

# AGROFOTOVOLTAICO TRE TORRI AGRICOLTURA 4.0

IMPIANTO DI PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA DA FONTE FOTOVOLTAICA,  
CON PANNELLI COLLOCATI IN ALTEZZA, DI POTENZA IN GENERAZIONE  
PARI A 26,8643 MW E POTENZA IMMESSA IN RETE PARI A 25,82 MW,  
**DENOMINATO "AFV TRETORRI AGRICOLTURA 4.0"**

REGIONE PUGLIA  
PROVINCIA di BRINDISI  
COMUNI di SAN PANCRAZIO SALENTINO ed ERCHIE  
opere connesse nel COMUNE DI ERCHIE (Br) contrada "Tre Torri"  
Località ubicazione impianto AFV: Masseria Tre Torri - Erchie (Br)

PROGETTO DEFINITIVO  
Id AU 3A3A5H1



Tav.:  <b>R19</b>	Titolo:  <b>RELAZIONE GEOLOGICA-IDROGEOLOGICA-SISMICA</b>	
Scala:	Formato Stampa:	Codice Identificatore Elaborato
n.d.	A4	3A3A5H1_RelazioneGeologica_19

Progettazione:	Committente:
<b>ENERWIND s.r.l.</b> Via San Lorenzo 155 - cap 72023 MESAGNE (BR) P.IVA 02549880744 - REA BR-154453 - enerwind@pec.it <b>MSC innovative solutions s.r.l.s.</b> Via Milizia n.55 - 73100 LECCE (ITALY) P.IVA 05030190754 - msc.innovativesolutions@pec.it Ing. Santo Masilla Responsabile progetto Ing. Fabio Calcarella Dott.Marcello De Donatis - Geologo	<b>TRE TORRI ENERGIA s.r.l.</b> Piazza del Grano n.3 - 39100 BOLZANO (BZ) p. iva 0305799214 - REA BZ 283988 tretorrienergia@legalmail.it <b>SOCIETA' DEL GRUPPO</b> <b>FRI-EL GREEN POWER S.p.A.</b> Piazza della Rotonda, 2 - 00186 Roma (RM) - Italia Tel. +39 06 6880 4163 - Fax. +39 06 6821 2764 Email: Info@fri-el.it - P. IVA 01533770218

Data	Motivo della revisione:	Redatto:	Controllato:	Approvato:
Luglio 2022	Prima emissione	M.S.C. S.r.l.s.	Santo Masilla	Tre Torri Energia S.r.l.

## **PREMESSA**

Il sottoscritto, nel mese di giugno 2020, è stato incaricato dall'Ing. Fabio Calcarella, per eseguire un rilievo geo-idro-morfologico e delle indagini geognostiche su un'area sita in agro di San Pancrazio Salentino ed Erchie dove è in progetto la realizzazione di un impianto fotovoltaico denominato "Tre Torri".

L'area oggetto di studio si trova ad est di Mass.a Tra Torri di Dietro e si sviluppa in direzione nordovest-sudest per circa un km.

Il lavoro svolto dallo scrivente è consistito in:

- un rilievo di superficie finalizzato all'inquadramento geomorfologico e idrogeologico;
- tre profili sismici a rifrazione per caratterizzare meccanicamente il litotipo fondale, eseguiti il primo per una lunghezza di 44 metri, il secondo ed il terzo di 33 metri;
- un profilo sismico passivo per individuare la categoria sismica di suolo.

Al termine dei rilievi e delle indagini è stata redatta la presente relazione in cui si illustrano i risultati ottenuti dall'indagine geognostica che, integrati dalle informazioni geologiche dedotte da studi già effettuati in aree limitrofe, hanno consentito di ricostruire la situazione geostratigrafica dell'area.

***Lo studio e quindi la relazione redatta, si riferiscono all'impianto fotovoltaico ed alla sua cabina di connessione che, nel caso in esame, si trova a circa 20.0 metri dall'impianto.***

## CARATTERI MORFOLOGICI E GEOLOGICI

L'area indagata rientra nel foglio 203 tavoletta Brindisi, della Carta Geologica d'Italia scala 1:100.000.

Essa è posizionata ad est di Mass.a Tre Torri di Dietro, ad una quota topografica variabile da 62.0 metri s.l.m. a circa 58.0 m, spostandosi in direzione sudest.

La morfologia dell'area è piuttosto pianeggiante, degradante leggermente verso sudest.

Da un punto di vista geologico, il rilievo ha evidenziato nell'area in esame l'esistenza in affioramento di una sola formazione.

Si tratta di una potente successione carbonatica di piattaforma costituita da strati e banchi di calcari e calcari dolomitici del Cretaceo superiore. Tale successione, che costituisce il deposito più antico dell'area, è riportata nella Cartografia Geologica Ufficiale (foglio 214) nell'unità informale dei "Calcari di Melissano". Per le analogie nei caratteri di litofacies e in accordo con la bibliografia geologica più recente (Ciaranfi et alii, 1988), tale formazione verrà indicata come *Calcari di Altamura*.

Il rilevamento di depositi bauxitici e clastici di origine continentale e di probabile età cretacea indicano che il basamento carbonatico è rimasto per un lungo periodo in emersione.

Il quadro geologico attuale è il risultato degli eventi tettonici che si sono succeduti a partire dal Cretaceo e che a più riprese hanno interessato l'intera Penisola Salentina.

Il basamento carbonatico del Cretaceo ha subito una tettonica distensiva che ha generato un sistema di faglie ad andamento

prevalentemente NW-SE, le quali hanno dislocato i *Calcari di Altamura* dando luogo a strutture tipo Horst e Graben e delineando così dorsali, note con il nome di Serre, e depressioni tettoniche.

I *Calcari di Altamura* (Turoniano sup.-Maastrichtiano inf.), affiorano estesamente nell'area in esame.

Tale formazione è costituita da calcari bioclastici, bianchi o grigiastri di norma sub-cristallini e tenaci, a luoghi laminari, nei quali si intercalano livelli di calcari dolomitici e dolomie grigio-scure o nocciola. La percentuale di dolomia aumenta in genere gradualmente con la profondità.

Essa si presenta con un grado di fratturazione e carsificazione da elevato a basso.

Il contenuto di carbonato di calcio nei calcari subisce in genere deboli oscillazioni e può arrivare al 98-99%, mentre nelle dolomie calcaree la percentuale scende a 60% circa.

Da un punto di vista petrografico questi calcari sono costituiti in prevalenza da micriti più o meno fossilifere ed intraclastiche, raramente da biomicriti.

In queste ultime il contenuto in macrofossili è rappresentato da frammenti di molluschi e da Rudiste anche di notevole dimensioni.

In alcuni campioni nella massa di fondo micritica sono evidenti plaghe chiare dovute a calcite cristallina a grana fine o finissima.

La stratificazione è sempre evidente con strati di spessore variabile da 20 a 50 cm, talora si rinvengono banchi fino a 1.5 metri, mentre le pendenze sono estremamente basse con angoli che raramente superano i

10°. Lo stile è caratterizzato da un andamento a pieghe ad ampio raggio di curvatura.

In base ai dati forniti dall'AGIP, in seguito alla perforazione petrolifera vicino Ugento, lo spessore massimo della formazione si aggira intorno ai 640 metri.

L'origine è biochimica per i calcari e secondaria per le dolomie.

Per quanto riguarda il loro ambiente deposizionale, esso è di mare poco profondo, di piattaforma interna; inoltre, data l'elevata potenza della successione, appare chiaro che l'ambiente di sedimentazione ha potuto mantenersi pressoché immutato per effetto di una costante subsidenza.

