

Regione PUGLIA
Provincia di FOGGIA
COMUNE di ASCOLI SATRIANO



IMPIANTO EOLICO
"San Potito"

(AUTORIZZAZIONE UNICA ai sensi del D.L. 29 dicembre 2003, n. 387)

PROGETTO DEFINITIVO

Cod. Elaborato

A. 2

SCALA =

DATA: Ottobre 2018

RELAZIONE GEOLOGICA

Studio di compatibilità geologica, geotecnica,
idrogeologica, idrologica e sismica

COMMITTENTE:

Winderg s.r.l.
Via Trento, 64
20871 - VIMERCATE (MB)
P.IVA 04702520968

WINDERG

WINDERG s.r.l.
Presidente o Amministratore Delegato
Dott. Michele Granillo

CONSULENTE PER AdR srls:

Dott. Geologo
R. A. FALCONE



A.d.R. s.r.l.s.

INGEGNERIA - ARCHITETTURA
TOPOGRAFIA

Via Enrico Fermi n°38
85021 Avigliano (PZ)
Tel/fax 0971.700637
mail: adr_srls@virgilio.it

A.D.R. srls

Via Enrico Fermi, 38
85021 AVIGLIANO (PZ)
C.F. e PIVA 02022800763

Rev	Data	Descrizione	Elaborato	Controllato	Approvato
00	16/10/2018	I emissione	R.A. Falcone	A.D.R S.r.l.s	Winderg S.r.l

Indice

1. Introduzione	3
1.1 Quadro normativo di riferimento	3
2. Inquadramento geografico.....	4
3. Interventi progettuali previsti	4
4. Inquadramento geologico generale.....	5
4.1 Assetto tettonico stratigrafico.....	5
5. Area interessata dal parco eolico	8
5.1 Caratteristiche geologiche e geotecniche dei terreni interessati dalle opere.....	8
5.1e Caratteri geotecnici	10
5.2 Caratteri geomorfologici	11
5.3 Idrogeologia e vulnerabilità della falda.....	11
5.3a Idrogeologia.....	11
5.3b Reticolo idrografico e Autorità di Bacino	14
6. SISMICITA' DELL'AREA.....	15
6.1 Inquadramento Macrosismico.....	15
6.2 Sismicità dell'area	20
7. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE	22
8. BIBLIOGRAFIA	23

Allegati:

Corografia dell'Area in scala 1:25000

Carta Geolitologica estratta dal Fg. 421 Ascoli Satriano (Progetto CARG)

Carta Geomorfologica dell'area estratta dal Progetto IFFI

1 PREMESSA

Il presente elaborato è stato redatto, nell'ambito del progetto denominato "Realizzazione di un parco eolico in località "TORRETTA" in agro del Comune di Ascoli Satriano", allo scopo di fornire informazioni di carattere geologico, geomorfologico e idrogeologico sui luoghi che accoglieranno l'intervento in progetto.

L'analisi geologica, idrogeologica e geomorfologica contenuta nel presente documento, deriva dall'esame accurato dei dati bibliografici esistenti in letteratura riguardo all'area in cui si inserisce il progetto, e dai sopralluoghi effettuati sul campo.

1.1 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

La stesura della *Relazione Geologica Preliminare* si inquadra nell'ambito della L. 64/74 e del D.M.LL.PP. 11/03/88 "*Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione. Pubblicato nel Suppl. Ord. Gazz. Uff. 1° giugno 1988, n. 127.*" (e s.m.i.).

I criteri ed indirizzi secondo cui è stata redatta tale *relazione* sono esplicitati nella Circ. n. 218/24/3 del 09/01/96 ed ancora nelle Nuove N.T.C. **14.01.08 e suo aggiornamento del 17/01/2018**. Si aggiunge che, ai sensi del succitato D.M.LL.PP. 11/03/88 (in particolare, art. 3, lettera B) ed ai sensi della L. 11/02/1994 n. 109 (Legge Quadro in materia di lavori pubblici o "Legge Merloni") e del D.Lgs. n. 163/06 "*Codice dei contratti pubblici relativi a lavori, servizi e forniture in attuazione delle direttive 2004/17/CE e 2004/18/CE. Pubblicato nella Gazz. Uff. 2 maggio 2006, n. 100, S.O.*" (in particolare, Allegato XXI - Allegato tecnico di cui all'articolo 164 - Sezione I, punto 2, lettera d), per la stesura della *relazione geologica preliminare* si può far riferimento a conoscenze provenienti da fonti bibliografiche o, qualora se ne sia in possesso, derivanti da indagini precedentemente svoltesi nella stessa area di analisi.

Infatti, nel D.M.LL.PP. 11/03/88, l'art. 3, lettera B, recita: [...*Nelle fasi preliminari della progettazione si potrà far riferimento a informazioni di carattere geologico e a dati geotecnici deducibili dalla letteratura oppure noti attraverso indagini eseguite precedentemente sulla medesima area.*]; mentre, il D.Lgs. n. 163/06, Allegato XXI - Allegato tecnico di cui all'articolo 164 - Sezione I, punto 2, lettera d, riportata [...*studi necessari per un'adeguata conoscenza del contesto in cui andrà a inserirsi l'opera, corredati da dati bibliografici e/o indagini in sito ed in laboratorio - quali, indicativamente ma non esaustivamente, quelle topografiche, geologiche, geotecniche, idrogeologiche, idrologiche, idrauliche, sismiche,...*]; è evidente come il decreto, attraverso la dicitura "...*dati bibliografici e/o indagini in sito ed in laboratorio...*" dia la facoltà di utilizzare sia dati preesistenti sia dati provenienti da indagini *in situ ex novo*.

Si sottolinea pertanto che, per la stesura della presente relazione, sono utilizzati anche dati estrapolati da fonti bibliografiche (specifiche e non per la zona), cartografie, da ampi studi messi a disposizione on-line dai portali regionali e provinciali del territorio.

2 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

L'intervento oggetto della seguente relazione geologica ricade nell'ambito Comunale di Ascoli Satriano in località "TORRETTA"



Fg1 Perimetrazione dell'area interessata dal progetto

3 INTERVENTI PREVISTI

Gli interventi progettuali consistono nella realizzazione di fondazioni superficiali e/o profonde in c.c.a. per l'ancoraggio degli aerogeneratori, piazzole di manovra e la realizzazione di una viabilità di collegamento tra i diversi aerogeneratori, lo scavo di una trincea per il posizionamento del cavidotto elettrico di collegamento tra i diversi aerogeneratori e lo scavo di una trincea per il posizionamento del cavidotto di evacuazione dell'energia elettrica fino alla sottostazione Terna di Deliceto.

4 INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE

4.1 Assetto Tettonico Stratigrafico

Il territorio interessato dagli interventi in progetto si sviluppa nell'area collinare della Provincia di Foggia, in un settore caratterizzato da depositi Miocenici prevalentemente di origine marina, sulle quali si riscontrano le più recenti formazioni Quaternarie di ambiente continentale. Dal punto di vista geostrutturale questo settore appartiene al dominio di Avanfossa adriatica nel tratto che risulta compreso tra i Monti della Daunia e l'altopiano delle Murge.

L'Avanfossa, bacino adiacente ed in parte sottoposto al fronte esterno della Catena appenninica, si è formata a partire dal Pliocene inferiore per progressivo colamento di una depressione tettonica allungata NW-SE, da parte di sedimenti clastici; questo processo, sia pure con evidenze diacroniche, si è concluso alla fine del Pleistocene con l'emersione dell'intera area

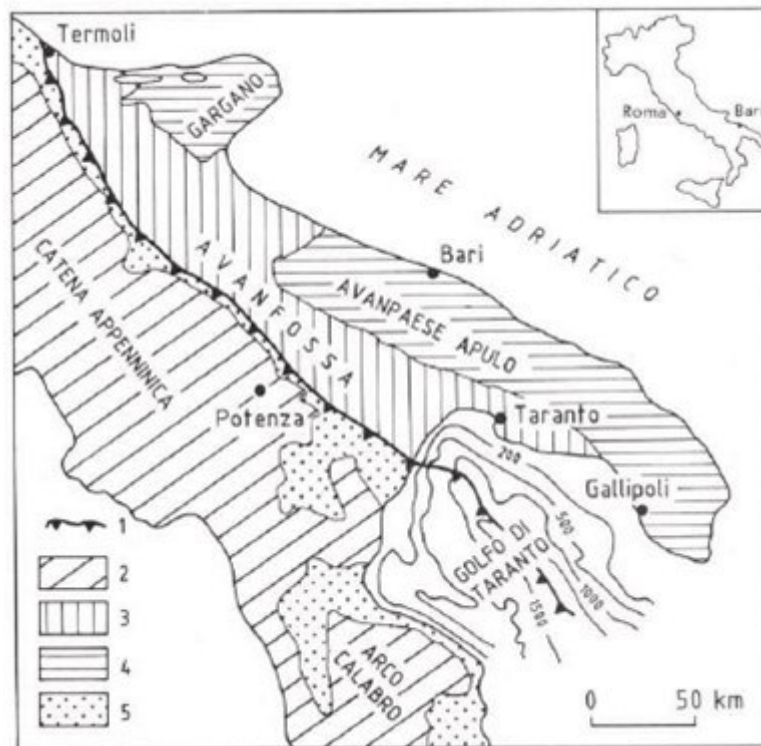


Figura 4.1: Schema dei principali domini geodinamici: 1) Limite delle Unità Appenniniche Alloctone; 2) Catena Appenninica ed Arco Calabro; 3) Avanfossa; 4) Avampaese Apulo-Garganico; 5) Bacini Plio-Pleistocenici – Fonte: Zezza et al., 1984).

L'area di Catena si estende lungo un tratto di dorsale, orientato circa N-S, che si sviluppa dalla zona di Bovino-Deliceto, costituendo, sotto il profilo morfologico-strutturale, parte del settore centro-meridionale dell'Appennino Dauno; questi rilievi che raggiungono al massimo i 930 m di altitudine, digradano verso E e SE, attraverso una serie di bassi rilievi collinari con sommità sub-pianeggiante verso Castelluccio dei Sauri, Ascoli Satriano ed Ortona, rappresentando l'area pedemontana del settore centro-meridionale del Tavoliere di Puglia.

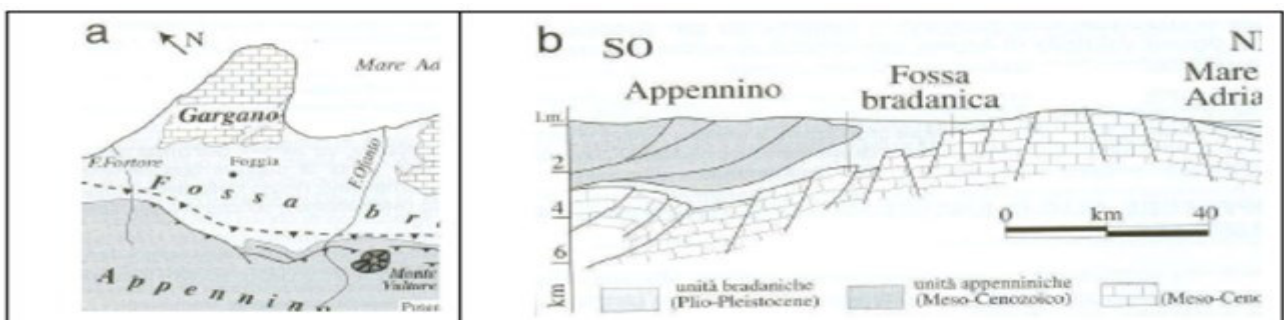


Fig. 4.2: Schema tettonico e stratigrafico tratto dalle guide regionali n.9 "Puglia e Monte Vulture" prima parte BE-MA editrice, 1999.

Il basamento del Tavoliere come pure di gran parte della regione Puglia è caratterizzato da una potente serie carbonatica di età mesozoica costituita da calcari, calcari dolomitici e dolomie, su cui poggiano le coperture plio-pleistoceniche ed oloceniche costituite in particolare da depositi argillosi con livelli di argille sabbiose, con una potenza variabile e decrescente dal margine appenninico verso il Mare Adriatico compresa tra 1000 e 200 metri. L'intera area è inoltre solcata con direzione NO-SE dalle incisioni dei bacini idrografici dei Torrenti Cervaro e Carapelle. L'Appennino Dauno e la Fossa Bradanica fanno parte di un più esteso sistema di foreland thrust belt

riconosciuto dal Molise fino al confine calabro-lucano (Mostardini & Merlini, 1986). Il margine esterno della catena è stato strutturato dai più recenti sovrascorrimenti sui carbonati dell'Avampese apulo e questi, a loro volta, nella loro migrazione verso Est, hanno dapprima dato origine ad una Avanfossa, la Fossa Bradanica appunto, e successivamente ne hanno controllato la sedimentazione nel corso del Pliocene e di parte del Pleistocene. La geometria del margine interno della Fossa Bradanica è strettamente dipendente dallo sviluppo della catena sud-appenninica sulla placca apula in subduzione verso O-SO; sia la Catena che l'Avanfossa sono attraversate infatti da faglie di trasferimento ad andamento antiappenninico, che individuano diversi blocchi. Due di queste strutture trasversali importanti sono quella della linea del T. Cervaro e della linea del T. Carapelle. La diversa evoluzione tardo quaternaria del territorio in studio è messa in evidenza anche dalla differente distanza tra il margine interno della Fossa Bradanica ed il fronte compressivo appenninico nei tre blocchi limitati dalle strutture disgiuntive schematizzati in Fig. 4.3. Il blocco centrale, per il quale è evidente in affioramento la posizione del thrust che ha realizzato l'accavallamento sulle unità bradaniche, è stato anche caratterizzato da un significativo e rapido sollevamento, realizzatosi in più fasi fino al termine del Pleistocene inferiore- inizio Pleistocene medio. La diversità dell'evoluzione dei movimenti verticali è testimoniata anche dalla presenza di morfologie acclivi nel blocco centrale rispetto a quelle dei blocchi nord-occidentale e sud-orientale. L'insieme dei dati stratigrafici relativi all'età delle argille subappenniniche bradaniche e di quelli geodinamico-tettonici che scandiscono l'evoluzione dei tre blocchi permette di attribuire l'inversione di tendenza tra le ultime fasi di subsidenza delle aree di Avanfossa e l'inizio delle fasi di sollevamento ad un limite cronologico che separa i depositi marini appartenenti al ciclo sedimentario subsidente della Fossa Bradanica da quelli che caratterizzano le facies continentali del sollevamento, le quali sono state raggruppate nel Tavoliere di Puglia. L'Unità Tettonica della Daunia è stata riconosciuta corrispondente alla porzione di catena più esterna, nella quale sono state distinte tre unità litostratigrafiche, rappresentate dal Flysh Rosso, Flysh di Faeto e dalle marne argillose di Toppo Capuana, con un intervallo di tempo che va dal Cretacico al Miocene medio-superiore. Dal punto di vista paleogeografico le formazioni appartenenti all'Unità della Daunia occupano la porzione più esterna del locale margine appenninico, esse derivano dalla deformazione delle successioni più interne riferibili al Bacino Lagonegrese-Molisano (Mostardini & Merlini, 1986) a seguito della migrazione del fronte compressivo della Catena, realizzatasi alla fine dell'Oligocene. Si delinea di conseguenza un nuovo bacino, il Bacino Irpino, limitato ad Est dai carbonati della Piattaforma Apula, nel quale si depositano spessori rilevanti di torbiditi, che sono silicoclastiche e provengono dalla Catena in sollevamento nei settori più interni, mentre sono calciclastiche quelle più esterne a causa degli apporti da aree carbonatiche della Piattaforma Apula.

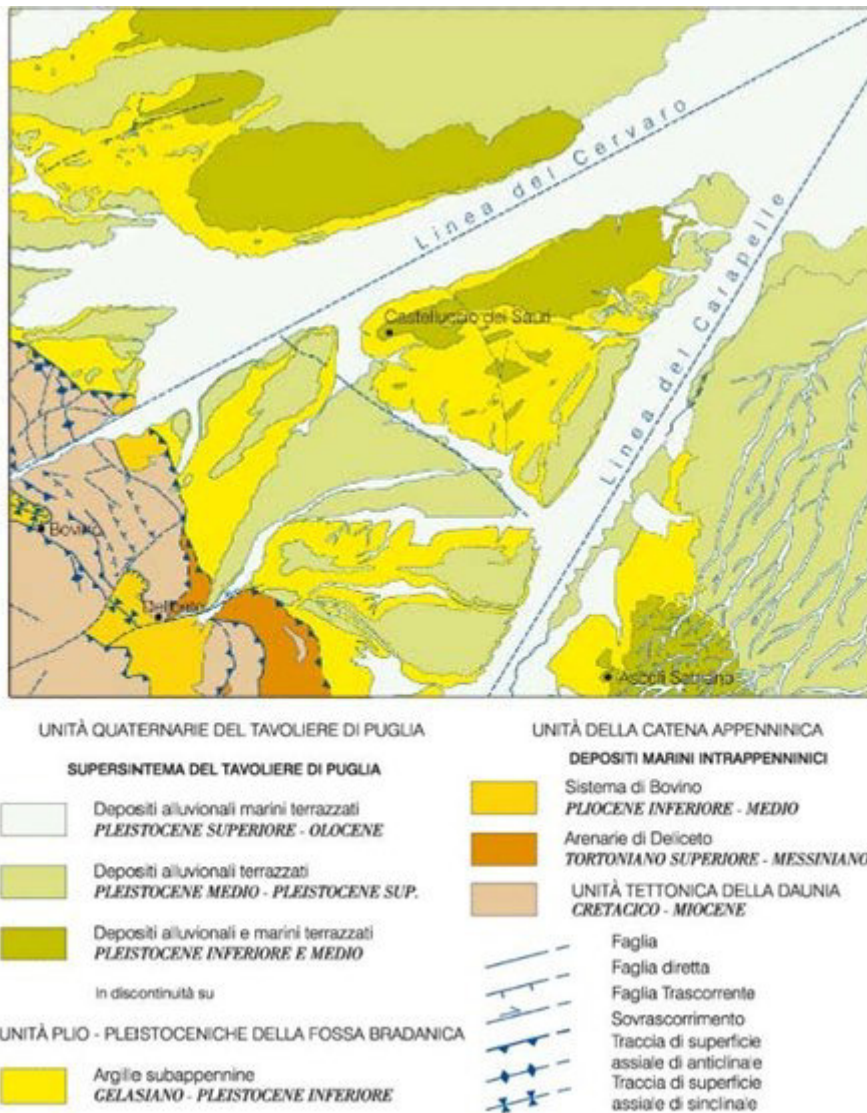


Figura 4.3: Schema tettonico e stratigrafico del Foglio 421 "Ascoli Satriano (Progetto CARG)

L'elemento evolutivo di connessione tra il Bacino Lagonegrese-Molisano e quello Irpino è rappresentato dalla continuità stratigrafica tra il flysch numidico ed il flysch di Faeto. Nel Tortoniano altre fasi deformative coinvolgeranno le unità dell'Avanfossa miocenica nella struttura appenninica. Sulle unità già deformate si accumulano in discordanza i depositi arenacei tortoniano-messiniani di Deliceto. In alcuni punti sull'Unità della Daunia si formano nel corso del Pliocene inferiore e medio alcuni limitati bacini genericamente raggruppati nell'Unità di Ariano Irpino (D'Argenio et alii, 1973) caratterizzati da terrigeni di provenienza appenninica.

Quando nel corso del Pliocene inferiore, durante la fase terminale della strutturazione della Catena, lungo il suo bordo orientale si forma la Fossa Bradanica, si osserva che la sua parte interna e inferiore è caratterizzata dalla deposizione di torbide terrigene sabbioso-siltose, mentre nella parte esterna si riscontra la sedimentazione dell'Unità delle argille subappenniniche.

L'evoluzione sedimentaria e tettonica della Fossa si conclude, alla fine di una fase regressiva medio-pleistocenica, con l'emersione dell'area del Tavoliere di Puglia.

La porzione adriatica della Fossa Bradanica rappresenta un foreland bacino, sviluppato sulla rampa regionale dell'avampaese: l'Avanfossa migra verso oriente per effetto combinato dell'arretramento e abbassamento della rampa carbonatica e dell'avanzamento verso Est delle strutture compressive appenniniche.

Il bacino bradanico si presenta asimmetrico, con un margine appenninico molto acclive ed il margine esterno con minima pendenza; la sedimentazione risente di questa asimmetria ed è perciò diversificata sia per le facies dei depositi, per i loro spessori ed anche per le differenze composizionali mineralogiche e petrografiche. La sedimentazione pelagica nel Bacino prosegue anche per parte del Pleistocene inferiore,

con caratteri di progressiva regressione testimoniati da facies siltose con foraminiferi bentonici di piattaforma.

Verso la fine del Pleistocene inferiore l'evoluzione del sistema Avanfossa-Avampaese produce una importante modifica del bacino, che da fortemente subsidente, si evolve in area a rapido sollevamento, con una graduale regressione verso la linea di costa adriatica. Con il progressivo ampliamento di aree emerse verso oriente, si vengono a creare dei depositi sabbioso-conglomeratici regressivi in facies di spiaggia, sempre più recenti verso oriente. Tali depositi sono conservati in modeste lembi solo nella zona del centro abitato di Ascoli Satriano, altrove i loro esigui spessori sono stati asportati dall'erosione.

L'evoluzione tardo quaternaria di questo tratto di Tavoliere è condizionata dai processi morfogenetici del Pleistocene medio e superiore, durante i quali, in relazione anche a variazioni cicliche del clima, si alternano fasi deposizionali a fasi erosionali.

Durante i periodi di accumulo sedimentario si formano numerose conoidi alluvionali, inoltre la ciclicità di episodi di sedimentazione e di fasi erosive ha determinato la formazione di diversi ordini di depositi alluvionali terrazzati discordanti sulle argille marine, a volte caratterizzati da una porzione basale con caratteri di facies di spiaggia.

5. AREA INTERESSATA DAL PARCO EOLICO

5.1 Caratteristiche geologiche e geotecniche dei terreni interessati dalle opere.

L'area interessata dalle opere in progetto ricade nella tavoletta IV SO "ASCOLI SATRIANO" del Fg. 175 della carta d'Italia in località Torretta a Nord-Nord-West dell'abitato di Ascoli Satriano; i terreni ivi affioranti sono costituiti essenzialmente da depositi riconducibili all'unità della Fossa Bradanica, sui quali giacciono depositi tardo-quaternari costituiti da coperture conglomeratiche sabbiose continentali, localmente poggianti in disconformità sulle argille subappennine e/o in paraconformità su facies di spiaggia, essi risultano terrazzati in più ordini e sono stati raggruppati nel supersistema del Tavoliere di Puglia. Dal basso verso l'alto nell'area di interesse si riscontrano i seguenti litotipi:

UNITA' DELLA FOSSA BRADANICA

Argille Subappennine (ASP);

UNITA' QUATERNARIA DEL TAVOLIERE DI PUGLIA

Subsistema di Monte Livagni (ADL₁);

Sistema de La Sedia di Orlando (LSO);

Subsistema dell'Incoronata (RPL₁);

5.1a **Argille subappennine** (ASP)

Questi depositi sono costituiti da argille marnose più o meno siltose, la stratificazione non sempre è distinguibile. L'Unità mostra un assetto a debole monoclinale immersa verso E di 15°/10°; nell'area prossima al bordo della Catena le argille sono normalmente coperte da depositi di conoide alluvionale, mentre in quelle più distali l'erosione provocata dai corsi d'acqua ad andamento trasversale (il T. Cervaro e il T. Carapelle) ha frequentemente provocato l'asportazione dei depositi ghiaiosi alluvionali sviluppati sulle stesse argille.

