



COMUNE DI CANDELA

PROVINCIA DI FOGGIA

Progetto per la realizzazione di un impianto fotovoltaico per la produzione di energia elettrica da fonte solare fotovoltaica della potenza complessiva di 23,482 MWp sito nel Comune di Candela (FG) in zona industriale e relative opere di connessione

PROGETTO DEFINITIVO

RELAZIONE GEOLOGICA

studio di compatibilità geologica, geomorfologica, idrogeologica e geotecnica

COD. ID.		COD. AU.			
Livello prog.	Tipo documentazione		N. elaborato	Data	Scala
PD	Definitiva			05 / 2021	

Nome file

REVISIONI

REV.	DATA	DESCRIZIONE	ESEGUITO	VERIFICATO	APPROVATO
00	MAGGIO 2021	PRIMA EMISSIONE			

COMMITTENTE:

BLUSOLAR CASTELFRENTANO SRL

Via Caravaggio, 125
65125 Pescara (PE) Italia

Timbro e firma

PROGETTAZIONE:



MAXIMA INGEGNERIA S.R.L.

via Marco Partipilo n.48 - 70124 BARI
pec: gpsd@pec.it
P.IVA: 06948690729



CONSULENTI:

Dott. Geol. Rosario Antonio Falcone

c.so Umberto I°, 13 - 85024 Lavello (Pz)
e-mail: antonow.falcone@libero.it
pec: rosarioantonio.falcone@epap.sicurezzaopabile.it



Rosario Antonio Falcone

Indice

1. Premessa.....	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 dall’impianto fotovoltaico _.....	8
5.1 Caratteristiche geologiche e geotecniche dei terreni interessati dalle opere.....	8
5.2 Caratteri geomorfologici	11
5.2.a Verifica analitica di stabilità dei versanti.....	13
6. Idrogeologia e vulnerabilità della falda.....	14
6.a Idrogeologia.....	14
6.b Reticolo idrografico e Autorità di Bacino	17
7. Opere connesse.....	19
7.1 SOTTOSTAZIONE.....	20
8. SISMICITA’ DELL’AREA.....	25
8.1 Inquadramento Macrosismico.....	25
8.2 Microzonazione sismica	29
9. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE	30
10. BIBLIOGRAFIA	31

1 PREMESSA

Il presente elaborato è stato redatto, nell'ambito del progetto denominato "Realizzazione di un impianto fotovoltaico a terra località "ZONA INDUSTRIALE GIARDINO-ISCHIA DEI MULINI" in agro del Comune di Candela (FG) e opere connesse nel Comune di Deliceto", 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.).

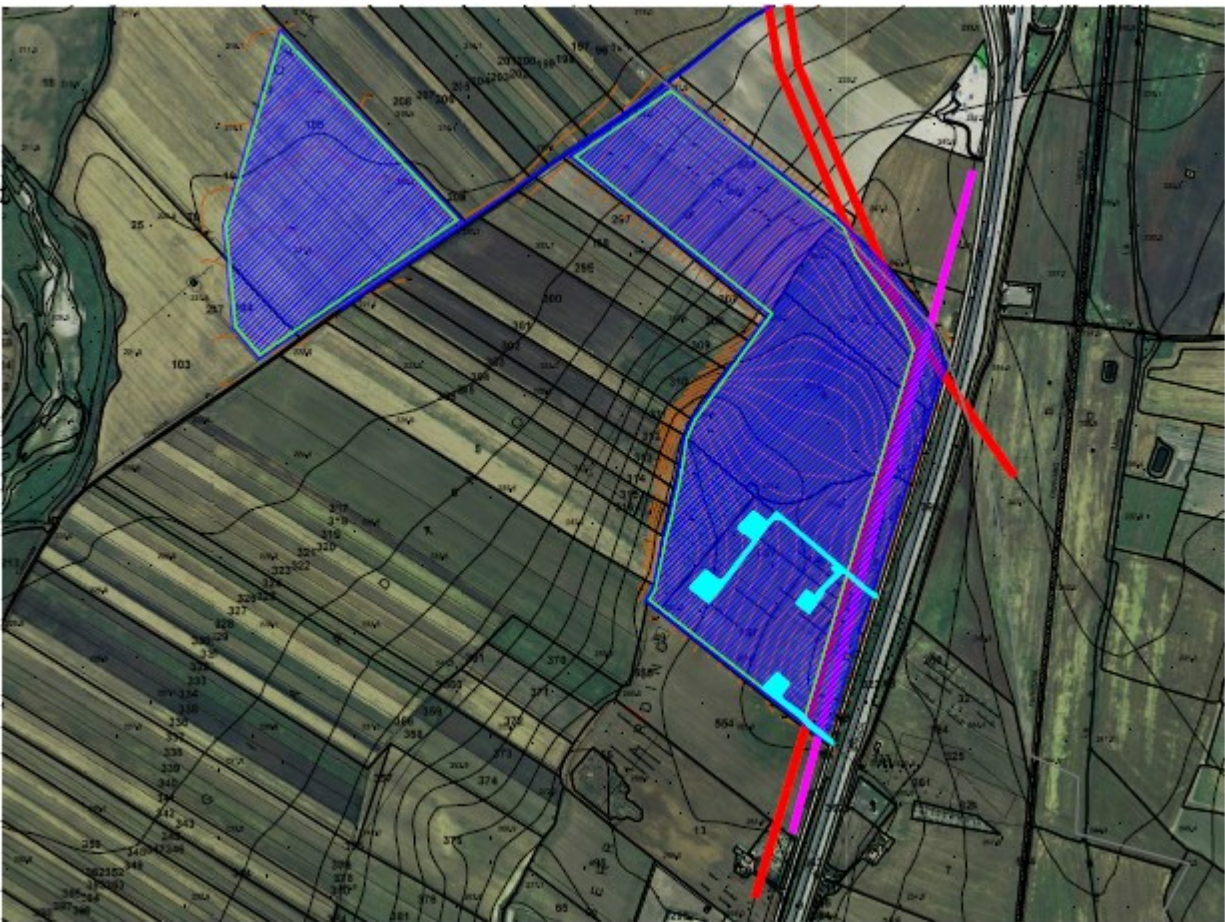
I criteri ed indirizzi secondo cui è stata redatta tale *relazione* sono esplicitati nella Circ. n. 218/24/3 del 09/01/96 ed ancora nelle Nuove N.T.C. **14.01.08 e suo aggiornamento del 17/01/2018**, Regolamento Regionale n°9 dell'11/03/2015. Si aggiunge che, ai sensi del succitato D.M.LL.PP. 11/03/88 (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 Candela (Fg) in località "Zona Industriale Giardino-Ischia dei Mulini"



Fg1 Perimetrazione dell'area interessata dal progetto

3 INTERVENTI PREVISTI

Gli interventi progettuali consistono nella realizzazione di fondazioni superficiali in c.c.a. per l'ancoraggio degli elementi strutturali dove posizionare i pannelli fotovoltaici, piazzole di manovra per la realizzazione dell'impianto e la realizzazione di una viabilità per la manutenzione dell'impianto, 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

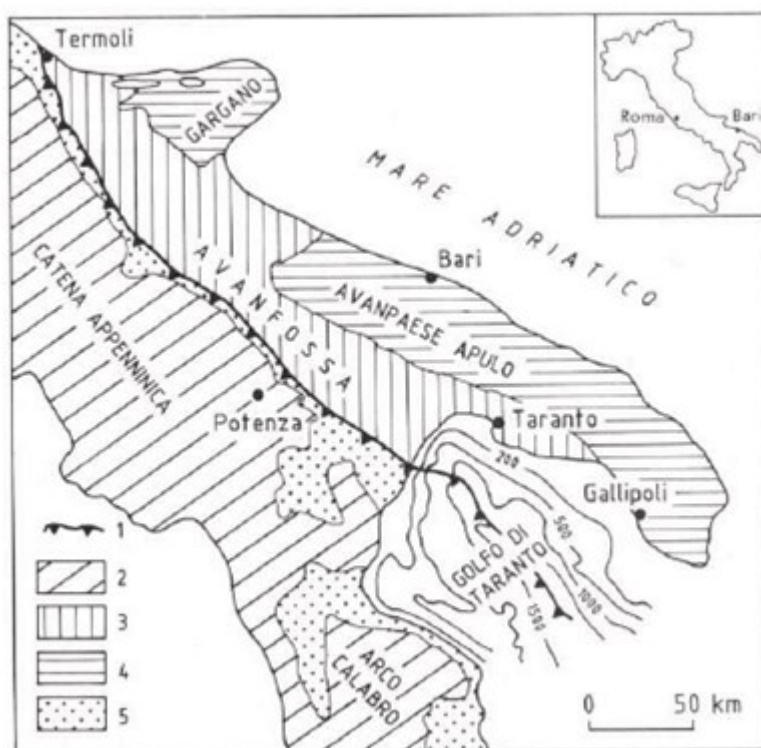


Figura 4.1: Schema dei principali domini geodinamici: 1) Limite delle Unità Appenniniche Alloctone; 2) Catena Appenninica ed Arco Calabro; 3) Avanfossa; 4) Avampaese Apulo-Garganico; 5) Bacini Plio-Pleistocenici – Fonte: Zezza et al., 1984).

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.

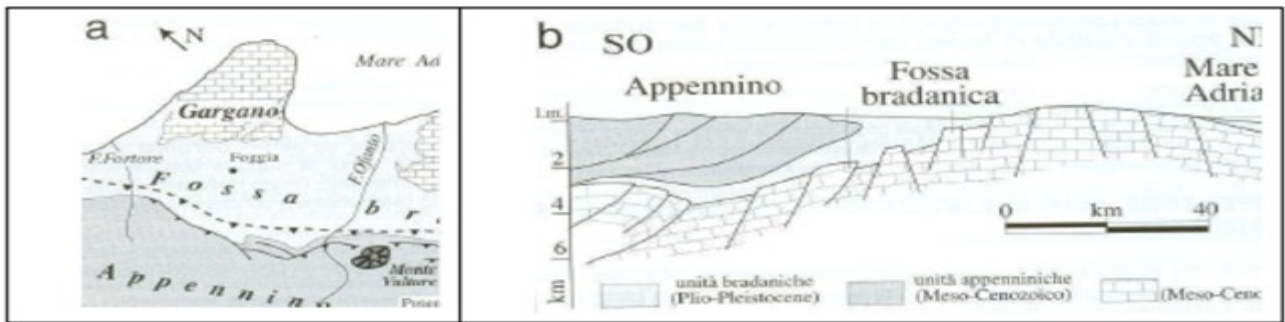


Fig. 4.2: Schema tettonico e stratigrafico tratto dalle guide regionali n.9 "Puglia e Monte Vulture" prima parte BE-MA editrice, 1999.

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 messo 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 Cretaceo 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 Iripino, 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.

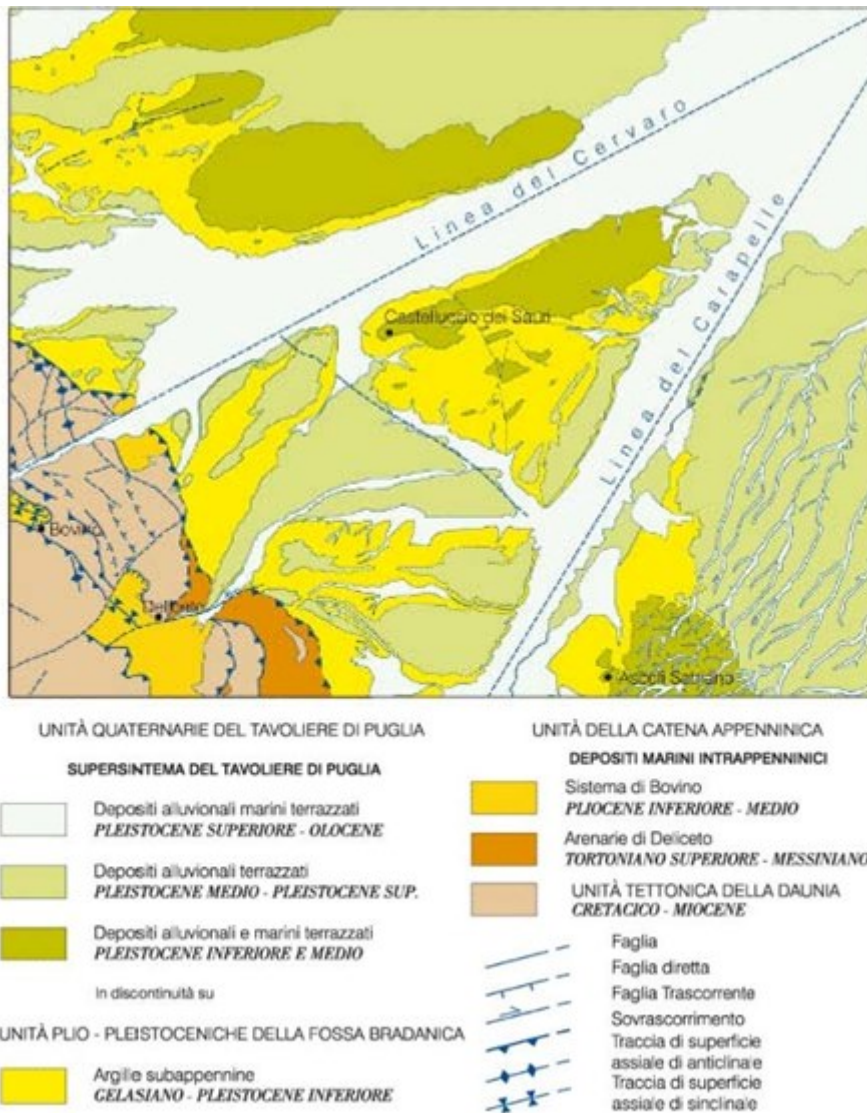


Figura 4.3: Schema tettonico e stratigrafico del Foglio 421 "Ascoli Satriano (Progetto CARG)

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 modesti 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 DALL'IMPIANTO FOTOVOLTAICO

5.1 Caratteristiche geologiche e geotecniche dei terreni interessati dalle opere.

L'area interessata dalle opere in progetto ricade nella tavoletta III NO "CANDELA" del Fg. 175 della carta d'Italia in località Serra Giardino-Ischia dei Mulini a Nord-Nord-EST dell'abitato di CANDELA; 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. Dal baso verso l'alto nell'area di interesse si riscontrano i seguenti litotipi:

UNITA' DELLA FOSSA BRADANICA

Argille Subappennine (ASP);

Conglomerati Poligenici Qc1

Alluvioni terrazzate antiche (Q_{t1});

Alluvioni terrazzate recenti (Q_{t3})

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).

5.1.b **Conglomerati Poligenici**

Questa unità litologica affiora lungo il percorso del cavidotto di evacuazione dell'energia elettrica prodotta dal parco e più specificatamente nell'area che va dalla Masseria San Potito alla Masseria Amendola nei pressi della quale è ubicata la sottostazione Terna di conferimento.

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.

5.1.c Alluvioni terrazzate antiche

Sono depositi alluvionali terrazzati a quote più tosto elevate rispetto all'alveo attuale ed a distanza a volte notevole dell'attuale sistema idrografico. Sono costituiti essenzialmente da terreni sedimentari prevalentemente ciottoloso-sabbiosi. Età Pleistocene Superiore

5.1d Alluvioni terrazzate recenti

Sono formate in prevalenza da sedimenti sabbioso-argillosi, subordinatamente ciottolosi, presentano nella loro compagine terre nere a stratificazione varvata ben evidente, nonché incrostazioni calcaree generate probabilmente dalla risalita per capillarità di acqua di ristagno. Queste alluvioni terrazzate assumono eccezionale vastità lungo il Torrente Carapelle e sono poco superiori all'attuale alveo. Età Olocene

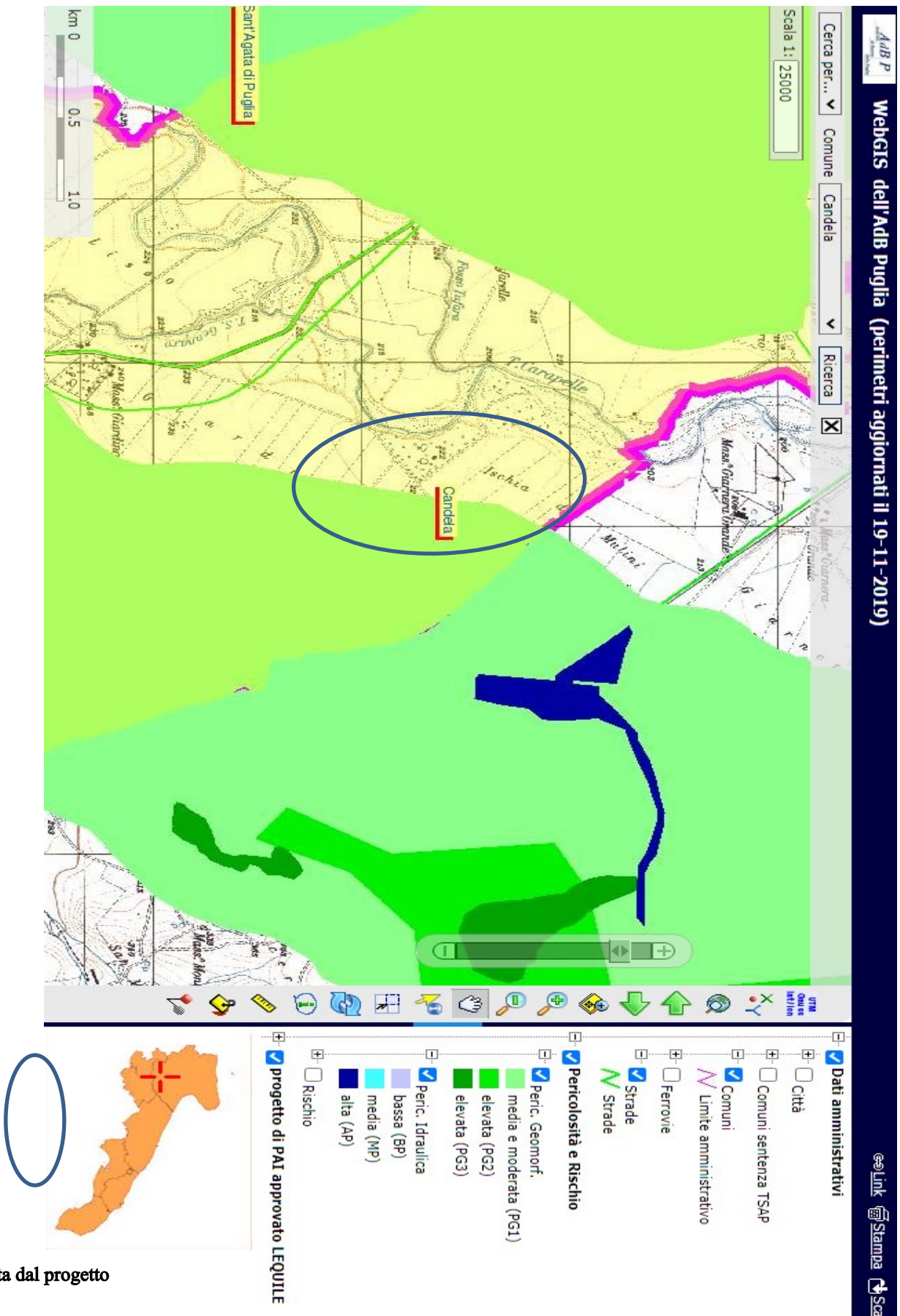
5.1.e Caratteri Geotecnici

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

Cartografia P.A.I. dell'DdB riguardante i rischi Idrogeomorfologici



Area interessata dal progetto

5.2 CARATTERI GEOMORFOLOGICI

L'area esaminata è ubicata nella parte settentrionale della tavoletta III N.O. del F° 175 della Carta d'Italia (**Foglio Candela**) e più precisamente tutta l'area compresa tra le località " Serra Giardino e Ischia dei Mulini".

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. Carapelle e con la sommità di un rilievo prospiciente delimitato da versanti, poco acclivi lungo i fianchi esposti a NO.

Le superfici topografiche presentano generalmente un andamento orizzontale nell'area in destra orografica del T. Carapelle mentre, l'inclinazione dei versanti che delimitano il rilievo è caratterizzato da pendenze che oscillano intorno a $7 \div 10$ %. I versanti interessati dall'impianto 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 superficiali e/o profondi.

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 a maggiore inclinazione. Essendo comunque, le aree assoggettate ad una pericolosità geomorfologica media e moderata (P.G.1.) si è ritenuto opportuno verificare analiticamente la stabilità di quei versanti che presentano una maggiore criticità. La verifica è stata condotta in condizioni sismiche e in situazione **ante opera** e **post opera**. Per quanto riguarda il Piano Stralcio Difesa Alluvioni sempre dell'Autorità di Bacino Regione Puglia, l'area di progetto che interessa le opere da realizzare e la viabilità in generale non rientra in nessuna area a rischio.



Panoramica dell'area in versante interessata dal Progetto

5.2a 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 impianto fotovoltaico in agro del Comune di Candela(FG).

Le verifiche di stabilità sono state condotte lungo le sezioni A' ___ A , B' ___ B , C' ___ C, D ___ D' 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 1,0 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 Candela 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 superiore a quello previsto dalla norma vigente.

Sez. A' ___ A a.o. _____	$F_s = 10.76 > 1.3$ Stabile
Sez. A' ___ A p.o. _____	$F_s = 6.05 > 1.3$ Stabile
Sez. B' ___ B a.o. _____	$F_s = 5.54 > 1.3$ Stabile
Sez. B' ___ B p.o. _____	$F_s = 2.86 > 1,3$ Stabile
Sez. C' ___ C a.o. _____	$F_s = 3.19 > 1.3$ Stabile
Sez. C' ___ C p.o. _____	$F_s = 2.23 > 1.3$ Stabile
Sez. D' ___ D a.o. _____	$F_s = 5.1 > 1.3$ Stabile
Sez. D' ___ D p.o. _____	$F_s = 3.34 > 1.3$ 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 1.0 Kg/cm² trasmesso al terreno interessato dal progetto è notevolmente superiore al carico effettivo trasmesso dall'impianto da realizzare, valutato intorno ai 50Kg/m².

6. IDROGEOLOGIA E VULNERABILITA' DELLA FALDA

6.a. 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 pliopleistocenica 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 rinvergono 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 CivileGenio 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 dauno in generale una discreta presenza di pozzi, la maggior parte dei quali autodenunciati.

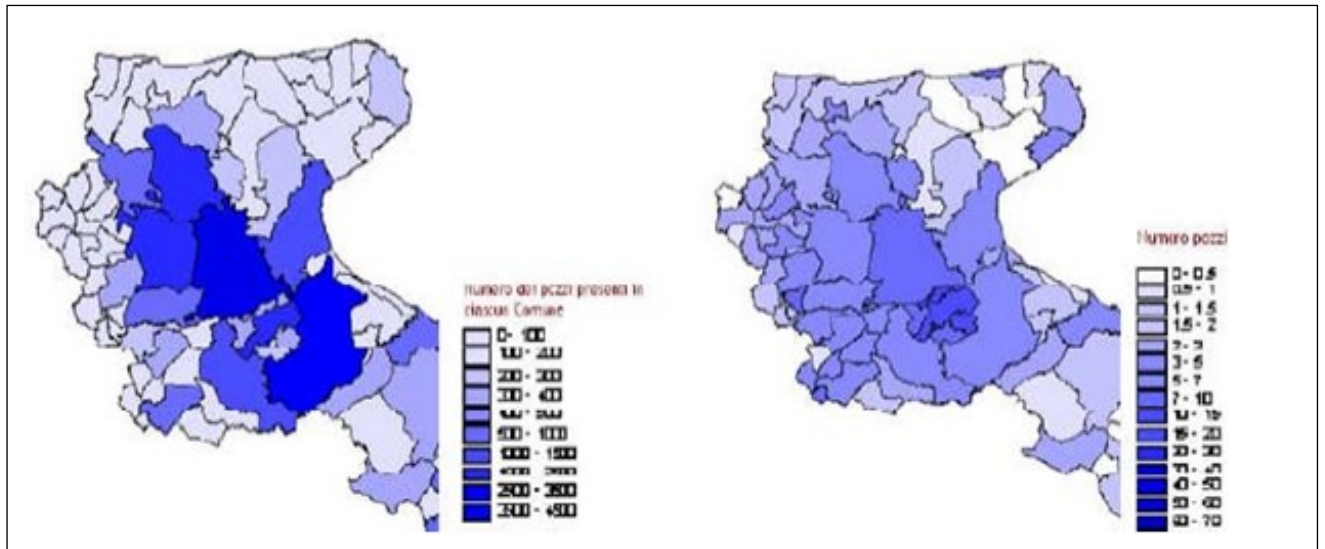


Figura 5.3a: Carta della distribuzione e della densità dei pozzi per aree comunali. Fonte: CNR-IRSA.

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-alcine 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.

