



COD. SAMBU.CZ.IT.SIA.09.PRCIV.00.

ENERGIA LEVANTE S.R.L.



FILE TIPO D

PROCEDURA DI VALUTAZIONE IMPATTO AMBIENTALE

PROGETTO DEFINITIVO

IMPIANTO EOLICO "SAMBUCELLO" DI POTENZA 50 MW DA REALIZZARE NEL TERRITORIO DEI COMUNI DI MARCELLINARA, MAIDA E CARAFFA DI CATANZARO IN PROVNCIA DI CATANZARO



Titolo Elaborato:

RELAZIONE GEOTECNICA (in modalità preliminare)

Formato

Scala

A4

-

Codice Elaborato:

Identificativo	Provincia	Nazione	Procedura	Settore	Tipo Elaborato	Revisione	Numero Progressivo
SAMBU.	CZ.	IT.	SIA.	09.	PRCIV.	00.	107

Committente:

ENERGIA LEVANTE S.R.L.



Via L. Gaurico n°9/11 - Regus Eur - 4° piano - 00143 Roma (Italia)
P.IVA 10240591007 - REA RM1219825 - Tel. (+39) 0654832107
E-Mail: sserenewables.com - PEC: energialevantesrl@legalmail.it

Progettazione:



via Don Minzoni 95 87036 Rende (CS)
Pec: e.cosrl@legalmail.it

Codice Progetto

N° Revisione

Data revisione

Redazione Interna

Redazione Esterna

CZ_22_03/AU-VIA

00

luglio 2023

E.co Srl

No

SOMMARIO

1	PREMESSA	3
2	RIFERIMENTI NORMATIVI	4
3	BREVE DESCRIZIONE DEL PROGETTO	5
4	INQUADRAMENTO TERRITORIALE	6
5	CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOLOGICA DEL SITO	10
6	INDAGINI E PROVE GEOTECNICHE	11
6.1	SONDAGGI GEOGNOTISCI A CAROTAGGIO CONTINUO	12
6.2	PROVE SPT	16
6.3	PROVE DI LABORATORIO	17
7	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA AI FINI SISMICI	26
8	MODELLO GEOTECNICO	31
9	CONCLUSIONI	31

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1 - Caratteristiche dimensionali aerogeneratori.....	5
Figura 2 - Ubicazione geografica Parco Eolico "Sambucello"	6
Figura 3 - Ubicazione geografica Parco Eolico "Sambucello"	7
Figura 4 - Ubicazione geografica aerogeneratori Parco Eolico "Sambucello"	7
Figura 5 - Inquadramento su ortofoto Parco Eolico "Sambucello"	8
Figura 6 - Inquadramento su IGM Parco Eolico "Sambucello"	8
Figura 7 - Inquadramento su CTR Parco Eolico "Sambucello"	9
Figura 8 - Planimetria di ubicazione dei sondaggi.....	11
Figura 9 - Planimetria di ubicazione delle indagini sismiche MASW.	12
Figura 10 - Sonda perforatrice	12
Figura 11 - Colonna stratigrafica Sondaggio S1	13
Figura 12 - Colonna stratigrafica Sondaggio S2	14
Figura 13 - Colonna stratigrafica sondaggio S3.....	15
Figura 14 - S1 C1 - Curva granulometrica.....	17
Figura 14: S2 C1 - Curva granulometrica.....	18
Figura 16 - S2 C2 - Curva granulometrica.....	18
Figura 16: S2 C3 - Curva granulometrica.....	19
Figura 18:-S3 C1 - Curva granulometrica	19
Figura 18: S3 C2 - Curva granulometrica.....	20
Figura 20 - S3 C3 - Curva granulometrica.....	20
Figura 21 - S1 C1 - Risultati prova taglio diretto (picco)	21
Figura 22 - S2 C1 - Risultati prova taglio diretto (picco)	22
Figura 23 - S2 C2 - Risultati prova taglio diretto (picco)	22
Figura 24 - S2 C3 - Risultati prova taglio diretto (picco)	23
Figura 25 - S3 C1 - Risultati prove taglio diretto (picco)	23
Figura 26 - S3 C1 - Risultati prove taglio diretto (residui)	24
Figura 27 - S3 C2 - Risultati prove taglio diretto (picco)	24
Figura 28 - S3 C2 - Risultati prove taglio diretto (residui)	25
Figura 29 - S3 C3 - Risultati prove taglio diretto (picco)	25
Figura 30 - S3 C3 - Risultati prove taglio diretto (residui)	26
Figura 31 - Parametro di scuotimento sismico della macrozona di intervento, espressa in termini di accelerazione massima del suolo (amax) con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni, riferita a suoli rigidi. Fonte INGV.....	27

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1 - Localizzazione catastale e geografica WTG	6
Tabella 2 - Risultati di campo delle prove penetrometriche SPT	16
Tabella 3 - Indicazione prove eseguite	17
Tabella 4 - Risultati analisi granulometrica	21
Tabella 5 - Risultati prove di taglio diretto	26
Tabella 6 - Parametri geotecnici medi assegnati ai terreni.....	31

1 PREMESSA

La presente relazione costituisce parte integrante e sostanziale del progetto definitivo, integrato allo studio di valutazione impatto ambientale, del parco eolico denominato "Sambucello" che la società "Energia Levante S.r.l.", società di "SSE Renewables", primaria società internazionale operante nel settore delle energie rinnovabili, intende realizzare.

Il progetto del parco proposto si sviluppa sui territori comunali di Maida, Caraffa di Catanzaro e Marcellinara, tutti in provincia di Catanzaro, e prevede l'installazione di n.10 aerogeneratori della singola potenza nominale di 5 MW/cad, per una potenza nominale complessiva di 50 MW.

L'energia prodotta dagli aerogeneratori, attraverso il sistema di cavidotti interrati in media tensione verrà convogliata, mediante una sottostazione di elevazione anche questa prevista in progetto, alla esistente centrale elettrica giusta STMG con codice identificativo 202100078.

2 RIFERIMENTI NORMATIVI

- Eurocodice 7- 1997 – Progettazione geotecnica.
- Eurocodice 8 – 1998 – Progettazione di strutture per la resistenza sismica.
- D.M. 11.03.1988 – Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione.
- D.P.R. 6 giugno 2001 n. 380: "Testo unico delle disposizioni legislative e regolamentari in materia edilizia".
- Decreto Legislativo 3 aprile 2006, n. 152: "Norme in materia ambientale".
- Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al DM 17/01/2018 pubblicate sul Supplemento ordinario alla "Gazzetta Ufficiale", n. 42 del 20 febbraio 2018.
- Circolare 21 gennaio 2019, n. 7 C.S.LL.PP. "Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018.(pubblicato sulla GU n.35 del 11-2-2019 – Suppl. Ordinario n. 5).
- Individuazione delle zone sismiche del territorio regionale e relativi adempimenti – Recepimento O.P.C.M. n. 3333/04 e conseguente rettifica della deliberazione G.R. n. 153/04.
- D.R.G. 55/2006 "Indirizzi per l'inserimento degli impianti eolici sul territorio Regionale".
- L.R. 15/09/2020, n. 16: "Procedure per la denuncia, il deposito e l'autorizzazione di interventi di carattere strutturale e per la pianificazione territoriale in prospettiva sismica. abrogazione della L. 37/2015".
- R.R. n.20 del 22/12/2020 " Procedure per la denuncia, il deposito e l'autorizzazione di interventi di carattere strutturale e per la pianificazione territoriale in prospettiva sismica" di cui alla legge regionale n. 16 del 15 settembre 2020".

Si ritiene utile ricordare che le norme stesse tengono conto del fatto che lo studio in fase di progetto, non può definire in maniera esaustiva la situazione geotecnica, anche se fornisce un elevato grado di affidabilità del modello geotecnico; risulta utile, pertanto, in base a quanto disposto dalle norme medesime, adottare il cosiddetto "metodo osservazionale" al fine di adeguare, eventualmente, gli interventi alle condizioni geologiche-geotecniche effettivamente riscontrate nel corso dei lavori.

3 BREVE DESCRIZIONE DEL PROGETTO

Il progetto, come detto precedentemente, riguarda la realizzazione di un parco eolico e prevede l'installazione di 10 aerogeneratori (altezza massima al mozzo di 102.5 m e con un diametro del rotore di 145 m per un'altezza massima di 175.00 m) nonché la realizzazione di opere civili ed elettriche.

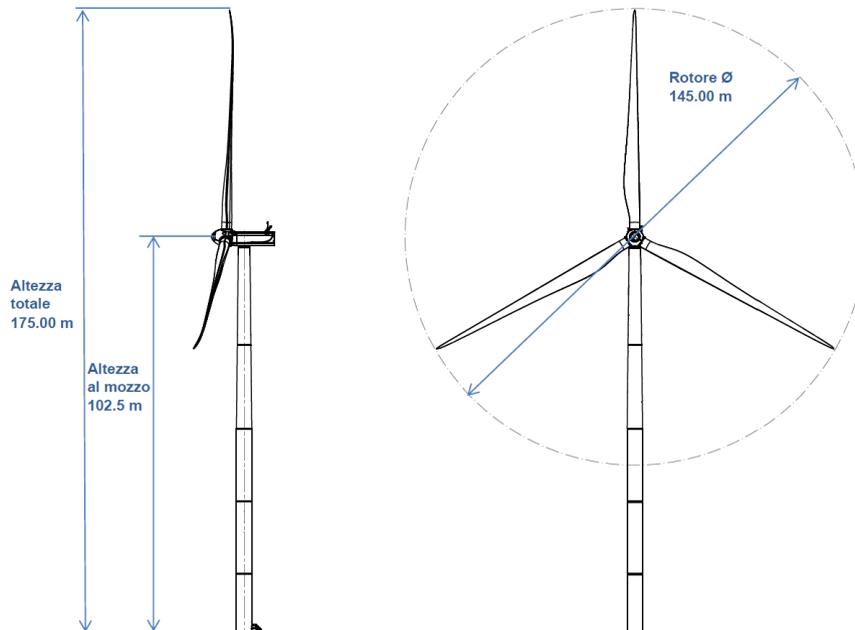


Figura 1 - Caratteristiche dimensionali aerogeneratori

La stazione elettrica e i singoli aerogeneratori – ubicati in posizione ottimale rispetto alla direzione del vento e al punto di consegna – sono collegati dalla viabilità di servizio e dai cavi interrati.

Di seguito viene descritto un layout costituito sia da opere elettromeccaniche che civili. Per quanto riguarda le opere elettromeccaniche si possono sintetizzare come segue:

- N° 10 aerogeneratori di potenza massima 5 MW;
- Nuova sottostazione elettrica di trasformazione (SET) MT/AT di proprietà del Committente;
- Elettrodotti di collegamento dalla SET con cavo 150 kV e stallo condiviso con altro produttore alla stazione esistente TERNA – per cui è previsto ampliamento – denominata "Maida" (la condivisione dello stallo è una soluzione positiva sotto il profilo ambientale in quanto saranno evitati ulteriori elettrodotti AT per il vettoriamento dell'energia elettrica alla stazione esistente);
- Posa di cavi in MT per la raccolta della potenza prodotta e il collegamento alla sottostazione di trasformazione MT/AT.

Le opere civili si possono sintetizzare come segue:

- N°10 piazzole per il montaggio degli aerogeneratori;
- N°2 depositi temporanei componenti aerogeneratori;
- Opere per la posa dei cavi interrati MT;
- Adeguamento viabilità esistente;
- Realizzazione nuovi assi per la viabilità interna al parco.

4 INQUADRAMENTO TERRITORIALE

L'area individuata per la realizzazione del parco eolico denominato "Sambucello", è ubicata a circa 15 km a sud-ovest del Comune di Lamezia Terme ed a circa 30 km della città di Catanzaro, nei territori Comunali di Maida, Caraffa di Catanzaro e Marcellinara, tutti nella Provincia di Catanzaro. Di seguito si riporta una tabella che sintetizza la localizzazione catastale e geografica di ogni singola torre eolica.

Tabella 1 - Localizzazione catastale e geografica WTG

IDENTIFICATIVO AEROGENERATORE	SISTEMA DI RIFERIMENTO*		RIFERIMENTI CATASTALI		
	Est	Nord	Comune	Foglio	Particella
WTG 2B	624524	4307273	Marcellinara	17	35
WTG 3	624213	4306630	Marcellinara	19	22
WTG 4	624957	4306723	Marcellinara	20	5
WTG 5	625320	4307749	Marcellinara	17	15
WTG 6	625974	4307593	Marcellinara	11	83
WTG 8	626322	4306823	Marcellinara	22	4
WTG 9	624856	4305860	Maida	13	1
WTG 10	625456	4305784	Maida	13	3
WTG 11	626633	4305939	Caraffa di CZ	1	23
WTG 12	627259	4306067	Caraffa di CZ	2	1

*(UTM WGS 84 - FUSO 33N)

Per quanto concerne le quote topografiche degli aerogeneratori, variano da un massimo di circa 330 m s.l.m. (zona WTG 8) ad un minimo di circa 200 m s.l.m. (zona WTG 2B).

Alla scala 1:25.000 l'area ricade nelle tavolette "241 I S.E. MAIDA", "242 IV S.O. CARAFFA DI CATANZARO", "242 IV N.O. TIRIOLO".