Dal punto di vista litostratigrafico la parte media di questa unità è costituita da banchi e/o strati di silt argillosi e di marne siltose in genere a stratificazione poco evidente, riferita al Pliocene superiore-Pleistocene inferiore; a luoghi si osservano intercalazioni argilloso-siltose e, verso il tetto, anche orizzonti e/o lenti di sabbie a grana medio-fine. Gli spessori affioranti sono molto modesti (10÷15 m) ad eccezione di quelli visibili in fronti di cave dove avveniva l'estrazione dell'argilla per l'industria dei laterizi. Lungo la valle del torrente Carapelle questa unità è costituita da una successione siltoso – sabbiosa con a tetto facies sabbioso-conglomeratiche con una chiara tendenza *Shallowing upward* (sabbie marine e conglomerati di Ascoli Satriano) (ASP_A).

5.1b **Subsistema di Monte Livagni** (ADL₁)

Si tratta di depositi conglomerati poligenici, poso selezionati ma regolarmente ben cementati, i clasti, costituiti da rocce provenienti dalle unità della Catena Appenninica (arenarie, calcari marnosi e più raramente calcari silicei e selci), hanno dimensioni da medie (2 – 5 cm) fino a grandi (10 – 15 cm, a luoghi fin oltre i 50 cm); il grado di arrotondamento è da discreto a buono. La matrice sabbiosa grossolana, poco abbondante, permette di definire questi depositi come clasto-sostenuti; solo nelle parti più distali la matrice tende ad essere più abbondante. A luoghi, intercalati ai corpi conglomeratici disorganizzati, si osservano

anche lenti di sabbie grossolane. Nei corpi conglomeratici sovrapposti si nota un accenno di selezione granulometrica normale; a tetto di alcuni corpi conglomeratici si notano dei segni di erosione, prodotte probabilmente da fasi alluvionali di elevata portata.

I depositi di questo subsistema costituiscono paleoconoidi alluvionali, alimentati da brevi corsi d'acqua a carattere torrentizio di provenienza appenninica; la superficie sommitale dei corpi appartenenti a questo subsistema si presenta inclinata verso i quadranti nord-orientali con inclinazione variabile dai 10° ai 15° delle parti apicali dei conoidi ai 5° - 8° delle parti più distali. Età Pleistocene medio.



Fig. 5.1.b. Subsistema di Monte Livagni ADL₁

5.1.c. Sistema de La Sedia di Orlando (LSO);

Affiorano soltanto lungo i versanti della valle del torrente Carapelle. Poggia in discontinuità stratigrafica sulle argille subappennine e su diversi sistemi e subsistemi; superiormente è limitato dalla superficie di erosione attuale o, a luoghi, dal contatto del subsistema dell'Incoronata (RPL₁).

I principali caratteri litologici sono stati ricavati dall'analisi di alcuni modesti affioramenti e lungo il fronte di alcune piccole cave abbandonate in sinistra del T. Carapelle. Questi depositi sono costituiti da un'alternanza irregolare di silt e sabbie, frequentemente laminate, a cui si intercalano limitati corpi o lenti di ghiaie e sabbie grossolane. La parte sommitale di questi depositi è coperta da limi accumulati durante episodiche piene o che occupavano modeste aree un tempo paludose. L'età di questi depositi è riferita al Pleistocene superiore.

5.1.d Subsistema dell'Incoronata (RPL₁)

Sono depositi alluvionali recenti e subattuali accumulatisi lungo gli alvei dei due principali corsi d'acqua presenti nella zona e dei loro affluenti. Si estendono su aree pianeggianti e abbastanza vaste, sono costituiti da ghiaie e sabbie nelle aree più a monte, da silt e limi nelle aree più a valle. Di età incerta tra il Pleistocene superiore e l'Oligocene.

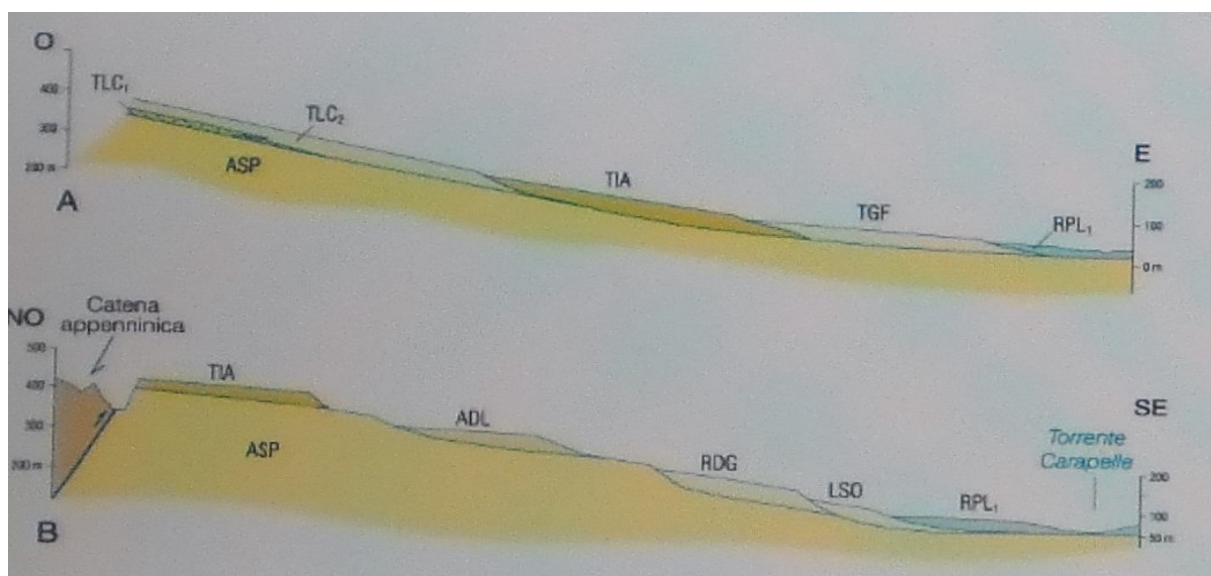
5.1.e Caratteri Geotecnici

Di seguito si riportano i parametri geotecnici delle litologie di superficie. I valori geotecnici relativi alle diverse litologie sono state estrapolate dalle indagini geognostiche, geotecniche e geofisiche disponibili, attraverso l'analisi di relazioni geologiche e geotecniche allegate ai progetti urbanistici ed edilizi realizzate nel territorio in considerazione delle finalità del presente studio. E' inoltre importante sottolineare che, per via degli ambienti deposizionali stessi, i materiali in esame possono essere caratterizzati da importanti variazioni laterali litotecniche, che saranno verificate puntualmente a seguito di specifiche indagini in sito.

Nella Tabella 5.1.e si fornisce un quadro indicativo dei parametri geotecnici relativi alle litologie interessate dagli interventi in progetto

LITOLOGIA	PARAMETRI GEOTECNICI		
	Peso in unità di volume (γ)	Angolo di attrito (ϕ)	Coesione non drenata (C_u)
<i>Conglomerati con sabbie</i>	19 kN/mc	29°-31°	0,1 – 0,2 kPa
<i>Argille e argille sabbiose</i>	20 kN/mc	27°-28°	90 - 100 kPa
<i>Sabbie ed arenarie</i>	19 kN/mc	28°-30°	0,1 – 0,2 kPa
<i>Ghiaie e sabbie</i>	20 kN/mc	30°-32°	0,0 kPa
<i>Marne ed argille</i>	20 kN/mc	26°-27°	120 - 140 kPa

SCHEMA STRATIGRAFICO DEI SISTEMI AFFIORANTI



5.2 CARATTERI GEOMORFOLOGICI

L'area esaminata è ubicata nella parte centrale della tavoletta IV N.O. del F° 175 della Carta d'Italia (**Foglio Ascoli Satriano**) e più precisamente tutta l'area compresa tra le località " Piano di Napoli, Portolicchio e Sal di Collina".

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 un'area pianeggiante che si identifica con la pianura alluvionale in destra del T. Nuovo Carapellotto e con la sommità di un rilievo prospiciente delimitato da versanti, poco acclivi lungo i fianchi esposti a NE.

Le superfici topografiche di entrambe le aree presentano generalmente un andamento orizzontale o caratterizzato da deboli pendenze nella fascia perimetrale dell'area su cui si realizzerà il parco eolico; tali superfici si trovano ad una distanza di sicurezza dalle aree caratterizzate da pendenze più marcate.

I versanti, che delimitano l'area collinare su la cui sommità sono posizionati n. 4 aerogeneratori, 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; inoltre, si precisa che degli aerogeneratori sono posizionati ad una distanza di sicurezza dal ciglio dei versanti che fungono da raccordo tra le due aree interessate dal progetto e comunque tali superficie in pendio non sono interessate dalle opere che si andranno a realizzare.

5.3 IDROGEOLOGIA E VULNERABILITA' DELLA FALDA

5.3a. Idrogeologia

Le caratteristiche idrogeologiche del territorio sono condizionate dalla natura litologica delle formazioni presenti, dal loro grado di permeabilità ed infine dalle pendenze del rilievo. Nell'area del tavoliere, sulla base di dati bibliografici, è possibile distinguere dall'alto verso il basso, escludendo l'acquifero carsico fessurato, due unità acquifere:

- L'acquifero poroso superficiale
- L'acquifero poroso profondo

Nel caso in esame l'acquifero poroso superficiale corrisponde agli interstrati sabbioso-ghiaiosi dei depositi marini e continentali di età Pleistocene superiore-Olocene che ricoprono con una certa continuità areale le sottostanti Argille Subappennine che rappresentano la base della circolazione idrica superficiale vista la loro impermeabilità. In tale acquifero che interessa sostanzialmente l'area delle superfici terrazzate che degradano dolcemente dal loro margine occidentale verso est, è potenzialmente presente una debole falda che circola in condizioni freatiche. Essa, in relazione al tipo di deposizione lenticolare dei sedimenti, alla giustapposizione di litotipi a diversa permeabilità ed alle soluzioni di continuità esistenti tra i vari corpi, può individuarsi su più livelli idraulicamente interconnessi. A scala regionale l'andamento delle curve isopieze segue quello della topografia, rivelando una generale diminuzione delle quote piezometriche da SO verso NE, con gradienti di norma inferiori a 0,5 % (Tadolini et al.,1989). La carta delle isopieze relativa all'acquifero superficiale, rileva che i massimi valori del gradiente idraulico si registrano nella parte più interna, corrispondente alla zona di maggiore ricarica dell'acquifero, mentre tendono a diminuire nella parte centrale. La particolare morfologia assunta dalla superficie piezometrica permette, di definire una direttrice di deflusso idrico preferenziale verso Est. Nelle aree pianeggianti più depresse quali la valle del Cervaro e del Carapelle, l'acquifero superficiale interessa i depositi alluvionali recenti e terrazzati, a diverso grado di permeabilità, anch'essi poggiati sul substrato argilloso delle "argille subappennine". In considerazione dei modesti spessori in gioco tali acquiferi risentono di forti oscillazioni dovute ai diversi apporti meteorici stagionali. Tale dato è confermato dalla presenza di numerosi pozzi a scavo e dalla presenza di numerosi "vasconi freatici". I pozzi hanno uno sviluppo assai modesto, raramente superano i 30 m di profondità, e sono generalmente attestati nel substrato impermeabile drenando tutto l'acquifero subsuperficiale. Nel periodo estivo spesso si inaridiscono. Nelle aree più prossime ai corsi d'acqua è possibile altresì ipotizzare un regime di scambio idrico con alimentazione della falda, da parte del corso d'acqua, durante i periodi di massima piena, che tende localmente ad invertirsi nei periodi di magra.

L'acquifero poroso profondo è costituito dai diversi livelli sabbiosi intercalati nella formazione plioleistocenica delle "Argille grigio-azzurre". I livelli acquiferi sono costituiti da corpi discontinui di forma lenticolare, localizzati a profondità superiori ai 150 m dal piano campagna, il cui spessore non supera le poche decine di metri. Nelle lenti più profonde, si rinvennero acque connate che si caratterizzano

per i valori piuttosto elevati della temperatura. La falda è ovunque in pressione e presenta quasi sempre caratteri di artesianità. La produttività dei livelli idrici, pur essendo variabile da luogo a luogo, risulta sempre molto bassa con portate di pochi litri al secondo. Le caratteristiche di questo acquifero sono poco conosciute sia per la geometria, per la distribuzione spaziale che per le modalità di alimentazione e di deflusso. Al margine della catena appenninica non è peraltro da escludere la possibilità di locali interconnessioni con acquiferi "appenninici". Circa la potenzialità e l'importanza delle risorse idriche sotterranee, le analisi condotte nell'ambito degli Studi per la Realizzazione dei Piani di Bacino dal CNR-IRSA (Figura 5.3a) di Bari consentono di fornire alcuni interessanti dati riguardanti i pozzi e la falda. Nel territorio provinciale sono stati censiti:

- 4665 pozzi autorizzati (CO.T.R.I e/o Uffici del Genio Civile/Genio Civile);
- 25.284 pozzi autodenunciati (sanatoria di cui all'Art. 10 del D.L. 275/93);
- 126 scarichi autorizzati in falda.

La carta delle aree irrigabili prodotta dal CNR-IRSA ed allegata al Piano di Bacino mostra come il Subappennino sia del tutto sprovvisto di sistemi di irrigazione, anche perché le colture impiantate non richiedono apporti idrici integrativi. Esiste comunque all'interno del territorio da un lato in generale una discreta presenza di pozzi, la maggior parte dei quali autodenunciati.

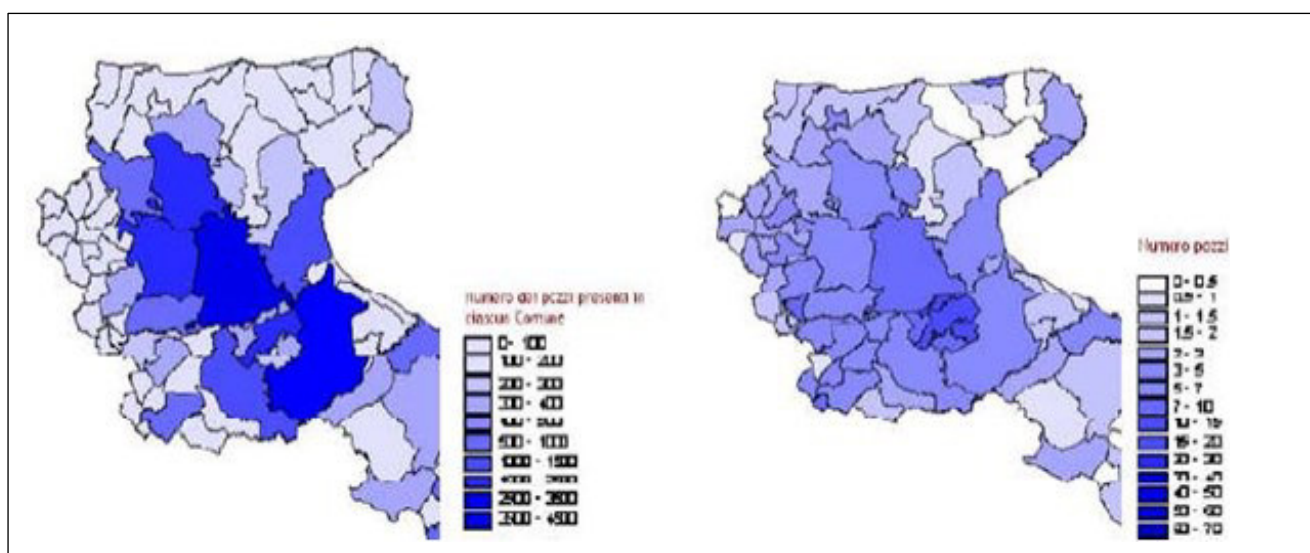


Figura 5.3a: Carta della distribuzione e della densità dei pozzi per aree comunali. Fonte: CNR-IRSA.

Per quanto riguarda più in generale il Tavoliere, dati bibliografici evidenziano che la realizzazione di numerosi pozzi e il prelievo incontrollato d'acqua dal sottosuolo ha determinato negli ultimi decenni un impoverimento della falda superficiale, con conseguente abbassamento della superficie piezometrica. Essa sembra aver raggiunto il suo minimo storico alla fine degli anni '80, in concomitanza di un periodo di siccità pluriennale particolarmente intensa.

Circa le modalità di alimentazione della falda superficiale, un contributo importante proviene dalle precipitazioni. Trattandosi di un'area costituita in affioramento da litotipi per lo più permeabili, l'infiltrazione delle acque meteoriche è diffusa su tutto il territorio, ma le caratteristiche climatiche dell'area determinano rilevanti perdite per evapotraspirazione. Recenti risultati del bilancio idrogeologico dell'idrostruttura del Tavoliere (De Girolamo et alii, 2001; 2002) consentono di affermare che solo il 17% circa del totale della precipitazione media annua costituisce la ricarica. Le zone di alimentazione della falda sono rappresentate dalle aree costituite da terreni sabbioso-conglomeratici affioranti in prevalenza nella parte medio-alta del Tavoliere. Oltre che dalle acque di infiltrazione meteorica, diversi Autori ritengono che al ravvenamento della falda superficiale contribuiscano anche i corsi d'acqua che solcano il Tavoliere (Zorzi e Reina, 1956; Colacicco, 1953; Cotecchia, 1956; Maggiore et alii, 1996).

Nel tempo, le condizioni di disequilibrio tra domanda e offerta della risorsa idrica, hanno determinato il progressivo esaurimento della stessa (De Girolamo et alii, 2001; 2002). Essendo il fabbisogno di gran lunga superiore alla ricarica annua, lo stato attuale della falda risulta molto differente rispetto a cinquanta anni fa,

quando si segnalavano condizioni di acque freatiche abbondanti (Colacicco, 1951); le portate dei pozzi sono spesso così esigue (1-3 l/s) da rendere necessaria la realizzazione di vasche di accumulo.

Nell'area vasta del Tavoliere, dal punto di vista composizionale, le acque della falda superficiale ricadono principalmente nel campo delle acque bicarbonato-alcaline terrose, in corrispondenza delle aree più interne, non distanti dalla costa, dove si risente l'influenza dell'ingressione marina; i valori di salinità sono relativamente bassi (0,7 g/l – 0,8 g/l) tranne che per i pozzi più prossimi alla linea di costa, che presentano valori superiori a 3 g/l (Maggiore et alii, 1996).

L'incremento di salinità delle acque, direttamente legato allo sfruttamento intensivo delle falde, ed il consumo eccessivo di concimi azotati, erbicidi, fitofarmaci, sono tra le cause principali del degrado qualitativo della falda superficiale.

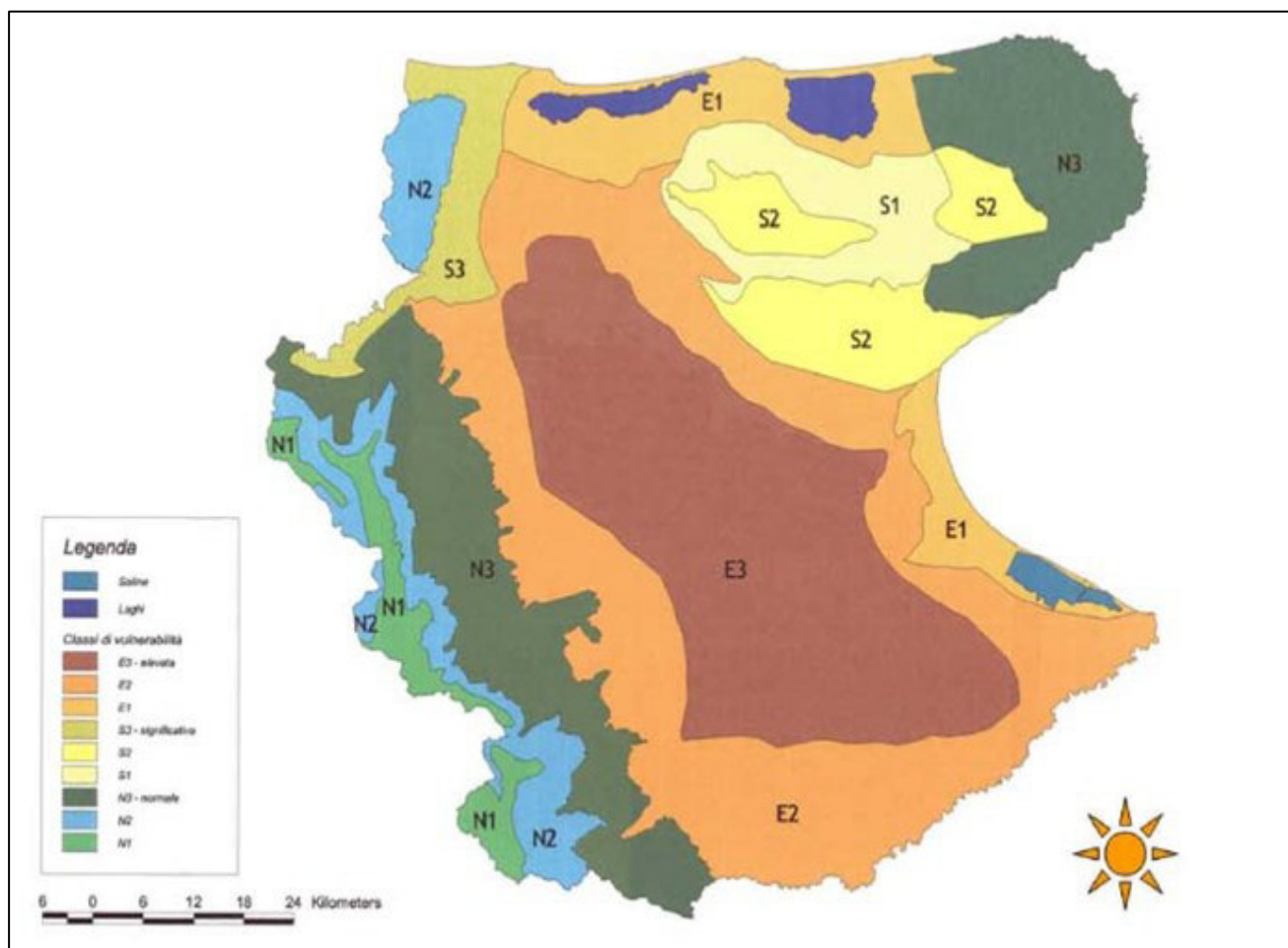


Figura 5.3b: Vulnerabilità degli acquiferi distretti omogenei – PTCP Provincia di Foggia

In relazione al Piano di Tutela delle Acque adottato dalla Regione Puglia con Delibera di Giunta n°883 del 19/6/2007, il territorio viene individuato dal PTCP della Provincia, in relazione alla fragilità dell'acquifero sotterraneo all'inquinamento, a potenziale intrinseca vulnerabilità normale (N) (Figure 5.3 e 5.4). Per esso non sussiste alcun vincolo di tutela quali-quantitativa su cui vige il divieto di nuove concessioni per la ricerca e l'estrazione. Anche se in relazione alla conformazione del territorio costituita da bassa collina (Basse colline della Daunia, fino a circa 400 m) il territorio è classificabile con classe di rischio Normale N3, visto che le sue caratteristiche tendono a bilanciare gli effetti di inquinamento, si ritengono necessari ed opportuni studi di approfondimento al fine di ricavare le caratteristiche idrogeologiche complessive degli acquiferi (cadente piezometrica, livelli statici, linee di flusso ecc.). Tali studi potranno essere opportunamente condotti nell'ambito della realizzazione di un catasto "comunale" dei pozzi corredato da parametri idrogeologici fondamentali quali: profondità; stratigrafia, portate emunte; analisi delle acque ecc. (Art.2.18 NTA PTCP Provincia di Foggia).

