



PARCO EOLICO "ROSAMARINA"

A.2 RELAZIONE GEOLOGICA

Studio di compatibilità geologica, geotecnica, geomorfologica, idrogeologica, idraulica e sismica.

Lavello (Potenza)

Marzo 2019

Version: A



Edp Renewables Italia Holding S.r.l.
Via Lepetit 8/10
20124 - Milano



Dott. Geol. Rosario A. FALCONE

GEOLOGIA

Via del Serbatoio, 6/a
85024 Lavello (Pz)
e-mai antonow.falcone@libero.it
Tel +39 3392290377



MARGIOTTA ASSOCIATI
Via Vaccaro n.37
85100 Potenza
P.IVA: 01108480763
Tel: 0971/37512

1. Introduzione	3
2. Opere da realizzare	4
3. Inquadramento geologico generale	5
4. AREA INTERESSATA DAL PARCO EOLICO	
4.1 Caratteristiche geologiche e geotecniche dei terreni interessati dal parco	14
4.1a Caratteri geolitologici	14
4.1b Sabbie-sabbie limose	14
4.2 Caratteristiche geomorfologiche	16
4.2 a Verifica di stabilità pendio.....	16
4.3 Circolazione idrica superficiale e sotterranea, permeabilità e bilancio idrologico .	20
4.4 Indagini effettuate.....	20
4.5 Cavidotto di collegamento.....	20
4.6 Problemi tecnici connessi alla realizzazione delle opere.....	21
5. SISMICITA' DELL' AREA.....	23
5.1 Inquadramento Macrosismico.....	23
5.2 Microzonazione sismica	27
6. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE	32
BIBLIOGRAFIA	34
Allegati:	35
Indagini consultate e relativa planimetria in scala 1:10000	
Planimetria con ubicazione dei sondaggi effettuati scala 1:6.000	
Carta P.A.I. dell' A.d. B. Puglia	
Carta geolitologica scala 1 : 5.000;	
Sezioni geologiche;	
Carta geomorfologica scala 1 : 5.000;	
Carta idrogeologica scala 1 : 5.000;	
Relazione di calcolo analitico stabilità pendio.....	49
Indagini indirette (stendi menti sismici MASW-ReMi -).....	69

1. INTRODUZIONE

Su incarico del Dott. Domenico MARINELLI per conto della Società E.D.P. Renewables Italia Holding S.r.l., è stato eseguito uno studio geologico al fine di acquisire gli elementi litologici, stratigrafici, geomorfologici, idrogeologici e geotecnici, necessari per una corretta valutazione dei parametri che influenzano e governano la pianificazione territoriale relativa al progetto “ **REALIZZAZIONE DEL PARCO EOLICO - ROSAMARINA - IN AGRO DEL COMUNE DI LAVELLO (Pz)**”, di cui il presente documento è parte integrante.

Lo studio ha interessato l'intera area su cui verrà realizzato il parco eolico e più dettagliatamente le singole superfici dove verranno posizionate le piattaforme di fissaggio delle torri eoliche.

La notevole estensione dell'area ha indotto lo scrivente ad eseguire una campagna di indagini geologiche di superficie di grande dettaglio ed a procedere alla caratterizzazione geotecnica dei terreni direttamente interessati dalle opere che andranno realizzate.

I risultati dei rilievi geologici e geomorfologici, realizzati direttamente dallo scrivente, sono stati riassunti in un'adeguata cartografia ed in una serie di sezioni esplicative (allegato 1). Per quanto riguarda la caratterizzazione geotecnica dei terreni, vista la omogeneità del contesto geolitologico e geomorfologico che caratterizza il territorio del Comune di Lavello, si è ritenuto opportuno far riferimento alle indagini condotte dallo scrivente per la realizzazione del parco eolico San Mauro e del parco eolico Tivano ubicati in aree poco distanti dall'area interessata dal parco eolico in oggetto. Comunque, sono state eseguite n° 4 indagini indirette del tipo MASW geophysical test per la definizione dello stato di aggregazione delle particelle e la redazione della carta di microzonazione sismica. Allo stato dell'arte si ritiene che il quadro geologico e geotecnica fornito, nonché le conclusioni cui si perviene nella presente nota tecnica, siano esaurienti e forniscano un adeguato strumento per la scelta e il dimensionamento delle opere in progetto.

In fase di realizzazione del progetto saranno effettuate ulteriori indagini strumentali in “situ” per la definizione puntuale dei caratteri geotecnici per ogni singolo aerogeneratore.

La normativa geologica di riferimento è: **legge n.64/74, D.M. 24/01/'86, D.M. 11/03/'88 e L.R. n.38/'97, L.R. 575/2009, D.M.17 gennaio 2018**

2. OPERE DA REALIZZARE

Gli interventi da realizzare sono rappresentati da:

- fondazioni di ancoraggio per le torri eoliche;
- le strade necessarie a collegare tutti gli aerogeneratori;
- trincee per il posizionamento dei cavi per il trasporto dell'energia elettrica prodotta da ciascun aerogeneratore.

3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE

Il territorio preso in esame è caratterizzato dall'affioramento di una successione sedimentaria di età compresa tra il Pliocene superiore ed il Quaternario. Tali terreni, di natura silico-clastica, sono ascrivibili alla serie regressiva nota in letteratura con il nome di "Ciclo Bradanico" a cui si sovrappongono depositi continentali fluvio-lacustri e alluvionali.

La Fossa Bradanica

Origine sedimentaria e stratigrafia

Le avanfosse sono bacini che si formano a causa della subsidenza flessurale di una placca che subduce. Si tratta di un sistema dinamico definito da due margini con caratteristiche differenti: uno molto articolato ed attivo tettonicamente, costituito da un "alto" di aree deformate che rappresenta la catena; l'altro è, invece, caratterizzato da pochi o nessun effetto di tettonica sinsedimentaria, formato dalle aree di avampaese degradanti verso la catena stessa. Il settore meridionale dell'avanfossa appenninica è detto Fossa Bradanica (*Auct.*) e la sua età è fatta risalire al Pliocene inferiore- Pleistocene (Balduzzi *et al.*, 1982). Tale fossa si è sviluppata tra la catena e la parte esposta del fessurato Avampaese Apulo subdotto dalle coltri appenniniche.

È un bacino di forma allungata in direzione NO-SE ed è caratterizzato da uno spessore non elevato (fig. 1.2).

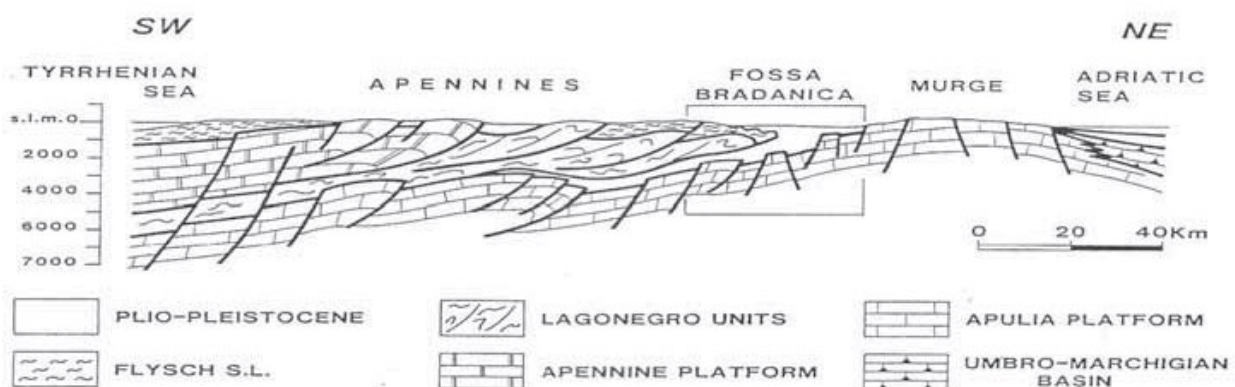


Figura 1.2 - Sezione geologica dell'Italia Meridionale: è evidenziata la posizione della Fossa Bradanica.. Da Sella *et al.*, 1988.

È possibile suddividerla in: a) un settore occidentale occupato da più sistemi di ricoprimento gravitativo separati da successioni meso-autoctone (formazione di Albidona, successioni marnoso-arenacee poggianti sulle coltri lagonegresi) e coperte da sequenze neo-autoctone (formazione di Gorgoglione) e b) un settore orientale colmato soltanto da terreni autoctoni. Il margine occidentale

della Fossa Bradanica ha una fisiografia molto irregolare. Il margine è costituito da sovrascorrimenti attivi che deformano unità, in prevalenza terziarie, già accavallatesi sui depositi di avanfossa infrapliocenici autoctoni; è caratterizzato da un'area interna ad alto gradiente in sollevamento (Pieri *et al.*,1996).

Le coperture sedimentarie Plio-Pleistoceniche che ricoprono la fossa possiedono uno spessore di 2-3 km (Tropeano *et al.*,2002).

Le unità litostratigrafiche che caratterizzano i bacini della Fossa Bradanica *s.s.* sono stati ampiamente descritti da Balduzzi *et al.* (1982), in seguito all'analisi di sezioni sismiche e dati di pozzo provenienti dall'esplorazione petrolifera di queste aree. Gli stessi autori distinguono questa parte meridionale dell'avanfossa appenninica in due bacini, separati da un alto strutturale detto soglia di Lavello: il bacino lucano, a sud, e il bacino pugliese, a nord. L'area di interesse del presente lavoro è situata entro il bacino lucano.

Gli autori individuano un substrato pre-pliocenico che presenta età via via più vecchie spostandosi dal settore nord-occidentale a quello sud-orientale. I depositi del substrato sono rappresentati da calcareniti organogene a Briozoi del Miocene Medio, da calcari, marne rosse, basalti scuri, brecciole calcaree, calcari dolomitici dell'Eocene e da calcari e calcari dolomitici del Cretaceo Superiore. Infine, all'estremo lembo occidentale del bacino lucano, si trovano gessi del Miocene Superiore. Il Pliocene-Pleistocene sarebbe costituito da sequenze sabbiose ed argillose. Andando dall'alto verso il basso le successioni litostratigrafiche sono così ripartite:

- argille e sabbie sommitali;
- intervallo sabbioso-argilloso intermedio;
- intervallo argilloso-marnoso di base;

Questa successione risulta sostanzialmente omogenea in senso longitudinale lungo l'asse del bacino, ad oriente delle coltri alloctone, mentre trasversalmente verso est appare quasi completamente costituita da livelli argillosi che sostituiscono lateralmente i corpi sabbiosi torbiditici. Verso ovest le potenti coltri gravitative interrompono la sedimentazione autoctona che viene così sostituita bruscamente da ammassi sedimentari di varia natura ed età (Balduzzi *et al.*, 1982). Sempre Balduzzi *et al.* (1982) riconoscono l'età di messa in posto dell'alloctono nel sottosuolo lucano e l'entità del fenomeno. Il ricoprimento si sarebbe realizzato tra il Pliocene Inferiore ed il Pleistocene coinvolgendo anche la successione carbonatica mesozoica.

L'elevata attività del regime compressivo ha favorito l'avanzamento delle coltri alloctone al fronte della catena (Mostardini e Merlini, 1986). I rapporti geometrici tra coltri alloctone e coltri autoctone, osservati a SO, vedono le prime inserite nella successione argilloso-sabbiosa plio-pleistocenica (fig. 1.1b).

Il bacino è sede di raccorciamento crostale causato dalla collisione continentale, che, oltre a provocare un graduale approfondimento dell'avanfossa, è stata causa della formazione di un sistema longitudinale di faglie inverse che borda il margine appenninico e che costituisce il raccordo fra la fascia di sollevamento della catena («rampa frontale») e quella di sprofondamento dell'avanfossa (Casnedi, 1988).

Un altro effetto legato alla collisione è il sistema trasversale di faglie in parte trascorrenti che individuano alti strutturali e depressioni bacinali, tra cui la separazione dei bacini lucano e pugliese ad opera della Sella di Lavello (Casnedi, 1988).

Nel quadro evolutivo della Fossa Bradanica, Tropeano *et al.* (2002) riconoscono due grandi fasi successive all'impostazione del bacino al margine della catena, a partire dal Pliocene fino al Quaternario: la fase di riempimento e quella di cannibalizzazione della fossa. In breve, queste due fasi evolutive rispecchiano la storia dell'avanfossa che, impostandosi sul margine subsidente occidentale dell'Avampaese Apulo, ha visto la deposizione di sedimenti plio-pleistocenici sui carbonati di piattaforma (figg. 1.1b - 1.3).

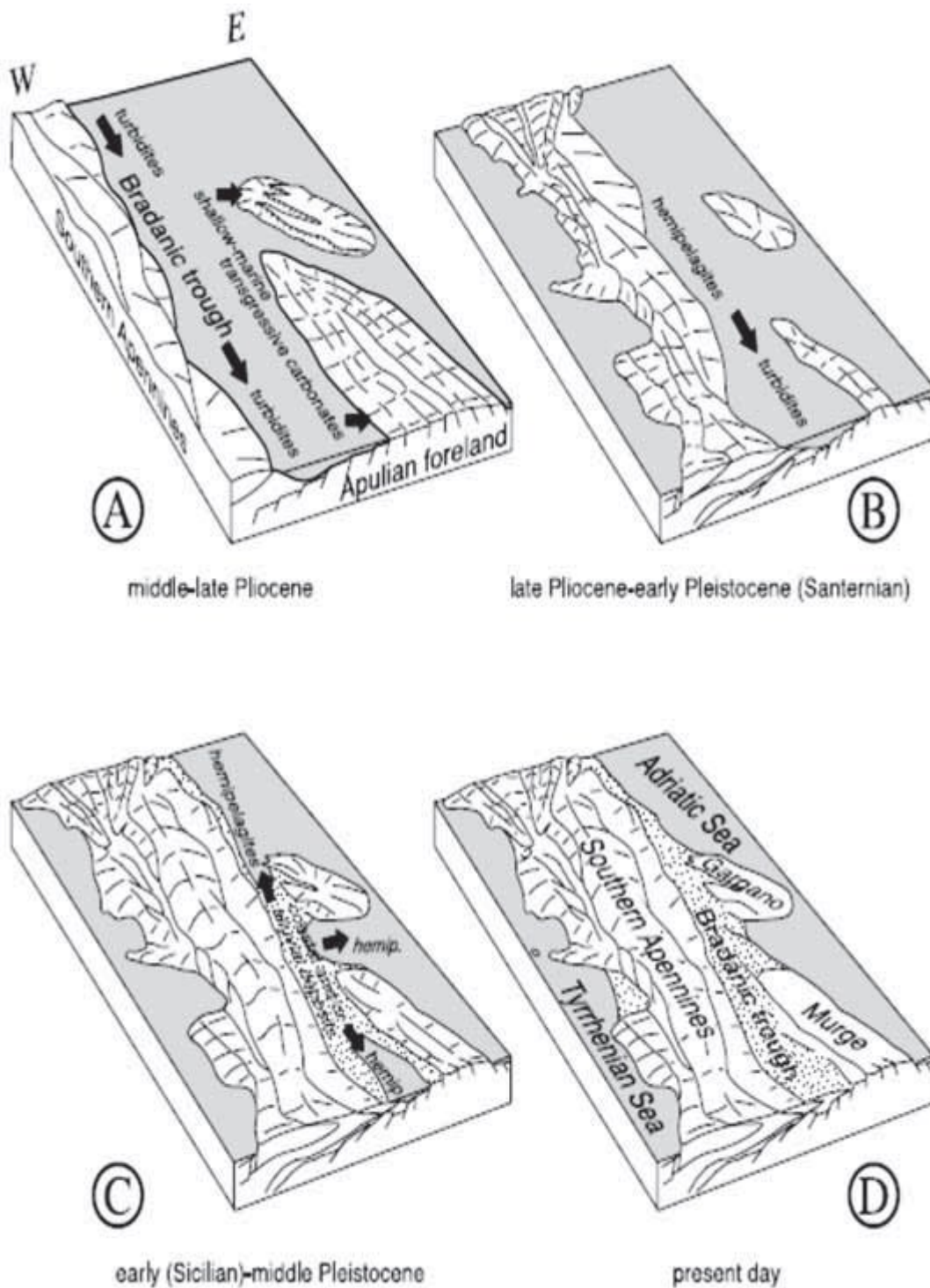


Figura 1.3 - Evoluzione e migrazione dei sistemi deposizionali nell'avanfossa sudappenninica. Da Tropeano *et al.*, 2002.

Le litologie del riempimento, in gran parte sepolte, precedentemente descritte, in accordo con Balduzzi *et al.* (1982), rappresentano successioni attribuite principalmente ad apporti terrigeni che nel corso del tempo colmano la fossa da nord-ovest verso sud-est (Casnedi, 1988). Sono riconosciuti diversi stadi del riempimento caratterizzati dalle relative successioni: pre-torbiditica, torbiditica, post-torbiditica.

La successione più profonda, nel bacino lucano, è quella pre-torbiditica, rappresentata dalle emipelagiti dell'intervallo argilloso-marnoso di base (Balduzzi *et al.*, 1982; Casnedi, 1988; Tropeano *et al.*, 2002) che secondo Casnedi *et al.* (1982) indicherebbe l'evento di massima subsidenza. L'evento intermedio caratterizzato dal riempimento da parte delle torbiditi s.s. e olistostromi (Casnedi *et al.*, 1982), è quello più importante, in quanto lo spessore delle successioni è molto elevato, presenta una evoluzione da nord-ovest verso sud-est, si sviluppa soprattutto nel bacino lucano durante il Pleistocene Inferiore ed è rappresentato dall'intervallo sabbioso-argilloso *sensu* Balduzzi *et al.* Il terzo evento, quello post-torbiditico, è rappresentato dalla deposizione delle emipelagiti (Balduzzi *et al.*, 1982; Casnedi, 1988; Tropeano *et al.*, 2002) che vede il colmamento generale delle depressioni e l'insorgere di fenomeni regressivi diffusi; la morfologia del fondo marino tende ad appiattirsi e la sedimentazione assume un andamento debolmente positivo, con depositi progressivamente più fini verso l'alto (Casnedi *et al.*, 1982). A causa del sollevamento regionale, che induce una regressione forzata, questi ultimi depositi si sviluppano nel Pleistocene Medio-Superiore (Tropeano *et al.*, 2002), e le emipelagiti nella parte alta vengono sostituite da depositi sabbioso-conglomeratici di ambiente di transizione e/o alluvionale, che formano corpi progradanti in contatto transizionale o erosivo sui sedimenti sottostanti (Pieri *et al.*, 1994), per cui sono denominati da Pieri *et al.* (1996) “*regressive coastal deposits*” (depositi costieri regressivi), conosciuti anche come “depositi marini terrazzati” (Vezzani, 1967; Boenzi *et al.*, 1976; Bruckner, 1980; De Marco, 1990).

Attualmente l'evoluzione procede con la cannibalizzazione dei depositi descritti ad opera delle profonde incisioni fluviali che attraversano la successione della Fossa Bradanica meridionale (Tropeano *et al.*, 2002). I sedimenti erosi rappresentano la principale sorgente dell'attuale sistema deposizionale del Golfo di Taranto, nel Mar Ionio, che presenta una dinamica del tutto simile a quella già descritta per lo stadio di deposizione delle torbiditi (Casnedi *et al.*, 1982; Senatore *et al.*, 1988).

Contesto geodinamico

L'evoluzione geodinamica della Fossa Bradanica, secondo Casnedi (1988), ha visto l'attivazione progressiva verso l'esterno di faglie inverse che mutano, nei fianchi interni, in sovrascorrimenti e scivolamenti gravitativi. La migrazione e la progradazione dei terreni alloctoni ha concorso allo spostamento di quelli torbiditici, verso l'esterno. Le depressioni più interne vengono colmate, strutturate da faglie longitudinali e quindi molto allungate in senso NO-SE. Questo riempimento

avviene dapprima per sedimentazione della frazione grossolana delle correnti di torbidità, mentre la frazione fine tracima dalle depressioni con depositi di *over-bank*, sui fianchi esterni.

Alla sedimentazione segue la traslazione tettonica, dovuta al raccorciamento crostale: attualmente gli assi di massimo spessore dei sedimenti nelle singole epoche si trovano infatti considerevolmente traslati verso NE rispetto agli originali assi depocentrali (Casnedi, 1988) (fig. 1.4).

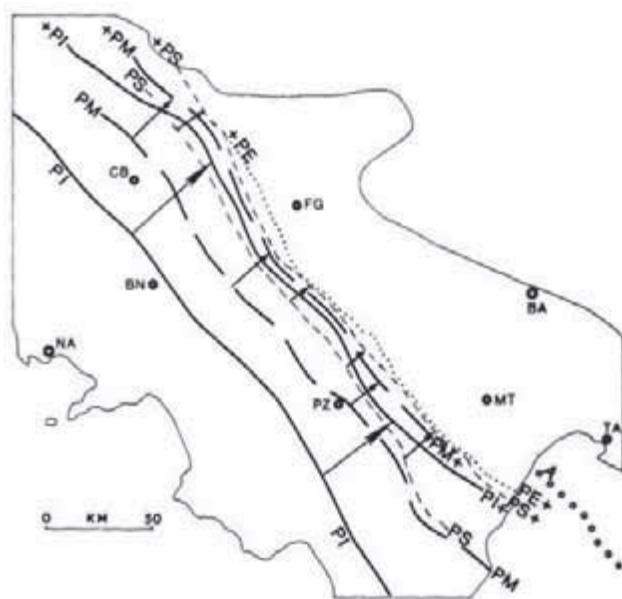


Figura 1.4 - Rappresentazione della migrazione dell'asse depocentrale durante le varie epoche. PI: Pliocene Inferiore; PM: Pliocene Medio; PS: Pliocene superiore; PE: Pleistocene; A: Attuale. Col segno + sono indicati gli assi di spessore massimo dei sedimenti delle singole epoche ove si trovano attualmente. Le frecce indicano la traslazione tettonica (non considerata nel Pleistocene). Da Casnedi, 1988.

Nel frattempo le depressioni più profonde migrano longitudinalmente verso SE. Infatti, essendo la fossa il risultato del movimento di subduzione della Placca Apula sotto l'Appennino e poiché i margini convergenti sono obliqui, ad angolo aperto a SE, la collisione e la chiusura avvengono dapprima nei settori NO e successivamente in quelli a SE.

Ne consegue che tuttora la fossa è attiva con sedimentazione attuale nel Golfo di Taranto, in cui è localizzata la Valle di Taranto che costituisce il depocentro attuale (Senatore *et al.*, 1988). Il comportamento dell'Avampaese Apulo, ad E della Fossa Bradanica, è strettamente legato alla penetrazione dello *slab* verso ovest. Questo meccanismo genera il prisma di accezione che presenta una geometria a ventaglio embriciato frontale e vede anche la migrazione verso E della cerniera di subduzione (Doglioni *et al.*, 1994; 1996). In questo contesto, il prisma si presenta strutturalmente e morfologicamente basso, quindi poco sviluppato nell'area della Fossa Bradanica, ma al suo margine occidentale, occupato da più sistemi di ricoprimento gravitativi separati da successioni meso-autoctone resta molto attivo con una geometria *out-of-sequence*, come documentato dalle deformazioni che interessano i depositi pleistocenici (Loiacono e Sabato, 1987).

L'attività fin qui descritta è quindi concausa del sollevamento, di questa regione iniziato nel Pleistocene Medio-Superiore, che coinvolge contemporaneamente l'avanfossa e l'avampaese, che risulta deformato per *buckling* (Dai Pra e Hearty, 1988; Doglioni *et al.*, 1994; 1996; Mastronuzzi e Sansò, 2002; Belluomini *et al.*, 2002). La deformazione per *buckling* è una conseguenza della bassa penetrazione dello *slab*, dovuta al raggiungimento da parte della spessa litosfera continentale della zona di subduzione e dall'opposizione al flusso relativo del mantello (verso est) della parte subdotta (immergente verso ovest), che causa l'arretramento verso est della cerniera di subduzione (Doglioni, 1991; Doglioni *et al.*, 1994), come è rappresentato in figura 1.5.

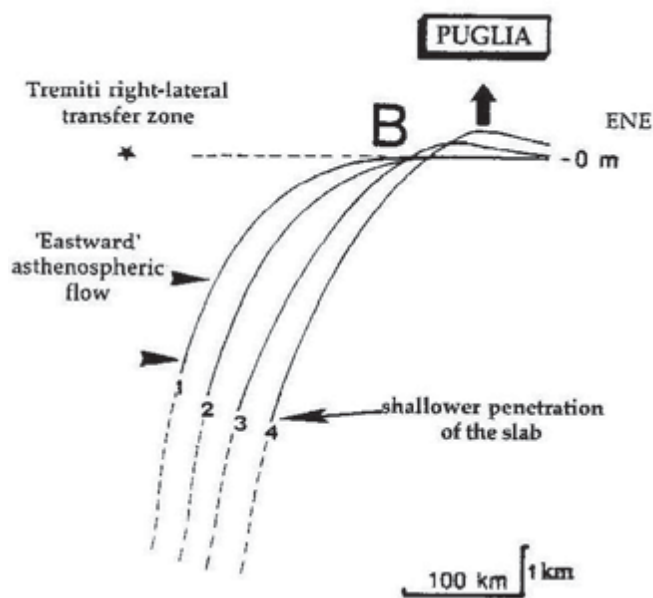


fig 1.5 - Schema rappresentativo della migrazione della cerniera di subduzione e conseguente *buckling* della Piattaforma Apula. (Da Doglioni *et al.*, 1994), modificata

Doglioni *et al.* (1994) riconoscono un inarcamento detto *Puglia bulge*, che vede l'insorgere di forme di distensione nella zona di cerniera. Ciaranfi *et al.* (1988) e Ricchetti *et al.* (1988) riportano la presenza di faglie dirette, con andamento NO-SE nella zona di avampaese e nel settore più orientale della Fossa Bradanica, nel punto in cui la copertura sedimentaria è meno spessa (fig. 1.6).

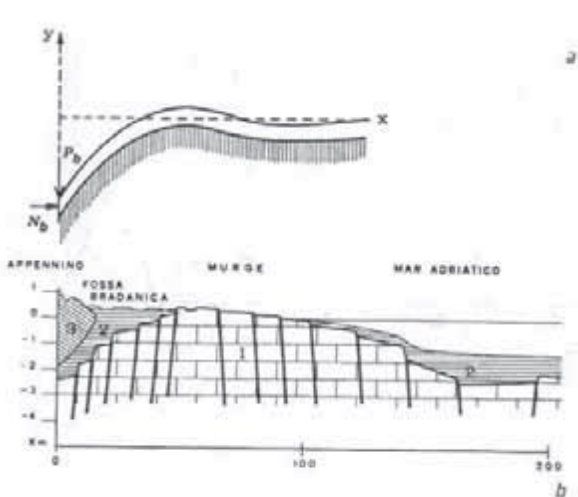


Figura 1.6 - Modello di descrizione del meccanismo di flessione elastica della piattaforma Apula. a) sistema di riferimento per lo studio della flessione di una piastra elastica semi-infinita; b) profilo topografico e geologico schematico dell'Avanpaese Apulo; 1) piattaforma carbonatica Apula; 2) coperture paleogenico-pleistoceniche; 3) coltre alloctona appenninica. Da Ricchetti *et al.*, 1988.