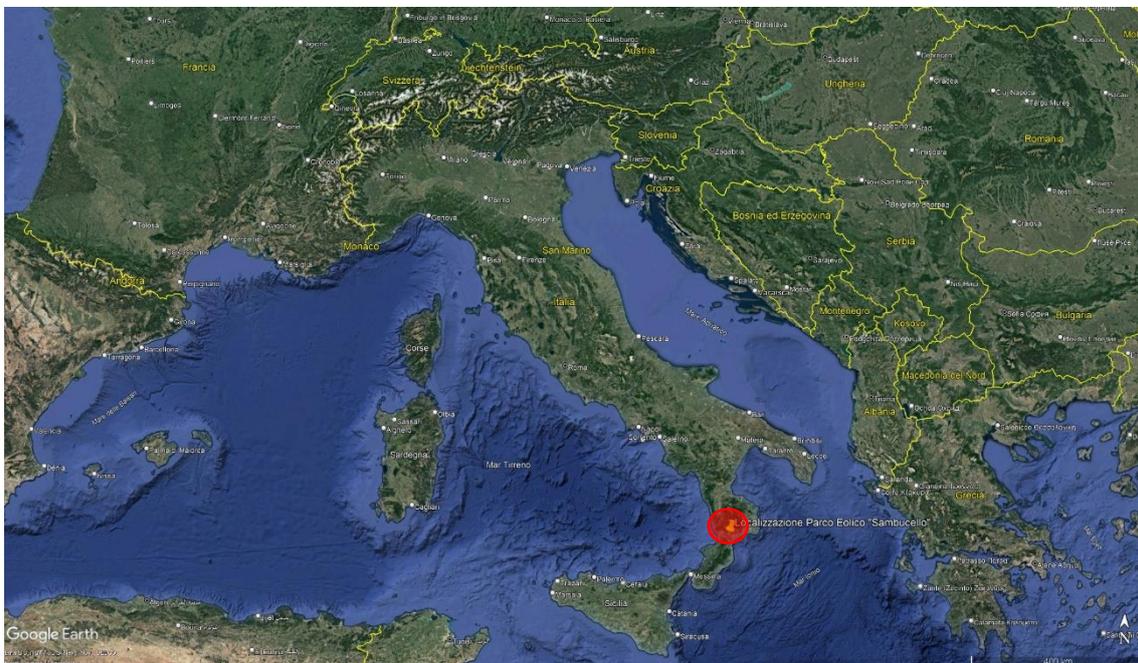


Figura 2 - Ubicazione geografica Parco Eolico "Sambucello"

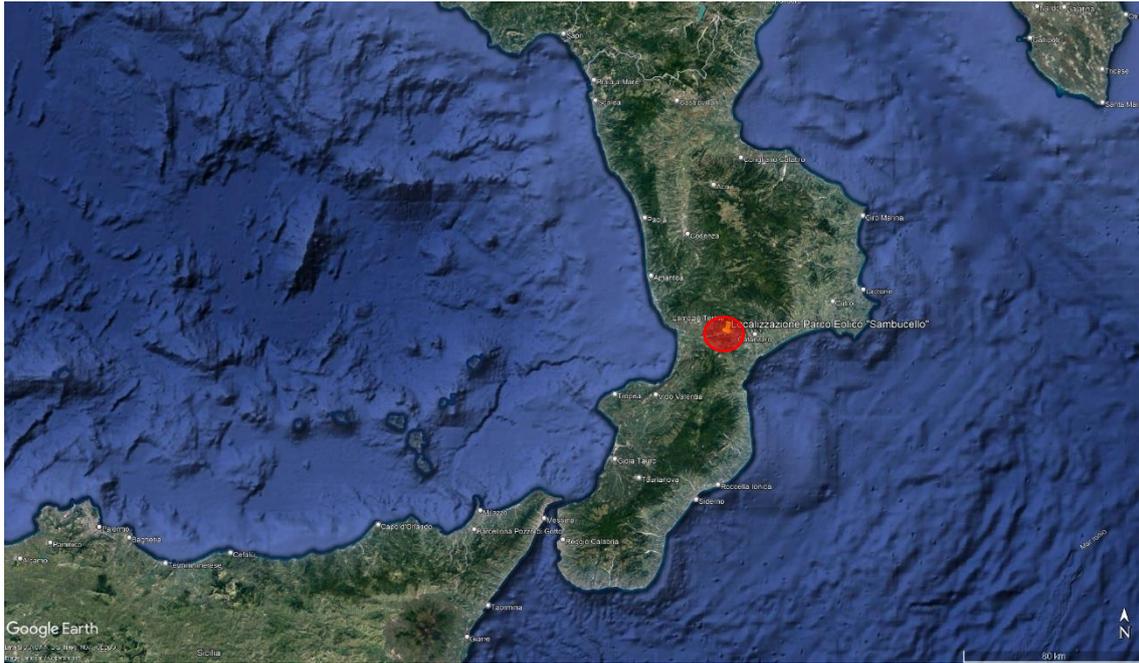


Figura 3 - Ubicazione geografica Parco Eolico "Sambucello"

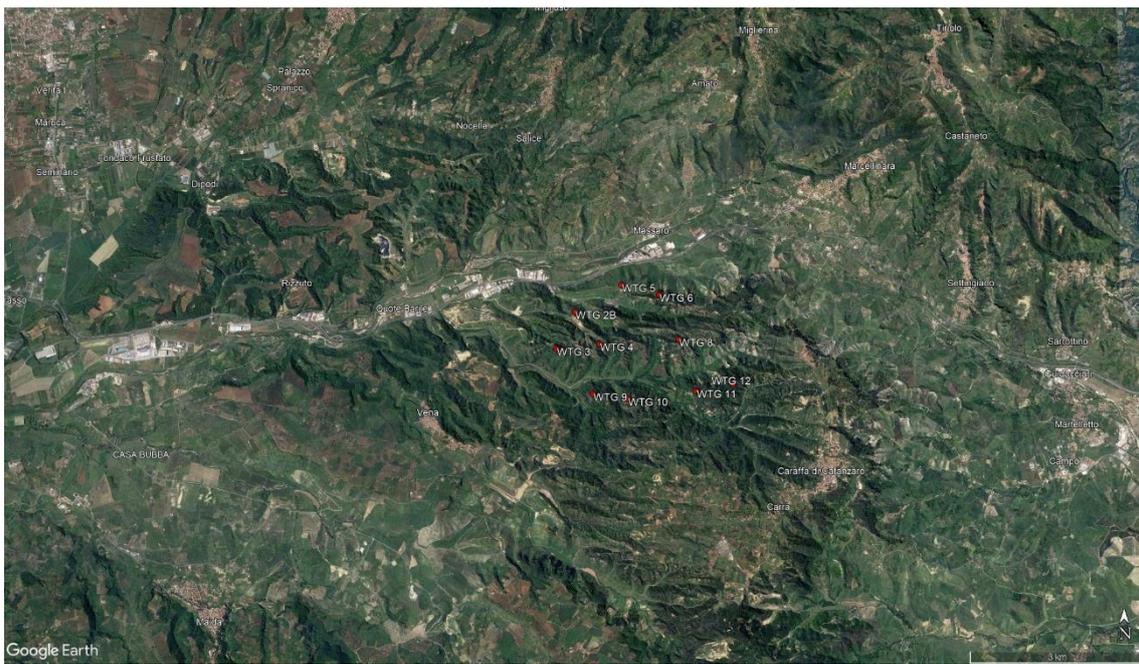


Figura 4 - Ubicazione geografica aerogeneratori Parco Eolico "Sambucello"

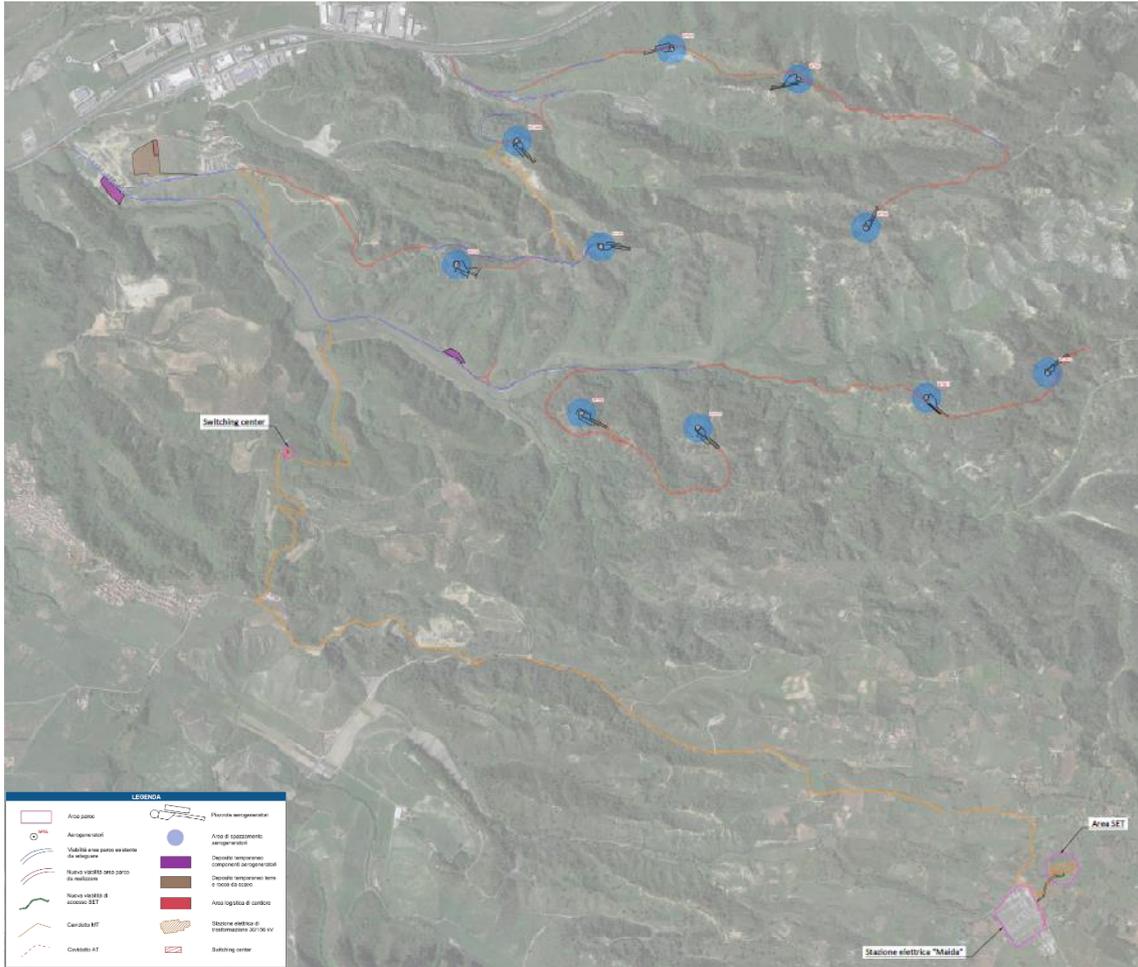


Figura 5 - Inquadramento su ortofoto Parco Eolico "Sambucello"

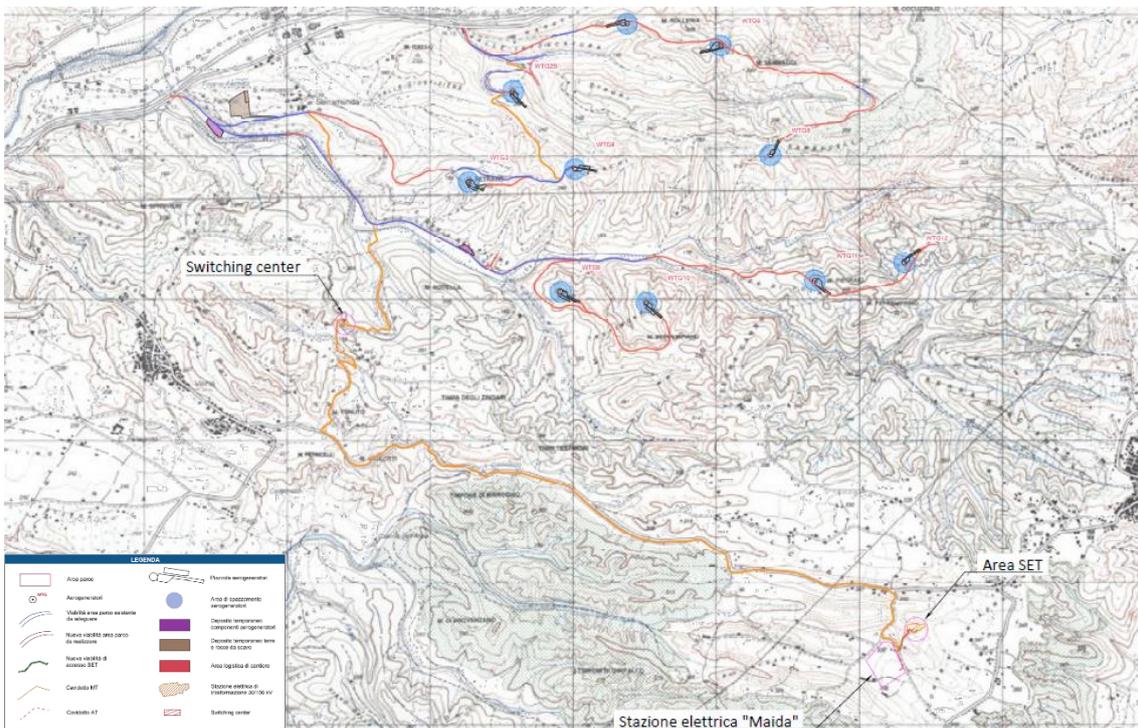


Figura 6 - Inquadramento su IGM Parco Eolico "Sambucello"

5 CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOLOGICA DEL SITO

L'area oggetto di studio ricade geograficamente nella porzione centro-orientale della regione Calabria e ricade nei comuni di Marcellinara, Maida e Caraffa di Catanzaro, tutti ricadenti nella provincia di Catanzaro. Dal punto di vista cartografico si ricade nelle tavolette "241 I S.E. MAIDA", "242 IV S.O. CARAFFA DI CATANZARO", "242 IV N.O. TIRIOLO" alla scala 1:25.000.

