

NOVEMBRE 2021

TS ENERGY 11 S.r.L.

**IMPIANTO INTEGRATO AGRIVOLTAICO
COLLEGATO ALLA RTN
POTENZA NOMINALE 80 MW**

COMUNE DI TORREMAGGIORE (FG)

Montagna

PROGETTO DEFINITIVO IMPIANTO AGRIVOLTAICO

Relazione Geotecnica

Progettisti (o coordinamento)

Ing. Laura Maria Conti n. ordine Ing. Pavia 1726

Dott.ssa Geol. Giovanna Amedei, n. Ord. Geol. Puglia 438 – Sez. A

Codice elaborato

2748_4499_TO_PD_R03.2_Rev0_Relazione-geotecnica



Progetto per un impianto di produzione agro-energetico integrato da realizzarsi nel Comune di Torremaggiore (FG) – località “Contrada Fonterosa”

1 - PREMESSA

Su incarico della committente, Società TS ENERGY 11, con sede legale in Milano alla Via Albricci n. 7 – P. IVA: 10680850962 - la scrivente, *Dott.ssa Giovanna Amedei*, geologa, iscritta all'O.R.G. della Puglia al n. 438 e con studio professionale in Rodi Garganico, alla Via Pietro Nenni n. 4, ha eseguito gli studi e redatto la presente relazione volta alla definizione di una caratterizzazione geologica e geomorfologica descrittiva relativa ai terreni interessati dal “*Progetto per un impianto di produzione agro - energetico integrato da realizzarsi nel Comune di Torremaggiore (FG), località “Contrada Fonterosa”*”.

Scopo dell'indagine è accertare l'idoneità geologica – geotecnica del sito alla realizzazione dell'opera prevista in progetto in osservanza agli strumenti di pianificazione redatti dall'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Meridionale – sede territoriale Puglia.

L'indagine è stata svolta, oltre che sulla base dei dati bibliografici, con l'ausilio dei rilievi geologici e geomorfologici di superficie ed è stata finalizzata:

✓ all'individuazione delle caratteristiche geomorfologiche, geologiche e geoidrologiche della zona;



Progetto per un impianto di produzione agro-energetico integrato
da realizzarsi nel Comune di Torremaggiore (FG) – località “Contrada Fonterosa”

- ✓ alla ricostruzione della successione litostratigrafica dei terreni;
- ✓ alla caratterizzazione geotecnica dei terreni.

Considerate le finalità dell'indagine saranno descritte la caratterizzazione geologica e morfologica, per una fascia abbastanza ampia che racchiuda l'opera in progetto, nonché la litologia e le caratteristiche più salienti dei terreni interessati e limitrofi.



Progetto per un impianto di produzione agro-energetico integrato
da realizzarsi nel Comune di Torremaggiore (FG) – località “Contrada Fonterosa”

2- INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

Le opere in progetto ricadono all'interno del territorio comunale di Torremaggiore (FG), a sud ovest rispetto al centro abitato e precisamente in loc.ta' Contrada Fonterosa.

Il territorio di Torremaggiore (Lon. 15°17'31" – Lat. 41°41'21") si estende nella parte nord-occidentale della provincia di Foggia, a circa 40 Km dal capoluogo, a confine con la provincia molisana di Campobasso, a nord della piana del “Tavoliere”. Esso ricopre un'area di circa 208,54 Km² con un'altitudine che varia da 28 m a 220 m s.l.m.

La sottostante pianura del Tavoliere rappresenta, con i suoi 4600 Km², la più estesa pianura alluvionale dopo la Pianura Padana un'area di basso strutturale, delimitata dal fiume Ofanto, dal torrente Cervaro, dall'Appennino e dal Golfo di Manfredonia.

Dal punto di vista catastale l'area è individuabile secondo i Fogli e P.lle in seguito elencate:



Progetto per un impianto di produzione agro-energetico integrato
da realizzarsi nel Comune di Torremaggiore (FG) – località “Contrada Fonterosa”

n°	Intestazione	Comune	P.º	P.lla	Superficie			Nota
					ha	a	ca	
1	SRL SIAD SOC IND AGRICOLA DAUNIA	Torremaggiore (FG)	97	90	4	22	54	
2	SRL SIAD SOC IND AGRICOLA DAUNIA	Torremaggiore (FG)	97	91	1	10	0	
3	SRL SIAD SOC IND AGRICOLA DAUNIA	Torremaggiore (FG)	97	95	2	3	0	
4	SRL SIAD SOC IND AGRICOLA DAUNIA	Torremaggiore (FG)	97	108		11	24	Olio
5	SRL SIAD SOC IND AGRICOLA DAUNIA	Torremaggiore (FG)	97	108		14	74	Vigneto
6	SRL SIAD SOC IND AGRICOLA DAUNIA	Torremaggiore (FG)	97	108		50	60	Pascolo
7	SRL SIAD SOC IND AGRICOLA DAUNIA	Torremaggiore (FG)	97	144	1	20	0	vigneto
8	SRL SIAD SOC IND AGRICOLA DAUNIA	Torremaggiore (FG)	97	144		40	86	seminativo
9	SRL SIAD SOC IND AGRICOLA DAUNIA	Torremaggiore (FG)	97	405	2	51	50	
10	SRL SIAD SOC IND AGRICOLA DAUNIA	Torremaggiore (FG)	97	580	5	50	1	
11	SRL SIAD SOC IND AGRICOLA DAUNIA	Torremaggiore (FG)	97	581	6	20	49	
12	SRL SIAD SOC IND AGRICOLA DAUNIA	Torremaggiore (FG)	97	565	3	48	65	
13	SRL SIAD SOC IND AGRICOLA DAUNIA	Torremaggiore (FG)	97	566		29	35	
14	SRL SIAD SOC IND AGRICOLA DAUNIA	Torremaggiore (FG)	97	515	5	63	75	
15	SRL SIAD SOC IND AGRICOLA DAUNIA	Torremaggiore (FG)	97	35	5	59	64	
16	SRL SIAD SOC IND AGRICOLA DAUNIA	Torremaggiore (FG)	97	88	2	53	10	
17	SRL SIAD SOC IND AGRICOLA DAUNIA	Torremaggiore (FG)	97	89	4	85	67	
18	SRL SIAD SOC IND AGRICOLA DAUNIA	Torremaggiore (FG)	97	94	17	45	90	
19	SRL SIAD SOC IND AGRICOLA DAUNIA	Torremaggiore (FG)	97	118	6	99	77	
20	SRL SIAD SOC IND AGRICOLA DAUNIA	Torremaggiore (FG)	97	440	2	83	92	
21	SRL SIAD SOC IND AGRICOLA DAUNIA	Torremaggiore (FG)	97	564	6	6	0	
22	SRL SIAD SOC IND AGRICOLA DAUNIA	Torremaggiore (FG)	97	574		97	17	
23	SRL SIAD SOC IND AGRICOLA DAUNIA	Torremaggiore (FG)	97	599	8	32	6	
24	SRL SIAD SOC IND AGRICOLA DAUNIA	Torremaggiore (FG)	97	606	2	64	87	
25	SRL SIAD SOC IND AGRICOLA DAUNIA	Torremaggiore (FG)	97	608	2	4	60	
26	SRL SIAD SOC IND AGRICOLA DAUNIA	Torremaggiore (FG)	97	610	2	96	71	
27	SRL SIAD SOC IND AGRICOLA DAUNIA	Torremaggiore (FG)	97	613	3	71	81	
28	SRL SIAD SOC IND AGRICOLA DAUNIA	Torremaggiore (FG)	97	640	2	41	75	
29	SRL SIAD SOC IND AGRICOLA DAUNIA	Torremaggiore (FG)	97	641	2	36	49	
30	SRL SIAD SOC IND AGRICOLA DAUNIA	Torremaggiore (FG)	97	642	2	48	87	
31	SRL SIAD SOC IND AGRICOLA DAUNIA	Torremaggiore (FG)	97	643	2	82	72	
32	SRL SIAD SOC IND AGRICOLA DAUNIA	Torremaggiore (FG)	97	644	3	2	51	
33	SRL SIAD SOC IND AGRICOLA DAUNIA	Torremaggiore (FG)	97	434	1	0	32	



Progetto per un impianto di produzione agro-energetico integrato da realizzarsi nel Comune di Torremaggiore (FG) – località “Contrada Fonterosa”

3 – GEOLITOLOGIA

La zona oggetto di studio rientra nel Foglio 163 “Luce-ra” della Carta Geologica d’Italia in scala 1:100.000.

Essa corrisponde alla zona di transizione tra il settore pedemontano subappenninico e il Tavoliere di Puglia ed è situata nel territorio del Comune di Torremaggiore

Il Tavoliere di Puglia coincide con il tratto dell’Avanfossa adriatica delimitato dalla Catena appenninica e dall’Avampaese Apulo, più precisamente corrisponde all’area compresa fra i Monti della Daunia, il Promontorio del Gargano e l’Altopiano delle Murge.

La storia geologica di quest'area potrebbe essere così sintetizzata:

- formazione della piattaforma carbonatica mesozoico paleo-
genica;
- frammentazione della piastra Apula con relativa individua-
zione dell’Avanfossa a partire dal Miocene;
- riempimento di questo bacino subsidente durante il Plio Plei-
stocene;
- sollevamento regionale concomitante con oscillazioni glacio-
eustatiche del livello del mare e conseguente importante fase
di terrazzamento, mesopleistocenico - olocenica.



Progetto per un impianto di produzione agro-energetico integrato da realizzarsi nel Comune di Torremaggiore (FG) – località “Contrada Fonterosa”

Il substrato pre-pliocenico

Il basamento del Tavoliere, come pure l'ossatura dell'intera Regione Pugliese, è costituito da un potente spessore di sedimenti carbonatici prevalentemente di piattaforma di età mesozoica su cui localmente, in affioramento, trasgrediscono depositi calcarenitici paleogenici.

Con l'avvento della tettonogenesi appenninico-dinarica a partire dal Miocene, la Piastra Apula assume il ruolo di Avampese e contemporaneamente le sue parti estreme diventano instabili. Quella più occidentale, con il progredire delle fasi di accavallamento delle unità appenniniche verso Est, viene coinvolta progressivamente da una segmentazione secondo l'allineamento nord ovest – sud est a costituire un esteso semi-graben; in quest'area si individuerà l'Avanfossa appenninica.

La struttura del substrato carbonatico sembrerebbe corrispondere, per il Tavoliere meridionale, ad un generale graben allungato da sud-ovest a nord-est con una ulteriore sistemazione a gradoni diretti da nord ovest a sud-est immergente verso l'Appennino, il tutto complicato da strutture minori (come: l'horst del Villaggio Ippocampo, -350 m; il graben di Torre Quarto, -550; l'horst di Mass. Pavone a sud-ovest di Cerignola, -325 m).

La fossa plio-pleistocenica



Progetto per un impianto di produzione agro-energetico integrato da realizzarsi nel Comune di Torremaggiore (FG) – località “Contrada Fonterosa”

La parte occidentale della piattaforma carbonatica apula, a partire dal Miocene, sotto le spinte della Catena appenninica si sarebbe spezzettata assumendo il ruolo di Avanfossa della catena appenninica.

Il bacino pugliese, orientato grosso modo secondo una direzione comune nord-ovest – sud-est, ossia parallela a quella della catena appenninica, si sarebbe individuato a partire da nord ringiovanendosi procedendo verso sud, subendo poi una migrazione verso est.

Nel corso del Pliocene inferiore la fossa, ormai delimitata fra l’Appennino e l’ancora integro Avampaese apulo-garganico, doveva avere una forma molto allungata e margini subparalleli ravvicinati. La sedimentazione era di tipo pelitico, riferibile ad argille bacinali o a facies distali di corpi torbiditici provenienti da nord-ovest.

Nel Pliocene medio si incomincia ad individuare la Fossa bradanica s.s.. In essa, vengono richiamati, dalla Catena appenninica in rapido sollevamento, potenti colate gravitative, che, congiuntamente alle spinte appenniniche vanno a raccordare la parte interna della stessa Avanfossa, colmandola. Verso l’esterno si hanno aree ove prevale la subsidenza caratterizzata da riempimenti torbiditici sabbioso-argillosi (sempre provenienti da nord-ovest). Di conseguenza il rapporto sabbie/argille diminuisce procedendo verso sud, mentre aumenta



Progetto per un impianto di produzione agro-energetico integrato da realizzarsi nel Comune di Torremaggiore (FG) – località “Contrada Fonterosa”

notevolmente in corrispondenza di aree a forte subsidenza, quali la Fossa di Candela.

Il modello proposto è quello cosiddetto delle “conoidi confinate asimmetriche” canalizzate nord nord ovest – sud sud est, parallelamente a faglie inverse sinsedimentarie dovute alla tettonica compressiva mesopliocenica.

Il Pliocene superiore segna il culmine della tettonica trasversale, che porterà alla separazione dell’Avanfossa in più bacini distinti. Difatti il sollevamento dell’Alto del Fortore ha separato il bacino molisano da quello pugliese.

Questa struttura, trasversale alla Fossa, ne ha condizionato il riempimento; infatti, sui fianchi ribassati, si sono avuti abbondanti apporti clastici, interdigitati sul lato settentrionale con le torbiditi provenienti da nord- ovest, e sul lato meridionale, con le colate gravitative provenienti dal continente in sollevamento. L’alto strutturale è stato invece caratterizzato da sedimentazione ridotta costituita da argille di piattaforma e verso la costa da apparati deltizi.

Nel corso del Pliocene superiore, inoltre, si sono attivate faglie est-ovest, allineate alla faglia trascorrente destrorsa del Gargano, che hanno suddiviso ulteriormente l’Alto del Fortore.

Analogamente il bacino pugliese risulta separato da quello lucano da un alto strutturale, la cosiddetta Sella di Banzi, caratterizzato da sedimentazione condensata.



