



Comune di Molfetta
Piano Particolareggiato per
l'ampliamento della sede cimiteriale
art. 28 NTA del Piano Regolatore Generale

Progettazione: Settore Territorio
ing. Alessandro Binetti
geom. Pasquale de Tullio

Responsabile Unico del Procedimento
ing. Alessandro Binetti
Geologo
dott.ssa Tiziana de Razza

relazione geologica, geomorfologica
idrogeologica e geologico-tecnica

C

INDICE

1. PREMESSA.	1
2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E MORFOLOGICO.	3
3. CARATTERIZZAZIONE IDROGEOLOGICA.	5
4. SISTEMA VINCOLISTICO.	7
PPTR	7
PAI	9
4. INDAGINI GEOGNOSTICHE E CARATTERIZZAZIONE SISMICA.	11
4.1. Prospezione sismica a rifrazione.	12
<i>PROFILO SISMICO 1</i>	14
<i>PROFILO SISMICO 2</i>	15
4.2. Sismica con metodologia MASW e definizione del suolo di fondazione.....	17
5. INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITA' SISMICA DEL SITO.	24
6. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA.	28
6. CONCLUSIONI.	34

1. PREMESSA.

In riferimento all'incarico conferito dall'Amministrazione Comunale di Molfetta, con Determinazione Dirigenziale n. generale 1129 Settore Territorio – n. settoriale 148 del 13.10.20105, la scrivente relaziona nel seguito sui risultati ottenuti da uno studio geologico tecnico, svolto in agro del Comune di Molfetta, in un'area in cui è in progetto l'ampliamento della sede cimiteriale.

Il quadro normativo nazionale di riferimento per le indagini sulle terre e sulle rocce è il seguente:

- Legge 2.02.1974 n.64 “Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche”;
- D.M. 11.03.1988 *"Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali ecc..."*;
- Circolare LL.PP: 24.09.1988 n.30483 “Norme tecniche per terreni e fondazioni: istruzioni applicative”;
- Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n.3274 del 20.03.2003 “Norme tecniche per il progetto, la valutazione e l'adeguamento sismico degli edifici”;
- D.M. 14 gennaio 2008 “Nuove norme tecniche per le costruzioni”, L. 24 giugno 2009, n. 77.
- Norme tecniche di attuazione del P.A.I. dell'AdB Puglia approvato dal Comitato Istituzionale con Delibera n.° 39 del 30-11-2005;

Lo studio, eseguito in un adeguato intorno del sito oggetto di intervento, è stato finalizzato:

- all'identificazione delle formazioni e dei litotipi presenti nel sito,
- alla ricostruzione stratigrafica, strutturale, geomorfologica, idrogeologica dell'area,
- alla definizione della “**categoria di suolo di fondazione**” attraverso parametri tecnici ottenuti con l'indagine sismica utilizzando la metodologia MASW

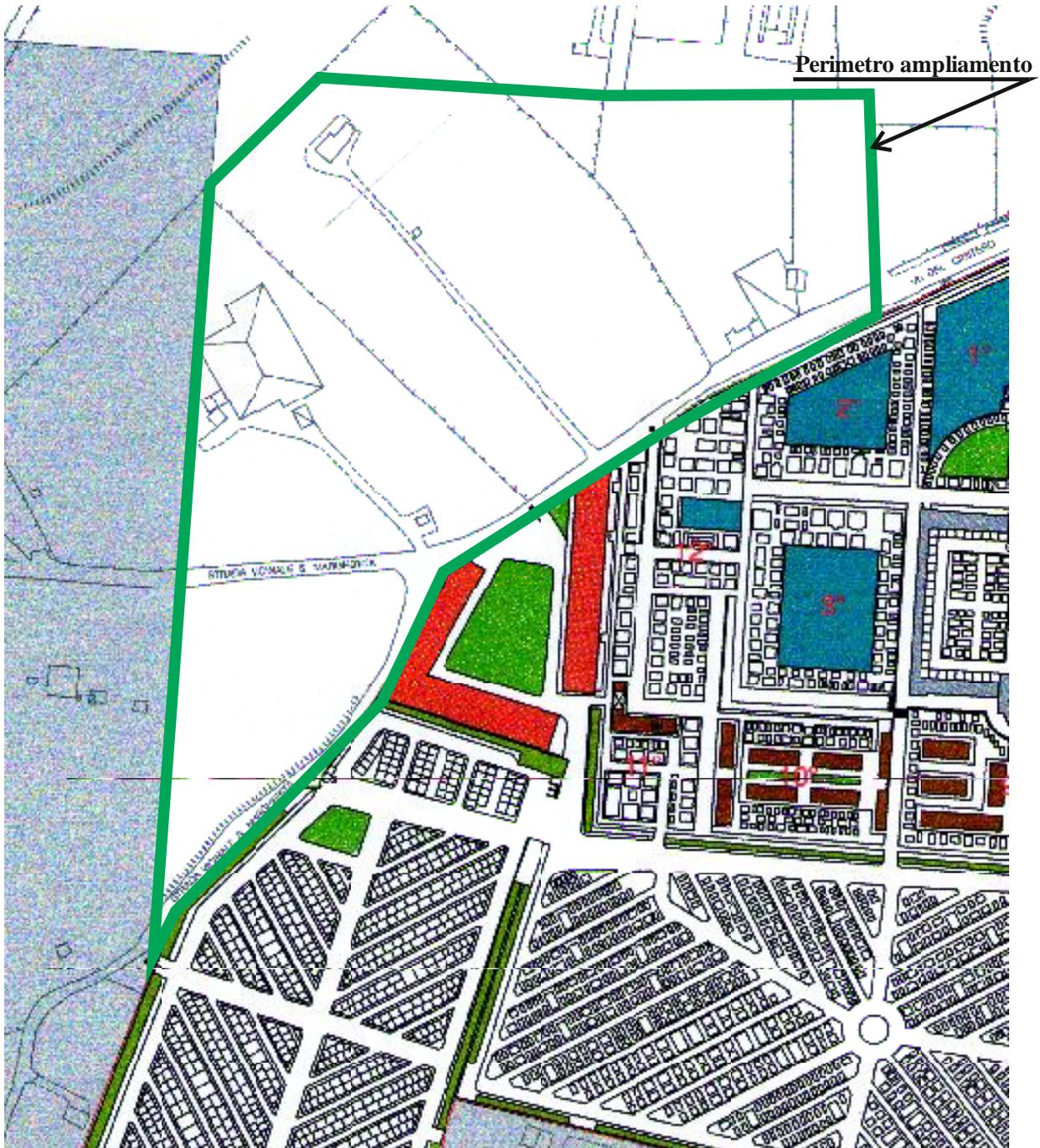
Lo studio si è articolato attraverso:

1. il rilievo geomorfologico;
2. il rilevamento geologico di dettaglio;
3. lo studio idrogeologico;

4. la realizzazione di uno stendimento sismico mediante la metodologia MASW;
5. la realizzazione di **due** stendimenti sismico a rifrazione.

Inoltre, lo studio è stato integrato con notizie derivanti dalla bibliografia geologica dell'area.

FIG. 1 – AREA CIMITERIALE ESISTENTE CON PERIMETRAZIONE AMPLIAMENTO



2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E MORFOLOGICO.

L'area in esame è compresa nella Tavoletta IV SE del F° 177 "BARI" della Carta Geologica d'Italia.

Il sito si trova ad una quota di circa 10 m s.l.m. ed è, morfologicamente, caratterizzato da una superficie degradante verso la linea di costa. Il territorio in esame appare modificato dal carsismo la cui manifestazione più evidente è data dalla presenza di un'alternanza di dossi (in corrispondenza di cerniere di anticlinali), intervallati da forme depresse, "lame", e dalla presenza di accumuli di terra rossa.

Nell'area in parola sono evidenti anche modificazioni di tipo antropico. Tra queste l'elemento più importante è una cava, che si rileva a SE dell'area interessata dal progetto, e che si apre in materiale calcareo. Probabilmente tale cava è stata utilizzata in passato come cava di prestito per l'estrazione di materiale lapideo per la realizzazione del Cimitero.

Lo schema geologico generale è caratterizzato dalla presenza di un potente substrato calcareo appartenente al gruppo dei Calcari delle Murge, di età riferibile al Cretaceo, sul quale poggiano in discordanza le unità della Fossa bradanica, rappresentate da depositi del Pleistocene inferiore (Calcarenite di Gravina e Argille subappennine) ed infine, su tutti i depositi più antichi, si rinvengono i depositi marini e continentali terrazzati del Pleistocene medio e superiore.

Dal punto di vista tettonico l'area si può definire "tranquilla" ed è caratterizzata dalla presenza di una monoclinale immergente a NE, e di modeste faglie dirette, rilevabili attraverso le brusche variazioni nell'assetto degli strati con rigetti di qualche decina di metri.

In particolare nell'area in studio è stata riconosciuta la seguente successione litostratigrafica:

A) CALCARE DI BARI (Cretaceo)

L'unità è costituita da un'alternanza di strati calcari bianco-grigiastri e calcari dolomitici di colore grigio-avana, aventi spessore variabile da pochi decimetri fino al metro con tessitura organogena, piuttosto compatti e tenaci.

Sono spesso riscontrate evidenze di stress da trazione e compressione che sconvolgono la tessitura e la struttura tabulare.

Le fratture e le microcavità sono spesso riempite da depositi limo-argillosi e sedimenti calcarenitici piuttosto compressibili.

La continuità spaziale degli strati è interrotta dalla presenza di piani di fratturazione ad andamento subverticale.

Il fenomeno carsico ha compromesso le porzioni più superficiali, fratturate, portando alla formazione di lembi di terreno residuale, presente anche in profondità.

Spesso i calcari presenti in loco, a causa dell'azione combinata del carsismo e della microtettonica, risultano molto fratturati e con caratteristiche geomeccaniche non confacenti ai materiali lapidei.