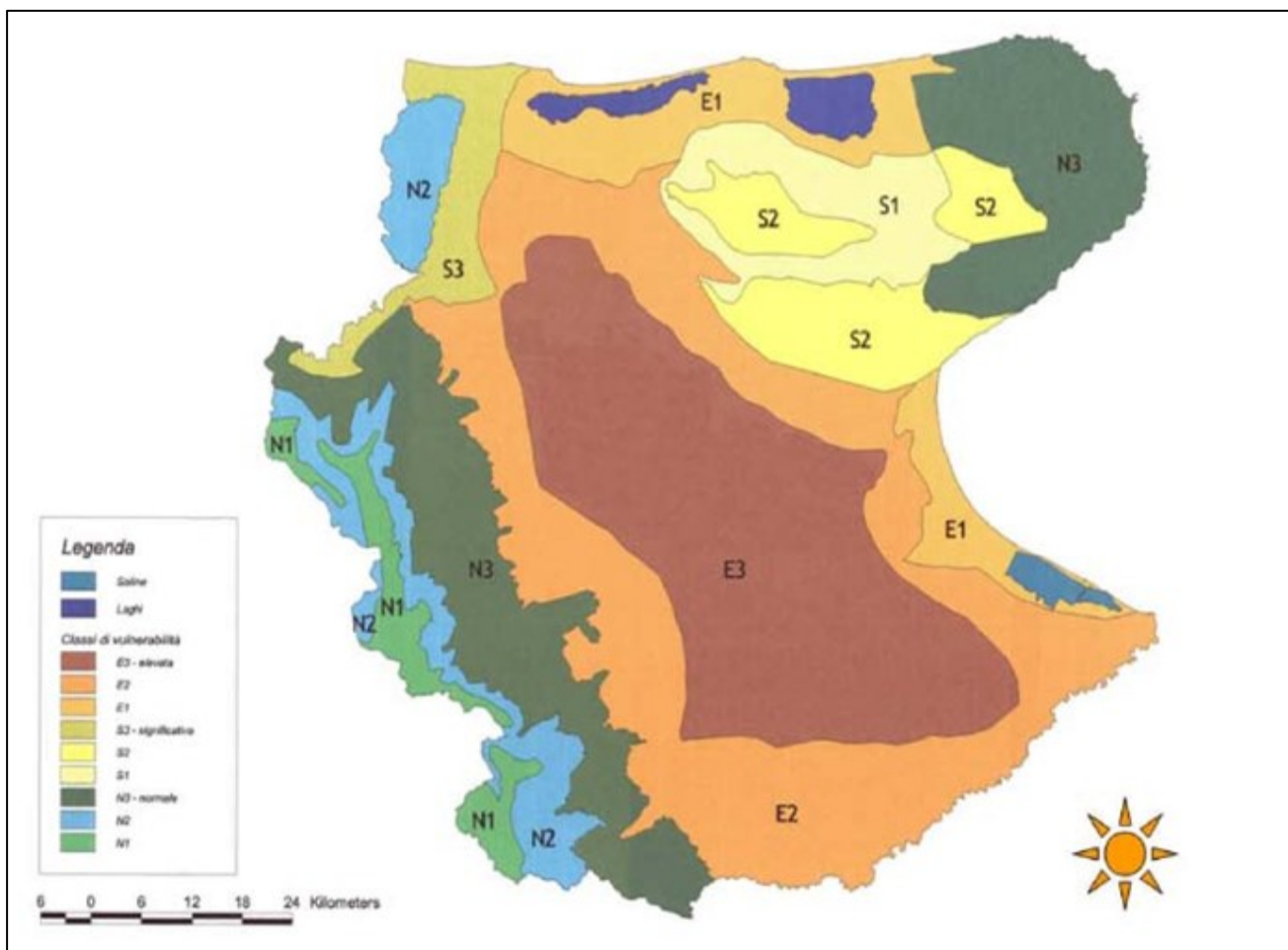


Figura 5.3b: Vulnerabilità degli acquiferi distretti omogenei – PTCP Provincia di Foggia

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).

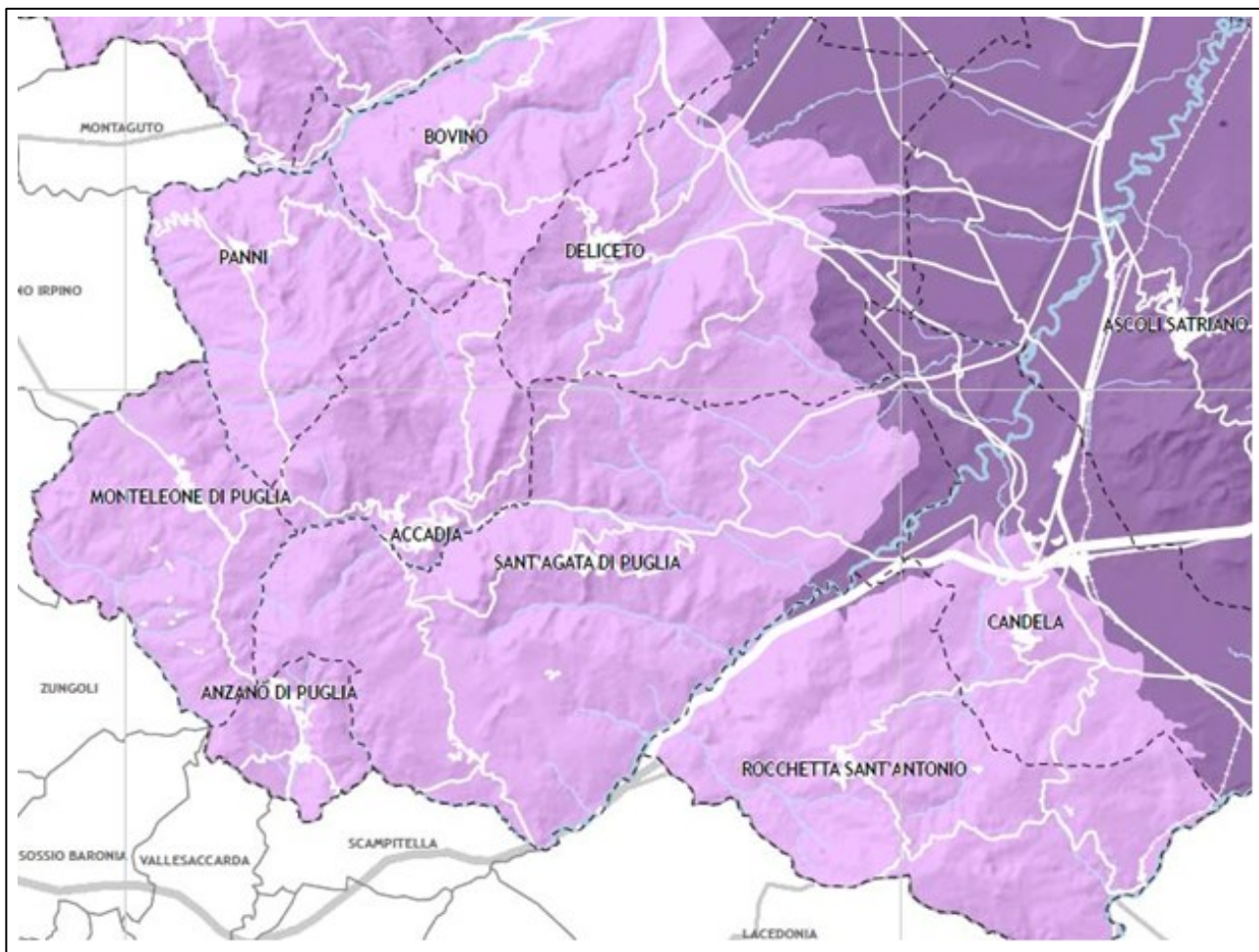


Figura 5.3c: Stralcio Carta Vulnerabilità degli acquiferi PTCP Provincia di Foggia

6.b RETICOLO IDROGRAFICO E AUTORITA' 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, 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 Gavittelle. 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.

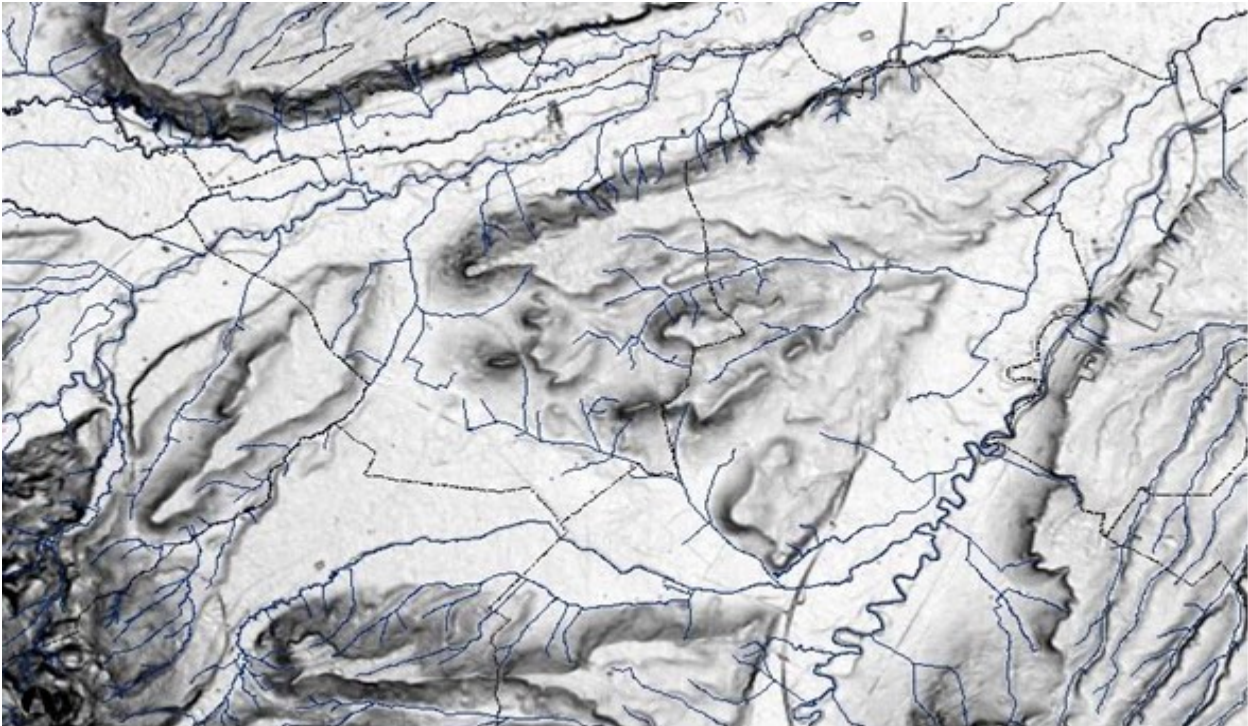
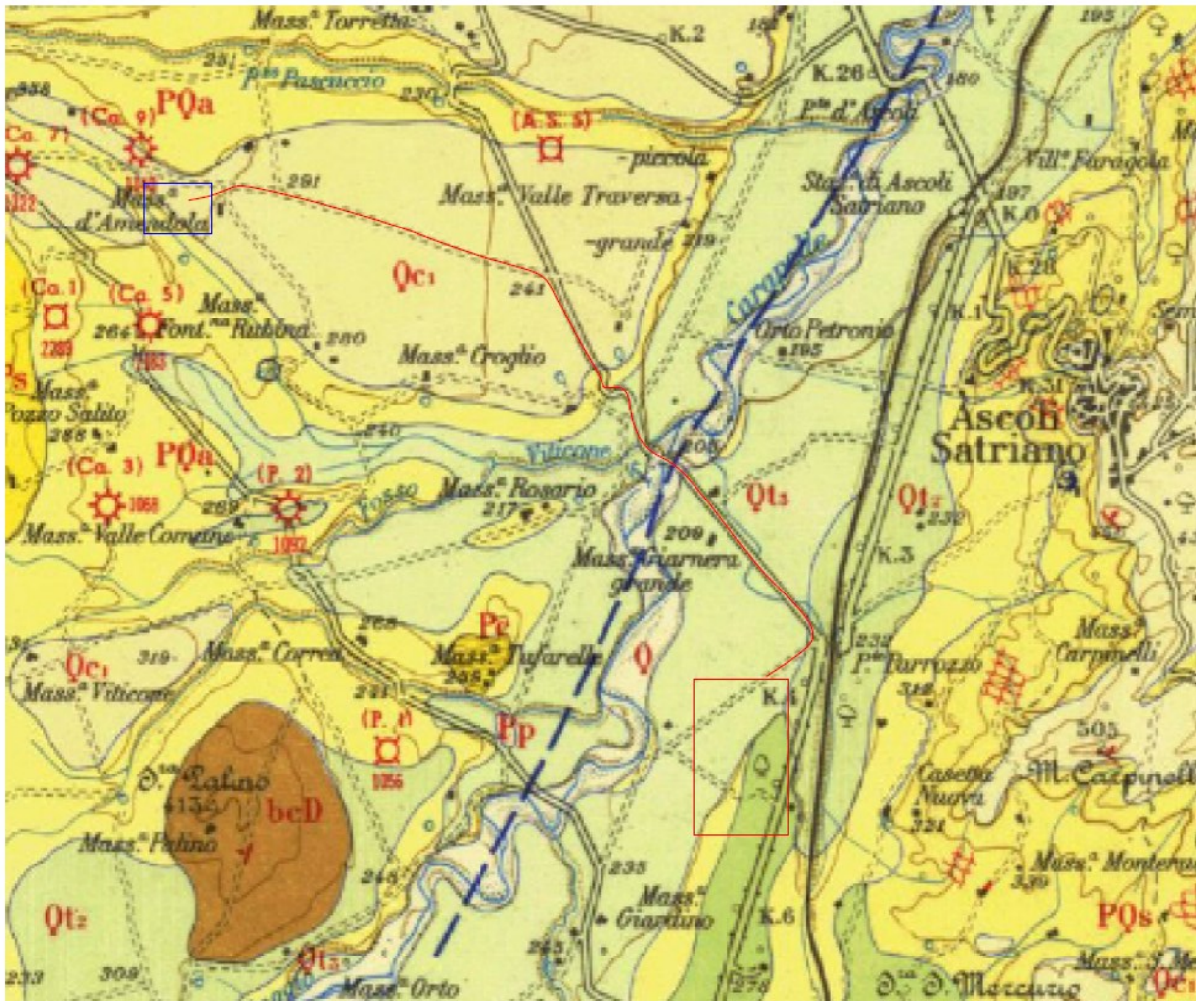





Figura 5 .1d: I bacini idrografici dei due corsi d'acqua principali: il T. Cervaro a NO ed il T. Carapelle a SE Fonte: SIT Regione Puglia

7. OPERE CONNESSE



Stralcio della Carta Geologica d'Italia in scala 1:100000 F° 175

-  Impianto fotovoltaico
-  Stazione di conferimento dell'energia prodotta
-  Cavidotto di evacuazione

il cavidotto sviluppa il suo percorso utilizzando, in modo prioritario, il reticolo stradale esistente. Il tracciato che collega l'area dell'impianto fotovoltaico con la sottostazione terna di Deliceto attraversa terreni sedimentari ascrivibili al ciclo deposizionale della Fossa Bradanica già descritti in precedenza.

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

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

strada. In questi casi il cavidotto è posato nella trincea standard.

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

Le intersezioni più importanti saranno superate con tecnologia TOC,

7.1 SOTTOSTAZIONE DI CONFERIMENTO

7.1.a Caratteri geologici e geotecnici

La sottostazione è ubicata nell'ambito territoriale del Comune di Deliceto e più precisamente in località Masseria d'Amendola; i terreni ivi affioranti sono costituiti essenzialmente da 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. Dall'alto verso il basso nell'area di interesse si riscontrano i seguenti litotipi:

- a) Coltre detritica;
- b) Conglomerati poligenici (Qc1)

Coltre detritica.

In corrispondenza del sito in esame tali materiali, di origine eluviale, sono rappresentati esclusivamente da terreno vegetale di granulometria sabbioso-limoso misto a ciottolame, i cui elementi sono di dimensioni variabili intorno ai 10.0 cm; il colore è variabile dal marroncino al bruno. L'area di affioramento è diffusa su tutta la superficie e gli spessori sono ovunque esigui, in genere non superano 1.5 m ca.; le caratteristiche morfologiche dell'area, infatti, generalmente pianeggianti e/o in debole pendenza, ne hanno impedito la sedimentazione e l'accumulo in spessori maggiori, fenomeno che si verifica in modo preferenziale nelle depressioni o nei fondovalle. Tale circostanza ha reso superflua la rappresentazione cartografica di tali materiali, non essendo di particolare interesse ai fini del presente lavoro.

Per il basso grado di addensamento evidenziano generalmente caratteristiche geomeccaniche mediocri, essendo dotati di scarsa resistenza al taglio ed elevati valori di compressibilità; si rivelano, pertanto, inadatti come terreni di fondazione, non offrendo sufficienti garanzie di tenuta al carico.

Tabella 1 - Parametri meccanici dei materiali detritici.

γ	γ_{sat}	c	ϕ	E
1.7-1.9	1.9-2.0	0	18-22	30-50

γ : peso di volume T/m^3 ; γ_{sat} : peso di volume saturo T/m^3 ; c: coesione kg/cm^2 ;
 ϕ : angolo di attrito interno; E: modulo di deformabilità kg/cm^2 .

Conglomerati poligenici.

Affiorano lungo tutta l'area rilevata e pertanto rappresentano il terreno di fondazione dei manufatti interessati dall'opere in progetto. Si tratta di conglomerati poligenici (cioè con elementi litologici di diversa provenienza e costituzione, ma principalmente arenacei e calcarei) mediamente cementati in matrice sabbiosa, con ciottoli di dimensioni variabili dai 5 cm ai 20 cm di diametro. All'interno di tale litosoma si rinvengono lenti di varia natura: da sabbie giallastre a sabbie limose biancastre a strati di sabbie ghiaiose o ghiaie sabbiose con inclusi lapidei anche di notevoli dimensioni. La componente sabbiosa nel conglomerato aumenta gradualmente al passaggio con le sabbie sottostanti: lo spessore di questa unità litostratigrafica è di circa 12 - 15 m.

E' noto come i terreni conglomeratici presentino delle caratteristiche geotecniche generalmente eccellenti, soprattutto se affioranti in ammassi rocciosi dalle buone condizioni geomeccaniche; nel caso in esame, infatti, tale circostanza è verificata poiché tali terreni evidenziano apprezzabile cementazione, elevata densità relativa e compressibilità pressoché nulla. Lo stato di fessurazione e/o fratturazione non evidenzia elementi significativi alla mesoscala, l'affioramento in esame, infatti, presenta generale compattezza. Lo stato di alterazione testimonia di materiali poco o nulla degradati, si osservano lievi tracce di ossidazione e modesti spessori di terreni residuali di granulometria prevalentemente sabbiosa, che si rinvengono generalmente al tetto di tale formazione. I parametri fisico-meccanici dei terreni conglomeratici, com'è noto, non sono sperimentalmente determinabili se non tramite

correlazioni con test geognostici in situ non sempre praticamente eseguibili, in ogni caso i raffronti con la letteratura (Cascini, 1994) e con le precedenti esperienze locali, consentono di estrapolare in maniera cautelativa i seguenti parametri:

Tabella 2 - Parametri meccanici dei conglomerati.

γ	γ_{sat}	c	ϕ	D_r	E
1.8	1.95	0	38°	80	700

γ : peso di volume T/m³; γ_{sat} : peso di volume saturo T/m³; D_r : densità relativa %
c: coesione kg/cm²; ϕ : angolo di attrito interno; E: modulo di deformabilità kg/cm².

In ordine alla presenza di orizzonti a granulometria prevalentemente sabbiosa dianzi citati, generalmente sovrastanti i conglomerati, ed ai loro caratteri geotecnici, è possibile sintetizzare in questa sede le risultanze delle analisi in laboratorio degli stessi riportate in letteratura. Tali materiali sono classificabili come "**Sabbie limose con ghiaia**" **CNR-UNI A-4 IG 3**; dalle caratteristiche prevalentemente granulari non consentono la determinazione dei limiti di Atterberg, evidenziano, inoltre, apprezzabile cementazione e discrete caratteristiche meccaniche.

Tabella 3 - Schema dei parametri geotecnici dell'orizzonte sabbioso sovrastante i conglomerati.

γ	γ_d	γ_{sat}	w_n	L_l	L_p	PI	IC	C	ϕ	E	P_c	k
1.94	1.73	2.08	12.4	-----	-----	-----	-----	0.23	26°	48-91	0.62	3.61 E-5

γ : peso di volume T/m³; γ_d : peso di volume secco T/m³; γ_{sat} : peso di volume saturo; w_n : umidità naturale %;
 L_l : limite liquido %; L_p : limite plastico %; PI: indice di plasticità; IC: indice di consistenza; C: coesione kg/cm²;
 ϕ : angolo di attrito; E: modulo di deformazione kg/cm²; P_c : pressione di preconsolidazione kg/cm²; K: permeabilità

CARTA GEOLITOLOGICA SOTTOSTAZIONE

Scala 1:5.000



Conglomerato Poligenico (Pleistocene Medio)



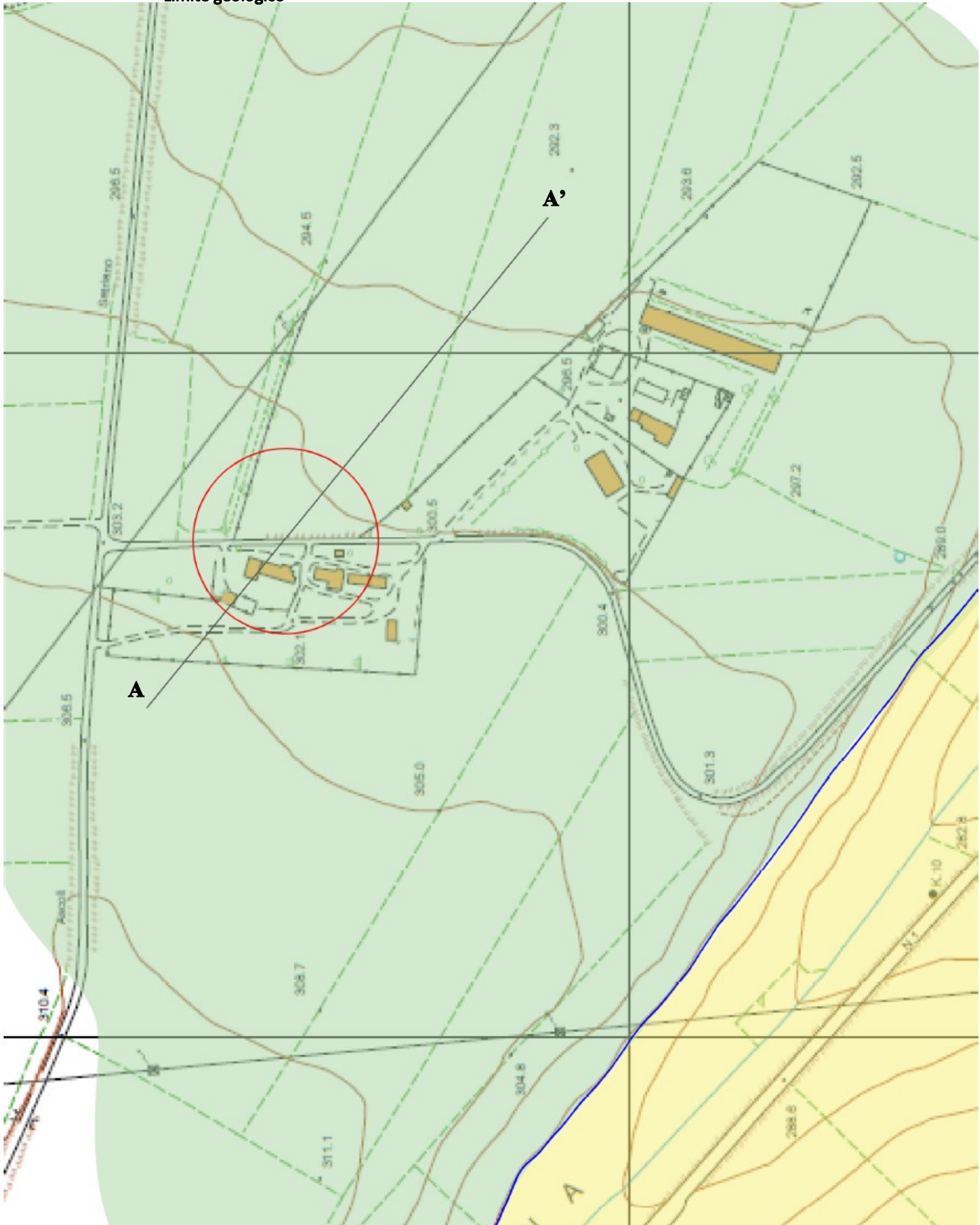
Argille e argille marnose grigio-azzurro (Calabriani)



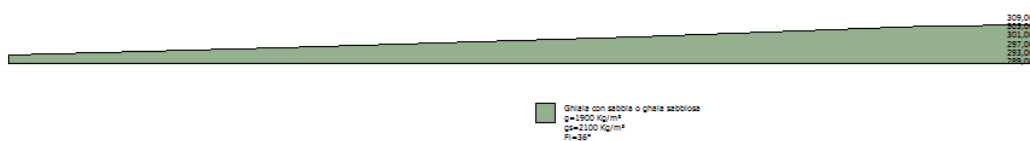
Area di interesse

A A' traccia di sezione

Limite geologico



SEZIONE GEOLOGICA A _____ A' sottostazione
scala 1:3000



7.1.b Caratteri geomorfologici

L'area esaminata è ubicata nella tavoletta 421142 della C.T.R. della Puglia e più precisamente in località Masseria d'Amendola . 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 o debolmente inclinata, le superfici topografiche presentano generalmente un andamento orizzontale, il rilevamento effettuato non ha evidenziato allo stato attuale elementi di superficie che possano ricondursi alla presenza di fenomeni dislocativi superficiali e/o profondi.

