



REGIONE PUGLIA
COMUNE DI FRANCAVILLA FONTANA
PROVINCIA DI BRINDISI
Località "Donna Laura"



**IMPIANTO DI PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA PER
CONVERSIONE FOTOVOLTAICA DELLA FONTE SOLARE
"DONNA LAURA" - POTENZA DI PICCO 17,37 MW_p**

OPERE DI CONNESSIONE NEI COMUNI DI: FRANCAVILLA FONTANA, SAN MICHELE SALENTINO E LATIANO (BR)

PROGETTO DEFINITIVO - "VIA ex art. 23 del D.Lgs. 152/2006"

COMMITTENTE: NEREON S.R.L. Via Raffaele Rubini, 12 72100 Brindisi (Br)	SPAZIO PER L'ENTE:
---	---------------------------

PROGETTAZIONE:



Viale M. Chiatante n. 60 - 73100 LECCE
Tel. 0832-242193
e-mail: info@iaing.it

ING. FRANCESCO LEONE
ING. ENRICO FEDELE



COLLABORAZIONE:

ARCH. COSIMO MAURIZIO NITTI
ING. MASSIMO TESSITORE
ARCH. SAVINO MARTUCCI
GEOL. GIUSEPPE MASILLO
ARCH. ALFREDO MASILLO

Titolo elaborato	RELAZIONE GEOLOGICA
------------------	----------------------------

<small>Questo elaborato è di proprietà della IA.ING s.r.l. pertanto non può essere riprodotto né integralmente, né in parte senza l'autorizzazione scritta della stessa. Da non utilizzare per scopi diversi da quelli per cui è stato fornito</small>	Data	Codice Pratica	Codice Ident. Elaborato	Scala	N. Elaborato
	23/02/2023	_RelazioneGeologica			ED.08.00
	Redatto	Controllato	Approvato	Descrizione	
G.M.	E.F./F.L.	E.F./F.L.	Elaborato Descrittivo		
N° revisione	Data Revisione	Oggetto revisione			
0	23/02/2023	Prima emissione			

Sommario

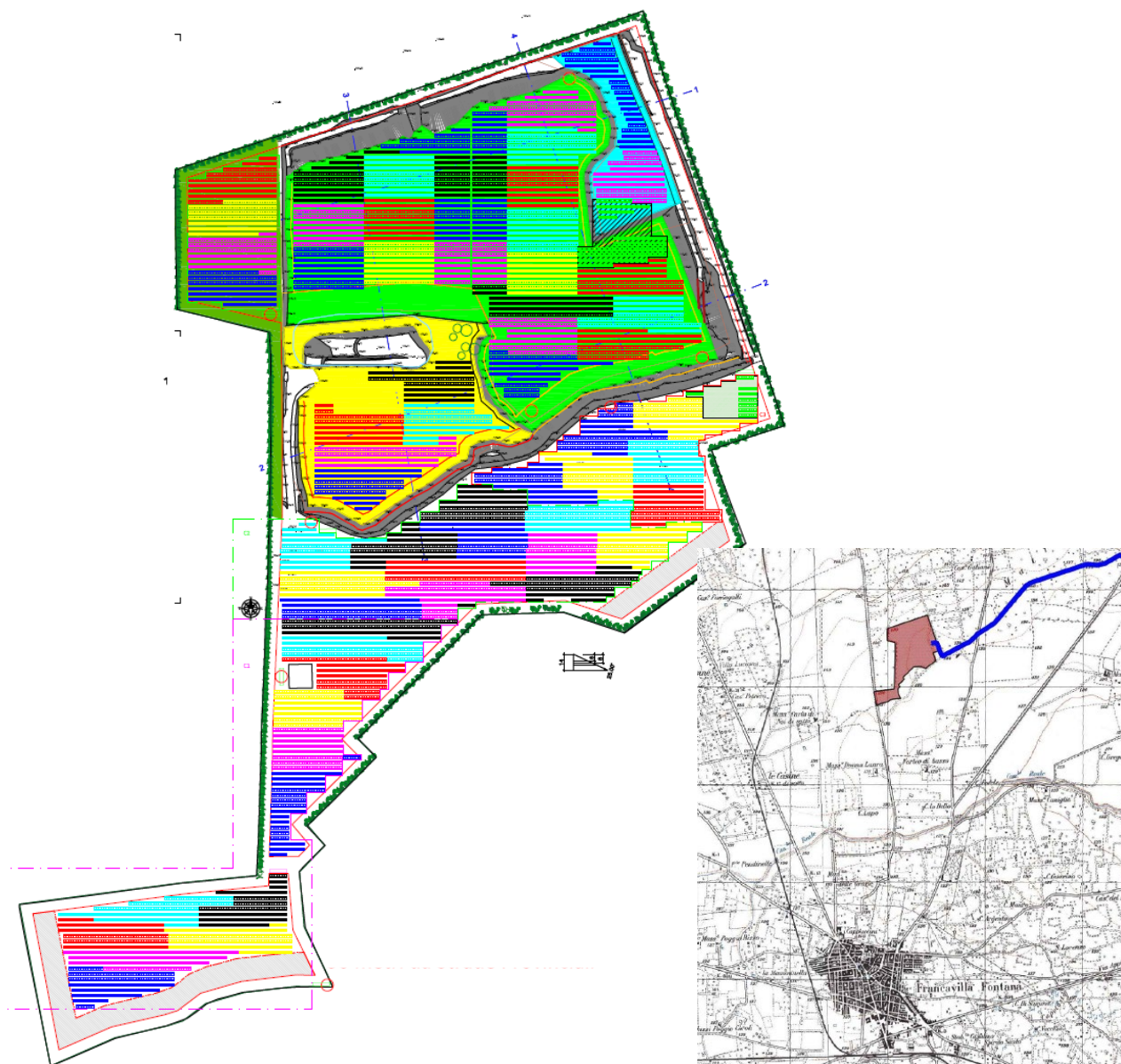
1	PREMESSA	2
2	LOCALIZZAZIONE DEL PROGETTO	5
3	CARATTERISTICHE DEL PROGETTO	6
4	LINEAMENTI GEOLOGICI GENERALI	7
	4.1.1 GEOLOGIA DI DETTAGLIO	8
5	CARATTERISTICHE IDROGEOLOGICHE DELL'AREA	9
6	SISMICITÀ DEL TERRITORIO	11
7	RISULTATI DELL'INDAGINE SISMICA	13
	7.1 STRUMENTAZIONE E METODOLOGIA	15
	7.2 INTERPRETAZIONE DELLE MISURE ESEGUITE	18
	7.3 MODELLO SISMICO LOCALE	18
8	CARATTERISTICHE IDROGEOLOGICHE DELL'AREA	21
9	CONSIDERAZIONI SULLE CONDIZIONI IDROGEOLOGICHE PRIMA E DOPO LA REALIZZAZIONE DELLE OPERE.	22
10	CONSIDERAZIONI SUL RISPETTO DELLE NORME PREVISTE DAL D.M. 11.03.1988 IN MERITO ALLE INDAGINI GEOLOGICHE E GEOTECNICHE. LE CONDIZIONI IDROGEOLOGICHE PRIMA E DOPO LA REALIZZAZIONE DELLE OPERE.	23
11	CONCLUSIONI	26

1 PREMESSA

È stata eseguita una indagine geologica, idrogeologica, e sismica finalizzata alla realizzazione di un impianto fotovoltaico della potenza di 17,37 MWp nel territorio del Comune di Francavilla Fontana su un'area individuata in catasto nel Foglio 75 particelle 7-249-786-787-788-790, estesa circa 25 Ha ed autorizzata all'attività mineraria con DECRETO PROT.38/MIN/1059 del 26 aprile 1999 intestato alla Ditta MESSAPICA INERTI SRL, su iniziativa della Società NEREON srl, (Gruppo EON).