Nell'area dove è prevista la sottostazione affiorano le ***Calcareniti di Gravina (Pleistocene inf.)*** che poggiano trasgressivamente sui Calcari di Altamura.

Il contenuto del carbonato di calcio è in genere elevato ed oscilla tra il 97-98%.

Si tratta di calcareniti biancastre o bianco giallastre, a grana medio-grossolana, talora con livelli a grana fina. Il grado di cementazione varia di norma in funzione della dimensione dei granuli; i livelli ruditici infatti, risultano spesso più tenaci di quelli arenitici. Ulteriori irregolarità sono dovute alla presenza di macrofossili e/o bioturbazioni presenti nell'ammasso.

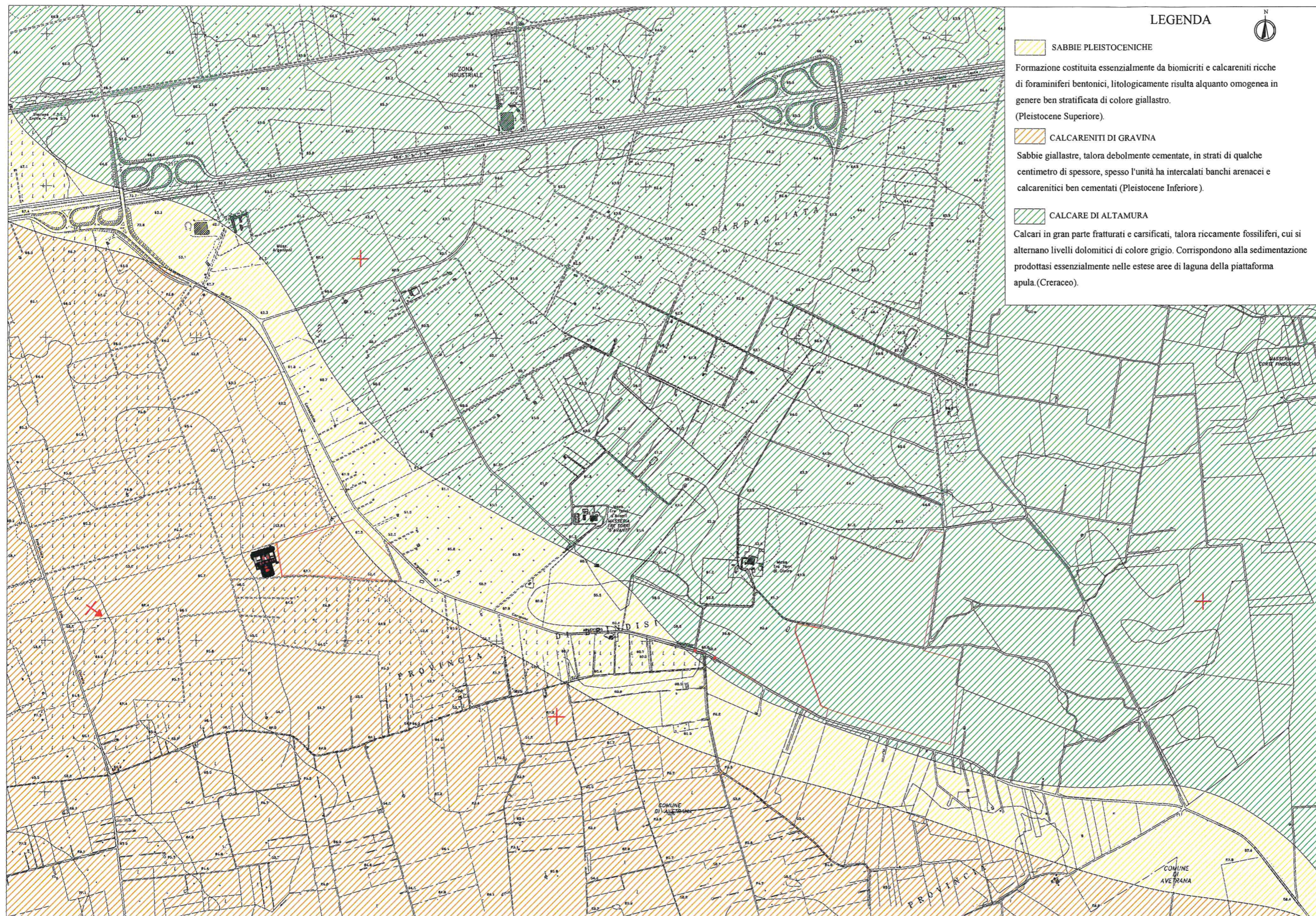
L'assetto strutturale denota una generale clinostratificazione, con immersione verso l'esterno.

Il contenuto dei fossili è generalmente abbondante ed è costituito in prevalenza da Lamellibranchi ed Echinidi, concentrati in livelli ed orizzonti.

Le calcareniti sono costituite in prevalenza da granuli di origine bioclastica e subordinatamente detritica, chimica e biochimica.

L'ambiente di sedimentazione è generalmente variabile dal litorale all'epineritico.

Tali calcareniti sono classificate sotto il profilo geotecnico come rocce lapidee tenere.



**LEGENDA**



- SABBIE PLEISTOCENICHE**  
 Formazione costituita essenzialmente da biomicriti e calcareniti ricche di foraminiferi bentonici, litologicamente risulta alquanto omogenea in genere ben stratificata di colore giallastro. (Pleistocene Superiore).
- CALCARENITI DI GRAVINA**  
 Sabbie giallastre, talora debolmente cementate, in strati di qualche centimetro di spessore, spesso l'unità ha intercalati banchi arenacei e calcarenitici ben cementati (Pleistocene Inferiore).
- CALCARE DI ALTAMURA**  
 Calcari in gran parte fratturati e carsificati, talora riccamente fossiliferi, cui si alternano livelli dolomitici di colore grigio. Corrispondono alla sedimentazione prodottasi essenzialmente nelle estese aree di laguna della piattaforma apula. (Cretaceo).

Strati orizzontali

Strati con pendenza inferiore a 10°



**CAMPO FOTOVOLTAICO  
SOTTOSTAZIONE DI CONNESSIONE**



## CARATTERI IDROGEOLOGICI ED IDRAULICI DEL SITO

La presenza di terreni permeabili per porosità e per fessurazione e carsismo, fa sì che l'area d'intervento sia caratterizzata da un'unica falda acquifera denominata "falda profonda o carsica"

La sua alimentazione è data dalle acque meteoriche che, penetrando nel sottosuolo attraverso le numerose fratture dei calcarei, saturano la roccia e si raccolgono in un'unica falda, che galleggia in virtù della minore densità sull'acqua marina di intrusione continentale determinando, in tutta la Penisola Salentina e quindi anche nell'area in esame, un sistema regolato dalle leggi di equilibrio di liquidi a densità differente.

La falda carsica, che ha come livello di base l'orizzonte marino, ha nel complesso una forma lenticolare con massimi spessori nella parte centrale della Penisola.

Il livello della falda, che tende a zero in corrispondenza della costa sale verso l'interno assai lentamente con cadenti piezometriche modeste, generalmente inferiori al 1%. La superficie di contatto tra le acque di falda e le acque di mare raggiunge verso l'interno profondità di circa 40 volte i carichi piezometrici. Ciò in accordo con la legge di Ghyben-Henzberg, secondo cui:

$$h = 40 \times t$$

ove:

h, è lo spessore dell'acqua dolce;

t, è l'altezza della superficie piezometrica rispetto al l.m.