Ricchetti *et al.* (1988) individuano, inoltre, un movimento di sollevamento a carattere regionale, con ripetute interferenze con le oscillazioni glacioeustatiche del livello marino, ipotizzando una relazione tra sollevamento con effetti di ritorno elastico della piattaforma Apula, determinati dall'attenuarsi delle spinte orizzontali della Catena appenninica, nonché da processi di aggiustamento isostatico. Il meccanismo di rallentamento della subduzione della placca Adriatica è comunque confinato al settore di nostro interesse. Infatti, il movimento è più lento nella parte occidentale della Puglia che nei segmenti del fronte appenninico settentrionale, nell'Adriatico centrale, e nelle porzioni meridionali, localizzate nel Mar Ionio. In questo settore, infatti, si osservano tassi di subduzione più elevati (Doglioni *et al.*, 1994).

L'area di interesse è caratterizzata dai depositi argillosi-sabbiosi sommitali.

Nell'insieme si tratta di depositi clastici terrigeni, provenienti dal fronte della catena appenninica in sollevamento, di granulometria variabile da conglomeratica a sabbiosa; le facies affioranti sono tipiche di ambienti di transizione e continentali, lo spessore totale non supera i 70 metri. Tali depositi passano verso il basso ad argille siltoso-sabbiose di colore grigio-azzurro, di ambiente emipelagico, note in letteratura con il nome di "Argille subappennine". Ai fini del presente lavoro, quest'ultima unità litostratigrafica può essere considerata la "formazione di base" dell'area in oggetto.

Da un punto di vista strutturale l'area non presenta particolari motivi di interesse; i terreni non sono tettonizzati e l'assetto geometrico degli strati è suborizzontale o con leggera inclinazione a NE, dovuta alle ultime fasi di attività tettonica lungo il fronte appenninico.

Gli aspetti morfologici prevalenti del territorio sono dominati da una vasta superficie terrazzata, costituita da una spianata di erosione originata dalla regressione marina pleistocenica; tale ampia morfostruttura è solcata da un reticolo idrografico le cui direttrici principali, probabilmente

impostatesi lungo linee di faglia di età quaternaria, hanno direzione antiappenninica e le cui ramificazioni gerarchicamente inferiori seguono orientamento appenninico.

Le acclività dei versanti derivanti da tali incisioni sono variabili intorno a valori medio-elevati e sono spesso interrotte in modo irregolare da ripiani morfologici corrispondenti o a superfici sommitali ribassate tettonicamente, o più spesso e più verosimilmente a terrazzi di frane e paleofrane. Il progressivo approfondimento dei canali collettori principali, infatti, intervenuto dopo che si sono delineati i principali sistemi “*crinale-versante-fondovalle*”, ha favorito l’insorgere di una diffusa franosità di versante, sviluppatasi tra il “*recente*” e “*l’attuale*”, inoltre il successivo individuarsi del reticolo idrografico minore, che si raccorda ai canali principali, ha determinato in tempi diversi delle valli secondarie, con arretramento dei cigli delle scarpate e riduzione delle acclività.

Dal punto di vista idrogeologico, ovviamente, le caratteristiche principali del territorio in esame sono condizionate dalla permeabilità dei terreni affioranti e dalla geometria dei versanti delle numerose valli, principali e secondarie, di cui sopra. Si è già detto della natura clastica, prevalentemente conglomeratico-sabbiosa, dei terreni; tale caratteristica conferisce ai corpi geologici una permeabilità primaria per porosità variabile intorno a valori medio-alti, ciò fa sì che l’infiltrazione efficace costituisca un’aliquota non trascurabile delle acque di precipitazione, originando nel sottosuolo un sistema acquifero complesso, generalmente anisotropo e discontinuo, talvolta costituito da numerose *falde pellicolari sospese*.

Le acque di scorrimento superficiale, d’altra parte, defluiscono liberamente e/o incanalate verso gli assi vallivi, spesso con notevole velocità ed energia, originando diffusi fenomeni di accelerata erosione superficiale, secondo le modalità sia dell’erosione laminare che lineare, causa principale dei fenomeni di *denudazione* ed in generale di *degradazione* dei versanti.

4. AREA INTERESSATA DAL PARCO EOLICO

a. Caratteristiche geologiche e geotecniche dei terreni interessati dalle opere.

L'area in esame è situata in località Monte Quercia e località Masseria Rosamarina, la prima localizzata sul Fg. 175 della Carta d'Italia II S.E. la seconda sul Fg. 175 della Carta d'Italia II N.E. Tali morfostrutture, originate dalla regressione marina Plio-Pleistocenica e dai depositi da essa derivanti, risultano costituite dalla seguente successione litologica:

Dall'alto al basso

- Coltre detritica;
- Sabbie, sabbie argillose a volte con livelli arenacei giallastri e lenti ciottolose.

- 4.1a Coltre detritica

In corrispondenza del sito in esame, tali materiali sono rappresentati esclusivamente da terreno agrario misto a ciottololame i cui elementi sono di dimensioni variabili intorno ai 10,0 cm. L'area di affioramento è diffusa su tutta la superficie e gli spessori sono ovunque esigui, in genere non superano il metro. Le caratteristiche morfologiche dell'area, infatti, generalmente pianeggianti o in lieve pendenza, ne hanno impedito la sedimentazione e l'accumulo in spessori maggiori, fenomeno che si verifica in modo preferenziale nelle depressioni o nei fondovalle.

Tale circostanza ha reso superflua la rappresentazione cartografica di tali materiali, non essendo di particolare interesse ai fini del presente lavoro.

4.1b Sabbie gialle.

Sono presenti estesamente in corrispondenza dell'area in esame e, *nell'ambito dei limiti dell'area del parco eolico*, costituiscono l'unico litotipo affiorante.

Si tratta di sabbie color giallo-ocra a composizione granulometrica medio-fine, di natura quarzoso calcarea. A luoghi evidenziano laminazione piano-parallela alternata a sottili set a laminazione incrociata; presentano frequenti intercalazioni di sottili livelli di arenarie mediamente cementate alternati a livelli limosi e limoso-sabbiosi e lenti ciottolose in prossimità della parte superiore della formazione. Affiorano su tutta l'area interessata dal parco eolico che si andrà a realizzare e lo spessore complessivo non è inferiore a 40.0 m ca., la giacitura è suborizzontale o debolmente inclinata verso NE.

I numerosi sondaggi meccanici effettuati in tali materiali durante precedenti campagne di indagini consentono di sintetizzare i seguenti caratteri geotecnici:

Classif. **CNR-UNI A-7-6 IG 10**; l'analisi granulometrica riferisce di "Sabbie limose con argille di colore giallo ocra", la determinazione dei limiti di **Atterberg** consente di classificarle come "argille limose e sabbiose inorganiche di plasticità medio-bassa" della Carta di Plasticità di Casagrande o terreni di tipo "**CL**".

La prova di taglio diretto di tipo "**CL**" ha fornito valori per l'angolo di attrito e la coesione pari a **$C = 0.31 \text{ kg/cm}^2$** e **$\phi = 25.0^\circ$** . La prova di compressione edometrica, che consente di definire per punti discreti la riduzione dell'indice dei vuoti in regime di compressione, ha fornito valori del modulo edometrico pari a **$40 < E < 65 \text{ kg/cm}^2$** per **$0.50 < \sigma < 2.00 \text{ kg/cm}^2$** ed una pressione di preconsolidazione pari a **$P_c = 1.06 \text{ kg/cm}^2$** .

Tabella 3 - Schema riassuntivo dei principali parametri geotecnici delle sabbie.

γ	γ_d	γ_{sat}	W_n	L_l	L_p	PI	IC	C	ϕ	E	P_c	k
1.87	1.61	1.95	24.0	40.2	23.1	17.1	+0.95	0.31	25°	40-65	1.06	3.61 E-5

γ : peso di volume T/m^3 ; γ_d : peso di volume secco T/m^3 ; γ_{sat} : peso di volume saturo; W_n : umidità naturale %; L_l : limite liquido %; L_p : limite plastico %; P_I : indice di plasticità; I_C : indice di consistenza; C: coesione kg/cm^2 ; ϕ : angolo di attrito; E: modulo di deformazione kg/cm^2 ; P_c : pressione di preconsolidazione kg/cm^2 ; K: permeabilità

Tabella 4 - Valutazione dei parametri di resistenza dai dati di prove S.P.T.

Consistenza	Numero di colpi N (S.P.T.)	Densità relativa D_r (%)	Angolo di attrito ϕ'
<i>Terreni incoerenti</i>			
Molto sciolto	< 4	< 20	< 30°
Sciolto	4 – 10	20 – 40	30° -- 35°
Medio	10 – 30	40 – 60	35° -- 40°
Denso	30 – 50	60 – 80	40° -- 45°
Molto denso	> 50	> 80	> 45°
	Numero di colpi N (S.P.T.)	Indice di consistenza I_c	Coesione non drenata C_u
<i>Terreni coerenti</i>			
Molto soffice	< 2	circa 0	< 0.1
Soffice	2 – 4	0 – 0.25	0.1 – 0.25
Plastico	4 – 8	0.25 – 0.5	0.2 – 0.5
Compatto	8 – 15	0.26 – 0.75	0.3 – 1.0
Molto compatto	15 – 30	0.27 – 1.0	1.0 – 2.0
Estrem. compatto	> 30	> 1.0	> 2.0

b. Caratteristiche geomorfologiche

L'area esaminata è ubicata ad Est dell'abitato di Lavello F°. 175 della Carta d'Italia II S.E. e II N.E. in località Monte Quercia e Masseria Rosamarina.

I terreni che vi affiorano, in relazione alle diverse caratteristiche litologiche e meccaniche possedute, hanno subito processi di erosione differenziata in condizioni paleoclimatiche diverse, determinando l'attuale aspetto morfologico del sito: esso si identifica, infatti, con la sommità di un rilievo delimitato da versanti, più o meno acclivi lungo i fianchi occidentale e settentrionale .

Le superfici topografiche presentano generalmente un andamento orizzontale o caratterizzato da deboli pendenze nella fascia perimetrale dell'area su cui si realizzerà il parco eolico; tali superfici digradano dolcemente verso gli assi vallivi prospicienti.

I versanti, comunque, sono intatti per gran parte della loro estensione; il rilevamento effettuato non ha evidenziato allo stato attuale elementi di superficie che possano ricondursi alla presenza di fenomeni dislocativi profondi, si evidenziano invece circoscritti fenomeni di dissesto superficiale consistenti in crolli di modesti blocchi di sabbia e fenomeni evolutivi di piccoli scoscendimenti che interessano modesti spessori della coltre superficiale degradata.

E' necessario specificare immediatamente, comunque, che tali superfici in pendio non saranno interessate dagli insediamenti in progetto e comunque è stata eseguita una verifica analitica di stabilità del versante che caratterizza il pianoro dove è ubicato l'aerogeneratore WTG1.

c. Verifica di stabilità

Al fine di valutare in via preliminare la stabilità delle opere ubicate in corrispondenza del versante in studio, è stata eseguita una verifica di stabilità in condizioni estreme di alcune sezioni tipo.

In questo paragrafo vengono illustrate le conclusioni cui si perviene in seguito alla verifica analitica delle condizioni di stabilità del versanti che caratterizzano l'area interessata dall'aerogeneratore WTG1. Le verifiche di stabilità sono state condotte lungo le sezioni 1 e 2 orientate secondo la direzione di massima pendenza, le stesse sono state condotte in una prima fase sul pendio naturale e in una seconda fase sul pendio gravato dall'opera in progetto con un carico distribuito di $4,0 \text{ Kg/cm}^2$.

Nell'effettuare il calcolo si è inteso ricercare le condizioni più sfavorevoli e verosimilmente ipotizzabili:

1. Il metodo adottato è il metodo di BELL poiché fornisce valori maggiormente sottostimati, quindi a favore della sicurezza, rispetto ad altri e pur validi metodi;

2. I calcoli di verifica di stabilità sono stati effettuati esclusivamente in condizione sismica e nella modalità di **S.L.U.** essendo il Comune di Lavello classificato come zona **sismica 2**;
3. Le caratteristiche fisiche e meccaniche dei terreni in pendio sono state desunte dalla letteratura e da indagini eseguite su gli stessi materiali in precedenti lavori eseguiti dallo scrivente;
4. La situazione stratigrafica schematizzata nel calcolo è il risultato dell'interpretazione del rilevamento geolitologico effettuato e dalle prospezioni sismiche eseguite durante la campagna di indagine realizzata per il presente lavoro;
5. Le superfici critiche ottenute sono il risultato di numerose interazioni volte all'individuazione dei coefficienti minimi di sicurezza.

I risultati ottenuti dal calcolo e gli elaborati grafici illustrano dettagliatamente come le condizioni di equilibrio morfologico dell'area interessata dal presente lavoro sono caratterizzate da un coefficiente di sicurezza superiore a quello previsto dalla norma vigente.

Sez. 1	a.o. _____	$F_s = 1.33 > 1.3$ Stabile
Sez. 1	p.o. _____	$F_s = 1.33 > 1.3$ Stabile
Sez. 2	a.o. _____	$F_s = 1.37 > 1.3$ Stabile
Sez. 2	p.o. _____	$F_s = 1.37 > 1,3$ Stabile

Il risultato ottenuto dai calcoli di verifica di stabilità del versante prima e dopo la realizzazione delle opere in progetto evidenzia come gli stessi non subiscono modificazioni delle condizioni di equilibrio geomorfologico in seguito alla realizzazione dei manufatti previsti dal progetto. Il carico applicato di 4.0 Kg/cm^2 è trasmesso al terreno mediante una fondazione diretta.

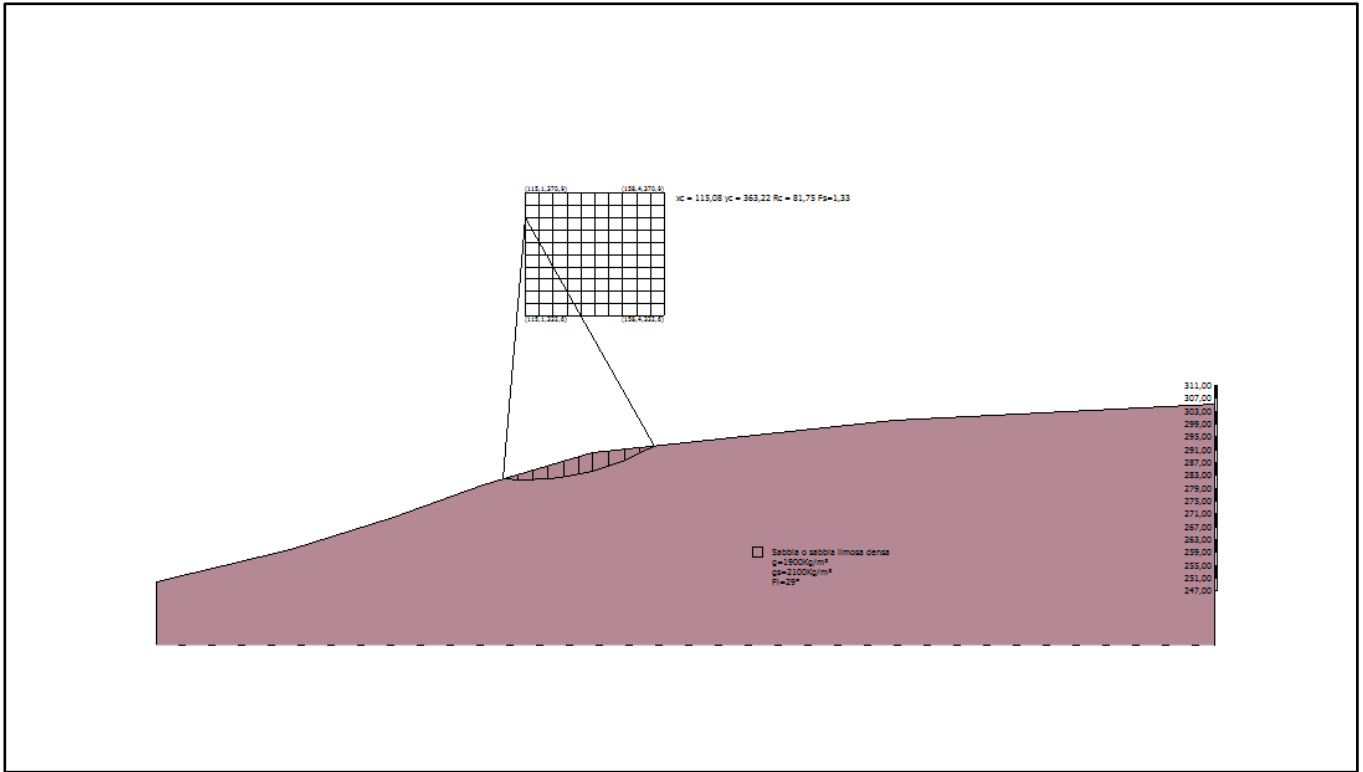


Fig. 1 **Sezione 1** verifica di stabilità pendio naturale $F_s = 1.33 > 1.3$ STABILE

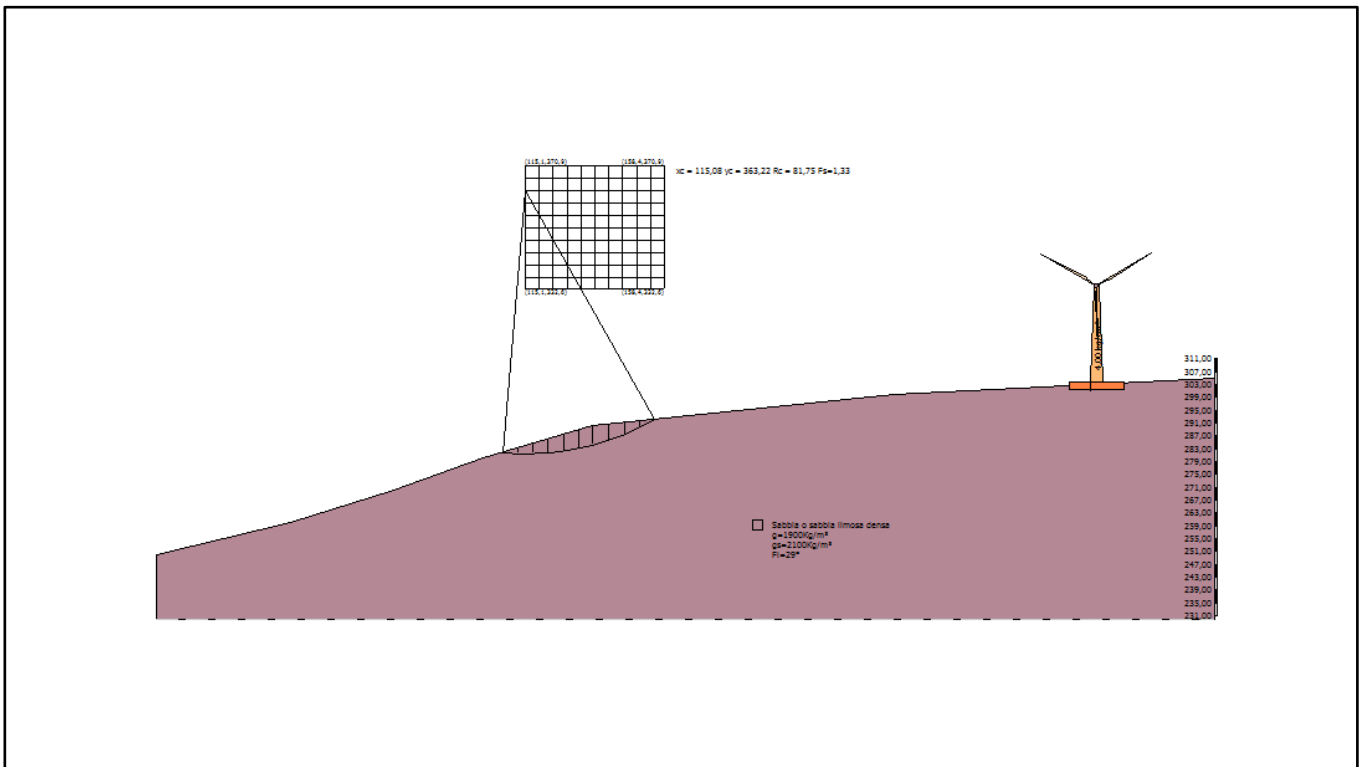


Fig. 2 **Sezione 1** verifica stabilità del pendio gravato dalle opere in progetto $F_s = 1.33 > 1.3$ STABILE

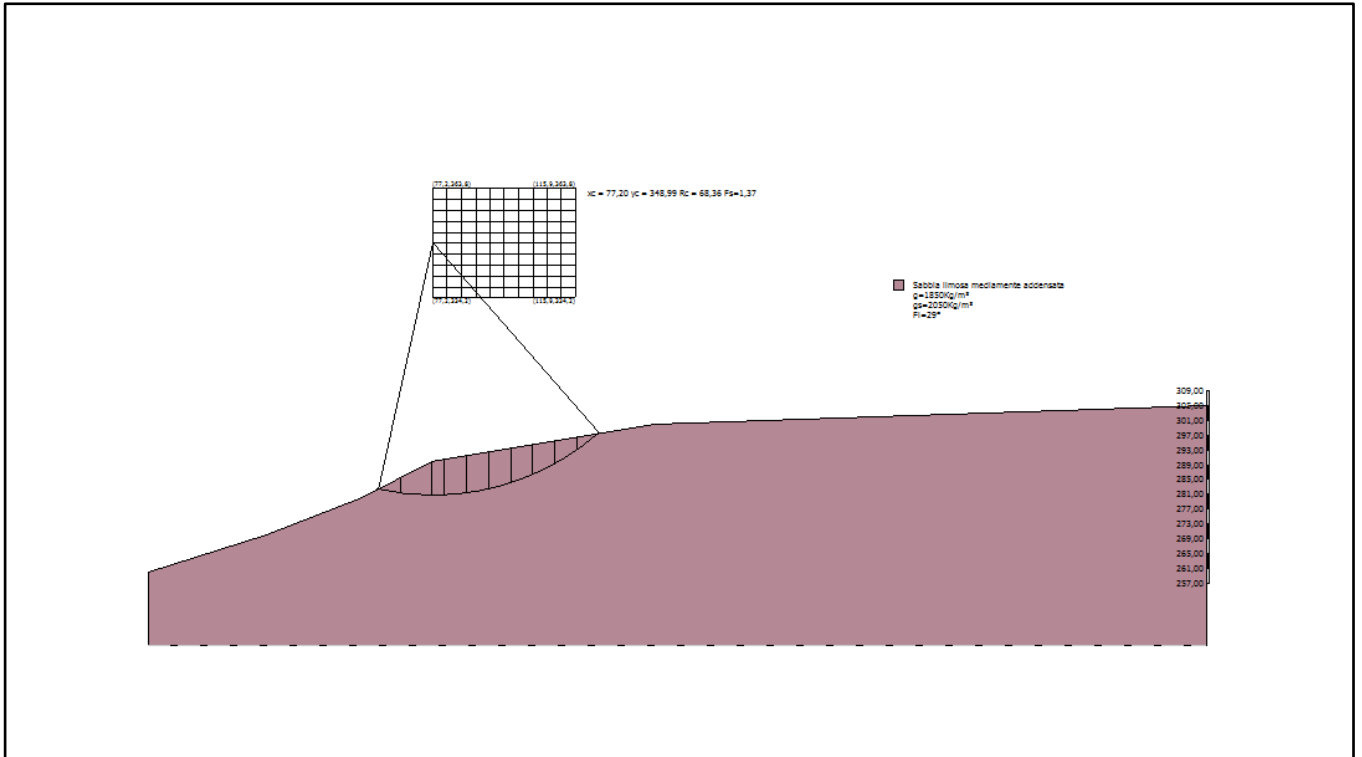


Fig. 3 Sezione 2 verifica stabilità pendio naturale WTG1 $F_s = 1.37 > 1.3$ STABILE

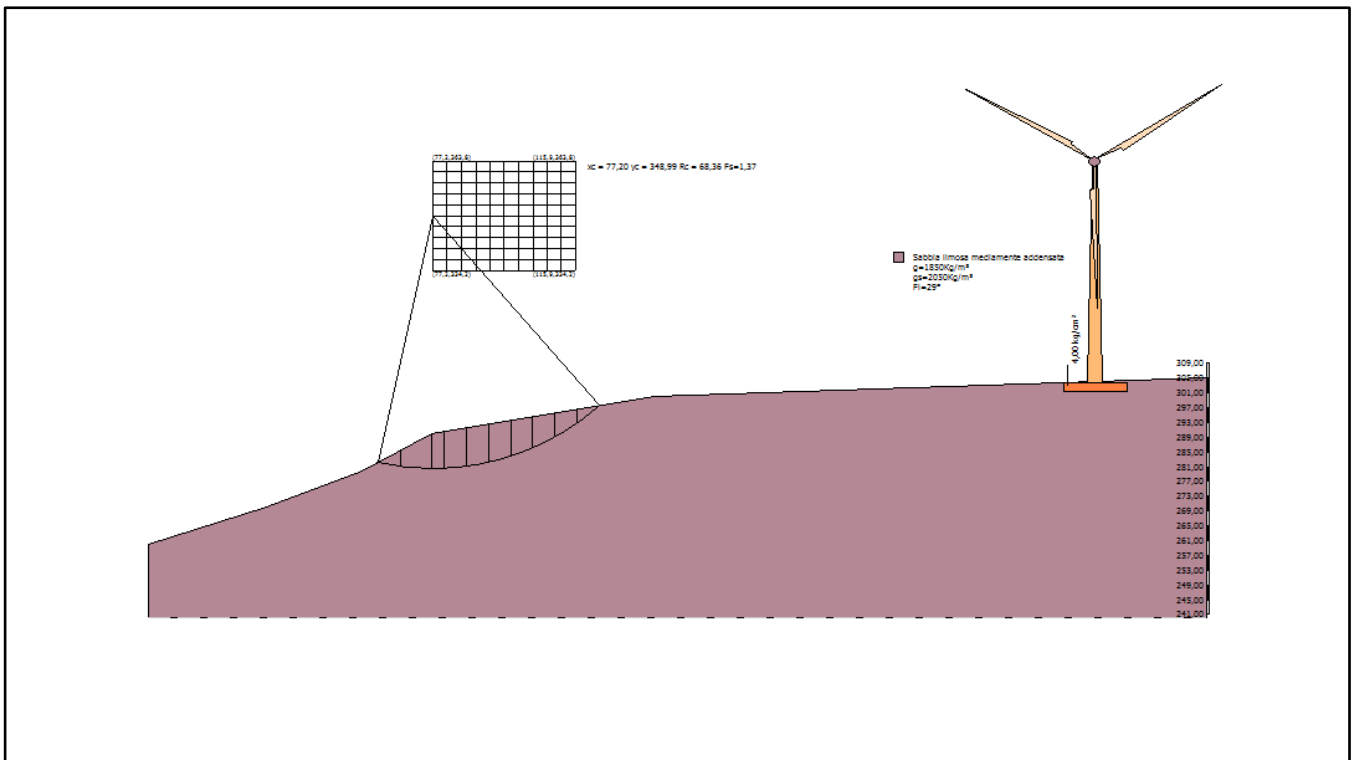


Fig. 4 Sezione 2 verifica stabilità pendio WTG1 con carico distribuito di 4 kg/cm². $F_s = 1.37 > 1.3$ STABILE

4.3 Circolazione idrica superficiale e sotterranea, permeabilità e drenaggio, bilancio idrologico.

Per quanto attiene l'aspetto idrogeologico, le caratteristiche morfologiche e litologiche affioranti sono tali da giustificare l'assenza di un reticolo fluviale significativo. I depositi sabbioso-conglomeratici, infatti, assumono valori elevati del grado di permeabilità per porosità ($K > 10^{-2}$, Celico, 1986). Tali caratteristiche associate ad una morfologia nel suo complesso pianeggiante condizionano la circolazione idrica superficiale favorendo l'infiltrazione nel terreno delle acque meteoriche dando origine nel sottosuolo a modestissimi accumuli a carattere estremamente localizzato. La restante parte delle acque di precipitazione è prevalentemente soggetta a scorrimento il cui deflusso è condizionato dalle caratteristiche morfologiche delle superfici topografiche. Per quanto riguarda la circolazione idrica sotterranea, va evidenziato che il sottosuolo dell'area in esame è sede di una falda idrica dai notevoli caratteri di eterogeneità e anisotropia, la cui superficie piezometrica si rinviene ad una profondità variabile intorno ai 30.0 –40.0 m. Per ciò che attiene all'aspetto idrologico, a titolo esemplificativo, può essere utile in questa sede riportare, anche se parziali e non proprio aggiornati, di un bilancio idrologico effettuato dallo scrivente in zona limitrofa, con definizione del Tipo Climatico, utilizzando i dati di temperatura e piovosità rispettivamente dal 1921 al 1980 e dal 1953 al 1980, calcolando l'evatraspirazione potenziale secondo THORNTHWAITE: ciò ha consentito di definire un Tipo Climatico intermedio tra i tipi C1 B' 2d' e C1 w2 B' 2d': "Tipo Climatico Mediterraneo, marittimo, inverni piovosi ed estati secche, con notevole efficienza termica in estate".

