

REGIONE PUGLIA

COMUNE DI BRINDISI



Committente



RAY s.r.l.
Piazza Europa 14, 87100
Cosenza



Documento:

PROGETTO DEFINITIVO

Titolo del Progetto:

Parco Fotovoltaico "BRINNISI"

N° Documento

BR_01_6G_01

Elaborato:

Relazione geologica, idrogeologica e sismica

Codice Progetto	Disciplina	Elaborato	Scala	Formato	Nome File
BR_01	6G	01	-	A4	BR_01_6G_01_Relazione geologica, idrogeologica e sismica

Progettazione:



Gemsas Energy Solar S.R.L.
Piazza Europa, 14 - 87100 Cosenza (CS)



DOTT. GEOL. GIUSEPPE MASILLO
Ordine dei Geologi della Regione Puglia, n. 204

Rev:	Data	Descrizione	Redatto	Controllato	Approvato
00.	Luglio 2024	Prima emissione	Geol. Giuseppe Masillo	Gemsas Energy Solar	RAY



Progetto Definitivo "BRINNISI"

Relazione geologica, idrogeologica e sismica

INDICE

1	PREMESSA	2
2	LOCALIZZAZIONE DEL PROGETTO	4
3	CARATTERISTICHE DEL PROGETTO	5
4	LINEAMENTI GEOLOGICI GENERALI	6
5	CARATTERISTICHE IDROGEOLOGICHE DELL'AREA	11
6	DESCRIZIONE ED INTERPRETAZIONE DEI RISULTATI DELLE INDAGINI GEOGNOSTICHE IN SITO E DEI CERTIFICATI DELLE PROVE DI LABORATORIO SUI TERRENI E SULLE ROCCE, ATTESTANTI, IN RELAZIONE ALLA LORO NATURA LITOLOGICA, I PARAMETRI GEOTECNICI.	12
6.1	<i>Indagine sismica</i>	12
6.2	<i>Indagini Penetrometriche Dinamiche continue (DPSH)</i>	17
6.3	<i>Caratterizzazione geotecnica dei litotipi affioranti</i>	17
7	VERIFICA DI STABILITÀ DEI FRONTI DI SCAVO	20
7.1	<i>Stabilità del pendio di sabbie (deposito dotato di coesione e attrito)</i>	20
7.2	<i>Stabilità del pendio in argilla (depositi dotati di coesione)</i>	22
8	CONSIDERAZIONI SUL RISPETTO DELLE NORME PREVISTE DAL D.M.11.03.1988 IN MERITO ALLE INDAGINI GEOLOGICHE E GEOTECNICHE.LE CONDIZIONI IDROGEOMORFOLOGICHE PRIMA E DOPO LA REALIZZAZIONE DELLE OPERE.	28
9	CONCLUSIONI	30

Progetto Definitivo "BRINNISI"

Relazione geologica, idrogeologica e sismica

1 PREMESSA

Il presente studio è finalizzato alla realizzazione di un impianto fotovoltaico in contrada Albanesi, nel Comune di Brindisi (BR), in una porzione del terreno identificato presso il catasto fabbricati al foglio di mappa 129 particella 532 sub 2 e particella 881.

L'impianto fotovoltaico sarà collegato in antenna a 36 kV su un ampliamento della Stazione Elettrica (SE) di Trasformazione della RTN a 380/150 kV denominata "Brindisi Sud" mediante realizzazione di un nuovo elettrodotto AT interrato lungo viabilità pubblica esistente.

Lo studio è finalizzato a determinare:

- Il modello geologico del sito che comprende la ricostruzione dei caratteri litologici, stratigrafici, strutturali, idrogeologici, geomorfologici e, più in generale, di pericolosità geologica del territorio, descritti e sintetizzati dal modello geologico di riferimento.

La relazione comprende, sulla base dei rilievi e indagini svolte, la identificazione delle formazioni presenti nel sito, lo studio dei tipi litologici, della struttura del sottosuolo e dei caratteri fisici degli ammassi, definisce il modello geologico del sottosuolo, illustra e caratterizza gli aspetti stratigrafici, strutturali, idrogeologici, geomorfologici, nonché i conseguenti livelli delle pericolosità geologiche.

- modellazione geotecnica in base al piano delle indagini da svolgere, cioè la definizione dello schema rappresentativo del volume significativo di terreno, suddiviso in unità omogenee sotto il profilo fisico-meccanico, che devono essere caratterizzate con riferimento allo specifico problema geotecnico. Nel modello geotecnico di sottosuolo devono essere definiti il regime delle pressioni interstiziali e i valori caratteristici dei parametri geotecnici.

Infine sarà definita la categoria di sottosuolo ai sensi del DECRETO 17 gennaio 2018 del MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI ed a definire l'impatto che il progetto possa avere sulle componenti geologiche e geomorfologiche dell'area.

Il Testo unico definisce le procedure con cui effettuare una modellazione geologica e geotecnica del sito interessato da opere interagenti con i terreni e rocce. Perciò in ottemperanza alle prescrizioni del suddetto decreto sono state svolte delle indagini per la caratterizzazione dell'area in oggetto, per la definizione del modello geologico del terreno, per la definizione delle caratteristiche geotecniche, definizione dei caratteri

Progetto Definitivo "BRINNISI"

Relazione geologica, idrogeologica e sismica

stratigrafici, litologici, strutturali, idrogeologici, geomorfologici. Il programma delle indagini è stato articolato come segue:

- Consultazione dei dati geotecnici stratigrafici e idrogeologici relativi a indagini eseguite dallo scrivente su tutto il territorio di Francavilla Fontana;
- Rilievo geologico e geomorfologico;
- Prove di laboratorio su litotipi calcarei nelle vicinanze del sito.

In particolare l'indagine eseguita nel rispetto dei Punti 6.2.1 e 6.2.2 delle NTC - D.M. 17/01/2018 è stata mirata alla definizione delle successioni stratigrafiche e dei rapporti intercorrenti tra i vari litotipi che direttamente o indirettamente condizionano le opere in progetto, individuando in particolare:

- la stratigrafia dell'area e l'eventuale spessore dei terreni di copertura da sbancare;
- presenza o meno di falda d'acqua superficiale.
- le caratteristiche meccaniche e la capacità portante del banco di fondazione;
- categoria del suolo e Vs30 determinata mediante l'esecuzione di rilievi tromografici con l'ausilio di Tromino.

Esso è articolato come segue:

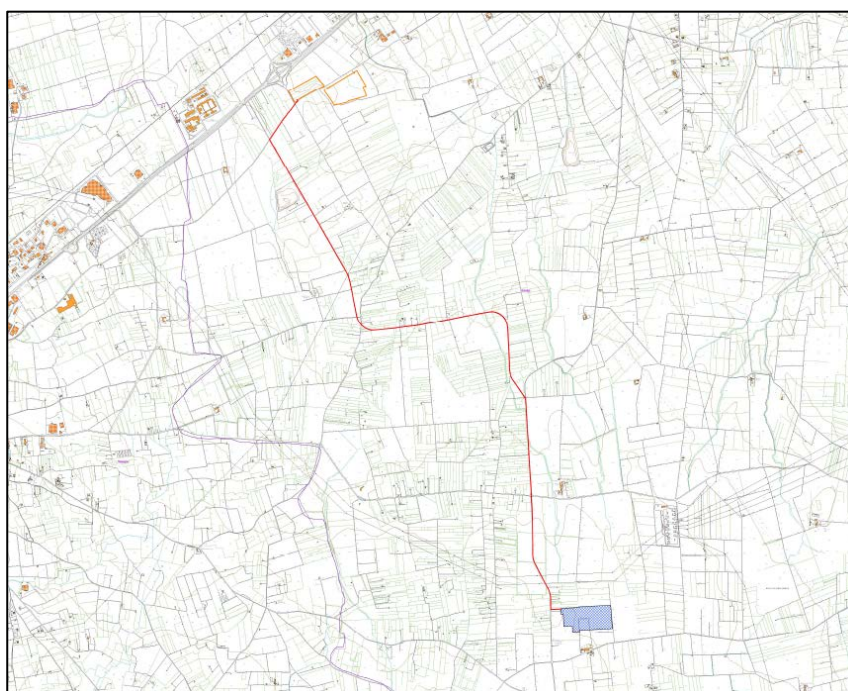
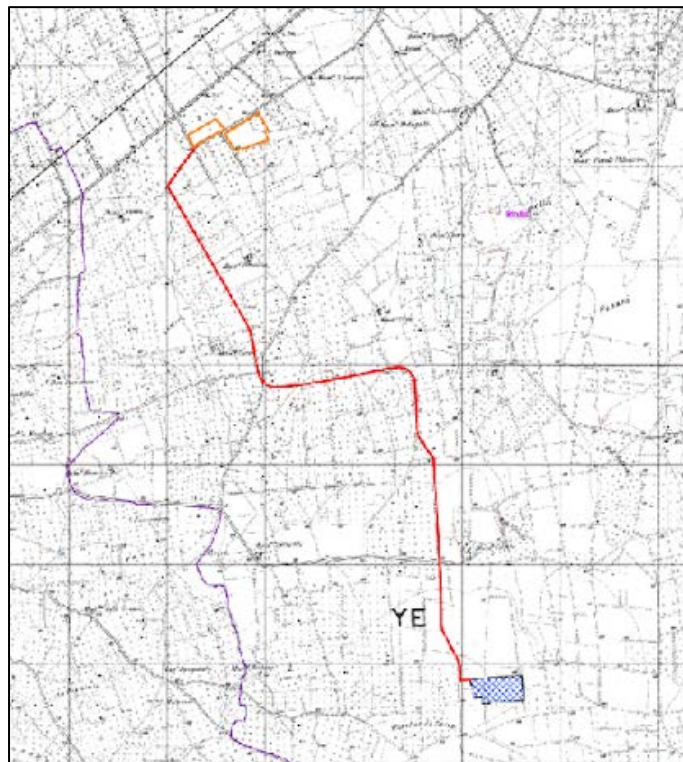
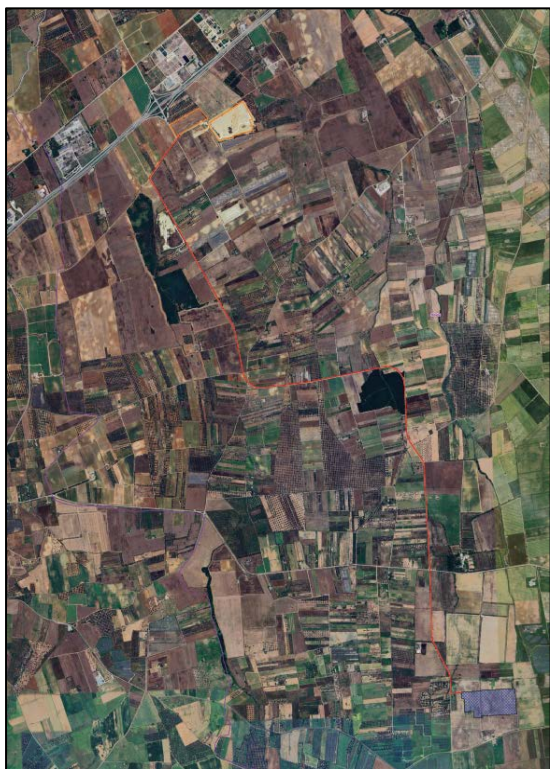
- Consultazione della documentazione bibliografica storica esistente;
- Consultazione di indagini sismiche e geognostiche eseguite dallo scrivente sul territorio del Comune di Francavilla Fontana;
- Esecuzione di una campagna sismica mediante tromografo portatile;
- Verifica del punto B.3 - Ampiezza dell'indagine: atteso che la norma prevede *"che lo studio geotecnico deve essere esteso alla parte del sottosuolo influenzata, direttamente o indirettamente, dalla costruzione del manufatto e che influenza il comportamento del manufatto stesso (volume significativo). L'ampiezza dell'indagine deve perciò essere proporzionata alle dimensioni, al tipo, alle caratteristiche strutturali, all'importanza dell'opera, alla complessità del sottosuolo ed allo stato delle conoscenze sulla zona in esame"*.