Dal punto di vista litologico sull'area rilevata affiorano terreni sedimentari di età compresa tra il Pliocene e l'Attuale, riconducibili essenzialmente a litotipi sabbioso-arenacei, sabbioso-conglomeratici e limo-argillosi. Alla base della pila di sedimenti affioranti nell'area d'interesse sono presenti le **argille limose** grigie alle quali si alternano depositi sabbioso-limosi. Al disopra delle argille giacciono le **sabbie ed arenarie** di colore bruno giallastro che affiorano con buona continuità e costituiscono il litotipo più rappresentato nell'area d'interesse progettuale. La pila di sedimenti si chiude con i **depositi conglomeratico-sabbioso** del quaternario di colore bruno rossastro, composto da ciottoli sub-arrotondati, sabbioni e ghiaie. Essi affiorano lungo i crinali delle dorsali e lungo i pianori morfologici. Negli alvei e nelle vallecole fluviali, infine, sostano i **depositi alluvionali** che si compongono di materiali derivanti dall'erosione dei litotipi rocciosi costituenti i bacini di alimentazione dei singoli corsi d'acqua. Trattasi di materiali sciolti eterometrici, facilmente disaggregabili ed erodibili, sottoposti alle acque di piena dei corsi d'acqua.

Dal punto di vista geomorfologico l'area si caratterizza come un tipico paesaggio collinare, costituito da una serie di strette dorsali morfologiche, che evolvono assialmente in direzione Est-Ovest. Tali motivi morfologici convessi sono separati l'un l'altro da stretti fondovalli, solcati da corsi d'acqua a carattere stagionale. In tale ambito si registrano valori clivometrici che spaziano dai bassi valori leggibili lungo gli spianamenti sui crinali e nelle valli alluvionali, a quelli elevati che superano i 40° in corrispondenza dei versanti morfologici, che addirittura possono localmente raggiungere e superare i 60°. Tali corsi determinano erosioni essenzialmente lineari lungo i loro *talwegs*, mentre nell'estrema porzione orientale dell'area sono evidenti segnali di erosione areale, certamente in corrispondenza di un cambiamento di litologia che da materiali granulari essenzialmente incoerenti, passano a materiali coesivi. Nell'area sono distinguibili morfologicamente tre fasce territoriali:

- **quella sommitale**, che assume la conformazione di uno stretto pianoro allungato, dove i lineamenti morfologici sono subpianeggianti ma spesso interessati, negli orli, da fenomeni di instabilità dei versanti in arretramento;
- **quella mediana**, alquanto tormentata per la presenza di versanti acclivi solcati da fossi che esercitano forme erosive areali calanchive;
- **quella valliva**, che si compone di pendii blandi, dove il fattore erosivo non ha alcuna incidenza traumatica.

Sono stati riconosciuti e cartografati numerosi fenomeni di instabilità, soprattutto nella fascia territoriale mediana (ma che interessano gli orli delle creste), dovuti principalmente all'elevata acclività dei versanti. Laddove i litotipi argillosi passano superiormente alle sabbie ed arenarie, nei versanti meno ripidi, si registrano dei fenomeni di solifluzione del suolo.

Altro motivo morfologico ricorrente è rappresentato da forme dovute all'erosione esercitata dalle acque meteoriche. Nei litotipi prevalentemente coesivi tali fenomeni si esplicano nella formazione di strette e profonde vallecole che fanno assumere ai versanti i tipici caratteri calanchivi. Nei litotipi granulari invece i fenomeni erosivi si esplicano con la formazione di profondi canali laddove i litotipi sabbiosi prevalgono su quelli arenacei.

6 INDAGINI E PROVE GEOTECNICHE

In questa prima fase, sono state eseguite delle indagini considerando quanto richiesto nell'elaborato GD249 961-EN_R1- "Preliminary geotechnical study specifications for basic wind farm projects" fornito dalla committenza che si elencano di seguito:

- **n. 3 sondaggi geognostici a carotaggio continuo** spinti fino alla profondità di 30 metri, con esecuzione di **prove penetrometriche in foro SPT** ogni due metri fino al raggiungimento del presunto rifiuto strumentale, **prelievo di campioni di terreno indisturbati** sottoposti ad **analisi e prove geotecniche di laboratorio, ed installazione di piezometri** per il rilevamento della quota della falda;
- **n. 3 prospezioni sismiche di tipo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves)** per la caratterizzazione dei siti e per la definizione del profilo verticale di velocità delle onde S.

I campioni prelevati durante l'esecuzione dei sondaggi sono stati sottoposti a prove di laboratorio geotecnico. L'ubicazione delle indagini è stata definita considerando le informazioni necessarie per:

- determinare preliminarmente la successione lito-stratigrafica e le variazioni litologiche sull'area di intervento;
- consentire il prelievo di campioni significativi dei terreni attraversati;
- rilevare direttamente in situ alcune importanti proprietà di resistenza meccanica dei litotipi;
- verificare l'eventuale presenza di falde acquifere;
- consentire la indispensabile taratura delle prospezioni geofisiche.

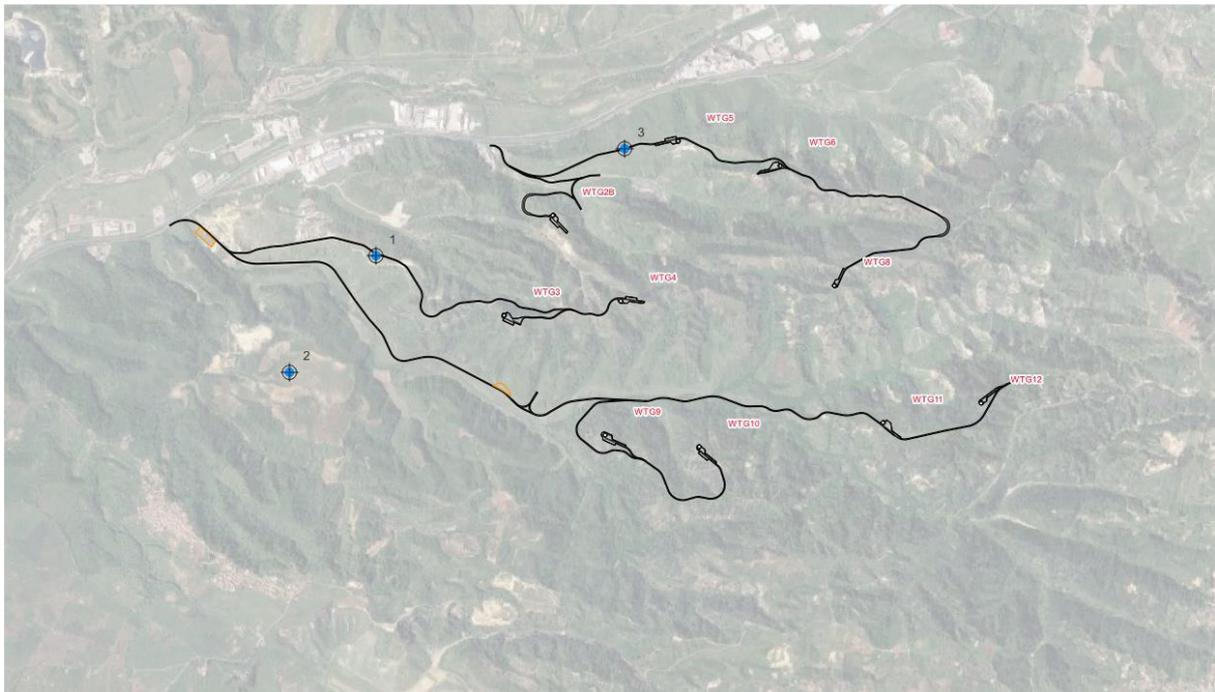


Figura 8 - Planimetria di ubicazione dei sondaggi.



Figura 9 - Planimetria di ubicazione delle indagini sismiche MASW.

6.1 SONDAGGI GEOTITISCI A CAROTAGGIO CONTINUO

Obiettivo del sondaggio a carotaggio continuo è la definizione di una stratigrafia puntuale e dettagliata dei litotipi attraversati. Le perforazioni sono state condotte tramite sonda perforatrice avente le seguenti caratteristiche tecniche:

- Cingolo: larghezza mm 1600; Lunghezza mm 2540; Pattini mm 300;
- Pressione specifica al suolo N/cm² 5.64;
- Motore Diesel Perkins 804 C 3.3T; Potenza installata kW/hp 59.5/81
- Antenna Corsa rotary mm 3500; Velocità avanzamento rotary m/min 38; Forza di spinta kN 26; Forza di estrazione kN 38.5;
- Testa di rotazione modello TR 600 V Coppia max kNm 6.3 @ 56 rpm; Velocità (min/max) rpm 0 - 170; Peso totale Kg 6700.

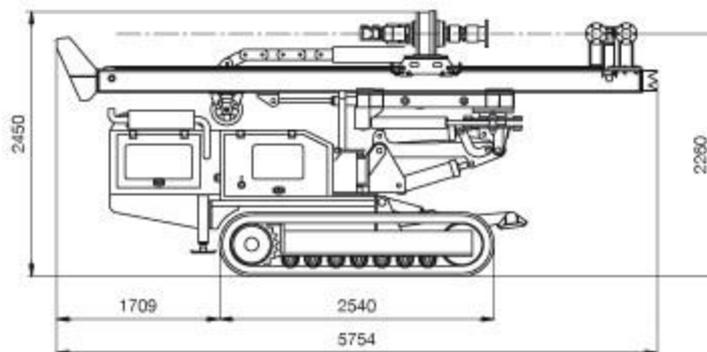


Figura 10 - Sonda perforatrice

Il diametro di perforazione utilizzato per il sondaggio è di 101 mm. Le perforazioni sono state condotte con il minor utilizzo d'acqua in tale modo si è ottenuto il massimo recupero

del materiale riducendo al massimo il dilavamento delle parti fini. Il materiale prelevato durante le perforazioni è stato depositato in apposite cassette catalogatrici a 5 scomparti da 1 mt, sui quali sono stati riportati la quota inferiore e superiore in m dal p.c. per ogni metro di perforazione.

Dall'analisi delle carote prelevate è stato possibile definire la tipologia dei litotipi attraversati il loro grado di consistenza (per i terreni coesivi), il grado di addensamento (per i terreni granulari) la fratturazione per gli orizzonti litoidi.

Ultimati i sondaggi, i fori sono stati attrezzati con tubazione piezometrica PVC con diametro pari a 40 mm opportunamente fessurato negli orizzonti acquiferi, per consentire la misurazione del livello di falda. **La falda non è stata rilevata in nessuno dei tre fori.**

	GEOPERFORAZIONI S.R.L. sede Cosenza Via Vermeti, 87100 (CS) p.iva 03563600786 email: geoperforazioni@gmail.com pec: geoperforazioni@legalmail.it	Sondaggio S1
	Località: "Sambucello (CZ)" Committente: E.co. s.r.l. Progetto: "Parco Eolico Sambucello"	Macchina perforatrice: PSm8 Data inizio lavorazioni: 31/05/2022 Fine:06/06/2022 Metodo di perforazione: carotaggio continuo

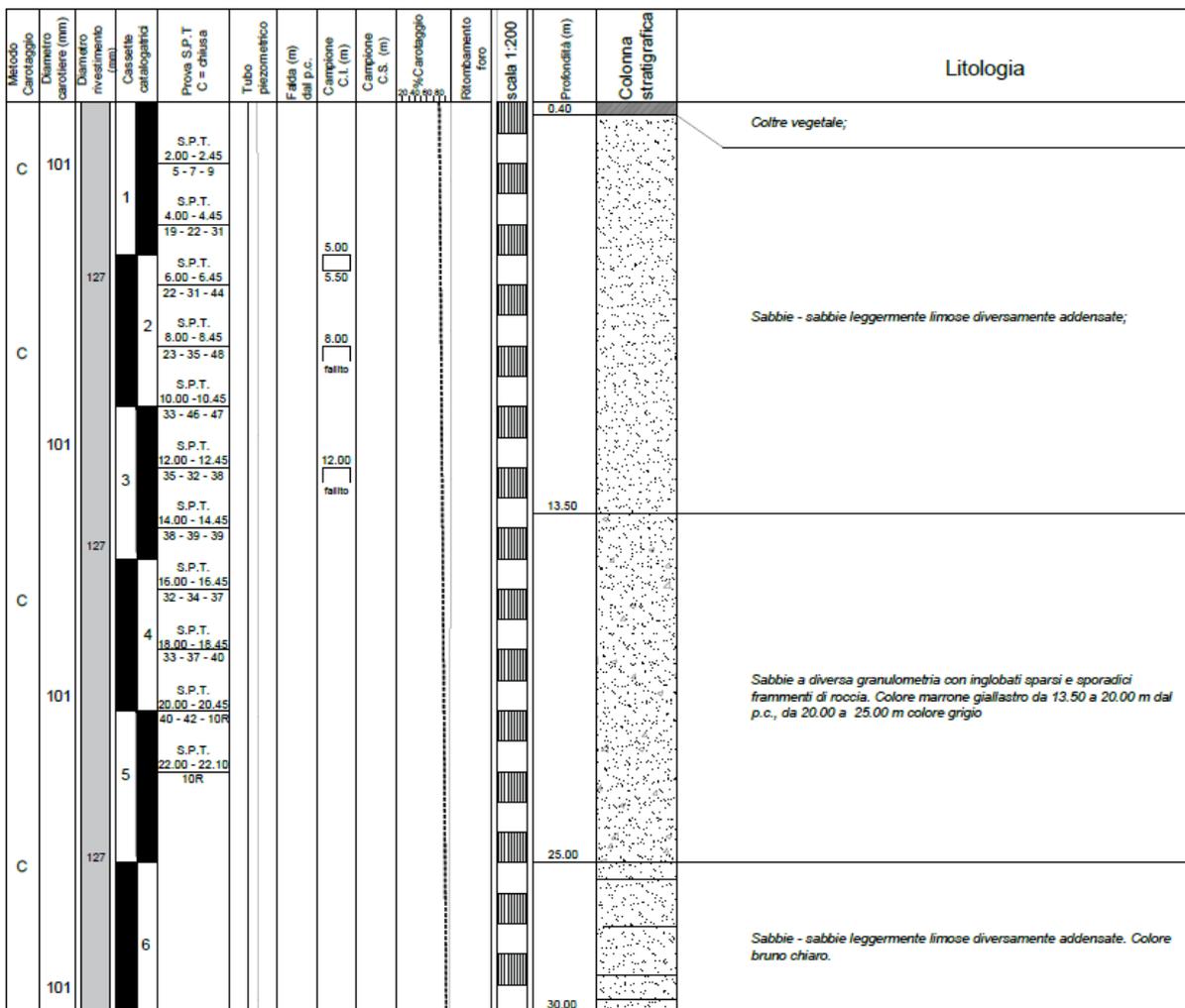


Figura 11 - Colonna stratigrafica Sondaggio S1

	GEOPERFORAZIONI S.R.L. sede Cosenza Via Vennet, 87 100 (CS) p.va 03563600786 email: geoperforazioni@gmail.com pec: geoperforazioni@legaimail.it	Sondaggio S3
	Località: "Sambucello (CZ)" Committente: E.co. s.r.l. Progetto: "Parco Eolico Sambucello"	Macchina perforatrice: PSm8 Data inizio lavorazioni: 10/06/2022 Fine: 14/06/2022 Metodo di perforazione: carotaggio continuo