4.4 Indagini effettuate

Nella prima fase dell'indagine si è reso indispensabile procedere al rilevamento dei tipi litologici affioranti e delle caratteristiche geomorfologiche dell'area, nonché all'ispezione e al censimento di tutti gli eventuali segni e fenomeni di instabilità oltre che delle sezioni naturali disponibili nell'area, tale operazione ha permesso di redigere la carta geolitologica, geomorfologica. Successivamente si è proceduto alla esecuzione di n° 4 sondaggi indiretti del tipo MASW geophysical test.

4.5 Cavidotto di collegamento

Il cavidotto di collegamento tra i diversi aerogeneratori e quello di evacuazione per il conferimento dell'energia prodotta alla sottostazione di San Nicola di Melfi verrà posato in una trincea 80x150 cm e svilupperà il suo percorso iniziale in terreni sedimentari appartenenti alla formazione delle

Sabbie già descritte in precedenza e successivamente in terreni sedimentari appartenenti ai terrazzi di secondo ordine del Fiume Ofanto.

I terreni costituenti i depositi alluvionali dell'Ofanto affiorano generalmente in tre ordini di terrazzi, morfologicamente distinguibili. Localmente affiorano esclusivamente i terreni relativi al ciclo intermedio ed a quello recente ed attuale. La composizione litologica dei depositi appartenenti ai due terrazzi è sostanzialmente identica, essi differiscono esclusivamente per la quota topografica relativa all'alveo attuale.

Si tratta di una compagine litologica estremamente variata, sia in senso orizzontale che verticale, in funzione delle diverse fasi energetiche che hanno tipicamente determinato l'alternarsi di periodi di piena e di magra, con conseguente notevole variazione di *competenza* del fiume. Il susseguirsi di fasi di erosione e di deposito ne ha condizionato la variabilità spaziale, ed il trasporto solido, ora sul fondo ora in sospensione, ha determinato l'estrema eterogeneità granulometrica.

Si tratta in sintesi di depositi che, dal basso verso l'alto, esordiscono quasi sempre con livelli ghiaiosi, spesso anche fortemente cementati, i cui elementi ben arrotondati raggiungono anche i 30.0 cm ed oltre di dimensioni max., di natura prevalentemente calcareo-arenacea, spesso di origine vulcanica talvolta di origine flyschoides l.s., derivanti dall'erosione anche dei terreni pre-pliocenici attraversati dal fiume. Vi si alternano spessi livelli limosi e limoso-sabbiosi, variamente colorati, con frequenti intercalazioni di livelli torbosi; non di rado si rinvengono orizzonti lenticolari schiettamente argillosi.

E' bene precisare che il cavidotto svilupperà il suo percorso utilizzando, in modo prioritario, il reticolo stradale esistente.

4.6 Problemi tecnici connessi alla realizzazione delle opere del parco eolico.

L'area interessata dalle opere per la realizzazione del parco eolico è nel complesso sufficientemente omogenea, da un punto di vista geologico e geomorfologico, da non richiedere zonazione di alcun genere.

Non presenta problemi di stabilità legati ai caratteri geologici, geomorfologici e idrogeologici. I buoni caratteri litologici delle formazioni presenti, escludono problemi legati alla tenuta statica dei terreni di fondazione. L'assenza di pendenze, se non a notevole distanza dai singoli manufatti, fa escludere problemi legati a fenomeni gravitativi e fenomeni di degradazione meteorica; infine la profondità della falda idrica esclude l'insorgere di problematiche idrogeologiche connesse ai carichi indotti.

Il tracciato del cavidotto interseca in diversi punti il reticolo idrografico; tali intersezioni possono essere di due tipi:

- Intersezione con infrastrutture idrauliche: dove esiste la presenza di tombini e/o ponti di attraversamento, per i quali si dovrà procedere alla posa del cavo tenendo conto delle strutture;
- Intersezione a raso: dove non esiste l'infrastruttura sia perché la strada segue la morfologia del suolo (in certi punti il reticolo è solo un *avvallamento* e in certi punti il reticolo inizia a valle della strada. In questi casi il cavidotto è posato nella trincea standard.

Per gli attraversamenti più gravosi, si determineranno la trincea di scavo per la posa del cavidotto e la modalità di rinterro in funzione dell'erosione potenziale indotta. Tali modalità di riempimento e la stratigrafia saranno dimensionate in modo tale da evitare di alterare la morfologia del suolo, di non aumentare la pericolosità idraulica evitando di creare ostacoli al percorso del ruscellamento superficiale, di garantire la resistenza nel tempo alle azioni di trascinamento (erosione superficiale) e un perfetto inserimento nel contesto ambientale.

Le intersezioni più importanti saranno superate con tecnologia TOC, verso valle del ponte o del tombino.

L'area, inoltre, non ricade tra quelle considerate a rischio dall'Autorità di Bacino Della Puglia. Visto l'assenza di criticità legate a problematiche geologiche, geomorfologiche, idrologiche ed idrauliche si è ritenuto superfluo redigere la carta dei rischi.

5. SISMICITA' DELL'AREA

a. Inquadramento Macrosismico

L'Appennino meridionale presenta una storia sismica tra le più severe dell'Italia, sia in termini di intensità che di frequenza di terremoti. Le zone sismogenetiche sono caratterizzate da un'elevata pericolosità sia per il livello di sismicità che per l'elevata attività neotettonica.

Nell'area dell'Appennino meridionale, nella quale è compreso il territorio indagato, le zone maggiormente interessate nel tempo da eventi sismici con magnitudo superiore a 5 sono quelle ubicate in corrispondenza della catena. L'allineamento degli epicentri di questi eventi sismici è evidentemente collegato con la struttura geologica della regione, in particolare gli epicentri si concentrano prevalentemente a ridosso del confine tra la catena Appenninica e l'Avanfossa Bradanica, mentre il loro numero decresce nei settori interni della catena (prossimi al Mar Tirreno) e nel settore adriatico.

In base alla mappa della zonazione sismogenetica ZS9 di figura 1 redatta dall'INGV (2004) nell'Appennino Meridionale sono state individuate due aree:

- La prima caratterizzata dal massimo rilascio di energia legata ai processi distensivi che hanno interessato l'Appennino Meridionale a partire da 0,7 Ma circa. Tali aree coincidono con il settore assiale della catena. Per queste aree il meccanismo di fagliazione più diffuso è del tipo *faglia diretta* (in prevalenza sistemi di faglie ad andamento NW-SE), la magnitudo degli eventi sismici non è inferiore a 5 e la profondità epicentrale è compresa tra 8-12 km. I settori occidentali dei bacini del Bradano, Basento; dell'Agri, del Sinni ed il settore orientale del bacino del Noce ricadono in questo tipo di zona sismogenetica;
- La seconda area caratterizzata dal rilascio di energia imputabile a meccanismi di fagliazione tipici delle *faglie trascorrenti*. La magnitudo non è inferiore a 5 e la profondità degli epicentri oscilla tra i 12 e 20 km. Queste zone sismogenetiche sono connesse a lineamenti tettonici ad andamento W-E.



Fig. 1 – Zonazione sismogenetica ZS9. I limiti di colore blu separano zone con analogo significato cinematico, che differiscono principalmente per le caratteristiche di sismicità. Le ZS con bordo a tratteggio, identificate con una lettera, non sono utilizzate nella valutazione della pericolosità.

Il database macrosismico, utilizzato nel 2004 per la compilazione del catalogo CPTI04 (Gruppo di lavoro CPTI, 2004), permette di visionare la storia sismica delle località italiane presenti almeno tre volte in DBMI04 (5325 località in totale). Le informazioni contenute nel database hanno consentito una prima individuazione dei “centri sismici” rilevanti per il sito in esame e delle relative potenzialità in termini di intensità epicentrali storicamente documentate. Di seguito si riporta un elenco di terremoti per l’area di interesse:

STORIA SISMICA DEL COMUNE DI LAVELLO (PZ) 41.048 – 15.792
OSSERVAZIONI DISPONIBILI : 18

Is = Intensità al sito (scala MCS); An = Tempo origine: anno ; Me = Tempo origine: mese;

Gi = tempo origine: giorno; Or = Tempo origine: ora; Mi = Tempo origine: minuti; Se = T.o. : secondi;

AE= Denominazione dell'area dei maggiori effetti; Io = Intensità epicentrale nella scala MCS;

Mw = Magnitudo momento.

Is	Anno	Me	Gi	Or	Mi	Se	AE	Io	Mw	Rt	Rt1
8	1930	07	23		08		Irpinia	10	6.72	CFTI	BOA997
7 - 8	1851	08	14	13	20		Basilicata	9 - 10	6.33	CFTI	BOA997
7	1627	07	30	10	50		Gargano	10	6.73	CFTI	BOA997
7	1980	11	23	18	34	52	Irpinia - Basilicata	10	6.89	CFTI	BOA997
6 - 7	1948	08	18	21	12	20	Puglia settentrionale	7 - 8	5.58	CFTI	BOA997
6	1694	09	08	11	40		Irpinia - Basilicata	10 - 11	6.87	CFTI	BOA997
5 - 6	1990	05	05	07	21	17	Potentino	7	5.84	BMING	BMING
5 - 6	1991	05	26	12	25	59	Potentino	7	5.22	BMING	BMING
5	1933	03	07	14	39		Bisaccia	6	5.13	DOM	GDTSP
5	1962	08	21	18	19	30	Irpinia	9	6.19	CFTI	BOA997
4 - 5	1995	09	30	10	14	34	Gargano	6	5.22	BMING	BMING
4 - 5	1996	04	03	13	04	35	Irpinia	6	4.92	BMING	BMING
4	1899	08	16		05		Irpinia	6	4.83	DOM	GDTSP
F	1910	06	07	02	04		Irpinia - Basilicata	8 - 9	5.87	CFTI	BOA997
3	1905	11	26				Irpinia	7	5.32	DOM	GDTSP
3	1984	05	07	17	49	42	Appenn. Abruzzese	8	5.93	CFTI	B0A000
NF	1882	06	06	05	40		Monti del Matese	7	5.28	CFTI	BOA997
NF	1905	03	14	19	16		Beneventano	6 - 7	4.96	DOM	GDTSP



Per quanto riguarda la pericolosità del sito, ricadendo il Comune di Lavello nel punto del reticolo di riferimento definito da longitudine 15.972 e latitudine 41.048, nella maglia elementare l'accelerazione orizzontale con probabilità di superamento del 10% in 50 anni è compresa tra 0.200 e 0.225 (ag/g) (*valido per costruzioni di classe d'uso II con $V_r = 50$ anni –tempo di ritorno 475 anni-*).

Mappe interattive di pericolosità sismica

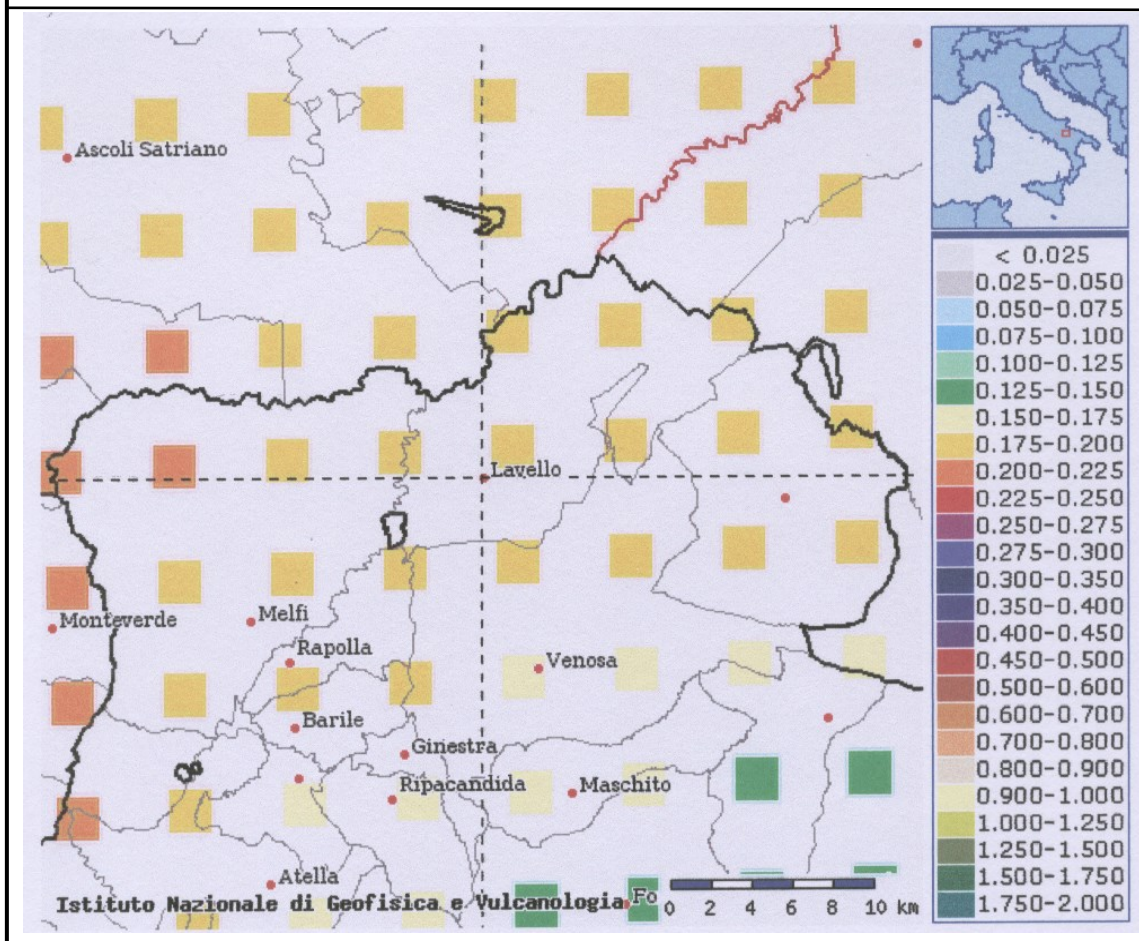


Fig. 2 – Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale espressa in termini accelerazione massima al suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli molto rigidi (Ordinanza 3519-06)

5.2- Microzonazione sismica

L'analisi dei danni che un terremoto produce all'interno di una stesso ambito territoriale evidenzia che le azioni sismiche possono manifestarsi con caratteristiche diverse anche in aree adiacenti in funzione delle diverse condizioni locali (morfologia superficiale, morfologia del substrato roccioso sepolto, presenza e profondità della falda freatica, costituzione e proprietà del sottosuolo, presenza di faglie, cambiamenti litologici orizzontali tali da tradursi in grossi contrasti di impedenza sismica ecc.); da ciò la necessità di individuare gli strumenti utili a

prevedere e a mitigare gli effetti sismici in una zona limitata “Microzonazione sismica”. Lo scopo della “Microzonazione Sismica” è quello di valutare ed individuare, sia all’interno di ambiti territoriali a scala sub-comunale, sia tra diversi ambiti territoriali, aree a comportamento omogeneo sotto il profilo della risposta sismica locale. Per la classificazione sismica dell’area interessata dal parco eolico è necessario conoscere le caratteristiche stratigrafiche del sottosuolo del sito indagato; in particolare devono essere noti:

- a) il numero e lo spessore degli strati di copertura, cioè gli strati di terreno sovrastanti fino alla superficie una formazione rocciosa di base (*bedrock* o *il bedrock-like*);
- b) la velocità delle onde S negli strati di copertura.

La caratterizzazione può essere effettuata utilizzando prove penetrometriche dinamiche (S.P.T.) o statiche (C.P.T.) o utilizzando prospezioni sismiche a rifrazione.

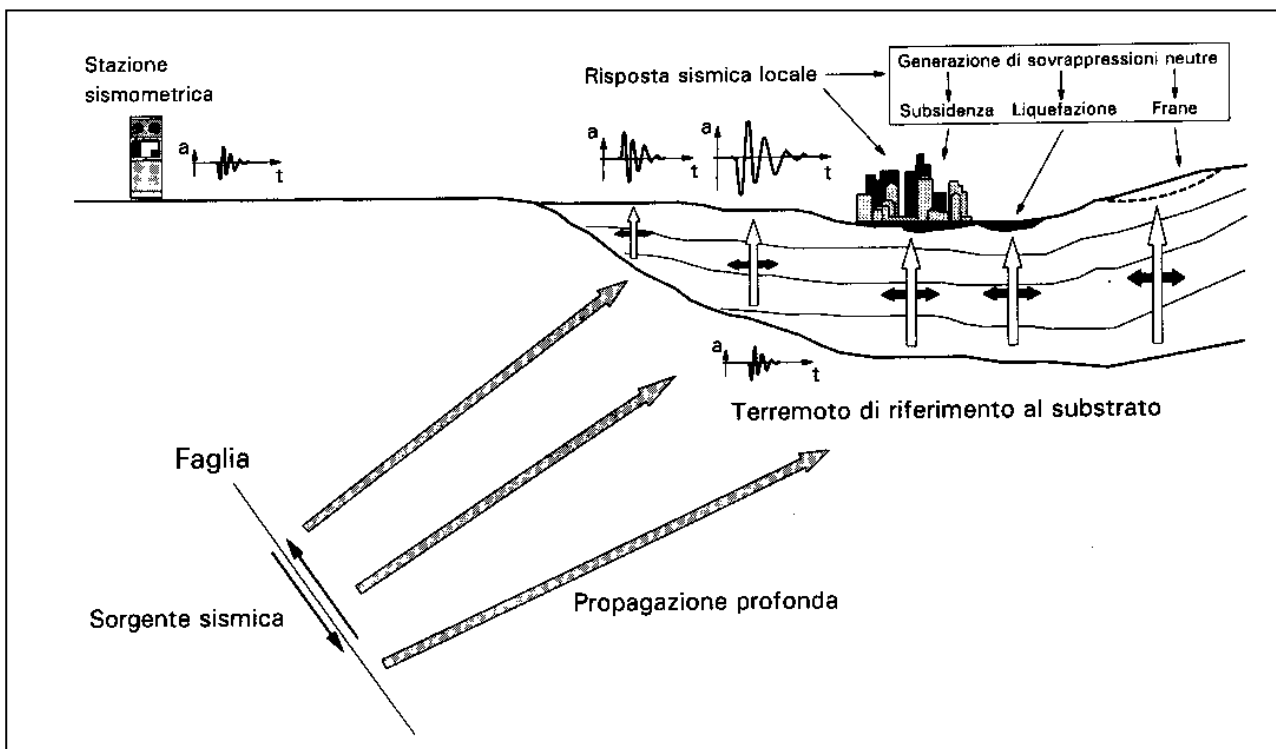


Fig. 3.0 Propagazione di un evento sismico dalla sorgente al sito e problemi geotecnici

L’insieme delle modifiche in ampiezza, durata e contenuto in frequenza che un moto sismico, relativo ad una formazione rocciosa di base (*bedrock*), subisce attraversando gli strati di terreno sovrastanti fino alla superficie (S) costituisce la risposta sismica locale (o effetto sito).

In considerazione del fatto che i sottosuoli naturali sono in gran parte sotto falda e che, per l’elevata rapidità delle azioni, ci si trova in condizioni di drenaggio impedito, il fenomeno sismico produce deformazioni volumetriche (indotte dalle onde P) trascurabili rispetto a quelle distorsionali (indotte dalle onde S); appare quindi giustificabile ricondurre la modellazione

meccanica di un fenomeno sismico all'analisi degli effetti prodotti da un insieme di onde S propagatisi verso l'alto, con un campo di spostamenti del terreno praticamente orizzontale. L'assunzione è oltretutto giustificata dal fatto che, dal punto di vista ingegneristico, il moto più significativo ai fini della verifica sismica dei manufatti è quello orizzontale, corrispondente agli spostamenti del terreno prodotti dalle onde S.

Dalle considerazioni appena fatte consegue che lo stato deformativo d'interesse per l'analisi del comportamento meccanico dei terreni sotto azioni sismiche è quello distorsionale, da ciò la necessità di stimare la velocità di propagazione delle onde S nei primi 30 metri di sottosuolo così come prevedono le NTC riferite al D.M del 14 gennaio 2008. Per la caratterizzazione sismica dell'area indagata, secondo il D.M. 14/01/2008 sono stati eseguiti dei profili sismici con la metodologia MASW. Gli stessi hanno permesso la ricostruzione dell'andamento della velocità delle onde sismiche di taglio con la profondità (V_s -z). Il modello sismico monodimensionale rappresenta, infatti, l'aspetto principale sia nella stima degli effetti sismici di sito che nella definizione dell'azione sismica di progetto, poiché permette di conoscere l'incidenza delle locali condizioni stratigrafiche nella modifica della pericolosità sismica locale (amplificazione di natura litologica). Ciò consente una corretta progettazione strutturale in relazione alle reali condizioni del sito, garantendo così un adeguato livello di protezione antisismica dei manufatti di progetto. (D.M. 17/01/2018).

Nell'area indagata non sono segnalate strutture sismogenetiche e i terremoti, che hanno interessato l'area negli ultimi anni, hanno avuto provenienza appenninica o garganica.

In ogni caso per quanto riguarda la pericolosità del sito, ricadendo il Comune di Lavello nel punto del reticolo di riferimento definito da longitudine 15.792 e latitudine 41.048, nella maglia elementare l'accelerazione orizzontale con probabilità di superamento del 10% in 50 anni è compresa tra 0.200 e 0.225 (a_g/g) (*valido per costruzioni di classe d'uso II con $V_r = 50$ anni – tempo di ritorno 475 anni-*).

Tabella 5– Zone sismiche e valore dell'accelerazione orizzontale massima

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

L'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n°3274 e il D.M. 14/01/2008 e successive modifiche definiscono 5 categorie di profili stratigrafici caratterizzati dalla velocità media di propagazione delle onde sismiche di taglio (V_{s30}) nei primi 30 metri di sottosuolo, definita dalla seguente espressione:

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_i}} \quad (1)$$

Dove h_i e V_i rappresentano rispettivamente spessore e velocità dello strato **i-esimo** degli "N" strati presenti nei primi trenta metri di sottosuolo. Oltre alla valutazione della velocità media di propagazione delle onde di taglio (V_{s30}) per la caratterizzazione del suolo di fondazione, è possibile anche utilizzare i parametri di resistenza ottenuti da prove penetrometriche statiche SPT o di coesione non drenata c_u . I valori ottenuti dalle indagini sismiche effettuate correlati con i risultati delle prove S.P.T. fanno classificare i terreni di fondazione nella categoria **B**.

I parametri dei terreni appartenenti alla categoria B per la definizione dello spettro di risposta elastico sono illustrati nella tabella 6:

Tabella 6- Valori dei parametri per la definizione dello spettro di risposta elastico delle componenti orizzontali

Categoria di Suolo	S	T_B [s]	T_C [s]	T_D [s]
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

Il calcolo dello spostamento (d_g) e della velocità orizzontale (v_g) massimi del suolo si effettua utilizzando le seguenti espressioni:

$$d_g = 0,025 \times S \times T_c \times T_d \times a_g;$$

$$v_g = 0,16 \times S \times T_c \times a_g$$

nel caso in esame abbiamo:

$$dg = 0,025 \times 1,25 \times 0,50 \times 2,0 \times 0,25 = 0,0078m$$

$$vg = 0,16 \times 1,25 \times 0,50 \times 0,25 = 0,025 \text{ m/s.}$$

Il fattore di amplificazione topografica (S_T) del sito in questione è pari ad 1.0 poiché, l'area di interesse è sostanzialmente pianeggiante.

