



Eco Service Consulting S.r.l.
Sede Legale ed Operativa: Via Mazzini, 151 - 67051 AVEZZANO (AQ)
Tel. n° 0863.33313 Fax n° 0863.440126

REGIONE SICILIA
Provincia di CALTANISSETTA

Comune di BUTERA

Società: Mediterranean Wind OffShore S.r.l.



PROGETTO: CONNESSIONE ALLA RTN DEL "PARCO EOLICO OFF-SHORE DEL GOLFO DI GELA" DA 163,8 MVA DI BUTERA (CL), CON STAZIONE DI TRASFORMAZIONE 30/150 kV E CONSEGNA 220(380)/150 kV (TERNA) SITA NEL COMUNE DI BUTERA (CL)

CODICE ELABORATO: 97758_ESER019

NOME ELABORATO: RELAZIONE GEOLOGICA ED IDROGEOLOGICA

IL GEOLOGO

DOTT. PIETRO MONTANELLI



Data 13/03/2013

REV.0001

SOMMARIO

PREMESSE	2
INQUADRAMENTO GEOGRAFICO	4
LINEAMENTI GEOMORFOLOGICI	5
GEOLOGIA DELL'AREA IN ESAME	7
TETTONICA	11
ASPETTI IDROGEOLOGICI E CLIMATICI	12
ASPETTI SISMICI	13
LINEAMENTI GEOTECNICI.....	28
CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE	29

PREMESSE

L'entroterra di Gela (CL), il territorio limitrofo del Comune di Butera (CL) e quello di Licata (AG) nonché le loro coste e il tratto di mare adiacente, negli ultimi anni sono stati oggetto di approfonditi studi anemometrici le cui lusinghevoli risultanze hanno indotto la *Mediterranean Wind OffShore S.r.l.* ad approntare un progetto di campo eolico *off shore*, per lo sviluppo di energia eolica.

L'energia eolica nell'ultimo decennio ha operato profondi cambiamenti nel settore energetico diversificandosi dalle tradizionali fonti di approvvigionamento.

Il principio base che utilizza come fonte il vento per la produzione di energia elettrica è la trasformazione dell'energia cinetica del vento in energia meccanica che viene utilizzata per azionare i generatori elettrici. Il dispositivo che realizza di fatto la trasformazione dell'energia cinetica in energia meccanica e la sua conversione attraverso il generatore in energia elettrica, prende il nome di aerogeneratore.

La società Mediterranean Wind OffShore S.r.l., società del gruppo termomeccanica, nell'approntare il progetto di cui sopra ha conferito allo scrivente Dott. Pietro Montanelli Geologo libero professionista con domicilio fiscale in Misilmeri (PA) Via Serraglio Vecchio n.2, e studio in Marineo (PA) Corso dei Mille 23 regolarmente iscritto all'Albo professionale dell'Ordine Regionale dei Geologi di Sicilia al N.1495, l'incarico per lo **studio geologico** generale da allegare al progetto per la realizzazione della stazione di consegna a servizio del parco eolico off-shore Licata, finalizzato all'iter di approvazione degli Enti competenti e dello studio geologico - tecnico per il progetto esecutivo secondo i punti b2 comma 3, b3, b4 del D.M. 11.03.1988 per le ulteriori approvazioni.

La realizzazione della stazione da installare in località Contrada San Pietro nel Comune di BUTERA (CL) prevede il livellamento di un'area, già peraltro sub-pianeggiante, anche per la posa dei tralicci e dei cavi utili allo scopo.

Il suddetto progetto si inserisce nell'ambito degli impegni assunti con il protocollo di Kyoto nell'ultimo decennio del secolo scorso, da parte dell'Italia per la riduzione nei prossimi anni delle emissioni di gas-serra nell'atmosfera mediante l'utilizzo di fonti rinnovabili di energia finora trascurate (tra queste la solare, l'eolica, la marina etc.).

Il presente studio geologico generale, propedeutico al progetto di cui alla presente, tende ad evidenziare gli aspetti morfologici, geologici, litologici e idrogeologici sia dell'area direttamente sia di quelle circostanti, ed è parte integrante di tutti gli atti progettuali ai sensi del D.L. 11/03/1988 e successiva circolare applicativa LL.PP. n° 30483/88.

Lo studio si avvale quale supporto cartografico della Carta Tecnica Regionale (CTR) in scala 1/10.000 e dell'Ortofotocarta Digitale,,

Per l'espletamento dell'incarico, oltre che a consultare la bibliografia geologica dei luoghi, è stato necessario eseguire con l'ausilio della cartografia di base I.G.M. 1/25.000 tavolette "Butera" F. 272 IV° S.E., "Manfria" F.272 III° N.E., "Monte Gibiscemi" F.272 I° S.O. e "Ponte Olivo" F. 272 II° N.O. Castello Falconara F. 272 III NO M. Dei Drasi F. 272 IV S.O. un rilevamento geologico di dettaglio della zona. Si sono acquisiti dati sufficienti per la definizione delle condizioni geologico - geomorfologiche, litotecniche e idrogeologiche del sito, integrati da una campagna sismica, di tipo passivo, condotta in sito per la microzonazione degli ambiti scelti e da dati provenienti sia da precedenti lavori eseguiti in zona sia dall'osservazione, in loco, di

sezioni e tagli naturali e/o artificiali presenti e sul sito in oggetto e nelle immediate vicinanze.

Alla presente vengono quindi allegati:

- Carta Geologica e litotecnica in scala 1:10.000 con sezioni geologiche scala 1:2000
- Sezioni geologiche
- Stralcio catastale
- Stralcio P.A.I.
- Colonna stratigrafica
- Analisi di laboratorio
- Indagine sismica passiva

INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

La conoscenza dei luoghi e la verifica anemologica preventiva hanno indotto i progettisti all'individuazione di alcuni siti ricadenti, come anzi detto, sul golfo di Gela in *off shore* la cui stazione verrebbe ad essere posta in Contrada San Pietro nel Comune di Butera (CL), zona a verde agricolo del vigente strumento urbanistico del predetto Comune, ritenuti idonei per la posa della stazione del parco eolico progettato.

La suddetta località ricade nel Foglio 272 della carta d'Italia edita I.G.M. ricadendo nella tavoletta topografica, "Monte dei Brasi " F. 272 IV SO-in scala 1/25.000. e nella sezione Tecnica Regionale n° 643010

Dalle Carte dei vincoli allegate emerge che l'area in cui viene prevista la stazione di consegna è al di fuori del vincolo idrogeologico per effetto dell'art.1 del R.D.L. 30/12/23 n°3267 (Vedi Carta dei Vincoli Idrogeologici allegata al progetto), oltre che fuori da vincoli quali Siti di Interesse Comunitario SIC) Important Bird Area (IBA) e

Zone Protezione speciale (ZPS) e Beni paesaggistici (vincolo archeologico, fasce di rispetto, laghi etc...)

Nella carta dei Suoli redatta dall'Università di Palermo – Facoltà di Agraria (1988) i terreni interessati dalla stazione del campo eolico di cui al progetto declamato in premessa, vengono classificati *Regosuoli*, in atto a coltura a vigneto.

LINEAMENTI GEOMORFOLOGICI

I territori di Butera (con superficie di 295 kmq) e Licata (estensione di 178.91 kmq) si pongono nella Sicilia meridionale e fanno parte della Provincia di Caltanissetta che si estende fino alle coste del Mar Mediterraneo.

Nel Piano Territoriale Paesistico Regionale (1996) la zona ricade in Area 15) "Area delle pianure costiere di Licata e Gela" ove si evidenzia che *"la piana si innalza verso l'interno lungo la bassa valle del Gela – Maroglio e dell'Acate, trapassando dai materiali alluvionali a quelli pliocenici di formazione marina conformati a ripiano o terrazza, estreme propaggini dell'altopiano centrale che ne costituisce il limite visivo"*.

La stazione si svilupperà a circa 7 Km (in linea d'area) a nord/est dalla costa di Licata in territorio di Butera (CL) su un'area pressoché pianeggiante attualmente, come detto precedentemente, coltivata a vigneto. L'area è raggiungibile dipartendosi dalla SP n° 48 al Km 11 e percorrendo da qui una strada in parte asfaltata per circa un Km in direzione Nord fino a portarsi a quota 268.2. Da qui si percorre una strada in sterrato in direzione ovest fino a pervenire all'area individuata come area di sedime della stazione.

La stazione di consegna è ubicata in territorio di Butera (CL) ed è catastata al foglio 127 p.lle 19 – 42 – 238.

Dal punto di vista idrografico l'area circostante il sito di imposta è densamente interessata da impluvi di ordine basso che confluiscono in parte direttamente verso sud nel mare mediterraneo e in parte in fiumi e/o torrenti (torrente Cantigaglione) di ordine e grado superiori.

Morfologicamente la sua conformazione penepianeggiante consente per la realizzazione di quanto in progetto di effettuare pochi movimenti terra, fatta eccezione per l'asportazione dei livelli superficiali al fine di attestare le fondazioni sul substrato posto sotto il suolo agrario o di alterazione che dovrebbe garantire buone caratteristiche geotecniche. In tale contesto morfologico, pertanto, non vengono eseguite verifiche di stabilità.

Le quote su cui si imposta l'area oscillano da 290 a 295 m circa s.l.m. La configurazione morfologica generale del territorio in esame è quella tipica delle aree della Sicilia meridionale dove aree collinari con forme dolci o a debole declivio di natura argillosa e sabbiosa contrastano con forme più aspre ed accidentate in corrispondenza degli affioramenti rigidi più litificati delle aree interne. Il sito prescelto per la stazione ricade in prevalenza su marne calcarifere e calcari biancastri (Trubi).

Tutta quanta l'area non manifesta segni o fenomeni indici di instabilità in atto o latente che possano pregiudicare la sicurezza e funzionalità nel tempo di quanto andrà a realizzarsi. Si evidenzia soltanto la normale degradazione fisico chimica degli strati pellicolari superficiali (erosione, dilavamento, soluzione ed idrolisi dei carbonati), del tutto ininfluente ai fini della stabilità globale, ove si consideri la tipologia fondazionale prescelta per le opere in progetto (adeguatamente incassata nel substrato in posto).

Tutti i litotipi presenti, del resto, sono caratterizzati da bassa attitudine all'erosività e si pongono comunque lontani da linee di impluvio di rilievo in corrispondenza delle quali potrebbe esercitarsi un'azione erosiva di rilievo.

A riprova di ciò viene allegato lo stralcio del "Piano Assetto Idrogeologico" dell'Area Territoriale tra il Bacino del F. Gela e il bacino del Torrente Comunelli (076), Bacino Idrografico del Torrente Comunelli (075), Bacino Idrografico del Torrente Rizzuto (074), Area Territoriale tra il bacino del Torrente Rizzuto e il bacino del Fiume Imera Meridionale (073) (Decreto 2006) relativamente all'ambito territoriale interessato dall'opera in progetto, da cui emerge che non si riscontra alcun dissesto in corrispondenza del sito di imposta della stazione del parco eolico.

GEOLOGIA DELL'AREA IN ESAME

Attraverso il rilevamento geologico di dettaglio, eseguito in un'area più vasta di quella direttamente interessata dall'opera in progetto, al fine di avere un quadro geologico d'insieme nel contesto regionale, e la ricerca bibliografica condotta, si è potuta ricostruire la serie stratigrafica locale di seguito descritta che, tenendo conto degli originari domini ambientali e paleogeografici, ha evidenziato le successioni in affioramento quali termini riconducibili all'ambiente sedimentario e paleogeografico del bacino centrale siciliano noto come "Fossa di Caltanissetta" e che è allungato da NE a SW per circa 140 km ed ha una larghezza che si aggira sugli 80 km. Questo bacino, secondo alcuni Autori, è un graben riempito da un pacco di sedimenti prevalentemente plastici e da colate gravitative di età

compresa tra il Miocene medio ed il Quaternario per uno spessore che si ritiene raggiunga un massimo di 7.500 m.

Nell'Inventario delle Formazioni e delle Unità litostratigrafiche della Sicilia, elaborato negli anni '90 dal 1° Sottocomitato del Comitato Geologico Regionale presso l'Assessorato Territorio e Ambiente, le unità litostratigrafiche presenti vengono ascritte alla **Serie gessoso solfifera** della Sicilia centro meridionale.

La serie gessoso solfifera è una successione di sedimenti prevalentemente evaporitici compresi tra le marne ed argille del Tortoniano superiore e la formazione dei Trubi del Pliocene basale depositatasi in corrispondenza di una crisi di salinità interessante l'area mediterranea.

Le diversità locali nella successione stratigrafica sono state interpretate come variazioni di facies legate soprattutto al relativo isolamento dei singoli bacini lagunari di deposizione.

La successione dei depositi evaporitici non è continua ma è divisibile in due parti per effetto di una deformazione tettonica intramessiniana.

Le zone paleogeografiche evidenziate da diversi Autori sono essenzialmente due: una zona marginale tipicamente sviluppata a SE della linea Agrigento Caltanissetta e a NW dell'allineamento Sciacca Nicosia e una zona di bacino o zona di Cattolica Eraclea.

Andando ad analizzare le varie formazioni della Serie gessoso solfifera possiamo distinguere, in ordine cronologico, dal basso verso l'alto:

- **argille e argille marnose**: si tratta di una complessa formazione avente caratteristiche variabili a seconda della distribuzione geografica e della energia di formazione nell'ambito dell'ambiente di deposizione. Le componenti a volte si presentano

omogenee nella tessitura, a volte si rinviene la presenza di sedimenti grossolani e/o presenza di zonature ed intercalazioni di sabbie che assumono il carattere di lenti. Rappresentano dunque il termine su cui poggia la Serie Gessoso-Solfifera.

- **tripoli**: rappresenta il letto della Serie Gessoso-Solfifera. Si tratta di un'alternanza di diatomiti candide, ricche di resti di pesce, con presenza di marne e calcari più o meno dolomitici; in profondità acquista un colore generalmente scuro per impregnazione di idrocarburi. Si tratta di un deposito euxinico, contenente scarse faune a foraminiferi con prevalenti forme planctoniche e talora, ma raramente, associazioni bentoniche. L'unità passa gradualmente per ispessimento delle intercalazioni carbonatiche al successivo litotipo.

- **calcare di base**: si tratta di un deposito di origine chimica, interpretato da tutti gli Autori, come già detto, come un sedimento di acque basse. I suoi caratteri sono estremamente variabili nell'ambito delle varie zone esaminate. Infatti, mentre in alcuni punti si presenta sotto forma di grossi banchi piuttosto compatti, in altri si presenta invece intensamente fratturato: tra questi due estremi di tipologia bisogna a sua volta sottolineare che a volte si presenta massivo e a volte stratificato (in quest'ultimo caso vi sono dei giunti di stratificazione riempiti di marne diatomitiche verdastre).

- **gessi**: tali litotipi rappresentano il termine ultimo della Serie Gessoso-Solfifera. Sostanzialmente e per un carattere di sintesi se ne possono individuare due tipi: selenitico e balatino. Il primo tipo si presenta in lastre trasparenti (e vanti spessore millimetrico/centimetrico) nelle quali si osservano le caratteristiche geminazioni a ferro di lancia (o a coda di rondine); il secondo tipo

si presenta in strati dati dall'unione di lamine millimetriche, compatti e di colore biancastro.

Intercalato tra i gessi e i successivi sedimenti del Pliocene a volte si trova l'Arenazzolo, costituito da una sabbia arcuosa che rappresenta il termine basale della trasgressione pliocenica.

- "**trubi**": si tratta di depositi di facies pelagica, che si ebbero durante il Pliocene inferiore, conseguenti all'innalzamento della soglia di Gibilterra o all'abbassamento del livello dell'Atlantico, secondo l'ipotesi della glaciazione miocenica di BANDY (1968). Tale litotipo risulta essere costituito da calcare marnoso alternante a marna calcarea, di colore bianco crema e ricchissimo di globigerine. Spesso si presentano fratturati con piani di fratturazione disposti perpendicolarmente ai piani di stratificazione che così risultano di difficile definizione. Lo spessore medio è dell'ordine di parecchie decine di metri.