Metodo Carotaggio	Diámetro carotiere (mm)	Diámetro rivestimento (mm)	Cassette catalogada	Prova S.P.T. C - Giuosa	Tubo piezometrico	Falda (m)	Campione C.I. (m)	Campione C.S. (m)	%Carotaggio	Ritombamento foro	Profondità (m)	Colonna stratigrafica	Litologia															
C	101	127	1	S.P.T. 2.00 - 2.45 5 - 5 - 6							0.40		Coltre vegetale;															
				4.20							Sabbie - sabbie leggermente limose. Colore marrone;																	
			C	101							127	2	S.P.T. 6.00 - 5.45 12 - 20 - 26	5.00					5.50		Limi e limi sabbiosi consistenti. Colore grigio;							
													8.00	8.50														
												101	3	S.P.T. 7.50 - 7.95 23 - 27 - 33					12.00							10.00		Sabbie a diversa granulometria con inglobati sparsi e sporadici frammenti di roccia. Colore marrone giallastro;
														12.50 - 12.95 28 - 30 - 33					12.50									
C	101	127	4	S.P.T. 14.00 - 14.45 30 - 33 - 37							19.70		Limi argillosi argille limose consistenti. Colore grigio.															
				S.P.T. 16.00 - 16.45 33 - 37 - 40																								
C	101	127	5	S.P.T. 18.00 - 18.45 39 - 42 - 44							30.00																	
				S.P.T. 20.00 - 20.25 40 - 10R																								
C	101	127	6	S.P.T. 22.00 - 22.10 10R																								

Figura 13 - Colonna stratigrafica sondaggio S3

6.2 PROVE SPT

Durante l'esecuzione dei sondaggi sono state eseguite prove penetrometriche in foro SPT ogni due metri fino al raggiungimento di due rifiuti consecutivi che, in questo caso, si sono verificati in tutti e tre i sondaggi da come si evince dalla tabella seguente.

Tabella 2 - Risultati di campo delle prove penetrometriche SPT

Sondaggio	N°	Prof. (m)	colpi
S ₁	1	2,00-2,45	5 - 7 - 9
	2	4,00 - 4,45	19 - 22 - 31
	3	6,00 - 6,45	22 - 31 - 44
	4	8,00 - 8,45	23 - 35 - 48
	5	10,00 - 10,45	33 - 46 - 47
	6	12,00 - 12,45	35 - 32 - 38
	7	14,00 - 14,45	38 - 39 - 39
	8	16,00 - 16,45	32 - 34 - 37
	9	18,00 - 18,45	33 - 37 - 40
	10	20,00 - 20,45	40 - 42 - 10R
	11	22,00 - 22,10	10R
S ₂	1	2,00-2,45	9 - 12 - 16
	2	4,00 - 4,45	11 - 16 - 22
	3	6,00 - 6,45	13 - 21 - 36
	4	8,50 - 8,95	16 - 23 - 35
	5	10,00 - 10,45	18 - 26 - 37
	6	12,50 - 12,95	19 - 25 - 37
	7	14,00 - 14,45	21 - 28 - 41
	8	16,00 - 16,45	20 - 28 - 40
	9	18,00 - 18,45	24 - 33 - 42
	10	20,00 - 20,45	26 - 36 - 48
	11	22,00 - 22,45	22 - 30 - 42
	12	24,00 - 24,45	13 - 27 - 39
	13	26,00 - 26,40	26 - 47 - 10R
	14	28,00 - 28,20	38 - 5R
S ₃	1	2,00-2,45	5 - 5 - 6
	2	4,00 - 4,45	6 - 8 - 8
	3	6,00 - 6,45	12 - 20 - 26
	4	7,50 - 7,95	23 - 27 - 33
	5	8,50 - 8,95	26 - 25 - 35
	6	10,50 - 10,45	28 - 30 - 33
	7	12,50 - 12,95	36 - 38 - 40
	8	14,00 - 14,45	30 - 33 - 37
	9	16,00 - 16,45	33 - 37 - 40
	10	18,00 - 18,45	39 - 42 - 44
	11	20,00 - 20,25	40 - 10R
	12	22,00 - 22,10	10R

6.3 PROVE DI LABORATORIO

Sono stati prelevati tre campioni di terreno indisturbato. Il prelievo è stato eseguito in maniera tale da preservare le caratteristiche fisiche e meccaniche dei litotipi in situ. Al fine di ottenere i parametri meccanici rappresentativi dei degli strati litoidi rinvenuti nel corso dei sondaggi, sono state eseguite le seguenti prove di laboratorio:

Tabella 3 - Indicazione prove eseguite

CAMPIONI INDISTURBATI			PROVE ESEGUITE					
SONDAGGIO	CAMPIONE	PROFONDITA'	RICONOSCIMENTO	TAGLIO DIRETTO CD	TAGLIO DIRETTO VALORI RESIDUI	EEL	EDOMETRICA CON DETERMINAZIONE DI Cv, k, ED	TRIASIALE UU
S1	C1	5.00 - 5.50	X	X				
S2	C1	5.00 - 5.50	X	X				
S2	C2	8.00 - 8.50	X	X				
S2	C3	12.00 - 12.50	X	X				
S3	C1	5.00 - 5.50	X	X	X	X	X	X
S3	C2	8.00 - 8.50	X	X	X	X	X	X
S3	C3	12.00 - 12.50	X	X	X			
TOTALE			7	7	3	2	2	2

Dall'analisi granulometrica è emerso quanto segue:

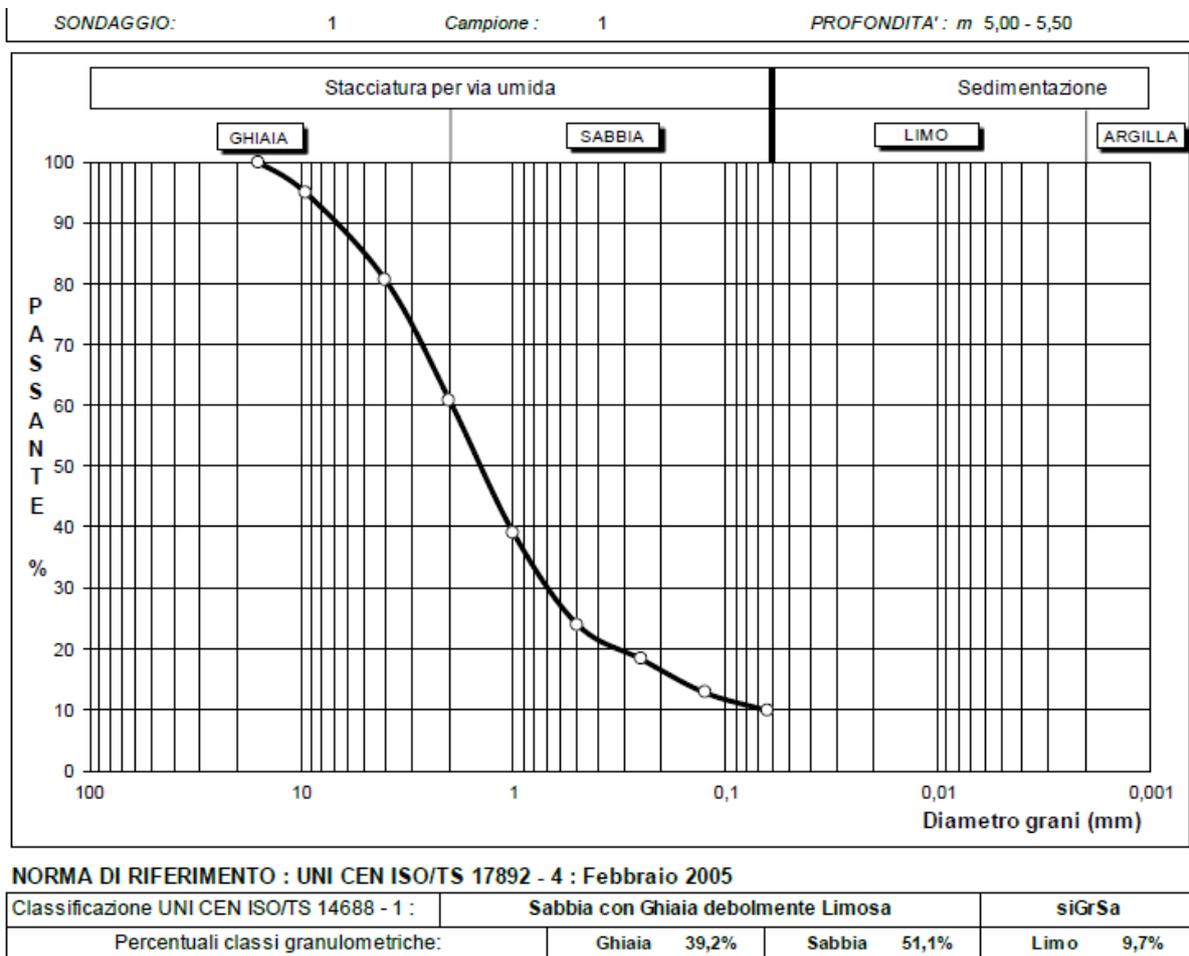


Figura 14 - S1 C1 - Curva granulometrica

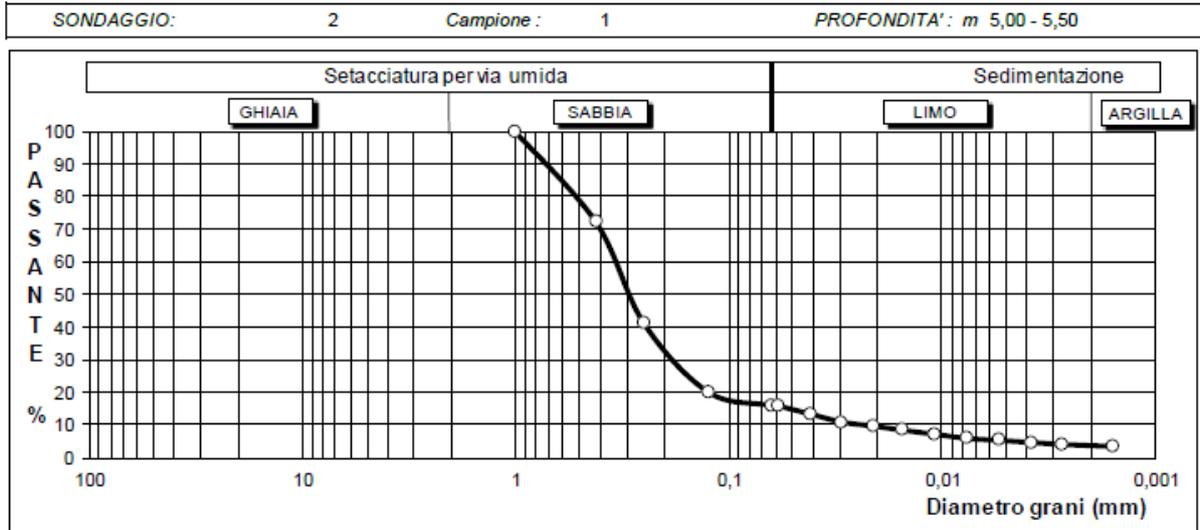


Figura 15: S2 C1 - Curva granulometrica

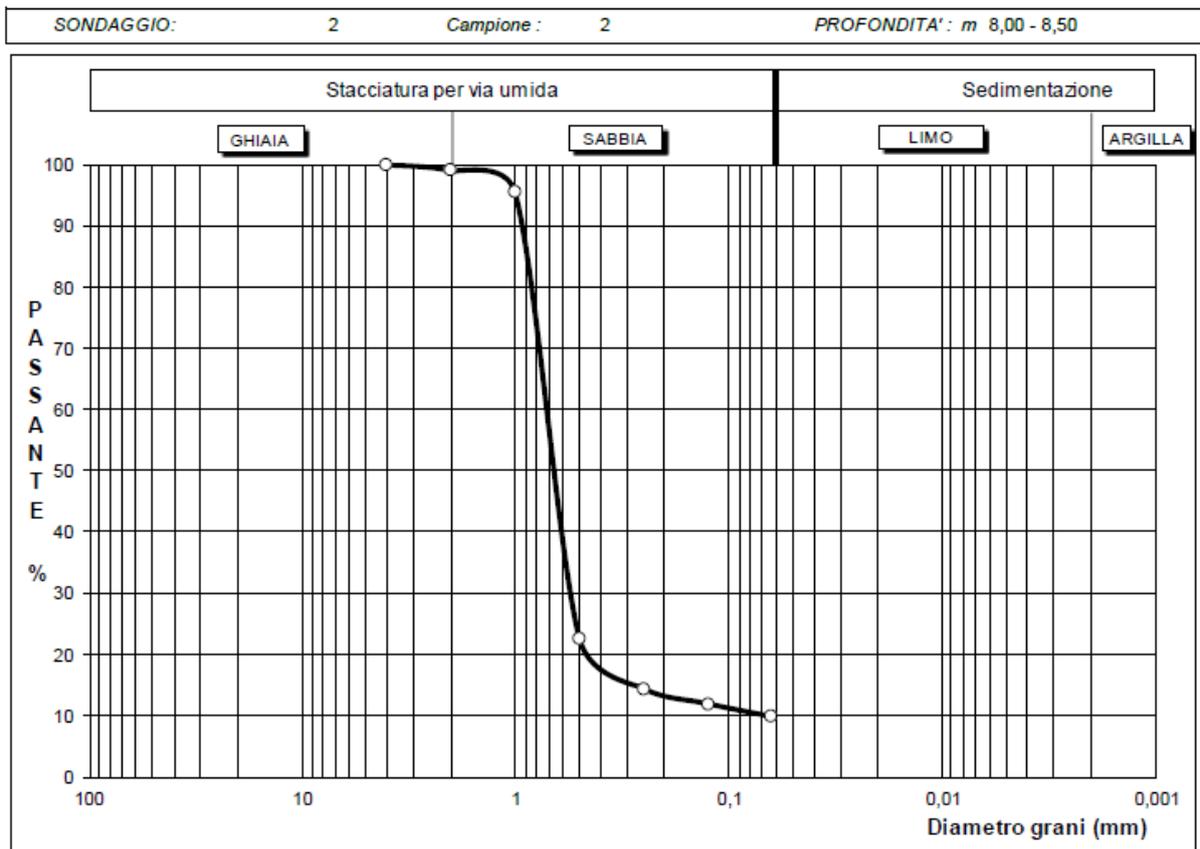
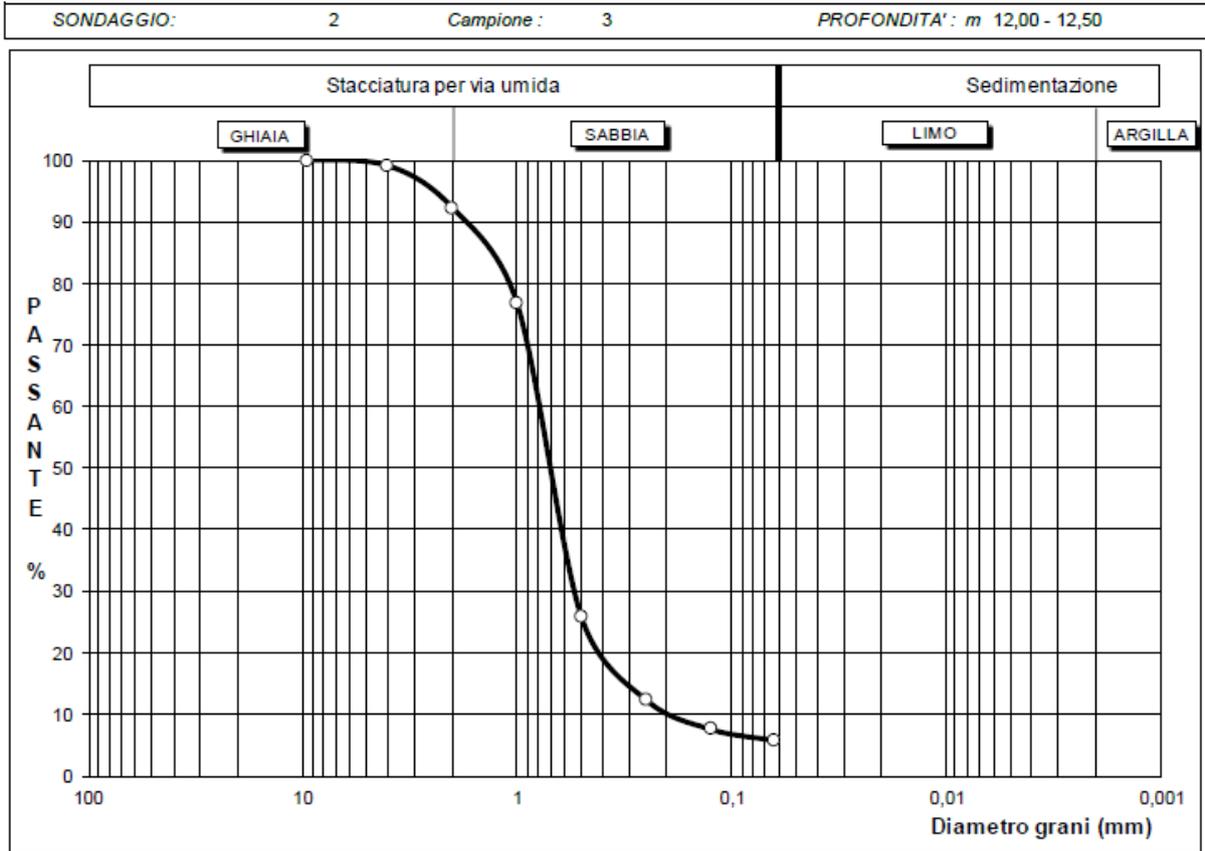


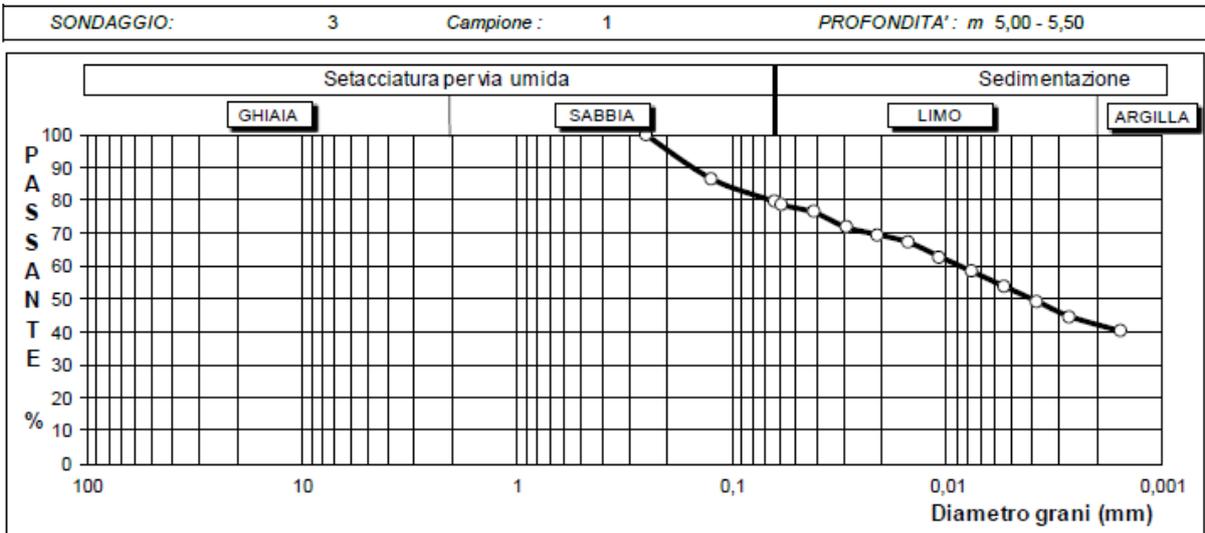
Figura 16 - S2 C2 - Curva granulometrica



NORMA DI RIFERIMENTO : UNI CEN ISO/TS 17892 - 4 : Febbraio 2005

Classificazione UNI CEN ISO/TS 14688 - 1 :	Sabbia debolmente Ghiaiosa debolmente Limosa			sigrSa		
Percentuali classi granulometriche:	Ghiaia	7,7%	Sabbia	86,6%	Limo	5,7%

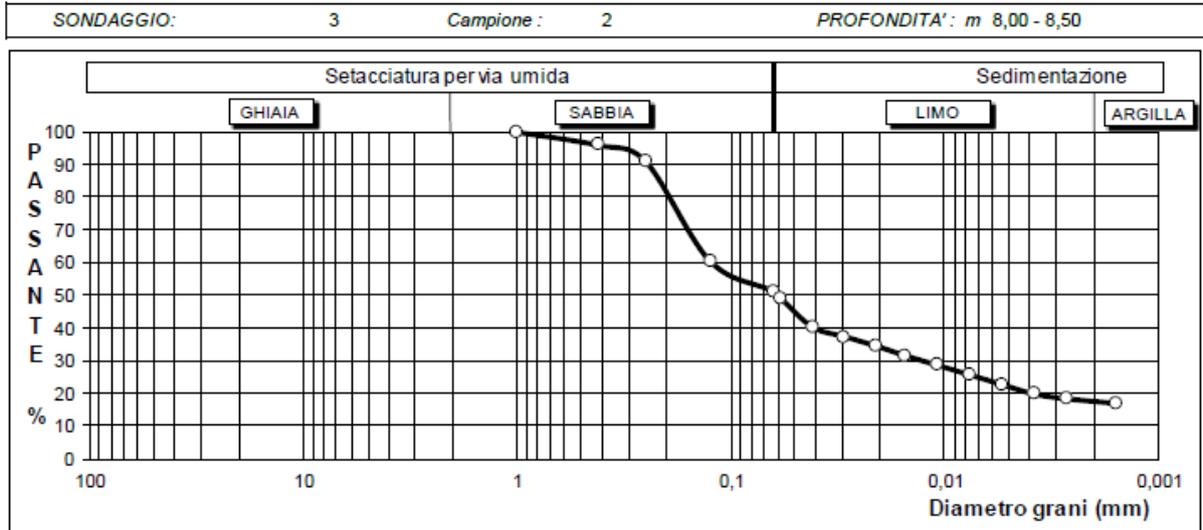
Figura 17: S2 C3 - Curva granulometrica



NORMA DI RIFERIMENTO : UNI CEN ISO/TS 17892 - 4 : Febbraio 2005

Classificazione UNI CEN ISO/TS 14688 - 1 :	Argilla con Limo Sabbiosa				saSiCl			
Percentuali classi granulometriche:	Ghiaia	0,0%	Sabbia	20,7%	Limo	37,1%	Argilla	42,2%

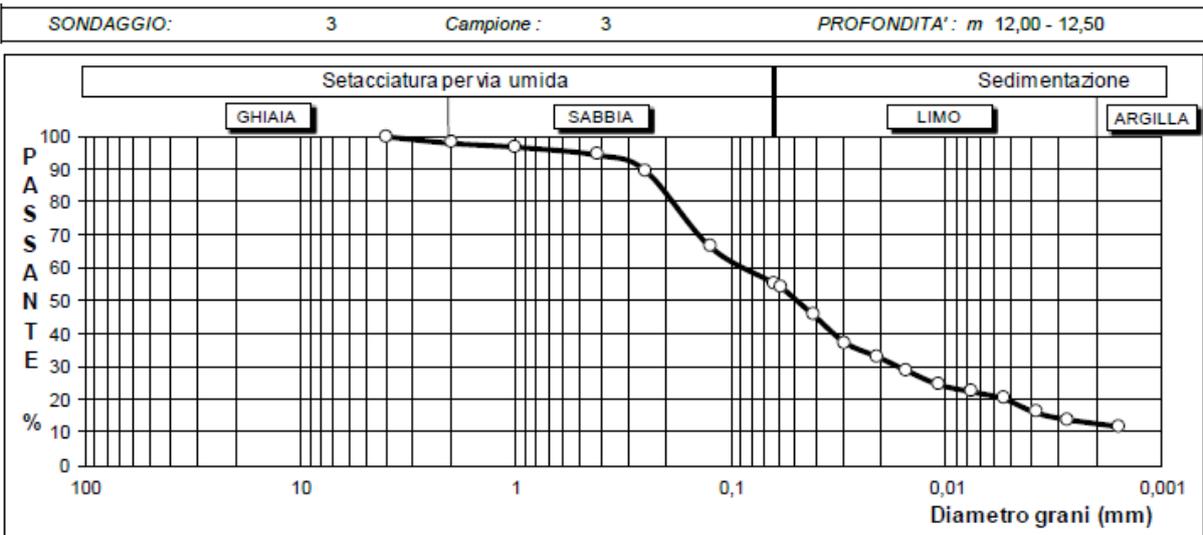
Figura 18: -S3 C1 - Curva granulometrica



NORMA DI RIFERIMENTO : UNI CEN ISO/TS 17892 - 4 : Febbraio 2005

Classificazione UNI CEN ISO/TS 14688 - 1 :	Sabbia con Limo Argillosa			cISiSa
Percentuali classi granulometriche:	Ghiaia 0,0%	Sabbia 49,1%	Limo 33,3%	Argilla 17,6%

Figura 19: S3 C2 - Curva granulometrica



NORMA DI RIFERIMENTO : UNI CEN ISO/TS 17892 - 4 : Febbraio 2005

Classificazione UNI CEN ISO/TS 14688 - 1 :	Sabbia con Limo Argillosa			cISiSa
Percentuali classi granulometriche:	Ghiaia 2,0%	Sabbia 42,8%	Limo 42,3%	Argilla 12,9%

Figura 20 - S3 C3 - Curva granulometrica

I risultati delle analisi granulometrica sono schematizzati nella tabella seguente.

