

Regione Puglia
Comune di Troia (FG)
Località San Giusta

IMPIANTO AGRIVOLTAICO DI TROIA

Progetto Definitivo

Progetto per la realizzazione di un impianto agrivoltaico per la produzione di energia elettrica da fonte solare fotovoltaica della potenza complessiva di 32,62 MW sito nel Comune di Troia (FG) in località "S.Giusta", delle opere connesse e delle infrastrutture indispensabili

COMMITTENTE

TOZZIgreen

TOZZI GREEN S.P.A.

Via Brigata Ebraica,50
48123 Mezzano (RA) Italia
tozzi.re@legalmail.it

PROGETTAZIONE

MAXIMA
INGEGNERIA
innovazione e sostenibilità

MAXIMA INGEGNERIA S.R.L.

Direttore tecnico: Ing. Massimo Magnotta
via Marco Partipilo n.48 - 70124 BARI
pec: gpsd@pec.it
P.IVA: 06948690729



CONSULENTI

Ing. Sabrina Scaramuzzi

Viale Luigi De Laurentis, 6 int.20, 70124 Bari (BA) Italia
Tel./fax. 080 2082652 - 328 5589821
e-mail: progettoacustica@gmail.com - sabrina.scaramuzzi@ingpec.eu

Dott. Antonio Mesisca

Via A. Moro, B/5, 82021 Apice (BN), Italia
Tel. 327 1616306
e-mail: mesisca.antonio@virgilio.it

Dott. Geol. Rocco Porsia

Via Tacito, 31, 75100 Matera (MT) Italia
Tel: +39 3477151670
e-mail: r.porsia@laboratorioterre.it

Dott. Enrico Palchetti

Piazzale delle Cascine, 18 - 50144 Firenze (FI)
Tel. 055 2755800
e-mail: enrico.palchetti@unifi.it



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
FIRENZE

DAGRI
DIPARTIMENTO DI SCIENZE
E TECNOLOGIE AGRARIE
ALIMENTARI, AMBIENTALI E FORESTALI

Revisione	Data	Descrizione	Preparato	Verificato	Approvato
0	31-03-2023	Emesso per Progettazione Definitiva	MAGNOTTA	GRASSO	MAGNOTTA
Progettista			Scala	COMMESSA	
			-	IT020BD038	
EMESSO PER	TITOLO	FILE	FOGLIO	DI	FORMATO
<input checked="" type="checkbox"/> APPROVAZIONE	Relazione geotecnica	4.2.3	-	-	-
<input type="checkbox"/> COSTRUZIONE		Documento No.			
<input type="checkbox"/> AS BUILT		IT020BD038-9S9002			
<input type="checkbox"/> INFORMAZIONE					

Progetto:
**PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO AGRIVOLTAICO PER LA PRODUZIONE DI ENERGIA
 ELETTRICA DA FONTE SOLARE FOTOVOLTAICA DELLA POTENZA COMPLESSIVA DI 32,62 MW SITO NEL
 COMUNE DI TROIA (FG) IN LOCALITA' "SAN GIUSTA", DELLE OPERE CONNESSE E DELLE
 INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI**
- Progetto definitivo -

Elaborato:
RELAZIONE GEOTECNICA

Rev:										Data:	Foglio
00										Marzo 2023	1 di 31

**RELAZIONE GEOTECNICA
 E STUDIO DI COMPATIBILITÀ GEOLOGICA E GEOTECNICA**

INDICE

1. INFORMAZIONI INTRODUTTIVE.....	2
2. RILIEVO DELLE CARATTERISTICHE GEOLOGICO-GEOTECNICHE.....	2
2.1. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E MORFOLOGICO	2
2.2. CAMPAGNA DI INDAGINE.....	4
2.3. STRATIGRAFIA E PARAMETRI GEOTECNICI	4
2.4. CATEGORIA DI SOTTOSUOLO E CONDIZIONI TOPOGRAFICHE.....	5
3. ANALISI DI STABILITÀ DEL PENDIO	6
3.1. MODELLAZIONE PLANO-ALTIMETRICA.....	6
3.2. CARATTERIZZAZIONE DELL'AZIONE SISMICA.....	8
3.3. ANALISI DEI CARICHI.....	10
3.4. CENNI DI TEORIA PER L'ANALISI DI STABILITÀ DEI PENDII	10
3.5. ANALISI DI STABILITÀ DEL PENDIO ANTE-OPERA	22
3.6. ANALISI DI STABILITÀ DEL PENDIO POST-OPERA.....	26
4. CONCLUSIONI.....	30

Progetto: PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO AGRIVOLTAICO PER LA PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA DA FONTE SOLARE FOTOVOLTAICA DELLA POTENZA COMPLESSIVA DI 32,62 MW SITO NEL COMUNE DI TROIA (FG) IN LOCALITA' "SAN GIUSTA", DELLE OPERE CONNESSE E DELLE INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI <i>- Progetto definitivo -</i>										
Elaborato: RELAZIONE GEOTECNICA										
Rev:								Data:		Foglio
00								Marzo 2023		2 di 31

1. INFORMAZIONI INTRODUTTIVE

Il progetto, di cui il presente elaborato ne costituisce parte integrante, prevede la realizzazione di un impianto agrivoltaico per la produzione di energia elettrica da fonte rinnovabile solare, della potenza complessiva di 32,62 MWp, in agro del Comune di Troia (FG), in località "San Giusta", con le relative opere di connessione nei Comuni di Troia (FG) e Lucera (FG).

L'impianto di cui trattasi si costituisce di impianto di produzione, cavidotto di vettoriamento e sottostazione elettrica di trasformazione 150/30 kV.

Quota parte del cavidotto e la sottostazione elettrica ricadono in area classificata a "pericolosità geomorfologica media e moderata (P.G.1)" ai sensi dell'art. 15 delle N.T.A. del P.A.I.

In tale area, la realizzazione dell'intervento previsto in progetto è subordinata ad uno studio di compatibilità geologica e geotecnica che dimostri la compatibilità dello stesso con le condizioni di pericolosità geomorfologica dell'area.

Il presente studio di compatibilità geologica e geotecnica è redatto ai sensi dell'art. 15 delle N.T.A. del P.A.I. e dimostra, sulla base di una adeguata ricostruzione del modello geologico e geotecnico del terreno ed una conseguente analisi qualitativa e quantitativa della stabilità dei versanti di sedime, l'esistenza di adeguate condizioni di sicurezza geomorfologica delle aree interessate dai lavori.

2. RILIEVO DELLE CARATTERISTICHE GEOLOGICO-GEOTECNICHE

Riferimenti:

- "Relazione geologica" e relativi allegati, elaborata in data Marzo 2023, a firma del dott. geol. Rocco Porsia, iscritto all'Ordine dei geologi della Regione Basilicata al n. 175.

2.1. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E MORFOLOGICO

Il sito su cui sarà realizzato l'impianto di produzione è posto ad una quota media di circa 167 m s.l.m., a circa 12 km in linea d'aria a nord-est rispetto all'abitato di Troia e a circa 10 km a sud-ovest rispetto all'abitato di Foggia. Mentre il sito su cui sarà realizzata la sottostazione elettrica di trasformazione 150/30 kV è posto ad una quota media di circa 455 m s.l.m., a circa 5 km in linea d'aria a sud-ovest rispetto all'abitato di Troia e a circa 4,5 km a nord-est rispetto all'abitato di Castelluccio Valmaggiore. L'immediato intorno delle aree di intervento è caratterizzato da pendenze molto lievi e terreni a prevalente vocazione agricola.

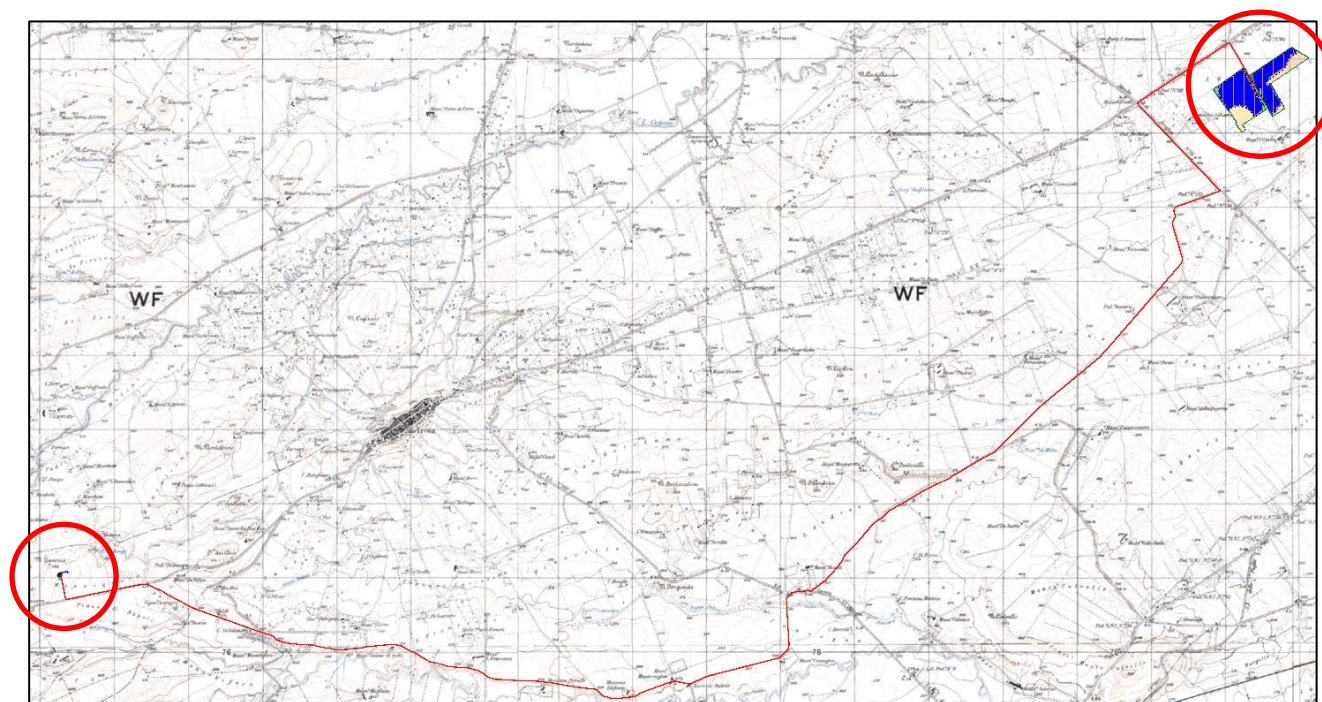
L'area territoriale in cui si collocano i siti interessati dalla realizzazione delle opere in progetto costituisce geograficamente una vasta piana alluvionale, compresa in un'area di avanfossa ancora più ampia, denominata Tavoliere delle Puglie, ubicata tra il dominio garganico, quello appenninico e quello murgiano.