- **argille azzurre**: sviluppate al di sopra dei trubi, si tratta di argille ed argille marnose grigie o grigio-bluastre in basso e tendenti al giallastro in superficie per fenomeni di alterazione atmosferica e con un crescente contenuto, sempre verso l'alto, del tenore in sabbia. Si osserva, nell'ambito di tale litotipo, soprattutto in senso verticale, una notevole varietà delle caratteristiche litologiche e/o granulometriche. La loro formazione è ascrivibile a fenomeni di colate gravitative.

- **sabbie e calcareniti**: tali depositi, pleistocenici, di colore giallo-rossastro, risultano essere costituiti da sabbie, contenenti livelli ed intercalazioni argillose, verso il basso, più o meno coerenti, arenarie e calcari grossolani sabbiosi: tutti i termini risultano fossiliferi per micro e macro fossili (pecten, ostrea, mitilus, cardium, etc.). si presentano a formare estesi banchi sub-orizzontali, offrendo pertanto sufficienti garanzie di sicurezza ai fini

della stabilità, eccetto che in corrispondenza delle orlature degli stessi al contatto con le sottostanti argille.

Il quadro geologico è chiuso dai depositi lacustri e palustri, ricchi di materia organica, appartenenti al Pleistocene, dalle alluvioni e dal detrito di falda-eluviale.

L'area presa in studio, vedi carta geologica allegata, per la posa della stazione progettata va a ricadere sui depositi denominati "trubi" del pliocene inferiore.

Tale litotipo risulta essere costituito da calcari marnosi alternati a marna calcarea, di colore bianco crema e ricchissimo di globigerine.

Lo spessore medio è dell'ordine di parecchie decine di metri.

TETTONICA

Nello schema geologico della Sicilia, che abbraccia un arco di tempo che va dal Quaternario al Paleozoico, secondo alcuni Autori (Catalano et Alii), tra le principali strutture vi sono quelle rappresentate da sedimenti terrigeni di tipo molassico depositatisi nelle *avanfosse*, quali quelli dei terreni in studio.

Convenzionalmente la Sicilia viene suddivisa in tre elementi tettonici di prim'ordine: **l'Avampaese, l'Avanfossa, la Catena.**

Il primo è costituito da un'area tabulare ubicata in corrispondenza della piattaforma Ibleo-Ragusana.

Esso è caratterizzato da una successione meso-cenozoica radicata ed è attraversato da sistemi di faglie dirette con carattere di trascorrenza.

Verso ovest gli Iblei vengono interrotti dall'Avanfossa che pertanto si ubica nella Sicilia centrale (bacino di Caltanissetta o Enna) e viene evidenziato dalla carta delle isoanomale di Bouguer. La

depressione di Caltanissetta appare come un graben nell'avampese allungato in direzione NW-SE e riempito solo nell'ultimo migliaio di metri da sedimenti clastici del Plioquaternario (sedimenti in affioramento nell'area in studio). Nelle sue parti più profonde, come emerso dai pozzi per ricerca petrolifera che l'hanno attraversato, risulta occupato dall'edificio a falde che vi si immerge riaffiorando ad oriente lungo la direttrice Palermo - Sciacca.

La Catena viene costituita da una serie di coltri di ricoprimento ed affiora nella parte Nord della Sicilia. Le Unità stratigrafico strutturali formanti la Catena avrebbero raggiunto i rapporti reciproci attuali in un intervallo di tempo tra l'inizio del Miocene e l'inizio del Pliocene a seguito di una tettonica attribuita a collisione continentale.

ASPETTI IDROGEOLOGICI E CLIMATICI

Il drenaggio di superficie del territorio investigato viene espletato da una fitta rete idrografica di forma *dendritica*.

Le linee principali di impluvio, che nel contesto dell'ambito di studio sono rappresentate dal Torrente Dell'Agrabona e dal Torrente Marchesa, denotano il loro carattere di corsi d'acqua del tutto precario connesso strettamente alle piovosità.

L'esame morfometrico dei bacini presenti manifesta un'elevata frequenza dei bassi ordini cui segue un'elevata densità di drenaggio.

L'erosione che essi esercitano lungo i versanti viene favorita sia dalla natura geologica degli affioramenti, sia dall'assenza di vegetazione arborea, praticandosi sui suoli prevalentemente colture seminate semplici con sporadiche alberature. In conseguenza di ciò si assiste principalmente a erosioni di fondo delle aste torrentizie.

L'andamento piano - altimetrico delle strutture favorisce il trasporto verso valle delle acque meteoriche che esercitano col tempo

il loro potere di dissoluzione sui suoli di impatto e su cui scorrono. Tali fenomeni caratterizzano l'evoluzione geomorfologica dinamica del territorio.

In base al comportamento idrogeologico sono stati considerati:

- Formazioni caratterizzate da circolazione idrica per fessurazione e carsismo:
- Terreni a permeabilità secondaria elevata;
- Formazioni semipermeabili.
- Formazioni impermeabili.

Dal punto di vista climatico l'area indagata è caratterizzata da un clima temperato caldo con notevole variazione termica tra il mese più caldo e quello più piovoso. Le escursioni termiche risultano massime in inverno e minime nel periodo estivo.

Il regime pluviometrico è del tipo "Oceanico", tipico della Sicilia, essendo caratterizzato da precipitazioni massime in inverno e minime nel periodo estivo.

ASPETTI SISMICI

Il Comune di Butera, non classificato nelle precedenti classificazioni, rientra in Zona 3 nella recente Ordinanza del P.C.M. n.3274 del 20 marzo 2003 (recepita con Del. G. Reg. n. 408 del 19.12.2003 e D.D.G. n. 003 del 15.01.2004).

La progettazione e la costruzione delle opere in progetto, essendo soggette ad azioni sismiche, vengono pertanto disciplinate dalla normativa tecnica per le costruzioni in zone sismiche (D.M. 16 gennaio 1996 e s.m.i.).

Ai fini dell'applicazione della normativa vigente le varie zone sismiche territoriali vengono contrassegnate da un diverso valore del parametro **ag** = accelerazione orizzontale massima sul suolo. I valori di **ag** espressi come frazione dell'accelerazione di gravità **g** da adottare in ciascuna delle zone sismiche del territorio nazionale sono:

ZONA	Valore di ag
1	0,35 g
2	0,25 g
3	0,15 g
4	0,05 g

Per la definizione dell'azione sismica di progetto il substrato di fondazione viene distinto in:

A – Formazioni litoidi o suoli omogenei molto rigidi caratterizzati da valori di **Vs30** superiori a 800 m/s, comprendenti eventuali strati di alterazione superficiale di spessore massimo pari a 5 m.

B – Depositi di sabbie o ghiaie molto addensate o argille molto consistenti, con spessori di diverse decine di metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori **Vs30** compresi tra **360 m/s e 800 m/s**.

C – Depositi di sabbie e ghiaie mediamente addensate, o di argille di media consistenza, con spessori variabili da diverse decine a centinaia di metri, caratterizzati da valori di **Vs30** compresi tra 180 e 360 m/s.

D – Depositi di terreni granulari da sciolti a poco addensati oppure coesivi da poco a mediamente consistenti, caratterizzati da valori **Vs30 < 180 m/s**.

E – Profili di terreno costituiti da strati superficiali alluvionali, con valori di **Vs30** simili a quelli dei tipi C o D e spessore compreso tra 5 e

20 m, giacenti su di un substrato di materiale più rigido con $V_{s30} > 800$ m/s.

Come emerso dal rilevamento geologico, dalle indagini geognostiche precedentemente esposte e soprattutto dal sondaggio sismico effettuato a mezzo tromino, il sottosuolo di progetto rientra nella **tipologia B essendo emerso un valore $V_{s30} = 398$ m/s** (vedi relazione sismica allegata).

Il modello di riferimento per la descrizione del moto sismico in un punto della superficie del suolo è costituito dallo spettro di risposta elastico costituito da una forma spettrale (spettro normalizzato) considerata indipendente dal livello di sismicità, moltiplicata per il valore dell'accelerazione massima ($a_g S$) del terreno che caratterizza il sito.

Lo spettro di risposta elastico della componente orizzontale è definito dalle espressioni seguenti:

$$\begin{array}{ll} 0 \leq T < T_B & \text{Se } (T) = a_g \times S \times [1 + T/T_B \times (\eta \times 2,5 - 1)] \\ T_B \leq T < T_C & \text{Se } (T) = a_g \times S \times \eta \times 2,5 \\ T_C \leq T < T_D & \text{Se } (T) = a_g \times S \times \eta \times 2,5 \times (T_C/T) \\ T_D \leq T & \text{Se } (T) = a_g \times S \times \eta \times 2,5 \times (T_C T_D / T^2) \end{array}$$

Nelle quali:

S fattore che tiene conto del profilo stratigrafico del suolo di fondazione.

η fattore che tiene conto di un coefficiente di smorzamento viscoso equivalente ξ , espresso in punti percentuali, diverso da 5 ($\eta = 1$ per $\xi = 5$):

$$\eta = \sqrt{10 / (5 + \xi)} \geq 0,55$$

T periodo di vibrazione dell'oscillatore semplice,

T_B, T_C, T_D periodi che separano i diversi rami dello spettro, dipendenti dal profilo stratigrafico del suolo di fondazione.

I valori di T_B, T_C, T_D per le componenti orizzontali del moto e per le categorie di suolo di fondazione definite precedentemente sono riportati nella tabella seguente:

Categoria suolo	S	T _B	T _C	T _D
A	1,0	0,15	0,40	2,0
B, C, E	1,25	0,15	0,50	2,0
D	1,35	0,20	0,80	2,0

Lo spettro di risposta elastico della componente verticale è definito dalle espressioni seguenti:

$$0 \leq T < T_B \quad S_{ve}(T) = 0,9 a_g \times S \times [1 + T/T_B \times (\eta \times 3,0 - 1)]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_{ve}(T) = 0,9 a_g \times S \times \eta \times 3,0$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_{ve}(T) = 0,9 a_g \times S \times \eta \times 3,0 \times (T_C/T)$$

$$T_D \leq T \quad S_{ve}(T) = 0,9 a_g \times S \times \eta \times 3,0 \times (T_C T_D / T^2)$$

Con i valori dei parametri dello spettro di risposta elastico della componente verticale secondo la seguente tabella:

Categoria suolo	S	T _B	T _C	T _D
A, B, C, D, E	1,0	0,05	0,15	1,0

Condizioni topografiche

In base alle configurazioni geometriche della superficie topografica vengono individuate quattro categorie di superfici come indicato nel seguente prospetto estrapolato dalle nuove norme tecniche per costruzioni:

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 $i > 30^\circ$

Il terreno in esame per la sua condizione topografica rientra nella Categoria T1.

Spettri di risposta sismica del sito

Le opere strutturali secondo le nuove norme tecniche sulle costruzioni debbono essere adeguatamente progettate con livelli di sicurezza conformi a quanto stabilito nella normativa di riferimento. Le opere e le varie tipologie strutturali devono possedere i seguenti requisiti:

- Sicurezza nei confronti di stati limite ultimi (SLU);
- Sicurezza nei confronti di stati limite d'esercizio (SLE);
- Robustezza nei confronti di azioni eccezionali.

Nei confronti delle azioni sismiche gli stati limite, sia ultimi che di esercizio, sono individuati riferendosi alle prestazioni delle costruzioni nel loro complesso.

In particolare gli stati ultimi d'esercizio si riferiscono a:

- Stato limite di salvaguardia della vita (SLV): a seguito del terremoto la costruzione subisce danni strutturali significativi e a cui si associa una perdita di rigidità nei confronti delle azioni orizzontali;
- Stato limite di prevenzione del collasso (SLC): a seguito del terremoto la costruzione subisce gravi danni strutturali.

Mentre gli stati limite d'esercizio si riferiscono a:

- Stato limite di operatività (SLO): a seguito del terremoto la costruzione non deve subire nel suo complesso danni ed interruzioni d'uso significativi;
- Stato limite di danno (SLD): a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso subisce danni da non compromettere in modo significativo la capacità di resistenza e di rigidità nei confronti delle azioni verticali ed orizzontali.

Gli spettri di risposta sismica di progetto nelle componenti orizzontali e verticali per il sito in studio con i relativi riferimenti alle nuove norme tecniche per le costruzioni ci vengono fornite da specifico programma messo a punto dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici. Il programma si articola in tre fasi ciascuna delle quali prevede la scelta dei parametri richiesti per l'elaborazione dei grafici degli spettri di risposta.

Nella 1^a Fase si individua la pericolosità del sito, nella 2^a viene effettuata la scelta della strategia di progettazione e nella 3^a viene determinata l'azione di progetto.

Il valore di **ag** (accelerazione massima al sito) viene desunto direttamente dalla pericolosità di riferimento fornita dall'INGV mentre **F_o** (valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale) e **T_c*** (periodi di inizio a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale) sono calcolati in modo che gli spettri di risposta elastici in accelerazione, velocità e spostamento forniti dalle NTC approssimino al meglio gli spettri di risposta elastici in accelerazione, velocità e spostamento derivanti dalla pericolosità di riferimento.

Per la C.da San Pietro del Comune di Butera (punto di coordinate Lat. 37.170987 – Long. 14.047995) in cui viene a essere progettata la stazione del parco eolico off shore, per categoria di **suolo "B"** si viene ad avere:

FASE 1. INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DEL SITO

Ricerca per coordinate

LONGITUDINE

LATITUDINE

Ricerca per comune

REGIONE

PROVINCIA

COMUNE

Elaborazioni grafiche

Grafici spettri di risposta

Variabilità dei parametri

Elaborazioni numeriche

Tabella parametri

Nodi del reticolo intorno al sito

Reticolo di riferimento

Controllo sul reticolo

- Sito esterno al reticolo
- Interpolazione su 3 nodi
- Interpolazione corretta

Interpolazione

La "Ricerca per comune" utilizza le coordinate ISTAT del comune per identificare il sito. Si sottolinea che all'interno del territorio comunale le azioni sismiche possono essere significativamente diverse da quelle così individuate e si consiglia, quindi, la "Ricerca per coordinate".