Tabella 4 - Risultati analisi granulometrica

CAMPIONI INDISTURBATI			RISULTATI
SONDAGGIO	CAMPIONE	PROFONDITA'	ANALISI GRANULOMETRICA
S1	C1	5.00 - 5.50	Sabbia con Ghiaia debolmente Limosa
S2	C1	5.00 - 5.50	Sabbia Limosa
S2	C2	8.00 - 8.50	Sabbia debolmente limosa
S2	C3	12.00 - 12.50	Sabbia debolmente Ghiaiosa debolmente Limosa
S3	C1	5.00 - 5.50	Argilla con Limo
S3	C2	8.00 - 8.50	Sabbia con Limo Argillosa
S3	C3	12.00 - 12.50	Sabbia con Limo Argillosa

Per la determinazione dei parametri di resistenza al taglio di picco dei campioni è stata eseguita una prova di taglio diretto. La prova di taglio diretto è finalizzata alla determinazione dei parametri di resistenza alla rottura in condizioni drenate. La prova consiste in due distinte fasi propedeutiche. La prima consiste nel sottoporre ogni provino ad un carico verticale ciascuno, registrando i cedimenti ad intervalli temporali logaritmici e fornendo utili informazioni riguardo il grado di consistenza, la velocità e l'entità dei cedimenti. Di seguito viene fornita le elaborazioni dei valori di resistenza alla rottura ed infine i parametri angolo di attrito e coesione drenata.

S1 C1 da m 5.00 – 5.50

Prova di taglio diretto – Valori di Picco

Carico applicato (kPa)	98.07	196.13	294.20
Tensione a rottura (kPa)	79,60	154,95	231,27
Sp. Oriz. A rottura (mm)	5,88	5,80	5,71

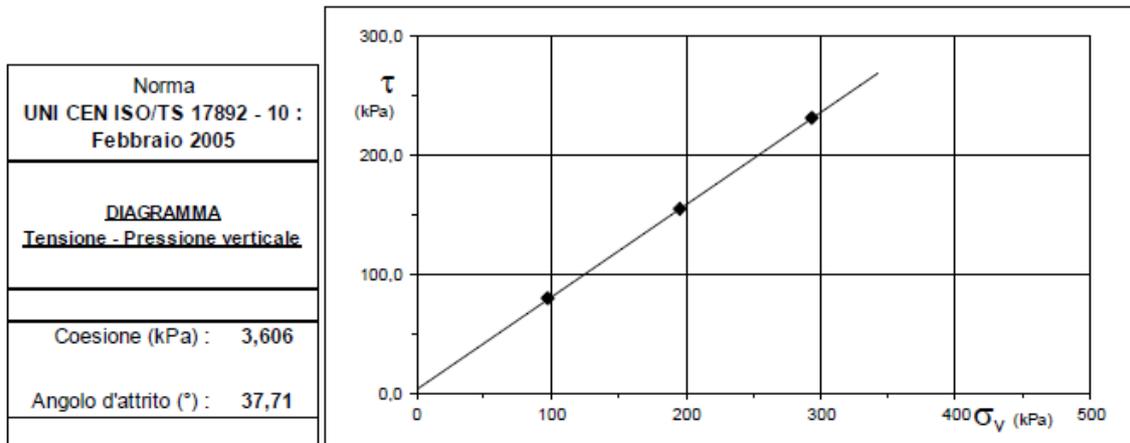


Figura 21 - S1 C1 - Risultati prova taglio diretto (picco)

S2 C1 da m 5.00 – 5.50
Prova di taglio diretto – Valori di Picco

Carico applicato (kPa)	98.07	196.13	294.20
Tensione a rottura (kPa)	63,91	118,03	181,60
Spost. Oriz. A rottura (mm)	5,61	5,37	5,75

Norma UNI CEN ISO/TS 17892 - 10 : Febbraio 2005
DIAGRAMMA <u>Tensione - Pressione verticale</u>
Coesione (kPa) : 3,493
Angolo d'attrito (°) : 30,97

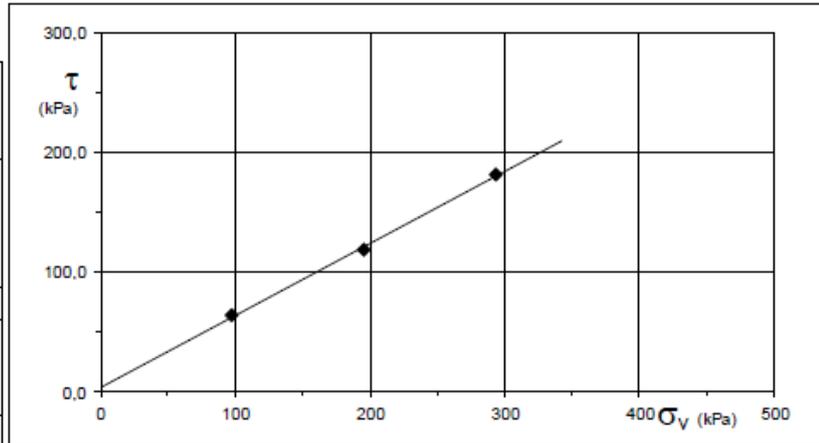


Figura 22 - S2 C1 - Risultati prova taglio diretto (picco)

S2 C2 da m 8.00 – 8.50
Prova di taglio diretto – Valori di Picco

Carico applicato (kPa)	98.07	196.13	294.20
Tensione a rottura (kPa)	72,99	145,99	206,33
Spost. Oriz. A rottura (mm)	5,84	4,03	4,20

Norma UNI CEN ISO/TS 17892 - 10 : Febbraio 2005
DIAGRAMMA <u>Tensione - Pressione verticale</u>
Coesione (kPa) : 8,434
Angolo d'attrito (°) : 34,21

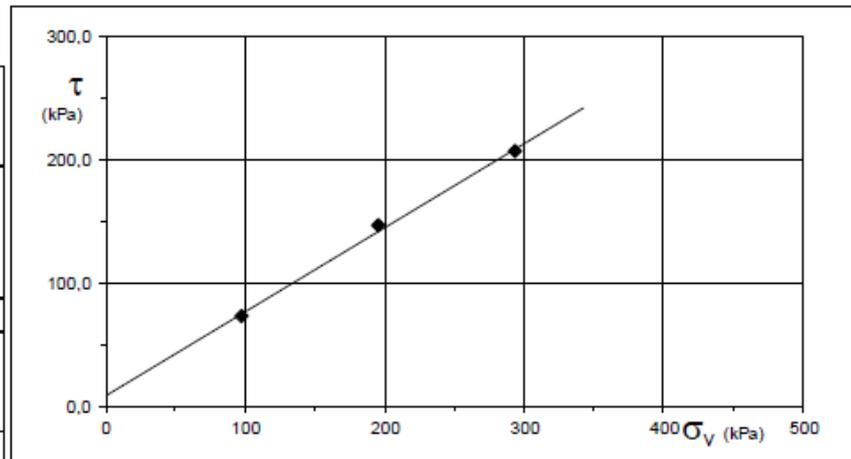


Figura 23 - S2 C2 - Risultati prova taglio diretto (picco)

S2 C3 da m 12.00 – 12.50

Prova di taglio diretto – Valori di Picco

Carico applicato (kPa)	98.07	196.13	294.20
Tensione a rottura (kPa)	64,38	120,45	184,37
Spost. Oriz. A rottura (mm)	3,00	6,31	5,76

Norma UNI CEN ISO/TS 17892 - 10 : Febbraio 2005
DIAGRAMMA <u>Tensione - Pressione verticale</u>
Coesione (kPa) : 3,078
Angolo d'attrito (°) : 31,46

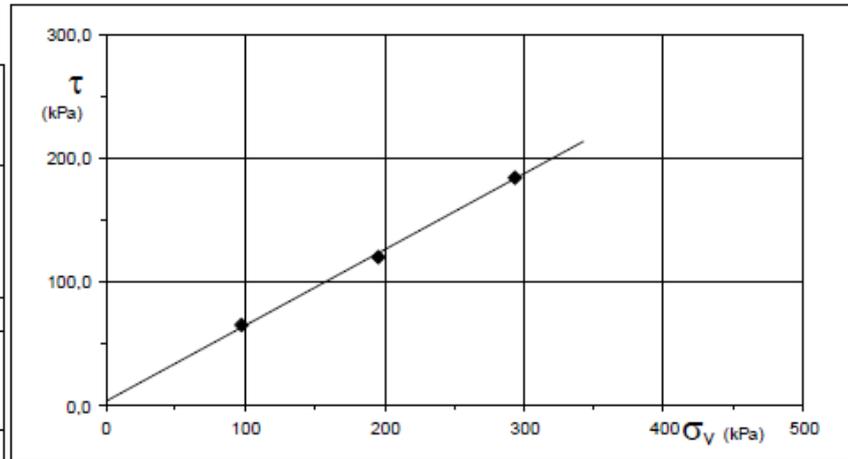


Figura 24 - S2 C3 - Risultati prova taglio diretto (picco)

S3 C1 da m 5.00 – 5.50

Prova di taglio diretto – Valori di Picco

Carico applicato (kPa)	98.07	196.13	294.20
Tensione a rottura (kPa)	87,11	122,58	158,93
Spost. Oriz. A rottura (mm)	1,80	1,42	4,29

Norma UNI CEN ISO/TS 17892 - 10 : Febbraio 2005
DIAGRAMMA <u>Tensione - Pressione verticale</u>
Coesione (kPa) : 51,054
Angolo d'attrito (°) : 20,11

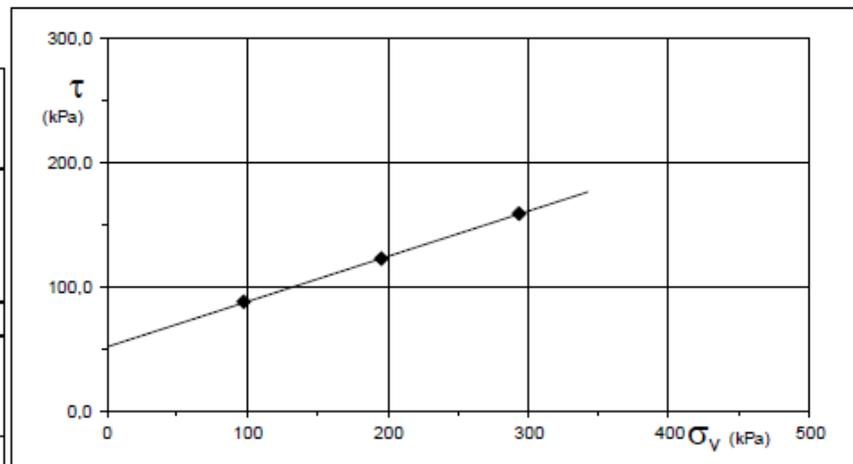


Figura 25 - S3 C1 - Risultati prove taglio diretto (picco)

S3 C1 da m 5.00 – 5.50

Prova di taglio diretto – Valori Residui

Carico applicato (kPa)	98.07	196.13	294.20
Tensione a rottura (kPa)	25,18	46,35	73,50
Spost. Oriz. A rottura (mm)	4,77	5,82	5,94

Norma UNI CEN ISO/TS 17892 - 10 : Febbraio 2005	
DIAGRAMMA <u>Tensione - Pressione verticale</u>	
Coesione (kPa) :	0,022
Angolo d'attrito (°) :	13,84

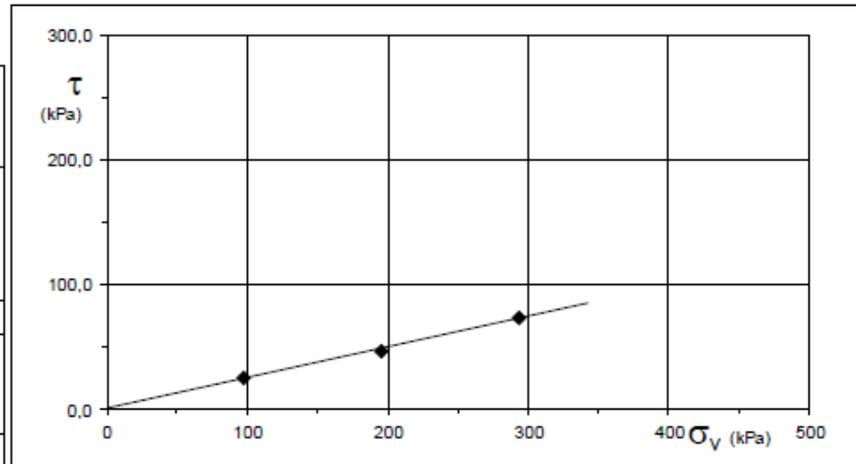


Figura 26 - S3 C1 - Risultati prove taglio diretto (residui)

S3 C2 da m 8.00 – 8.50

Prova di taglio diretto – Valori di Picco

Carico applicato (kPa)	98.07	196.13	294.20
Tensione a rottura (kPa)	69,31	122,02	183,63
Spost. Oriz. A rottura (mm)	5,35	4,65	4,96