Per quanto riguarda il Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico, secondo le Tavole di delimitazione del PAI le opere di progetto interessano un' area definita 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 a maggiore inclinazione. Essendo comunque, l'area assoggettata ad una pericolosità geomorfologica media e moderata (P.G.1.) si è ritenuto opportuno verificare analiticamente la stabilità di quei versanti che presentano una maggiore criticità. La verifica è stata condotta in condizioni sismiche e in situazione **ante opera e post opera**. Per quanto riguarda il Piano Stralcio Difesa Alluvioni sempre dell'Autorità di Bacino Regione Puglia, l'area di progetto che interessa le opere da realizzare e la viabilità in generale non rientra in nessuna area a rischio.

7.1.c Verifica di stabilità

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

In questo paragrafo vengono illustrate le conclusioni cui si perviene in seguito alla verifica analitica delle condizioni di stabilità del versante che caratterizza l'area interessata dal progetto di realizzazione dello stallo di conferimento dell'energia elettrica prodotta dall' impianto fotovoltaico in agro del Comune di Candela(FG).

Le verifiche di stabilità è stata condotte lungo la sezione A' ___ A , orientata secondo la direzione di massima pendenza, la stessa è stata condotta in una prima fase sul pendio naturale e in una seconda fase sul pendio gravato dall'opera in progetto con un carico distribuito di 1,0 Kg/cm².

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

6. 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;
7. I calcoli di verifica di stabilità sono stati effettuati esclusivamente in condizione sismica e nella modalità di **S.L.U.** essendo il Comune di Candela classificato come zona **sismica 1**;
8. 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;
9. La situazione stratigrafica schematizzata nel calcolo è il risultato dell'interpretazione del rilevamento geolitologico effettuato e dei dati derivanti da precedenti esperienze su materiali analoghi nonché dei dati disponibili in letteratura;
10. Le superfici critiche ottenute sono il risultato di numerose interazioni volte all'individuazione dei coefficienti minimi di sicurezza.

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

Sez. A' ___ A a.o. _____ $F_s = 19.81 > 1.3$ Stabile
Sez. A' ___ A p.o. _____ $F_s = 19.81 > 1.3$ Stabile

Il risultato ottenuto dai calcoli di verifica di stabilità del versante prima e dopo la realizzazione delle opere in progetto evidenzia come lo stesso non subisce modificazioni delle condizioni di equilibrio geomorfologico in seguito alla realizzazione dei manufatti previsti dal progetto. Il carico applicato trasmesso al terreno interessato dal progetto è di 1.0 Kg/cm² .

8. SISMICITA' DELL'AREA

8.1 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 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 fogliazione più diffuso è del tipo faglia diretta (in prevalenza sistemi di faglie ad andamento NW-SE), la magnitudo degli eventi sismici non è inferiore a 5 e la profondità epicentrale è compresa tra 8-12 km. I settori occidentali dei bacini del Bradano, Basento; dell'Agri, del Sinni ed il settore orientale del bacino del Noce ricadono in questo tipo di zona sismogenetica;
- La seconda area caratterizzata dal rilascio di energia imputabile a meccanismi di fogliazione 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.

Per quanto riguarda la pericolosità del sito, ricadendo il Comune di Candela nel punto del reticolo di riferimento definito da longitudine 15.515 e latitudine 41.136, 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 Vr =50 anni –tempo di ritorno 475 anni-).

Mappe interattive di pericolosità sismica

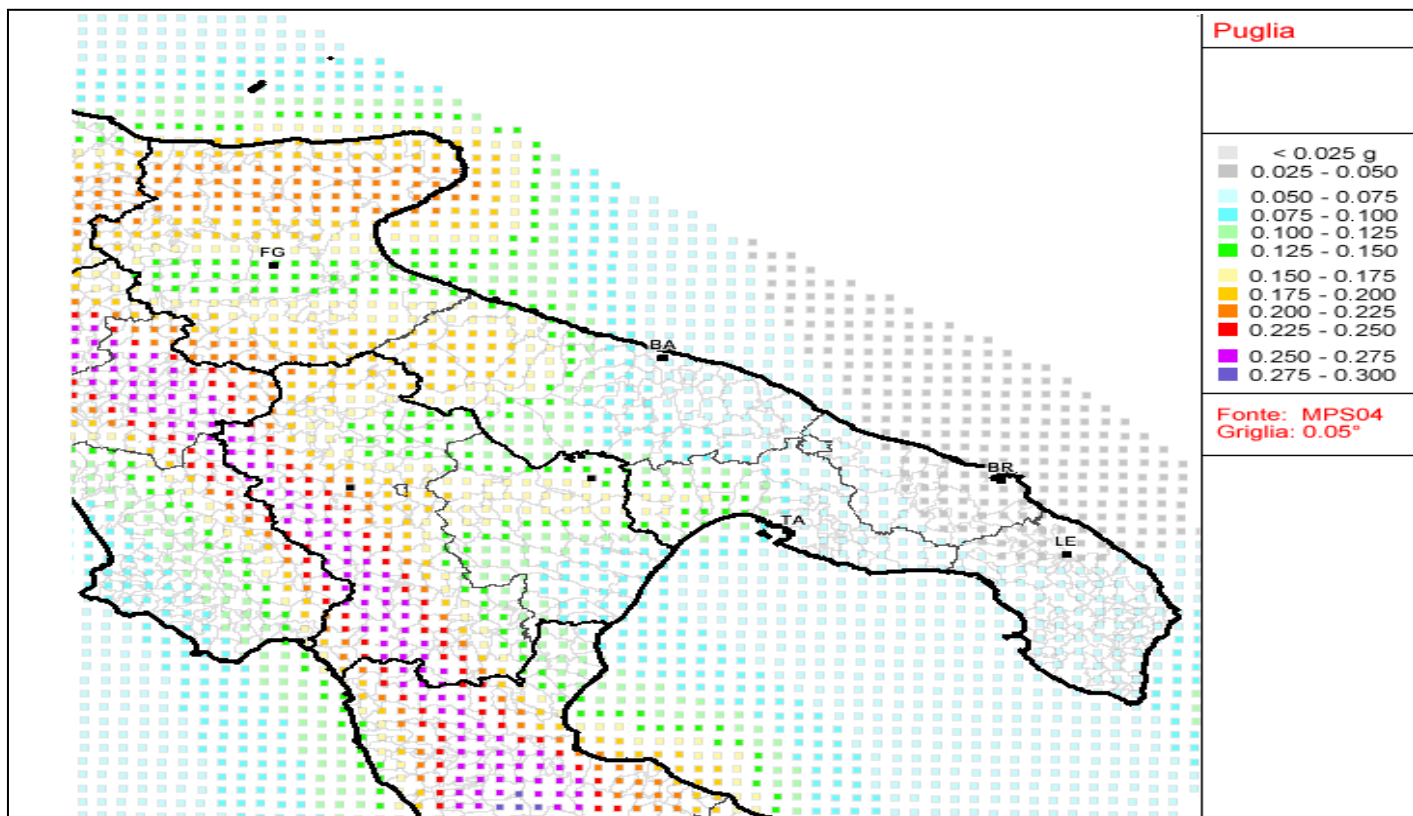


Fig. 6.1 – *Mapa di pericolosità sismica del territorio nazionale espressa in termini accelerazione massima al suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli molto rigidi (Ordinanza 3519-06)*

Mappe interattive di pericolosità sismica

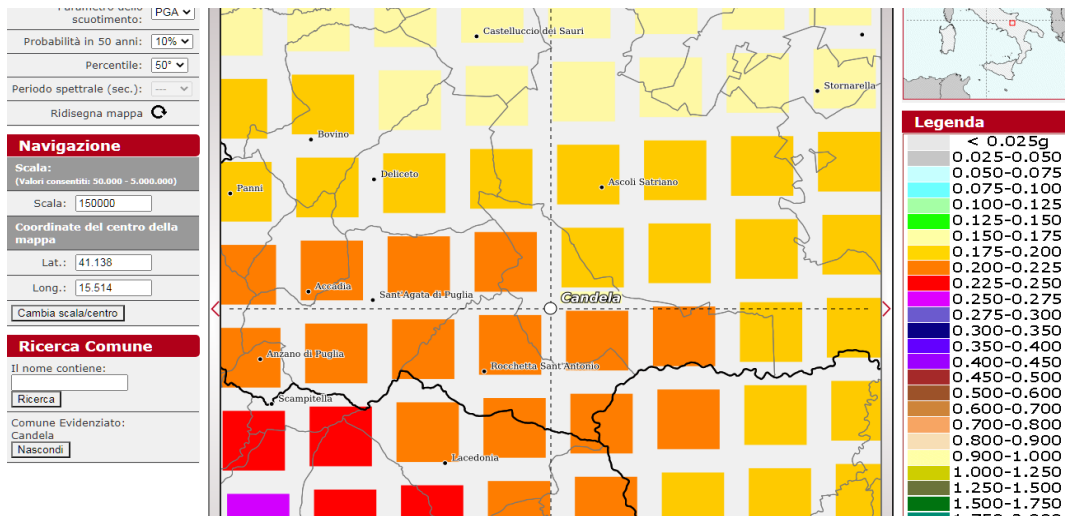
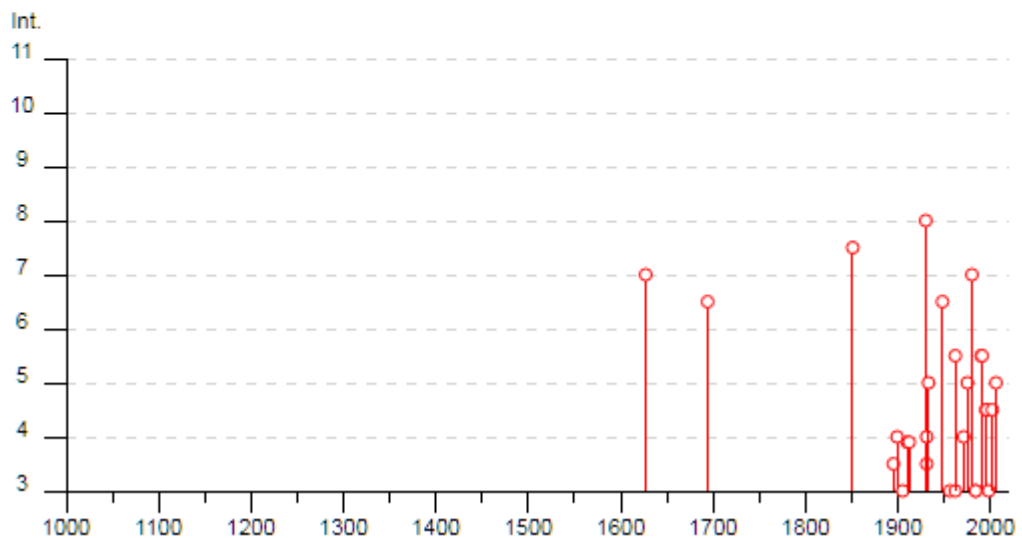


Fig. 6.1b. – *Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale espressa in termini accelerazione massima al suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli molto rigidi (Ordinanza 3519-06)*
 Di seguito si riporta un elenco di terremoti per l'area di interesse:

Candela

PlaceID	IT_62106
Coordinate (lat, lon)	41.136, 15.515
Comune (ISTAT 2015)	Candela
Provincia	Foggia
Regione	Puglia
Numero di eventi riportati	37



Effetti	In occasione del terremoto del									
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
7	🔗	1627	07	30	10	50	Capitanata	64	10	6.66
6-7	🔗	1694	09	08	11	40	Irpinia-Basilicata	251	10	6.73
7-8	🔗	1851	08	14	13	20	Vulture	103	10	6.52
NF	🔗	1882	06	06	05	40	Isernino	50	7	5.20
NF	🔗	1893	01	25			Vallo di Diano	134	7	5.15
3-4	🔗	1895	08	09	17	38 20	Adriatico centrale	103	6	5.11
4	🔗	1899	08	16	00	05	Subappennino dauno	32	6	4.57
NF	🔗	1905	03	14	19	16	Avellinese	94	6-7	4.90
3	🔗	1905	11	26			Irpinia	122	7-8	5.18
F	🔗	1910	06	07	02	04	Irpinia-Basilicata	376	8	5.76
F	🔗	1912	07	02	07	34	Tavoliere delle Puglie	49	5	4.55
8	🔗	1930	07	23	00	08	Irpinia	547	10	6.67
3-4	🔗	1931	05	10	10	48 55	Irpinia	43	5-6	4.64
4	🔗	1931	11	10	21	10	Vulture	7	5	4.16
5	🔗	1933	03	07	14	39	Irpinia	42	6	4.96
6-7	🔗	1948	08	18	21	12 20	Gargano	58	7-8	5.55
3	🔗	1956	09	22	03	19 39	Gargano	57	6	4.64
3	🔗	1962	01	19	05	01 25	Gargano	31	5	4.42
5-6	🔗	1962	08	21	18	19	Irpinia	562	9	6.15
2	🔗	1964	02	18	06	58 28	Irpinia	18	5-6	4.44
4	🔗	1971	05	06	03	45 05	Irpinia	68	6	4.83
5	🔗	1975	06	19	10	11	Gargano	61	6	5.02
7	🔗	1980	11	23	18	34 52	Irpinia-Basilicata	1394	10	6.81
3	🔗	1984	05	07	17	50	Monti della Meta	911	8	5.86
3	🔗	1984	05	11	10	41 4	Monti della Meta	342	7	5.47
5-6	🔗	1990	05	05	07	21 2	Potentino	1375		5.77
5-6	🔗	1991	05	26	12	25 5	Potentino	597	7	5.08
4-5	🔗	1995	09	30	10	14 3	Gargano	145	6	5.15
4-5	🔗	1996	04	03	13	04 3	Irpinia	557	6	4.90
3	🔗	1998	04	07	21	36 0	Valle dell'Ofanto	45	5	4.31
NF	🔗	2002	04	18	20	56 4	Appennino lucano	164	5	4.34
4-5	🔗	2002	11	01	15	09 0	Molise	638	7	5.72
NF	🔗	2003	06	01	15	45 1	Molise	501	5	4.44
NF	🔗	2003	12	30	05	31 3	Molise	326	4-5	4.53
NF	🔗	2004	02	24	05	21 2	Appennino lucano	140	5	4.21
NF	🔗	2004	09	03	00	04 1	Potentino	156	5	4.41
5	🔗	2006	05	29	02	20 0	Gargano	384		4.64

8.2- MICROZONAZIONE SISMICA

L'analisi dei danni che un terremoto produce all'interno di una stesso ambito territoriale evidenzia che le azioni sismiche possono manifestarsi con caratteristiche diverse anche in aree adiacenti in funzione delle diverse condizioni locali (morfologia superficiale, morfologia del substrato roccioso sepolto, presenza e profondità della falda freatica, costituzione e proprietà del sottosuolo, presenza di faglie, cambiamenti litologici orizzontali tali da tradursi in grossi contrasti di impedenza sismica ecc.); da ciò la necessità di individuare gli strumenti utili a prevedere e a mitigare gli effetti sismici in una zona limitata "Microzonazione sismica". Lo scopo della "Microzonazione Sismica" è quello di valutare ed individuare, sia all'interno di ambiti territoriali a scala sub-comunale, sia tra diversi ambiti territoriali, aree a comportamento omogeneo sotto il profilo della risposta sismica locale. Per la classificazione sismica dell'area interessata dal parco eolico è necessario conoscere le caratteristiche stratigrafiche del sottosuolo del sito indagato; in particolare devono essere noti:

- 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*);
 - 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.

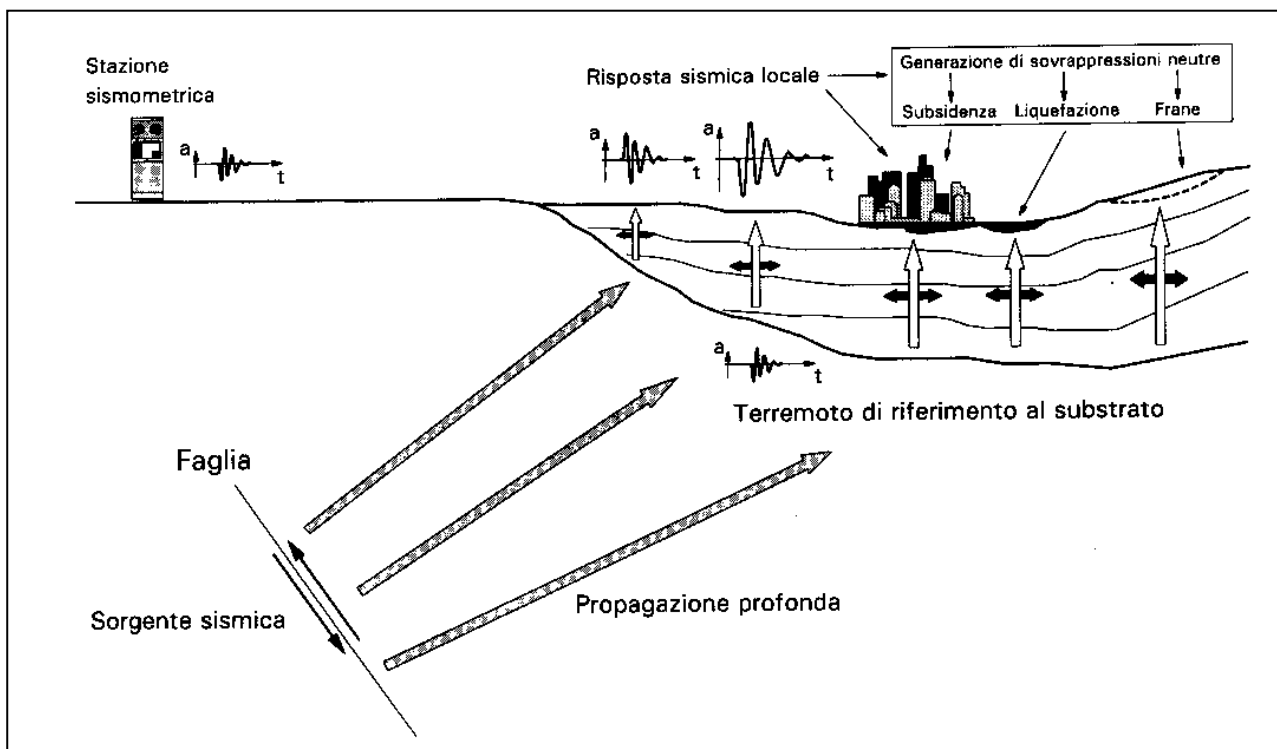


Fig. 6.2 Propagazione di un evento sismico dalla sorgente al sito e problemi geotecnici

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, per 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.



9. 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;
- 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), le verifiche analitiche di stabilità dei pendii effettuate hanno evidenziato che i versanti interessati dal progetto non subiscono modificazioni tali da innescare fenomeni dislocativi superficiali o profondo. Per quanto riguarda i vincoli relativi al P.S.D.A. AdB Regione Puglia, l'area di progetto è scevra da perimetrazioni;
- le indagini geognostiche effettuate nell'area interessata dal progetto (MASW) hanno evidenziato valori di V_s che oscillano da 489 m/s per lo stendimento n°1, a 395 m/s per lo stendimento n°3, questi vengono classificati come suoli di tipo **B**; lo stendimento n°2 presenta un valore di V_s pari a 338 m/s, in questo caso trovandosi il substrato ad una profondità non superiore a 30 metri viene classificato come suolo di tipo **E**, infine, lo stendimento n°4 presenta valori di V_s pari a 309 m/s che consente di classificare il terreno come suolo di tipo **C**.
- essendo il comune di **Candela** e il comune di **Deliceto** classificati sismicamente come **Zona 1**, in fase di progettazione esecutiva saranno effettuate specifiche indagini geognostiche per 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 dell'impianto fotovoltaico in questione e le relative opere di connessione, non presenta alcuna controindicazione.

Dott. Geol. Rosario A. FALCONE

10. 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

- 1. Calcolo di verifica di stabilità dei pendii**
- 2. Indagine geognostica indiretta del tipo MASW**
- 3. Corografia dell'area in scala 1:25.000**
- 4. Carta Geolitologica in scala 1:5.000**
- 5. Carta Geomorfológica in scala 1:5.000**
- 6. Carta Idrogeologica in scala 1:5.000**
- 7. Sezioni geolitologiche**
- 8. Modello geotecnico**

RELAZIONE DI CALCOLO

(verifica di stabilità dei pendii)

Definizione

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

Introduzione all'analisi di stabilità

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

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

(a) Si usano leggi costitutive semplificate: modello rigido perfettamente plastico. Si assume che la resistenza del materiale sia espressa unicamente dai parametri coesione (c) e angolo di resistenza al taglio (ϕ), costanti per il terreno e caratteristici dello stato plastico; quindi si suppone valido il criterio di rottura di Mohr-Coulomb.

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

Metodo equilibrio limite (LEM)

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

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

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

Metodo dei conci

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

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

n valori delle forze di taglio alla base del concio T_j

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

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

n valori della coordinata a che individua il punto di applicazione delle E_i ;
 $(n-1)$ valori della coordinata che individua il punto di applicazione delle X_i ;
 una incognita costituita dal fattore di sicurezza F .

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

mentre le equazioni a disposizione sono:

Equazioni di equilibrio dei momenti n
 Equazioni di equilibrio alla traslazione verticale n
 Equazioni di equilibrio alla traslazione orizzontale n
 Equazioni relative al criterio di rottura n
 Totale numero di equazioni $4n$

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

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

Il grado di indeterminazione si riduce ulteriormente a $(n-2)$ in quando si fa l'assunzione che N_i sia applicato nel punto medio della striscia, ciò equivale ad ipotizzare che le tensioni normali totali siano uniformemente distribuite.

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

Metodo di FELLENIUS (1927)

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

n valori delle forze normali N_i ;
 n valori delle forze da taglio T_i ;
 1 fattore di sicurezza.
Incognite $(2n+1)$

Le equazioni a disposizione sono:

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

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

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

Metodo di BISHOP (1955)

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

Le equazioni usate per risolvere il problema sono:

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

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

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

Metodo di JANBU (1967)

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

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

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

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

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

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

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

Tale correzione è molto attendibile per pendii poco inclinati.

Metodo di BELL (1968)

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

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

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

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

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

in cui

F = il fattore di sicurezza;

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Il secondo termine dell'equazione include la funzione:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Metodo di SARMA (1973)

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

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

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

Le equazioni da prendere in considerazione sono:

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

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

L'equazione di equilibrio dei momenti.

Condizioni di equilibrio alla traslazione orizzontale e verticale:

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

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

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

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

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

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

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

Si ha pertanto:

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

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

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

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

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

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

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

Metodo di SPENCER

Il metodo è basato sull'assunzione:

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

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

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

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

dove:

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

forza d'interazione fra i conci;

R = raggio dell'arco di cerchio;

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

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

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

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

$$\sum Q_i = 0$$

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

Metodo di MORGENSTERN e PRICE

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

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

Si ottiene la cosiddetta "equazione delle forze":

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

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

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

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

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

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

VALUTAZIONE DELL'AZIONE SISMICA

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

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

$$F_H = K_o \cdot W$$

$$F_V = K_v \cdot W$$

Essendo:

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

W : peso concio

K_o : Coefficiente sismico orizzontale

K_v : Coefficiente sismico verticale.

Calcolo coefficienti sismici

Le NTC 2008 calcolano i coefficienti K_O e K_V in dipendenza di vari fattori:

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

$$K_V = \pm 0,5 \times K_O$$

Con

β_s coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito;

a_{\max} accelerazione orizzontale massima attesa al sito;

g accelerazione di gravità.

Tutti i fattori presenti nelle precedenti formule dipendono dall'accelerazione massima attesa sul sito di riferimento rigido e dalle caratteristiche geomorfologiche del territorio.

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

S_S (effetto di amplificazione stratigrafica): $0.90 \leq S_S \leq 1.80$; è funzione di F_0 (Fattore massimo di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale) e della categoria di suolo (A, B, C, D, E).

S_T (effetto di amplificazione topografica).

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

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

Questi valori sono calcolati come funzione del punto in cui si trova il sito oggetto di analisi. Il parametro di entrata per il calcolo è il tempo di ritorno dell'evento sismico che è valutato come segue:

$$T_R = -V_R / \ln(1 - PVR)$$

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

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

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

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

tipo A - $S=1$;

tipo B - $S=1.25$;

tipo C - $S=1.25$;

tipo E - $S=1.25$;

tipo D - $S=1.35$.

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

$S_T \geq 1,2$ per siti in prossimità del ciglio superiore di pendii scoscesi isolati;

$S_T \geq 1,4$ per siti prossimi alla sommità di profili topografici aventi larghezza in testa molto

inferiore alla larghezza alla base e pendenza media $> 30^\circ$; $S_T \geq 1,2$ per siti dello stesso tipo ma pendenza media inferiore.