Per quanto riguarda l'influenza delle condizioni geologiche, morfologiche e idrogeologiche locali sulla modificazione del segnale sismico (*amplificazione sismica locale*) si può osservare quanto segue:

- a) nell'area non sono presenti situazioni litostratigrafiche e strutturali che possono indurre effetti di amplificazione locali quali, ad esempio, presenza di faglie attive, presenza di terreni sciolti (soft soil ad es. alluvioni recenti) giacenti su strati di suolo più compatto o lapideo, ovvero cambiamenti litologici orizzontali tali da tradursi in grossi contrasti di impedenza sismica (effetto catino);
- b) non sono state rilevate situazioni morfologiche tali da produrre effetti di amplificazione sismica (ad es. effetto pendio, effetto creste, effetto bordo, effetto morfologie sepolte, ecc.);
- c) la presenza di piccole falde idriche non influisce sulla propagazione delle onde di taglio e pertanto non comporta fenomeni di amplificazione sismica locale.

Il quadro di insieme fin qui esposto consente di definire una sola zona nei confronti della risposta sismica locale (zona a bassa amplificazione sismica locale). La microzona individuata è caratterizzata da superfici topografiche pianeggianti o in debole pendenza i cui terreni affioranti appartengono ai depositi sabbiosi ascrivibili alla serie regressiva (Ciclo Bradanico), da valori di V_{S30} compresi 353 m/s e 477 m/s che caratterizzano un profilo stratigrafico di riferimento di tipo **C per l'aerogeneratore WTG4** e un profilo stratigrafico di riferimento di tipo **B** per la rimanente parte **la cui accelerazione orizzontale è = 0,25 g;**

Fattore stratigrafico = 1,25;

Accelerazione orizzontale massima del suolo (PGA) = $a_g * S * S_T = 0,312g$;

Velocità orizzontale massima del suolo (PGV) = 0,025 m/s;

Spostamento orizzontale massimo del suolo (PGD) = 0,0078 m;

Amplificazione topografica (S_T) = 1,0;

Massima accelerazione spettrale = 0,78g.

6. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

L'insieme delle risultanze emerse dalle indagini ha permesso di evidenziare i seguenti aspetti geologico-tecnici utili ai fini della definizione degli interventi da effettuare nell'area interessata dagli aerogeneratori:

- il rilevamento geolitologico effettuato mostra in affioramento la presenza di una coltre detritica di spessore max. = 0.80 m passante verso il basso a terreni di natura sabbiosa e sabbioso-limosa, con interposta una fascia di transizione di composizione sabbioso-ghiaiosa, dello spessore di ca 4.0 m e la presenza di strati di arenaria oscillanti tra pochi cm e 1 m; lo spessore della formazione delle sabbie complessivamente può essere stimato intorno ai 40 m circa il tutto poggia sulla sottostante formazione delle “Argille grigio-azzurre”;
- le caratteristiche geomorfologiche dell'area non presentano alcuna difficoltà poiché la stessa è sostanzialmente pianeggiante o in debole pendenza in un sufficiente intorno dell'area in oggetto; non presenta, quindi, alcuna evidenza di disequilibrio e/o instabilità geomorfologica;
- è stata condotta lungo due sezioni la verifica analitica di stabilità del pendio che caratterizza il pianoro che ospita l'aerogeneratore WTG1, dalla stessa emerge che le condizioni di equilibrio geomorfologico a seguito della costruzione delle opere in progetto, non subiscono alterazioni tali da richiedere la realizzazione di elementi a presidio geomorfologico.
- l'esame delle indagini geognostiche effettuate in aree limitrofe mostrano come le caratteristiche geomeccaniche dei terreni unitamente agli spessori dei relativi litotipi, evidenziano sufficienti garanzie di portanza;
- il valore dei cedimenti non costituisce motivo di pregiudizio alcuno poiché la natura prevalentemente granulare dei terreni di fondazione, infatti, assicura un decorso pressoché istantaneo degli stessi;
- gli interventi in progetto dovranno essere calcolati con una maggiorazione delle forze sismiche in considerazione del fatto che il Comune di Lavello ricade in zona **sismica 2** caratterizzata dai

seguenti parametri:

Accelerazione orizzontale su suolo di tipo C e B = 0,25 g;

Fattore stratigrafico S = 1,25;

Accelerazione orizzontale massima del suolo (PGA) = $a_g * S * S_T = 0,3125g$;

Velocità orizzontale massima del suolo (PGV) = 0,025 m/s;

Spostamento orizzontale massimo del suolo (PGD) = 0,0078 m;

Amplificazione topografica (S_T) = 1,0;

Massima accelerazione spettrale (S_a) = 0,78g

Dott. Geol. Rosario A. FALCONE

Rosario A. Falcone



BIBLIOGRAFIA

Balduzzi e alt. (1982) Il Plio-Pleistocene del sottosuolo del bacino Lucano;

Balduzzi e alt. (1982) Il Plio-Pleistocene del sottosuolo del bacino Pugliese;

Falcone R.A. (2012) Studio di compatibilità geologica, geotecnica, idrogeologica, idrologica e sismica per la realizzazione di una centrale di produzione di energia elettrica da fonte eolica nel Comune di Lavello;

Melidoro (1987) Indagini sulle condizioni di stabilità dell'abitato di Lavello

ALLEGATI

TABELLA VALORI GEOTECNICI CONSULTATI

PLANIMETRIA DELLE INDAGINI CONSULTATE

PLANIMETRIA DELLE INDAGINI EFFETTUATE

CARTA P.A.I. DELL'A. d. B. PUGLIA

CARTA GEOLITOLOGICA AREA SUD in scala 1:5000

SEZIONE GEOLITOLOGICA AREA SUD in scala 1:5000

CARTA GEOLITOLOGICA AREA NORD in scala 1:5000

SEZIONE GEOLITOLOGICA AREA NORD in scala 1:5000

CARTA GEOMORFOLOGICA AREA SUD in scala 1:5000

CARTA GEOMORFOLOGICA AREA NORD in scala 1:5000

CARTA IDRGEOLOGICA AREA SUD in scala 1:5000

CARTA IDROGEOLOGICA AREA NORD in scala 1:5000

RELAZIONE DI CALCOLO DI VERIFICA DI STABILITA' DEL PENDIO

INDAGINI INDIRETTE (STENDI MENTI SISMICI MASW-REMI -)

QUADRO RIASSUNTIVO PROVE GEOTECNICHE DI LABORATORIO

Committente: **ESAN MALURO srl**
 Cantiere: **Parco Ecologico San Mauro - Lancia (PA)**
 Verbali n.: **003/001/008-107** del **22/03/17** al **12/04/17** Data emissione certificato: **10-11-28 aprile 2017**

N° Colonna	REC Interno	Sondaggio	Campione	Classificazione	Profondità		γ _n	W _n	γ _d	LL	LP	LP _c	I _c	Sr	Granulometria					Prova Edometrica				Taglio Diretto		φ (°)	C _u (MPa)
					max	min									(mm)	(mm)	0	5	1	A	P _c	σ _{v1} (kPa)	σ _{v2} (kPa)	σ _{v3} (kPa)	σ _{v4} (kPa)		
1	20/17	377	C1	06	3,50	3,06	19,6	22,3	2,89	46,1	26,6	20,6	1,16	93	0,0	2,1	87,7	48,2	337	8104	7933	10007	11,0	33,7	77		
2	20/17	377	C4	06	16,00	16,46	20,1	17,9	2,86	32,6	20,1	12,6	1,16	89	0,0	10,6	82,0	27,6	436	6039	6482	12762	22,6	26,6	67		
3	20/17	378	C2	06	6,00	6,40	19,7	26,3	2,70	36,3	24,2	26,1	1,10	100	0,0	0,6	41,3	66,1	430	*	6647	7716	22,0	18,6	132		
4	20/17	378	C3	06	11,50	11,80	19,8	12,9	2,86	19,4	14,6	4,9	1,30	70	0,0	36,9	27,6	13,6	366	7468	10394	17669	12,2	27,4	78		
5	20/17	373	C1	06	10,00	10,30	19,1	26,2	2,71	71,1	20,6	40,3	1,06	96	0,0	6,0	16,9	76,1	666	*	9169	7741	20,6	22,6	112		
6	20/17	373	C2	06	23,00	23,36	16,7	17,6	2,86	N/D.	N/D.	N/D.	N/D.	73	0,0	66,0	26,7	6,3	164	10489	16032	24641	3,3	32,0	18		
7	20/17	375	C1	06	2,50	2,80	19,6	16,2	2,70	26,7	16,0	7,7	1,36	73	0,0	26,6	41,6	21,9	230	7776	7837	10178	26,6	30,3	110		
8	20/17	375	C3	06	12,00	12,40	19,7	17,6	2,89	43,7	22,9	20,6	1,36	82	0,0	22,6	44,6	32,7	270	22176	7933	7981	32,4	26,6	161		
9	20/17	371	C1	06	6,00	6,40	20,0	18,4	2,89	42,4	22,0	19,4	1,34	86	0,0	12,4	48,0	38,6	246	3402	4081	6009	22,4	26,4	226		
10	20/17	371	C4	06	19,00	19,36	16,8	48,3	2,72	71,3	44,9	26,4	0,87	97	0,0	7,6	19,2	73,2	306	*	7939	6369	6,0	22,2	66		
11	20/17	372	C1	06	2,50	2,73	19,3	14,9	2,70	27,2	16,6	16,4	1,18	70	1,9	28,2	43,9	26,9	164	3220	5019	6971	26,6	27,9	46		
12	20/17	372	C2	06	8,50	8,86	19,6	12,7	2,89	26,6	16,4	12,2	1,67	66	0,0	38,0	43,9	16,1	281	6640	8206	14636	20,7	32,2	63		

Ing. **Roberto Polizzi**
 Responsabile

γ: peso di volume T/m³; γ_d: peso di volume secco T/m³; γ_{sat}: peso di volume saturo; W_n: umidità naturale %; L_l: limite liquido %; L_p: limite plastico %; P_r: indice di plasticità; I_c: indice di consistenza; C: coesione kN/m²; φ: angolo di attrito; E: modulo di deformazione kPa; P_c: pressione di preconsolidazione kPa; K: permeabilità

INDAGINI CONSULTATE

PLANIMETRIA INDAGINI CONSULTATE

PLANIMETRIA CON UBICAZIONE DELLE INDAGINI GEOTECNICHE

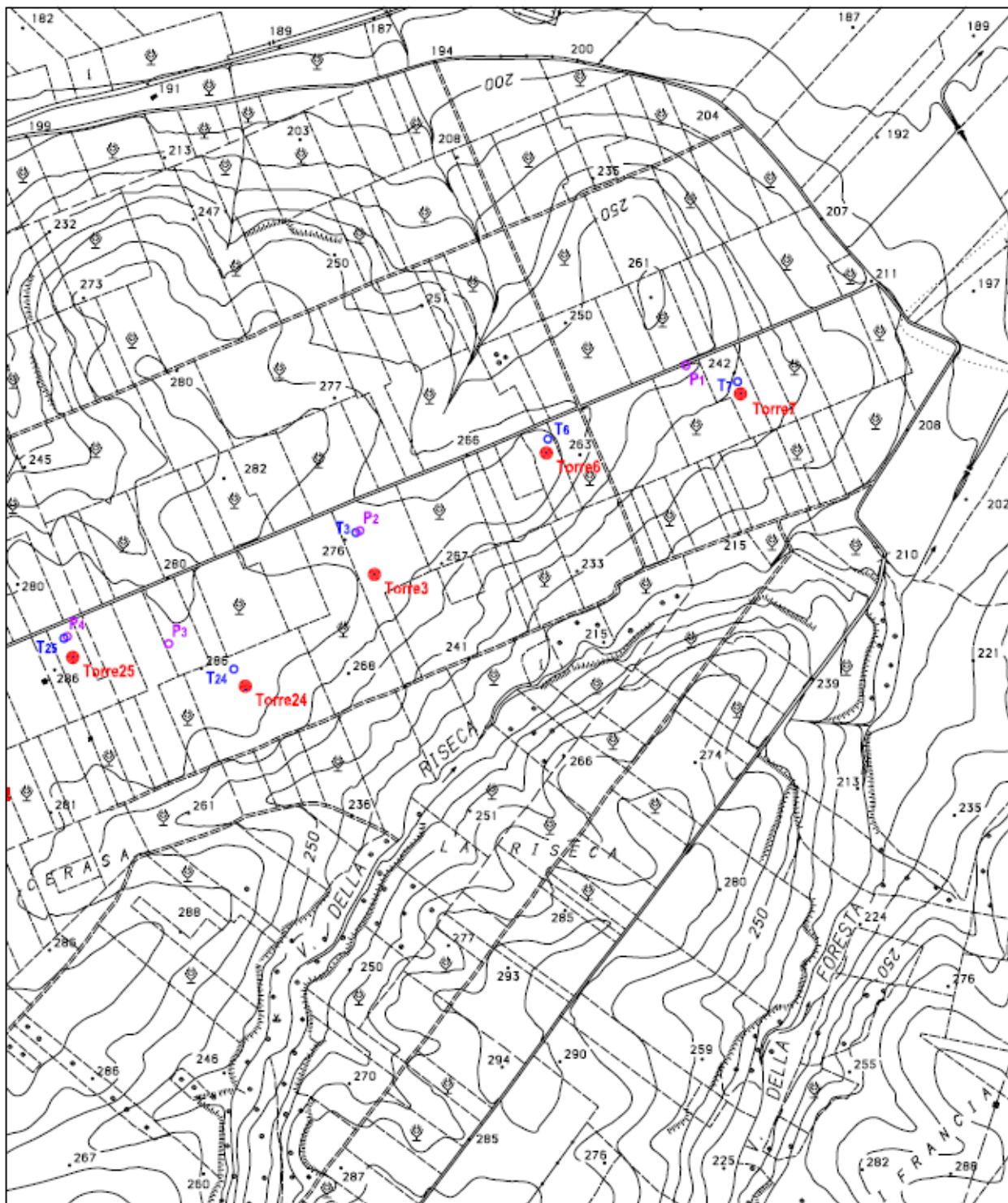
Tav.2

Scala 1 : 10.000

T Puntali prelievo
CBR - Proctor

P Prove di Carico su Piastra


● Ubicazione aerogeneratore





PLANIMETRIA CON UBICAZIONE DELLE INDAGINI GEOTECNICHE

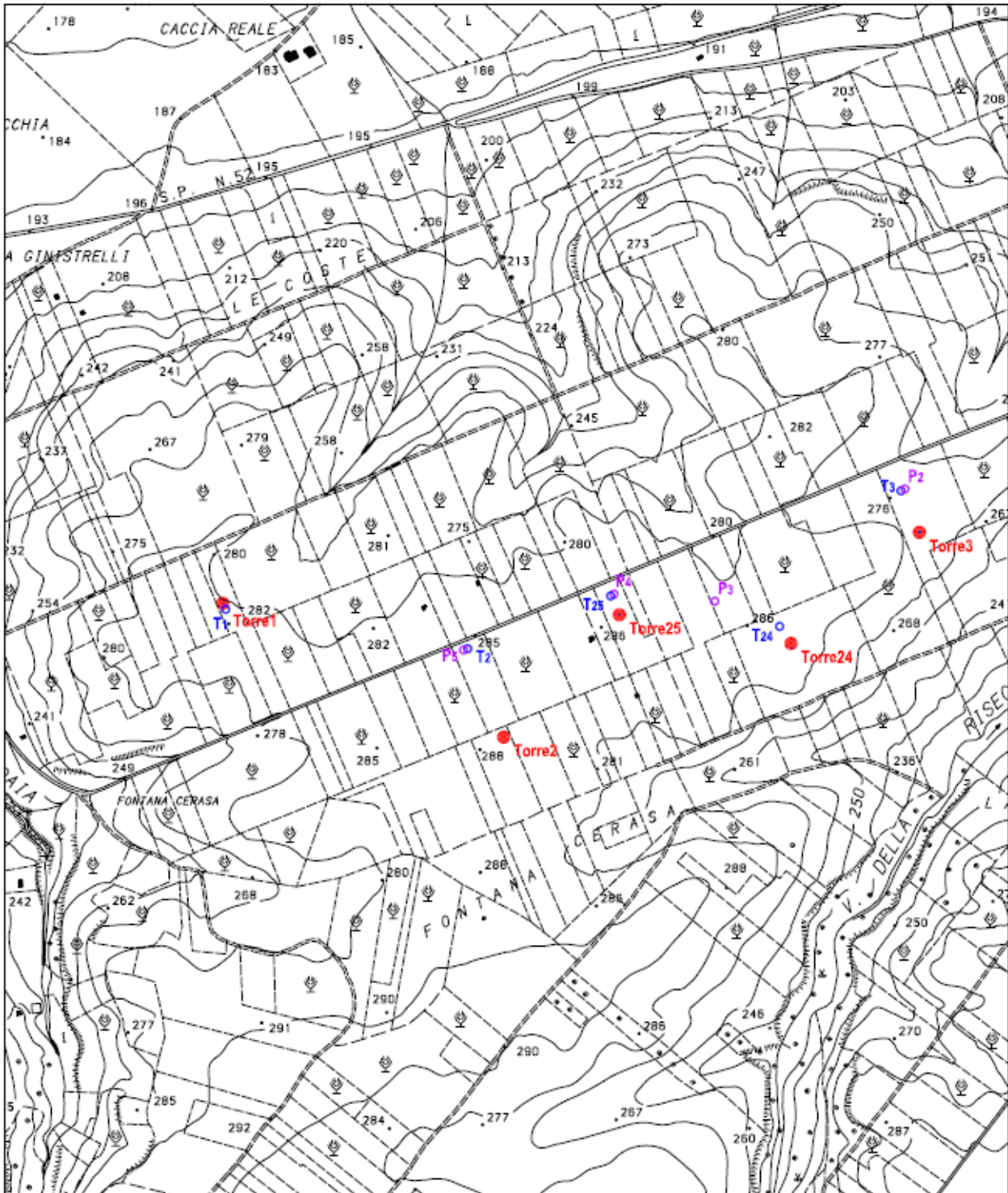
Tav.1

Scala 1 : 10.000

 Punti prelievo
CBR - Proctor

 Prove di Carico su Piastra

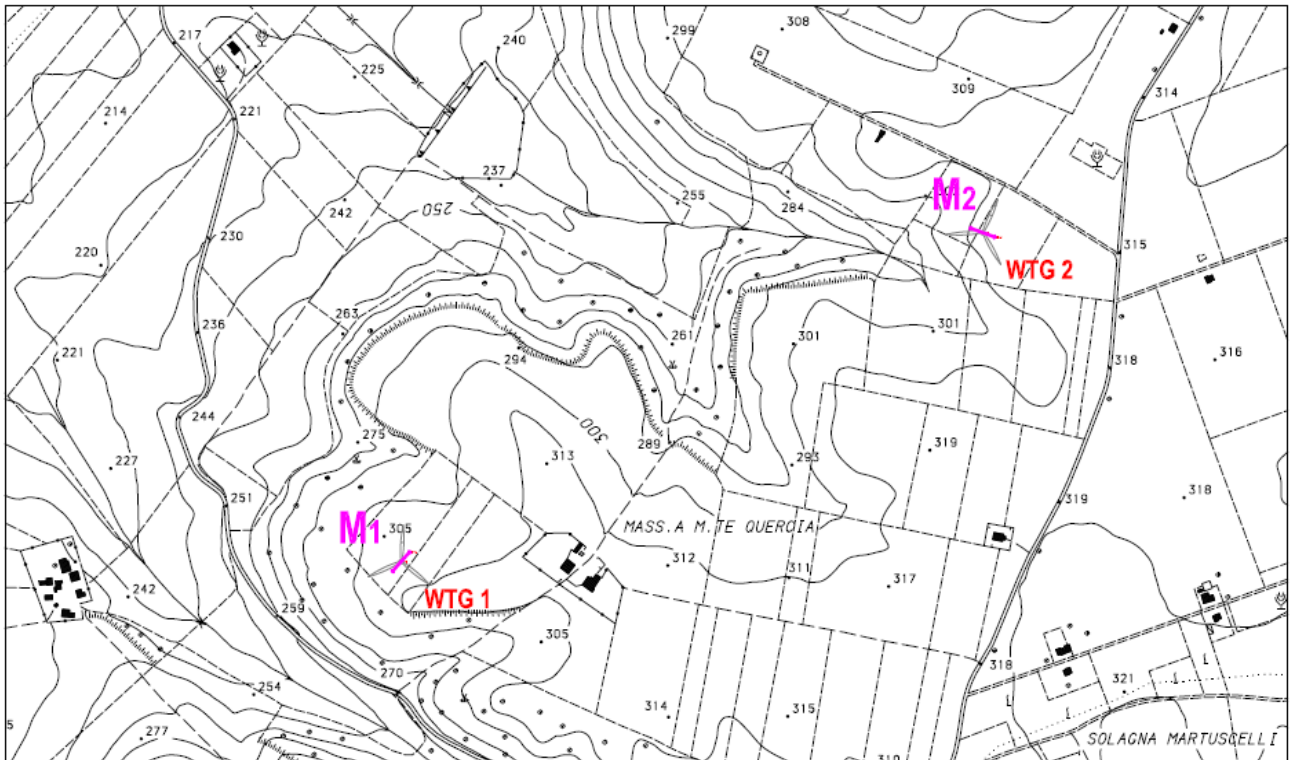
 Ubicazione aerogeneratore



PLANIMETRIA INDAGINI EFFETTUATE

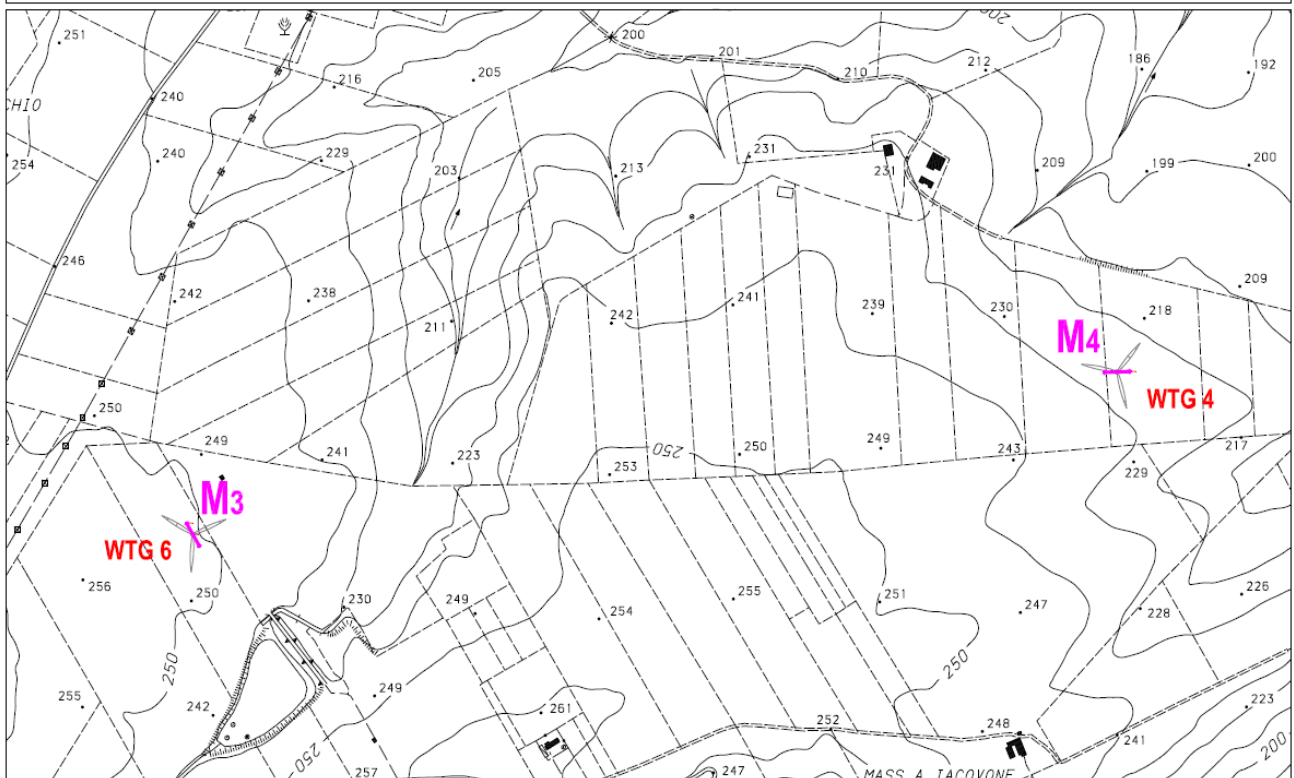
PLANIMETRIA CON UBICAZIONE DELLE INDAGINI - Scala 1 : 6.000