## **INDAGINE GEOGNOSTICA**

L'indagine è stata effettuata in conformità al D.M. 17.01.2018 ed è stata finalizzata alla raccolta di dati qualitativi e quantitativi occorrenti per la previsione del comportamento dell'opera in rapporto alle caratteristiche del terreno.

L'indagine è consistita nell'esecuzione di:

- tre profili sismici a rifrazione, realizzati il primo con un'interdistanza tra i geofoni di 4 metri, il secondo ed il terzo con un'interdistanza di 3 metri;
- un'indagine sismica con metodologia ReMi, per individuare la categoria sismica di suolo.

### ***Sismica a rifrazione***

La sismica a rifrazione consiste nel provocare delle onde sismiche che si propagano nei terreni, con velocità che dipendono dalle caratteristiche di elasticità degli stessi. In presenza di particolari strutture, possono essere rifratte e ritornare in superficie, dove, tramite appositi sensori (geofoni), posti a distanza nota dalla sorgente lungo la linea retta, si misurano i tempi di arrivo delle onde longitudinali (onde P), al fine di determinare la velocità ( $V_p$ ) con cui tali onde coprono le distanze tra la sorgente ed i vari ricevitori.

I dati, così ottenuti, si riportano su diagrammi cartesiani aventi in ascissa le distanze e in ordinata i tempi dei primi arrivi dell'onda proveniente dalla sorgente. In questo modo si ottengono delle curve (dromocrone) che, in base ad una metodologia interpretativa basata

essenzialmente sulla legge di Snell, ci permettono di determinare la velocità di propagazione delle onde e le costanti elastiche dei terreni attraversati.

Sono stati eseguiti due profili sismici coniugati di 44 e 33 metri.

L'energizzazione è stata ottenuta utilizzando una massa battente del peso di 5 kg ed una piastra rettangolare.

Le onde così generate sono state registrate con un sismografo a 12 canali della GEOMETRICS ES1225, il quale consente di ottenere le misurazioni dei tempi di arrivo delle onde sismiche che si propagano nel sottosuolo.

L'interpretazione dei dati di campagna è stata eseguita tramite l'applicazione congiunta e computerizzata del metodo di Palmer e delle intercette.

Il *profilo sismico n.1*, eseguito a nord della strada che porta a Mass.a Tre Torri di Dietro, per una lunghezza di 44.0 metri, ha evidenziato un modello a tre sismostrati. Sotto un'esigua copertura di terreno vegetale, che ha restituito un valore di velocità di 400 m/sec, si rinviene ad una profondità di circa 0.5 metri un calcare fratturato con venature di terra rossa caratterizzato da una velocità di 2200 m/sec; ad una profondità variabile da 5.5 a 6.0 metri si rinviene il terzo sismostrato, che caratterizzato da una velocità di 3300 m/sec, può essere ricondotto ad un calcare poco fratturato.

Il *profilo sismico n.2*, lungo 33 metri, è stato realizzato a circa 600 metri a sudest del primo. Anch'esso ha permesso di ricostruire lo stesso modello a tre sismostrati: in affioramento si rinviene del terreno vegetale, segue fino ad una profondità di circa 7.5 metri il secondo sismostrato, un calcare fratturato caratterizzato da una velocità di 2000 m/sec; il terzo