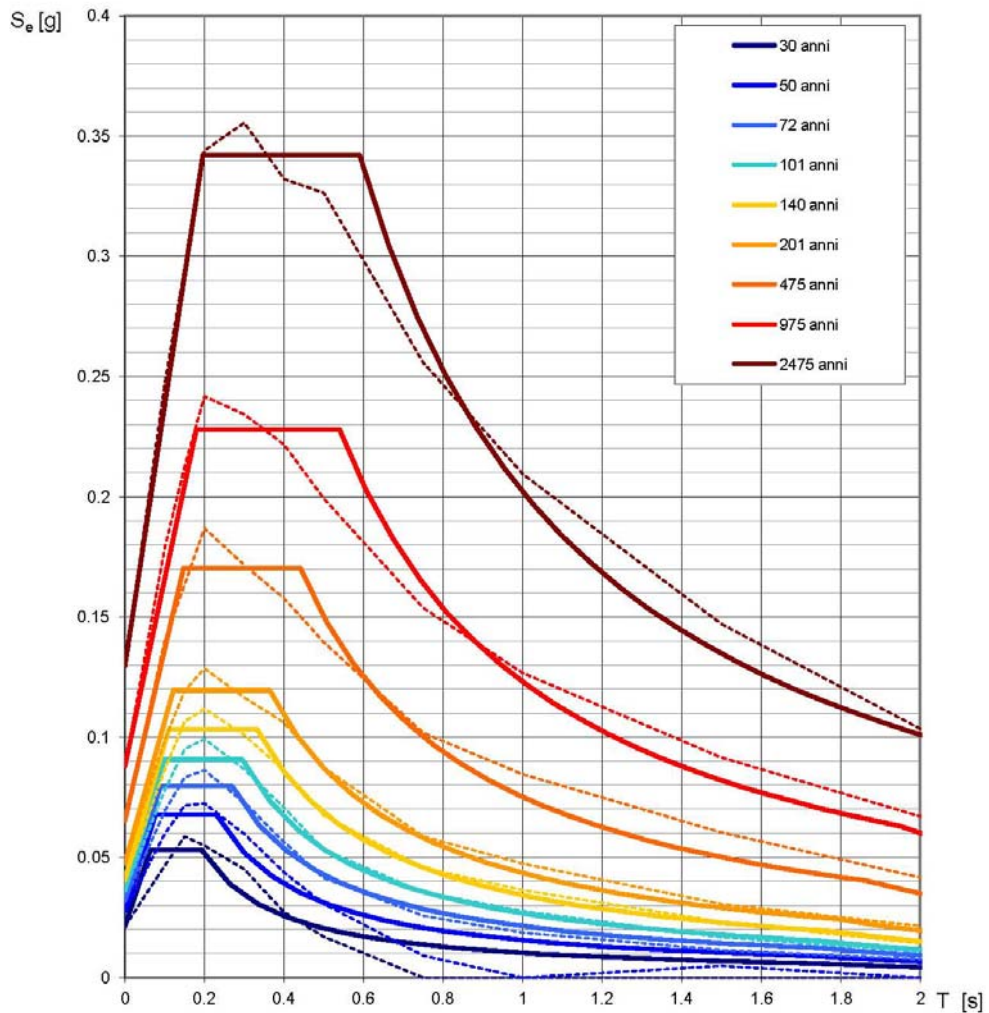
INTRO

FASE 1

FASE 2

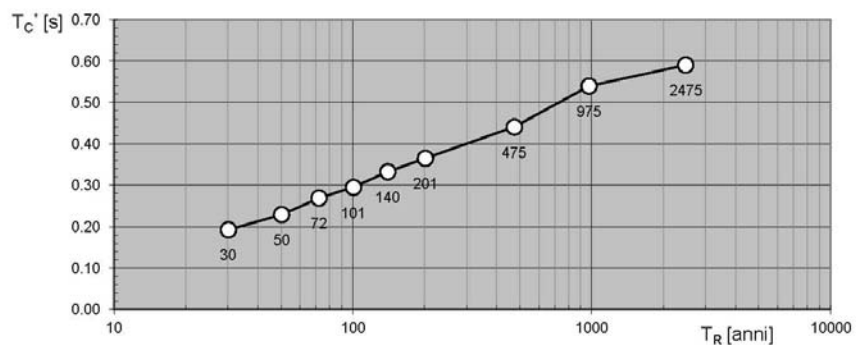
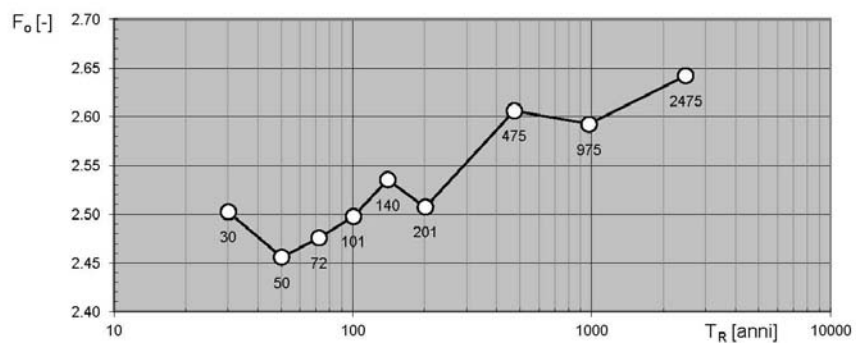
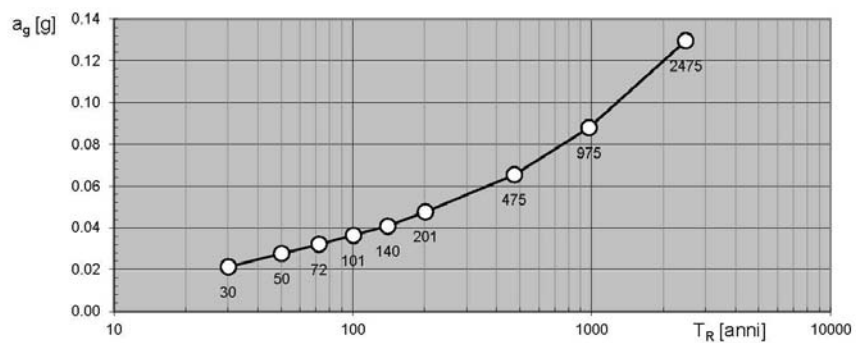
FASE 3

Spettri di risposta elastici per i periodi di ritorno T_R di riferimento



NOTA:
Con linea continua si rappresentano gli spettri di Normativa, con linea tratteggiata gli spettri del progetto S1-INGV da cui sono derivati.

Valori dei parametri a_g , F_o , T_C : variabilità col periodo di ritorno T_R



Valori dei parametri a_g , F_o , T_C per i periodi di ritorno T_R di riferimento

T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_C [s]
30	0.021	2.502	0.193
50	0.028	2.456	0.229
72	0.032	2.476	0.269
101	0.036	2.498	0.295
140	0.041	2.535	0.333
201	0.048	2.507	0.365
475	0.065	2.606	0.441
975	0.088	2.592	0.540
2475	0.130	2.642	0.590

FASE 2. SCELTA DELLA STRATEGIA DI PROGETTAZIONE

Vita nominale della costruzione (in anni) - V_N info

Coefficiente d'uso della costruzione - c_U info

Valori di progetto

Periodo di riferimento per la costruzione (in anni) - V_R info

Periodi di ritorno per la definizione dell'azione sismica (in anni) - T_R info

Stati limite di esercizio - SLE	{	SLO - $P_{VR} = 81\%$	<input style="width: 60px;" type="text" value="30"/>
		SLD - $P_{VR} = 63\%$	<input style="width: 60px;" type="text" value="50"/>
Stati limite ultimi - SLU	{	SLV - $P_{VR} = 10\%$	<input style="width: 60px;" type="text" value="475"/>
		SLC - $P_{VR} = 5\%$	<input style="width: 60px;" type="text" value="975"/>

Elaborazioni

- Grafici parametri azione
- Grafici spettri di risposta
- Tabella parametri azione

Strategia di progettazione

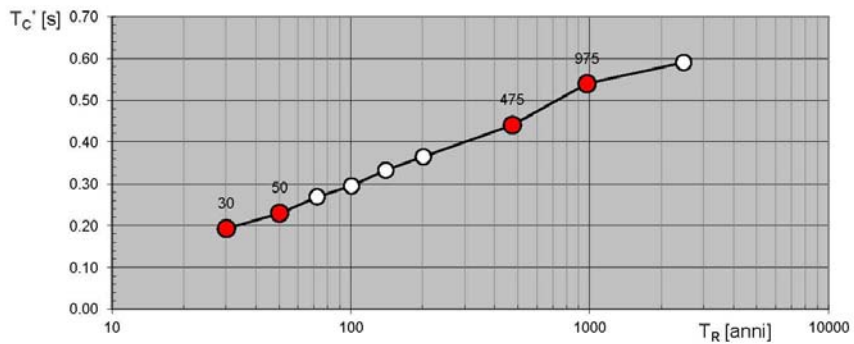
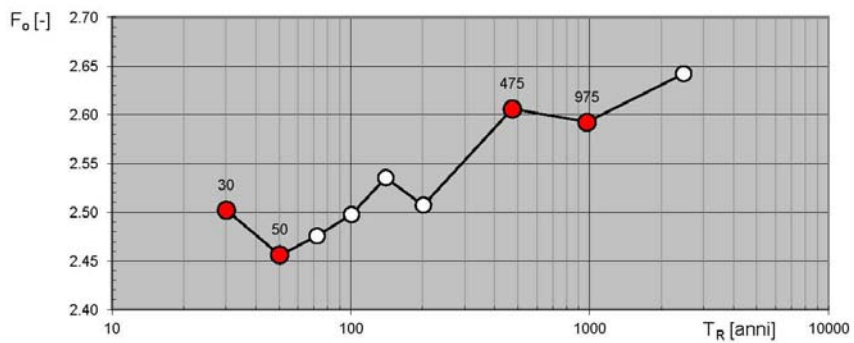
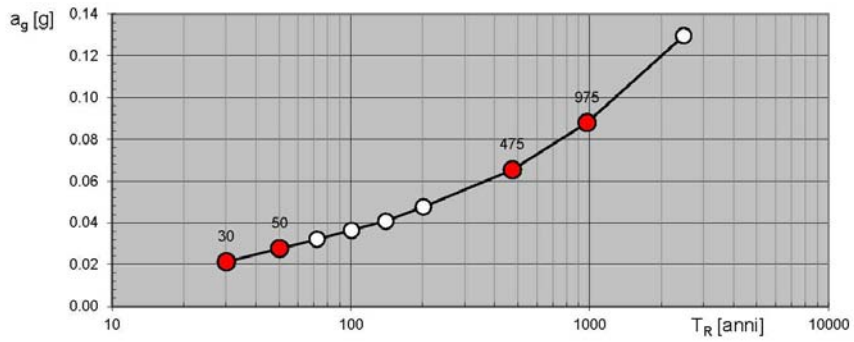
LEGENDA GRAFICO

---□--- Strategia per costruzioni ordinarie

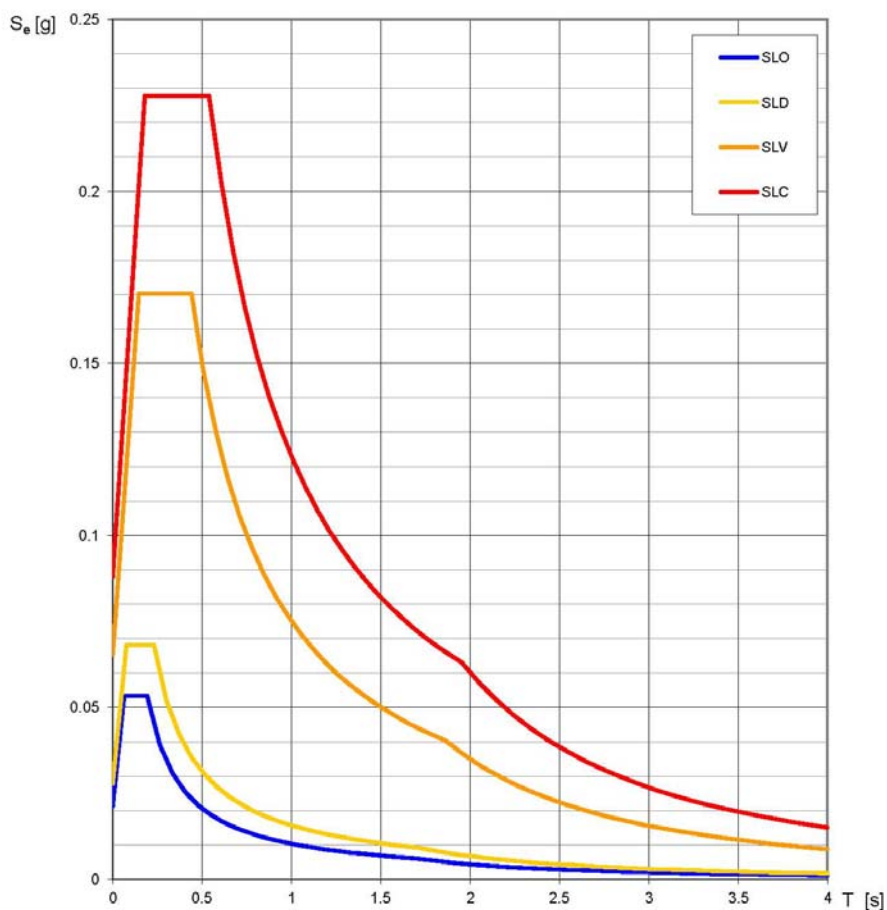
---■--- Strategia scelta

INTRO **FASE 1** **FASE 2** **FASE 3**

Valori di progetto dei parametri a_g , F_o , T_C in funzione del periodo di ritorno T_R



Spettri di risposta elastici per i diversi Stati Limite



Valori dei parametri a_g , F_o , T_C^* per i periodi di ritorno T_R associati a ciascuno SL

SLATO LIMITE	T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_C^* [s]
SLO	30	0.021	2.502	0.193
SLD	50	0.028	2.456	0.230
SLV	475	0.065	2.606	0.441
SLC	975	0.088	2.592	0.540

FASE 3. DETERMINAZIONE DELL'AZIONE DI PROGETTO

Stato Limite
 Stato Limite considerato: SLV ▼ info

Risposta sismica locale
 Categoria di sottosuolo: B ▼ info $S_s =$ 1.200 $C_c =$ 1.296 ▼ info
 Categoria topografica: T1 ▼ info $h/H =$ 0.000 $S_T =$ 1.000 ▼ info
(h=quota sito, H=altezza rilievo topografico)

Compon. orizzontale
 Spettro di progetto elastico (SLE) Smorzamento ξ (%) 5 $\eta =$ 1.000 ▼ info
 Spettro di progetto inelastico (SLU) Fattore q_s 3 Regol. in altezza no ▼ info

Compon. verticale
 Spettro di progetto Fattore q 1.5 $\eta =$ 0.667 ▼ info

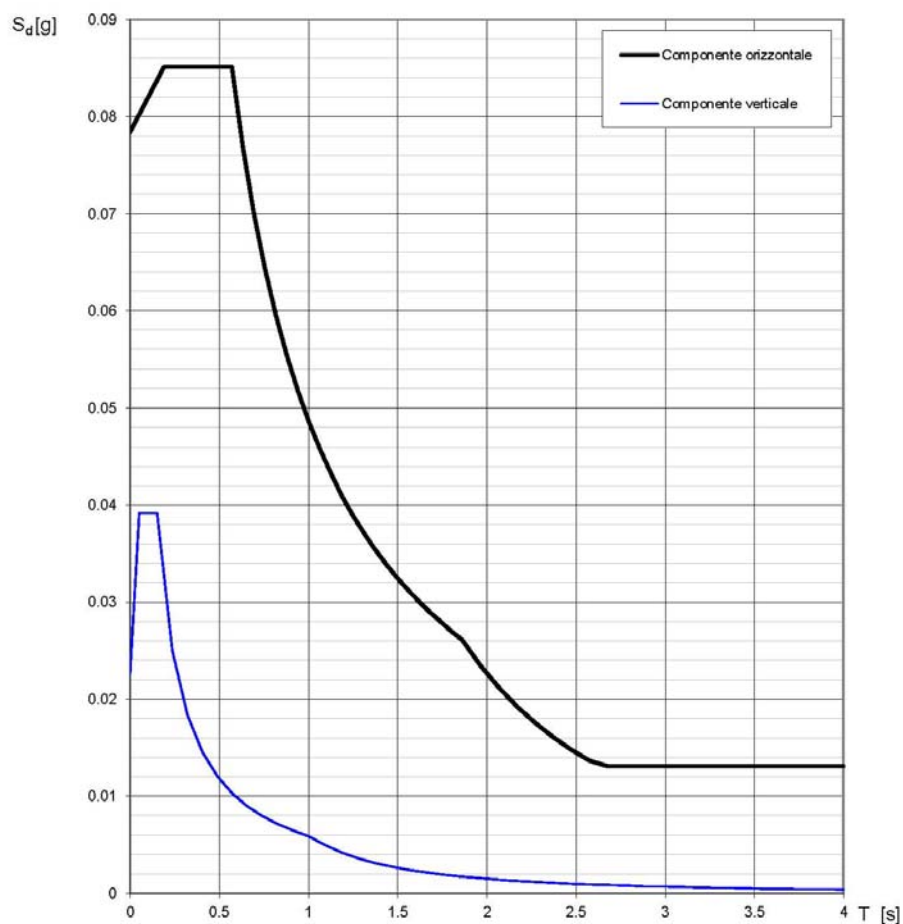
Elaborazioni
 Grafici spettri di risposta
 Parametri e punti spettri di risposta

Spettri di risposta

— Spettro di progetto - componente orizzontale
— Spettro di progetto - componente verticale
— Spettro elastico di riferimento (Cat. A-T1, $\xi = 5\%$)

INTRO
FASE 1
FASE 2
FASE 3

Spettri di risposta (componenti orizz. e vert.) per lo stato limite: SLV



Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato limite: SLV

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
a_g	0.065 g
F_0	2.606
T_C^*	0.441 s
S_S	1.200
C_C	1.296
S_T	1.000
q	2.400

Parametri dipendenti

S	1.200
η	0.417
T_B	0.190 s
T_C	0.571 s
T_D	1.861 s

Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_S \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = \sqrt{10/(5+\xi)} \geq 0,55; \eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.6; §. 3.2.3.5})$$

$$T_B = T_C / 3 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.8})$$

$$T_C = C_C \cdot T_C^* \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.7})$$

$$T_D = 4,0 \cdot a_g / g + 1,6 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.9})$$

Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.4)

$$0 \leq T < T_B \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_0} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left(\frac{T_C T_D}{T^2} \right)$$

Lo spettro di progetto $S_e(T)$ per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico $S_e(T)$ sostituendo η con $1/q$, dove q è il fattore di struttura. (NTC-08 § 3.2.3.5)

Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0.000	0.078
$T_B \leftarrow$	0.190	0.085
$T_C \leftarrow$	0.571	0.085
	0.632	0.077
	0.694	0.070
	0.755	0.064
	0.817	0.060
	0.878	0.055
	0.940	0.052
	1.001	0.049
	1.063	0.046
	1.124	0.043
	1.185	0.041
	1.247	0.039
	1.308	0.037
	1.370	0.035
	1.431	0.034
	1.493	0.033
	1.554	0.031
	1.616	0.030
	1.677	0.029
	1.739	0.028
	1.800	0.027
$T_D \leftarrow$	1.861	0.026
	1.963	0.023
	2.065	0.021
	2.167	0.019
	2.269	0.018
	2.371	0.016
	2.472	0.015
	2.574	0.014
	2.676	0.013
	2.778	0.013
	2.880	0.013
	2.982	0.013
	3.083	0.013
	3.185	0.013
	3.287	0.013
	3.389	0.013
	3.491	0.013
	3.593	0.013
	3.694	0.013
	3.796	0.013
	3.898	0.013
	4.000	0.013

LINEAMENTI GEOTECNICI

La caratterizzazione geotecnica del sottosuolo viene in questa fase acquisita dai dati conseguiti in precedenza attraverso l'analisi di un campione estratto, tramite escavatore, ad una profondità di mt 2.00 – 2.40 e successivamente analizzato.