La direzione degli strati calcarei è grossomodo parallela alla linea di costa, quasi Est-Ovest, mentre l'immersione è estremamente variabile.

B) CALCARENITE DI GRAVINA (Pliocene medio-Pleistocene inf.)

Sul basamento calcareo mesozoico poggiano in trasgressione i depositi della Calcarenite di Gravina, che rappresentano il prodotto più diffuso, oltre che d'inizio, del ciclo sedimentario plio-pleistocenico. Il litotipo rappresentativo è una calcarenite organogena variamente cementata, porosa e con tinte variabili dal bianco al giallastro.

La granulometria, di norma grossolana alla base, diviene più fine verso l'alto, fino a stabilizzarsi su dimensioni dei clasti che non superano pochi millimetri. Verso la sommità si hanno nuovamente clasti grossolani e compare in genere un crostone terminale compatto e tenace.



3. CARATTERIZZAZIONE IDROGEOLOGICA.

Nell'area in studio hanno larga diffusione le rocce permeabili, per cui, determinandosi una più o meno agevole e completa infiltrazione delle acque meteoriche, non risulta sviluppato alcun

vero e proprio reticolo idrografico. Ben sviluppata è invece l'idrografia sotterranea, soprattutto profonda.

L'idrologia della zona è, infatti, caratterizzata dalla presenza dei seguenti acquiferi:

- la "falda profonda", presente nelle successioni carbonatiche cretatiche;
- l'acquitaro, presente nella Calcarenite di Gravina.

L'acquifero profondo è costituito dalle successioni carbonatiche del Cretaceo, che contengono una cospicua falda idrica. Tale acquifero presenta un gradi di fratturazione variabile nelle tre dimensioni ed ha elevata permeabilità. E' un acquifero discontinuo condizionato dai sistemi fessurativi e dai condotti carsici.

Lungo la fascia costiera l'acquifero circola a pelo libero, a quote prossime al livello del mare, mentre nelle zone interne del territorio di Molfetta la circolazione è in pressione e la falda è confinata ad una profondità variabile da 40 a 64 m dal p.c.

Secondo la carta della "distribuzione media dei carichi piezometrici degli acquiferi carsici della Murgia e del Salento" del PTA della Regione Puglia (della quale la FIG. 3 costituisce parziale riproduzione) la quota piezometrica nel sito è di 0 m s.l.m.. L'acquifero carsico in questione trova il suo naturale equilibrio attraverso gli sversamenti (sorgenti) che avvengono lungo la linea di costa, verso cui le acque si muovono in virtù di un gradiente idraulico, diretto dall'interno verso la costa.

I litotipi che caratterizzano la Calcarenite di Gravina sono poco permeabili per porosità, ma essendo fessurati possono presentare una certa circolazione sotterranea. La permeabilità media di tali sedimenti è pari circa a 10^{-4} cm/sec, valore caratteristico degli acquitardi. La permeabilità aumenta o diminuisce in modo proporzionale rispetto all'intensità e alla frequenza della fessurazione.

Le falde superficiali, presenti nella Calcarenite di Gravina, sono in genere sospese. Da pozzi presenti nell'area in esame si è potuto stabilire che la falda è presente alla profondità di 4 m dal p.c.

FIG. 3 - Stralcio tav. 6.2 del PTA Puglia- Distribuzione media dei carichi piezometrici
degli acquiferi carsici della Murgia e del Salento -



4. SISTEMA VINCOLISTICO.

PPTR

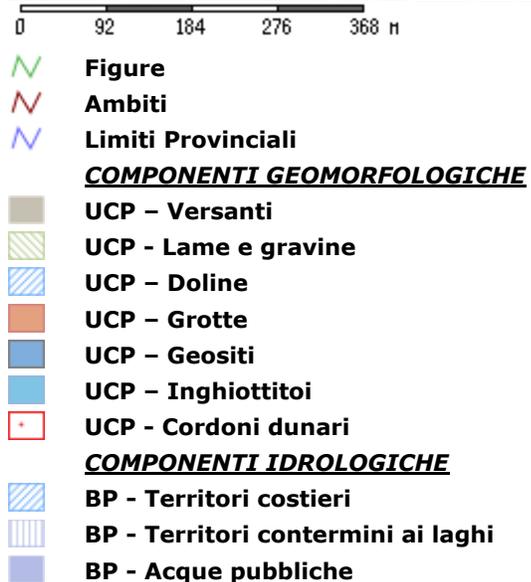
Con DGR n. 176 del 16/02/2015 la Regione Puglia ha approvato il Piano Paesaggistico Territoriale Regionale.

Nella FIG.4 sono sovrapposti gli stralci delle tavole attinenti alle:

- componenti idrogeomorfologiche;
- componenti botanico-vegetazionali;
- componenti culturali e insediative;
- componenti delle aree protette.

Come si evince dalla FIG. 4, l'area in oggetto non è interessata da alcun vincolo.

FIG. 4 – PPTR APPROVATO CON DGR n. 176 DEL 16.02.2015

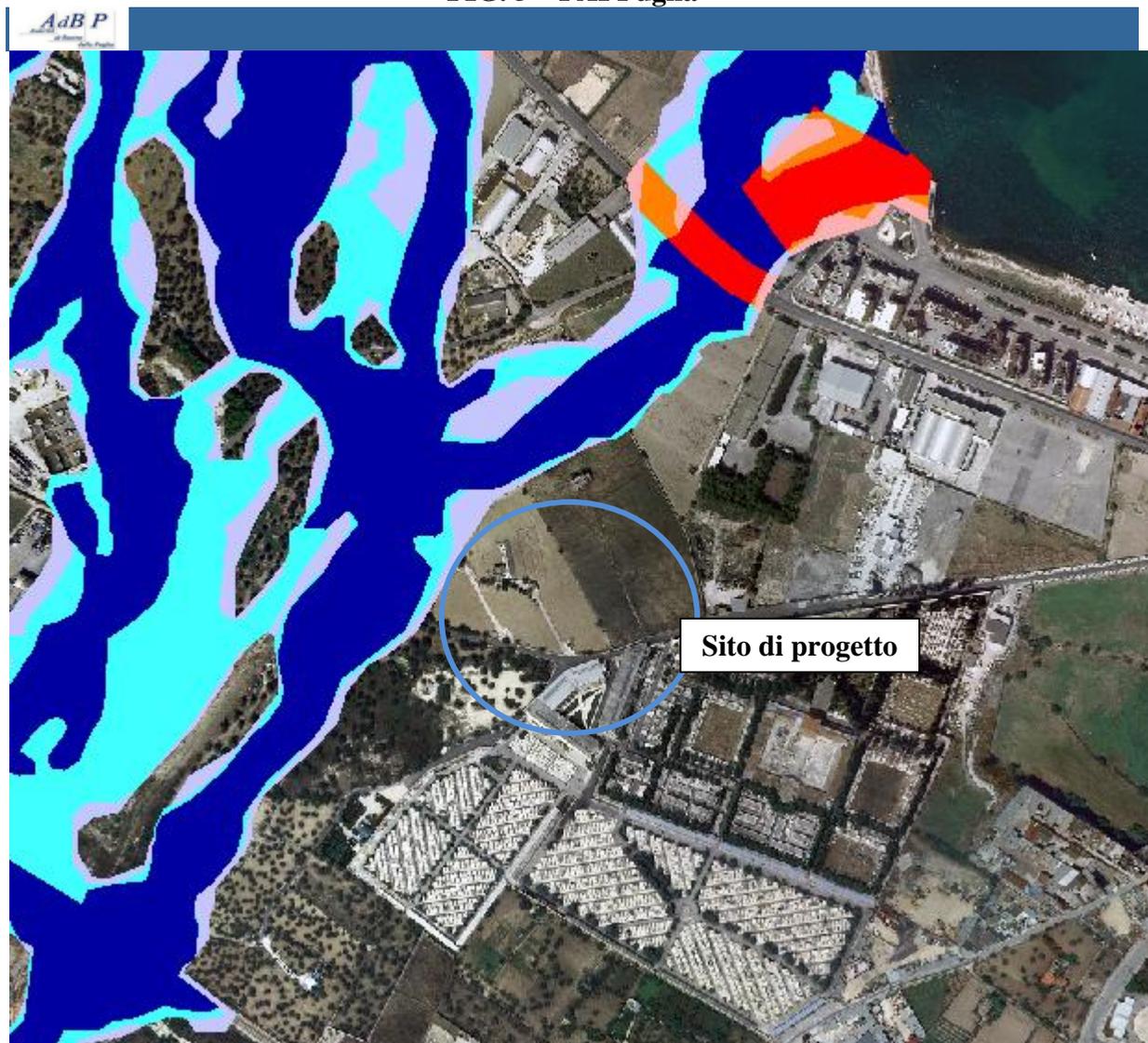


-  **UCP – Sorgenti**
-  **UCP - Reticolo idrografico di connessione della R.E.R.**
-  **UCP - vincolo idrogeologico**
- COMPONENTI BOTANICO-VEGETAZIONALI**
-  **BP – Boschi**
-  **BP - Zone umide Ramsar**
-  **UCP - Aree umide**
-  **UCP - Prati e pascoli naturali**
-  **UCP - Formazioni arbustive in evoluzione nat.**
-  **UCP - Aree di rispetto dei boschi**
- COMPONENTI DELLE AREE PROTETTE E DEI SITI NATURALISTICI**
- BP - Parchi e riserve**
-  Area e riserve naturali marine
-  Parchi e riserve nat. Regionali
-  Parchi nazionali e riserve nat. statali
-  **SIC**
-  **SIC mare**
-  **ZPS**
-  **Aree di rispetto dei parchi e ris. regionali**
- COMPONENTI CULTURALI E INSEDIATIVE**
-  **BP - Immobili e aree di notevole interesse pubblico**
-  **BP - Zone gravate da usi civici (validate)**
-  **BP - Zone gravate da usi civici**
-  **BP - Zone di interesse archeologico**
-  **UCP - Città Consolidata**
-  **UCP - Testimonianze stratificazione insediativa (Siti storico-culturali)**
-  **UCP - Testimonianze stratificazione insediativa (rete tratturi)**
-  **UCP - Testimonianze stratificazione insediativa (rischio archeologico)**
-  **UCP - Area di rispetto delle comp. cult. e insediative (siti storico-cult.)**
-  **UCP - Area di rispetto delle comp. cult. e insediative (siti archeol.)**
-  **UCP - Area di rispetto delle comp. cult. e insediative (rete tratturi)**
-  **UCP - Paesaggi rurali**
-  **UCP - Strade a valenza paesaggistica**
-  **UCP - Strade panoramiche**
-  **UCP - Luoghi panoramici**
-  **UCP - Coni visuali**

PAI

Per quanto riguarda il Piano di Bacino Stralcio per l'Assetto Idrogeologico, adottato in data 15.12.2004 dalla Regione Puglia e regolarmente approvato dal Comitato Istituzionale con Delibera n.° 39 del 30-11-2005, l'area interessata dall'ampliamento del cimitero non rientra in aree perimetrate a rischio alluvionamento e neanche in quelle perimetrate a pericolosità idraulica o geomorfologica, così come si evince dalla FIG. 5.

