

TM.E. S.p.A. Termomeccanica Ecologia 	Preventivo	Emesso da:	Documento	Rev.
	97758	Studio di geologia applicata Montanelli & C	97758	01
			Pag. 1 di 62	



REGIONE SICILIANA

PARCO EOLICO OFFSHORE GOLFO DI GELA



STUDIO GEOLOGICO TECNICO DI MASSIMA E SISMICO PER LA POSA DEI CAVIDOTTI E LA REALIZZAZIONE DELLA STAZIONE DI TRASFORMAZIONE

		Cliente/Customer TERMOMECCANICA	Commessa/Job Studio geologico e sismico di massima per cavidotti e stazione di consegna	Emesso da STUDIO DI GEOLOGIA APPLICATA MONTANELLI	
01	27/05/2013	EMISSIONE	Montanelli – Spinella - Correnti	Montanelli	MONTANELLI
Rev	27/05/2013	STUDIO GEOLOGICO DI MASSIMA	Preparato	Verificato	Approvato
Autorizzazione Emissione					

INDICE

PREMESSE.....	2
INQUADRAMENTO GEOGRAFICO.....	4
LINEAMENTI GEOMORFOLOGICI.....	5
GEOLOGIA DELL'AREA IN ESAME.....	8
TETTONICA.....	12
ASPETTI IDROGEOLOGICI E CLIMATICI.....	13
ASPETTI SISMICI.....	14
LINEAMENTI GEOTECNICI.....	21
VERIFICHE DI STABILITA' DEI VERSANTI.....	22
CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE.....	39
INDAGINE SISMICA	
1.PREMESSE.....	45
2. METODOLOGIA HVSR O H/V - CENNI TEORICI -.....	47
3. STIMA DEL VALORE DI VS30.....	48
3A. RILIEVO TROMOGRAFICO.....	49
3.B – FREQUENZA DI MISURAZIONE.....	50
3.C – TEMPI DI MISURAZIONE.....	50
4. STIMA DEL VALORE DI VS30.....	51
4.A – FINESTRA DI ANALISI (WINDOWS SIZE).....	51
4.B – LISCIAMENTO TRIANGOLARE (SMOOTHING).....	51
4.C - SIGNIFICATIVITÀ DEL PICCO H/V – CRITERI DI SESAME (2005).....	52
4.D INTERPRETAZIONE DELLA CURVA H/V (FIT TEORICO – INVERSIONE).....	52
4.E – CALCOLO DEL VALORE DI VS30.....	53
5. RISULTANZE DEL SONDAGGIO TROMOGRAFICO E CALCOLO DEL VALORE DI VS30.....	54
6. IDENTIFICAZIONE DELLA CATEGORIA DI SOTTOSUOLO DI FONDAZIONE.....	58

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'approntare il progetto preliminare di campo eolico *off shore* del Golfo di Gela per lo sviluppo di energia eolica 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 tecnico di massima** del sito di ubicazione della stazione di trasformazione e il tracciato interessato dalle opere sottotraccia di connessione tra la stazione di trasformazione, la sottostazione di consegna e la stazione di consegna "Area Terna", da allegare al progetto per la realizzazione del parco eolico off-shore golfo di Gela. Lo studio è finalizzato all'iter di approvazione degli Enti competenti e viene prodotto secondo i punti B2 comma 3, B3, B4 del D.M. 11.03.1988 per il passaggio alle ulteriori approvazioni.

La realizzazione della stazione di trasformazione è progettata a margine della Strada Provinciale 48 "Campobello di Licata – Falconara" in prossimità del *resort* "Desusino" uscendo dalla SSN.115 al K245 nel Comune di BUTERA (CL) su di un'area sub-pianeggiante, mentre la posa dei cavi utili all'adduzione alla sottostazione di consegna e alla stazione di consegna "Area Terna" viene prevista sottotraccia per gran parte in un tratto di strada provinciale, la n.48, in misura minore in strada interpodereale fino alla sottostazione di consegna e alla stazione di consegna "Area Terna".

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 tecnico di massima generale tende ad evidenziare gli aspetti morfologici, geologici, litologici, idrogeologici e sismici sia dell'area direttamente dalle opere 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 sul sito di ubicazione della stazione di consegna 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 sulla strada di attraversamento della sottotraccia e nelle immediate vicinanze della stessa.

Alla presente vengono quindi allegati:

- Carta Geologica e litotecnica in scala 1:10.000 con sezioni geologiche schematiche
- Verifiche di stabilità dei versanti
- Stralcio P.A.I.
- Indagine sismica passiva

INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

La conoscenza dei luoghi e la verifica anemologica preventiva hanno indotto i progettisti all'individuazione di alcuni siti ricadenti sul golfo di Gela in *off shore* la cui stazione di trasformazione verrebbe ad essere posta in Contrada Desusino Fg 211 Particelle 23-25-110, la sottostazione di consegna e la stazione di consegna "Area Terna" in località San Pietro, quest'ultime in collegamento con cavidotti sottotraccia lungo la Strada Provinciale N.48 e in parte esigua in strada interpoderale, nel Comune di Butera (CL).

La suddetta località Desusino, la strada provinciale e quella interpoderale interessate dall'attraversamento dei cavidotti sottotraccia ricadono nel Foglio 272 "GELA" della carta d'Italia edita I.G.M. e coinvolgono le tavolette topografiche: "Manfria" F.272 III NE, "Ponte Olivo" F.272 II NO, in scala 1/25.000. e nella carta Tecnica Regionale nelle Sezioni n° 643010 e 643050.

Dalle Carte dei vincoli allegate emerge che l'area in cui viene prevista la stazione di trasformazione 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), mentre la strada provinciale e la strada interpoderale in parte rientrano nel vincolo idrogeologico e in parte si pongono a limitare della zona a vincolo.

I suddetti luoghi di progetto sono del tutto fuori da 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 dai progetti delle opere

connesse al campo eolico di cui al progetto in premessa, vengono classificati *Regosuoli e Vertisuoli*.

LINEAMENTI GEOMORFOLOGICI

Il territorio di Butera (con superficie di 295 kmq) si pone nella Sicilia meridionale e fa 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 di consegna e le strade interessate dalle opere connesse all'adduzione alla stazione di trasformazione si configurano in un contesto geomorfologico prevalentemente di tipo collinare caratterizzato da affioramenti a differente comportamento, interessati da processi evolutivi che in genere vanno ad interferire con le infrastrutture presenti generando dissesti, anche se di modesta entità, di cui dovrà tenersi debito conto in fase esecutiva progettuale. Un ruolo non marginale nell'assetto geomorfologico viene svolto dal reticolo idrografico che esercita una accentuata azione erosiva in corrispondenza di affioramenti argillosi e argillo-marnosi o argillo-sabbiosi estesamente affioranti nei luoghi in studio.

La rete idrografica a pattern dendritico risulta abbastanza sviluppata, con incisioni più o meno accentuate in funzione dell'acclività dei terreni, della natura dei terreni affioranti, della

manca di opere di regimazione, della copertura vegetale dei suoli. Il bacino idrografico di pertinenza in cui si ricade è quello del Torrente Rizzuto, localizzato a sud-ovest dei Monti Erei, con sviluppo dell'asta principale in senso N – S. Più precisamente nei sottobacini posti in destra idrografica costituiti dai torrenti: Rio del Millione e Torrente Marchesa di San Pietro.

Un'attenta analisi della viabilità coinvolta dalle opere in progetto ha consentito di rilevare puntualmente le varie tipologie morfodinamiche in essere al fine di consentire un adeguato intervento a salvaguardia delle stesse opere che si andranno a realizzare in fase esecutiva (vedi stralcio di carta geologica allegata).

Lo stesso Piano per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.) del bacino idrografico del Torrente Rizzuto (074) 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. e ii. su carta CTR Sezioni n° 643010 e 643050 in scala 1/10.000 le aree interessate dalle opere di cui in progetto vengono lambite ed interessate in più punti da dinamiche gravitative da versante come riportato nell'allegato stralcio P.A.I. In dettaglio tali aree vengono codificate con i seguenti codici di riconoscimento: 073-2BT-006; 074-2BT-111; 074-2BT-110; 074-2BT-096; 074-2BT-094; 074-2BT-091; 074-2BT-104; 074-2BT-103. Trattasi di "Dissesti dovuti a processi erosivi intensi" con stato di attività "Attivo", a pericolosità "Medio – Moderata", che includono elementi a rischio "Moderato e Medio" come riportato nelle seguenti tabelle estrapolate dal P.A.I.:

Elenco dei dissesti geomorfologici e relativo grado di pericolosità e rischio

Sigla	Bacino idrografico	Provincia	Comune	Località	CTR 1:10.000	Tipologia	Attività	Pericolosità	Rischio
074-2BT-083	Torrente Rizzuto	Caltanissetta	Butera	C.da Mandra Pagliarazzi	643020	11	A	2	2
074-2BT-084	Torrente Rizzuto	Caltanissetta	Butera	C.da Mandra Pagliarazzi	643020	11	A	1	1
074-2BT-085	Torrente Rizzuto	Caltanissetta	Butera	Contrada Turchiotto	643010	11	A	1	---
074-2BT-086	Torrente Rizzuto	Caltanissetta	Butera	Contrada Turchiotto	643010	11	A	2	---
074-2BT-087	Torrente Rizzuto	Caltanissetta	Butera	Contrada Turchiotto	643010	10	A	2	---
074-2BT-088	Torrente Rizzuto	Caltanissetta	Butera	Contrada Turchiotto	643010-643020	11	A	2	---
074-2BT-089	Torrente Rizzuto	Caltanissetta	Butera	Contrada Turchiotto	643010	10	A	1	---
074-2BT-090	Torrente Rizzuto	Caltanissetta	Butera	T.te Marchesa di San Pietro	643010	11	A	2	---
074-2BT-091	Torrente Rizzuto	Caltanissetta	Butera	T.te Marchesa di San Pietro	643010	11	A	2	---
074-2BT-092	Torrente Rizzuto	Caltanissetta	Butera	Contrada San Pietro	643010	11	A	2	---
074-2BT-093	Torrente Rizzuto	Caltanissetta	Butera	Contrada San Pietro	643010	10	A	2	---
074-2BT-094	Torrente Rizzuto	Caltanissetta	Butera	Contrada San Pietro	643010	11	A	1	1
074-2BT-095	Torrente Rizzuto	Caltanissetta	Butera	Contrada San Pietro	643010	11	A	2	---
074-2BT-096	Torrente Rizzuto	Caltanissetta	Butera	Contrada San Pietro	643010-643020	11	A	2	2
074-2BT-097	Torrente Rizzuto	Caltanissetta	Butera	Contrada San Pietro	643010	11	A	2	---
074-2BT-098	Torrente Rizzuto	Caltanissetta	Butera	Monte Desusino	643010	9	A	2	---
074-2BT-099	Torrente Rizzuto	Caltanissetta	Butera	Monte Desusino	643010	1	A	3	---
074-2BT-100	Torrente Rizzuto	Caltanissetta	Butera	E di Monte Desusino	643010	11	A	2	---
074-2BT-101	Torrente Rizzuto	Caltanissetta	Butera	N di Casa Schingipane	643050	11	A	2	---
074-2BT-102	Torrente Rizzuto	Caltanissetta	Butera	Casa San Pietro	643010	1	A	4	---
074-2BT-103	Torrente Rizzuto	Caltanissetta	Butera	S di Casa San Pietro	643010	11	A	2	---
074-2BT-104	Torrente Rizzuto	Caltanissetta	Butera	S di Casa San Pietro	643010	11	A	1	1
074-2BT-105	Torrente Rizzuto	Caltanissetta	Butera	S di Casa San Pietro	643010	11	A	2	---
074-2BT-106	Torrente Rizzuto	Caltanissetta	Butera	SW di Casa San Pietro	643010	11	A	2	---
074-2BT-107	Torrente Rizzuto	Caltanissetta	Butera	NE di Casa Turchio Grande	643010	11	A	1	---
074-2BT-108	Torrente Rizzuto	Caltanissetta	Butera	Torrente Rizzuto	643060	11	A	2	---
074-2BT-109	Torrente Rizzuto	Caltanissetta	Butera	Torrente Marchesa di San Pietro	643060	11	A	2	3
074-2BT-110	Torrente Rizzuto	Caltanissetta	Butera	E di Monte Desusino	643010	11	A	2	---
074-2BT-111	Torrente Rizzuto	Caltanissetta	Butera	Casa Schingipane	643050	11	A	2	2

Elenco dei dissesti geomorfologici e relativo grado di pericolosità e rischio

Sigla	Bacino idrografico	Provincia	Comune	Località	CTR 1:10.000	Tipologia	Attività	Pericolosità	Rischio
073-2BT-005	Area territoriale Rizzuto-Imera mer.	Caltanissetta	Butera	NW di fattoria Desusino	643050	11	A	1	---
073-2BT-006	Area territoriale Rizzuto-Imera mer.	Caltanissetta	Butera	N di Fattoria Desusino	643050	11	A	2	2

Le frecce rosse indicano le aree PAI interessate da dissesti ai fini del presente studio.

GEOLOGIA DELL'AREA IN ESAME

Attraverso il rilevamento geologico di dettaglio, eseguito in un'area più vasta di quella direttamente interessata dalle opere 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 evaporatici 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 vari spessori 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-bluestre 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 di trasformazione progettata e la posa dei cavidotti, va a ricadere prevalentemente su argille marnose grigio azzurre a fatturazione concoide e stratificazione indistinta del pliocene superiore e argille marnose grigio azzurre stratificate (la cui formazione in letteratura geologica è denominata "Formazione Licata" del langhiano inferiore-tortoniano superiore).

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'avampaese 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 Rio del Millione e dal Torrente Marchesa di San Pietro, 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, come precedentemente riportato, viene favorita sia dalla natura geologica degli affioramenti, sia dall'assenza di vegetazione arborea, praticandosi sui suoli prevalentemente colture seminative semplici con sporadiche alberature, e la serricoltura. 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.

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 - *Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi* caratterizzati da valori di Vs30 superiori a 800 m/s, comprendenti eventuali strati di alterazione superficiale di spessore massimo pari a 3 m.

B - *Rocce tenere o depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti*, con spessori superiori a 30 mt, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori Vs30 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 – Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs30 compresi tra 180 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 – Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori Vs30 inferiori a 180 m/s (ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $C_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).

E – Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 metri posti sul substrato di riferimento, con valori di Vs30 > 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 "C" essendo emerso un valore Vs30 = 232 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 (ag_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:

$$\begin{aligned}
 0 \leq T < T_B & \quad \text{Sve} (T) = 0,9 \text{ ag} \times S \times [1+T/T_B \times (\eta \times 3,0 - 1)] \\
 T_B \leq T < T_C & \quad \text{Sve} (T) = 0,9 \text{ ag} \times S \times \eta \times 3,0 \\
 T_C \leq T < T_D & \quad \text{Sve} (T) = 0,9 \text{ ag} \times S \times \eta \times 3,0 \times (T_C/T) \\
 T_D \leq T & \quad \text{Sve} (T) = 0,9 \text{ ag} \times S \times \eta \times 3,0 \times (T_C T_D / T^2)
 \end{aligned}$$

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 **Fo** (valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale) e **Tc*** (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 Desusino del Comune di Butera (punto di coordinate Lat. 37.132540 – Long. 14.076576) in cui viene a essere progettata la stazione di trasformazione del parco eolico off shore, per categoria di **suolo "C"** si viene ad avere:

Coordinate Geografiche Sito	
Lat [deg]	37.132540
Long [deg]	14.076576

Parametri Spettrali	
Direzione sisma	Orizzontale
Classificazione suolo	C
Categoria Topografica sito	T1
Rapporto h/H	0.50
Amplificazione topografica	1.000
Smorzamento strutturale	5%

Parametri Spettrali per i 4 Stati Limite				
Stato Limite	T_r	a_g	F_o	T^*_c
	[anni]	[g]	[-]	[s]
Operatività (SLO)	60	0.030	2.450	0.247
Danno (SLD)	101	0.037	2.484	0.294
Salvaguardia Vita (SLV)	949	0.092	2.596	0.536
Prevenzione Collasso (SLC)	1950	0.129	2.562	0.578

Spettro di risposta di progetto in Accelerazione							
T	$S_{Ael,SLO}$	T	$S_{Ael,SLD}$	T	$S_{Ael,SLC}$	T	$S_{Ael,SLV}$
[sec]	[g]	[sec]	[g]	[sec]	[g]	[sec]	[g]
0.000	0.045	0.000	0.055	0.000	0.138	0.000	0.194
0.137	0.111	0.154	0.137	0.231	0.358	0.243	0.496
0.412	0.111	0.462	0.137	0.692	0.358	0.728	0.496
0.543	0.084	0.591	0.107	0.819	0.302	0.866	0.416
0.674	0.068	0.719	0.088	0.947	0.262	1.005	0.359
0.805	0.057	0.848	0.075	1.074	0.230	1.144	0.315
0.935	0.049	0.976	0.065	1.202	0.206	1.283	0.281
1.066	0.043	1.105	0.057	1.330	0.186	1.422	0.254
1.197	0.038	1.233	0.051	1.457	0.170	1.561	0.231
1.328	0.034	1.362	0.047	1.585	0.156	1.700	0.212
1.459	0.031	1.490	0.043	1.713	0.145	1.838	0.196
1.590	0.029	1.619	0.039	1.840	0.135	1.977	0.182
1.721	0.027	1.747	0.036	1.968	0.126	2.116	0.171
2.177	0.017	2.198	0.023	2.374	0.086	2.493	0.123
2.632	0.011	2.648	0.016	2.781	0.063	2.870	0.093
3.088	0.008	3.099	0.012	3.187	0.048	3.246	0.072
3.544	0.006	3.549	0.009	3.594	0.038	3.623	0.058
4.000	0.005	4.000	0.007	4.000	0.030	4.000	0.048

LINEAMENTI GEOTECNICI

La caratterizzazione geotecnica del sottosuolo viene in questa fase desunta **da dati tabellari** ritenuti validi e sufficienti in questa fase di progettazione e ai fini delle verifiche di stabilità dei versanti di seguito sviluppati. Le aree interessate dal cavidotto non ricadono interamente su un'unica litologia, per cui vengono forniti dei dati geotecnici cautelativi riferiti a delle argille predominanti che, in questa fase, permettono di eseguire delle verifiche di stabilità in sicurezza.