In sintesi i dati litotecnici dei terreni analizzati, possono essere sintetizzati nel seguente prospetto:

Caratteristiche geotecniche:

➤ Peso di volume	$\gamma = 17,678 \text{ KN/mc}$
➤ Coesione drenata	$c' = 7,17 \text{ KN/mq}$
➤ Angolo di attrito interno	$\phi' = 33^\circ$
➤ Contenuto d'acqua	24,909%
➤ Peso specifico	26,146 KN/mc

(vedi schede allegate)

In fase esecutiva, tuttavia, verrà effettuata ai sensi del Decreto Ministeriale 11.03.1988 e delle Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M 14.01.2008 una campagna geognostica più estesa, vista la consistenza delle opere, con prelievo di ulteriori campioni indisturbati alle diverse profondità al fine di ottenere l'esatta stratigrafia del substrato di sedime delle opere da realizzare fino ad una profondità significativa, nonché la caratterizzazione parametrica geotecnica dell'intera area.

CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Alla luce di quanto suesposto e dai dati emersi nel corso dello studio si evince quanto segue.

Il rilevamento geologico e geomorfologico di superficie hanno evidenziato nel sito di sedime della stazione del campo eolico OffShore in progetto la presenza di terreni tardorogeni della serie evaporitica gessoso solfifera del Messiniano.

Negli ambiti specifici il rilevamento geomorfologico di superficie non ha evidenziato segni o fenomeni indici di franosità in atto o potenziale. Tutta quanta l'area scelta quale ubicazione della cabina di trasformazione ed opere connesse non viene interessata da movimenti franosi recenti o quiescenti. Peraltro l'area si pone al di fuori delle aree in dissesto cartografate nel P.A.I. dell'Area Territoriale tra il Bacino del F. Gela e il bacino del Torrente Comunelli (076), Bacino Idrografico del Torrente Comunelli (075), Bacino Idrografico del Torrente Rizzuto (074), Area Territoriale tra il bacino del Torrente Rizzuto e il bacino del Fiume Imera Meridionale (073) (Decreto 2006) redatto dall'Assessorato Regionale Territorio e Ambiente ai sensi dell'art.1 D.L. 180/98 convertito con modifiche con la L. 267/98 e ss.mm.

L'area come detto in precedenza si presenta pressoché pianeggiante e ciò consente di non eseguire verifiche di stabilità del versante.

La posa in opera dei manufatti (torri, cabine, tralicci ect...) pertanto non comporterà particolari modifiche morfologiche dei suoli né alterazioni superficiali che comprometteranno l'assetto idrogeologico dei luoghi, fatta eccezione per la componente di suolo agrario alterato al fine di poggiare le fondazioni su suoli che presentano caratteristiche geotecniche migliori.

La situazione geomorfologica, litostratigrafica ed idrogeologica emersa dall'indagine di campagna, ancorchè speditiva, sui diversi siti esaminati, consente di esprimere una valutazione positiva per quanto di competenza circa l'idoneità delle aree ad accogliere le opere in progetto. Non esistono, infatti, allo stato attuale, né si prevedono in futuro, rischi di turbative nella regimazione delle acque o di alterazioni nella stabilità d'insieme delle aree in conseguenza dell'installazione della stazione di cui alla presente.

Per quanto attiene le tipologie fondazionali in fase esecutiva saranno eseguite ulteriori indagini dirette puntuali, come da normativa vigente, al fine di consentire la scelta delle soluzioni progettuali più idonee in relazione all'esatta definizione stratigrafica e geotecnica dei litotipi di sedime.

Le analisi tomografiche effettuate in sito hanno consentito (vedi elaborato allegato) di individuare il profilo delle Vs nei primi 30 metri di profondità dal piano di calpestio (Vs30), che è risultato pari a un valore di 398m/s. Pertanto, tenuto conto che tale valore di Vs30 è compreso tra 360 m/s e 800 m/s, al terreno di sedime analizzato si attribuirà la categoria "B" della tabella 3.2.II. e 3.2.III del D.M. 14/01/2008, come riportato nel seguente prospetto:

Categoria sottosuolo (tabella 3.2.II e 3.2.III) D.M. 14- 01-2008	B – <i>Depositi di sabbie o ghiaie molto addensate o argille molto consistenti</i>
---	---

La frequenza di risonanza del sottosuolo è risultata pari a 39.06 +/- 2.02 Hz e, pertanto, in nessun caso quella delle strutture da edificare dovrà risultare coincidente o superiore e ciò al fine di evitare il fenomeno di "accoppiamento" fra le due frequenze di vibrazione che

darebbe luogo all'effetto di amplificazione sismica con grande aumento della sollecitazione sull'edificato.

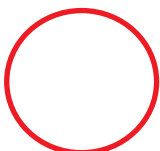
Data 19 marzo 2013

IL GEOLOGO

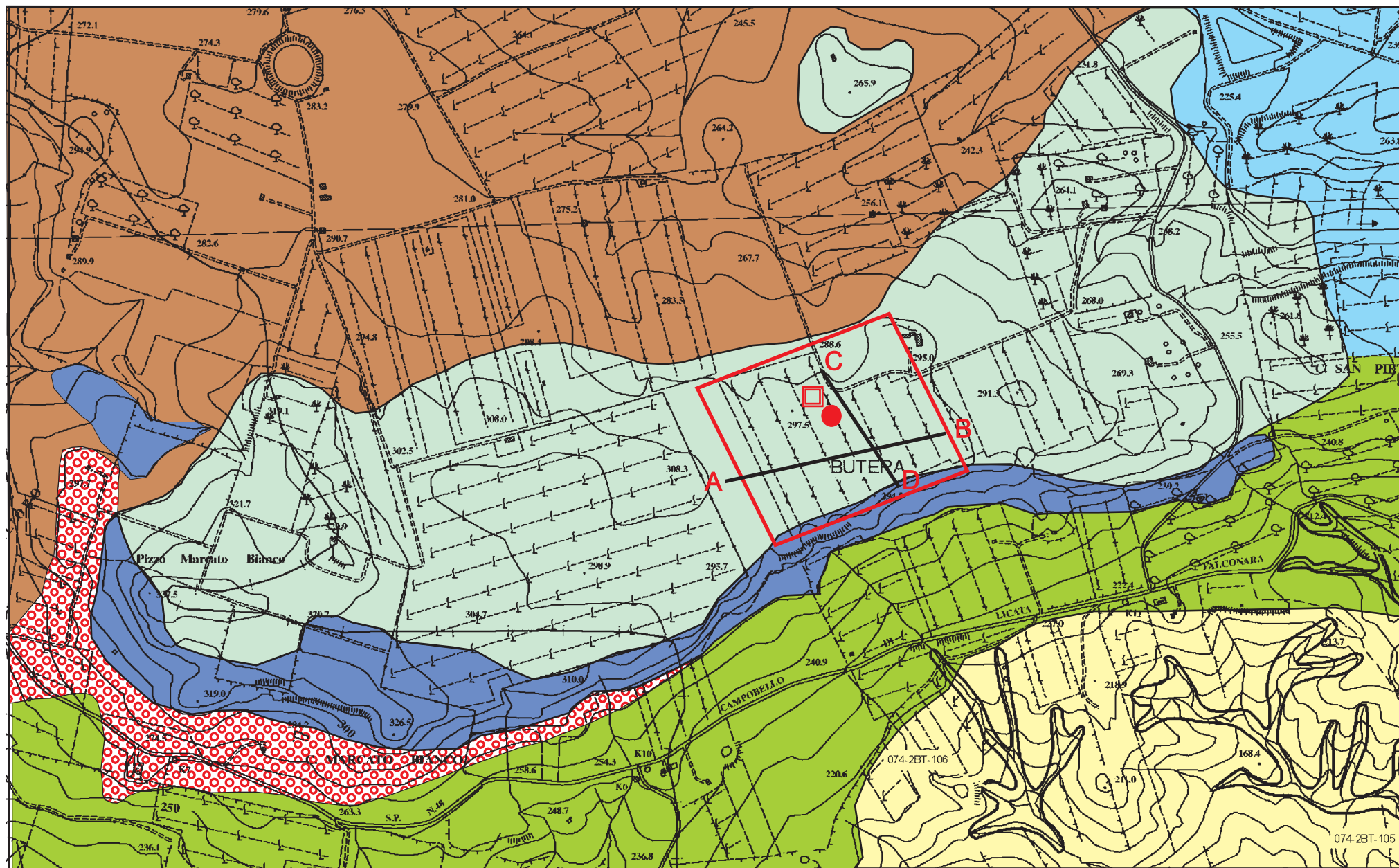





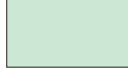








STRALCIO TAVOLETTE SCALA 1:25.000
MONTE DEI BRASI F. 272 IV SO
CASTELLO FALCONARA F. 272IVNO

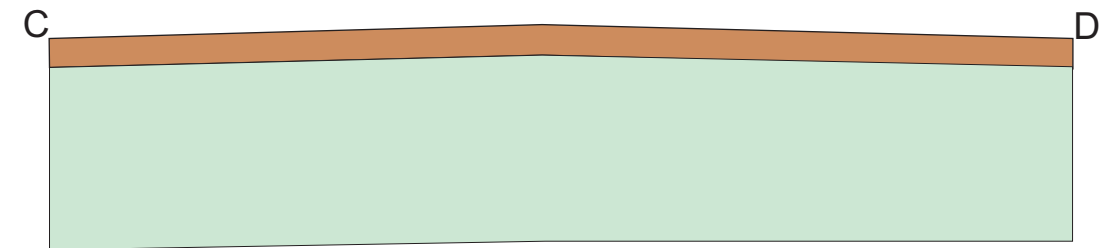
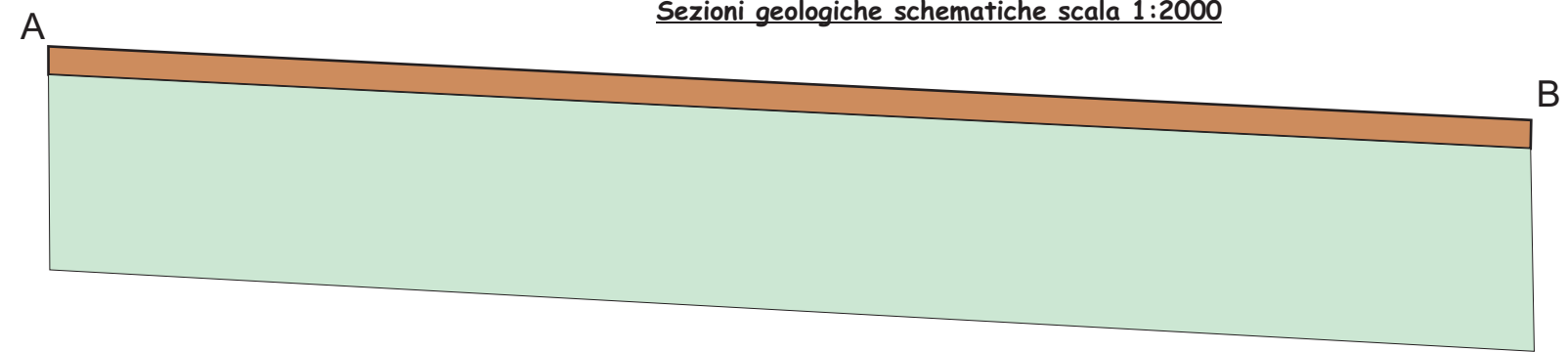




Ubicazione sito in studio



-  Detrito di falda
-  Fondi lacustri
-  Depositi fluviali antichi, collegabili con l'idrografia attuale. sedimenti più o meno stratificati di vecchie fondi lacustri
-  Marne calcariferi e calcari biancastri zeppi di globigerine (TRUBI) Pliocene inferiore
-  Argille e marne grigiastre, talora rossastre o brunastre, con abbondanti Globigerine, zone a Pteropodi e di resti cetacei, più o meno sabbiosi spesso disseminati di cristalli di gesso. Età Messiniano.
-  Calcari (calcare di base) di tipo travertinoide, compatti e brecciati, con stratificazione più o meno evidenti, talora mineralizzati a zolfo; intercalazioni argillose, bituminose ed affioramenti di gesso da solfatazione di calcare solfifero (serie gessoso solfifero). Messiniano
-  Colate argillose intercalate nelle formazioni sottostanti alla serie solfifera soprattutto in quella del Miocene medio, con massi litoidi di varia natura Oligocene inferiore.
-  Ubicazione stazione di consegna
-  Pozzetto geognostico di riferimento
-  Sondaggio sismico passivo

Sezioni geologiche schematiche scala 1:2000



-  Suolo agrario
-  Marne calcariferi e calcari biancastri zeppi di globigerine (TRUBI) Pliocene inferiore