Ubicazione stendimenti sismici Masw-ReMI **SUD**

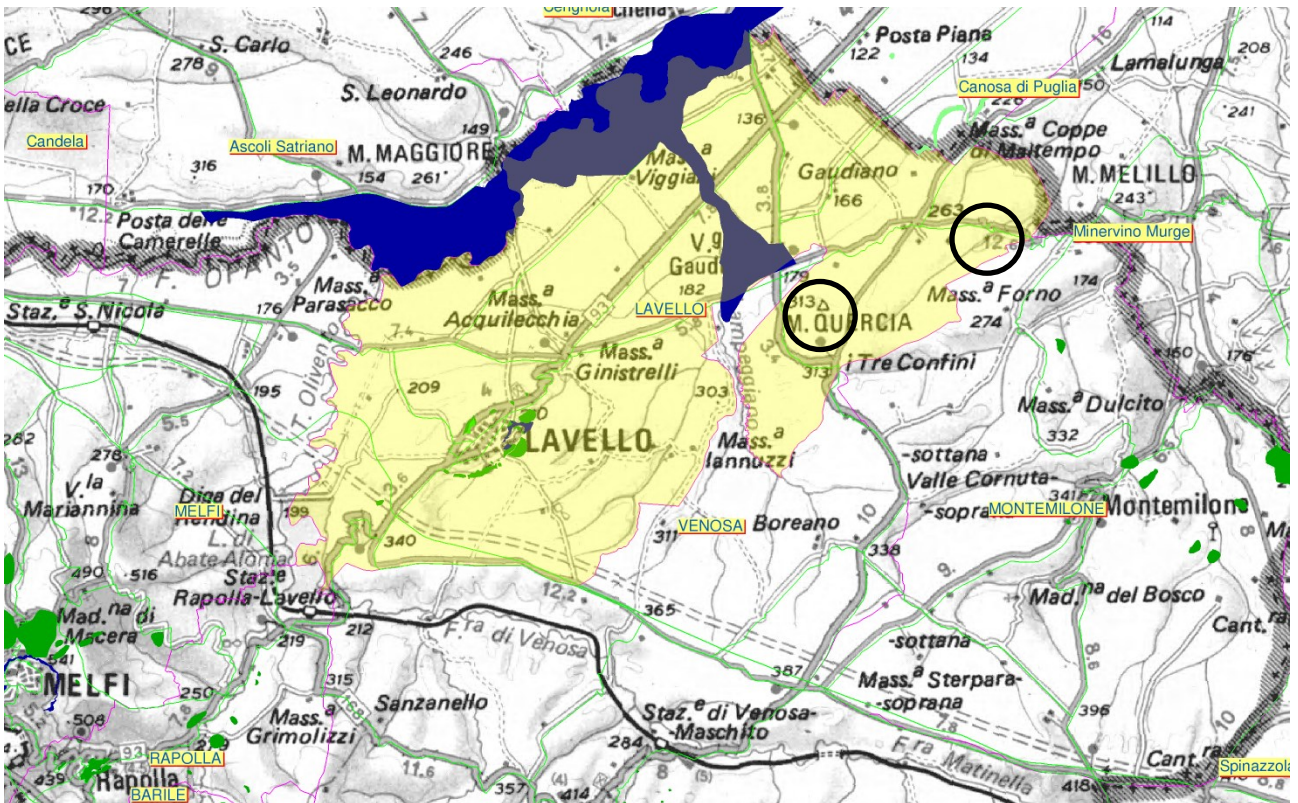


PLANIMETRIA CON UBICAZIONE DELLE INDAGINI - Scala 1 : 6.000

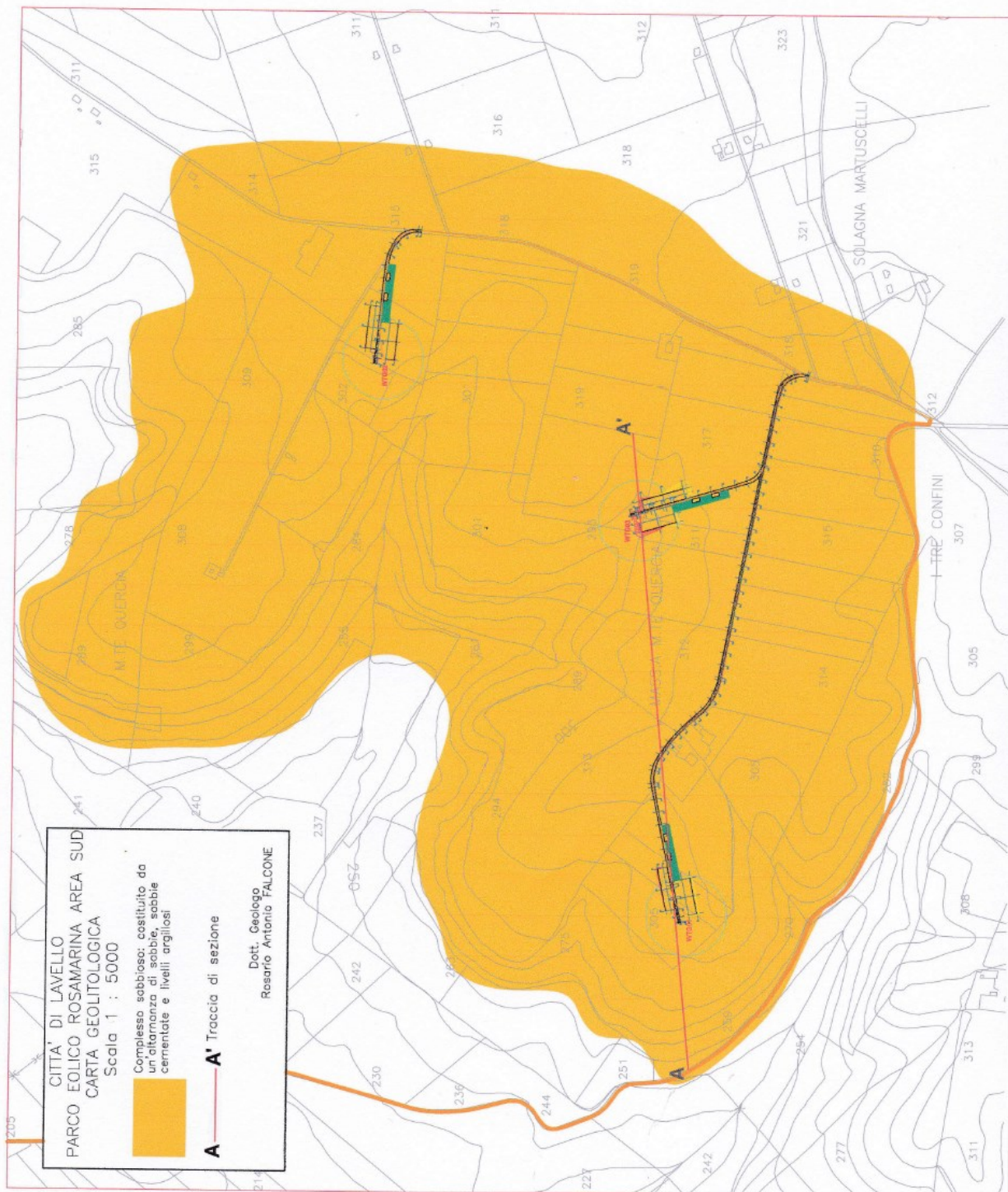
Ubicazione stendimenti sismici Masw-ReMI **NORD**



Carta PAI da dove si evince che l'area interessata è priva di vincoli

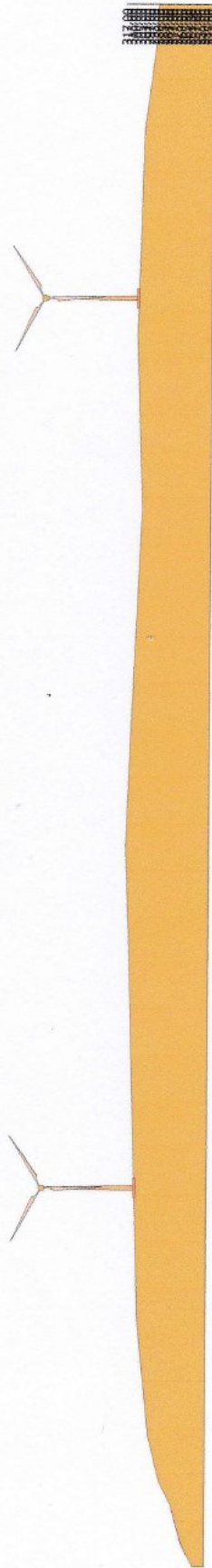


Aree interessate dalla realizzazione del Parco Eolico Rosamarina

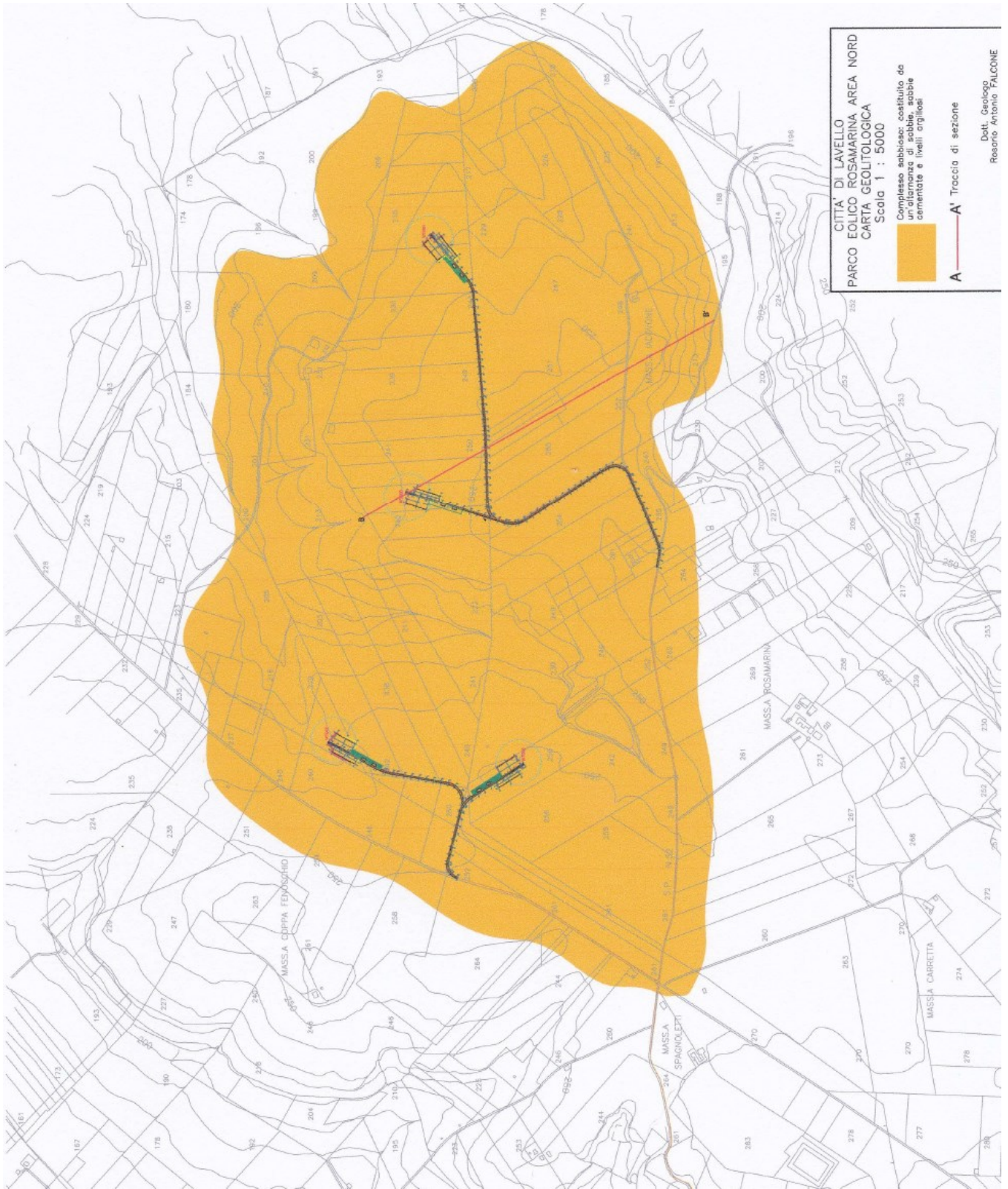


Sezione A—A'

scala 1:5000



■ sabbia debolmente limosa
g=1900 Kg/m³
g_s=2100 Kg/m³
FI=28°



AREA NORD

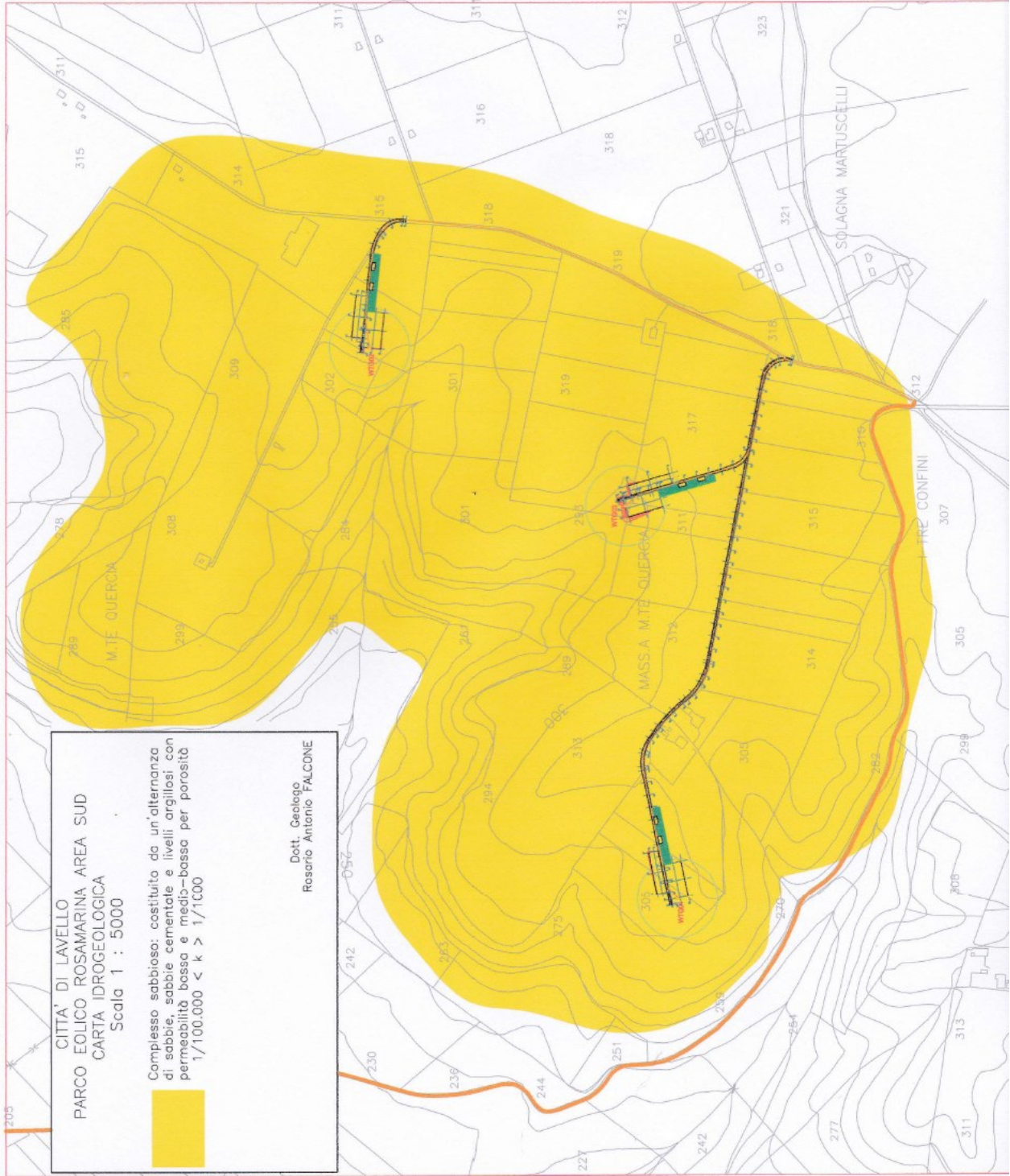
SEZIONE B — B'
scala 1 : 5000



■ Sabbia o sabbia limosa densa
g=1900 Kg/m³
gs=2100 Kg/m³
Fr=28°









CITTA' DI LAVELLO
PARCO EOLICO ROSAMARINA AREA NORD
CARTA IDROLOGICA
 Scala 1 : 5000

Completato assieme cartelle da un'altitudine
 di metri, adatte cementate e livellati con
 p = 1/100.000 < h < 1/1500

Dott. Gennaro
 Istituto Anonimo "VALCONE"

RELAZIONE DI CALCOLO DI VERIFICA DI STABILITA'

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_i agenti sulla base di ciascun concio;

n valori delle forze di taglio alla base del concio T_i

$(n-1)$ forze normali E_i agenti sull'interfaccia dei conci;

$(n-1)$ forze tangenziali X_i agenti sull'interfaccia dei conci;

n valori della coordinata a che individua il punto di applicazione delle E_i ;
 $(n-1)$ valori della coordinata che individua il punto di applicazione delle X_i ;
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_i 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 FELLENIUS (1927)

Con questo metodo (valido solo per superfici di scorrimento di forma circolare) vengono trascurate le forze di interstriscia pertanto le incognite si riducono a:

n valori delle forze normali N_i ;
 n valori delle forze da taglio T_i ;
 1 fattore di sicurezza.

Incognite $(2n+1)$

Le equazioni a disposizione sono:

n equazioni di equilibrio alla traslazione verticale;
 n equazioni relative al criterio di rottura;
 1 equazione di equilibrio dei momenti globale.

$$F = \frac{\sum \{ c_i \times l_i + (W_i \times \cos \alpha_i - u_i \times l_i) \times \tan \phi_i \}}{\sum W_i \times \sin \alpha_i}$$

Questa equazione è semplice da risolvere ma si è trovato che fornisce risultati conservativi (fattori di sicurezza bassi) soprattutto per superfici profonde.

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.

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

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 %.

Metodo di JANBU (1967)

Janbu estese il metodo di Bishop a superfici di scorrimento di forma qualsiasi.

Quando vengono trattate superfici di scorrimento di forma qualsiasi il braccio delle forze cambia (nel caso delle superfici circolari resta costante e pari al raggio) a tal motivo risulta più conveniente valutare l'equazione del momento rispetto allo spigolo di ogni blocco.

$$F = \frac{\sum \{c_i \times b_i + (W_i - u_i \times b_i + \Delta X_i) \times \tan \varphi_i\} \times \frac{\sec^2 \alpha_i}{1 + \tan \alpha_i \times \tan \varphi_i / F}}{\sum W_i \times \tan \alpha_i}$$

Assumendo $\Delta X_i = 0$ si ottiene il metodo ordinario.

Janbu propose inoltre un metodo per la correzione del fattore di sicurezza ottenuto con il metodo ordinario secondo la seguente:

$$F_{\text{corretto}} = f_o F$$

dove f_o è riportato in grafici funzione di geometria e parametri geotecnici.

Tale correzione è molto attendibile per pendii poco inclinati.

Metodo di BELL (1968)

Le forze agenti sul corpo che scivola includono il peso effettivo del terreno, W , le forze sismiche pseudostatiche orizzontali e verticali $K_x W$ e $K_z W$, le forze orizzontali e verticali X e Z applicate esternamente al profilo del pendio, infine, la risultante degli sforzi totali normali e di taglio σ e τ agenti sulla superficie potenziale di scivolamento.

Lo sforzo totale normale può includere un eccesso di pressione dei pori u che deve essere specificata con l'introduzione dei parametri di forza efficace.

In pratica questo metodo può essere considerato come un'estensione del metodo del cerchio di attrito per sezioni omogenee precedentemente descritto da Taylor.

In accordo con la legge della resistenza di Mohr-Coulomb in termini di tensione efficace, la forza di taglio agente sulla base dell' i -esimo concio è data da:

$$T_i = \frac{c_i L_i + (N_i - u_{ci} L_i) \tan \phi_i}{F}$$

in cui

F = il fattore di sicurezza;

c_i = la coesione efficace (o totale) alla base dell' i -esimo concio;

ϕ_i = l'angolo di attrito efficace (= 0 con la coesione totale) alla base dell' i -esimo concio;

L_i = la lunghezza della base dell' i -esimo concio;

u_{ci} = la pressione dei pori al centro della base dell' i -esimo concio.

L'equilibrio risulta uguagliando a zero la somma delle forze orizzontali, la somma delle forze verticali e la somma dei momenti rispetto all'origine.

Viene adottata la seguente assunzione sulla variazione della tensione normale agente sulla potenziale superficie di scorrimento:

$$\sigma_{ci} = \left[C_1(1 - K_z) \frac{W_i \cos \alpha_i}{L_i} \right] + C_2 f(x_{ci}, y_{ci}, z_{ci})$$

in cui il primo termine dell'equazione include l'espressione:

$W_i \cos \alpha_i / L_i =$ valore dello sforzo normale totale associato con il metodo ordinario dei conci.

Il secondo termine dell'equazione include la funzione:

$$f = \sin 2\pi \left(\frac{x_n - x_{ci}}{x_n - x_0} \right)$$

Dove x_0 ed x_n sono rispettivamente le ascisse del primo e dell'ultimo punto della superficie di scorrimento, mentre x_{ci} rappresenta l'ascissa del punto medio della base del concio i -esimo.

Una parte sensibile di riduzione del peso associata con una accelerazione verticale del terreno $K_z g$ può essere trasmessa direttamente alla base e ciò è incluso nel fattore $(1 - K_z)$.

Lo sforzo normale totale alla base di un concio è dato da:

$$N_i = \sigma_{ci} L_i$$

La soluzione delle equazioni di equilibrio si ricava risolvendo un sistema lineare di tre equazioni ottenute moltiplicando le equazioni di equilibrio per il fattore di sicurezza F , sostituendo l'espressione di N_i e moltiplicando ciascun termine della coesione per un coefficiente arbitrario C_3 .

Si assume una relazione di linearità tra detto coefficiente, determinabile tramite la regola di Cramer, ed il fattore di sicurezza F . Il corretto valore di F può essere ottenuto dalla formula di interpolazione lineare:

$$F = F(2) + \left(\frac{1 - C_3(2)}{C_3(2) - C_3(1)} \right) (F(2) - F(1))$$

dove i numeri in parentesi (1) e (2) indicano i valori iniziale e successivo dei parametri F e C_3 .

Qualsiasi coppia di valori del fattore di sicurezza nell'intorno di una stima fisicamente ragionevole può essere usata per iniziare una soluzione iterativa.

Il numero necessario di iterazioni dipende sia dalla stima iniziale sia dalla desiderata precisione della soluzione; normalmente, il processo converge rapidamente.

Metodo di SARMA (1973)

Il metodo di **Sarma** è un semplice, ma accurato metodo per l'analisi di stabilità dei pendii, che permette di determinare l'accelerazione sismica orizzontale richiesta affinché l'ammasso di terreno, delimitato dalla superficie di scivolamento e dal profilo topografico, raggiunga lo stato di equilibrio limite (accelerazione critica Kc) e, nello stesso tempo, consente di ricavare l'usuale fattore di sicurezza ottenuto come per gli altri metodi più comuni della geotecnica.

Si tratta di un metodo basato sul principio dell'equilibrio limite e delle strisce, pertanto viene considerato l'equilibrio di una potenziale massa di terreno in scivolamento suddivisa in n strisce

verticali di spessore sufficientemente piccolo da ritenere ammissibile l'assunzione che lo sforzo normale N_j agisce nel punto medio della base della striscia.

Le equazioni da prendere in considerazione sono:

L'equazione di equilibrio alla traslazione orizzontale del singolo concio;

L'equazione di equilibrio alla traslazione verticale del singolo concio;

L'equazione di equilibrio dei momenti.

Condizioni di equilibrio alla traslazione orizzontale e verticale:

$$\begin{aligned} N_i \cos \alpha_i + T_i \sin \alpha_i &= W_i - \Delta X_i \\ T_i \cos \alpha_i - N_i \sin \alpha_i &= KW_i + \Delta E_i \end{aligned}$$

Viene, inoltre, assunto che in assenza di forze esterne sulla superficie libera dell'ammasso si ha:

$$\begin{aligned} \sum \Delta E_i &= 0 \\ \sum \Delta X_i &= 0 \end{aligned}$$

dove E_i e X_i rappresentano, rispettivamente, le forze orizzontale e verticale sulla faccia i -esima del concio generico i .

L'equazione di equilibrio dei momenti viene scritta scegliendo come punto di riferimento il baricentro dell'intero ammasso; sicché, dopo aver eseguito una serie di posizioni e trasformazioni trigonometriche ed algebriche, nel metodo di **Sarma** la soluzione del problema passa attraverso la risoluzione di due equazioni:

$$\begin{aligned} * \sum \Delta X_i \cdot \operatorname{tg}(\psi'_i - \alpha_i) + \sum \Delta E_i &= \sum \Delta_i - K \cdot \sum W_i \\ ** \sum \Delta X_i \cdot [(y_{mi} - y_G) \cdot \operatorname{tg}(\psi'_i - \alpha'_i) + (x'_i - x_G)] &= \sum W_i \cdot (x_{mi} - x_G) + \sum \Delta_i \cdot (y_{mi} - y_G) \end{aligned}$$

Ma l'approccio risolutivo, in questo caso, è completamente capovolto: il problema infatti impone di trovare un valore di K (accelerazione sismica) corrispondente ad un determinato fattore di sicurezza; ed in particolare, trovare il valore dell'accelerazione K corrispondente al fattore di sicurezza $F = 1$, ossia l'*accelerazione critica*.

Si ha pertanto:

$K = K_c$ *accelerazione critica* se $F = 1$

$F = F_s$ *fattore di sicurezza in condizioni statiche* se $K = 0$

La seconda parte del problema del Metodo di Sarma è quella di trovare una distribuzione di forze interne X_i ed E_i tale da verificare l'equilibrio del concio e quello globale dell'intero ammasso, senza violazione del criterio di rottura.

E' stato trovato che una soluzione accettabile del problema si può ottenere assumendo la seguente distribuzione per le forze X_i :

$$\Delta X_i = \lambda \cdot \Delta Q_i = \lambda \cdot (Q_{i+1} - Q_i)$$

dove Q_i è una funzione nota, in cui vengono presi in considerazione i parametri geotecnici medi sulla i -esima faccia del concio i , e λ rappresenta un'incognita.

La soluzione completa del problema si ottiene pertanto, dopo alcune iterazioni, con i valori di Kc , λ e F , che permettono di ottenere anche la distribuzione delle forze di interstriscia.

Metodo di SPENCER

Il metodo è basato sull'assunzione:

Le forze d'interfaccia lungo le superfici di divisione dei singoli conci sono orientate parallelamente fra loro ed inclinate rispetto all'orizzontale di un angolo θ . tutti i momenti sono nulli $M_i = 0$
 $i=1 \dots n$

Sostanzialmente il metodo soddisfa tutte le equazioni della statica ed equivale al metodo di Morgenstern e Price quando la funzione $f(x) = 1$.

Imponendo l'equilibrio dei momenti rispetto al centro dell'arco descritto dalla superficie di scivolamento si ha:

$$\sum Q_i R \cos(\alpha - \theta) = 0$$

dove:

$$Q_i = \frac{\frac{c}{F_s} (W \cos \alpha - \gamma_w h l \sec \alpha) \frac{tg \alpha}{F_s} - W \sin \alpha}{\cos(\alpha - \theta) \left[\frac{F_s + tg \phi tg(\alpha - \theta)}{F_s} \right]}$$

forza d'interazione fra i conci;

R = raggio dell'arco di cerchio;

θ = angolo d'inclinazione della forza Q_i rispetto all'orizzontale.

Imponendo l'equilibrio delle forze orizzontali e verticali si ha rispettivamente:

$$\sum (Q_i \cos \theta) = 0 \quad \sum (Q_i \sin \theta) = 0$$

Con l'assunzione delle forze Q_i parallele fra loro, si può anche scrivere:

$$\sum Q_i = 0$$

Il metodo propone di calcolare due coefficienti di sicurezza: il primo (F_{sm}) ottenibile dalla 1), legato all'equilibrio dei momenti; il secondo (F_{sf}) dalla 2) legato all'equilibrio delle forze. In pratica si procede risolvendo la 1) e la 2) per un dato intervallo di valori dell'angolo θ , considerando come valore unico del coefficiente di sicurezza quello per cui si abbia $F_{sm} = F_{sf}$.