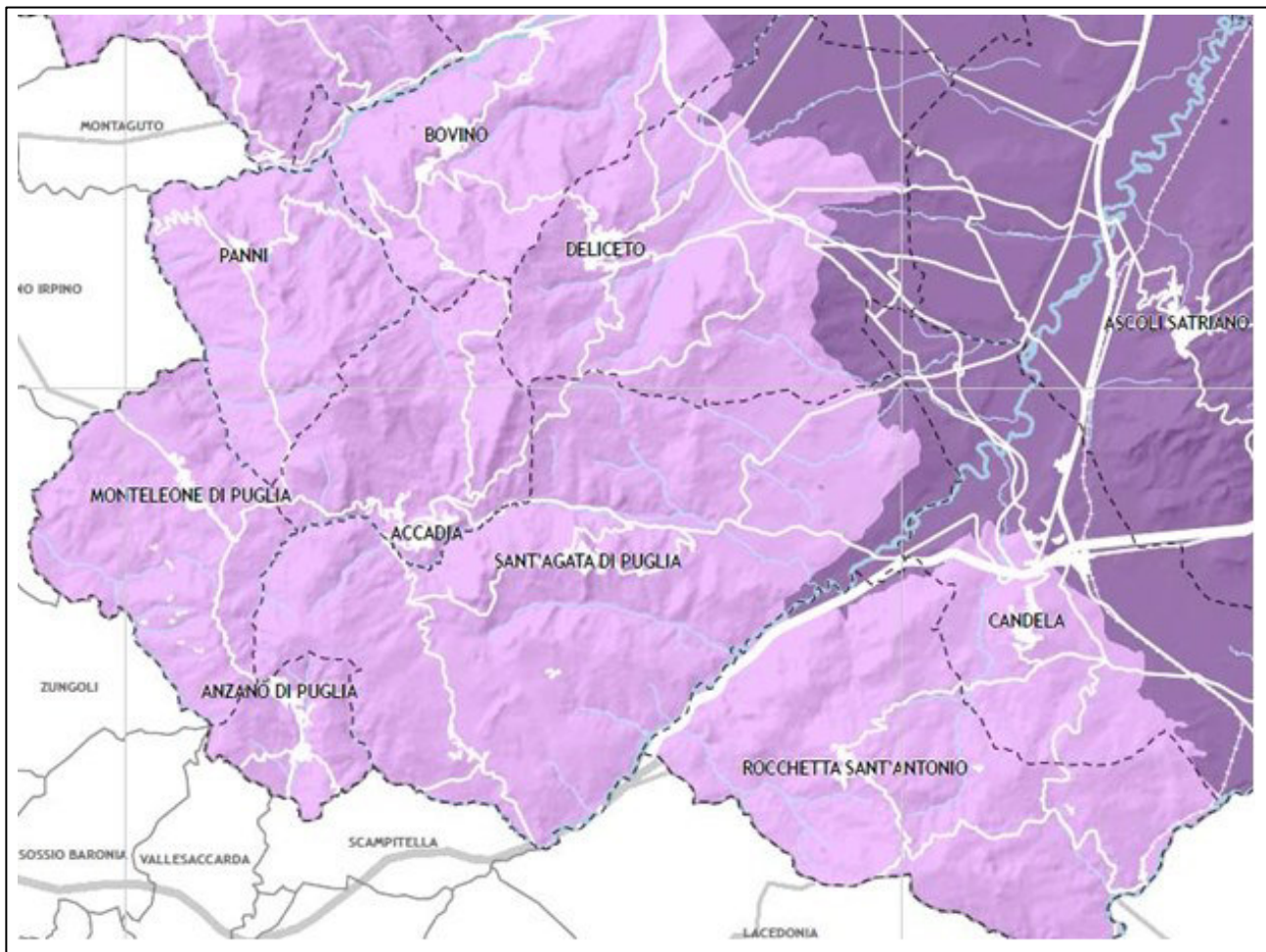


Figura 5.3c: Stralcio Carta Vulnerabilità degli acquiferi PTCP Provincia di Foggia

5.3b RETICOLO IDROGRAFICO E AUTORITY DI BACINO

L'area oggetto di studio è compresa nei bacini idrografici ricadenti nella competenza territoriale regionale dell'Autorità di Bacino della Regione Puglia. I bacini idrografici principali (Fig. 5.3d), nell'area oggetto di studio, sono riconducibili a quella del Torrente Cervaro, che nella parte media del suo percorso scorre a Nord-Ovest di Deliceto e, soprattutto, quella del Torrente Carapelle o più precisamente del Torrente Carapellotto, suo affluente, che attraversa gran parte del territorio studiato. In pratica, tutta l'idrografia superficiale, dominata da questi due corsi d'acqua, ma essenzialmente da una serie di canali, fiumare e fossi che in essi si immettono successivamente, si sviluppa in direzione NE-SO, con una densità di drenaggio che tende a decrescere verso NE. Il regime idraulico di questi corsi d'acqua, se pur stagionale e strettamente legato all'andamento delle precipitazioni, è storicamente contraddistinto da rovinose piene ed esondazioni (D'Arcangelo, 2000). Il fiume Carapelle, spesso classificato come torrente, nasce in Irpinia alle falde del Monte La Forma (m 864) col nome di Calaggio (Fig. 1.1.3.3). Con l'unione al Torrente San Gennaro assume la denominazione di Carapelle. Scorre per circa 98 km prima di sfociare nel golfo di Manfredonia in località Torre Rivoli presso Zapponeta. I principali affluenti del T. Calaggio, in sinistra idrografica sono il Rio Specca ed il Rio Contillo, mentre i principali affluenti del fiume Carapelle sono: Torrente Frugno, Torrente San Gennaro, Torrente Carapellotto. Il suo basso corso è interessato come area protetta all'interno della Riserva Statale delle Saline di Margherita di Savoia. Il torrente Carapellotto nasce sul Monte Tre Titoli (metri 891) ad est di Deliceto. Il fiume, che nel suo corso raccoglie diverse fiumare, e attraversa le anse di Tremoleto e Castro, scorre verso nord-est e poi vira verso est prima di confluire, da sinistra, nel fiume Carapelle a sud-est di Ortona, nei pressi della Masseria Sedia d'Orlando. Le maggiori fiumare che affluiscono nel Carapellotto sono il Gammarota, il Vallone della Madonna, il Fontana e il Gavitelle. Il bacino del torrente Carapellotto si estende per circa 24 chilometri; il territorio del comune di Deliceto coincide a grandi linee col bacino del fiume.

L'allineamento dei corsi d'acqua principali riconducono a delle strutture tettoniche trasversali, riconosciute solo nel sottosuolo dell'area; due di esse sono identificabili con la linea Bagnoli Irpino-Torrente Calaggio, che corrisponde alla

linea del Carapelle, e poi quella del Torrente Cervaro. La prima rappresenta una faglia con piano sub-verticale e componente di trascorrenza sinistra, che continua anche nel sottosuolo dell'Avanfossa, coincidendo con il corso del T. Carapelle; questa struttura è ritenuta attiva fino a parte del Pleistocene inferiore (Ambrosetti et alii, 1987). La struttura corrispondente al T. Cervaro è una faglia diretta, individuata da dati di geologia del sottosuolo; entrambe le strutture sembra abbiano cessato la loro attività nel Pleistocene inferiore.

Le evidenze sul terreno dell'attività di queste faglie sono scarse, in particolare possono essere desunte dall'assetto dei tre blocchi che determinano: quello centrale, compreso tra la struttura del T. Cervaro a N e quella del T. Carapelle a S, risulta rialzato e tiltato debolmente verso SE, con maggiore esposizione dei depositi riferibili alle argilliti subappenniniche e parziale asportazione delle coperture continentali più antiche del versante settentrionale; su questo blocco centrale si sono impostate due conoidi detritiche di età pleistocenica superiore.

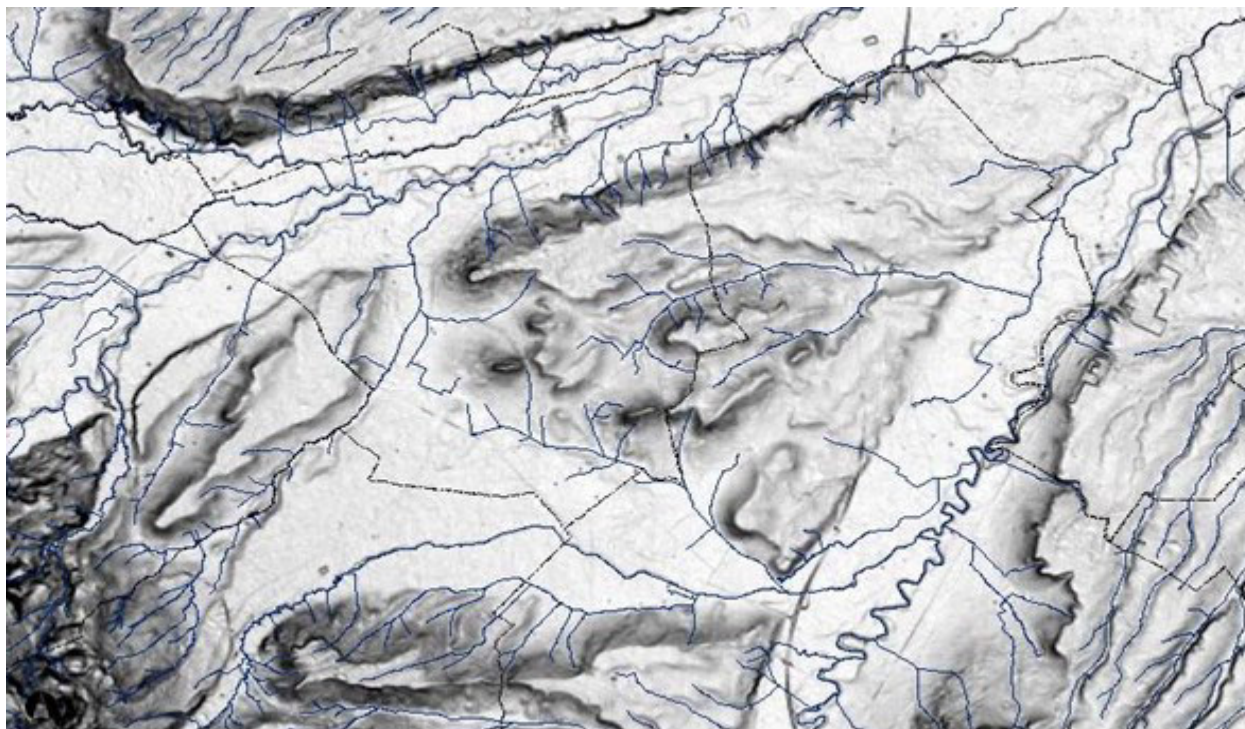


Figura 5 .1d: I bacini idrografici dei due corsi d'acqua principali: il T. Cervaro a NO ed il T. Carapelle a SE Fonte: SIT Regione Puglia

Per quanto riguarda il Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico, secondo le Tavole di delimitazione del PAI le opere di progetto interessano aree in assenza di vincoli e aree definite a pericolosità geomorfologica media e moderata (P.G.1)

Secondo le Norme Tecniche di Attuazione del Piano (Art. 15), nelle aree a pericolosità geomorfologica media e moderata (P.G.1) sono consentiti tutti gli interventi previsti dagli strumenti di governo del territorio purché l'intervento garantisca la sicurezza, non determini condizioni di instabilità e non modifichi negativamente le condizioni ed i processi geomorfologici nell'area e nella zona potenzialmente interessata dall'opera e dalle sue pertinenze. C'è da specificare che le aree interessate dalle opere che si andranno a realizzare sono sostanzialmente pianeggianti e quindi, difficilmente soggette a fenomeni dislocativi superficiali o profondi, fenomeni che sono più probabili in aree con superfici inclinate.

Per quanto riguarda il Piano Stralcio Difesa Alluvioni sempre dell'Autorità di Bacino Regione Puglia, l'area di progetto che interessa gli aerogeneratori e la viabilità in generale non rientra in nessuna area a rischio, fatta eccezione per un tratto di strada interpodereale che dal km 179 della S.P.106 sale verso Palazzo d'Ascoli . Questo tratto di strada è inserita in area ad elevato rischio idraulico e per la quale, in fase di progetto esecutivo sarà fatto uno studio idraulico particolare con la progettazione di eventuali opere a presidio idraulico.

6. SISMICITA' DELL'AREA

6.1 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 è 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 è 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. 6 – 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 ASCOLI SATRIANO (FG) 41.205 – 15.561

OSSERVAZIONI DISPONIBILI : 28

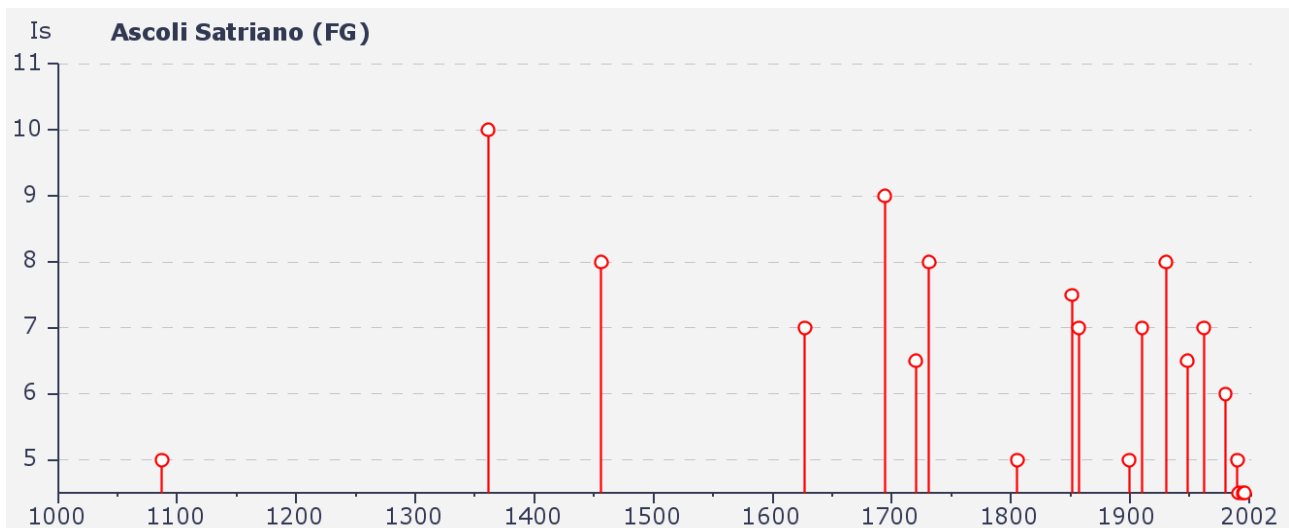
Is	Anno	Me	Gi	Or	Area epicentrale	Studio	nMDP	Io	Mw
5	1087	09			Puglia	CFTI	3	6-7	5.03
10	1361	07	17	19 30	Ascoli Satriano	CFTI	5	9	6.06
8	1456	12	05		MOLISE	DOM	199	10	6.96
7	1627	07	30	10 50	Gargano	CFTI	65	10	6.73
9	1694	09	08	11 40	Irpinia-Basilicata	CFTI	253	10-11	6.87
6-7	1720	06	07		PUGLIA SETT.	DOM	7	6-7	5.22
8	1731	03	20	03	Foggiano	CFTI	50	9	6.34
5	1805	07	26	21	Molise	CFTI	223	10	6.57
7-8	1851	08	14	13 20	Basilicata	CFTI	102	9-10	6.33
7	1857	12	16	21 15	Basilicata	CFTI	337	10-11	6.96
NF	1882	06	06	05 40	Monti del Matese	CFTI	52	7	5.28
5	1899	08	16	00 05	IRPINIA	DOM	32	6	4.83
NF	1905	03	14	19 16	BENEVENTANO	DOM	94	6-7	4.96
3-4	1905	11	26		IRPINIA	DOM	136	7	5.32
7	1910	06	07	02 04	Irpinia-Basilicata	CFTI	376	8-9	5.87
3	1913	10	04	18 26	MATESE	DOM	205	7-8	5.40
2-3	1915	01	13	06 52	AVEZZANO	DOM	1040	11	6.99
4	1923	11	08	12 28	MURO LUCANO	DOM	28	6	5.01
2-3	1927	12	27	08 49	DELICETO	DOM	2	6	4.83
8	1930	07	23	00 08	Irpinia	CFTI	509	10	6.72
4	1937	07	17	17 11	SAN SEVERO	DOM	40	6-7	5.07
6-7	1948	08	18	21 12 20	Puglia settent.	CFTI	59	7-8	5.58
7	1962	08	21	18 19 30	Irpinia	CFTI	214	9	6.19
6	1980	11	23	18 34 52	Irpinia-Basilicata	CFTI	1317	10	6.89
5	1990	05	05	07 21 17	POTENTINO	BMING	1374	7	5.84
4-5	1991	05	26	12 25 59	POTENTINO	BMING	597	7	5.22
4-5	1995	09	30	10 14 34	GARGANO	BMING	145	6	5.22
4-5	1996	04	03	13 04 35	IRPINIA	BMING	557	6	4.92

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.



Per quanto riguarda la pericolosità del sito, ricadendo il Comune di Ascoli Satriano nel punto del reticolo di riferimento definito da longitudine 15.561 e latitudine 41.205, 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

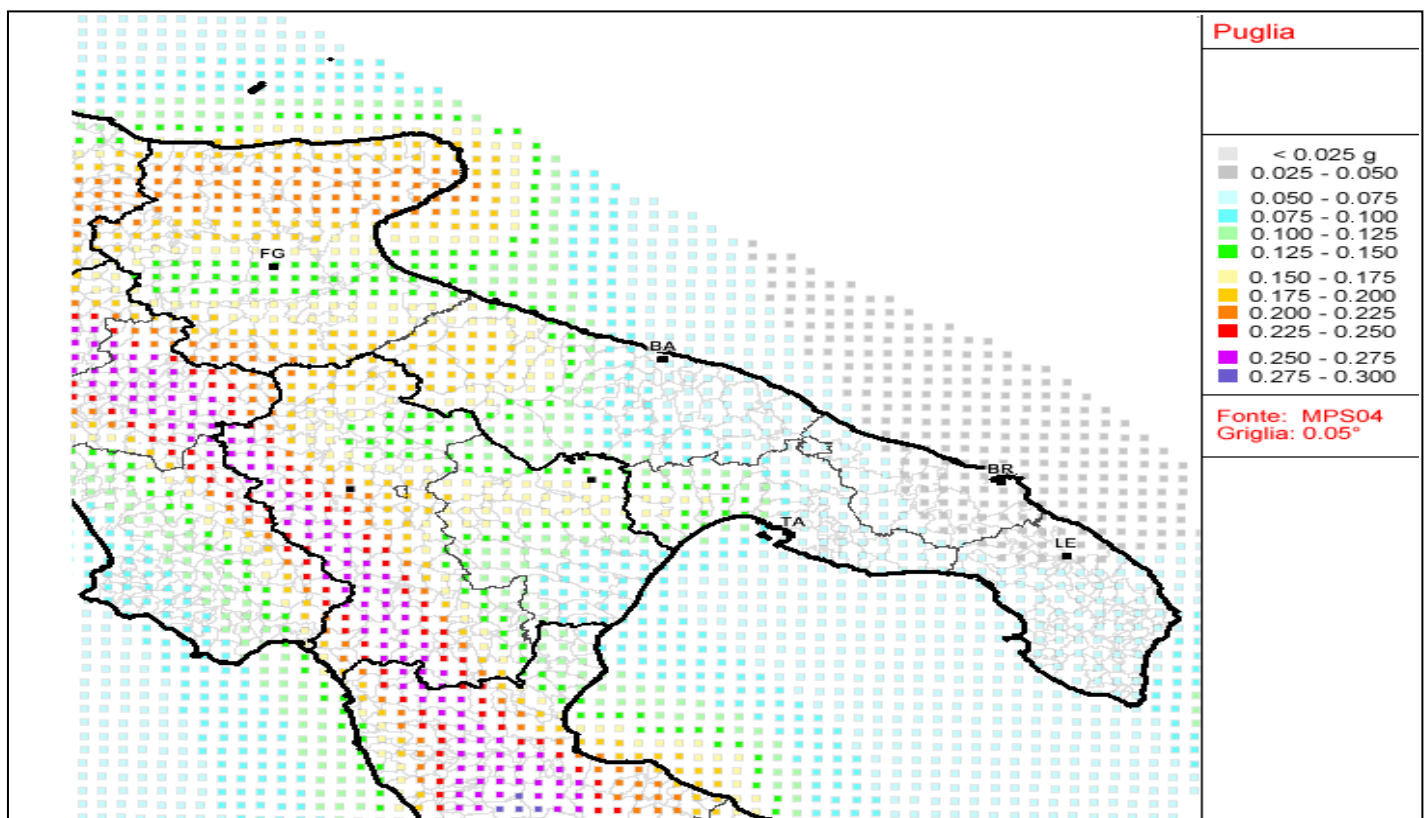


Fig. 6.1 – *Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale espressa in termini accelerazione massima al suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli molto rigidi (Ordinanza 3519-06)*