Progetto Definitivo "BRINNISI"

Relazione geologica, idrogeologica e sismica

2 LOCALIZZAZIONE DEL PROGETTO

Nelle seguenti immagini è riportato l'inquadramento su ortofoto, I.G.M. e C.T.R. del parco fotovoltaico e dell'elettrodotto AT interrato di connessione.



Inquadramento su ortofoto, I.G.M. e C.T.R.

Progetto Definitivo "BRINNISI"

Relazione geologica, idrogeologica e sismica

3 CARATTERISTICHE DEL PROGETTO

L'area interessata dal progetto è ubicata in Contrada Albanesi, SNC e consiste in una porzione del terreno identificato presso il catasto fabbricati del Comune di Brindisi (BR) al foglio di mappa 129 particella 532 sub 2 e particella 881.

L'area si colloca in Zona-E-Agricola a circa 300 metri a sud-est della S.S.7, a circa 5 km dal centro abitato di Mesagne e a 6.5 km dal centro abitato di Brindisi.



Layout impianto fotovoltaico su ortofoto

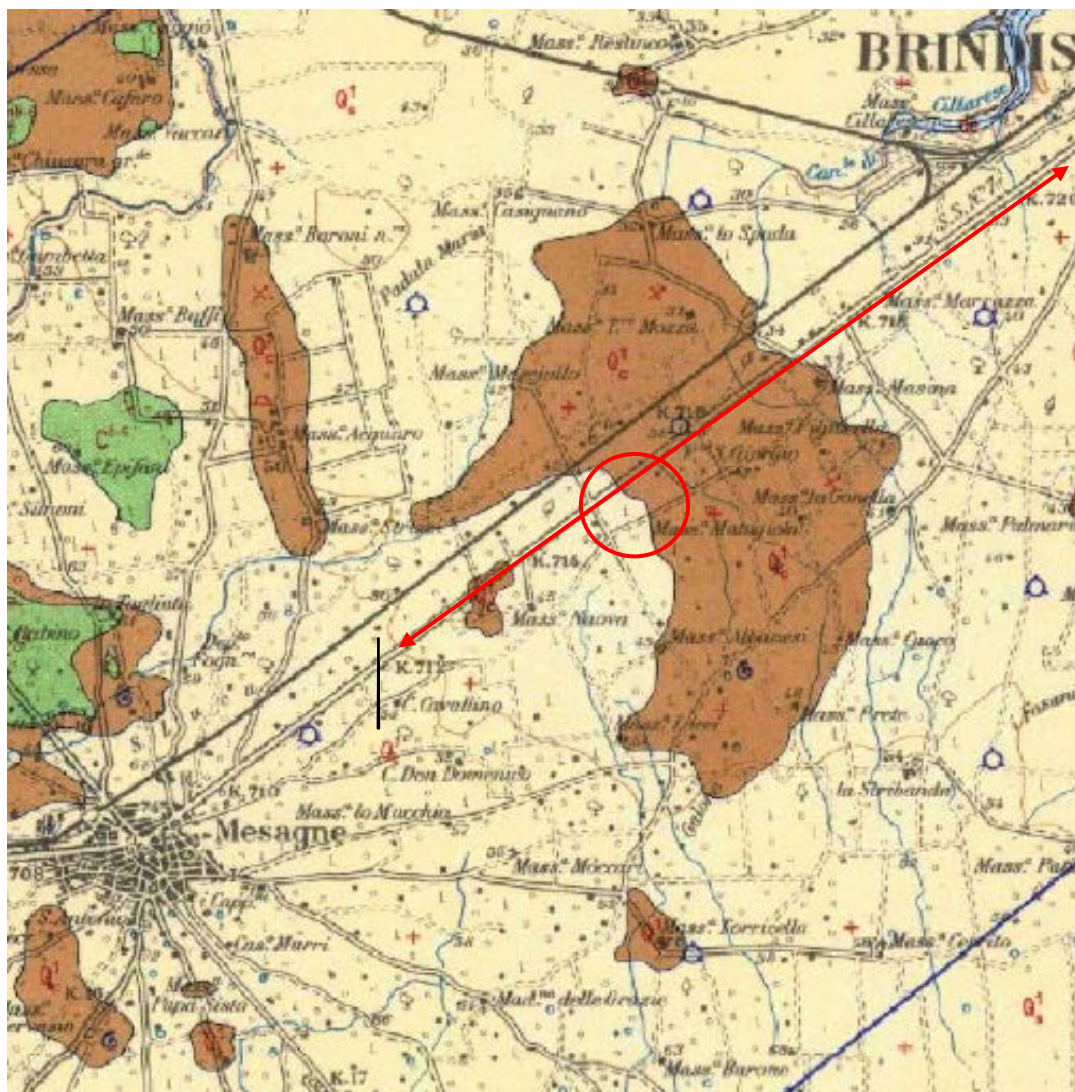
Le aree interessate dal progetto, ovvero l'Area Parco 1 e l'Area Parco 2, destinate all'installazione dei moduli solari e delle opere accessorie, non sono soggette a vincoli particolari. Per collegare l'impianto fotovoltaico alla Stazione Elettrica (SE) di Trasformazione "Brindisi Sud", l'elettrodotto di connessione attraverserà quasi esclusivamente strade pubbliche esistenti.

Progetto Definitivo "BRINNISI"

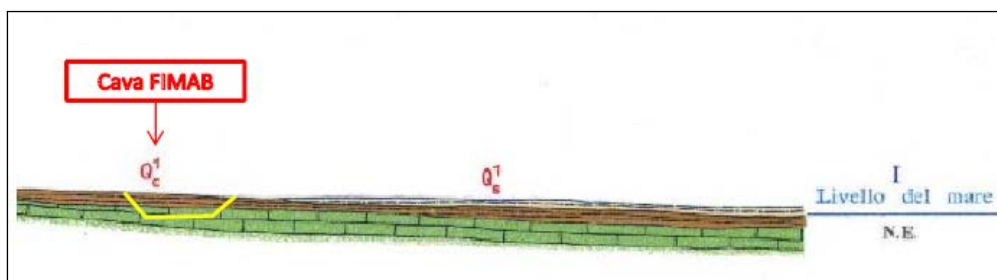
Relazione geologica, idrogeologica e sismica

4 LINEAMENTI GEOLOGICI GENERALI

In tutta l'area affiorano sedimenti sabbioso-arenitici con alternanza di livelli calcarenitici nei primi strati (Depositi Marini Terrazzati) e passanti verso il basso a marcatamente argillosi. Questi sedimenti quaternari sono poggiati in discordanza angolare sui calcari cretaci.