Lo studio è finalizzato a determinare:

- la modellazione geologica 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, l'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

Progettazione :



IA.ING S.r.l.
Viale Marcello Chiatante, n.60 - 73100 Lecce (LE)
Tel./Fax. +39 0832 242193 e-mail: info@iaing.it

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 utile all'individuazione dei potenziali impatti che il progetto potrebbe indurre sulle componenti geologiche e geomorfologiche dell'area in esame.

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 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 nel 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 da movimentare;
- 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 tomografici 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 tomografo portatile;

Progettazione :



IA.ING S.r.l.
Viale Marcello Chiatante, n.60 - 73100 Lecce (LE)
Tel./Fax. +39 0832 242193 e-mail: info@iaing.it

- 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”*.

2 LOCALIZZAZIONE DEL PROGETTO

L'area di progetto ricade nel territorio comunale di Francavilla Fontana, più in particolare nella zona nord del suddetto territorio comunale, nelle vicinanze della S.P.28.



Figura 1: Localizzazione su base ortofotografica.

Progettazione :



IA.ING S.r.l.
Viale Marcello Chiatante, n.60 - 73100 Lecce (LE)
Tel./Fax. +39 0832 242193 e-mail: info@iaing.it

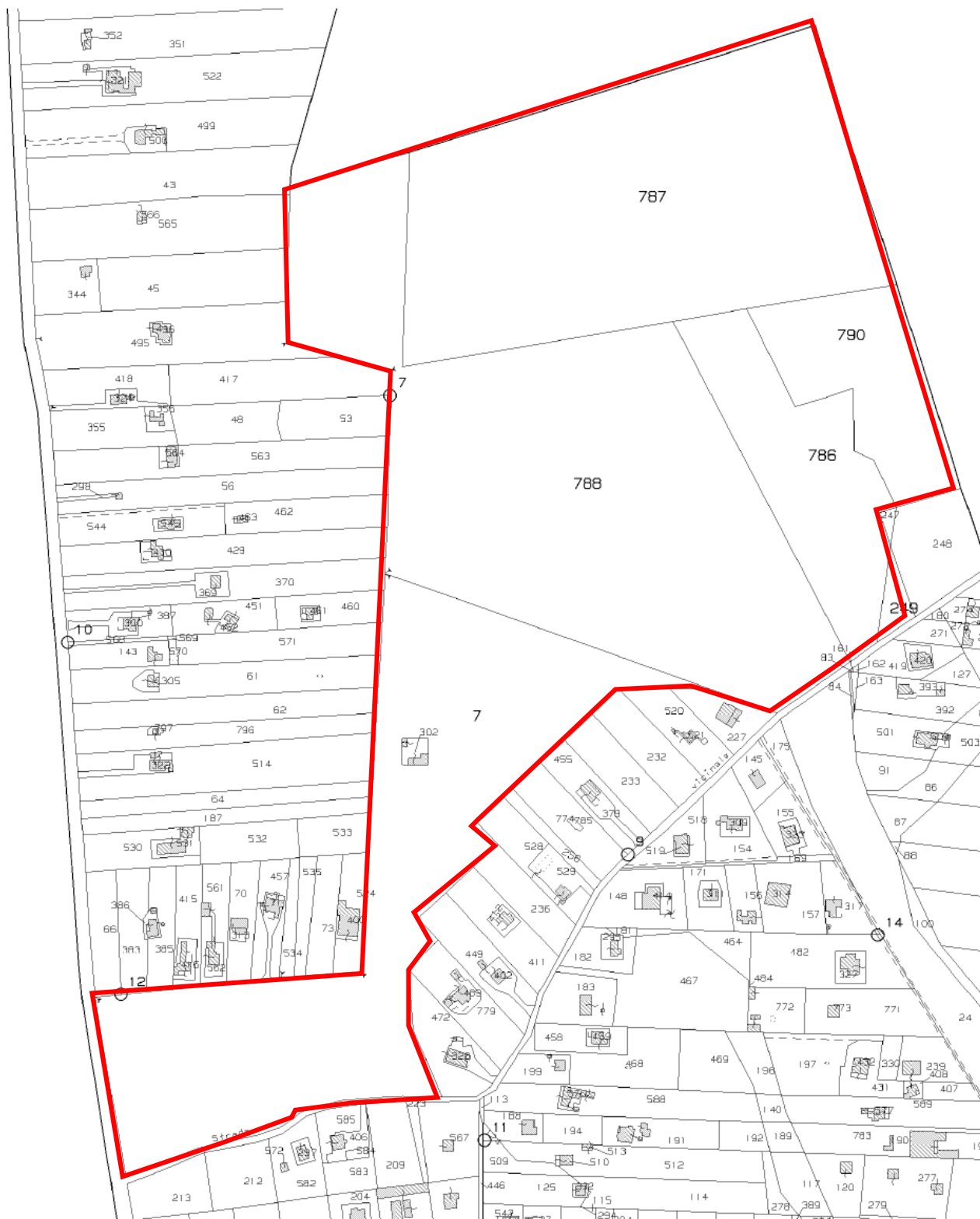


Figura 2: Inquadramento su base catastale.

3 CARATTERISTICHE DEL PROGETTO

L'installazione fotovoltaica avrà una potenza di picco di circa 17,37 MWp.

Progettazione :



IA.ING S.r.l.
Viale Marcello Chiatante, n.60 - 73100 Lecce (LE)
Tel./Fax. +39 0832 242193 e-mail: info@iaing.it

L'impianto da installare sarà della più avanzata tecnologia esistente, corredato da certificazioni rilasciate da organismi internazionali.

L'aspetto più significativo in termini di sostenibilità è la forte riduzione di impatto ambientale rispetto ai metodi tradizionali di produzione energetica. L'energia fotovoltaica, infatti, è inesauribile e la sua utilizzazione è indipendente dagli effetti di mercato poiché l'attuazione di questa infrastruttura offre l'approvvigionamento in forma ottimale di una delle risorse naturali proprie del territorio pugliese, quale è il sole.

L'energia generata in questo parco sarà consegnata nella rete elettrica di proprietà della società TERNA SPA.

4 LINEAMENTI GEOLOGICI GENERALI

I dati di seguito riportati sono stati osservati in campagna e confrontati con quelli ufficiali. Le principali unità litostatigrafiche che affiorano nella macroarea sono:

- **Depositi alluvionali e residuali:** Più spessi nelle depressioni morfologiche e ben estesi su tutto il territorio. Questi depositi di materiali sciolti provengono dall'alterazione dei calcari Cretacei e della calcarenite Pleistocenica e comunemente vengono denominati Terre Rosse. Si tratta essenzialmente di idrosilicati e idrossidi di alluminio, residui insolubili delle rocce precedentemente citate.