Progetto:
PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO AGRIVOLTAICO PER LA PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA DA FONTE SOLARE FOTOVOLTAICA DELLA POTENZA COMPLESSIVA DI 32,62 MW SITO NEL COMUNE DI TROIA (FG) IN LOCALITA' "SAN GIUSTA", DELLE OPERE CONNESSE E DELLE INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI
– Progetto definitivo –

Elaborato:

RELAZIONE GEOTECNICA

Rev:										Data:	Foglio
00										Marzo 2023	3 di 31



Inquadramento su IGM

Di seguito si riportano le coordinate baricentriche dell'impianto di produzione:

- Latitudine: 41,40087°
- Longitudine: 15,44709°

Di seguito si riportano le coordinate baricentriche della sottostazione elettrica di trasformazione 150/30 kV:

- Latitudine: 41,34278°
- Longitudine: 15,25344°

Le indagini sismiche con metodologia M.A.S.W. e quelle effettuate con il metodo della sismica a rifrazione in onda P, oltre a consentire di verificare le caratteristiche sismiche del sedime dove sarà realizzato l'intervento in progetto, ha consentito di ricostruire, seppure in maniera indiretta, gli spessori e le caratteristiche litostratigrafiche dei terreni presenti nel sottosuolo dell'area di intervento.

Come si evince anche dalla Relazione geologica, le ricognizioni di superficie, le notizie bibliografiche e le indagini geofisiche effettuate nell'area in esame, quindi, hanno permesso di raccogliere tutte le informazioni necessarie a ricostruire in maniera attendibile, in questa fase progettuale, la situazione geologico-morfologica, litologico-stratigrafica, idrogeologica, geotecnica e sismica del sito in studio.

La zona interessata dal progetto ricade nel foglio n. 175 "CERIGNOLA", ad eccezione di un piccolo tratto di cavidotto che ricade nel foglio n. 174 "ARIANO IRPINO" della Carta Geologica d'Italia in scala 1:100000.

I sopralluoghi effettuati e le osservazioni compiute sui versanti dell'area in studio hanno consentito di escludere la presenza di processi morfologici rapidi in atto o potenziali.

Progetto: PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO AGRIVOLTAICO PER LA PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA DA FONTE SOLARE FOTOVOLTAICA DELLA POTENZA COMPLESSIVA DI 32,62 MW SITO NEL COMUNE DI TROIA (FG) IN LOCALITA' "SAN GIUSTA", DELLE OPERE CONNESSE E DELLE INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI <i>- Progetto definitivo -</i>										
Elaborato: RELAZIONE GEOTECNICA										
Rev:							Data:		Foglio	
00							Marzo 2023		4 di 31	

Le aree di intervento insistono su pendii scarsamente acclivi, con pendenze che mediamente si mantengono molto al di sotto di 15°. Tale circostanza, che è stata direttamente verificata nel corso dei sopralluoghi e dalla cartografia esistente, permette di classificare l'area in categoria topografica T1 ai sensi delle NTC 2018.

La circolazione delle acque di precipitazione al suolo viene condizionata dalla permeabilità dei materiali affioranti e dalle pendenze delle aree in esame. Nei depositi alluvionali terrazzati, mediamente permeabili per porosità, una cospicua aliquota delle acque meteoriche tenderà ad infiltrarsi nel sottosuolo e solo una piccola parte scorrerà in superficie, con variabilità delle aliquote a seconda della maggiore o minore componente limoso-argillosa. Tali depositi permettono l'infiltrazione delle acque meteoriche, ma la mancanza di un livello impermeabile continuo superficiale non consente la formazione di una falda superficiale.

Come si evince anche dalla relazione geologica, il fattore pendenza, la conformazione stratigrafico-strutturale (disposizione suborizzontale delle formazioni geologiche affioranti), la totale assenza di segnali che possano far pensare alla presenza di faglie nelle immediate vicinanze di tutte le aree in studio, fanno sì che non vi siano emergenze morfologiche particolari cui far fronte.

2.2. CAMPAGNA DI INDAGINE

Lo studio geologico svolto è stato finalizzato alla caratterizzazione dei terreni insistenti sull'area oggetto di intervento mediante la ricostruzione dei caratteri geomorfologici, idrografici, litologici, stratigrafici, strutturali, geotecnici e, più in generale, di pericolosità geologica del territorio.

Sono state effettuate n. 2 prospezioni indirette del sottosuolo condotte con il metodo della sismica a rifrazione in onda P e n. 2 prospezioni con il metodo della sismica attiva con metodologia M.A.S.W.

Tali indagini hanno consentito di individuare la categoria di suolo di fondazione ai sensi della normativa tecnica vigente, di valutare il comportamento elasto-dinamico del sottosuolo in esame e di ricostruire, con l'ausilio delle informazioni bibliografiche, la sequenza litostratigrafica del sito su cui sarà realizzato l'intervento in progetto.

L'indagine sismica con metodologia M.A.S.W. e quella effettuata con il metodo della sismica a rifrazione in onda P, oltre a consentire di verificare le caratteristiche sismiche del sedime, ha consentito di ricostruire, seppure in maniera indiretta, gli spessori e le caratteristiche litostratigrafiche dei terreni presenti nel sottosuolo di tale area.

Sono state eseguite 2 prospezioni sismiche di lunghezza complessiva pari a 72 metri e distanza intergeofonica pari a 3 metri. Per più dettagliate informazioni sulle modalità di conduzione delle suddette indagini si rimanda alla Relazione geologica.

2.3. STRATIGRAFIA E PARAMETRI GEOTECNICI

I caratteri litostratigrafici del sottosuolo dell'area di intervento sono stati ricostruiti in base alle osservazioni effettuate nel corso dei sopralluoghi in sito, dalle risultanze delle indagini geofisiche e dai dati desumibili dalla cartografia e bibliografia ufficiale che, congiuntamente, hanno consentito di effettuare una attendibile ricostruzione delle caratteristiche geologiche e geotecniche generali del sito in esame.

L'elaborazione dei dati di campagna ha permesso di definire che il sottosuolo del sito investigato è abbastanza uniforme dal punto di vista sismostratigrafico ed è caratterizzato, almeno fino alle profondità raggiunte, da tre "sismostrati", così differenziati:

Progetto:
PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO AGRIVOLTAICO PER LA PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA DA FONTE SOLARE FOTOVOLTAICA DELLA POTENZA COMPLESSIVA DI 32,62 MW SITO NEL COMUNE DI TROIA (FG) IN LOCALITA' "SAN GIUSTA", DELLE OPERE CONNESSE E DELLE INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI
 – Progetto definitivo –

Elaborato:
RELAZIONE GEOTECNICA

Rev:										Data:	Foglio
00										Marzo 2023	5 di 31

- Il primo sismostrato è associabile a terreno vegetale e coltre aerata superficiale di natura sabbioso-limoso-argillosa con presenza di ciottoli;
- Il secondo sismostrato è associabile a depositi ghiaiosi in matrice limoso-sabbiosa mediamente addensati;
- Il terzo sismostrato è associabile a depositi ghiaiosi in matrice limososabbiosa ben addensati.

Le indagini sismiche effettuate hanno consentito di escludere, anche se in maniera indiretta, la presenza della falda nel sottosuolo dell'area d'impianto in quanto in presenza di falda acquifera il grado di saturazione dei terreni sarebbe pari al 100% e, quindi, la velocità delle onde P sarebbe controllata dal mezzo liquido e, pertanto, poiché la velocità delle onde P in acqua è di circa 1500 m/s, si sarebbe dovuto misurare una velocità di propagazione delle onde P negli strati superficiali non inferiore a tale velocità. Nel corso delle indagini geofisiche, invece, le velocità di propagazione delle onde P misurate negli strati più superficiali, fino ad una profondità di circa 8 - 9 m dal piano campagna, è nettamente inferiore al valore delle Vp in acqua, mentre a profondità maggiori la Vp ha valori superiori a 1.500 m/s. Pertanto si può affermare, con un discreto margine di sicurezza, che i terreni investigati su cui sarà realizzato il parco agrivoltaico non sono sede di falda acquifera. La falda si considera comunque, a vantaggio di sicurezza, a partire da 8 metri dal p.c.

Sulla base di quanto suddetto, quindi, si è accertato che nell'area in studio è presente un esiguo spessore di terreno vegetale di natura sabbioso-limoso-argillosa a cui seguono terreni di natura ghiaiosa in matrice limoso-sabbiosa.

Di seguito si riportano i valori dei principali parametri geotecnici adottati per le calcolazioni.

AREA IMPIANTO DI PRODUZIONE

- Depositi prevalentemente ciottoloso-sabbioso-limosi
 - Peso di volume naturale $\gamma = 19,10 \text{ kN/m}^3$
 - Angolo di attrito interno $\Phi' = 32^\circ$
 - Coesione drenata $c' = 0 \text{ kN/m}^2$
 - Modulo di Young $E = 669800 \text{ kN/m}^2$

AREA SOTTOSTAZIONE ELETTRICA

- Depositi prevalentemente argilloso-limosi
 - Peso di volume naturale $\gamma = 18,14 \text{ kN/m}^3$
 - Angolo di attrito interno $\Phi' = 18^\circ$
 - Coesione drenata $c' = 9,81 \text{ kN/m}^2$
 - Coesione non drenata $C_u = 100 \text{ kN/m}^2$
 - Modulo di Young $E = 669800 \text{ kN/m}^2$

I assume la presenza di falda acquifera a partire da 8 metri dal p.c.

Per più dettagliate informazioni inerenti anche altri parametri geotecnici qui non riportati, si faccia riferimento all'elaborato Relazione geologica e suoi allegati.

2.4. CATEGORIA DI SOTTOSUOLO E CONDIZIONI TOPOGRAFICHE

Le indagini geofisiche hanno consentito di verificare che il substrato su cui si andranno ad esplicare le azioni delle opere in progetto (a partire dalla quota -1,00 m dal piano campagna) ricade in categorie di suolo di fondazione di tipo B.

