	12	28	04	20 27	Stretto di Messina	772	11	7.10
7	📄	1968	01	15	02	01 09	Valle del Belice	162	10	6.41
NF	📄	1995	04	11	12	06 5	Sicilia centrale	43	3-4	4.03
4	📄	1996	12	14	00	18 4	Monti Madonie	45	5	4.27
NF	📄	2004	05	05	13	39 4	Isole Eolie	641		5.42

Effetti	In occasione del terremoto del									
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
7	📄	1823	03	05	16	37	Sicilia settentrionale	107	8	5.81
3	📄	1907	01	21	03	41	Tirreno meridionale	32	5	4.14
4-5	📄	1908	12	28	04	20 27	Stretto di Messina	772	11	7.10
7	📄	1968	01	15	02	01 09	Valle del Belice	162	10	6.41
NF	📄	1995	04	11	12	06 5	Sicilia centrale	43	3-4	4.03
4	📄	1996	12	14	00	18 4	Monti Madonie	45	5	4.27
NF	📄	2004	05	05	13	39 4	Isole Eolie	641		5.42

Legenda

Int.	Intensità macrosismica, espressa in scala MCS, Mercalli-Cancani-Sieberg
NMDP	Numero di punti, numero di osservazioni macrosismiche disponibili per il terremoto
Io	Intensità macrosismica epicentrale, espressa in scala MCS, Mercalli-Cancani-Sieberg
Mw	Magnitudo momento

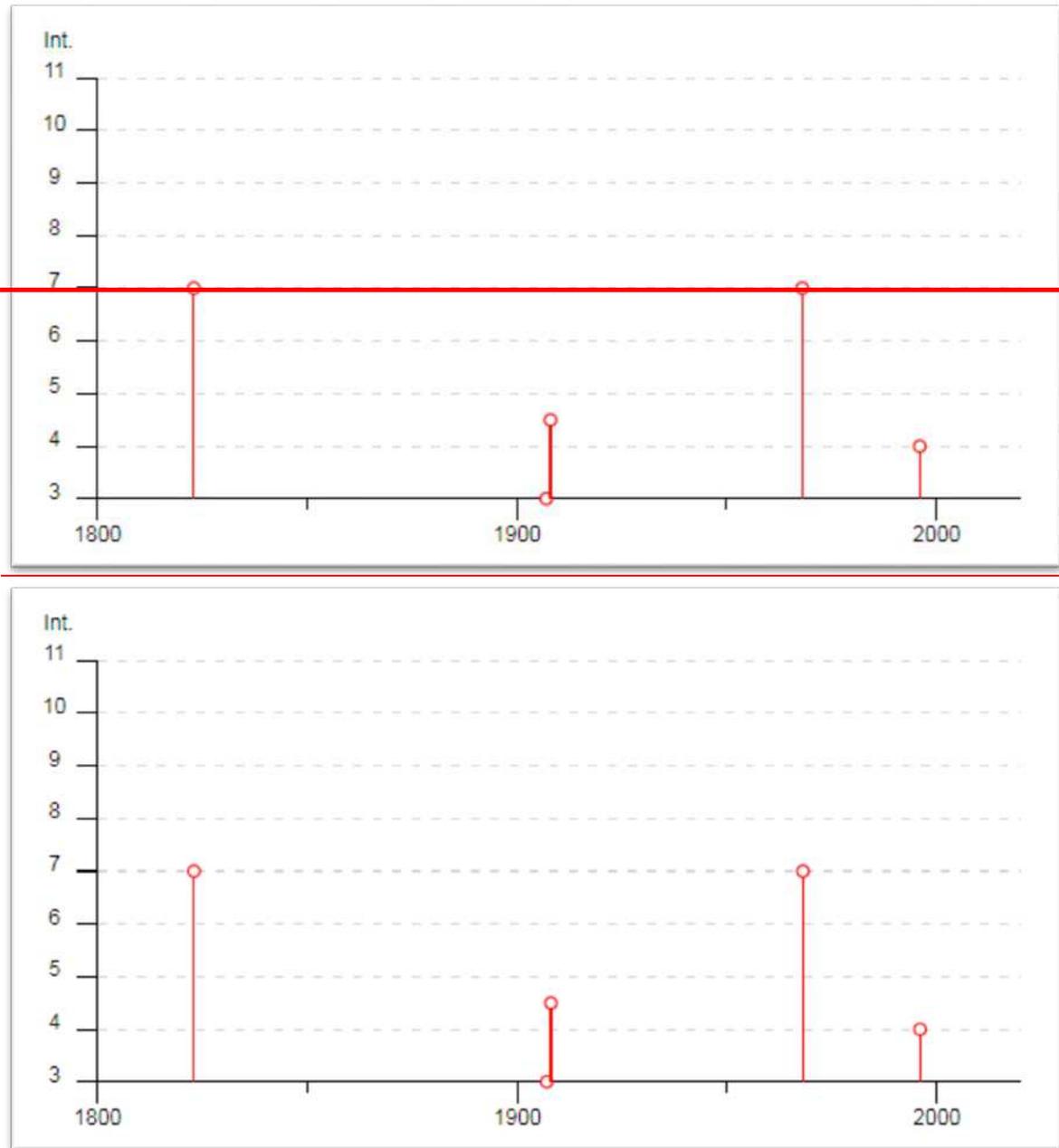


Fig. 10 - Rappresentazione grafica della storia sismica del Comune di Roccapalumba – PA

Lercara Friddi



PlaceID IT_66473
 Coordinate (lat, lon) 37.748, 13.603
 Comune (ISTAT 2015) Lercara Friddi
 Provincia Palermo
 Regione Sicilia
 Numero di eventi riportati 14

Numero di eventi riportati 14

Effetti	In occasione del terremoto del									
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
5	🔗	1823	03	05	16	37	Sicilia settentrionale	107	8	5.81
NF	🔗	1897	05	15	13	42 30	Tirreno meridionale	85	5	4.52
NF	🔗	1905	09	08	01	43	Calabria centrale	895	10-11	6.95
NF	🔗	1907	01	21	03	41	Tirreno meridionale	32	5	4.14
7	🔗	1908	12	28	04	20 27	Stretto di Messina	772	11	7.10
NF	🔗	1909	06	07	01	30	Corleone	16	3-4	3.73
4	🔗	1940	01	15	13	19 24	Tirreno meridionale	60	7-8	5.29
6	🔗	1968	01	15	02	01 09	Valle del Belice	162	10	6.41
2	🔗	1977	06	05	13	59	Monti Nebrodi	108	6-7	4.61
5	🔗	1980	05	28	19	51 2	Tirreno meridionale	44	5-6	5.66
NF	🔗	1995	04	11	12	06 5	Sicilia centrale	43	3-4	4.03
4	🔗	2002	09	06	01	21 2	Tirreno meridionale	132	6	5.92
NF	🔗	2004	05	05	13	39 4	Isole Eolie	641		5.42
3	🔗	2005	11	21	10	57 4	Sicilia centrale	255		4.56
3	🔗	2005	11	21	10	57 4	Sicilia centrale	255		4.56

Legenda

Int.	Intensità macrosismica, espressa in scala MCS, Mercalli-Cancani-Sieberg
NMDP	Numero di punti, numero di osservazioni macrosismiche disponibili per il terremoto
Io	Intensità macrosismica epicentrale, espressa in scala MCS, Mercalli-Cancani-Sieberg
Mw	Magnitudo momento

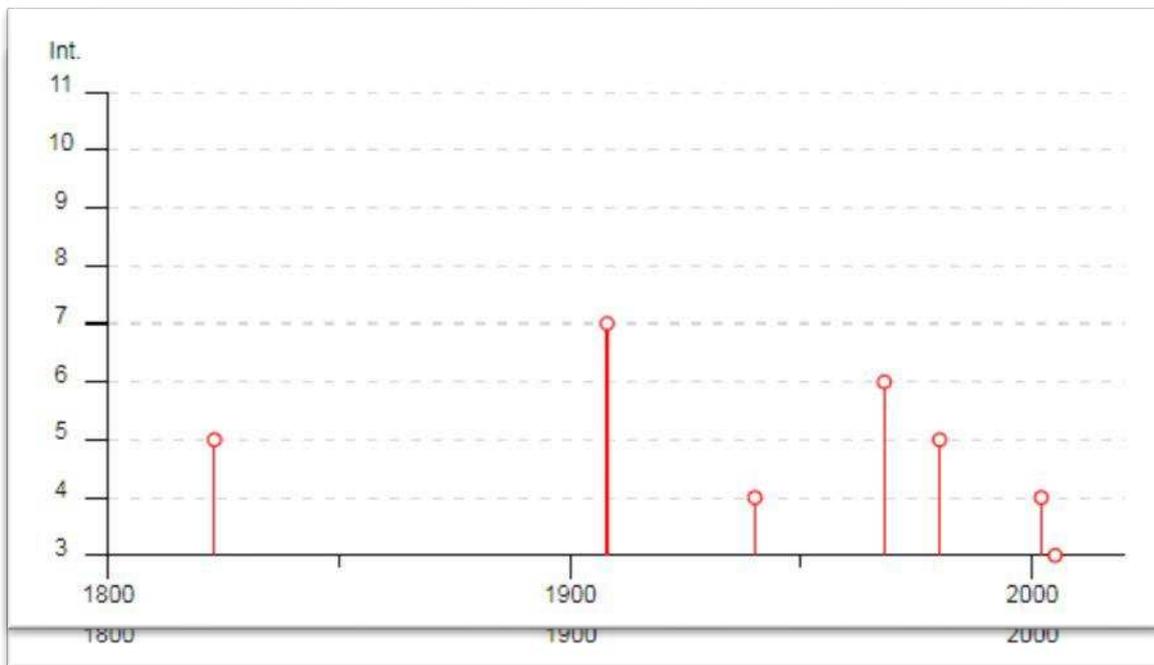


Fig. 11 - Rappresentazione grafica della storia sismica del Comune di Lercara Friddi – PA

Castronovo di Sicilia



PlaceID	IT_66441
Coordinate (lat, lon)	37.678, 13.604
Comune (ISTAT 2015)	Castronovo di Sicilia
Provincia	Palermo
Regione	Sicilia
Numero di eventi riportati	7

Effetti	In occasione del terremoto del							NMDP	Io	Mw
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale			
5	1823	03	05	16	37		Sicilia settentrionale	107	8	5.81
NF	1907	01	21	03	41		Tirreno meridionale	32	5	4.14
6	1968	01	15	02	01	09	Valle del Belice	162	10	6.41
NF	1994	01	05	13	24	1	Tirreno meridionale	148		5.82
NF	1995	04	11	12	06	5	Sicilia centrale	43	3-4	4.03
3	1996	12	14	00	18	4	Monti Madonie	45	5	4.27
NF	2004	05	05	13	39	4	Isole Eolie	641		5.42

Legenda

Castronovo di Sicilia



PlaceID IT_66441
Coordinate (lat, lon) 37.678, 13.604
Comune (ISTAT 2015) Castronovo di Sicilia
Provincia Palermo
Regione Sicilia
Numero di eventi riportati 7

Effetti	In occasione del terremoto del									
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
5	📄	1823	03	05	16	37	Sicilia settentrionale	107	8	5.81
NF	📄	1907	01	21	03	41	Tirreno meridionale	32	5	4.14
6	📄	1968	01	15	02	01 09	Valle del Belice	162	10	6.41
NF	📄	1994	01	05	13	24 1	Tirreno meridionale	148		5.82
NF	📄	1995	04	11	12	06 5	Sicilia centrale	43	3-4	4.03
3	📄	1996	12	14	00	18 4	Monti Madonie	45	5	4.27
NF	📄	2004	05	05	13	39 4	Isole Eolie	641		5.42

Int.	Intensità macrosismica, espressa in scala MCS, Mercalli-Cancani-Sieberg
NMDP	Numero di punti, numero di osservazioni macrosismiche disponibili per il terremoto
Io	Intensità macrosismica epicentrale, espressa in scala MCS, Mercalli-Cancani-Sieberg
Mw	Magnitudo momento

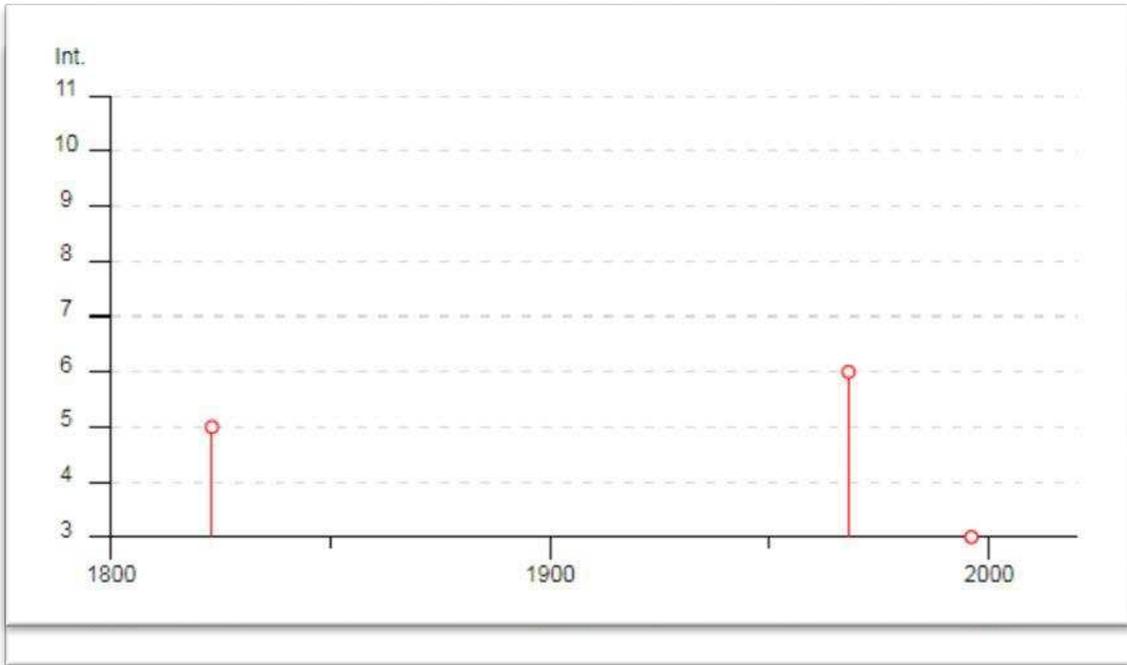


Fig. 12 - Rappresentazione grafica della storia sismica del Comune di Castronovo di Sicilia - PA

NORMATIVA SISMICA

Per quanto attiene alla caratterizzazione sismica dell'area oggetto d'intervento, si fa riferimento al DM 17/01/2018, che riprende l'O.P.C.M. 3274/2003, che prevede la definizione di una pericolosità sismica di base, espressa in termini di accelerazione massima prevista su substrato di riferimento, su cui è stata creata una mappa di pericolosità sismica di riferimento per l'individuazione delle zone sismiche. L'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, ha promosso nel luglio del 2003 la redazione della mappa; in particolare è stata elaborata una nuova zonazione sismogenetica, denominata ZS9 (Meletti et al., 2008), a partire da un sostanziale ripensamento della precedente zonazione ZS4 (Meletti et al., 2000) alla luce delle evidenze di tettonica attiva e delle valutazioni sul potenziale sismogenetico acquisite negli ultimi anni. La ZS9 è corredata, per ogni Zona Sismogenetica, da un meccanismo focale prevalente e da un valore di profondità media dei terremoti, determinati nella prospettiva di un loro utilizzo con le relazioni di attenuazione.

La zonazione sismogenetica ZS9 è il risultato di modifiche, accorpamenti ed elisioni delle numerose zone sismogenetiche della ZS4 e dell'introduzione di nuove zone.

Riassumendo, nella ZS9 le informazioni sulle sorgenti sismogenetiche s'innestano sul quadro di evoluzione cinematica plio–quaternaria su cui si basava la ZS4. Tuttavia, l'elaborazione della ZS9 si fonda su una base informativa decisamente più ricca e affidabile di quella disponibile all'epoca della prima realizzazione della ZS4.

La zonazione è costituita da 36 zone–sorgente, cui vanno aggiunte 6 zone–sorgente per le quali non è valutata però la pericolosità sismica.

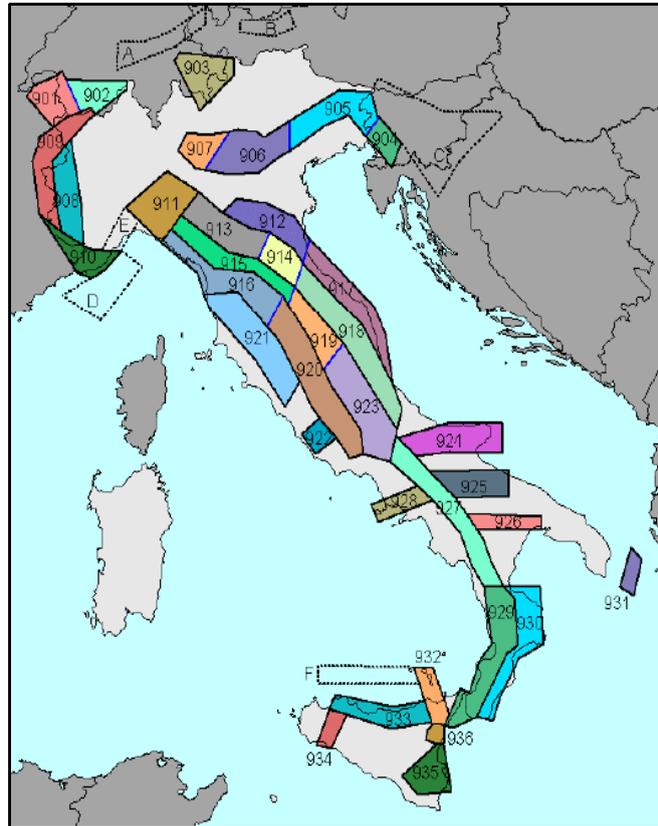


Fig. 13 - Zonazione Sismogenetica ZS9

Il territorio in oggetto non ricade all'interno di alcuna zona della zonazione sismogenetica ZS9.

L'O.P.C.M. 3274/2003 prevede anche una pericolosità dipendente dalle caratteristiche geologiche del sito, espressa secondo il concetto di categoria di suolo di fondazione, che a sua volta si basa sulla concetto di $V_{s,30}$, ovvero di velocità equivalente delle onde S nei primi 30 m di spessore. Tale parametro è determinato tramite indagini geofisiche oppure tramite indagini geotecniche che forniscono il valore di N_{spt} .

In base alle Nuove norme Tecniche per le Costruzioni del 17/01/2018, emesse ai sensi delle leggi 05/11/1971 n. 1086, 02/02/1974 n. 64, così come riunite nel Testo Unico per l'Edilizia di cui al D.P.R. 06/06/2001 n. 380, e all'art. 5 del decreto legge 28/05/2004 n. 136, convertito in legge, con modificazioni, dall'art. 1 della legge 27/07/2004 n. 186 e ss. mm. ii, si definiscono i principi per il

progetto, l'esecuzione e il collaudo delle costruzioni, nei riguardi delle prestazioni loro richieste in termini di requisiti essenziali di resistenza meccanica e stabilità, anche in caso d'incendio, e di durabilità. Esse forniscono, quindi, i criteri generali di sicurezza, precisano le azioni che devono essere utilizzate nel progetto, definiscono le caratteristiche dei materiali e dei prodotti e, più in generale, trattano gli aspetti attinenti alla sicurezza strutturale delle opere.

In particolare, le azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati, si definiscono a partire dalla "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione.

Essa costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche.

La definizione di "pericolosità sismica di base" è espressa in termini di accelerazione orizzontale massima prevista su substrato di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (bedrock, suolo A), nonché in ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione in essa corrispondente $S_e(T)$, con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza P_vR , nel periodo di riferimento V_R .

Ai fini della suddetta normativa, le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_vR , a partire dai seguenti valori dei parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

- ag accelerazione orizzontale massima al sito;
- Fo valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- Tc periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

La zona investigata ricade nell'ambito del territorio Comunale di Roccapalumba, Castronovo di Sicilia e Lercara Friddi che, in base alla classificazione sismica nazionale (O.P.C.M. 2003), rientrano in **zona 2**.

<i>zona sismica</i>	<i>Accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni [ag/g]</i>	<i>Accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico [ag/g]</i>
1	> 0.25	0.35
2	0.15 – 0.25	0.25
3	0.05 – 0.15	0.15
4	< 0.05	0.05

Fig. 14 - Valori di accelerazione orizzontale nelle zone sismiche

Sulla base della mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale, il territorio in questione si colloca in un'area in cui si possono verificare valori di accelerazione di picco orizzontale del suolo (a_g), con probabilità di superamento del 10 % in 50 anni, compresi tra 0.15 e 0.25 ag/g .

Si riporta il risultato della consultazione tramite il sito <http://esse1-gis.mi.ingv.it> della mappa probabilistica della pericolosità sismica del territorio nazionale, espressa su una griglia regolare a passo 0.02° , relativamente al parametro dello scuotimento rappresentato da a_g (accelerazione orizzontale massima del suolo).

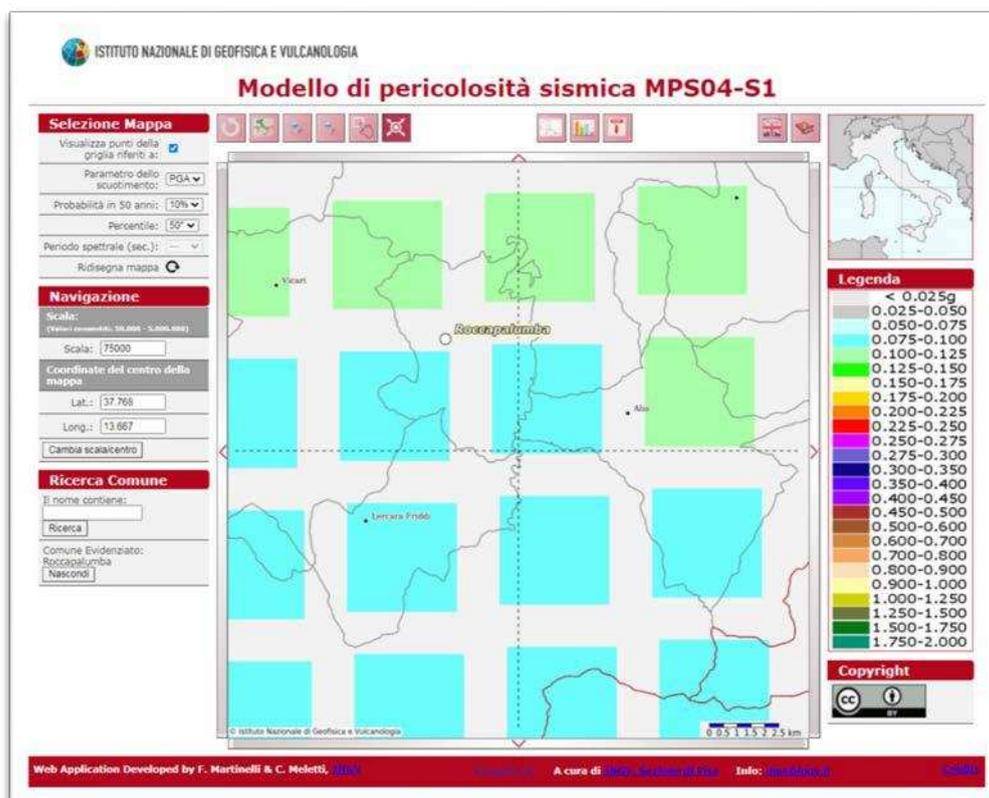


Fig. 15 - Stralcio della mappa interattiva di pericolosità sismica dei territori di Roccapalumba, Lercara Friddi e Castronovo di Sicilia. I punti visualizzati si riferiscono a: parametro dello scuotimento a_g ; probabilità di superamento del 10% in 50 anni.

SCENARI DI PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE ED EFFETTI DI SITO

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, si rende necessario valutare l'effetto della risposta sismica locale mediante specifiche analisi; in assenza di tali analisi, si può fare riferimento ad un approccio semplificato, che si basa sull'individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento, attraverso la misura delle V_s . In particolare si valuta:

- **Effetti Stratigrafici** legati alla successione stratigrafica, 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;

- **Effetti Topografici** legati alla configurazione topografica del piano campagna. La modifica delle caratteristiche del moto sismico per effetto della geometria superficiale del terreno va attribuita 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.