FIG. 5 – PAI Puglia



0 65 130 195 260 m

Scala 1: 5800

Peric. Geomorf.

media e moderata (PG1) elevata (PG2)

elevata (PG3)

Peric. Idraulica

bassa (BP)

media (MP)

alta (AP)

Rischio

R1

R2

R3

R4

4. INDAGINI GEOGNOSTICHE E CARATTERIZZAZIONE SISMICA.

La campagna d'indagini è stata eseguita dal dott. Vincenzo Dottorini della GeoSolution S.r.l., per conto della sottoscritta, in data 11/11/2015, con lo scopo di caratterizzare sismicamente l'area in progetto e di ricostruirne l'andamento stratigrafico. La campagna di indagini è stata realizzata per mezzo di:

n.2 indagini sismiche a rifrazione in onda P ed S, per la caratterizzazione elastica del sottosuolo e per la caratterizzazione sismostratigrafica dell'area,

n. 1 indagine MASW, per la caratterizzazione del suolo di fondazione.

L'ubicazione delle indagini eseguite in sito è riportata in **FIG. 6 – UBICAZIONE DELLE INDAGINI IN SITO.**

FIG. 6 – UBICAZIONE DELLE INDAGINI IN SITO.

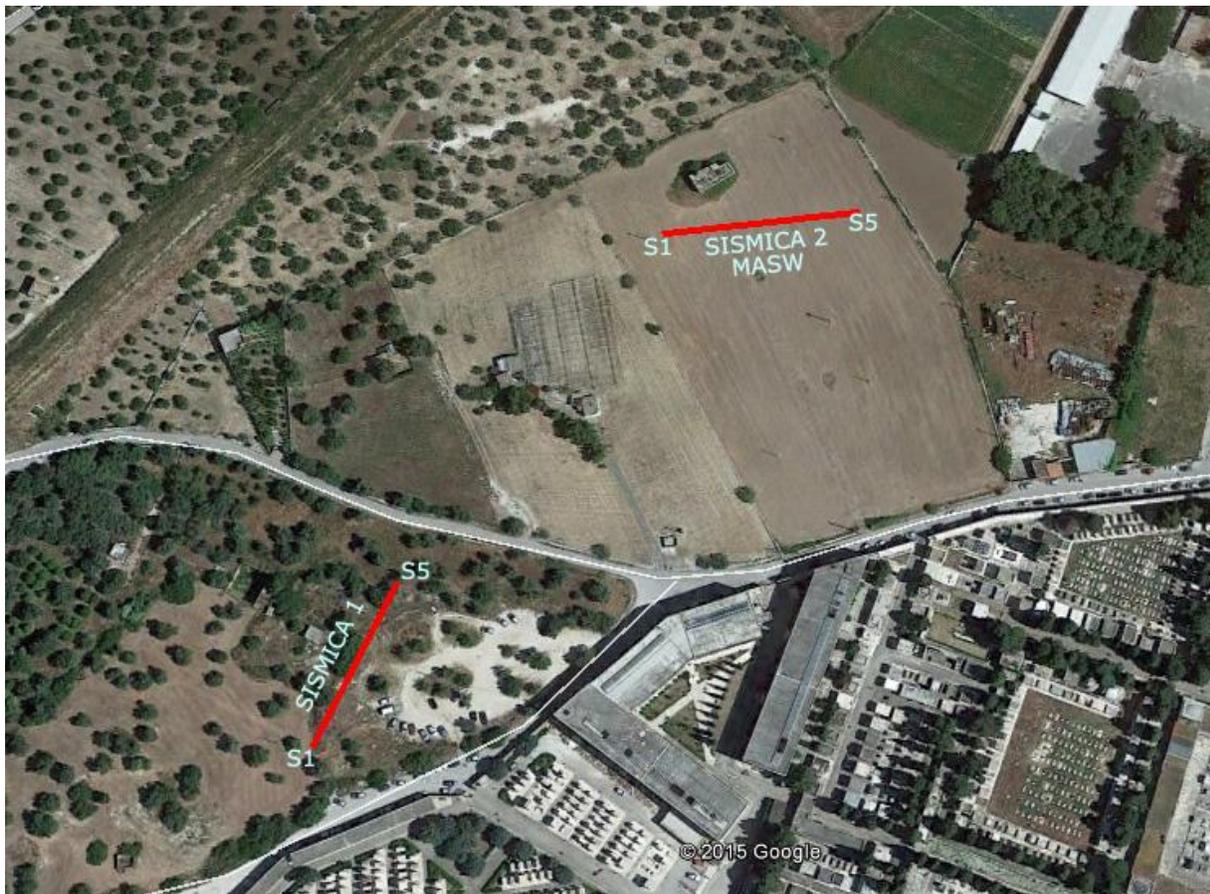
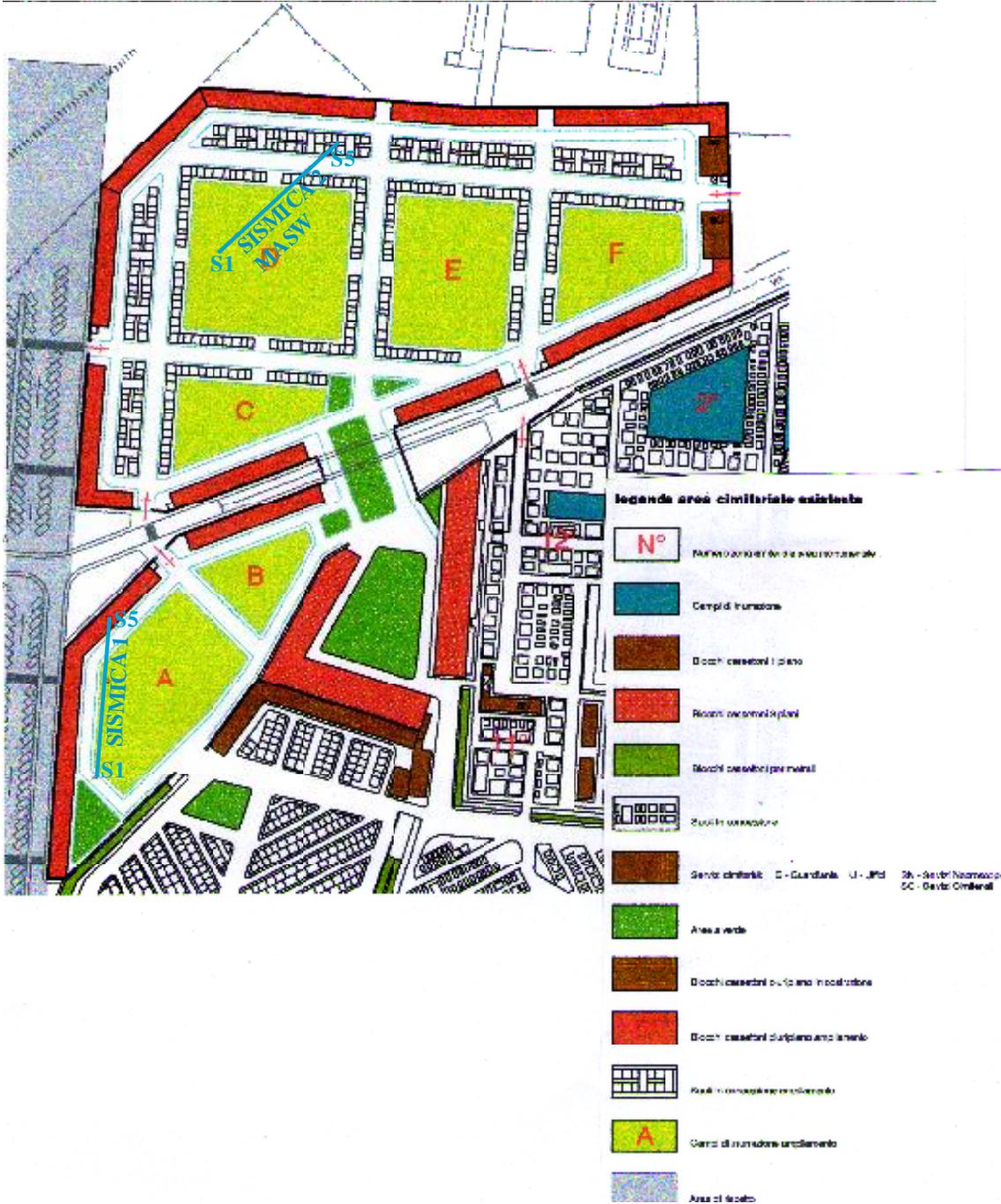


FIG. 7 - UBICAZIONE INDAGINI RISPETTO AL PROGETTO

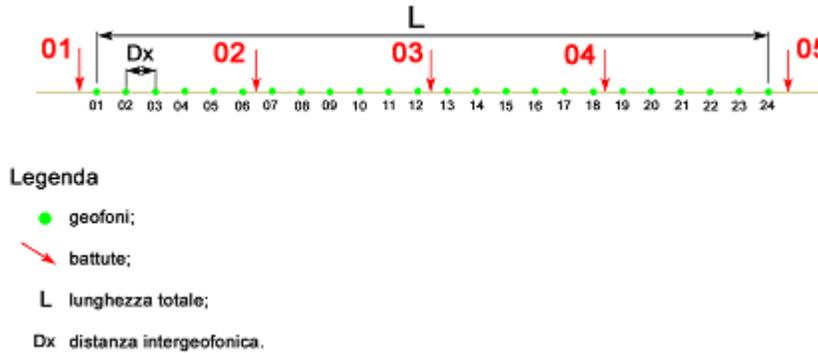


4.1. Prospezione sismica a rifrazione.

Nel corso della campagna d'indagini sono state effettuate due prospezioni sismiche a rifrazione in onda P e S con lo scopo di ottenere una ricostruzione sismostratigrafica del sito in studio nonché di definirne i parametri elastici.