MASW 1 - $V_{S30} = 468 \text{ m/s}$

MASW 2 - $V_{Seq} = 436 \text{ m/s}$

Progetto: PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO AGRIVOLTAICO PER LA PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA DA FONTE SOLARE FOTOVOLTAICA DELLA POTENZA COMPLESSIVA DI 32,62 MW SITO NEL COMUNE DI TROIA (FG) IN LOCALITA' "SAN GIUSTA", DELLE OPERE CONNESSE E DELLE INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI <i>- Progetto definitivo -</i>												
Elaborato: RELAZIONE GEOTECNICA												
Rev:										Data:		Foglio
00										Marzo 2023		6 di 31

Con riferimento al capitolo 3.2.2 delle NTC 2018, quindi, per le sopra riportate risultanze della prova MASW e per le considerazioni innanzi riportate sulla geomorfologia della porzione di territorio interessata dalle opere in progetto, si può assumere la seguente categorizzazione:

- categoria di sottosuolo B
- categoria topografica T1

3. ANALISI DI STABILITÀ DEL PENDIO

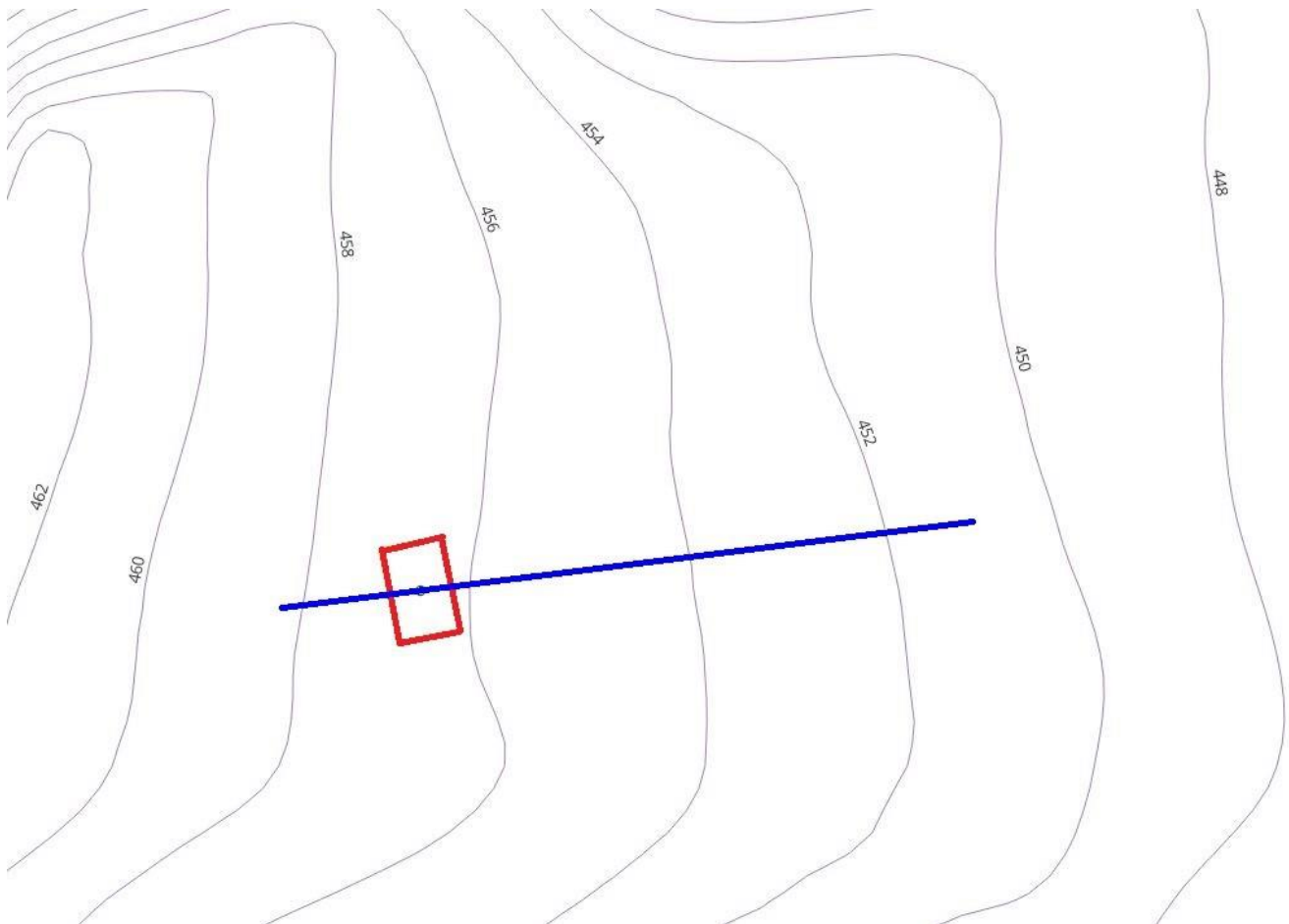
Dato che il sito di installazione dell'impianto di produzione non risulta in area perimetrata a pericolosità geomorfologica, di seguito si riportano le analisi di stabilità, ante e post opera, relativamente al sito di realizzazione della sottostazione elettrica in quanto questo ricade in area perimetrata PG1.

3.1. MODELLAZIONE PLANO-ALTIMETRICA

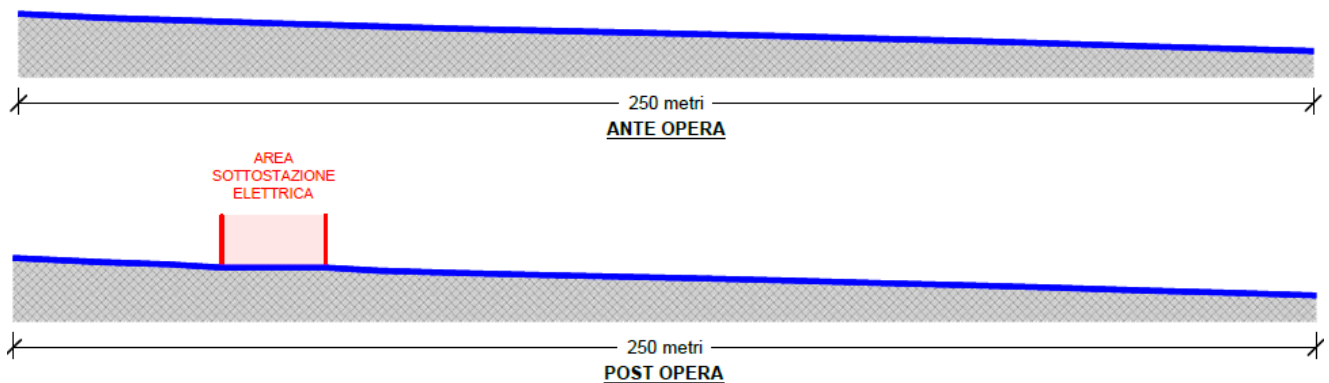
Per la ricostruzione del modello plano-altimetrico della porzione di territorio interessata dalle analisi di stabilità si è fatto utile riferimento al modello digitale di elevazione DTM (Digital Terrain Model).

Di seguito si riportano delle illustrazioni indicative della sezione di massima pendenza passante per la zona pressoché baricentrica rispetto all'area di intervento e del relativo profilo altimetrico.

Progetto: PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO AGRIVOLTAICO PER LA PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA DA FONTE SOLARE FOTOVOLTAICA DELLA POTENZA COMPLESSIVA DI 32,62 MW SITO NEL COMUNE DI TROIA (FG) IN LOCALITA' "SAN GIUSTA", DELLE OPERE CONNESSE E DELLE INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI <i>- Progetto definitivo -</i>		
Elaborato: RELAZIONE GEOTECNICA		
Rev: 00	Data: Marzo 2023	Foglio 7 di 31



Planimetria con indicazione della sezione di massima pendenza (sezione di verifica)
In blu la sezione di verifica – In rosso l'area di intervento (sottostazione)



Profilo altimetrico della sezione di massima pendenza (sezione di verifica)

Progetto:
PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO AGRIVOLTAICO PER LA PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA DA FONTE SOLARE FOTOVOLTAICA DELLA POTENZA COMPLESSIVA DI 32,62 MW SITO NEL COMUNE DI TROIA (FG) IN LOCALITA' "SAN GIUSTA", DELLE OPERE CONNESSE E DELLE INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI
– Progetto definitivo –

Elaborato:
RELAZIONE GEOTECNICA

Rev:										Data:	Foglio
00										Marzo 2023	8 di 31

3.2. CARATTERIZZAZIONE DELL'AZIONE SISMICA

L'azione sismica sulle costruzioni è valutata a partire dalla "pericolosità sismica di base" definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa a_g , nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente $S_e(T)$, con riferimento a prefissate probabilità di superamento P_{VR} nel periodo di riferimento V_R dipendenti dallo stato limite considerato.

L'accelerazione orizzontale massima attesa a_g dipende dalla sola posizione geografica (longitudine e latitudine) essendo valutata in condizioni ideali di sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale.

Gli stati limite per condizioni sismiche sono di 4 tipi come definiti al punto 3.2.1 del D.M. 17/01/2018:

- Stati limite di esercizio:
 - Stato limite di operatività (SLO)
 - Stato limite di danno (SLD)
- Stati limite ultimi:
 - Stato limite di salvaguardia della vita (SLV)
 - Stato limite di collasso (SLC)

Allo stato attuale, la pericolosità sismica su reticolo di riferimento nell'intervallo di riferimento è fornita dai dati pubblicati sul sito <http://esse1.mi.ingv.it/>. Per punti non coincidenti con il reticolo di riferimento e periodi di ritorno non contemplati direttamente si opera come indicato nell'allegato alle NTC 2008 (rispettivamente media pesata e interpolazione).

L'azione sismica viene definita in relazione ad un periodo di riferimento V_R che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale V_N per il coefficiente d'uso C_U . Fissato il periodo di riferimento e la probabilità di superamento associata a ciascuno degli stati limite considerati, si ottiene il periodo di ritorno T_R e i relativi parametri di pericolosità sismica:

- a_g accelerazione orizzontale massima del terreno;
- 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.

Per la valutazione dell'azione sismica si assumono le seguenti coordinate (WGS 84-UTM 33N) baricentriche rispetto alla posizione prevista per le opere in progetto: Lat. 41.166693°; Long. 15.524284°.

Proprietà delle costruzioni

Vita nominale	$V_N = 50$ anni
Classe d'uso	IV
Coefficiente d'uso	$C_U = 2.0$
Periodo di riferim. per l'azione sismica	$V_R = V_N * C_U = 100$ anni

Di seguito si riportano i parametri sismici adoperati per le calcolazioni.

Sito in esame.

latitudine:	41,343761
longitudine:	15,254296
Classe:	4
Vita nominale:	50

Progetto:
PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO AGRIVOLTAICO PER LA PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA DA FONTE SOLARE FOTOVOLTAICA DELLA POTENZA COMPLESSIVA DI 32,62 MW SITO NEL COMUNE DI TROIA (FG) IN LOCALITA' "SAN GIUSTA", DELLE OPERE CONNESSE E DELLE INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI
- Progetto definitivo -

Elaborato:
RELAZIONE GEOTECNICA

Rev:										Data:	Foglio
00										Marzo 2023	9 di 31

Siti di riferimento

Sito 1	ID: 30995	Lat: 41,3219	Lon: 15,2212	Distanza: 3684,222
Sito 2	ID: 30996	Lat: 41,3209	Lon: 15,2877	Distanza: 3777,938
Sito 3	ID: 30774	Lat: 41,3709	Lon: 15,2892	Distanza: 4187,548
Sito 4	ID: 30773	Lat: 41,3719	Lon: 15,2225	Distanza: 4099,445

Parametri sismici

Categoria sottosuolo: B
 Categoria topografica: T1
 Periodo di riferimento: 100anni
 Coefficiente cu: 2

Operatività (SLO):

Probabilità di superamento: 81 %
 Tr: 60 [anni]
 ag: 0,065 g
 Fo: 2,516
 Tc*: 0,336 [s]

Danno (SLD):

Probabilità di superamento: 63 %
 Tr: 101 [anni]
 ag: 0,080 g
 Fo: 2,584
 Tc*: 0,360 [s]

Salvaguardia della vita (SLV):

Probabilità di superamento: 10 %
 Tr: 949 [anni]
 ag: 0,197 g
 Fo: 2,579
 Tc*: 0,475 [s]

Prevenzione dal collasso (SLC):

Probabilità di superamento: 5 %
 Tr: 1950 [anni]
 ag: 0,257 g
 Fo: 2,580
 Tc*: 0,464 [s]

Coefficienti Sismici Stabilità dei pendii

Progetto:
PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO AGRIVOLTAICO PER LA PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA DA FONTE SOLARE FOTOVOLTAICA DELLA POTENZA COMPLESSIVA DI 32,62 MW SITO NEL COMUNE DI TROIA (FG) IN LOCALITA' "SAN GIUSTA", DELLE OPERE CONNESSE E DELLE INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI
- Progetto definitivo -

Elaborato:
RELAZIONE GEOTECNICA

Rev:										Data:	Foglio
00										Marzo 2023	10 di 31

SLO:

Ss: 1,200
Cc: 1,370
St: 1,000
Kh: 0,016
Kv: 0,008
Amax: 0,760
Beta: 0,200

SLD:

Ss: 1,200
Cc: 1,350
St: 1,000
Kh: 0,019
Kv: 0,010
Amax: 0,942
Beta: 0,200

SLV:

Ss: 1,200
Cc: 1,280
St: 1,000
Kh: 0,057
Kv: 0,028
Amax: 2,316
Beta: 0,240

SLC:

Ss: 1,130
Cc: 1,280
St: 1,000
Kh: 0,081
Kv: 0,041
Amax: 2,848
Beta: 0,280

3.3. ANALISI DEI CARICHI

Ai fini della presente verifica, in fase post opera si considera un carico uniformemente distribuito pari a 100 kN/m² (1 kg/cm²) rappresentativo dei carichi relativi alle opere a farsi ed alla viabilità. Al fine di operare a vantaggio di sicurezza, il suddetto valore del carico agente è abbondantemente sovrastimato.