- **Depositi Marini Terrazzati:** tali depositi, di età medio-supropleistocenica, sono costituiti essenzialmente da alternanze di sabbie quarzose giallastre e calcareniti organogene localmente a carattere litoide con locali intercalazioni di strati conglomeratici. Essi giacciono lungo superfici di abrasione marina individuate nei depositi argillosi e calcarenitici del ciclo della Fossa Bradanica nonché nei calcari mesozoici.

A volte all'interno di questa unità, è contenuto l'acquifero superficiale, generalmente sostenuto dai depositi argillosi impermeabili sottostanti.

I Depositi Marini Terrazzati affiorano estesamente sia sull'area interessata dal progetto che in quella circostante.

- **Calcarenite di Gravina:** Rappresenta l'unità di apertura del ciclo sedimentario. Nella nostra area affiora in lembi residui occupanti zone originariamente depresse dei sottostanti depositi carbonatici. Poggia in trasgressione sul basamento calcareo. Il contatto stratigrafico tra le due formazioni è marcato da un livello di conglomerato monogenico, prodotto dal disfacimento dei calcari sottostanti. Le Calcareniti sono composte essenzialmente da calcare granulare tenero, poroso e poco compatto, di colore bianco giallastro, a grana variabile da ruditica a siltitica. I granuli sono di tipo concrezionato. La formazione è largamente rappresentata nell'area in esame ed il litotipo, rappresenta un ottimo

Progettazione :



materiale da costruzione, al punto che è intensamente estratto in cave a cielo aperto. L'età di formazione è ascrivibile al Calabriano.

- **Calcarea di Altamura:** Si tratta di una successione carbonatica di piattaforma interna caratterizzata da ripetute sequenze cicliche di mare sottile con sedimentazione compensata da subsidenza. Risulta compatta e di colore biancastro in profondità, alterata, fratturata e carsificata in superficie. Petrograficamente è costituita da calcari e dolomie calcaree di colore grigio-nocciola in strati di potenza variabile e talora con giacitura massiccia. Si tratta di intraspariti pelmicriti con plaghe di calcite spatica e plaghe di ricristallizzazione. Tale formazione è costituita da rocce molto compatte ma nello stesso tempo è interessata da numerose fratture a piano subverticali e da processi di dissoluzione. Per queste peculiari caratteristiche, la formazione calcareo-dolomitica forma l'acquifero più importante con la ben nota falda profonda. Per quanto riguarda la potenza, questa dovrebbe aggirarsi su qualche migliaio di metri. Per l'età il calcarea di Altamura è ascrivibile al Senoniano.

L'area specifica è interessata, invece, dall'affioramento dei soli calcari cretacei.

4.1.1 Geologia di dettaglio

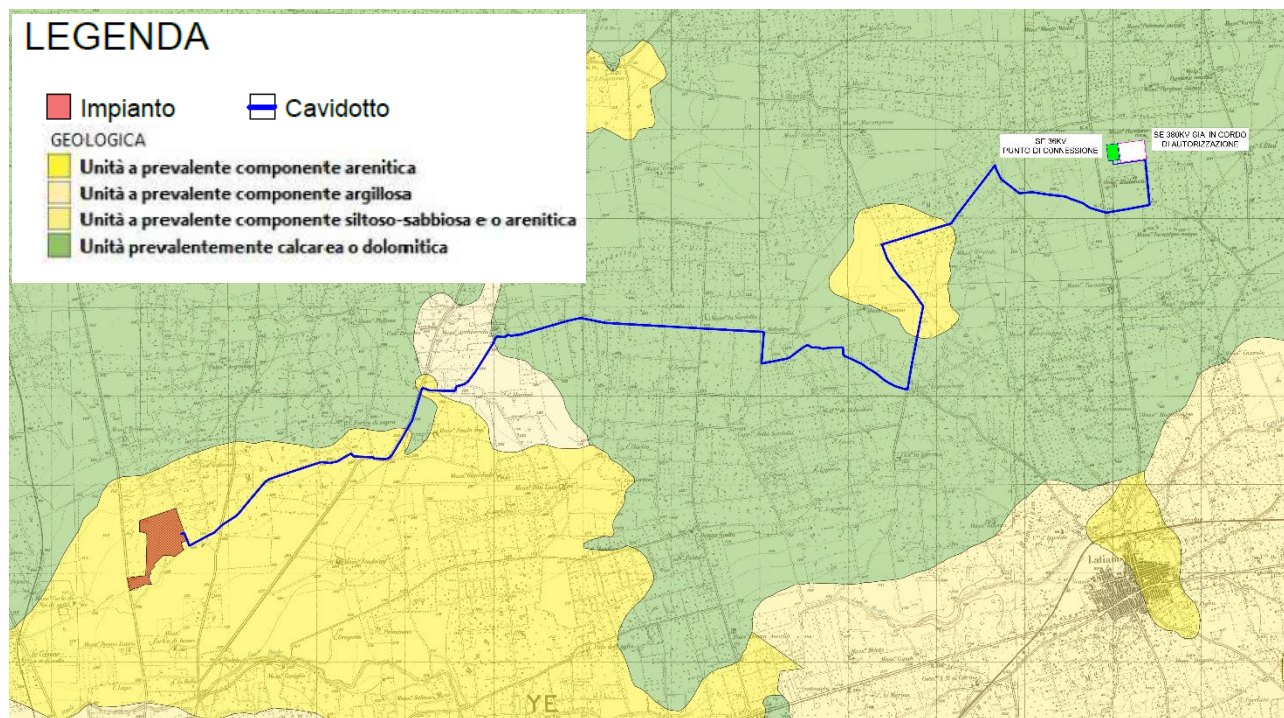
La cava è stata sempre adibita all'estrazione di calcari ad eccezione di uno strato.

L'escavatore leggero ha permesso di scavare lo strato di terreno vegetale e appena scalfire la roccia calcarea sottostante, essendo questa molto tenace e resistente a carichi elevati.

I saggi così effettuati hanno permesso di affermare che sui calcari affiora un leggero strato di terre rosse variabile a seconda dei luoghi da pochi centimetri a poco meno di 1 m.

L'omogeneità orizzontale e verticale dell'affioramento e la tipologia di impianto (poco influente sulla roccia di fondazione a livello di carichi), di cui si conoscono le caratteristiche litologiche e tecniche (di cui si dirà dopo), ha fatto sì che si potesse limitare il numero di saggi a quelli appena descritti in n.4 distribuiti sull'intera area.