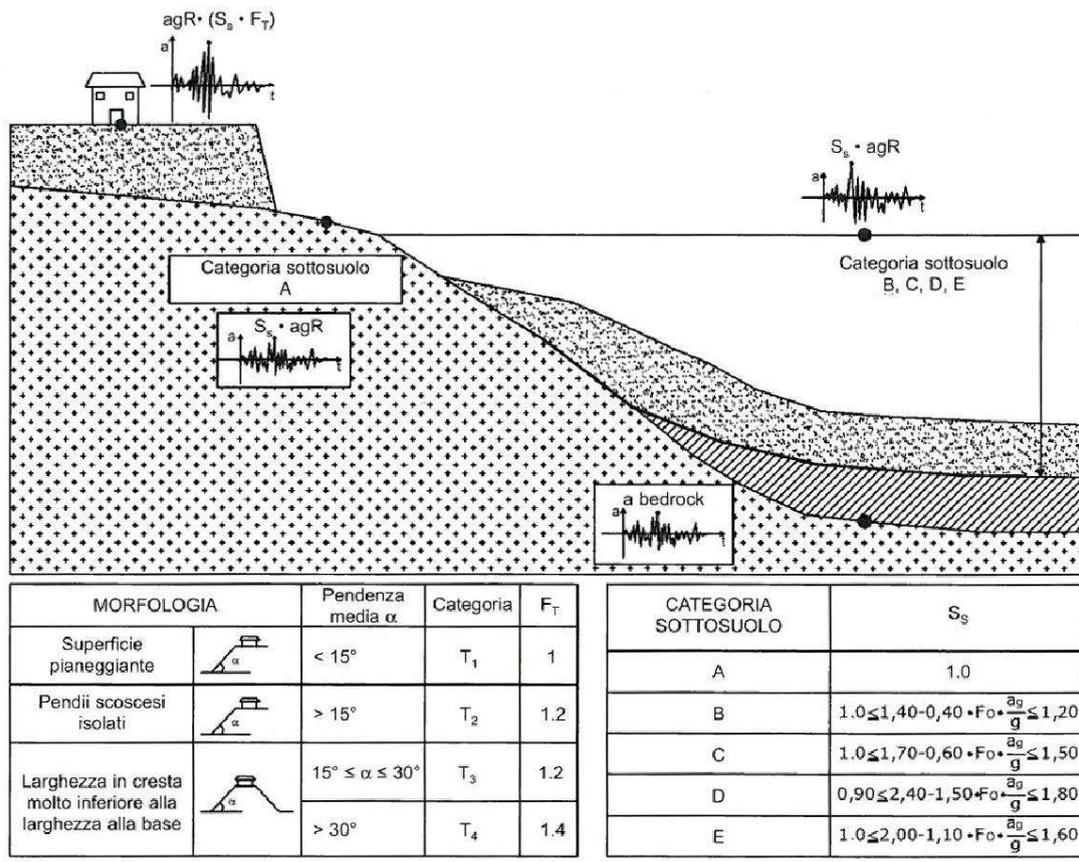


Fig. 16 - Rappresentazione schematica del significato delle accelerazioni, delle classi di categoria di suolo e del fattore topografico (da Microsism - procedure automatiche di microzonazione sismica, Giulio Riga)

Effetti stratigrafici

L'amplificazione stratigrafica è attesa su suoli di categoria diversa da A, caratterizzati da $V_s < 800$ m/s e spessori $>$ di 3 metri. Qualsiasi tipologia di suolo (roccia o deposito quaternario) che possiede $V_s > 800$ m/s rientra, invece, nella categoria A ed è considerata bedrock sismico, quindi non in grado di generare amplificazione stratigrafica. Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, si individuano le seguenti categorie di sottosuolo:

Categorie	Descrizione
A	<i>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.</i>
B	<i>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.</i>
C	<i>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.</i>
D	<i>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.</i>
E	<i>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.</i>

Il coefficiente di amplificazione stratigrafica S_s può essere calcolato in funzione dei valori di F_0 e a_g/g , mediante le seguenti espressioni:

Categoria	S_s
A	1
B	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 F_0 a_g/g \leq 1,20$
C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 F_0 a_g/g \leq 1,50$
D	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 F_0 a_g/g \leq 1,80$
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 F_0 a_g/g \leq 1,60$

nelle quali:

F_0 = fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima, su sito di riferimento rigido orizzontale; ha valore minimo pari a 2.2.

a_g = accelerazione orizzontale massima del terreno su sito di riferimento rigido orizzontale;

g = accelerazione di gravità.

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

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

Dove:

h_i spessore dell' i -esimo strato;

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

N numero di strati;

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

In base alle prospezioni sismiche effettuate, è scaturito un valore di $V_{s_{eq}}$ di 518.59 m/s (con $H=30.00$ m) per la masw **M1**, di 426.06 m/s (con $H=30.00$ m) per la masw **M2**, di 368.95 m/s (con $H=30.00$ m) per la masw **M3**, e di 360.20 m/s (con $H=30.00$ m) per la masw **M4** pertanto, il terreno può essere classificato come di **Categoria B** per quanto riguarda i siti che ospiteranno gli aerogeneratori.

Effetti topografici

La focalizzazione (o concentrazione) delle onde sismiche in corrispondenza di creste, cime o cigli di scarpata è il fenomeno che sta alla base della cosiddetta "amplificazione topografica". L'amplificazione topografica è massima in corrispondenza di linee di cresta/cigli di scarpata e poi decresce con modelli complessi allontanandoci da esse.

Per configurazioni superficiali semplici si può adottare la seguente classificazione:

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

a cui corrispondono i seguenti valori del coefficiente topografico:

Categoria	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	S_T
T1	-	1,00
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,20
T3	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,20
T4	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,40

Le suesposte categorie topografiche si riferiscono a configurazioni geometriche prevalentemente bidimensionali, creste o dorsali allungate, e devono essere considerate nella definizione dell'azione sismica se di altezza maggiore di 30 m.

Considerando che la zona interessata dal progetto è situata nei territori comunali di Roccapalumba, Castronovo di Sicilia e Lercara Friddi, alla quota di circa 550 m s.l.m., su un versante a pendenza massima di 12°, si può concludere, che la categoria topografica di pertinenza è la **T1**: "Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$ ".

VERIFICA DI STABILITA' DEL PENDIO

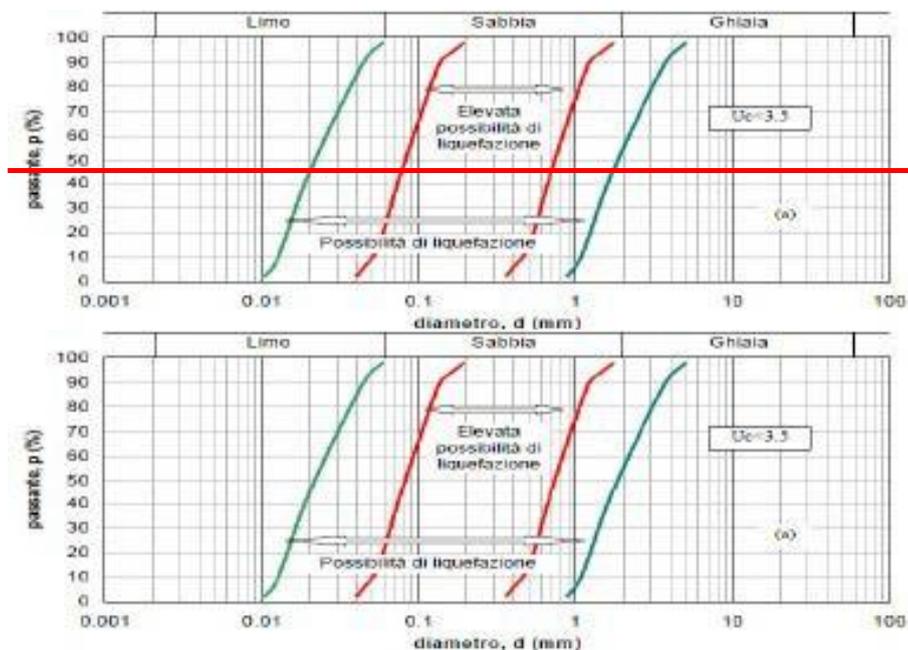
Ricordando quanto detto nel paragrafo *caratteristiche geomorfologiche* al quale si rimanda esplicitamente, essendo il versante in esame assoggettato alla categoria topografica T1 con pendenze medie inferiori ai 15° e generalmente favorevoli alla stabilità, non si è ritenuto necessario eseguire specifiche verifiche di stabilità dei pendii in quanto queste avrebbero fatto registrare valori del coefficiente di sicurezza decisamente superiori ai minimi previsti dalla normativa vigente per tutti i punti in cui sorgeranno gli aerogeneratori.

POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE

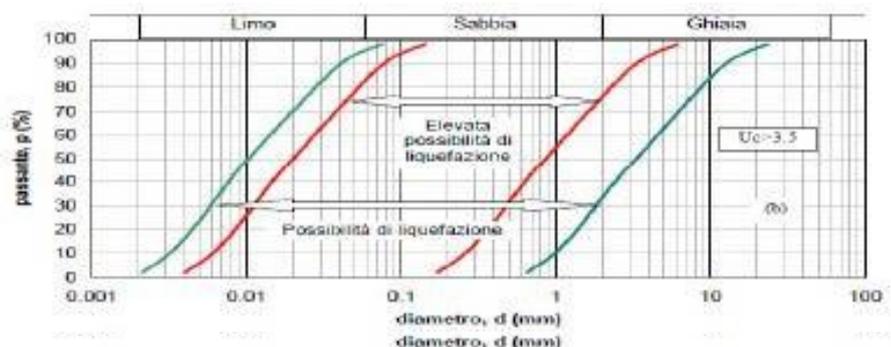
Le "Norme tecniche per le costruzioni" del 2018 (D.M. 17.01.2018), al § 7.11.3.4, "stabilità nei confronti della liquefazione", forniscono la seguente definizione nei riguardi di tale possibile manifestazione: "fenomeni associati alla perdita di resistenza al taglio o ad accumulo di deformazioni plastiche in terreni saturi, prevalentemente sabbiosi, sollecitati da azioni cicliche e dinamiche che agiscono in condizioni non drenate".

Ciò avviene quando la pressione dell'acqua nei pori aumenta progressivamente fino ad eguagliare la pressione totale di confinamento e quindi allorché gli sforzi efficaci, da cui dipende la resistenza al taglio, si riducono a zero. In questo contesto, il problema principale che si pone in fase di progettazione è la suscettibilità alla liquefazione quando la falda freatica si trova in prossimità della superficie, ed il terreno di fondazione comprende strati estesi o lenti spesse di sabbie sciolte sotto falda, anche se contenenti una frazione fine lino-argillosa. In riferimento al § 7.11.3.4.2, "Esclusione della verifica a liquefazione", della sopracitata normativa, la verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

1. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1 g;
2. profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
3. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N1)_{60} > 30$ oppure $qc_{1N} > 180$ 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 qc_{1N} è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
4. distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Figura successiva a nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3,5$ ed in Figura b nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3,5$.



a. Fasce granulometriche per la valutazione preliminare della suscettibilità alla liquefazione di un terreno per i terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3,5$ (da AGI, 2005).



b. Fasce granulometriche per la valutazione preliminare della suscettibilità alla liquefazione di un terreno per i terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3,5$ (da AGI, 2005).

Nel caso dell'area in esame non si ritiene possano sussistere le condizioni per il verificarsi del fenomeno di liquefazione sia per la argillosa delle formazioni presenti in loco che per la soggiacenza della falda a profondità decisamente maggiori di 15 m dal piano campagna.

CONCLUSIONI

Il presente studio geologico è stato redatto, su incarico della società **New Developments s.r.l.**, al fine di definire le condizioni geolitologiche, geomorfologiche, idrologiche, geomeccaniche e sismologiche di un'area interessata dal progetto "**Progetto per la realizzazione e l'esercizio di un impianto eolico denominato "ASTRA" nei territori dei Comuni di Roccapalumba (PA), Castronovo di Sicilia (PA) e Lercara Friddi (PA)**".

In considerazione delle finalità di progetto, si possono effettuare le seguenti considerazioni conclusive:

- Dal punto di vista geologico è possibile definire il seguente modello:
 - **Terreno di copertura** con spessore di circa 1 m;
 - **Depositi argilloso/sabbiosi** - poco consistenti, con spessori variabili da 2 a 4 m
 - **Depositi argilloso/sabbiosi** mediamente consistenti, riscontrabili a partire da profondità variabili dai da 3 a 8 m dal piano campagna.
- Dal punto di vista geomorfologico, l'area in oggetto si presenta collinare con versanti a dolci pendenze e inserita in un contesto in cui sono presenti numerose creste morfologiche e picchi isolati; i versanti arrivano a pendenze massime di circa 12° (Categoria Topografica T1) e la cartografia P.A.I. non annovera i siti che ospiteranno gli aerogeneratori fra quelli a rischio idrogeologico-geomorfologico.
- Dal punto di vista idrogeologico il sistema idrografico, costituito da aste di bassissimo grado gerarchico, presenta un andamento di tipo lineare e si sviluppa in loco sulle formazioni affioranti, la falda non è stata rilevata dalle indagini e si presume si attesti a diverse decine di metri di profondità dal p.c..
- Dal punto di vista geotecnico i parametri geotecnici utili ai fini della progettazione degli interventi in oggetto vengono elencati nel capitolo "*caratterizzazione geotecnica*".
- Dal punto di vista sismico, i territori dei comuni di Roccapalumba, Lercara Friddi e Castronovo di Sicilia (PA), ricadono in una zona con accelerazione sismica su substrato di riferimento (bedrock, suolo A) compreso tra tra 0.15 e 0.25 a_g/g , collocando il territorio comunale in

"Zona Sismica 2". Dalle risultanze delle M.A.S.W effettuate, la categoria del sottosuolo è riconducibile alla Classe B (V_{seq} compresi tra 360 e 800 m/s) per i siti che ospiteranno gli aerogeneratori.

In definitiva, si può asserire che il rischio per l'area interessata dall'intervento è sostanzialmente basso e potenzialmente rappresentato dall'insacco di piccoli movimenti franosi della copertura presente in loco a seguito di eventi meteorici intensi. Si consiglia, durante le fasi di progettazione esecutiva, di prevedere l'esecuzione di carotaggi in corrispondenza di ciascuna verticale in modo da stabilire con esattezza lo spessore dei terreni di copertura, prelevare un campione all'interno delle formazioni sedimentarie presenti ed effettuare le opportune analisi di laboratorio al fine di ottenere i parametri geotecnici che meglio descrivono i terreni che accoglieranno le fondazioni degli aerogeneratori.

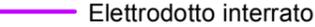
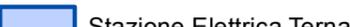
Si raccomanda, inoltre, di rendere efficace il controllo, la regimazione e il disciplinamento delle acque di ruscellamento superficiale e d'infiltrazione, nell'intorno degli aerogeneratori, mediante specifiche opere di presidio idraulico (vespai, canalizzazioni, ecc) da estendere adeguatamente attorno all'area d'interesse, con il loro recapito fino agli elementi naturali e/o artificiali più vicini e sicuri.

Marzo 2022

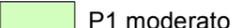
Il geologo
Dott. Eugen

Scala 1:10.000



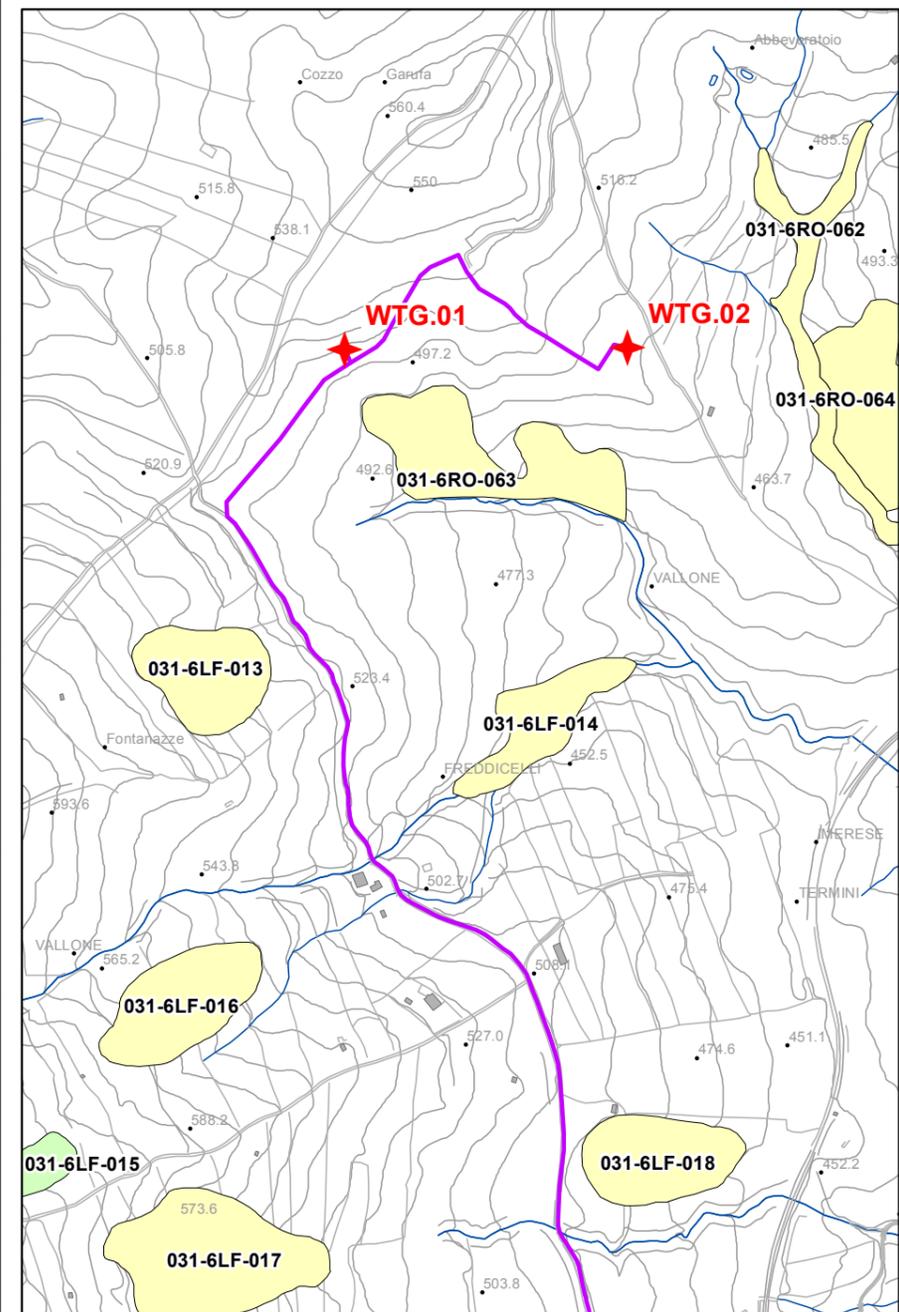
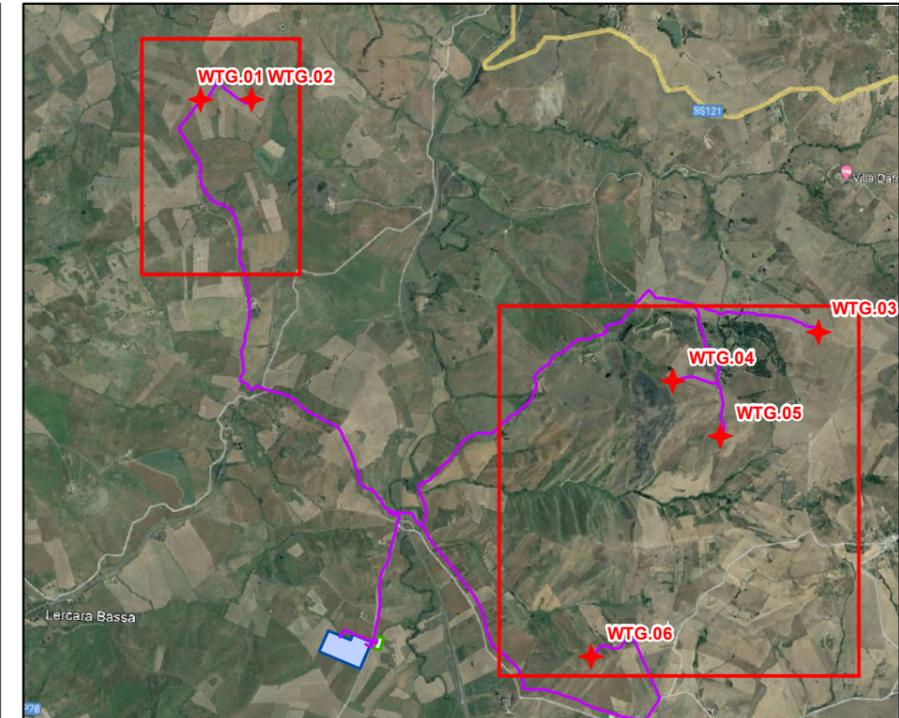
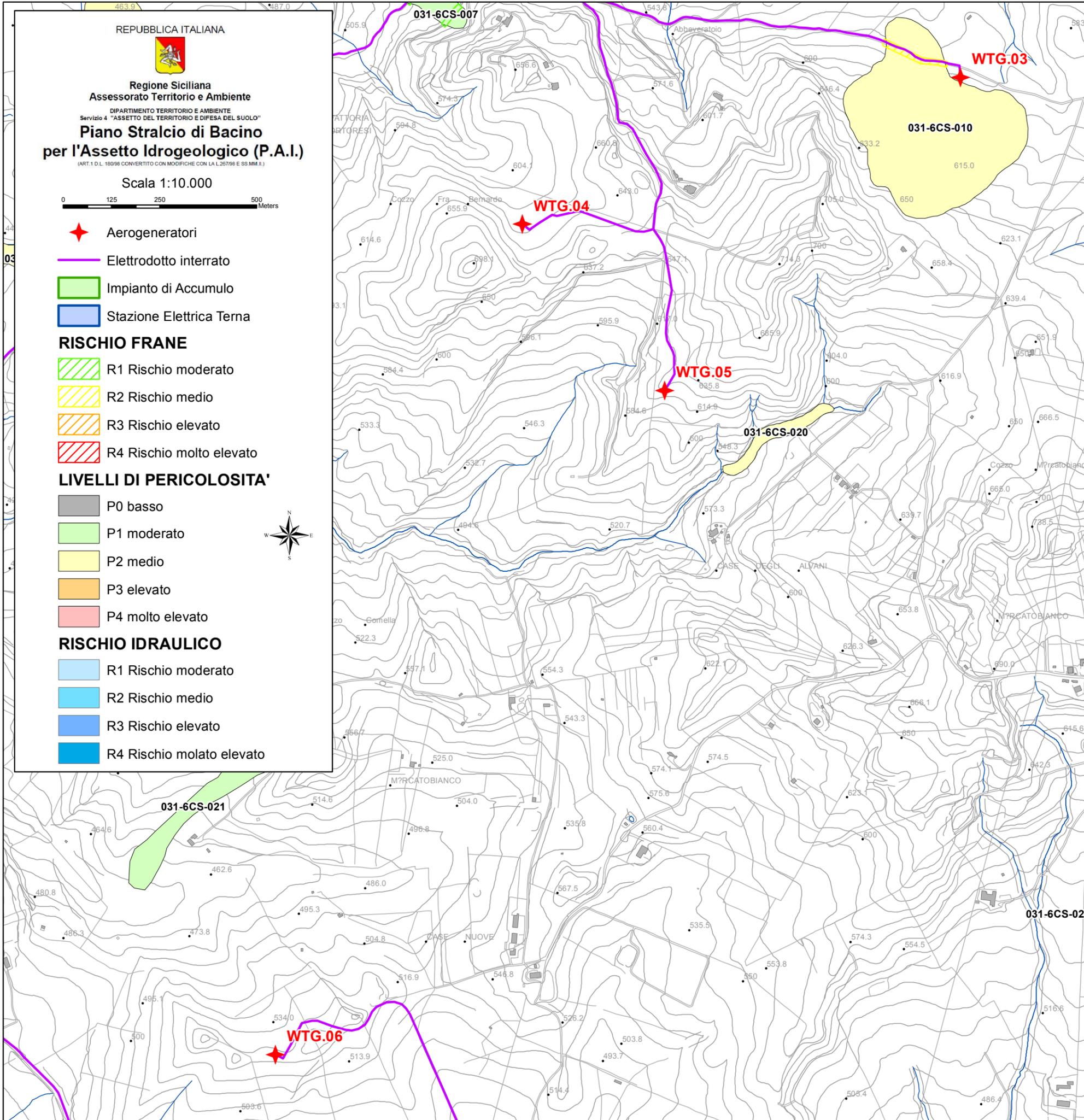
-  Aerogeneratori
 -  Elettrodotto interrato
 -  Impianto di Accumulo
 -  Stazione Elettrica Terna
- RISCHIO FRANE**
-  R1 Rischio moderato
 -  R2 Rischio medio
 -  R3 Rischio elevato
 -  R4 Rischio molto elevato

LIVELLI DI PERICOLOSITA'

-  P0 basso
-  P1 moderato
-  P2 medio
-  P3 elevato
-  P4 molto elevato

RISCHIO IDRAULICO

-  R1 Rischio moderato
-  R2 Rischio medio
-  R3 Rischio elevato
-  R4 Rischio molto elevato



Studio Geologico di **LUCIA Vincenzo**

Via Petrozza, 28

87046 MONTALTO UFFUGO (CS)

Tel. 328 1343267 - vincenzo.lucia@yahoo.it

Geolo*i*Cal
www.geologicalaltervista.org

OGGETTO

Progetto per la realizzazione e l'esercizio di un impianto eolico denominato "ASTRA"

ELABORATO

RELAZIONE TECNICA SULLE INDAGINI

COMMITTENTE:

NEW DEVELOPMENTS S.R.L.