Le misure sono stata effettuata secondo lo schema sotto riportato (Fig. 8), utilizzando come strumento di misura un sismografo a 24 canali Mod. M.A.E. Sysmatrack.

Fig. 8 - Schema del profilo sismico



Come apparato di ricezione delle onde P sono stati utilizzati n. 24 geofoni verticali da 4,5 Hz, mentre per la ricezione delle onde S sono stati usati 24 geofoni da 10 Hz.

L'onda P (onda di compressione) è stata generata percuotendo verticalmente un piattello metallico, appoggiato parallelamente al piano campagna, in cinque punti differenti dello stendimento sismico, di cui due esterni e tre intermedi.

L'onda S (onda di taglio) è stata generata percuotendo lateralmente sul lato destro e sinistro di una barra metallica munita di alette infissa nel terreno posta ortogonalmente allo stendimento sismico.

L'elaborazione è stata eseguita con metodologia tomografica utilizzando il software Rayfract Ver. 3.17 della Intelligent Resources Inc.

La sismica a rifrazione con metodologia tomografica, permette di ricostruire il diagramma delle velocità complementari e di ricavare l'andamento medio dei livelli rifrattori consentendo di definire un modello sismostratigrafico del sottosuolo evidenziando variazioni sia verticali che orizzontali di velocità.

Il parametro utilizzato per definire le proprietà elastiche dei terreni, è la velocità di propagazione delle onde elastiche, i cui valori sono proporzionali al grado di compattezza dei mezzi attraversati.

Pertanto è possibile che litologie differenti siano caratterizzate da medesima velocità delle onde sismiche, il che comporta l'inserimento delle stesse in uno stesso sismostrato o viceversa la stessa litologia può essere caratterizzata da differenti valori di velocità sismica a causa ad esempio del maggiore o minore stato di addensamento ed integrità della roccia, inserendo i due corpi in sismostrati differenti.

L'elaborazione con metodologia tomografica permette di evidenziare, entro uno stesso strato, tipici effetti di anisotropia laterale evidenziati da significative variazioni dei valori di velocità di propagazione delle onde elastiche, che evidenziano stati particolari di degradazione non individuabili facilmente con la sismica a rifrazione classica.

PROFILO SISMICO 1

Il profilo è stato realizzato con una distanza intergeofonica di 2,5 m ed una lunghezza totale dello stendimento pari a 57,5 m.

Analizzando la sezione (Fig. 9) sono stati distinti 2 sismostrati di cui il primo, superficiale con spessore pari a circa 2,5 m, presenta valori di velocità delle onde P variabili tra 600 m/s a 1200 m/s con una velocità media pari a 900 m/s e valore medio della velocità delle onde S pari a circa 550 m/s. Tale sismostrato è ascrivibile a terreno carbonatico scarsamente cementato.

Il secondo sismostrato, con spessore indefinito è caratterizzato da valori di velocità delle onde P che variano tra circa 1200 m/s e circa 3000 m/s con una velocità media equivalente pari a circa 2100 m/s. ed una velocità media delle onde S pari a circa 1400 m/s.

In questo sismostrato si evidenzia, un aumento della velocità con la profondità fino alla profondità di circa 7,00 m, dopo di che si evidenzia un aumento meno rapido fino alla profondità di circa 10,00 m. dopo di che la velocità tende nuovamente ad aumentare regolarmente. Inoltre si osservano variazioni laterali di velocità. Il rallentamento della velocità può essere dovuto ad un aumento dello stato di fratturazione e alla presenza di una falda acquifera. Così come le variazioni di velocità possono essere dovute ad un diverso stato di fratturazione delle rocce interessate dall'indagine.

Piano Particolareggiato per
l'ampliamento della sede cimiteriale

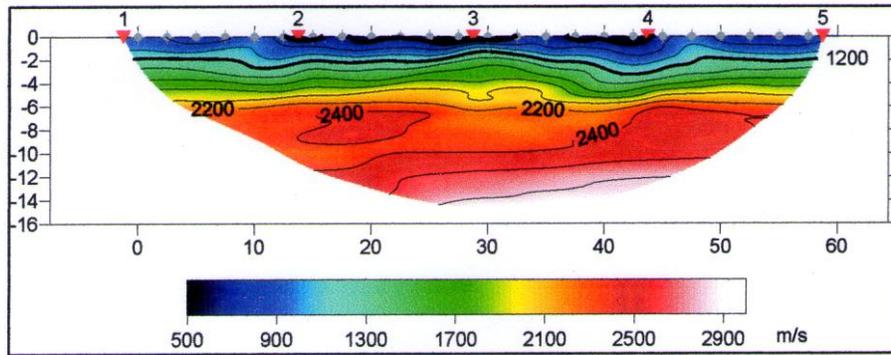


Fig 9 Sezione sismica tomografica n. 1

Dai valori delle velocità delle onde sismiche P ed S ottenute dall'indagine sismica a rifrazione, sono stati ricavati, per ciascuno dei sismostrati definiti, i seguenti moduli dinamici:

- *coefficiente di Poisson ν*
- *modulo di Young **E** (MPa)*
- *modulo di taglio **G** (MPa)*
- *modulo di incompressibilità **K** (MPa)*
- *rigidità sismica **Ri** (KNKm/m3s)*

Nella sottostante tabella sono riassunti i valori delle velocità medie dei sismostrati e dei moduli elastici dinamici dei terreni investigati (Tab.1).

Profilo sismico	γ	V_P	V_S	ν	E	G	K	R_i
Spessore medio strato n. 1 2,5 m	18.00	900	550	0.20	1309	545	732	9.9
indefinito	18.00	2.100	1.400	0.10	7762	3528	3234	25.20

Tab. 1 – Tabella riepilogativa dei parametri elastici e dinamici

Nota: I valori di γ sono stati considerati pari a 18 KN/m³ qualora tale valore non fosse confrontabile con quello reale del sito i coefficienti E, G e K vanno ricalcolati dividendo il valore in tabella con quello di γ , e successivamente moltiplicati con il nuovo valore del peso di volume.

PROFILO SISMICO 2

Il profilo è stato realizzato con una distanza intergeofonica di 3,0 m ed una lunghezza totale dello stendimento pari a 69,0 m.

Analizzando la sezione (Fig. 10) sono stati distinti 2 sismostrati di cui il primo, superficiale con spessore pari a circa 1,5 m, presenta valori di velocità delle onde P variabili tra 300 m/s a

1200 m/s con una velocità media pari a 750 m/s e valore medio della velocità delle onde S pari a circa 400 m/s. Tale sismostrato è ascrivibile a terreno areato mediamente consistente.

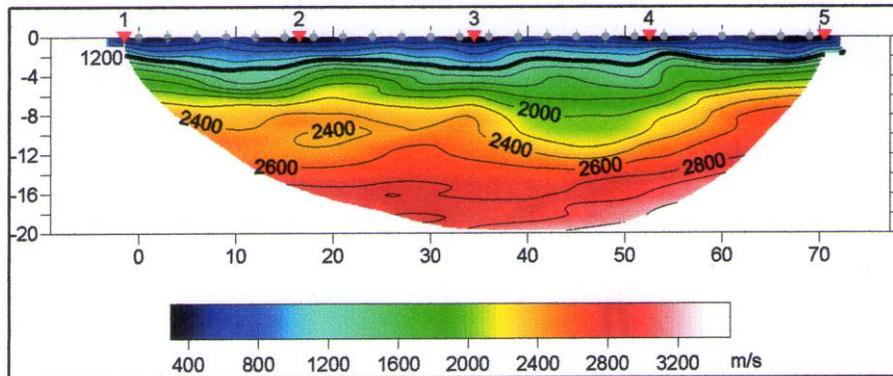


Fig 10- Sezione sismica tomografica n. 2

Il secondo sismostrato, con spessore indefinito è caratterizzato da valori di velocità delle onde P che variano tra circa 1200 m/s e circa 3000 m/s con una velocità media equivalente pari a circa 2100 m/s. ed una velocità media delle onde S pari a circa 1350 m/s.

In questo sismostrato si evidenzia, un aumento irregolare della velocità con la profondità ad indicare una anisotropia sia laterale che verticale dei terreni interessati. Anche in questo caso si evidenzia un aumento meno marcato delle velocità intorno ai 7,00 m. Ciò potrebbe essere dovuto ad un aumento dello stato di fratturazione delle rocce interessate e alla presenza di una falda superficiale.