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

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

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

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

γ_I : fattore di importanza,

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

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

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

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

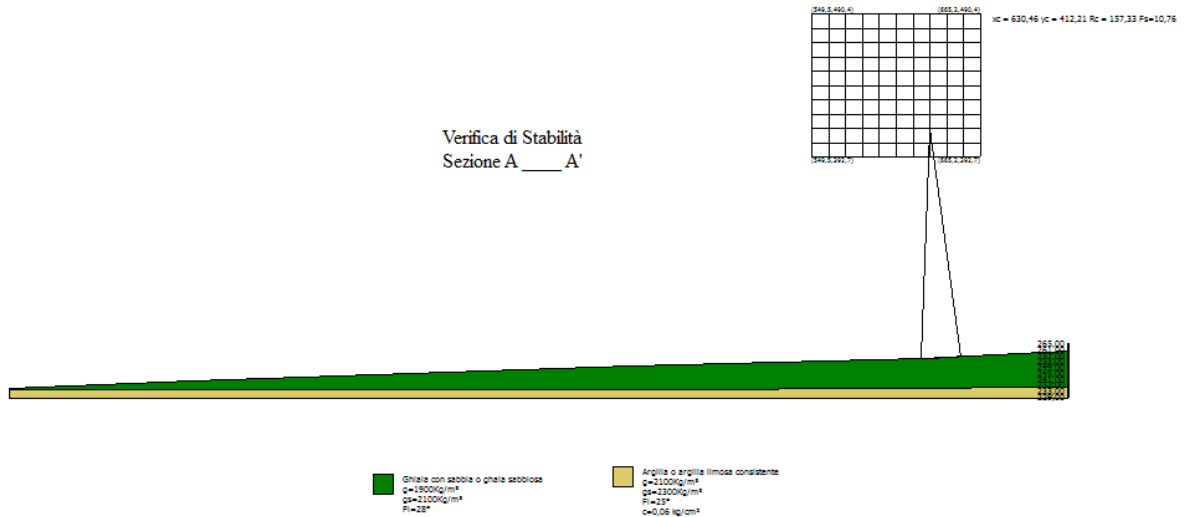
$$K_V = \pm 0.5 \cdot K_0$$

Ricerca della superficie di scorrimento critica

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

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

SEZIONE A ____ A' pendio naturale



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	549,53 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	392,66 m
Ascissa vertice destro superiore xs	665,15 m
Ordinata vertice destro superiore ys	490,42 m
Passo di ricerca	10,0
Numero di celle lungo x	10,0
Numero di celle lungo y	10,0

Vertici profilo

N	X m	y m
1	0,0	235,0
2	125,0	240,0
3	275,0	245,0
4	425,0	250,0
5	625,0	255,0
6	725,0	260,0

Vertici strato1

N	X m	y m
1	0,0	234,02
2	461,12	234,02
3	725,0	235,74

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 con sabbia o ghiaia sabbiosa
2	0,06	25	2100	2300	0,00	Argilla o argilla limosa consistente

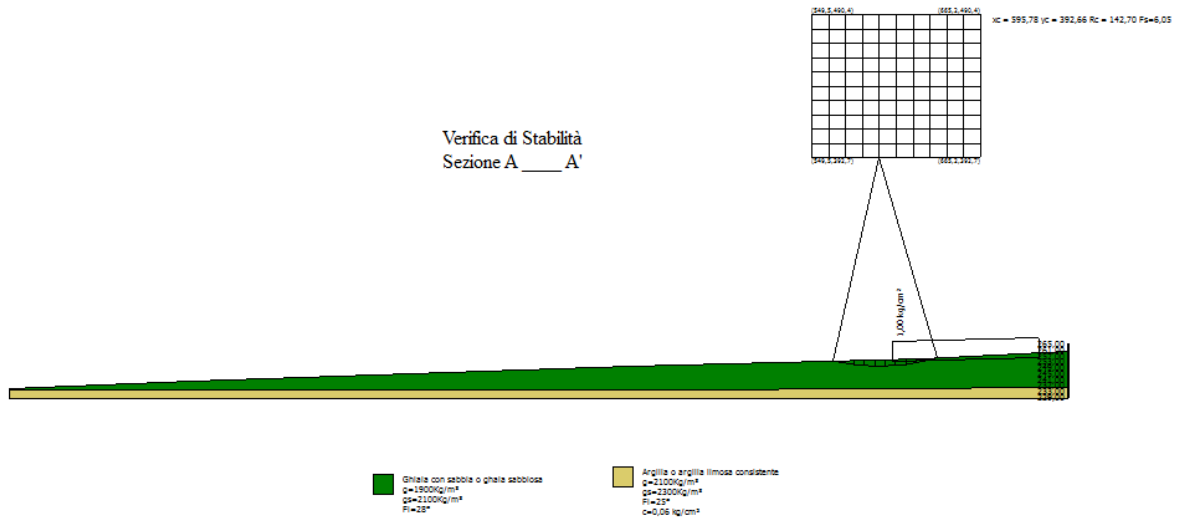
Risultati analisi pendio

Fs minimo individuato	10,76
Ascissa centro superficie	630,46 m
Ordinata centro superficie	412,21 m
Raggio superficie	157,33 m

Analisi dei conci. Superficie...xc = 630,464 yc = 412,209 Rc = 157,331 Fs=10,7634

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	0,44	-2,1	0,44	11,38	0,0	0,0	0,0	28,0	0,0	-0,2	0,0
2	5,03	-1,1	5,03	2098,55	0,0	0,0	0,0	28,0	0,0	-198,3	-9,8
3	2,73	0,3	2,73	2278,41	0,0	0,0	0,0	28,0	0,0	37,0	1,8
4	2,73	1,3	2,73	2781,38	0,0	0,0	0,0	28,0	0,0	177,5	8,8
5	2,73	2,3	2,74	3037,13	0,0	0,0	0,0	28,0	0,0	338,7	16,7
6	2,73	3,3	2,74	3045,69	0,0	0,0	0,0	28,0	0,0	485,0	24,0
7	2,73	4,3	2,74	2805,87	0,0	0,0	0,0	28,0	0,0	580,8	28,7
8	2,73	5,3	2,75	2316,85	0,0	0,0	0,0	28,0	0,0	591,2	29,2
9	2,73	6,3	2,75	1579,51	0,0	0,0	0,0	28,0	0,0	479,3	23,7
10	2,73	7,3	2,76	588,53	0,0	0,0	0,0	28,0	0,0	207,3	10,2

SEZIONE A _____ A' pendio con carico distribuito



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	549,53 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	392,66 m
Ascissa vertice destro superiore xs	665,15 m
Ordinata vertice destro superiore ys	490,42 m
Passo di ricerca	10,0
Numero di celle lungo x	10,0
Numero di celle lungo y	10,0

Vertici profilo

N	X m	y m
1	0,0	235,0
2	125,0	240,0
3	275,0	245,0
4	425,0	250,0
5	625,0	255,0
6	725,0	260,0

Vertici strato1

N	X m	y m
1	0,0	234,02
2	461,12	234,02
3	725,0	235,74

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 con sabbia o ghiaia sabbiosa
2	0,06	25	2100	2300	0,00	Argilla o argilla limosa consistente

Carichi distribuiti

N°	xi m	yi m	xf m	yf m	Carico esterno (kg/cm ²)
1	604,79	253,38	704,79	255,88	1

Risultati analisi pendio**Fs minimo individuato****6,05**

Ascissa centro superficie

595,78 m

Ordinata centro superficie

392,66 m

Raggio superficie

142,7 m

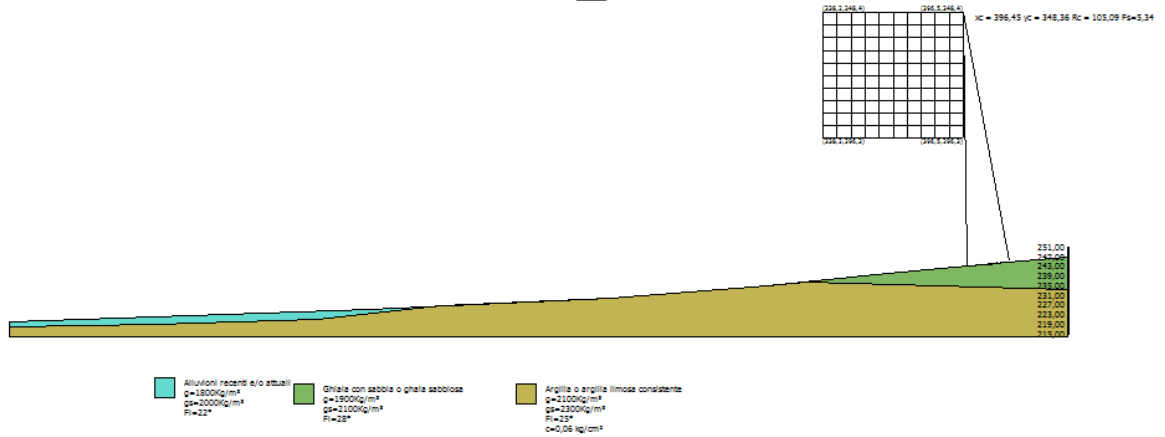
B: Larghezza del conchio; Alfa: Angolo di inclinazione della base del conchio; Li: Lunghezza della base del conchio; Wi: Peso del conchio; Ui: Forze derivanti dalle pressioni neutre; Ni: forze agenti normalmente alla direzione di scivolamento; Ti: forze agenti parallelamente alla superficie di scivolamento;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

Analisi dei conchi. Superficie...xc = 595,779 yc = 392,656 Rc = 142,699 Fs=6,0452

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	7,09	-11,3	7,23	11385,81	0,0	0,0	0,0	28,0	0,0	-15953,9	-1403,2
2	7,09	-8,4	7,17	30396,1	0,0	0,0	0,0	28,0	0,0	-31926,6	-2808,1
3	7,09	-5,5	7,13	44491,02	0,0	0,0	0,0	28,0	0,0	-30692,6	-2699,6
4	7,09	-2,7	7,1	53762,73	0,0	0,0	0,0	28,0	0,0	-17843,1	-1569,4
5	7,09	0,2	7,09	58261,07	0,0	0,0	0,0	28,0	0,0	1397,1	122,9
6	7,09	3,0	7,1	78336,1	0,0	0,0	0,0	28,0	0,0	29755,6	2617,2
7	7,09	5,9	7,13	123909,2	0,0	0,0	0,0	28,0	0,0	91545,0	8052,0
8	7,09	8,7	7,18	114040,8	0,0	0,0	0,0	28,0	0,0	125935,9	11076,9
9	3,99	11,0	4,06	57854,99	0,0	0,0	0,0	28,0	0,0	45400,5	3993,3
10	10,2	13,9	10,51	122502,1	0,0	0,0	0,0	28,0	0,0	313380,8	27563,8

SEZIONE B _____ B' pendio naturale

Verifica di stabilità Sezione B ____ B'



Analisi di stabilità dei pendii con BELL

Numero di strati	3,0
Numero dei conci	10,0
Superficie di forma circolare	

Maglia dei Centri

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	338,15 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	296,25 m
Ascissa vertice destro superiore xs	396,45 m
Ordinata vertice destro superiore ys	348,36 m
Passo di ricerca	10,0
Numero di celle lungo x	10,0
Numero di celle lungo y	10,0

Vertici profilo

N	X m	y m
1	0,0	220,0
2	150,0	225,0
3	250,0	230,0
4	315,0	235,0
5	365,0	240,0
6	415,0	245,0
7	440,0	247,0

Vertici strato1

N	X m	y m
1	0,0	220,0
2	150,0	225,0
3	250,0	230,0
4	315,0	235,0
5	331,69	236,67
6	440,0	233,63

Vertici strato2

N	X m	y m
1	0,0	217,93
2	61,09	218,98
3	128,16	221,04
4	179,46	226,47
5	250,0	230,0
6	315,0	235,0
7	331,69	236,67
8	440,0	233,63

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 con sabbia o ghiaia sabbiosa
2	0	22	1800	2000	0,00	Alluvioni recenti e/o attuali
3	0,06	25	2100	2300	0,00	Argilla o argilla limosa consistente

Risultati analisi pendio

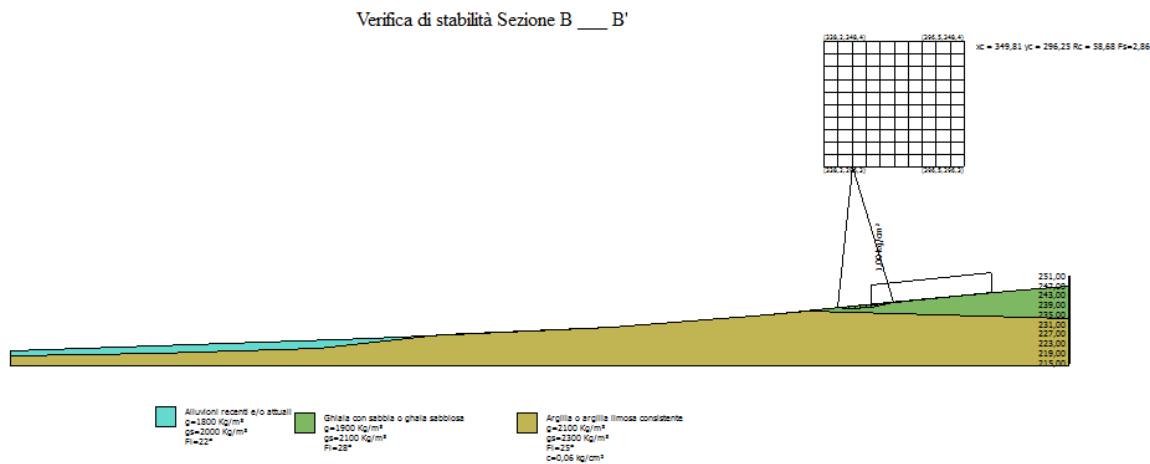
Fs minimo individuato	5,34
Ascissa centro superficie	396,45 m
Ordinata centro superficie	348,36 m
Raggio superficie	105,09 m

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 = 396,454 yc = 348,362 Rc = 105,093 Fs=5,335

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	1,8	1,2	1,8	255,87	0,0	0,0	0,0	28,0	0,0	9,8	1,0
2	1,8	2,2	1,8	688,76	0,0	0,0	0,0	28,0	0,0	47,6	4,7
3	1,8	3,2	1,8	1016,0	0,0	0,0	0,0	28,0	0,0	101,7	10,1
4	1,8	4,2	1,81	1237,26	0,0	0,0	0,0	28,0	0,0	162,6	16,2
5	1,8	5,1	1,81	1351,54	0,0	0,0	0,0	28,0	0,0	219,6	21,9
6	1,8	6,1	1,81	1359,74	0,0	0,0	0,0	28,0	0,0	263,5	26,3
7	1,8	7,1	1,82	1259,51	0,0	0,0	0,0	28,0	0,0	284,0	28,3
8	1,8	8,1	1,82	1051,92	0,0	0,0	0,0	28,0	0,0	270,5	27,0
9	1,8	9,1	1,82	735,08	0,0	0,0	0,0	28,0	0,0	212,5	21,2
10	1,8	10,1	1,83	308,24	0,0	0,0	0,0	28,0	0,0	99,1	9,9

SEZIONE B _____ B' pendio con carico distribuito



Analisi di stabilità dei pendii con BELL

Numero di strati	3,0
Numero dei conci	10,0

Superficie di forma circolare

Maglia dei Centri

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	338,15 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	296,25 m
Ascissa vertice destro superiore xs	396,45 m
Ordinata vertice destro superiore ys	348,36 m
Passo di ricerca	10,0
Numero di celle lungo x	10,0
Numero di celle lungo y	10,0

Vertici profilo

N	X m	y m
1	0,0	220,0
2	150,0	225,0
3	250,0	230,0
4	315,0	235,0
5	365,0	240,0
6	415,0	245,0
7	440,0	247,0

Vertici strato1

N	X m	y m
1	0,0	220,0
2	150,0	225,0
3	250,0	230,0
4	315,0	235,0
5	331,69	236,67
6	440,0	233,63

Vertici strato2

N	X m	y m
1	0,0	217,93
2	61,09	218,98
3	128,16	221,04
4	179,46	226,47
5	250,0	230,0
6	315,0	235,0
7	331,69	236,67
8	440,0	233,63

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 con sabbia o ghiaia sabbiosa
2	0	22	1800	2000	0,00	Alluvioni recenti e/o attuali
3	0,06	25	2100	2300	0,00	Argilla o argilla limosa consistente

Carichi distribuiti

N°	xi m	yi m	xf m	yf m	Carico esterno (kg/cm ²)
1	357,76	239,1	407,76	244,1	1

Risultati analisi pendio

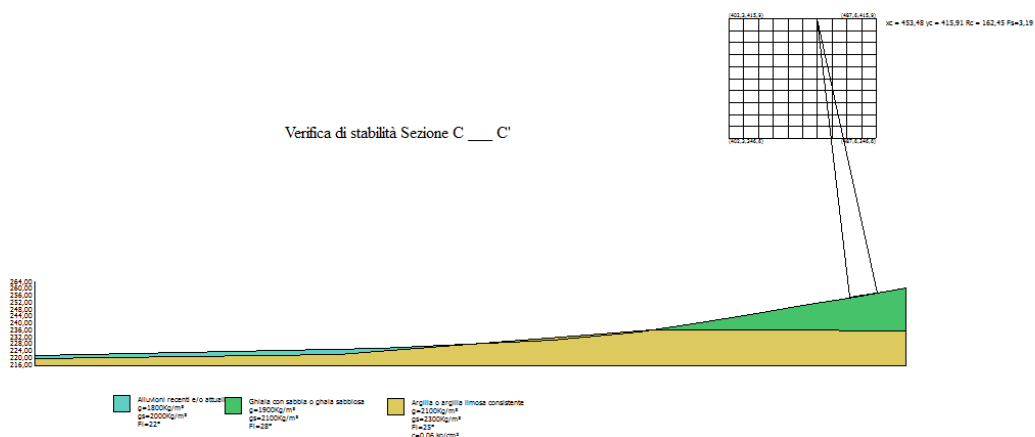
Fs minimo individuato	2,86
Ascissa centro superficie	349,81 m
Ordinata centro superficie	296,25 m
Raggio superficie	58,68 m

B: Larghezza del conchio; Alfa: Angolo di inclinazione della base del conchio; Li: Lunghezza della base del conchio; Wi: Peso del conchio; 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 conchi. Superficie...xc = 349,812 yc = 296,251 Rc = 58,683 Fs=2,8641

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	2,35	-4,7	2,36	1012,0	0,0	0,0	0,0	28,0	0,0	-150,0	-27,8
2	2,35	-2,4	2,35	2719,07	0,0	0,0	0,0	28,0	0,0	-231,1	-42,9
3	2,35	-0,2	2,35	4005,21	0,0	0,0	0,0	28,0	0,0	13,0	2,4
4	2,35	2,1	2,35	4871,72	0,0	0,0	0,0	28,0	0,0	464,2	86,2
5	2,35	4,4	2,36	5317,03	0,0	0,0	0,0	28,0	0,0	1003,2	186,2
6	2,35	6,7	2,37	6553,36	0,0	0,0	0,0	28,0	0,0	1853,6	344,1
7	2,35	9,1	2,38	28423,78	0,0	0,0	0,0	28,0	0,0	10724,3	1990,9
8	2,35	11,4	2,4	27580,77	0,0	0,0	0,0	28,0	0,0	13144,7	2440,2
9	2,35	13,7	2,42	26291,29	0,0	0,0	0,0	28,0	0,0	15192,3	2820,4
10	2,35	16,1	2,45	23542,74	0,0	0,0	0,0	28,0	0,0	16067,8	2982,9

SEZIONE C ____ C' pendio naturale



Analisi di stabilità dei pendii con BELL

Numero di strati	3,0
Numero dei conci	10,0

Superficie di forma circolare

Maglia dei Centri

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	402,32 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	346,63 m
Ascissa vertice destro superiore xs	487,59 m
Ordinata vertice destro superiore ys	415,91 m
Passo di ricerca	10,0
Numero di celle lungo x	10,0
Numero di celle lungo y	10,0

Vertici profilo

N	X m	y m
1	0,0	221,0
2	200,0	225,0
3	300,0	230,0
4	350,0	235,0
5	385,0	240,0
6	415,0	245,0
7	445,0	250,0
8	475,0	255,0
9	505,0	260,0

Vertici strato1

N	X m	y m
1	0,0	221,0
2	200,0	225,0
3	300,0	230,0
4	350,0	235,0
5	355,85	235,84
6	436,66	235,84
7	494,7	235,24
8	505,0	235,24

Vertici strato2

N	X m	y m
1	0,0	219,22
2	176,11	221,62
3	357,71	235,84
4	436,66	235,84
5	494,7	235,24
6	505,0	235,24

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 con sabbia o ghiaia sabbiosa
2	0	22	1800	2000	0,00	Alluvioni recenti e/o attuali
3	0,06	25	2100	2300	0,00	Argilla o argilla limosa consistente

Risultati analisi pendio

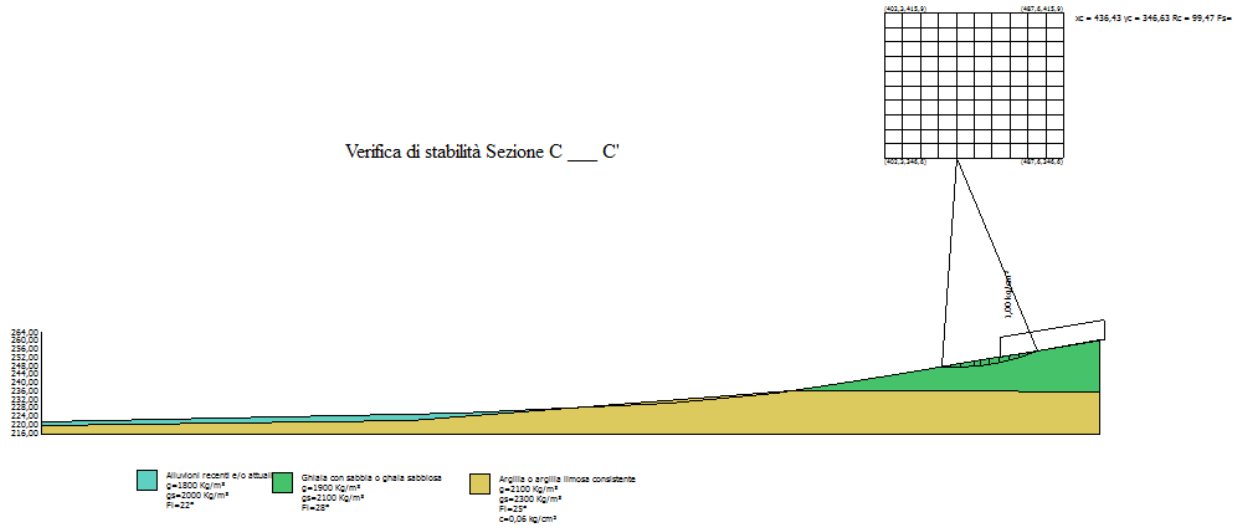
Fs minimo individuato	3,19
Ascissa centro superficie	453,48 m
Ordinata centro superficie	415,91 m
Raggio superficie	162,45 m

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 = 453,482 yc = 415,909 Rc = 162,451 Fs=3,1936

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	1,57	6,9	1,58	110,47	0,0	0,0	0,0	28,0	0,0	21,1	3,5
2	1,11	7,4	1,12	194,09	0,0	0,0	0,0	28,0	0,0	28,1	4,7
3	2,02	8,0	2,04	542,7	0,0	0,0	0,0	28,0	0,0	153,7	25,6
4	1,57	8,6	1,59	532,6	0,0	0,0	0,0	28,0	0,0	126,5	21,1
5	1,57	9,2	1,59	580,37	0,0	0,0	0,0	28,0	0,0	146,9	24,5
6	1,57	9,7	1,59	581,27	0,0	0,0	0,0	28,0	0,0	156,3	26,0
7	1,57	10,3	1,59	535,19	0,0	0,0	0,0	28,0	0,0	152,4	25,4
8	1,57	10,9	1,6	441,95	0,0	0,0	0,0	28,0	0,0	132,9	22,1
9	1,57	11,4	1,6	301,0	0,0	0,0	0,0	28,0	0,0	95,3	15,9
10	1,57	12,0	1,6	112,33	0,0	0,0	0,0	28,0	0,0	37,4	6,2

SEZIONE C ___ C' pendio con carico distribuito



Analisi di stabilità dei pendii con BELL

Numero di strati	3,0
Numero dei conci	10,0
Superficie di forma circolare	

Maglia dei Centri

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	402,32 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	346,63 m
Ascissa vertice destro superiore xs	487,59 m
Ordinata vertice destro superiore ys	415,91 m
Passo di ricerca	10,0
Numero di celle lungo x	10,0
Numero di celle lungo y	10,0

Vertici profilo

N	X m	y m
1	0,0	221,0
2	200,0	225,0
3	300,0	230,0
4	350,0	235,0
5	385,0	240,0
6	415,0	245,0
7	445,0	250,0
8	475,0	255,0
9	505,0	260,0

Vertici strato1

N	X m	y m
1	0,0	221,0
2	200,0	225,0
3	300,0	230,0
4	350,0	235,0
5	355,85	235,84
6	436,66	235,84
7	494,7	235,24
8	505,0	235,24

Vertici strato2

N	X m	y m
1	0,0	219,22
2	176,11	221,62
3	357,71	235,84
4	436,66	235,84
5	494,7	235,24
6	505,0	235,24

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 con sabbia o ghiaia sabbiosa
2	0	22	1800	2000	0,00	Alluvioni recenti e/o attuali
3	0,06	25	2100	2300	0,00	Argilla o argilla limosa consistente

Carichi distribuiti

N°	xi m	yi m	xf m	yf m	Carico esterno (kg/cm ²)
1	457,39	251,91	507,39	260,2433	1