LOCALITA' ESECUZIONE INDAGINI:

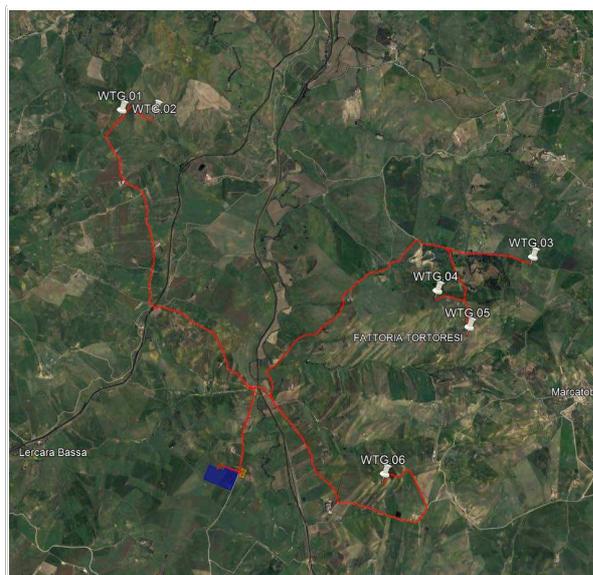
Roccapalumba (PA) - Castronovo di
Sicilia (PA) - Lercara Friddi (PA)

DATA ESECUZIONE INDAGINI:

19 NOVEMBRE 2021

IL TECNICO:

Dott. Geol. Vincenzo LUCIA



INDICE

PREMESSA.....	2
DESCRIZIONE PROVA PENETROMETRICA DINAMICA	3
ELABORAZIONE PROVA PENETROMETRICA DPM_1 (P1).....	9
ELABORAZIONE PROVA PENETROMETRICA DPM_2 (P2).....	13
ELABORAZIONE PROVA PENETROMETRICA DPM_3 (P3).....	18
DESCRIZIONE INDAGINE GEOFISICA MASW	23
ELABORAZIONE INDAGINE MASW_1 (M1).....	25
ELABORAZIONE INDAGINE MASW_2 (M2).....	31
ELABORAZIONE INDAGINE MASW_3 (M3).....	37
ELABORAZIONE INDAGINE MASW_4 (M4).....	43
REPERTORIO FOTOGRAFICO DELLE INDAGINI.....	49

ALLEGATI

- Carta ubicazione indagini in scala 1:10.000

Premessa

Su incarico della società **New Developments S.r.l.**, in riferimento al: **Progetto per la realizzazione e l'esercizio di un impianto eolico denominato "ASTRA"**, il sottoscritto Geologo Vincenzo LUCIA, ha eseguito in data 19/11/2021, una campagna di indagini geognostiche costituita da:

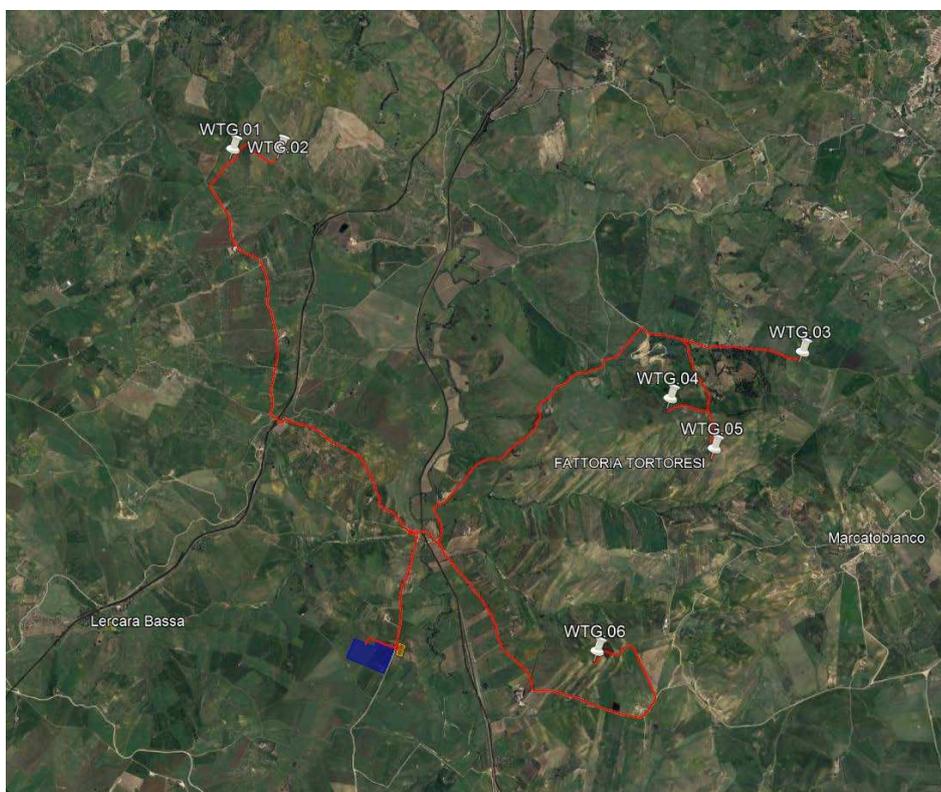
- n° 3 prove penetrometriche dinamiche DPM30 (P1÷P3);
- n° 4 prospezione sismica di tipo MASW (M1÷M4).

Le prove penetrometriche hanno consentito la determinazione della stratigrafia dei litotipi e la determinazione indiretta dei parametri geotecnici del sottosuolo.

La prospezione sismica di tipo MASW ha consentito di definire la velocità media delle onde S nei primi metri di profondità. La misura delle Vs è di fondamentale importanza per la caratterizzazione del sottosuolo di un sito secondo quanto previsto dalle recenti normative antisismiche (O.P.C.M. 3274/03; O.P.C.M. 3431/05; D.M. 17 gennaio 2018).

Le coordinate dei cinque aerogeneratori, espresse nel sistema di riferimento WGS 84, sono le seguenti:

- WTG.01 Latitudine. **37°46'18.56"N** - Longitudine. **13°38'38.04"E**
- WTG.02 Latitudine. **37°46'18.82"N** - Longitudine. **13°38'54.39"E**
- WTG.03 Latitudine. **37°45'22.23"N** - Longitudine. **13°41'55.86"E**
- WTG.04 Latitudine. **37°45'9.41"N** - Longitudine. **13°41'9.70"E**
- WTG.05 Latitudine. **37°44'55.59"N** - Longitudine. **13°41'25.01"E**
- WTG.06 Latitudine. **37°43'59.41"N** - Longitudine. **13°40'44.84"E**



Tutte le informazioni di natura tecnica relative alle indagini eseguite unitamente all'interpretazione litologica e stratigrafica non sono commentate nella presente relazione di sintesi.

Descrizione prova penetrometrica dinamica

La prova penetrometrica dinamica consiste nell'infiggere nel terreno una punta conica (per tratti consecutivi δ) misurando il numero di colpi N necessari.

Le Prove Penetrometriche Dinamiche sono molto diffuse ed utilizzate nel territorio da geologi e geotecnici, data la loro semplicità esecutiva, economicità e rapidità di esecuzione.

La loro elaborazione, interpretazione e visualizzazione grafica consente di "catalogare e parametrizzare" il suolo attraversato con un'immagine in continuo, che permette anche di avere un raffronto sulle consistenze dei vari livelli attraversati e una correlazione diretta con sondaggi geognostici per la caratterizzazione stratigrafica.

La sonda penetrometrica permette inoltre di riconoscere abbastanza precisamente lo spessore delle coltri sul substrato, la quota di eventuali falde e superfici di rottura sui pendii, e la consistenza in generale del terreno.

L'utilizzo dei dati, ricavati da correlazioni indirette e facendo riferimento a vari autori, dovrà comunque essere trattato con le opportune cautele e, possibilmente, dopo esperienze geologiche acquisite in zona.

Elementi caratteristici del penetrometro dinamico sono i seguenti:

- peso massa battente M
- altezza libera caduta H
- punta conica: diametro base cono D, area base A (angolo di apertura α)
- avanzamento (penetrazione) δ
- presenza o meno del rivestimento esterno (fanghi bentonitici).

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

- tipo LEGGERO (DPL)
- tipo MEDIO (DPM)
- tipo PESANTE (DPH)
- tipo SUPERPESANTE (DPSH)

Classificazione ISSMFE dei penetrometri dinamici:

Tipo	Sigla di riferimento	peso della massa M (kg)	prof.max indagine battente (m)
Leggero	DPL (Light)	$M \leq 10$	8
Medio	DPM (Medium)	$10 < M < 40$	20-25
Pesante	DPH (Heavy)	$40 \leq M < 60$	25
Super pesante (Super Heavy)	DPSH	$M \geq 60$	25

In Italia risultano attualmente in uso i seguenti tipi di penetrometri dinamici (non rientranti però nello Standard ISSMFE):

- DINAMICO LEGGERO ITALIANO (DL-30) (MEDIO secondo la classifica ISSMFE)
massa battente M = 30 kg, altezza di caduta H = 0.20 m, avanzamento δ = 10 cm, punta conica ($\alpha=60-90^\circ$), diametro D 35.7 mm, area base cono A=10 cm² rivestimento / fango bentonitico : talora previsto;

- DINAMICO LEGGERO ITALIANO (DL-20) (MEDIO secondo la classifica ISSMFE)
massa battente M = 20 kg, altezza di caduta H=0.20 m, avanzamento δ = 10 cm, punta conica ($\alpha= 60-90^\circ$), diametro D 35.7 mm, area base cono A=10 cm² rivestimento / fango bentonitico : talora previsto;

- DINAMICO PESANTE ITALIANO (SUPERPESANTE secondo la classifica ISSMFE)
massa battente $M = 73$ kg, altezza di caduta $H=0.75$ m, avanzamento $\delta=30$ cm, punta conica ($\alpha = 60^\circ$),
diametro $D = 50.8$ mm, area base cono $A=20.27$ cm² rivestimento: previsto secondo precise indicazioni;

- DINAMICO SUPERPESANTE (Tipo EMILIA)
massa battente $M=63.5$ kg, altezza caduta $H=0.75$ m, avanzamento $\delta=20-30$ cm, punta conica conica ($\alpha = 60^\circ-90^\circ$) diametro $D = 50.5$ mm, area base cono $A = 20$ cm², rivestimento / fango bentonitico : talora previsto.

Correlazione con N_{spt}

Poiché la prova penetrometrica standard (SPT) rappresenta, ad oggi, uno dei mezzi più diffusi ed economici per ricavare informazioni dal sottosuolo, la maggior parte delle correlazioni esistenti riguardano i valori del numero di colpi N_{spt} ottenuto con la suddetta prova, pertanto si presenta la necessità di rapportare il numero di colpi di una prova dinamica con N_{spt} . Il passaggio viene dato da:

$$N_{spt} = \beta_t N$$

Dove:

$$\beta_t = \frac{Q}{Q_{SPT}}$$

in cui Q è l'energia specifica per colpo e Q_{spt} è quella riferita alla prova SPT.

L'energia specifica per colpo viene calcolata come segue:

$$Q = \frac{M^2 \cdot H}{A \cdot \delta \cdot (M + M')}$$

in cui

- M = peso massa battente;
- M' = peso aste;
- H = altezza di caduta;
- A = area base punta conica;
- δ = passo di avanzamento.

Valutazione resistenza dinamica alla punta R_{pd}

Formula Olandesi

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

- R_{pd} = resistenza dinamica punta (area A);
- e = infissione media per colpo (δ/N);
- M = peso massa battente (altezza caduta H);
- P = peso totale aste e sistema battuta.

Calcolo di $(N_1)_{60}$

$(N_1)_{60}$ è il numero di colpi normalizzato definito come segue:

$$(N_1)_{60} = C_N \times N_{60} \text{ con } C_N = \sqrt{(Pa/\sigma'_{v0})} \quad C_N < 1.7 \quad Pa = 101.32 \text{ kPa (Liao e Whitman 1986)}$$

$$N_{60} = N_{SPT} \times (ER/60) \times C_s \times C_r \times C_d$$

- $ER/60$: Rendimento del sistema di infissione normalizzato al 60%.
- C_s : Parametro funzione della controcamicia (1.2 se assente).
- C_d : Funzione del diametro del foro (1 se compreso tra 65-115mm).
- C_r : Parametro di correzione funzione della lunghezza delle aste.

Metodologia di Elaborazione.

Le elaborazioni sono state effettuate mediante un programma di calcolo automatico Dynamic Probing della GeoStru Software.

Il programma calcola il rapporto delle energie trasmesse (coefficiente di correlazione con SPT) tramite le elaborazioni proposte da Pasqualini 1983 - Meyerhof 1956 - Desai 1968 - Borowczyk-Frankowsky 1981.

Permette inoltre di utilizzare i dati ottenuti dall'effettuazione di prove penetrometriche per estrapolare utili informazioni geotecniche e geologiche.

Una vasta esperienza acquisita, unitamente ad una buona interpretazione e correlazione, permettono spesso di ottenere dati utili alla progettazione e frequentemente dati maggiormente attendibili di tanti dati bibliografici sulle litologie e di dati geotecnici determinati sulle verticali litologiche da poche prove di laboratorio eseguite come rappresentazione generale di una verticale eterogenea disuniforme e/o complessa.

In particolare consente di ottenere informazioni su:

- l'andamento verticale e orizzontale degli intervalli stratigrafici,
- la caratterizzazione litologica delle unità stratigrafiche,
- i parametri geotecnici suggeriti da vari autori in funzione dei valori del numero dei colpi e delle resistenze alla punta.

Valutazioni statistiche e correlazioni

Elaborazione Statistica

Permette l'elaborazione statistica dei dati numerici, utilizzando nel calcolo dei valori rappresentativi dello strato considerato un valore inferiore o maggiore della media aritmetica dello strato (dato comunque maggiormente utilizzato); i valori possibili in immissione sono:

Media

Media aritmetica dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Media minima

Valore statistico inferiore alla media aritmetica dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Massimo

Valore massimo dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Minimo

Valore minimo dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Scarto quadratico medio

Valore statistico di scarto dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Media deviata

Valore statistico di media deviata dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Media + s

Media + scarto (valore statistico) dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Media - s

Media - scarto (valore statistico) dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Distribuzione normale R.C.

Il valore di $N_{spt,k}$ viene calcolato sulla base di una distribuzione normale o gaussiana, fissata una probabilità di non superamento del 5%, secondo la seguente relazione:

$$N_{spt,k} = N_{spt,medio} - 1.645 \cdot (\sigma_{N_{spt}})$$

dove $s_{N_{spt}}$ è la deviazione standard di N_{spt}

Distribuzione normale R.N.C.

Il valore di $N_{spt,k}$ viene calcolato sulla base di una distribuzione normale o gaussiana, fissata una probabilità di non superamento del 5%, trattando i valori medi di N_{spt} distribuiti normalmente:

$$N_{spt,k} = N_{spt,medio} - 1.645 \cdot (\sigma_{N_{spt}}) / \sqrt{n}$$

dove n è il numero di letture.

Pressione ammissibile

Pressione ammissibile specifica sull'interstrato (con effetto di riduzione energia per svergolamento aste o no) calcolata secondo le note elaborazioni proposte da Herminier, applicando un coefficiente di sicurezza (generalmente = 20-22) che corrisponde ad un coefficiente di sicurezza standard delle fondazioni pari a 4, con una geometria fondale standard di larghezza pari a 1 mt. ed immorsamento $d = 1$ mt.

Correlazioni geotecniche terreni incoerenti

Liquefazione

Permette di calcolare utilizzando dati N_{spt} il potenziale di liquefazione dei suoli (prevalentemente sabbiosi).

Attraverso la relazione di *SHI-MING (1982)*, applicabile a terreni sabbiosi, la liquefazione risulta possibile solamente se N_{spt} dello strato considerato risulta inferiore a N_{spt} critico calcolato con l'elaborazione di *SHI-MING*.

Correzione N_{spt} in presenza di falda

N_{spt} corretto = $15 + 0.5 \times (N_{spt} - 15)$

N_{spt} è il valore medio nello strato

La correzione viene applicata in presenza di falda solo se il numero di colpi è maggiore di 15 (la correzione viene eseguita se tutto lo strato è in falda).

Angolo di Attrito

- Peck-Hanson-Thornburn-Meyerhof 1956 - Correlazione valida per terreni non molli a prof. < 5 mt.; correlazione valida per sabbie e ghiaie rappresenta valori medi. - Correlazione storica molto usata, valevole per prof. < 5 mt. per terreni sopra falda e < 8 mt. per terreni in falda (tensioni < 8-10 t/mq)
- Meyerhof 1956 - Correlazioni valide per terreni argillosi ed argillosi-marnosi fessurati, terreni di riporto sciolti e coltri detritiche (da modifica sperimentale di dati).
- Sowers 1961- Angolo di attrito in gradi valido per sabbie in genere (cond. ottimali per prof. < 4 mt. sopra falda e < 7 mt. per terreni in falda) $\sigma > 5$ t/mq.
- De Mello - Correlazione valida per terreni prevalentemente sabbiosi e sabbioso-ghiaiosi (da modifica sperimentale di dati) con angolo di attrito < 38° .
- Malcev 1964 - Angolo di attrito in gradi valido per sabbie in genere (cond. ottimali per prof. > 2 m. e per valori di angolo di attrito < 38°).
- Schmertmann 1977- Angolo di attrito (gradi) per vari tipi litologici (valori massimi). N.B. valori spesso troppo ottimistici poiché desunti da correlazioni indirette da D_r %.
- Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION) Angolo di attrito in gradi valido per sabbie - sabbie fini o limose e limi siltosi (cond. ottimali per prof. di prova > 8 mt. sopra falda e > 15 mt. per terreni in falda) $\sigma > 15$ t/mq.
- Shioi-Fukuni 1982 (JAPANESE NATIONALE RAILWAY) Angolo di attrito valido per sabbie medie e grossolane fino a ghiaiose .
- Angolo di attrito in gradi (Owasaki & Iwasaki) valido per sabbie - sabbie medie e grossolane-ghiaiose (cond. ottimali per prof. > 8 mt. sopra falda e > 15 mt. per terreni in falda) $\sigma > 15$ t/mq.
- Meyerhof 1965 - Correlazione valida per terreni per sabbie con % di limo < 5% a profondità < 5 mt. e con % di limo > 5% a profondità < 3 mt.
- Mitchell e Katti (1965) - Correlazione valida per sabbie e ghiaie.

Densità relativa (%)

- Gibbs & Holtz (1957) correlazione valida per qualunque pressione efficace, per ghiaie D_r viene sovrastimato, per limi sottostimato.
- Skempton (1986) elaborazione valida per limi e sabbie e sabbie da fini a grossolane NC a qualunque pressione efficace, per ghiaie il valore di D_r % viene sovrastimato, per limi sottostimato.
- Meyerhof (1957).
- Schultze & Menzenbach (1961) per sabbie fini e ghiaiose NC, metodo valido per qualunque valore di pressione efficace in depositi NC, per ghiaie il valore di D_r % viene sovrastimato, per limi sottostimato.

Modulo Di Young (E_y)

- Terzaghi - elaborazione valida per sabbia pulita e sabbia con ghiaia senza considerare la pressione efficace.
- Schmertmann (1978), correlazione valida per vari tipi litologici .

- Schultze-Menzenbach , correlazione valida per vari tipi litologici.
- D'Appollonia ed altri (1970) , correlazione valida per sabbia, sabbia SC, sabbia NC e ghiaia
- Bowles (1982), correlazione valida per sabbia argillosa, sabbia limosa, limo sabbioso, sabbia media, sabbia e ghiaia.

Modulo Edometrico

- Begemann (1974) elaborazione desunta da esperienze in Grecia, correlazione valida per limo con sabbia, sabbia e ghiaia
- Buismann-Sanglerat , correlazione valida per sabbia e sabbia argillosa.
- Farrent (1963) valida per sabbie, talora anche per sabbie con ghiaia (da modifica sperimentale di dati).
- Menzenbach e Malcev valida per sabbia fine, sabbia ghiaiosa e sabbia e ghiaia.

Stato di consistenza

- Classificazione A.G.I. 1977

Peso di Volume Gamma

- Meyerhof ed altri, valida per sabbie, ghiaie, limo, limo sabbioso.

Peso di volume saturo

- Terzaghi-Peck 1948-1967

Modulo di poisson

- Classificazione A.G.I.

Potenziale di liquefazione (Stress Ratio)

- Seed-Idriss 1978-1981 . Tale correlazione è valida solamente per sabbie, ghiaie e limi sabbiosi, rappresenta il rapporto tra lo sforzo dinamico medio τ e la tensione verticale di consolidazione per la valutazione del potenziale di liquefazione delle sabbie e terreni sabbio-ghiaiosi attraverso grafici degli autori.

Velocità onde di taglio V_s (m/sec)

- Tale correlazione è valida solamente per terreni incoerenti sabbiosi e ghiaiosi.

Modulo di deformazione di taglio (G)

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

Modulo di reazione (Ko)

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

Resistenza alla punta del Penetrometro Statico (Qc)

- Robertson 1983 Qc

Correlazioni geotecniche terreni coesivi

Coesione non drenata

- Benassi & Vannelli- correlazioni scaturite da esperienze ditta costruttrice Penetrometri SUNDA 1983.
- Terzaghi-Peck (1948-1967), correlazione valida per argille sabbiose-siltose NC con $N_{spt} < 8$, argille limose-siltose mediamente plastiche, argille marnose alterate-fessurate.
- Terzaghi-Peck (1948). C_u min-max.
- Sanglerat , da dati Penetr. Statico per terreni coesivi saturi , tale correlazione non è valida per argille sensitive con sensitività > 5 , per argille sovraconsolidate fessurate e per i limi a bassa plasticità.
- Sanglerat , (per argille limose-sabbiose poco coerenti), valori validi per resistenze penetrometriche < 10 colpi, per resistenze penetrometriche > 10 l'elaborazione valida è comunque quella delle "argille plastiche " di Sanglerat.

**Progetto per la realizzazione e l'esercizio di un impianto eolico
denominato "ASTRA" nei territori dei
Comuni di Roccapalumba (PA), Castronovo di Sicilia (PA) e Lercara Friddi (PA)**

- (U.S.D.M.S.M.) U.S. Design Manual Soil Mechanics Coesione non drenata per argille limose e argille di bassa media ed alta plasticità , (Cu-Nspt-grado di plasticità).
- Schmertmann 1975 Cu (Kg/cmq) (valori medi), valida per **argille e limi argillosi** con $N_c=20$ e $Q_c/N_{spt}=2$.
- Schmertmann 1975 Cu (Kg/cmq) (valori minimi), valida per argille NC .
- Fletcher 1965 - (Argilla di Chicago) . Coesione non drenata Cu (Kg/cmq), colonna valori validi per argille a medio-bassa plasticità .
- Houston (1960) - argilla di media-alta plasticità.
- Shioi-Fukuni 1982 , valida per suoli poco coerenti e plastici, argilla di media-alta plasticità.
- Begemann.
- De Beer.

Resistenza alla punta del Penetrometro Statico (Q_c)

- Robertson 1983 Q_c

Modulo Edometrico-Confinato (M_o)

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

Modulo Di Young (E_γ)

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

Stato di consistenza

- Classificazione A.G.I. 1977

Peso di Volume

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

Peso di volume saturo

- Meyerhof ed altri.