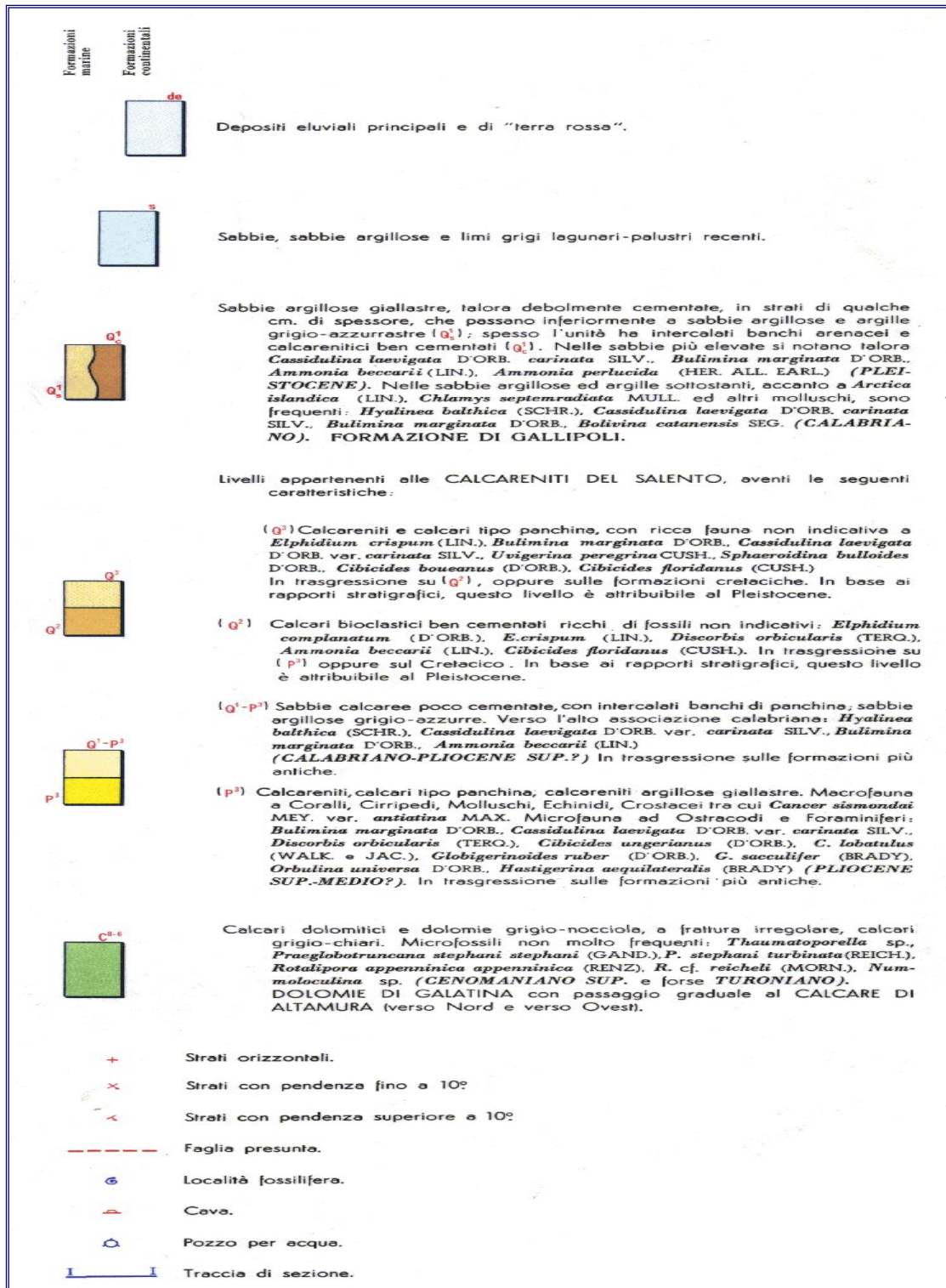
Ubicazione su Carta Geologica d'Italia (scala 1:100.000)



Sezione geologica A-A'

Progetto Definitivo "BRINNISI"

Relazione geologica, idrogeologica e sismica



Legenda da Carta Geologica d'Italia.

Come si nota dalla Carta Geologica nell'area interessata dalla cava FIMAB affiorano in "eteropia di facies", le sabbie argillose talora intercalate da vere e proprie calcareniti, e poi affiorano le argille più sabbiose e giallastre e grigio scure. Entrambe le facies sono

Progetto Definitivo "BRINNISI"

Relazione geologica, idrogeologica e sismica

sovrapposte ai calcari cretacei con una evidente lacuna stratigrafica che salta tutti i periodi che vanno dal cretaceo al pleistocene. Inoltre i calcari hanno una leggera immersione verso il mare.

Le foto e le considerazioni che seguono partono pertanto, dallo stato di fatto e da dati certi e riferiti alla cava in corso di esercizio.



Il modello stratigrafico risulta il seguente:

Progetto Definitivo "BRINNISI"

Relazione geologica, idrogeologica e sismica

0,0 – 1,0 m	terreno vegetale
1,0 – 3,0 m	sabbie e sabbie limose + arenarie a luoghi in esigui spessori cementati, di colore giallo paglierino (strato cosiddetto "di panchina") appartenenti ai D.M.T.
3,0 – 15,0 m	argille da gialle a grigio-azzurre
15,0 – 16,5 m	calcarenite di Gravina
16,5 – 17,0 m	paleosuolo costituito da uno strato di terra rossa molto compatto, diagenizzato, impermeabile
oltre 17,00 m	calcarei cretacici molto compatti e di colore biancastro.

Le caratteristiche giacimentologiche dei litotipi affioranti sono le seguenti:

Sabbie, sabbie limose e arenarie da poco a mediamente cementate: sabbie giallastre a deposizione massiva, intercalate da strati più compatti e litici ma facilmente sgretolabili (panchina). La granulometria è media e vengono richieste per la realizzazione di sottofondi strade, piste, copertura di rifiuti in discariche. Questa litologia nel suo insieme appartiene ai depositi marini terrazzati (DTM).

Argille: sia quelle di colore giallo che quelle grigio-azzurre, possiedono un grado di permeabilità bassissimo e per tale motivo si prestano ad essere utilizzate per la realizzazione dello strato impermeabile di copertura o di fondo, di discariche.

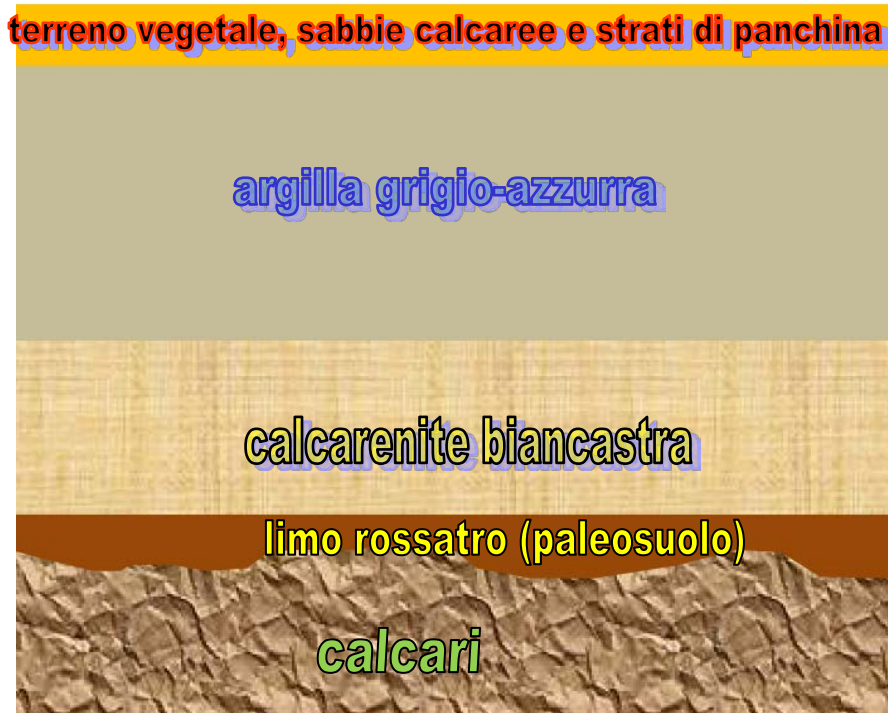
Calcareniti: depositate a cavallo tra il pliocene ed il pleistocene in discordanza angolare sui calcari, cioè non in continuità di sedimentazione con questi.

Terre rosse: è lo strato di alterazione dei calcari, prima della deposizione dei terreni calcarenitici e costituiscono il vecchio suolo che ricopriva i calcari nel periodo di emersione (tra il cretaceo e il plio-pleistocene).

Calcari: costituiscono il substrato geologico antico (cretacico) sul quale, dopo una lunga emersione ed evoluzione tettonica, si sono depositati in trasgressione (in assetto orizzontale) i sedimenti plio-pleistocenici (calcareniti, argille e sabbie).

Progetto Definitivo "BRINNISI"

Relazione geologica, idrogeologica e sismica



Schema stratigrafico della cava FIMAB di C.da Albanesi

Foto che ritrae lo schema stratigrafico descritto

Saggi effettuati alla base del banco argilloso. Si evince chiaramente la presenza di uno strato calcarenitico plio-pleistocenico (Calcarenite di Gravina). Al disotto del quale la presenza dello strato di alterazione dei calcari costituito da limi rossi impermeabili (paleosuolo).



Progetto Definitivo "BRINNISI"

Relazione geologica, idrogeologica e sismica

5 CARATTERISTICHE IDROGEOLOGICHE DELL'AREA

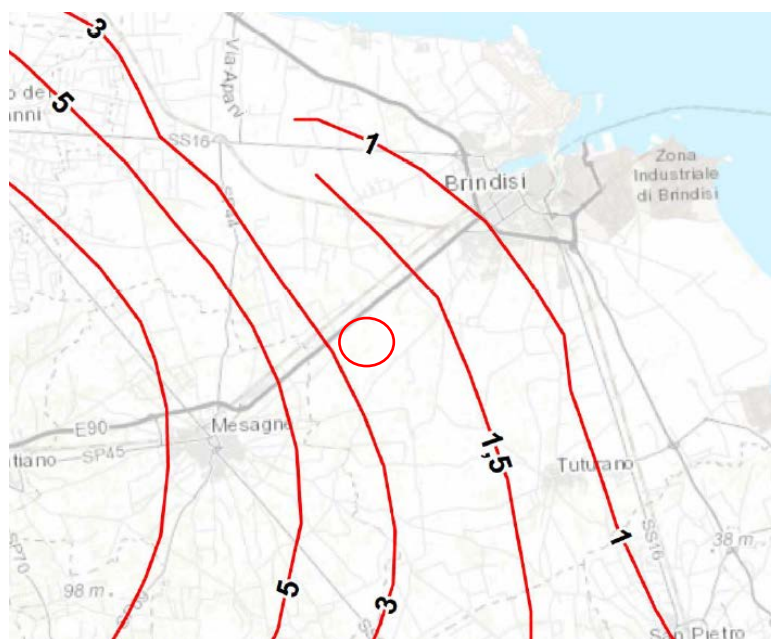
Nelle aree interessate si riscontra la sola falda profonda carsica.

La quota topografica media dell'area si aggira intorno ai 39-40 m s.l.m.