Risultati analisi pendio

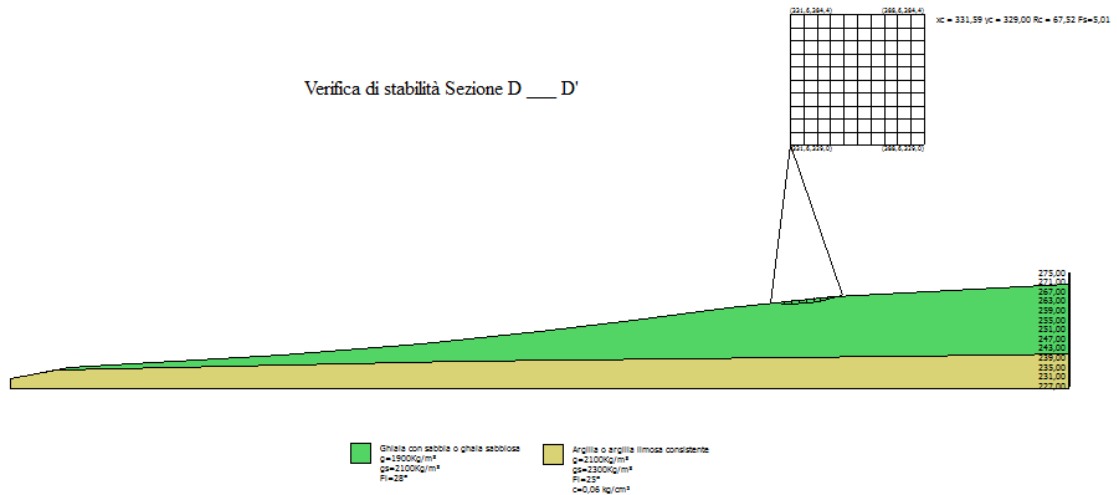
Fs minimo individuato	2,23
Ascissa centro superficie	436,43 m
Ordinata centro superficie	346,63 m
Raggio superficie	99,47 m

B: Larghezza del conccio; Alfa: Angolo di inclinazione della base del conccio; Li: Lunghezza della base del conccio; Wi: Peso del conccio ; 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 concci. Superficie...xc = 436,427 yc = 346,625 Rc = 99,472 Fs=2,2283

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (kg/cm ²)	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
1	4,58	-2,7	4,59	4508,92	0,0	0,0	0,0	28,0	0,0	-801,2	-191,2
2	4,58	-0,1	4,58	12142,48	0,0	0,0	0,0	28,0	0,0	92,2	22,0
3	6,42	3,1	6,43	26453,56	0,0	0,0	0,0	28,0	0,0	9474,0	2260,6
4	2,74	5,7	2,76	13434,87	0,0	0,0	0,0	28,0	0,0	3815,1	910,3
5	4,58	7,9	4,63	23961,63	0,0	0,0	0,0	28,0	0,0	15434,3	3682,8
6	4,58	10,5	4,66	24148,23	0,0	0,0	0,0	28,0	0,0	20890,7	4984,8
7	4,58	13,2	4,71	63459,6	0,0	0,0	0,0	28,0	0,0	69177,9	16506,8
8	4,58	16,0	4,77	64493,85	0,0	0,0	0,0	28,0	0,0	85491,8	20399,5
9	4,58	18,7	4,84	58672,9	0,0	0,0	0,0	28,0	0,0	92148,2	21987,8
10	4,58	21,6	4,93	49686,19	0,0	0,0	0,0	28,0	0,0	90835,6	21674,6

SEZIONE D ____ D' pendio naturale



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 x_i	331,59 m
Ordinata vertice sinistro inferiore y_i	329,0 m
Ascissa vertice destro superiore x_s	388,58 m
Ordinata vertice destro superiore y_s	384,4 m
Passo di ricerca	10,0
Numero di celle lungo x	10,0
Numero di celle lungo y	10,0

Vertici profilo

N	X m	y m
1	0,0	230,0
2	25,0	235,0
3	115,0	240,0
4	175,0	245,0
5	225,0	250,0
6	265,0	255,0
7	305,0	260,0
8	350,0	265,0
9	450,0	270,0

Vertici strato1

N	X m	y m
1	0,0	230,0
2	19,51	233,9
3	191,76	237,18
4	421,29	239,82
5	450,0	240,38

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 con sabbia o ghiaia sabbiosa
2	0,06	25	2100	2300	0,00	Argilla o argilla limosa consistente

Risultati analisi pendio**Fs minimo individuato****5,01**

Ascissa centro superficie

331,59 m

Ordinata centro superficie

329,0 m

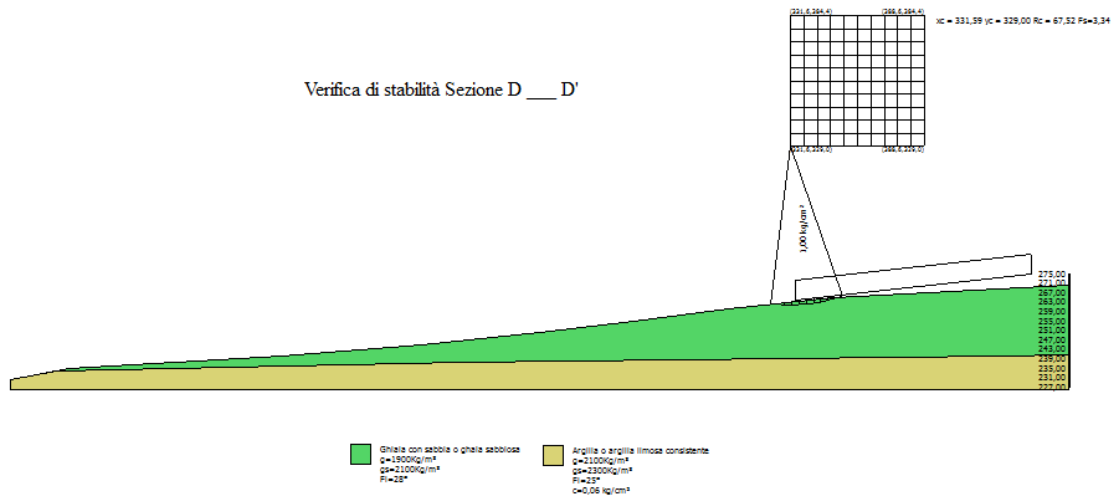
Raggio superficie

67,52 m

Analisi dei conchi. Superficie...xc = 331,59 yc = 328,998 Rc = 67,522 Fs=5,0122

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	3,05	-5,9	3,07	2006,76	0,0	0,0	0,0	28,0	0,0	-644,1	-68,3
2	3,05	-3,3	3,06	5406,87	0,0	0,0	0,0	28,0	0,0	-968,2	-102,7
3	3,05	-0,7	3,05	8001,37	0,0	0,0	0,0	28,0	0,0	-311,3	-33,0
4	3,05	1,9	3,06	9792,66	0,0	0,0	0,0	28,0	0,0	988,7	104,9
5	3,05	4,5	3,06	10780,02	0,0	0,0	0,0	28,0	0,0	2601,6	276,0
6	3,05	7,1	3,08	10958,2	0,0	0,0	0,0	28,0	0,0	4201,7	445,7
7	3,05	9,7	3,1	10314,98	0,0	0,0	0,0	28,0	0,0	5444,5	577,6
8	3,05	12,3	3,13	8833,65	0,0	0,0	0,0	28,0	0,0	5967,4	633,0
9	2,46	14,7	2,54	5437,23	0,0	0,0	0,0	28,0	0,0	3555,3	377,2
10	3,65	17,5	3,83	3548,24	0,0	0,0	0,0	28,0	0,0	4118,9	436,9

SEZIONE D ____ D' pendio con carico distribuito



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	331,59 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	329,00 m
Ascissa vertice destro superiore xs	388,58 m
Ordinata vertice destro superiore ys	384,4 m
Passo di ricerca	10,0
Numero di celle lungo x	10,0
Numero di celle lungo y	10,0

Vertici profilo

N	X m	y m
1	0,0	230,0
2	25,0	235,0
3	115,0	240,0
4	175,0	245,0
5	225,0	250,0
6	265,0	255,0
7	305,0	260,0
8	350,0	265,0
9	450,0	270,0

Vertici strato1

N	X m	y m
1	0,0	230,0
2	19,51	233,9
3	191,76	237,18
4	421,29	239,82
5	450,0	240,38

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 con sabbia o ghiaia sabbiosa
2	0,06	25	2100	2300	0,00	Argilla o argilla limosa consistente

Carichi distribuiti

N°	xi m	yi m	xf m	yf m	Carico esterno (kg/cm ²)
1	333,7	263,78	433,7	274,8911	1

Risultati analisi pendio

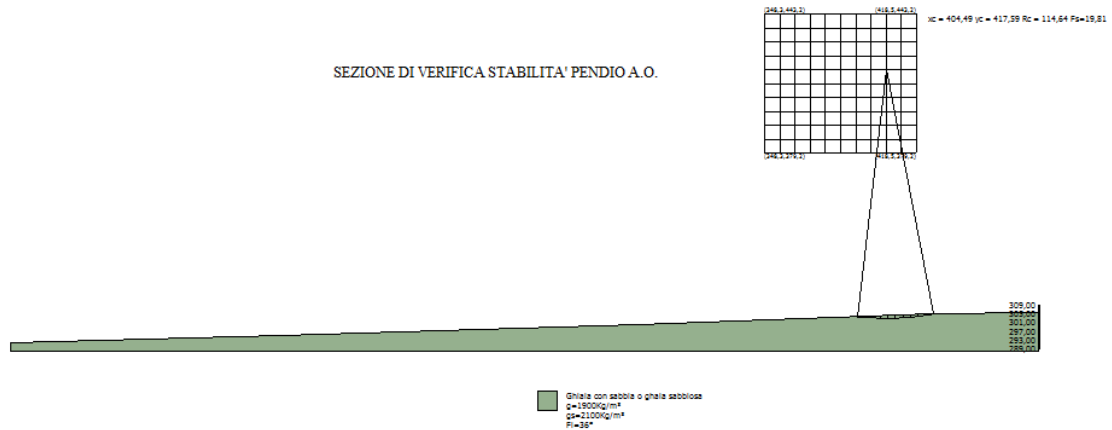
Fs minimo individuato	3,34
Ascissa centro superficie	331,59 m
Ordinata centro superficie	329,0 m
Raggio superficie	67,52 m

Analisi dei conchi. Superficie...xc = 331,59 yc = 328,998 Rc = 67,522 Fs=3,3403

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	3,05	-5,9	3,07	2006,76	0,0	0,0	0,0	28,0	0,0	-606,8	-96,6
2	3,05	-3,3	3,06	5406,87	0,0	0,0	0,0	28,0	0,0	-934,2	-148,7
3	3,05	-0,7	3,05	8001,37	0,0	0,0	0,0	28,0	0,0	-282,4	-45,0
4	3,05	1,9	3,06	26034,41	0,0	0,0	0,0	28,0	0,0	2649,4	421,7
5	3,05	4,5	3,06	41326,59	0,0	0,0	0,0	28,0	0,0	9976,6	1588,1
6	3,05	7,1	3,08	41504,77	0,0	0,0	0,0	28,0	0,0	15901,0	2531,1
7	3,05	9,7	3,1	40861,24	0,0	0,0	0,0	28,0	0,0	21539,3	3428,6
8	3,05	12,3	3,13	39380,22	0,0	0,0	0,0	28,0	0,0	26560,0	4227,8
9	2,46	14,7	2,54	30009,38	0,0	0,0	0,0	28,0	0,0	19588,8	3118,2
10	3,65	17,5	3,83	39068,87	0,0	0,0	0,0	28,0	0,0	45265,3	7205,4

VERIFICA DI STABILITA' SOTTOSTAZIONE DI CONFERIMENTO ENERGIA

Sezione A' ____ A ante opera



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	348,34 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	379,16 m
Ascissa vertice destro superiore xs	418,52 m
Ordinata vertice destro superiore ys	443,21 m
Passo di ricerca	10,0
Numero di celle lungo x	10,0
Numero di celle lungo y	10,0

Vertici profilo

N	X m	y m
1	0,0	292,0
2	125,0	295,0
3	290,0	300,0
4	425,0	305,0
5	475,0	306,0

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	36	1900	2100	0,00	Ghiaia con sabbia o ghaia sabbiosa

Risultati analisi pendio

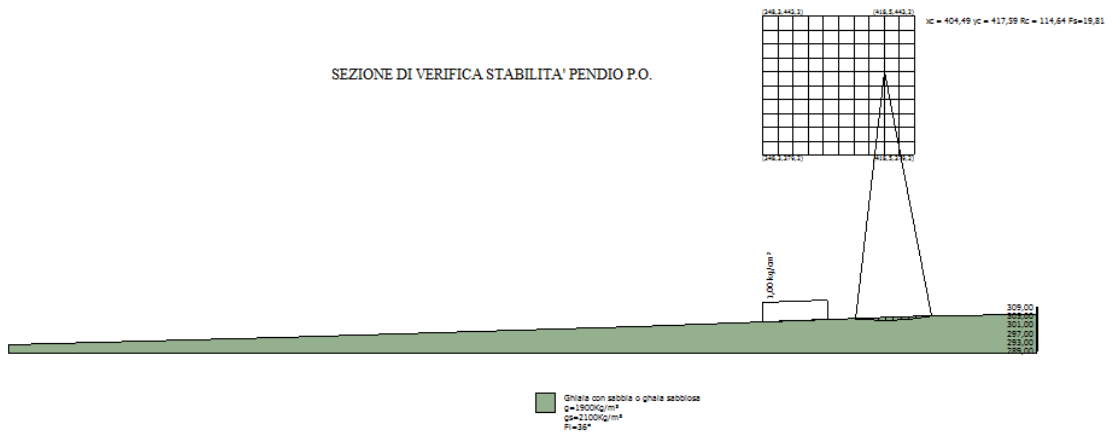
Fs minimo individuato	19,81
Ascissa centro superficie	404,49 m
Ordinata centro superficie	417,59 m
Raggio superficie	114,64 m

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 = 404,485 yc = 417,588 Rc = 114,637 Fs=19,8101

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	3,51	-5,9	3,53	1728,51	0,0	0,0	0,0	36,0	0,0	-625,8	-23,0
2	3,51	-4,1	3,52	4638,98	0,0	0,0	0,0	36,0	0,0	-1171,0	-42,9
3	3,51	-2,3	3,52	6823,16	0,0	0,0	0,0	36,0	0,0	-980,8	-36,0
4	3,51	-0,6	3,51	8287,16	0,0	0,0	0,0	36,0	0,0	-291,8	-10,7
5	3,51	1,2	3,52	9031,59	0,0	0,0	0,0	36,0	0,0	659,4	24,2
6	3,51	2,9	3,52	9054,01	0,0	0,0	0,0	36,0	0,0	1644,2	60,3
7	3,51	4,7	3,53	8356,04	0,0	0,0	0,0	36,0	0,0	2427,9	89,0
8	3,51	6,5	3,54	6929,13	0,0	0,0	0,0	36,0	0,0	2774,0	101,7
9	3,51	8,2	3,55	4770,43	0,0	0,0	0,0	36,0	0,0	2440,3	89,5
10	3,51	10,0	3,57	1867,5	0,0	0,0	0,0	36,0	0,0	1165,3	42,7

Sezione A' _____ A post opera



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	348,34 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	379,16 m
Ascissa vertice destro superiore xs	418,52 m
Ordinata vertice destro superiore ys	443,21 m
Passo di ricerca	10,0
Numero di celle lungo x	10,0
Numero di celle lungo y	10,0

Vertici profilo

N	X m	y m
1	0,0	292,0
2	125,0	295,0
3	290,0	300,0
4	425,0	305,0
5	475,0	306,0

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	36	1900	2100	0,00	Ghiaia con sabbia o ghiaia sabbiosa

Carichi distribuiti

N°	xi m	yi m	xf m	yf m	Carico esterno (kg/cm ²)
1	348,34	302,29	378,34	303,4011	1

Risultati analisi pendio

Fs minimo individuato	19,81
Ascissa centro superficie	404,49 m
Ordinata centro superficie	417,59 m
Raggio superficie	114,64 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 = 404,485 yc = 417,588 Rc = 114,637 Fs=19,8101

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	3,51	-5,9	3,53	1728,51	0,0	0,0	0,0	36,0	0,0	-625,8	-23,0
2	3,51	-4,1	3,52	4638,98	0,0	0,0	0,0	36,0	0,0	-1171,0	-42,9
3	3,51	-2,3	3,52	6823,16	0,0	0,0	0,0	36,0	0,0	-980,8	-36,0
4	3,51	-0,6	3,51	8287,16	0,0	0,0	0,0	36,0	0,0	-291,8	-10,7
5	3,51	1,2	3,52	9031,59	0,0	0,0	0,0	36,0	0,0	659,4	24,2
6	3,51	2,9	3,52	9054,01	0,0	0,0	0,0	36,0	0,0	1644,2	60,3
7	3,51	4,7	3,53	8356,04	0,0	0,0	0,0	36,0	0,0	2427,9	89,0
8	3,51	6,5	3,54	6929,13	0,0	0,0	0,0	36,0	0,0	2774,0	101,7
9	3,51	8,2	3,55	4770,43	0,0	0,0	0,0	36,0	0,0	2440,3	89,5
10	3,51	10,0	3,57	1867,5	0,0	0,0	0,0	36,0	0,0	1165,3	42,7



SOIL PROJECT s.a.s.

Viale Europa snc - Loc. Cubante, 82018 CALVI (BN)

cell: 346 8554913 - 340 6867752 - 347 1324351

email: info@soilprojectsas.it

P.I.:01515280624

INDAGINE SISMICA
TIPO:

Multichannel Analysis of Surfaces Waves
MASW

OGGETTO:

Progetto per la realizzazione di un impianto fotovoltaico per la produzione di energia elettrica da fonte solare fotovoltaica della potenza di 23,482 MWp sito nel comune di Candela (FG) in zona industriale e relative opere connesse.

PROVA:

MASW-01

LOCALITA':

Comune di CANDELA (FG)
Zona Industriale

COMMITTENTE:

Geologo Antonio Falcone

RICHIEDENTE:

Geologo Antonio Falcone

DATA:

18 Maggio 2021

**DIRETTORE LAVORI
D'INDAGINE**

Geologo Antonio Falcone

**MAPPA
UBICAZIONE
INDAGINE:**



Il Tecnico Progettista:

Il Direttore dei Lavori d'Indagine:

INTRODUZIONE

Le indagini geofisiche basate su misure di propagazione delle onde elastiche hanno lo scopo di definire, tramite differenti metodiche e metodologie di analisi, modelli stratigrafici del sottosuolo ad una o più dimensioni spaziali. Nello specifico le sequenze stratigrafiche così prodotte sono caratterizzate dalla variazione dei parametri geo-dinamici (sismostratigrafie) che, data la loro corrispondenza con le proprietà litologiche e litotecniche dei terreni, attribuiscono alle indagini geofisiche un efficace mezzo esplorativo del sottosuolo. Inoltre, la determinazione di sequenze sismo-stratigrafiche basate sulla velocità delle onde di taglio (V_s) ottempera a quanto previsto dall'attuale normativa nazionale riguardante le costruzioni in zona sismica (OPCM 3274 e succ., NTC 2005 e succ., DM 14 gennaio 2008 e DM 17 gennaio 2018).

In generale, nella sismica attiva le onde sono prodotte tramite una massa battente o scoppio in un punto sorgente (shot) e registrate da un sismografo, in punti lontani dalla sorgente, tramite rilevatori del moto al suolo (geofoni); la disposizione geometrica dei geofoni e dei punti di shot è definita come linea sismica o array lineare. La sismica passiva, invece, si differenzia per la non generazione diretta di onde ma si avvale del moto vibratorio del terreno comunque presente a causa di sorgenti naturali (moto ondoso, vento ecc.) e prodotte dall'attività antropica.

Le modalità di acquisizione variano a seconda della metodologia utilizzata e in funzione della successiva elaborazione dei dati. Tali metodologie sono caratterizzate da specifiche disposizioni della linea sismica (sia superficiale che in foro), dalla durata dell'acquisizione (finestra temporale), e dal passo di campionamento impiegato.

STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

Per l'acquisizione dei dati è stato utilizzato un sismografo multicanale "ECHO 24/2010" a 24 canali dotato di incremento automatico del segnale con algoritmo di sommatoria e consente la visione in



simultanea delle tracce sismiche sullo schermo del computer. Si può, inoltre, manipolare il segnale con appositi filtri sia in ingresso che a posteriori, verificare il livello di rumori generati da sorgenti estranee (vento, rumori naturali, mezzi meccanici, ecc.) e scegliere l'amplificazione più idonea del segnale in maniera differenziata per ogni canale.

La gestione del sismografo avviene tramite software proprietario installato su laptop, tramite il quale è possibile gestire tutte le operazioni di campagna attraverso le seguenti fasi:

- impostazione numero di canali e metodologia di indagine;
- impostazione frequenza e lunghezza di campionamento;
- selezione entità dell'amplificazione del segnale per ogni canale;
- impostazione filtri delle frequenze indesiderate;
- visualizzazione in tempo reale del segnale su tutti i geofoni attivi;
- visualizzazione del accelerogramma con misura dei tempi di arrivo;
- esecuzione operazioni di somma di ulteriori accelerogrammi;
- memorizzazione di tutti i dati relativi all'acquisizione.

Per l'energizzazione è utilizzata una mazza del peso di 8 kg ed una piastra di battuta di alluminio.

Il geofoni verticali rivelano la variazione di velocità di oscillazione al suolo (nel caso specifico in direzione verticale) prodotta dal passaggio delle onde sismiche tramite lo spostamento relativo smorzato di una massa inerziale rispetto all'involucro esterno solidale con il terreno. Tale spostamento induce una variazione del campo elettro-magnetico che si traduce in variazione del potenziale elettrico che è la grandezza effettivamente rilevata. Il rapporto tra l'oscillazione reale del suolo e quella della massa inerziale in funzione delle frequenze del moto è definita dalla curva caratteristica del geofono; in tale curva, la frequenza caratteristica definisce il limite inferiore al disopra del quale il rapporto di oscillazione tra il suolo e la massa inerziale è pari ad 1.

Sono stati utilizzati geofoni (GEO SPACE LT) verticali con frequenza caratteristica di 4.5 Hz e di 10 Hz.



METODOLOGIA

Metodologia MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves)

Il metodo MASW è una tecnica di indagine non invasiva (non è necessario eseguire perforazioni o scavi), che individua il profilo di velocità delle onde di taglio verticali V_s , basandosi sulla misura delle onde superficiali fatta in corrispondenza di diversi sensori posti sulla superficie del suolo. Il contributo predominante alle onde superficiali è dato dalle onde di Reyleigh, che viaggiano ad una velocità correlata alla rigidità della porzione di terreno interessata dalla propagazione delle onde. In un mezzo stratificato le onde di Reyleigh sono dispersive,

cioè onde con diverse lunghezze d'onda si propagano con diverse velocità di fase e velocità di gruppo (Achenbach, J.D, Aki, K and Richards, P.G., 1980) o, detto in maniera equivalente, la velocità di fase o di gruppo apparente delle onde di Reyleigh dipende dalla frequenza di propagazione. La natura dispersiva delle onde superficiali è correlabile al fatto che onde ad alta frequenza con lunghezza d'onda corta si propagano negli strati più superficiali e quindi forniscono informazioni sulla parte più superficiale del suolo, invece onde a bassa frequenza si propagano negli strati più profondi e quindi interessano gli strati più profondi del suolo.

Il metodo consente generalmente di ottenere una velocità di fase (o curva di dispersione) sperimentale apparente nel range di frequenza compreso tra 5Hz e 70 Hz, quindi dà informazioni sulla parte più superficiale del suolo, sui primi 30m-50m, in funzione della rigidità del suolo.

Il metodo MASW elaborato con software MASW 2007 consiste in tre fasi (Roma, 2002):

- calcolo della velocità di fase, o curva di dispersione, apparente sperimentale;
- calcolo della velocità di fase apparente numerica;
- individuazione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali V_s , modificando opportunamente lo spessore h , le velocità delle onde di compressione V_p , la densità di massa ρ degli strati che costituiscono il modello del suolo, fino a raggiungere una sovrapposizione ottimale tra la velocità di fase sperimentale e la velocità di fase numerica corrispondente al modello di suolo assegnato. Il modello di suolo e quindi il profilo di velocità delle onde di taglio verticali possono essere individuati con procedura manuale o automatica o con una combinazione delle due.

Generalmente si assegnano il numero di strati del modello, il coefficiente di Poisson ν , la densità di massa ρ e vengono fatti variare lo spessore h e la velocità V_s degli strati.

Nella procedura manuale l'utente assegna per tentativi diversi valori delle velocità V_s e degli spessori h , cercando di avvicinare la curva di dispersione numerica alla curva di dispersione sperimentale. Nella procedura automatica (Roma, 2002; Roma, 2001; Joh, 1998) la ricerca del profilo di velocità ottimale è affidata ad un algoritmo di ricerca globale o locale che cerca di minimizzare l'errore tra la curva sperimentale e la curva numerica.

In genere, quando l'errore relativo tra curva sperimentale e curva numerica è compreso tra il 5% e il 10% si ha un soddisfacente accordo tra le due curve e il profilo di velocità delle onde di taglio V_s e quindi il tipo di suolo sismico conseguente rappresenta una soluzione valida da un punto di vista ingegneristico.