Dai valori delle velocità delle onde sismiche P ed S ottenute dall' indagine sismica a rifrazione, sono stati ricavati, per ciascuno dei sismostrati definiti, i seguenti moduli dinamici, riportati nella successiva Tab. 2:

Profilo sismico	γ	V_P	V_S	ν	E	G	K	R_i
Spessore medio strato n. 1 1,5 m	18.00	750	400	0.30	750	288	629	7.20
indefinito	18.00	2.100	1.350	0.15	7531	3281	3564	24.30

Tab. 2 – Tabella riepilogativa dei parametri elastici e dinamici

Nota: I valori di γ sono stati considerati pari a 18 KN/m³ qualora tale valore non fosse confrontabile con quello reale del sito i coefficienti E, G e K vanno ricalcolati dividendo il valore in tabella con quello di γ , e successivamente moltiplicati con il nuovo valore del peso di volume.

4.2. Sismica con metodologia MASW e definizione del suolo di fondazione.

Per quanto attiene gli aspetti relativi alla individuazione della categoria di sottosuolo di cui al par. 3.2.2 del D.M. 14/01/08 -Norme tecniche per le costruzioni- è stata eseguita una prospezione geofisica con la tecnica Multichannel Analysis of Surface Waves (MASW).

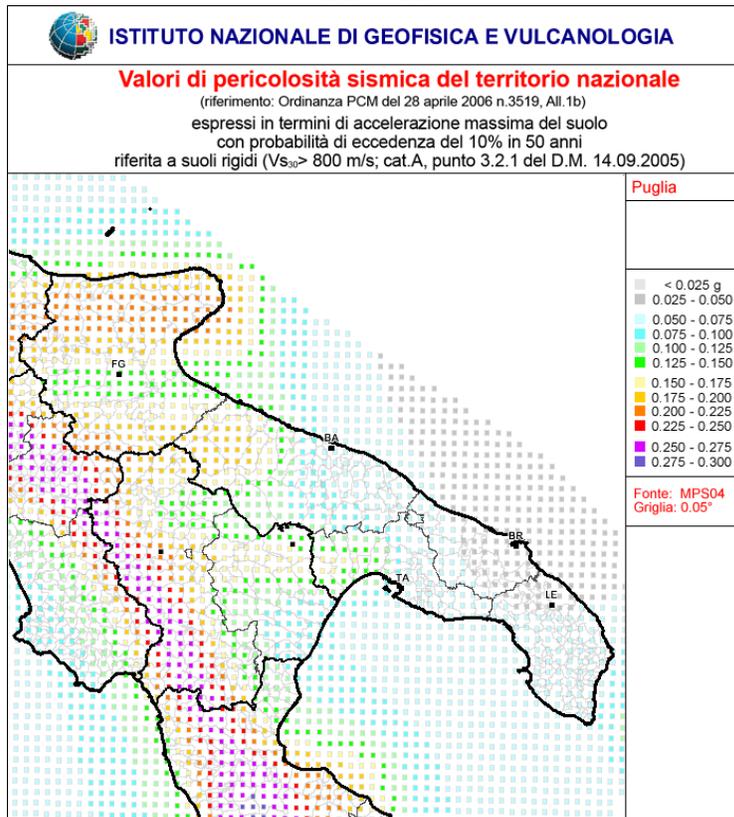
L'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003, è intervenuta direttamente sulla classificazione sismica del territorio nazionale. La nuova classificazione è articolata in quattro zone; le prime tre corrispondono, dal punto di vista della relazione con gli adempimenti previsti dalla Legge 64/74, alle zone di sismicità alta (S=12), media (S=9) e bassa (S=6), mentre la zona 4 è di nuova introduzione.

Il D.M. 14/01/2008 ha introdotto una nuova modalità di valutazione dell'intensità dell'azione sismica da tener conto nella fase di progettazione dei fabbricati, basata non più su una mappa sismica "classica" suddivisa in categorie o zone, bensì su un reticolo di riferimento, creato dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, consultabile interattivamente sul sito web dell'I.N.G.V. La grande novità consiste nel non avere più delle aree perfettamente confinate; il nuovo sistema di mappatura suddivide infatti l'intero territorio nazionale in riquadri, di lato pari a km 10, in cui a ciascun vertice, tramite un segnale colorato, è attribuito un valore di accelerazione sismica a_g prevista sul suolo, definita come *parametro dello scuotimento*, da utilizzare come riferimento per la valutazione dell'effetto sismico da applicare all'opera di progetto, secondo le procedure indicate nello stesso Decreto Ministeriale.

Nella successiva **FIG. 11** è contenuta la rappresentazione sul reticolo di riferimento del particolare delle Regioni Puglia e Basilicata. Nella figura s'individua immediatamente la suddivisione in riquadri del territorio, i segnali colorati posti sui vertici ed i relativi intervalli di valori di a_g . L'impiego del reticolo di riferimento consente una caratterizzazione sismica dei siti molto più dettagliata e particolareggiata che in passato, anche se costringe i progettisti, per la valutazione del valore di picco dell'accelerazione sismica, in primo luogo, ad accedere al reticolo tramite le coordinate (longitudine e latitudine) del punto ove è localizzata l'opera e, soprattutto, ad eseguire le previste procedure di interpolazione, visto che è alquanto

improbabile che la struttura di progetto ricada precisamente su un vertice dei quadrati costituenti il reticolo.

FIG. 11



L'Ordinanza 3274 del Presidente del Consiglio dei Ministri ed il successivo D.M. 14/01/2008 hanno inoltre introdotto una nuova normativa tecnica in materia di progettazione antisismica, che ci adegua allo standard europeo e mondiale.

Oltre alle importanti novità relative alle metodologie di calcolo ingegneristico è stata introdotta la classificazione dei suoli per la definizione dell'azione sismica di progetto in 5 categorie principali (dalla A alla E) a cui ne sono aggiunte altre 2 (S1 ed S2 per le quali sono richiesti studi speciali per definire l'azione sismica da considerare), sulla base del parametro V_{s30} . Questo rappresenta la velocità media di propagazione delle onde S entro 30 m di profondità (al di sotto del piano di fondazione) ed è calcolato mediante la seguente espressione:

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_i}}$$

dove h_i e V_i indicano lo spessore (in m) e la velocità delle onde di taglio dello strato i -esimo, per un totale di N strati presenti nei 30 m superiori.

A = *Formazioni litoidi o suoli omogenei molto rigidi: caratterizzati da valori V_{s30} superiori a 800m/sec;*

B = *Depositi di sabbie o ghiaie molto addensate o argille molto consistenti: con spessori di diverse centinaia di metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 360 e 800m/sec;*

C = *Depositi di sabbie e ghiaie mediamente addensate, o di argille di media consistenza: con spessori variabili da diverse decine di metri a centinaia di metri, caratterizzati da valori di V_{s30} compresi tra 180 e 360m/sec;*

D = *Depositi di terreni granulari da sciolti a poco addensati oppure coesivi da poco a mediamente consistenti: caratterizzati da valori di $V_{s30} < 180$ m/sec;*

E = *Profili di terreno costituiti da strati superficiali alluvionali: con valori di V_{s30} simili a quelli dei tipi C o D e spessore compreso tra 5 e 20m, giacenti su un substrato di materiale più rigido con $V_{s30} > 800$ m/sec.*

S1 = *Terreni che includono uno strato di almeno 10 m di argille/limi di bassa consistenza, con elevato indice di plasticità ($PI > 40$) e contenuto di acqua, con $10 < c_u < 20$ kPa e caratterizzati da valori di $V_{s30} < 100$ m/s.*

S2 = *Terreni soggetti a liquefazione, argille sensitive, o qualsiasi altra categoria di terreno non classificabile nei tipi precedenti.*

La proposta della nuova normativa conclude che il sito verrà classificato sulla base del valore di V_{s30} se disponibile, altrimenti sulla base del valore di N_{spt} o della c_u .

Viene in sostanza enfatizzata l'importanza del parametro V_s che com'è noto è il parametro geofisico che meglio rappresenta la variabilità geotecnica dei materiali geologici presenti nel sottosuolo.

Le tecniche investigative per l'acquisizione di questo parametro sono essenzialmente di tre tipi:

- Prove in foro (down hole e cross hole)
- Profili sismici (riflessione o rifrazione) con geofoni orizzontali ed energizzatori di onde SH.
- Modellazione del sottosuolo mediante l'analisi delle onde di Rayleigh (SASW, MASW e Refraction Microtremor) e l'impiego di geofoni verticali.

Le prime richiedono la realizzazione di fori di sondaggio appositamente attrezzati per un ottimale accoppiamento dei sensori e quindi un consistente impegno economico. Le seconde offrono risultati qualitativamente elevati ma costi di esecuzione impegnativi.

Le ultime, al contrario, vengono realizzate (fa eccezione il SASW) con procedure operative molto simili a quelle applicate per la comune microsismica e sono di conseguenza meno onerose ed hanno un grado di incertezza nella determinazione della $V_s < 20\%$.

In particolare, la tecnica di Multichannel Analysis of Surface Waves (MASW) consente di raggiungere profondità ragguardevoli fornendo un profilo verticale medio delle V_s relative al volume di sottosuolo sotteso dallo stendimento messo in opera.

La tecnica MASW consiste nella registrazione simultanea di più ricevitori (min. 12) di una vibrazione prodotta da una sorgente sismica impulsiva, posta ad una certa distanza dal primo geofono ricevitore.

L'analisi multicanale delle onde superficiali di Rayleigh MASW è una efficiente ed accreditata metodologia sismica per la determinazione delle velocità delle onde di taglio V_s .

Tale metodo utilizza le onde superficiali di Rayleigh registrate da una serie di geofoni lungo uno stendimento rettilineo e collegati ad un comune sismografo multicanale. Le onde superficiali di Rayleigh, durante la loro propagazione vengono registrate lungo lo stendimento

di geofoni e vengono successivamente analizzate attraverso complesse tecniche computazionali, basate su un approccio di riconoscimento di modelli multistrato di terreno.

La registrazione in campagna è stata eseguita con un sismografo M.A.E. Mod. Sysmatrack con risoluzione a 24 bit, come sensori di misura si è utilizzato un set di 24 geofoni da 4.5 Hz, il tempo di acquisizione è stato di 2 secondi con intervallo di campionamento di 1 millisecondo per un totale di 2000 campioni acquisiti.