Caratteristiche Tecniche-Strumentali Sonda: DPM (DL030 10) (Medium)

Rif. Norme	DIN 4094
Peso Massa battente	30 Kg
Altezza di caduta libera	0.20 m
Peso sistema di battuta	21 Kg
Diametro punta conica	35.68 mm
Area di base punta	10 cm ²
Lunghezza delle aste	1 m
Peso aste a metro	2.9 Kg/m
Profondità giunzione prima asta	0.80 m
Avanzamento punta	0.10 m
Numero colpi per punta	N(10)
Coeff. Correlazione	0.761
Rivestimento/fanghi	No
Angolo di apertura punta	60 °

*Progetto per la realizzazione e l'esercizio di un impianto eolico
denominato "ASTRA" nei territori dei
Comuni di Roccapalumba (PA), Castronovo di Sicilia (PA) e Lercara Friddi (PA)*

Classificazione ISSMFE (1988) delle sonde Penetrometriche dinamiche

Tipo	Sigla di riferimento	Peso della massa battente in Kg
Leggero	DPL (Light)	M<10
Medio	DPM (Medium)	10<M<40
Pesante	DPH (Heavy)	40<M<60
Super pesante	DPSH (Super Heavy)	M>60

Elaborazione Prova Penetrometrica DPM_1 (P1)

Strumento utilizzato... DPM (DL030 10) (Medium)
 Prova eseguita in data
 Profondità prova 5.70 mt
 Falda non rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondità (m)	Nr. Colpi	Nr. Colpi Rivestimento	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm ²)	Res. dinamica (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)
0.10	10	0	0.857	28.61	33.40	1.43	1.67
0.20	11	0	0.855	31.39	36.73	1.57	1.84
0.30	12	0	0.853	34.17	40.07	1.71	2.00
0.40	10	0	0.851	28.41	33.40	1.42	1.67
0.50	10	0	0.849	28.35	33.40	1.42	1.67
0.60	10	0	0.847	28.29	33.40	1.41	1.67
0.70	9	0	0.845	25.40	30.06	1.27	1.50
0.80	9	0	0.843	25.35	30.06	1.27	1.50
0.90	8	0	0.842	21.33	25.35	1.07	1.27
1.00	10	0	0.840	26.61	31.69	1.33	1.58
1.10	11	0	0.838	29.21	34.86	1.46	1.74
1.20	10	0	0.836	26.50	31.69	1.33	1.58
1.30	12	0	0.835	31.74	38.03	1.59	1.90
1.40	11	0	0.833	29.03	34.86	1.45	1.74
1.50	12	0	0.831	31.61	38.03	1.58	1.90
1.60	13	0	0.780	32.12	41.20	1.61	2.06
1.70	14	0	0.778	34.51	44.37	1.73	2.22
1.80	14	0	0.776	34.44	44.37	1.72	2.22
1.90	12	0	0.825	29.84	36.18	1.49	1.81
2.00	10	0	0.823	24.82	30.15	1.24	1.51
2.10	10	0	0.822	24.77	30.15	1.24	1.51
2.20	9	0	0.820	22.25	27.14	1.11	1.36
2.30	9	0	0.819	22.21	27.14	1.11	1.36
2.40	8	0	0.817	19.71	24.12	0.99	1.21
2.50	10	0	0.816	24.59	30.15	1.23	1.51
2.60	12	0	0.814	29.46	36.18	1.47	1.81
2.70	14	0	0.763	32.20	42.21	1.61	2.11
2.80	13	0	0.761	29.84	39.20	1.49	1.96

**Progetto per la realizzazione e l'esercizio di un impianto eolico
denominato "ASTRA" nei territori dei
Comuni di Roccapalumba (PA), Castronovo di Sicilia (PA) e Lercara Friddi (PA)**

2.90	13	0	0.760	28.41	37.38	1.42	1.87
3.00	11	0	0.809	25.58	31.63	1.28	1.58
3.10	12	0	0.807	27.86	34.50	1.39	1.73
3.20	14	0	0.756	30.43	40.26	1.52	2.01
3.30	21	0	0.705	42.55	60.38	2.13	3.02
3.40	21	0	0.703	42.47	60.38	2.12	3.02
3.50	23	0	0.702	46.43	66.13	2.32	3.31
3.60	19	0	0.751	41.02	54.63	2.05	2.73
3.70	20	0	0.750	43.11	57.51	2.16	2.88
3.80	22	0	0.698	44.18	63.26	2.21	3.16
3.90	21	0	0.697	40.24	57.71	2.01	2.89
4.00	21	0	0.696	40.17	57.71	2.01	2.89
4.10	23	0	0.695	43.92	63.21	2.20	3.16
4.20	21	0	0.694	40.03	57.71	2.00	2.89
4.30	24	0	0.693	45.68	65.95	2.28	3.30
4.40	25	0	0.691	47.50	68.70	2.38	3.44
4.50	25	0	0.690	47.43	68.70	2.37	3.44
4.60	26	0	0.689	49.25	71.45	2.46	3.57
4.70	26	0	0.688	49.17	71.45	2.46	3.57
4.80	27	0	0.687	50.98	74.20	2.55	3.71
4.90	21	0	0.686	37.91	55.26	1.90	2.76
5.00	23	0	0.685	41.46	60.53	2.07	3.03
5.10	28	0	0.684	50.40	73.68	2.52	3.68
5.20	21	0	0.683	37.75	55.26	1.89	2.76
5.30	21	0	0.682	37.69	55.26	1.88	2.76
5.40	30	0	0.681	53.77	78.95	2.69	3.95
5.50	24	0	0.680	42.95	63.16	2.15	3.16
5.60	55	0	0.579	83.82	144.74	4.19	7.24
5.70	63	0	0.578	95.86	165.79	4.79	8.29

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA Nr.1

TERRENI COESIVI

Coesione non drenata

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Cu (Kg/cm ²)
[1] - STRATO 1	8.39	3.20	Shioi - Fukui (1982)	0.21
[2] - STRATO 2	17.63	5.70	Shioi - Fukui (1982)	0.44

Coesione drenata

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	C' (Kg/cm ²)
[1] - STRATO 1	8.39	3.20	Sorensenn & Okkals (2013)	0.02
[2] - STRATO 2	17.63	5.70	Sorensenn & Okkals (2013)	0.04

Peso unità di volume

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m ³)
[1] - STRATO 1	8.39	3.20	Meyerhof ed altri	1.91
[2] - STRATO 2	17.63	5.70	Meyerhof ed altri	2.09

**Progetto per la realizzazione e l'esercizio di un impianto eolico
denominato "ASTRA" nei territori dei
Comuni di Roccapalumba (PA), Castronovo di Sicilia (PA) e Lercara Friddi (PA)**

Peso unità di volume saturo

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m ³)
[1] - STRATO 1	8.39	3.20	Meyerhof ed altri	2.10
[2] - STRATO 2	17.63	5.70	Meyerhof ed altri	2.30

TERRENI INCOERENTI

Densità relativa

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Densità relativa (%)
[1] - STRATO 1	8.39	3.20	8.39	Meyerhof (1957)	60.56
[2] - STRATO 2	17.63	5.70	17.63	Meyerhof (1957)	70.15

Angolo di resistenza al taglio

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
[1] - STRATO 1	8.39	3.20	8.39	Shioi-Fukuni (1982)	26.22
[2] - STRATO 2	17.63	5.70	17.63	Shioi-Fukuni (1982)	31.26

Modulo di Young

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Modulo di Young (Kg/cm ²)
[1] - STRATO 1	8.39	3.20	8.39	Schmertmann (1978) Limi	51.02
[2] - STRATO 2	17.63	5.70	17.63	Schmertmann (1978) Limi	109.21

Modulo Edometrico

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Modulo Edometrico (Kg/cm ²)
[1] - STRATO 1	8.39	3.20	8.39	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	44.70
[2] - STRATO 2	17.63	5.70	17.63	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	63.68

Classificazione AGI

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Classificazione AGI
[1] - STRATO 1	8.39	3.20	8.39	Classificazione A.G.I. 1977	POCO ADDENSATO
[2] - STRATO 2	17.63	5.70	17.63	Classificazione A.G.I. 1977	MODERATAMENTE ADDENSATO

Modulo di Poisson

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Poisson
[1] - STRATO 1	8.39	3.20	8.39	(A.G.I.)	0.34
[2] - STRATO 2	17.63	5.70	17.63	(A.G.I.)	0.32

Modulo di reazione Ko

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Ko
[1] - STRATO 1	8.39	3.20	8.39	Navfac 1971-1982	1.75
[2] - STRATO 2	17.63	5.70	17.63	Navfac 1971-1982	3.62

**Progetto per la realizzazione e l'esercizio di un impianto eolico
denominato "ASTRA" nei territori dei
Comuni di Roccapalumba (PA), Castronovo di Sicilia (PA) e Lercara Friddi (PA)**

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

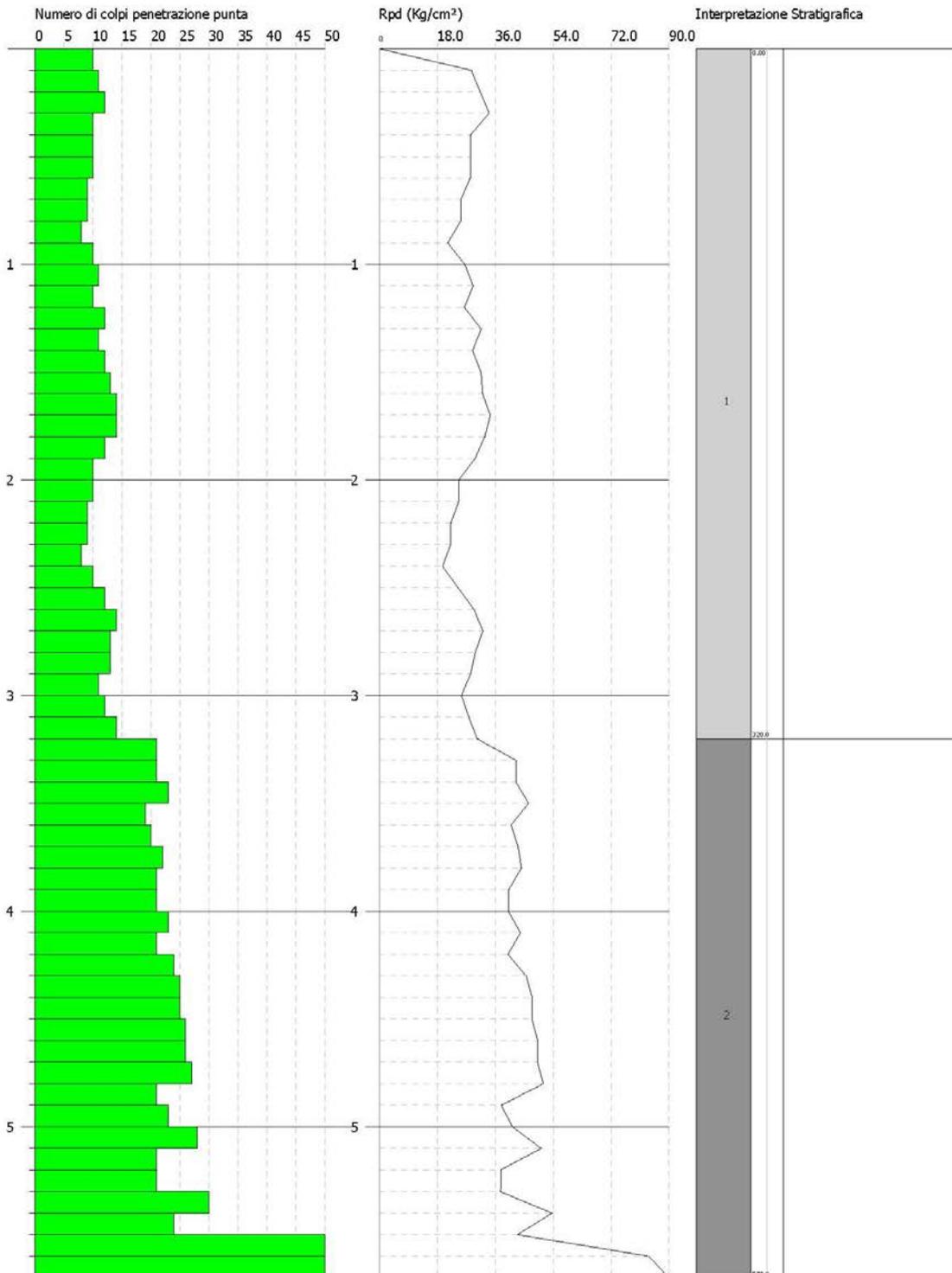
Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Qc (Kg/cm ²)
[1] - STRATO 1	8.39	3.20	8.39	Robertson 1983	16.78
[2] - STRATO 2	17.63	5.70	17.63	Robertson 1983	35.26

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr.1
Strumento utilizzato... DPM (DL030 10) (Medium)

Committente: New Developments
Cantiere: Aero-generatori
Località: ROCCAPALUMBA

Data:

Scala 1:25



Elaborazione Prova Penetrometrica DPM_2 (P2)

Strumento utilizzato... DPM (DL030 10) (Medium)
 Prova eseguita in data
 Profondità prova 6.90 mt
 Falda non rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondità (m)	Nr. Colpi	Nr. Colpi Rivestimento	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm ²)	Res. dinamica (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)
0.10	2	0	0.857	5.72	6.68	0.29	0.33
0.20	3	0	0.855	8.56	10.02	0.43	0.50
0.30	2	0	0.853	5.70	6.68	0.28	0.33
0.40	2	0	0.851	5.68	6.68	0.28	0.33
0.50	1	0	0.849	2.83	3.34	0.14	0.17
0.60	1	0	0.847	2.83	3.34	0.14	0.17
0.70	1	0	0.845	2.82	3.34	0.14	0.17
0.80	1	0	0.843	2.82	3.34	0.14	0.17
0.90	2	0	0.842	5.33	6.34	0.27	0.32
1.00	3	0	0.840	7.98	9.51	0.40	0.48
1.10	2	0	0.838	5.31	6.34	0.27	0.32
1.20	10	0	0.836	26.50	31.69	1.33	1.58
1.30	9	0	0.835	23.80	28.52	1.19	1.43
1.40	12	0	0.833	31.67	38.03	1.58	1.90
1.50	11	0	0.831	28.97	34.86	1.45	1.74
1.60	12	0	0.830	31.55	38.03	1.58	1.90
1.70	11	0	0.828	28.86	34.86	1.44	1.74
1.80	10	0	0.826	26.19	31.69	1.31	1.58
1.90	12	0	0.825	29.84	36.18	1.49	1.81
2.00	13	0	0.773	30.31	39.20	1.52	1.96
2.10	14	0	0.772	32.57	42.21	1.63	2.11
2.20	15	0	0.770	34.83	45.23	1.74	2.26
2.30	15	0	0.769	34.76	45.23	1.74	2.26
2.40	15	0	0.767	34.69	45.23	1.73	2.26
2.50	14	0	0.766	32.32	42.21	1.62	2.11
2.60	12	0	0.814	29.46	36.18	1.47	1.81
2.70	14	0	0.763	32.20	42.21	1.61	2.11
2.80	33	0	0.661	65.81	99.50	3.29	4.97
2.90	32	0	0.660	60.73	92.01	3.04	4.60
3.00	28	0	0.709	57.06	80.51	2.85	4.03
3.10	27	0	0.707	54.91	77.64	2.75	3.88
3.20	29	0	0.706	58.87	83.39	2.94	4.17
3.30	30	0	0.705	60.79	86.26	3.04	4.31
3.40	31	0	0.653	58.24	89.14	2.91	4.46
3.50	28	0	0.702	56.53	80.51	2.83	4.03
3.60	27	0	0.701	54.41	77.64	2.72	3.88
3.70	29	0	0.700	58.34	83.39	2.92	4.17
3.80	28	0	0.698	56.23	80.51	2.81	4.03
3.90	27	0	0.697	51.73	74.20	2.59	3.71
4.00	25	0	0.696	47.82	68.70	2.39	3.44
4.10	21	0	0.695	40.10	57.71	2.00	2.89
4.20	28	0	0.694	53.38	76.95	2.67	3.85
4.30	29	0	0.693	55.19	79.69	2.76	3.98
4.40	32	0	0.641	56.41	87.94	2.82	4.40

**Progetto per la realizzazione e l'esercizio di un impianto eolico
denominato "ASTRA" nei territori dei
Comuni di Roccapalumba (PA), Castronovo di Sicilia (PA) e Lercara Friddi (PA)**

4.50	30	0	0.690	56.91	82.44	2.85	4.12
4.60	30	0	0.689	56.82	82.44	2.84	4.12
4.70	24	0	0.688	45.39	65.95	2.27	3.30
4.80	27	0	0.687	50.98	74.20	2.55	3.71
4.90	28	0	0.686	50.55	73.68	2.53	3.68
5.00	21	0	0.685	37.86	55.26	1.89	2.76
5.10	23	0	0.684	41.40	60.53	2.07	3.03
5.20	25	0	0.683	44.93	65.79	2.25	3.29
5.30	24	0	0.682	43.07	63.16	2.15	3.16
5.40	21	0	0.681	37.64	55.26	1.88	2.76
5.50	25	0	0.680	44.74	65.79	2.24	3.29
5.60	24	0	0.679	42.89	63.16	2.14	3.16
5.70	26	0	0.678	46.40	68.42	2.32	3.42
5.80	27	0	0.677	48.12	71.05	2.41	3.55
5.90	22	0	0.676	37.57	55.54	1.88	2.78
6.00	21	0	0.675	35.81	53.02	1.79	2.65
6.10	20	0	0.725	36.59	50.49	1.83	2.52
6.20	23	0	0.674	39.12	58.06	1.96	2.90
6.30	25	0	0.673	42.47	63.11	2.12	3.16
6.40	26	0	0.672	44.11	65.64	2.21	3.28
6.50	29	0	0.671	49.14	73.21	2.46	3.66
6.60	29	0	0.670	49.08	73.21	2.45	3.66
6.70	33	0	0.620	51.61	83.31	2.58	4.17
6.80	33	0	0.619	51.55	83.31	2.58	4.17
6.90	71	0	0.568	97.82	172.24	4.89	8.61

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA Nr.2

TERRENI COESIVI

Coesione non drenata

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Cu (Kg/cm ²)
[1] - STRATO 1	1.39	1.10	Shioi - Fukui (1982)	0.04
[2] - STRATO 2	9.47	2.70	Shioi - Fukui (1982)	0.24
[3] - STRATO 3	21.22	6.90	Shioi - Fukui (1982)	0.53

Coesione drenata

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	C ^o (Kg/cm ²)
[1] - STRATO 1	1.39	1.10	Sorensenn & Okkals (2013)	0.01
[2] - STRATO 2	9.47	2.70	Sorensenn & Okkals (2013)	0.02
[3] - STRATO 3	21.22	6.90	Sorensenn & Okkals (2013)	0.05

Peso unità di volume

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m ³)
[1] - STRATO 1	1.39	1.10	Meyerhof ed altri	1.51
[2] - STRATO 2	9.47	2.70	Meyerhof ed altri	1.95
[3] - STRATO 3	21.22	6.90	Meyerhof ed altri	2.10

Peso unità di volume saturo

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m ³)
[1] - STRATO 1	1.39	1.10	Meyerhof ed altri	1.85
[2] - STRATO 2	9.47	2.70	Meyerhof ed altri	2.14
[3] - STRATO 3	21.22	6.90	Meyerhof ed altri	2.12

**Progetto per la realizzazione e l'esercizio di un impianto eolico
denominato "ASTRA" nei territori dei
Comuni di Roccapalumba (PA), Castronovo di Sicilia (PA) e Lercara Friddi (PA)**

TERRENI INCOERENTI

Densità relativa

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Densità relativa (%)
[1] - STRATO 1	1.39	1.10	1.39	Meyerhof (1957)	27.58
[2] - STRATO 2	9.47	2.70	9.47	Meyerhof (1957)	62.21
[3] - STRATO 3	21.22	6.90	21.22	Meyerhof (1957)	74.45

Angolo di resistenza al taglio

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
[1] - STRATO 1	1.39	1.10	1.39	Shioi-Fukuni (1982)	19.57
[2] - STRATO 2	9.47	2.70	9.47	Shioi-Fukuni (1982)	26.92
[3] - STRATO 3	21.22	6.90	21.22	Shioi-Fukuni (1982)	32.84

Modulo di Young

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Modulo di Young (Kg/cm ²)
[1] - STRATO 1	1.39	1.10	1.39	Schmertmann (1978) Limi	6.93
[2] - STRATO 2	9.47	2.70	9.47	Schmertmann (1978) Limi	57.82
[3] - STRATO 3	21.22	6.90	21.22	Schmertmann (1978) Limi	131.82

Modulo Edometrico

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Modulo Edometrico (Kg/cm ²)
[1] - STRATO 1	1.39	1.10	1.39	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	30.32
[2] - STRATO 2	9.47	2.70	9.47	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	46.92
[3] - STRATO 3	21.22	6.90	21.22	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	71.05

Classificazione AGI

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Classificazione AGI
[1] - STRATO 1	1.39	1.10	1.39	Classificazione A.G.I. 1977	SCIOLTO
[2] - STRATO 2	9.47	2.70	9.47	Classificazione A.G.I. 1977	POCO ADDENSATO
[3] - STRATO 3	21.22	6.90	21.22	Classificazione A.G.I. 1977	MODERATAMENTE ADDENSATO

Modulo di Poisson

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Poisson
[1] - STRATO 1	1.39	1.10	1.39	(A.G.I.)	0.35
[2] - STRATO 2	9.47	2.70	9.47	(A.G.I.)	0.34
[3] - STRATO 3	21.22	6.90	21.22	(A.G.I.)	0.31

*Progetto per la realizzazione e l'esercizio di un impianto eolico
denominato "ASTRA" nei territori dei
Comuni di Roccapalumba (PA), Castronovo di Sicilia (PA) e Lercara Friddi (PA)*

Modulo di reazione Ko

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Ko
[1] - STRATO 1	1.39	1.10	1.39	Navfac 1971-1982	0.12
[2] - STRATO 2	9.47	2.70	9.47	Navfac 1971-1982	1.99
[3] - STRATO 3	21.22	6.90	21.22	Navfac 1971-1982	4.26

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Qc (Kg/cm ²)
[1] - STRATO 1	1.39	1.10	1.39	Robertson 1983	2.78
[2] - STRATO 2	9.47	2.70	9.47	Robertson 1983	18.94
[3] - STRATO 3	21.22	6.90	21.22	Robertson 1983	42.44

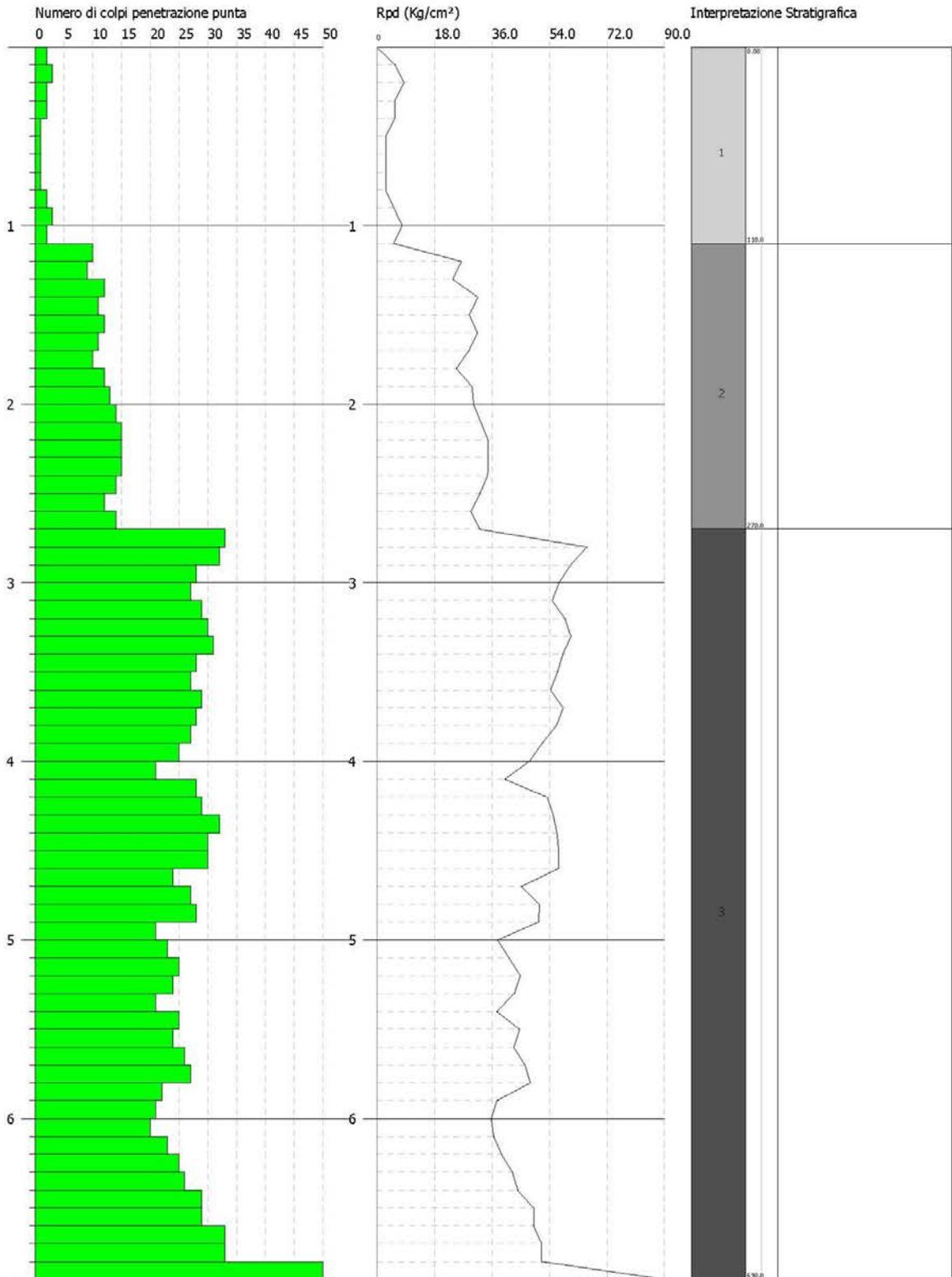
**Progetto per la realizzazione e l'esercizio di un impianto eolico
denominato "ASTRA" nei territori dei
Comuni di Roccapalumba (PA), Castronovo di Sicilia (PA) e Lercara Friddi (PA)**