Progetto per un impianto di produzione agro-energetico integrato
da realizzarsi nel Comune di Torremaggiore (FG) – località “Contrada Fonterosa”

A questa fase tettonica si deve fare risalire l’approfondimento del graben del Tavoliere meridionale.

Successivamente, nel corso del Pleistocene inferiore, si verifica il colmamento del bacino pugliese. In affioramento, nel Tavoliere si ritrova quasi esclusivamente la parte alta della successione plio-pleistocenica, cioè le unità stratigrafiche regressive.

I depositi terrazzati

A partire da circa un milione di anni fa, in seguito alla progressiva attenuazione delle spinte appenniniche, al rilascio elastico della Piastra Apula (Mongelli & Ricchetti, 1979; Ricchetti & Mongelli, 1981) e alla compensazione isostatica del sistema Catena-Avanfossa Avampaese si è avuto un sollevamento regionale sicuramente tuttora in corso.

A questa tendenza generale, già di per sé polifasica, si sono sovrapposte oscillazioni del livello marino di tipo glacio-eustatico, interferendo e complicando ulteriormente il meccanismo di regressione. Il risultato è rappresentato da numerose e diverse unità litostratigrafiche corrispondenti a differenti stadi del livello marino riferibili a più cicli sedimentari marini e/o a fasi continentali di alluvionamento.



Progetto per un impianto di produzione agro-energetico integrato
da realizzarsi nel Comune di Torremaggiore (FG) – località “Contrada Fonterosa”

In base alle caratteristiche rilevate in campagna, i terreni di diretto interesse sono costituiti (Fig. 1) da Depositi Alluvionali Sabbioso – Limosi con lenti ghiaiose e abbondante macrofauna (Dasl) e Depositi terrazzati con ghiaia e sabbia giallastra (Dags)

I due depositi presentano caratteri sedimentologici abbastanza simili: sono costituiti, per spessori complessivi medi di 5 m e massimi di 10 m, da ghiaie poligeniche ed eterometriche con granuli da qualche cm a blocchi di oltre 1 m (con embriature prevalenti provenienti da O), associate ad intercalazioni lenticolari di sabbie grossolane.

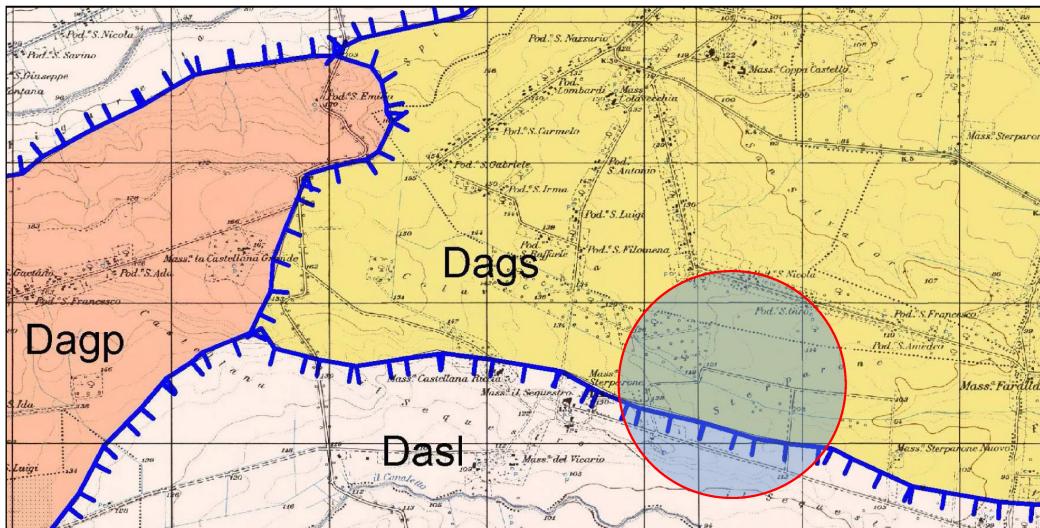
Da monte verso valle, le ghiaie mostrano:

- 1) un passaggio graduale a depositi sabbiosi o ghiaiosi con maggior presenza di lenti sabbiose;
- 2) aumento del grado di cassazione e diminuzione di matrice;
- 3) passaggio da corpi ghiaiosi non stratificati, massivi e privi di strutture sedimentarie a corpi sabbioso-ghiaiosi con accenni di stratificazione e rare forme erosive canalizzate orientate est - ovest.

Nell’area è ben visibile l’orlo di un terrazzo



*Progetto per un impianto di produzione agro-energetico integrato
da realizzarsi nel Comune di Torremaggiore (FG) – località “Contrada Fonterosa”*



LEGENDA CARTA GEOLITOLOGICA
Scala 1: 22.500






-  *Dasl- Depositi alluvionali sabbioso-limosi con lenti ghiaiose con
abbondante macrofauna. Pleistocene superiore*
-  *Dagn- Depositi alluvionali terrazzati con ghiaia e ciottoli di grandi
dimensioni in matrice sabbiosa. Pleistocene medio-superiore*
-  *Dags- Depositi terrazzati con ghiaia e sabbia giallastra.
Pleistocene medio*
-  *Orlo di terrazzo*
-  *Ubicazione Area*

Fig. 1



Progetto per un impianto di produzione agro-energetico integrato
da realizzarsi nel Comune di Torremaggiore (FG) – località “Contrada Fonterosa”

4. IDROGEOLOGIA

Il territorio di Torremaggiore è caratterizzato da basse colline a tetto piatto, leggermente inclinate verso E, che rappresentano lembi residui di più estese paleosuperfici sollevate a diverse altezze. Fra di esse si interpongono dei modesti fossi irrigui rappresentati da affluenti del C.le della Bufola.

In scala più estesa, piccole valli solcate da numerosi reticoli idrografici a regime torrentizio, scorrono da SO verso NE.

Le risorse idriche dei pozzi d’acqua sono legate alla falda acquifera delle formazioni ghiaioso-sabbiose. Le sommità delle colline piatte presenti in questo distretto, ove poggiano tali unità litologiche, costituiscono pertanto le zone di ricarica dei livelli acquiferi superficiali.

Generalmente la circolazione idrica sotterranea avviene a circa 5 m di profondità rispetto al piano campagna (in dipendenza degli spessori delle formazioni conglomeratiche), sostenuta dalle sottostanti argille grigio-azzurre, caratterizzate da una scarsissima permeabilità.

La piovosità dell’area fa registrare valori di precipitazioni media annue comprese nel range 550-650 mm; l’infiltrazione efficace, in considerazione della natura per-



*Progetto per un impianto di produzione agro-energetico integrato
da realizzarsi nel Comune di Torremaggiore (FG) – località “Contrada Fonterosa”*

meabile dei terreni conglomeratici e della relativa bassa densità di drenaggio, oltre che delle modestissime pendenze, appare relativamente molto più elevata che nelle valli circostanti, ove risiedono depositi terrigeni a matrice limosa e argillosa dei depositi fluviali terrazzati.

L'evapotraspirazione media annua è stimata intorno ai valori di 1050 - 1100 mm; la temperatura media annua è di circa 15°C.



Progetto per un impianto di produzione agro-energetico integrato
da realizzarsi nel Comune di Torremaggiore (FG) – località “Contrada Fonterosa”

5 - INDAGINI GEOGNOSTICHE

Al fine di conoscere in dettaglio la natura del sotto-suolo progettuale è stata condotta una prima serie di accertamenti superficiali sulla base del rilevamento geologico e successivamente sono state eseguite n. 2 stendimenti di simica a rifrazione, la cui descrizione è riportata nell'appendice n. 1

I valori e le ricostruzioni ottenute sono le seguenti (Fig. 2)

SIS 1

POSIZIONE DEGLI SPARI

Ascissa [m]
-5.00
12.50
27.50
42.50
60.00

POSIZIONE DEI GEOFONI E PRIMI ARRIVI

N.	Ascissa [m]	FBP da -5 [ms]	FBP da 12.5 [ms]	FBP da 27.5 [ms]	FBP da 42.5 [ms]	FBP da 60 [ms]
1	0.00	10.00	19.02	27.88	44.32	51.38
2	5.00	17.71	12.56	24.98	40.91	48.58
3	10.00	22.10	5.00	21.50	36.69	45.92
4	15.00	25.81	4.50	16.50	32.31	42.96
5	20.00	29.82	11.00	11.50	26.44	39.16
6	25.00	32.93	15.00	3.00	22.56	34.20
7	30.00	35.50	19.00	6.00	18.35	30.33
8	35.00	38.00	23.50	13.00	13.14	26.95
9	40.00	41.78	28.50	18.38	4.50	24.41
10	45.00	45.50	31.67	21.61	5.50	20.90
11	50.00	48.50	34.61	25.49	15.11	13.78
12	55.00	51.70	38.17	27.69	19.94	6.53



Progetto per un impianto di produzione agro-energetico integrato
da realizzarsi nel Comune di Torremaggiore (FG) – località “Contrada Fonterosa”

DISTANZA DEI RIFRATTORI DAI GEOFONI

N. Geof.	Dist. Rifr. 1 [m]	Dist. Rifr. 2 [m]
1	3.4	6.8
2	2.4	8.9
3	2.1	9.5
4	2.0	9.8
5	1.7	10.0
6	1.6	9.7
7	1.6	10.6
8	1.6	10.9
9	2.9	8.7
10	2.8	8.8
11	2.6	9.4
12	2.8	9.1

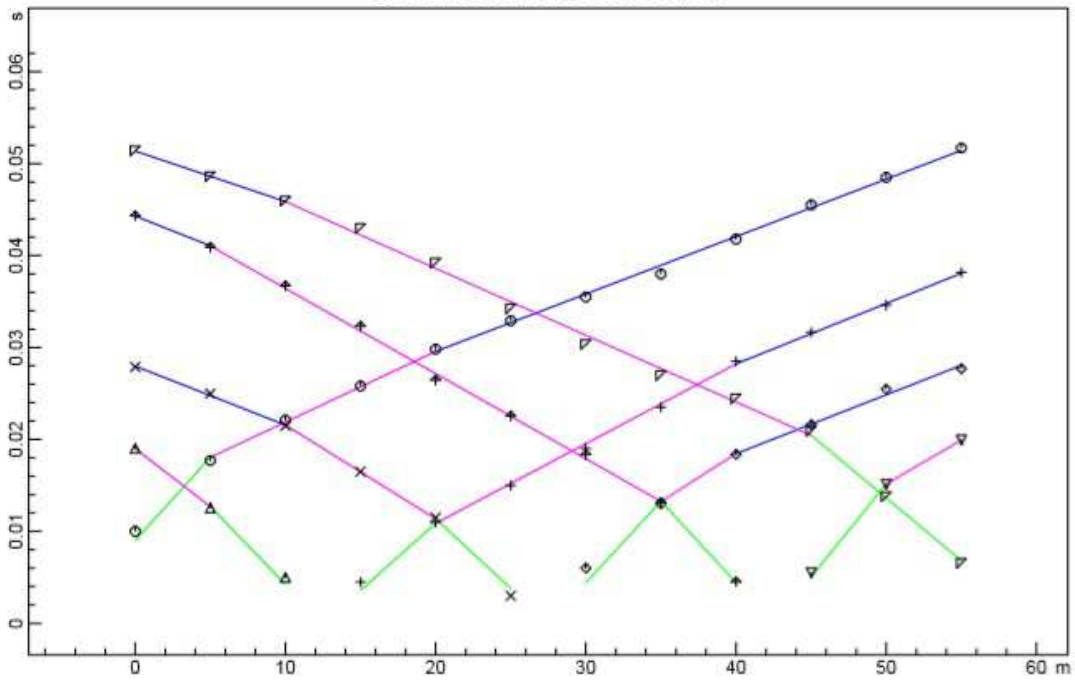
VELOCITA' DEGLI STRATI

N. Strato	Velocità [m/s]
1	597.5
2	1225.1
3	1636.3

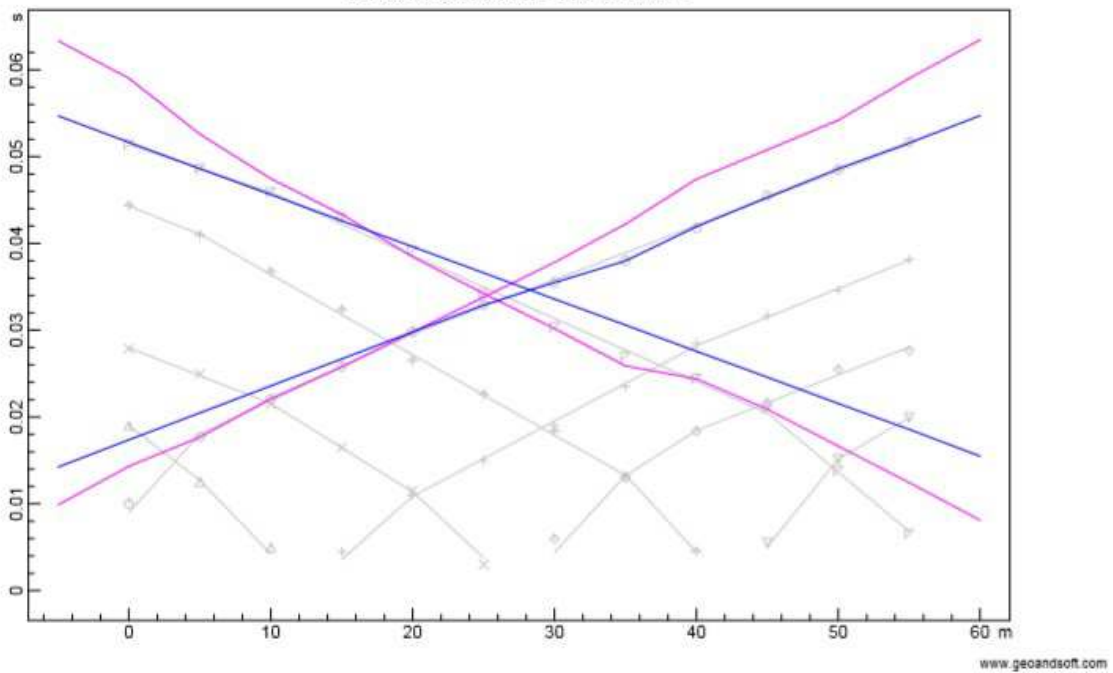


Progetto per un impianto di produzione agro-energetico integrato
da realizzarsi nel Comune di Torremaggiore (FG) – località “Contrada Fonterosa”