I dati geotecnici dei terreni analizzati, possono essere, pertanto, sintetizzati nel seguente prospetto:

Caratteristiche geotecniche:

- | | |
|-----------------------------|-------------------------------|
| ➤ Peso di volume | $\gamma = 1.85 \text{ kg/mc}$ |
| ➤ Coesione | $c' = 0,5 \text{ kg/mq}$ |
| ➤ Angolo di attrito interno | $\varphi' = 23^\circ$ |

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 estesa campagna geognostica, vista la consistenza delle opere, con prelievo di campioni indisturbati alle diverse profondità sia in corrispondenza della stazione di trasformazione, sia in corrispondenza dei punti critici rilevati lungo la strada di attraversamento della sottotraccia, ove sono emersi cinematismi da versante, 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 per interventi consolidativi a salvaguardia delle opere.

VERIFICHE DI STABILITA' DEI VERSANTI

Definizione

Per pendio s'intende una porzione di versante naturale il cui profilo originario è stato modificato da interventi artificiali rilevanti rispetto alla stabilità. Per frana s'intende una situazione di instabilità che interessa versanti naturali e coinvolgono volumi considerevoli di terreno.

Introduzione all'analisi di stabilità

La risoluzione di un problema di stabilità richiede la presa in conto delle equazioni di campo e dei legami costitutivi. Le prime sono di equilibrio, le seconde descrivono il comportamento del terreno. Tali equazioni risultano particolarmente complesse in quanto i terreni sono dei sistemi multifase, che possono essere ricondotti a sistemi monofase solo in condizioni di terreno secco, o di analisi in condizioni drenate.

Nella maggior parte dei casi ci si trova a dover trattare un materiale che se saturo è per lo meno bifase, ciò rende la trattazione delle equazioni di equilibrio notevolmente complicata. Inoltre è praticamente impossibile definire una legge costitutiva di validità generale, in quanto i terreni presentano un comportamento non-lineare già a piccole deformazioni, sono anisotropi ed inoltre il loro comportamento dipende non solo dallo sforzo deviatorico ma anche da quello normale. A causa delle suddette difficoltà vengono introdotte delle ipotesi semplificative:

(a) Si usano leggi costitutive semplificate: modello rigido perfettamente plastico. Si assume che la resistenza del materiale sia espressa unicamente dai parametri coesione (c) e angolo di resistenza al taglio (ϕ), costanti per il terreno e caratteristici dello

stato plastico; quindi si suppone valido il criterio di rottura di Mohr-Coulomb.

(b) In alcuni casi vengono soddisfatte solo in parte le equazioni di equilibrio.

Metodo equilibrio limite (LEM)

Il metodo dell'equilibrio limite consiste nello studiare l'equilibrio di un corpo rigido, costituito dal pendio e da una superficie di scorrimento di forma qualsiasi (linea retta, arco di cerchio, spirale logaritmica); da tale equilibrio vengono calcolate le tensioni da taglio (τ) e confrontate con la resistenza disponibile (τ_f), valutata secondo il criterio di rottura di *Coulomb*, da tale confronto ne scaturisce la prima indicazione sulla stabilità attraverso il coefficiente di sicurezza $F = \tau_f / \tau$.

Tra i metodi dell'equilibrio limite alcuni considerano l'equilibrio globale del corpo rigido (*Culman*), altri a causa della non omogeneità dividono il corpo in conci considerando l'equilibrio di ciascuno (*Fellenius, Bishop, Janbu ecc.*).

Di seguito vengono discussi i metodi dell'equilibrio limite dei conci.

Metodo dei conci

La massa interessata dallo scivolamento viene suddivisa in un numero conveniente di conci. Se il numero dei conci è pari a n , il problema presenta le seguenti incognite:

n valori delle forze normali N_j agenti sulla base di ciascun concio;

n valori delle forze di taglio alla base del concio T_j

- $(n-1)$ forze normali E_j agenti sull'interfaccia dei conci;
- $(n-1)$ forze tangenziali X_j agenti sull'interfaccia dei conci;
- n valori della coordinata a che individua il punto di applicazione delle E_j ;
- $(n-1)$ valori della coordinata che individua il punto di applicazione delle X_j ;
- una incognita costituita dal fattore di sicurezza F .

Complessivamente le incognite sono $(6n-2)$.

mentre le equazioni a disposizione sono:

Equazioni di equilibrio dei momenti n

Equazioni di equilibrio alla traslazione verticale n

Equazioni di equilibrio alla traslazione orizzontale n

Equazioni relative al criterio di rottura n

Totale numero di equazioni $4n$

Il problema è staticamente indeterminato ed il grado di indeterminazione è pari a

$$i = (6n-2)-(4n) = 2n-2.$$

Il grado di indeterminazione si riduce ulteriormente a $(n-2)$ in quando si fa l'assunzione che

N_j sia applicato nel punto medio della striscia, ciò equivale ad ipotizzare che le tensioni normali totali siano uniformemente distribuite.

I diversi metodi che si basano sulla teoria dell'equilibrio limite si differenziano per il modo in cui vengono eliminate le $(n-2)$ indeterminazioni.

Metodo di BISHOP (1955)

Con tale metodo non viene trascurato nessun contributo di forze agenti sui blocchi e fu il primo a descrivere i problemi legati ai metodi convenzionali.

Le equazioni usate per risolvere il problema sono:

$\Sigma F_v = 0$, $\Sigma M_0 = 0$, Criterio di rottura.

$$F = \frac{\Sigma \{ c_i \times b_i + (W_i - u_i \times b_i + \Delta X_i) \times \tan \varphi_i \} \times \frac{\sec \alpha_i}{1 + \tan \alpha_i \times \tan \varphi_i / F}}{\Sigma W_i \times \sin \alpha_i}$$

I valori di F e di ΔX per ogni elemento che soddisfano questa equazione danno una soluzione rigorosa al problema. Come prima approssimazione conviene porre $\Delta X = 0$ ed iterare per il calcolo del fattore di sicurezza, tale procedimento è noto come metodo di **Bishop ordinario**, gli errori commessi rispetto al metodo completo sono di circa 1 %.

Valutazione Dell'azione Sismica

Nelle verifiche agli Stati Limite Ultimi la stabilità dei pendii nei confronti dell'azione sismica viene eseguita con il metodo pseudo-statico. Per i terreni che sotto l'azione di un carico ciclico possono sviluppare pressioni interstiziali elevate viene considerato un aumento in percento delle pressioni neutre che tiene conto di questo fattore di perdita di resistenza.

Ai fini della valutazione dell'azione sismica, nelle verifiche agli stati limite ultimi, vengono considerate le seguenti forze statiche equivalenti:

$$F_H = K_o \cdot W$$

$$F_V = K_v \cdot W$$

Essendo:

F_H e F_V rispettivamente la componente orizzontale e verticale della forza d'inerzia applicata al baricentro del concio;

W: peso concio

K_o : Coefficiente sismico orizzontale

K_v : Coefficiente sismico verticale.

Calcolo coefficienti sismici

Le **NTC 2008** calcolano i coefficienti K_o e K_v in dipendenza di vari fattori:

$$K_o = \beta_s \times (a_{\max}/g)$$

$$K_v = \pm 0,5 \times K_o$$

Con

β_s coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito; **a_{\max}** accelerazione orizzontale massima attesa al sito; **g** accelerazione di gravità. Tutti i fattori presenti nelle precedenti formule dipendono dall'accelerazione massima attesa sul sito di riferimento rigido e dalle caratteristiche geomorfologiche del territorio.

$$a_{\max} = S_S S_T a_g$$

S_S (effetto di amplificazione stratigrafica): $0.90 \leq S_S \leq 1.80$; è funzione di F_0 (Fattore massimo di amplificazione dello spettro in

accelerazione orizzontale) e della categoria di suolo (A, B, C, D, E).
 S_T (effetto di amplificazione topografica).

Il valore di S_T varia con il variare delle quattro categorie topografiche introdotte:

$$T1(S_T = 1.0) \quad T2(S_T = 1.20) \quad T3(S_T = 1.20) \quad T4(S_T = 1.40).$$

Questi valori sono calcolati come funzione del punto in cui si trova il sito oggetto di analisi. Il parametro di entrata per il calcolo è il tempo di ritorno dell'evento sismico che è valutato come segue:
 $T_R = -V_R / \ln(1 - PVR)$

Con V_R vita di riferimento della costruzione e PVR probabilità di superamento, nella vita di riferimento, associata allo stato limite considerato. La vita di riferimento dipende dalla vita nominale della costruzione e dalla classe d'uso della costruzione (in linea con quanto previsto al punto 2.4.3 delle NTC). In ogni caso V_R dovrà essere maggiore o uguale a 35 anni.

Con l'**OPCM 3274** e successive modifiche, i coefficienti sismici orizzontale K_0 e verticale K_v che interessano tutte le masse vengono calcolati come:

$$K_0 = S \cdot (a_g/g) \quad K_v = 0.5 \cdot K_0$$

S: fattore dipendente dal tipo di suolo secondo lo schema:

tipo A - $S=1$;
tipo B - $S=1.25$;
tipo C - $S=1.25$;
tipo E - $S=1.25$;
tipo D - $S=1.35$.

Per pendii con inclinazione superiore a 15° e dislivello superiore a 30 m, l'azione sismica deve essere incrementata moltiplicandola per il coefficiente di amplificazione topografica S_T :

$S_T \geq 1,2$ per siti in prossimità del ciglio superiore di pendii scoscesi isolati;
 $S_T \geq 1,4$ per siti prossimi alla sommità di profili topografici aventi larghezza in testa molto inferiore alla larghezza alla base e pendenza media > 30°; $S_T \geq 1,2$ per siti dello stesso tipo ma pendenza media inferiore.