Lo Sperimentatore

Dott. Geologo Daniele Pipicelli





SOIL PROJECT s.a.s

Viale Europa snc - Loc. Cubante
82018 - CALVI (BN)

P.IVA: 01515280624

**SETTORE GEOFISICA
GF**

Località:

Comune di CANDELA (FG)

Zona:

Zona Industriale

Committente:

Geol. Antonio Falcone

Proprietario:

Geol. Antonio Falcone

N. Accettazione

Data di elaborazione:

20/05/2021

Data di acquisizione:

18/05/2021

PROSPEZIONE SISMICA - MASW - LINEA SISMICA MASW 1

MASW1

MODALITA' DI ACQUISIZIONE

Acquisitore tipo:	Punti di camp. per canale	Ritardo (ms)
ECO 24 CH "AMBROGEO"	13616	0,00
Canali impiegati	Punti di camp. Totali	Energizzatore
24	326787	MECCANICO
Intervallo acquisizione (ms)	Amplificazione	Starter
0,128	DIFFER. PER CANALE	MECCANICO
Tempo di campionamento (ms)	Filtro PB in acq. (Hz)	Sommatorie
1000	NESSUNO	NESSUNA

CARATTERISTICHE DELLO STENDIMENTO

N° Geofoni

24

Punti di energizzazione

2

Distanza intergeof. (m)

1,50

Lungh.stendim. (m)

36,00

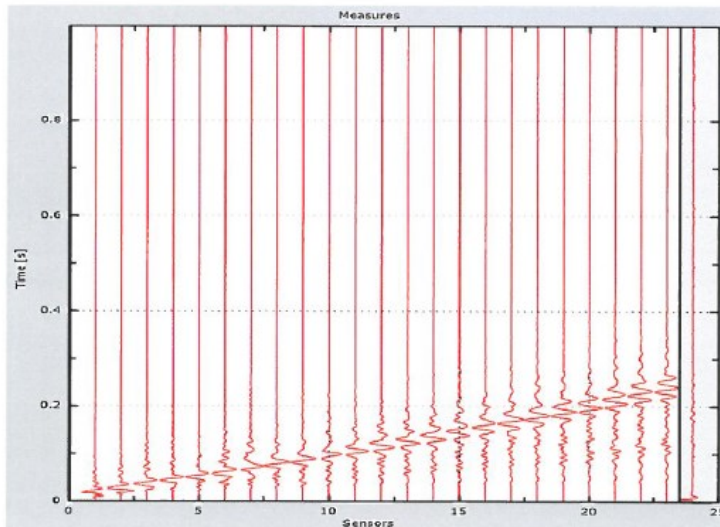
Lungh. linea sismica (m)

36,00



TRACCE SISMICHE RILEVATE

MASW1



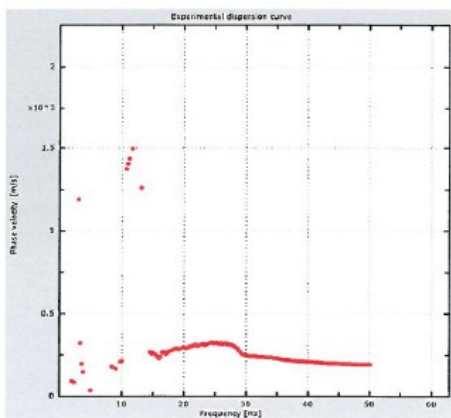
Intervallo di analisi 2000 ms
N. geofoni utilizzati 24

CURVA DI DISPERSIONE SPERIMENTALE

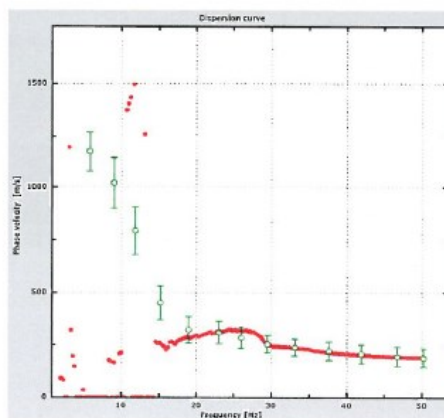
Intervallo di frequenza considerato

Frequenza iniziale
2 Hz

Frequenza finale
50 Hz



DISPERSIONE



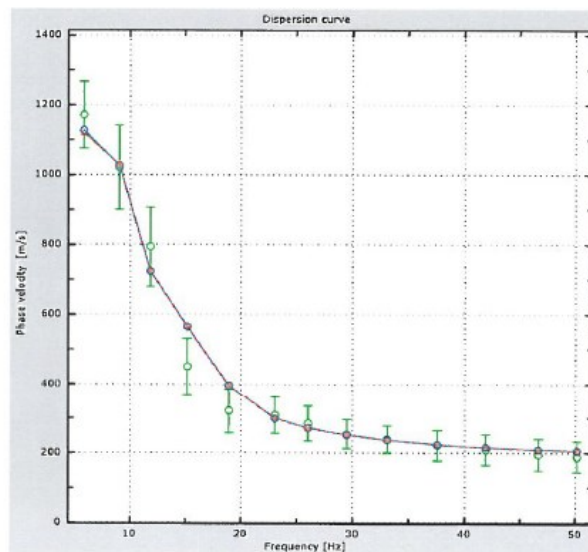
PICKING

MASW1

VALORI DELLA CURVA DI DISTRIBUZIONE CONSIDERATI

Freq. [Hz]	V. fase [m/s]	V. fase min [m/s]	V. fase Max [m/s]	Freq. [Hz]	V. fase [m/s]	V. fase min [m/s]	V. fase Max [m/s]
5.82949	1170.53	1074.44	1266.63				
9.03658	1019.84	899.728	1139.96				
11.8477	792.717	679.153	906.28				
15.1736	449.842	369.037	530.647				
18.935	320.991	257.658	384.325				
23.0527	307.888	255.474	360.302				
26.0223	283.865	233.635	334.095				
29.4669	253.29	211.796	294.784				
33.1095	238.002	198.692	277.313				
37.5836	220.531	176.853	264.209				
41.8993	207.428	163.749	251.106				
46.6902	194.324	148.462	240.186				
50.1744	187.772	144.094	231.451				

CONFRONTO TRA LE CURVE TEORICA E SPERIMENTALE



PROCEDURA UTILIZZATA: Automatica Semiautomatica Manuale

MASW1**MODELLO TEORICO**

Strati* N.	Ricevitori N.	Dist. Ricev. (m)	Modi consid. N.	Modi impiegati N.	Iterazioni N.	Errore (%)
5	24	1,0	1,00	1,00	25	6

* compreso il semispazio rigido

STRATO 1

Spessore (m)	Profondità (m)	Densità (Kg/m ³)	Modulo Poisson	Presenza falda	Valori di Ricerca		Vs (m/s)	Vp (m/s)
					Vs min (m/s)	Vs max (m/s)		
2.5	-2.5	1720	0,32	no	104.32	417.27	208	404

STRATO 2

Spessore (m)	Profondità (m)	Densità (Kg/m ³)	Modulo Poisson	Presenza falda	Valori di Ricerca		Vs (m/s)	Vp (m/s)
					Vs min (m/s)	Vs max (m/s)		
3.3	-5.8	1850	0,32	no	140.72	457,00	305	593

STRATO 3

Spessore (m)	Profondità (m)	Densità (Kg/m ³)	Modulo Poisson	Presenza falda	Valori di Ricerca		Vs (m/s)	Vp (m/s)
					Vs min (m/s)	Vs max (m/s)		
3.4	-9.2	1900	0,32	no	178.33	667,00	445	865

STRATO 4

Spessore (m)	Profondità (m)	Densità (Kg/m ³)	Modulo Poisson	Presenza falda	Valori di Ricerca		Vs (m/s)	Vp (m/s)
					Vs min (m/s)	Vs max (m/s)		
2,00	-11.2	1920	0,44	no	249.91	966,00	644	1967

STRATO 5

Spessore (m)	Profondità (m)	Densità (Kg/m ³)	Modulo Poisson	Presenza falda	Valori di Ricerca		Vs (m/s)	Vp (m/s)
					Vs min (m/s)	Vs max (m/s)		
0,00	0,00	2000	0,48	no	650.29	1866,00	1244	6343

STRATO 6

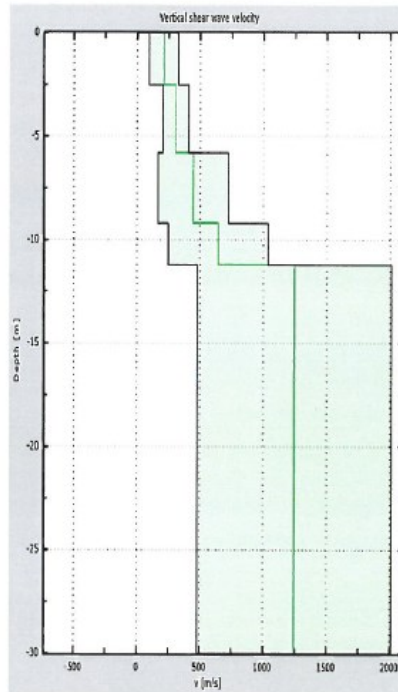
Spessore (m)	Profondità (m)	Densità (Kg/m ³)	Modulo Poisson	Presenza falda	Valori di Ricerca		Vs (m/s)	Vp (m/s)
					Vs min (m/s)	Vs max (m/s)		

STRATO 7

Spessore (m)	Profondità (m)	Densità (Kg/m ³)	Modulo Poisson	Presenza falda	Valori di Ricerca		Vs (m/s)	Vp (m/s)
					Vs min (m/s)	Vs max (m/s)		

MASW1

PROFILO SISMOSTRATIGRAFICO DELLE Vs



Valori riferiti al Piano Campagna

VSeq = **489** m/s +/- 29 m/s

SOTTOSUOLO TIPO: **B**



Lo Sperimentatore

Stefano La Scala



SOIL PROJECT s.a.s.

Viale Europa snc - Loc. Cubante, 82018 CALVI (BN)
 cell: 346 8554913 - 340 6867752 - 347 1324351
 email: info@soilprojectsas.it
 P.I.:01515280624

INDAGINE SISMICA
TIPO:

Multichannel Analysis of Surfaces Waves
MASW

OGGETTO: Progetto per la realizzazione di un impianto fotovoltaico per la produzione di energia elettrica da fonte solare fotovoltaica della potenza di 23,482 MWp sito nel comune di Candela (FG) in zona industriale e relative opere connesse.

PROVA: **MASW-02** **LOCALITA':** Comune di CANDELA (FG) Zona Industriale

COMMITTENTE: Geologo Antonio Falcone **RICHIEDENTE:** Geologo Antonio Falcone

DATA: 18 Maggio 2021 **DIRETTORE LAVORI D'INDAGINE:** Geologo Antonio Falcone

MAPPA
UBICAZIONE
INDAGINE:



Il Tecnico Progettista:

Il Direttore dei Lavori d'Indagine:

INTRODUZIONE

Le indagini geofisiche basate su misure di propagazione delle onde elastiche hanno lo scopo di definire, tramite differenti metodiche e metodologie di analisi, modelli stratigrafici del sottosuolo ad una o più dimensioni spaziali. Nello specifico le sequenze stratigrafiche così prodotte sono caratterizzate dalla variazione dei parametri geo-dinamici (sismostratigrafie) che, data la loro corrispondenza con le proprietà litologiche e litotecniche dei terreni, attribuiscono alle indagini geofisiche un efficace mezzo esplorativo del sottosuolo. Inoltre, la determinazione di sequenze sismo-stratigrafiche basate sulla velocità delle onde di taglio (V_s) ottempera a quanto previsto dall'attuale normativa nazionale riguardante le costruzioni in zona sismica (OPCM 3274 e succ., NTC 2005 e succ., DM 14 gennaio 2008 e DM 17 gennaio 2018).

In generale, nella sismica attiva le onde sono prodotte tramite una massa battente o scoppio in un punto sorgente (shot) e registrate da un sismografo, in punti lontani dalla sorgente, tramite rilevatori del moto al suolo (geofoni); la disposizione geometrica dei geofoni e dei punti di shot è definita come linea sismica o array lineare. La sismica passiva, invece, si differenzia per la non generazione diretta di onde ma si avvale del moto vibratorio del terreno comunque presente a causa di sorgenti naturali (moto ondoso, vento ecc.) e prodotte dall'attività antropica.

Le modalità di acquisizione variano a seconda della metodologia utilizzata e in funzione della successiva elaborazione dei dati. Tali metodologie sono caratterizzate da specifiche disposizioni della linea sismica (sia superficiale che in foro), dalla durata dell'acquisizione (finestra temporale). e dal passo di campionamento impiegato.

STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

Per l'acquisizione dei dati è stato utilizzato un sismografo multicanale "ECHO 24/2010" a 24 canali dotato di incremento automatico del segnale con algoritmo di sommatoria e consente la visione in

simultanea delle tracce sismiche sullo schermo del computer. Si può, inoltre, manipolare il segnale con appositi filtri sia in ingresso che a posteriori, verificare il livello di rumori generati da sorgenti estranee (vento, rumori naturali, mezzi meccanici, ecc.) e scegliere l'amplificazione più idonea del segnale in maniera differenziata per ogni canale.



La gestione del sismografo avviene tramite software proprietario installato su laptop, tramite il quale è possibile gestire tutte le operazioni di campagna attraverso le seguenti fasi:

- impostazione numero di canali e metodologia di indagine;
- impostazione frequenza e lunghezza di campionamento;
- selezione entità dell'amplificazione del segnale per ogni canale;
- impostazione filtri delle frequenze indesiderate;
- visualizzazione in tempo reale del segnale su tutti i geofoni attivi;
- visualizzazione del accelerogramma con misura dei tempi di arrivo;
- esecuzione operazioni di somma di ulteriori accelerogrammi;
- memorizzazione di tutti i dati relativi all'acquisizione.

Per l'energizzazione è utilizzata una mazza del peso di 8 kg ed una piastra di battuta di alluminio.

Il geofoni verticali rivelano la variazione di velocità di oscillazione al suolo (nel caso specifico in direzione verticale) prodotta dal passaggio delle onde sismiche tramite lo spostamento relativo smorzato di una massa inerziale rispetto all'involucro esterno solidale con il terreno. Tale spostamento induce una variazione del campo elettro-magnetico che si traduce in variazione del potenziale elettrico che è la grandezza effettivamente rilevata. Il rapporto tra l'oscillazione reale del suolo e quella della massa inerziale in funzione delle frequenze del moto è definita dalla curva caratteristica del geofono; in tale curva, la frequenza caratteristica definisce il limite inferiore al disopra del quale il rapporto di oscillazione tra il suolo e la massa inerziale è pari ad 1.

Sono stati utilizzati geofoni (GEO SPACE LT) verticali con frequenza caratteristica di 4.5 Hz e di 10 Hz.



METODOLOGIA

Metodologia MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves)

Il metodo MASW è una tecnica di indagine non invasiva (non è necessario eseguire perforazioni o scavi), che individua il profilo di velocità delle onde di taglio verticali V_s , basandosi sulla misura delle onde superficiali fatta in corrispondenza di diversi sensori posti sulla superficie del suolo. Il contributo predominante alle onde superficiali è dato dalle onde di Reyleigh, che viaggiano ad una velocità correlata alla rigidità della porzione di terreno interessata dalla propagazione delle onde. In un mezzo stratificato le onde di Reyleigh sono dispersive.

cioè onde con diverse lunghezze d'onda si propagano con diverse velocità di fase e velocità di gruppo (Achenbach, J.D, Aki, K and Richards, P.G., 1980) o, detto in maniera equivalente, la velocità di fase o di gruppo apparente delle onde di Reyleigh dipende dalla frequenza di propagazione. La natura dispersiva delle onde superficiali è correlabile al fatto che onde ad alta frequenza con lunghezza d'onda corta si propagano negli strati più superficiali e quindi forniscono informazioni sulla parte più superficiale del suolo, invece onde a bassa frequenza si propagano negli strati più profondi e quindi interessano gli strati più profondi del suolo.

Il metodo consente generalmente di ottenere una velocità di fase (o curva di dispersione) sperimentale apparente nel range di frequenza compreso tra 5Hz e 70 Hz, quindi dà informazioni sulla parte più superficiale del suolo, sui primi 30m-50m, in funzione della rigidità del suolo.

Il metodo MASW elaborato con software MASW 2007 consiste in tre fasi (Roma, 2002):

- calcolo della velocità di fase, o curva di dispersione, apparente sperimentale;
- calcolo della velocità di fase apparente numerica;
- individuazione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali V_s , modificando opportunamente lo spessore h , le velocità delle onde di compressione V_p , la densità di massa ρ degli strati che costituiscono il modello del suolo, fino a raggiungere una sovrapposizione ottimale tra la velocità di fase sperimentale e la velocità di fase numerica corrispondente al modello di suolo assegnato. Il modello di suolo e quindi il profilo di velocità delle onde di taglio verticali possono essere individuati con procedura manuale o automatica o con una combinazione delle due.

Generalmente si assegnano il numero di strati del modello, il coefficiente di Poisson ν , la densità di massa ρ e vengono fatti variare lo spessore h e la velocità V_s degli strati.

Nella procedura manuale l'utente assegna per tentativi diversi valori delle velocità V_s e degli spessori h , cercando di avvicinare la curva di dispersione numerica alla curva di dispersione sperimentale. Nella procedura automatica (Roma, 2002; Roma, 2001; Joh, 1998) la ricerca del profilo di velocità ottimale è affidata ad un algoritmo di ricerca globale o locale che cerca di minimizzare l'errore tra la curva sperimentale e la curva numerica.

In genere, quando l'errore relativo tra curva sperimentale e curva numerica è compreso tra il 5% e il 10% si ha un soddisfacente accordo tra le due curve e il profilo di velocità delle onde di taglio V_s e quindi il tipo di suolo sismico conseguente rappresenta una soluzione valida da un punto di vista ingegneristico.

Lo Sperimentatore

Dott. Geologo Daniele Pipicelli





SOIL PROJECT s.a.s

Viale Europa snc - Loc. Cubante,
82018 - CALVI (BN)

P.IVA: 01515780624

**SETTORE GEOFISICA
GF**

Località:

Comune di CANDELA (FG)

Zona:

Zona Industriale

Committente:

Geol. Antonio Falcone

Data di elaborazione:

20/05/2021

Proprietario:

Geol. Antonio Falcone

Data di acquisizione:

18/05/2021

N. Accettazione

PROSPEZIONE SISMICA - MASW - LINEA SISMICA MASW 2

MASW 02

MODALITA' DI ACQUISIZIONE

Acquisitore tipo: ECO 24 CH "AMBROGEO"	Punti di camp. per canale 13616	Ritardo (ms) 0,00
Canali impiegati 24	Punti di camp. Totali 326787	Energizzatore MECCANICO
Intervallo acquisizione (ms) 0,128	Amplificazione DIFFER. PER CANALE	Starter MECCANICO
Tempo di campionamento (ms) 1000	Filtro PB in acq. (Hz) NESSUNO	Sommatorie NESSUNA

CARATTERISTICHE DELLO STENDIMENTO

N° Geofoni

24

Punti di energizzazione

2

Distanza intergeof. (m)

1,50

Lungh.stendim. (m)

36,00

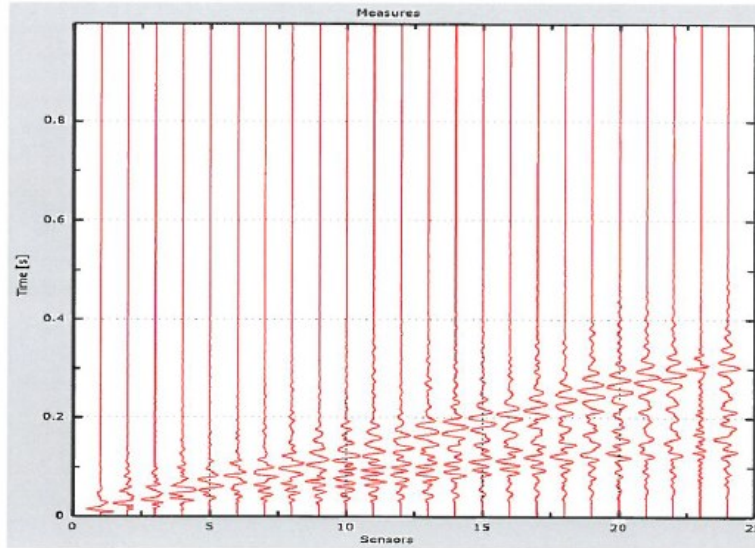
Lungh. linea sismica (m)

36,00



MASW 02

TRACCE SISMICHE RILEVATE



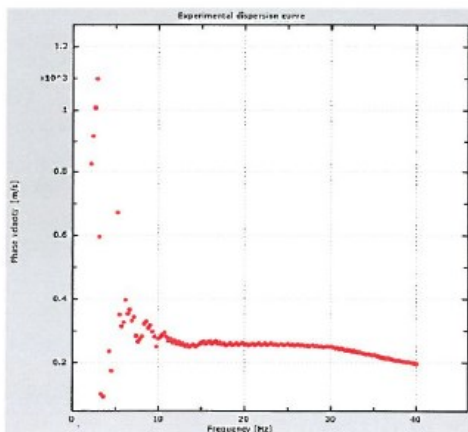
Intervallo di analisi 2000 ms
N. geofoni utilizzati 24

CURVA DI DISPERSIONE SPERIMENTALE

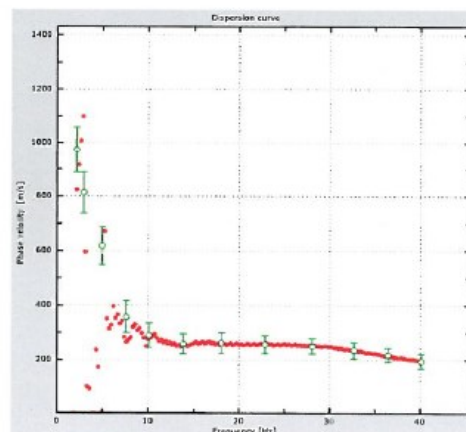
Intervallo di frequenza considerato

Frequenza iniziale
2 Hz

Frequenza finale
40 Hz



DISPERSIONE



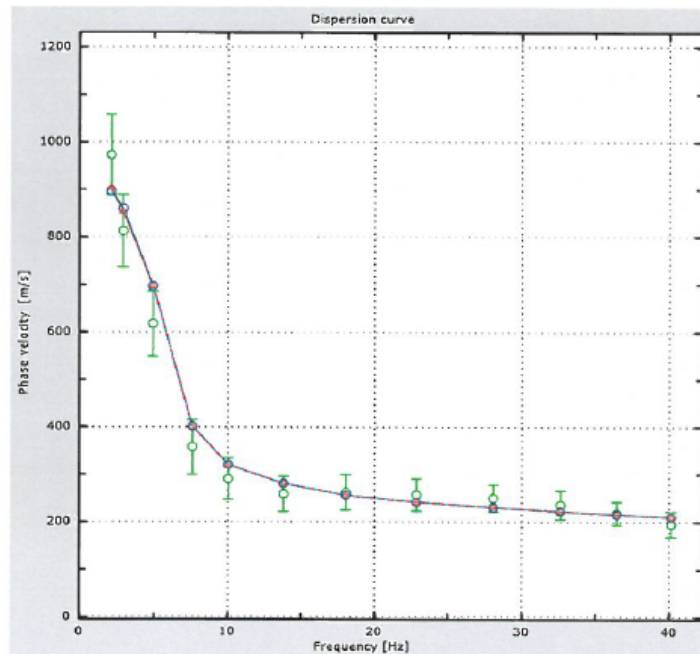
PICKING

MASW 02

VALORI DELLA CURVA DI DISTRIBUZIONE CONSIDERATI

Freq. [Hz]	V. fase [m/s]	V. fase min [m/s]	V. fase Max [m/s]	Freq. [Hz]	V. fase [m/s]	V. fase min [m/s]	V. fase Max [m/s]
2.13269	972.886	888.391	1057.38				
2.91785	812.697	737.004	888.391				
4.93196	617.303	548.65	685.955				
7.59468	356.776	298.686	414.867				
10.0526	289.884	245.877	333.892				
13.8077	258.199	221.232	295.165				
18.0407	261.719	224.753	298.686				
22.8541	256.438	222.993	289.884				
28.0772	249.397	221.232	277.562				
32.6516	235.315	205.389	265.24				
36.4408	217.712	193.067	242.356				
40.1277	194.828	168.423	221.232				

CONFRONTO TRA LE CURVE TEORICA E SPERIMENTALE



PROCEDURA UTILIZZATA: Automatica Semiautomatica Manuale

MASW 02**MODELLO TEORICO**

Strati* N.	Ricevitori N.	Dist. Ricev. (m)	Modi consid. N.	Modi impiegati N.	Iterazioni N.	Errore (%)
5	24	1,0	1,00	1,00	25	7

* compreso il semispazio rigido

STRATO 1

Spessore (m)	Profondità (m)	Densità (Kg/m ³)	Modulo Poisson	Presenza falda	Valori di Ricerca		Vs (m/s)	Vp (m/s)
					Vs min (m/s)	Vs max (m/s)		
2.4	-2.4	1720	0,32	no	108.24	307,00	205	398

STRATO 2

Spessore (m)	Profondità (m)	Densità (Kg/m ³)	Modulo Poisson	Presenza falda	Valori di Ricerca		Vs (m/s)	Vp (m/s)
					Vs min (m/s)	Vs max (m/s)		
6,00	-8.4	1800	0,32	no	138.55	414,00	276	536

STRATO 3

Spessore (m)	Profondità (m)	Densità (Kg/m ³)	Modulo Poisson	Presenza falda	Valori di Ricerca		Vs (m/s)	Vp (m/s)
					Vs min (m/s)	Vs max (m/s)		
13,00	-21.4	1920	0,32	no	145.40	564,00	376	731

STRATO 4

Spessore (m)	Profondità (m)	Densità (Kg/m ³)	Modulo Poisson	Presenza falda	Valori di Ricerca		Vs (m/s)	Vp (m/s)
					Vs min (m/s)	Vs max (m/s)		
5,00	-26.4	1980	0,38	no	161.05	732,00	488	1109

STRATO 5

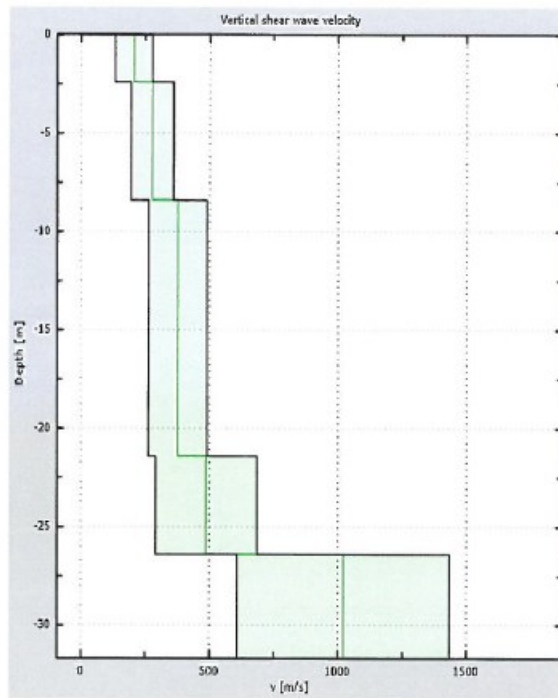
Spessore (m)	Profondità (m)	Densità (Kg/m ³)	Modulo Poisson	Presenza falda	Valori di Ricerca		Vs (m/s)	Vp (m/s)
					Vs min (m/s)	Vs max (m/s)		
0,00	0,00	2100	0,40	no	540.49	1530,00	1020	2498

STRATO 6

Spessore (m)	Profondità (m)	Densità (Kg/m ³)	Modulo Poisson	Presenza falda	Valori di Ricerca		Vs (m/s)	Vp (m/s)
					Vs min (m/s)	Vs max (m/s)		

STRATO 7

Spessore (m)	Profondità (m)	Densità (Kg/m ³)	Modulo Poisson	Presenza falda	Valori di Ricerca		Vs (m/s)	Vp (m/s)
					Vs min (m/s)	Vs max (m/s)		



Valori riferiti al Piano Campagna

VSeq = **338** m/s +/- 24 m/s

SOTTOSUOLO TIPO: **E** Substrato sismico a - 26,40 mt



Lo Sperimentatore

[Handwritten signature]



SOIL PROJECT s.a.s.