La falda carsica si presume sia posizionata a circa 35-40 metri dal p.c. (Cfr. Carta dell'andamento della superficie piezometrica della falda - P.T.A. Regione Puglia).

La superficie piezometrica della falda carsica ricalca, attenuandolo, il profilo topografico, con cadente mediamente pari all'1%.



Carta dell'andamento della superficie piezometrica della falda (da PTA Regione Puglia).

 **Area interessata dal parco fotovoltaico**

Progetto Definitivo "BRINNISI"

Relazione geologica, idrogeologica e sismica

6 DESCRIZIONE ED INTERPRETAZIONE DEI RISULTATI DELLE INDAGINI GEOGNOSTICHE IN SITO E DEI CERTIFICATI DELLE PROVE DI LABORATORIO SUI TERRENI E SULLE ROCCE, ATTESTANTI, IN RELAZIONE ALLA LORO NATURA LITOLOGICA, I PARAMETRI GEOTECNICI.

Le indagini geognostiche e geofisiche svolte sull'area dallo scrivente, sono le seguenti:

6.1 Indagine sismica

La caratterizzazione sismica è stata eseguita mediante l'analisi dei microtremori in base all'esecuzione di n.6 postazioni. Essa viene effettuata utilizzando la strumentazione classica per la prospezione sismica a rifrazione disposta sul terreno con array lineare, a 12 geofoni; per ottenere una buona risoluzione in termine di frequenza, oltre ad utilizzare geofoni con bassa frequenza di risonanza (4-14 Hz raccomandati), è indispensabile allungare il tempo di registrazione (15-30s) rispetto alla sismica a rifrazione tradizionale.

Si possono così registrare onde di superficie il cui contenuto in frequenza copre un range da 25-30Hz fino a 2 Hz che, in condizioni ottimali, offre una dettagliata ricostruzione dell'andamento delle Vs relativamente ai primi cento metri di profondità. Si tratta di una modellazione del sottosuolo mediante l'analisi delle onde di Rayleigh. Per rilevare onde sismiche trasversali, anche la sorgente energizzante deve generare onde a prevalente componente di taglio.

Per tale motivo è stato utilizzato un sismografo della Geometrics "modello GEODE" con geofoni da 4.5 Hz.

Recenti studi hanno consentito di creare un modello matematico anche per trattare le onde S, cercando di godere del vantaggio della elevata energia associata a questo tipo di propagazione.

L'analisi delle onde S mediante tecnica ReMi viene eseguita mediante la trattazione spettrale del sismogramma, cioè a seguito di una trasformata di Fourier, che restituisce lo spettro del segnale. In questo dominio, detto dominio trasformato, è semplice andare a separare il segnale relativo alle onde S da altri tipi di segnale, come onde P, propagazione in aria, ecc.

Progetto Definitivo "BRINNISI"

Relazione geologica, idrogeologica e sismica

L'osservazione dello spettro consente di notare che l'onda S si propaga a velocità variabile a seconda della frequenza dell'onda stessa, questo fenomeno è detto dispersione, ed è caratteristico di questo tipo di onde.

La teoria sviluppata suggerisce di caratterizzare tale fenomeno mediante una funzione detta curva di dispersione, che associa ad ogni frequenza la velocità di propagazione dell'onda. Tale curva è facilmente estraibile dallo spettro del segnale poiché essa approssimativamente posa sui massimi del valore assoluto dello spettro.

L'elaborazione del segnale consiste nell'operare una trasformata bidimensionale "slowness-frequency"(p-f) che analizza l'energia di propagazione del rumore in entrambe le direzioni della linea sismica e nel rappresentarne lo spettro di potenza su un grafico p-f.

Nell'immagine che si ottiene, è possibile un riconoscimento visivo delle onde di Rayleigh, che hanno carattere dispersivo.

A questo punto l'operatore, in maniera arbitraria ed in base all'esperienza, esegue un "picking" attribuendo ad un certo numero di punti una o più slowness (p o 1/velocità di fase) per alcune frequenze.

Tali valori vengono in seguito plottati su un diagramma periodo-velocità di fase per l'analisi della curva di dispersione e l'ottimizzazione di un modello diretto.

La curva di dispersione in realtà può non essere così facile da estrarre, questo perché dipende molto dalla pulizia dei dati e da quanto disturbano gli altri segnali presenti nel sismogramma. Ecco perché questa fase in realtà deve essere considerata una interpretazione, e per questo i migliori software di analisi di dati ReMi consentono di modificare anche manualmente la curva di dispersione per soddisfare le esigenze dell'utente più esperto.

I dati selezionati dall'immagine p-f vengono plottati su un diagramma nel quale compare anche una curva di dispersione calcolata a partire da un modello di Vs che è modificabile dall'interprete. Variando il numero di strati, la loro velocità e la densità nel modello, la curva di dispersione calcolata viene adattata fino a farla aderire il più possibile a quella sperimentale ottenuta con il picking

La curva di dispersione calcolata, approssimativamente coincidente con la curva sperimentale, viene associata ad un modello sintetico.



Progetto Definitivo “BRINNISI”

Relazione geologica, idrogeologica e sismica

Questa delicata seconda fase di interpretazione è comunemente detta fase di inversione, e dipendentemente dal software usato può anch’essa avvenire in maniera automatica e/o manuale.

Entrambe le due fasi di interpretazione, per quanto debbano seguire le linee guida dettate dalla teoria, devono rigorosamente essere controllate accuratamente dall’utente poiché non è possibile affidarsi completamente ad un sistema automatico che lavora alla ricerca della soluzione matematicamente migliore.

La Vs30 è stata calcolata con la seguente espressione

$$Vs_{30} = \frac{30}{\sum hi/Vi}$$

Le categorie di suolo individuate dal DECRETO 17 gennaio 2018 del MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI, recante “Norme Tecniche per le costruzioni” sono le seguenti:

Tab. 3.2.II – Categorie di sottosuolo che permettono l’utilizzo dell’approccio semplificato.

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

I risultati ottenuti sono i seguenti:

	S1	S2	S3	S4	S5	S6
Vs30 (m/s)	242	277	317	324	353	335
Categoria di suolo	C	C	C	C	C	C

Tab.1

Progetto Definitivo "BRINNISI"

Relazione geologica, idrogeologica e sismica

Il territorio comunale di Brindisi è classificato sismico ai sensi dell'O.P.C.M. n. 3274 del 23.03.2003 la quale riclassifica l'intero territorio nazionale. In tale quadro il Comune di Brindisi ricade in zona sismica 4.

L'O.P.C.M. 3519 del 28 Aprile 2006 ha definito i "Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone (G.U. n.108 del 11/05/2006)"

La mappa riportata di seguito individua la pericolosità sismica espressa in termini di accelerazione del suolo (a_g), con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni, riferita ai suoli rigidi caratterizzati da $V_{s30} > 800$ m/s (ovvero categoria A).

Il comune di Brindisi rientra in un'area caratterizzata da valori di accelerazione del suolo (a_g) compresa tra 0.025 e 0.050 m/s.

Nella seguente Tabella 2 è individuata ciascuna zona secondo valori di accelerazione di picco orizzontale del suolo a_g , con probabilità di superamento del 10% in 50 anni.

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

Tabella 2

Con l'entrata in vigore del DECRETO 17 gennaio 2018 del MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI, infatti, la stima della pericolosità sismica viene definita mediante un approccio "sito dipendente" e non più tramite un criterio "zona dipendente". L'azione sismica di progetto in base alla quale valutare il rispetto dei diversi stati limite presi in considerazione viene definita partendo dalla "pericolosità di base" del sito di costruzione, che è l'elemento essenziale di conoscenza per la determinazione dell'azione sismica.

Progetto Definitivo "BRINNISI"

Relazione geologica, idrogeologica e sismica

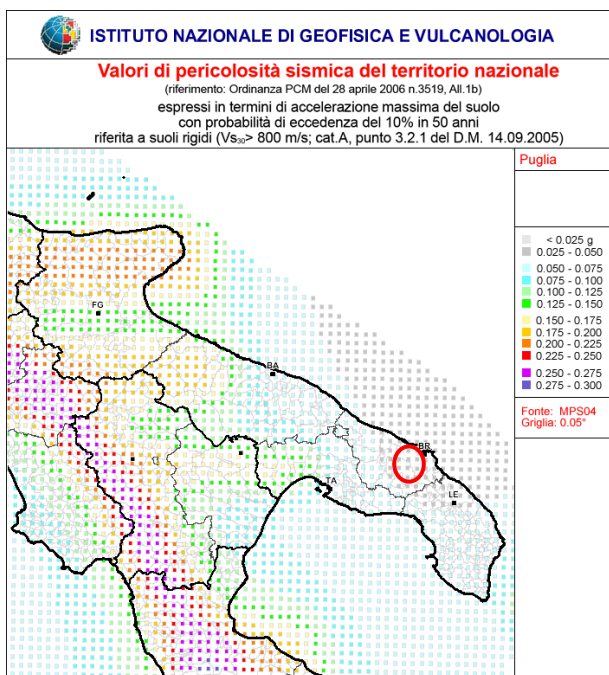


Fig.5 Valori di pericolosità sismica

Le risultanze dell'indagine sismica evidenziano esattamente le caratteristiche riportate in appresso:

TIPO DI SUOLO	Vs min [m/s]	Vs media [m/s]	Vs max [m/s]
ROCCE MOLTO DURE (es. rocce metamorfiche molto - poco fratturate)	1400	1620	-
ROCCE DURE (es. graniti, rocce ignee, conglomerati, arenarie e argilliti, da mediamente a poco fratturate).	700	1050	1400
SUOLI GHIAIOSI e ROCCE DA TENERE A DURE (es. rocce sedimentarie ignee tenere, arenarie, argilliti, ghiaie e suoli con > 20% di ghiaia).	375	540	700
ARGILLE COMPATTE e SUOLI SABBIOSI - GHIAIOSI (es. ghiaie e suoli con < 20% di ghiaia, sabbie da sciolte a molto compatte, limi e argille sabbiose, argille da medie a compatte e argille limose).	200	290	375
TERRENI TENERI (es. terreni di riempimento sotto falda, argille da tenere a molto tenere).	100	150	200

	S1	S2	S3	S4	S5	S6
Vs30 (m/s)	242	277	317	324	353	335

Progetto Definitivo "BRINNISI"

Relazione geologica, idrogeologica e sismica

6.2 Indagini Penetrometriche Dinamiche continue (DPSH)

Per individuare le caratteristiche geotecniche del terreno interessato dalla realizzazione dell'ampliamento, si è proceduto con l'esecuzione di n.2 prove penetrometriche dinamiche continue.