Per una più corretta analisi dei dati sono stati effettuati 3 scoppi per lato dello stendimento e di tutti gli scoppi eseguiti è stato scelto quello più rappresentativo. In definitiva l'indagine permette di ricavare il profilo delle velocità delle onde S per i primi 30 m dal piano campagna.

L'analisi dei dati registrati in campagna, è stata eseguita con il software di inversione WinMASW (Ver. 7.0) della EliaSoft.

L'indagine Masw in oggetto è stata eseguita lungo lo stesso allineamento della sismica a rifrazione, utilizzando 24 geofoni da 4,5 Hz con distanza intergeofonica di 3,00 m per una lunghezza pari a 69,0 m. In fase di elaborazione sono stati considerati 12 geofoni (**Fig. 12**), esclusivamente per snellire la fase di calcolo senza alterare in nessuna maniera il calcolo dello spettro di velocità (Dal Moro – 2014 – Surface Wave Analysis for near surface application).

Per meglio evidenziare lo spettro è stato considerato un range di variazione della frequenza compreso tra 15 e 50 Hz.

Di seguito si riportano le risultanze dell'indagine eseguita:

Piano Particolareggiato per
l'ampliamento della sede cimiteriale

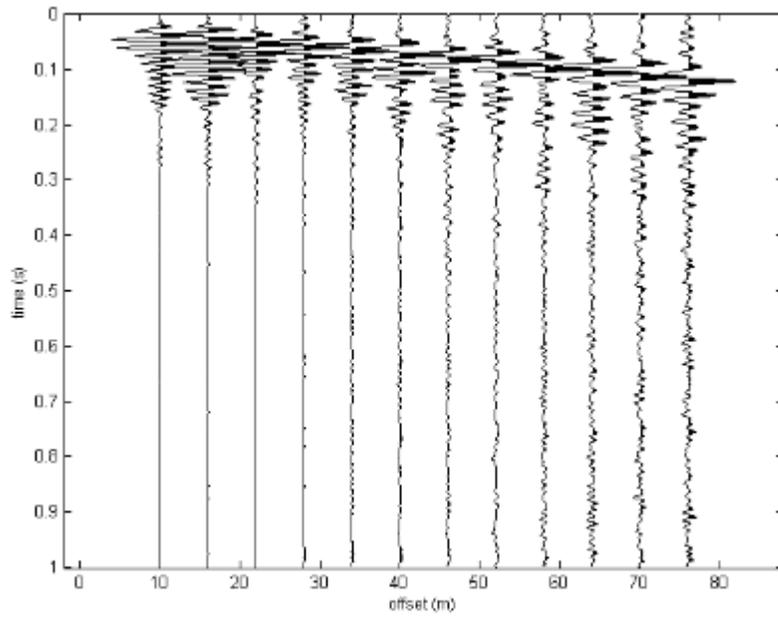


Fig. 12 – Dataset di acquisizione

velocity spectrum & dispersion curve

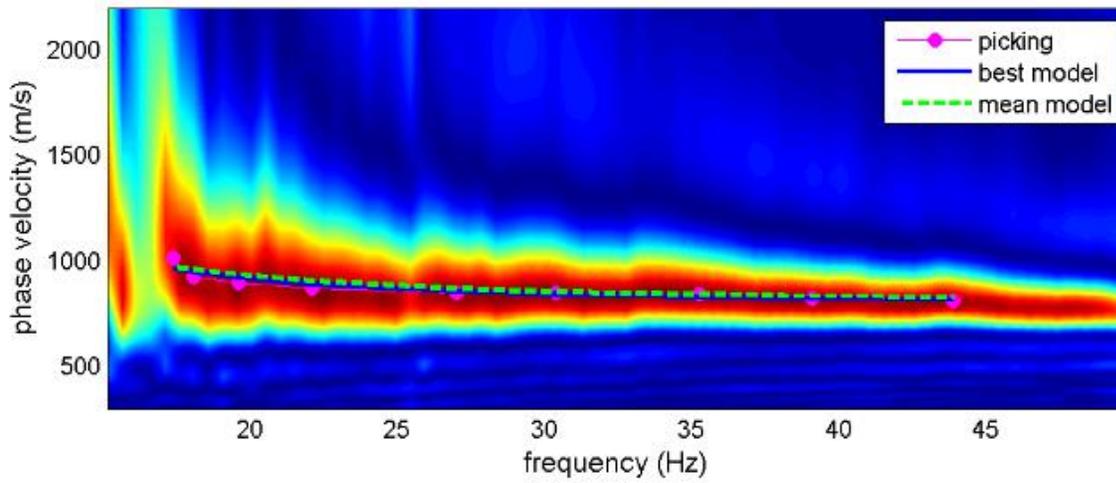


Fig. 13 - Spettro di velocità e curva di dispersione individuata

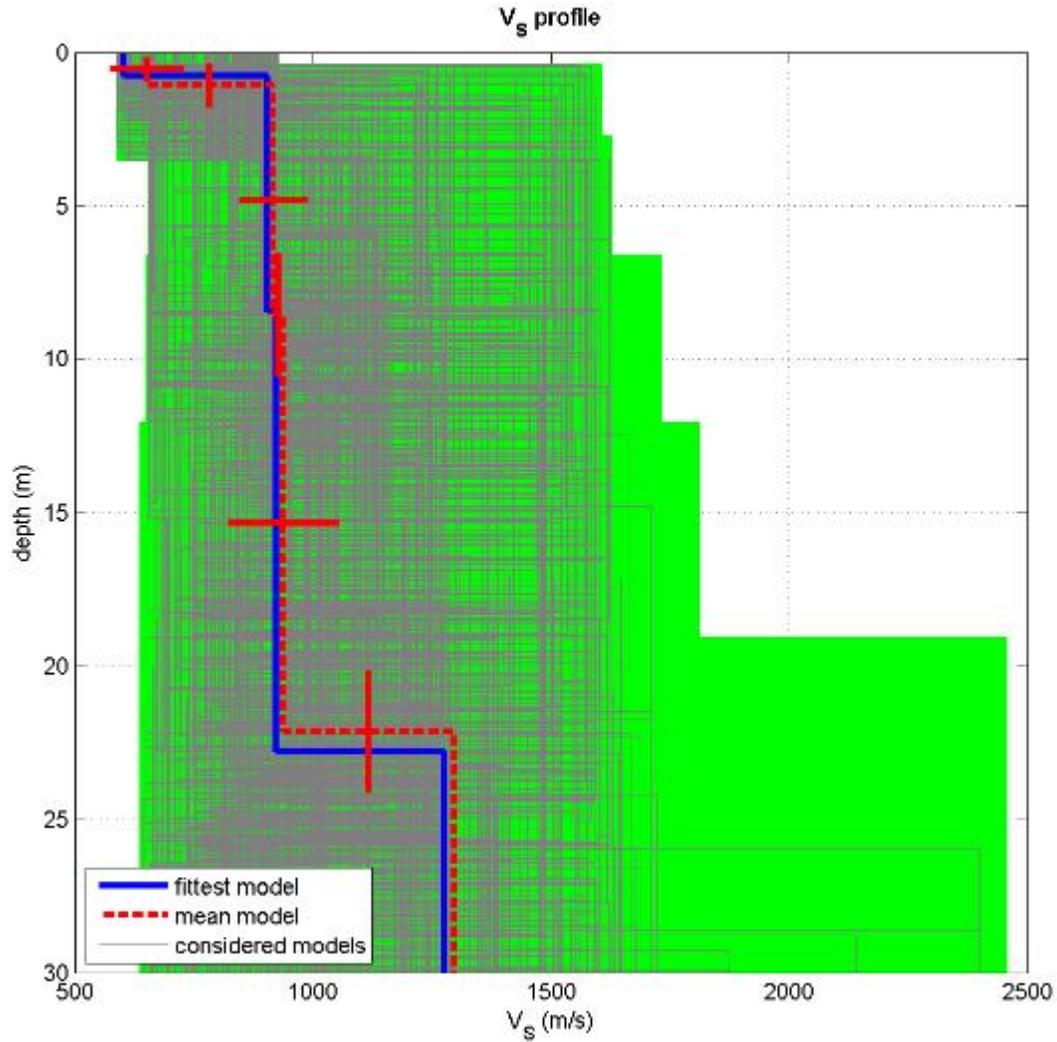


Fig. 14 - Profilo delle velocità delle onde S

La curva di dispersione individuata (fig.13) ha trovato un best fitting nel modello sismostratigrafico riportato in figura 14.

Nella stessa figura si osserva il modello medio di tutti i modelli considerati ed in particolare si osserva il modello che ha prodotto un best fitting con lo stesso. Di seguito si riporta il dettaglio del profilo di velocità delle onde S.

Tab. 3 – sismostratigrafia delle onde S

Profondità (m)	Spessore strato (m)	Velocità onde S (m/s)
2	1	600
8.5	7.5	905
22.5	14	923
indefinito	indefinito	1277

L'analisi dei dati ha consentito di stimare un valore di Vs30, al piano campagna, pari a 969 m/s. La velocità determinata definisce il suolo di sedime, classificandolo nella categoria A..

5. INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITA' SISMICA DEL SITO.

Le nuove Norme Tecniche per le Costruzioni o NTC, ai fini della definizione delle azioni sulle strutture, superano il concetto della classificazione sismica del territorio in zone.

Come già detto in precedenza, la determinazione delle azioni sismiche non avviene più, come in passato, per mezzo del concetto di "Zone Sismiche", poiché si sa che all'interno di un medesimo comune possono esserci effetti sismici diversi, in dipendenza di vari complessi fenomeni geo-sismo-tettonici, ed a prescindere dagli effetti dovuti al tipo di sottosuolo, già tenuti in conto dal soil factor S (un numero che può amplificare le azioni sismiche a causa degli effetti stratigrafici e topografici). Inoltre, anche la conoscenza di eventi sismici remoti consente di meglio stimare le accelerazioni di picco al suolo (a_g), i fattori amplificativi degli spettri (F_0) ed i periodi T_c^* relativi a ciascun possibile sito, ovvero i tre parametri da cui discende lo spettro di risposta usato nella determinazione delle azioni sismiche.