Mappe interattive di pericolosità sismica

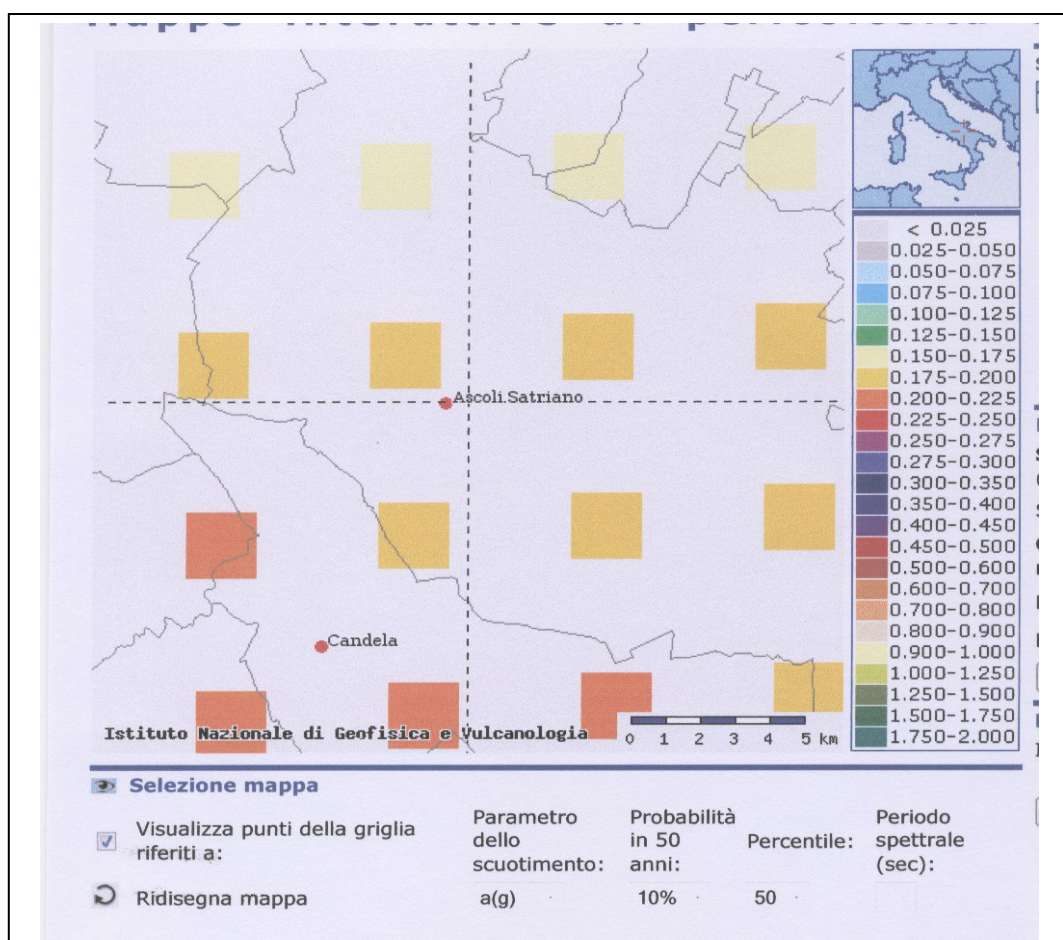
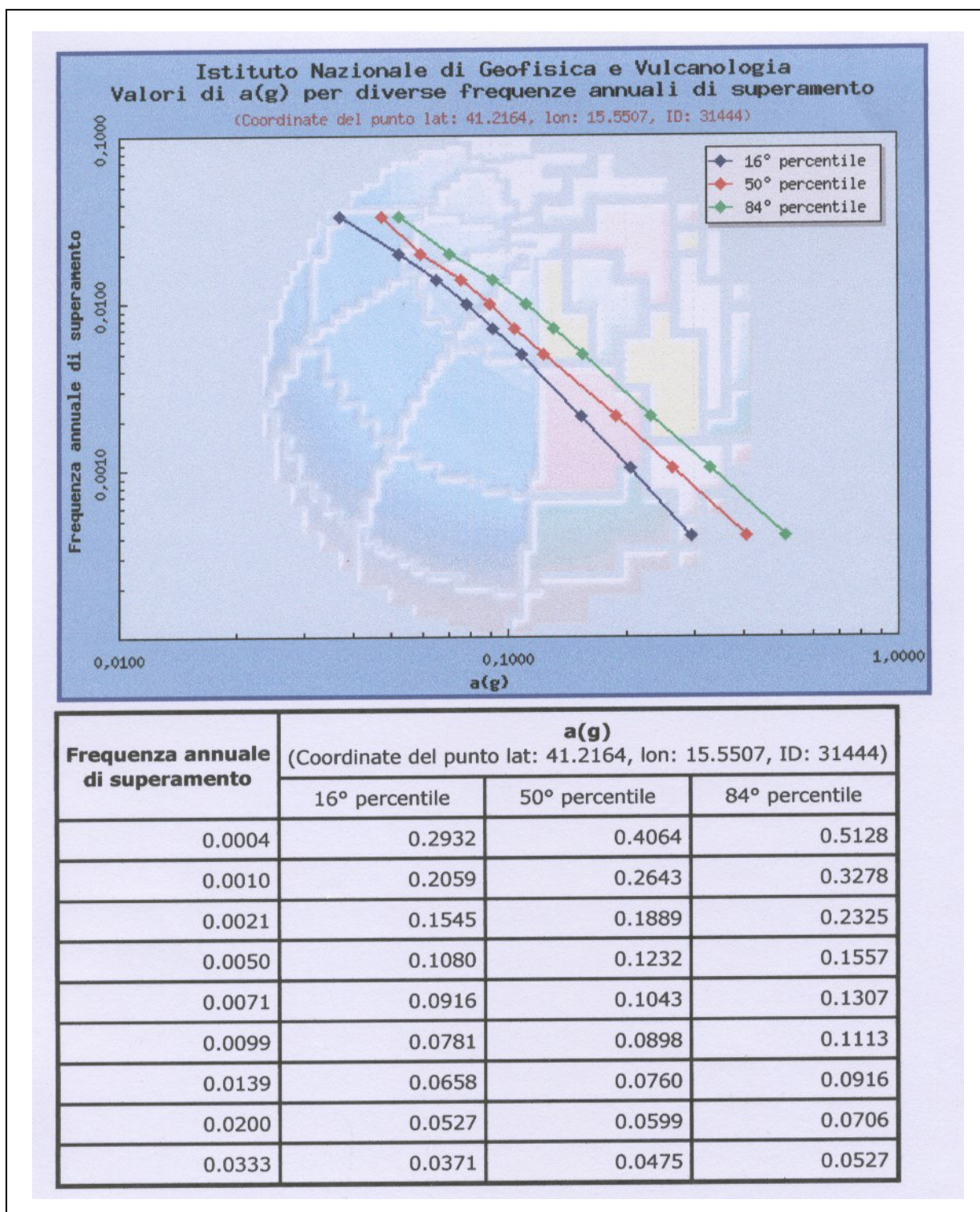


Fig. 6.1b. – *Mapa di pericolosità sismica del territorio nazionale espressa in termini accelerazione massima al suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli molto rigidi (Ordinanza 3519-06)*



6.2- Sismicità dell'area.

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.

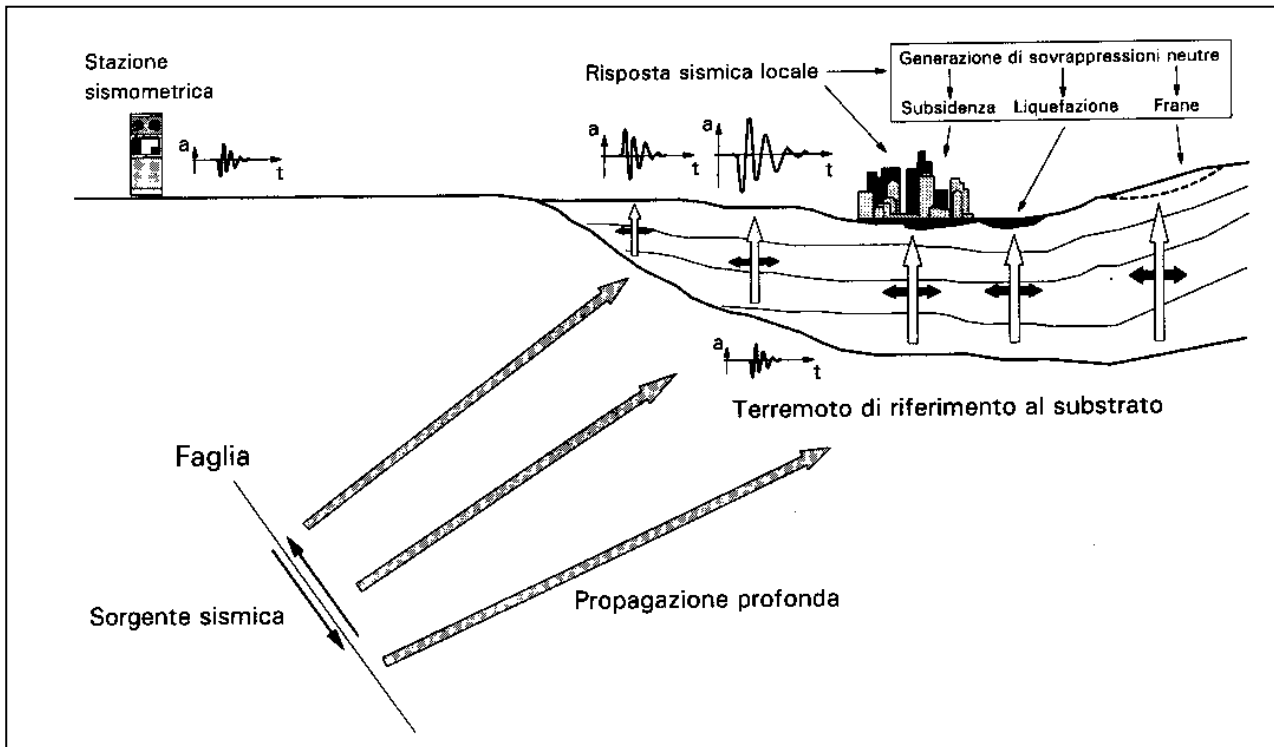


Fig. 6.2 Propagazione di un evento sismico dalla sorgente al sito e problemi geotecnici

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 17 gennaio 2018.

Nella verifica dell'idoneità di una struttura a sopportare il valore di progetto delle azioni (si rammenta che deve risultare $R_d \geq E_d$), al fine di ricavare il valore delle azioni sismiche è necessario fare riferimento a precisi parametri progettuali che contraddistinguono l'opera da realizzare: vita nominale, classe d'uso e periodo di riferimento. A loro volta, questi caratteri vanno combinati analiticamente con la pericolosità sismica di base per ricavare le azioni sismiche di progetto.

- a_g = accelerazione orizzontale massima al sito;
- F_0 = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;

- T_c^* = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Il progetto interessa territori comunali classificati in zona 1, quindi a elevata sismicità: si sottolinea come in fase di progettazione esecutiva sarà necessario effettuare specifiche indagini geognostiche, anche di tipo sismico, che consentiranno di definire la "categoria" di appartenenza del suolo di fondazione e la definizione di un corretto modello geotecnico dei terreni in riferimento alla nuova Ordinanza P.C.M. n.3274 e alle attuali N.T.C.

7. 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:

- il rilevamento geolitologico effettuato mostra in affioramento la presenza di una coltre detritica di spessore max. = 1.0 m passante verso il basso a depositi riconducibili all'unità della Fossa Bradanica, sui quali giacciono depositi tardo-quadernari costituiti da coperture conglomeratiche sabbiose continentali, localmente poggianti in disconformità sulle argille subappennine e/o in paraconformità su facies di spiaggia, essi risultano terrazzati in più ordini e sono stati raggruppati nel supersistema del Tavoliere di Puglia;
- 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; anche se parte dell'area interessata dal progetto ricade, in base alle carte degli scenari di rischio da frana relativi al Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.), in aree a pericolosità geomorfologica media e moderata (P.G.1), essendo le superfici della stessa area pianeggianti diventa pressoché improbabile il verificarsi di fenomeni dislocativi superficiali o profondi. Per quanto riguarda i vincoli relativi al P.S.D.A. AdB Regione Puglia, l'area di progetto è scevra da perimetrazioni;
- nella parte dell'area ubicata a quote più basse è possibile rinvenire la falda a quote esigue, le oscillazioni della sua superficie piezometrica, se presente, possono influenzare in negativo le caratteristiche fisico-meccaniche dei terreni a diretto contatto con le fondazioni di ancoraggio degli aerogeneratori;
- essendo il comune di Ascoli Satriano classificato sismicamente come **Zona 1**, in fase di progettazione esecutiva saranno effettuate specifiche indagini geognostiche, anche di tipo sismico, che consentiranno di definire la "categoria" di appartenenza del suolo di fondazione e la definizione di un corretto modello geotecnico dei terreni in riferimento alla nuova Ordinanza P.C.M. n.3274 e alle attuali N.T.C. del 2018.

Da quanto esposto finora, quindi, si evince chiaramente che l'area individuata per la realizzazione del Parco Eolico " San Potito" in questione non presenta alcuna controindicazione.

Dott. Geol. Rosario A. FALCONE

Rosario A. Falcone

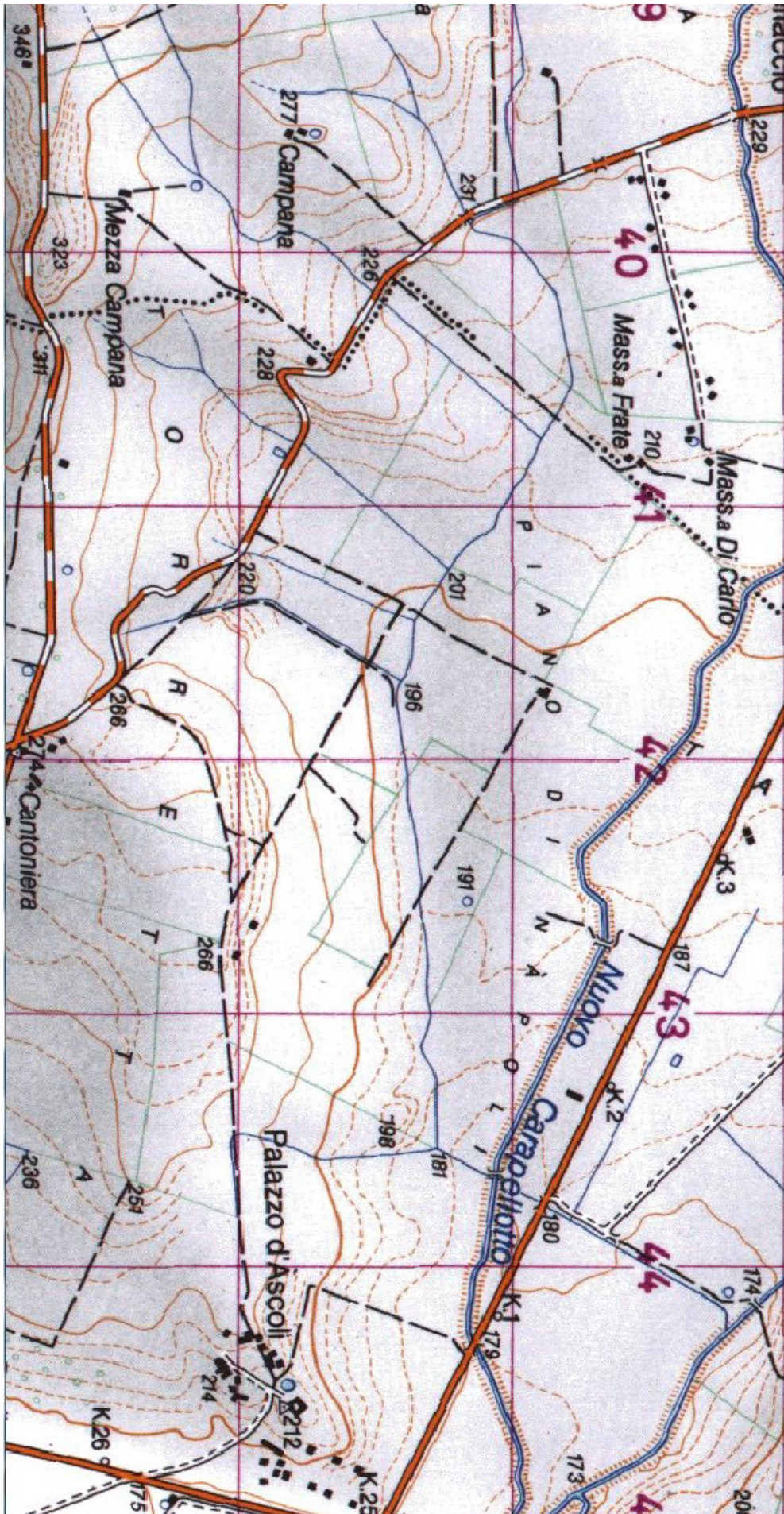
ORDINE DEI GEOL. DI BASILICATA
Dott. Geol. FALCONE Rosario Antonio A.
N. iscr. 201.

8. BIBLIOGRAFIA

- Jacobacci A., Martelli G. – Note Illustrative della Carta Geologica D’Italia, Foglio N. 174 “Ariano Irpino” (1967);
- Ciaranfi N., Gallicchio S., Loiacono F. – Note Illustrative della Carta Geologica D’Italia, Foglio N. 421 “Ascoli Satriano” alla scala 1.50.000 Progetto CARG (2011);
- D’Argenio B. – Geologia del gruppo del Taburno – Camposauro (Appennino Campano) Atti Acc. Sc. Fis. e Mat. (1967);
- D’Argenio B., Pescatore T. & Scandone P. – Schema geologico dell’Appennino meridionale (Campania e Lucania). Atti Conv. Moderne Geologia dell’Appennino (1973);
- Regione Puglia – Analisi di compatibilità ambientale – Programma Operativo Regionale 2000-2006
Mostardini F. & Merlini S. – Appennino centro-meridionale. Sezioni geologiche e proposta di modello strutturale. Mem. Soc. Geol. It., 35 (1986);
- Pescatore T. S., Di Nocera S., Matano F., Pinto F., Quarantiello R., Amore O., Boiano U., Civile D., Fiorillo L., & Martino C. - Geologia del settore centrale dei monti del Sannio: nuovi dati stratigrafici e strutturali. Mem. Descr. Carta Geol. d’It. LXXVII (2008)
- www.regione.puglia.it
<http://territorio.provincia.foggia.it/>
www.sinanet.apat.it
- www.ispra.it

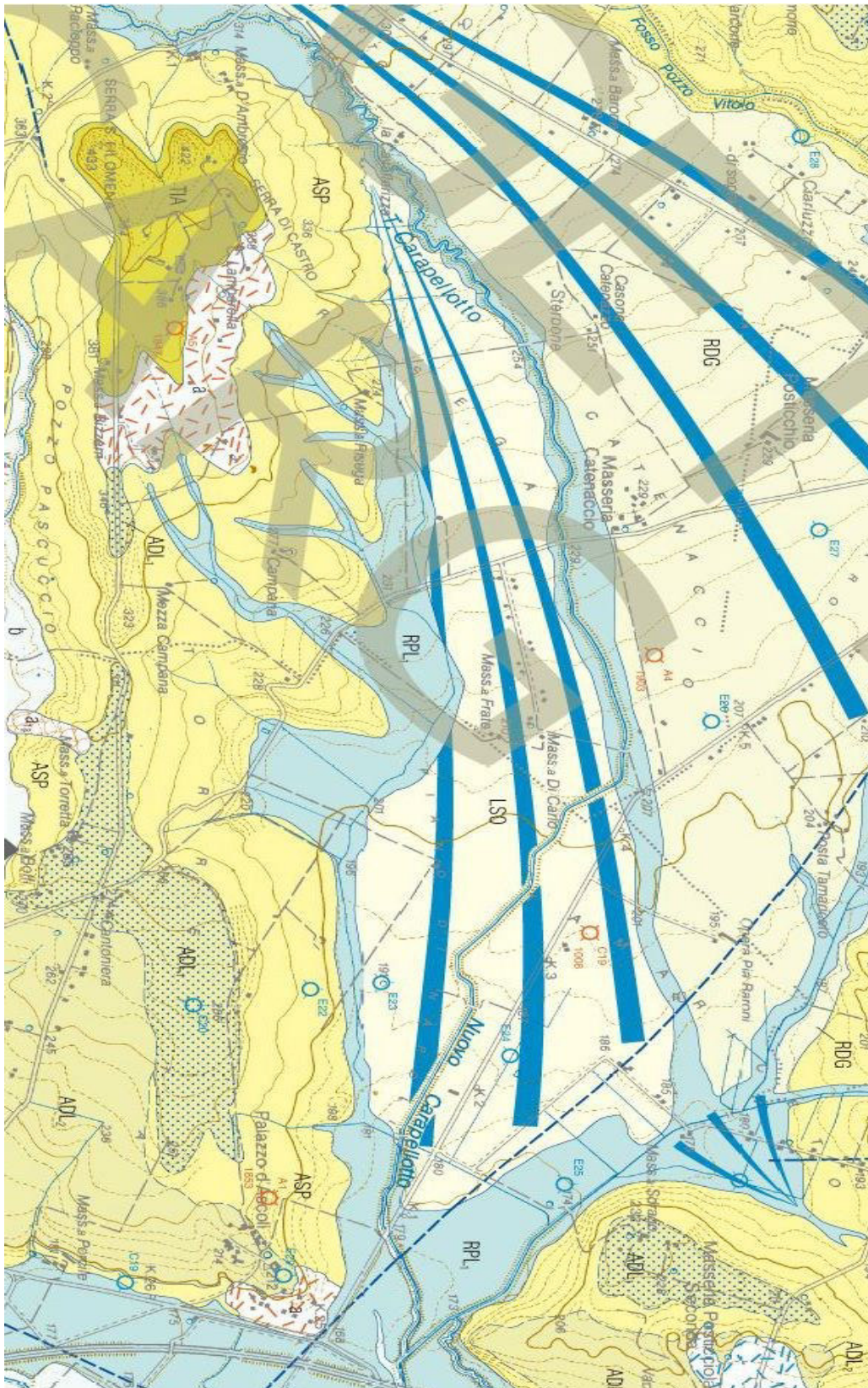
ALLEGATI

COROGRAFIA DELL'AREA Scala 1:250000





Carta geomorfologica estratta dal Progetto IFFI (ISPRA)



- | | | | |
|------------------------|---|------------------------|---|
| RPL₁ | Subsistema dell'Incoronata (Pleist. S.? Olocene) | ADL₁ | Subsistema di Monte Livagni (Pleistocene M) |
| LSO | Sistema de La Sedia di Orlando (Pleistocene S.) | TIA | Sistema di Troia (Pleistocene Medio) |
| RDG | Sistema di Radogna (Pleistocene M.) | ASP | Argille Subappennine (Calbriano) |
| ADL₂ | Subsistema di La Mezzana (Pleistocene M.) | | |

**Carta Geolitologica estratta dal Fig. 421 Ascoli Striano
Progetto CARG scala 1 : 50.000**

Regione PUGLIA
Provincia di FOGGIA
COMUNE di ASCOLI SATRIANO



CODICE IDENTIFICATIVO

ID_VIP:4402

IMPIANTO EOLICO
"San Potito"

(AUTORIZZAZIONE UNICA ai sensi del D.L. 29 dicembre 2003, n. 387)

PROGETTO DEFINITIVO

INTEGRAZIONI AdB PUGLIA art.11 – 15 P.A.I. VERIFICA STABILITA' PENDIO

Cod. Elaborato	RELAZIONE GEOLOGICA Studio di compatibilità geologica, geotecnica, idrogeologica, idrologica e sismica
A. 2	
SCALA = DATA: Ottobre 2018	

COMMITTENTE:

Winderg s.r.l.
via Trento, 64
20871 – VIMERCATE (MB)
P.IVA 04702520968

WINDERG

WINDERG s.r.l.
Presidente o Amministratore Delegato
Dott. Michela Granata

CONSULENTE PER AdR srls:

Dott Geologo
R. A. FALCONE



Via Enrico Fermi n°38
85021 Avigliano (PZ)
Tel/fax 0971.700637
mail: adr_srls@virgilio.it

A.D.R. srls
Via Enrico Fermi, 38
85021 AVIGLIANO (PZ)
C.F. e PIVA 02022800763

Rev	Data	Descrizione	Elaborato	Controllato	Approvato
00	16/10/2018	I emissione	R.A. Falcone	A.D.R S.r.l.s	Winderg S.r.l
	25/03/2019				

PREMESSA

La presente nota tecnica viene redatta a seguito della richiesta di integrazioni da parte dell'Autorità di Bacino della Puglia riguardante il progetto per la realizzazione del parco eolico "San Potito" in agro del Comune di Ascoli Satriano(FG). L'area interessata dal costruendo parco eolico è considerata dall'Autorità di Bacino della Puglia come area a pericolosità geomorfologica media e moderata (P.G.1), da ciò la richiesta dell'Ente di effettuare verifiche analitiche di stabilità dei versanti interessati. Dall'incontro avuto con il funzionario responsabile del procedimento è emersa la necessità di verificare le condizioni di stabilità di quelle aree ritenute a maggiore criticità, individuate in quelle che ospitano gli aerogeneratori **A10, A9 e A1**, la restante parte dell'area è caratterizzata da superfici sub-orizzontali.

GEOMORFOLOGIA ED EVOLUZIONE DEI VERSANTI

L'area indagata si estende in sinistra orografica del Torrente Carapelle e ricade nel Fg. 175 IV S.O. per ciò che attiene agli aerogeneratori A10 – A9 – A1 e nel F.g. 175 IV N.O per ciò che attiene ad alcuni tratti del cavidotto e alla cabina di conferimento dell'energia prodotta.

L'intera area è caratterizzata da basse colline a dolci forma del terreno; la loro sommità è pianeggiante con i versanti debolmente inclinati verso Est. Gli stessi versanti sono esenti da fenomeni dislocativi sia superficiale che profondi. Le superfici interessate dal progetto sono inserite in un contesto definito dall'AdB di Puglia a pericolosità geomorfologica media e moderata PG1, da ciò la necessità di verificare analiticamente la stabilità di quei versanti che presentano una maggiore criticità. Dal confronto avuto con il responsabile del procedimento all'interno dell'AdB di Puglia è emersa la necessità di verificare le superfici che ospitano gli aerogeneratori A10 – A9 – A1 in quanto sono le superfici che presentano una criticità maggiore rispetto alle altre. La verifica verrà condotta in condizioni sismiche e in situazione **ante opera** e **post opera**.

VERIFICA ANALITICA DI STABILITA' DEI VERSANTI

Al fine di valutare in via preliminare la stabilità delle opere ubicate in corrispondenza dei versanti 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 dei versanti che caratterizzano l'area interessata dal progetto di realizzazione di un parco eolico "San Potito" in agro del Comune di Ascoli Satriano(FG). Le verifiche di stabilità sono state condotte lungo le sezioni A' ___ A , B' ___ B , C' ___ C 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 Kg/cm².