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr.2
Strumento utilizzato... DPM (DL030 10) (Medium)

Committente: New Developments
Cantiere: Aero-generatori
Località: ROCCAPALUMBA

Data:

Scala 1:30



Elaborazione Prova Penetrometrica DPM_3 (P3)

Strumento utilizzato... DPM (DL030 10) (Medium)
 Prova eseguita in data
 Profondità prova 7.20 mt
 Falda non rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondità (m)	Nr. Colpi	Nr. Colpi Rivestimento	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm ²)	Res. dinamica (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)
0.10	2	0	0.857	5.72	6.68	0.29	0.33
0.20	1	0	0.855	2.85	3.34	0.14	0.17
0.30	2	0	0.853	5.70	6.68	0.28	0.33
0.40	1	0	0.851	2.84	3.34	0.14	0.17
0.50	1	0	0.849	2.83	3.34	0.14	0.17
0.60	1	0	0.847	2.83	3.34	0.14	0.17
0.70	1	0	0.845	2.82	3.34	0.14	0.17
0.80	2	0	0.843	5.63	6.68	0.28	0.33
0.90	1	0	0.842	2.67	3.17	0.13	0.16
1.00	8	0	0.840	21.29	25.35	1.06	1.27
1.10	9	0	0.838	23.90	28.52	1.20	1.43
1.20	7	0	0.836	18.55	22.18	0.93	1.11
1.30	9	0	0.835	23.80	28.52	1.19	1.43
1.40	10	0	0.833	26.39	31.69	1.32	1.58
1.50	10	0	0.831	26.34	31.69	1.32	1.58
1.60	11	0	0.830	28.92	34.86	1.45	1.74
1.70	12	0	0.828	31.48	38.03	1.57	1.90
1.80	11	0	0.826	28.81	34.86	1.44	1.74
1.90	11	0	0.825	27.35	33.17	1.37	1.66
2.00	10	0	0.823	24.82	30.15	1.24	1.51
2.10	12	0	0.822	29.73	36.18	1.49	1.81
2.20	11	0	0.820	27.20	33.17	1.36	1.66
2.30	12	0	0.819	29.62	36.18	1.48	1.81
2.40	10	0	0.817	24.64	30.15	1.23	1.51
2.50	11	0	0.816	27.05	33.17	1.35	1.66
2.60	12	0	0.814	29.46	36.18	1.47	1.81
2.70	10	0	0.813	24.51	30.15	1.23	1.51
2.80	10	0	0.811	24.46	30.15	1.22	1.51
2.90	12	0	0.810	27.95	34.50	1.40	1.73
3.00	12	0	0.809	27.90	34.50	1.40	1.73
3.10	10	0	0.807	23.21	28.75	1.16	1.44
3.20	10	0	0.806	23.18	28.75	1.16	1.44
3.30	12	0	0.805	27.77	34.50	1.39	1.73
3.40	12	0	0.803	27.72	34.50	1.39	1.73
3.50	23	0	0.702	46.43	66.13	2.32	3.31
3.60	24	0	0.701	48.37	69.01	2.42	3.45
3.70	21	0	0.700	42.25	60.38	2.11	3.02
3.80	21	0	0.698	42.17	60.38	2.11	3.02
3.90	23	0	0.697	44.07	63.21	2.20	3.16
4.00	22	0	0.696	42.08	60.46	2.10	3.02
4.10	23	0	0.695	43.92	63.21	2.20	3.16
4.20	21	0	0.694	40.03	57.71	2.00	2.89
4.30	22	0	0.693	41.87	60.46	2.09	3.02

**Progetto per la realizzazione e l'esercizio di un impianto eolico
denominato "ASTRA" nei territori dei
Comuni di Roccapalumba (PA), Castronovo di Sicilia (PA) e Lercara Friddi (PA)**

4.40	23	0	0.691	43.70	63.21	2.19	3.16
4.50	21	0	0.690	39.84	57.71	1.99	2.89
4.60	20	0	0.739	40.63	54.96	2.03	2.75
4.70	23	0	0.688	43.50	63.21	2.17	3.16
4.80	24	0	0.687	45.32	65.95	2.27	3.30
4.90	25	0	0.686	45.14	65.79	2.26	3.29
5.00	24	0	0.685	43.26	63.16	2.16	3.16
5.10	23	0	0.684	41.40	60.53	2.07	3.03
5.20	21	0	0.683	37.75	55.26	1.89	2.76
5.30	23	0	0.682	41.28	60.53	2.06	3.03
5.40	21	0	0.681	37.64	55.26	1.88	2.76
5.50	17	0	0.730	32.66	44.74	1.63	2.24
5.60	18	0	0.729	34.54	47.37	1.73	2.37
5.70	19	0	0.728	36.41	50.00	1.82	2.50
5.80	25	0	0.677	44.56	65.79	2.23	3.29
5.90	30	0	0.676	51.23	75.74	2.56	3.79
6.00	24	0	0.675	40.93	60.59	2.05	3.03
6.10	25	0	0.675	42.58	63.11	2.13	3.16
6.20	21	0	0.674	35.72	53.02	1.79	2.65
6.30	24	0	0.673	40.77	60.59	2.04	3.03
6.40	26	0	0.672	44.11	65.64	2.21	3.28
6.50	27	0	0.671	45.75	68.16	2.29	3.41
6.60	21	0	0.670	35.54	53.02	1.78	2.65
6.70	23	0	0.670	38.88	58.06	1.94	2.90
6.80	28	0	0.669	47.27	70.69	2.36	3.53
6.90	33	0	0.618	49.47	80.05	2.47	4.00
7.00	40	0	0.567	55.04	97.04	2.75	4.85
7.10	32	0	0.616	47.85	77.63	2.39	3.88
7.20	55	0	0.566	75.47	133.42	3.77	6.67

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA Nr.3

TERRENI COESIVI

Coesione non drenata

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Cu (Kg/cm ²)
[1] - STRATO 1	1.01	0.90	Shioi - Fukui (1982)	0.03
[2] - STRATO 2	8.04	3.40	Shioi - Fukui (1982)	0.20
[3] - STRATO 3	18.12	7.20	Shioi - Fukui (1982)	0.45

Coesione drenata

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	C' (Kg/cm ²)
[1] - STRATO 1	1.01	0.90	Sorensenn & Okkals (2013)	0.01
[2] - STRATO 2	8.04	3.40	Sorensenn & Okkals (2013)	0.02
[3] - STRATO 3	18.12	7.20	Sorensenn & Okkals (2013)	0.04

Peso unità di volume

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m ³)
[1] - STRATO 1	1.01	0.90	Meyerhof ed altri	1.48
[2] - STRATO 2	8.04	3.40	Meyerhof ed altri	1.90
[3] - STRATO 3	18.12	7.20	Meyerhof ed altri	2.09

**Progetto per la realizzazione e l'esercizio di un impianto eolico
denominato "ASTRA" nei territori dei
Comuni di Roccapalumba (PA), Castronovo di Sicilia (PA) e Lercara Friddi (PA)**

Peso unità di volume saturo

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m ³)
[1] - STRATO 1	1.01	0.90	Meyerhof ed altri	1.84
[2] - STRATO 2	8.04	3.40	Meyerhof ed altri	1.91
[3] - STRATO 3	18.12	7.20	Meyerhof ed altri	2.30

TERRENI INCOERENTI

Densità relativa

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Densità relativa (%)
[1] - STRATO 1	1.01	0.90	1.01	Meyerhof (1957)	23.87
[2] - STRATO 2	8.04	3.40	8.04	Meyerhof (1957)	56.14
[3] - STRATO 3	18.12	7.20	18.12	Meyerhof (1957)	66.94

Angolo di resistenza al taglio

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
[1] - STRATO 1	1.01	0.90	1.01	Shioi-Fukuni (1982)	18.89
[2] - STRATO 2	8.04	3.40	8.04	Shioi-Fukuni (1982)	25.98
[3] - STRATO 3	18.12	7.20	18.12	Shioi-Fukuni (1982)	31.49

Modulo di Young

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Modulo di Young (Kg/cm ²)
[1] - STRATO 1	1.01	0.90	1.01	Schmertmann (1978) Limi	4.54
[2] - STRATO 2	8.04	3.40	8.04	Schmertmann (1978) Limi	48.81
[3] - STRATO 3	18.12	7.20	18.12	Schmertmann (1978) Limi	112.29

Modulo Edometrico

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Modulo Edometrico (Kg/cm ²)
[1] - STRATO 1	1.01	0.90	1.01	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	29.54
[2] - STRATO 2	8.04	3.40	8.04	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	43.98
[3] - STRATO 3	18.12	7.20	18.12	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	64.68

Classificazione AGI

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Classificazione AGI
[1] - STRATO 1	1.01	0.90	1.01	Classificazione A.G.I. 1977	SCIOLTO
[2] - STRATO 2	8.04	3.40	8.04	Classificazione A.G.I. 1977	POCO ADDENSATO
[3] - STRATO 3	18.12	7.20	18.12	Classificazione A.G.I. 1977	MODERATAMENTE ADDENSATO

*Progetto per la realizzazione e l'esercizio di un impianto eolico
denominato "ASTRA" nei territori dei
Comuni di Roccapalumba (PA), Castronovo di Sicilia (PA) e Lercara Friddi (PA)*

Modulo di Poisson

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Poisson
[1] - STRATO 1	1.01	0.90	1.01	(A.G.I.)	0.35
[2] - STRATO 2	8.04	3.40	8.04	(A.G.I.)	0.34
[3] - STRATO 3	18.12	7.20	18.12	(A.G.I.)	0.32

Modulo di reazione Ko

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Ko
[1] - STRATO 1	1.01	0.90	1.01	Navfac 1971-1982	0.02
[2] - STRATO 2	8.04	3.40	8.04	Navfac 1971-1982	1.68
[3] - STRATO 3	18.12	7.20	18.12	Navfac 1971-1982	3.71

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Qc (Kg/cm ²)
[1] - STRATO 1	1.01	0.90	1.01	Robertson 1983	2.02
[2] - STRATO 2	8.04	3.40	8.04	Robertson 1983	16.08
[3] - STRATO 3	18.12	7.20	18.12	Robertson 1983	36.24

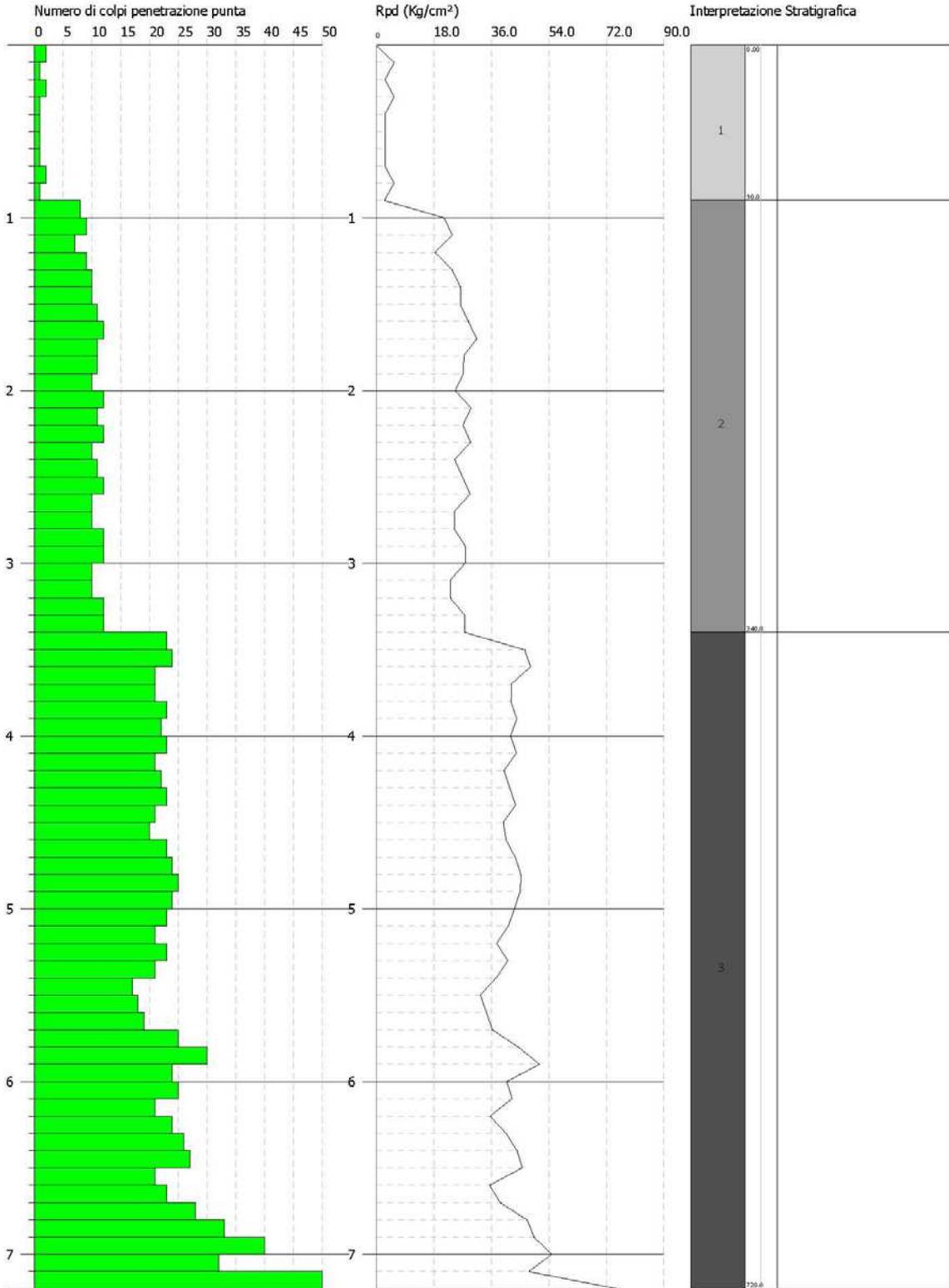
**Progetto per la realizzazione e l'esercizio di un impianto eolico
denominato "ASTRA" nei territori dei
Comuni di Roccapalumba (PA), Castronovo di Sicilia (PA) e Lercara Friddi (PA)**

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr.3
Strumento utilizzato... DPM (DL030 10) (Medium)

Committente: New Developments
Cantiere: Aero-generatori
Località: ROCCAPALUMBA

Data:

Scala 1:31



Descrizione indagine geofisica MASW

La geofisica osserva il comportamento delle onde che si propagano all'interno dei materiali. Un segnale sismico, infatti, si modifica in funzione delle caratteristiche del mezzo che attraversa. Le onde possono essere generate in modo artificiale attraverso l'uso di masse battenti, di scoppi, etc.

Moto del segnale sismico

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

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

Onde di Rayleigh – "R"

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

Analisi del segnale con tecnica MASW

Secondo l'ipotesi fondamentale della fisica lineare (Teorema di Fourier) i segnali possono essere rappresentati come la somma di segnali indipendenti, dette armoniche del segnale. Tali armoniche, per analisi monodimensionali, sono funzioni trigonometriche seno e coseno, e si comportano in modo indipendente non interagendo tra di loro. Concentrando l'attenzione su ciascuna componente armonica il risultato finale in analisi lineare risulterà equivalente alla somma dei comportamenti parziali corrispondenti alle singole armoniche. L'analisi di Fourier (analisi spettrale FFT) è lo strumento fondamentale per la caratterizzazione spettrale del segnale. L'analisi delle onde di Rayleigh, mediante tecnica MASW, viene eseguita con la trattazione spettrale del segnale nel dominio trasformato dove è possibile, in modo abbastanza agevole, identificare il segnale relativo alle onde di Rayleigh rispetto ad altri tipi di segnali, osservando, inoltre, che le onde di Rayleigh si propagano con velocità che è funzione della frequenza. Il legame velocità frequenza è detto spettro di dispersione. La curva di dispersione individuata nel dominio f-k è detta curva di dispersione sperimentale, e rappresenta in tale dominio le massime ampiezze dello spettro.

Modellizzazione

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

$$v = \lambda \times \nu$$

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

Modi di vibrazione

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

Profondità di indagine

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

Caratteristiche delle apparecchiature

Per l'esecuzione dell'indagine di sismica, è stato impiegato il seguente sistema di acquisizione:

- Sismografo multicanale Doremi-Sara a 16 bit, rete differenziale RS232 half-duplex multipoint;
- Cavo modulare con 12 canali, 12 geofoni verticali da 4,5Hz, geofono start geospace da 10 Hz;
- Energizzatore costituito da massa battente di 6 Kg e da piastra in polimero;
- Prolunghe e materiale d'uso;
- Misure eseguite da un Geologo "Prospettore Geofisico", coadiuvato da un "Aiuto Prospettore";
- Durante i rilievi si è provveduto a controllare costantemente la qualità dei dati.

L'interpretazione dei dati è stata effettuata analiticamente e con calcolo automatico mediante software Easy MASW distribuito della Geostru Software, attraverso una procedura così descritta:

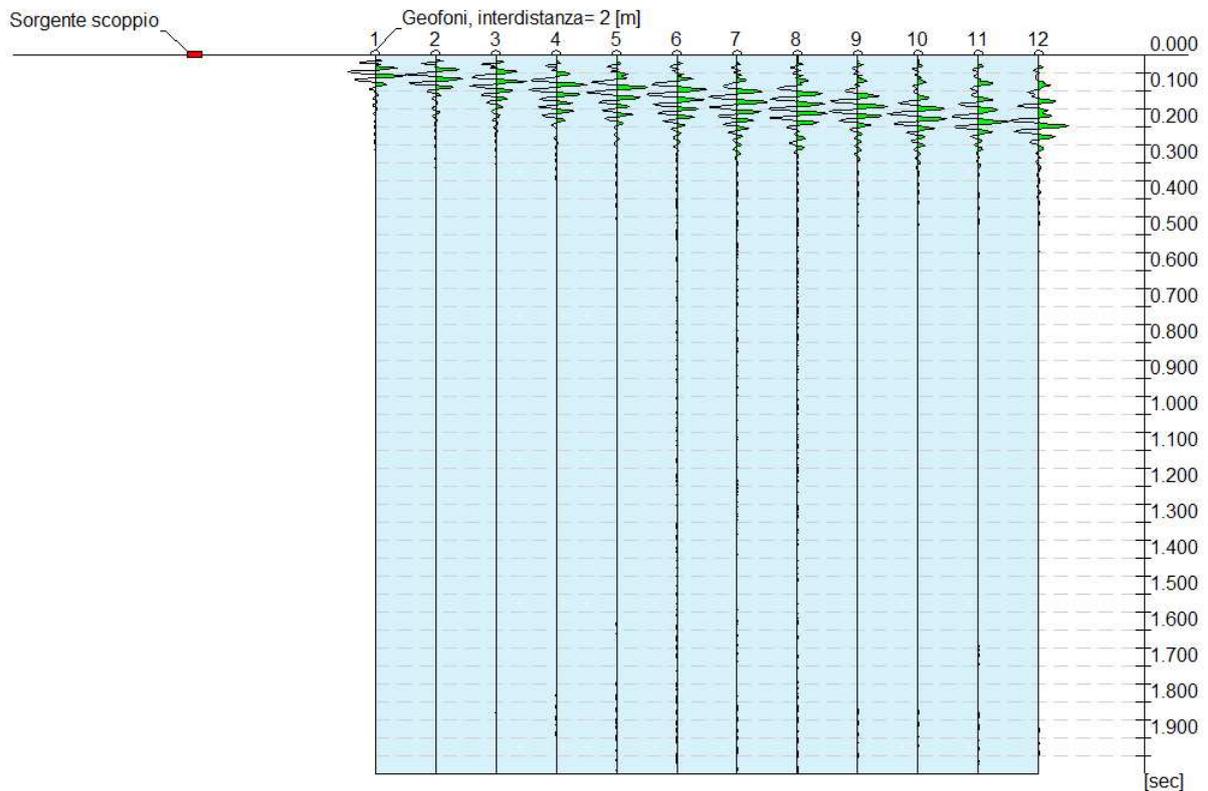
- ✓ Importazione delle tracce
- ✓ Analisi spettrale
- ✓ Inversione e sviluppo del profilo sismo-stratigrafico
- ✓ Calcolo $V_{S_{eq}}$ e categoria del sottosuolo

Elaborazione Indagine MASW_1 (M1)

Dati generali

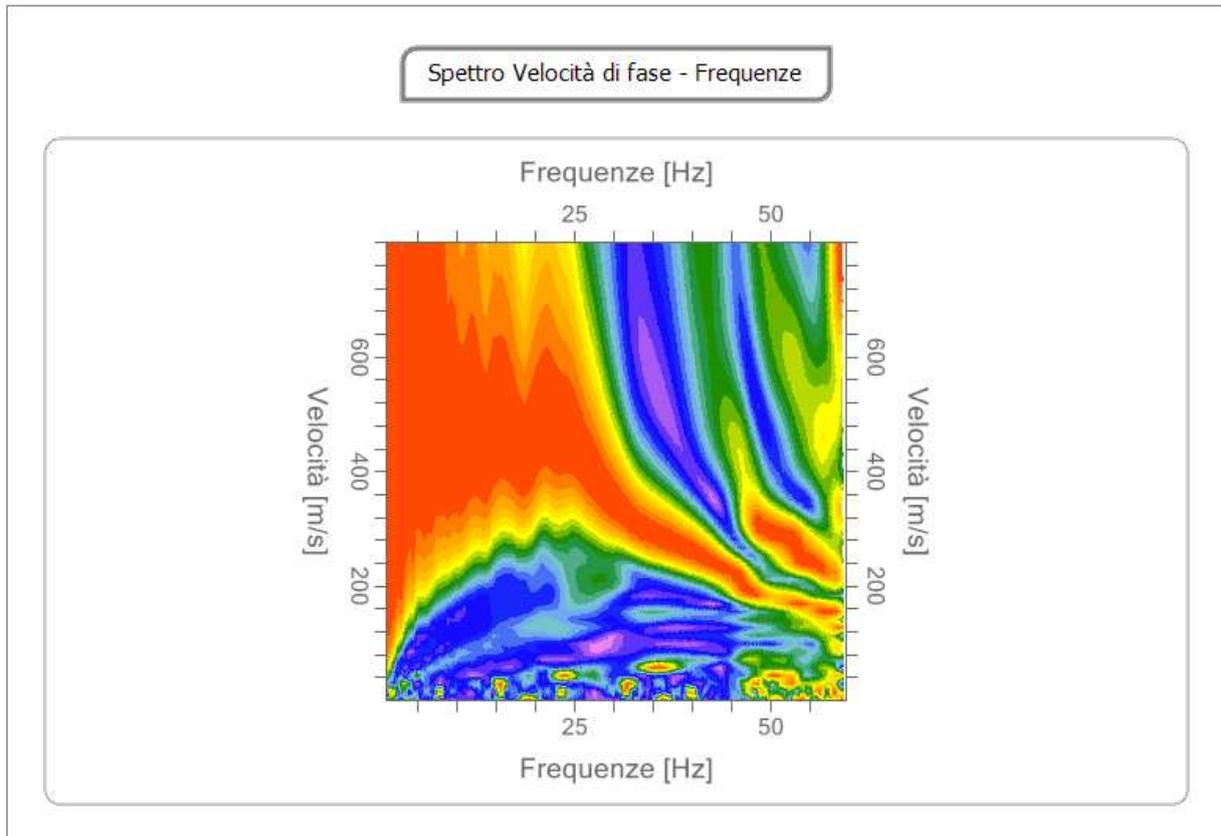
Profilo sismico MASW	
N° canali di registrazione	12
Distanza intergeofonica	2 m
Numero di scoppi	1
Durata	2000 msec
Campionamento	2 msec
Sistema di energizzazione	Massa battente