L'applicazione del **D.M. 88** e successive modifiche ed integrazioni è consentito mediante l'inserimento del coefficiente sismico orizzontale K_0 in funzione delle Categorie Sismiche secondo il seguente schema: I Cat. $K_0=0.1$; II Cat. $K_0=0.07$; III Cat. $K_0=0.04$

Per l'applicazione dell'**Eurocodice 8** (progettazione geotecnica in campo sismico) il coefficiente sismico orizzontale viene così definito:

$$K_0 = a_{gR} \cdot \gamma_I \cdot S / (g)$$

a_{gR} : accelerazione di picco di riferimento su suolo rigido affiorante,

γ_I : fattore di importanza,

S: soil factor e dipende dal tipo di terreno (da A ad E).

$$a_g = a_{gR} \cdot \gamma_I$$

è la "design ground acceleration on type A ground".

Il coefficiente sismico verticale K_V è definito in funzione di K_0 , e vale:

$$K_V = \pm 0.5 \cdot K_0$$

Ricerca della superficie di scorrimento critica

In presenza di mezzi omogenei non si hanno a disposizione metodi per individuare la superficie di scorrimento critica ed occorre esaminarne un numero elevato di potenziali superfici.

Nel caso vengano ipotizzate superfici di forma circolare, la ricerca diventa più semplice, in quanto dopo aver posizionato una maglia dei centri costituita da m righe e n colonne saranno esaminate tutte le superfici aventi per centro il generico nodo della maglia $m \times n$ e raggio variabile in un determinato range di valori tale da esaminare superfici cinematicamente ammissibili.

Le verifiche sono state condotte su tre differenti Sezioni (vedi loro ubicazione su carta geologica allegata) i cui risultati vengono di seguito riportati.

SEZIONE 3 – 3'

Analisi di stabilità dei pendii con BISHOP

Numero di strati	1.0
Numero dei conci	10.0
Superficie di forma circolare	

Maglia dei Centri

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	45.38 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	20.64 m
Ascissa vertice destro superiore xs	67.71 m
Ordinata vertice destro superiore ys	33.66 m
Passo di ricerca	10.0
Numero di celle lungo x	10.0
Numero di celle lungo y	10.0

=====

Azione sismica

=====

Parametri di riferimento su sito rigido orizzontale

Accelerazione orizzontale massima al sito di riferimento rigido 0.03
 m/sec²
 Valore massimo fattore di amplificazione spettro in accelerazione orizzontale 2.45
 Periodo di inizio tratto a velocità costante spettro in accelerazione orizzontale 0.247sec

Parametri di Zona

Categoria sottosuolo C
 Categoria topografica

Coefficienti

Amplificazione stratigrafica 1.0
 Coef. funzione categoria suolo 0.0
 Amplificazione topografica 1.0
 Accelerazione orizzontale massima attesa al sito 0.03
 m/sec²
 Accelerazione massima (amax/g) 0.003
 Coefficiente riduzione acceler. massima attesa al sito 0.2

=====

Coefficiente azione sismica orizzontale Kh 0.001

Vertici profilo

N	X m	y m
1	0.0	0.0
2	65.9	9.2
3	120.0	19.5

Falda

Nr.	X m	y m
1	-0.15	-1.51
2	66.12	6.76
3	120.0	17.32

Stratigrafia

c: coesione; Fi: Angolo di attrito; G: Peso Specifico; Gs: Peso Specifico Saturo; K: Modulo di Winkler

Strato	c (kg/cm ²)	Fi (°)	G (Kg/m ³)	Gs (Kg/m ³)	K (Kg/cm ³)	Litologia
1	0.50	23	1850	2100.00	0.00	

Carichi distribuiti

N°	xi m	yi m	xf m	yf m	Carico esterno (kg/cm ²)
1	46.18	6.29	56.18	7.686055	0

Risultati analisi pendio

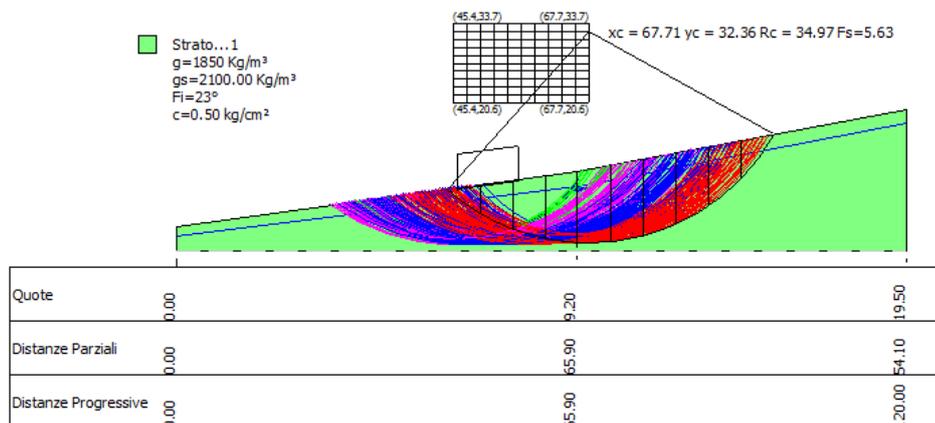
Fs minimo individuato	5.63
Ascissa centro superficie	67.71 m
Ordinata centro superficie	32.36 m
Raggio superficie	34.97 m

B: Larghezza del concio; Alfa: Angolo di inclinazione della base del concio; Li: Lunghezza della base del concio; Wi: Peso del concio ; Ui: Forze derivanti dalle pressioni neutre; Ni: forze agenti normalmente alla direzione di scivolamento; Ti: forze agenti parallelamente alla superficie di scivolamento; Fi: Angolo di attrito; c: coesione.

Analisi dei conci. Superficie...xc = 67.707 yc = 32.36 Rc = 34.966 Fs=5.6349

Nr. Ti (Kg)	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (kg/cm ²)	Fi (°)	Ui (Kg)	Ni (Kg)	
1	5.38	-36.1	6.66	25669.67	25.67	0.0	0.5	23.0	0.0	38197.2	8784.6
2	5.38	-25.8	5.97	70240.78	70.24	0.0	0.5	23.0	0.0	83598.6	11595.4
3	5.38	-16.3	5.6	100222.8	100.22	0.0	0.5	23.0	0.01082426	13124.1	
4	5.28	-7.3	5.32	117284.8	117.28	0.0	0.5	23.0	0.01200185	13760.1	
5	5.48	1.5	5.48	134738.5	134.74	0.0	0.5	23.0	0.01343860	14986.1	
6	5.38	10.5	5.47	138268.7	138.27	0.0	0.5	23.0	0.01378023	15232.9	
7	5.38	19.7	5.71	135491.1	135.49	0.0	0.5	23.0	0.01383571	15489.3	
8	5.38	29.4	6.17	120251.8	120.25	0.0	0.5	23.0	0.01294753	15231.1	
9	5.38	40.3	7.05	89863.44	89.86	0.0	0.5	23.0	0.01057405	14219.0	
10	5.38	53.5	9.04	37626.06	37.63	0.0	0.5	23.0	0.0	47565.5	11601.5

SEZIONE 3 - 3' VERIFICA DI STABILITA' CON
 CARICO E FALDA FS.MIN. 5.63



SEZIONE 5 – 5'

Analisi di stabilità dei pendii con BISHOP

Numero di strati	1.0
Numero dei conci	10.0
Superficie di forma circolare	

Maglia dei Centri

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	24.59 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	25.03 m
Ascissa vertice destro superiore xs	43.27 m
Ordinata vertice destro superiore ys	30.44 m
Passo di ricerca	10.0
Numero di celle lungo x	10.0
Numero di celle lungo y	10.0

Azione sismica

Parametri di riferimento su sito rigido orizzontale

Accelerazione orizzontale massima al sito di riferimento rigido 0.3
 m/sec²
 Valore massimo fattore di amplificazione spettro in accelerazione orizzontale 2.45
 Periodo di inizio tratto a velocità costante spettro in accelerazione orizzontale 0.247sec

Parametri di Zona

Categoria sottosuolo C

Categoria topografica

Coefficienti

Amplificazione stratigrafica 1.0

Coef. funzione categoria suolo 0.0

Amplificazione topografica 1.0

Accelerazione orizzontale massima attesa al sito 0.3
 m/sec²

Accelerazione massima (amax/g) 0.031

Coefficiente riduzione acceler. massima attesa al sito 0.2

Coefficiente azione sismica orizzontale Kh 0.006

Coefficiente azione sismica Verticale Kv 0.003

Vertici profilo

N	X m	y m
1	0.0	0.0
2	50.0	10.0
3	80.0	20.0

Falda

Nr.	X m	y m
1	0.0	-1.53
2	50.31	8.4
3	80.0	18.6

Stratigrafia

c: coesione; Fi: Angolo di attrito; G: Peso Specifico; Gs: Peso Specifico Saturo; K:

Modulo di Winkler

Strato	c (kg/cm ²)	Fi (°)	G (Kg/m ³)	Gs (Kg/m ³)	K (Kg/cm ³)	Litologia
1	0.5	23	1850	2100.00	0.00	