3.4. CENNI DI TEORIA PER L'ANALISI DI STABILITÀ DEI PENDII

Definizione

Progetto:
PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO AGRIVOLTAICO PER LA PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA DA FONTE SOLARE FOTOVOLTAICA DELLA POTENZA COMPLESSIVA DI 32,62 MW SITO NEL COMUNE DI TROIA (FG) IN LOCALITA' "SAN GIUSTA", DELLE OPERE CONNESSE E DELLE INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI
 – Progetto definitivo –

Elaborato:
RELAZIONE GEOTECNICA

Rev:										Data:	Foglio
00										Marzo 2023	11 di 31

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:

$$F = \tau_f / \tau$$

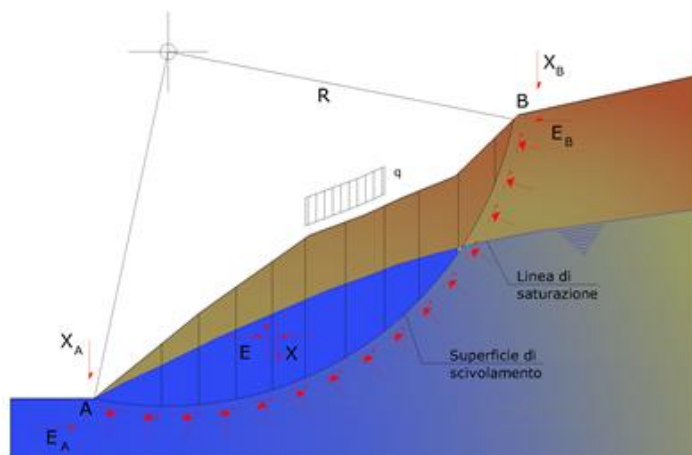
Tra i metodi dell'equilibrio limite alcuni considerano l'equilibrio globale del corpo rigido (Culman), altri a causa della non omogeneità dividono il corpo in conci considerando l'equilibrio di ciascuno (Fellenius, Bishop, Janbu ecc.).

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

Progetto:
PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO AGRIVOLTAICO PER LA PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA DA FONTE SOLARE FOTOVOLTAICA DELLA POTENZA COMPLESSIVA DI 32,62 MW SITO NEL COMUNE DI TROIA (FG) IN LOCALITA' "SAN GIUSTA", DELLE OPERE CONNESSE E DELLE INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI
 – Progetto definitivo –

Elaborato:
RELAZIONE GEOTECNICA

Rev:										Data:	Foglio
00										Marzo 2023	12 di 31



Metodo dei concetti

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

- n valori delle forze normali N_i agenti sulla base di ciascun concetto;
- n valori delle forze di taglio alla base del concetto T_i ;
- $(n-1)$ forze normali E_i agenti sull'interfaccia dei concetti;
- $(n-1)$ forze tangenziali X_i agenti sull'interfaccia dei concetti;
- 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 :

Progetto:

PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO AGRIVOLTAICO PER LA PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA DA FONTE SOLARE FOTOVOLTAICA DELLA POTENZA COMPLESSIVA DI 32,62 MW SITO NEL COMUNE DI TROIA (FG) IN LOCALITA' "SAN GIUSTA", DELLE OPERE CONNESSE E DELLE INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI

- Progetto definitivo -

Elaborato:

RELAZIONE GEOTECNICA

Rev:								Data:	Foglio
00								Marzo 2023	13 di 31

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

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 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;
- equazione di equilibrio dei momenti globale.

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

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

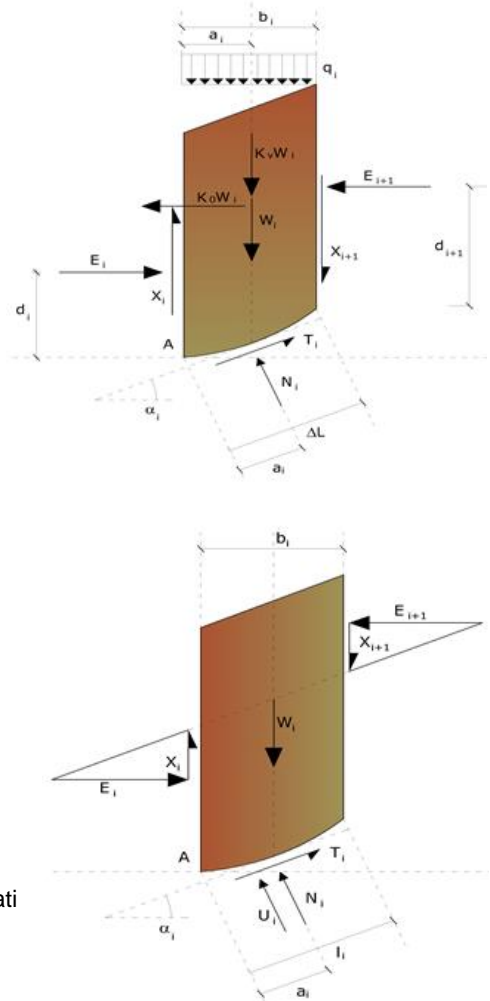
Metodo di Bishop (1955)

Con tale metodo non viene trascurato nessun contributo di forze agenti sui blocchi e fu il primo a descrivere i problemi legati ai metodi convenzionali. Le equazioni usate per risolvere il problema sono:

$$\sum F_y = 0, \quad \sum M_0 = 0 \quad \text{Criterio di rottura}$$

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

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 %.

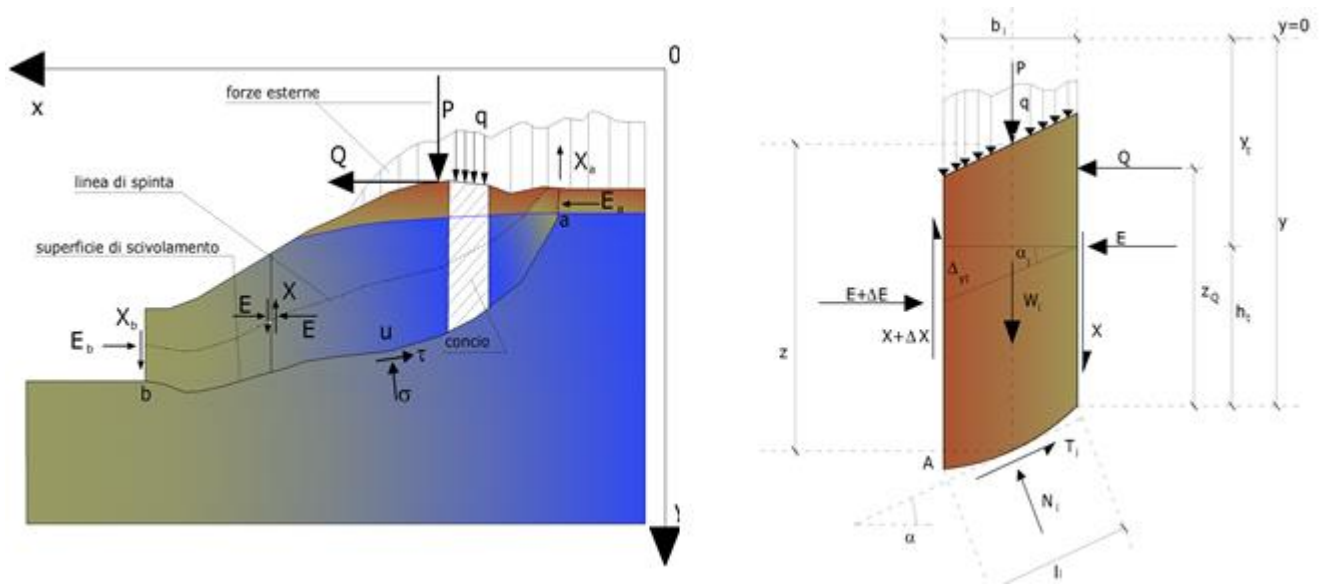


Progetto: PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO AGRIVOLTAICO PER LA PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA DA FONTE SOLARE FOTOVOLTAICA DELLA POTENZA COMPLESSIVA DI 32,62 MW SITO NEL COMUNE DI TROIA (FG) IN LOCALITA' "SAN GIUSTA", DELLE OPERE CONNESSE E DELLE INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI <i>- Progetto definitivo -</i>									
Elaborato: RELAZIONE GEOTECNICA									
Rev:					Data:			Foglio	
00					Marzo 2023			14 di 31	

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.

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



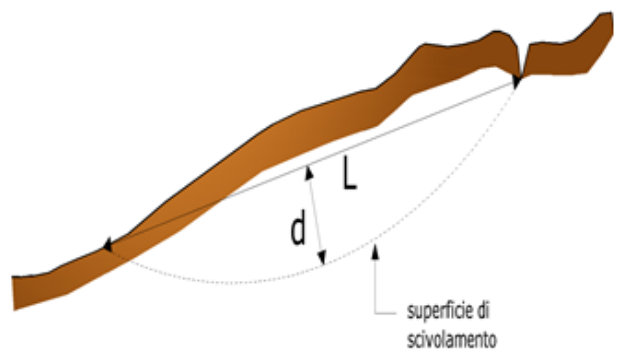
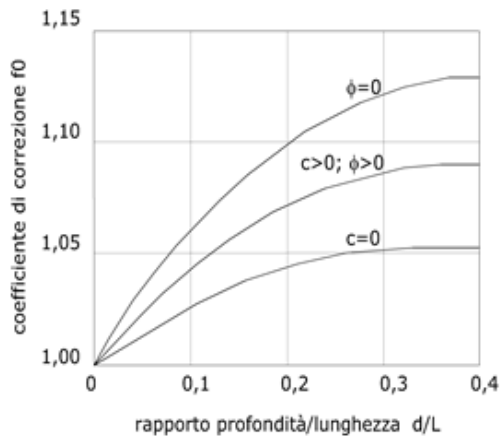
Azioni sul concio i-esimo secondo le ipotesi di Janbu e rappresentazione d'insieme dell'ammasso

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.