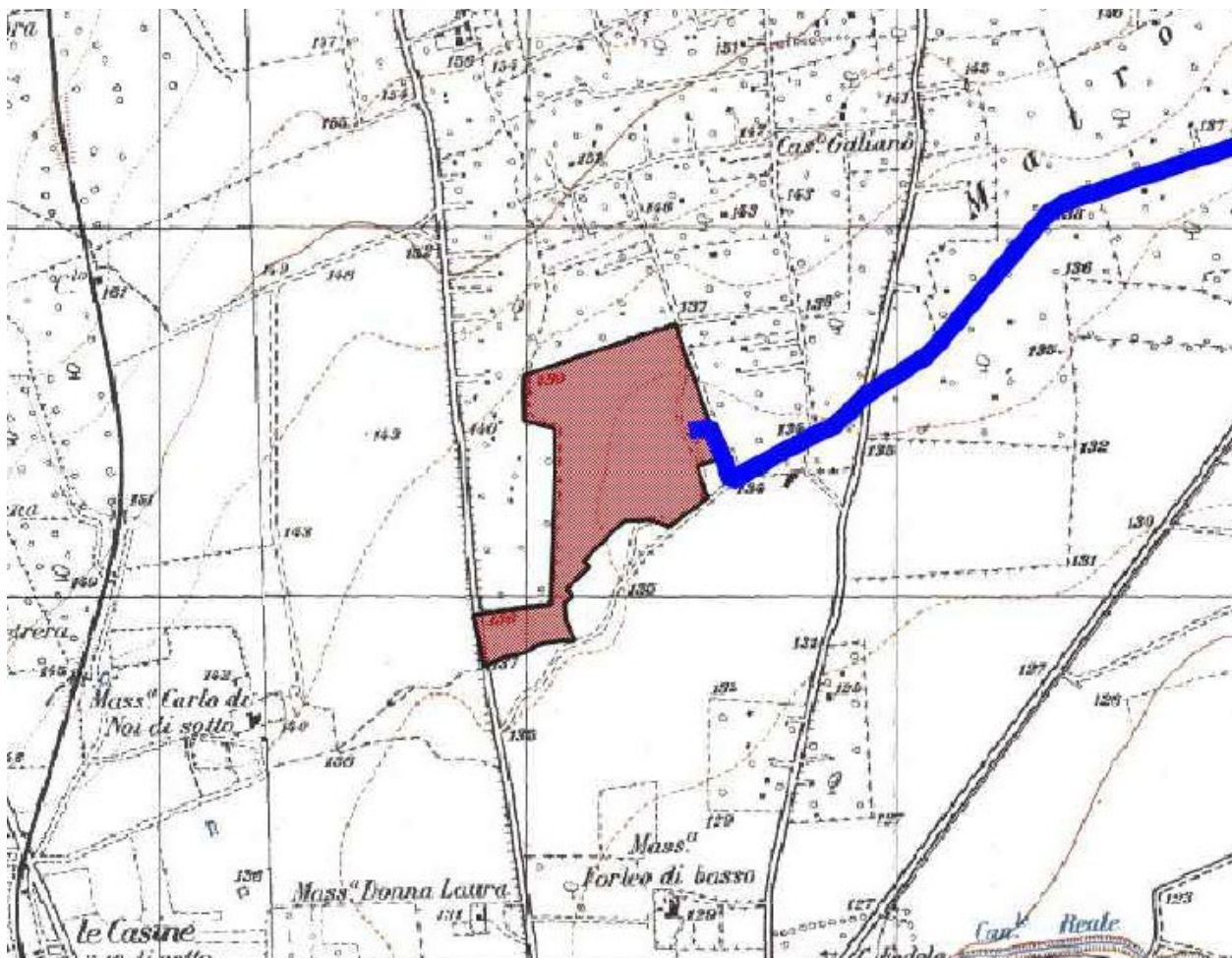
Dal punto di vista geologico la situazione è molto chiara e non necessitano ulteriori saggi o sondaggi, sarebbe una indagine superflua e ridondante.



5 CARATTERISTICHE IDROGEOLOGICHE DELL'AREA

Nelle aree interessate affiorano i calcari e quindi la sola falda profonda carsica.

La quota topografica media dell'area si aggira intorno a 135m s.l.m.



La falda carsica si presume sia posizionata a circa 105-110 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%.

Nel territorio di intervento le quote piezometriche risalgono, procedendo verso l'interno, sino a raggiungere circa m 50 s.l.m. in prossimità del Di Villa Castelli e Ceglie Messapica. Nell'area di interesse si stima a circa 35m s.l.m.

Progettazione :



IA.ING S.r.l.
Viale Marcello Chiatante, n.60 - 73100 Lecce (LE)
Tel./Fax. +39 0832 242193 e-mail: info@iaing.it

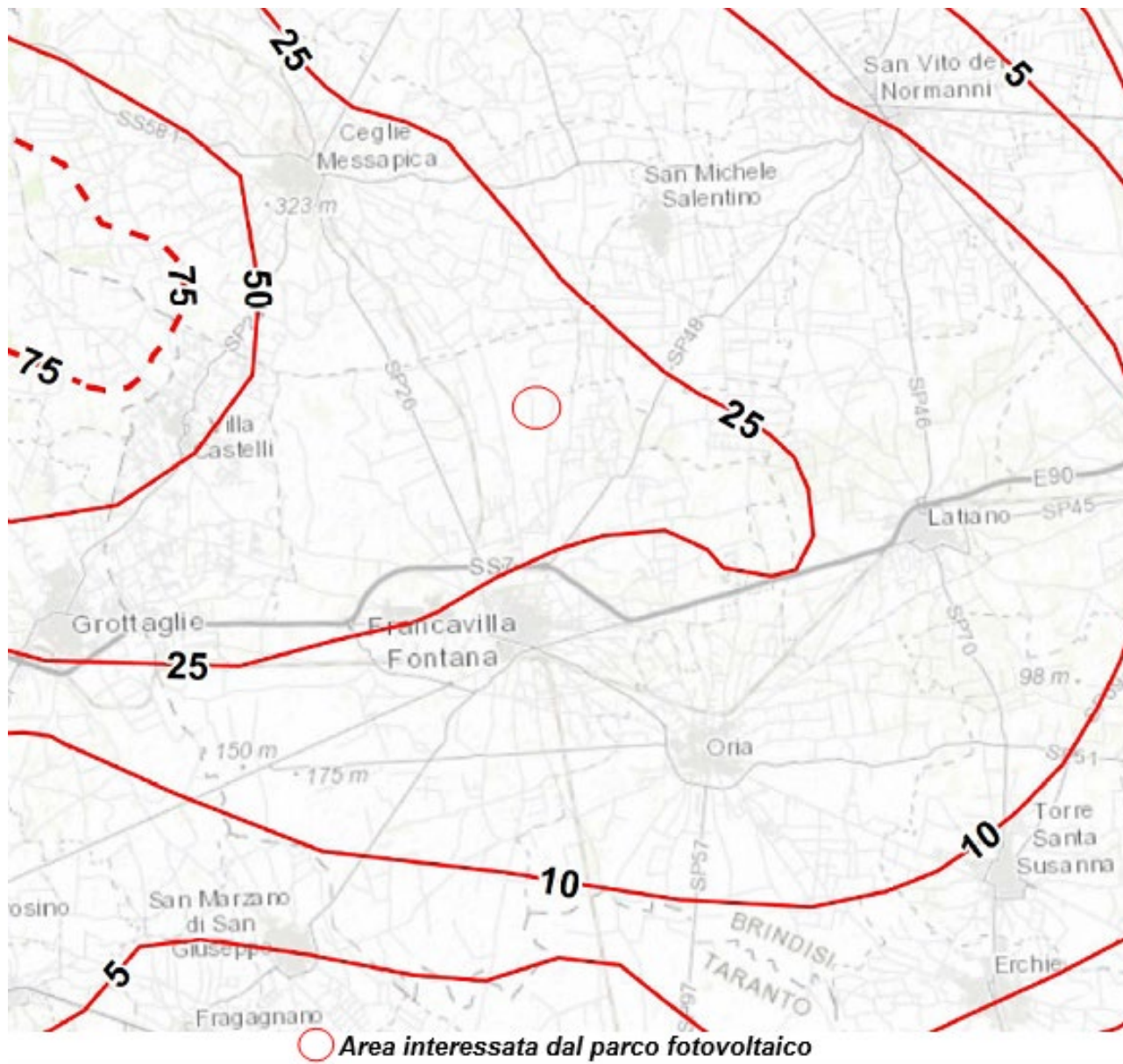


Figura 4: Carta dell'andamento della superficie piezometrica della falda (da PTA Regione Puglia).