Carichi distribuiti

N°	xi	yi	xf	yf	Carico esterno
----	----	----	----	----	----------------

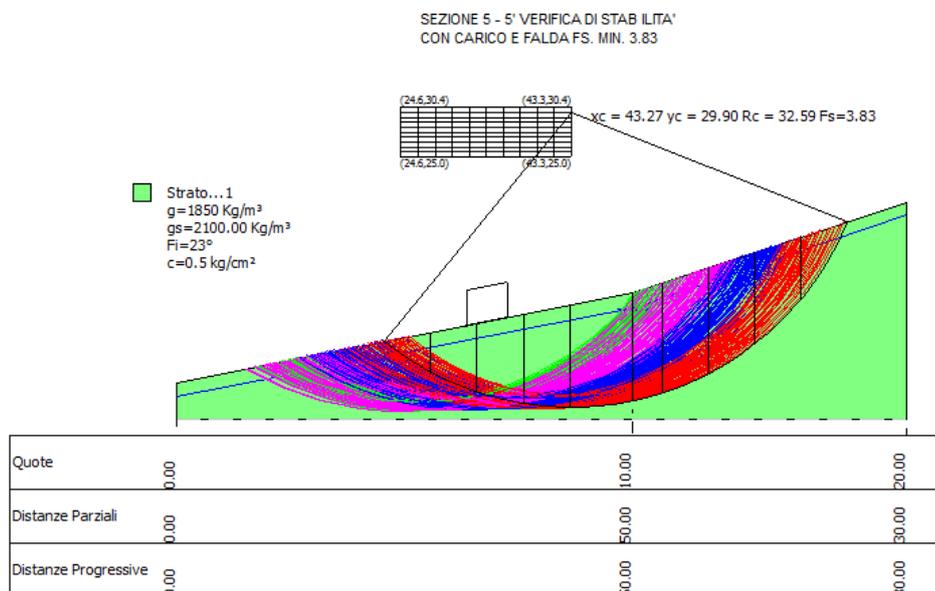
	m	m	m	m	(kg/cm ²)
1	31.83673	6.356109	36.32653	7.254068	0

Risultati analisi pendio

Fs minimo individuato	3.83
Ascissa centro superficie	43.27 m
Ordinata centro superficie	29.9 m
Raggio superficie	32.59 m

Analisi dei conci. Superficie...xc = 43.265 yc = 29.897 Rc = 32.59 Fs=3.8253

Nr. Ti (Kg)	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (kg/cm ²)	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	
1	5.08	-33.6	6.1	23193.13	139.16	69.58	0.5	23.0	0.0	35771.9	11936.6
2	5.08	-23.4	5.53	63157.93	378.95	189.47	0.5	23.0	0.0	75539.7	15611.4
3	5.08	-13.9	5.23	89978.13	539.87	269.93	0.5	23.0	0.0	97041.8	17604.8
4	5.08	-4.8	5.1	108612.0	651.67	325.84	0.5	23.0	0.0110585.9	18931.2	
5	6.92	5.8	6.95	164702.8	988.22	494.11	0.5	23.0	0.0162791.8	27152.1	
6	3.24	14.9	3.35	79902.16	479.41	239.71	0.5	23.0	0.0	79175.6	13164.4
7	5.08	22.7	5.5	126905.5	761.43	380.72	0.5	23.0	0.0128562.7	21457.8	
8	5.08	32.8	6.04	116942.7	701.66	350.83	0.5	23.0	0.0125108.8	21780.0	
9	5.08	44.4	7.11	92203.27	553.22	276.61	0.5	23.0	0.0108195.1	21294.4	
10	5.08	59.5	10.0	42965.81	257.79	128.9	0.5	23.0	0.0	52546.9	18899.4



SEZIONE 6 – 6'

Analisi di stabilità dei pendii con BISHOP

Numero di strati	1.0
Numero dei conci	10.0
Superficie di forma circolare	

Maglia dei Centri

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	44.22 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	28.89 m
Ascissa vertice destro superiore xs	61.64 m
Ordinata vertice destro superiore ys	36.0 m
Passo di ricerca	10.0
Numero di celle lungo x	10.0
Numero di celle lungo y	10.0

Azione sismica

Parametri di riferimento su sito rigido orizzontale

Accelerazione orizzontale massima al sito di riferimento rigido 0.3
 m/sec²
 Valore massimo fattore di amplificazione spettro in accelerazione orizzontale 2.45
 Periodo di inizio tratto a velocità costante spettro in accelerazione orizzontale 0.247sec

Parametri di Zona

Categoria sottosuolo C
 Categoria topografica

Coefficienti

Amplificazione stratigrafica 1.0
 Coef. funzione categoria suolo 0.0
 Amplificazione topografica 1.0
 Accelerazione orizzontale massima attesa al sito 0.3
 m/sec²
 Accelerazione massima (amax/g) 0.031
 Coefficiente riduzione acceler. massima attesa al sito 0.2

Coefficiente azione sismica orizzontale Kh 0.006
 Coefficiente azione sismica Verticale Kv 0.003

Vertici profilo

N	X m	y m
1	0.0	0.0
2	43.35	11.0
3	78.0	19.55

Falda

Nr.	X m	y m
1	0.0	-1.53
2	42.78	8.02
3	77.9	18.07

Stratigrafia

c: coesione; Fi: Angolo di attrito; G: Peso Specifico; Gs: Peso Specifico Saturo; K: Modulo di Winkler

Strato	c (kg/cm ²)	Fi (°)	G (Kg/m ³)	Gs (Kg/m ³)	K (Kg/cm ³)	Litologia
1	0.5	23	1850	2100.00	0.00	

Carichi distribuiti

N°	xi m	yi m	xf m	yf m	Carico esterno (kg/cm ²)
1	58.40051	14.98801	62.77806	15.99238	0

Risultati analisi pendio

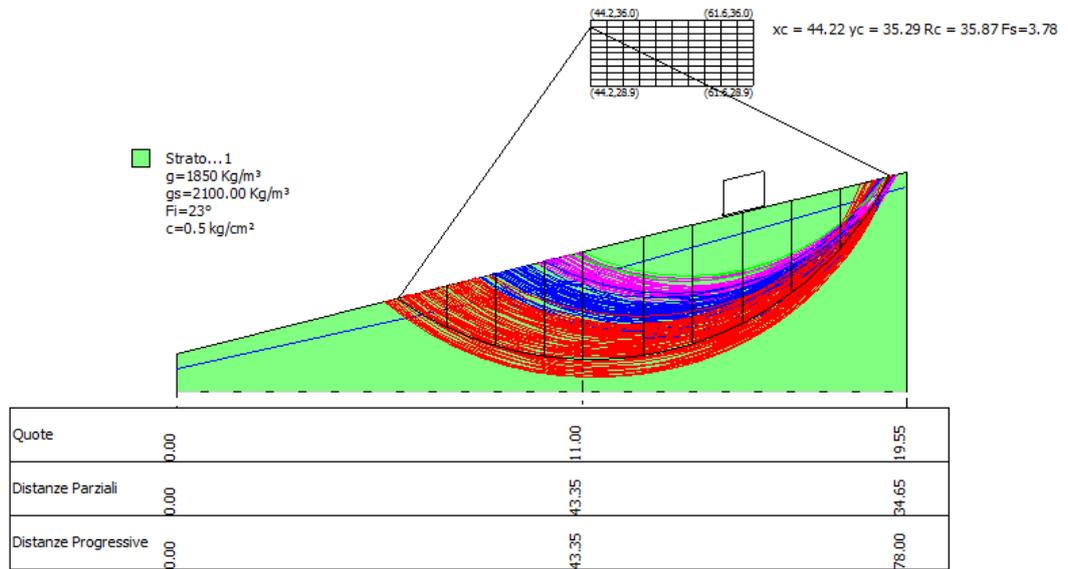
Fs minimo individuato	3.78
Ascissa centro superficie	44.22 m
Ordinata centro superficie	35.29 m
Raggio superficie	35.87 m