Progetto: PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO AGRIVOLTAICO PER LA PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA DA FONTE SOLARE FOTOVOLTAICA DELLA POTENZA COMPLESSIVA DI 32,62 MW SITO NEL COMUNE DI TROIA (FG) IN LOCALITA' "SAN GIUSTA", DELLE OPERE CONNESSE E DELLE INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI <i>- Progetto definitivo -</i>		
Elaborato: RELAZIONE GEOTECNICA		
Rev:	Data:	Foglio
00	Marzo 2023	15 di 31



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:

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

Progetto:

PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO AGRIVOLTAICO PER LA PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA DA FONTE SOLARE FOTOVOLTAICA DELLA POTENZA COMPLESSIVA DI 32,62 MW SITO NEL COMUNE DI TROIA (FG) IN LOCALITA' "SAN GIUSTA", DELLE OPERE CONNESSE E DELLE INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI

- Progetto definitivo -

Elaborato:

RELAZIONE GEOTECNICA

Rev:

Data:

Foglio

00

Marzo 2023

16 di 31

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:

$$W_i \cos \alpha_i / L_i = \text{valore dello sforzo normale totale associato con il metodo ordinario dei concii}$$

Il secondo termine dell'equazione include la funzione:

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

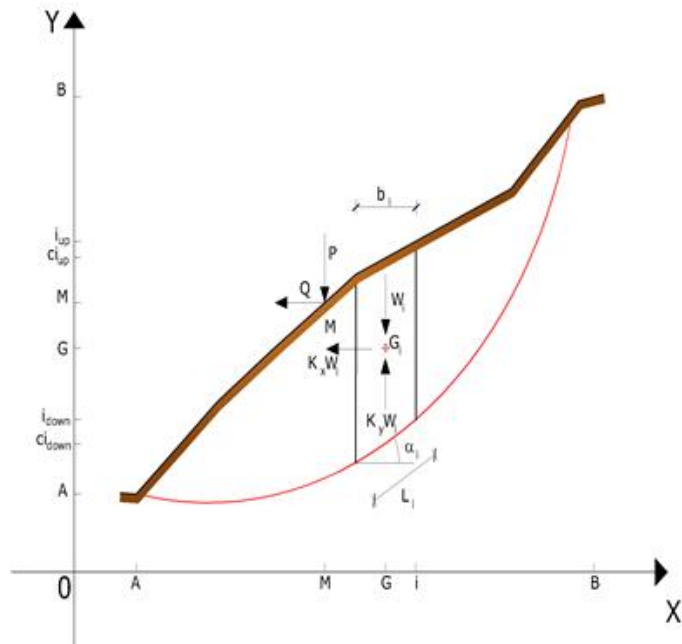
dove **x₀** ed **x_n** sono rispettivamente le ascisse del primo e dell'ultimo punto della superficie di scorrimento, mentre **x_{ci}** rappresenta l'ascissa del punto medio della base del concio i-esimo.

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 **C₃**. Qualsiasi coppia di valori del fattore di sicurezza nell'intorno di una stima fisicamente ragionevole può essere usata per iniziare una soluzione iterativa.



Progetto:
PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO AGRIVOLTAICO PER LA PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA DA FONTE SOLARE FOTOVOLTAICA DELLA POTENZA COMPLESSIVA DI 32,62 MW SITO NEL COMUNE DI TROIA (FG) IN LOCALITA' "SAN GIUSTA", DELLE OPERE CONNESSE E DELLE INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI
 – Progetto definitivo –

Elaborato:
RELAZIONE GEOTECNICA

Rev:										Data:	Foglio
00										Marzo 2023	17 di 31

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

Metodo di Sarma (1973)

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

Si tratta di un metodo basato sul principio dell'equilibrio limite e delle strisce, pertanto viene considerato l'equilibrio di una potenziale massa di terreno in scivolamento suddivisa in n strisce verticali di spessore sufficientemente piccolo da ritenere ammissibile l'assunzione che lo sforzo normale N_i agisce nel punto medio della base della striscia.

Le equazioni da prendere in considerazione sono:

- L'equazione di equilibrio alla traslazione orizzontale del singolo concio;
- L'equazione di equilibrio alla traslazione verticale del singolo concio;
- L'equazione di equilibrio dei momenti.

Condizioni di equilibrio alla traslazione orizzontale e verticale:

$$N_i \cos \alpha_i + T_i \sin \alpha_i = W_i - \Delta X_i$$

$$T_i \cos \alpha_i - N_i \sin \alpha_i = KW_i + \Delta E_i$$

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

$$\sum \Delta E_i = 0$$

$$\sum \Delta X_i = 0$$

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:

Progetto:

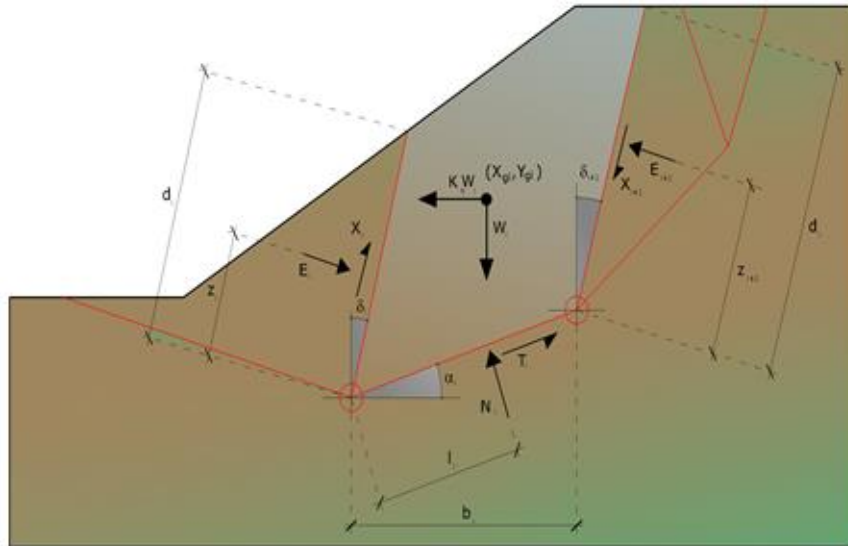
PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO AGRIVOLTAICO PER LA PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA DA FONTE SOLARE FOTOVOLTAICA DELLA POTENZA COMPLESSIVA DI 32,62 MW SITO NEL COMUNE DI TROIA (FG) IN LOCALITA' "SAN GIUSTA", DELLE OPERE CONNESSE E DELLE INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI

- Progetto definitivo -

Elaborato:

RELAZIONE GEOTECNICA

Rev:										Data:	Foglio
00										Marzo 2023	18 di 31



Azioni sull'iesimo concio, metodo di Sarma

$$\sum \Delta X_i \cdot \operatorname{tg}(\psi'_i - \alpha_i) + \sum \Delta E_i = \sum \Delta_i - K \cdot \sum W_i$$

$$\sum \Delta X_i \cdot [(y_{mi} - y_G) \cdot \operatorname{tg}(\psi'_i - \alpha'_i) + (x_i - x_G)] = \sum W_i \cdot (x_{mi} - x_G) + \sum \Delta_i \cdot (y_{mi} - y_G)$$

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:

$$K=K_c \quad \text{Accelerazione critica se } F=1$$

$$F=F_s \quad \text{Fattore di sicurezza in condizioni statiche se } K=0$$

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

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

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

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

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

Metodo di Spencer (1967)

Il metodo è basato sull'assunzione:

Progetto:

PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO AGRIVOLTAICO PER LA PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA DA FONTE SOLARE FOTOVOLTAICA DELLA POTENZA COMPLESSIVA DI 32,62 MW SITO NEL COMUNE DI TROIA (FG) IN LOCALITA' "SAN GIUSTA", DELLE OPERE CONNESSE E DELLE INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI

- Progetto definitivo -

Elaborato:

RELAZIONE GEOTECNICA

Rev:										Data:	Foglio
00										Marzo 2023	19 di 31

1. 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 ;
2. tutti i momenti sono nulli $M_i = 0$ con $i=1 \dots n$.

Sostanzialmente il metodo soddisfa tutte le equazioni della statica ed equivale a 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:

$$1) \quad \sum Q_i R \cos(\alpha - \theta) = 0$$

dove:

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

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:

$$\begin{aligned} \sum (Q_i \cos \theta) &= 0 \\ \sum (Q_i \sin \theta) &= 0 \end{aligned}$$

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

$$2) \quad \sum Q_i = 0$$

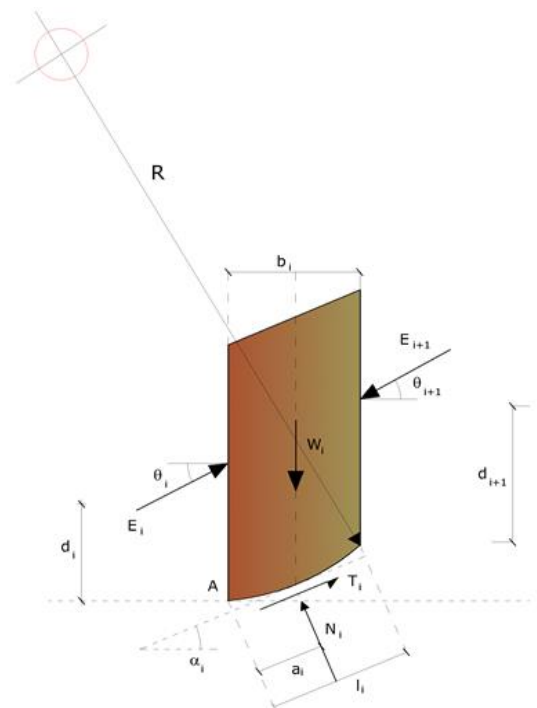
Il metodo propone di calcolare due coefficienti di sicurezza: il primo (F_{sm}) ottenibile dalla 1), legato all'equilibrio dei momenti; il secondo (F_{sf}) dalla 2) legato all'equilibrio delle forze. In pratica si procede risolvendo la 1) e la 2) per un dato intervallo di valori dell'angolo θ , considerando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

$$F_{sm} = F_{sf}$$

Metodo di Morgenstern e Price (1965)