Interpretazione



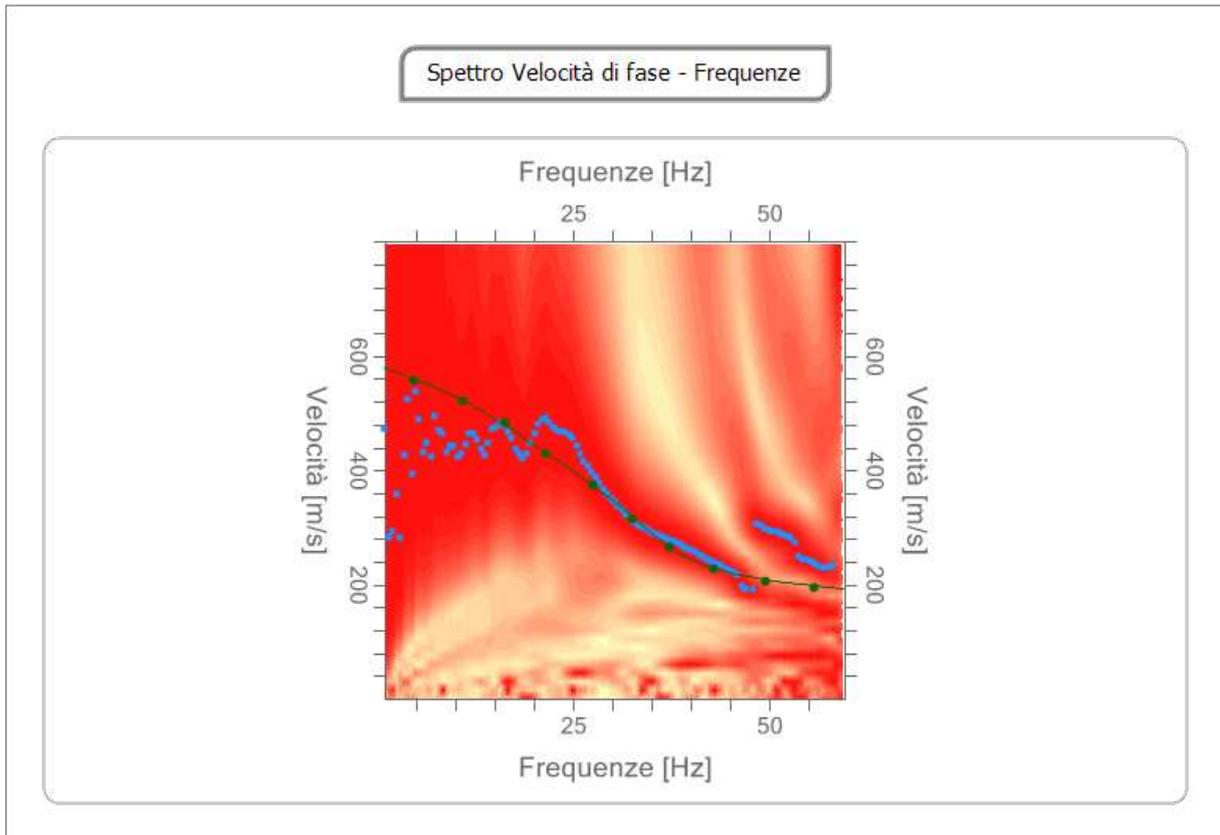
Analisi spettrale

Frequenza minima di elaborazione [Hz]	1
Frequenza massima di elaborazione [Hz]	60
Velocità minima di elaborazione [m/sec]	1
Velocità massima di elaborazione [m/sec]	800
Intervallo velocità [m/sec]	1



Curva di dispersione

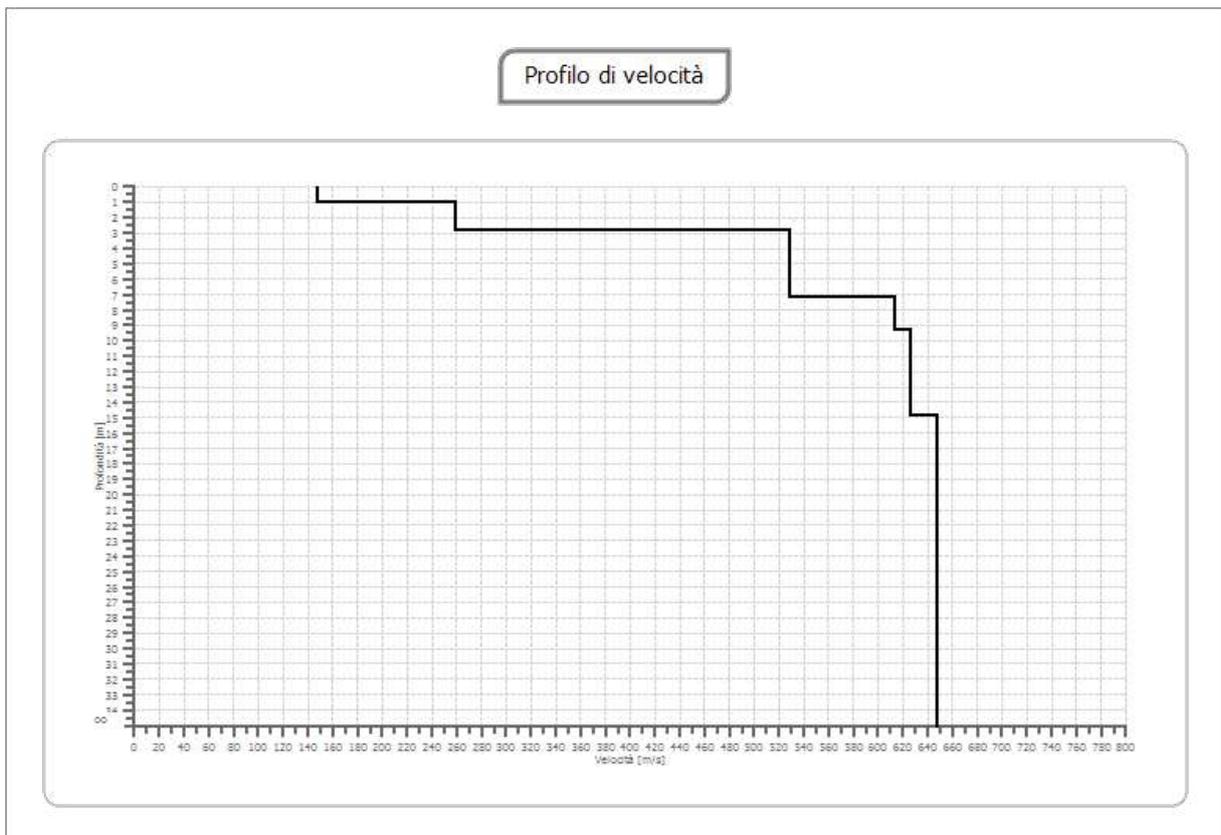
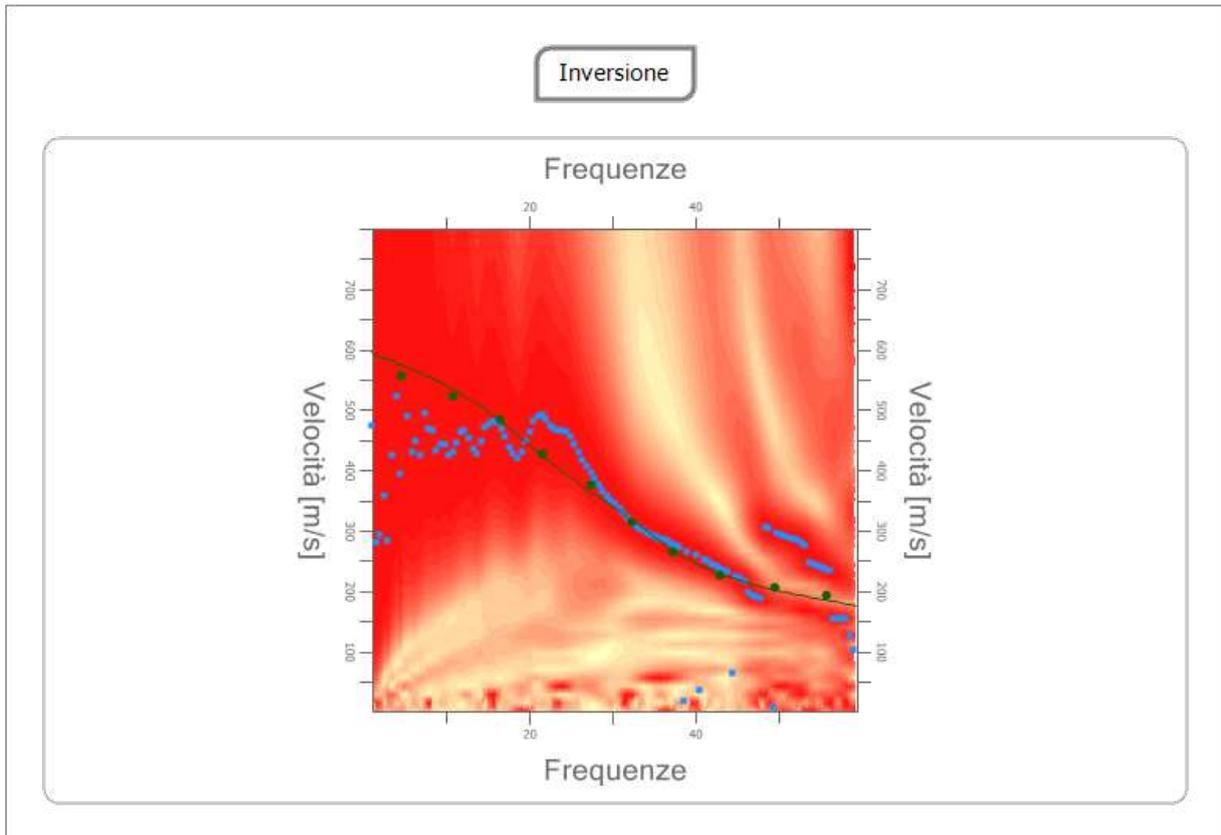
n.	Frequenza [Hz]	Velocità [m/sec]	Modo
1	4.6	557.1	0
2	10.8	522.0	0
3	16.4	483.9	0
4	21.5	428.3	0
5	27.5	375.6	0
6	32.4	314.2	0
7	37.4	264.4	0
8	42.9	226.4	0
9	49.5	205.9	0
10	55.7	194.2	0

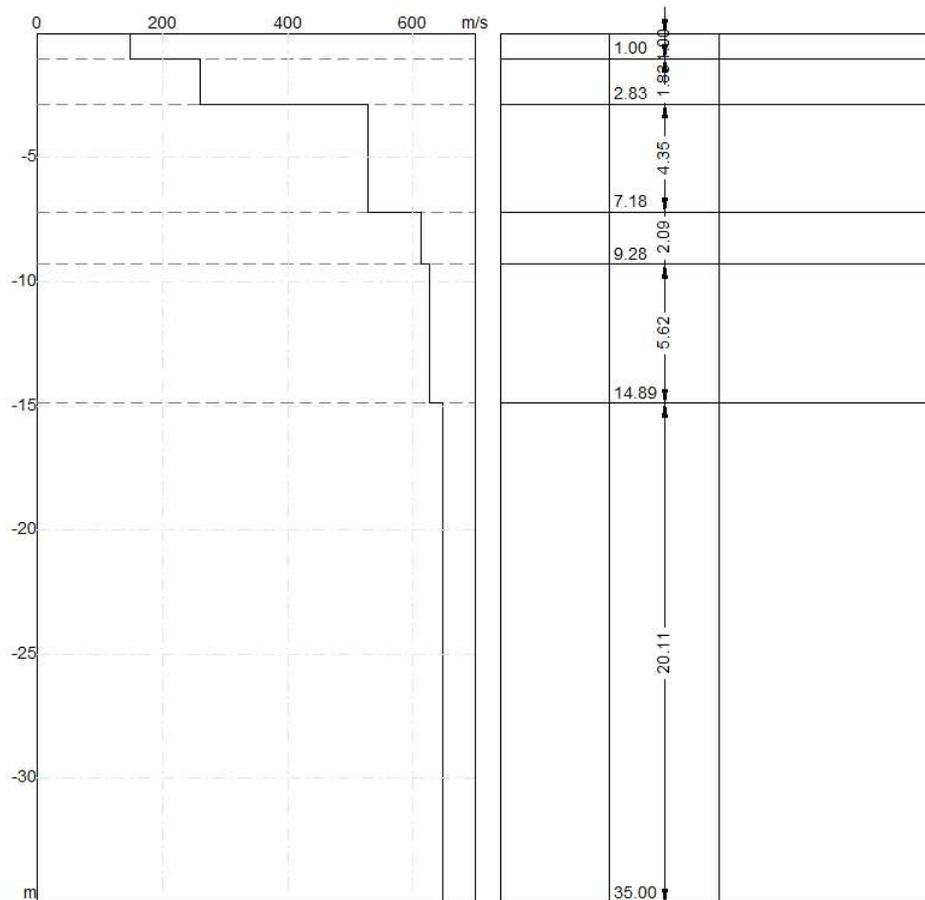


Inversione

n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1	1.00	1.00	275.1	147.0
2	2.83	1.83	484.7	259.1
3	7.18	4.35	987.7	527.9
4	9.28	2.09	1146.6	612.9
5	14.89	5.62	1171.9	626.4
6	35.00	20.11	1210.5	647.0

Percentuale di errore 0.050 %
 Fattore di disadattamento della soluzione 0.024





Risultati e Caratterizzazione del sottosuolo

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

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

Dove:

h_i spessore dell'i-esimo strato;

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

N numero di strati;

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

Profondità piano di posa [m]	0.00
$V_{S,eq}$ [m/sec] (H=30.00 m)	518.59
Categoria del suolo	B

*Progetto per la realizzazione e l'esercizio di un impianto eolico
denominato "ASTRA" nei territori dei
Comuni di Roccapalumba (PA), Castronovo di Sicilia (PA) e Lercara Friddi (PA)*

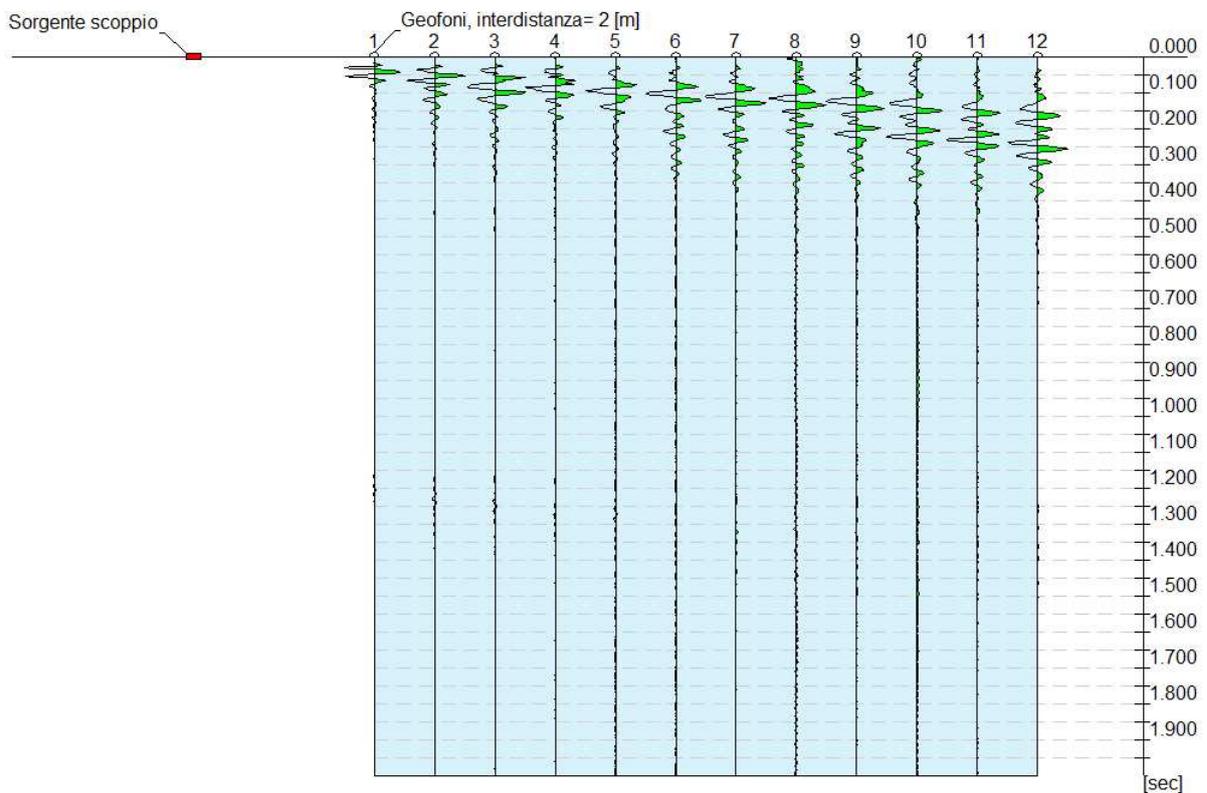
Categorie	Descrizione
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.
B	Rocce tenere e depositi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

Elaborazione Indagine MASW_2 (M2)

Dati generali

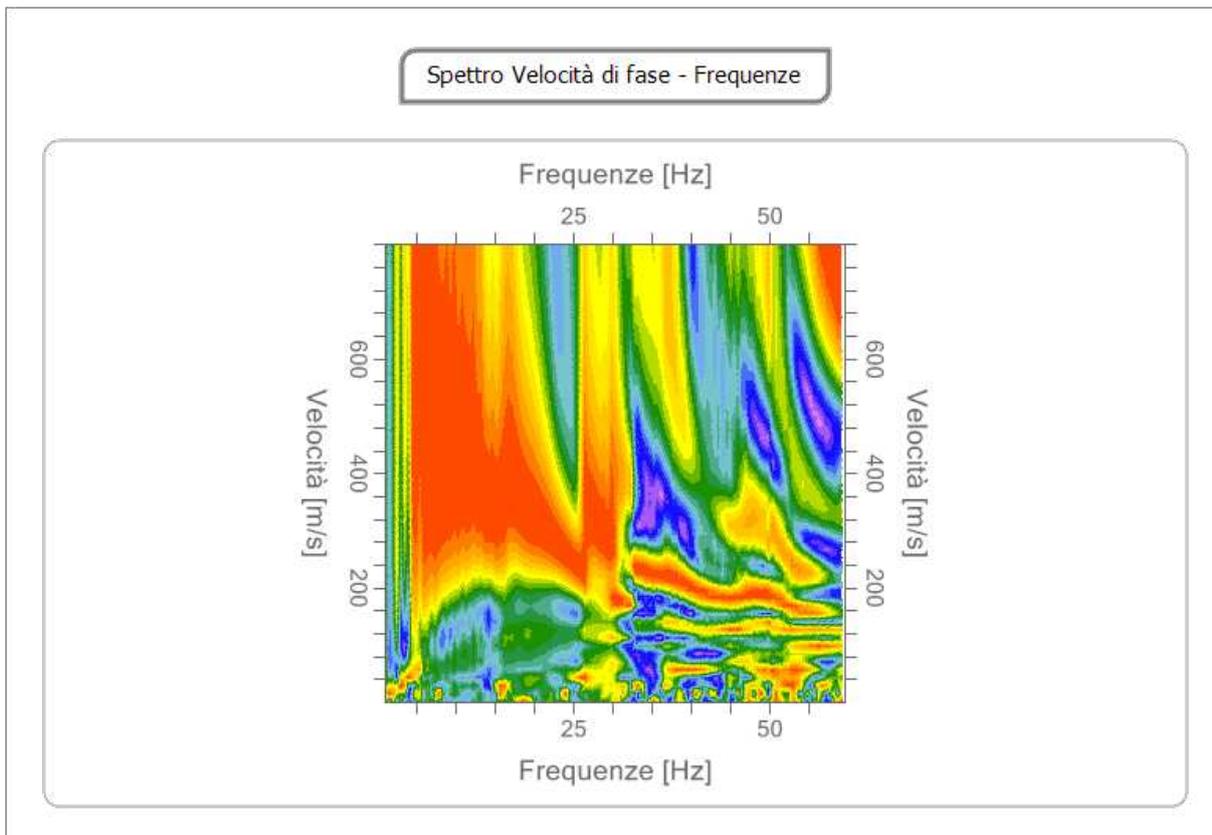
Profilo sismico MASW	
N° canali di registrazione	12
Distanza intergeofonica	2 m
Numero di scoppi	1
Durata	2000 msec
Campionamento	2 msec
Sistema di energizzazione	Massa battente

Interpretazione



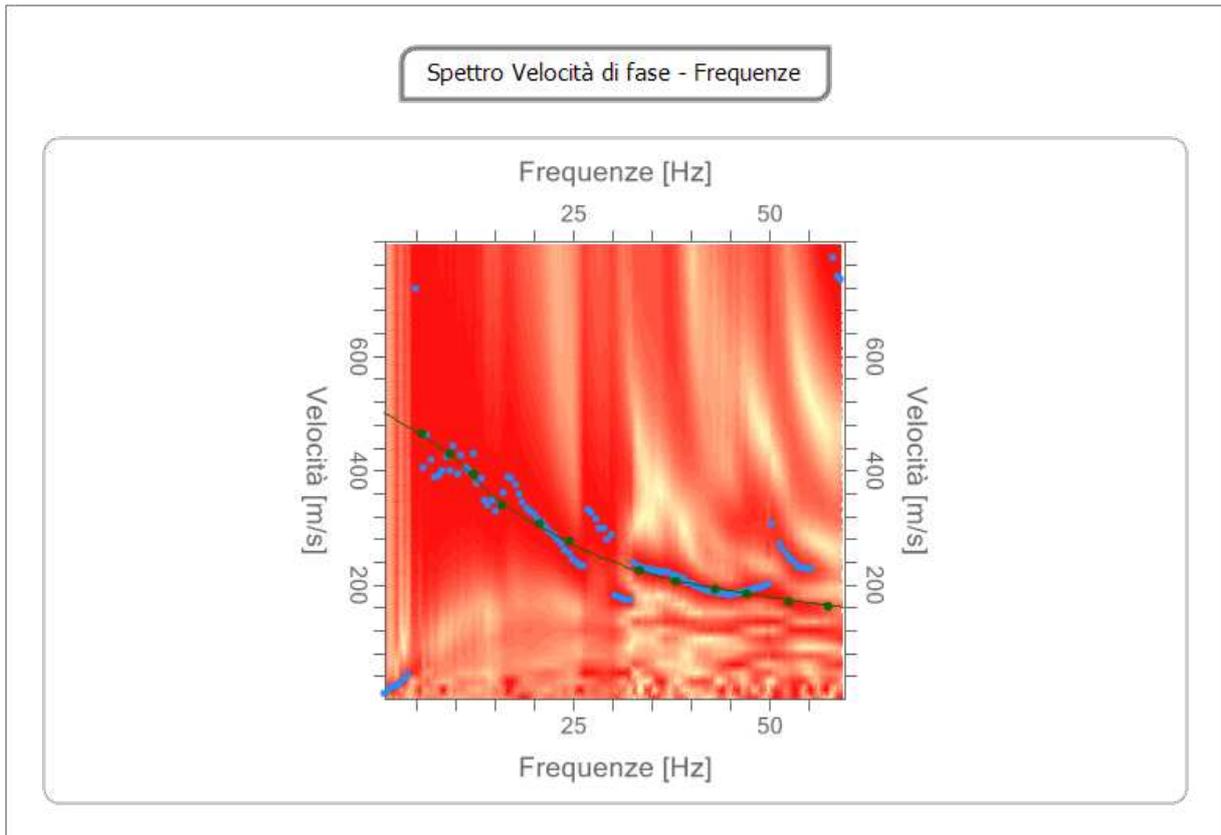
Analisi spettrale

Frequenza minima di elaborazione [Hz]	1
Frequenza massima di elaborazione [Hz]	60
Velocità minima di elaborazione [m/sec]	1
Velocità massima di elaborazione [m/sec]	800
Intervallo velocità [m/sec]	1