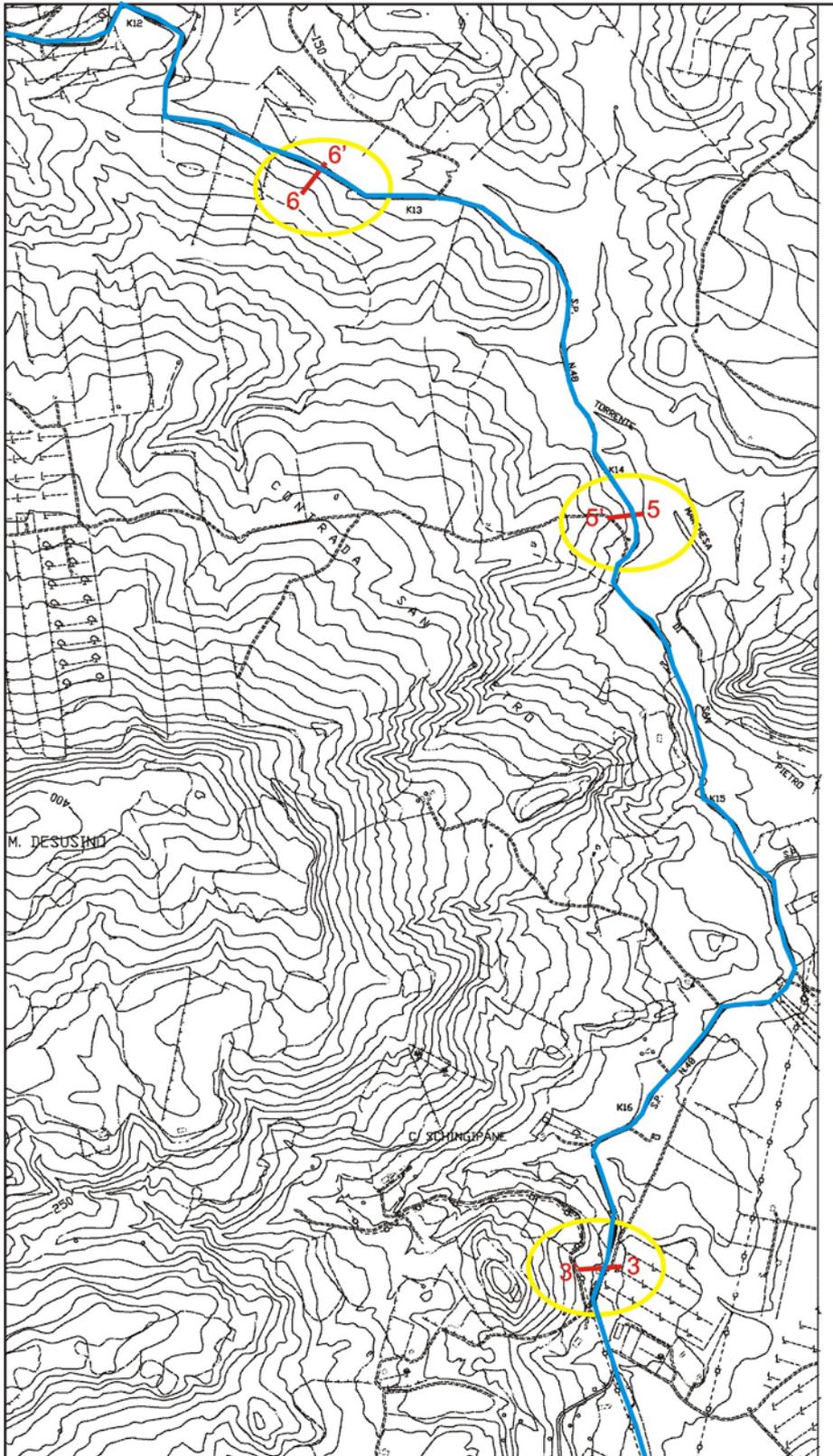
B: Larghezza del concio; Alfa: Angolo di inclinazione della base del concio; Li: Lunghezza della base del concio; Wi: Peso del concio ; Ui: Forze derivanti dalle pressioni neutre; Ni: forze agenti normalmente alla direzione di scivolamento; Ti: forze agenti parallelamente alla superficie di scivolamento; Fi: Angolo di attrito; c: coesione.

Analisi dei conci. Superficie...xc = 44.224 yc = 35.287 Rc = 35.869 Fs=3.7846

Nr. Ti (Kg)	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (kg/cm ²)	Fi (°)	Ui (Kg)	Ni (Kg)	
1	5.27	-30.3	6.1	23044.87	138.27	69.13	0.5	23.0	0.0	33614.8	11834.1
2	5.27	-20.9	5.64	65468.05	392.81	196.4	0.5	23.0	0.0	76208.2	16000.1
3	5.27	-12.1	5.39	97280.98	583.69	291.84	0.5	23.0	0.0103511.1	18729.2	
4	3.99	-4.6	4.01	88657.22	531.94	265.97	0.5	23.0	0.0	90182.2	15407.2
5	6.55	3.9	6.56	163968.5	983.81	491.91	0.5	23.0	0.0162529.2	26895.5	
6	5.27	13.4	5.42	139199.2	835.19	417.6	0.5	23.0	0.0137715.0	22602.8	
7	5.27	22.3	5.7	135124.4	810.75	405.37	0.5	23.0	0.0136681.2	22854.5	
8	5.27	31.8	6.2	120121.9	720.73	360.37	0.5	23.0	0.0127421.9	22484.4	
9	5.27	42.5	7.15	90900.41	545.4	272.7	0.5	23.0	0.0103958.4	21101.9	
10	5.27	55.7	9.35	39380.3	236.28	118.14	0.5	23.0	0.0	44466.3	17343.7

SEZIONE 6 - 6' VERIFICA DI STABILITA' CON CARICO E FALDA
 FS. MIN. 3.78





STRALCIO PLANIMETRICO NON IN SCALA

— tracce sottoposte a verifica di stabilita' del versante

— Cavidotto

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 di trasformazione e lungo la viabilità in cui verrà posta sottotraccia la rete di collegamento tra la stazione di trasformazione e la sottostazione di consegna e la stazione di consegna "Area Terna" del campo eolico Off-Shore in progetto la presenza di terreni tardorogeni della serie evaporitica gessoso solfifera. Nel ricostruire lo stralcio geologico cartografico allegato sono state eseguite sette sezioni geologiche schematiche che danno l'idea delle interazioni fra i litotipi che interessano il cavidotto e la stazione di trasformazione, oltre che la giacitura degli strati. La loro ubicazione, nonché il loro sviluppo, è visibile nella stessa carta geologica a corredo del presente lavoro.

Negli ambiti specifici il rilevamento geomorfologico di superficie non ha evidenziato segni o fenomeni indici di franosità in atto o potenziale in corrispondenza della stazione di consegna, mentre lungo la strada provinciale N.48 si sono evidenziati diversi punti critici per la presenza di smottamenti attivi di cui sarà bene tenere debito conto per una corretta progettazione delle opere che si andranno a realizzare e per la loro salvaguardia nel tempo. Taluni di tali dissesti, considerati *dissesti dovuti a processi erosivi intensi*, vengono cartografati 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. Tali dissesti vengono considerati attivi a pericolosità P1 E P2 **“Medio – Moderata”** e includono al loro interno, nei punti in cui coinvolgono la sede stradale provinciale n.48, elementi a rischio “moderato” e “medio” rispettivamente R1 e R2 (strade e ponti). Secondo le Norme Tecniche di attuazione del P.A.I. art.8 comma 8, in tali contesti la realizzazione di opere è consentita a condizione che queste siano corredate da indagini geologiche e geotecniche ai sensi della normativa in vigore. Nella carta geologica allegata alla relazione vengono attenzionati in modo particolare tre dissesti ritenuti particolarmente rilevanti, che vanno ad aggiungersi a quelli riportati dal P.A.I..

Le verifiche di stabilità del versante eseguite su tre differenti sezione, dati i valori geotecnici di impostazione e gli aspetti sismici considerati, hanno denotato valori del coefficiente F_s superiori al minimo consentito.

Per quanto attiene le tipologie fondazionali della stazione di consegna, come detto precedentemente, in fase esecutiva saranno eseguite indagini dirette puntuali, come da normativa vigente, al fine di consentire al progettista la scelta delle soluzioni progettuali più idonee in relazione all’esatta definizione stratigrafica e geotecnica dei litotipi di sedime, mentre le indagini effettuate in corrispondenza dei tratti in frana lungo la strada provinciale consentiranno oculati interventi consolidativi volti alla salvaguardia sia del versante che delle opere che si andranno a porre in essere. Per quanto concerne l’ubicazione della rete sottotraccia si consiglia di valutare l’ipotesi di una sua allocazione sul lato monte della viabilità considerato che in fase di rilevamento è emerso che il lato valle manifesta segni di cedimento per lunghi tratti in taluni dei quali, tra l’altro in fase esecutiva occorrerà eseguire opere di consolidamento.

Le analisi tomografiche effettuate sul sito in cui viene prevista la stazione di consegna 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	<i>C – Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i>
---	---

La frequenza di risonanza del sottosuolo è risultata pari a 5.22 +/- 0.69 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: 27 Maggio 2013

IL GEOLOGO



INDAGINE SISMICA REDATTA AI SENSI DELLA NORMATIVA
VIGENTE (NCT 14.01.2008)



1.Premesse

Nell'ambito della progettazione per la realizzazione di una stazione di trasformazione a servizio di un parco eolico off – shore da realizzarsi nel Golfo di Gela e rete di adduzione alla sottostazione di consegna e alla stazione di consegna “Area Terna”, da realizzare sottotraccia, lo scrivente Dr. Pietro Montanelli ha effettuato altresì un'indagine geofisica sui terreni in cui si devono effettuare i lavori.

In modo precipuo l'indagine è stata 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:

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

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_{s30} , 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 individuata come area di sedime della fondazione.

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 microtremori. 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 microtremori 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 V_{s30}

Se è nota la misura della profondità H del bedrock e la stessa $H \geq 30$ m è immediato calcolare il valore di V_{s30} attraverso la misura della frequenza f .

$$V_{s30} = f \times 4H$$

Ai fini di una corretta ricostruzione sismica del sottosuolo e una buona stima delle onde V_s 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:

V_s = valore di velocità delle onde di taglio [m/s]
 H = profondità alla quale si desidera stimare V_s [m] (30 m in caso di V_{s30})
 h_i = 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	V _s min [m/s]	V _s media [m/s]	V _s 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 risolvete 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 $f = 0,5 \text{ Hz}$. Una frequenza di 0,5 Hz equivale ad un periodo $T = 2 \text{ s}$, 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 tomografico eseguito si è adottata una durata della registrazione pari a 20 min.

4. Stima del valore di V_{s30}

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 V_s .