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

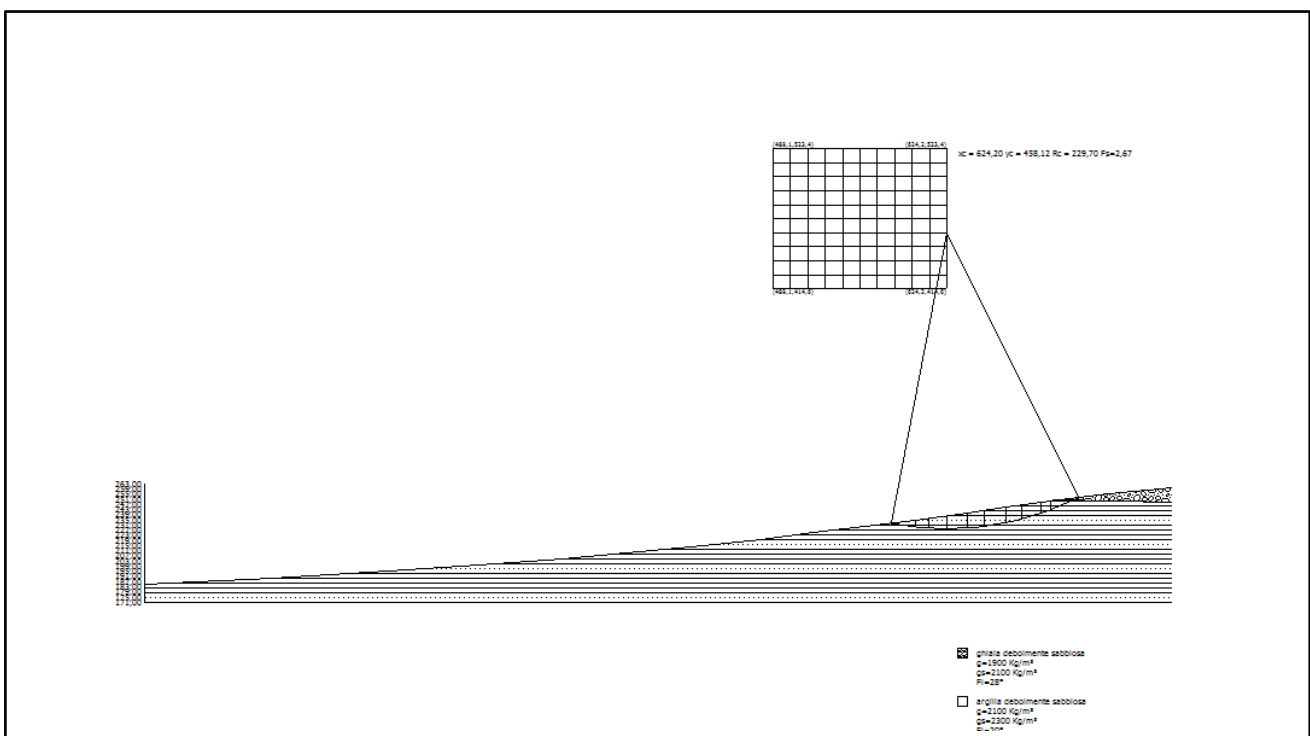
1. Il metodo adottato è il metodo di BELL poiché fornisce valori maggiormente sottostimati, quindi a favore della sicurezza, rispetto ad altri e pur validi metodi;
2. I calcoli di verifica di stabilità sono stati effettuati esclusivamente in condizione sismica e nella modalità di **S.L.U.** essendo il Comune di Ascoli Satriano classificato come zona **sismica 1**;

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.

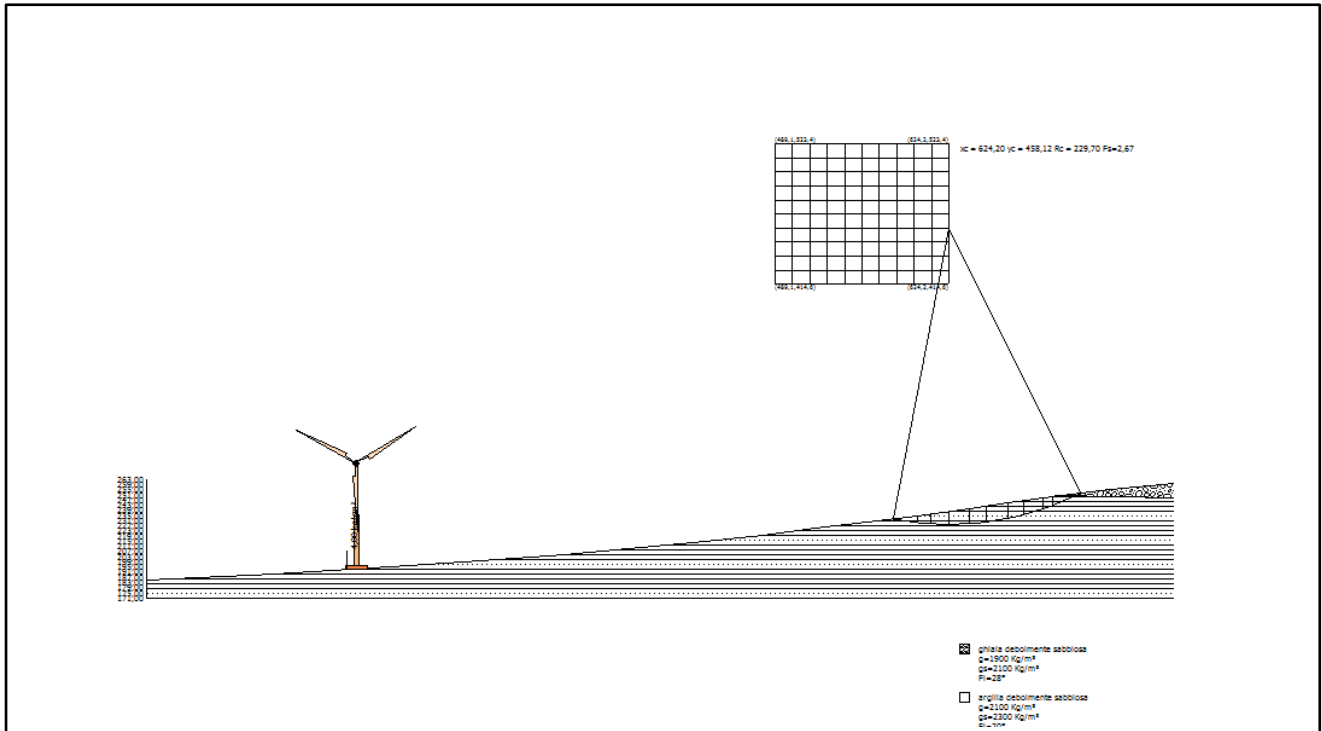
I risultati ottenuti dal calcolo e gli elaborati grafici illustrano dettagliatamente come le condizioni di equilibrio morfologico dell'area interessata dal presente lavoro sono caratterizzate da un coefficiente di sicurezza superioree a quello previsto dalla norma vigente.

Sez. A'__A	a.o.	_____	$F_s = 2.67 > 1.3$ Stabile
Sez. A'__A	p.o.	_____	$F_s = 2.67 > 1.3$ Stabile
Sez. B'__B	a.o.	_____	$F_s = 1.83 > 1.3$ Stabile
Sez. B'__B	p.o.	_____	$F_s = 1.83 > 1.3$ Stabile
Sez. C'__C	a.o.	_____	$F_s = 1.78 > 1.3$ Stabile
Sez. C'__C	p.o.	_____	$F_s = 1.78 > 1.3$ Stabile

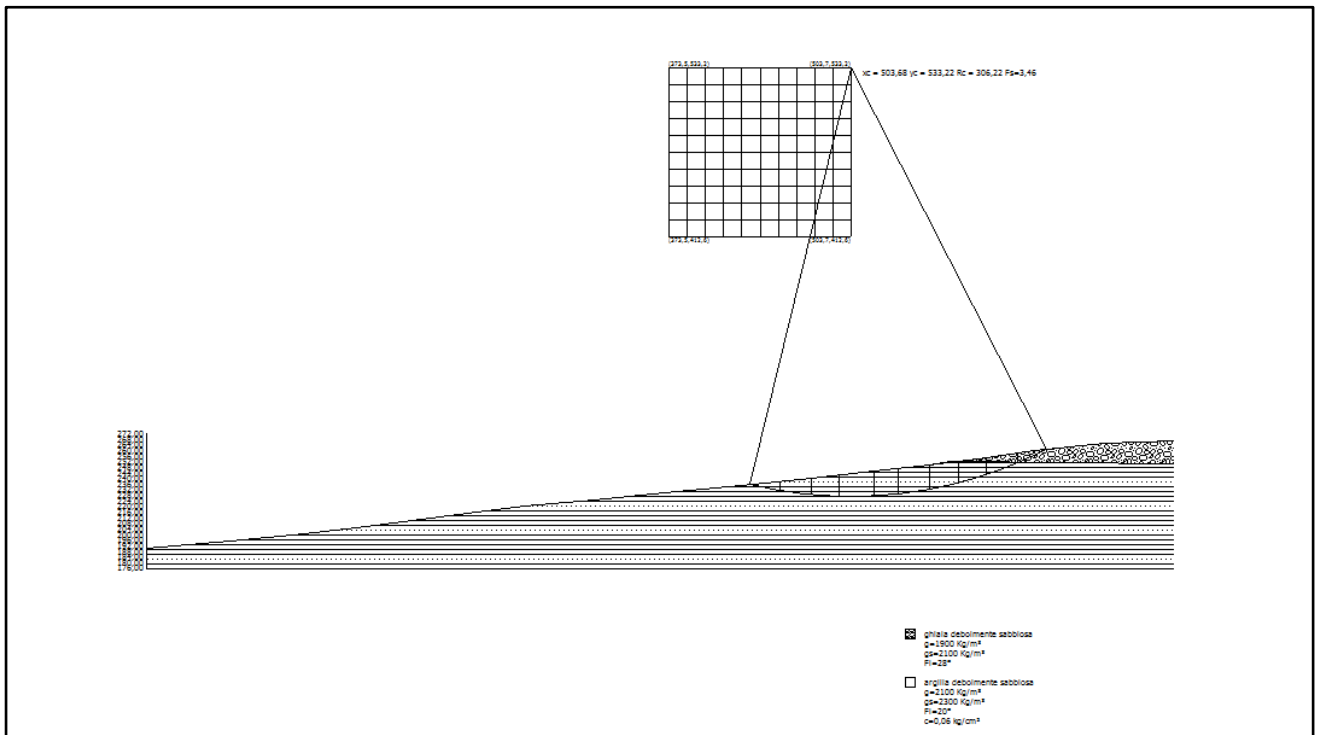
Il risultato ottenuto dai calcoli di verifica di stabilità dei versanti prima e dopo la realizzazione delle opere in progetto evidenzia come gli stessi non subiscono modificazioni delle condizioni di equilibrio geomorfologico in seguito alla realizzazione dei manufatti previsti dal progetto. Il carico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



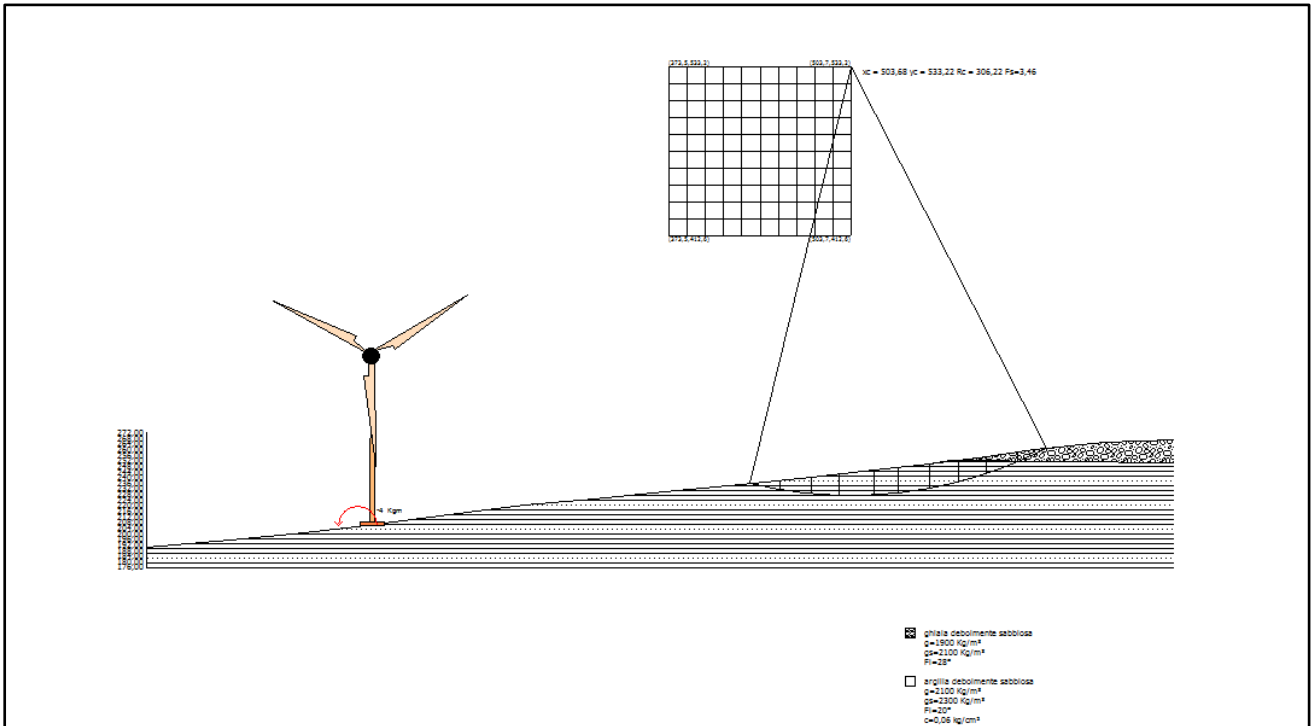
Sezione A' ____ A pendio naturale $F_s = 2,67 > 1,3$ pendio STABILE



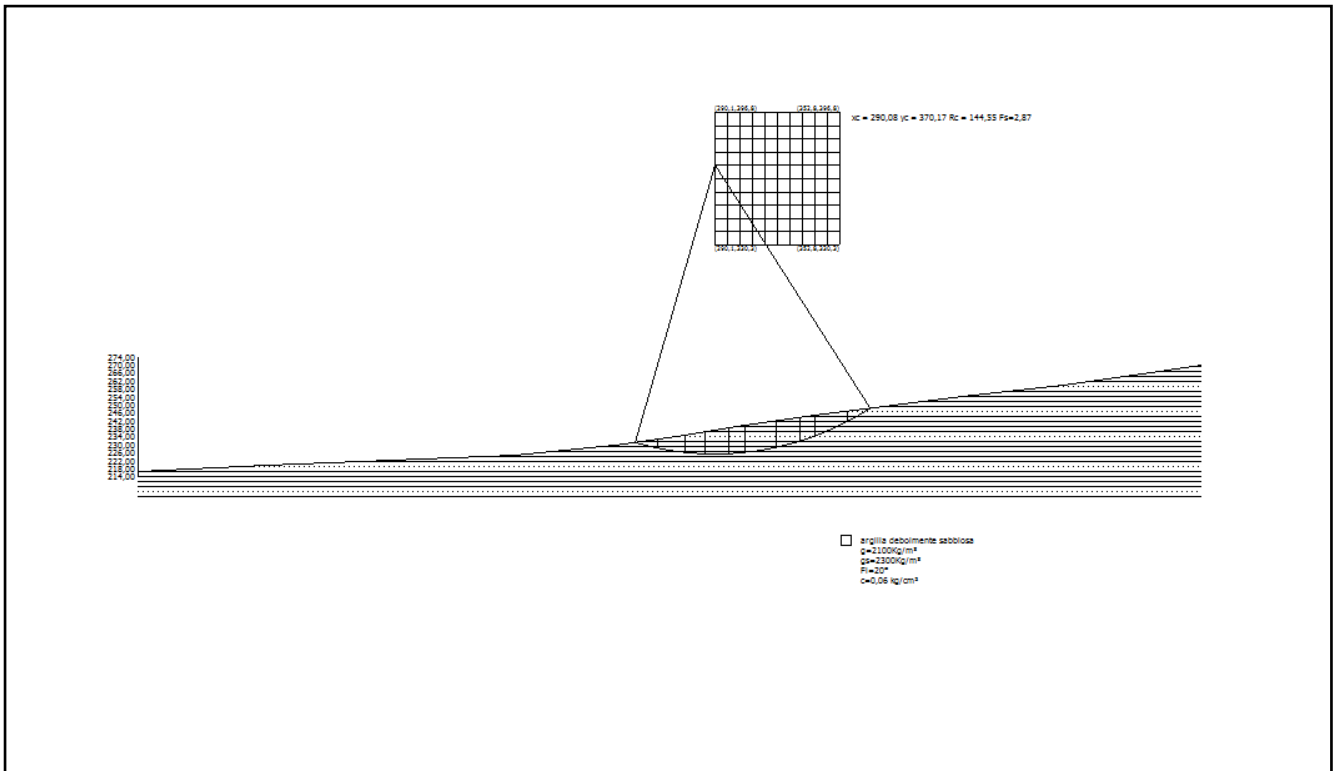
Sezione A' ____ A pendio gravato dal carico delle opere $F_s = 2,67 > 1,3$ pendio STABILE



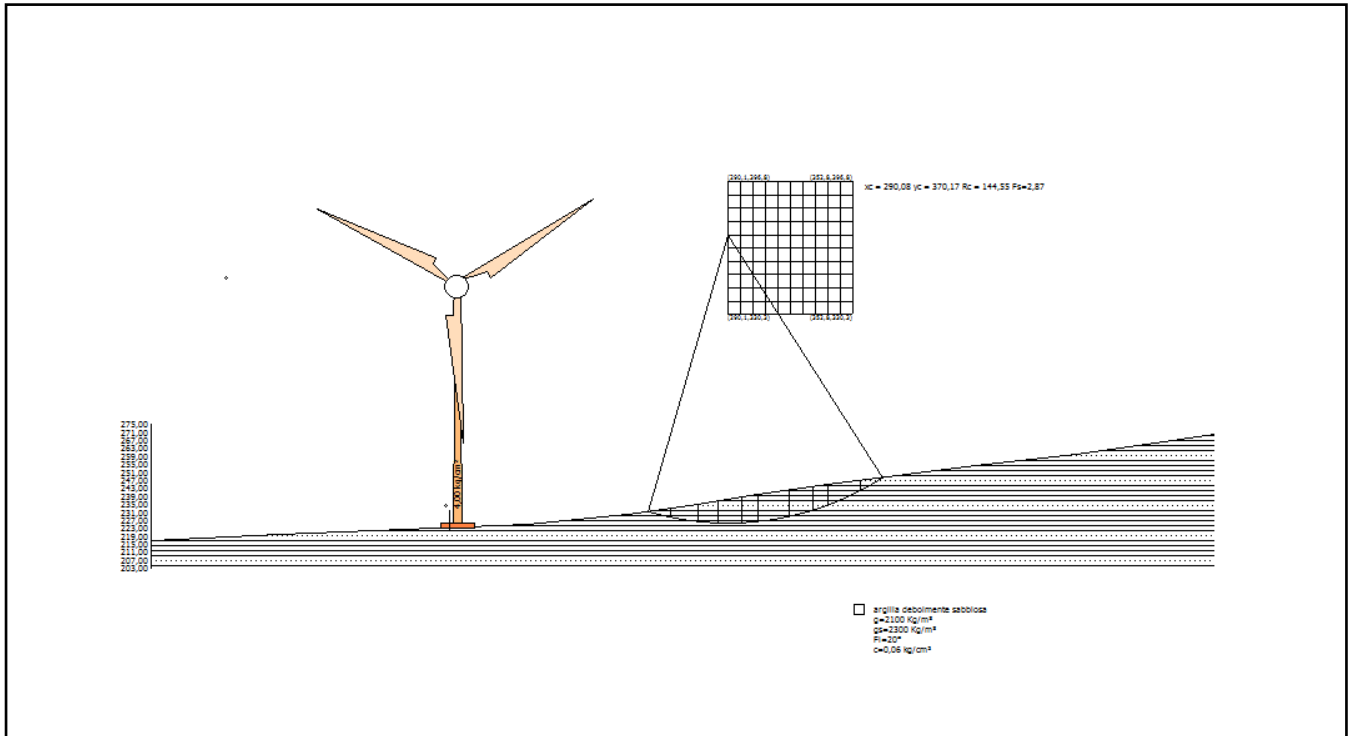
Sezione B' ____ B pendio naturale $F_s = 1.83 > 1,3$ pendio STABILE



Sezione B' ____ B pendio gravato dal carico delle opere $F_s = 1,83 > 1,3$ pendio STABILE



Sez. C' ____ C pendio naturale $F_s = 1,78 > 1,3$ pendio STABILE



Sez. C' _____ C pendio gravato dalle opere in progetto $F_s = 1,78 > 1,3$ pendio STABILE

CONCLUSIONI

Dalle verifiche analitiche di equilibrio geomorfologico di quelle aree che presentano una maggiore criticità, perché ubicate in versanti più acclivi rispetto all'intera area interessata dal progetto, si evince chiaramente 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. A maggior ragione le aree, caratterizzate da lievi pendenze o pianeggianti che non sono state oggetto di verifica analitica, conserveranno il loro stato di equilibrio geomorfologico anche dopo la costruzione del Parco Eolico nella sua interezza.

RELAZIONE DI CALCOLO

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.

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

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.

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

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

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.

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

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 K_c) 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_i 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:

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

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 K_c , 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 mezzzeria 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°; $S_T \geq 1,2$ 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.