Curva di dispersione

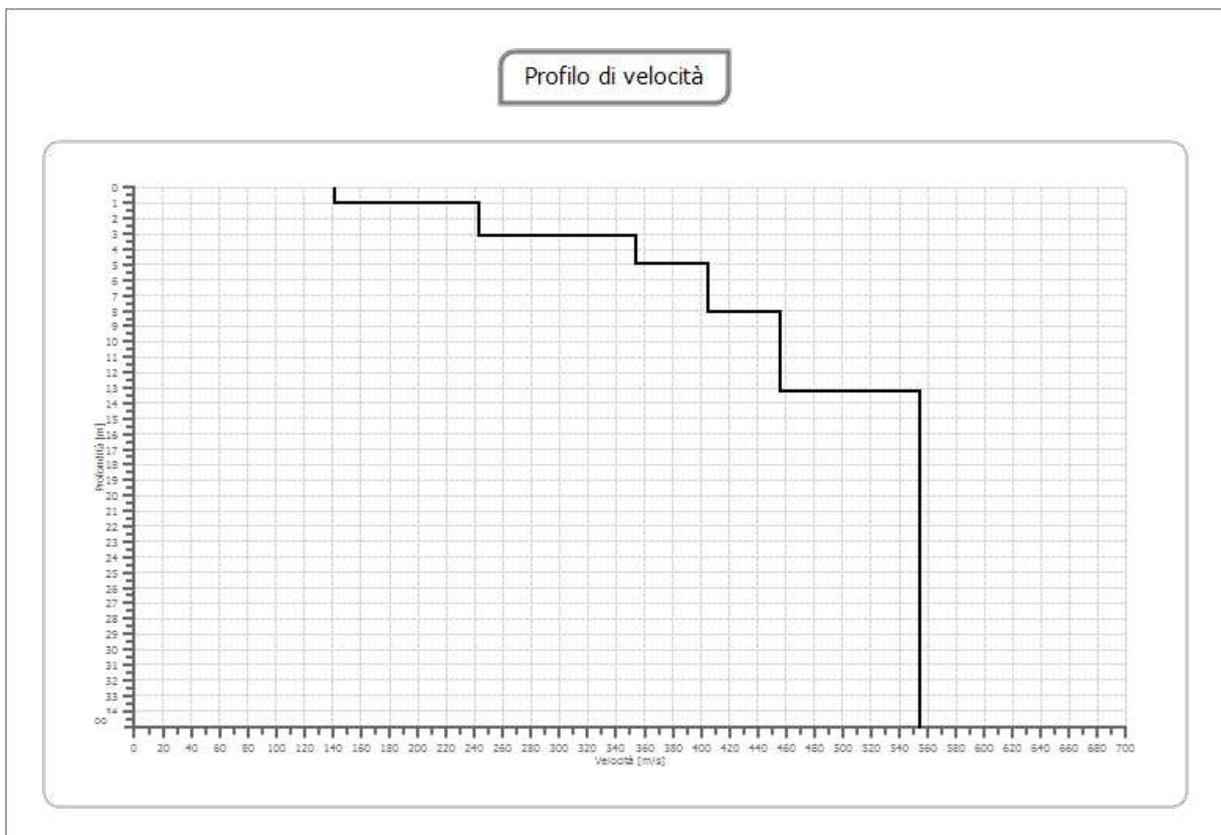
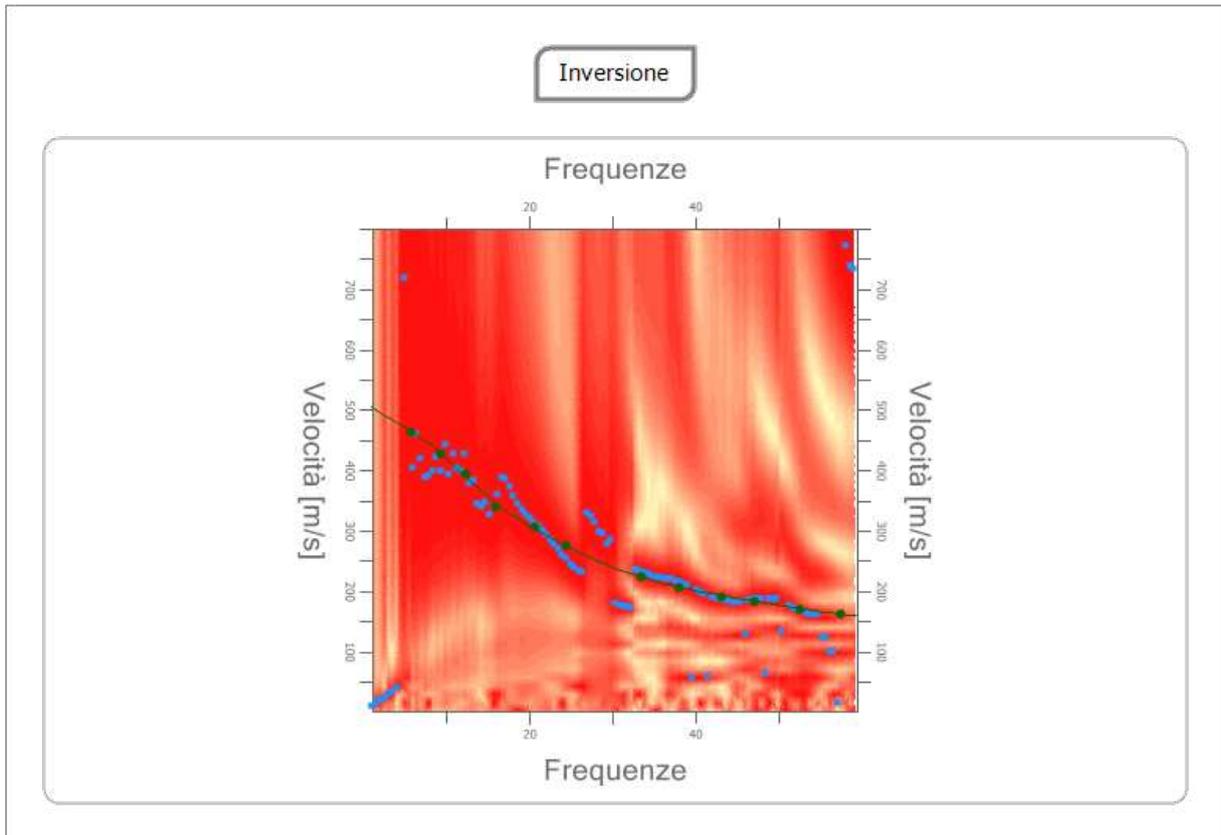
n.	Frequenza [Hz]	Velocità [m/sec]	Modo
1	5.7	463.4	0
2	9.3	428.3	0
3	12.3	393.2	0
4	16.0	340.5	0
5	20.7	305.4	0
6	24.5	276.1	0
7	33.5	223.4	0
8	38.0	205.9	0
9	43.1	191.2	0
10	47.2	182.5	0
11	52.5	170.8	0
12	57.5	162.0	0

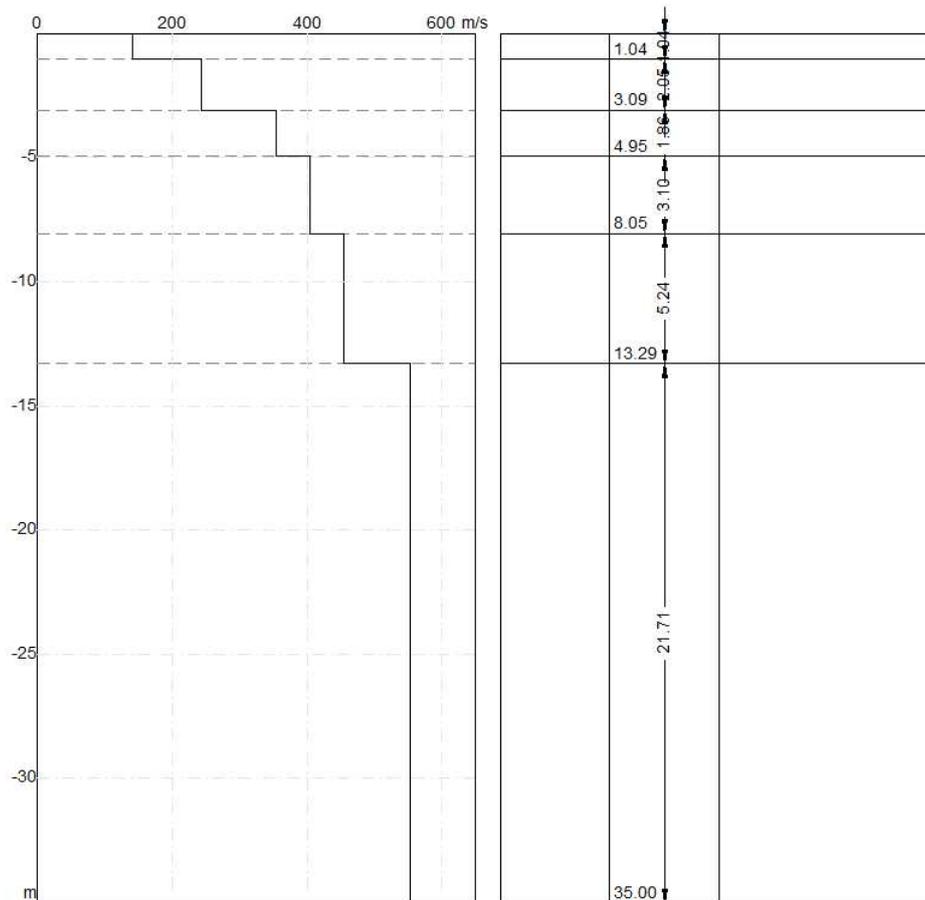


Inversione

n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1	1.04	1.04	264.3	141.3
2	3.09	2.05	453.8	242.6
3	4.95	1.86	661.3	353.5
4	8.05	3.10	756.4	404.3
5	13.29	5.24	852.1	455.5
6	35.00	21.71	1036.2	553.9

Percentuale di errore 0.005 %
 Fattore di disadattamento della soluzione 0.006





Risultati e Caratterizzazione del sottosuolo

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

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

Dove:

- h_i spessore dell'i-esimo strato;
- $V_{S,i}$ velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato;
- N numero di strati;
- H profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_S non inferiore a 800 m/s.

Profondità piano di posa [m]	0.00
$V_{S,eq}$ [m/sec] (H=30.00 m)	426.06
Categoria del suolo	B

*Progetto per la realizzazione e l'esercizio di un impianto eolico
denominato "ASTRA" nei territori dei
Comuni di Roccapalumba (PA), Castronovo di Sicilia (PA) e Lercara Friddi (PA)*

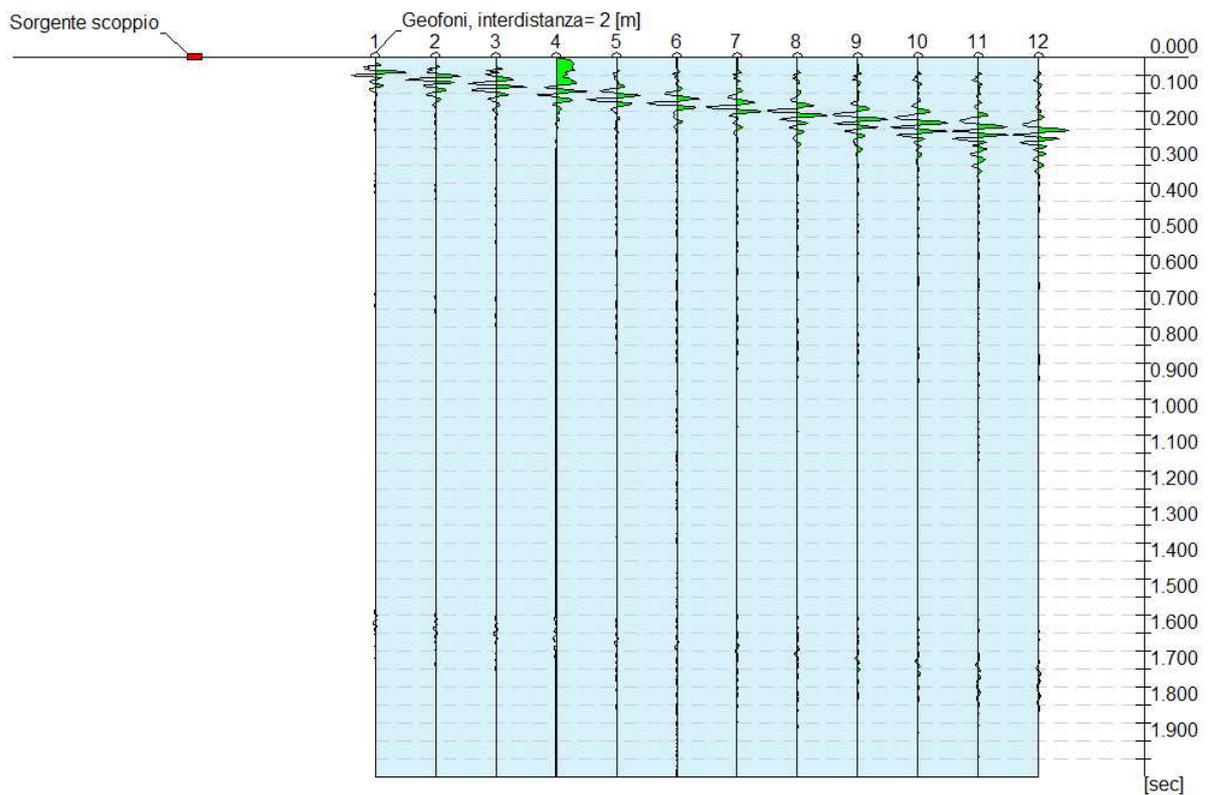
Categorie	Descrizione
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.
B	Rocce tenere e depositi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

Elaborazione Indagine MASW_3 (M3)

Dati generali

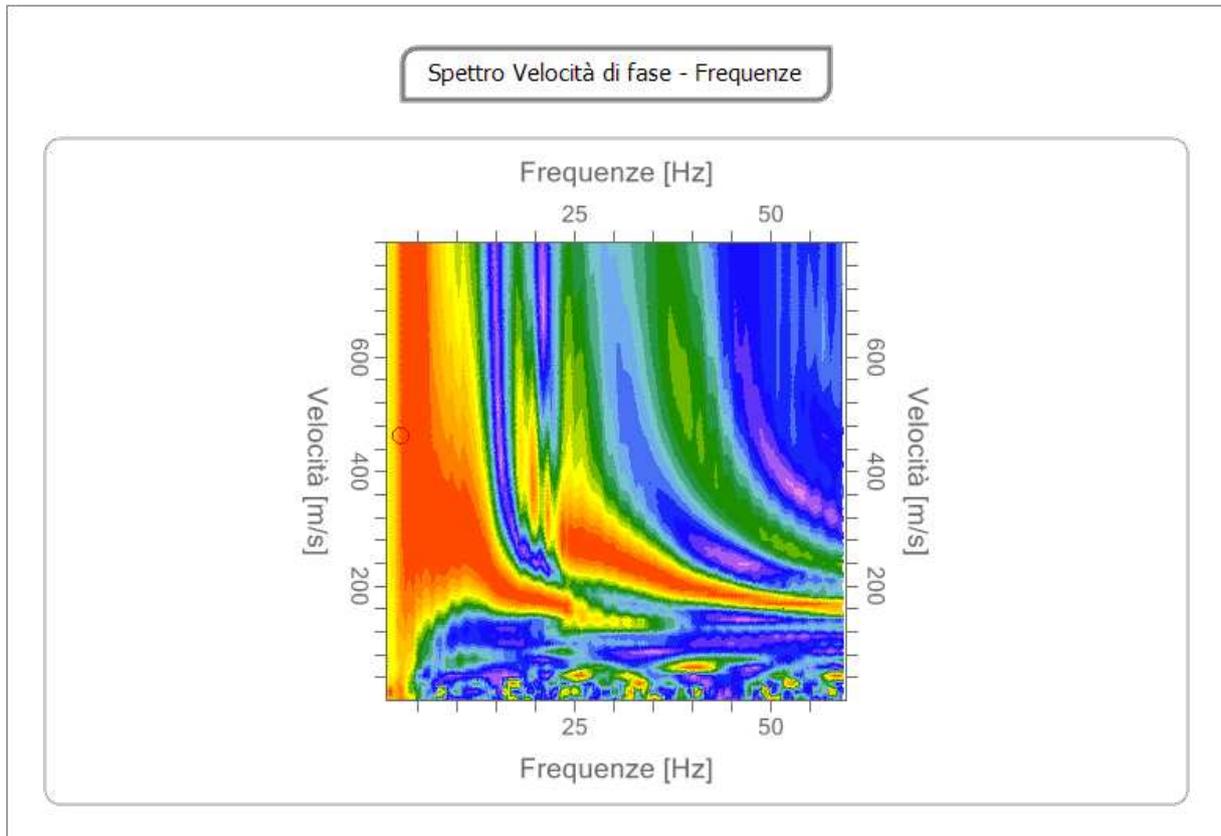
Profilo sismico MASW	
N° canali di registrazione	12
Distanza intergeofonica	2 m
Numero di scoppi	1
Durata	2000 msec
Campionamento	2 msec
Sistema di energizzazione	Massa battente

Interpretazione



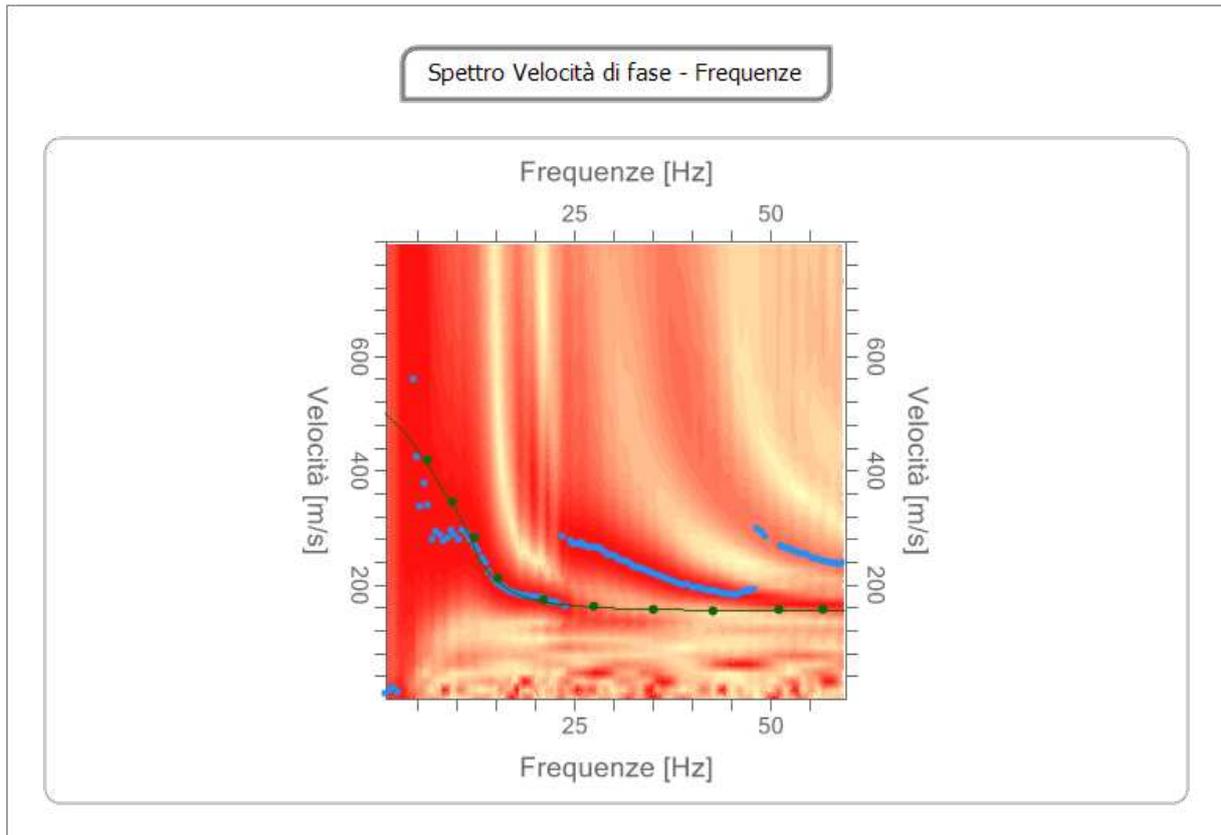
Analisi spettrale

Frequenza minima di elaborazione [Hz]	1
Frequenza massima di elaborazione [Hz]	60
Velocità minima di elaborazione [m/sec]	1
Velocità massima di elaborazione [m/sec]	800
Intervallo velocità [m/sec]	1



Curva di dispersione

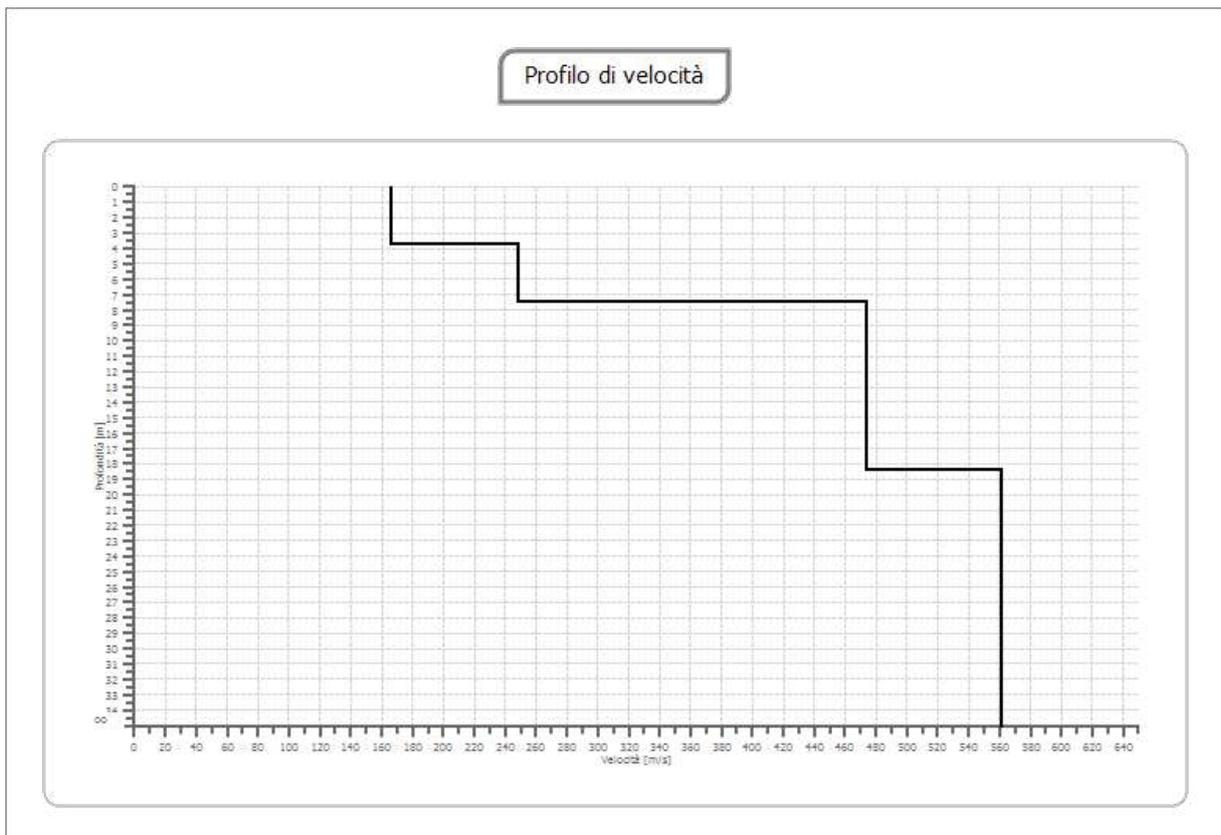
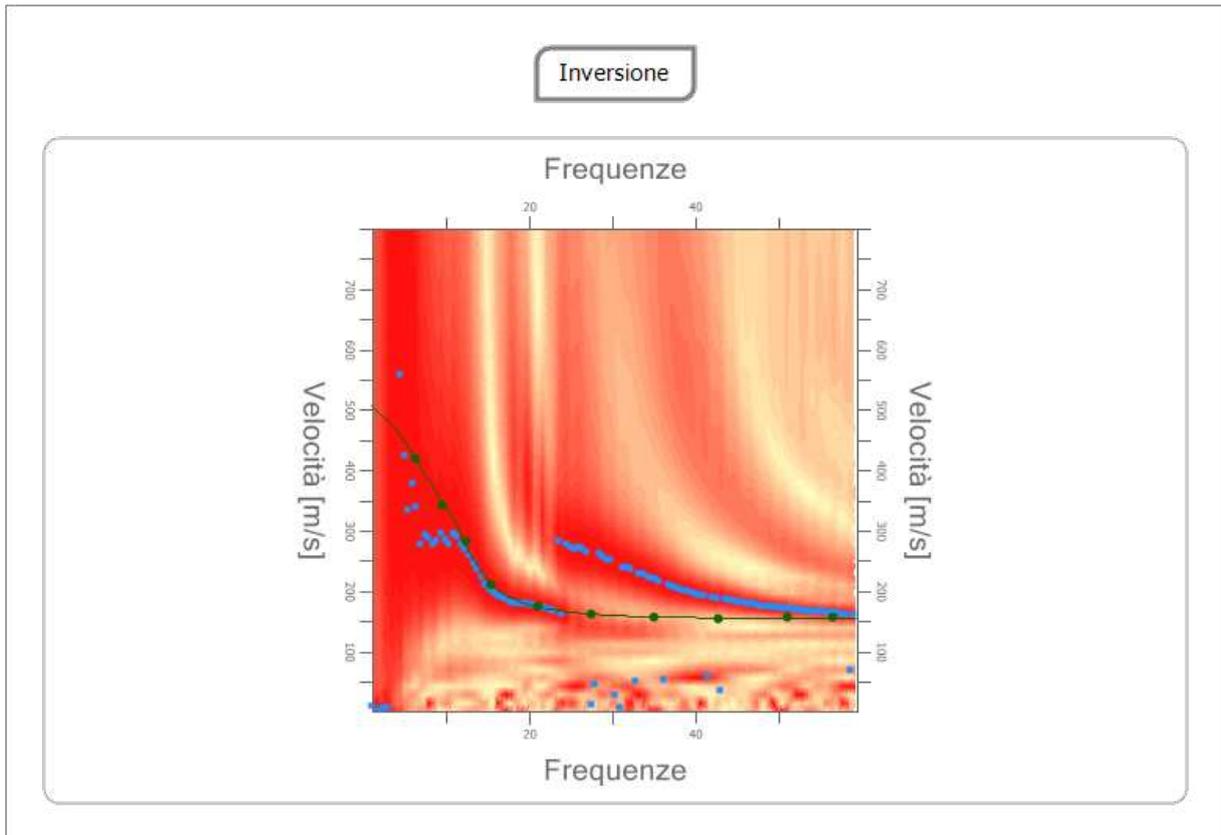
n.	Frequenza [Hz]	Velocità [m/sec]	Modo
1	6.3	419.5	0
2	9.6	343.4	0
3	12.3	282.0	0
4	15.3	211.7	0
5	21.1	173.7	0
6	27.5	162.0	0
7	35.0	156.1	0
8	42.7	153.2	0
9	51.0	156.1	0
10	56.6	156.1	0