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 5.70 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 $V_{S30} = 232$ m/s

5. Risultanze del sondaggio tromografico e calcolo del valore di Vs30

GELA STAZIONE DI TRASFORMAZIONE SS1

Start recording: 23/05/13 09:46:33 End recording: 23/05/13 10:06:34

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

GPS data not available

Trace length: 0h20'00". Analyzed 92% trace (manual window selection)

Sampling frequency: 128 Hz

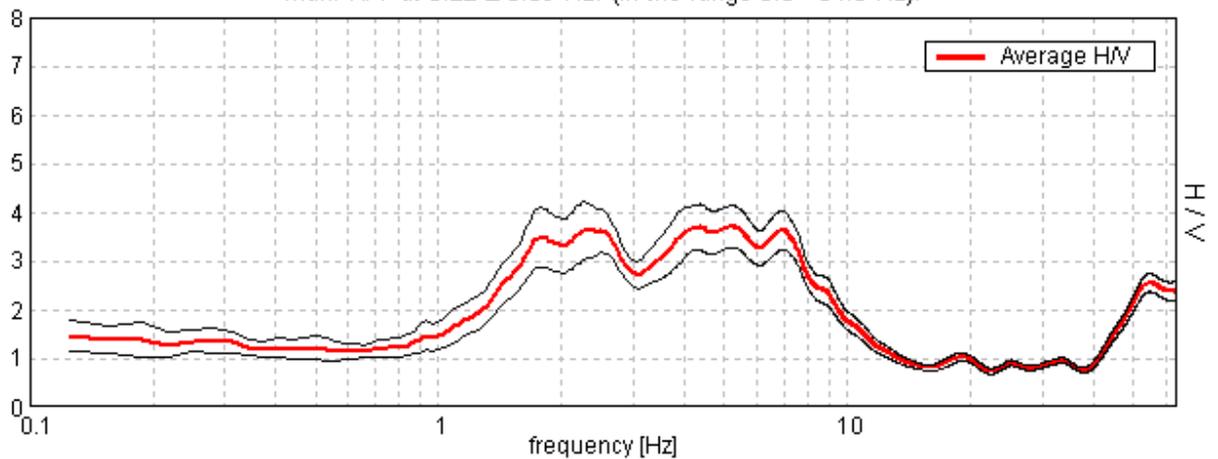
Window size: 20 s

Smoothing window: Triangular window

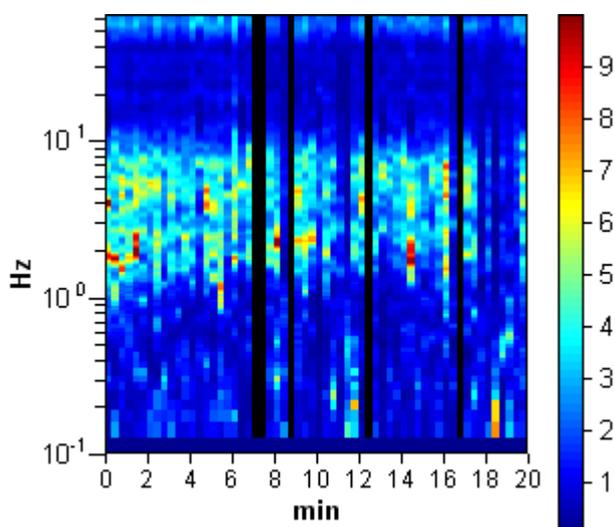
Smoothing: 10%

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

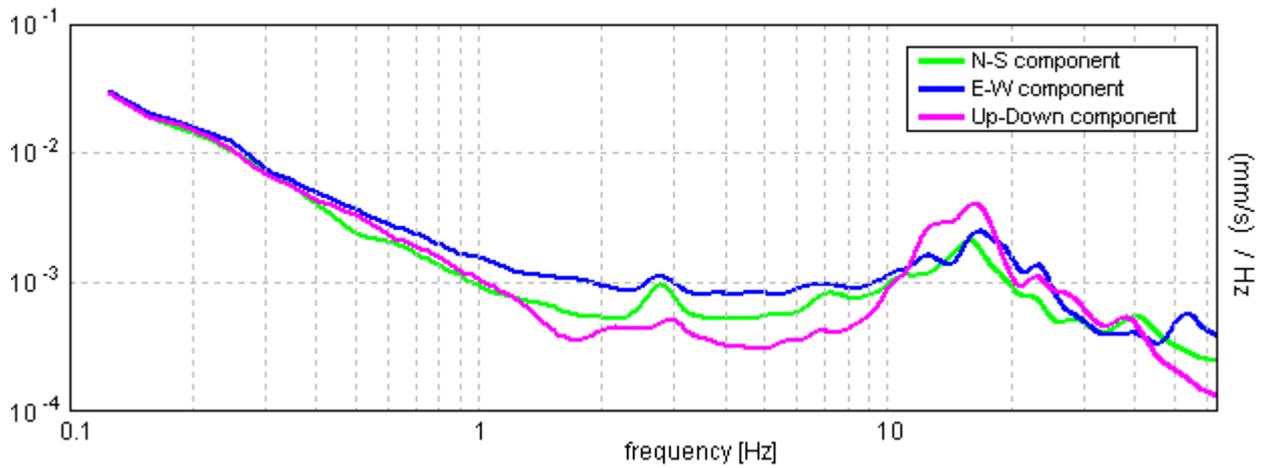
Max. H/V at 5.22 ± 0.69 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



H/V TIME HISTORY

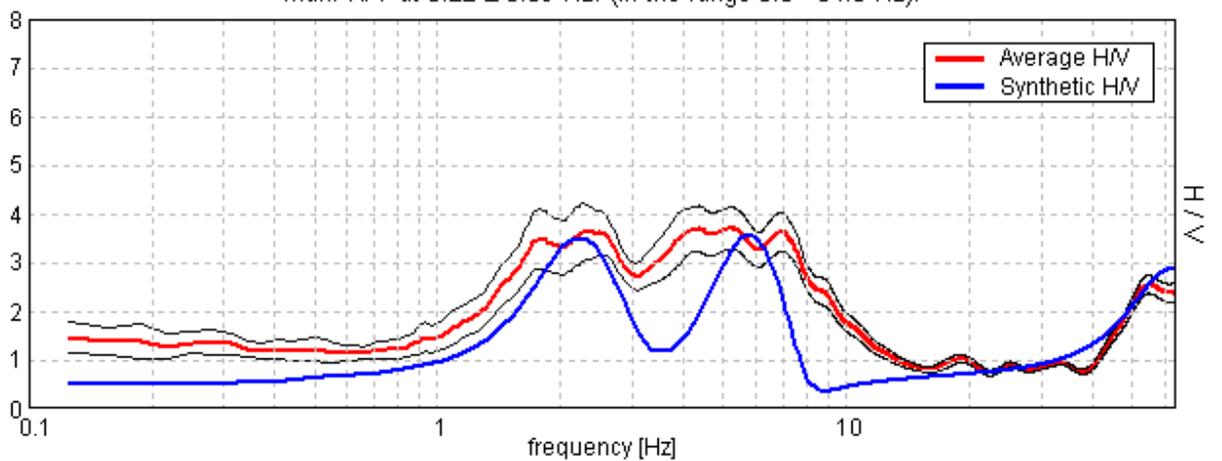


SINGLE COMPONENT SPECTRA



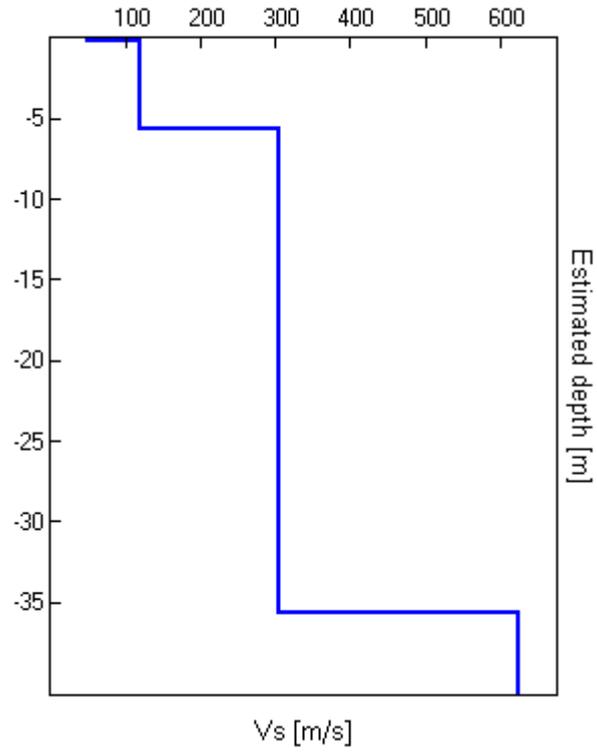
EXPERIMENTAL VS. SYNTHETIC H/V

Max. H/V at 5.22 ± 0.69 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]
0.20	0.20	50
5.70	5.50	120
35.70	30.00	305
inf.	inf.	625

Vs(0.0-30.0)=232m/s



[According to the Sesame, 2005 guidelines. Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.]

Max. H/V at 5.22 ± 0.69 Hz. (in the range 0.0 - 64.0 Hz).

Criteria for a reliable HVSR curve			
[All 3 should be fulfilled]			
$f_0 > 10 / L_w$	5.22 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	5740.6 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 252 times	OK	
Criteria for a clear HVSR peak			
[At least 5 out of 6 should be fulfilled]			
Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$			NO
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	9.813 Hz	OK	
$A_0 > 2$	3.71 > 2	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.06539 < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.34123 < 0.26094	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.2117 < 1.58	OK	

L_w	window length
n_w	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
f	current frequency
f_0	H/V peak frequency
σ_f	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	H/V peak amplitude at frequency f_0
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency f
f^-	frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$					
Freq.range [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
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
Log $\theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	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 $V_{s30} = 232$ m/s

Tenuto conto che tale valore di V_{s30} è compreso tra $180 < V_{s30} < 360$ m/s, al terreno di sedime analizzato si attribuirà la **categoria "C"** della tabella 3.2.II. e 3.2.III del D.M. 14/01/2008.