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

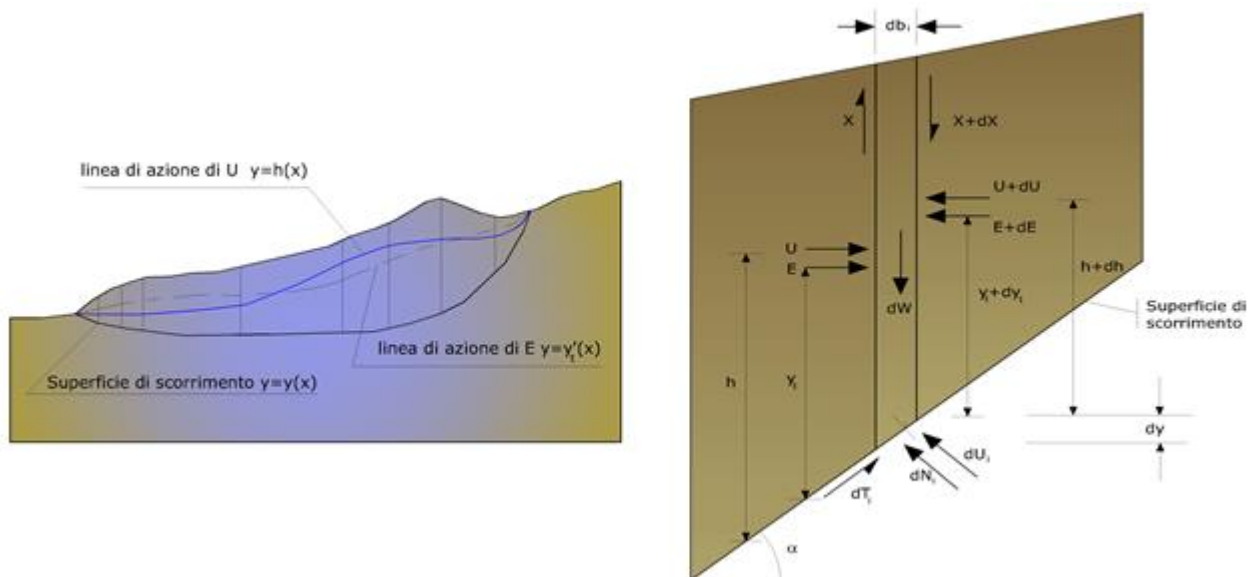


Progetto: PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO AGRIVOLTAICO PER LA PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA DA FONTE SOLARE FOTOVOLTAICA DELLA POTENZA COMPLESSIVA DI 32,62 MW SITO NEL COMUNE DI TROIA (FG) IN LOCALITA' "SAN GIUSTA", DELLE OPERE CONNESSE E DELLE INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI <i>- Progetto definitivo -</i>									
Elaborato: RELAZIONE GEOTECNICA									
Rev:					Data:			Foglio	
00					Marzo 2023			20 di 31	

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"**:

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



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

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

Progetto:
PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO AGRIVOLTAICO PER LA PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA DA FONTE SOLARE FOTOVOLTAICA DELLA POTENZA COMPLESSIVA DI 32,62 MW SITO NEL COMUNE DI TROIA (FG) IN LOCALITA' "SAN GIUSTA", DELLE OPERE CONNESSE E DELLE INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI
 - Progetto definitivo -

Elaborato:
RELAZIONE GEOTECNICA

Rev:										Data:	Foglio
00										Marzo 2023	21 di 31

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

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.

Metodo di Zeng e Liang (2002)

Zeng e Liang hanno effettuato una serie di analisi parametriche su un modello bidimensionale sviluppato con codice agli elementi finiti, che riproduce il caso di pali immersi in un terreno in movimento (drilled shafts). Il modello bidimensionale riproduce un striscia di terreno di spessore unitario e ipotizza che il fenomeno avvenga in condizioni di deformazione piana nella direzione parallela all'asse dei pali. Il modello è stato utilizzato per indagare l'influenza sulla formazione dell'effetto arco di alcuni parametri come l'interasse fra i pali, il diametro e la forma dei pali, e le proprietà meccaniche del terreno. Gli autori individuano nel rapporto tra l'interasse e il diametro dei i pali (s/d) il parametro adimensionale determinante per la formazione dell'effetto arco. Il problema risulta essere staticamente indeterminato, con grado di indeterminatezza pari a (8n-4), ma nonostante ciò è possibile ottenere una soluzione riducendo il numero delle incognite e assumendo quindi delle ipotesi semplificative, in modo da rendere determinato il problema.

Le assunzioni che rendono il problema determinato sono:

- Ky sono assunte orizzontali per ridurre il numero totale delle incognite da (n-1) a (7n-3);
- Le forze normali alla base della striscia agiscono nel punto medio, riducendo le incognite da n a (6n-3);
- La posizione delle spinte laterali è ad un terzo dell'altezza media dell'inter-striscia e riduce le incognite da (n-1) a (5n-2);
- Le forze (Pi-1) e Pi si assumono parallele all'inclinazione della base della striscia (αi), riducendo il numero di incognite da (n-1) a (4n-1);
- Si assume un'unica costante di snervamento per tutte le strisce, riducendo le incognite da (n) a (3n-1);

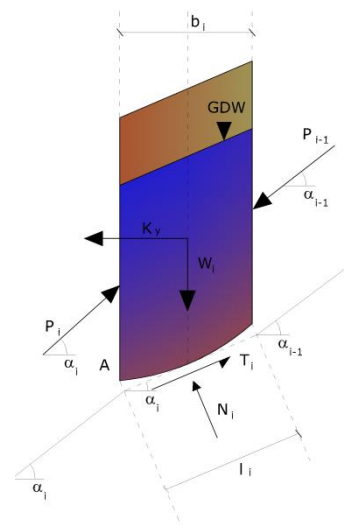
Il numero totale di incognite quindi è ridotto a (3n), da calcolare utilizzando il fattore di trasferimento di carico. Inoltre si deve tener presente che la forza di stabilizzazione trasmessa sul terreno a valle dei pali risulta ridotta di una quantità R, chiamato fattore di riduzione, calcolabile come:

$$R = \frac{1}{s/d} + \left(1 - \frac{1}{s/d}\right) \cdot R_p$$

Il fattore R dipende quindi dal rapporto fra l'interasse presente fra i pali e il diametro dei pali stessi e dal fattore Rp che tiene conto dell'effetto arco.

Valutazione dell'azione sismica

La stabilità dei pendii nei confronti dell'azione sismica viene verificata 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 vengono considerate le seguenti forze:



Progetto: PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO AGRIVOLTAICO PER LA PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA DA FONTE SOLARE FOTOVOLTAICA DELLA POTENZA COMPLESSIVA DI 32,62 MW SITO NEL COMUNE DI TROIA (FG) IN LOCALITA' "SAN GIUSTA", DELLE OPERE CONNESSE E DELLE INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI <i>- Progetto definitivo -</i>		
Elaborato: RELAZIONE GEOTECNICA		
Rev:	Data:	Foglio
00	Marzo 2023	22 di 31

$$F_H = K_x W$$

$$F_V = K_y W$$

Essendo:

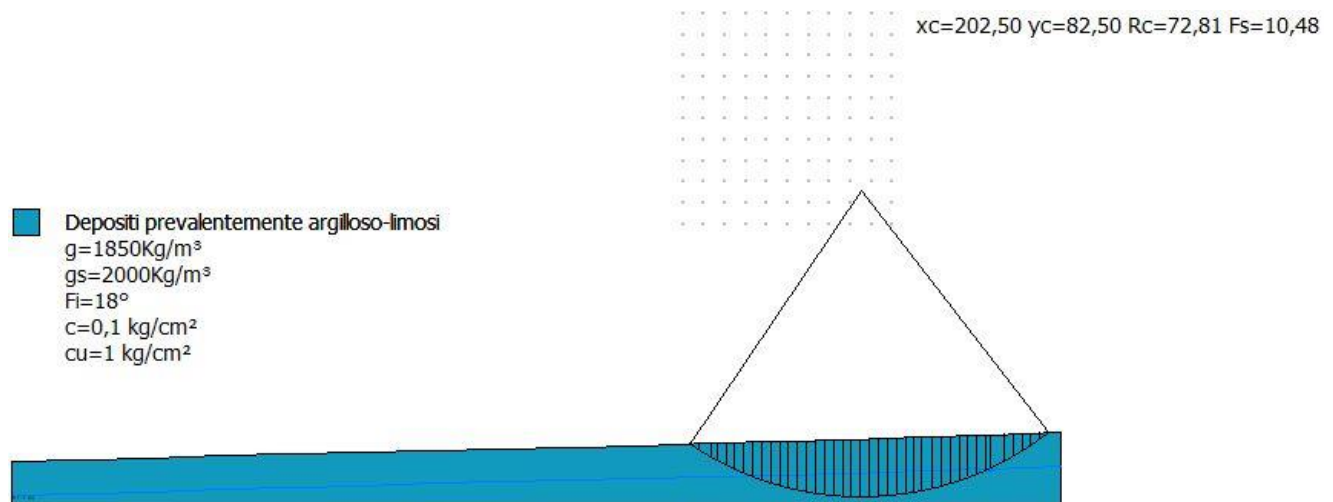
- **F_H** e **F_V** rispettivamente la componente orizzontale e verticale della forza d'inerzia applicata al baricentro del concio;
- **W** peso concio;
- **K_x** coefficiente sismico orizzontale;
- **K_y** coefficiente sismico verticale.

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×n e raggio variabile in un determinato range di valori tale da esaminare superfici cinematicamente ammissibili.

3.5. ANALISI DI STABILITÀ DEL PENDIO ANTE-OPERA



Analisi di stabilità dei pendii con: FELLENIUS (1936)

Calcolo eseguito secondo	NTC 2018
Numero di strati	1,0
Numero dei conci	40,0
Coefficiente parziale resistenza	1,1
Parametri geotecnici da usare. Angolo di attrito:	Picco
Superficie di forma circolare	

Progetto:
**PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO AGRIVOLTAICO PER LA PRODUZIONE DI ENERGIA
 ELETTRICA DA FONTE SOLARE FOTOVOLTAICA DELLA POTENZA COMPLESSIVA DI 32,62 MW SITO NEL
 COMUNE DI TROIA (FG) IN LOCALITA' "SAN GIUSTA", DELLE OPERE CONNESSE E DELLE
 INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI**
 - Progetto definitivo -

Elaborato:
RELAZIONE GEOTECNICA

Rev:										Data:	Foglio
00										Marzo 2023	23 di 31

Maglia dei Centri

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	160,0 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	75,0 m
Ascissa vertice destro superiore xs	210,0 m
Ordinata vertice destro superiore ys	125,0 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	18,0
2	16,67	18,5
3	33,33	18,96
4	50,0	19,49
5	66,67	19,95
6	83,33	20,37
7	100,0	20,83
8	116,67	21,23
9	133,33	21,6
10	150,0	21,96
11	166,67	22,35
12	183,33	22,83
13	200,0	23,34
14	216,67	23,86
15	233,33	24,38
16	250,0	25,19

Falda

Nr.	X (m)	y (m)
1	250,0	17,19
2	233,33	16,38
3	216,67	15,86
4	200,0	15,34
5	183,33	14,83
6	166,67	14,35

Progetto:
PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO AGRIVOLTAICO PER LA PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA DA FONTE SOLARE FOTOVOLTAICA DELLA POTENZA COMPLESSIVA DI 32,62 MW SITO NEL COMUNE DI TROIA (FG) IN LOCALITA' "SAN GIUSTA", DELLE OPERE CONNESSE E DELLE INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI
 - Progetto definitivo -

Elaborato:
RELAZIONE GEOTECNICA

Rev:										Data:	Foglio
00										Marzo 2023	24 di 31

7	150,0	13,96
8	133,33	13,6
9	116,67	13,23
10	100,0	12,83
11	83,33	12,37
12	66,67	11,95
13	50,0	11,49
14	33,33	10,96
15	16,67	10,5
16	0,0	10,0

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
=====	

Si noti che al § 6.3.4 delle NTC 2018 si riporta che "La valutazione del coefficiente di sicurezza dei pendii naturali, espresso dal rapporto tra la resistenza al taglio disponibile (τ_r) e la tensione di taglio agente (τ) lungo la superficie di scorrimento, deve essere eseguita impiegando sia i parametri geotecnici, congruenti con i caratteri del cinematiso atteso o accertato, sia le azioni presi con il loro valore caratteristico".