UBICAZIONE INDAGINI SISMICHE A RIFRAZIONE



LEGENDA  
 Profilo sismico a rifrazione

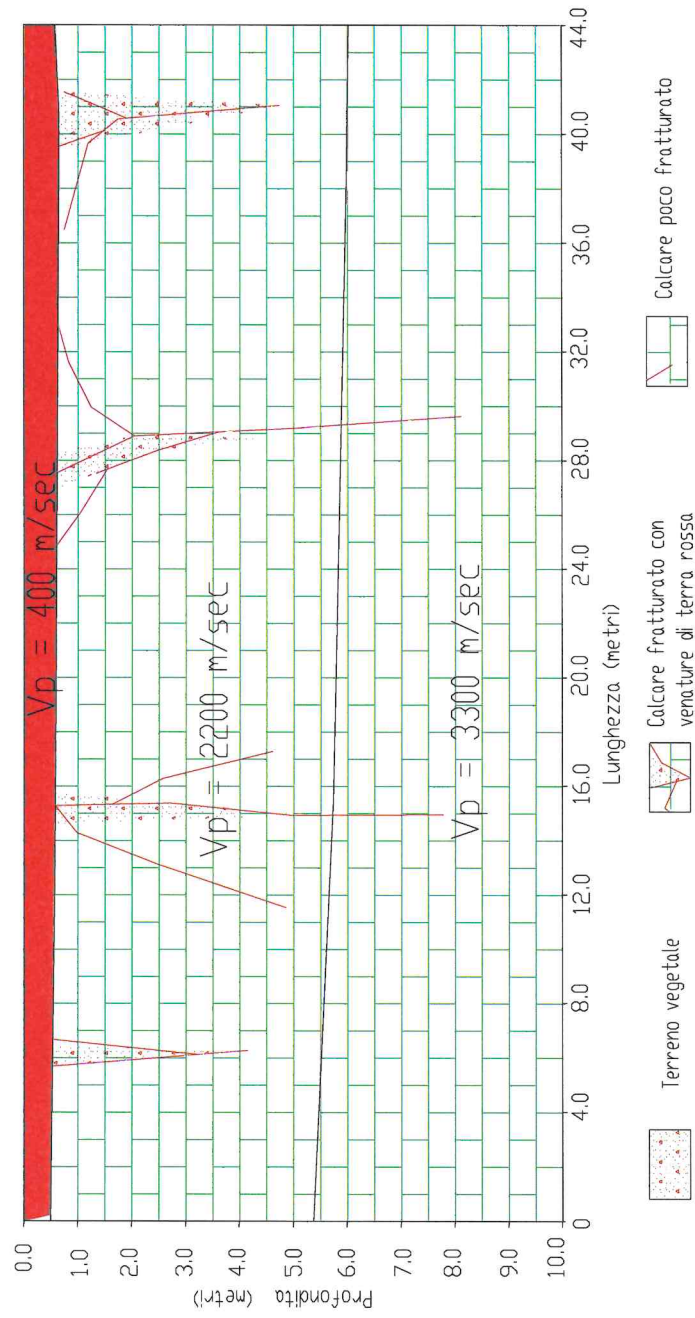


CAMPO FOTOVOLTAICO  
 SOTTOSTAZIONE DI CONNESSIONE

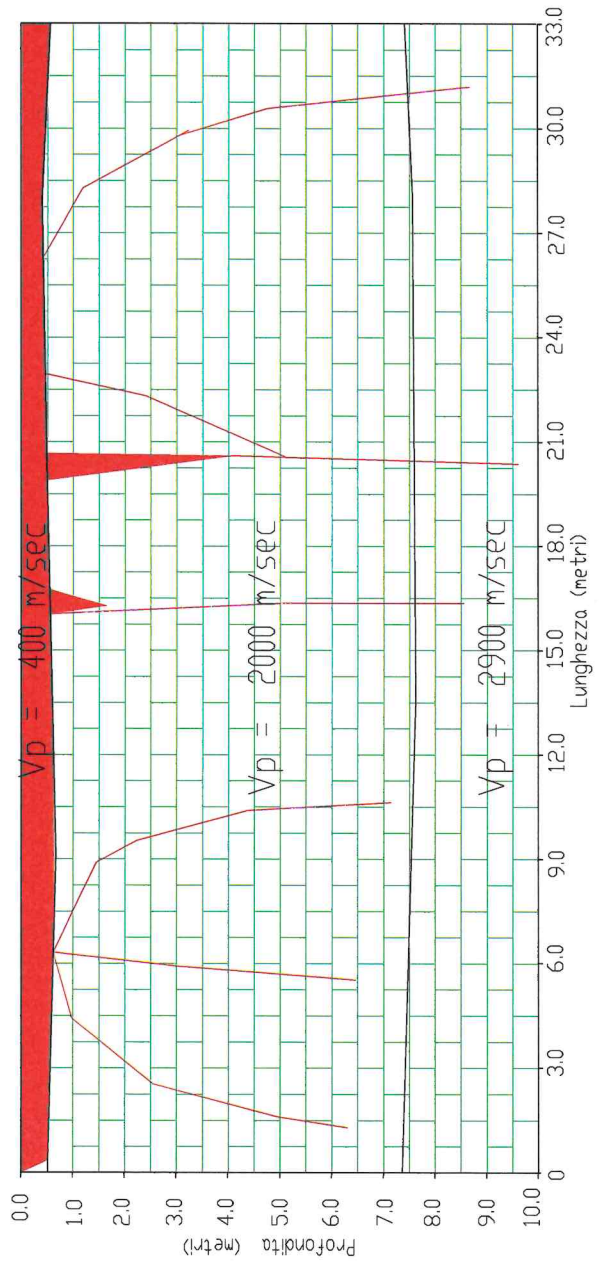
Richiesta integrazione dipartimento bilancio  
 affari generali infrastrutture - sezioni lavori  
 pubbliche - servizio autorità idraulica - struttura  
 tecnica-sede di brindisi



PROFILIO SISMICO A RIFRAZIONE 1-1';  
 LOCALITA': S.PANCRAZIO SALENTINO (BR) - IMPIANTO FOTOVOLTAICO



PROFILO SISMICO A RIFRAZIONE 2-2'  
 LOCALITA': S.PANCRAZIO SALENTINO (BR) - IMPIANTO FOTOVOLTAICO



-  Terra frammentata a pietrame calcareo
-  Calcare fratturato
-  Calcare medianamente fratturato

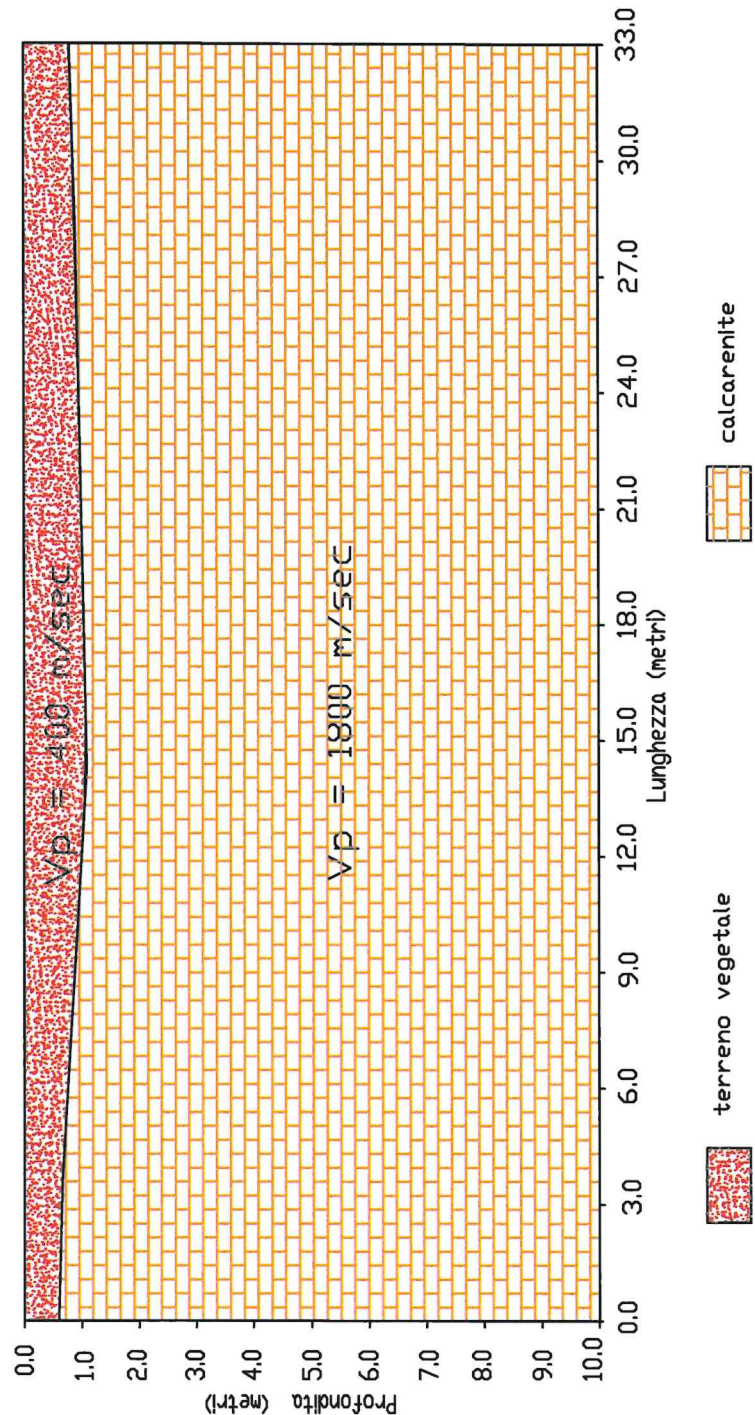
sismostrato è caratterizzato da una velocità di 2900 m/sec, da attribuire ad un calcare mediamente fratturato.

Il *profilo sismico n. 3* eseguito in agro di Erchie ha evidenziato un modello a due sismostrati. In affioramento si rinviene del terreno vegetale che presenta uno spessore di 0.6 metri ed una velocità di 400 m/sec, seguono delle calcareniti ben cementate che presentano una velocità di 1800 m/sec.

Le caratteristiche geotecniche delle *Calcareniti* sono:

Densità relativa	(%)	53
Angolo di attrito	(°)	34
Modulo Young	(kg/cmq)	212
Modulo edometrico	(kg/cmq)	80
Coessione	(kg/cmq)	0.0
Peso di volume	(gr/cmc)	2.0
Classificazione AGI		Moderat. Addensato
Modulo di Poisson		0.31
Modulo di def. al taglio	(kg/cmq)	1280
Modulo di reazione	(kg/cmc)	4.63

PROFILO SISMICO A RIFRAZIONE 1-1'  
LOCALITA': "SOTTOSTAZIONE" - ERCHIE (BR)



### ***Determinazione dei moduli elastici dei litotipi indagati***

Dalla determinazione delle velocità  $V_p$  e  $V_s$ , del sismostrato rilevato si è risaliti ai moduli elastici e meccanici del terreno fondale.