DROMOCRONE ORIGINALI

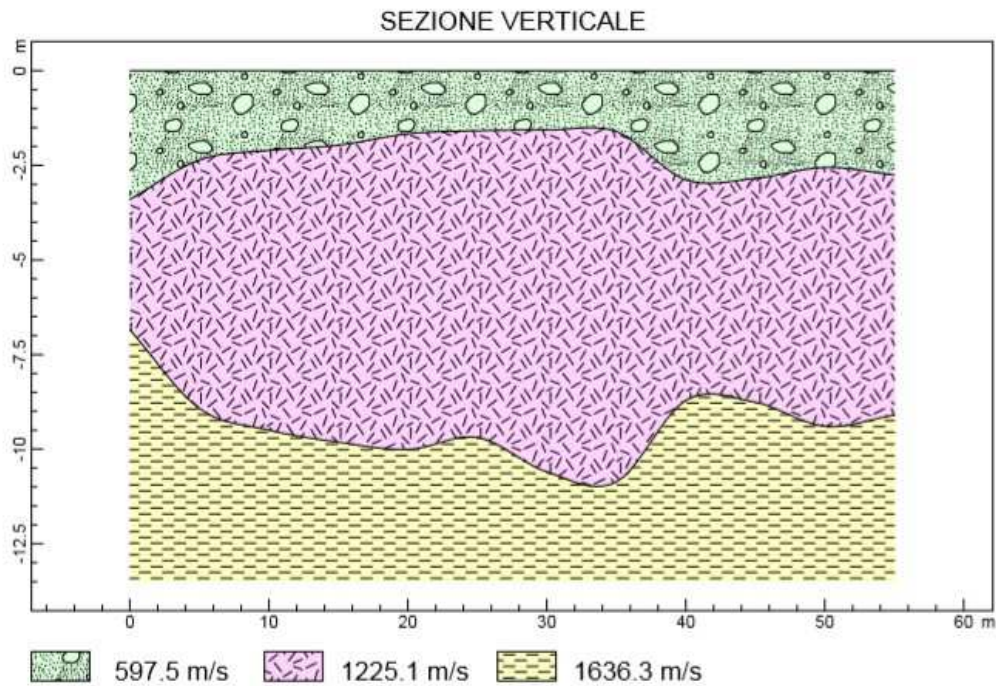
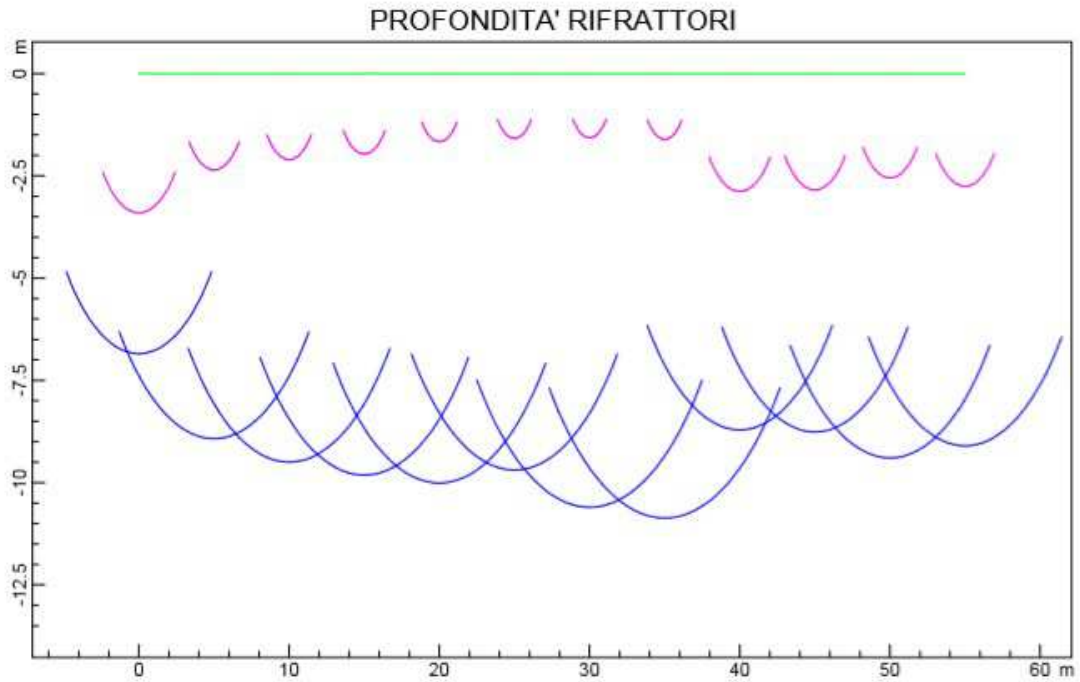


DROMOCRONE TRASLATE





Progetto per un impianto di produzione agro-energetico integrato da realizzarsi nel Comune di Torremaggiore (FG) – località “Contrada Fonterosa”



www.geoandsoft.com



Progetto per un impianto di produzione agro-energetico integrato da realizzarsi nel Comune di Torremaggiore (FG) – località “Contrada Fonterosa”

SIS2

POSIZIONE DEGLI SPARI

Ascissa [m]
-5.00
12.50
27.50
42.50
60.00

POSIZIONE DEI GEOFONI E PRIMI ARRIVI

N.	Ascissa [m]	FBP da -5 [ms]	FBP da 12,5 [ms]	FBP da 27,5 [ms]	FBP da 42,5 [ms]	FBP da 60 [ms]
1	0.00	6.84	15.48	28.41	31.61	43.77
2	5.00	11.50	11.56	24.69	29.26	40.67
3	10.00	15.00	9.70	20.25	25.25	38.49
4	15.00	17.00	7.58	15.69	22.62	35.56
5	20.00	21.62	9.45	11.80	18.85	32.83
6	25.00	25.53	12.50	7.50	15.11	30.21
7	30.00	28.98	16.22	7.49	12.30	27.00
8	35.00	32.03	20.18	13.11	9.81	23.77
9	40.00	34.78	23.28	16.92	5.53	20.00
10	45.00	37.30	27.50	20.48	2.42	14.21
11	50.00	39.48	30.98	23.59	6.53	11.11
12	55.00	41.40	34.65	28.24	12.04	7.50

DISTANZA DEI RIFRATTORI DAI GEOFONI

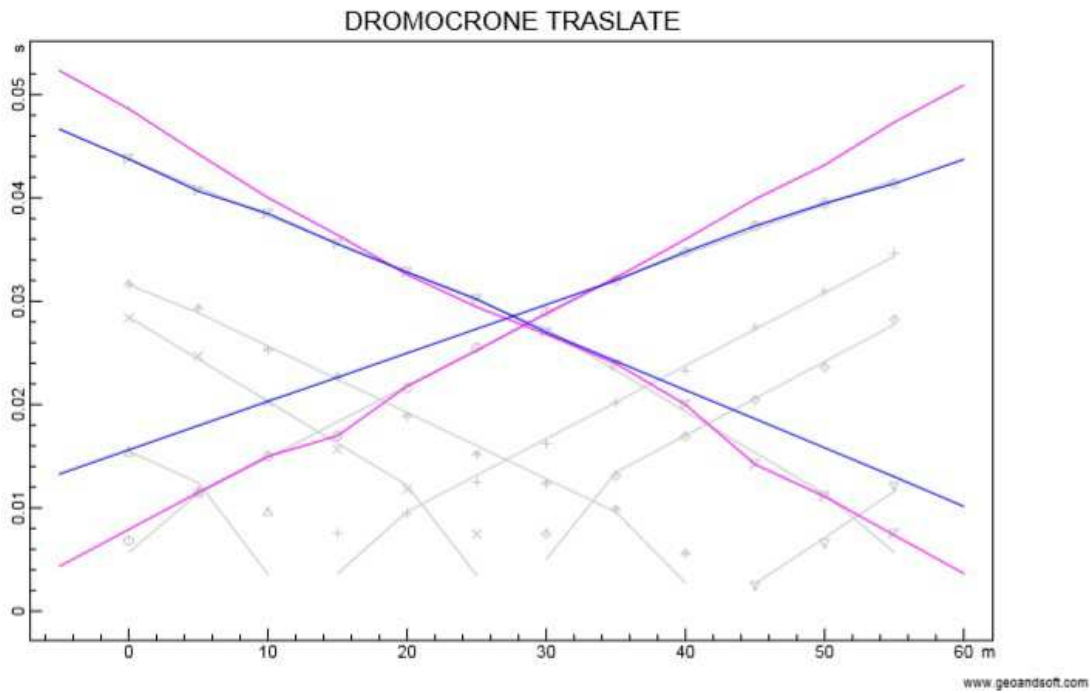
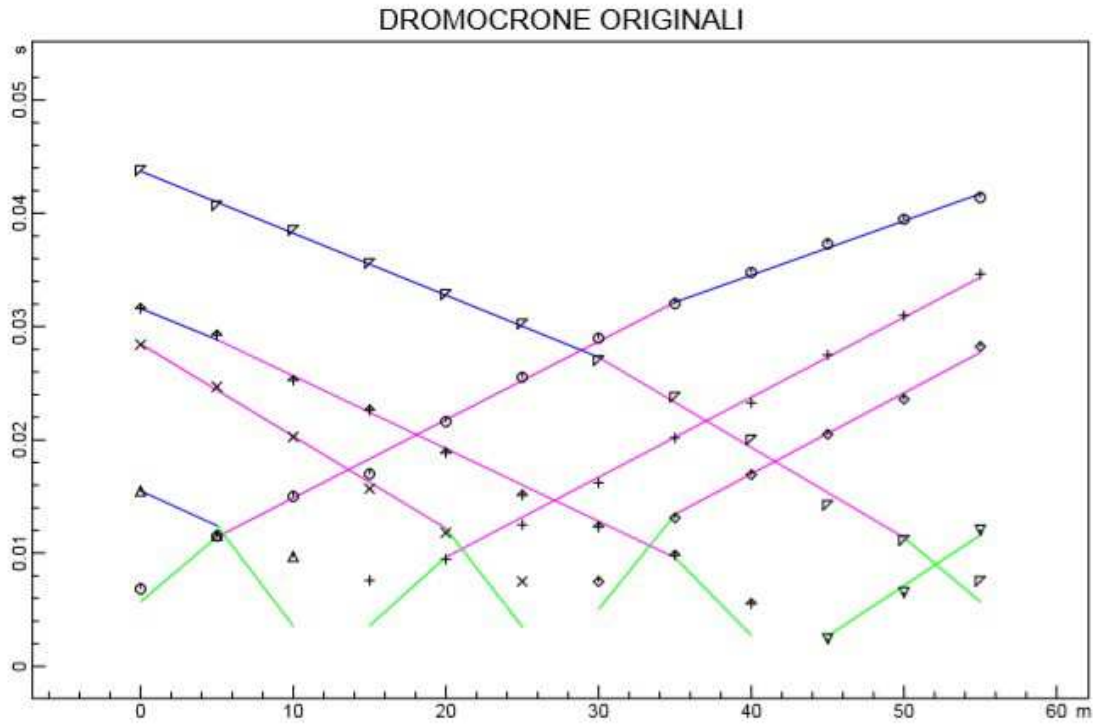
N. Geof.	Dist. Rifr. 1 [m]	Dist. Rifr. 2 [m]
1	2.1	10.7
2	1.8	10.7
3	1.5	10.7
4	0.8	10.9
5	1.2	10.5
6	1.3	9.7
7	1.7	9.2
8	2.0	8.7
9	1.9	7.8
10	1.1	8.2
11	1.2	7.6
12	1.3	7.0