PENDIO NATURALE A10

Analisi di stabilità dei pendii con BELL

Numero di strati	2,0
Numero dei conci	10,0
Superficie di forma circolare	
Maglia dei Centri	
Ascissa vertice sinistro inferiore xi	489,12 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	414,59 m
Ascissa vertice destro superiore xs	624,2 m
Ordinata vertice destro superiore ys	523,41 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:	S1
Latitudine:	41,25
Longitudine:	15,51
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:	C
Categoria topografica:	T1

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s ²]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	30,0	0,47	2,43	0,29
S.L.D.	50,0	0,59	2,56	0,32
S.L.V.	475,0	1,74	2,51	0,42
S.L.C.	975,0	2,39	2,46	0,43

Coefficienti sismici orizzontali e verticali

Opera: Stabilità dei pendii

S.L. Stato limite	amax [m/s ²]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0,705	0,2	0,0144	0,0072
S.L.D.	0,885	0,2	0,0181	0,009
S.L.V.	2,493	0,24	0,061	0,0305
S.L.C.	3,2032	0,28	0,0915	0,0457

Coefficiente azione sismica orizzontale	0,0144
Coefficiente azione sismica verticale	0,0072

Vertici profilo

N	X m	y m
1	0,0	185,0
2	100,0	190,0
3	190,0	195,0
4	260,0	200,0
5	325,0	205,0
6	385,0	210,0
7	435,0	215,0
8	480,0	220,0
9	520,0	225,0
10	560,0	230,0
11	600,0	235,0
12	640,0	240,0
13	670,0	245,0
14	705,0	250,0
15	750,0	255,0
16	800,0	260,0

Vertici strato1

N	X m	y m
1	0,0	185,0
2	100,0	190,0
3	190,0	195,0
4	260,0	200,0
5	325,0	205,0
6	385,0	210,0
7	435,0	215,0
8	480,0	220,0
9	520,0	225,0
10	560,0	230,0
11	600,0	235,0
12	640,0	240,0
13	670,0	245,0
14	705,0	250,0
15	707,41	250,27
16	800,0	248,21

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	28	1900	2100	0,00	ghiaia debolmente sabbiosa
2	0,06	20	2100	2300	0,00	argilla debolmente sabbiosa

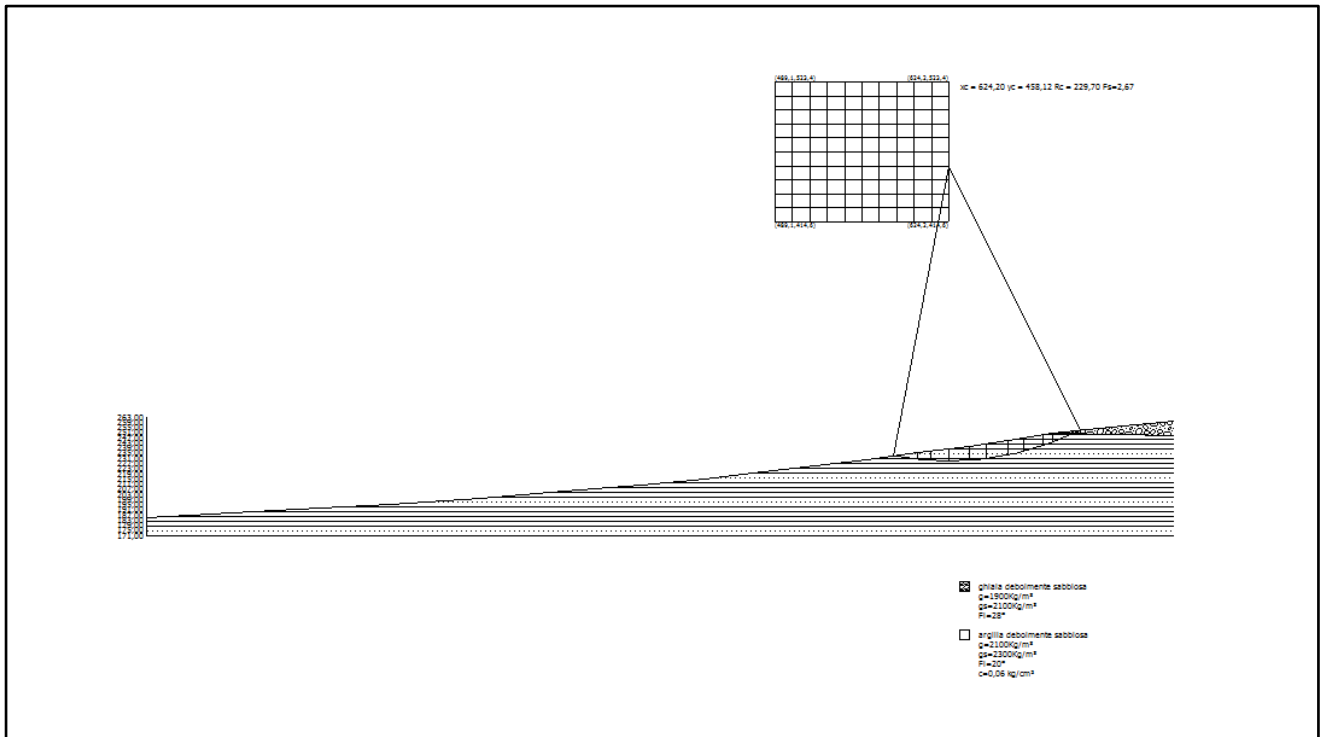
Risultati analisi pendio

Fs minimo individuato	2,67
Ascissa centro superficie	624,2 m
Ordinata centro superficie	458,12 m
Raggio superficie	229,7 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 = 624,202 yc = 458,119 Rc = 229,701 Fs=2,6695

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	19,34	-8,5	19,55	116226,4	1673,66	836,83	0,06	20,0	0,0	-334000,7	-41191,9
2	9,8	-4,8	9,83	131263,9	1890,2	945,1	0,06	20,0	0,0	-107535,9	-12460,1
3	14,57	-1,8	14,57	263255,8	3790,88	1895,44	0,06	20,0	0,0	-117616,4	-12762,1
4	15,64	2,0	15,65	343691,8	4949,16	2474,58	0,06	20,0	0,0	190314,9	29462,6
5	13,5	5,6	13,56	328662,8	4732,74	2366,37	0,06	20,0	0,0	442255,9	63331,0
6	16,5	9,4	16,73	419977,4	6047,68	3023,84	0,06	20,0	0,0	1158888,0	161714,2
7	12,63	13,1	12,97	304825,4	4389,49	2194,74	0,06	20,0	0,0	904338,2	126137,3
8	14,57	16,6	15,2	300608,1	4328,76	2164,38	0,06	20,0	0,0	1318056,0	182979,8
9	7,8	19,6	8,28	127370,9	1834,14	917,07	0,06	20,0	0,0	356022,0	50294,9
10	21,33	23,5	23,26	164261,7	2365,37	1182,68	0,06	20,0	0,0	1534152,0	213962,5



Sez. A' _____ A pendio naturale $F_s = 2.67 > 1.3$ STABILE

PENDIO GRAVATO DALLE OPERE IN PROGETTO A10

Analisi di stabilità dei pendii con BELL

Numero di strati	2,0
Numero dei conci	10,0

Superficie di forma circolare

Maglia dei Centri

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	489,12 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	414,59 m
Ascissa vertice destro superiore xs	624,2 m
Ordinata vertice destro superiore ys	523,41 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:	S1
Latitudine:	41,25
Longitudine:	15,51
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:	C
Categoria topografica:	T1

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s ²]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	30,0	0,47	2,43	0,29
S.L.D.	50,0	0,59	2,56	0,32
S.L.V.	475,0	1,74	2,51	0,42
S.L.C.	975,0	2,39	2,46	0,43

Coefficienti sismici orizzontali e verticali

Opera: Stabilità dei pendii

S.L. Stato limite	amax [m/s ²]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0,705	0,2	0,0144	0,0072
S.L.D.	0,885	0,2	0,0181	0,009
S.L.V.	2,493	0,24	0,061	0,0305
S.L.C.	3,2032	0,28	0,0915	0,0457

Coefficiente azione sismica orizzontale 0,0144
 Coefficiente azione sismica verticale 0,0072

Vertici profilo

N	X m	y m
1	0,0	185,0
2	100,0	190,0
3	190,0	195,0
4	260,0	200,0
5	325,0	205,0
6	385,0	210,0
7	435,0	215,0
8	480,0	220,0
9	520,0	225,0
10	560,0	230,0
11	600,0	235,0
12	640,0	240,0
13	670,0	245,0
14	705,0	250,0
15	750,0	255,0
16	800,0	260,0

Vertici strato1

N	X m	y m
1	0,0	185,0
2	100,0	190,0
3	190,0	195,0
4	260,0	200,0
5	325,0	205,0
6	385,0	210,0
7	435,0	215,0
8	480,0	220,0
9	520,0	225,0
10	560,0	230,0
11	600,0	235,0
12	640,0	240,0
13	670,0	245,0
14	705,0	250,0
15	707,41	250,27
16	800,0	248,21

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	28	1900	2100	0,00	ghiaia debolmente sabbiosa
2	0,06	20	2100	2300	0,00	argilla debolmente sabbiosa

Carichi distribuiti

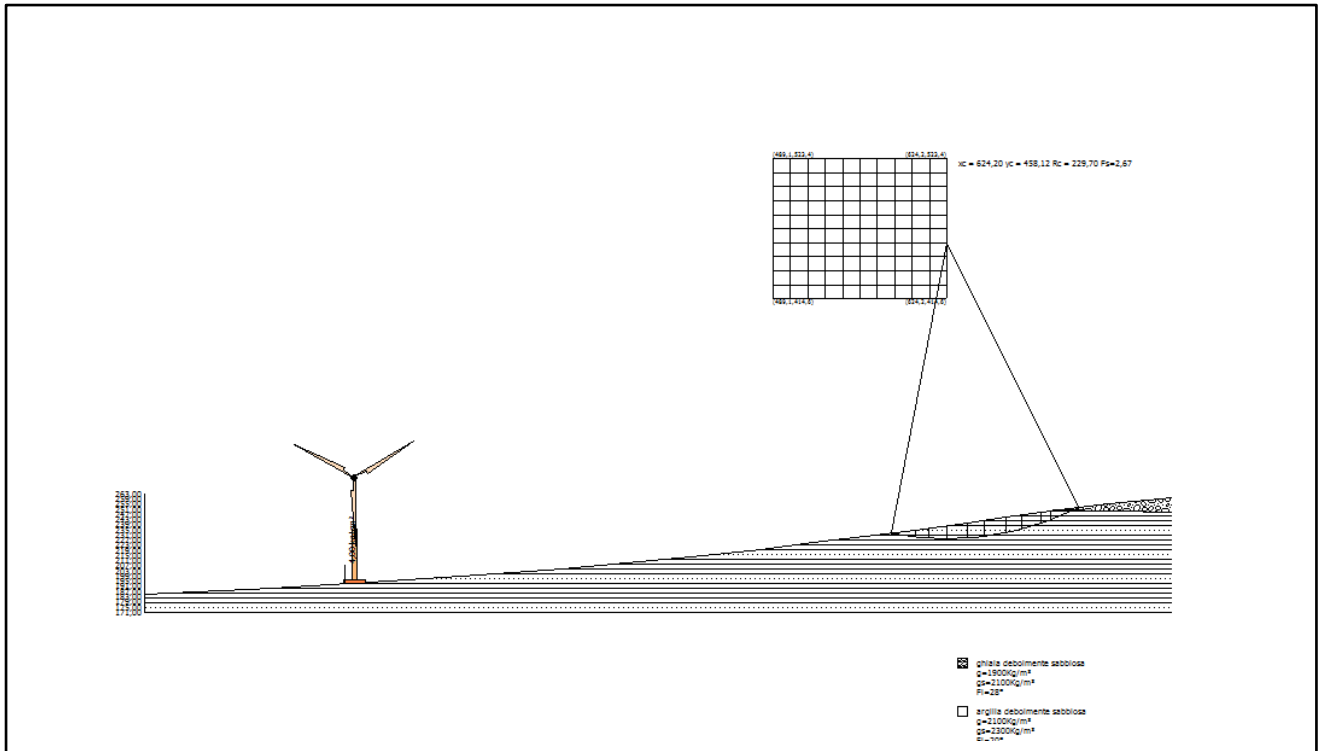
N°	xi m	yi m	xf m	yf m	Carico esterno (kg/cm ²)
1	156,1	193,33	156,1	193,33	4

Risultati analisi pendio

Fs minimo individuato	2,67
Ascissa centro superficie	624,2 m
Ordinata centro superficie	458,12 m
Raggio superficie	229,7 m

Analisi dei conci. Superficie...xc = 624,202 yc = 458,119 Rc = 229,701 Fs=2,6695

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	19,34	-8,5	19,55	116226,4	1673,66	836,83	0,06	20,0	0,0	-334000,7	-41191,9
2	9,8	-4,8	9,83	131263,9	1890,2	945,1	0,06	20,0	0,0	-107535,9	-12460,1
3	14,57	-1,8	14,57	263255,8	3790,88	1895,44	0,06	20,0	0,0	-117616,4	-12762,1
4	15,64	2,0	15,65	343691,8	4949,16	2474,58	0,06	20,0	0,0	190314,9	29462,6
5	13,5	5,6	13,56	328662,8	4732,74	2366,37	0,06	20,0	0,0	442255,9	63331,0
6	16,5	9,4	16,73	419977,4	6047,68	3023,84	0,06	20,0	0,0	1158888,0	161714,2
7	12,63	13,1	12,97	304825,4	4389,49	2194,74	0,06	20,0	0,0	904338,2	126137,3
8	14,57	16,6	15,2	300608,1	4328,76	2164,38	0,06	20,0	0,0	1318056,0	182979,8
9	7,8	19,6	8,28	127370,9	1834,14	917,07	0,06	20,0	0,0	356022,0	50294,9
10	21,33	23,5	23,26	164261,7	2365,37	1182,68	0,06	20,0	0,0	1534152,0	213962,5



Sez. A' _____ A Pendio gravato dalle opere in progetto $F_s = 2.67 > 1.3$ STABILE

PENDIO NATURALE A9

Analisi di stabilità dei pendii con BELL

Numero di strati	2,0
Numero dei conci	10,0
Superficie di forma circolare	

Maglia dei Centri

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	373,53 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	412,55 m
Ascissa vertice destro superiore xs	503,68 m
Ordinata vertice destro superiore ys	533,22 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:	S1
Latitudine:	41,25
Longitudine:	15,51
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:	C
Categoria topografica:	T1

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s ²]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	30,0	0,471	2,43	0,29
S.L.D.	50,0	0,59	2,56	0,32
S.L.V.	475,0	1,738	2,51	0,42
S.L.C.	975,0	2,392	2,45	0,43

Coefficienti sismici orizzontali e verticali

Opera: Stabilità dei pendii

S.L. Stato limite	amax [m/s ²]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0,7065	0,2	0,0144	0,0072
S.L.D.	0,885	0,2	0,0181	0,009
S.L.V.	2,4907	0,24	0,061	0,0305
S.L.C.	3,2087	0,28	0,0916	0,0458

Coefficiente azione sismica orizzontale	0,0916
Coefficiente azione sismica verticale	0,0458

Vertici profilo

N	X m	y m
1	0,0	190,0
2	60,0	195,0
3	105,0	200,0
4	150,0	205,0
5	190,0	210,0
6	230,0	215,0
7	270,0	220,0
8	320,0	225,0
9	370,0	230,0
10	425,0	235,0
11	475,0	240,0
12	520,0	245,0
13	560,0	250,0
14	600,0	255,0
15	635,0	260,0
16	685,0	265,0
17	735,0	267,0

Vertici strato1

N	X m	y m
1	0,0	190,0
2	60,0	195,0
3	105,0	200,0
4	150,0	205,0
5	190,0	210,0
6	230,0	215,0
7	270,0	220,0
8	320,0	225,0
9	370,0	230,0
10	425,0	235,0
11	475,0	240,0
12	520,0	245,0
13	560,0	250,0
14	575,04	251,88
15	735,0	250,16

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	28	1900	2100	0,00		ghiaia debolmente sabbiosa
2	0,06	20	2100	2300	0,00		argilla debolmente sabbiosa

Carichi distribuiti

N°	xi m	yi m	xf m	yf m	Carico esterno (kg/cm ²)
1	151,7	205,38	151,7	205,38	0

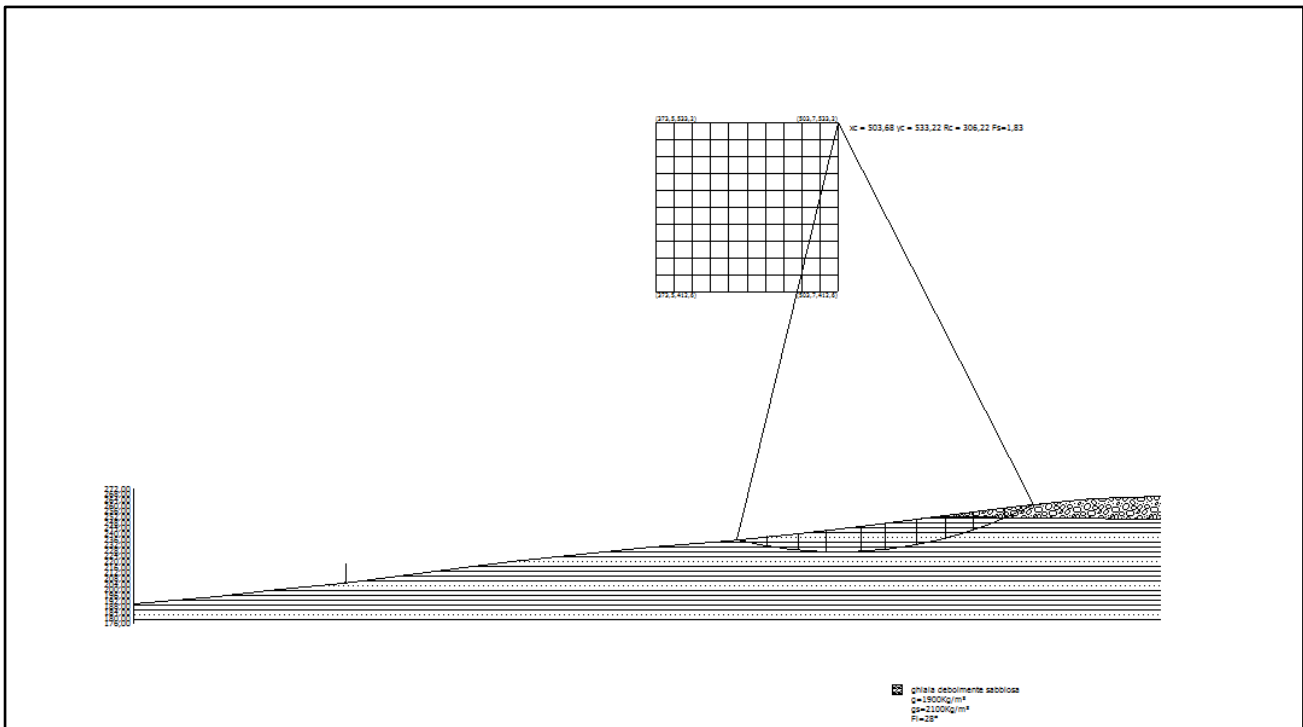
Risultati analisi pendio

Fs minimo individuato	1,83
Ascissa centro superficie	503,68 m
Ordinata centro superficie	533,22 m
Raggio superficie	306,22 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 concii. Superficie...xc = 503,675 yc = 533,215 Rc = 306,22 Fs=1,8335

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	21,22	-11,6	21,67	153291,6	14041,51	7020,76	0,06	20,0	0,0	-621441,9	-116419,0
2	22,36	-7,5	22,55	435794,1	39918,74	19959,37	0,06	20,0	0,0	-1204243,0	-231742,6
3	20,09	-3,5	20,13	571905,3	52386,53	26193,26	0,06	20,0	0,0	-655883,1	-123626,3
4	24,91	0,7	24,91	868086,9	79516,77	39758,38	0,06	20,0	0,0	272910,7	62327,3
5	17,54	4,7	17,6	665695,8	60977,73	30488,87	0,06	20,0	0,0	922360,5	188841,5
6	22,46	8,5	22,71	861301,2	78895,19	39447,59	0,06	20,0	0,0	2753095,0	553875,9
7	19,99	12,5	20,48	713091,4	65319,17	32659,59	0,06	20,0	0,0	3019489,0	605951,3
8	20,01	16,4	20,86	594273,8	54435,48	27217,74	0,06	20,0	0,0	3333942,0	668380,6
9	22,44	20,6	23,97	453076,3	41501,79	20750,89	0,06	20,0	0,0	3638513,0	729637,2
10	21,22	25,0	23,42	163464,2	14973,32	7486,66	0,0	28,0	0,0	1542754,0	447399,3



Sez. B' _____ B pendio naturale Fs = 1.83 > 1.3 STABILE

PENDIO GRAVATO DAI CARICHI DI PROGETTO A9

Analisi di stabilità dei pendii con BELL

Numero di strati	2,0
Numero dei conci	10,0

Superficie di forma circolare

Maglia dei Centri

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	373,53 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	412,55 m
Ascissa vertice destro superiore xs	503,68 m
Ordinata vertice destro superiore ys	533,22 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:	S1
Latitudine:	41,25
Longitudine:	15,51
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:	C
Categoria topografica:	T1

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s ²]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	30,0	0,471	2,43	0,29
S.L.D.	50,0	0,59	2,56	0,32
S.L.V.	475,0	1,738	2,51	0,42
S.L.C.	975,0	2,392	2,45	0,43

Coefficienti sismici orizzontali e verticali

Opera: Stabilità dei pendii

S.L. Stato limite	amax [m/s ²]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0,7065	0,2	0,0144	0,0072
S.L.D.	0,885	0,2	0,0181	0,009
S.L.V.	2,4907	0,24	0,061	0,0305
S.L.C.	3,2087	0,28	0,0916	0,0458

Coefficiente azione sismica orizzontale	0,0916
Coefficiente azione sismica verticale	0,0458

Vertici profilo

N	X m	y m
1	0,0	190,0
2	60,0	195,0
3	105,0	200,0
4	150,0	205,0
5	190,0	210,0
6	230,0	215,0
7	270,0	220,0
8	320,0	225,0
9	370,0	230,0
10	425,0	235,0
11	475,0	240,0
12	520,0	245,0
13	560,0	250,0
14	600,0	255,0
15	635,0	260,0
16	685,0	265,0
17	735,0	267,0

Vertici strato1

N	X m	y m
1	0,0	190,0
2	60,0	195,0
3	105,0	200,0
4	150,0	205,0
5	190,0	210,0
6	230,0	215,0
7	270,0	220,0
8	320,0	225,0
9	370,0	230,0
10	425,0	235,0
11	475,0	240,0
12	520,0	245,0
13	560,0	250,0
14	575,04	251,88
15	735,0	250,16

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	28	1900	2100	0,00	ghiaia debolmente sabbiosa
2	0,06	20	2100	2300	0,00	argilla debolmente sabbiosa

Carichi distribuiti

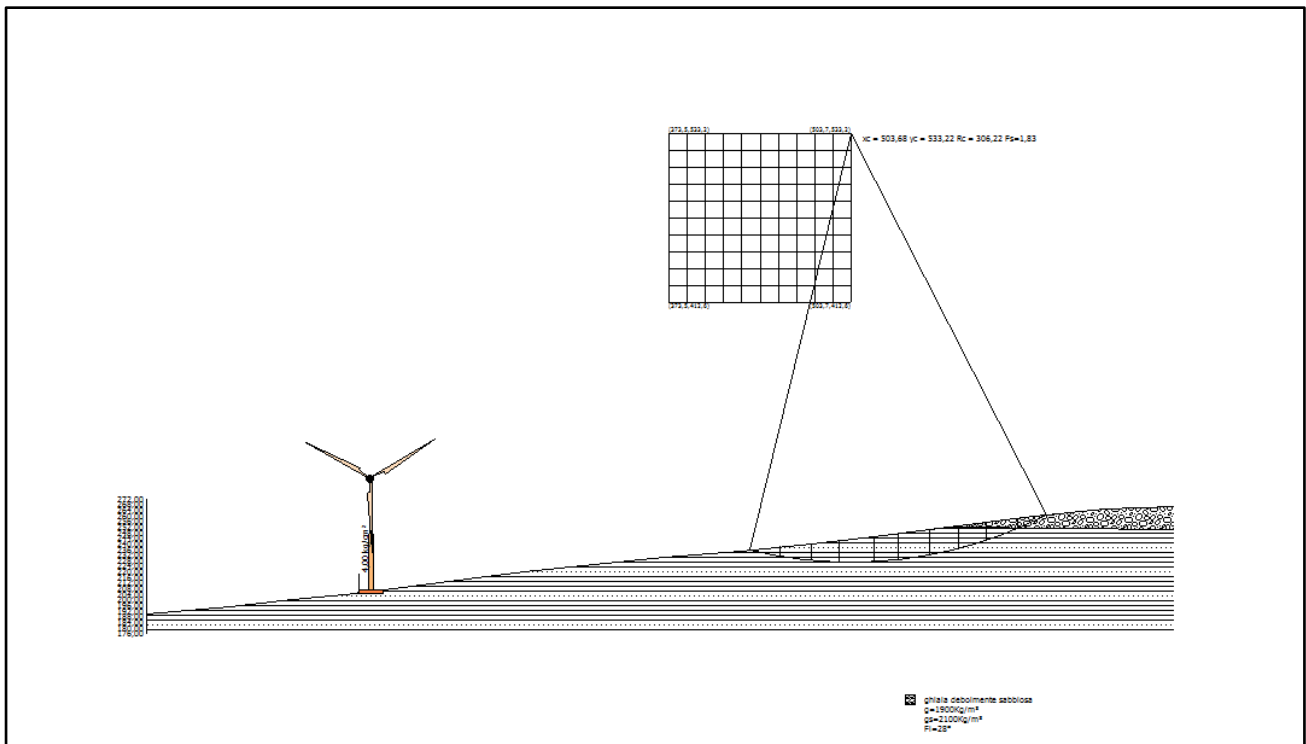
N°	xi m	yi m	xf m	yf m	Carico esterno (kg/cm ²)
1	151,7	205,38	151,7	205,38	4