La forma e intensità dello spettro di risposta di progetto infatti, sono funzione di questi tre parametri, che cambiano da sito a sito. Le forze sismiche sulla struttura dipendono a loro volta dallo spettro di risposta. Quindi le forze sismiche cambiano a seconda di come vengono determinati i tre parametri a_g , F_0 e T_c^* per il sito in esame.

Per stimare i parametri spettrali necessari per la definizione dell'azione sismica di progetto relativa al sito in oggetto, ubicato nel territorio comunale di Molfetta, è indispensabile utilizzare come riferimento le informazioni disponibili nel reticolo di riferimento, riportato nella tabella 1 nell'Allegato B del D.M. 14 gennaio 2008.

Di seguito sono riportati i valori dei parametri spettrali per i periodi di ritorno TR associati a ciascun Stato Limite propri del sito in esame:

Punti della maglia: 31237 - 31238 - 31459 - 31460

FASE 1. INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DEL SITO

Ricerca per coordinate

LONGITUDINE

LATITUDINE

Ricerca per comune

REGIONE

PROVINCIA

COMUNE

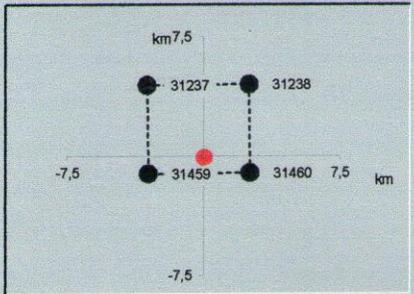
Elaborazioni grafiche

- Grafici spettri di risposta
- Variabilità dei parametri

Elaborazioni numeriche

- Tabella parametri

Nodi del reticolo intorno al sito



Reticolo di riferimento

Controllo sul reticolo

- Sito esterno al reticolo
- Interpolazione su 3 nodi
- Interpolazione corretta

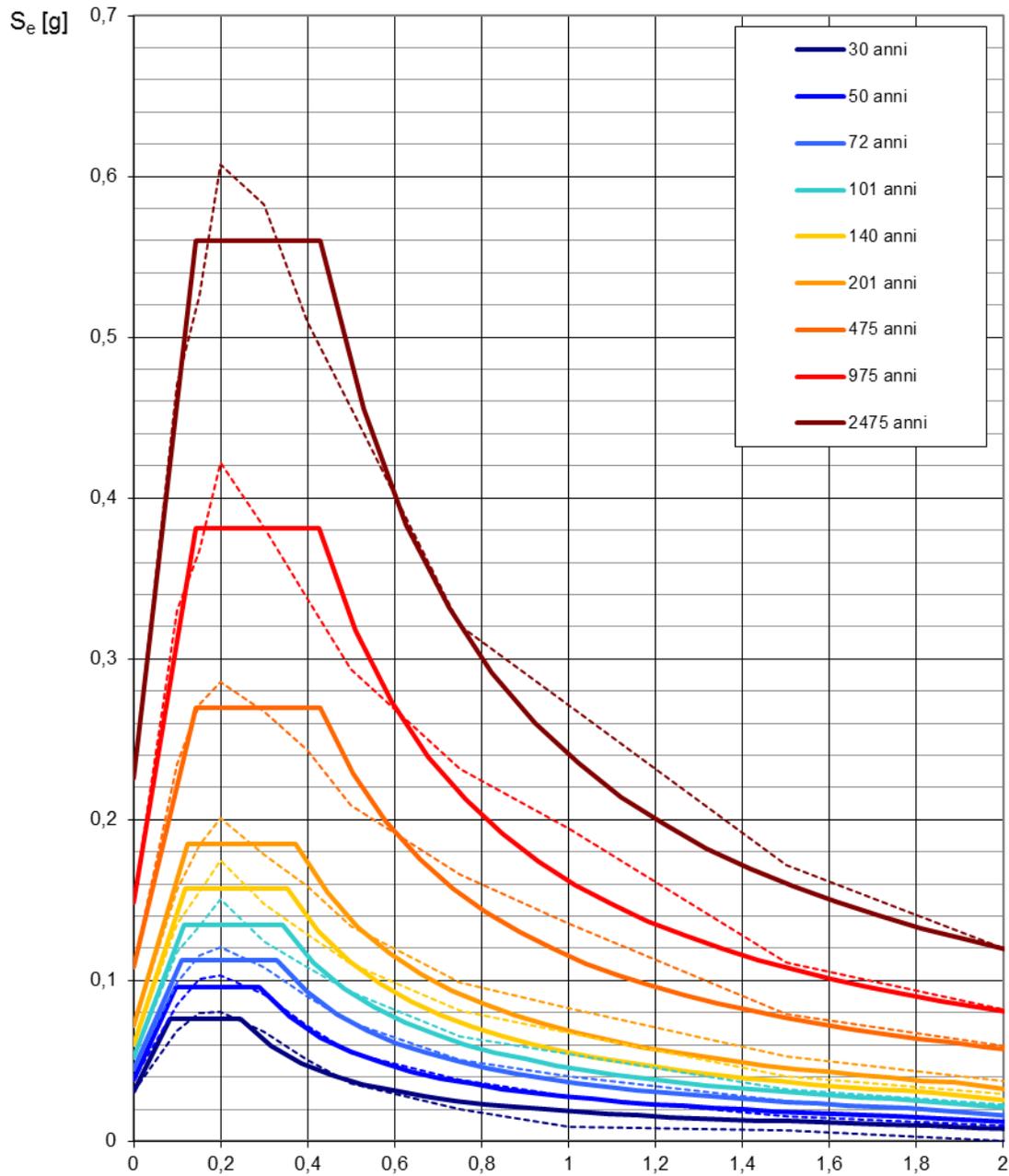
Interpolazione



La "Ricerca per comune" utilizza le ... coordinate ISTAT del comune per identificare il sito. Si sottolinea che ... all'interno del territorio comunale le azioni sismiche possono essere significativamente diverse da quelle così individuate e si consiglia, quindi, la "Ricerca per coordinate".

INTROFASE 1FASE 2FASE 3

FIG. 15 - Spettri di risposta elastici per i periodi di ritorno T_R di riferimento



NOTA:

Con linea continua si rappresentano gli spettri di Normativa, con linea tratteggiata gli spettri del progetto S1-INGV da cui sono derivati.

Tab. 4 - Valori dei parametri a_g , F_0 , T_C^* per i periodi di ritorno T_R di riferimento

T_R [anni]	a_g [g]	F_0 [-]	T_C^* [s]
30	0,031	2,463	0,245
50	0,038	2,508	0,289
72	0,045	2,491	0,328
101	0,052	2,564	0,343
140	0,060	2,608	0,353
201	0,071	2,588	0,372
475	0,108	2,488	0,428
975	0,148	2,566	0,425
2475	0,226	2,480	0,429

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, si rende necessario valutare l'effetto della risposta sismica locale mediante specifiche analisi, come indicato nel §7.11.5 delle NTC-08. In assenza di tali analisi, per la definizione dell'azione sismica si può fare riferimento a un approccio semplificato, che si basa sull'individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento (Tab. 3.2.II delle NTC-08).

La categoria di sottosuolo, individuata per l'area in progetto nel paragrafo precedente, è la categoria C.

Per condizioni topografiche complesse è necessario predisporre specifiche analisi di risposta sismica locale. Per configurazioni superficiali semplici si può adottare la seguente classificazione (tab.3.2.IV delle NTC-08).

TAB. 5– Categorie topografiche

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

Le caratteristiche della superficie topografica dell'area in progetto rientrano nella categoria T1 con un coefficiente di amplificazione topografica $St=1$.

6. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA.

Per la determinazione delle caratteristiche geotecniche dei litotipi che condizionano il sottosuolo dell'area d'intervento sono state utilizzate le risultanze delle indagini geofisiche la cui ubicazione è indicata nelle **FIGURE 6 e 7**.

Le indagini sismiche hanno permesso, verosimilmente, di ipotizzare che nel sottosuolo in esame siano presenti due unità geomeccaniche, caratterizzate da valori delle velocità sismiche di 750-900 m/s, e di 2100 m/s. Si consiglia di attestare le strutture fondali alla profondità di circa 2.50 m dal p.c. nel sismostrato caratterizzato da velocità delle onde sismiche di 2100 m/sec, presente fino alla profondità investigata in quanto la parte superficiale ha scadenti caratteristiche geotecniche.

Per la caratterizzazione geomeccanica della suddetta unità possono utilizzarsi alcune correlazioni semi-empiriche tra la velocità di propagazione delle onde elastiche ed i principali parametri geomeccanici: densità, modulo di Poisson, modulo elastico statico, RQD.