VELOCITA' DEGLI STRATI

N. Strato	Velocità [m/s]
1	731.1
2	1357.7
3	1933.8

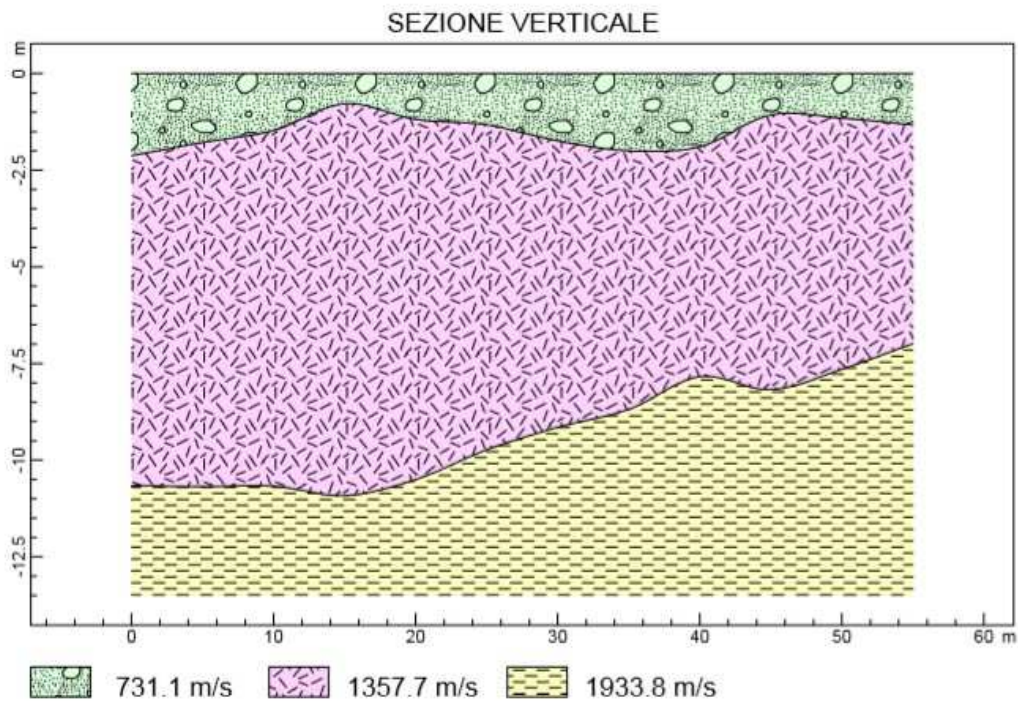
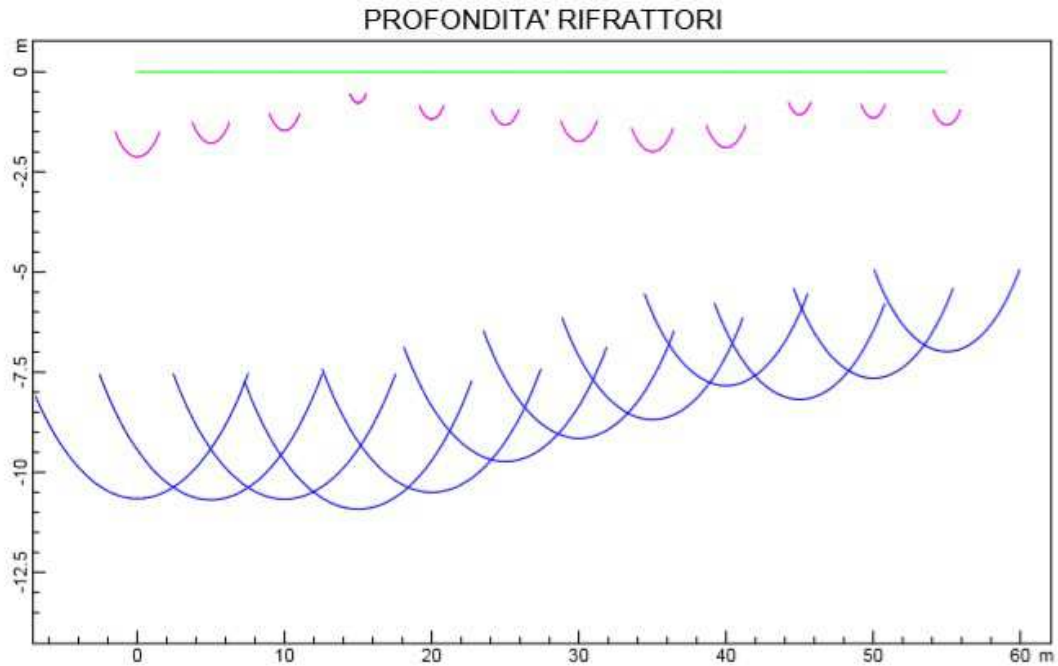


Progetto per un impianto di produzione agro-energetico integrato
da realizzarsi nel Comune di Torremaggiore (FG) – località “Contrada Fonterosa”





Progetto per un impianto di produzione agro-energetico integrato da realizzarsi nel Comune di Torremaggiore (FG) – località “Contrada Fonterosa”



www.geoandsoft.com



Progetto per un impianto di produzione agro-energetico integrato
da realizzarsi nel Comune di Torremaggiore (FG) – località “Contrada Fonterosa”

6 – VERIFICHE DI STABILITA’

I rilievi morfologici, condotti tramite aerofotointerpretazione e rilevamenti di campagna, hanno consentito di identificare le principali forme che caratterizzano e concorrono in modo determinante alla strutturazione ed alla individuazione delle componenti del paesaggio.

Il rilievo geomorfologico è stato confrontato con la carta delle frane (progetto IFFI) e con la Carta Idrogeomorfologica della Regione Puglia (AdB della Puglia).

Dall’analisi della cartografia prodotta dal progetto IFFI (Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia) si evidenzia come le opere di progetto non interessano fenomenologie franose.

Nell’ambito del Piano di Bacino Stralcio per l’Assetto Idrogeologico dell’Autorità di Bacino della Puglia (PAI), invece, l’intervento ricade in area a pericolosità da frana media e moderata (P.G.1); Obiettivo primario del PAI è il raggiungimento, come definito dall’art. 36, di azioni dirette a non aggravare le condizioni esistenti.

Per un’analisi più approfondita è stata eseguita una verifica della stabilità dei versanti lungo una sezione indicativa, secondo la metodologia di Janbu, pre e post operam.

I risultati sono stati positivi in entrambi i casi considerati (Fig. 3) ottenendo sia nella verifica pre che post operam



Progetto per un impianto di produzione agro-energetico integrato
da realizzarsi nel Comune di Torremaggiore (FG) – località “Contrada Fonterosa”

valori di sicurezza $F_s > 1,3$, valore minimo previsto per
norma

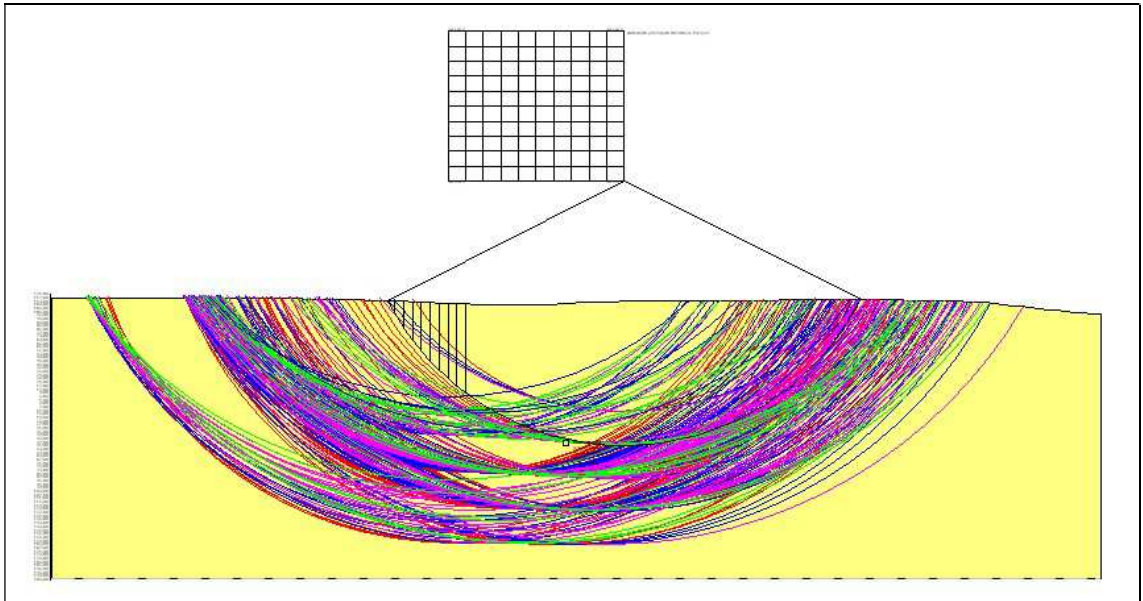
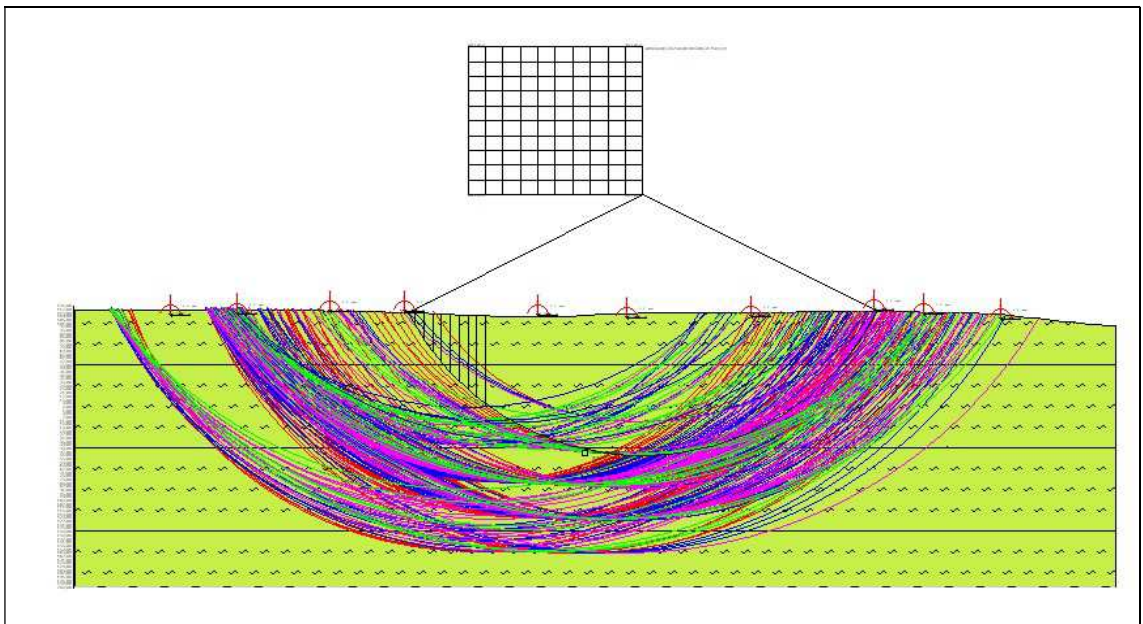


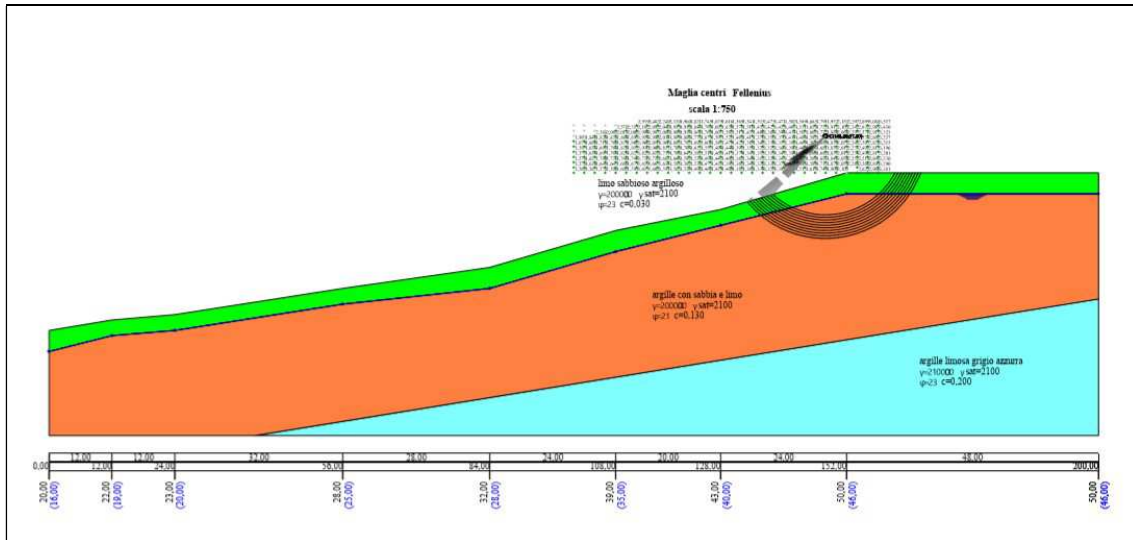
Fig. 3: Risultati Verifica di stabilità Pre Operam



Risultati Verifica di stabilità Pre Operam



Progetto per un impianto di produzione agro-energetico integrato
da realizzarsi nel Comune di Torremaggiore (FG) – località “Contrada Fonterosa”



Risultati Sezione Trasversale con i tre strati

I risultati delle verifiche sono riportati in appendice, allegato n. 2



Progetto per un impianto di produzione agro-energetico integrato da realizzarsi nel Comune di Torremaggiore (FG) – località “Contrada Fonterosa”

7- CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Lo studio eseguito nell’area di lavoro ha fornito un quadro dettagliato e chiaro della situazione geomorfologica, idrogeologica e geotecnica dell’area in esame.

Essendo il territorio comunale di Torremaggiore inserito nelle aree sismiche di 2a categoria (S=9), zona 2 per la nuova normativa si raccomanda di seguire scrupolosamente le norme relative alle zone sismiche.

In base ai dati rilevati è stato accertato che:

- in relazione alla Deliberazione del Comitato Istituzionale n. 25 del 15/12/2004 e deliberazione del C. I. n. 39 del 30/11/2005 e successive modifiche ed integrazioni, l’area in questione è sottoposta a vincolo PG1 aree a pericolosità media e moderata

- non vi sono contatti tettonici o altre discontinuità superficiali;

- il terreno non presenta tagli o altre deformazioni, né è soggetto a rapide modificazioni morfologiche causate da intense azioni erosive;

- l’unico tipo di pericolosità presente in tale area è quello dovuto ai processi di dilavamento, provocati da piogge particolarmente intense; dovrà essere posta particolare attenzione nella regimazione delle acque dilavanti, affinché



Progetto per un impianto di produzione agro-energetico integrato da realizzarsi nel Comune di Torremaggiore (FG) – località “Contrada Fonterosa”

non ristagnino o non si spandano in modo da causare danni a persone o cose e si dovrà realizzare un sistema di drenaggio;

- a livello stratigrafico l’area di ubicazione dell’impianto di produzione agro-energetico integrato ricade su sedimenti alluvionali sabbioso-limosi con intercalazioni ghiaiose;

- le verifiche di stabilità eseguite, pre e post operam, hanno evidenziato valori del Fattore di Sicurezza che si attestano superiori a 1,3;

- l’intervento non influirà negativamente sui processi geomorfologici dell’area interessata dall’opera e dalle sue pertinenze e non determinerà nessuna condizione tale da compromettere l’attuale condizione morfo-litologica-idrogeologica.