6 SISMICITÀ DEL TERRITORIO

Il territorio comunale di Francavilla Fontana è classificato ai sensi dell'O.P.C.M. n. 3274 del 23.03. 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).

Progettazione :



IA.ING S.r.l.
Viale Marcello Chiatante, n.60 - 73100 Lecce (LE)
Tel./Fax. +39 0832 242193 e-mail: info@iaing.it

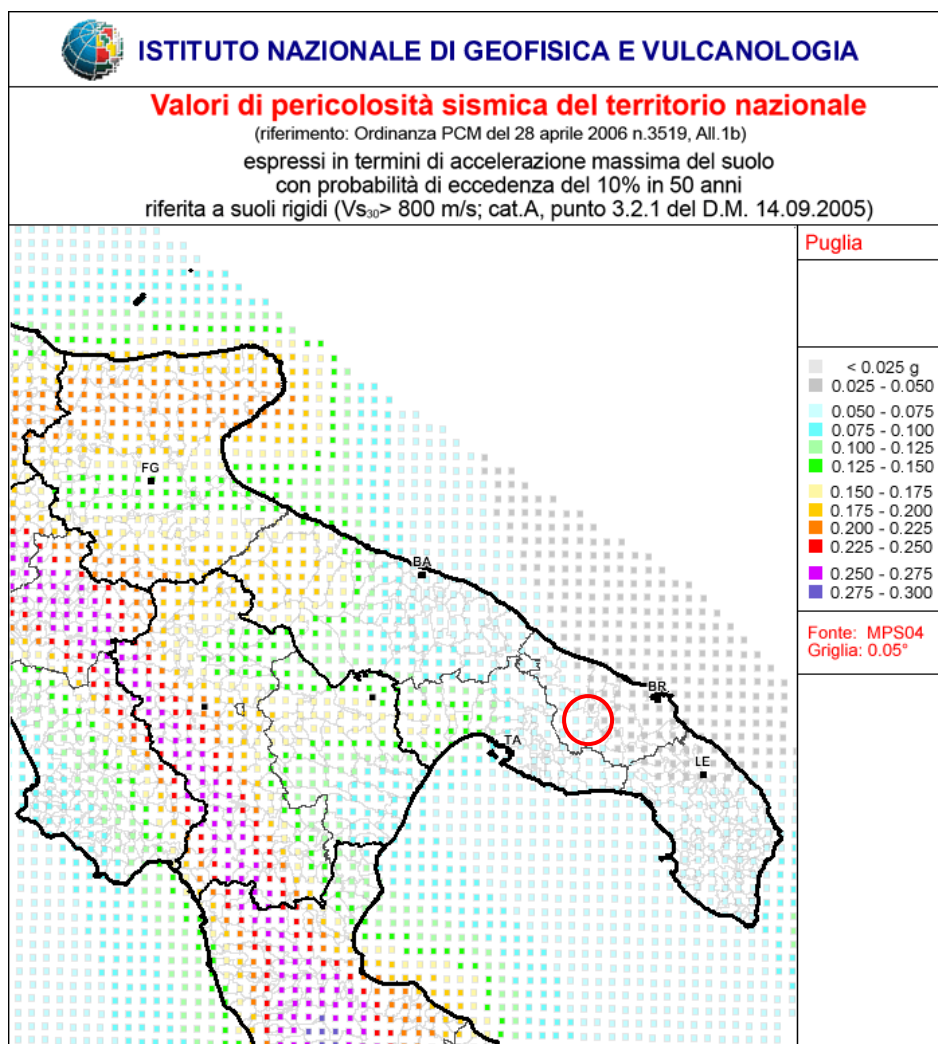
Il comune di Francavilla Fontana rientra in un'area caratterizzata da valori di accelerazione del suolo (a_g) compresa tra 0.025 e 0.050 m/s.

Nella Tabella 1, qui di seguito, 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 1

Con l'entrata in vigore del D.M. 14 gennaio 2008, 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.



7 RISULTATI DELL'INDAGINE SISMICA

Lo scopo di questa indagine è la caratterizzazione sismica del sottosuolo e, in particolare, l'individuazione delle discontinuità sismiche nonché la profondità della formazione rocciosa compatta (bedrock geofisico). Con tale metodo viene stimata la velocità di propagazione delle onde di taglio (V_{s30}) come esplicitamente richiesto dalle Norme Tecniche per le Costruzioni del 14 gennaio 2008.

L'indagine geofisica proposta si avvale della metodologia basata sulla tecnica di Nakamura e sul rapporto spettrale H/V.

La tecnica dei rapporti spettrali o HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) è totalmente non invasiva, molto rapida, si può applicare ovunque e non necessita di nessun tipo di perforazione, né di stendimenti di cavi, né di energizzazione esterne diverse dal rumore ambientale che in natura esiste ovunque. I risultati che si possono ottenere da una registrazione di questo tipo sono:

Progettazione :



IA.ING S.r.l.
Viale Marcello Chiatante, n.60 - 73100 Lecce (LE)
Tel./Fax. +39 0832 242193 e-mail: info@iaing.it

- la *frequenza caratteristica* di risonanza del sito che rappresenta un parametro fondamentale per il corretto dimensionamento degli edifici in termini di risposta sismica locale in quanto si dovranno adottare adeguate precauzioni nell'edificare edifici aventi la stessa frequenza di vibrazione del terreno per evitare l'effetto di "doppia risonanza" estremamente pericolosi per la stabilità degli stessi;
- la *frequenza fondamentale* di risonanza di un edificio, qualora la misura venga effettuata all'interno dello stesso. In seguito sarà possibile confrontarla con quella caratteristica del sito e capire se in caso di sisma la struttura potrà essere o meno a rischio;
- la velocità media delle onde di taglio Vs calcolata tramite un apposito codice di calcolo. È necessario, per l'affidabilità del risultato, conoscere la profondità di un riflettore noto dalla stratigrafia (prova penetrometrica, sondaggio, ecc.) e riconoscibile nella curva H/V. È possibile calcolare la Vs30 e la relativa categoria del suolo di fondazione come esplicitamente richiesto dalle Norme Tecniche per le Costruzioni del 14 gennaio 2008.
- la *stratigrafia del sottosuolo* con un range di indagine compreso tra 0.5 e 700 m di profondità anche se il dettaglio maggiore si ha nei primi 100 metri. Il principio su cui si basa la presente tecnica, in termini di stratigrafia del sottosuolo, è rappresentato dalla definizione di strato inteso come unità distinta da quelle sopra e sottostanti per un contrasto d'impedenza, ossia per il rapporto tra i prodotti di velocità delle onde sismiche nel mezzo e densità del mezzo stesso;

Le basi teoriche della tecnica HVSR si rifanno in parte alla sismica tradizionale (riflessione, rifrazione, diffrazione) e in parte alla teoria dei microtremori. La forma di un'onda registrata in un sito x da uno strumento dipende:

1. dalla forma dell'onda prodotta dalla sorgente s,
2. dal percorso dell'onda dalla sorgente s al sito x (attenuazioni, riflessioni, rifrazioni, incanalamenti per guide d'onda),
3. dalla risposta dello strumento.