#### ***Profilo n.1***

Strato	$V_p$ (m/sec)	$V_s$ (m/sec)	R.Q.D. %	E (Kg/cmq)	P	$\gamma$ (gr/cmc)
1	400	-	-	-	-	-
2	2200	853	52	111000	0.41	2.31
3	3300	2070	77	251000	0.17	2.6

$V_p$  = vel. longit.;  $V_s$  = vel trasv.; R.Q.D. = qualità della roccia; E = modulo di elasticità; P = modulo di Poisson;  $\gamma$  = peso per unità di volume;

#### ***Profilo n.2***

Strato	$V_p$ (m/sec)	$V_s$ (m/sec)	R.Q.D. %	E (Kg/cmq)	P	$\gamma$ (gr/cmc)
1	400	-	-	-	-	-
2	2000	700	47	90000	0.43	2.2
3	2900	1680	70	188000	0.24	2.5

$V_p$  = vel. longit.;  $V_s$  = vel trasv.; R.Q.D. = qualità della roccia; E = modulo di elasticità; P = modulo di Poisson;  $\gamma$  = peso per unità di volume;



### *Sismica con metodologia ReMi (Refraction Microtremor)*

L'analisi dei microtremori viene effettuata utilizzando la strumentazione classica per la prospezione sismica a rifrazione (a geofono singolo) disposta sul terreno con array lineare, da 12 a 48 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 25-30 Hz 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.

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 (fig.1).

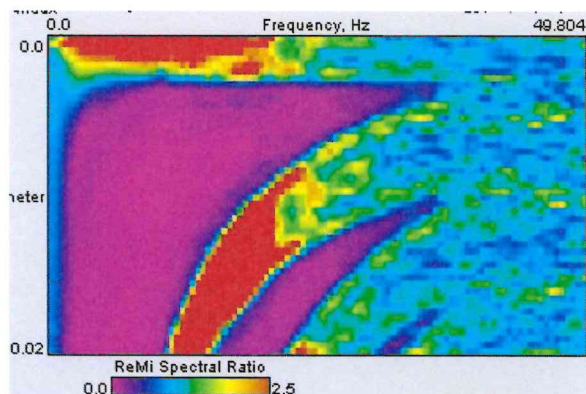
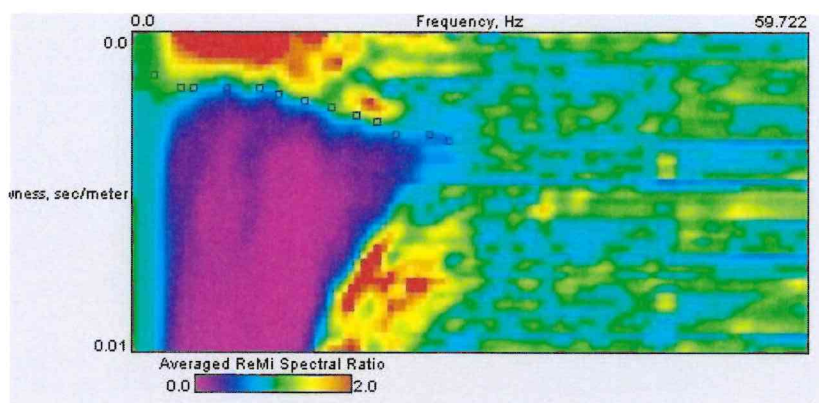


Fig. 1 Esempio di spettro di potenza p-f.

Nell'immagine di figura 1 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" (fig.2) attribuendo ad un certo numero di punti una o più slowness (p o 1/velocità di fase) per alcune frequenze.



*Fig. 2 Esempio di picking*

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 (fig.3).

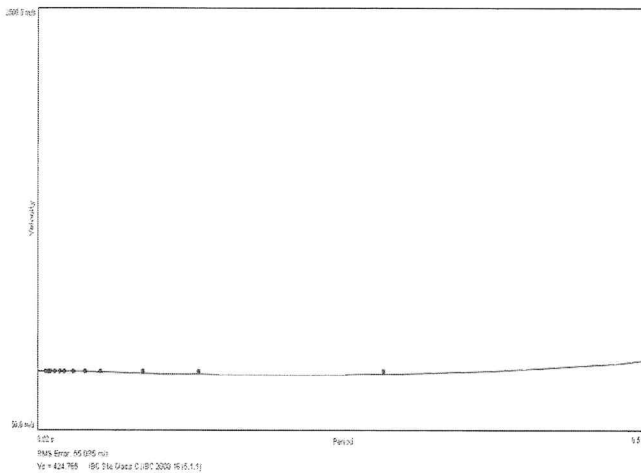


Fig.3:  
 Modellizzazione diretta interattiva:  
 curva di dispersione calcolata  
 (grigio) e curva sperimentale con  
 picking (puntinato rosso).

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

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.

Le NTC18 effettuano la classificazione del sottosuolo in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio,  $V_{S,eq}$  (in m/s), definita dall'espressione:

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_i \frac{h_i}{n_i V_{S,i}}}$$

Con:

hi spessore dell'i-esimo strato; $V_{s,i}$  velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato; $N$  numero di strati; $H$  profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da  $V_S$  non inferiore a 800 m/s.

Per depositi con profondità  $H$  del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio  $V_{S,eq}$  è definita dal parametro  $V_{S,30}$ , ottenuto ponendo  $H=30$  m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Dall'indagine Re.Mi eseguita è stato ricavato l'andamento delle  $V_S$  e da qui calcolato il valore della  $V_{S,eq}$  &  $V_{S30}$  risultato di **1571 m/s**.

Questi valori di  $V_{S,eq}$  fanno rientrare il sottosuolo nella **categoria A**.

UBICAZIONE INDAGINE SISMICA TIPO (MASW)