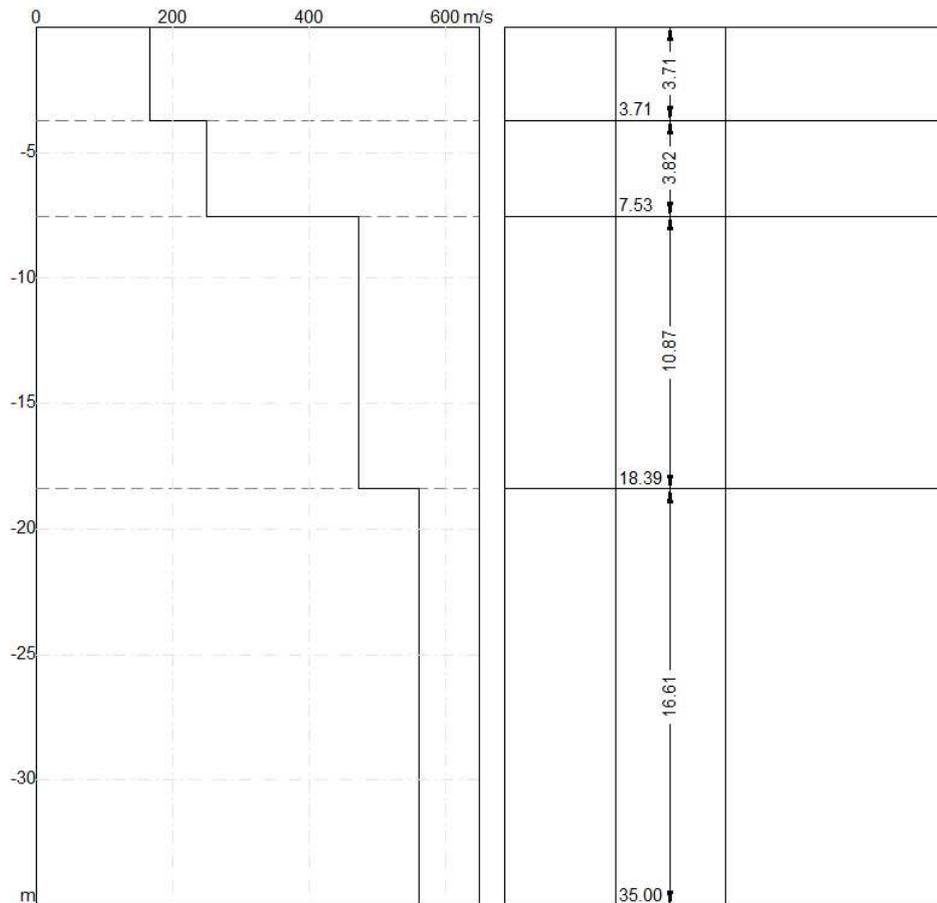


Inversione

n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1	3.71	3.71	311.0	166.2
2	7.53	3.82	465.2	248.7
3	18.39	10.87	885.8	473.5
4	35.00	16.61	1049.5	561.0

Percentuale di errore 0.006 %
 Fattore di disadattamento della soluzione 0.008





Risultati e Caratterizzazione del sottosuolo

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

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

Dove:

h_i spessore dell'i-esimo strato;

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

N numero di strati;

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

Profondità piano di posa [m]	0.00
$V_{S,eq}$ [m/sec] (H=30.00 m)	368.95
Categoria del suolo	B

*Progetto per la realizzazione e l'esercizio di un impianto eolico
denominato "ASTRA" nei territori dei
Comuni di Roccapalumba (PA), Castronovo di Sicilia (PA) e Lercara Friddi (PA)*

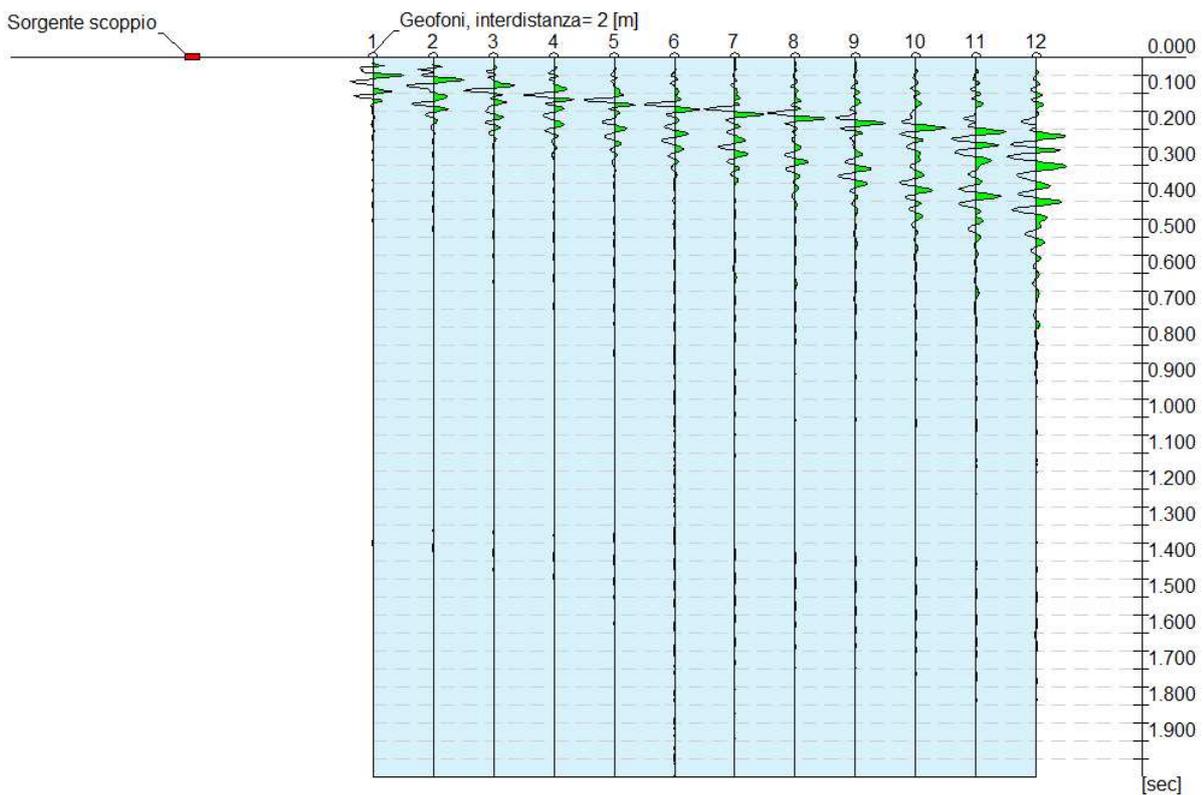
Categorie	Descrizione
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.
B	Rocce tenere e depositi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

Elaborazione Indagine MASW_4 (M4)

Dati generali

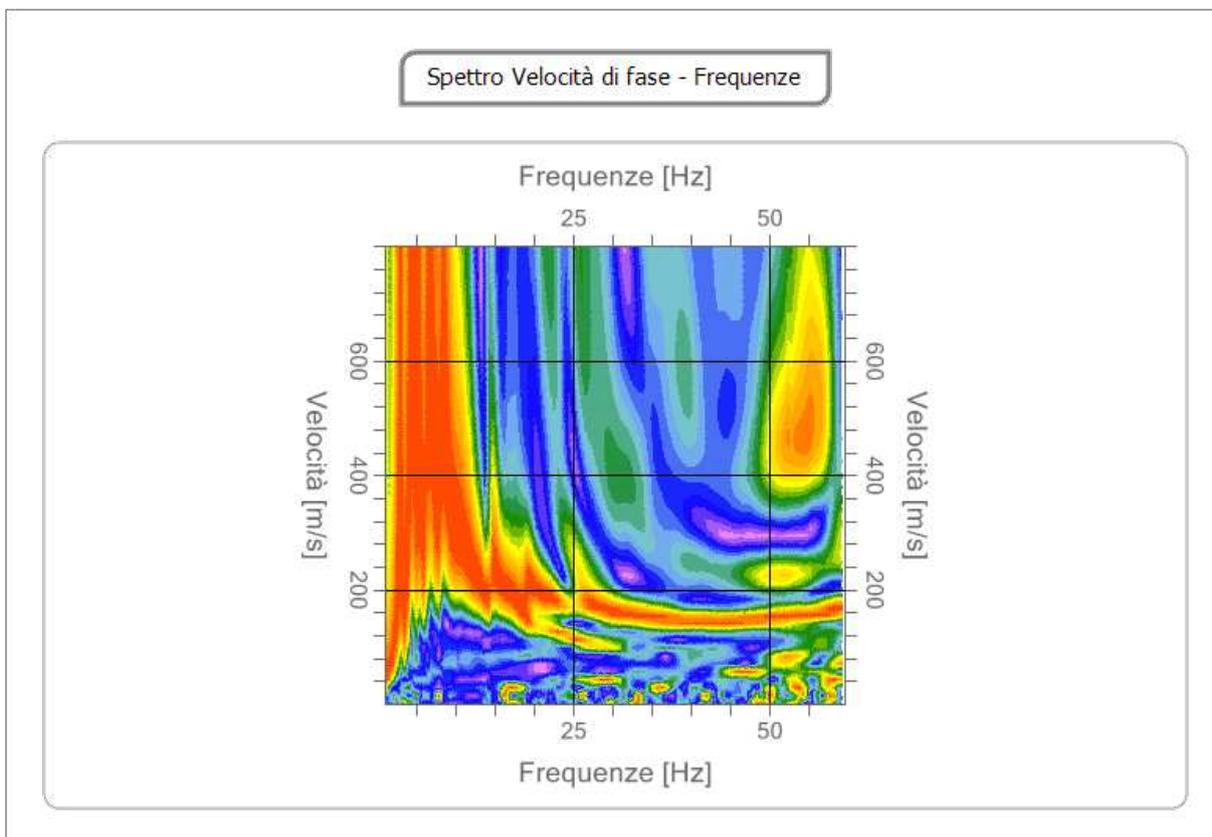
Profilo sismico MASW	
N° canali di registrazione	12
Distanza intergeofonica	2 m
Numero di scoppi	1
Durata	2000 msec
Campionamento	2 msec
Sistema di energizzazione	Massa battente

Interpretazione



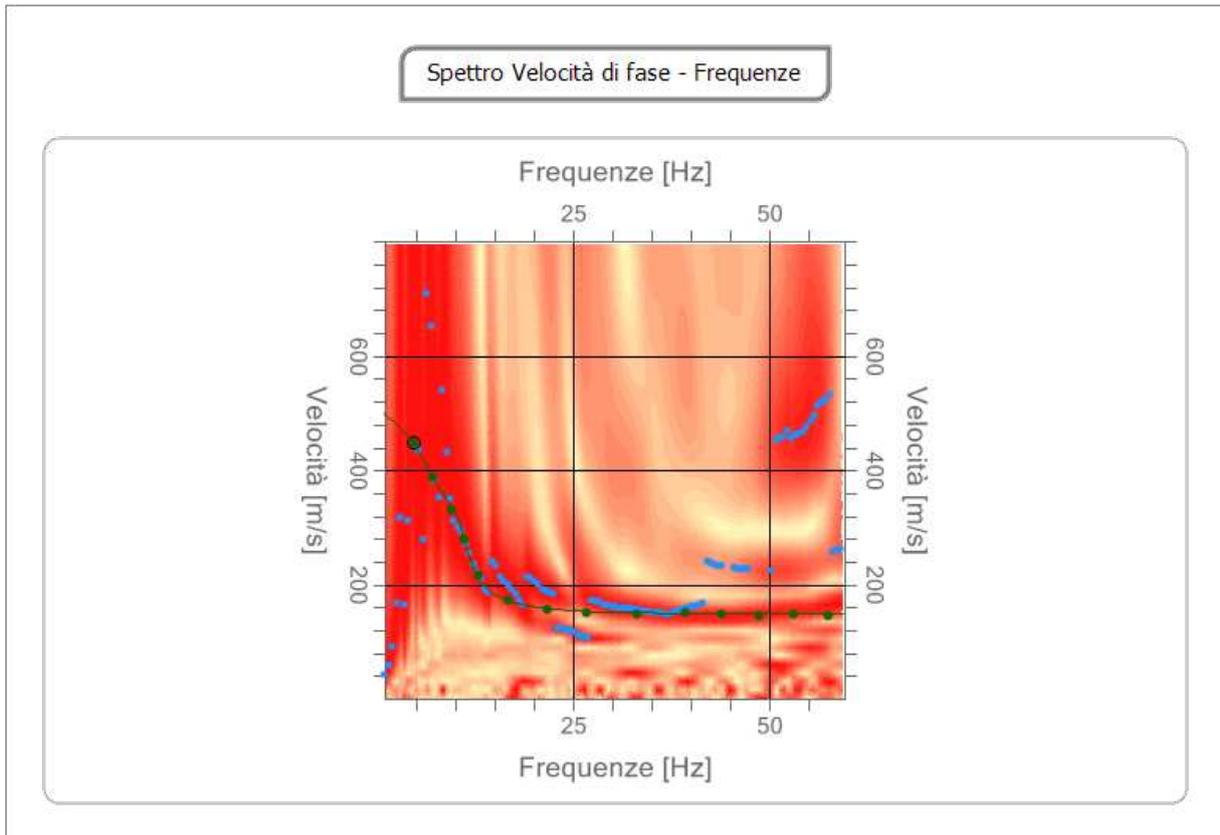
Analisi spettrale

Frequenza minima di elaborazione [Hz]	1
Frequenza massima di elaborazione [Hz]	60
Velocità minima di elaborazione [m/sec]	1
Velocità massima di elaborazione [m/sec]	800
Intervallo velocità [m/sec]	1



Curva di dispersione

n.	Frequenza [Hz]	Velocità [m/sec]	Modo
1	4.6	448.8	0
2	7.2	387.3	0
3	9.6	331.7	0
4	11.1	279.0	0
5	13.0	217.6	0
6	16.6	173.7	0
7	21.7	156.1	0
8	26.7	150.3	0
9	33.1	147.3	0
10	39.3	150.3	0
11	44.0	147.3	0
12	48.7	144.4	0
13	53.2	147.3	0
14	57.5	144.4	0



Inversione

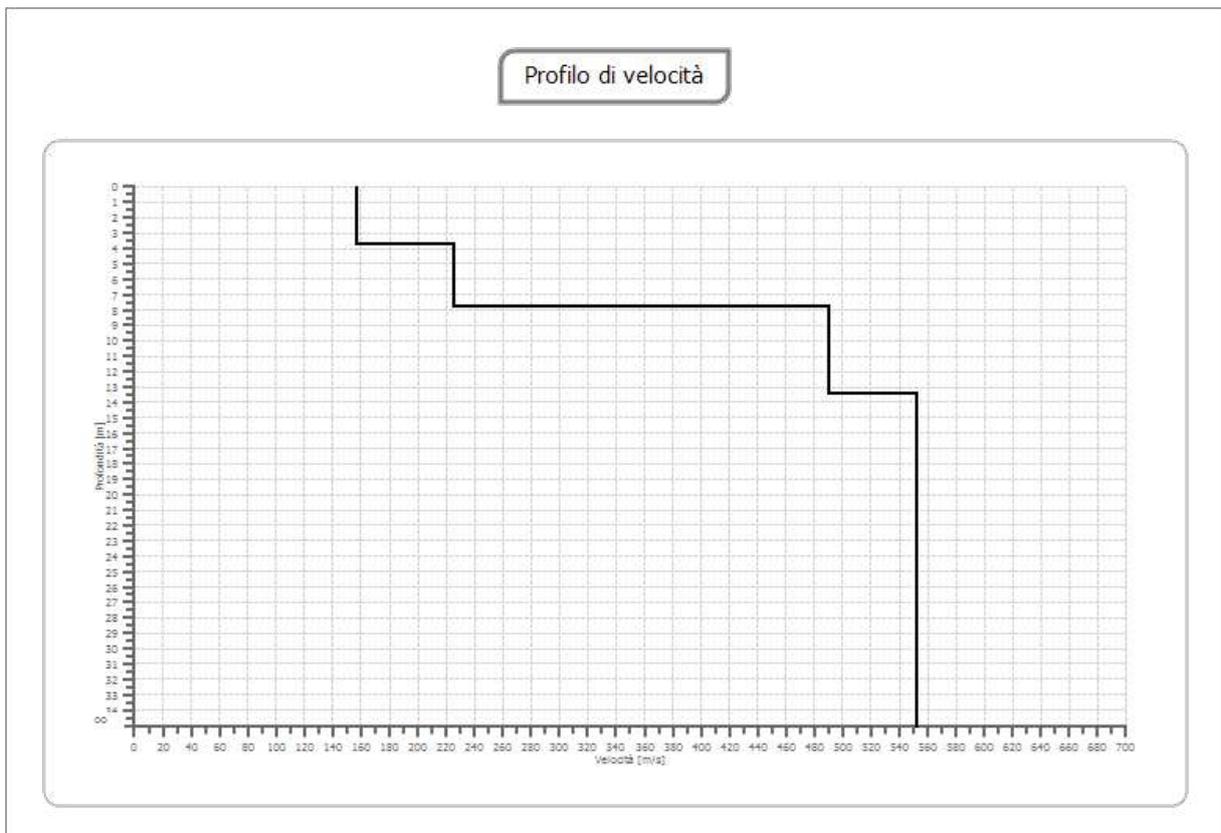
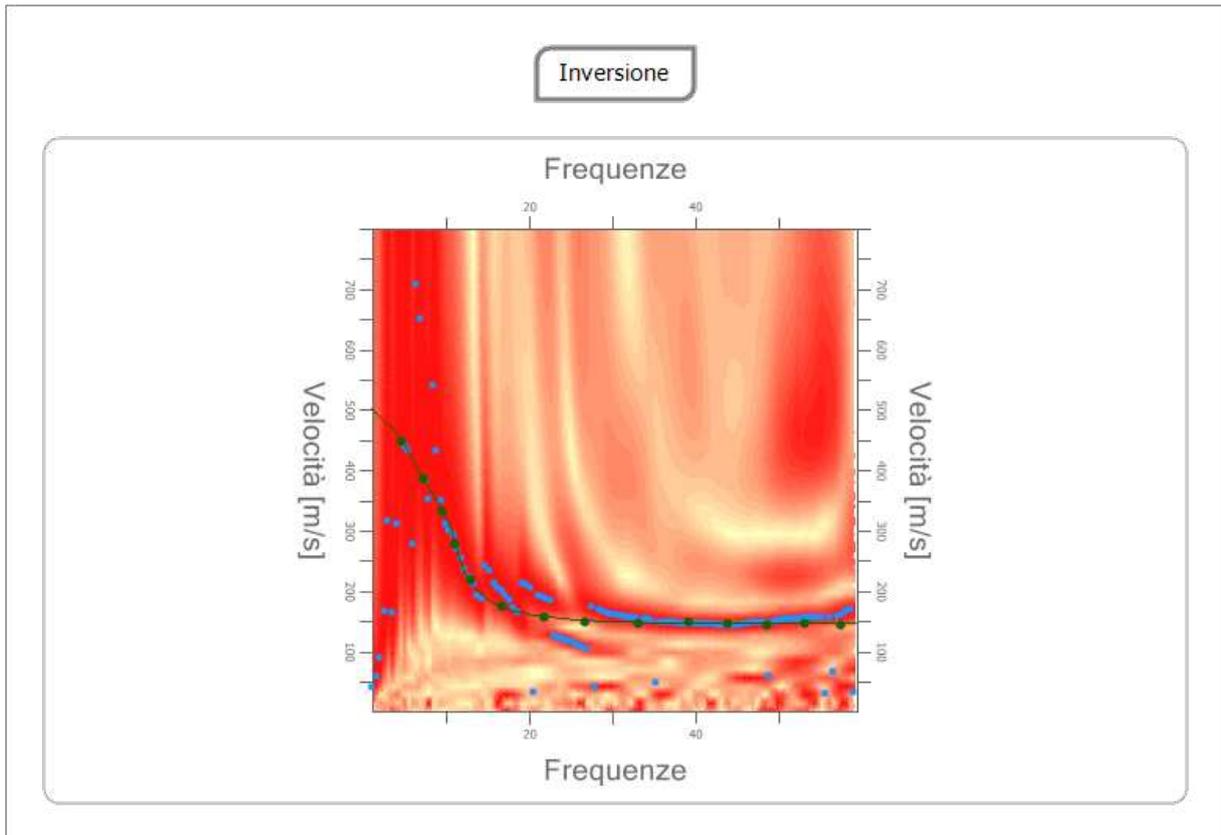
n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1	3.75	3.75	294.0	157.1
2	7.80	4.05	422.1	225.6
3	13.45	5.65	917.8	490.6
4	35.00	21.55	1033.6	552.5

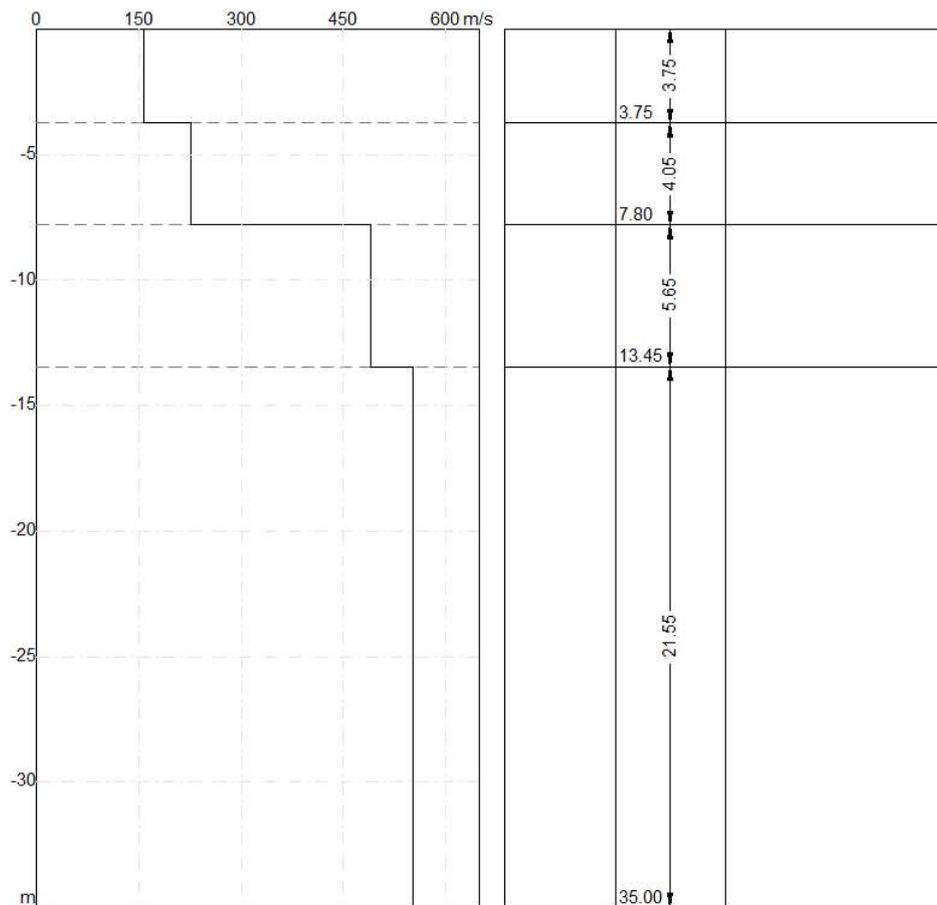
Percentuale di errore

0.005 %

Fattore di disadattamento della soluzione

0.010





Risultati e Caratterizzazione del sottosuolo

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

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

Dove:

- h_i spessore dell'i-esimo strato;
- $V_{S,i}$ velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato;
- N numero di strati;
- H profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_S non inferiore a 800 m/s.

Profondità piano di posa [m]	0.00
$V_{S,eq}$ [m/sec] (H=30.00 m)	360.20
Categoria del suolo	B

*Progetto per la realizzazione e l'esercizio di un impianto eolico
denominato "ASTRA" nei territori dei
Comuni di Roccapalumba (PA), Castronovo di Sicilia (PA) e Lercara Friddi (PA)*

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

Repertorio fotografico ed ubicazione delle indagini



Foto prova DPM_1 (P1)



Foto prova DPM_2 (P2)



Foto prova DPM_3 (P3)



Foto prova Masw_1 (M1)



Foto prova Masw_2 (M2)



Foto prova Masw_3 (M3)



Foto prova Masw_4 (M4)

Montalto Uffugo (CS), Dicembre 2021

Il tecnico
Antonio Nucera

CARTA UBICAZIONE INDAGINI

Scala 1:10.000



- Aerogeneratori
- Elettrodotto interrato
- Impianto di Accumulo
- Stazione Elettrica Terna
- Prove penetrometriche (P1-P2-P3)
- Indagini sismiche di tipo MASW (M1-M2-M3-M4)