Possiamo scrivere questo come:

$$\text{segnale registrazione al sito } x = \text{sorgente} * \text{effetti di percorso} * \text{funzione trasferimento strumento}$$

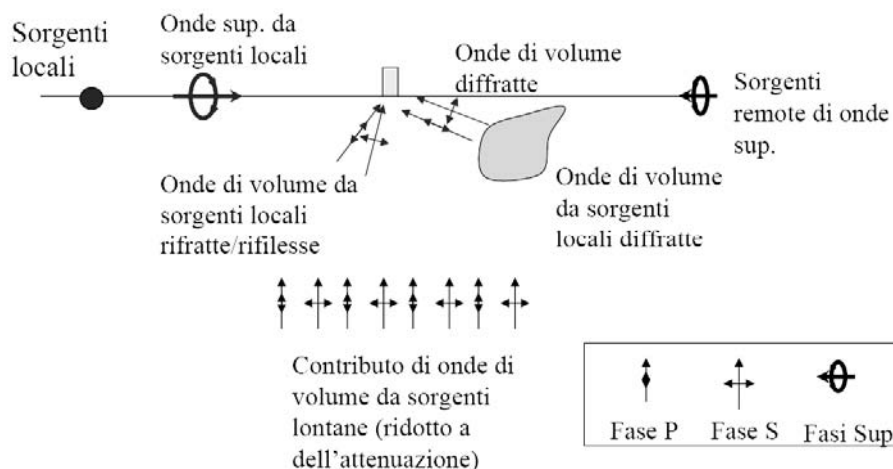
Il rumore sismico ambientale, presente ovunque sulla superficie terrestre, è generato dai fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento) e dall'attività antropica oltre che, ovviamente, dall'attività dinamica terrestre. Si chiama anche microtremore poiché riguarda oscillazioni molto piccole, molto più piccole di quelle indotte dai terremoti.

Progettazione :



IA.ING S.r.l.
Viale Marcello Chiatante, n.60 - 73100 Lecce (LE)
Tel./Fax. +39 0832 242193 e-mail: info@iaing.it

I metodi che si basano sulla sua acquisizione si dicono passivi in quanto il rumore non è generato ad hoc, come ad esempio le esplosioni della sismica attiva.



Nel tragitto dalla sorgente *s* al sito *x* le onde elastiche (sia di terremoto che microtremore) subiscono riflessioni, rifrazioni, intrappolamenti per fenomeni di guida d'onda, attenuazioni che dipendono dalla natura del sottosuolo attraversato.

Questo significa che se da un lato l'informazione relativa alla sorgente viene persa e non sono più applicabili le tecniche della sismica classica, è presente comunque una parte debolmente correlata nel segnale che può essere estratta e che contiene le informazioni relative al percorso del segnale ed in particolare relative alla struttura locale vicino al sensore.

Dunque, anche il debole rumore sismico, che tradizionalmente costituisce la parte di segnale scartate dalla sismologia classica, contiene informazioni. Questa informazione è però "sepolta" all'interno del rumore casuale e può essere estratta attraverso tecniche opportune. Una di queste tecniche è la teoria dei rapporti spettrali o, semplicemente, HVSR che è in grado di fornire stime affidabili delle frequenze principali dei sottosuoli; informazione di notevole importanza nell'ingegneria sismica.

7.1 Strumentazione e metodologia

Per l'acquisizione dei dati è stato utilizzato un tromometro digitale modello "Tromino" che rappresenta la nuova generazione di strumenti ultra-leggeri e ultra-compatti in alta risoluzione adatti a tali misurazioni.

Lo strumento racchiude al suo interno tre velocimetri elettrodinamici ortogonali tra loro ad alta definizione con intervallo di frequenza compreso tra 0.1 e 256 Hz.

Progettazione :

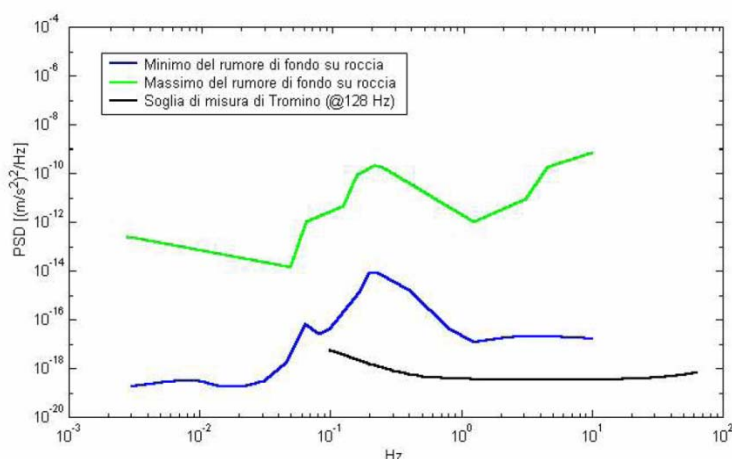


IA.ING S.r.l.
Viale Marcello Chiatante, n.60 - 73100 Lecce (LE)
Tel./Fax. +39 0832 242193 e-mail: info@iaing.it

I dati vengono memorizzati in una scheda di memoria interna da 512 Mb, evitando così la presenza di qualsiasi cavo che possa introdurre rumore meccanico ed elettronico. Nella figura seguente si riporta la curva di rumore di "Tromino" a confronto con i modelli standard di rumore sismico massimo (in verde) e minimo (in blu) per la Terra. Gli spettri di potenza sono espressi in termini di accelerazione e sono relativi alla componente verticale del moto.



I dati sono stati convertiti in file ASCII mediante il software "Grilla", fornito a supporto dello strumento utilizzato, quindi elaborati per ottenere spettri di velocità in funzione della frequenza. Per evitare di introdurre basse frequenze spurie i dati sono stati corretti per offset e trend ma non filtrati così come raccomandato dalla norma DIN 4150-3.



In fase operativa si sono seguite le seguenti operazioni:

1. *il rumore sismico è stato registrato nelle sue tre componenti per un intervallo di tempo dell'ordine delle decine di minuti (circa 20 minuti),*
2. *la registrazione è stata suddivisa in intervalli della durata di qualche decina di secondi ciascuno,*
3. *per ogni segmento viene eseguita un'analisi spettrale del segmento nelle sue tre componenti,*
4. *per ciascun segmento si calcolano i rapporti spettrali fra le componenti del moto sui piani orizzontale e verticale,*
5. *vengono calcolati i rapporti spettrali medi su tutti i segmenti.*

Progettazione :



IA.ING S.r.l.
Viale Marcello Chiatante, n.60 - 73100 Lecce (LE)
Tel./Fax. +39 0832 242193 e-mail: info@iaing.it

Per considerare la misura ottenuta come una stima dell'ellitticità delle onde di Rayleigh è necessario che:

1. i rapporti H/V ottenuti sperimentalmente siano "stabili" ovvero frutto di un campionamento statistico adeguato,
2. gli effetti di sorgente siano stati effettivamente mediati ovvero non ci siano state sorgenti "dominanti",
3. la misura non contenga errori sistematici (per es. dovuti ad un cattivo accoppiamento dello strumento con il terreno)

Per la determinazione delle velocità delle onde di taglio si utilizza un codice di calcolo appositamente creato per interpretare i rapporti spettrali (HVSR) basati sulla simulazione del campo di onde di superficie (Rayleigh e Love) in sistemi multistrato a strati piani e paralleli secondo la teoria descritta in AKI (1964) e Ben-Menahem e Singh (1981). Il codice può elaborare modelli con qualsiasi numero di strati (limitati a 50 nella tabella d'input), in qualsiasi intervallo di frequenze e in un qualsiasi numero di modi (fondamentale e superiori). Operativamente si costruisce un modello teorico HVSR avente tante discontinuità sismiche quante sono le discontinuità evidenziate dalla registrazione eseguita. Successivamente, tramite uno specifico algoritmo, si cercherà di adattare la curva teorica a quella sperimentale; in questo modo si otterranno gli spessori dei sismostrati con la relativa velocità delle onde Vs.