Tanto in adempimento all’incarico conferitomi

Rodi Garganico Febbraio 2020



LA SISMICA A RIFRAZIONE

Come noto, la sismica a rifrazione utilizza le onde acustiche nei corpi solidi, utilizzando per l'energizzazione un martello percussore, una massa battente oppure una piccola carica esplosiva esplosivo. Le onde sismiche (sonore) viaggiano nel sottosuolo a differente velocità a seconda dei litotipi attraversati e subiscono lungo le superfici di discontinuità geologica i fenomeni della riflessione, rifrazione e diffrazione. Le superfici di confine degli strati geologici, caratterizzati da una differenza di velocità tra lo strato superiore (V_1) e lo strato ad esso sottostante (V_2), producono dei raggi rifratti che viaggeranno parallelamente alla superficie di discontinuità (con la stessa velocità dello strato "più veloce") rifrangendo continuamente verso l'alto (quindi verso lo strato "più lento") energia elastica.

Una delle condizioni principali per l'applicazione del metodo della sismica a rifrazione è che la velocità di propagazione delle onde sismiche aumenti con la profondità ($V_1 < V_2$). Un altro requisito indispensabile per il buon funzionamento di questa metodologia è che gli strati posseggano uno spessore sufficiente per essere rilevati; in caso contrario occorre aumentare il numero di geofoni e diminuirne la spaziatura. L'energia rifratta che ritorna alla superficie viene misurata utilizzando dei geofoni.

Attraverso lo studio dei tempi di percorso e quindi delle velocità si può risalire alla disposizione geometrica ed alle caratteristiche meccanico-elastiche dei litotipi presenti nella zona di indagine. È buona norma commisurare l'intensità dell'energizzazione alla lunghezza dello stendimento e, quando possibile utilizzare le opzioni di controllo automatico del guadagno. Diversamente i primi arrivi potrebbero essere difficili da riconoscere sia per l'eccessiva debolezza del segnale (geofoni lontani dal punto di scoppio) sia per la possibile saturazione dei geofoni più vicini.

IL COMPORTAMENTO SISMICO DELLE ONDE P

Le onde P sono anche chiamate Onde Primarie in quanto si propagano nel mezzo attraversato con maggiore velocità rispetto alle altre onde. Nelle onde P, le particelle che costituiscono il mezzo attraversato vengono spostate nello stesso senso di propagazione dell'onda, in questo caso, in senso radiale. Quindi, il materiale si estende e si comprime con

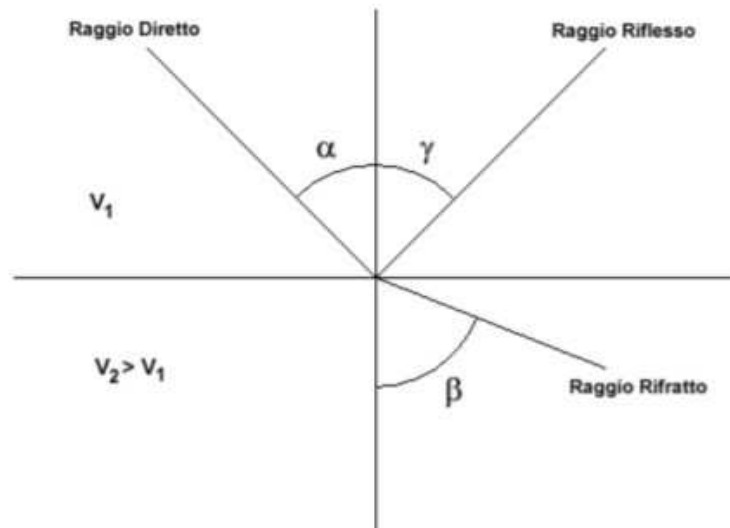
il propagarsi dell'onda. Le onde P viaggiano attraverso il terreno in modo analogo a quello delle onde sonore attraverso l'aria.

La velocità con la quale le onde P si propagano in un mezzo dipende dalle proprietà fisiche (cioè rigidità, densità, saturazione) e dal grado di omogeneità del terreno. Dalla sorgente di energizzazione viene emanato un "treno d'onde" i cui segnali saranno rilevati dalle stazioni riceventi ad intervalli di tempo dipendenti dalle caratteristiche elastiche del terreno. La registrazione grafica del treno d'onda in arrivo è chiamata "sismogramma". I fronti d'onda possono essere superfici sferiche o di forma qualsiasi. Il principio di Huygens, basilare nello studio di qualsiasi perturbazione ondosa, stabilisce però che "in ogni istante, qualsiasi punto di un fronte d'onda di forma qualsiasi può essere considerato come sorgente puntiforme di onde circolari (oppure sferiche se la perturbazione è in tre dimensioni)".

La propagazione di onde può quindi essere interpretata come una continua generazione di onde circolari che interferendo fra loro danno luogo a un'onda risultante osservabile macroscopicamente. Le semirette normali ai fronti d'onda sono chiamate "raggi sismici" ed indicano la direzione di propagazione dell'onda elastica.

Per l'analisi dei dati ottenuti tramite la sismica a rifrazione, è usuale considerare sia le immagini delle onde sismiche sia i percorsi dei raggi sismici. Questi ultimi possono sostituire i fronti d'onda con buona approssimazione, permettendo di trattare soltanto i tempi di percorso delle onde elastiche e non tutte le altre grandezze tipiche di un fenomeno ondulatorio quali ampiezza, frequenza e fase.

Quando un raggio incontra un'eterogeneità sul percorso, per esempio un contatto litologico con un altro materiale, il raggio incidente si trasforma in diversi nuovi raggi. Gli angoli che il raggio incidente, i raggi riflessi ed i raggi rifratti formano con la normale alla superficie di contatto tra i due materiali sono legati fra loro ed alle velocità di propagazione da alcune relazioni note come "leggi di SNELL". Le leggi di Snell affermano che il raggio incidente, riflesso e rifratto giacciono sullo stesso piano; inoltre valgono le seguenti relazioni tra gli angoli:



per la riflessione: $\alpha = \gamma$ per la rifrazione: $V_1 \cdot \sin a = V_2 \cdot \sin b$

Esiste un particolare valore dell'angolo di incidenza, chiamato "angolo critico" o "angolo limite" (i_c) particolarmente significativo per la sismologia di rifrazione. Si definisce infatti angolo critico l'angolo d'incidenza che rende $\beta=90^\circ$.

Se l'angolo di incidenza è uguale a 90° gradi l'onda rifratta, secondo la teoria di Huygen, si propaga lungo il contorno dello strato e funge da fonte per un nuovo fronte d'onda secondario e per nuovi raggi. I percorsi dei raggi sismici escono con un angolo pari all'angolo critico. E' possibile determinare l'angolo critico calcolando l'inverso del seno del valore della velocità del primo strato/velocità del secondo strato.

Se l'angolo di incidenza è maggiore dell'angolo limite, il fenomeno della rifrazione scompare e si ha riflessione totale senza propagazione dell'onda nel secondo strato.

APPLICAZIONI

Le indagini di sismica a rifrazione vengono normalmente impiegate per le seguenti problematiche: Mappatura delle zone formate da materiale disgregato Ricerca della profondità della falda freatica Determinazione della resistenza allo scavo Mappatura della permeabilità di strati ghiaiosi Mappatura degli strati composti da materiale sciolto Localizzazione delle zone di frattura Mappatura del substrato roccioso

PROBLEMI E LIMITAZIONI DELLA SISMICA A RIFRAZIONE

- Le velocità sismiche dei terreni interessati dall'indagine devono crescere con la profondità
- Gli strati debbono possedere uno spessore sufficiente per essere rilevati
- Rilievi eseguiti su terreni di riporto o in aree adibite a discariche e in presenza di forte rumore antropico conducono spesso a risultati non affidabili
- Fratture singole e strette spesso non possono essere identificate.

INTERPRETAZIONE DEI RISULTATI

Gli strumenti capaci di registrare movimenti nel terreno sono detti sismometri o geofoni. Essi saranno necessariamente posti sulla superficie del terreno. Solitamente, si hanno sismogrammi di diversi geofoni, posti a diversa distanza dalla sorgente: questi possono essere stampati in funzione del tempo e della distanza, in quelle che vengono definite "registrazioni di scoppio" (shot records). La variazione Tempo/Distanza è detta "scostamento" (moveout). Arrivi con ampio scostamento sono fortemente inclinati nella registrazione di scoppio e viceversa; dalle registrazioni di scoppio è quindi possibile distinguere l'arrivo delle diverse onde sismiche (dirette, riflesse, rifratte). A piccole distanze (offset) il primo arrivo è delle onde dirette: questo arrivo ha grande ampiezza e lo scostamento è costante a tutte le distanze. A maggiori distanze il primo arrivo comincia ad essere quello dell'onda rifratta. Questo arrivo è caratterizzato da piccola ampiezza d'onda e da scostamento costante ma minore di quello dell'onda diretta. L'ultimo arrivo ad ogni geofono è quello dell'onda riflessa: il suo scostamento tende ad aumentare con la distanza secondo una funzione iperbolica. Il diagramma che rappresenta i tempi di propagazione delle onde sismiche in funzione della distanza del punto di emissione si definisce "curva di propagazione" o "dromocrona" ("travel time curve"). Definirne l'andamento è compito primario nell'interpretazione di sismica a rifrazione. Ciò che essenzialmente conta, per il metodo a rifrazione, è identificare il tempo di arrivo della prima onda in ogni geofono ("first break picking"). Questa distinzione non è sempre agevole. I due segmenti relativi all'arrivo delle onde dirette, prima, e delle rifratte frontali poi, non sono sempre facilmente distinguibili. Il punto di ginocchio, il punto cioè a partire dal quale si verifica la variazione di inclinazione, è detto distanza critica ("cross-over distance"). E' quindi importante osservare che la scelta dei primi arrivi deve essere considerata già come parte

dell'interpretazione dei dati più che della raccolta; l'operatore dovrà perciò aver cura di verificare direttamente sul sito che il rapporto segnale/rumore sia accettabile, ed eventualmente ripetere l'acquisizione.

METODI DI INTERPRETAZIONE

I metodi di interpretazione per la sismica a rifrazione possono essere raggruppati in tre classi principali: (1) Metodi dei Tempi di intercetta (ITM - Intercept-Time Methods) (2) Metodi dei Tempi di ritardo o Reciproci (DTM - Delay Time Method) (3) Metodi di Ray tracing. Il livello di calcoli richiesto è progressivamente maggiore da metodo a metodo. I metodi ITM richiedono essenzialmente una calcolatrice. I metodi DTM variano dalla versione più semplice a quella generalizzata, e richiedono l'uso di un personal computer. I metodi basati sul Ray Tracing richiedono risorse di calcolo decisamente più elevate e non saranno presi in esame in questo contesto. I metodi ITM - Time-Intercept Methods. La dromocrona, o curva distanza-tempo, nel caso di un rilevamento sismico per rifrazione è espressa su un grafico dall'equazione di una retta. In presenza di stratificazioni piane ed orizzontali l'inclinazione delle rette dei primi arrivi è uguale al reciproco della velocità di propagazione nel mezzo 1 (V_1) o nella discontinuità o secondo mezzo (V_2). Dai diagrammi di queste rette possiamo determinare lo spessore dello strato superiore. In base alla potenza dello strato superiore, infatti, si avrà una retta con uguale inclinazione (essendo questa legata solo alle velocità) ma con un punto di ginocchio diversamente posizionato: più è potente lo strato superiore, maggiore sarà il tempo impiegato dall'onda frontale rifratta per generarsi e tornare in superficie, dunque varierà la distanza di ricezione delle onde dirette e delle rifratte frontali. Lo spessore può essere calcolato considerando l'ascissa del punto di ginocchio (X_c) oppure considerando il tempo di intercetta t_0 cioè il valore del tempo di arrivo dell'onda rifratta a distanza 0, ottenuto proiettando sull'asse dei tempi la retta relativa alla velocità di propagazione nel secondo mezzo.

$$h = \frac{x_c}{2} \sqrt{\frac{V_2 - V_1}{V_2 + V_1}}$$

$$h = \frac{t_0}{2} \frac{V_2 V_1}{\sqrt{V_2^2 - V_1^2}}$$

Caso di un singolo strato non orizzontale. Prendendo in considerazione la pendenza dello strato i calcoli si complicano:

- le velocità osservate per il secondo strato risultano essere velocità apparenti, che variano significativamente con la pendenza (maggiore alla velocità reale in direzione up-dip e minore in direzione down-dip);
- le profondità determinate mediante i tempi di intercetta sono le profondità inclinate e non le profondità reali sotto il punto di scoppio;
- sono richiesti stendimenti coniugati, in quanto i sismogrammi ottenuti in un'unica direzione forniscono unicamente una velocità apparente per il secondo strato.