Norma UNI CEN ISO/TS 17892 - 10 : Febbraio 2005	
DIAGRAMMA <u>Tensione - Pressione verticale</u>	
Coesione (kPa) :	10,659
Angolo d'attrito (°) :	30,24

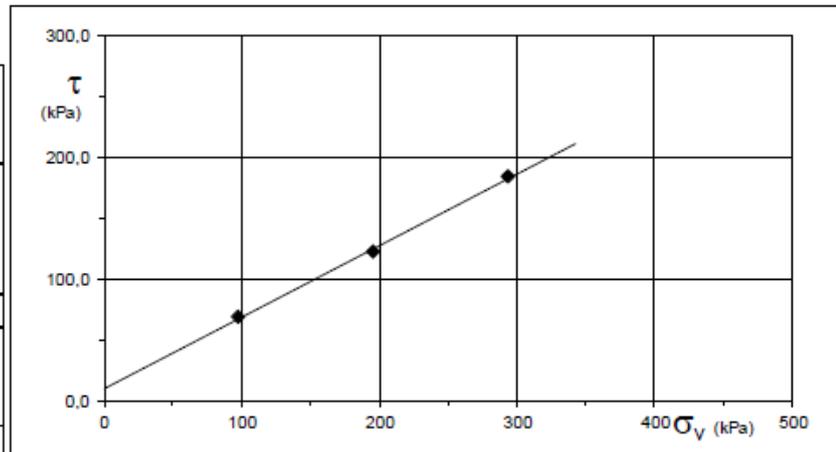


Figura 27 - S3 C2 - Risultati prove taglio diretto (picco)

S3 C2 da m 8.00 – 8.50

Prova di taglio diretto – Valori Residui

Carico applicato (kPa)	98.07	196.13	294.20
Tensione a rottura (kPa)	43,39	89,96	131,65
Spost. Oriz. A rottura (mm)	5,77	6,05	5,69

Norma UNI CEN ISO/TS 17892 - 10 : Febbraio 2005
DIAGRAMMA <u>Tensione - Pressione verticale</u>
Coesione (kPa) : 0,074
Angolo d'attrito (°) : 24,23

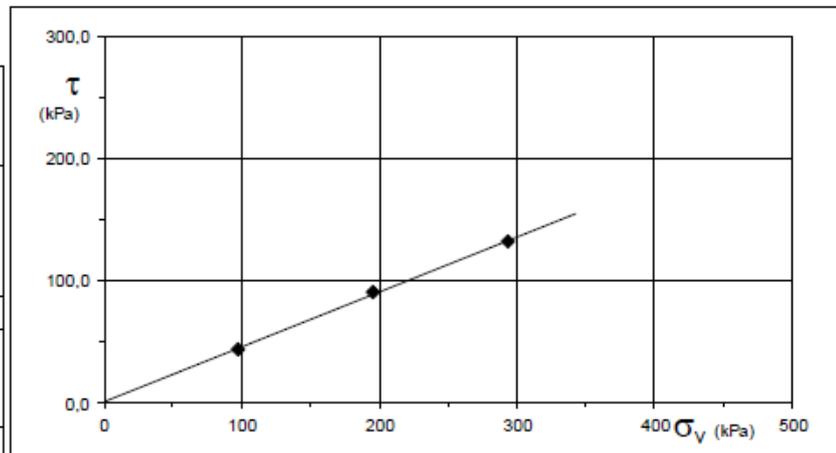


Figura 28 - S3 C2 - Risultati prove taglio diretto (residui)

S3 C3 da m 12.00 – 12.50

Prova di taglio diretto – Valori di Picco

Carico applicato (kPa)	98.07	196.13	294.20
Tensione a rottura (kPa)	83,05	146,44	222,17
Spost. Oriz. A rottura (mm)	4,36	5,58	5,17

Norma UNI CEN ISO/TS 17892 - 10 : Febbraio 2005
DIAGRAMMA <u>Tensione - Pressione verticale</u>
Coesione (kPa) : 11,442
Angolo d'attrito (°) : 35,35

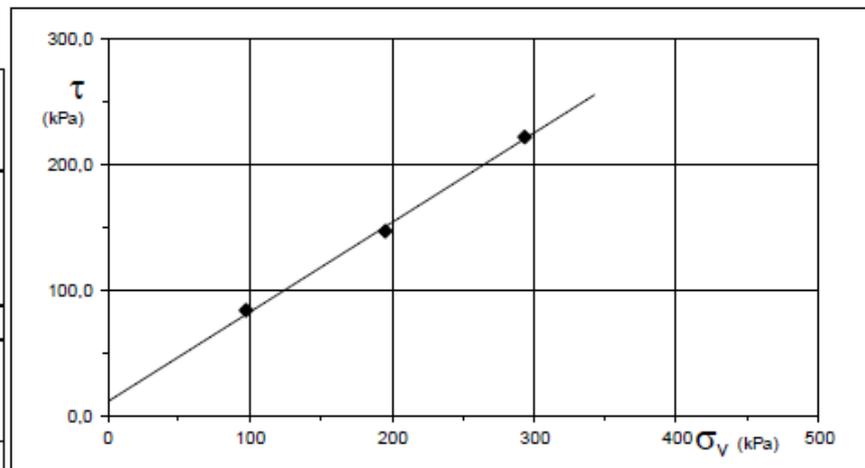


Figura 29 - S3 C3 - Risultati prove taglio diretto (picco)

S3 C3 da m 12.00 – 12.50 Prova di taglio diretto – Valori Residui

Carico applicato (kPa)	98.07	196.13	294.20
Tensione a rottura (kPa)	56,95	115,87	171,74
Spost. Oriz. A rottura (mm)	5,61	5,95	5,60

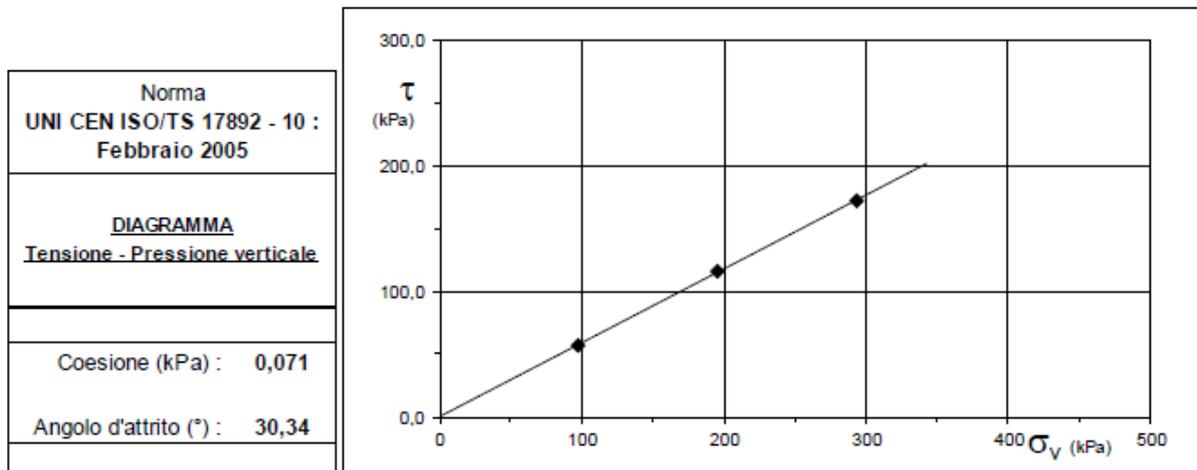


Figura 30 - S3 C3 - Risultati prove taglio diretto (residui)

I risultati delle prove di taglio diretto sono schematizzati nella tabella seguente.

Tabella 5 - Risultati prove di taglio diretto

CAMPIONI INDISTURBATI			RISULTATI			
SONDAGGIO	CAMPIONE	PROFONDITA'	PROVE DI TAGLIO DIRETTO - PICCO		PROVE DI TAGLIO DIRETTO - RESIDUO	
			Coesione [kPa]	Angolo d'attrito [°]	Coesione [kPa]	Angolo d'attrito [°]
S1	C1	5.00 - 5.50	3,606	37,71	/	/
S2	C1	5.00 - 5.50	3,493	30,97	/	/
S2	C2	8.00 - 8.50	8,434	34,21	/	/
S2	C3	12.00 - 12.50	3,078	31,46	/	/
S3	C1	5.00 - 5.50	51,054	20,11	0,022	13,84
S3	C2	8.00 - 8.50	10,659	30,24	0,074	24,23
S3	C3	12.00 - 12.50	11,442	35,35	0,071	30,34

7 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA AI FINI SISMICI

Le Norme Tecniche per le Costruzioni, NTC D.M. del 14/01/2008, e i più recenti aggiornamenti delle N.T.C. del 17/01/2018 propongono una zonazione fondata su un reticolo di punti di riferimento con intervalli di a_g pari a 0.025 g, costruito per l'intero territorio nazionale. Ai punti del reticolo sono attribuiti, per nove differenti periodi di ritorno del terremoto atteso, i valori di a_g e dei principali "parametri spettrali" riferiti all'accelerazione orizzontale e verticale su suoli rigidi e pianeggianti, da utilizzare per il calcolo dell'azione sismica (fattore di amplificazione massima F_0 e periodo di inizio del tratto dello spettro a velocità costante TC^*). L'aggiornamento delle N.T.C. del 17/01/2018 prevede, infatti, che l'azione sismica venga definita sulla base dei dati di pericolosità sismica forniti dall'INGV attraverso le coordinate geografiche del sito. Dalla consultazione di tale mappa interattiva si è evinto che l'area d'interesse ha valori di accelerazione (a_g) che variano tra 0.26g – 0.27g.

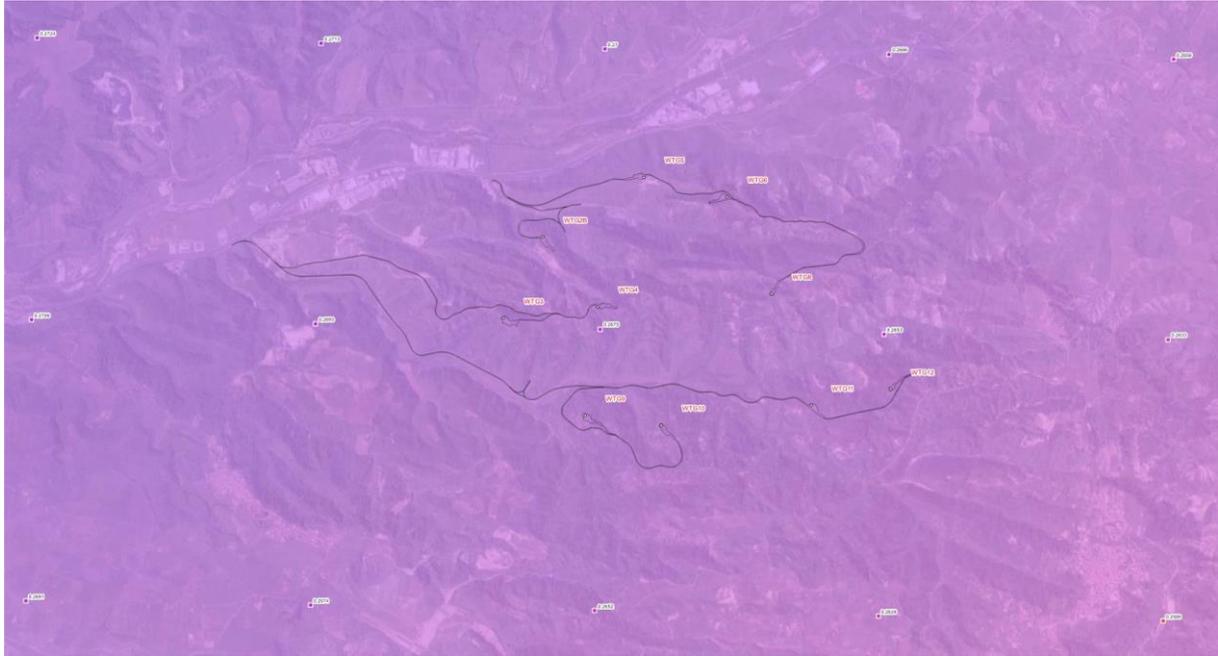


Figura 31 - Parametro di scuotimento sismico della macrozona di intervento, espressa in termini di accelerazione massima del suolo (a_{max}) con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni, riferita a suoli rigidi. Fonte INGV.

Per la caratterizzazione dei siti e per la definizione del profilo verticale di velocità delle onde S, da cui trarre la $V_{s,eq}$ equivalente richiesta dalle NTC 2018 e la ricostruzione del modello sismico per come richiesto dalla normativa tecnica nazionale è stata eseguita un'indagine sismica con metodologia MASW.

Il metodo delle onde superficiali attive (MASW) è un metodo di caratterizzazione sismica basato sull'analisi della dispersione geometrica delle onde superficiali di Rayleigh registrate da geofoni posti lungo uno stendimento sulla superficie del suolo.