Metodo di MORGENSTERN e PRICE

Si stabilisce una relazione tra le componenti delle forze di interfaccia del tipo $X = \lambda f(x)E$, dove λ è un fattore di scala e $f(x)$, funzione della posizione di E e di X, definisce una relazione tra la variazione della forza X e della forza E all'interno della massa scivolante. La funzione $f(x)$ è scelta arbitrariamente (costante, sinusoidale, semisinusoidale, trapezia, spezzata...) e influenza poco il risultato, ma va verificato che i valori ricavati per le incognite siano fisicamente accettabili.

La particolarità del metodo è che la massa viene suddivisa in strisce infinitesime alle quali vengono imposte le equazioni di equilibrio alla traslazione orizzontale e verticale e di rottura sulla base delle strisce stesse. Si perviene ad una prima equazione differenziale che lega le forze d'interfaccia incognite E , X , il coefficiente di sicurezza F_s , il peso della striscia infinitesima dW e la risultante delle pressioni neutra alla base dU .

Si ottiene la cosiddetta “equazione delle forze”:

$$c' \sec^2 \frac{\alpha}{F_s} + \operatorname{tg} \varphi' \left(\frac{dW}{dx} - \frac{dX}{dx} - \operatorname{tg} \alpha \frac{dE}{dx} - \sec \alpha \frac{dU}{dx} \right) =$$

$$= \frac{dE}{dx} - \operatorname{tg} \alpha \left(\frac{dX}{dx} - \frac{dW}{dx} \right)$$

Una seconda equazione, detta “equazione dei momenti”, viene scritta imponendo la condizione di equilibrio alla rotazione rispetto alla mezzeria della base:

$$X = \frac{d(E \gamma)}{dx} - \gamma \frac{dE}{dx}$$

queste due equazioni vengono estese per integrazione a tutta la massa interessata dallo scivolamento.

Il metodo di calcolo soddisfa tutte le equazioni di equilibrio ed è applicabile a superfici di qualsiasi forma, ma implica necessariamente l'uso di un calcolatore.

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 2018 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_O e verticale K_V che interessano tutte le masse vengono calcolati come:

$$K_O = S \cdot (a_g/g) \quad K_V = 0.5 \cdot K_O$$

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 $> 30^\circ$; $S_T \geq 1,2$ 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.

SEZIONE 1 PENDIO NATURALE

Analisi di stabilità dei pendii con BELL

Numero di strati	1,0
Numero dei conci	10,0
Superficie di forma circolare	

Maglia dei Centri

Ascissa vertice sinistro inferiore x_i	115,08 m
Ordinata vertice sinistro inferiore y_i	332,58 m
Ascissa vertice destro superiore x_s	158,42 m
Ordinata vertice destro superiore y_s	370,89 m
Passo di ricerca	10,0
Numero di celle lungo x	10,0
Numero di celle lungo y	10,0

Coefficienti sismici [N.T.C.]**Dati generali**

Descrizione:	S2
Latitudine:	41,048
Longitudine:	15,792
Tipo opera:	2 - Opere ordinarie
Classe d'uso:	Classe II
Vita nominale:	50,0 [anni]
Vita di riferimento:	50,0 [anni]

Parametri sismici su sito di riferimento

Categoria sottosuolo:	B
Categoria topografica:	T2

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s ²]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	30,0	0,457	2,49	0,29
S.L.D.	50,0	0,604	2,53	0,29
S.L.V.	475,0	1,939	2,51	0,37
S.L.C.	975,0	2,739	2,37	0,41

Coefficienti sismici orizzontali e verticali

Opera: Stabilità dei pendii

S.L. Stato limite	amax [m/s ²]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0,6581	0,2	0,0134	0,0067
S.L.D.	0,8698	0,2	0,0177	0,0089
S.L.V.	2,7922	0,24	0,0683	0,0342
S.L.C.	3,7312	0,28	0,1065	0,0533

Coefficiente azione sismica orizzontale 0,1065
 Coefficiente azione sismica verticale 0,0533

Vertici profilo

N	X m	y m
1	0,0	250,0
2	42,0	260,0
3	74,0	270,0
4	102,0	280,0
5	136,0	290,0
6	230,0	300,0
7	330,0	305,0

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	29	1900	2100	0,00	Sabbia o sabbia limosa densa

Risultati analisi pendio

Fs minimo individuato	1,33
Ascissa centro superficie	115,08 m
Ordinata centro superficie	363,22 m
Raggio superficie	81,75 m

Analisi dei conci. Superficie...xc = 115,082 yc = 363,224 Rc = 81,752 Fs=1,3335

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (kg/cm ²)	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
1	4,73	-3,3	4,73	7769,9	827,49	414,14	0,0	29,0	0,0	-33140,0	-13775,6
2	4,73	0,0	4,73	21460,43	2285,54	1143,84	0,0	29,0	0,0	-26832,5	-11153,7
3	4,73	3,3	4,74	32694,28	3481,94	1742,61	0,0	29,0	0,0	-10874,8	-4520,4
4	4,73	6,7	4,76	41458,58	4415,34	2209,74	0,0	29,0	0,0	12036,5	5003,3
5	4,73	10,0	4,8	47715,32	5081,68	2543,23	0,0	29,0	0,0	39261,1	16320,0
6	4,33	13,3	4,44	46943,62	4999,5	2502,1	0,0	29,0	0,0	54849,4	22799,7
7	5,13	16,7	5,35	52181,73	5557,35	2781,29	0,0	29,0	0,0	101945,7	42376,6
8	4,73	20,3	5,04	37989,76	4045,91	2024,85	0,0	29,0	0,0	86640,6	36014,6
9	4,73	23,9	5,17	25246,2	2688,72	1345,62	0,0	29,0	0,0	70407,0	29266,7
10	4,73	27,6	5,33	9283,69	988,71	494,82	0,0	29,0	0,0	30982,1	12878,6

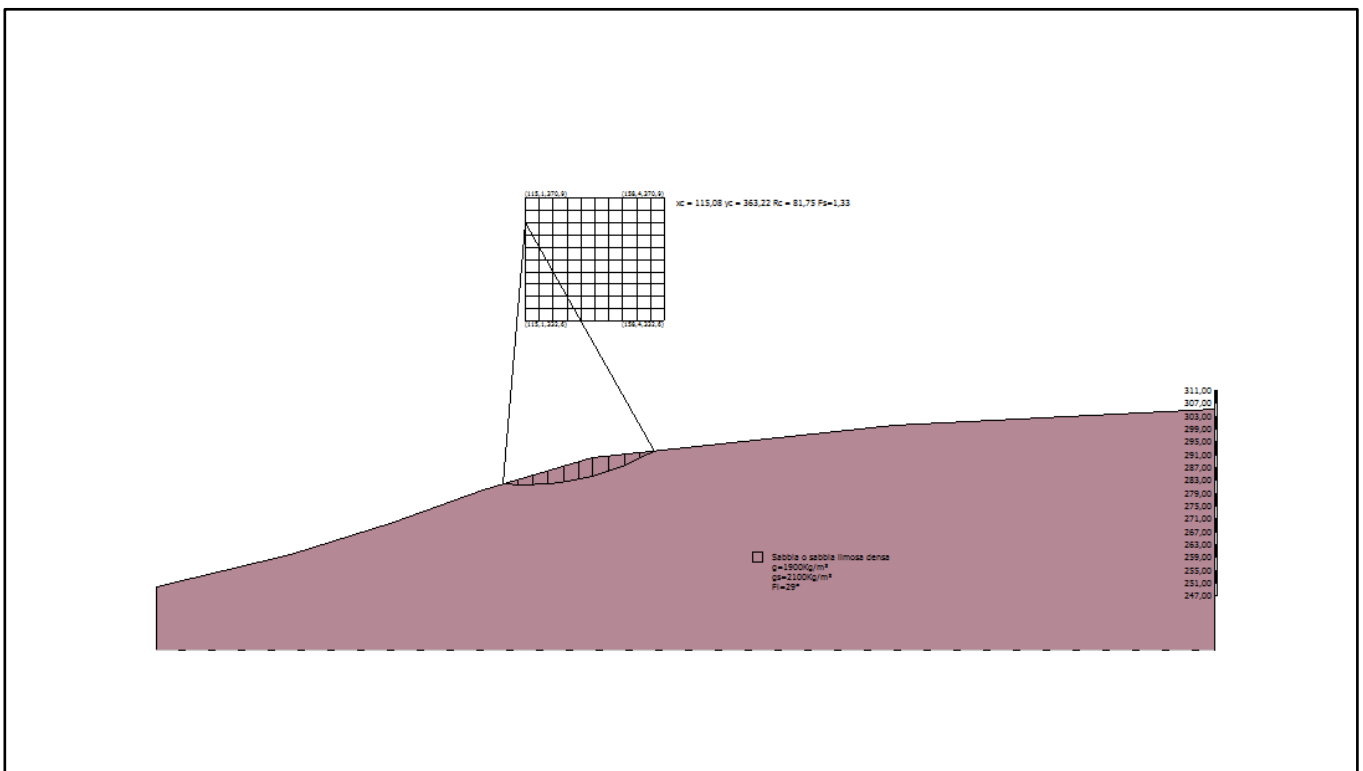


Fig. 1 Sezione 1 verifica di stabilità pendio naturale $F_s = 1,33 > 1,3$ STABILE

SEZIONE 1 PENDIO GRAVATO DALLE OPERE DI PROGETTO

Analisi di stabilità dei pendii con BELL

Numero di strati	1,0
Numero dei conci	10,0

Superficie di forma circolare

Maglia dei Centri

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	115,08 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	332,58 m
Ascissa vertice destro superiore xs	158,42 m
Ordinata vertice destro superiore ys	370,89 m
Passo di ricerca	10,0
Numero di celle lungo x	10,0
Numero di celle lungo y	10,0

Coefficienti sismici [N.T.C.]

Dati generali

Descrizione:	S2
Latitudine:	41,048
Longitudine:	15,792
Tipo opera:	2 - Opere ordinarie
Classe d'uso:	Classe II
Vita nominale:	50,0 [anni]
Vita di riferimento:	50,0 [anni]

Parametri sismici su sito di riferimento

Categoria sottosuolo:	B
Categoria topografica:	T2

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s ²]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	30,0	0,457	2,49	0,29
S.L.D.	50,0	0,604	2,53	0,29
S.L.V.	475,0	1,939	2,51	0,37
S.L.C.	975,0	2,739	2,37	0,41

Coefficienti sismici orizzontali e verticali

Opera: Stabilità dei pendii

S.L. Stato limite	amax [m/s ²]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0,6581	0,2	0,0134	0,0067
S.L.D.	0,8698	0,2	0,0177	0,0089
S.L.V.	2,7922	0,24	0,0683	0,0342
S.L.C.	3,7312	0,28	0,1065	0,0533

Coefficiente azione sismica orizzontale	0,1065
Coefficiente azione sismica verticale	0,0533

Vertici profilo

N	X m	y m
1	0,0	250,0
2	42,0	260,0
3	74,0	270,0
4	102,0	280,0
5	136,0	290,0
6	230,0	300,0
7	330,0	305,0

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	29	1900	2100	0,00	Sabbia o sabbia limosa densa

Carichi distribuiti

N°	xi m	yi m	xf m	yf m	Carico esterno (kg/cm ²)
1	291,15	301,02	291,15	301,02	4

Risultati analisi pendio

Fs minimo individuato	1,33
Ascissa centro superficie	115,08 m
Ordinata centro superficie	363,22 m
Raggio superficie	81,75 m

Analisi dei conci. Superficie...xc = 115,082 yc = 363,224 Rc = 81,752 Fs=1,3335

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (kg/cm ²)	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
1	4,73	-3,3	4,73	7769,9	827,49	414,14	0,0	29,0	0,0	-33140,0	-13775,6
2	4,73	0,0	4,73	21460,43	2285,54	1143,84	0,0	29,0	0,0	-26832,5	-11153,7
3	4,73	3,3	4,74	32694,28	3481,94	1742,61	0,0	29,0	0,0	-10874,8	-4520,4
4	4,73	6,7	4,76	41458,58	4415,34	2209,74	0,0	29,0	0,0	12036,5	5003,3
5	4,73	10,0	4,8	47715,32	5081,68	2543,23	0,0	29,0	0,0	39261,1	16320,0
6	4,33	13,3	4,44	46943,62	4999,5	2502,1	0,0	29,0	0,0	54849,4	22799,7
7	5,13	16,7	5,35	52181,73	5557,35	2781,29	0,0	29,0	0,0	101945,7	42376,6
8	4,73	20,3	5,04	37989,76	4045,91	2024,85	0,0	29,0	0,0	86640,6	36014,6
9	4,73	23,9	5,17	25246,2	2688,72	1345,62	0,0	29,0	0,0	70407,0	29266,7
10	4,73	27,6	5,33	9283,69	988,71	494,82	0,0	29,0	0,0	30982,1	12878,6

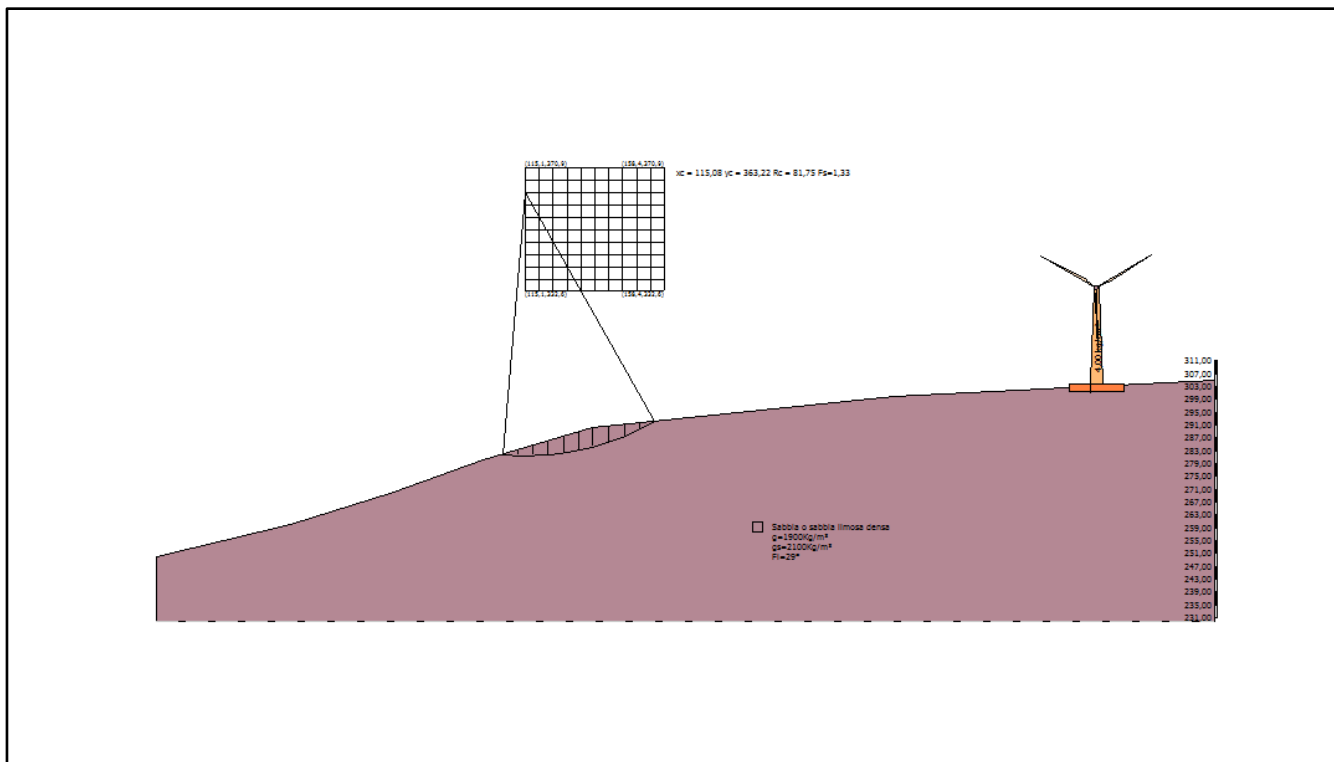


Fig. 2 Sezione 1 verifica stabilità del pendio gravato dalle opere in progetto $F_s = 1.33 > 1.3$ STABILE

SEZIONE 2 PENDIO NATURALE

Analisi di stabilità dei pendii con BELL

Numero di strati	1,0
Numero dei conci	10,0
Superficie di forma circolare	

Maglia dei Centri

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	77,2 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	334,18 m
Ascissa vertice destro superiore xs	115,9 m
Ordinata vertice destro superiore ys	363,79 m
Passo di ricerca	10,0
Numero di celle lungo x	10,0
Numero di celle lungo y	10,0

Coefficienti sismici [N.T.C.]

Dati generali

Descrizione:	S2
Latitudine:	41,048
Longitudine:	15,792
Tipo opera:	2 - Opere ordinarie
Classe d'uso:	Classe II
Vita nominale:	50,0 [anni]
Vita di riferimento:	50,0 [anni]

Parametri sismici su sito di riferimento

Categoria sottosuolo:	B
Categoria topografica:	T2

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s ²]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	30,0	0,457	2,49	0,29
S.L.D.	50,0	0,604	2,53	0,29
S.L.V.	475,0	1,939	2,37	0,37
S.L.C.	975,0	2,739	2,37	0,41

Coefficienti sismici orizzontali e verticali

Opera: Stabilità dei pendii

S.L. Stato limite	amax [m/s ²]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0,6581	0,2	0,0134	0,0067
S.L.D.	0,8698	0,2	0,0177	0,0089
S.L.V.	2,7922	0,24	0,0683	0,0342
S.L.C.	3,7312	0,28	0,1065	0,0533

Coefficiente azione sismica orizzontale	0,1065
Coefficiente azione sismica verticale	0,0533

Vertici profilo

N	X m	y m
1	0,0	260,0
2	32,0	270,0
3	58,0	280,0
4	77,0	290,0
5	137,0	300,0
6	287,0	305,0

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	29	1850	2050	0,00	Sabbia limosa mediamente addensata

Risultati analisi pendio

Fs minimo individuato	1,37
Ascissa centro superficie	77,2 m
Ordinata centro superficie	348,99 m
Raggio superficie	68,36 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 = 77,202 yc = 348,986 Rc = 68,361 Fs=1,3654

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (kg/cm ²)	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
1	5,99	-10,0	6,08	24108,57	2567,56	1284,99	0,0	29,0	0,0	-99637,9	-40451,3
2	8,7	-3,8	8,72	111624,0	11887,96	5949,56	0,0	29,0	0,0	-170328,8	-69150,5
3	3,28	1,2	3,28	58446,74	6224,58	3115,21	0,0	29,0	0,0	-20874,5	-8474,7
4	5,99	5,1	6,01	112502,6	11981,53	5996,39	0,0	29,0	0,0	40191,1	16316,9
5	5,99	10,2	6,09	114673,7	12212,75	6112,11	0,0	29,0	0,0	134122,0	54451,2
6	5,99	15,3	6,21	110729,6	11792,71	5901,89	0,0	29,0	0,0	221574,9	89955,6
7	5,99	20,6	6,4	100281,2	10679,95	5344,99	0,0	29,0	0,0	289100,2	117369,7
8	5,99	26,1	6,67	82713,47	8808,98	4408,63	0,0	29,0	0,0	318655,0	129368,4
9	5,99	31,9	7,05	57076,57	6078,66	3042,18	0,0	29,0	0,0	283342,0	115032,0
10	5,99	38,0	7,6	21885,77	2330,83	1166,51	0,0	29,0	0,0	138050,0	56045,9

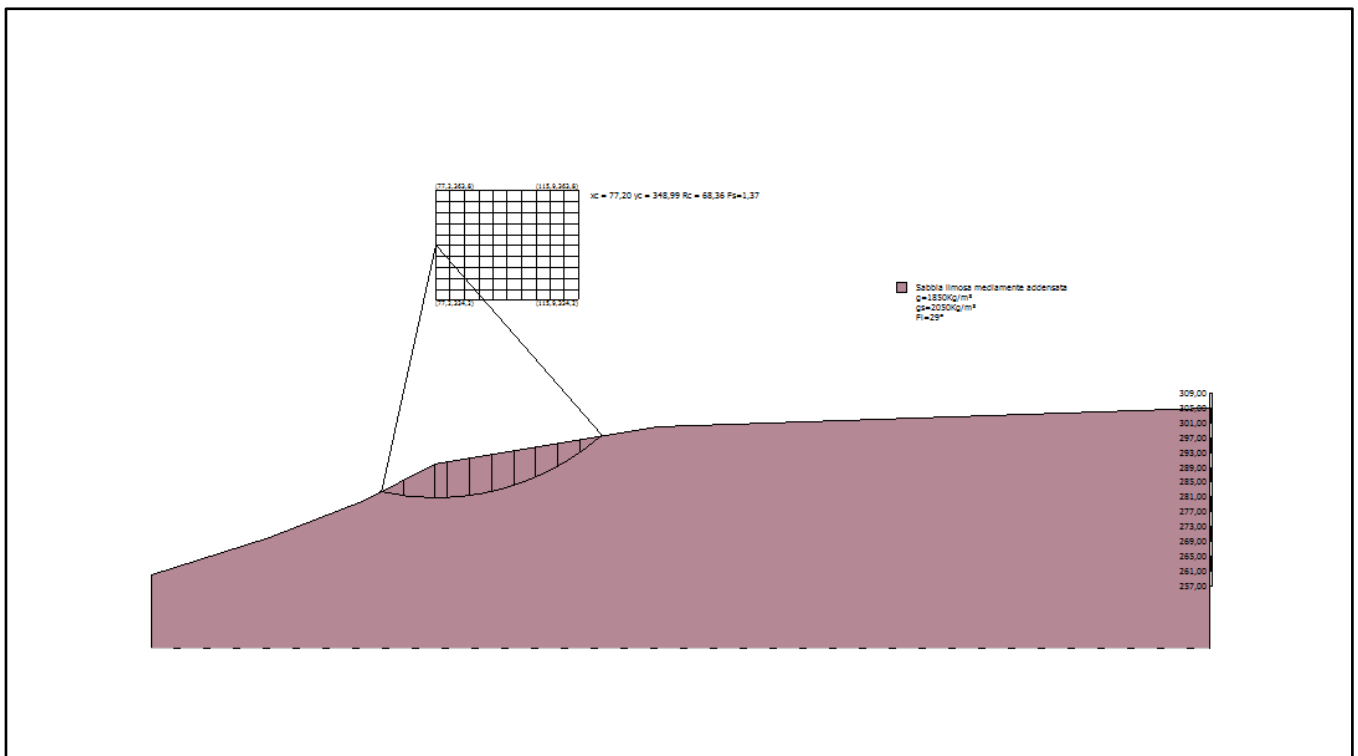


Fig. 3 Sezione 2 verifica stabilità pendio naturale WTG1 $F_s = 1,37 > 1,3$ STABILE

SEZIONE 2 PENDIO GRAVATO DAI CARICHI DI PROGETTO

Analisi di stabilità dei pendii con BELL

Numero di strati	1,0
Numero dei conci	10,0

Superficie di forma circolare

Maglia dei Centri

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	77,2 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	334,18 m
Ascissa vertice destro superiore xs	115,9 m
Ordinata vertice destro superiore ys	363,79 m
Passo di ricerca	10,0
Numero di celle lungo x	10,0
Numero di celle lungo y	10,0

Coefficienti sismici [N.T.C.]