Il sondaggio penetrometrico dinamico consiste nell'infiggere nel terreno una punta conica battendo sulle aste con un maglio a caduta libera e contando il numero di colpi necessari all'avanzamento della punta, di successive quantità costanti.

Le prove sono state eseguite con un penetrometro TG 63-200 della PAGANI, le cui caratteristiche tecniche sono di seguito riportate:

- Maglio a caduta libera Kg 63.5
- Aste in acciaio speciale $\phi = 50.8$ mm; L = 100 cm; Kg = 4.6
- Punta conica della superficie 20.43 cm²;
- Altezza di caduta libera maglio 75 cm.

Le risultanze indicano una sequenza di terreni sciolti con capacità portante mediocre.

In particolare:

- per la SPT1: N° di Colpi tra 0-5 con punte massime di resistenza tra i 5 e 7 m e tra gli 8 e 9 m (N° di Colpi tra 5-15) probabilmente dovute alla presenza di livelli appena piu' consistenti di sabbie consolidate.
- per la SPT2: stessa situazione del SPT1, con un massimo intorno ai 5m di profondità che ha restituito un N° di Colpi fino a 35.

6.3 Caratterizzazione geotecnica dei litotipi affioranti

I campionamenti di argilla sono stati svolti in cava. I campioni sottoposti a prove di laboratorio a cura di GEOPROVE s.a.s. hanno restituito i parametri di cui ai certificati allegati.

I terreni affioranti risultano essere sabbie, sabbie debolmente limose ed argille, che presentano le caratteristiche geotecniche riportate nelle tabelle seguenti:

Progetto Definitivo "BRINNISI"

Relazione geologica, idrogeologica e sismica

<p><i>Sedimenti sabbiosi sciolti più o meno limosi appartenenti alla Formazione dei Depositi Marini Terrazzati. Talvolta intercalati da esigue lenti di sabbie concrezionate dette "panchina".</i></p> <p><i>Caratteristiche geotecniche:</i></p>			
		<i>SPT1</i>	<i>SPT2</i>
	<i>Angolo di attrito (°)</i>	<i>32.65</i>	<i>31.58</i>
	<i>Peso di Volume(t/mc)</i>	<i>1.92</i>	<i>1.82</i>
	<i>Peso di Volume saturo(t/mc)</i>	<i>1.96</i>	<i>1.94</i>
	<i>Modulo di Poisson</i>	<i>0.32</i>	<i>3.33</i>

Tab.3

Le **sabbie**, presenti immediatamente al di sotto di una copertura discontinua di terreno vegetale sono riferite in letteratura al Pleistocene e presentano percentuali delle differenti componenti l'assortimento granulometrico alquanto variabili (sabbia dal 46 a 67%, limo dal 7 al 27%, frazione argillosa dall' 8 al 18%; la ghiaia presenta valori generalmente più dispersi e non significativi). La ricerca delle caratteristiche fisiche di detti terreni ha restituito i seguenti valori medi:

- contenuto naturale in acqua oscillante intorno al 18%;
- indice dei vuoti compreso tra 0.6 e 0.7
- peso specifico del secco presenta valori medi di **1.80 – 1,90 t/m³**.

Le prove meccaniche, consistite in determinazioni di resistenza al taglio alla scatola di Casagrande, restituiscono valori di:

- coesione molto bassi (**da 0,15 a 0.60 kg/cm²**);
- valori medi dell'angolo di attrito interno compresi tra **31° e 32°**.

Per quanto riguarda **le argille** si riportano i valori caratteristici di campioni prelevati in cava ad una profondità di circa 7m e 12 m mediante carotiere portatile:

Le caratteristiche meccaniche sono le seguenti:

- **Angolo di attrito: 22,5**
- **Modulo di Poisson: 0,64**
- **Coesione non drenata (t/mq): 10,1**

Progetto Definitivo "BRINNISI"

Relazione geologica, idrogeologica e sismica

CARATTERISTICHE FISICHE

Umidità naturale	17.9	%
Peso di volume	16.2	kN/m ³
Peso di volume secco	13.8	kN/m ³
Peso di volume saturo	18.6	kN/m ³
Peso specifico	26.9	kN/m ³
Indice dei vuoti	0.952	
Porosità	48.8	%
Grado di saturazione	51.5	%
Limite di liquidità	53.7	%
Limite di plasticità	26.6	%
Indice di plasticità	27.1	%
Indice di consistenza	1.32	
Passante al set. n° 40	SI	
Limite di ritiro		%
CNR-UNI 10006/00	A7-6	I.G. = 18

Tab.4



campionamenti

Progetto Definitivo "BRINNISI"

Relazione geologica, idrogeologica e sismica

7 VERIFICA DI STABILITÀ DEI FRONTI DI SCAVO

Per la verifica di stabilità a breve termine, in condizioni non drenate, di un pendio omogeneo con geometria regolare e di altezza limitata come quelli in oggetto generati dagli scavi per la coltivazione della cava di argilla e sabbie avente peso di volume γ e resistenza al taglio costante con la profondità, $\tau_f = c_u$, è stata utilizzata la soluzione di Taylor (1937).

7.1 Stabilità del pendio di sabbie (deposito dotato di coesione e attrito)

La soluzione di Taylor per un pendio di terreno omogeneo dotato di coesione e attrito, così come il primo fronte della cava, è basata sul metodo del cerchio d'attrito, schematicamente illustrato in Figura 2.

Il raggio della superficie di scorrimento potenziale è indicato con R . Il cerchio d'attrito è concentrico alla superficie circolare di scorrimento ed ha raggio $R \sin \phi$. Ogni linea tangente al cerchio d'attrito che interseca la superficie di scorrimento, forma con la normale ad essa un angolo ϕ . Pertanto in ogni punto della superficie di scorrimento, la direzione della tensione mutua (somma dello sforzo normale e della tensione tangenziale dovuta all'attrito), in condizioni di equilibrio limite, forma un angolo ϕ con la normale

alla superficie ed è tangente al cerchio d'attrito. Per un assegnato valore di ϕ l'altezza critica del pendio è data dall'equazione:

$$H_c = N_s c/\gamma$$

Il valore del fattore di stabilità N_s è funzione degli angoli β e ϕ

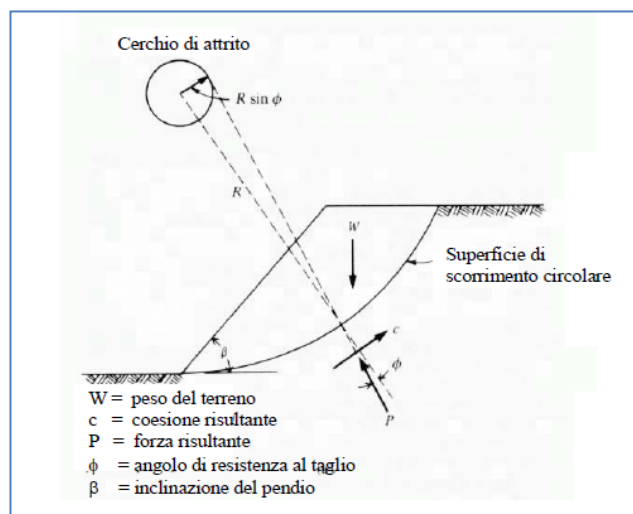


Figura 1: Schema del metodo del cerchio d'attrito

Progetto Definitivo "BRINNISI"

Relazione geologica, idrogeologica e sismica

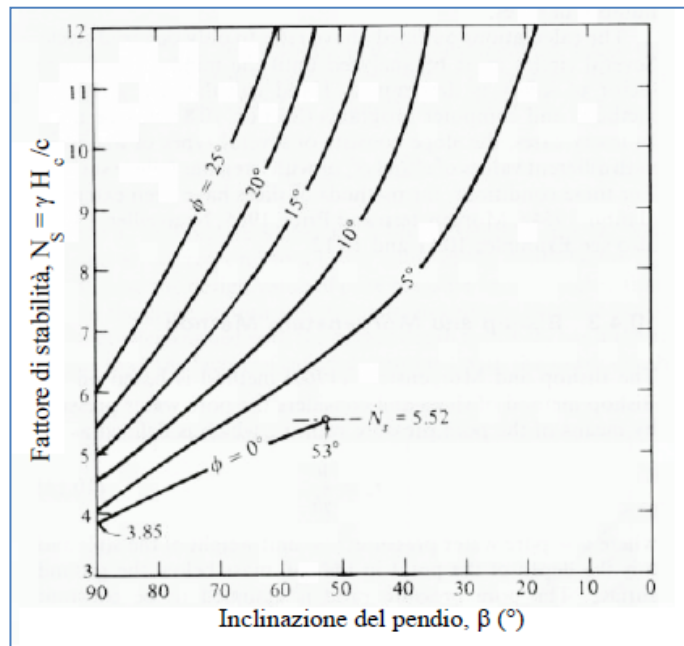


Figura 2: Carta di stabilità di Taylor per pendii di terreno dotato di coesione e attrito

Al fine di procedere all'applicazione delle suddette equazioni è necessario calcolare i coefficienti parziali da applicare ai parametri geotecnici (c_u e γ) secondo i criteri riportati nelle "Norme tecniche per le costruzioni" emanate con D.M. 14/01/2008 ed in particolare al Capitolo 6 - Progettazione Geotecnica - per quanto concerne la stabilità dei pendii e le opere di materiali sciolti. Il fattore di sicurezza minimo da applicare alla resistenza a taglio allo SLU in condizioni non drenate è quello relativo alla combinazione A2+M2+R2. Essa prevede di adottare un valore di progetto della resistenza a taglio pari al valore di riferimento ridotto di un fattore parziale pari a $\gamma_{cu}=1.4$ (Approccio 1 – Combinazione A2+M2) e di conseguire nella verifica di stabilità allo stato limite ultimo (SLU) un coefficiente di sicurezza globale non inferiore a $\gamma_{R2}=1.1$.