Viale Europa snc - Loc. Cubante, 82018 CALVI (BN)

cell: 346 8554913 - 340 6867752 - 347 1324351

email: info@soilprojectsas.it

P.I.:01515280624

INDAGINE SISMICA
TIPO:

Multichannel Analysis of Surfaces Waves
MASW

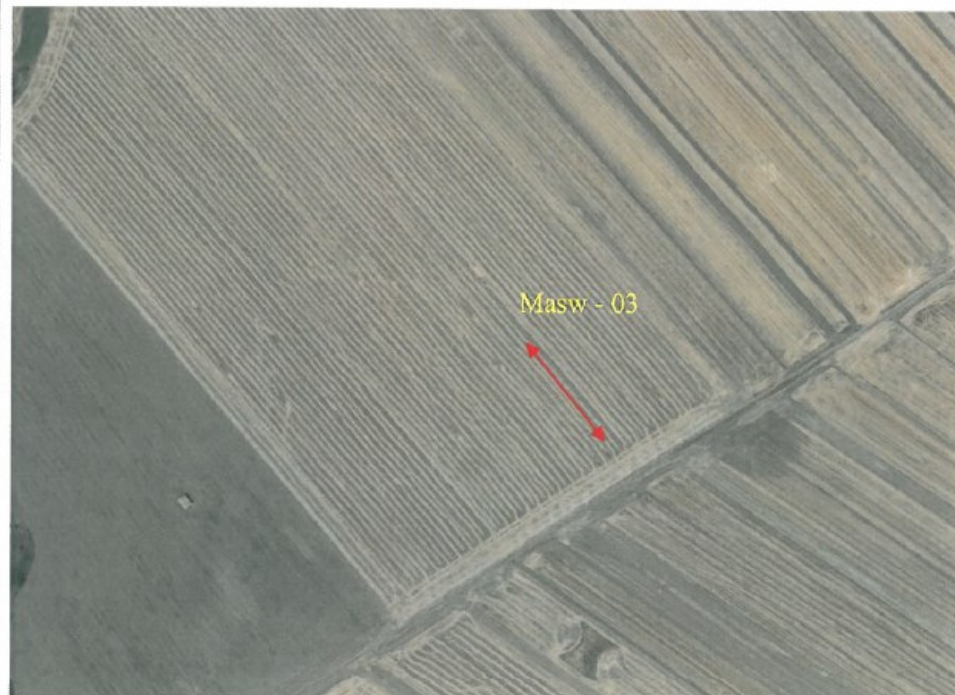
OGGETTO: Progetto per la realizzazione di un impianto fotovoltaico per la produzione di energia elettrica da fonte solare fotovoltaica della potenza di 23,482 MWp sito nel comune di Candela (FG) in zona industriale e relative opere connesse.

PROVA: **MASW-03** **LOCALITA':** Comune di CANDELA (FG)
Zona Industriale

COMMITTENTE: Geologo Antonio Falcone **RICHIEDENTE:** Geologo Antonio Falcone

DATA: 18 Maggio 2021 **DIRETTORE LAVORI D'INDAGINE** Geologo Antonio Falcone

MAPPA
UBICAZIONE
INDAGINE:



Il Tecnico Progettista:

Il Direttore dei Lavori d'Indagine:

INTRODUZIONE

Le indagini geofisiche basate su misure di propagazione delle onde elastiche hanno lo scopo di definire, tramite differenti metodiche e metodologie di analisi, modelli stratigrafici del sottosuolo ad una o più dimensioni spaziali. Nello specifico le sequenze stratigrafiche così prodotte sono caratterizzate dalla variazione dei parametri geo-dinamici (sismostratigrafie) che, data la loro corrispondenza con le proprietà litologiche e litotecniche dei terreni, attribuiscono alle indagini geofisiche un efficace mezzo esplorativo del sottosuolo. Inoltre, la determinazione di sequenze sismo-stratigrafiche basate sulla velocità delle onde di taglio (V_s) ottempera a quanto previsto dall'attuale normativa nazionale riguardante le costruzioni in zona sismica (OPCM 3274 e succ., NTC 2005 e succ., DM 14 gennaio 2008 e DM 17 gennaio 2018).

In generale, nella sismica attiva le onde sono prodotte tramite una massa battente o scoppio in un punto sorgente (shot) e registrate da un sismografo, in punti lontani dalla sorgente, tramite rilevatori del moto al suolo (geofoni); la disposizione geometrica dei geofoni e dei punti di shot è definita come linea sismica o array lineare. La sismica passiva, invece, si differenzia per la non generazione diretta di onde ma si avvale del moto vibratorio del terreno comunque presente a causa di sorgenti naturali (moto ondoso, vento ecc.) e prodotte dall'attività antropica.

Le modalità di acquisizione variano a seconda della metodologia utilizzata e in funzione della successiva elaborazione dei dati. Tali metodologie sono caratterizzate da specifiche disposizioni della linea sismica (sia superficiale che in foro), dalla durata dell'acquisizione (finestra temporale), e dal passo di campionamento impiegato.

STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

Per l'acquisizione dei dati è stato utilizzato un sismografo multicanale "ECHO 24/2010" a 24 canali dotato di incremento automatico del segnale con algoritmo di sommatoria e consente la visione in



simultanea delle tracce sismiche sullo schermo del computer. Si può, inoltre, manipolare il segnale con appositi filtri sia in ingresso che a posteriori, verificare il livello di rumori generati da sorgenti estranee (vento, rumori naturali, mezzi meccanici, ecc.) e scegliere l'amplificazione più idonea del segnale in maniera differenziata per ogni canale.

La gestione del sismografo avviene tramite software proprietario installato su laptop, tramite il quale è possibile gestire tutte le operazioni di campagna attraverso le seguenti fasi:

- impostazione numero di canali e metodologia di indagine;
- impostazione frequenza e lunghezza di campionamento;
- selezione entità dell'amplificazione del segnale per ogni canale;
- impostazione filtri delle frequenze indesiderate;
- visualizzazione in tempo reale del segnale su tutti i geofoni attivi;
- visualizzazione del accelerogramma con misura dei tempi di arrivo;
- esecuzione operazioni di somma di ulteriori accelerogrammi;
- memorizzazione di tutti i dati relativi all'acquisizione.

Per l'energizzazione è utilizzata una mazza del peso di 8 kg ed una piastra di battuta di alluminio.

Il geofoni verticali rivelano la variazione di velocità di oscillazione al suolo (nel caso specifico in direzione verticale) prodotta dal passaggio delle onde sismiche tramite lo spostamento relativo smorzato di una massa inerziale rispetto all'involucro esterno solidale con il terreno. Tale spostamento induce una variazione del campo elettro-magnetico che si traduce in variazione del potenziale elettrico che è la grandezza effettivamente rilevata. Il rapporto tra l'oscillazione reale del suolo e quella della massa inerziale in funzione delle frequenze del moto è definita dalla curva caratteristica del geofono; in tale curva, la frequenza caratteristica definisce il limite inferiore al disopra del quale il rapporto di oscillazione tra il suolo e la massa inerziale è pari ad 1.

Sono stati utilizzati geofoni (GEO SPACE LT) verticali con frequenza caratteristica di 4.5 Hz e di 10 Hz.



METODOLOGIA

Metodologia MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves)

Il metodo MASW è una tecnica di indagine non invasiva (non è necessario eseguire perforazioni o scavi), che individua il profilo di velocità delle onde di taglio verticali V_s , basandosi sulla misura delle onde superficiali fatta in corrispondenza di diversi sensori posti sulla superficie del suolo. Il contributo predominante alle onde superficiali è dato dalle onde di Reyleigh, che viaggiano ad una velocità correlata alla rigidità della porzione di terreno interessata dalla propagazione delle onde. In un mezzo stratificato le onde di Reyleigh sono dispersive,

cioè onde con diverse lunghezze d'onda si propagano con diverse velocità di fase e velocità di gruppo (Achenbach, J.D, Aki, K and Richards, P.G., 1980) o, detto in maniera equivalente, la velocità di fase o di gruppo apparente delle onde di Reyleigh dipende dalla frequenza di propagazione. La natura dispersiva delle onde superficiali è correlabile al fatto che onde ad alta frequenza con lunghezza d'onda corta si propagano negli strati più superficiali e quindi forniscono informazioni sulla parte più superficiale del suolo, invece onde a bassa frequenza si propagano negli strati più profondi e quindi interessano gli strati più profondi del suolo.

Il metodo consente generalmente di ottenere una velocità di fase (o curva di dispersione) sperimentale apparente nel range di frequenza compreso tra 5Hz e 70 Hz, quindi dà informazioni sulla parte più superficiale del suolo, sui primi 30m-50m, in funzione della rigidità del suolo.

Il metodo MASW elaborato con software MASW 2007 consiste in tre fasi (Roma, 2002):

- calcolo della velocità di fase, o curva di dispersione, apparente sperimentale;
- calcolo della velocità di fase apparente numerica;
- individuazione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali V_s , modificando opportunamente lo spessore h , le velocità delle onde di compressione V_p , la densità di massa ρ degli strati che costituiscono il modello del suolo, fino a raggiungere una sovrapposizione ottimale tra la velocità di fase sperimentale e la velocità di fase numerica corrispondente al modello di suolo assegnato. Il modello di suolo e quindi il profilo di velocità delle onde di taglio verticali possono essere individuati con procedura manuale o automatica o con una combinazione delle due.

Generalmente si assegnano il numero di strati del modello, il coefficiente di Poisson ν , la densità di massa ρ e vengono fatti variare lo spessore h e la velocità V_s degli strati.

Nella procedura manuale l'utente assegna per tentavi diversi valori delle velocità V_s e degli spessori h , cercando di avvicinare la curva di dispersione numerica alla curva di dispersione sperimentale. Nella procedura automatica (Roma, 2002; Roma, 2001; Joh, 1998) la ricerca del profilo di velocità ottimale è affidata ad un algoritmo di ricerca globale o locale che cerca di minimizzare l'errore tra la curva sperimentale e la curva numerica.

In genere, quando l'errore relativo tra curva sperimentale e curva numerica è compreso tra il 5% e il 10% si ha un soddisfacente accordo tra le due curve e il profilo di velocità delle onde di taglio V_s e quindi il tipo di suolo sismico conseguente rappresenta una soluzione valida da un punto di vista ingegneristico.

Lo Sperimentatore

Dott. Geologo Daniele Pipicelli





SOIL PROJECT s.a.s

Viale Europa snc - Loc. Cubante,
82018 - CALVI (BN)
PIVA. 01515280624

SETTORE GEOFISICA
GF

Località:

Comune di CANDELA (FG)

Zona:

Zona Industriale

Committente:

Geol. Antonio Falcone

Data di elaborazione:

20/05/2021

Proprietario:

Geol. Antonio Falcone

Data di acquisizione:

18/05/2021

N. Accettazione

PROSPEZIONE SISMICA - MASW - LINEA SISMICA MASW 3

MASW 03

MODALITA' DI ACQUISIZIONE

Acquisitore tipo:	Punti di camp. per canale	Ritardo (ms)
ECO 24 CH "AMBROGEO"	13616	0,00
Canali impiegati	Punti di camp. Totali	Energizzatore
24	326787	MECCANICO
Intervallo acquisizione (ms)	Amplificazione	Starter
0,128	DIFFER. PER CANALE	MECCANICO
Tempo di campionamento (ms)	Filtro PB in acq. (Hz)	Sommatorie
1000	NESSUNO	NESSUNA

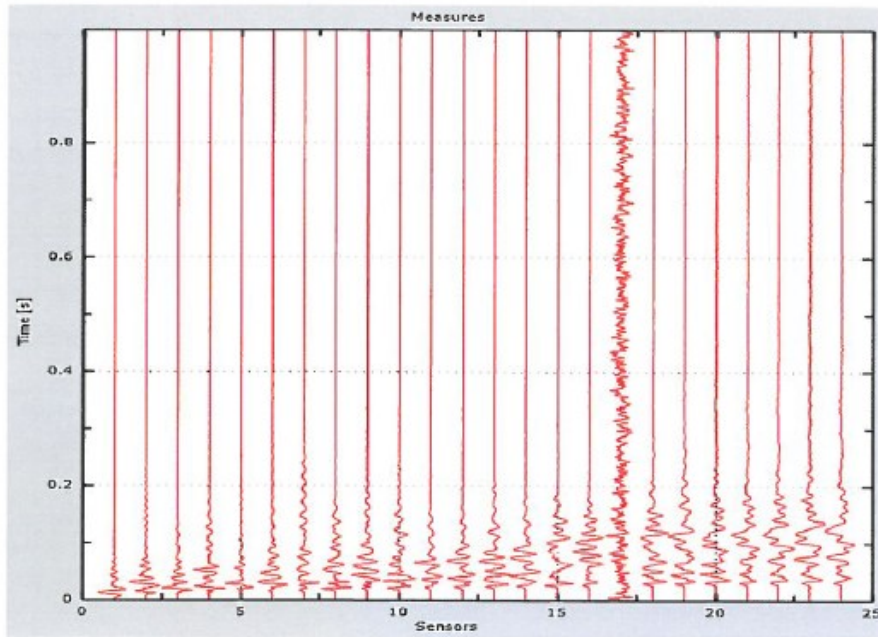
CARATTERISTICHE DELLO STENDIMENTO

N° Geofoni
24
Punti di energizzazione
2
Distanza intergeof. (m)
1,50
Lungh.stendim. (m)
36,00
Lungh. linea sismica (m)
36,00



TRACCE SISMICHE RILEVATE

MASW 03



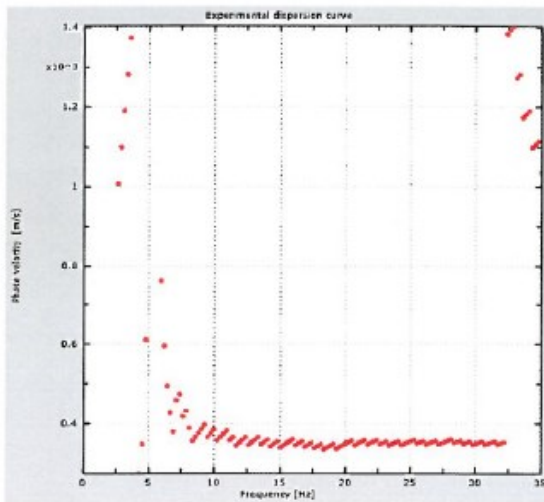
Intervallo di analisi 2000 ms
N. geofoni utilizzati 24

CURVA DI DISPERSIONE SPERIMENTALE

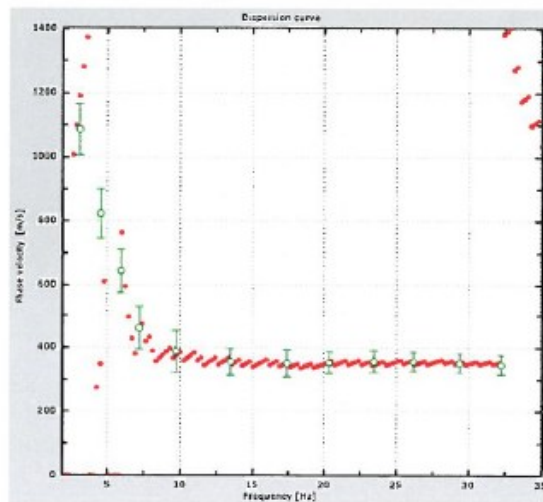
Intervallo di frequenza considerato

Frequenza iniziale
2 Hz

Frequenza finale
35 Hz



DISPERSIONE

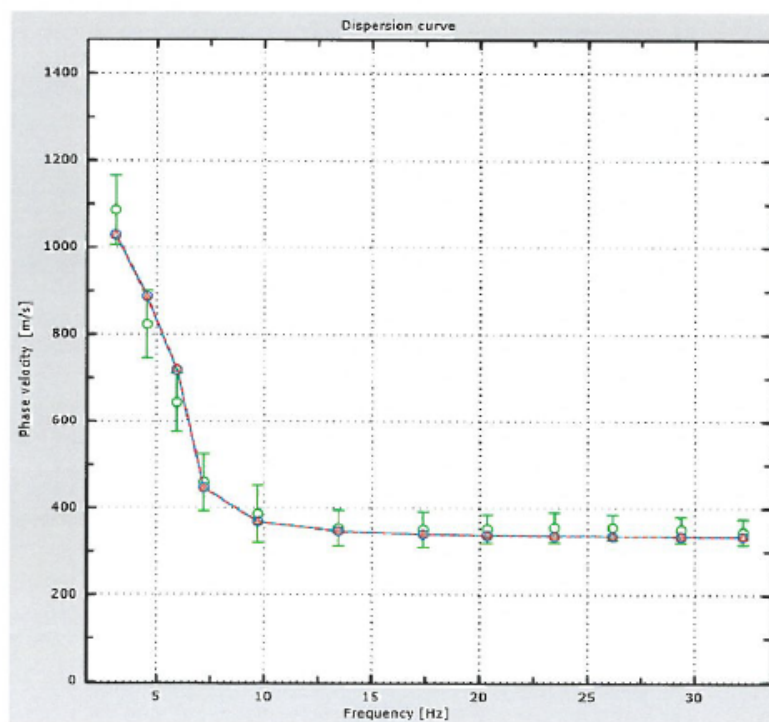


PICKING

VALORI DELLA CURVA DI DISTRIBUZIONE CONSIDERATI

Freq. [Hz]	V. fase [m/s]	V. fase min [m/s]	V. fase Max [m/s]	Freq. [Hz]	V. fase [m/s]	V. fase min [m/s]	V. fase Max [m/s]
3.09369	1085.19	1005.63	1164.74				
4.53485	822.311	744.486	900.136				
5.92631	642.449	575.001	709.897				
7.19354	459.128	393.41	524.847				
9.70314	386.492	320.773	452.211				
13.4551	353.633	312.126	395.139				
17.4059	350.174	308.667	391.68				
20.3379	351.903	319.044	384.762				
23.4439	355.362	320.773	389.951				
26.1771	355.362	325.961	384.762				
29.3576	350.174	320.773	379.574				
32.2399	344.985	315.585	374.386				

CONFRONTO TRA LE CURVE TEORICA E SPERIMENTALE



PROCEDURA UTILIZZATA: Automatica Semiautomatica Manuale

MODELLO TEORICO

MASW 03

Strati* N.	Ricevitori N.	Dist. Ricev. (m)	Modi consid. N.	Modi impiegati N.	Iterazioni N.	Errore (%)
4	24	1,0	1,00	1,00	25	8

* compreso il semispazio rigido

STRATO 1

Spessore (m)	Profondità (m)	Densità (Kg/m ³)	Modulo Poisson	Presenza falda	Valori di Ricerca		Vs (m/s)	Vp (m/s)
					Vs min (m/s)	Vs max (m/s)		
12,00	-12,00	1900	0,32	no	191.66	532,00	355	690

STRATO 2

Spessore (m)	Profondità (m)	Densità (Kg/m ³)	Modulo Poisson	Presenza falda	Valori di Ricerca		Vs (m/s)	Vp (m/s)
					Vs min (m/s)	Vs max (m/s)		
8,00	-20,00	1930	0,32	no	191.66	576,00	384	746

STRATO 3

Spessore (m)	Profondità (m)	Densità (Kg/m ³)	Modulo Poisson	Presenza falda	Valori di Ricerca		Vs (m/s)	Vp (m/s)
					Vs min (m/s)	Vs max (m/s)		
8,00	-28,00	1950	0,32	no	195.50	651,00	410	797

STRATO 4

Spessore (m)	Profondità (m)	Densità (Kg/m ³)	Modulo Poisson	Presenza falda	Valori di Ricerca		Vs (m/s)	Vp (m/s)
					Vs min (m/s)	Vs max (m/s)		
0,00	-∞	2100	0,38	no	602.88	1800,00	1200	2728

STRATO 5

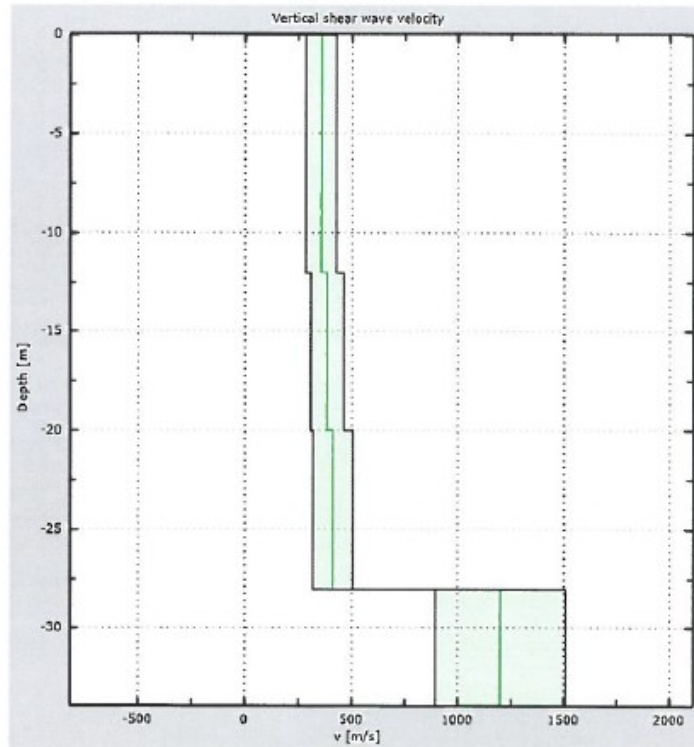
Spessore (m)	Profondità (m)	Densità (Kg/m ³)	Modulo Poisson	Presenza falda	Valori di Ricerca		Vs (m/s)	Vp (m/s)
					Vs min (m/s)	Vs max (m/s)		

STRATO 6

Spessore (m)	Profondità (m)	Densità (Kg/m ³)	Modulo Poisson	Presenza falda	Valori di Ricerca		Vs (m/s)	Vp (m/s)
					Vs min (m/s)	Vs max (m/s)		

STRATO 7

Spessore (m)	Profondità (m)	Densità (Kg/m ³)	Modulo Poisson	Presenza falda	Valori di Ricerca		Vs (m/s)	Vp (m/s)
					Vs min (m/s)	Vs max (m/s)		



Valori riferiti al Piano Campagna

$$V_{Seq} = 395 \text{ m/s} \pm 32 \text{ m/s}$$

SOTTOSUOLO TIPO: **B**



Lo Sperimentatore



SOIL PROJECT s.a.s.