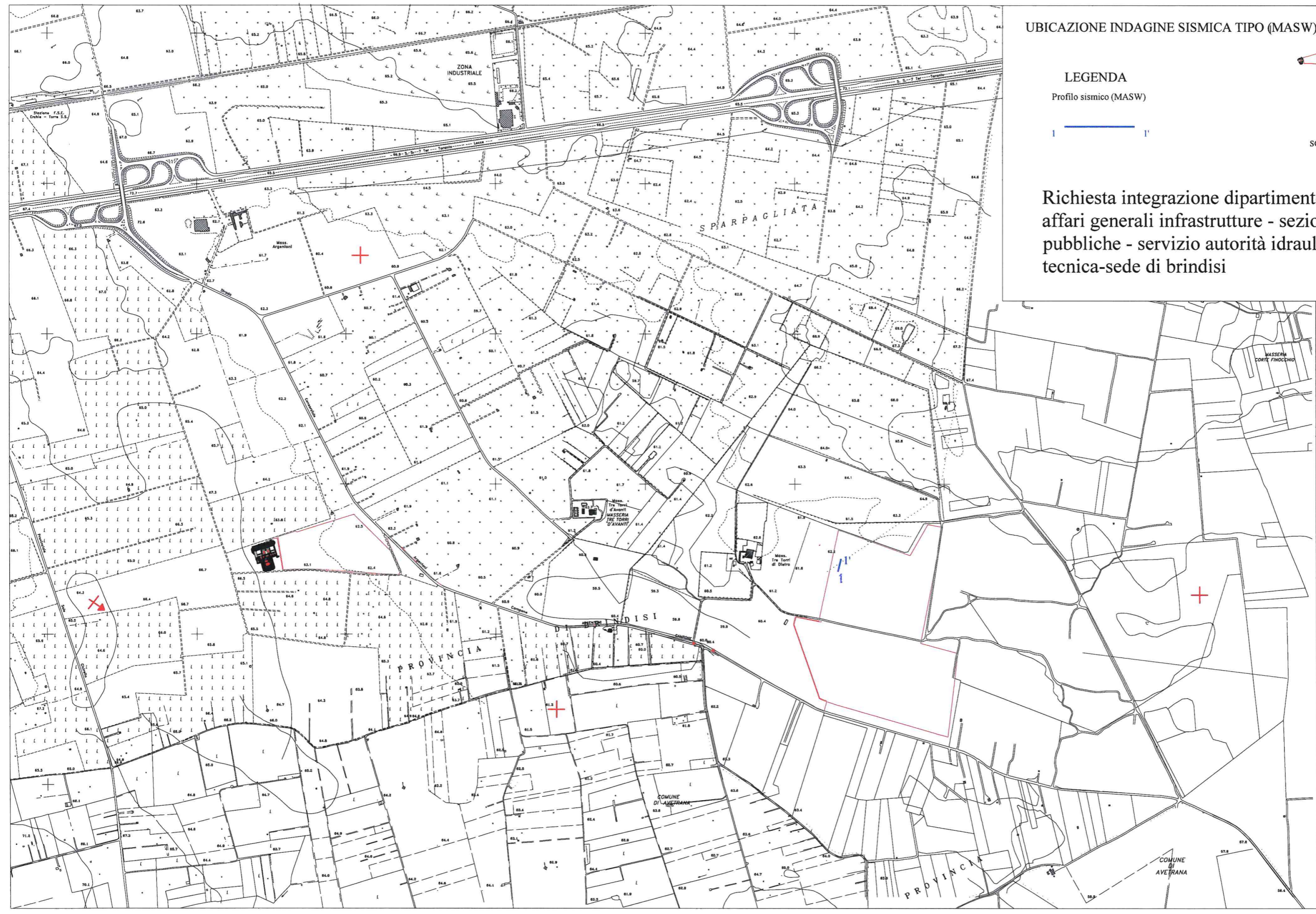
LEGENDA

Profilo sismico (MASW)

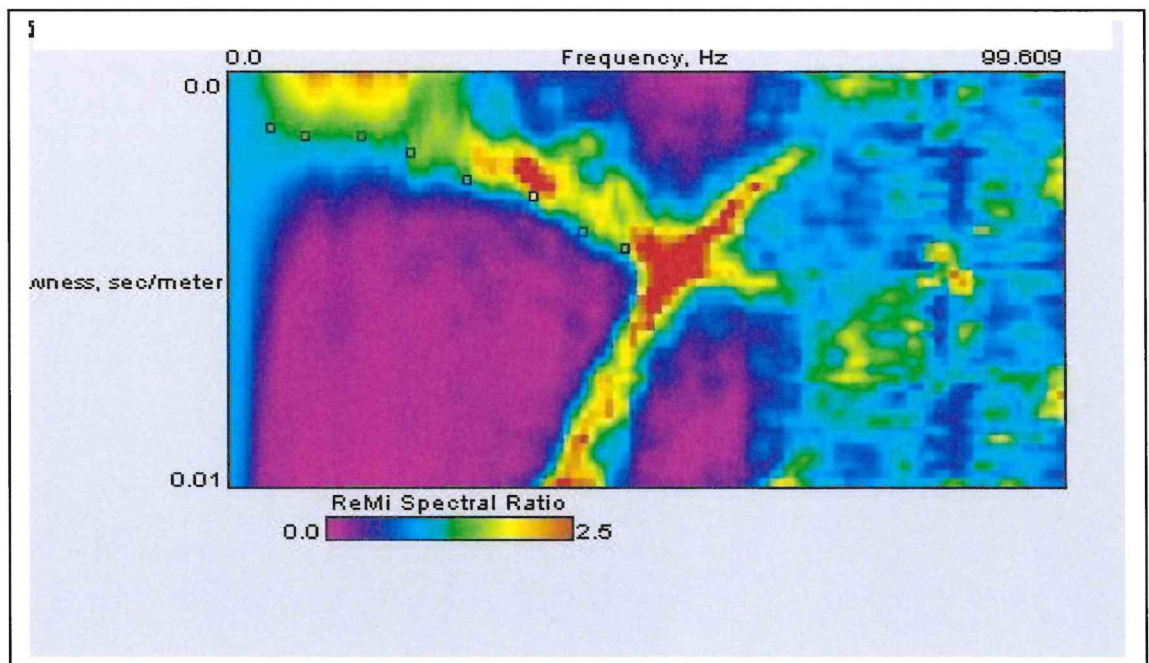
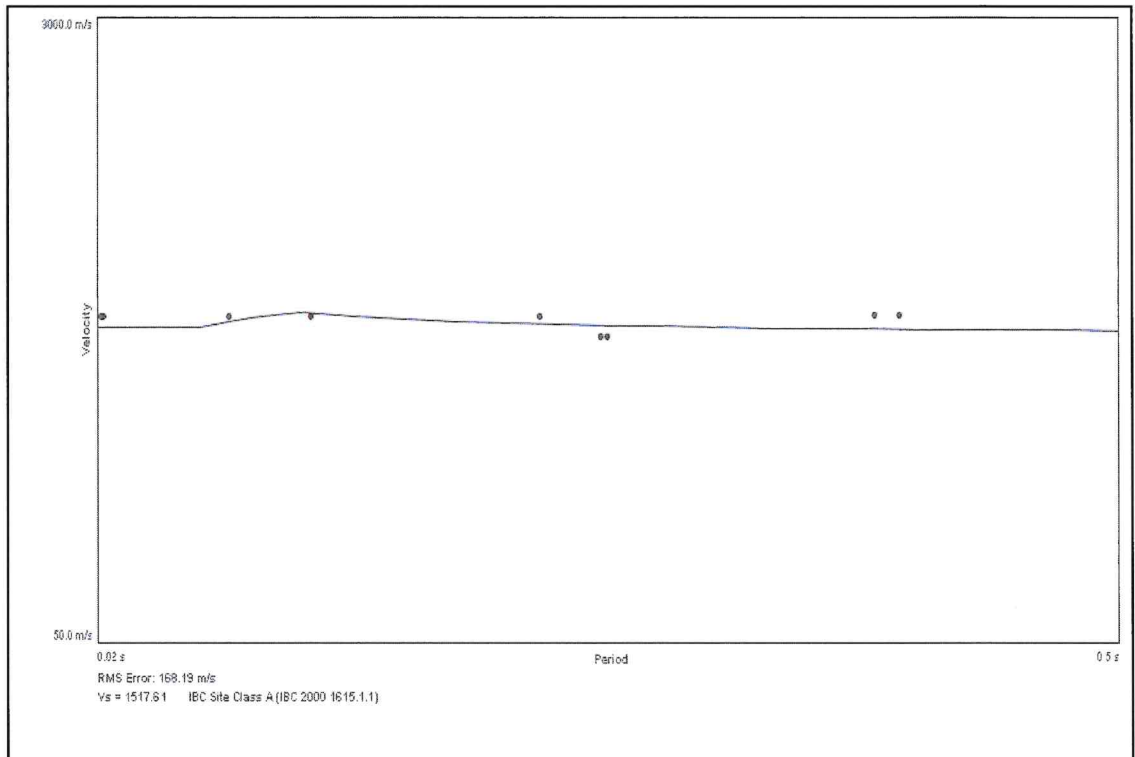


CAMPO FOTOVOLTAICO  
SOTTOSTAZIONE DI CONNESSIONE

Richiesta integrazione dipartimento bilancio  
affari generali infrastrutture - sezioni lavori  
pubbliche - servizio autorità idraulica - struttura  
tecnica-sede di brindisi