PARAMETRO	GRANDEZZA ALLA QUALE APPLICARE IL COEFFICIENTE PARZIALE	COEFFICIENTE PARZIALE γ_M	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \phi'_k$	$\gamma_{\phi'}$	1,0	1,25
Coesione efficace	c'_k	γ_c	1,0	1,25
Resistenza non drenata	c_{uk}	γ_{cu}	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	γ	γ_γ	1,0	1,0

Figura 3: Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Progetto Definitivo "BRINNISI"

Relazione geologica, idrogeologica e sismica

Ne consegue, in termini complessivi, un fattore di sicurezza da applicare al valore dell'angolo di attrito pari a:

$$\phi'_p = \arctg (tg 31^\circ / 1,25) = 26^\circ$$

un valore della coesione c

$$c = 1,5 / \gamma_c = 1,5 / 1,25 = 1,2 \text{ t/mq}$$

Il valore del peso dell'unità di volume (γ) rimane invariato poiché il coefficiente parziale corrispondente è pari a 1, ossia pari a 1,8 t/m³.

Le verifiche di stabilità dei fronti in sabbie della cava sono state eseguite partendo dalla stima del fattore di Stabilità "N" attraverso la carta di stabilità di "Taylor" di figura 2. Successivamente è stata calcolata l'altezza critica e il fattore di sicurezza secondo le formule di seguito riportate.

$$H_c = N c / \gamma$$

$$F_s = H_c / H$$

I calcoli sono stati svolti considerando il nuovo valore dell'angolo di attrito di progetto ossia di 26° e della coesione 1,2 t/mq.

Quindi considerando un valore del fattore di stabilità pari a N=15

e un'altezza del pendio in sabbia di H = 3 m

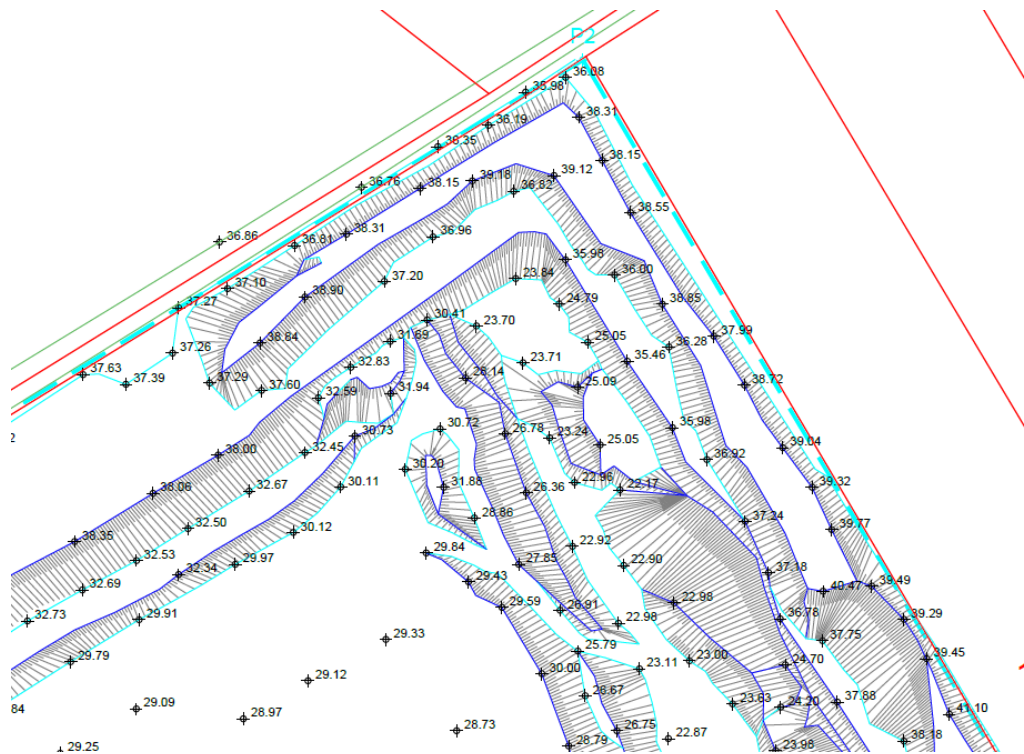
Ne consegue un valore dell'altezza critica Hc = 10 e un Fattore di sicurezza Fs di 3,3.

7.2 Stabilità del pendio in argilla (depositi dotati di coesione)

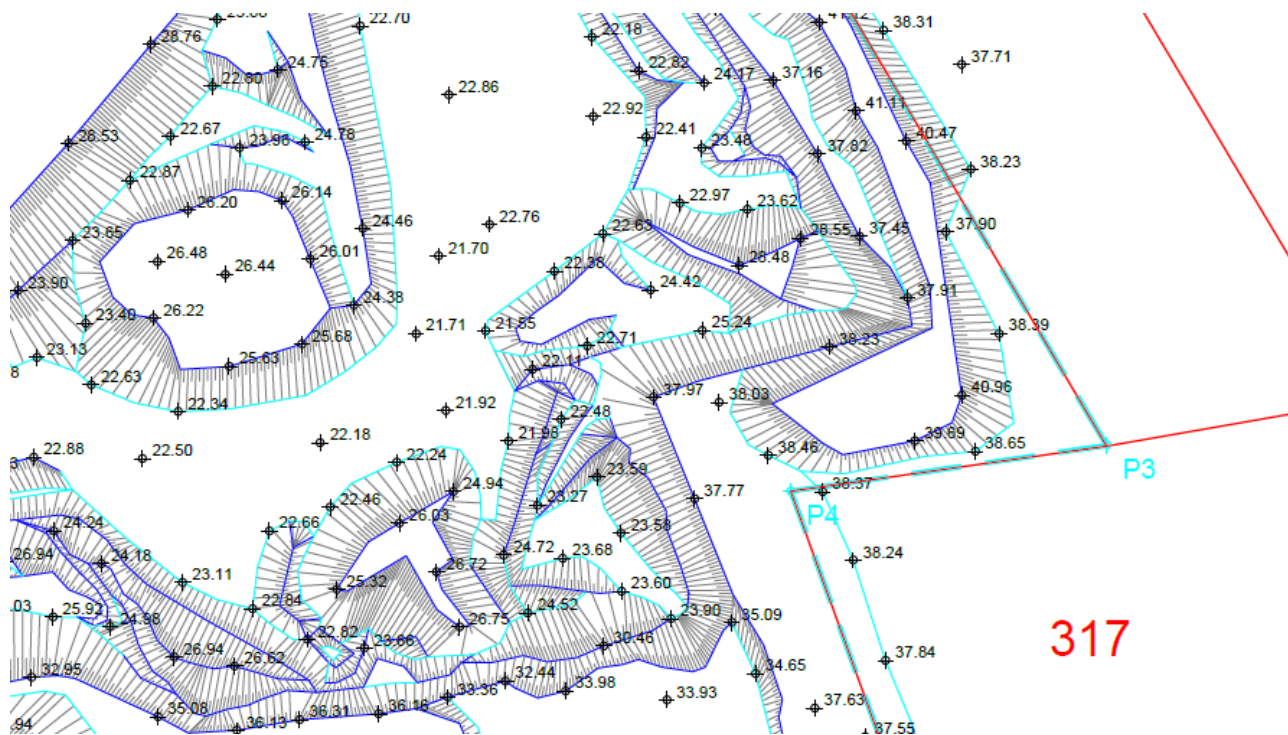
Lo schema geometrico durante le operazioni di estrazione è il seguente:

Progetto Definitivo "BRINNISI"

Relazione geologica, idrogeologica e sismica



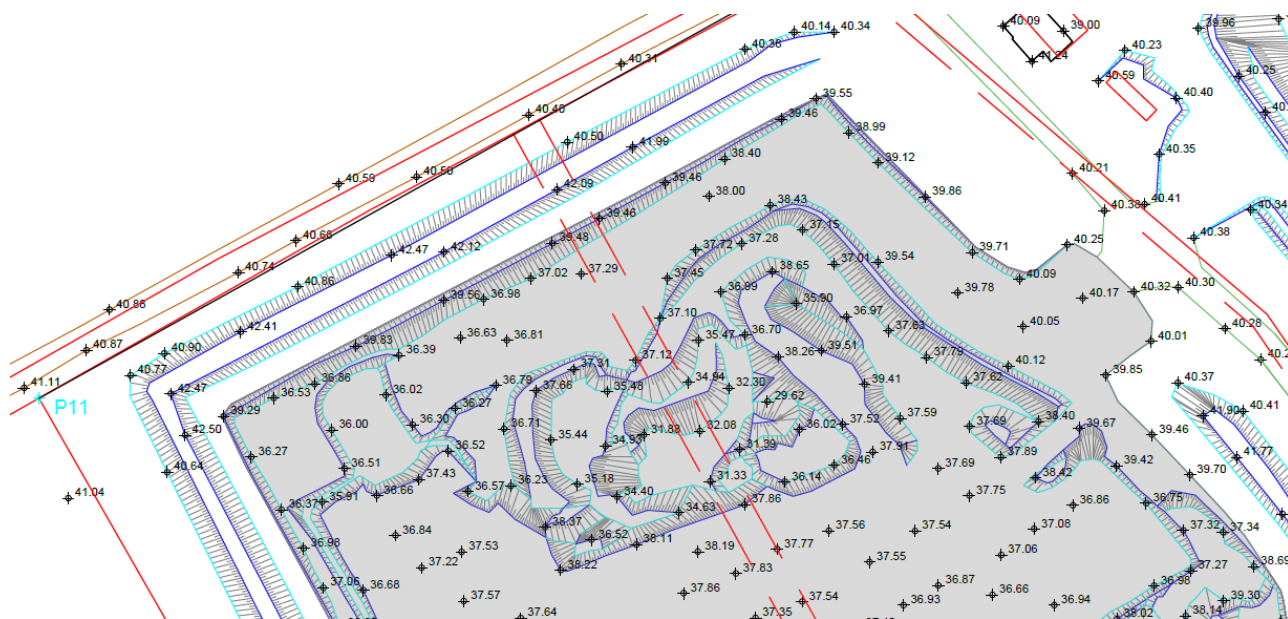
Parete NW Lotto 1 al termine dell'estrazione



Parete SW Lotto 1 al termine dell'estrazione

Progetto Definitivo "BRINNISI"

Relazione geologica, idrogeologica e sismica



Parete Lotto 2 in corso di estrazione

ove a solo titolo di esempio, è rappresentata una rottura di base ed il corrispondente cerchio medio.