Risultati analisi pendio

Fs minimo individuato	1,83
Ascissa centro superficie	503,68 m
Ordinata centro superficie	533,22 m
Raggio superficie	306,22 m

Analisi dei conci. Superficie...xc = 503,675 yc = 533,215 Rc = 306,22 Fs=1,8335

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	21,22	-11,6	21,67	153291,6	14041,51	7020,76	0,06	20,0	0,0	-621441,9	-116419,0
2	22,36	-7,5	22,55	435794,1	39918,74	19959,37	0,06	20,0	0,0	-1204243,0	-231742,6
3	20,09	-3,5	20,13	571905,3	52386,53	26193,26	0,06	20,0	0,0	-655883,1	-123626,3
4	24,91	0,7	24,91	868086,9	79516,77	39758,38	0,06	20,0	0,0	272910,7	62327,3
5	17,54	4,7	17,6	665695,8	60977,73	30488,87	0,06	20,0	0,0	922360,5	188841,5
6	22,46	8,5	22,71	861301,2	78895,19	39447,59	0,06	20,0	0,0	2753095,0	553875,9
7	19,99	12,5	20,48	713091,4	65319,17	32659,59	0,06	20,0	0,0	3019489,0	605951,3
8	20,01	16,4	20,86	594273,8	54435,48	27217,74	0,06	20,0	0,0	3333942,0	668380,6
9	22,44	20,6	23,97	453076,3	41501,79	20750,89	0,06	20,0	0,0	3638513,0	729637,2
10	21,22	25,0	23,42	163464,2	14973,32	7486,66	0,0	28,0	0,0	1542754,0	447399,3



PENDIO NATURALE A1

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	290,08 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	330,27 m
Ascissa vertice destro superiore xs	352,82 m
Ordinata vertice destro superiore ys	396,77 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:	S1
Latitudine:	41,2457
Longitudine:	15,5116
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:	T1

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s ²]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	30,0	0,471	2,43	0,29
S.L.D.	50,0	0,59	2,56	0,32
S.L.V.	475,0	1,738	2,51	0,42
S.L.C.	975,0	2,392	2,46	0,43

Coefficienti sismici orizzontali e verticali

Opera: Stabilità dei pendii

S.L. Stato limite	amax [m/s ²]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0,5652	0,2	0,0115	0,0058
S.L.D.	0,708	0,2	0,0144	0,0072
S.L.V.	2,0856	0,24	0,051	0,0255
S.L.C.	2,7746	0,28	0,0792	0,0396

Coefficiente azione sismica orizzontale	0,0792
Coefficiente azione sismica verticale	0,0396

Vertici profilo

N	X m	y m
1	0,0	217,0
2	65,0	220,0
3	190,0	225,0
4	240,0	230,0
5	275,0	235,0
6	305,0	240,0
7	340,0	245,0
8	380,0	250,0
9	420,0	255,0
10	465,0	260,0
11	500,0	265,0
12	535,0	270,0

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	0,06	20	2100	2300	0,00	argilla debolmente sabbiosa

Carichi distribuiti

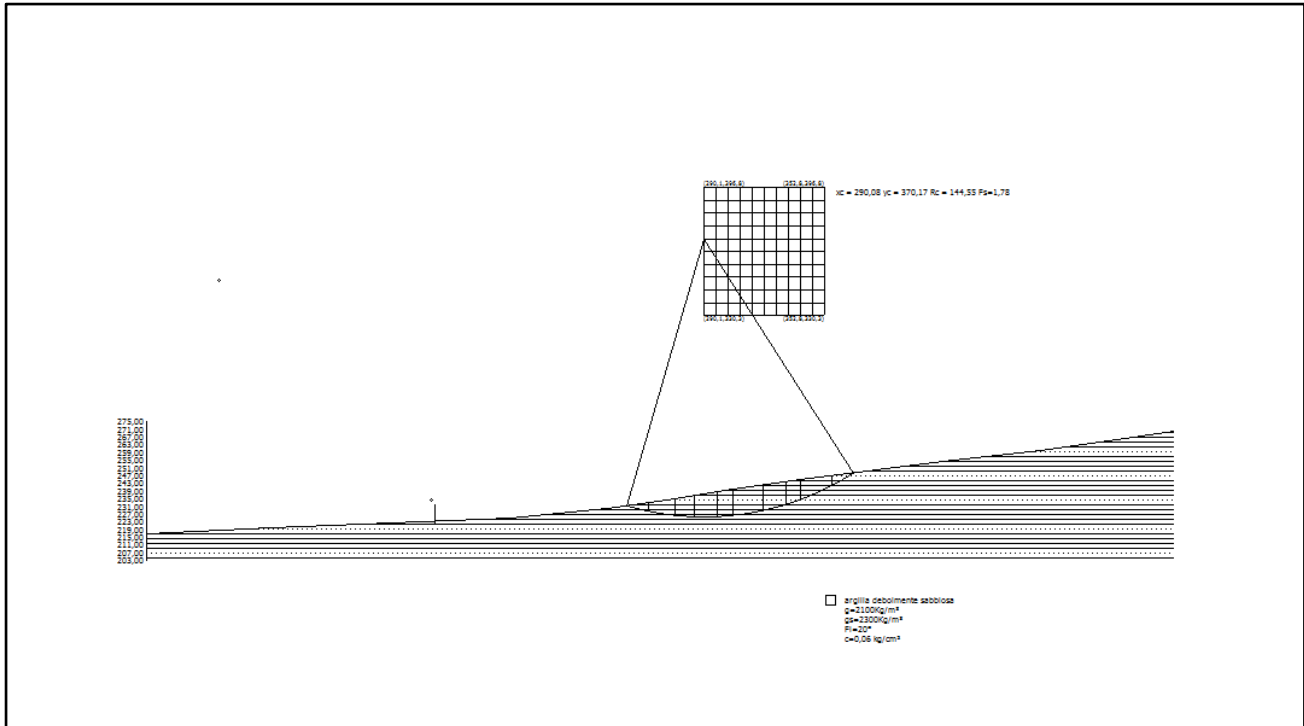
N°	xi m	yi m	xf m	yf m	Carico esterno (kg/cm ²)
1	150,19	222,37	150,19	222,37	0

Risultati analisi pendio

Fs minimo individuato	1,78
Ascissa centro superficie	290,08 m
Ordinata centro superficie	370,17 m
Raggio superficie	144,55 m

Analisi dei conchi. Superficie...xc = 290,084 yc = 370,169 Rc = 144,554 Fs=1,7786

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	11,85	-13,8	12,2	60638,96	4802,61	2401,3	0,06	20,0	0,0	-165256,2	-29819,2
2	13,48	-8,7	13,64	191565,3	15171,98	7585,99	0,06	20,0	0,0	-377091,0	-72616,7
3	10,22	-4,0	10,24	212249,6	16810,17	8405,09	0,06	20,0	0,0	-141551,6	-25519,6
4	11,85	0,4	11,85	300434,9	23794,44	11897,22	0,06	20,0	0,0	29468,6	10028,0
5	7,93	4,3	7,95	221689,3	17557,79	8778,9	0,06	20,0	0,0	132085,6	29704,9
6	15,77	9,1	15,97	453778,5	35939,26	17969,63	0,06	20,0	0,0	1114875,0	233460,6
7	11,85	14,7	12,25	317848,4	25173,59	12586,8	0,06	20,0	0,0	960134,9	200473,6
8	7,38	18,7	7,79	174610,5	13829,15	6914,58	0,06	20,0	0,0	423268,2	89104,2
9	16,32	23,7	17,83	281960,1	22331,24	11165,62	0,06	20,0	0,0	1965370,0	407687,1
10	11,85	30,0	13,68	71306,72	5647,49	2823,75	0,06	20,0	0,0	473493,2	100890,4



Sez. C' _____ C pendio naturale $F_s = 1.78 > 1.3$ STABILE

PENDIO GRAVATO DAI CARICHI DI PROGETTO A1

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	290,08 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	330,27 m
Ascissa vertice destro superiore xs	352,82 m
Ordinata vertice destro superiore ys	396,77 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:	S1
Latitudine:	41,2457
Longitudine:	15,5116
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:

T1

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s ²]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	30,0	0,471	2,43	0,29
S.L.D.	50,0	0,59	2,56	0,32
S.L.V.	475,0	1,738	2,51	0,42
S.L.C.	975,0	2,392	2,46	0,43

Coefficienti sismici orizzontali e verticali

Opera:

Stabilità dei pendii

S.L. Stato limite	amax [m/s ²]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0,5652	0,2	0,0115	0,0058
S.L.D.	0,708	0,2	0,0144	0,0072
S.L.V.	2,0856	0,24	0,051	0,0255
S.L.C.	2,7746	0,28	0,0792	0,0396

Coefficiente azione sismica orizzontale

0,0792

Coefficiente azione sismica verticale

0,0396

Vertici profilo

N	X m	y m
1	0,0	217,0
2	65,0	220,0
3	190,0	225,0
4	240,0	230,0
5	275,0	235,0
6	305,0	240,0
7	340,0	245,0
8	380,0	250,0
9	420,0	255,0
10	465,0	260,0
11	500,0	265,0
12	535,0	270,0

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	0,06	20	2100	2300	0,00	argilla debolmente sabbiosa

Carichi distribuiti

N°	xi m	yi m	xf m	yf m	Carico esterno (kg/cm ²)
1	150,19	222,37	150,19	222,37	4

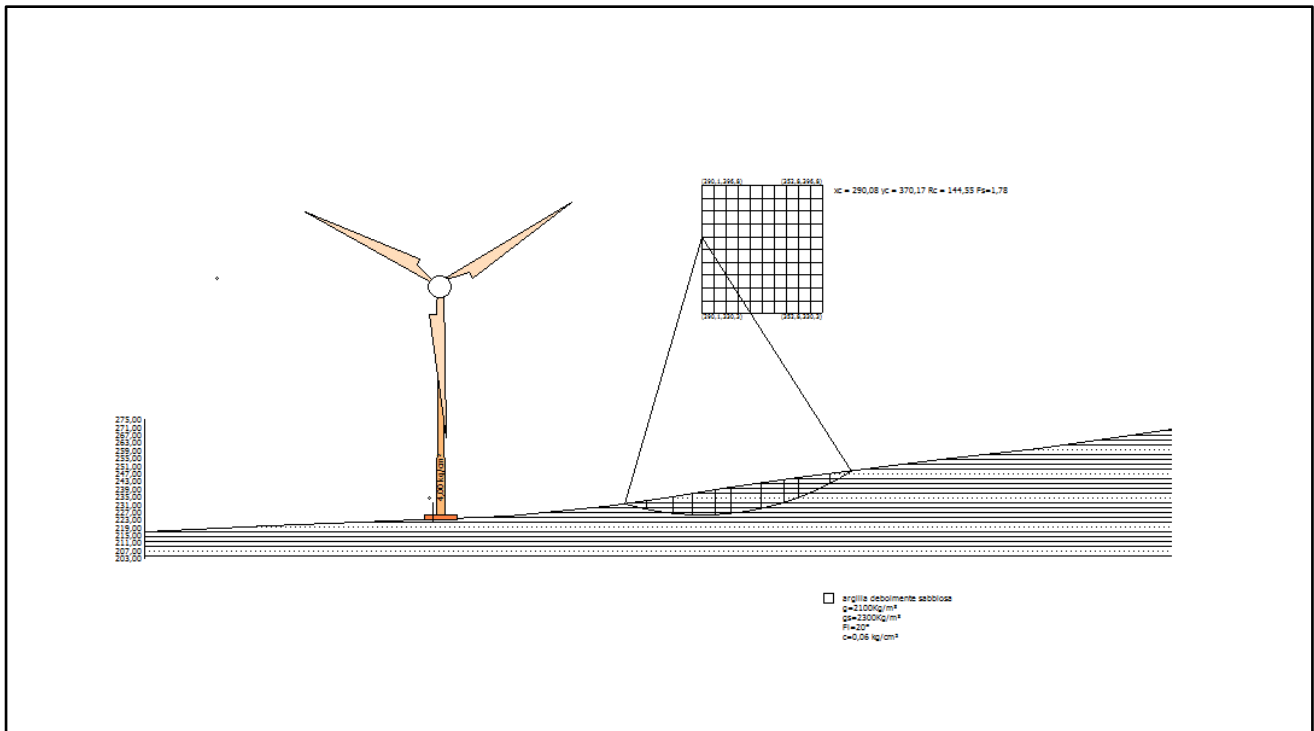
Risultati analisi pendio

Fs minimo individuato	1,78
Ascissa centro superficie	290,08 m
Ordinata centro superficie	370,17 m
Raggio superficie	144,55 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 = 290,084 yc = 370,169 Rc = 144,554 Fs=1,7786

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (kg/cm²)	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
1	11,85	-13,8	12,2	60638,96	4802,61	2401,3	0,06	20,0	0,0	-165256,2	-29819,2
2	13,48	-8,7	13,64	191565,3	15171,98	7585,99	0,06	20,0	0,0	-377091,0	-72616,7
3	10,22	-4,0	10,24	212249,6	16810,17	8405,09	0,06	20,0	0,0	-141551,6	-25519,6
4	11,85	0,4	11,85	300434,9	23794,44	11897,22	0,06	20,0	0,0	29468,6	10028,0
5	7,93	4,3	7,95	221689,3	17557,79	8778,9	0,06	20,0	0,0	132085,6	29704,9
6	15,77	9,1	15,97	453778,5	35939,26	17969,63	0,06	20,0	0,0	1114875,0	233460,6
7	11,85	14,7	12,25	317848,4	25173,59	12586,8	0,06	20,0	0,0	960134,9	200473,6
8	7,38	18,7	7,79	174610,5	13829,15	6914,58	0,06	20,0	0,0	423268,2	89104,2
9	16,32	23,7	17,83	281960,1	22331,24	11165,62	0,06	20,0	0,0	1965370,0	407687,1
10	11,85	30,0	13,68	71306,72	5647,49	2823,75	0,06	20,0	0,0	473493,2	100890,4



Sez. C' _____ C pendio gravato dai carichi di progetto Fs 1.78 > 1.3 STABILE





ALLEGATI

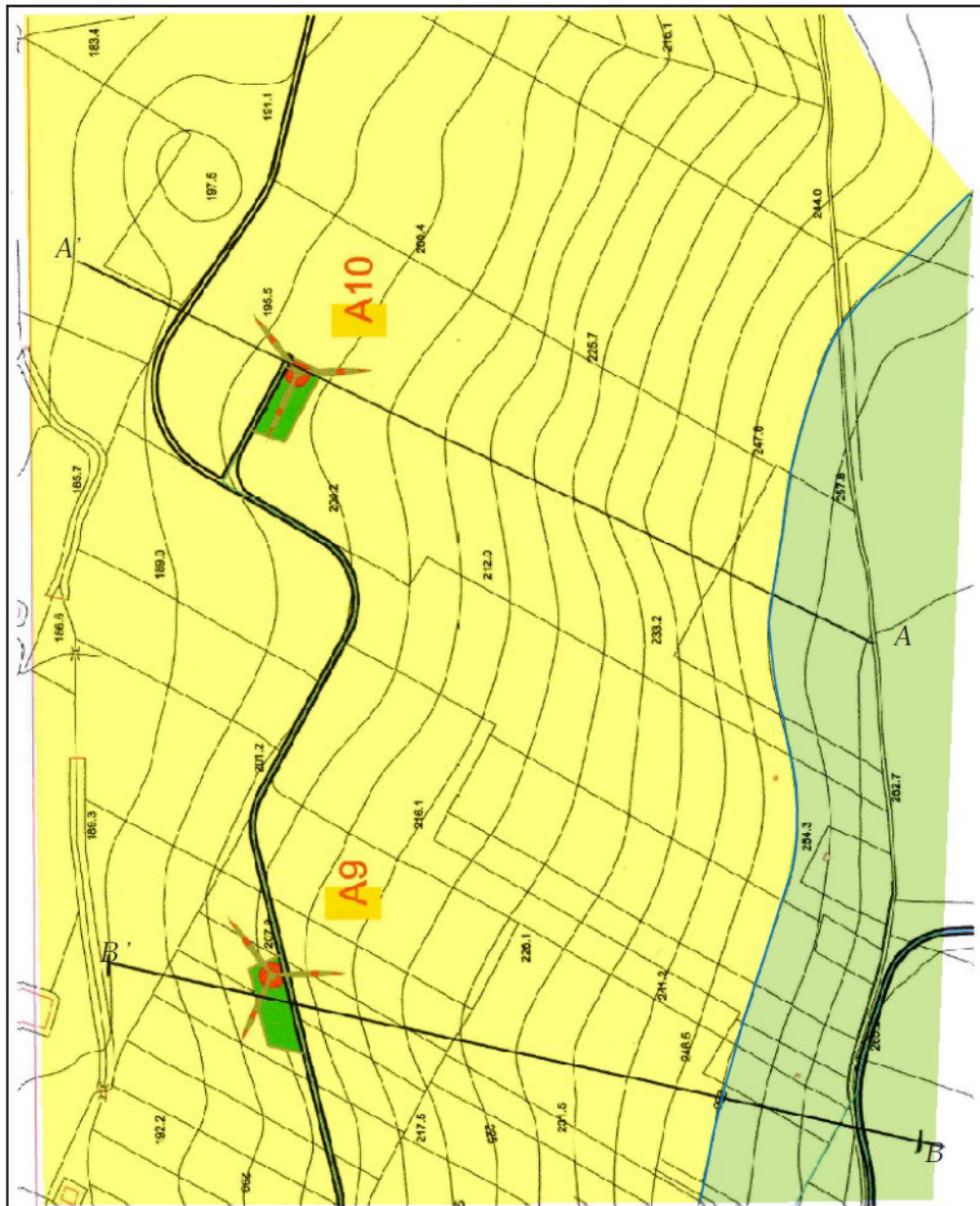
Carta Geolitologica in scala 1:5000

Indagini indirette di tipo MASW- ReMi


PARCO EOLICO SAN POTTO
ASCOLI SATRIANO


CARTA GEOLITOLOGICA
scala 1:5000

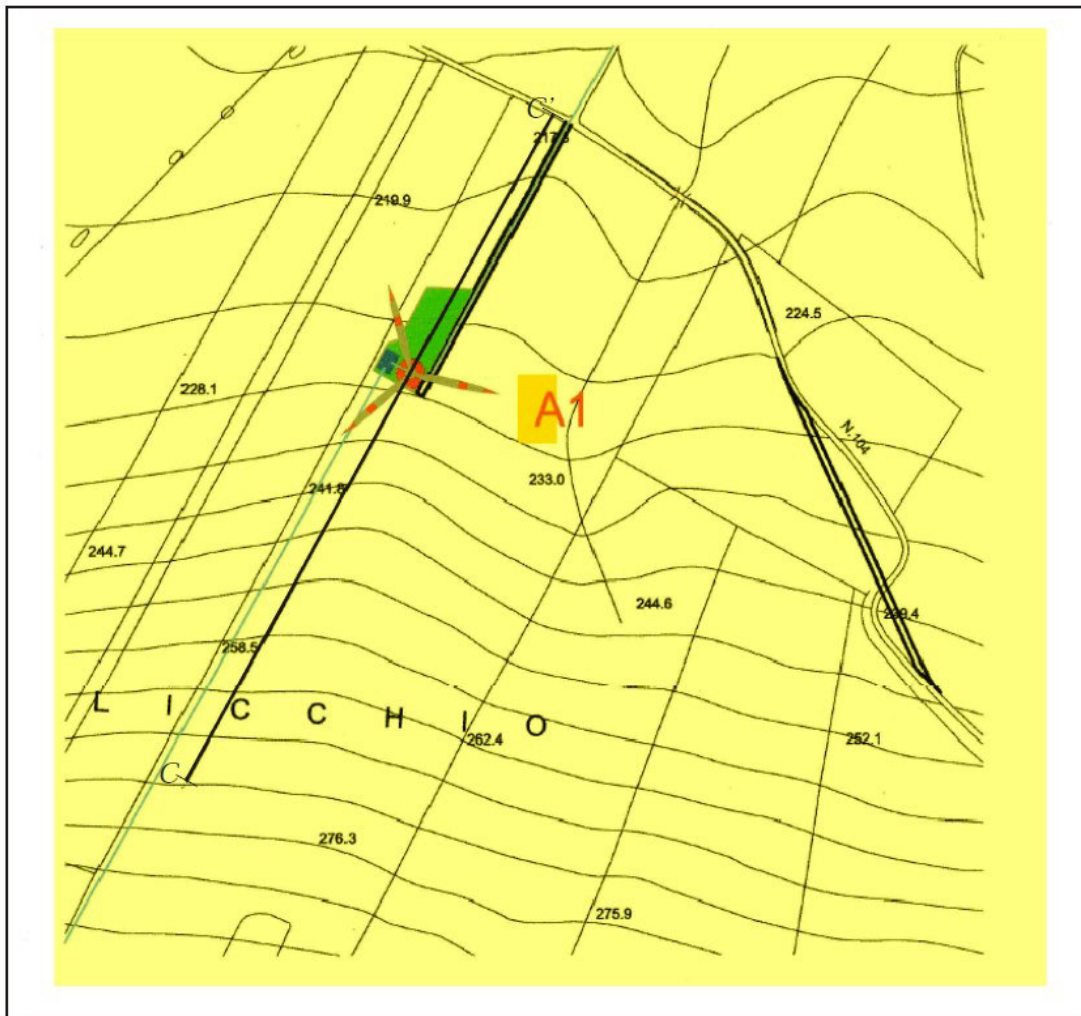
-  *Subsistema di Monte Livagni: conglomerati poligenici poco selezionati ma ben cementati. (Pleistocene Medio)*
-  *Argille Subappennine: Silt argillosi e marne siltose grigie a stratificazione poco evidente. (Calabriano)*
-  *Contatto litologico*
-  *Traccia di sezione di verifica di stabilità pendio*



PARCO EOLICO SAN POTITO
ASCOLI SATTRIANO
CARTA GEOLITOLOGICA
Scala 1 : 5000

 Argille Subappennine: Silt argillosi e mame siltose grigie a stratificazione poco evidente. (CALABRIANO)

 Traccia di sezione di verifica di stabilità pendio



laboratorio
geoTecnico terre - rocce - aggregati - prove cicliche e dinamiche -
Ge prove geotecniche in sito - geochimica ambientale -
St prospezioni geofisiche - prove non distruttive - misura del Radon
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
r.o.s. di Carbone Andrea & C.