Le equazioni per il calcolo delle profondità inclinate sono le seguenti:

$$\text{Profondità}_{(\text{down-dip})} = \frac{V_1 \cdot t_i(\text{down-dip})}{2 \cos \alpha}$$

$$\text{Profondità}_{(\text{up-dip})} = \frac{V_1 \cdot t_i(\text{up-dip})}{2 \cos \alpha}$$

Dove: Profondità (down-dip) = il rifrattore immerge dal punto di sparo verso i geofoni Profondità (up-dip) = il rifrattore risale verso il punto di sparo V_1 = velocità del terreno T_i (up-dip) = tempo di intercetta up-dip T_i (down-dip) = tempo di intercetta down-dip

$$\cos \alpha = \frac{\sqrt{(V_2^2 - V_1^2)}}{V_2}$$

Un'approssimazione utile per V_2 (che non può essere misurato direttamente dalla curva dei tempi di percorso) è data dalla seguente equazione:

$$V_2 = \frac{2 \cdot V_{2(\text{up-dip})} \cdot V_{2(\text{down-dip})}}{V_{2(\text{up-dip})} + V_{2(\text{down-dip})}} \cos \delta$$

Dove: V_2 = velocità approssimata dello strato sottostante $V_2(\text{up-dip})$ = velocità apparente dello strato sottostante misurata up-dip $V_2(\text{down-dip})$ = velocità apparente dello strato sottostante misurata down-dip δ = valore stimato della pendenza Il valore dell'angolo δ è calcolabile utilizzando la seguente formula:

$$\delta = \frac{\sin^{-1}\left(\frac{V_1}{V_{2(\text{down-dip})}}\right) - \sin^{-1}\left(\frac{V_1}{V_{2(\text{up-dip})}}\right)}{2}$$

Poiché il coseno dell'angolo δ è approssimativamente 1.0, è necessario che le pendenze siano basse. E' necessario sottolineare che il presupposto primario nell'uso dei metodi ITM è che la geometria della superficie di contatto sia piana. Questo presupposto permette di usare le informazioni derivate dalle osservazioni (arrivi) oltre la distanza del punto di ginocchio per derivare una profondità che è determinata nell'intorno del punto di energizzazione. Tuttavia, questi metodi sono utili per una valutazione di massima delle profondità e per eseguire un semplice controllo dei risultati ottenuti con tecniche di interpretazione più sofisticate.

Caso di terreno multistrato

Il caso di terreni multistrato non comporta particolari variazioni. I principi di calcolo rimangono gli stessi, con la sovrapposizione (arrivi da entrambe le direzioni) per tutti gli strati necessari. Per gli strati orizzontali possono essere utilizzate le seguenti equazioni:

$$h_2 = \frac{t_{i2} V_2 V_3}{2\sqrt{V_3^2 - V_2^2}} - h_1 \left(\frac{V_2}{V_1}\right) \sqrt{\frac{V_3^2 - V_1^2}{V_3^2 - V_2^2}}$$

Lo spessore h_1 del primo strato è determinata usando il caso di un terreno con due strati ed il tempo di intercetta t_{i2} del secondo segmento di linea o la distanza critica X_{c2} determinata dai primi due segmenti di linea. Questo spessore è usato nel calcolo dello spessore dello strato seguente h_2 .

In termini di distanza critica l'equazione può essere così riscritta:

$$h_2 = \frac{X_{c2}}{2} \sqrt{\frac{V_3 - V_2}{V_3 + V_2}} + \frac{h_1}{V_1} \left(\frac{V_3 \sqrt{V_2^2 - V_1^2} - V_2 \sqrt{V_3^2 - V_1^2}}{\sqrt{V_3^2 - V_2^2}} \right)$$

Il calcolo può essere esteso agli strati più profondi usando estensioni di queste equazioni generali.

Poiché le equazioni in questa forma contengono gli spessori degli strati meno profondi, il calcolo comincia con il primo strato e progredisce verso il basso. Si noti che queste equazioni non comprendono la pendenza.

Le equazioni per gli strati piani inclinati sono utilizzate nel metodo GRM (Palmer - 1980).

Metodi del Reciproco (Reciprocal methods)

I metodi reciproci includono più di 20 metodi di interpretazione, compresi i metodi basati sui tempi di ritardo, i quali possono o non possono richiedere la misura di un tempo reciproco. Il tempo reciproco è il tempo di corsa lungo il rifratore da una sorgente di energizzazione ad un'altra. Esistono diverse versioni di questi metodi che si differenziano per alcuni fattori di correzione. In generale si ipotizza una superficie di contatto non eccessivamente inclinata ed una velocità del rifratore costante.

Conoscendo il tempo di percorso dalla sorgente di energizzazione S ad un certo geofono G ed il tempo di percorso coniugato dalla sorgente S' al medesimo geofono G ed il tempo di percorso dalla sorgente di energizzazione S ad un certo geofono G1 (possibilmente distante dal primo) ed il tempo di percorso coniugato dalla sorgente S' al medesimo geofono G1 è possibile calcolare la velocità V2 del rifratore utilizzando la seguente formulazione:

$$V_2 = \frac{2|\Delta x|}{|\Delta t| + |\Delta t'|}$$

Dove: Δx = distanza in superficie compresa tra il geofono g ed il geofono g1 Δt = differenza dei tempi di percorso diretti $\Delta t'$ = differenza dei tempi di percorso coniugato Il tempo t di percorso diretto per il geofono G può essere espresso dalla seguente formulazione:

$$t = \frac{h_g + h_s}{V_1} \cos i_c + \frac{x_g}{V_2}$$

Dove: h_g = minima profondità in corrispondenza del geofono h_s = minima profondità in corrispondenza della sorgente x_g = distanza fra il geofono e lo sparo Analogamente potrà essere scritta una equazione equivalente per il tempo impiegato dall'onda sismica a raggiungere il geofono G partendo dalla sorgente coniugata. I tempi calcolati saranno ovviamente differenti; ciò che invece deve essere uguale è il tempo del percorso totale, fra le sorgenti dirette e coniugate. Questo tempo è chiamato tempo di estremità:

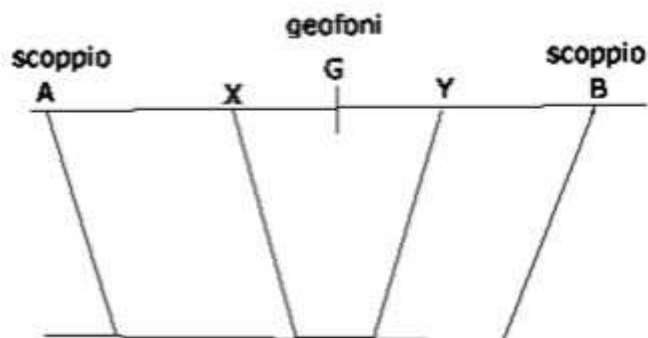
$$t = \frac{h_s + h_s'}{V_1} \cos i_0 + \frac{x_0}{V_2}$$

dove x_0 è uguale alla somma della distanza del geofono dal punto di sparo del percorso diretto e della distanza del geofono dal punto di sparo nel percorso coniugato. Sottraendo al tempo di estremità la somma dei tempi precedentemente calcolati, è possibile risolvere l'equazione rispetto ad h ed ottenere la profondità minima. Tale procedimento dovrà essere eseguito per ogni geofono.

La profondità h rappresenta il raggio di un arco di circonferenza con centro nella posizione del relativo geofono: il contorno del rifrattore toccherà almeno in un punto ciascuno di questi archi e quindi potrà essere determinato graficamente come involuppo degli archi. Metodo del Reciproco Generalizzato (Generalized Reciprocal Method - GRM) Il metodo reciproco generalizzato è stato sviluppato per sormontare alcune imperfezioni dei metodi più semplici, i quali sono messi in difficoltà dalla presenza di superfici, topografiche o del sottosuolo, particolarmente accidentate. Il metodo di Palmer utilizza due funzioni: la funzione di analisi-velocità e la funzione tempoprofondità.

La funzione Analisi Velocità

La particolarità del metodo è l'uso degli arrivi diretti ed inversi a due geofoni, posti ad una distanza XY . Se la posizione di XY è scelta in modo che il punto di emersione dal rifrattore sia comune, il tempo di percorso, e quindi il calcolo della velocità, dipenderà soltanto dalle caratteristiche del materiale.



La funzione analisi-velocità, riferendosi alla figura sottostante, è definita dall'equazione:

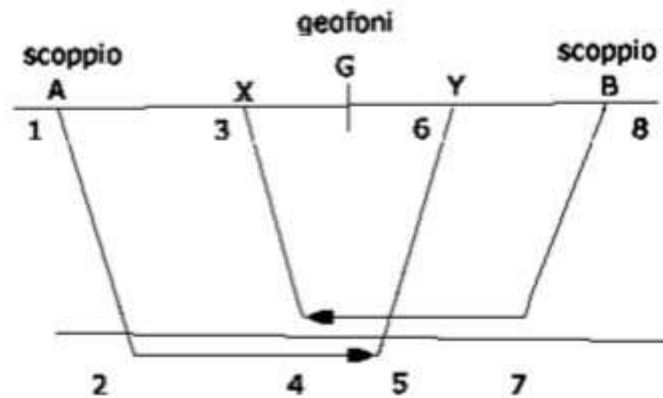
$$t = \frac{t_{AY} - t_{BX} + t_{AB}}{2}$$

$$t_{AY} = (12) + (34) + (45) + (56)$$

$$t_{BX} = (78) + (57) + (45) + (34)$$

$$t_{AB} = (12) + (24) + (45) + (57) + (78)$$

$$t = \frac{2(12) + 2(24) + (45)}{2}$$



Il valore di questa funzione è riferito al punto mediano G fra X ed Y. Producendo i grafici dei tempi di percorso in relazione alla posizione dei geofoni è possibile derivare la velocità V_2 del rifrattore, indipendentemente dall'inclinazione e dalla topografia. Ciò che influenza il calcolo è dunque la scelta dei geofoni XY. Se la posizione di XY è scelta in modo che il punto d'uscita sul rifrattore sia comune, il tempo di percorso, e quindi il calcolo della velocità, dipenderà soltanto dalle caratteristiche del materiale.

La funzione Tempo-Profondità

Il metodo GRM prevede ora la creazione di funzioni tempo-profondità per ciascun geofono. Facendo riferimento alla figura precedente la funzione generalizzata tempo-profondità è definita dall'equazione:

$$t = \frac{t_{AY} + t_{BX} - (t_{AB} + XY/V_2)}{2}$$

Calcolo del valore di XY ottimale

La valutazione della distanza XY ottimale può essere ottenuta utilizzando le velocità e gli spessori di strato precedentemente determinati: se sono noti gli spessori e le velocità di ciascuno strato, il valore XY per ogni strato può essere calcolato direttamente, quindi

applicando un procedimento iterativo è possibile determinare tali valori automaticamente e con notevole precisione.

Metodo del Ray Tracing

I programmi basati su questa metodologia partono solitamente da una prima interpretazione effettuata con uno dei metodi precedentemente descritti, quindi viene calcolato il tempo di arrivo previsto ad un geofono in base ad un modello iniziale. La complessità del calcolo aumenta in funzione del modello utilizzato. Il calcolo è eseguito in forma iterativa fino a convergenza, che nei modelli più complessi deve a volte essere forzata. Dopo aver determinato i tempi di arrivo ai geofoni occorre correggere il modello così da far coincidere, per quanto possibile, i tempi calcolati ed i tempi osservati, quindi si procede nuovamente con il calcolo dei tempi di percorso basati sul modello corretto.

Relazione di calcolo

Definizione

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

Introduzione all'analisi di stabilità

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

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

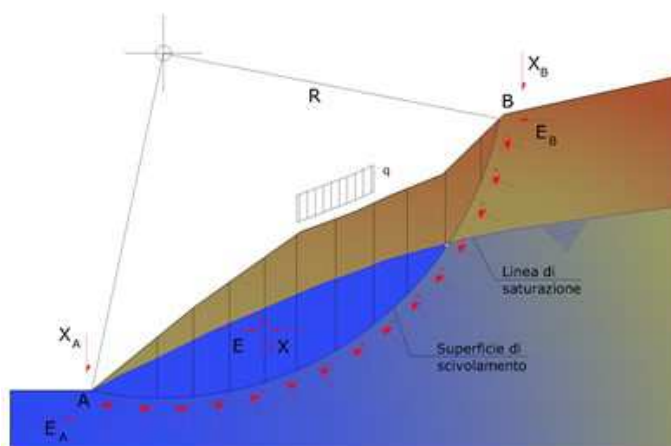
1. Si usano leggi costitutive semplificate: modello rigido perfettamente plastico. Si assume che la resistenza del materiale sia espressa unicamente dai parametri coesione (c) e angolo di resistenza al taglio (ϕ), costanti per il terreno e caratteristici dello stato plastico; quindi si suppone valido il criterio di rottura di Mohr-Coulomb.
2. In alcuni casi vengono soddisfatte solo in parte le equazioni di equilibrio.

Metodo equilibrio limite (LEM)

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

$$F = \tau_f / \tau$$

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



Metodo dei conci

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

- n valori delle forze normali N_i agenti sulla base di ciascun concio;
- n valori delle forze di taglio alla base del concio T_i ;
- $(n-1)$ forze normali E_i agenti sull'interfaccia dei conci;
- $(n-1)$ forze tangenziali X_i agenti sull'interfaccia dei conci;
- n valori della coordinata a che individua il punto di applicazione delle E_i ;
- $(n-1)$ valori della coordinata che individua il punto di applicazione delle X_i ;
- una incognita costituita dal fattore di sicurezza F .

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

Mentre le equazioni a disposizione sono:

- equazioni di equilibrio dei momenti n ;
- equazioni di equilibrio alla traslazione verticale n ;
- equazioni di equilibrio alla traslazione orizzontale n ;
- equazioni relative al criterio di rottura n .

Totale numero di equazioni $4n$.

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

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

Il grado di indeterminazione si riduce ulteriormente a $(n-2)$ in quanto 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.