Il tipo di rottura e la posizione del cerchio critico dipendono, come è possibile desumere dalla Figura 3, dall'inclinazione β del pendio e dal fattore di profondità n_d , che è il rapporto adimensionale fra la profondità H_1 di un eventuale strato rigido di base e l'altezza H del pendio.

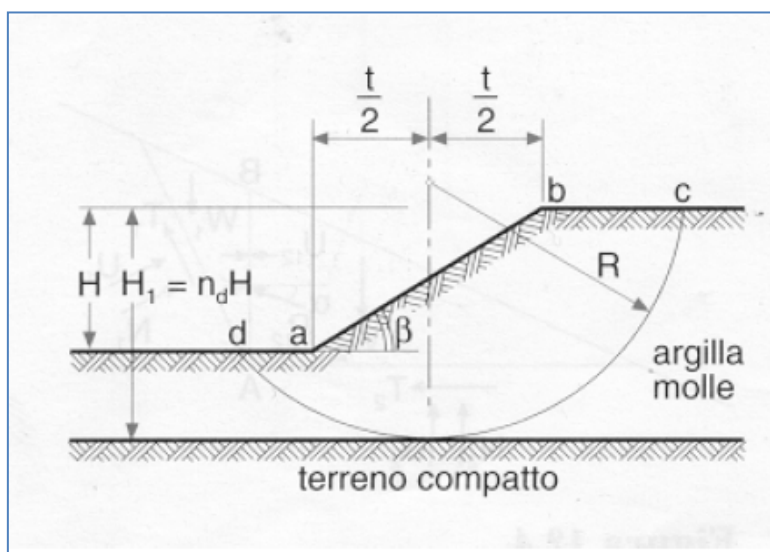


Figura 4: Schema geometrico di riferimento per la soluzione di Taylor

Progetto Definitivo "BRINNISI"

Relazione geologica, idrogeologica e sismica

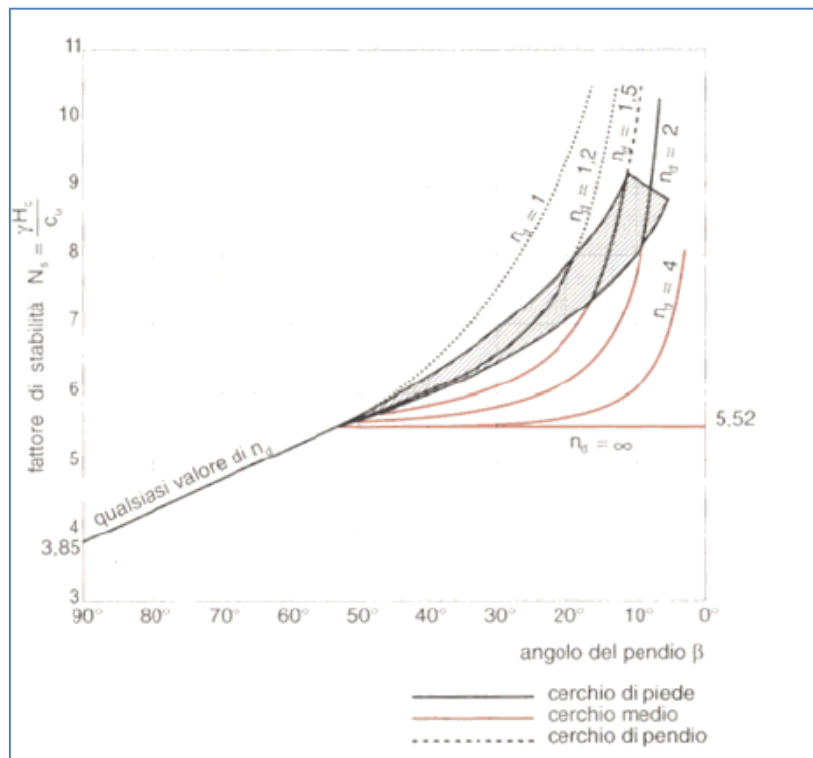


Figura 5: Carta di stabilità di Taylor per pendii di terreno dotato di sola coesione

In condizioni di equilibrio limite l'altezza critica del pendio vale:

$$H_c = N_s \frac{c_u}{\gamma}$$

Il fattore di stabilità N_s , adimensionale, dipende dalla geometria ed è determinabile direttamente attraverso le "curve di progetto" riportate nel grafico di Figura 4, ove è indicato anche il tipo di rottura che si determina.

In condizioni di equilibrio stabile, il coefficiente di sicurezza FS, vale:

$$F_s = H_c/H = N_s \frac{c_u}{\gamma N}$$

Al fine di procedere all'applicazione delle suddette equazioni è necessario calcolare i coefficienti parziali da applicare ai parametri geotecnici (c_u e γ) secondo i criteri riportati nelle "Norme tecniche per le costruzioni" emanate con D.M. 14/01/2008 ed in particolare al Capitolo 6 - Progettazione Geotecnica - per quanto concerne la stabilità dei pendii e le opere di materiali sciolti. Il fattore di sicurezza minimo da applicare alla resistenza a taglio allo SLU in condizioni non drenate è quello relativo alla combinazione A2+M2+R2. Essa prevede di adottare un valore di progetto della resistenza a taglio pari

Progetto Definitivo “BRINNISI”

Relazione geologica, idrogeologica e sismica

al valore di riferimento ridotto di un fattore parziale pari a $\gamma_{cu}=1.4$ (Approccio 1 – Combinazione A2+M2) e di conseguire nella verifica di stabilità allo stato limite ultimo (SLU) un coefficiente di sicurezza globale non inferiore a $\gamma_{R2}=1.1$.

PARAMETRO	GRANDEZZA ALLA QUALE APPLICARE IL COEFFICIENTE PARZIALE	COEFFICIENTE PARZIALE	(M1)	(M2)
<i>Tangente dell'angolo di resistenza al taglio</i>	$\tan \phi'_k$	$\gamma_{\phi'}$	1,0	1,25
<i>Coesione efficace</i>	c'_k	$\gamma_{c'}$	1,0	1,25
<i>Resistenza non drenata</i>	c_{uk}	γ_{cu}	1,0	1,4
<i>Peso dell'unità di volume</i>	γ	γ_{γ}	1,0	1,0

Figura 6: Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Ne consegue, in termini complessivi, un fattore di sicurezza da applicare al valore della coesione non drenata pari a:

$$\eta = \gamma_{cu} \gamma_{R2} = 1,54$$

Pertanto il valore della coesione non drenata che ne scaturisce è il seguente:

$$c_u \text{ (di progetto)} = c_u / \eta \text{ ossia } 10 \text{ t/m}^3 / 1,54 = 6,5 \text{ t/m}^3$$

Il valore del peso dell'unità di volume (saturo) (γ) rimane invariato poiché il coefficiente parziale corrispondente è pari a 1, ossia pari a $1,98 \text{ t/m}^3$.

Le verifiche di stabilità dei fronti in argilla della cava sono state eseguite partendo dalla stima del fattore di profondità “nd” che come già detto si esprime nel rapporto adimensionale fra la profondità H_1 dello strato rigido di base, nel nostro caso costituito dalla formazione delle “Calcareniti/calcarei”, e l'altezza H del pendio che è per entrambi i gradoni pari a 12 m.

$$nd_1 = H_1/H = 12\text{m}/6\text{m} = 2$$

$$nd_2 = H_1/H = 12\text{m}/6\text{m} = 2$$

Successivamente sono stati individuati grazie al grafico di Taylor, i singoli valori del fattore di stabilità N_s considerando che l'angolo di inclinazione (β) di entrambi i pendii è pari a 45° .

$$N_{s1} = 5,5$$



Progetto Definitivo "BRINNISI"

Relazione geologica, idrogeologica e sismica

$$N_{s2} = 5,8$$

Applicando le formule di Taylor, è stato possibile risalire ai valori corrispondenti delle altezze critiche e dei Fattori di sicurezza.

$$H_c = N_s \cdot c_u / \gamma$$

$$F_s = H_c / H = N_s \cdot c_u / \gamma N$$

I calcoli sono stati svolti applicando il nuovo valore della coesione non drenata di progetto

$$C_{up} = 6,5 \text{ t/ m}^3$$

La tabella 1 riporta i risultati relativi dell'analisi svolta per i fronti in argilla di altezza H non superiore a 6 m e con angolo di pendio (β) di 45°.

Altezza dei singoli pendii H1 H2 (m)	Hc (m)	Fs
6	18,82	3,31
6	19,84	3,31

Tabella 1: Valori dell'altezza critica (Hc) e del Fattore di sicurezza relativi ai singoli gradoni

Inoltre è stata svolta l'analisi di stabilità ipotizzando un unico gradone nel deposito di argille con un fronte di altezza pari alla somma dei due ossia di 12 m e con angolo di pendio (β) sempre di 45°.

Altezza del pendio	Hc (m)	Fs
12	19,84	1,65

Tabella 2: Valori dell'altezza critica (Hc) e del Fattore di sicurezza relativi ad un pendio con H di 12 m

I risultati riportati in tab.2 evidenziano una diminuzione del Fattore di sicurezza in corrispondenza di un aumento dell'altezza del pendio.