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

Tabella 3: esempi di classificazione fatta con misure H/V a stazione singola.

In via puramente indicativa, al fine di correlare le velocità delle onde di taglio ad un tipo di suolo, in **Tabella 3** si riportano una serie d'esempi di classificazioni fatte sulla base di semplici misure H/V a stazione singola. In tutti i siti descritti, la stratigrafia è nota da sondaggi e prove penetrometriche e il profilo Vs è ricavato anche con metodi alternativi.

Progettazione :



7.2 Interpretazione delle misure eseguite

L'interpretazione consente di correlare il valore di picco dello spettro di risposta HVSR con la profondità del substrato roccioso compatto (bedrock geofisico) e di individuare una corrispondenza tra i valori di frequenza relativi alle discontinuità sismiche e i cambi litologici presenti nell'immediato sottosuolo.

Interpretando i minimi della componente verticale come risonanza del modo fondamentale dell'onda di Rayleigh e i picchi delle componenti orizzontali come contributo delle onde SH, si possono ricavare il valore di frequenza caratteristica del sito. Sapendo che ad ogni picco in frequenza corrisponde una profondità [m] dell'orizzonte che genera il contrasto d'impedenza si può estrapolare una stratigrafia geofisica del sottosuolo.

La frequenza caratteristica di risonanza del sito risulta generata dalla discontinuità sismica localizzata alle medie frequenze (circa 1,5 Hz) e associabile a contatto copertura – roccia. La sovrapposizione degli spettri sismici acquisiti (figura a seguire) mostra un andamento monodimensionale del substrato roccioso mentre per frequenze maggiori (minori profondità) si osservano sostanziali diversità.

L'utilizzo del codice di calcolo sintetico ha, in questo caso, evidenziato una leggera discontinuità sismica a 10-12 Hz (circa 10-12 m dal p.c.) e una successiva graduale crescita delle velocità di propagazione delle onde di taglio con la profondità poiché lo spettro sismico si stabilizza costantemente su di un rapporto spettrale H/V > di 2.

La crescita di velocità di propagazione delle onde sismiche è correlabile ad un aumento della rigidità del sottosuolo. Tale aumento delle velocità deve intendersi come un cambio della litologia, cioè calcari più compatti rispetto a quelli superficiali meno compatti.

È stato quindi possibile stimare, tramite la formula $V_{s30} = 30 / \sum h_i / V_i$, la velocità delle onde Vs nei 30 m dal p.c., come esplicitamente richiesto dalle Norme Tecniche per le Costruzioni del 14 gennaio 2008 e succ.mm.ii. (vedi allegati seguenti).

7.3 Modello sismico locale

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, si rende necessario valutare l'effetto della risposta sismica locale mediante specifiche analisi. In assenza di tali analisi, per la definizione dell'azione sismica si può fare riferimento ad un approccio semplificato, che si basa sull'individuazione di categorie di sottosuolo di fondazione (D.M. 14 gennaio 2008):

Perciò si è resa necessaria la caratterizzazione geofisica e geotecnica del profilo stratigrafico del suolo, da individuare in relazione ai parametri di velocità delle onde di taglio mediate sui primi 30 metri di terreno.

Progettazione :



Per ogni categoria del suolo (A-B-C-D-E), così come riportato nella tabella seguente, è fissata una descrizione litostratigrafica, con ad essa associati i parametri di riferimento geotecnici e sismici. Grazie alla tecnica di Refraction Microtremor (ReMi) descritta precedentemente è stato possibile giungere all'individuazione della categoria del suolo per l'area indagata.



▲ Sondaggi sismici con Tromino

La V_{s30} è stata calcolata con la seguente espressione: $V_{seq} = 30 / \sum h_i/V_i$

Da tale relazione sono emersi i seguenti valori di V_{seq} :

Progettazione :



IA.ING S.r.l.
Viale Marcello Chiatante, n.60 - 73100 Lecce (LE)
Tel./Fax. +39 0832 242193 e-mail: info@iaing.it

S1				
Profondità del substrato (m)	hi	Vsi	hi/Vsi	litologia
30	3	675	0,004	calcarenite
	27	1100	0,025	calcari
			0,029	
Vseq = H/ ∑hi/Vsi			1034,84	m/s

S2				
Profondità del substrato (m)	hi	Vsi	hi/Vsi	litologia
30	24	1230	0,020	calcari compatti
			0,020	
Vseq = H/ ∑hi/Vsi			1537,50	m/s

S3				
Profondità del substrato (m)	hi	Vsi	hi/Vsi	litologia
30	3	635	0,005	calcarenite
	27	1100	0,025	calcari
			0,029	
Vseq = H/ ∑hi/Vsi			1024,94	m/s

S4				
Profondità del substrato (m)	hi	Vsi	hi/Vsi	litologia
30	3	620	0,005	calcarenite
	27	1100	0,025	calcari
			0,029	
Vseq = H/ ∑hi/Vsi			1020,96	m/s

Progettazione :



IA.ING S.r.l.
 Viale Marcello Chiatante, n.60 - 73100 Lecce (LE)
 Tel./Fax. +39 0832 242193 e-mail: info@iaing.it

Categoria	Descrizione
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> 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	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> 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 $NSPT_{,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $cu_{,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> 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 $15 < NSPT_{,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < cu_{,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , 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 $NSPT_{,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $cu_{,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).
E	<i>Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m</i> , posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).

8 CARATTERISTICHE IDROGEOMORFOLOGICHE DELL'AREA

La situazione geomorfologica dell'area è ben distinguibile dalla consultazione in primis della carta topografica dell'IGM in scala 1:25.000.

Nella pagina seguente si riporta la base IGM sovrapposta all'ortofoto ed ai lineamenti idrografici riportati sia sulla stessa IGM scala 1:25000 che sulla Carta Idrogeomorfologica della Puglia.

Alcune delle principali lineazioni tettoniche (faglie) si sono generate durante i movimenti tettonici che hanno determinato il sollevamento dell'altopiano cretaceo, definendo l'attuale assetto strutturale del territorio. Tali sistemi principali di fratturazione non sono attualmente attivi ma hanno condizionato l'andamento locale del reticolo idrografico effimero.

Le incisioni vallive che caratterizzano il territorio comunale, si impostano su faglie dislocative che hanno determinato allineamenti preferenziali dove si concentrano i processi erosivi per ruscellamento.

Innanzitutto, ad esclusione del Canale Reale che scorre in adiacenza all'abitato di Francavilla Fontana (quindi molto distante dall'area in oggetto), **si fa presente che trattasi di lineamenti idrografici "effimeri"**.