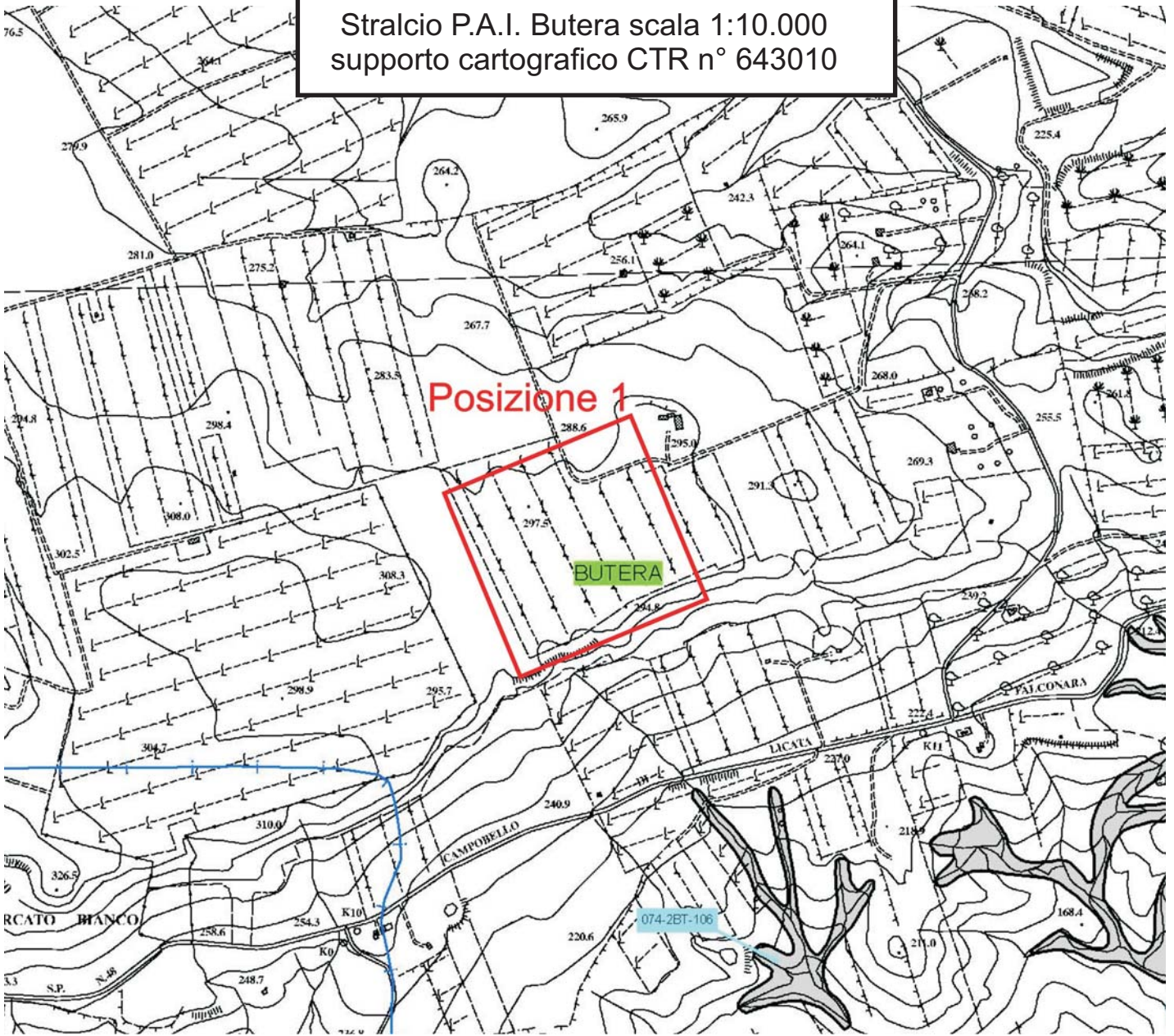
Carta geologica Comune di Butera (CL)

scala 1:10.000



Equidistanza tra le curve di livello 10 m
Supporto topografico: CTR n. 643010

Stralcio P.A.I. Butera scala 1:10.000
 supporto cartografico CTR n° 643010



REPUBBLICA ITALIANA

Regione Siciliana
 Assessorato Territorio e Ambiente
 DIPARTIMENTO TERRITORIO E AMBIENTE
 Servizio 4 "ASSETTO DEL TERRITORIO E DIFESA DEL SUOLO"

**Piano Stralcio di Bacino
 per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.)**
(ART. 1 D.L. 180996 CONVERTITO CON MODIFICHE CON LA L.26768 e ss. mm. ii.)

- Area Territoriale tra il bacino del Fiume Gela e il bacino del Torrente Comunelli (076)
- Bacino Idrografico del Torrente Comunelli (075)
- Bacino Idrografico del Torrente Rizzuto (074)
- Area Territoriale tra il bacino del Torrente Rizzuto e il bacino del Fiume Imera Meridionale (073)

**CARTA DELLA PERICOLOSITA' E DEL
 RISCHIO GEOMORFOLOGICO N° 08**

COMUNE DI BUTERA
 Scala 1:10.000

Anno 2006

LEGENDA

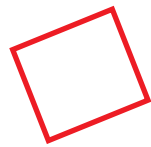
LIVELLI DI PERICOLOSITA'

- P0 basso
- P1 moderato
- P2 medio
- P3 elevato
- P4 molto elevato
- Sito d'attenzione

LIVELLI DI RISCHIO

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

- Limite bacino idrografico
- Limite area intermedia
- Limite comunale



Ubicazione sito in studio

Saggio meccanico di riferimento Committente: Mediterranean Wind offshore		<u>COMUNE DI BUTERA (CL)</u> Località: San Pietro			DATA ESECUZIONE: maggio 2012 Quota s.l.m.: 297.50 mt				
0	Prof. In m.	Simb.	Descrizione	Acqua	Campioni		Rives. Φ 127mm	Percentuale di carotaggio	Note
					Dist.	Indist.			
	2.00		Terreno vegetale inconsistente			2.00		95%	si riscontra presenza di acqua, non abbondante, al passaggio fra le argille alterate e quelle in posto
	5.00		Argille sabbiose scagliettate beige prive di trovanti asciutte, poco consistenti.			2.40			
			Argille marnose grigio - azzurre asciutte e compatte privi di inclusi, consistenti.	4,80				95%	

COMUNE DI BUTERA (CL)

CONNESSIONE ALLA RTN DELLA CENTRALE EOLICA DEL GOLFO DI GELA SU STAZIONE DI CONSEGNA IN COMUNE DI BUTERA

PROVE DI LABORATORIO

Nel presente fascicolo si compendiano i risultati delle prove di laboratorio eseguite su 1 campione indisturbato di terreno, prelevato durante le indagini geognostiche pertinenti la “Connessione alla RTN della centrale eolica di Gela su stazione di consegna in comune di Butera”.

Le prove eseguite sono:

- ❖ contenuto naturale d'acqua (**W_n**);
- ❖ peso dell'unità di volume (**γ**);
- ❖ peso specifico dei grani (**G_s**);
- ❖ granulometria per vagliatura e sedimentazione;
- ❖ prova di taglio diretto di picco in condizione consolidata e drenata (tipo C.D.) per la determinazione della coesione (**c'**) e dell'angolo di attrito interno (**φ'**), espressi in termini di tensioni efficaci.

Il contenuto naturale d'acqua è stato calcolato eseguendo la media di tre valori ottenuti sottoponendo una quantità nota di campione ad essiccamento in stufa a 110°.

Il peso di volume, calcolato mediante una fustella in acciaio di volume noto, è stato ottenuto secondo una media effettuata su tre prove.

Il peso specifico, ottenuto mediante due picnometri da 250 ml, è stato calcolato sulla media di due determinazioni.

La granulometria per vagliatura viene eseguita essiccando 200 g di materiale al forno per un tempo sufficiente. Successivamente si pesano 200 g di materiale ed, a sua volta, vengono immersi in acqua distillata per un periodo sufficiente a disgregare i grani (di solito 24 ore). Si esegue, quindi, il lavato al setaccio n. 200# (apertura 0,075 mm), il trattenuto viene essiccato, sottoposto a setacciatura, durante la quale le varie frazioni vengono pesate.

La granulometria per densimetria ossia il passante al 200# (0,075 mm) ottenuto per via umida viene essiccato per un tempo sufficiente. L'analisi si esegue su provini preparati mediante immersione, per un periodo superiore alle 16 ore, in una soluzione di sodio esametafosfato diluita al 4% in acqua distillata. La miscela, prima dell'analisi, si mescola al miscelatore elettrico. I valori vengono rilevati con densimetro modello 152H.

La prova di taglio diretto (tipo CD) è stata effettuata con l'apparecchio di Casagrande su tre provini cilindrici aventi altezza di 2 cm e diametro 6,35 cm. È stata eseguita la stabilizzazione e successivamente la preconsolidazione dei provini per almeno 24 h, al termine della quale è stato effettuato il taglio di picco.

I carichi applicati durante la fase di preconsolidazione e mantenuti per la successiva fase di taglio, sono stati stabiliti in relazione alla resistenza al pocket penetrometrico determinata durante il riconoscimento litologico; in ogni modo, sono indicati per ogni campione nelle schede di prova.

La velocità di rottura è indicata per ogni campione nella relative schede di prova.

Bompietro, 23/05/2012

Il Direttore Tecnico



APERTURA E DESCRIZIONE CAMPIONE - PROGRAMMA PROVE

N° VER. ACCETTAZIONE	K032
DATA	18/05/2012
N° Id. campione	K064

Pozz.tto	1
Camp.	1A
da metri	2,00
a metri	2,40

Metodo prelievo campione		
Fustella	Carotiere	Manuale
X		

Condizione del campione		
Indisturb.	Semidist.	Disturb.
X		

COMMITTENTE:

OGGETTO: Connessione alla RTN della centrale eolica di Gela su stazione di consegna ecc..

DIR. DEI LAVORI:

LOCALITA': San Pietro - Butera (CL)

DATA PRELIEVO DEL CAMPIONE:

DATA RICEVIMENTO DEL CAMPIONE: 18/05/2012

DATA DI APERTURA DEL CAMPIONE: 18/05/2012

CONTENITORE: fustella

PROGRAMMA PROVE

- | | | |
|--|---|---|
| <input type="checkbox"/> Ca Calcimetria | <input type="checkbox"/> CL Classificazione | <input checked="" type="checkbox"/> td Taglio diretto - Picco |
| <input type="checkbox"/> SO Contenuto Sost. Organiche | <input type="checkbox"/> kd Permeabilità diretta c. v. | <input type="checkbox"/> tr Taglio diretto - Residuo |
| <input checked="" type="checkbox"/> w Contenuto d'acqua | <input type="checkbox"/> ki Permeab. indiretta con edometro | <input type="checkbox"/> cv Compressione edometrica |
| <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> Peso di volume | <input type="checkbox"/> LL Limite di Liquidità | <input type="checkbox"/> ell Compressione non confinata |
| <input checked="" type="checkbox"/> Gs Peso specifico | <input type="checkbox"/> LP Limite di Plasticità | <input type="checkbox"/> uu Triassiale U.U. |
| <input type="checkbox"/> GR Passante al 200# | <input type="checkbox"/> LR Limite di Ritiro | <input type="checkbox"/> cu Triassiale C.U. |
| <input checked="" type="checkbox"/> GR Granulometria per vagliatura | <input type="checkbox"/> Pr Compattazione (Proctor) | <input type="checkbox"/> cd Triassiale C.D. |
| <input checked="" type="checkbox"/> GR Granulometria per sediment. | | |

Colonna stratigraf.	Profond. metri spc	Pock.Pen. kg/cmq	Torvane kg/cmq	Prove eseguite	Descrizione litologica del campione
	- 10 cm			Wn, γ, Gs, TD1, GR	Limo ghiaioso sabbioso, umido, parzialmente alterato, di colore giallo chiaro, consistente ma, al contempo, disgregabile. Presenti vari inclusi marnosi e marnoso-calcarei al massimo di 1,5 cm, di varia forma e geometria.
	- 20 cm			Wn, γ, Gs, TD2, GR	
	- 30 cm			Wn, γ, Gs, TD3, GR	
	- 40 cm				
	- 50 cm				
	- 60 cm				
	- 70 cm				
	- 80 cm				
	- 90 cm				

NOTE:

CARATTERISTICHE FISICHE E VOLUMETRICHE

Ver. Accettazione	K032	Data	18/05/2012	N. ident. del campione:	K064
Committente		Sondaggio	1	Condizioni del campione	
Comune	Butera (CL)	Campione	1A	Indist.	Semidi.
Località	C.da San Pietro	Profondità m.	2,00	2,40	Riman.
				X	

Oggetto: Connessione alla RTN della centrale eolica di Gela su stazione di consegna in comune di Butera

Direzione Lavori:

Data di ricevimento del campione:	18/05/2012	N. ident. del certificato:	K064	Data:	23/05/12
-----------------------------------	------------	----------------------------	------	-------	----------

CONTENUTO D'ACQUA STATO NATURALE - normativa di riferimento: ASTM D2216

Data inizio / fine prova:	18.05. / 19.05.2012
N. ident. del certificato:	K064 a Data:23/05/12

Provino n.		riporta		A	B	C
Pesafiltro n.		riporta		4	6	23
Peso contenitore	Wc	pesa	g	33,46	34,41	32,71
Peso cont. + provino umido	Wcs(w)	pesa	g	55,95	54,66	63,56
Peso cont. + provino secco	Wcs(d)	pesa	g	51,43	50,60	57,49
Peso provino secco	Ws(d)	calcola	g	17,970	16,190	24,780
Peso acqua nel provino	Ww	calcola	g	4,520	4,060	6,070
CONTENUTO D'ACQUA	w	calcola	%	25,153	25,077	24,496
Media =				24,909		

GRANULOMETRIA		
% passante al 4#		96,94
% pass. al 200#		68,38
VALORI CALCOLATI PER VOLUME TOTALE = 1 cm ³		
Peso totale		
Wt	g	1,80
Peso solidi		
Ws	g	1,44
Peso acqua		
Ww	g	0,36
Volume solidi		
Vs	cm ³	0,54
Volume vuoti		
Vv	cm ³	0,46
Volume acqua		
Vw	cm ³	0,36
Volume aria		
Va	cm ³	0,10
Saturazione		
S	%	78,37
Indice dei vuoti		
e		0,85
Porosità		
n	%	45,87
Peso di volume saturo		
γ _{sat}	g/cm ³	1,90
γ _{sat}	KN/m ³	18,65
Peso di volume sommerso		
γ'	g/cm ³	0,90
γ'	KN/m ³	8,84
Peso di volume secco		
γ _d	g/cm ³	1,44
γ _d	KN/m ³	14,15

PESO DI VOLUME NATURALE - normativa di riferimento: BS1377T15

Data inizio / fine prova:	18.05. / 18.05.2012
N. ident. del certificato:	K064 b Data:23/05/12

Provino n.		riporta		A	B	C
Fustella n.		riporta		2	5	4
Volume fustella	Vf	riporta	cm ³	63,36	63,36	63,36
Peso fustella	Wf	pesa	g	84,33	88,166	88,817
Peso fustella + provino	Wfs	pesa	g	200,56	203,34	200,07
Peso provino	Ws	calcola	g	116,230	115,17	111,25
PESO DI VOLUME	γ	calcola	g/cm ³	1,834	1,818	1,756
Media kN/m³=				17,678		

PESO SPECIFICO - normativa di riferimento: ASTM D854-92

Data inizio / fine prova:	18.05. / 21.05.2012
N. ident. del certificato:	K064 c Data:23/05/12

Provino n.		riporta		A	B
Picnometro n.		riporta		2	10
Fattore correz. temperatura		riporta		0,9982	0,9982
Peso provino	Ws	pesa	g.	50	50
Peso picnometro+acqua	Wpw	pesa	g.	766,603	447,417
Peso picn. + provino + acqua	Wpsw	pesa	g.	797,890	478,690
Volume provino	Vs	calcola	cm ³	18,71	18,73
PESO SPECIFICO	Gs	calcola	g/cm ³	2,667	2,665
Media kN/m³=				26,146	

DIAGRAMMA DI FASE		(V=volume, W=peso, t=totale, s=solidi, w=acqua, a=aria)			
VOLUME TOTALE Vt = cm ³ 1,00	Vv cm ³ 0,46	Va cm ³ 0,10	ARIA	Ww g 0,36	PESO TOTALE Wt = g 1,80
		Vw cm ³ 0,36	ACQUA		
	Vs cm ³ 0,54	SOLIDI	Ws g 1,44		

Il Tecnico Sperimentatore

N° di pagine del certificato: 1 di 1

Bell Direttore Tecnico
Geol. Giuseppe Abbate

Scheda descrittiva (D.P.R. 380/2001 art.59)

Numero Verbale di Accettazione: **K032** Data di accettazione: **18/05/2012**

Comittente:

Direttore dei lavori:

Oggetto:

Connessione alla RTN della centrale eolica di Gela su stazione ecc..

Località:

San Pietro - Butera (CL)

Sondaggio/pozzetto n.: **1** Campione n.: **1A**

Profondità da m **2** a m: **2,4**

Laboratorio che ha eseguito la prova:

Geosearch di Abbate Giuseppe & C. s.a.s.

Numero identificativo del certificato: **K064 d**

Data del certificato: **23/05/2012**

Numero di pagine di cui è composto il certificato: **2**

Numero identificativo del campione: **K064**

Descrizione e "storia" del campione:

Limo ghiaioso sabbioso

Metodo di prova utilizzato e sua identificazione:

ASTM D 422-63.