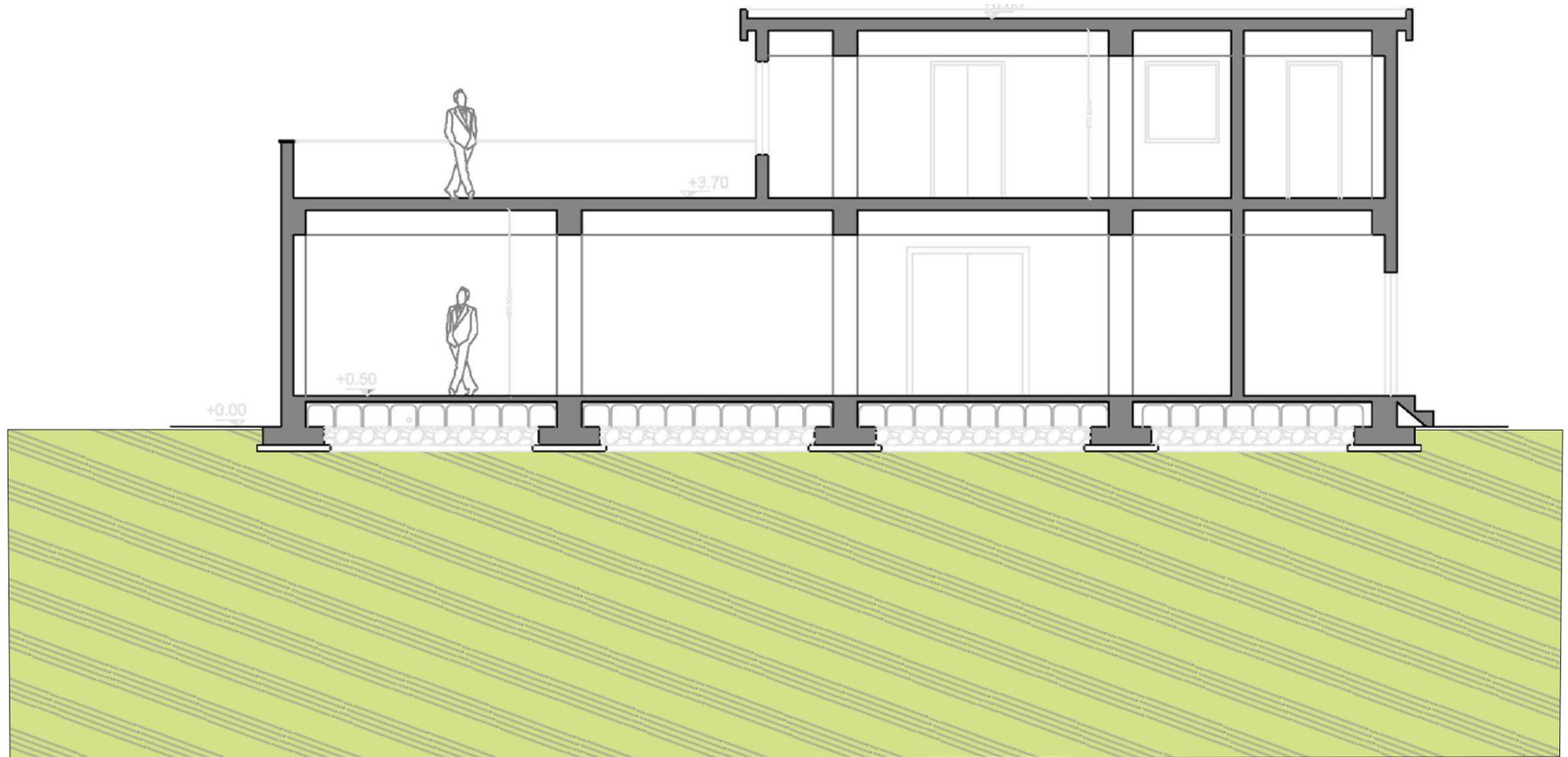
Categoria sottosuolo (tabella 3.2.II e 3.2.III) D.M. 14-01- 2008	C -- Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti
---	---

Data, Maggio 2013

Il Geologo

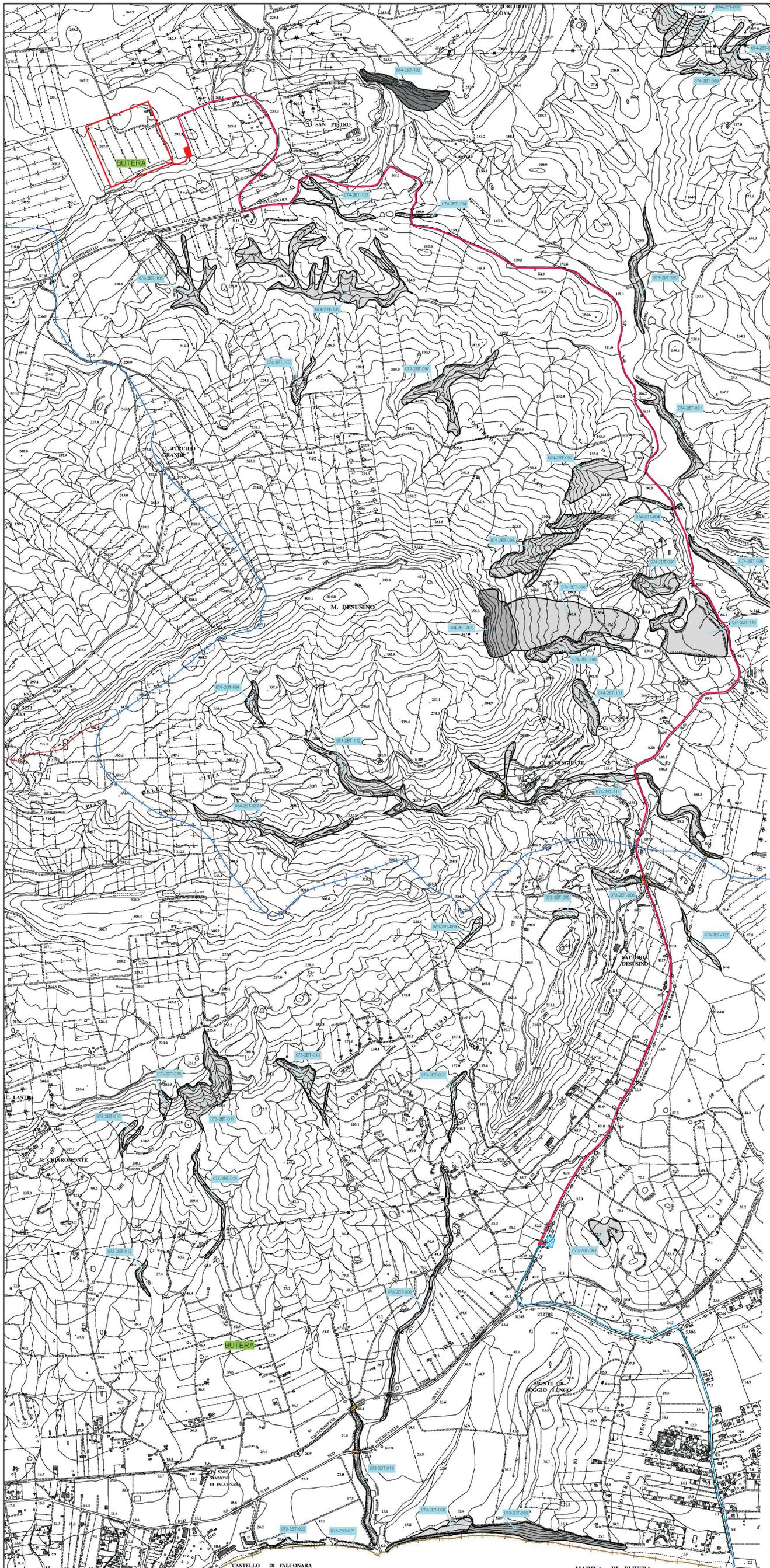


SEZIONE GEOLITOGICA SCHEMATICA SCALA 1:100



Argille Marnose grigio azzurre stratificate contenenti nella parte apicale livelli centimetrici limonitici. Tortoniano sup.

Stralcio P.A.I. Butera scala 1:10.000
 supporto cartografico CTR n° 643010 e 643050



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



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.)

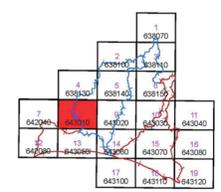
(ART. 1 D.L. 153/98 CONVERTITO CON MODIFICHE CON LA L. 267/98 e ss. mm. ii.)

- 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

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.)

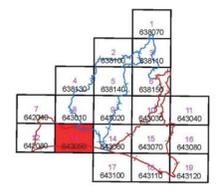
(ART. 1 D.L. 153/98 CONVERTITO CON MODIFICHE CON LA L. 267/98 e ss. mm. ii.)

- 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° 13

COMUNI DI BUTERA - LICATA
 Scala 1:10.000



Anno 2006

- Tracciato cavidotto
- Sottostazione di trasformazione
- Stazione di trasformazione
- Stazione di consegna area tema

Maggio 2013