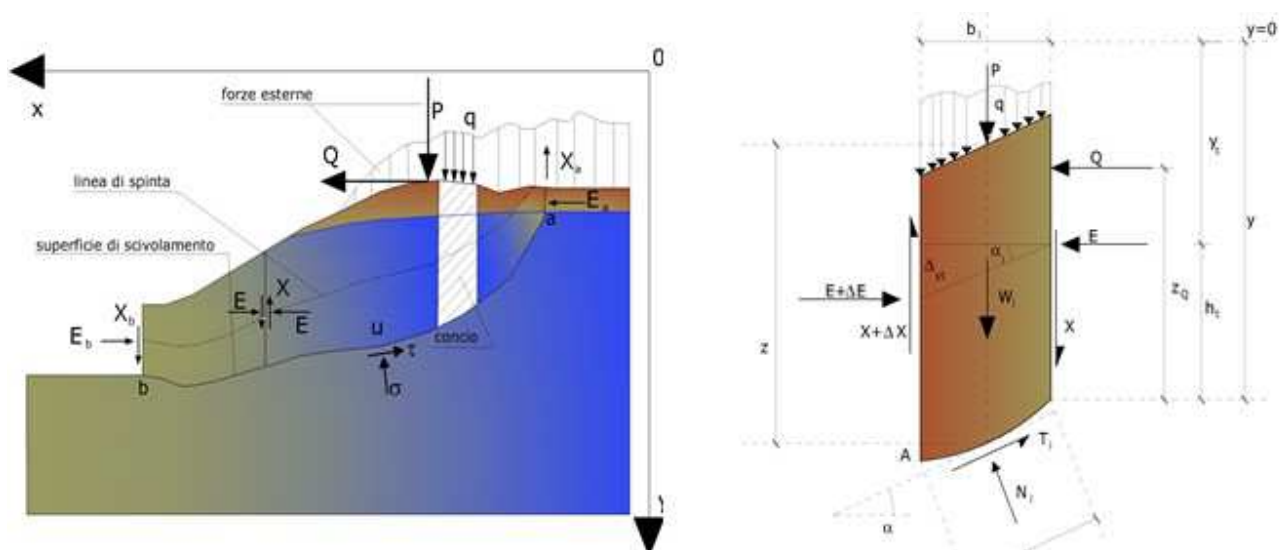
I diversi metodi che si basano sulla teoria dell'equilibrio limite si differenziano per il modo in cui vengono eliminate le $(n-2)$ indeterminazioni.

Metodo di 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.

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

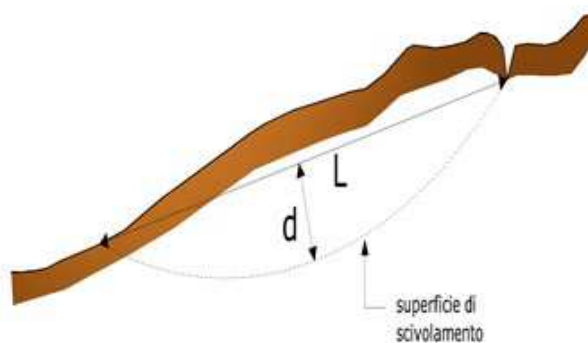
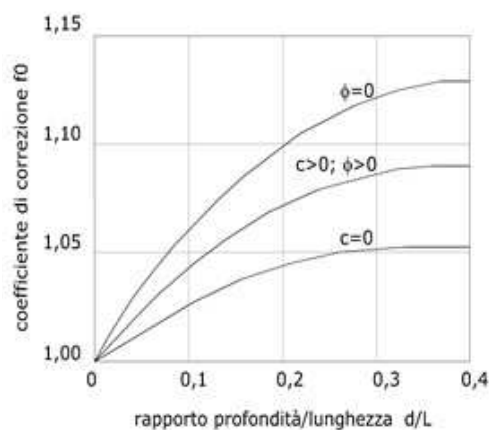


Azioni sul concio i -esimo secondo le ipotesi di Janbu e rappresentazione d'insieme dell'ammasso

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:

$$F_{\text{corretto}} = f_0 \cdot F$$

dove f_0 è riportato in grafici funzione di geometria e parametri geotecnici. Tale correzione è molto attendibile per pendii poco inclinati.



Stabilizzazione di pendii con l'utilizzo di pali

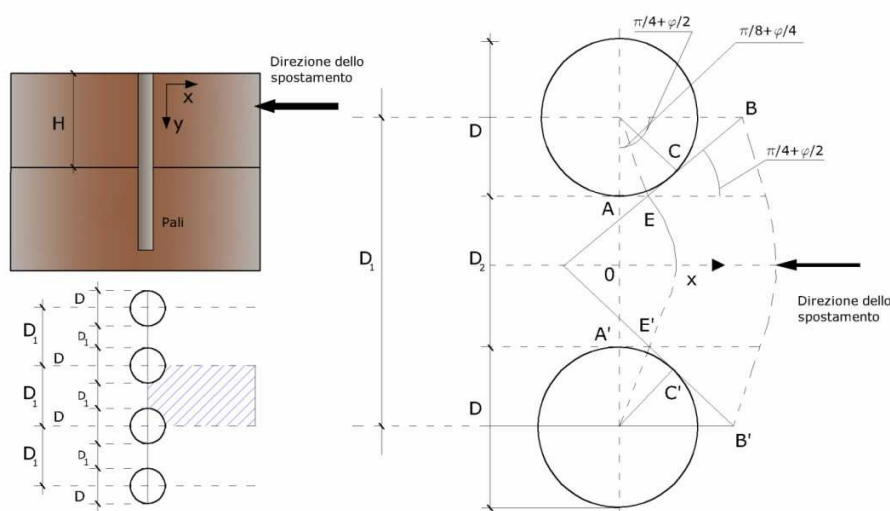
La realizzazione di una cortina di pali, su pendio, serve a fare aumentare la resistenza al taglio su determinate superfici di scorrimento. L'intervento può essere conseguente ad una stabilità già accertata, per la quale si conosce la superficie di scorrimento oppure, agendo preventivamente, viene progettato in relazione alle ipotetiche superfici di rottura che responsabilmente possono essere assunte come quelle più probabili. In ogni caso si opera considerando una massa di terreno in movimento su un ammasso stabile sul quale attestare, per una certa lunghezza, l'allineamento di pali.

Il terreno, nelle due zone, ha una influenza diversa sull'elemento monoassiale (palo): di tipo sollecitativo nella parte superiore (palo passivo - terreno attivo) e di tipo resistivo nella zona sottostante (palo attivo - terreno passivo). Da questa interferenza, fra "sbarramento" e massa in movimento, scaturiscono le azioni stabilizzanti che devono perseguire le seguenti finalità:

1. conferire al pendio un coefficiente di sicurezza maggiore di quello posseduto;
2. essere assorbite dal manufatto garantendone l'integrità (le tensioni interne, derivanti dalle sollecitazioni massime trasmesse sulle varie sezioni del singolo palo, devono risultare inferiori a quelle ammissibili del materiale) e risultare inferiori al carico limite sopportabile dal terreno, calcolato, lateralmente considerando l'interazione (palo-terreno).

Carico limite relativo all'interazione fra i pali ed il terreno laterale

Nei vari tipi di terreno che non hanno un comportamento omogeneo, le deformazioni in corrispondenza della zona di contatto non sono legate fra di loro. Quindi, non potendo associare al materiale un modello di comportamento perfettamente elastico (ipotesi che potrebbe essere assunta per i materiali lapidei poco fratturati), generalmente si procede imponendo che il movimento di massa sia nello stato iniziale e che il terreno in adiacenza ai pali sia nella fase massima consentita di plasticizzazione, oltre la quale si potrebbe verificare l'effetto indesiderato che il materiale possa defluire, attraverso la cortina di pali, nello spazio intercorrente fra un elemento e l'altro.



Imponendo inoltre che il carico assorbito dal terreno sia uguale a quello associato alla condizione limite ipotizzata e che fra due pali consecutivi, a seguito della spinta attiva, si instauri una sorta di effetto arco, gli autori T. Ito e T. Matsui (1975) hanno ricavato la relazione che permette di determinare il carico limite. A questa si è pervenuto facendo riferimento allo schema statico, disegnato nella figura precedente e alle ipotesi anzidette, che schematicamente si ribadiscono.

- Sotto l'azione della spinte attiva del terreno si formano due superfici di scorrimento localizzate in corrispondenza delle linee AEB ed A'E'B';
- Le direzioni EB ed E'B' formano con l'asse x rispettivamente angoli $+(45 + \varphi/2)$ e $-(45 + \varphi/2)$;
- Il volume di terreno, compreso nella zona delimitata dai vertici AEBB'E'A' ha un comportamento plastico, e quindi è consentita l'applicazione del criterio di rottura di Mohr-coulomb;
- La pressione attiva del terreno agisce sul piano A-A';
- I pali sono dotati di elevata rigidità a flessione e taglio.

Detta espressione, riferita alla generica profondità Z, relativamente ad un spessore di terreno unitario, è la seguente:

$$P(Z) = C \cdot D_1 (D_1/D_2)^{k_1} \left[1 / \left(N_\varphi \tan \varphi \left(e^{k_2} - 2(N_\varphi)^{1/2} \tan \varphi - 1 \right) + K_3 \right) \right] - C \left[D_1 \cdot K_3 - D_2 / (N_\varphi)^{1/2} \right] + \gamma Z / N_\varphi \left[D_1 (D_1/D_2)^{k_1} \cdot e^{k_2} - D_2 \right]$$

dove i simboli utilizzati assumono il significato che segue:

C = coesione terreno;

φ = angolo di attrito terreno;

γ = peso specifico terreno;

D_1 = interasse tra i pali;

D_2 = spazio libero fra due pali consecutivi;

$$N_\varphi = \tan^2(\pi/4 + \varphi/2)$$

$$K_1 = (N_\varphi)^{1/2} \tan \varphi + N_\varphi - 1$$

$$K_2 = (D_1 - D_2)/D_2 \cdot N_\varphi \tan(\pi/8 + \varphi/4)$$

$$K_3 = \left[2 \tan \varphi + 2(N_\varphi)^{1/2} + 1/(N_\varphi)^{1/2} \right] / \left[(N_\varphi)^{1/2} \tan \varphi + N_\varphi - 1 \right]$$

La forza totale, relativamente ad uno strato di terreno in movimento di spessore H, è stata ottenuta integrando l'espressione precedente.

In presenza di terreni granulari (condizione drenata), nei quali si può assumere $c = 0$, l'espressione diventa:

$$P = 1/2 \gamma \cdot H^2 / N_\varphi \left[D_1 (D_1/D_2)^{K_1} \cdot e^{K_2} - D_2 \right]$$

Per terreni coesivi (condizioni non drenate), con $\varphi = 0$ e $C \neq 0$, si ha:

$$P(z) = C \left[D_1 (3 \ln(D_1/D_2) + (D_1 - D_2)/D_2 \tan \pi/8) - 2(D_1 - D_2) \right] + \gamma \cdot Z(D_1 - D_2)$$

$$P = \int_0^H P(Z) dZ$$

$$P = C \cdot H \left[D_1 (3 \ln(D_1/D_2) + (D_1 - D_2)/D_2 \tan \pi/8) - 2(D_1 - D_2) \right] + 1/2 \gamma H^2 (D_1 - D_2)$$

Il dimensionamento della cortina di pali, che come già detto deve conferire al pendio un incremento del coefficiente di sicurezza e garantire l'integrità del meccanismo palo-terreno, è abbastanza problematica. Infatti tenuto conto della complessità dell'espressione del carico P, influenzata da diversi fattori legati sia alle caratteristiche meccaniche del terreno sia alla geometria del manufatto, non è facile con una sola elaborazione pervenire alla soluzione ottimale. Per raggiungere lo scopo è necessario pertanto eseguire diversi tentativi finalizzati:

- A trovare, sul profilo topografico del pendio, la posizione che garantisca, a parità di altre condizioni, una distribuzione dei coefficienti di sicurezza più confortante;
- A determinare la disposizione planimetrica dei pali, caratterizzata dal rapporto fra interasse e distanza fra i pali (D_2/D_1), che consenta di sfruttare al meglio la resistenza del complesso palo-terreno; sperimentalmente è stato riscontrato che, escludendo i casi limiti ($D_2 = 0 \rightarrow P \rightarrow \infty$ e $D_2 = D_1 \rightarrow P \rightarrow$ valore minimo), i valori più idonei allo scopo sono quelli per i quali tale rapporto risulta compreso fra 0,60 e 0,80;
- A valutare la possibilità di inserire più file di pali ed eventualmente, in caso affermativo, valutare, per le file successive, la posizione che dia più garanzie in termini di sicurezza e di spreco di materiali;
- Ad adottare il tipo di vincolo più idoneo che consente di ottenere una distribuzione più regolare delle sollecitazioni; sperimentalmente è stato constatato che quello che assolve, in maniera più soddisfacente, allo scopo è il vincolo che impedisce le rotazioni alla testa del palo.

Metodo del carico limite di Broms

Nel caso in cui il palo sia caricato ortogonalmente all'asse, configurazione di carico presente se un palo inibisce il movimento di una massa in frana, la resistenza può essere affidata al suo carico limite orizzontale.

Il problema di calcolo del carico limite orizzontale è stato affrontato da Broms sia per il mezzo puramente coesivo che per il mezzo incoerente, il metodo di calcolo seguito è basato su alcune ipotesi semplificative per quanto attiene alla reazione esercitata dal terreno per unità di lunghezza di palo in condizioni limite e porta in conto anche la resistenza a rottura del palo (*Momento di plasticizzazione*).