Data di ricevimento del campione: **18/05/2012**

Data di esecuzione della prova - inizio: **18/05/2012**

Data di esecuzione della prova- fine: **23/05/2012**

Il Tecnico Sperimentatore

Il Direttore Tecnico

GESEARCH
Responsabile Laboratorio
Geol. Giuseppe Abbate

allegato 1/2

1/1

Committente: Geol. Morreale Giuseppe

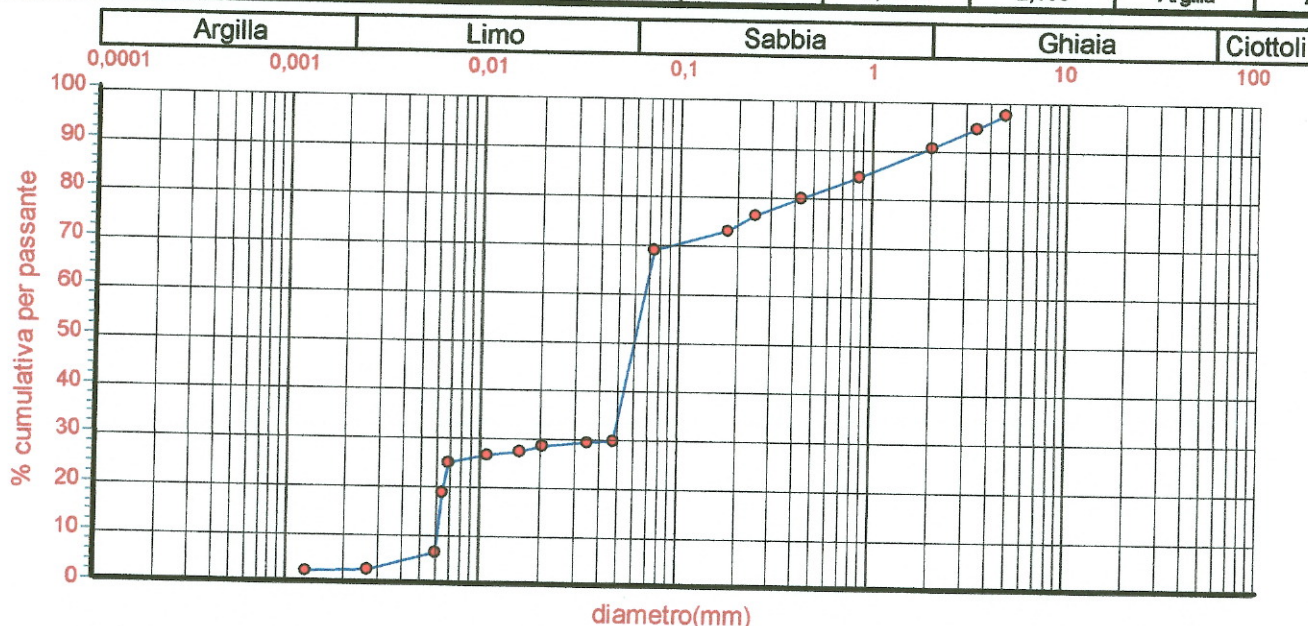
Località: San Pietro - Butera (CL)

Descrizione: Limo ghiaioso sabbioso

ANALISI GRANULOMETRICA

Setacciatura (sec. Normativa ASTM D421 e ASTM D2217) e sedimentazione (metodo del densimetro)

Setacciamento					Sedimentazione				
Setaccio serie ASTM	Diametro (mm)	% cumulativa	Classe granulometrica	% ponderale	Classe	Diametro (mm)	% cumulativa	Classe granulometrica	% ponderale
4	4,75	96,94			0,0478	0,0478	29,1389		
6	3,35	93,88			0,0349	0,0349	28,8611		
10	2	89,8	Ghiaia	10,2	0,0207	0,0207	28,0835		
20	0,85	83,68			0,0161	0,0161	26,9725		
40	0,425	79,09			0,011	0,011	25,8615		
60	0,25	75,52			0,007	0,007	24,2506		
80	0,18	72,46			0,0064	0,0064	18,2515		
200	0,075	68,38	Sabbia	21,42	0,0061	0,0061	5,9753		
					0,0027	0,0027	2,4757	Limo	66,04
					0,0013	0,0013	2,198	Argilla	2,34



Frazione di peso > 0,075 mm (N):	0,62	Frazione di peso < 0,075 mm (N):	1,34
d10 (mm):	0,0061984	d30 (mm):	0,0483969
		d50 (mm):	0,069191
Coefficiente di curvatura (Cc):	5,46	Coefficiente di uniformità (Cu):	11,16
Descrizione	Limo ghiaioso sabbioso		

Scheda descrittiva (D.P.R. 380/2001 art.59)

Numero Verbale di Accettazione: **K032** Data di accettazione: **18/05/2012**

Comittente:

Direttore dei lavori:

Oggetto:

Connessione alla RTN della centrale eolica di Gela su stazione ecc..

Località:

San Pietro - Butera (CL)

Sondaggio/pozzetto n.: **1** Campione n.: **1A**

Profondità da m **2** a m: **2,4**

Laboratorio che ha eseguito la prova:

Geosearch di Abbate Giuseppe & C. s.a.s.

Numero identificativo del certificato: **K064 e**

Data del certificato: **23/05/2012**

Numero di pagine di cui è composto il certificato: **6**

Numero identificativo del campione: **K064**

Descrizione e "storia" del campione:

Limo ghiaioso sabbioso

Metodo di prova utilizzato e sua identificazione:

ASTM D 3080-90.

Data di ricevimento del campione: **18/05/2012**

Data di esecuzione della prova - inizio: **18/05/2012**

Data di esecuzione della prova- fine: **23/05/2012**

Il Tecnico Sperimentatore



Il Direttore Tecnico

GEOSARCH
Responsabile Laboratorio
Giol. Giuseppe Abbate

allegato 1/3

1/1

Committente:

Località: C.da San Pietro - Butera (CL)

Descrizione: limo ghiaioso sabbioso

Note: campione indisturbato prelevato a - 2,00 m

Sigla campione: K064

Prova di taglio diretto

Fase di rottura

Numero provino	Peso di volume (kN/m ³)	Contenuto d'acqua (%)	Area della sezione (cm ²)	Altezza del provino (cm)	Carico verticale (kN/m ²)	Velocità di carico (mm/min)	Tempo (min)	Forza applicata (N)	Spostamento orizzontale (mm)	Spostamento verticale (mm)	Tensione di taglio (kN/m ²)
1	17,985	24,909	31,68	2	100	0,002	37,5	53	0,07	0,003	16,73
							75	81	0,141	0,005	25,57
							112,5	101	0,212	0,009	31,88
							150	112	0,283	0,013	35,35
							187,5	122	0,361	0,015	38,51
							225	130	0,439	0,018	41,04
							262,5	137	0,516	0,019	43,24
							300	140	0,591	0,02	44,19
							337,5	143	0,665	0,021	45,14
							375	155	0,739	0,02	48,93
							412,5	165	0,815	0,021	52,08
							450	174	0,89	0,022	54,92
							487,5	183	0,967	0,022	57,77
							525	193	1,044	0,022	60,92
							562,5	198	1,122	0,022	62,5
							600	202	1,198	0,022	63,76
							637,5	203	1,273	0,021	64,08
							675	203	1,349	0,021	64,08
							712,5	202	1,423	0,019	63,76
							750	193	1,492	0,02	60,92
							787,5	189	1,565	0,019	59,66
							825	187	1,639	0,018	59,03
							862,5	188	1,715	0,017	59,34
							900	190	1,79	0,017	59,97
							937,5	198	1,868	0,015	62,5
							975	203	1,948	0,015	64,08
							1012,5	212	2,026	0,013	66,92
							1050	216	2,104	0,012	68,18
							1087,5	222	2,186	0,011	70,08
							1125	224	2,267	0,011	70,71
							1162,5	223	2,343	0,014	70,39
							1200	221	2,418	0,017	69,76
2	17,828	25,077	31,68	2	150	0,002	37,5	10	0,007	0,032	3,16
							75	44	0,045	0,041	13,89
							112,5	72	0,099	0,049	22,73
							150	98	0,161	0,057	30,93
							187,5	122	0,225	0,064	38,51
							225	142	0,289	0,071	44,82
							262,5	158	0,358	0,077	49,87
							300	168	0,433	0,083	53,03

Certificato n.: K064 e Data Certificato: 23/05/2012

Verbale di Accettazione n.: K032 Data Verbale: 18/05/2012

Il Tecnico Sperimentatore



Il Direttore Tecnico

GE/SP/RA
Responsabile Laboratorio
Geol. Giuseppe Abbate

allegato 2/3

1 / 4

Numero provino	Peso di volume (kN/m ³)	Contenuto d'acqua (%)	Area della sezione (cm ²)	Altezza del provino (cm)	Carico verticale (kN/m ²)	Velocità di carico (mm/min)	Tempo (min)	Forza applicata (N)	Spostamento orizzontale (mm)	Spostamento verticale (mm)	Tensione di taglio (kN/m ²)
							337,5	183	0,507	0,09	57,77
							375	197	0,586	0,094	62,18
							412,5	209	0,665	0,098	65,97
							450	221	0,744	0,103	69,76
							487,5	232	0,825	0,109	73,23
							525	241	0,904	0,114	76,07
							562,5	250	0,98	0,119	78,91
							600	260	1,058	0,124	82,07
							637,5	268	1,134	0,128	84,6
							675	274	1,211	0,131	86,49
							712,5	279	1,287	0,135	88,07
							750	287	1,362	0,137	90,59
							787,5	292	1,437	0,14	92,17
							825	296	1,509	0,143	93,43
							862,5	300	1,584	0,144	94,7
							900	303	1,658	0,146	95,64
							937,5	305	1,732	0,148	96,28
							975	311	1,807	0,151	98,17
							1012,5	312	1,883	0,153	98,48
							1050	313	1,958	0,155	98,8
							1087,5	315	2,032	0,158	99,43
							1125	316	2,107	0,159	99,75
							1162,5	318	2,182	0,161	100,38
							1200	320	2,259	0,164	101,01
							1237,5	322	2,334	0,167	101,64
							1275	323	2,413	0,169	101,96
							1312,5	324	2,489	0,171	102,27
							1350	326	2,566	0,173	102,9
							1387,5	327	2,643	0,176	103,22
							1425	328	2,722	0,178	103,54
							1462,5	330	2,8	0,181	104,17
							1500	331	2,877	0,183	104,48
							1537,5	336	2,955	0,186	106,06
							1575	336	3,032	0,188	106,06
							1612,5	337	3,107	0,191	106,38
							1650	338	3,181	0,193	106,69
							1687,5	338	3,256	0,195	106,69
							1725	339	3,332	0,197	107,01
							1762,5	340	3,406	0,198	107,32
							1800	341	3,482	0,2	107,64
							1837,5	341	3,556	0,202	107,64
							1875	342	3,631	0,204	107,95
							1912,5	343	3,708	0,206	108,27
							1950	343	3,783	0,207	108,27
							1987,5	345	3,857	0,209	108,9
							2025	345	3,933	0,211	108,9
							2062,5	345	4,008	0,212	108,9
							2100	346	4,084	0,213	109,22

Certificato n.: K064 e Data Certificato: 23/05/2012

Verbale di Accettazione n.: K032 Data Verbale: 18/05/2012

Il Tecnico Sperimentatore



Il Direttore Tecnico

GEOSearch
Responsabile Laboratorio
Geol. Giuseppe Abbate

Numero provino	Peso di volume (kN/m ³)	Contenuto d'acqua (%)	Area della sezione (cm ²)	Altezza del provino (cm)	Carico verticale (kN/m ²)	Velocità di carico (mm/min)	Tempo (min)	Forza applicata (N)	Spostamento orizzontale (mm)	Spostamento verticale (mm)	Tensione di taglio (kN/m ²)
							2137,5	347	4,159	0,214	109,53
							2175	348	4,236	0,215	109,85
							2212,5	348	4,312	0,216	109,85
							2250	349	4,388	0,217	110,16
							2287,5	349	4,465	0,218	110,16
							2325	349	4,543	0,219	110,16
							2362,5	350	4,62	0,22	110,48
							2400	350	4,697	0,221	110,48
							2437,5	350	4,773	0,222	110,48
							2475	350	4,85	0,223	110,48
							2512,5	351	4,926	0,223	110,8
							2550	350	5,002	0,225	110,48
							2587,5	350	5,077	0,226	110,48
							2625	350	5,151	0,227	110,48
							2662,5	350	5,226	0,227	110,48
							2700	355	5,303	0,228	112,06
							2737,5	355	5,377	0,23	112,06
							2775	355	5,454	0,231	112,06
3	17,22	24,496	31,68	2	200	0,002	37,5	39	0,084	0,027	12,31
							75	74	0,143	0,04	23,36
							112,5	108	0,204	0,059	34,09
							150	141	0,27	0,073	44,51
							187,5	161	0,341	0,092	50,82
							225	195	0,412	0,105	61,55
							262,5	217	0,485	0,118	68,5
							300	227	0,559	0,131	71,65
							337,5	242	0,633	0,14	76,39
							375	250	0,706	0,149	78,91
							412,5	255	0,777	0,158	80,49
							450	259	0,853	0,17	81,76
							487,5	264	0,926	0,18	83,33
							525	265	1,002	0,189	83,65
							562,5	276	1,076	0,196	87,12
							600	287	1,151	0,204	90,59
							637,5	298	1,227	0,212	94,07
							675	312	1,306	0,222	98,48
							712,5	325	1,383	0,23	102,59
							750	339	1,455	0,238	107,01
							787,5	350	1,531	0,244	110,48
							825	357	1,607	0,249	112,69
							862,5	362	1,68	0,254	114,27
							900	366	1,754	0,258	115,53
							937,5	369	1,835	0,264	116,48
							975	368	1,908	0,266	116,16
							1012,5	364	1,979	0,27	114,9
							1050	363	2,051	0,272	114,58
							1087,5	366	2,124	0,274	115,53
							1125	372	2,197	0,276	117,42

Certificato n.: K064 e Data Certificato: 23/05/2012

Verbale di Accettazione n.: K032 Data Verbale: 18/05/2012

Il Tecnico Sperimentatore



Il Direttore Tecnico
Responsabile Laboratorio
Geotecnica Abbate



Numero provino	Peso di volume (kN/m ³)	Contenuto d'acqua (%)	Area della sezione (cm ²)	Altezza del provino (cm)	Carico verticale (kN/m ²)	Velocità di carico (mm/min)	Tempo (min)	Forza applicata (N)	Spostamento orizzontale (mm)	Spostamento verticale (mm)	Tensione di taglio (kN/m ²)
							1162,5	381	2,272	0,277	120,27
							1200	394	2,346	0,278	124,37
							1237,5	405	2,42	0,279	127,84
							1275	415	2,498	0,279	131
							1312,5	419	2,574	0,28	132,26
							1350	423	2,651	0,281	133,52
							1387,5	434	2,727	0,281	136,99
							1425	434	2,803	0,282	136,99
							1462,5	431	2,876	0,283	136,05
							1500	429	2,952	0,285	135,42

Certificato n.: K064 e Data Certificato: 23/05/2012

Il Tecnico Sperimentatore



Verbale di Accettazione n.: K032 Data Verbale: 18/05/2012

Il Direttore Tecnico
 GEOSearch
 Responsabile Laboratorio
 Geol. Giuseppe Abbate

Committente:

Località: C.da San Pietro - Butera (CL)