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



Certitalia
Sistemi di Gestione Certificati
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 : Winderg srl

PROGETTO : Impianto eolico "San Potito" - Ascoli Satriano (FG)

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 VS_{eq}	8
5. ALLEGATI MASW-REMI	12

1. PREMESSA

Nel mese di marzo 2019 per il progetto: **Impianto eolico "San Potito" - Ascoli Satriano (FG)**, è stata eseguita una campagna di indagini geofisiche. Tale campagna è consistita nelle seguenti prospezioni:

- N°3 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

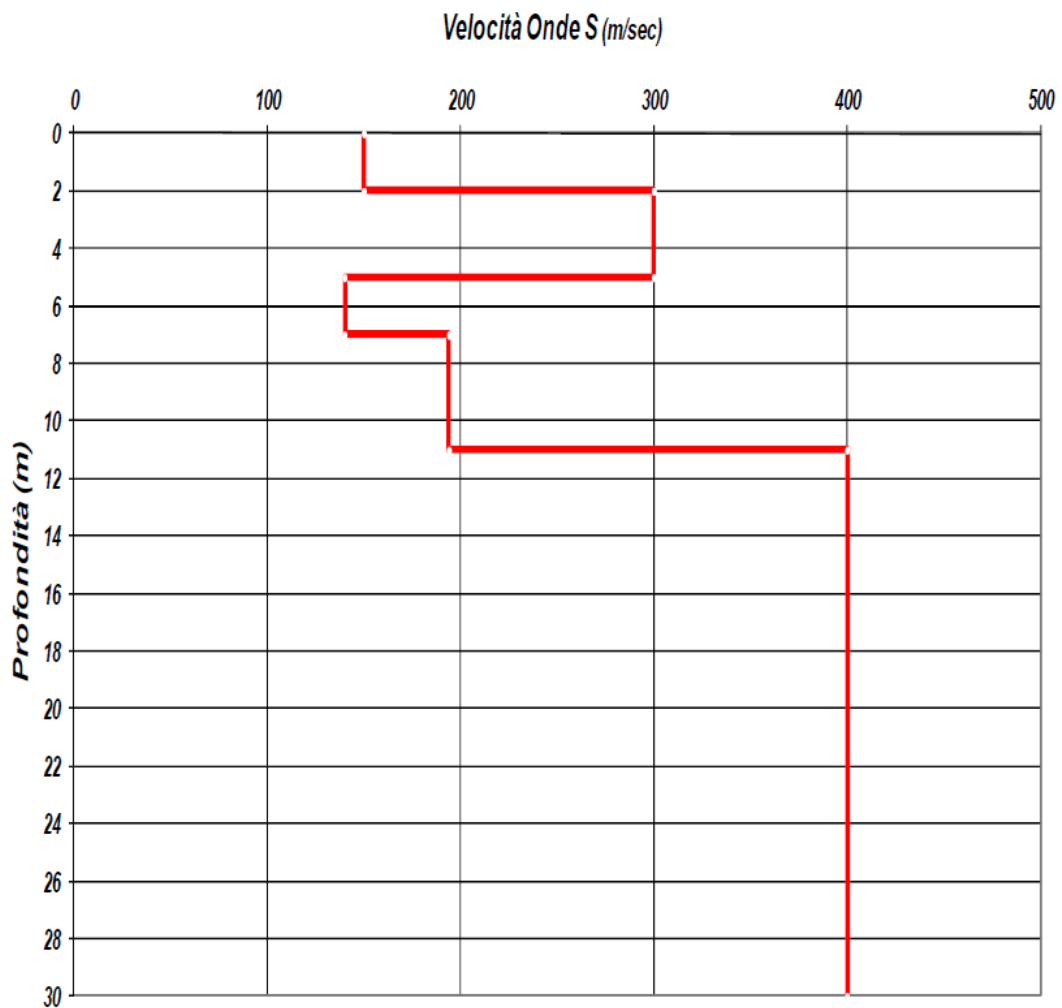
I dati sperimentali, acquisiti in formato SEG-2, sono stati trasferiti su PC per l'interpretazione attraverso l'utilizzo di uno specifico programma di elaborazione (MASW 2007). Tale programma permette di elaborare i dati acquisiti sia con il metodo attivo che con quello passivo. L'analisi consiste nella 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	2,00	150,00	2,00
2	3,00	300,00	5,00
3	2,00	140,00	7,00
4	4,00	194,00	11,00
5	19,00	400,00	30,00

Tabella 1: modello sismico monodimensionale

Shear-Wave Velocity Profile from Surface waves inversion

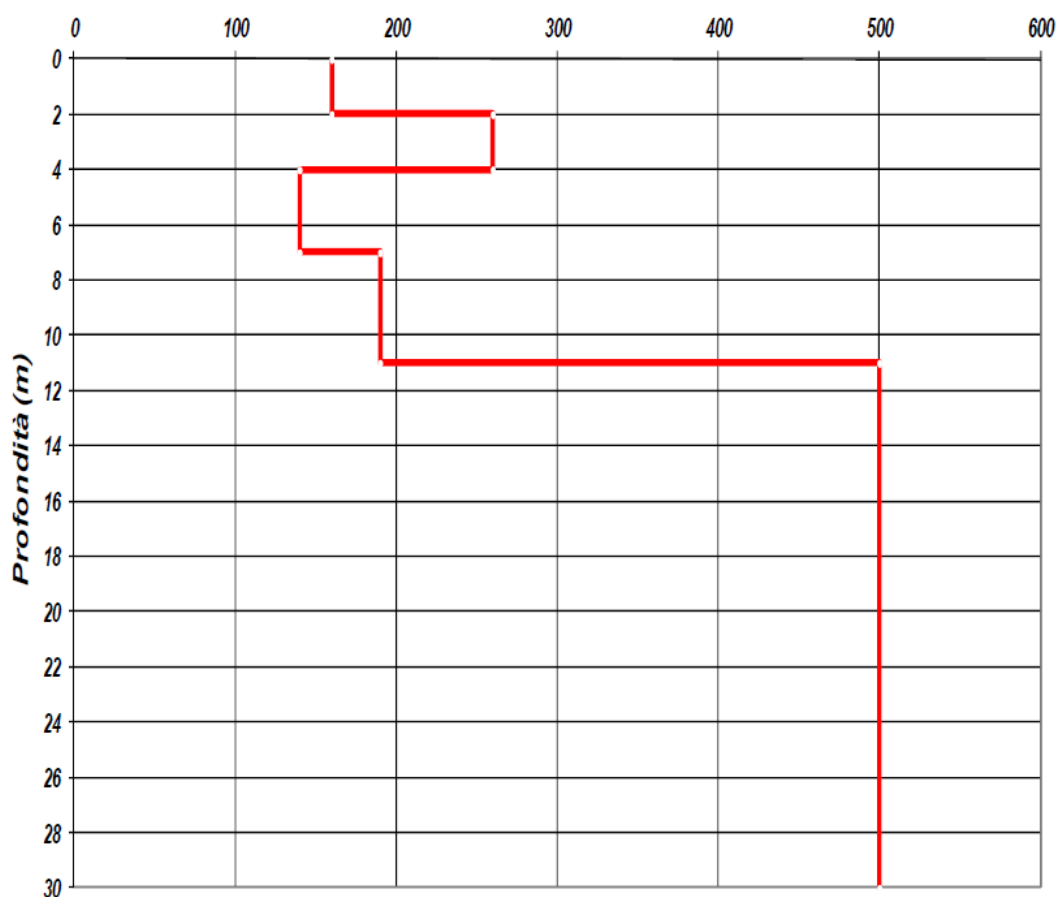
MASW-ReMi N. 2

Modello monodimensionale			
strato	spessore (m)	Vs (m/s)	Profondità (m)
1	2,00	160,00	2,00
2	2,00	260,00	4,00
3	3,00	140,00	7,00
4	4,00	190,00	11,00
5	19,00	500,00	30,00

Tabella 2: modello sismico monodimensionale

Shear-Wave Velocity Profile from Surface waves inversion

Velocità Onde S (m/sec)

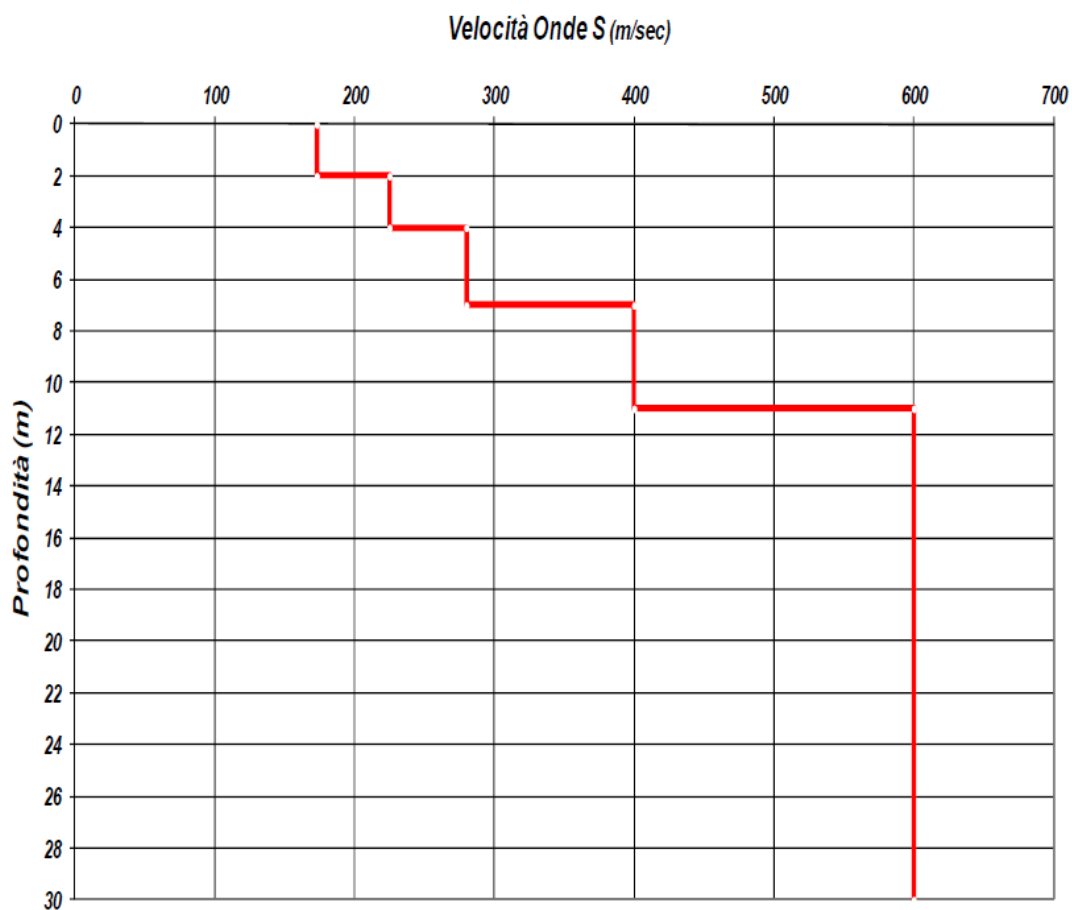


MASW-ReMi N. 3

Modello monodimensionale			
strato	spessore (m)	Vs (m/s)	Profondità (m)
1	2,00	173,00	2,00
2	2,00	225,00	4,00
3	3,00	280,00	7,00
4	4,00	400,00	11,00
5	19,00	600,00	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

$$V_{s30} = 283 \text{ m/s}$$

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

MASW N.2

$$V_{s30} = 297 \text{ m/s}$$

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

MASW N.3

$$V_{s30} = 416 \text{ m/s}$$

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

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.

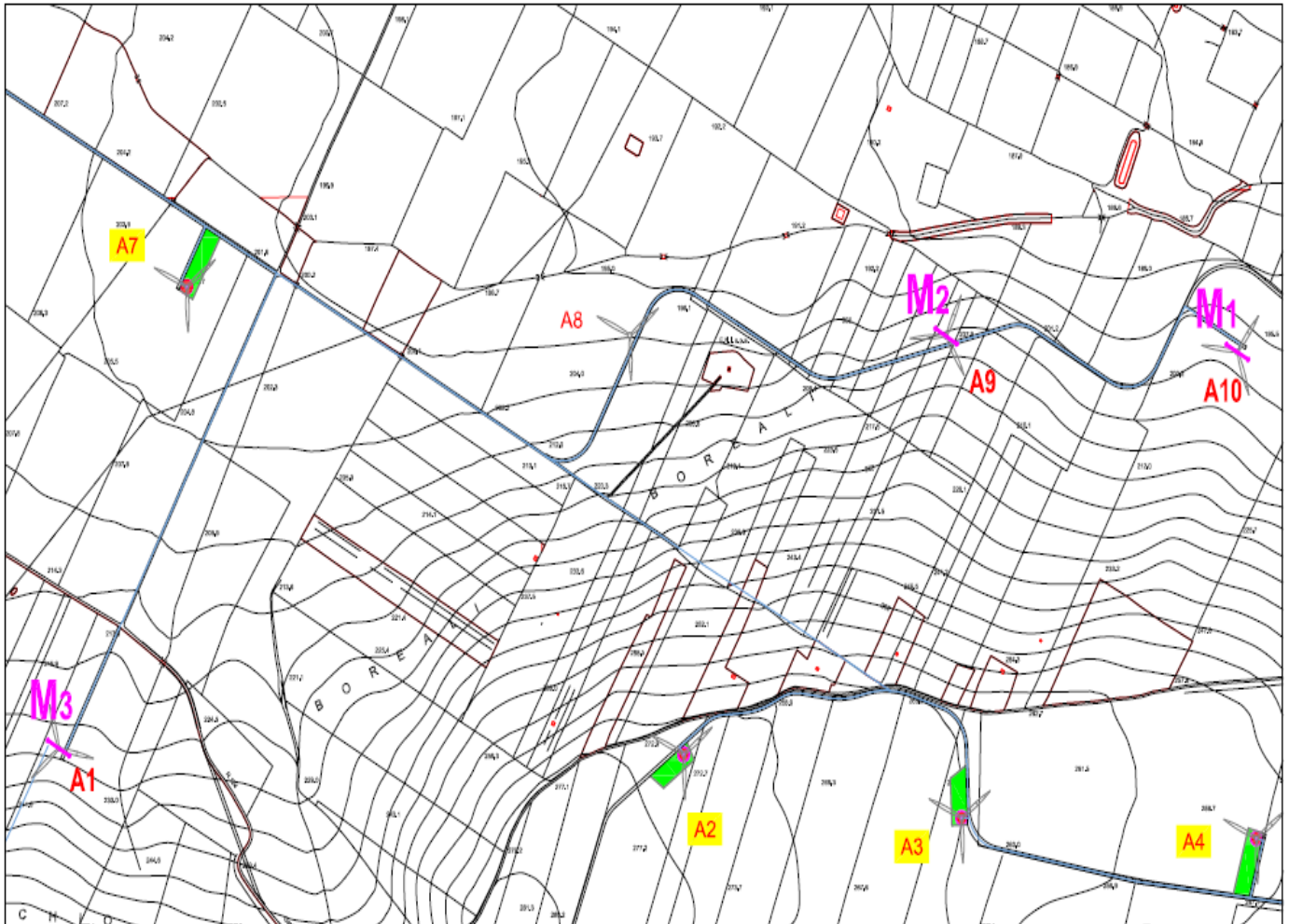
Tabella 4: categorie di suolo di fondazione (D.M. 17.01.2018)

5. ALLEGATI MASW-ReMi

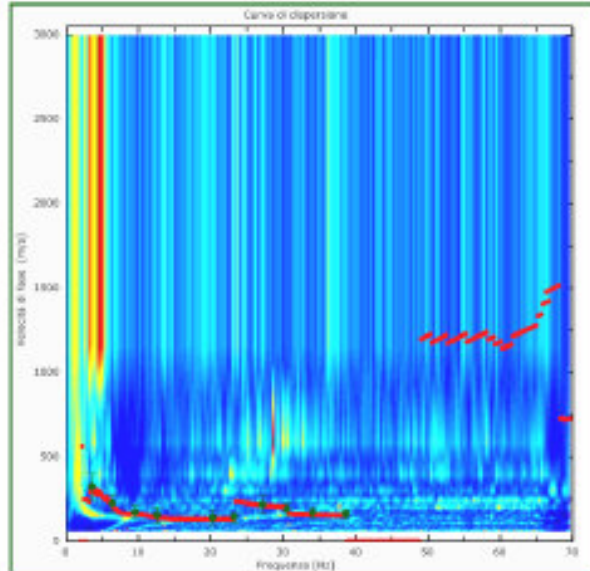
**PLANIMETRIA UBICAZIONE INDAGINI SISMICHE
DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA E SISMOGRAMMI
MASW-REMI**

PLANIMETRIA CON UBICAZIONE DELLE INDAGINI - Scala 1 : 6.000

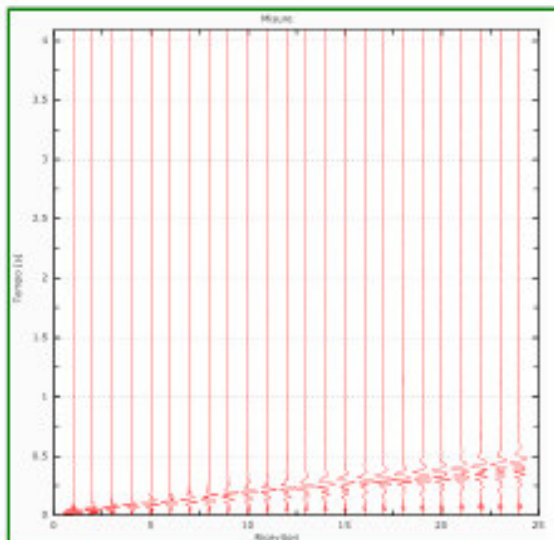
Ubicazione stendimenti sismici Masw-ReMI



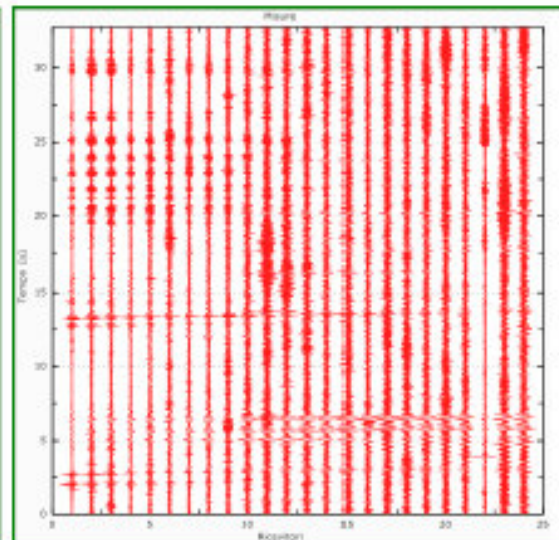
Stendimento MASW-ReMi N. 1



Spettro ReMi con curva di dispersione sperimentale MASW ATTIVA

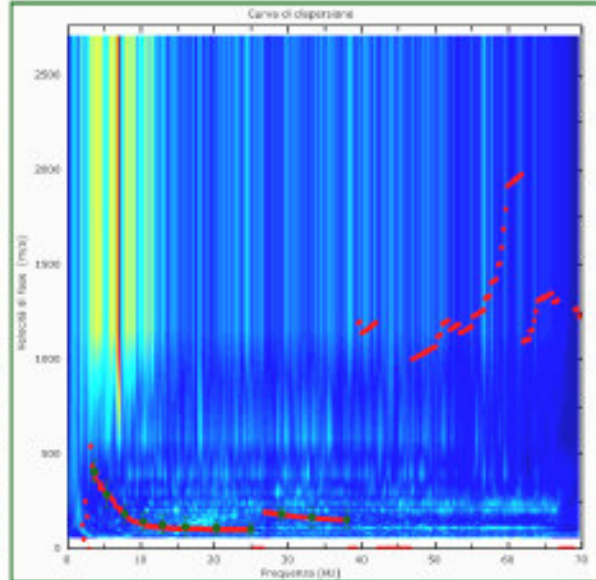


Registrazione MASW ATTIVA

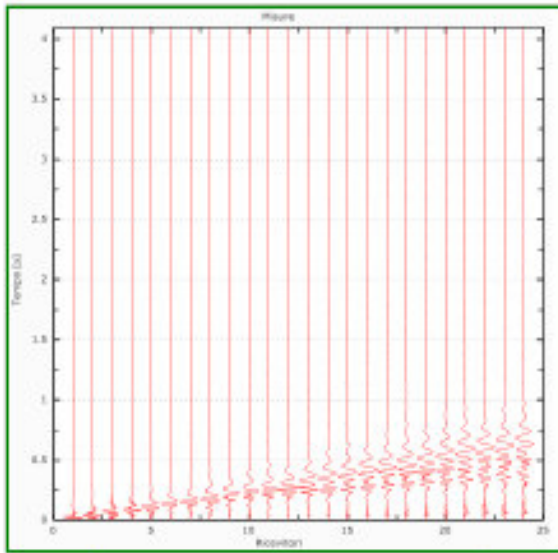


Registrazione ReMi

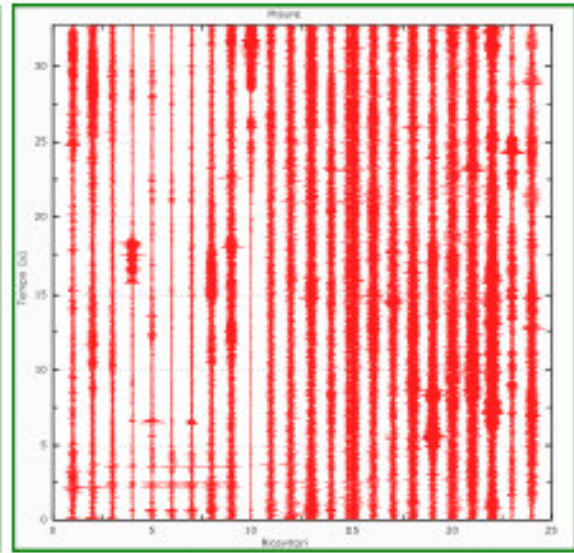
Stendimento MASW-ReMi N. 2



Spettro ReMi con curva di dispersione sperimentale MASW ATTIVA

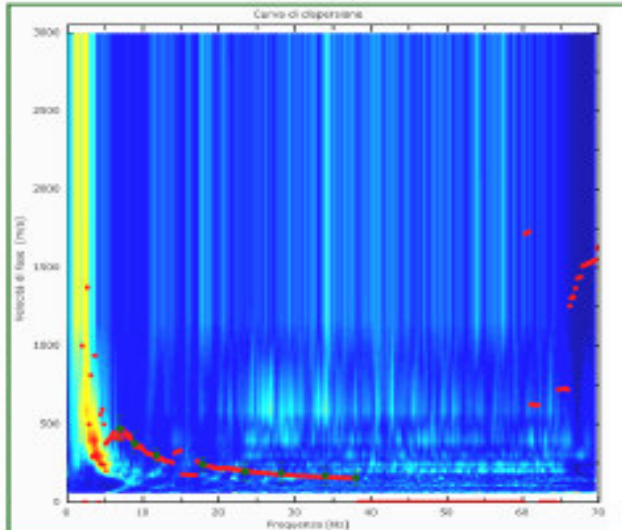


Registrazione MASW ATTIVA

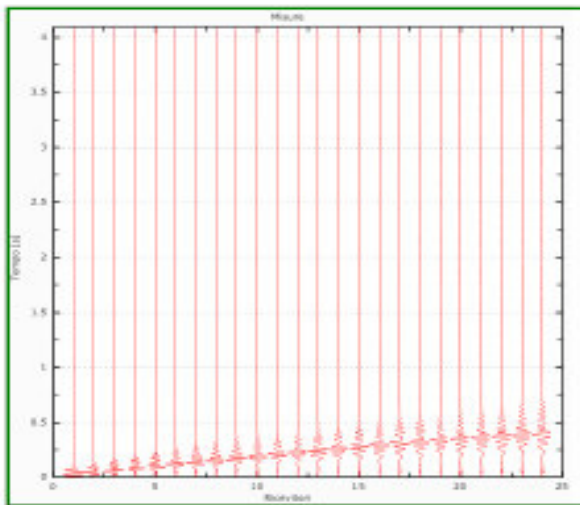


Registrazione ReMi

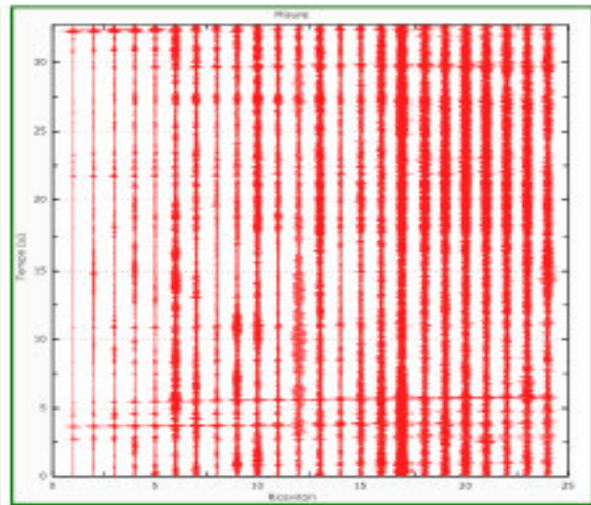
Stendimento MASW-ReMi N. 3



Spettro ReMi con curva di dispersione sperimentale MASW ATTIVA



Registrazione MASW ATTIVA



Registrazione ReMi