Essi rappresentano i resti di un'antica idrografia superficiale oggi scomparsa. Solo nel caso di precipitazioni abbondanti possono convogliare per brevi periodi una certa quantità d'acqua in una direzione ben precisa dettata dalle quote topografiche (dal che la denominazione di "effimeri").

Progettazione :



IA.ING S.r.l.
Viale Marcello Chiatante, n.60 - 73100 Lecce (LE)
Tel./Fax. +39 0832 242193 e-mail: info@iaing.it

9 CONSIDERAZIONI SULLE CONDIZIONI IDROGEOMORFOLOGICHE PRIMA E DOPO LA REALIZZAZIONE DELLE OPERE.

L'impianto fotovoltaico in oggetto non prevede sbancamenti di terreno superficiale o di roccia sottostante, né prevede operazioni di livellamento tali da alterare l'attuale morfologia naturale dell'area, ad esclusione dei movimenti di terra all'interno della cava.

Per quanto alla situazione geomorfologica delle aree dopo gli interventi proposti, ai fini del non incremento/mitigazione del livello di pericolosità idraulica per le aree adiacenti e per l'area stessa, in relazione alle condizioni idro-geomorfologiche del territorio prima e dopo gli interventi proposti, si può senz'altro dichiarare, in base alla reale situazione idrogeomorfologica dell'area attuale, che l'impianto in progetto non modificherà il senso dell'eventuale scorrimento delle acque in quei lineamenti effimeri, né modificherà la permeabilità delle aree.

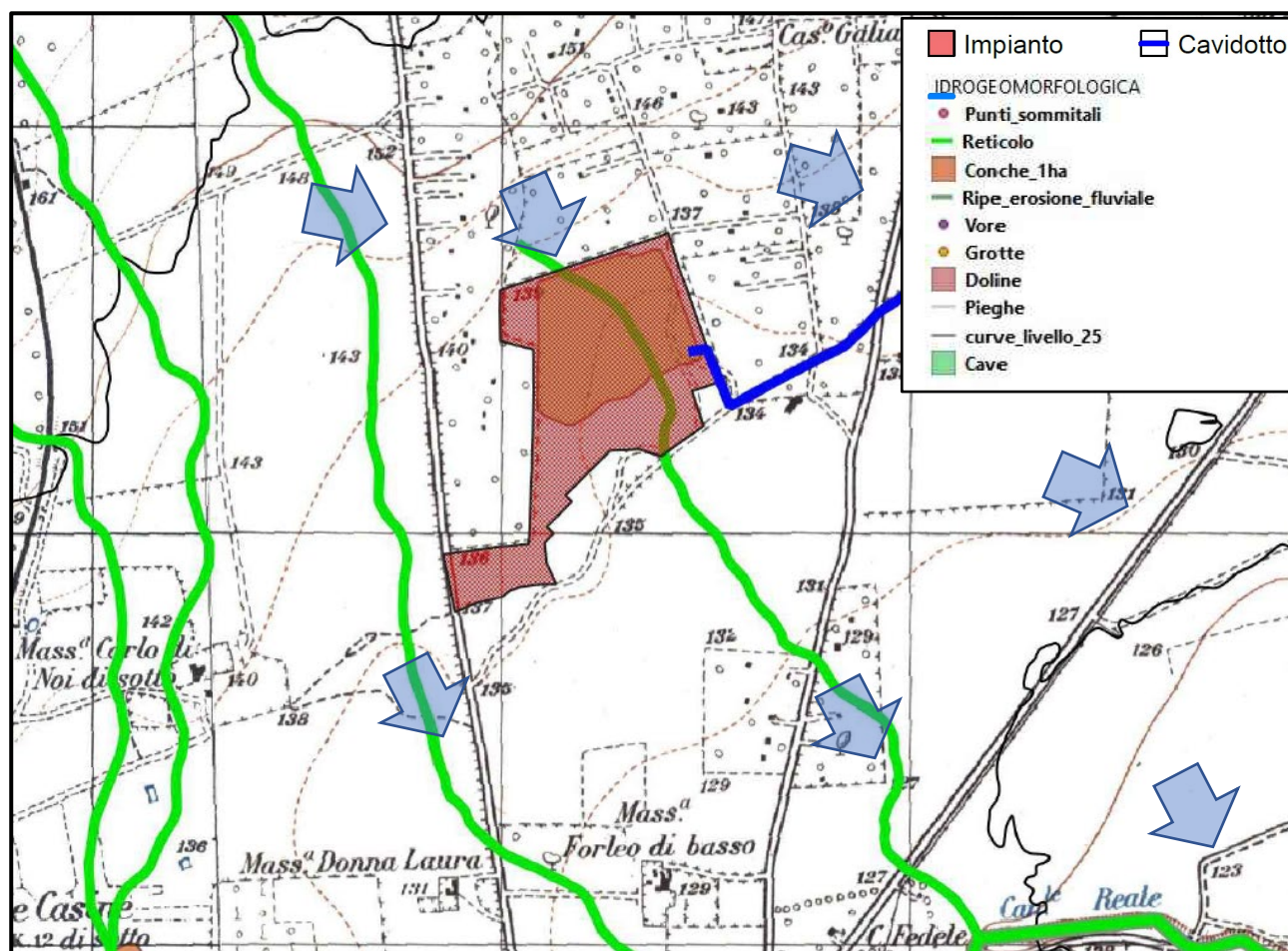


Figura 5: Situazione geomorfologica dell'area, le frecce rappresentano il verso teorico di scorrimento delle acque superficiali.

Progettazione :



IA.ING S.r.l.
Viale Marcello Chiatante, n.60 - 73100 Lecce (LE)
Tel./Fax. +39 0832 242193 e-mail: info@iaing.it

10 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 quanto prevedono le norme citate nel parere della Regione Puglia - SEZIONE OPERE PUBBLICHE E INFRASTRUTTURE - SERVIZIO AUTORITÀ IDRAULICA - STRUTTURA TECNICA - Sede di Brindisi:

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

Progettazione :



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;
- 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 lapidee senza soluzione di continuità, con caratteristiche meccaniche così elevate, e con carichi così bassi, il volume significativo è trascurabile, cioè non si crea neanche un bulbo di pressione (che si addice più ad un calcolo con stratigrafie diverse come ad esempio in litotipi sciolti (sabbie, limi, argille, ecc.).

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.

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 geostrutturali 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.

Progettazione :



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.

11 CONCLUSIONI

Il presente lavoro è stato svolto in ottemperanza alle prescrizioni del nuovo 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. L'ammasso roccioso che ospiterà le strutture fondali è rappresentato da calcari compatti e con ottima capacità portante;*
- 2. La falda superficiale è assente al disotto delle fondazioni delle strutture di sostegno dei pannelli fotovoltaici;*
- 3. 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 A** (tab. 3.2.II delle NTC 2008);*
- 4. Per quanto alla situazione geomorfologica delle aree dopo gli interventi proposti, ai fini del non incremento/mitigazione del livello di pericolosità idraulica per le aree adiacenti e per l'area stessa, in relazione alle condizioni idro-geomorfologiche del territorio prima e dopo gli interventi proposti, si può senz'altro dichiarare, in base alla reale situazione idrogeomorfologica dell'area attuale, che l'impianto in progetto non modificherà il senso dell'eventuale scorrimento delle acque in quei lineamenti effimeri, né modificherà la permeabilità delle aree.*



Il geologo
Dott. Giuseppe MASILLO