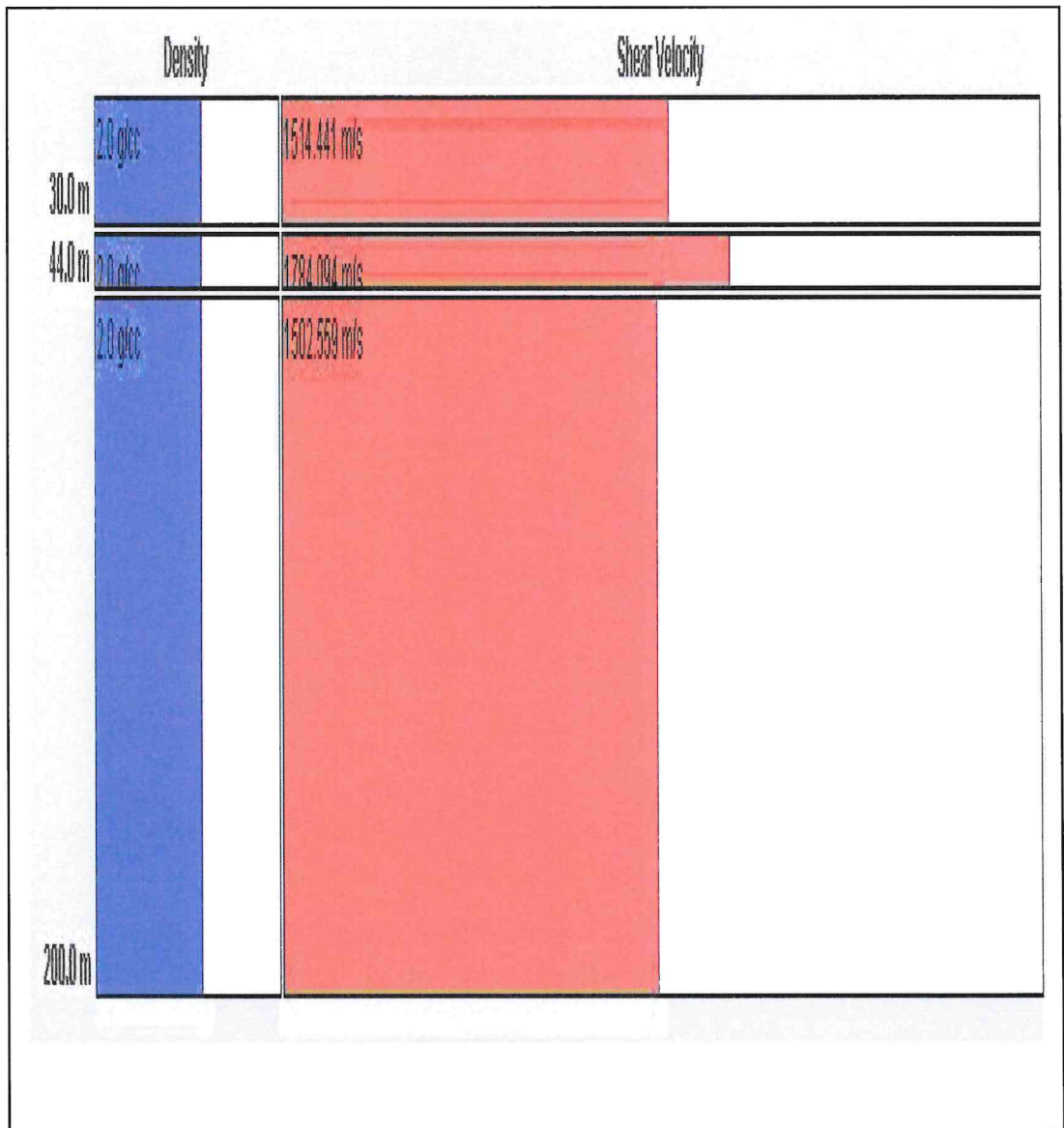


Località: San Pancrazio Salentino (Br) – Impianto fotovoltaico



p-f image with Dispersion Modelling Picks

Località: San Pancrazio Salentino (Br) – Impianto fotovoltaico



Shear-Wave Velocity Profile from SeisOpt ReMi Software Analysis

Bedrock presente già in superficie quindi il suolo di fondazione è A.



Le categorie di suolo individuate dal Decreto Ministeriale 17 Gennaio 2018, recante "Norme Tecniche per le costruzioni" sono le seguenti:

A) ***Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi*** caratterizzati da valori di  $V_{s,30}$  superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m;

B) ***Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti*** con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di  $V_{s,30}$  compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero  $N_{SPT,30} > 50$  nei terreni a grana grossa e  $c_{u,30} > 250$  kPa nei terreni a grana fina);

C) ***Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti*** con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di  $V_{s,30}$  compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero  $15 < N_{SPT,30} < 50$  nei terreni a grana grossa e  $70 < c_{u,30} < 250$  kPa nei terreni a grana fina);

D) ***Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti***, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di  $V_{s,30}$  inferiori a 180 m/s (ovvero  $N_{SPT,30} < 15$  nei terreni a grana grossa e  $c_{u,30} < 70$  kPa nei terreni a grana fina)

E) Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con  $V_s > 800$  m/s).

## CARATTERIZZAZIONE DELL'AMMASSO

I parametri geomeccanici sono stati ricavati facendo ricorso a modelli che correlano, tramite opportuni coefficienti, le sollecitazioni dinamiche a quelle statiche che si sviluppano dopo la realizzazione del manufatto.

L'ammasso è stato classificato secondo Beniaowski ed i parametri che sono stati presi in considerazione sono:

- Resistenza a compressione uniassiale della roccia intatta;
- Indice R.Q.D.;
- Condizione dei giunti (scabrezza, alterazione delle pareti, apertura, materiale del riempimento);
- Spaziatura dei giunti;
- Condizioni idrauliche (afflusso di acqua, pressione interstiziale).

Ad ogni parametro è stato assegnato un indice parziale ricavabile da una tabella di Beniaowski.

Si è classificato l'ammasso roccioso più superficiale, quello fratturato con venature di terra rossa, caratterizzato da una velocità di 2000 m/sec.

### Calcari fratturati e carsificati

Per il litotipo affiorante caratterizzato da una  $V_p = 2000$  m/sec si ha:

- Resistenza a compressione uniassiale della roccia intatta pari a 1600 kg/cmq → corrisponde un indice di 12;
- Indice R.Q.D. pari a 47% → corrisponde un indice di 8;

- Condizione dei giunti (scabrezza, alterazione delle pareti, apertura, materiale del riempimento) → corrisponde un indice di 8;
- Spaziatura dei giunti → corrisponde un indice di 12;
- Condizioni idrauliche (afflusso di acqua, pressione interstiziale) → corrisponde un indice di 7.

Riepilogando, i valori dei parametri relativi alla classificazione di Beniaowski sono i seguenti:

Resistenza a compressione uniassiale della roccia intatta	<b>12</b>
<i>Indice R.Q.D.</i>	<b>8</b>
<i>Spaziatura dei giunti</i>	<b>8</b>
<i>Condizione dei giunti</i>	<b>12</b>
<i>Condizioni idrauliche</i>	<b>7</b>
<b>Totale</b>	<b>47</b>

In base al valore dell'indice R.M.R., l'ammasso viene suddiviso in 5 classi.

Per ciascuna classe viene indicata una stima di larga massima dei parametri di resistenza globale. Nel nostro caso, con R.M.R. = 47, l'ammasso roccioso rientra nella **classe IV** ed è classificato come "scadente".

A questa classe corrisponde un valore di coesione di 10 t/mq e un angolo di attrito di 30°.