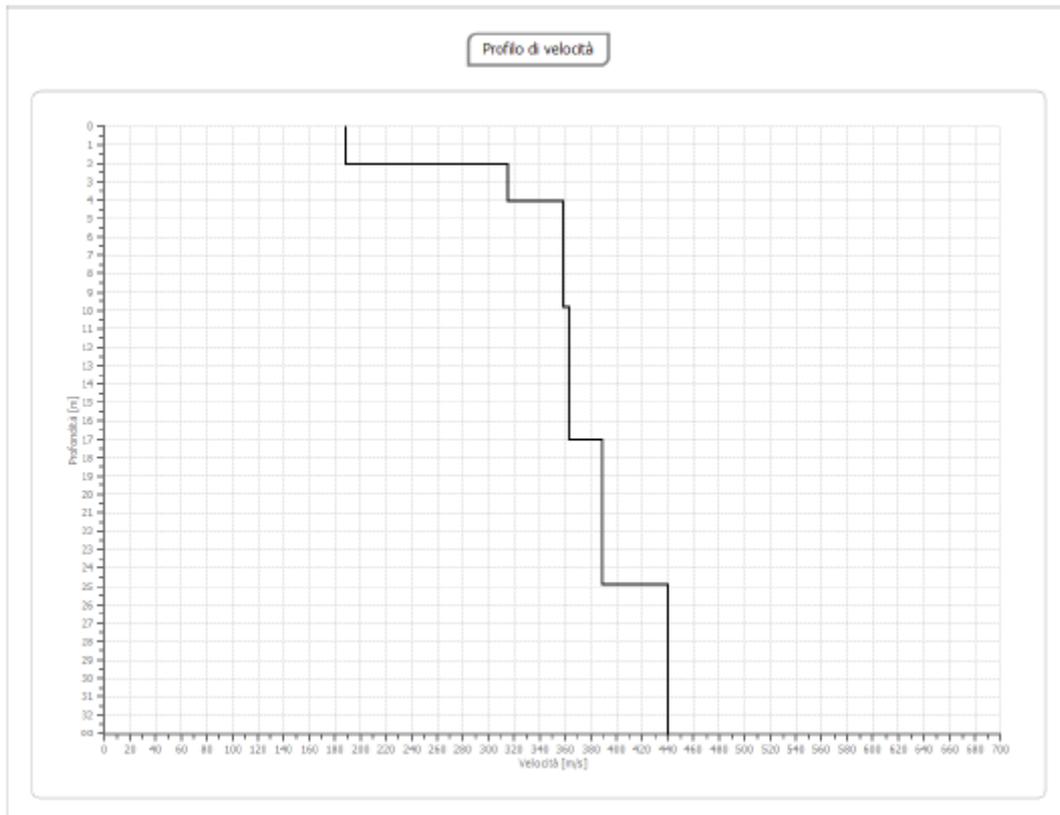
PROSPEZIONI SISMICHE	SISTEMA DI RIFERIMENTO*		PROFONDITÀ PIANO DI POSA [m]	$V_{s,eq}$ [m/s]	CATEGORIA SOTTOSUOLO
	EST	NORD			
MASW 1	622417.781	4306238.221	0.00	352.80	C
MASW 2	623635.321	4306904.638	0.00	277.24	C
MASW 3	625304.076	4307720.253	0.00	367.20	B

*(UTM WGS 84 - FUSO 33N)

A seguire verranno riportati alcuni grafici e tabelle con l'interpretazione delle indagini eseguite.

MASW 1

n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso unità volume [kg/mc]	Coefficiente Poisson	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1	2.06	2.06	1700.0	0.39	445.4	189.1
2	4.10	2.04	1800.0	0.37	693.1	314.8
3	9.81	5.71	1900.0	0.36	765.8	358.2
4	17.03	7.21	2000.0	0.35	756.1	363.2
5	24.87	7.84	2100.0	0.34	789.1	388.5
6	33.00	8.13	2200.0	0.33	873.5	440.0

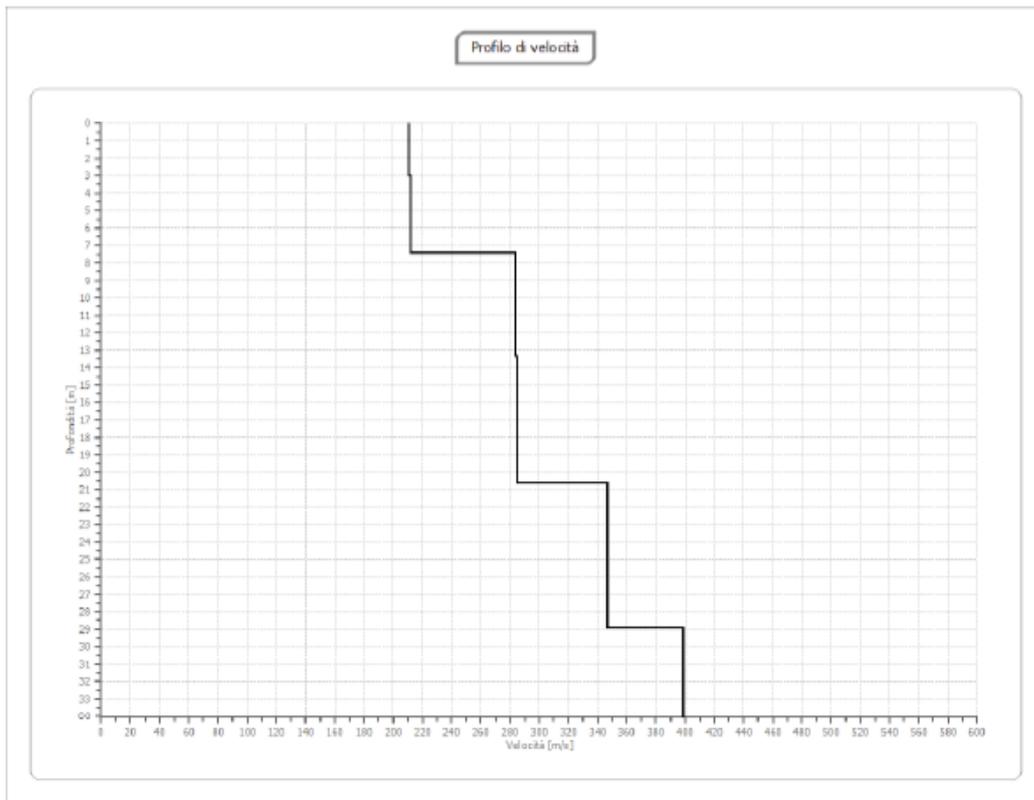


Dal piano campagna fino a circa 2.00 m di profondità si hanno velocità di circa 189.00 m/s, associabile probabilmente a materiale di copertura vegetale frammisto a sabbie limose poco addensate. Al di sotto e fino a 10 m di profondità le velocità delle onde di taglio Vs mostrano valori compresi tra 315 m/s, 358 m/s, tali potrebbero essere associati a sabbie

moderatamente addensate. Da 10 m e fino alla massima profondità investigata (33.00 m), le velocità delle ondi taglio Vs variano tra 388 m/s e 440 m/s, associabili probabilmente alle stesse granulometrie, ma con un maggior grado di addensamento.

MASW 2

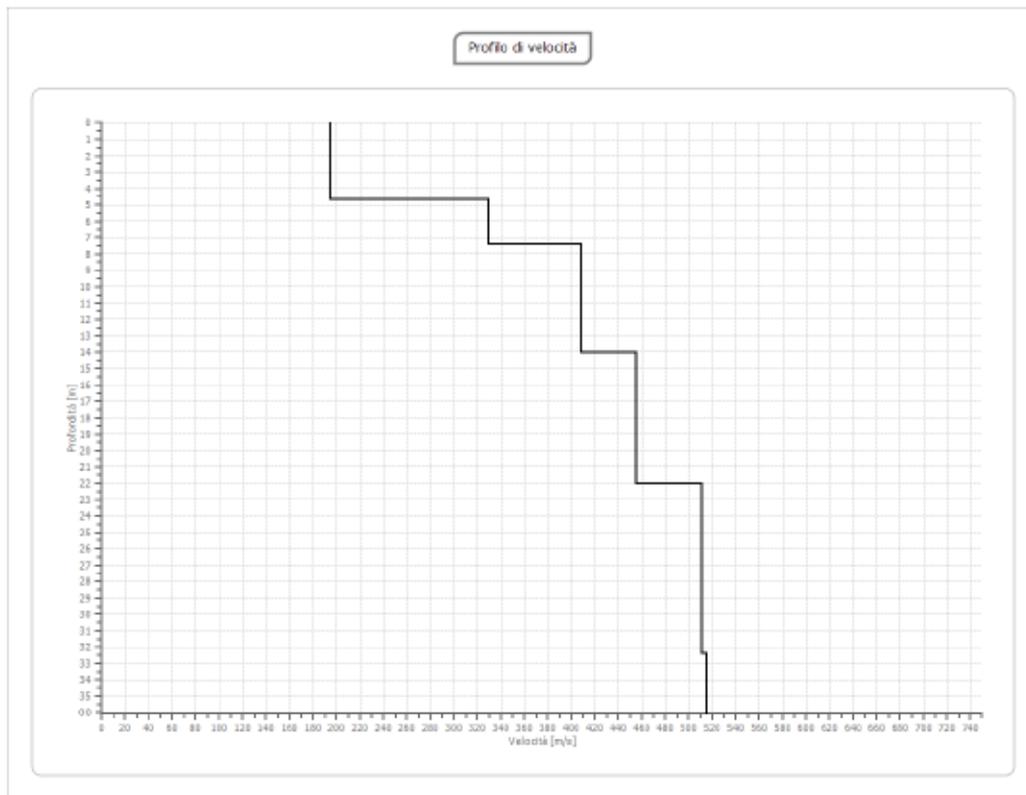
n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso unità volume [kg/mc]	Coefficiente Poisson	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1	3.03	3.03	1700.0	0.39	495.2	210.3
2	7.45	4.42	1800.0	0.37	466.2	211.8
3	13.34	5.90	1850.0	0.36	606.8	283.8
4	20.62	7.28	1900.0	0.35	593.7	285.2
5	28.94	8.31	1950.0	0.34	704.4	346.8
6	34.00	5.06	2000.0	0.33	791.0	398.4



Dal piano campagna fino a circa 21.00 m di profondità si hanno velocità delle onde S variabili tra 210 m/s e 285 m/s, associabile probabilmente a materiale di copertura vegetale frammisto a sabbie limose da poco addensate a moderatamente addensate. Al di sotto e fino alla massima profondità investigata (34.00 m), le velocità delle ondi taglio Vs variano tra 347 m/s e 398 m/s, associabili probabilmente alle stesse granulometrie, ma con un maggior grado di addensamento.

MASW 3

n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso unità volume [kg/mc]	Coefficiente Poisson	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1	4.69	4.69	1800.0	0.39	459.0	194.9
2	7.41	2.72	1900.0	0.43	940.7	329.7
3	14.06	6.64	1950.0	0.42	1100.6	408.8
4	22.03	7.97	2000.0	0.41	1165.1	455.0
5	32.39	10.37	2100.0	0.40	1251.9	511.1
6	35.00	2.61	2200.0	0.40	1261.8	515.1



Dal piano campagna fino alla profondità di circa 4 m si hanno velocità delle onde S pari a 195 m/s, associabile probabilmente a materiale di copertura vegetale frammisto a sabbie limose poco addensate. Al di sotto e fino a circa 8 m si hanno velocità delle onde di taglio pari a 330 m/s, associabile probabilmente a limi sabbiosi consistenti. Da 8 m e fino a 22 m, le velocità delle onde di taglio variano tra 409 m/s e 455 m/s, associabili a sabbie addensate con inglobati frammenti di rocce. Da 22 m e fino alla massima profondità investigata (35.00 m), le velocità delle ondi taglio Vs variano tra 455 m/s e 515 m/s, associabili probabilmente a limi argillosi estremamente consistenti.

Sulla base delle risultanze delle indagini geognostiche eseguite e dei dati ottenuti nelle fasi di rilievo, e ai fini della definizione delle azioni sismiche di progetto, i terreni investigati con le MASW 1 e 2 appartengono alla categoria di suolo 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.

Quelli investigati con la MASW 3 appartengono, invece, alla categoria di sottosuolo 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.

8 MODELLO GEOTECNICO

Sulla base dei risultati delle campagne di indagini geognostiche precedentemente descritte, è stata predisposta la caratterizzazione geotecnica dei terreni, opportunamente accorpata in unità geotecniche.

Per quanto concerne il regime delle pressioni interstiziali le indagini condotte hanno permesso di appurare che, nella parte di sottosuolo interessato, esse sono nulle.

Di seguito si riporta la tabella del modello geotecnico nella quale vengono riportati i valori medi delle caratteristiche fisico-meccaniche dei profili indagati.

Tabella 6 - Parametri geotecnici medi assegnati ai terreni

PARAMETRI GEOTECNICI MEDI ASSEGNATI AI TERRENI								
CAMPIONI INDISTURBATI		CARATTERISTICHE FISICHE			CARATTERISTICHE MECCANICHE			
CAMPIONE	PROFONDITA'	w (%)	γ (KN/m ³)	γ_s (KN/m ³)	ϕ (°)	c' (Kpa)	ϕ res (°)	c' res (Kpa)
S1 C1	5.00 - 5.50	12,27	19,198	26,25	3,606	37,71	/	/
S2 C1	5.00 - 5.50	11,44	18,122	26,32	3,493	30,97	/	/
S2 C2	8.00 - 8.50	7,39	18,776	26,356	8,434	34,21	/	/
S2 C3	12.00 - 12.50	12,66	17,863	26,197	3,078	31,46	/	/
S3 C1	5.00 - 5.50	21,55	19,77	26,752	51,054	20,11	0,022	13,84
S3 C1	8.00 - 8.50	18,36	19,293	26,427	10,659	30,24	0,074	24,23
S3 C3	12.00 - 12.50	16,58	19,811	26,391	11,442	35,35	0,071	30,34

9 CONCLUSIONI

Tale analisi geotecnica basata su sondaggi e relative prove di laboratorio dovrà essere ampliata nella successiva fase progettuale, mediante un piano di indagini – sia geofisiche che geognostiche - che prevedrà l'esecuzione delle stesse anche in altre aree interessate dalla realizzazione dell'impianto eolico, in tal modo sarà possibile definire con precisione il modello geologico-geotecnico e consentire quindi una progettazione in fase esecutiva coerente alla realtà.