Descrizione: limo ghiaioso sabbioso

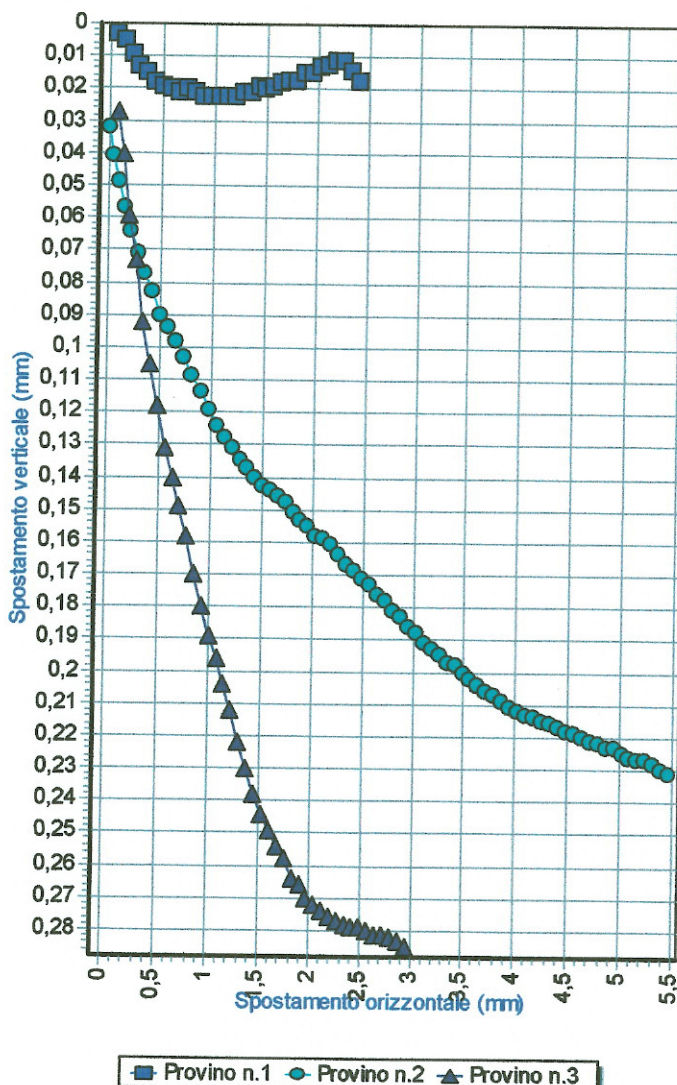
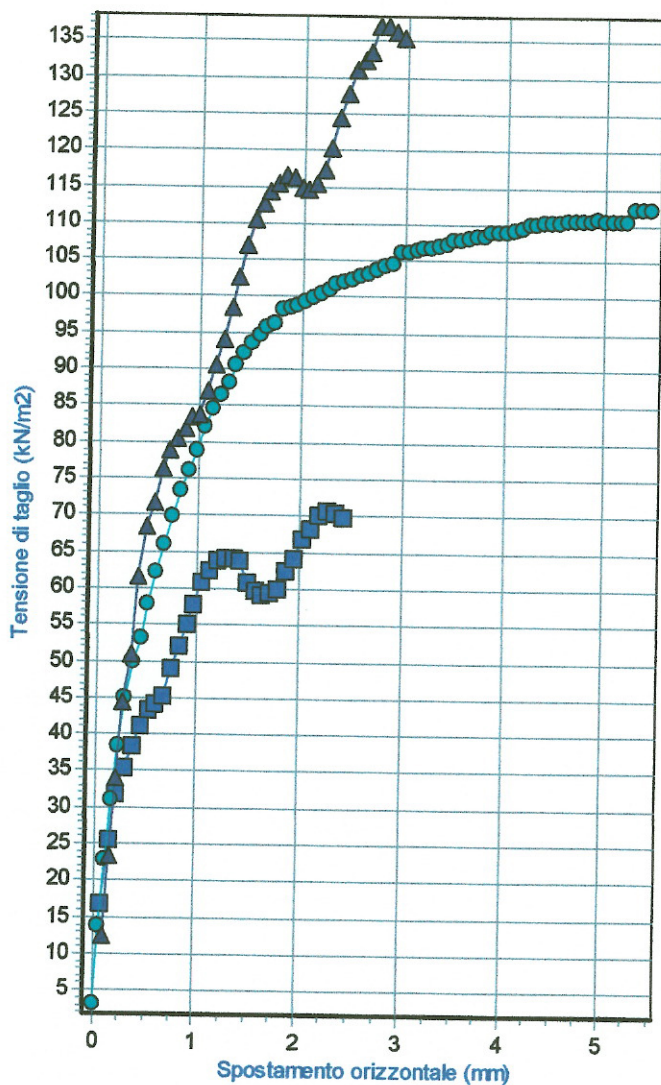
Note: campione indisturbato prelevato a - 2,00 m

Sigla campione: K064

Prova di taglio diretto

Grafici degli spostamenti

Numero provino	Contenuto d'acqua (%)	Peso di volume (kN/m ³)	Area iniziale (cm ²)	Altezza iniziale (cm)	Velocità di carico (mm/min)
1	24,909	17,985	31,68	2	0,002
2	25,077	17,828	31,68	2	0,002
3	24,496	17,22	31,68	2	0,002



***RELAZIONE SISMICA REDATTA IN OTTEMEPERANZA AL
D.M. 14.01.2008***

Indice

1. Premesse	2
2. Metodologia HVSR o H/V - Cenni teorici -	3
3. Stima del valore di Vs30	5
3a. Rilievo tromografico	6
3.b Frequenza di misurazione	6
3.c Tempi di misurazione	6
4. Stima del valore di Vs30	7
4.a – Finestra di analisi (windows size)	7
4.b – Lisciamento triangolare (smoothing)	8
4.c - Significatività del picco H/V – Criteri di SESAME (2005).....	8
4.d Interpretazione della curva H/V (Fit teorico – Inversione).....	8
4.e – Calcolo del valore di Vs30	9
5. Risultanze del sondaggio tromografico e calcolo del valore di Vs30	9
6. Identificazione della categoria di sottosuolo di fondazione	13

1. Premesse

La Ditta Termomeccanica S.P.A. con Sede legale: Via Lodovico Mancini 5 - 20129 Milano – Italy e Sede centrale e amministrativa: Via del Molo, 3 - 19126 La Spezia, nell'ambito della progettazione per la realizzazione di una stazione di consegna a servizio di un parco eolico off – shore da realizzarsi nel Golfo di Gela ha conferito allo scrivente l'incarico per effettuare un'indagine geofisica sui terreni in cui si devono effettuare i lavori.

In modo precipuo l'indagine è finalizzata alla determinazione e individuazione della caratterizzazione sismica del sottosuolo, all'individuazione delle discontinuità, nonché della profondità della formazione rocciosa compatta (bedrock geofisico); inoltre, attraverso l'esplorazione, a determinare e individuare la categoria di suolo di fondazione ai sensi di quanto previsto al punto 3.2.2 (tabella 3.2.II.) delle recenti Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 14/01/2008, integrato con la Circolare applicativa 2 febbraio 2009 n. 617 C.S. LL.PP..

Ai fini dell'indagine ci si è avvalsi della metodologia basata sulla tecnica di Nakamura e sul rapporto spettrale **H/V**. Tale tecnica detta anche **HVSR** (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) è del tutto non invasiva non necessitando di alcun tipo di perforazione o stendimento di cavi.

I risultati che si possono ottenere dalla registrazione di questo tipo di indagine sono:

- la frequenza caratteristica del sito, che rappresenta un parametro fondamentale per il corretto dimensionamento degli edifici in termini di risposta sismica locale, in quanto si dovranno adottare adeguate precauzioni nell'edificare edifici aventi la stessa frequenza di vibrazione del terreno per evitare l'effetto di doppia risonanza;

- la frequenza fondamentale di risonanza di un edificio, qualora la misura venga effettuata all'interno dello stesso;

- la velocità media delle onde di taglio V_s calcolata tramite un apposito codice di calcolo e riconoscibile nella curva H/V e, inoltre, la V_{s30} e la relativa categoria di suolo di fondazione così come richiesto dalle nuove Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 14/01/2008;

- la stratigrafia del sottosuolo con un *range* di indagine compreso tra 0.5 e 700 metri di profondità.

Il parametro più significativo per la caratterizzazione del tipo di sottosuolo è la V_{s30} , che è la velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio entro i primi 30 metri di profondità del sottosuolo definita dalla seguente espressione:

$$V_{s30} = 30 / \sum_{i=1, N} h_i / V_{s,i} \quad \text{m/s}$$

Dove:

h_i = spessore (in metri) dell'i-esimo strato compreso nei primi 30 m di profondità

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

Una volta determinato il suddetto parametro $V_{s,30}$, il valore ottenuto consente di potere determinare la categoria di suolo di fondazione come definito nella tabella 3.2.II e 3.2.III del D.M. 14/01/2008 di seguito riportata:

Tabella 3.2.II – Categorie di sottosuolo

Categoria	Descrizione
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{SPT,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{SPT,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).
E	<i>Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m</i> , posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).

In base a quanto sopra espresso si è eseguito un sondaggio tromografico all'interno dell'area da indagare in prossimità di un saggio meccanico eseguito con escavatore che ha permesso già in questa fase di avere dei dati stratigrafici e geotecnici significativi.

2. Metodologia HVSR o H/V - Cenni teorici -

Le basi teoriche della tecnica **HVSR** si rifanno in parte alla sismica tradizionale (riflessione, rifrazione, diffrazione) e in parte alla teoria dei microtremiti. La forma di un'onda registrata in un sito "x" da uno strumento dipende dalla forma dell'onda prodotta dalla sorgente "s", dal percorso dell'onda dalla sorgente "s" al sito "x", dalla risposta dello strumento.

Il rumore sismico ambientale, presente ovunque sulla superficie terrestre, è generato dai fenomeni atmosferici (onde marine, vento, traffico etc...) ed è costituito principalmente da onde elastiche superficiali, prodotte dall'interferenza costruttiva di onde P ed S che si propagano negli

strati superficiali; si chiama anche “microtremore” poiché riguarda oscillazioni molto più piccole di quelle indotte dai terremoti nel campo prossimo all’epicentro.

Gli effetti locali dovuti a sorgenti locali di natura artificiale o locale si aggiungono a questo andamento generale.

I metodi che si basano sull’acquisizione dei microtermori si dicono **passivi** in quanto il rumore non è generato *ad hoc* come ad esempio le esplosioni della sismica attiva.

Durante un sisma, se la frequenza di risonanza del sottosuolo coincide con quella degli edifici presenti, può avere luogo un fenomeno di accoppiamento fra le due modalità di vibrazione; questo effetto di *amplificazione sismica* produrrà un grande aumento della sollecitazione sugli edifici. L’amplificazione sismica è la prima causa dei danni indotti dal terremoto, anche più importante della dimensione del terremoto stesso.

Il tremore sismico quindi può essere utilmente impiegato per identificare le frequenze di risonanza del sottosuolo in un modo passivo e non invasivo.

Dai primi studi di Kanai (1957) in poi tra i diversi metodi proposti per estrarre le informazioni inerenti al rumore sismico in un sito, quella che si è maggiormente consolidata è quella dei rapporti spettrali tra le componenti del moto orizzontale e quelle del moto verticale HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) o H/V proposta da Nogoshi e Igarashi (1970).

Il metodo HVSR consiste nello studio del rapporto spettrale tra la componente orizzontale del rumore e quella verticale (H/V spectrum). Il valore di tale rapporto è direttamente correlato con la frequenza di risonanza determinata dal passaggio tra due strati con una differenza significativa del contrasto di impedenza (velocità delle onde e densità del materiale).

Considerando due strati con differente impedenza acustica, la frequenza fondamentale di risonanza f è legata allo spessore H ed alla velocità delle onde di taglio V_s del primo strato dalla seguente relazione:

$$f = \frac{V_s}{4H}$$

La curva H/V relativa a un sottosuolo multistrato contiene, pertanto, l’informazione relativa alle frequenze di risonanza (e quindi allo spessore) di ciascuno di essi, ma non è interpretabile semplicemente con la succitata equazione.

Ai fini stratigrafici si sfrutterà la tecnica del confronto degli spettri singoli e dei rapporti H/V misurati con quelli “sintetici”, cioè con quelli calcolati relativamente al campo di onde completo di un modello in tre dimensioni.

3. Stima del valore di Vs30

Se è nota la misura della profondità H del bedrock e la stessa $H \geq 30$ m è immediato calcolare il valore di Vs30 attraverso la misura della frequenza f.

$$Vs_{30} = f \times 4 H$$

Ai fini di una corretta ricostruzione sismica del sottosuolo e una buona stima delle onde Vs in un terreno multistrato, è necessario adottare una modellazione numerica che può essere rappresentata dalla seguente equazione:

$$\hat{v}_s = \frac{H}{\sum_{i=1}^n \frac{h_i}{v_i}}$$

dove:

Vs = valore di velocità delle onde di taglio [m/s]
 H = profondità alla quale si desidera stimare Vs [m] (30 m in caso di Vs30)
 hi = spessore dello strato i – esimo [m]

La velocità ha valori che variano in funzione alla litologia presente nel sottosuolo; secondo Borchardt (1994) tale valore è compreso in dei “range” come appresso specificato.

TIPO DI SUOLO	Vs min [m/s]	Vs media [m/s]	Vs max [m/s]
ROCCE MOLTO DURE (es. rocce metamorfiche molto poco fratturate)	1400	1620	-
ROCCE DURE (es. graniti, rocce ignee, conglomerati, arenarie e argilliti, da mediamente a poco fratturati)	700	1050	1400
SUOLI GHIAIOSI e ROCCE DA TENERE A DURE (es. rocce sedimentarie ignee, tenere, arenarie, argilliti, ghiaie e suoli con > 20% di ghiaia)	375	540	700
ARGILLE COMPATTE e SUOLI SABBIOSI (es. sabbie da sciolte a molto compatte, limi e argille sabbiose, argille da medie a compatte e argille limose)	200	290	375
TERRENI TENERI (es. terreni di riempimento sotto falda, argille da tenere a molto tenere).	100	150	200

3a. Rilievo tromografico

Per l'acquisizione dei dati è stato utilizzato un tromometro digitale modello "Tromino" che rappresenta la nuova generazione di strumenti ultra-leggeri e ultra-compatti in alta risoluzione adatti a tali misurazioni. Il Tromino rappresenta lo strumento ideale per la realizzazione di un sondaggio tromografico o di una tomografia, ovvero per misurare il rumore Sismico (frequenza di risonanza del terreno) lasciando imperturbato il campo d'onda presente nell'ambiente con un potere risolvente anche migliore di quello garantito dai più moderni sistemi permanenti del tipo sismometro in volta - digitalizzatore presenti sul mercato.

Lo strumento con il quale si sono effettuate le misurazioni dispone di tre canali connessi a tre velocimetri elettrodinamici ad alta risoluzione disposti secondo tre direzioni ortogonali, più un canale per il segnale GPS e un canale aggiuntivo per applicazioni di sismica attiva. Il moto del terreno è amplificato, convertito in forma digitale, organizzato e salvato su una memoria dalla quale può essere trasferito ad un PC, mediante un apposito codice di calcolo appositamente sviluppato, che archivia, analizza e permette la revisione del segnale.

I dati sono stati convertiti in file ASCII mediante il software "Grilla", fornito a supporto dello strumento utilizzato, quindi elaborati per ottenere spettri di velocità in funzione della frequenza.

3.b – Frequenza di misurazione

Nei sistemi semplici monostrato + bedrock, la relazione che lega la frequenza fondamentale di risonanza f allo spessore h dello strato che risuona dipende dalla V_s (velocità delle onde di taglio del mezzo) ed è la seguente:

$$f = \frac{V_s}{4h}$$

Dalla formula succitata consegue che uno spessore di 1 m di argilla sovrastante un bedrock sismico darebbe una risonanza a $f = 100-180 \text{ m/s} / (4 \times 1 \text{ m}) = 25-45 \text{ Hz}$.

Poiché difficilmente l'interesse geologico riguarda spessori inferiori ad 1 m, segue che la frequenza massima di interesse stratigrafico è intono ai 30-40 Hz. Un campionamento a **128 Hz** è risultato pertanto soddisfacente alle esigenze di cui al presente studio.

3.c – Tempi di misurazione

La durata della registrazione invece va commisurata alla frequenza minima di interesse della stessa. Supponiamo ad esempio di voler osservare la risonanza di una coltre sedimentaria molto profonda, per es. a 300 m di spessore, che, stando alla relazione succitata, potrà dare circa $f =$

0,5 Hz. Una frequenza di 0,5 Hz equivale ad un periodo $T = 2$ s, pertanto si tratta di un segnale che si ripete ogni due secondi.

E' evidente che per poter osservare queste frequenze bisogna registrare per almeno 2 s. Per avere una certa risoluzione spettrale è poi opportuno che il segnale venga analizzato su finestre almeno 10 volte più lunghe della frequenza minima di interesse, nel nostro esempio $10 \times 2 \text{ s} = 20 \text{ s}$. Quindi occorrerebbero almeno 20 s di misura.