Sempre le NTC 2018, al § 7.11.1 riporta che "Le verifiche degli stati limite ultimi in presenza di azioni sismiche devono essere eseguite ponendo pari a 1 i coefficienti parziali sulle azioni e sui parametri geotecnici".

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	0,1	1	18	1850	2000	Depositi argilloso-limosi

Risultati analisi pendio

=====

Progetto:
**PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO AGRIVOLTAICO PER LA PRODUZIONE DI ENERGIA
 ELETTRICA DA FONTE SOLARE FOTOVOLTAICA DELLA POTENZA COMPLESSIVA DI 32,62 MW SITO NEL
 COMUNE DI TROIA (FG) IN LOCALITA' "SAN GIUSTA", DELLE OPERE CONNESSE E DELLE
 INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI**
 - Progetto definitivo -

Elaborato:
RELAZIONE GEOTECNICA

Rev:										Data:	Foglio
00										Marzo 2023	25 di 31

Fs minimo individuato 10,48
 Ascissa centro superficie 202,5 m
 Ordinata centro superficie 82,5 m
 Raggio superficie 72,81 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.

xc = 202,50 yc = 82,50 Rc = 72,812 Fs=10,484

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	2,14	-33,1	2,56	2916,93	0,0	0,0	0,1	18,0	0,0	2442,7	-1594,3
2	2,89	-30,8	3,36	12626,72	0,0	0,0	0,1	18,0	0,0	10845,4	-6466,2
3	1,39	-28,9	1,59	9389,85	0,0	0,0	0,1	18,0	0,0	8223,8	-4531,9
4	2,14	-27,3	2,41	18359,05	0,0	0,0	0,1	18,0	0,0	16316,8	-8415,2
5	2,14	-25,4	2,37	22798,04	0,0	0,0	0,1	18,0	0,0	20593,8	-9779,9
6	2,14	-23,6	2,33	26899,26	0,0	0,0	0,1	18,0	0,0	24658,5	-10748,4
7	2,14	-21,7	2,3	30676,84	0,0	0,0	0,1	18,0	0,0	28497,5	-11356,1
8	2,14	-19,9	2,28	34343,68	0,0	0,0	0,1	18,0	1417,9	30869,6	-11704,8
9	2,14	-18,1	2,25	37769,21	0,0	0,0	0,1	18,0	3212,8	32678,4	-11761,6
10	2,43	-16,3	2,54	46731,86	0,0	0,0	0,1	18,0	5579,1	39283,6	-13084,5
11	1,85	-14,5	1,91	37835,85	0,0	0,0	0,1	18,0	5429,4	31199,4	-9480,7
12	2,14	-12,9	2,2	46206,12	0,0	0,0	0,1	18,0	7449,9	37590,5	-10313,6
13	2,14	-11,2	2,18	48434,89	0,0	0,0	0,1	18,0	8540,6	38975,8	-9388,0
14	2,14	-9,5	2,17	50378,46	0,0	0,0	0,1	18,0	9481,8	40210,8	-8284,9
15	2,14	-7,8	2,16	52041,81	0,0	0,0	0,1	18,0	10280,7	41284,4	-7027,8
16	2,14	-6,1	2,15	53427,84	0,0	0,0	0,1	18,0	10943,1	42185,8	-5643,7
17	2,14	-4,4	2,15	54538,35	0,0	0,0	0,1	18,0	11461,0	42918,6	-4158,2
18	1,98	-2,7	1,98	51250,15	0,0	0,0	0,1	18,0	10977,0	40214,2	-2457,3
19	2,3	-1,1	2,3	60087,75	0,0	0,0	0,1	18,0	13034,3	47043,1	-1114,3
20	2,14	0,7	2,14	56272,14	0,0	0,0	0,1	18,0	12302,3	43965,8	670,0
21	2,14	2,4	2,14	56316,75	0,0	0,0	0,1	18,0	12330,4	43938,2	2327,9
22	2,14	4,1	2,15	56092,49	0,0	0,0	0,1	18,0	12246,5	43705,5	3966,7
23	2,14	5,7	2,15	55595,41	0,0	0,0	0,1	18,0	12024,0	43292,1	5566,0
24	2,14	7,4	2,16	54825,3	0,0	0,0	0,1	18,0	11673,1	42690,5	7100,7
25	2,14	9,1	2,17	53780,68	0,0	0,0	0,1	18,0	11202,8	41894,6	8545,5
26	1,53	10,6	1,55	37609,49	0,0	0,0	0,1	18,0	7623,5	29343,3	6922,9
27	2,75	12,3	2,82	65692,63	0,0	0,0	0,1	18,0	12784,9	51393,2	14024,6

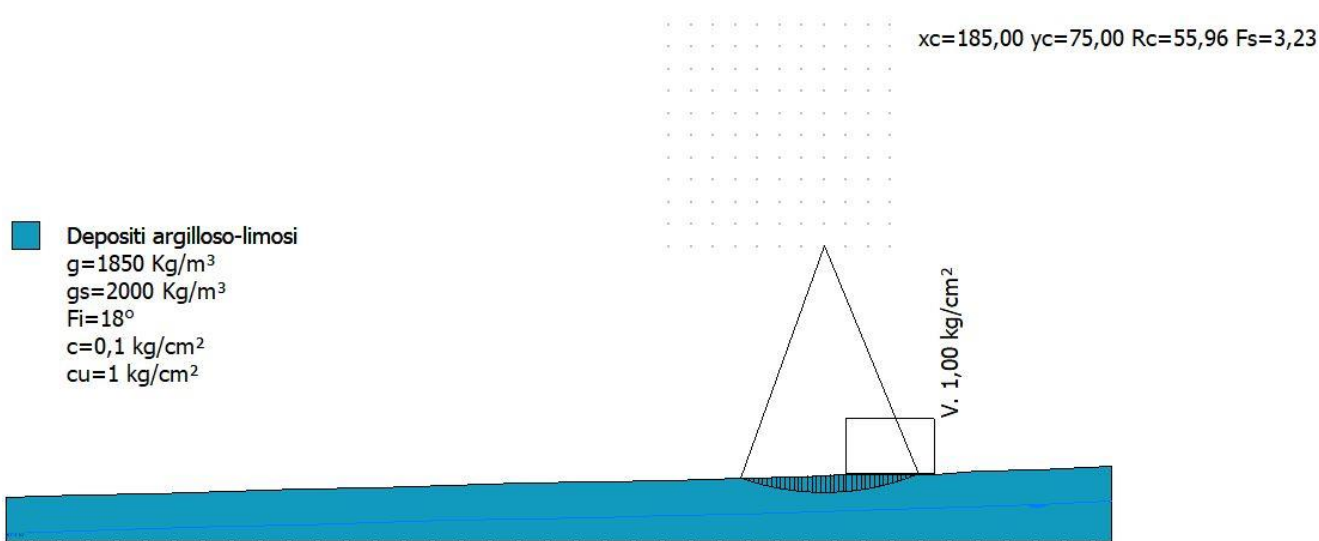
Progetto:
PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO AGRIVOLTAICO PER LA PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA DA FONTE SOLARE FOTOVOLTAICA DELLA POTENZA COMPLESSIVA DI 32,62 MW SITO NEL COMUNE DI TROIA (FG) IN LOCALITA' "SAN GIUSTA", DELLE OPERE CONNESSE E DELLE INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI
 - Progetto definitivo -

Elaborato:
RELAZIONE GEOTECNICA

Rev:										Data:	Foglio
00										Marzo 2023	26 di 31

28	2,14	14,3	2,21	48937,69	0,0	0,0	0,1	18,0	8904,4	38515,8	12092,3
29	2,14	16,1	2,23	46740,33	0,0	0,0	0,1	18,0	7845,0	37073,4	12922,6
30	2,14	17,8	2,25	44238,0	0,0	0,0	0,1	18,0	6602,3	35515,6	13531,0
31	2,14	19,6	2,27	41423,38	0,0	0,0	0,1	18,0	5175,9	33850,1	13887,7
32	2,14	21,4	2,3	38287,09	0,0	0,0	0,1	18,0	3550,4	32100,2	13961,9
33	2,14	23,2	2,33	34816,68	0,0	0,0	0,1	18,0	1706,7	30292,8	13720,0
34	1,08	24,6	1,18	16071,94	0,0	0,0	0,1	18,0	88,0	14526,9	6686,8
35	3,2	26,5	3,58	42362,61	0,0	0,0	0,1	18,0	0,0	37924,1	18877,3
36	2,14	28,8	2,44	23261,06	0,0	0,0	0,1	18,0	0,0	20377,5	11217,7
37	2,14	30,8	2,49	18820,24	0,0	0,0	0,1	18,0	0,0	16170,3	9629,2
38	2,14	32,8	2,54	13986,4	0,0	0,0	0,1	18,0	0,0	11762,6	7567,1
39	2,14	34,8	2,61	8733,54	0,0	0,0	0,1	18,0	0,0	7173,2	4982,0
40	2,14	36,9	2,67	3030,96	0,0	0,0	0,1	18,0	0,0	2425,2	1818,0

3.6. ANALISI DI STABILITÀ DEL PENDIO POST-OPERA



Analisi di stabilità dei pendii con: FELLENIUS (1936)

Calcolo eseguito secondo	NTC 2018
Numero di strati	1,0
Numero dei conci	40,0
Coefficiente parziale resistenza	1,1
Parametri geotecnici da usare. Angolo di attrito:	Picco
Superficie di forma circolare	

Progetto:
**PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO AGRIVOLTAICO PER LA PRODUZIONE DI ENERGIA
 ELETTRICA DA FONTE SOLARE FOTOVOLTAICA DELLA POTENZA COMPLESSIVA DI 32,62 MW SITO NEL
 COMUNE DI TROIA (FG) IN LOCALITA' "SAN GIUSTA", DELLE OPERE CONNESSE E DELLE
 INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI**
 - Progetto definitivo -

Elaborato:
RELAZIONE GEOTECNICA

Rev:										Data:	Foglio
00										Marzo 2023	27 di 31

Maglia dei Centri

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	150,0 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	75,0 m
Ascissa vertice destro superiore xs	200,0 m
Ordinata vertice destro superiore ys	125,0 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	18,0
2	16,67	18,5
3	33,33	18,96
4	50,0	19,49
5	66,67	19,95
6	83,33	20,37
7	100,0	20,83
8	116,67	21,23
9	133,33	21,6
10	150,0	21,96
11	166,67	22,35
12	180,0	22,74
13	190,0	23,34
14	210,0	23,34
15	220,0	23,96
16	233,33	24,38
17	250,0	25,19

Falda

Nr.	X (m)	y (m)
1	250,0	17,19
2	233,33	16,38
3	216,67	15,86
4	200,0	15,34
5	183,33	14,83

Progetto:
PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO AGRIVOLTAICO PER LA PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA DA FONTE SOLARE FOTOVOLTAICA DELLA POTENZA COMPLESSIVA DI 32,62 MW SITO NEL COMUNE DI TROIA (FG) IN LOCALITA' "SAN GIUSTA", DELLE OPERE CONNESSE E DELLE INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI
 - Progetto definitivo -

Elaborato:
RELAZIONE GEOTECNICA

Rev:										Data:	Foglio
00										Marzo 2023	28 di 31

6	166,67	14,35
7	150,0	13,96
8	133,33	13,6
9	116,67	13,23
10	100,0	12,83
11	83,33	12,37
12	66,67	11,95
13	50,0	11,49
14	33,33	10,96
15	16,67	10,5
16	0,0	10,0

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

Si noti che al § 6.3.4 delle NTC 2018 si riporta che "La valutazione del coefficiente di sicurezza dei pendii naturali, espresso dal rapporto tra la resistenza al taglio disponibile (τ_r) e la tensione di taglio agente (τ) lungo la superficie di scorrimento, deve essere eseguita impiegando sia i parametri geotecnici, congruenti con i caratteri del cinematismo atteso o accertato, sia le azioni presi con il loro valore caratteristico".