Analisi di stabilità dei pendii con: JANBU (1967)

Calcolo eseguito secondo	NTC 2018 & Circ.
Numero di strati	3,0
Numero dei conci	10,0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1,3
Coefficiente parziale resistenza	1,0
Parametri geotecnici da usare. Angolo di attrito:	Picco
Analisi	Condizione drenata
Superficie di forma circolare	

Maglia dei Centri

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	450,0 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	250,0 m
Ascissa vertice destro superiore xs	650,0 m
Ordinata vertice destro superiore ys	420,0 m
Passo di ricerca	10,0
Numero di celle lungo x	10,0
Numero di celle lungo y	10,0

Vertici profilo

Nr	X (m)	y (m)
1	0,0	116,79
2	10,0	116,78
3	20,0	116,78
4	30,0	116,82
5	40,0	116,88
6	50,0	116,95
7	60,0	117,04
8	70,0	117,15
9	80,0	117,26
10	90,0	117,35
11	100,0	117,42
12	110,0	117,48
13	120,0	117,54
14	130,0	117,58
15	140,0	117,6
16	150,0	117,62
17	160,0	117,62
18	170,0	117,61
19	180,0	117,57
20	190,0	117,51
21	200,0	117,43
22	210,0	117,34
23	220,0	117,23
24	230,0	117,11
25	240,0	116,98
26	250,0	116,84
27	260,0	116,68
28	270,0	116,52
29	280,0	116,34
30	290,0	116,16
31	300,0	115,96

32	310,0	115,75
33	320,0	115,54
34	330,0	115,31
35	340,0	115,07
36	350,0	114,82
37	360,0	114,56
38	370,0	114,29
39	380,0	114,01
40	390,0	113,7
41	400,0	113,38
42	410,0	113,04
43	420,0	112,7
44	430,0	112,32
45	440,0	111,66
46	450,0	111,08
47	460,0	110,75
48	470,0	110,46
49	480,0	110,1
50	490,0	109,78
51	500,0	109,47
52	510,0	109,21
53	520,0	108,99
54	530,0	108,9
55	540,0	108,91
56	550,0	109,06
57	560,0	109,32
58	570,0	109,87
59	580,0	110,63
60	590,0	111,32
61	600,0	111,85
62	610,0	112,26
63	620,0	112,6
64	630,0	112,89
65	640,0	113,11
66	650,0	113,3
67	660,0	113,44
68	670,0	113,54
69	680,0	113,62
70	690,0	113,68
71	700,0	113,74
72	710,0	113,77
73	720,0	113,78
74	730,0	113,79
75	740,0	113,81
76	750,0	113,85
77	760,0	113,9
78	770,0	113,96
79	780,0	114,04
80	790,0	114,16
81	800,0	114,3
82	810,0	114,45
83	820,0	114,6
84	830,0	114,74
85	840,0	114,88
86	850,0	115,0
87	860,0	115,1

88	870,0	115,17
89	880,0	115,22
90	890,0	115,25
91	900,0	115,27
92	910,0	115,28
93	920,0	115,24
94	930,0	115,17
95	940,0	115,06
96	950,0	114,93
97	960,0	114,79
98	970,0	114,65
99	980,0	114,48
100	990,0	114,3
101	1000,0	114,08
102	1010,0	113,84
103	1020,0	113,57
104	1030,0	113,23
105	1040,0	112,74
106	1050,0	112,14
107	1060,0	112,14
108	1070,0	110,61
109	1080,0	109,65
110	1090,0	108,58
111	1100,0	107,45
112	1110,0	106,3
113	1120,0	105,14
114	1130,0	104,0
115	1140,0	102,92
116	1150,0	101,91
117	1160,0	101,01
118	1170,0	100,23
119	1180,0	99,57
120	1190,0	98,99
121	1191,47	98,91

Coefficienti parziali azioni

Sfavorevoli: Permanenti, variabili	1,0	1,0
Favorevoli: Permanenti, variabili	1,0	1,0

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Tangente angolo di resistenza al taglio	1,25
Coesione efficace	1,25
Coesione non drenata	1,4
Riduzione parametri geotecnici terreno	No

Stratigrafia

Strato	Coesione (kg/cm ²)	Coesione non drenata (kg/cm ²)	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (Kg/m ³)	Peso saturo (Kg/m ³)	Litologia	
1	0,5	0,5	28	1800	2000	limo argilloso	

Risultati analisi pendio

Fs minimo individuato	4,94
Ascissa centro superficie	650,0 m
Ordinata centro superficie	250,0 m
Raggio superficie	300,31 m

Numero di superfici esaminate....(221)

N°	Xo	Yo	Ro	Fs
1	450,0	250,0	410,3	5,11
2	460,0	258,5	419,0	5,28
3	470,0	250,0	329,8	5,41
4	480,0	258,5	338,7	5,40
5	490,0	250,0	330,7	5,37
6	500,0	258,5	339,7	5,35
7	510,0	250,0	371,4	5,17
8	520,0	258,5	340,6	5,29
9	530,0	250,0	372,0	5,13
10	540,0	258,5	380,8	5,29
11	550,0	250,0	372,6	5,08
12	560,0	258,5	420,5	5,23
13	570,0	250,0	373,2	5,05
14	580,0	258,5	382,0	5,22
15	590,0	250,0	373,8	5,03
16	600,0	258,5	382,6	5,20
17	610,0	250,0	374,5	5,01
18	620,0	258,5	345,1	5,18
19	630,0	250,0	337,1	4,98
20	640,0	258,5	270,3	5,12
21	650,0	250,0	300,3	4,94
22	450,0	267,0	305,1	5,79
23	460,0	275,5	435,9	5,42
24	470,0	267,0	346,8	5,43
25	480,0	275,5	355,7	5,59
26	490,0	267,0	347,7	5,57
27	500,0	275,5	356,6	5,54
28	510,0	267,0	388,4	5,17
29	520,0	275,5	397,2	5,30
30	530,0	267,0	389,0	5,29
31	540,0	275,5	397,8	5,46
32	550,0	267,0	389,6	5,25
33	560,0	275,5	437,4	5,20
34	570,0	267,0	351,3	5,30
35	580,0	275,5	437,7	5,38
36	590,0	267,0	352,2	5,24
37	600,0	275,5	399,6	5,38
38	610,0	267,0	353,1	5,20
39	620,0	275,5	400,2	5,37
40	630,0	267,0	316,0	5,23
41	640,0	275,5	400,8	5,36
42	650,0	267,0	317,2	5,16
43	450,0	284,0	319,1	6,14

44	460,0	292,5	330,5	6,29
45	470,0	284,0	323,3	5,99
46	480,0	292,5	453,2	5,58
47	490,0	284,0	364,6	5,77
48	500,0	292,5	373,5	5,99
49	510,0	284,0	365,5	5,71
50	520,0	292,5	374,4	5,92
51	530,0	284,0	406,0	5,46
52	540,0	292,5	414,7	5,66
53	550,0	284,0	367,3	5,56
54	560,0	292,5	415,3	5,63
55	570,0	284,0	368,2	5,50
56	580,0	292,5	454,7	5,56
57	590,0	284,0	369,1	5,45
58	600,0	292,5	416,6	5,59
59	610,0	284,0	370,1	5,41
60	620,0	292,5	417,2	5,57
61	630,0	284,0	332,9	5,46
62	640,0	292,5	417,8	5,57
63	650,0	284,0	334,2	5,40
64	450,0	301,0	447,1	5,71
65	460,0	309,5	459,3	5,82
66	470,0	301,0	340,2	6,25
67	480,0	309,5	470,2	5,76
68	490,0	301,0	381,6	5,77
69	500,0	309,5	390,5	5,95
70	510,0	301,0	382,5	5,93
71	520,0	309,5	391,4	6,17
72	530,0	301,0	383,4	5,86
73	540,0	309,5	431,7	5,62
74	550,0	301,0	384,3	5,78
75	560,0	309,5	432,3	5,84
76	570,0	301,0	385,2	5,72
77	580,0	309,5	432,9	5,82
78	590,0	301,0	386,1	5,67
79	600,0	309,5	433,5	5,80
80	610,0	301,0	348,7	5,79
81	620,0	309,5	434,1	5,79
82	630,0	301,0	349,9	5,72
83	640,0	309,5	434,7	5,79
84	650,0	301,0	351,1	5,66
85	450,0	318,0	454,8	5,92
86	460,0	326,5	351,8	6,89
87	470,0	318,0	352,5	6,46
88	480,0	326,5	483,8	6,06
89	490,0	318,0	358,3	6,45
90	500,0	326,5	407,4	5,94
91	510,0	318,0	399,4	6,17
92	520,0	326,5	408,3	6,43
93	530,0	318,0	400,3	6,10
94	540,0	326,5	409,2	6,35
95	550,0	318,0	440,5	5,82
96	560,0	326,5	449,3	6,07
97	570,0	318,0	402,1	5,96
98	580,0	326,5	449,9	6,05
99	590,0	318,0	480,3	5,73
100	600,0	326,5	489,0	5,99

101	610,0	318,0	365,6	6,07
102	620,0	326,5	451,1	6,03
103	630,0	318,0	366,8	6,00
104	640,0	326,5	413,8	6,10
105	650,0	318,0	330,2	5,91
106	450,0	335,0	351,3	7,05
107	460,0	343,5	475,3	6,26
108	470,0	335,0	363,3	7,06
109	480,0	343,5	491,9	6,28
110	490,0	335,0	375,2	6,74
111	500,0	343,5	504,5	6,52
112	510,0	335,0	416,3	6,13
113	520,0	343,5	425,3	6,36
114	530,0	335,0	417,2	6,35
115	540,0	343,5	426,2	6,63
116	550,0	335,0	418,2	6,27
117	560,0	343,5	466,2	6,01
118	570,0	335,0	419,1	6,21
119	580,0	343,5	466,8	6,29
120	590,0	335,0	420,0	6,17
121	600,0	343,5	467,4	6,28
122	610,0	335,0	420,9	6,13
123	620,0	343,5	468,0	6,28
124	630,0	335,0	383,7	6,30
125	640,0	343,5	392,8	6,27
126	650,0	335,0	347,1	6,21
127	450,0	352,0	362,6	7,40
128	460,0	360,5	374,2	7,56
129	470,0	352,0	487,8	6,39
130	480,0	360,5	500,3	6,51
131	490,0	352,0	386,5	7,01
132	500,0	360,5	516,7	6,56
133	510,0	352,0	393,4	6,92
134	520,0	360,5	442,2	6,32
135	530,0	352,0	434,2	6,62
136	540,0	360,5	443,1	6,94
137	550,0	352,0	435,1	6,55
138	560,0	360,5	444,0	6,87
139	570,0	352,0	475,0	6,26
140	580,0	360,5	483,8	6,55
141	590,0	352,0	436,9	6,45
142	600,0	360,5	484,4	6,55
143	610,0	352,0	514,6	6,21
144	620,0	360,5	485,0	6,56
145	630,0	352,0	400,6	6,62
146	640,0	360,5	409,7	6,58
147	650,0	352,0	364,1	6,55
148	450,0	369,0	480,4	6,63
149	460,0	377,5	385,9	7,92
150	470,0	369,0	385,9	7,72
151	480,0	377,5	509,1	6,76
152	490,0	369,0	397,7	7,31
153	500,0	377,5	525,3	6,80
154	510,0	369,0	409,7	7,29
155	520,0	377,5	419,4	7,15
156	530,0	369,0	451,1	6,55
157	540,0	377,5	460,1	6,83

158	550,0	369,0	452,0	6,84
159	560,0	377,5	461,0	7,20
160	570,0	369,0	452,9	6,79
161	580,0	377,5	500,8	6,47
162	590,0	369,0	453,9	6,74
163	600,0	377,5	501,4	6,84
164	610,0	369,0	454,8	6,70
165	620,0	377,5	502,0	6,87
166	630,0	369,0	455,7	6,67
167	640,0	377,5	426,6	6,92
168	650,0	369,0	418,8	6,91
169	450,0	386,0	489,8	6,88
170	460,0	394,5	502,4	7,00
171	470,0	386,0	505,6	6,87
172	480,0	394,5	518,2	7,01
173	490,0	386,0	521,6	6,90
174	500,0	394,5	420,9	7,75
175	510,0	386,0	537,8	6,96
176	520,0	394,5	432,7	7,74
177	530,0	386,0	428,4	7,46
178	540,0	394,5	477,0	6,77
179	550,0	386,0	469,0	7,16
180	560,0	394,5	477,9	7,08
181	570,0	386,0	469,9	7,11
182	580,0	394,5	401,0	7,49
183	590,0	386,0	509,5	6,78
184	600,0	394,5	518,3	7,15
185	610,0	386,0	433,3	7,00
186	620,0	394,5	518,9	7,17
187	630,0	386,0	548,9	6,92
188	640,0	394,5	443,5	7,28
189	650,0	386,0	473,5	6,99
190	450,0	403,0	398,1	8,56
191	460,0	411,5	512,2	7,27
192	470,0	403,0	515,1	7,13
193	480,0	411,5	421,2	8,64
194	490,0	403,0	421,0	7,95
195	500,0	411,5	543,5	7,31
196	510,0	403,0	546,8	7,21
197	520,0	411,5	444,3	8,04
198	530,0	403,0	562,8	7,29
199	540,0	411,5	573,0	7,64
200	550,0	403,0	485,9	7,06
201	560,0	411,5	494,8	7,41
202	570,0	403,0	486,8	7,45
203	580,0	411,5	495,8	7,36
204	590,0	403,0	487,7	7,40
205	600,0	411,5	535,3	7,04
206	610,0	403,0	488,6	7,37
207	620,0	411,5	535,9	7,53
208	630,0	403,0	451,4	7,29
209	640,0	411,5	460,5	7,69
210	650,0	403,0	452,6	7,23
211	450,0	420,0	509,6	7,42
212	470,0	420,0	524,9	7,39
213	490,0	420,0	433,0	8,30
214	510,0	420,0	556,1	7,47

215	530,0	420,0	456,0	8,22
216	550,0	420,0	581,6	7,55
217	570,0	420,0	503,8	7,82
218	590,0	420,0	504,7	7,77
219	610,0	420,0	544,1	7,41
220	630,0	420,0	468,3	7,68
221	650,0	420,0	469,5	7,62