Progetto Definitivo "BRINNISI"

Relazione geologica, idrogeologica e sismica

8 CONSIDERAZIONI SUL RISPETTO DELLE NORME PREVISTE DAL D.M.11.03.1988 IN MERITO ALLE INDAGINI GEOLOGICHE E GEOTECNICHE.LE CONDIZIONI IDROGEOMORFOLOGICHE PRIMA E DOPO LA REALIZZAZIONE DELLE OPERE.

È bene richiamare preliminarmente cosa prevedono queste norme.

Dal DECRETO MINISTERO DEI LAVORI PUBBLICI 11 MARZO 1988:

A.2. Prescrizioni generali.

Le scelte di progetto, i calcoli e le verifiche devono essere sempre basati sulla caratterizzazione geotecnica del sottosuolo ottenuta per mezzo di rilievi, indagini e prove.

I calcoli di progetto devono comprendere le verifiche di stabilità e le valutazioni del margine di sicurezza nei riguardi delle situazioni ultime che possono manifestarsi sia nelle fasi transitorie di costruzione sia nella fase definitiva per l'insieme manufatto-terreno.

Le indagini svolte, ritenute adeguate alla situazione geologica e stratigrafica dell'area di progetto sono state:

- rilievo geologico di superficie fino ad un raggio di oltre 2Km dal sito, atto a definire l'estensione degli affioramenti e delle litologie presenti sul territorio;
- in base a questa prima indagine ed alla consultazione della carta geologica si è potuto appurare, senza alcun dubbio, che l'affioramento calcareo presente sull'area è in continuità stratigrafica con quello più a sud dove è presente una cava di estrazione calcari, e sulla quale lo scrivente ha condotto in passato indagini dettagliate per la caratterizzazione litologica e meccanica dei calcari estratti;
- alla luce di queste considerazioni, sono stati adottati i valori di compressione uniassiale e di peso di volume dei campioni sottoposti a prove di laboratorio geotecnico per i campioni ivi prelevati;
- anche l'indagine sismica mediante Tromino, ha dato dei risultati di Vs30 variabili tra 1150 m/s e 2246 m/s, che indicano la presenza di litotipi molto rigidi e compatti.

A.3. Elaborati geotecnici e geologici.

I risultati delle indagini, degli studi e dei calcoli geotecnici devono essere esposti in una relazione geotecnica, parte integrante degli atti progettuali. Nei casi in cui le presenti norme prescrivano uno studio geologico, deve essere redatta anche una relazione geologica che farà parte integrante degli atti progettuali.

- Sono stati riportati nella presente relazione anche le risultanze di laboratorio geotecnico per i litotipi affioranti nelle vicinanze dell'area;

Progetto Definitivo "BRINNISI"

Relazione geologica, idrogeologica e sismica

- Le strutture fotovoltaiche e le cabine che saranno installate, poggeranno sui calcari. Questi hanno caratteristiche di portanza di molto superiore ai carichi che sviluppano le strutture da installare (Cfr.Par.8).

B.2. Indagini nelle fasi di progetto e di costruzione.

Nelle fasi preliminari della progettazione si potrà far riferimento a informazioni di carattere geologico e a dati geotecnici deducibili dalla letteratura oppure noti attraverso indagini eseguite precedentemente sulla medesima area. Per il progetto di massima dovranno essere effettuate indagini geologiche e geotecniche per valutare la stabilità di insieme della zona, prima ed a seguito della costruzione dell'opera in progetto, e per individuare i problemi che la natura e le caratteristiche geotecniche dei terreni pongono nelle scelte delle soluzioni progettuali e dei corrispondenti procedimenti costruttivi anche per confrontare le soluzioni possibili.

Nella fase di progetto esecutivo le indagini devono essere dirette ad approfondire la caratterizzazione geotecnica qualitativa e quantitativa del sottosuolo per consentire la scelta della soluzione progettuale, di eseguire i calcoli di verifica e definire i procedimenti costruttivi.

Per i manufatti di materiali sciolti, l'indagine deve comprendere anche la ricerca e lo studio dei materiali da impiegare nella costruzione. Le indagini, gli studi ed i rilievi devono essere portati a termine nei tempi utili alla compilazione del progetto, salvo successivi sviluppi in relazione alle esigenze della fase costruttiva.

La validità delle ipotesi di progetto dovrà essere controllata durante la costruzione considerando, oltre ai dati raccolti in fase di progetto, anche quelli ottenuti con misure ed osservazioni nel corso dei lavori per adeguare, eventualmente, l'opera alle situazioni riscontrate.

I dati ed i calcoli geotecnici riportati nel Par.8, giustificano abbondantemente, a parere dello scrivente la situazione geologica e stratigrafica di cui ci si sta occupando.

I dati utilizzati riguardano litotipi uguali sui quali sono state effettuate indagini di dettaglio, per caratterizzarli anche geotecnicamente.

B.3. Ampiezza dell'indagine.

Lo studio geotecnico deve essere esteso alla parte del sottosuolo influenzata, direttamente o indirettamente, dalla costruzione del manufatto e che influenza il comportamento del manufatto stesso (volume significativo). L'ampiezza dell'indagine deve perciò essere proporzionata alle dimensioni, al tipo, alle caratteristiche strutturali, all'importanza dell'opera, alla complessità del sottosuolo ed allo stato delle conoscenze sulla zona in esame.

Trattandosi di rocce sciolte o parzialmente sciolte e di carichi molto piccoli, il volume significativo considerato è trascurabile, cioè non si crea neanche un vero e proprio bulbo di pressione.

B.4. Mezzi di indagine.

Il programma delle indagini deve essere formulato in base alla prevedibile costituzione del sottosuolo, tenuto conto dei problemi in esame. I mezzi di indagine devono essere scelti caso per caso in relazione alla natura ed alla successione dei terreni nel sottosuolo, alle finalità ed alle caratteristiche dell'opera.

Le indagini geotecniche comprendono tra l'altro perforazioni di sondaggi o scavi, prelievo di campioni, rilievo delle falde acquifere, prove in situ, prove in laboratorio, prospezioni geofisiche.

Il programma deve essere sufficientemente flessibile per consentire eventuali modifiche, conseguenti alle conoscenze che si otterranno nel corso delle indagini.

Progetto Definitivo "BRINNISI"

Relazione geologica, idrogeologica e sismica

Le indagini svolte sono state ipotizzate a monte dello studio, proprio per le particolari peculiarità delle rocce in affioramento e la stratigrafia dell'area, nonché la conoscenza da parte del geologo del comportamento di tali litotipi con i carichi di progetto.

B.5. Relazioni sulle indagini.

I risultati delle indagini devono essere oggetto di apposite relazioni, parte integrante del progetto.

Queste devono comprendere ed illustrare tutti i dati obiettivi e sviluppare le elaborazioni ed i calcoli necessari al fine di giungere alle scelte progettuali ed alle verifiche prescritte al punto A.2 e nelle sezioni seguenti.

*La **relazione geologica** è prescritta per le opere a cui fanno riferimento le sezioni E, F, G, H, I, L, M e O, della presente normativa e per le aree dichiarate sismiche o soggette a vincoli particolari.*

Essa deve comprendere ed illustrare la situazione litostratigrafica locale, con definizione dell'origine e natura dei litotipi, del loro stato di alterazione e fratturazione e della loro degradabilità, i lineamenti geomorfologici della zona, nonché gli eventuali processi morfologici ed i dissesti in atto o potenziali; deve precisare inoltre i caratteri geostutturali generali, la geometria e le caratteristiche delle superfici di discontinuità e fornire lo schema della circolazione idrica superficiale e sotterranea.

*La **relazione geotecnica** sulle indagini è prescritta per tutte le opere oggetto delle presenti norme.*

Essa deve comprendere ed illustrare la localizzazione della area interessata, i criteri di programmazione ed i risultati delle indagini in sito e di laboratorio e le tecniche adottate, nonché la scelta dei parametri geotecnici di progetto, riferiti alle caratteristiche della costruenda opera, ed il programma di eventuali ulteriori indagini, che si raccomandano per la successiva fase esecutiva.

Le relazioni devono essere corredate degli elaborati grafici e della documentazione delle indagini in sito ed in laboratorio necessari per la chiara comprensione dei risultati.

La caratterizzazione geotecnica e la ricostruzione geologica devono essere reciprocamente coerenti.

A tale riguardo la relazione geotecnica deve fare esplicito riferimento alla relazione geologica e viceversa.

Data la semplicità delle strutture di fondazione e la stabilità che ne deriva in base alle caratteristiche meccaniche dei litotipi riscontrati, è stata definito un unico elaborato che comprende sia la relazione geologica che quella geotecnica.

9 CONCLUSIONI

Il presente lavoro è stato svolto in ottemperanza alle prescrizioni del Testo Unico "Norme Tecniche per le costruzioni", il quale definisce le procedure per eseguire una modellazione geologica del sito interessato da opere interagenti con i terreni e rocce.

Le indagini eseguite dallo scrivente hanno consentito di giungere alle seguenti conclusioni:

1. *Il terreno che ospiterà le strutture fondali dei pannelli fotovoltaici è rappresentato da rocce sciolte con una buona capacità portante che supera 1 Kg su mq;*
2. *La falda superficiale è assente al disotto delle fondazioni dei pannelli fotovoltaici;*
3. *I parametri geotecnici caratteristici dei terreni che ospiteranno le fondazioni sono:*
 - Angolo di attrito = 26°
 - coesione c = 1,2 t/mq
 - peso dell'unità di volume (γ) 1,8 t/m³.

Progetto Definitivo "BRINNISI"

Relazione geologica, idrogeologica e sismica

4. *L'indagine REMI eseguita con Tromografo digitale "Tromino", nei pressi del sito interessato, ha permesso di classificare il sottosuolo di fondazione in esame nella **categoria C** (tab. 3.2.II delle NTC 2008) con valori della Vs30 che variano da 277 m/s a 353 m/s.*

Il geologo

Dott. Giuseppe MASILLO