Sempre le NTC 2018, al § 7.11.1 riporta che "Le verifiche degli stati limite ultimi in presenza di azioni sismiche devono essere eseguite ponendo pari a 1 i coefficienti parziali sulle azioni e sui parametri geotecnici".

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	0,1	1	18	1850	2000	Depositi argilloso-limosi

Carichi distribuiti

Progetto: PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO AGRIVOLTAICO PER LA PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA DA FONTE SOLARE FOTOVOLTAICA DELLA POTENZA COMPLESSIVA DI 32,62 MW SITO NEL COMUNE DI TROIA (FG) IN LOCALITA' "SAN GIUSTA", DELLE OPERE CONNESSE E DELLE INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI <i>- Progetto definitivo -</i>					
Elaborato: RELAZIONE GEOTECNICA					
Rev:				Data:	Foglio
00				Marzo 2023	29 di 31

N°	xi (m)	yi (m)	xf (m)	yf (m)	Carico esterno (kg/cm²)
1	190	23,5	210	23,5	1

Risultati analisi pendio

Fs minimo individuato	3,23
Ascissa centro superficie	185,0 m
Ordinata centro superficie	75,0 m
Raggio superficie	55,96 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.

xc = 185,00 yc = 75,00 Rc = 55,963 Fs=3,227

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (kg/cm²)	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
1	0,6	-19,5	0,64	127,29	0,0	0,0	0,1	18,0	0,0	120,0	-42,4
2	1,42	-18,4	1,5	1282,29	0,0	0,0	0,1	18,0	0,0	1217,0	-403,8
3	1,01	-17,0	1,06	1704,44	0,0	0,0	0,1	18,0	0,0	1629,5	-499,7
4	1,01	-16,0	1,05	2319,58	0,0	0,0	0,1	18,0	0,0	2230,1	-638,2
5	1,01	-14,9	1,05	2896,28	0,0	0,0	0,1	18,0	0,0	2798,9	-744,6
6	1,01	-13,8	1,04	3435,11	0,0	0,0	0,1	18,0	0,0	3335,6	-820,8
7	1,01	-12,8	1,04	3936,68	0,0	0,0	0,1	18,0	0,0	3839,4	-869,7
8	1,01	-11,7	1,03	4401,35	0,0	0,0	0,1	18,0	0,0	4309,8	-892,9
9	1,01	-10,6	1,03	4829,74	0,0	0,0	0,1	18,0	0,0	4746,6	-892,4
10	1,01	-9,6	1,03	5221,96	0,0	0,0	0,1	18,0	0,0	5148,8	-870,8
11	1,01	-8,6	1,02	5578,59	0,0	0,0	0,1	18,0	0,0	5516,6	-829,4
12	1,01	-7,5	1,02	5899,88	0,0	0,0	0,1	18,0	0,0	5849,4	-770,5
13	1,01	-6,5	1,02	6186,17	0,0	0,0	0,1	18,0	0,0	6146,9	-696,0
14	0,79	-5,5	0,79	5017,99	0,0	0,0	0,1	18,0	0,0	4994,6	-483,8
15	1,23	-4,5	1,23	8117,79	0,0	0,0	0,1	18,0	0,0	8092,8	-636,0
16	1,01	-3,3	1,01	6937,08	0,0	0,0	0,1	18,0	0,0	6925,3	-404,7
17	1,01	-2,3	1,01	7143,45	0,0	0,0	0,1	18,0	0,0	7137,6	-287,8
18	1,01	-1,3	1,01	7315,65	0,0	0,0	0,1	18,0	0,0	7313,9	-161,9
19	1,01	-0,2	1,01	7453,63	0,0	0,0	0,1	18,0	0,0	7453,6	-30,9
20	1,01	0,8	1,01	7557,38	0,0	0,0	0,1	18,0	0,0	7556,6	105,9
21	1,01	1,8	1,01	7627,17	0,0	0,0	0,1	18,0	0,0	7623,3	243,8

Progetto:
PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO AGRIVOLTAICO PER LA PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA DA FONTE SOLARE FOTOVOLTAICA DELLA POTENZA COMPLESSIVA DI 32,62 MW SITO NEL COMUNE DI TROIA (FG) IN LOCALITA' "SAN GIUSTA", DELLE OPERE CONNESSE E DELLE INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI
 – Progetto definitivo –

Elaborato:
RELAZIONE GEOTECNICA

Rev:										Data:	Foglio
00										Marzo 2023	30 di 31

22	1,01	2,9	1,01	7662,33	0,0	0,0	0,1	18,0	0,0	7652,7	384,0
23	1,01	3,9	1,01	7663,46	0,0	0,0	0,1	18,0	0,0	7645,6	522,2
24	0,68	4,8	0,68	5140,4	0,0	0,0	0,1	18,0	0,0	5122,6	427,9
25	1,34	5,8	1,35	23370,29	0,0	0,0	0,1	18,0	0,0	23250,0	2368,6
26	1,01	7,0	1,02	17363,83	0,0	0,0	0,1	18,0	0,0	17233,4	2124,3
27	1,01	8,1	1,02	17113,31	0,0	0,0	0,1	18,0	0,0	16943,7	2403,7
28	1,01	9,1	1,02	16827,3	0,0	0,0	0,1	18,0	0,0	16614,6	2666,8
29	1,01	10,2	1,03	16505,8	0,0	0,0	0,1	18,0	0,0	16246,6	2913,8
30	1,01	11,2	1,03	16148,7	0,0	0,0	0,1	18,0	0,0	15839,7	3143,9
31	1,01	12,3	1,03	15755,27	0,0	0,0	0,1	18,0	0,0	15394,8	3350,8
32	1,01	13,3	1,04	15325,18	0,0	0,0	0,1	18,0	0,0	14911,7	3536,0
33	1,01	14,4	1,04	14858,32	0,0	0,0	0,1	18,0	0,0	14390,9	3697,5
34	1,01	15,5	1,05	14353,28	0,0	0,0	0,1	18,0	0,0	13832,7	3830,5
35	1,01	16,6	1,05	13810,39	0,0	0,0	0,1	18,0	0,0	13237,5	3936,3
36	1,01	17,6	1,06	13228,66	0,0	0,0	0,1	18,0	0,0	12606,7	4008,5
37	1,01	18,7	1,07	12607,39	0,0	0,0	0,1	18,0	0,0	11939,9	4047,9
38	1,01	19,8	1,07	11946,18	0,0	0,0	0,1	18,0	0,0	11237,9	4052,3
39	1,01	20,9	1,08	11243,38	0,0	0,0	0,1	18,0	0,0	10501,6	4016,3
40	1,01	22,0	1,09	9498,98	0,0	0,0	0,1	18,0	0,0	8804,5	3565,3

4. CONCLUSIONI

Il progetto, di cui il presente elaborato ne costituisce parte integrante, prevede la realizzazione di un impianto agrivoltaico per la produzione di energia elettrica da fonte rinnovabile solare, della potenza complessiva di 32,62 MWp, in agro del Comune di Troia (FG), in località "San Giusta", con le relative opere di connessione nei Comuni di Troia (FG) e Lucera (FG).

L'impianto di cui trattasi si costituisce di impianto di produzione, cavidotto di vettoriamento e sottostazione elettrica di trasformazione 150/30 kV.

Quota parte del cavidotto e la sottostazione elettrica ricadono in area classificata a "pericolosità geomorfologica media e moderata (P.G.1)" ai sensi dell'art. 15 delle N.T.A. del P.A.I.

In tale area, la realizzazione dell'intervento previsto in progetto è subordinata ad uno studio di compatibilità geologica e geotecnica che dimostri la compatibilità dello stesso con le condizioni di pericolosità geomorfologica dell'area.

Il presente studio di compatibilità geologica e geotecnica dimostra, sulla base di una adeguata ricostruzione del modello geologico e geotecnico del terreno ed una conseguente analisi qualitativa e quantitativa della stabilità del versante di sedime, l'esistenza di adeguate condizioni di sicurezza geomorfologica delle aree interessate dai lavori, in condizione ante e post opera.

Le analisi di stabilità dei pendii, in configurazione ante e post opera, hanno prodotto i seguenti risultati:

- Fattore di sicurezza ante opera 10,48
- Fattore di sicurezza post opera 3,23

Progetto: PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO AGRIVOLTAICO PER LA PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA DA FONTE SOLARE FOTOVOLTAICA DELLA POTENZA COMPLESSIVA DI 32,62 MW SITO NEL COMUNE DI TROIA (FG) IN LOCALITA' "SAN GIUSTA", DELLE OPERE CONNESSE E DELLE INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI <i>- Progetto definitivo -</i>										
Elaborato: RELAZIONE GEOTECNICA										
Rev:							Data:		Foglio	
00							Marzo 2023		31 di 31	

Nonostante, al fine di operare a vantaggio di sicurezza, si è assunto un valore del carico agente abbondantemente sovrastimato, si può dedurre che le condizioni di stabilità persistenti in fase ante opera sono confermate anche in fase post opera.

Per quanto attiene le opere relative all'elettrodotto di connessione dell'impianto agrivoltaico alla sottostazione elettrica, esse non generano alcuna variazione dello stato di sollecitazione dei versanti rispetto alla condizione ante intervento e, pertanto, si può dedurre che le condizioni di stabilità persistenti in fase ante opera sono confermate anche in fase post opera.

Per tutto quanto suddetto si conclude che il presente studio di compatibilità geologica e geotecnica, redatto ai sensi dell'art. 15 delle N.T.A. del P.A.I., dimostra, sulla base di una adeguata ricostruzione del modello geologico e geotecnico del terreno ed una conseguente analisi qualitativa e quantitativa della stabilità dei versanti di sedime, l'esistenza di adeguate condizioni di sicurezza geomorfologica delle aree interessate dai lavori.

Si esprime, pertanto, giudizio positivo sulla compatibilità complessiva degli interventi in progetto in rapporto alle condizioni di stabilità delle aree destinate a riceverli.

MAXIMA INGEGNERIA S.R.L.
 Ing. Massimo Magnotta