Viale Europa snc - Loc. Cubante, 82018 CALVI (BN)

cell: 346 8554913 - 340 6867752 - 347 1324351

email: info@soilprojectsas.it

P.I.:01515280624

INDAGINE SISMICA
TIPO:

Multichannel Analysis of Surfaces Waves
MASW

OGGETTO: Progetto per la realizzazione di un impianto fotovoltaico per la produzione di energia elettrica da fonte solare fotovoltaica della potenza di 23,482 MWp sito nel comune di Candela (FG) in zona industriale e relative opere connesse.

PROVA: **MASW-04** **LOCALITA':** Comune di CANDELA (FG)
Zona Industriale

COMMITTENTE: Geologo Antonio Falcone **RICHIEDENTE:** Geologo Antonio Falcone

DATA: 18 Maggio 2021 **DIRETTORE LAVORI D'INDAGINE:** Geologo Antonio Falcone

MAPPA
UBICAZIONE
INDAGINE:



Il Tecnico Progettista:

Il Direttore dei Lavori d'Indagine:

INTRODUZIONE

Le indagini geofisiche basate su misure di propagazione delle onde elastiche hanno lo scopo di definire, tramite differenti metodiche e metodologie di analisi, modelli stratigrafici del sottosuolo ad una o più dimensioni spaziali. Nello specifico le sequenze stratigrafiche così prodotte sono caratterizzate dalla variazione dei parametri geo-dinamici (sismostratigrafie) che, data la loro corrispondenza con le proprietà litologiche e litotecniche dei terreni, attribuiscono alle indagini geofisiche un efficace mezzo esplorativo del sottosuolo. Inoltre, la determinazione di sequenze sismo-stratigrafiche basate sulla velocità delle onde di taglio (V_s) ottempera a quanto previsto dall'attuale normativa nazionale riguardante le costruzioni in zona sismica (OPCM 3274 e succ., NTC 2005 e succ., DM 14 gennaio 2008 e DM 17 gennaio 2018).

In generale, nella sismica attiva le onde sono prodotte tramite una massa battente o scoppio in un punto sorgente (shot) e registrate da un sismografo, in punti lontani dalla sorgente, tramite rilevatori del moto al suolo (geofoni); la disposizione geometrica dei geofoni e dei punti di shot è definita come linea sismica o array lineare. La sismica passiva, invece, si differenzia per la non generazione diretta di onde ma si avvale del moto vibratorio del terreno comunque presente a causa di sorgenti naturali (moto ondoso, vento ecc.) e prodotte dall'attività antropica.

Le modalità di acquisizione variano a seconda della metodologia utilizzata e in funzione della successiva elaborazione dei dati. Tali metodologie sono caratterizzate da specifiche disposizioni della linea sismica (sia superficiale che in foro), dalla durata dell'acquisizione (finestra temporale), e dal passo di campionamento impiegato.

STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

Per l'acquisizione dei dati è stato utilizzato un sismografo multicanale "ECHO 24/2010" a 24 canali dotato di incremento automatico del segnale con algoritmo di sommatoria e consente la visione in



simultanea delle tracce sismiche sullo schermo del computer. Si può, inoltre, manipolare il segnale con appositi filtri sia in ingresso che a posteriori, verificare il livello di rumori generati da sorgenti estranee (vento, rumori naturali, mezzi meccanici, ecc.) e scegliere l'amplificazione più idonea del segnale in maniera differenziata per ogni canale.

La gestione del sismografo avviene tramite software proprietario installato su laptop, tramite il quale è possibile gestire tutte le operazioni di campagna attraverso le seguenti fasi:

- impostazione numero di canali e metodologia di indagine;
- impostazione frequenza e lunghezza di campionamento;
- selezione entità dell'amplificazione del segnale per ogni canale;
- impostazione filtri delle frequenze indesiderate;
- visualizzazione in tempo reale del segnale su tutti i geofoni attivi;
- visualizzazione del accelerogramma con misura dei tempi di arrivo;
- esecuzione operazioni di somma di ulteriori accelerogrammi;
- memorizzazione di tutti i dati relativi all'acquisizione.

Per l'energizzazione è utilizzata una mazza del peso di 8 kg ed una piastra di battuta di alluminio.

Il geofoni verticali rivelano la variazione di velocità di oscillazione al suolo (nel caso specifico in direzione verticale) prodotta dal passaggio delle onde sismiche tramite lo spostamento relativo smorzato di una massa inerziale rispetto all'involucro esterno solidale con il terreno. Tale spostamento induce una variazione del campo elettro-magnetico che si traduce in variazione del potenziale elettrico che è la grandezza effettivamente rilevata. Il rapporto tra l'oscillazione reale del suolo e quella della massa inerziale in funzione delle frequenze del moto è definita dalla curva caratteristica del geofono; in tale curva, la frequenza caratteristica definisce il limite inferiore al di sopra del quale il rapporto di oscillazione tra il suolo e la massa inerziale è pari ad 1.

Sono stati utilizzati geofoni (GEO SPACE LT) verticali con frequenza caratteristica di 4.5 Hz e di 10 Hz.



METODOLOGIA

Metodologia MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves)

Il metodo MASW è una tecnica di indagine non invasiva (non è necessario eseguire perforazioni o scavi), che individua il profilo di velocità delle onde di taglio verticali V_s , basandosi sulla misura delle onde superficiali fatta in corrispondenza di diversi sensori posti sulla superficie del suolo. Il contributo predominante alle onde superficiali è dato dalle onde di Reyleigh, che viaggiano ad una velocità correlata alla rigidità della porzione di terreno interessata dalla propagazione delle onde. In un mezzo stratificato le onde di Reyleigh sono dispersive.

cioè onde con diverse lunghezze d'onda si propagano con diverse velocità di fase e velocità di gruppo (Achenbach, J.D, Aki, K and Richards, P.G., 1980) o, detto in maniera equivalente, la velocità di fase o di gruppo apparente delle onde di Reyleigh dipende dalla frequenza di propagazione. La natura dispersiva delle onde superficiali è correlabile al fatto che onde ad alta frequenza con lunghezza d'onda corta si propagano negli strati più superficiali e quindi forniscono informazioni sulla parte più superficiale del suolo, invece onde a bassa frequenza si propagano negli strati più profondi e quindi interessano gli strati più profondi del suolo.

Il metodo consente generalmente di ottenere una velocità di fase (o curva di dispersione) sperimentale apparente nel range di frequenza compreso tra 5Hz e 70 Hz, quindi dà informazioni sulla parte più superficiale del suolo, sui primi 30m-50m, in funzione della rigidità del suolo.

Il metodo MASW elaborato con software MASW 2007 consiste in tre fasi (Roma, 2002):

- calcolo della velocità di fase, o curva di dispersione, apparente sperimentale;
- calcolo della velocità di fase apparente numerica;
- individuazione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali V_s , modificando opportunamente lo spessore h , le velocità delle onde di compressione V_p , la densità di massa ρ degli strati che costituiscono il modello del suolo, fino a raggiungere una sovrapposizione ottimale tra la velocità di fase sperimentale e la velocità di fase numerica corrispondente al modello di suolo assegnato. Il modello di suolo e quindi il profilo di velocità delle onde di taglio verticali possono essere individuati con procedura manuale o automatica o con una combinazione delle due.

Generalmente si assegnano il numero di strati del modello, il coefficiente di Poisson ν , la densità di massa ρ e vengono fatti variare lo spessore h e la velocità V_s degli strati.

Nella procedura manuale l'utente assegna per tentavi diversi valori delle velocità V_s e degli spessori h , cercando di avvicinare la curva di dispersione numerica alla curva di dispersione sperimentale. Nella procedura automatica (Roma, 2002; Roma, 2001; Joh, 1998) la ricerca del profilo di velocità ottimale è affidata ad un algoritmo di ricerca globale o locale che cerca di minimizzare l'errore tra la curva sperimentale e la curva numerica.

In genere, quando l'errore relativo tra curva sperimentale e curva numerica è compreso tra il 5% e il 10% si ha un soddisfacente accordo tra le due curve e il profilo di velocità delle onde di taglio V_s e quindi il tipo di suolo sismico conseguente rappresenta una soluzione valida da un punto di vista ingegneristico.

Lo Sperimentatore

Dott. Geologo Daniele Pipicelli





SOIL PROJECT s.a.s

Viale Europa snc - Loc. Cubante
82018 - CALVI (BN)

P.IVA: 01515280624

**SETTORE GEOFISICA
GF**

Località:

Comune di CANDELA (FG)

Zona:

Zona Industriale

Committente:

Geol. Antonio Falcone

Data di elaborazione:

20/05/2021

Proprietario:

Geol. Antonio Falcone

Data di acquisizione:

18/05/2021

N. Accettazione

PROSPEZIONE SISMICA - MASW - LINEA SISMICA MASW 4

MASW 04

MODALITA' DI ACQUISIZIONE

Acquisitore tipo:	Punti di camp. per canale	Ritardo (ms)
ECO 24 CH "AMBROGEO"	13616	0,00
Canali impiegati	Punti di camp. Totali	Energizzatore
24	326787	MECCANICO
Intervallo acquisizione (ms)	Amplificazione	Starter
0,128	DIFFER. PER CANALE	MECCANICO
Tempo di campionamento (ms)	Filtro PB in acq. (Hz)	Sommatorie
1000	NESSUNO	NESSUNA

CARATTERISTICHE DELLO STENDIMENTO

N° Geofoni

24

Punti di energizzazione

2

Distanza intergeof. (m)

1,50

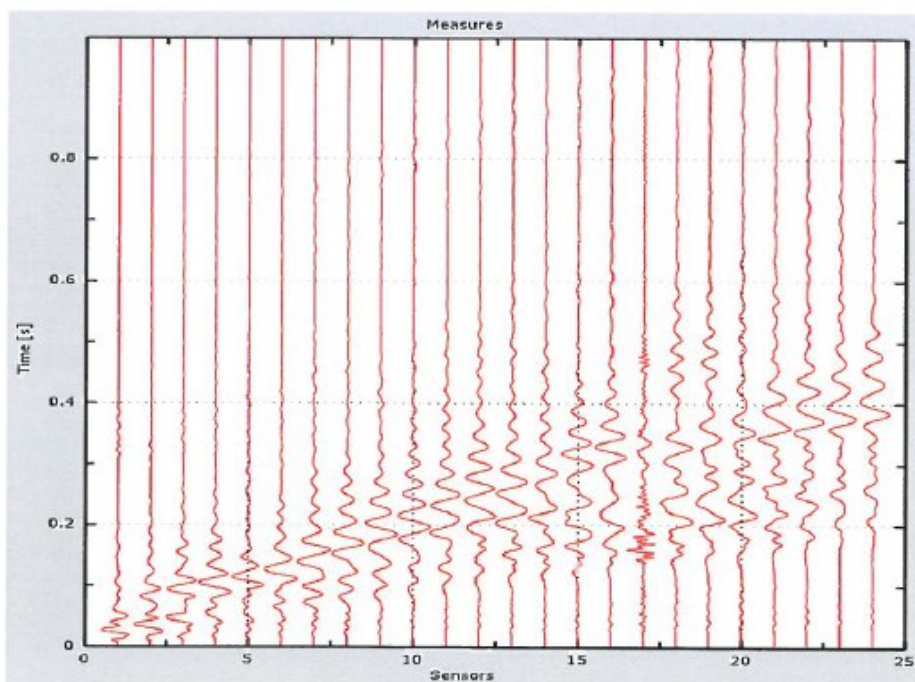
Lungh.stendim. (m)

36,00

Lungh. linea sismica (m)

36,00





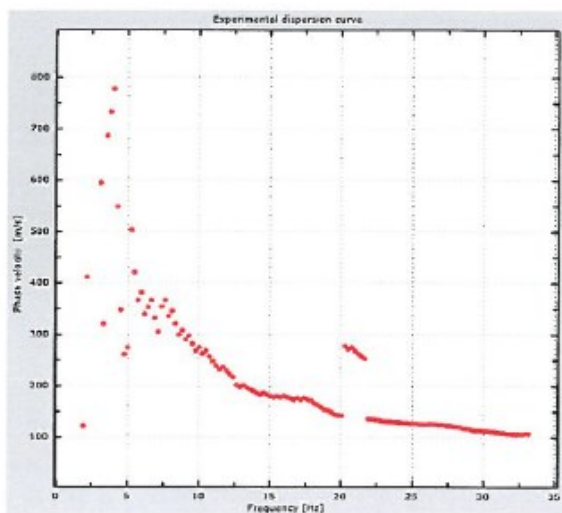
Intervallo di analisi 2000 ms
N. geofoni utilizzati 24

CURVA DI DISPERSIONE SPERIMENTALE

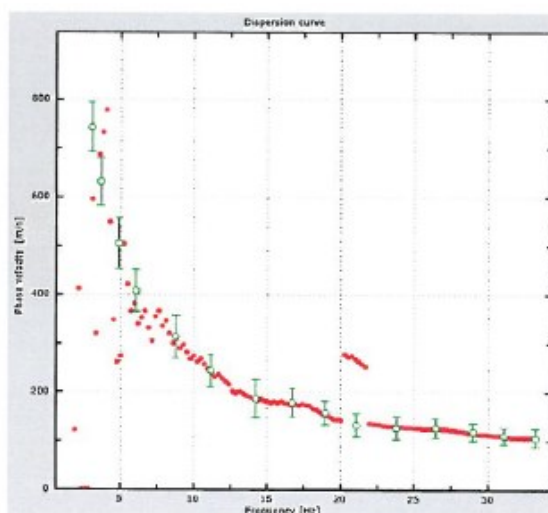
Intervallo di frequenza considerato

Frequenza iniziale
2 Hz

Frequenza finale
35 Hz



DISPERSIONE

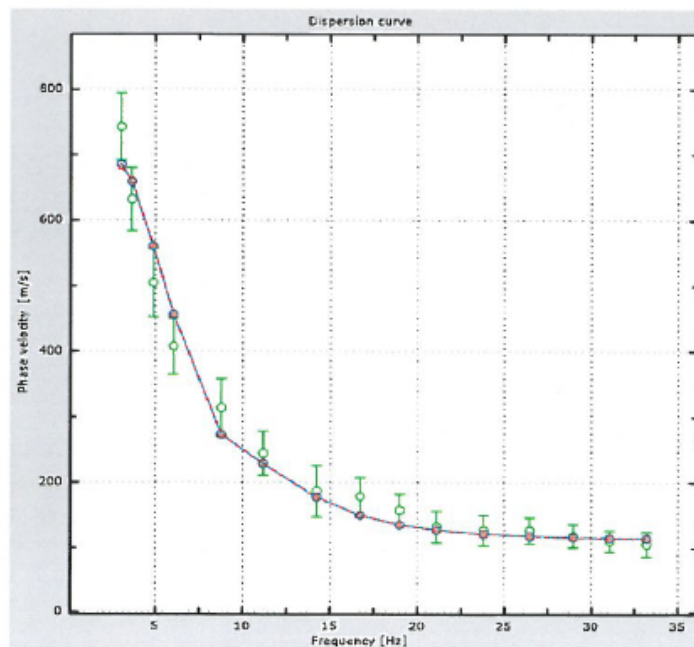


PICKING

VALORI DELLA CURVA DI DISTRIBUZIONE CONSIDERATI

Freq. [Hz]	V. fase [m/s]	V. fase min [m/s]	V. fase Max [m/s]	Freq. [Hz]	V. fase [m/s]	V. fase min [m/s]	V. fase Max [m/s]
3.04992	742.259	691.415	793.103				
3.65244	631.327	582.794	679.86				
4.8826	504.217	452.217	556.216				
6.03745	407.151	364.395	449.906				
8.77393	313.551	269.641	357.462				
11.1589	244.219	210.708	277.73				
14.2218	186.441	147.153	225.73				
16.7072	178.353	149.464	207.241				
18.9667	157.553	133.286	181.819				
21.0755	132.131	107.864	156.397				
23.7869	126.353	103.242	149.464				
26.4481	126.353	106.709	145.997				
28.9586	118.264	100.931	135.597				
31.0675	110.175	93.9976	126.353				
33.2014	105.553	87.0643	124.042				

CONFRONTO TRA LE CURVE TEORICA E SPERIMENTALE



PROCEDURA UTILIZZATA: Automatica Semiautomatica Manuale

MASW 04**MODELLO TEORICO**

Strati* N.	Ricevitori N.	Dist. Ricev. (m)	Modi consid. N.	Modi impiegati N.	Iterazioni N.	Errore (%)
5	24	1,5	1,00	1,00	25	5

* compreso il semispazio rigido

STRATO 1

Spessore (m)	Profondità (m)	Densità (Kg/m ³)	Modulo Poisson	Presenza falda	Valori di Ricerca		Vs (m/s)	Vp (m/s)
					Vs min (m/s)	Vs max (m/s)		
3,00	-3,00	1600	0,33	no	58.64	180,00	120	238

STRATO 2

Spessore (m)	Profondità (m)	Densità (Kg/m ³)	Modulo Poisson	Presenza falda	Valori di Ricerca		Vs (m/s)	Vp (m/s)
					Vs min (m/s)	Vs max (m/s)		
4,00	-7,00	1720	0,34	no	87.53	315,00	210	427

STRATO 3

Spessore (m)	Profondità (m)	Densità (Kg/m ³)	Modulo Poisson	Presenza falda	Valori di Ricerca		Vs (m/s)	Vp (m/s)
					Vs min (m/s)	Vs max (m/s)		
11,00	-18,00	1880	0,34	no	103.58	487,00	325	660

STRATO 4

Spessore (m)	Profondità (m)	Densità (Kg/m ³)	Modulo Poisson	Presenza falda	Valori di Ricerca		Vs (m/s)	Vp (m/s)
					Vs min (m/s)	Vs max (m/s)		
4,00	-22,00	1980	0,37	no	135.68	667,00	445	980

STRATO 5

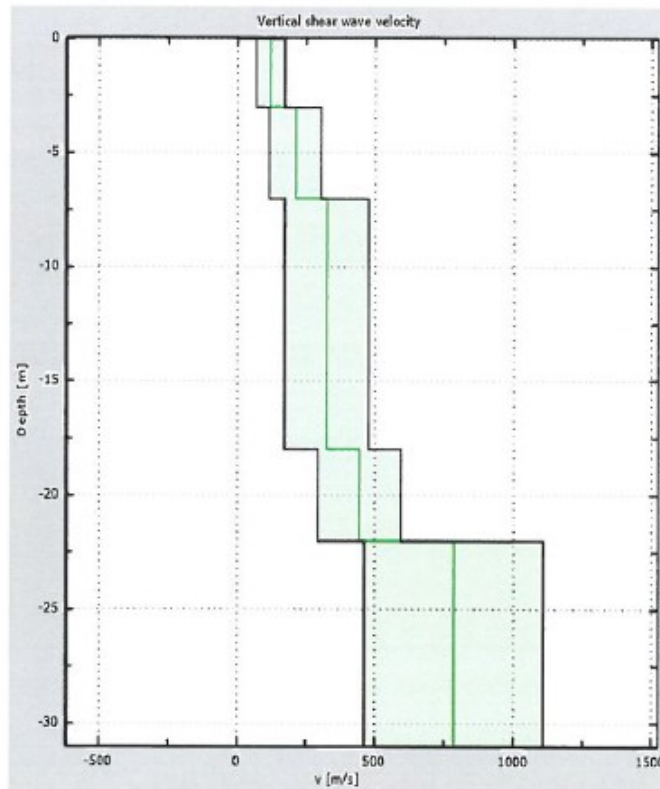
Spessore (m)	Profondità (m)	Densità (Kg/m ³)	Modulo Poisson	Presenza falda	Valori di Ricerca		Vs (m/s)	Vp (m/s)
					Vs min (m/s)	Vs max (m/s)		
0,00	0,00	2100	0,44	no	412.37	1177,00	785	2398

STRATO 6

Spessore (m)	Profondità (m)	Densità (Kg/m ³)	Modulo Poisson	Presenza falda	Valori di Ricerca		Vs (m/s)	Vp (m/s)
					Vs min (m/s)	Vs max (m/s)		

STRATO 7

Spessore (m)	Profondità (m)	Densità (Kg/m ³)	Modulo Poisson	Presenza falda	Valori di Ricerca		Vs (m/s)	Vp (m/s)
					Vs min (m/s)	Vs max (m/s)		



Valori riferiti al Piano Campagna

VSeq = 309 m/s +/- 15 m/s

SOTTOSUOLO TIPO: C

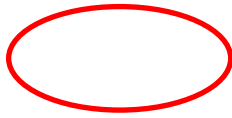


Lo Sperimentatore

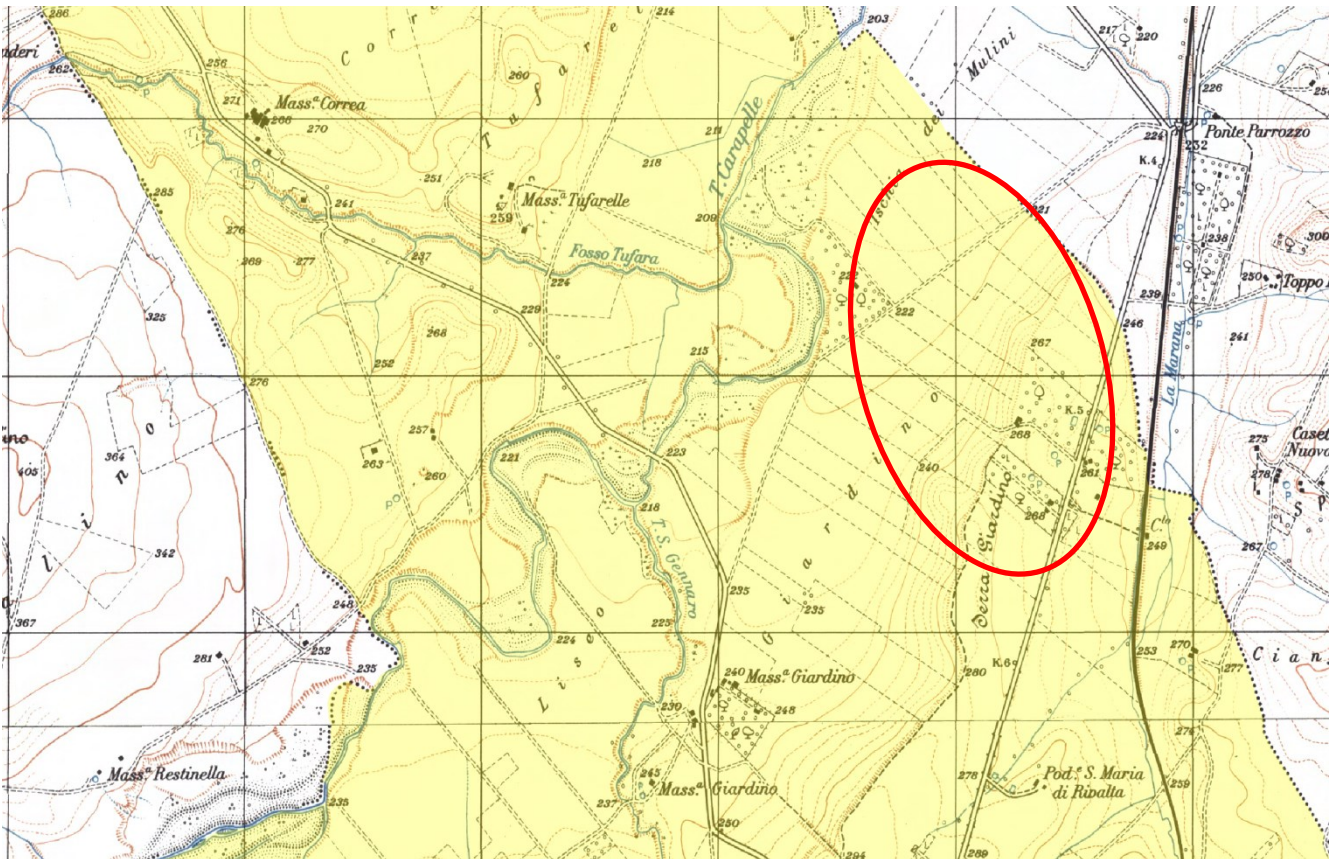
Handwritten signature of Daniel Gallo

COROGRAFIA DELL'AREA

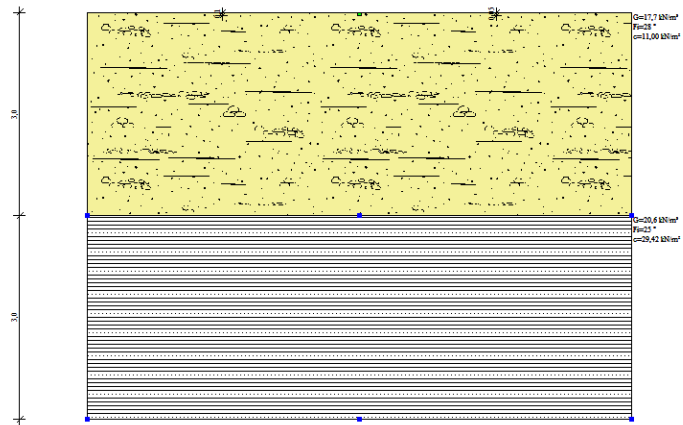
Scala 1:25.000



Area interessata dal progetto



Modello Geotecnico



La potenza stratigrafica è puramente indicativa