Dati generali

Descrizione:	S2
Latitudine:	41,048
Longitudine:	15,792
Tipo opera:	2 - Opere ordinarie
Classe d'uso:	Classe II
Vita nominale:	50,0 [anni]
Vita di riferimento:	50,0 [anni]

Parametri sismici su sito di riferimento

Categoria sottosuolo:	B
Categoria topografica:	T2

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s ²]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	30,0	0,457	2,49	0,29
S.L.D.	50,0	0,604	2,53	0,29
S.L.V.	475,0	1,939	2,37	0,37
S.L.C.	975,0	2,739	2,37	0,41

Coefficienti sismici orizzontali e verticali

Opera: Stabilità dei pendii

S.L. Stato limite	amax [m/s ²]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0,6581	0,2	0,0134	0,0067
S.L.D.	0,8698	0,2	0,0177	0,0089
S.L.V.	2,7922	0,24	0,0683	0,0342
S.L.C.	3,7312	0,28	0,1065	0,0533

Coefficiente azione sismica orizzontale	0,1065
Coefficiente azione sismica verticale	0,0533

Vertici profilo

N	X m	y m
1	0,0	260,0
2	32,0	270,0
3	58,0	280,0
4	77,0	290,0
5	137,0	300,0
6	287,0	305,0

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	29	1850	2050	0,00	Sabbia limosa mediamente addensata

Carichi distribuiti

N°	xi m	yi m	xf m	yf m	Carico esterno (kg/cm ²)
1	249,17	303,33	249,17	303,33	4

Risultati analisi pendio

Fs minimo individuato	1,37
Ascissa centro superficie	77,2 m
Ordinata centro superficie	348,99 m
Raggio superficie	68,36 m

Analisi dei conci. Superficie...xc = 77,202 yc = 348,986 Rc = 68,361 Fs=1,3654

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (kg/cm ²)	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
1	5,99	-10,0	6,08	24108,57	2567,56	1284,99	0,0	29,0	0,0	-99637,9	-40451,3
2	8,7	-3,8	8,72	111624,0	11887,96	5949,56	0,0	29,0	0,0	-170328,8	-69150,5
3	3,28	1,2	3,28	58446,74	6224,58	3115,21	0,0	29,0	0,0	-20874,5	-8474,7
4	5,99	5,1	6,01	112502,6	11981,53	5996,39	0,0	29,0	0,0	40191,1	16316,9
5	5,99	10,2	6,09	114673,7	12212,75	6112,11	0,0	29,0	0,0	134122,0	54451,2
6	5,99	15,3	6,21	110729,6	11792,71	5901,89	0,0	29,0	0,0	221574,9	89955,6
7	5,99	20,6	6,4	100281,2	10679,95	5344,99	0,0	29,0	0,0	289100,2	117369,7
8	5,99	26,1	6,67	82713,47	8808,98	4408,63	0,0	29,0	0,0	318655,0	129368,4
9	5,99	31,9	7,05	57076,57	6078,66	3042,18	0,0	29,0	0,0	283342,0	115032,0
10	5,99	38,0	7,6	21885,77	2330,83	1166,51	0,0	29,0	0,0	138050,0	56045,9

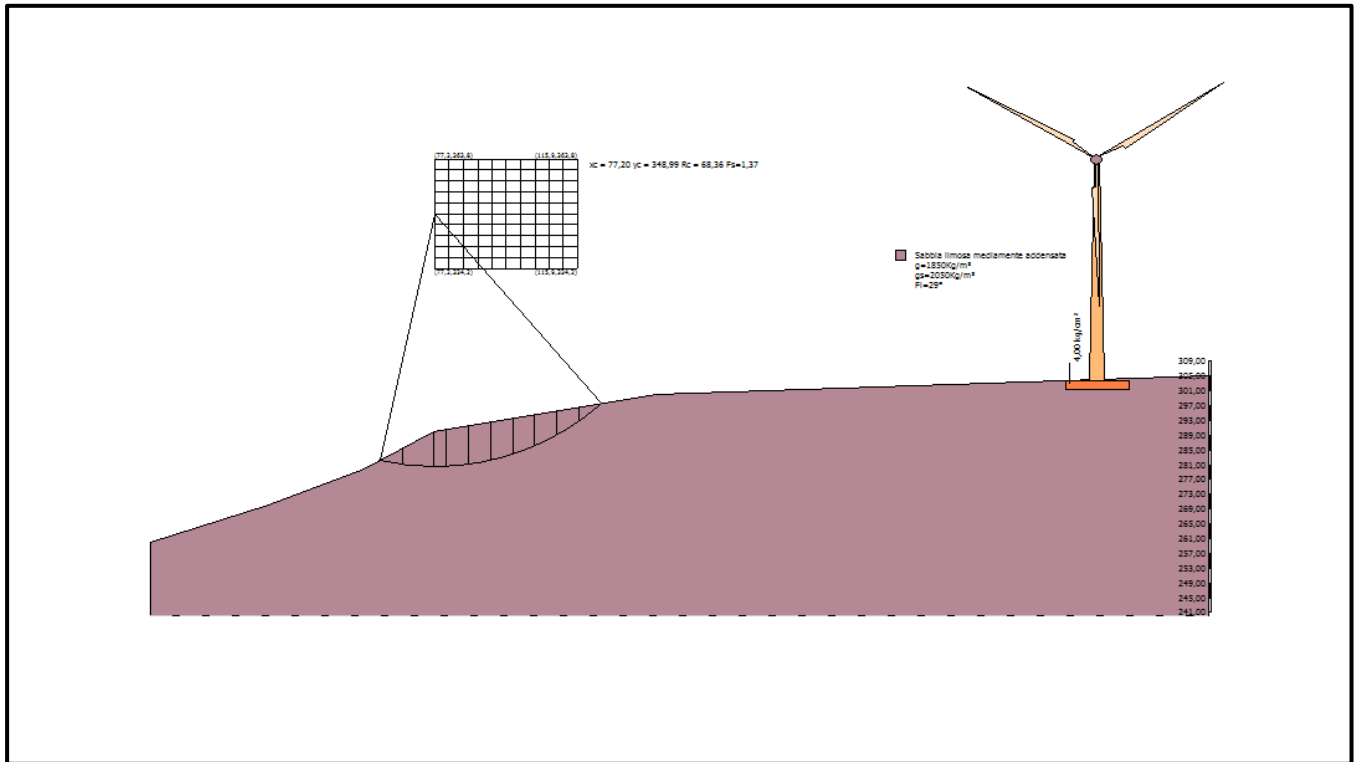
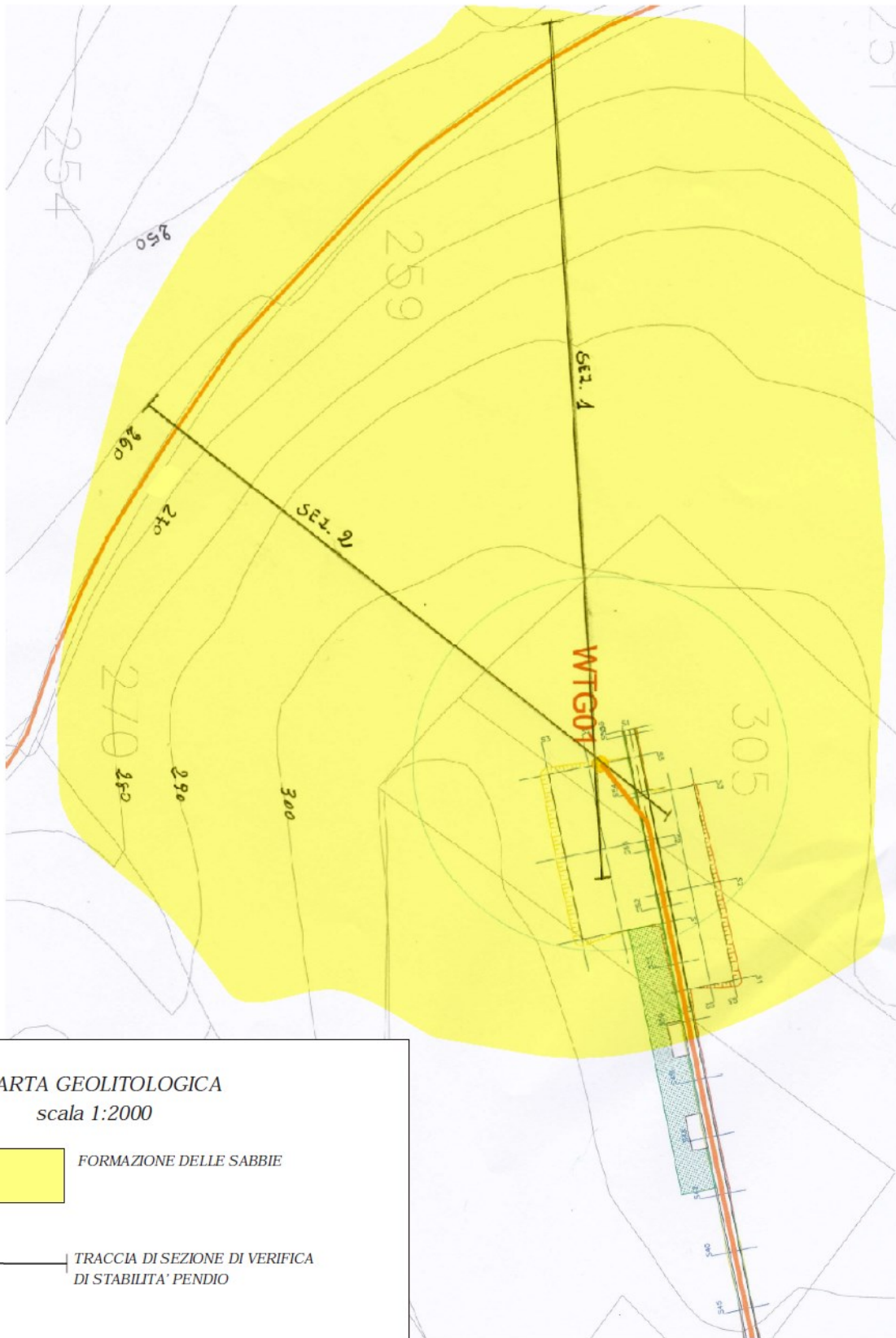
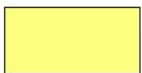


Fig. 4 Sezione 2 verifica stabilità pendio wtg1 con carico distribuito di 4 kg/cmq. $F_s = 1.37 > 1.3$ STABILE



CARTA GEOLITOLGICA
 scala 1:2000



FORMAZIONE DELLE SABBIE



TRACCIA DI SEZIONE DI VERIFICA
 DI STABILITA' PENDIO

laboratorio
geoTecnico **terme - rocce - aggregati - prove cicliche e dinamiche -**
prove geotecniche in sito - geochimica ambientale -
prospezioni geofisiche - prove non distruttive - misura del Radon

 **LABORATORIO UFFICIALE**
Art. 59 D.P.R. 380/2001
Circolare 7618/STC
Settori "A" e "B"
Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici

Via Lucca 55 A-B MELFI (PZ) - tel/fax 0972.238231 -
E-MAIL: geotest@tiscali.it - http://www.geotest.it - C.Fisc. e P.IVA 01073440768 - C.C.I.A.A. 77714
I.a.s. di Carbone Andrea & C.



Certitalia
Sistema di Gestione certificato
UNI EN ISO 9001:2008

Geotest S.a.s. - Melfi (PZ) - Italy has been resulted in compliance with the standard
UNI EN ISO 9001:2008 for the following field of activities: Provision of geotechnical tests -
Classification EA (European co-operation for Accreditation): 35

INDAGINI SISMICHE MASW-REMI

COMMITTENTE : dott. geol. Falcone Antonio

PROGETTO : Impianto eolico "Rosamarina" - Lavello (PZ)

Melfi, marzo 2019

IL DIRETTORE TECNICO
DOTT. GEOL. TUCCI CLEMENTE MARCO



INDICE

1. PREMESSA	3
2. INDAGINE GEOFISICA MASW-REMI: DESCRIZIONE DEL METODO E DELLA STRUMENTAZIONE UTILIZZATA	4
3. ELABORAZIONE DATI	6
4. CALCOLO DELLE $V_{S_{eq}}$	8
5. ALLEGATI MASW-REMI	13

1. PREMESSA

Nel mese di marzo 2019 per il progetto: **Impianto eolico "Rosamarina" - Lavello (PZ)**, è stata eseguita una campagna di indagini geofisiche. Tale campagna è consistita nelle seguenti prospezioni:

- N°4 stendimenti di sismica MASW-ReMI per la determinazione della **V_{seq}** e della **categoria di suolo di fondazione** dei terreni ai sensi del D.M. 17.01.2018

2. INDAGINE GEOFISICA MASW-ReMi: DESCRIZIONE DEL METODO E DELLA STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

La prova MASW, messa a punto nel 1999 da ricercatori del Kansas Geological Survey (Park et al., 1999) permette di determinare in modo dettagliato l'andamento della velocità delle onde sismiche di taglio (o onde S) in funzione della profondità attraverso lo studio della propagazione delle onde superficiali o di Rayleigh. Il metodo di indagine MASW si distingue in "attivo" e "passivo" (Zywicki, 1999; Park e Miller, 2006; Roma, 2006):

1) Nel "**metodo attivo**" le onde superficiali sono prodotte da una sorgente impulsiva disposta a piano campagna e vengono registrate da uno stendimento lineare composto da numerosi ricevitori posti a breve distanza (distanza intergeofonica).

2) Nel "**metodo passivo**" lo stendimento presenta le stesse caratteristiche geometriche del metodo attivo ma i ricevitori non registrano le onde superficiali prodotte da una sorgente impulsiva, bensì il rumore di fondo (detto anche "microtremori") prodotto da sorgenti naturali (vento) e antropiche (traffico, attività industriali).

Le due tecniche indagano bande spettrali differenti: mentre il metodo attivo consente di ottenere una curva di dispersione nel range di frequenza compreso essenzialmente tra 10 e 60-70 Hz e fornisce informazioni sulla parte più superficiale di sottosuolo, il metodo passivo consente di determinare una curva di dispersione essenzialmente nella banda di frequenza tra 4 e 20 Hz e fornisce informazioni per lo più sugli strati più profondi. La combinazione delle due tecniche consente di ottenere uno spettro completo e permette una dettagliata ricostruzione dell'andamento della velocità delle onde di taglio fino a circa 35-40 m di profondità (sempre in funzione della rigidità degli strati).

L'analisi delle onde superficiali è stata eseguita utilizzando la strumentazione classica per la prospezione sismica a rifrazione disposta sul terreno secondo un array lineare da 24 geofoni con spaziatura pari a 2.0 m. Per ottenere una buona risoluzione in

termini di frequenza, oltre ad utilizzare geofoni da 4.5 Hz, è stato utilizzato un sismografo a 24 bit.

Nell'esecuzione della prova MASW attiva è stato utilizzato come sistema di energizzazione una mazza di 10 Kg battente su piattello metallico. Per aumentare il rapporto segnale/rumore si è proceduto alla somma di più energizzazioni (processo di stacking). La sorgente è stata posta ad una distanza di 4 e 6 m dal primo geofono.

Terminata l'indagine attiva, con la stessa configurazione geometrica si è passati alla registrazione dei microtremori (MASW passiva - REMI) registrazioni di rumore, ciascuna della lunghezza di 32 s. Di seguito si riassumono le principali caratteristiche della strumentazione utilizzata ed i criteri di acquisizione della prova MASW attiva e passiva:

n°	STRUMENTAZIONE	CARATTERISTICHE
1	Unità di acquisizione	sismografo GEOMETRICS "GEODE" a 24 bit
24	Geofoni verticali	"Geospace" con $f_0 = 4.5$ Hz
1	Cavi sismici	L = 120 m
1	Sorgente	Mazza battente su piattello metallico

Riassunto modalità esecutiva della prova MASW ATTIVA	
Spaziatura tra i geofoni	2,0 m
Distanza sorgente 1° geofono	4 e 6 m
Tempo di campionamento	0,5 ms
Tempo di registrazione	4,1 ms

Riassunto modalità esecutiva della prova MASW PASSIVA-REMI	
Spaziatura tra i geofoni	3,0 m
Tempo di campionamento	2 ms
Tempo di registrazione	32 ms

3. ELABORAZIONE DATI

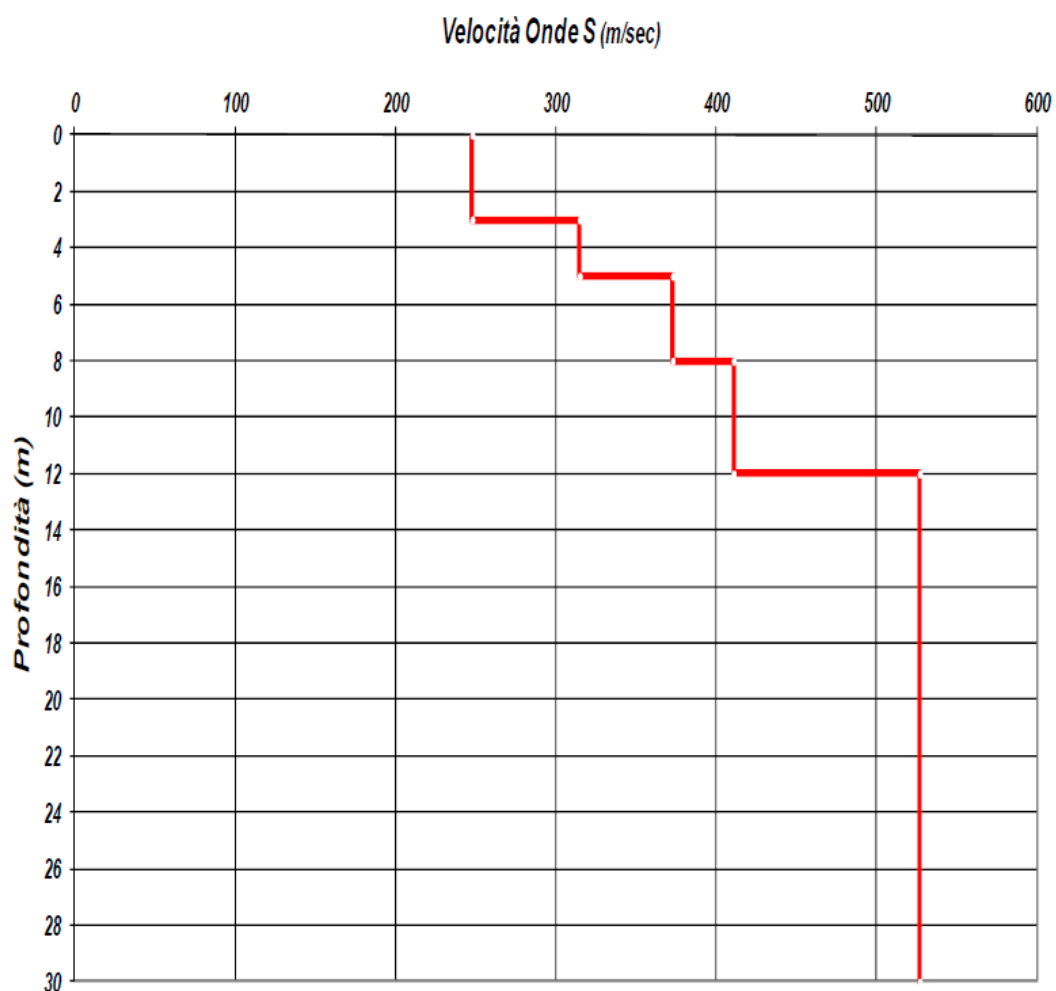
I dati sperimentali, acquisiti in formato SEG-2, sono stati trasferiti su PC per l'interpretazione attraverso l'utilizzo di uno specifico programma di elaborazione (MASW 2007). Tale programma permette di elaborare i dati acquisiti sia con il metodo attivo che con quello passivo. L'analisi consiste nella trasformazione dei segnali registrati in uno spettro bidimensionale "*phase velocity-frequency (c-f)*" che analizza l'energia di propagazione delle onde superficiali lungo la linea sismica. Gli spettri bidimensionali ottenuti dalle registrazioni con il metodo attivo e con quello passivo, elaborati in fasi separate, vengono successivamente combinati in modo da ottenere uno spettro unico. In questo grafico è possibile distinguere il "modo fondamentale" delle onde di superficie, in quanto le onde di Rayleigh presentano un carattere marcatamente dispersivo che le differenzia da altri tipi di onde (onde riflesse, onde rifratte, onde multiple). Inoltre, la combinazione dei due metodi MASW consente di individuare il "modo fondamentale" delle onde di superficie nel campo di frequenze compreso tra i 4 e i 60-70 Hz e di ottenere informazioni sia "superficiali" che "profonde". Sullo spettro di frequenza viene eseguito un "picking" attribuendo ad un certo numero di punti una o più velocità di fase per un determinato numero di frequenze. Tali valori vengono successivamente riportati su un diagramma periodo-velocità di fase per l'analisi della curva di dispersione e l'ottimizzazione di un modello interpretativo. Variando la geometria del modello di partenza ed i valori di velocità delle onde S si modifica automaticamente la curva calcolata di dispersione fino a conseguire un buon "fitting" con i valori sperimentali.

L'analisi dello spettro bidimensionale c-f consente in questo modo di ricostruire un modello sismico monodimensionale del sottosuolo, il quale risulta costituito dall'andamento della velocità delle onde di taglio V_s in funzione della profondità. Dall'inversione della curva di dispersione si ottengono i seguenti modelli medi di velocità delle onde sismiche di taglio con la profondità, rappresentativi dell'area investigata.

MASW-ReMi N. 1

Modello monodimensionale			
strato	spessore (m)	Vs (m/s)	Profondità (m)
1	3,00	248,00	3,00
2	2,00	315,00	5,00
3	3,00	373,00	8,00
4	4,00	411,00	12,00
5	18,00	527,00	30,00

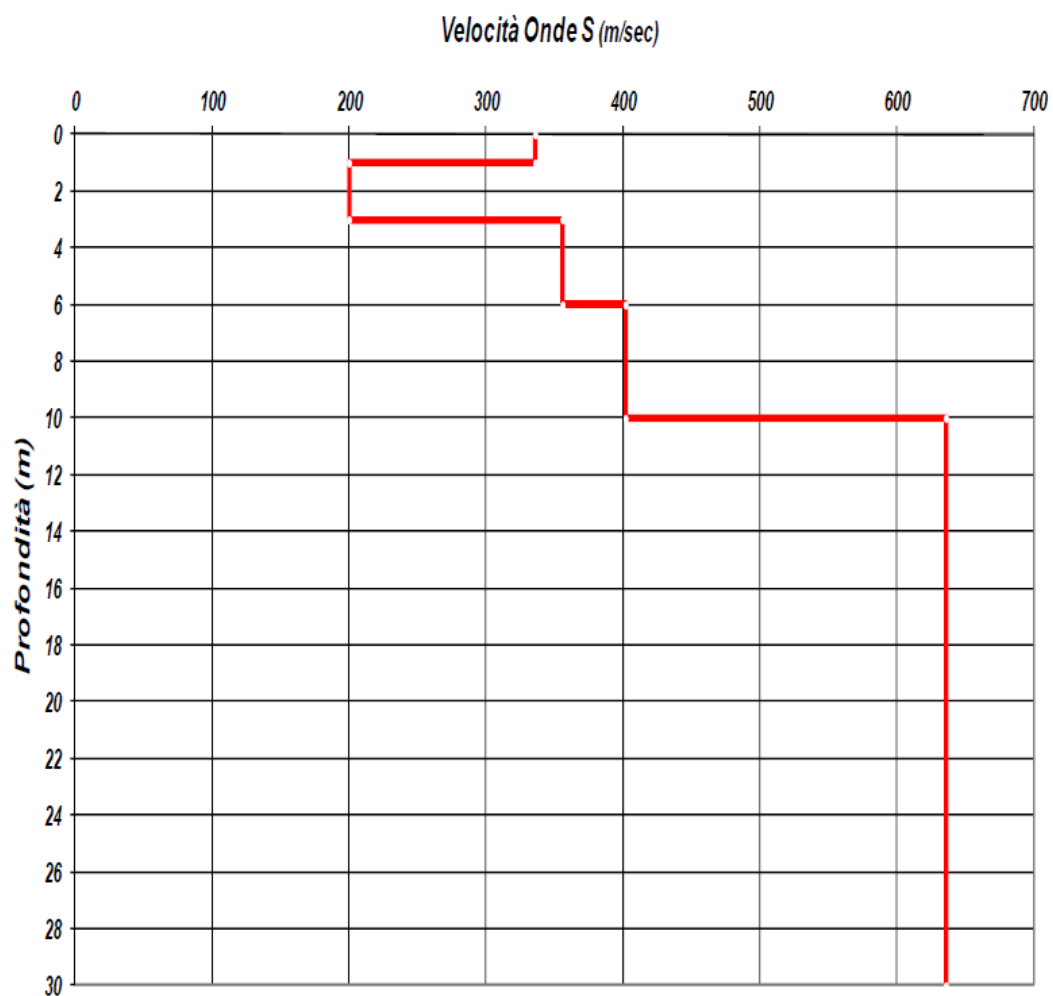
Tabella 1: modello sismico monodimensionale

Shear-Wave Velocity Profile from Surface waves inversion

MASW-ReMi N. 2

Modello monodimensionale			
strato	spessore (m)	Vs (m/s)	Profondità (m)
1	1,00	336,00	1,00
2	2,00	200,00	3,00
3	3,00	356,00	6,00
4	4,00	402,00	10,00
5	20,00	636,00	30,00

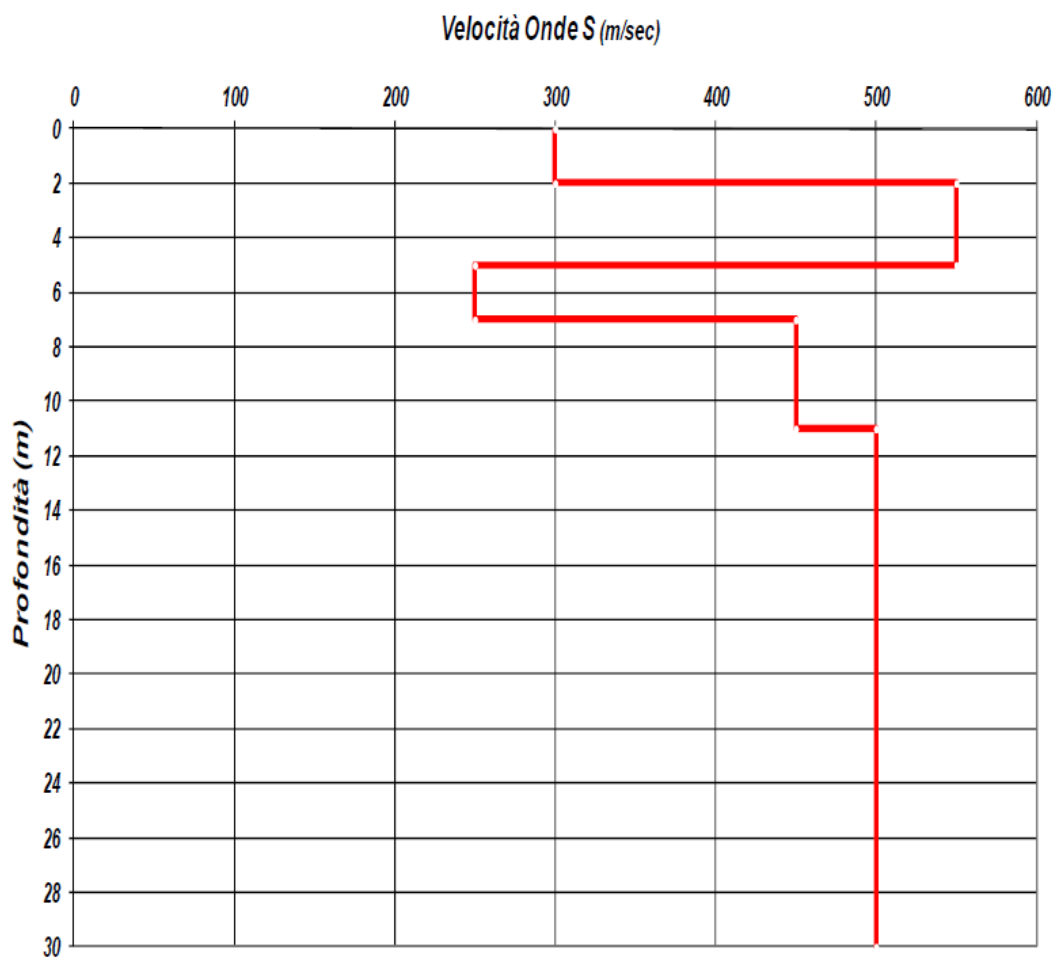
Tabella 2: modello sismico monodimensionale

Shear-Wave Velocity Profile from Surface waves inversion

MASW-ReMi N. 3

Modello monodimensionale			
strato	spessore (m)	Vs (m/s)	Profondità (m)
1	2,00	300,00	2,00
2	3,00	550,00	5,00
3	2,00	250,00	7,00
4	4,00	450,00	11,00
5	19,00	500,00	30,00

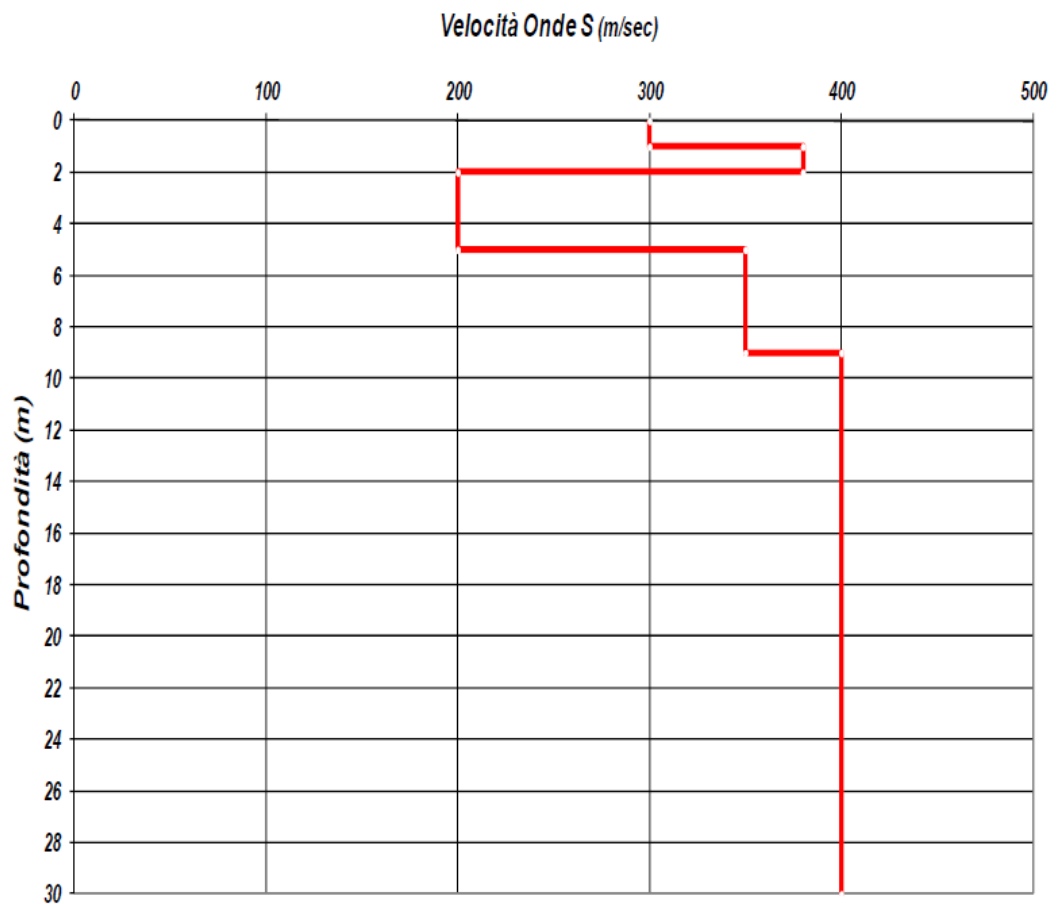
Tabella 3: modello sismico monodimensionale

Shear-Wave Velocity Profile from Surface waves inversion

MASW-ReMi N. 4

Modello monodimensionale			
strato	spessore (m)	Vs (m/s)	Profondità (m)
1	1,00	300,00	1,00
2	1,00	380,00	2,00
3	3,00	200,00	5,00
4	4,00	350,00	9,00
5	21,00	400,00	30,00

Tabella 3: modello sismico monodimensionale

Shear-Wave Velocity Profile from Surface waves inversion

4. CALCOLO DELLE $V_{s,eq}$

Per il calcolo della $V_{s,eq}$ si fa riferimento alla seguente espressione, riportata nel D.M. 17.01.2018 (*"Norme tecniche per le costruzioni"*), considerato che la profondità del substrato è superiore ai 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio $V_{s,eq}$ è definita dal parametro V_{s30} , ottenuto ponendo $H=30$ nell'espressione delle velocità equivalente:

$$V_{s,eq} = H / \sum (h_i / V_{s_i})$$

$$V_{s30} = 30 / \sum (h_i / V_{s_i})$$

dove H_i e V_i indicano lo spessore (in m) e la velocità delle onde di taglio (per deformazioni di taglio $\gamma < 10^{-6}$) dello strato i -esimo, per un totale di N strati presenti nei 30 m superiori. Utilizzando la formula sopra riportata si ottiene il seguente valore (quota iniziale = piano campagna attuale):

MASW N.1

$$V_{s30} = 431 \text{ m/s}$$

a cui corrisponde la categoria di suolo di fondazione di tipo **B** (si veda la tabella seguente);

MASW N.2

$$V_{s30} = 477 \text{ m/s}$$

a cui corrisponde la categoria di suolo di fondazione di tipo **B**.