Infine, è opportuno che il segnale venga mediato a livello statistico, pertanto è opportuno campionare almeno 30-40 finestre di 20 s di lunghezza (10 min o più).

Per applicazioni stratigrafiche, in definitiva, la durata della registrazione opportuna è:

- molto superficiali (5 m): 5 min
- entro i primi 30-50 m: > 10 min
- molto profonde: >15 min

A scopo cautelativo, nella fattispecie, per il sondaggio tromografico eseguito si è adottata una durata della registrazione pari a 20 min.

4. Stima del valore di Vs30

Per la determinazione delle velocità delle onde di taglio si è utilizzato un codice di calcolo appositamente creato per interpretare i rapporti spettrali (HVSR) basati sulla simulazione del campo di onde di superficie (*Rayleigh e Love*) in sistemi multistrato a strati piani e paralleli.

Operativamente, costruito un modello teorico HVSR (avente tante discontinuità sismiche quanto sono le discontinuità evidenziate dalla registrazione eseguita) si è proceduto, tramite apposito algoritmo, ad adattare la curva teorica a quella sperimentale e conseguentemente potere determinare lo spessore dei "sismostrati" con la relativa velocità Vs.

4.a – Finestra di analisi (windows size)

La lunghezza della finestra di analisi va scelta in funzione della frequenza minima di interesse e della durata della registrazione.

Tipicamente essa sarà 20-30 s per registrazioni di durata superiore ai 10 min, 15 s per registrazioni di durata inferiore a 10 min.

Tenuto conto che la registrazione che si è adottata nelle presenti analisi è di 20 min., si è considerata una finestra di analisi di **20 s**.

4.b – Lisciamento triangolare (smoothing)

L'utilizzazione di un lisciamento triangolare al **10%** è un buon compromesso per tutte le registrazioni a scopo stratigrafico in quanto consente facilmente di distinguere i picchi di natura antropica da quelli naturali (caratterizzati sempre da un minimo locale sulla componente verticale e dalla famosa forma “a occhio” degli spettri).

4.c - Significatività del picco H/V – Criteri di SESAME (2005)

L'analisi di significatività del picco H/V secondo i criteri SESAME (2005) è stata effettuata di default sul picco di ampiezza:

Sondaggio 1: 39.06 Hz

Ai fini della vulnerabilità sismica però non è necessariamente il picco H/V più ampio che conta ma quello la cui frequenza è più prossima a quella dell'edificato.

Dalla tabella con i criteri SESAME (2005) relativi alla significatività statistica del picco considerato si può rilevare:

- dai primi 3 criteri: se la registrazione è stata condotta per un tempo sufficientemente lungo rispetto alla frequenza del picco considerata. E' opportuno che questi 3 criteri siano tutti soddisfatti. **Nel caso in specie tutti e tre i criteri sono stati soddisfatti.**

Nel Sondaggio - SS1 – si sono riscontrati dei picchi significativi alla profondità di 5.00 m circa, in corrispondenza di giunti di stratificazione nella formazione geologica attraversata o cambi litologici.

4.d Interpretazione della curva H/V (Fit teorico – Inversione)

In prima istanza si è provveduto ad effettuare la pulizia della traccia registrata (nel dominio delle frequenze e non dei tempi) eliminando dall'analisi interpretativa le porzioni di traccia caratterizzate da frequenze “anomale”.

A seguito della selezione delle parti del tracciato da conservare, si è proceduto all'interpretazione, vincolando una curva H/V ed effettuando un *fit* teorico, ovvero effettuando una operazione di inversione.

In particolare:

1. riconosciuto nella curva un picco correlabile alla prima discontinuità nota e fissata la profondità di questa come spessore del primo strato, tramite la formula di prima approssimazione $f = V_s / (4H)$ si è stimato il valore di V_s del primo strato;

2. successivamente, mettendo un secondo strato con una V_s di prima approssimazione stimata sulla base dell'ampiezza del picco H/V corrispondente, si è definito lo spessore del secondo strato;
3. di seguito, si è proceduto nella stessa maniera per gli altri strati fino ad almeno alla profondità di 30 m., al fine di potere definire il valore di V_{s30} .

4.e – Calcolo del valore di V_{s30}

La modellazione e l'inversione delle curve H/V utilizzando il campo di onde sintetico, fornisce un modello di sottosuolo, come appresso riportato negli allegati grafici.

Il valore dell' "average shear wave velocity" (V_{s30}), come esplicitamente richiesto dalle vigenti Norme Tecniche sulle Costruzioni, per questo modello è stato stimato in:

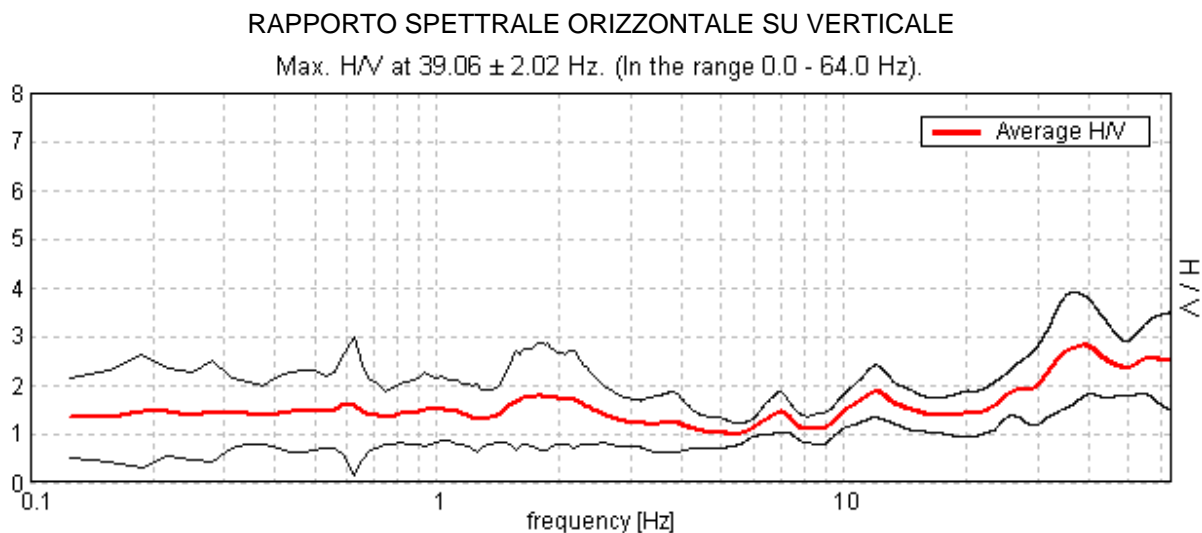
Sondaggio SS1 $V_{s30} = 398$ m/s

5. Risultanze del sondaggio tromografico e calcolo del valore di V_{s30}

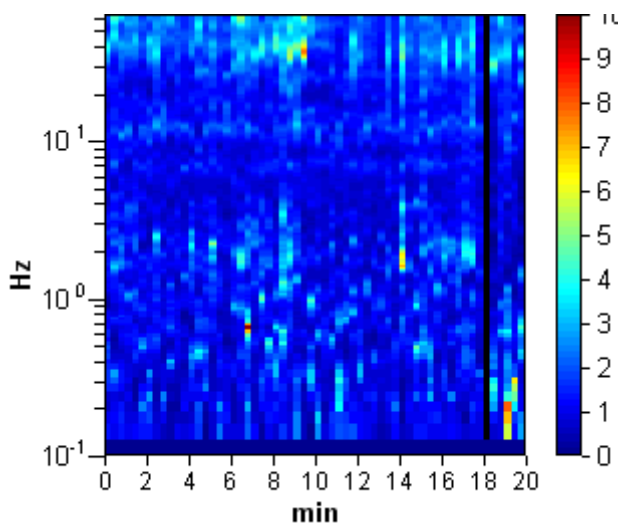
BUTERA STAZIONE, SAN PIETRO SS1

Strumento: TRZ-0058/01-09
Inizio registrazione: 27/02/13 11:38:19 Fine registrazione: 27/02/13 11:58:20
Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN
Dato GPS non disponibile

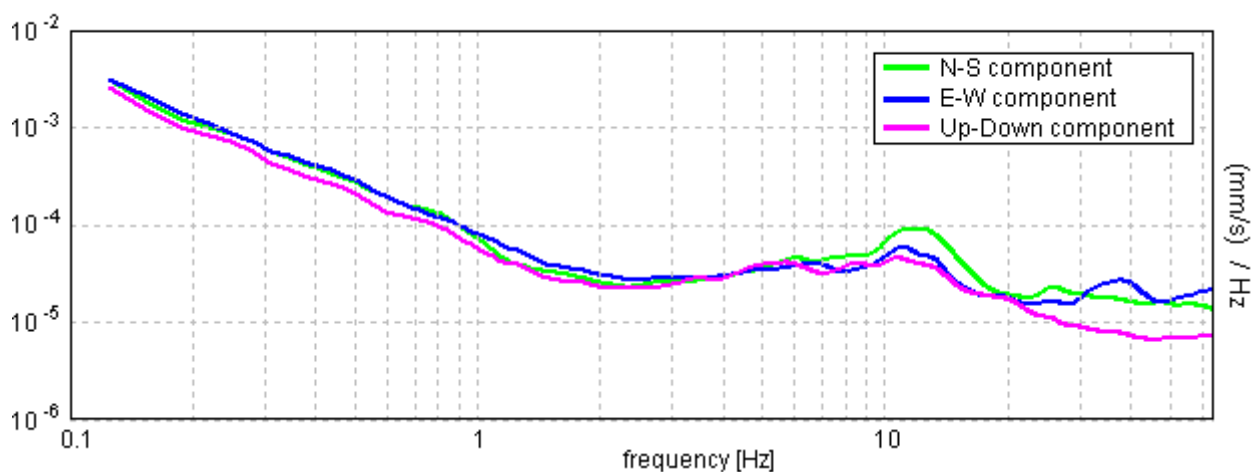
Durata registrazione: 0h20'00". Analizzato 98% tracciato (selezione manuale)
Freq. campionamento: 128 Hz
Lunghezza finestre: 20 s
Tipo di lisciamento: Triangular window
Lisciamento: 10%



SERIE TEMPORALE H/V

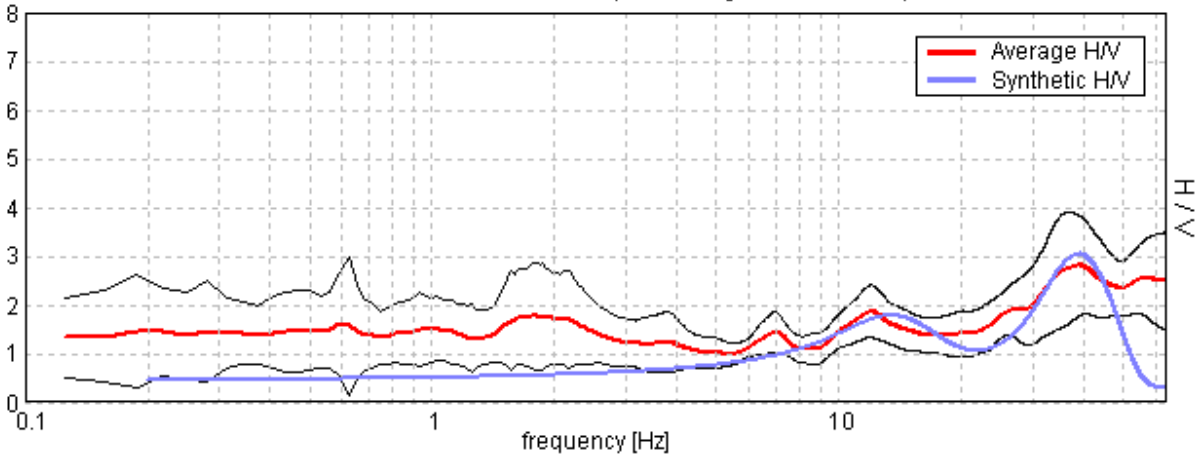


SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



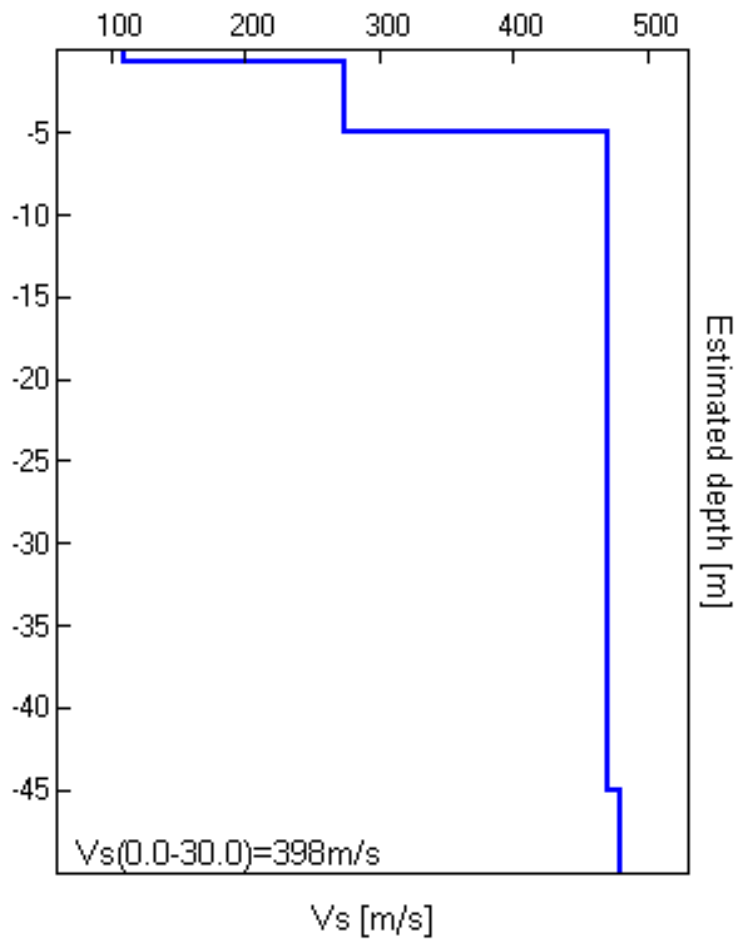
H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO

Max. H/V at 39.06 ± 2.02 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Rapporto di Poisson
0.75	0.75	110	0.35
5.00	4.25	275	0.35
45.00	40.00	470	0.35
inf.	inf.	480	0.35

Vs (0.0-30.0) = 398m/s



[Secondo le linee guida SESAME, 2005. Si raccomanda di leggere attentamente il manuale di Grilla prima di interpretare la tabella seguente].

Picco H/V a 39.06 ± 2.02 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).

Criteri per una curva H/V affidabile

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$39.06 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$46093.8 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 1424	OK	

Criteri per un picco H/V chiaro

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	19.719 Hz	OK	
Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$			NO
$A_0 > 2$	$2.80 > 2$	OK	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.02561 < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$1.00055 < 1.95313$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.5087 < 1.58$	OK	

L_w	lunghezza della finestra
n_w	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
f	frequenza attuale
f_0	frequenza del picco H/V
σ_f	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	ampiezza della curva H/V alla frequenza f_0
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza f
f^-	frequenza tra $f_0/4$ e f_0 alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequenza tra f_0 e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{\log H/V}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Valori di soglia per σ_f e $\sigma_A(f_0)$

Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

6. Identificazione della categoria di sottosuolo di fondazione

L'analisi tromografica, ovvero il confronto tra la curva teorica, quella sperimentale e il modello di Vs inerente al sondaggio tromografico effettuato ha consentito di individuare il profilo delle Vs nei primi 30 metri di profondità dal piano di campagna (V_{s30}), che è risultata pari a un valore di:

Sondaggio SS1 $V_{s30} = 398$ m/s

Tenuto conto che tale valori di V_{s30} è compreso tra $360 < V_{s30} < 800$ m/s, al terreno di sedime analizzato si attribuirà la categoria "B" della tabella 3.2.II. e 3.2.III del D.M. 14/01/2008.

Categoria sottosuolo (tabella 3.2.II e 3.2.III) D.M. 14-01- 2008	B – "Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti"
---	---

Data, marzo 2013

Il Geologo