## MODELLAZIONE GEOLOGICO-TECNICA DEL SOTTOSUOLO

I parametri geotecnici del sottosuolo oggetto di indagine sono per i calcari che si rinvengono in agro di San Pancrazio i seguenti:

Peso di volume	(gr/cmc)	2.2
Coazione	(t/mq)	10
Angolo di attrito	(°)	30

I parametri geotecnici delle calcareniti che si rinvengono in agro di Erchie i seguenti:

Peso di volume	(gr/cmc)	2.0
Coazione	(t/mq)	0
Angolo di attrito	(°)	32

Le nuove norme tecniche ordinano che, nel metodo semiprobabilistico agli strati limite, per tener conto di eventuali indeterminazione, si devono dividere i valori dei parametri geotecnici, per i coefficienti parziali, indicati nella seguente tabella:

Parametro al quale applicare il coefficiente parziale	Coefficiente parziale $\gamma_m$	
	M1	M2
Tan $\phi'$	$\gamma_{\phi'} = 1,00$	$\gamma_{\phi'} = 1,25$
C'	$\gamma_c = 1,00$	$\gamma_c = 1,25$
$\gamma$	$\gamma_\gamma = 1,00$	$\gamma_\gamma = 1,00$
Cu	$\gamma_{cu} = 1,00$	$\gamma_{cu} = 1,40$

tan  $\phi'$  = tangente dell'angolo di resistenza al taglio (°);  $\gamma$  = peso dell'unità di volume (gr/cmc); c' = coazione efficace (km/cmq); cu = resistenza non drenata.

Verranno, quindi, calcolati i valori delle risultanze ultime del terreno (Rd) utilizzando sia i coefficienti parziali della colonna M1 sia quelli della colonna M2.

Nel nostro caso risultano valori dei parametri corretti in sito rispettivamente pari a:

Parametro al quale applicare il coefficiente parziale	Coefficiente parziale $\gamma_m$ <b>calcari</b>		Coefficiente parziale $\gamma_m$ <b>calcareniti</b>	
	M1	M2	M1	M2
Tan $\phi'$	30	24.8	32	26.56
C'	10	8	0	0
$\gamma$	2.2	2.2	2.0	2.0

Tan  $\phi'$  = tangente dell' angolo di resistenza al taglio ( $^\circ$ );  $\gamma$  = peso dell'unit  di volume (g/cm<sup>3</sup>); c' = coesione efficace (t/mq).

## CONCLUSIONI

Il sottoscritto qui di seguito relazione quanto emerso dal rilievo geo-idro-morfologico di superficie e dalle indagini geognostiche eseguiti su un'area sita in agro di San Pancrazio Salentino ed Erchie, interessata dalla realizzazione di un impianto fotovoltaico da ubicarsi ad est di Mass.a Tre Torri di Dietro e dalla sua sottostazione.

*La relazione infatti si riferisce alle aree interessate dall'istallazione dell'impianto fotovoltaico ed alla sottostazione che è attigua all'impianto.*

I rilievi di superficie e le indagini hanno permesso di trarre le seguenti conclusioni:

- \* litologicamente affiorano, per tutta l'area interessata dall'impianto, i Calcari di Altamura;
- \* geomorfologicamente l'area si presenta pianeggiante, con quote topografiche che variano da 62 a 58 metri s.l.m.;
- \* idrogeologicamente le misure piezometriche hanno evidenziato solo una falda profonda, che non interagisce con le opere fondali dell'impianto fotovoltaico;
- \* i due profili sismici a rifrazione hanno permesso di ricostruire un modello a tre sismostrati: sotto un esiguo spessore di terreno vegetale, si rinviene fino ad una profondità variabile da 5.5 a 7.5 metri del calcare fratturato caratterizzato da una velocità di 2000-2200 m/sec; il terzo sismostrato ha restituito un valore di velocità di 2900-3300 m/sec, tipici di un calcare poco fratturato;
- \* le caratteristiche tecniche dei terreni investigati sono:

### ***Profilo n.1***

Strato	Vp (m/sec)	Vs (m/sec)	R.Q.D. %	E (Kg/cmq)	P	$\gamma$ (gr/cmc)
1	400	-	-	-	-	-
2	2200	853	52	111000	0.41	2.31
3	3300	2070	77	251000	0.17	2.6

Vp = vel. longit.; Vs = vel trasv.; R.Q.D. = qualità della roccia; E = modulo di elasticità;  
P = modulo di Poisson;  $\gamma$  = peso per unità di volume;

### ***Profilo n.2***

Strato	Vp (m/sec)	Vs (m/sec)	R.Q.D. %	E (Kg/cmq)	P	$\gamma$ (gr/cmc)
1	400	-	-	-	-	-
2	2000	700	47	90000	0.43	2.2
3	2900	1680	70	188000	0.24	2.5

Vp = vel. longit.; Vs = vel trasv.; R.Q.D. = qualità della roccia; E = modulo di elasticità;  
P = modulo di Poisson;  $\gamma$  = peso per unità di volume;

\*In base al valore dell'indice RMR, l'ammasso calcareo affiorante presente nell'area interessata dall'impianto ricade nella classe IV, ossia scadente, a questa classe competono valori di coesione compresi tra 1.0 kg/cmq e angolo di attrito tra 30°.

\*Il profilo 3 è stato eseguito laddove affiorano le calcareniti, in corrispondenza della sottostazione in agro di Erchie.

\*Esso ha permesso di ottenere per il terreno fondale i seguenti risultati:

Densità relativa	(%)	53
Angolo di attrito	(°)	32
Modulo Young	(kg/cmq)	212
Modulo edometrico	(kg/cmq)	80
Coesione	(kg/cmq)	0.0
Peso di volume	(gr/cmc)	2.0
Classificazione AGI		Moderat. Addensato
Modulo di Poisson		0.31
Modulo di def. al taglio	(kg/cmq)	1280
Modulo di reazione	(kg/cmc)	4.63

\*I parametri geotecnici del sottosuolo oggetto di indagine sono:

Peso di volume	(gr/cmc)	2.3
Modulo elastico	(kg/cmq)	11100
Coesione	(t/mq)	12
Angolo di attrito	(°)	35

\*I parametri geotecnici delle calcareniti che si rinvennero in agro di Erchie i seguenti:

Peso di volume	(gr/cmc)	2.0
Coesione	(t/mq)	0
Angolo di attrito	(°)	32



Le nuove norme tecniche ordinano che, nel metodo semiprobabilistico agli strati limite, per tener conto di eventuali indeterminatezze, si devono dividere i valori dei parametri geotecnici, per i coefficienti parziali, che risultano pertanto pari a:

Parametro al quale applicare il coefficiente parziale	Coefficiente parziale $\gamma_m$ <b>calcari</b>		Coefficiente parziale $\gamma_m$ <b>calcareniti</b>	
	M1	M2	M1	M2
Tan $\phi'$	30	24.8	32	26.56
C'	10	8	0	0
$\gamma$	2.2	2.2	2.0	2.0

Tan  $\phi'$  = tangente dell'angolo di resistenza al taglio ( $^\circ$ );  $\gamma$  = peso dell'unità di volume (g/cmc);  $c'$  = coesione efficace (t/mq).

Dall'indagine sismica passiva è risultata una  $V_{seq}$  che fa rientrare il suolo di fondazione nella categoria sismica A mentre la categoria topografica è la T1.

Ruffano, aprile 2021

IL GEOLOGO

dr. Marcello De Donatis