MASW N.3

$$V_{s30} = 447 \text{ m/s}$$

a cui corrisponde la categoria di suolo di fondazione di tipo **B**.

MASW N.3

$$V_{s30} = 353 \text{ m/s}$$

a cui corrisponde la categoria di suolo di fondazione di tipo **C**.

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

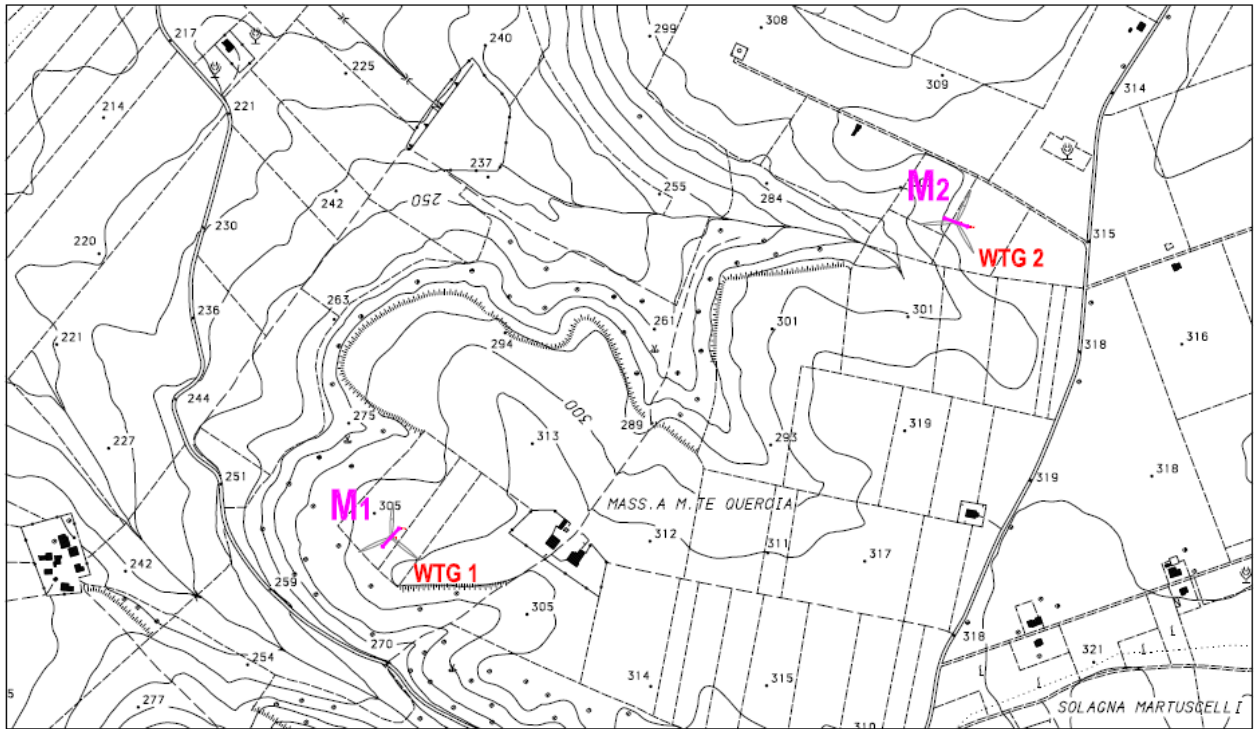
Tabella 4: categorie di suolo di fondazione (D.M. 17.01.2018)

5. ALLEGATI MASW-ReMi

**PLANIMETRIA UBICAZIONE INDAGINI SISMICHE
DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA E SISMOGRAMMI
MASW-REMI**

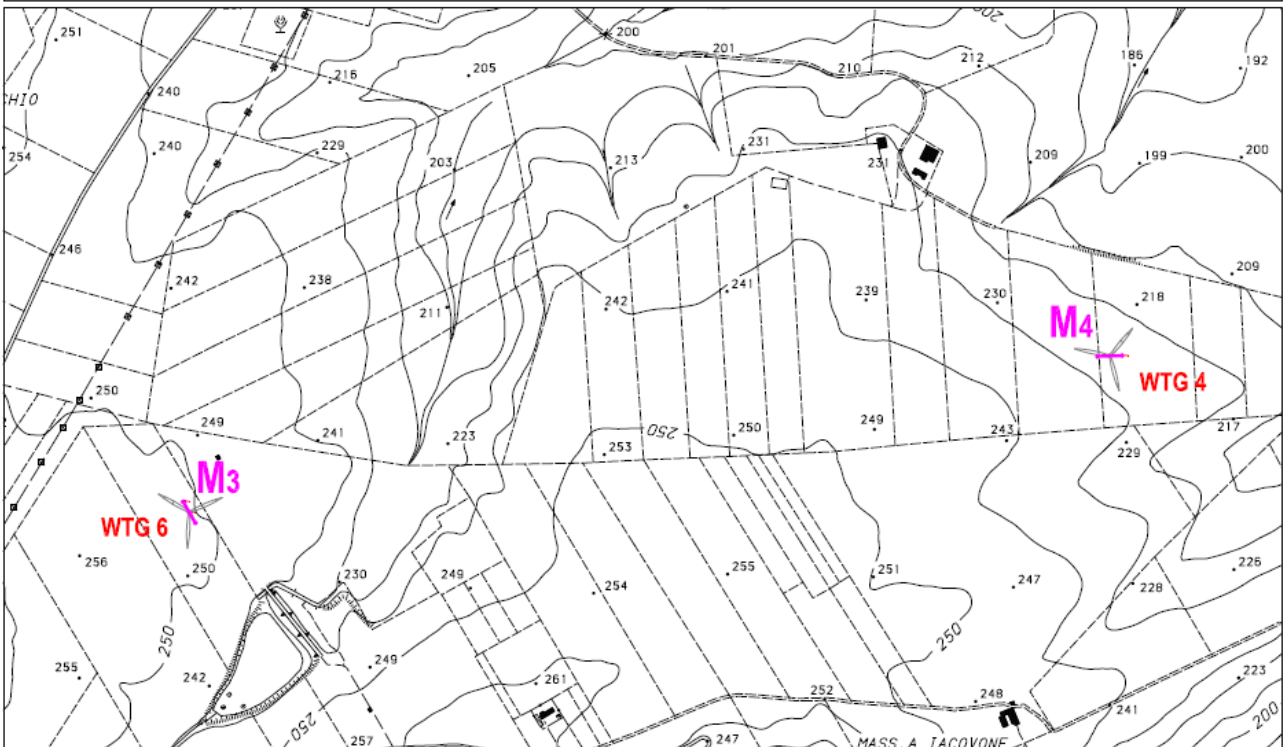
PLANIMETRIA CON UBICAZIONE DELLE INDAGINI - Scala 1 : 6.000

Ubicazione stendimenti sismici Masw-ReMI

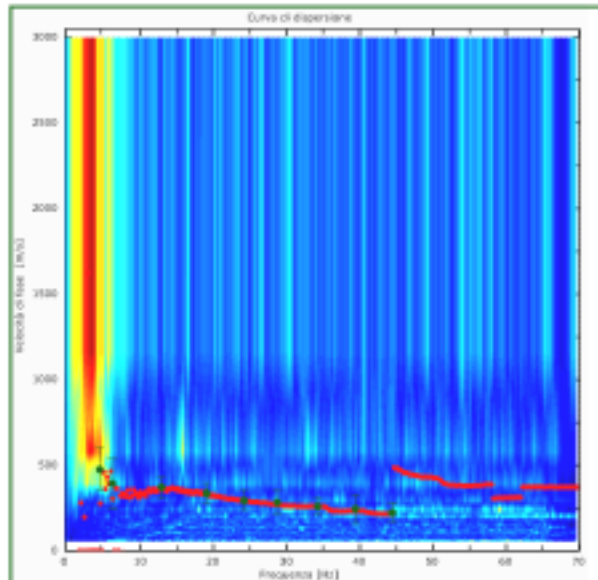
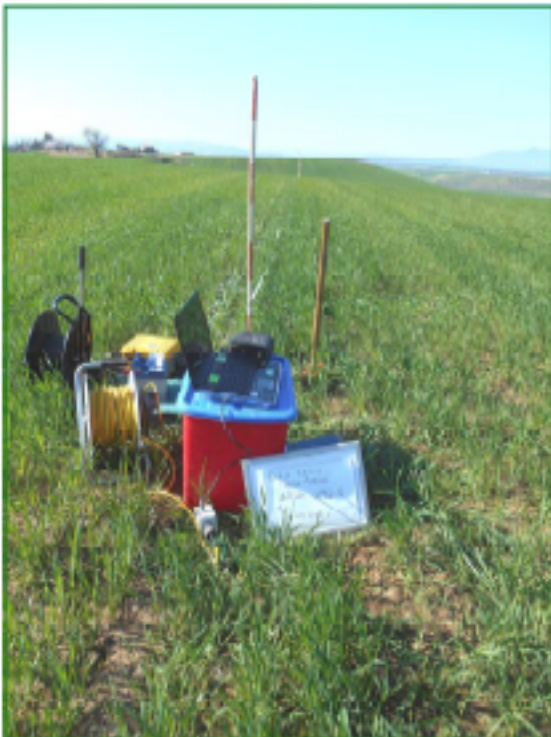


PLANIMETRIA CON UBICAZIONE DELLE INDAGINI - Scala 1 : 6.000

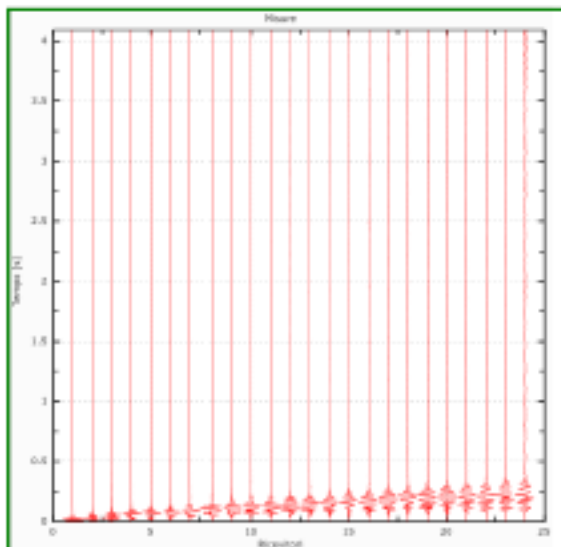
Ubicazione stendimenti sismici Masw-ReMI



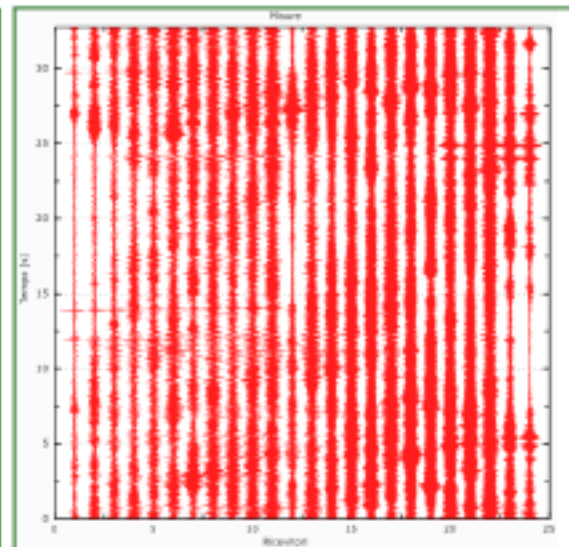
Stendimento MASW-ReMi N. 1



Spettro ReMi con curva di dispersione sperimentale MASW ATTIVA

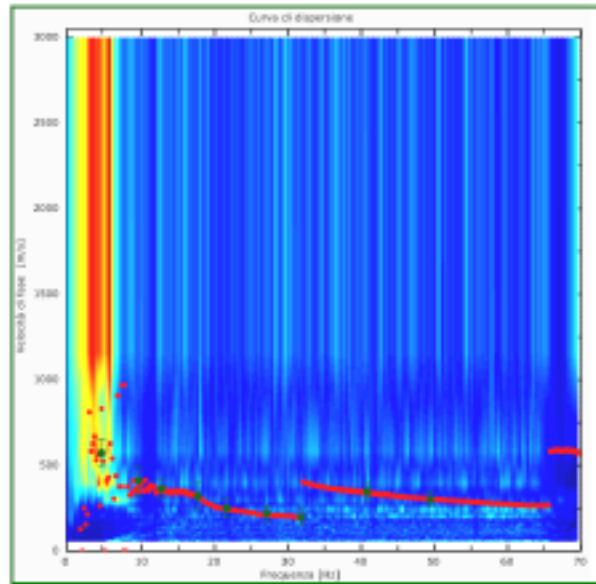


Registrazione MASW ATTIVA

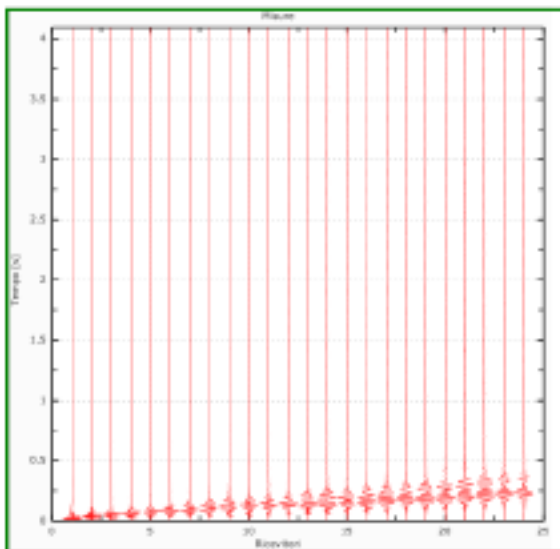


Registrazione ReMi

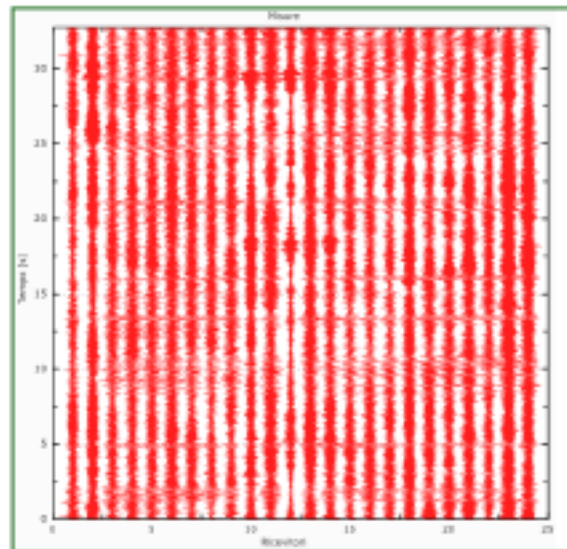
Stendimento MASW-ReMi N. 2



Spettro ReMi con curva di dispersione sperimentale MASW ATTIVA

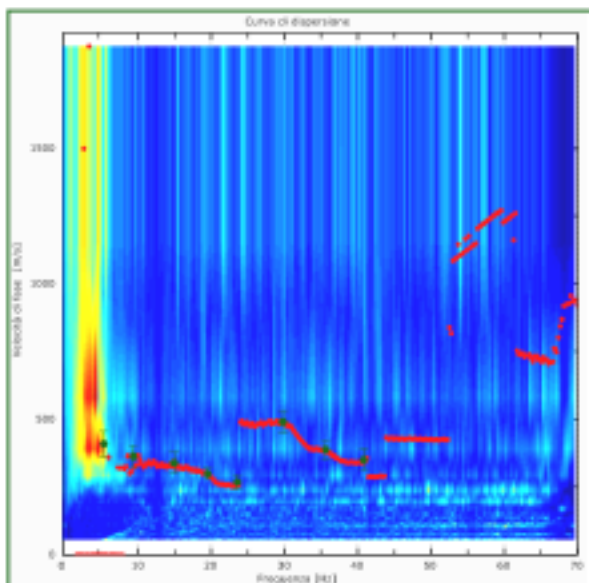


Registrazione MASW ATTIVA

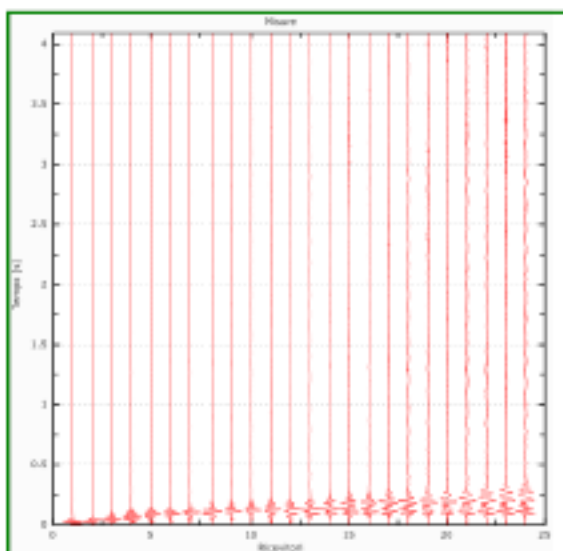


Registrazione ReMi

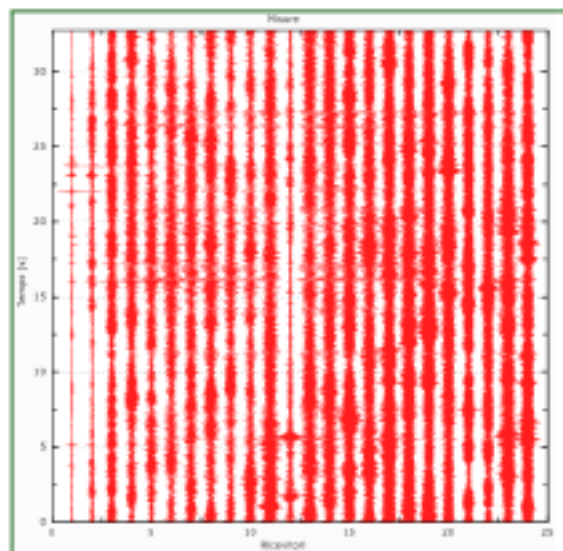
Stendimento MASW-ReMi N. 3



Spettro ReMi con curva di dispersione sperimentale MASW ATTIVA

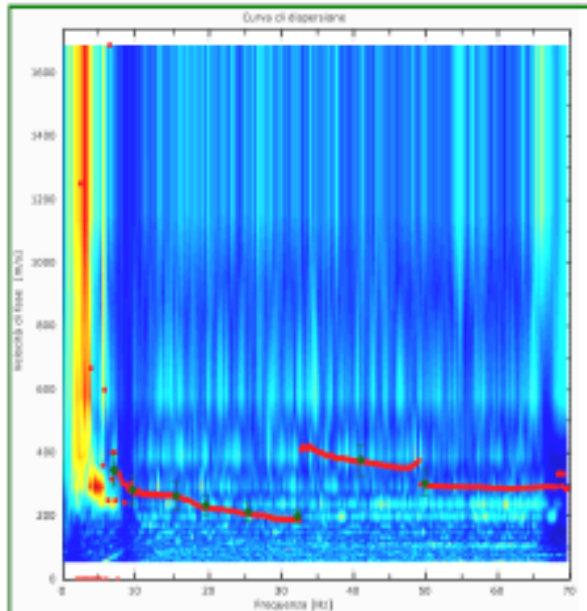
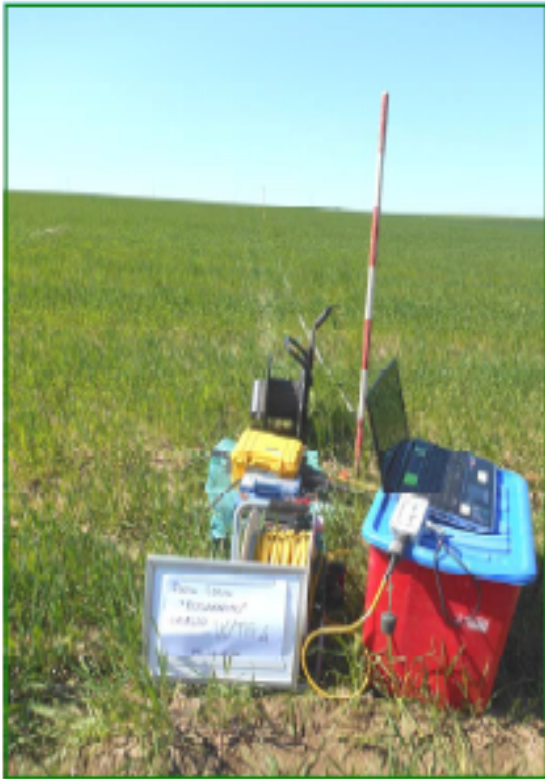


Registrazione MASW ATTIVA

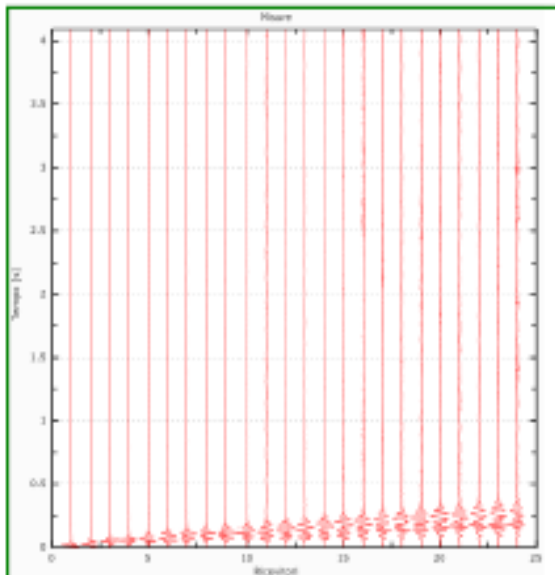


Registrazione ReMi

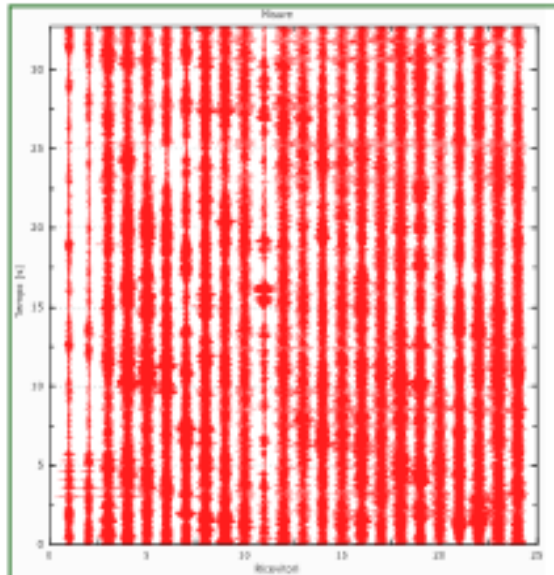
Stendimento MASW-ReMi N. 4



Spettro ReMi con curva di dispersione sperimentale MASW ATTIVA



Registrazione MASW ATTIVA



Registrazione ReMi