La densità della roccia può essere ricavata dalla relazione:

$$\gamma = 0.23V^{0.25}$$

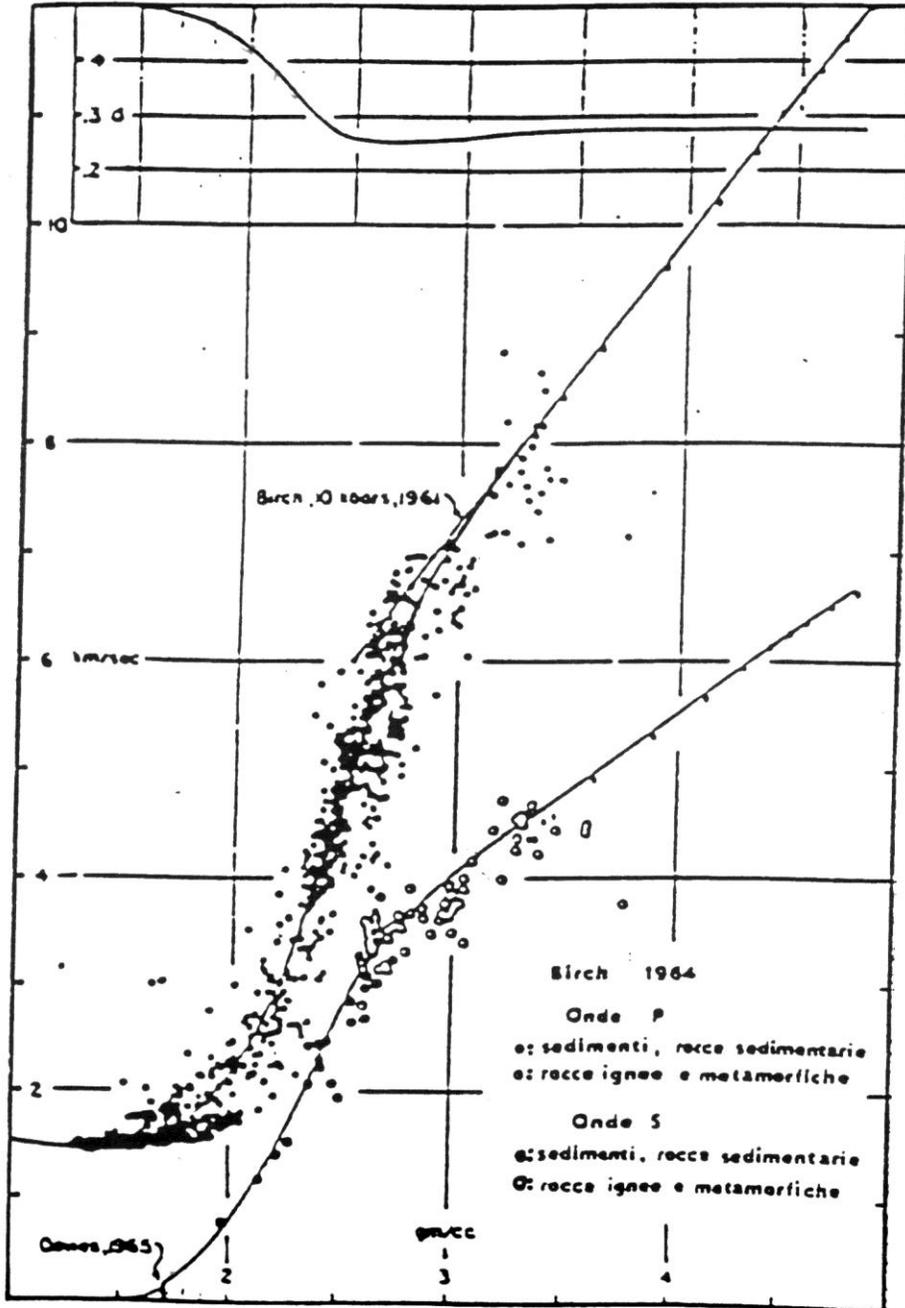
dove γ è la densità espressa in g/cm³ e V è la velocità delle onde di tipo P (longitudinali o di pressione) espressa in ft/s.

La **FIG. 16** riporta la correlazione tra il modulo di Poisson (ν), la velocità delle onde longitudinali e la densità.

Noti questi tre parametri, è possibile calcolare i moduli elastici dinamici. Tra questi, quello che riveste maggiore importanza ai fini del calcolo delle deformazioni indotte da carichi verticali è il modulo di Young (E_{din}) calcolabile mediante la relazione:

$$E_{din} = \gamma V^2(1-2\nu)(1+\nu)/(1-\nu)$$

FIG. 16 – CORRELAZIONE TRA VELOCITA', DENSITA' E RAPPORTO DI POISSON



E' stato osservato che il rapporto tra il modulo elastico in condizioni statiche (E_{stat}) e quello in condizioni dinamiche (E_{din}) ricavato da prove sismiche assume valore costante; secondo il NAV-FAC MANUAL:

$$E_{stat} = E_{din}/10$$

Un altro parametro deducibile mediante legami empirici dalle caratteristiche elastiche è l'indice di qualità della roccia normalmente espresso tramite l'RQD (Rock Quality Designation) che rappresenta il recupero percentuale di carotaggio tenendo conto dei singoli spezzoni di carota aventi lunghezza superiore a 10 cm; tale indice è di fondamentale importanza nella caratterizzazione dell'ammasso roccioso.

F. ZEZZA (1978) correla il rapporto di velocità VR e l'indice RQD determinato su carotaggi di sondaggi meccanici eseguiti nelle stesse zone ove sono state effettuate le misure di velocità nelle rocce carsificate (**FIG. 17**).

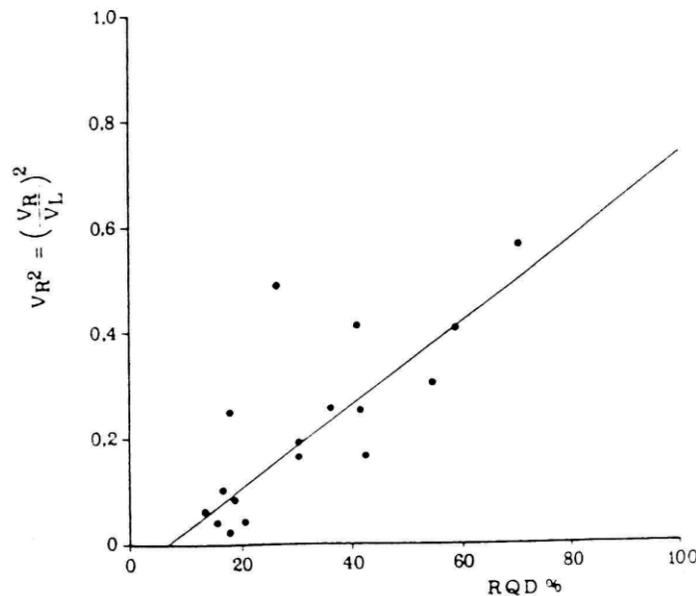


FIG. 17 - CORRELAZIONE TRA VR E RQD NELLE ZONE CARSIFICATE DELLA PUGLIA
(da F. ZEZZA 1976, mod.).

Relativamente alle calcareniti quaternarie F. ZEZZA ha registrato tre distinti campi di velocità sismiche:

calcareniti tenaci: 2.0-2.4 Km/s

calcareniti mediamente cementate: 1.0-2.0 Km/s

calcareniti poco cementate: 0.4-1.0 Km/s

La **FIG. 18** mostra la relazione media, osservata dall'autore nelle calcareniti pugliesi, tra velocità delle onde elastiche e caratteristiche fisico-meccaniche.

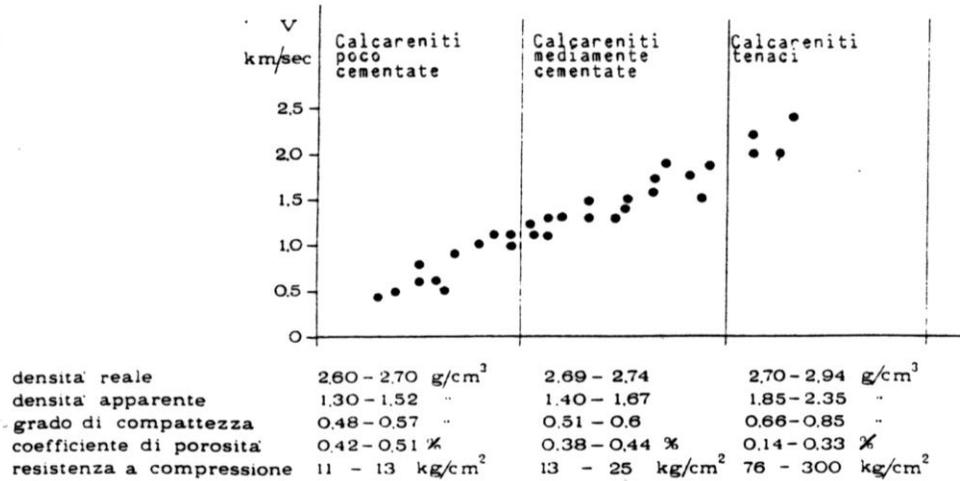


FIG. 18 - Relazione tra velocità delle onde elastiche e caratteristiche fisico meccaniche nelle calcareniti.

Le acquisizioni geosismiche fanno in definitiva ritenere che le calcareniti condizionanti il sito di progetto siano nel complesso appartenenti alle “calcareniti mediamente cementate” le cui caratteristiche fisico-meccaniche sono riportate nel quadro di riferimento della precedente figura.

Pertanto il litotipo interessato dalle opere fondali è caratterizzato da:

		UNITA' GEOMECCANICA
Velocità onde longitudinali	(m/s)	1600
Modulo di Young	(Kg/cmq)	76000
Modulo elastico statico	(Kg/cmq)	7600
RQD		30%
Modulo di Poisson		0.15
Resistenza a compressione	(Kg/cmq)	80
Densità	(gr/cmc)	1.8

Per la caratterizzazione geotecnica dell'ammasso roccioso condizionante i luoghi in questione è stato utilizzato il sistema di classificazione di BIENIAWSKI che permette una valutazione quali-quantitativa delle caratteristiche dell'ammasso.

Questo sistema di classificazione tiene conto di cinque parametri caratteristici:

- resistenza a compressione uniassiale della roccia intatta;
- indice RQD;

- condizione dei giunti (scabrezza alterazioni delle pareti, apertura, materiale di riempimento);
- spaziatura giunti;
- condizioni idrauliche (afflusso di acqua, pressione interstiziale).

Ciascun parametro viene valutato in modo quantitativo e a ciascuno di essi è assegnato un indice parziale, come indicato nell'allegata **FIG. 19**.

Per quanto riguarda la resistenza a compressione uniassiale può assumersi pari a 80 Kg/cmq.

A tale valore della resistenza della roccia intatta corrisponde, nella classificazione di BIENIAWSKI, un indice pari a 1.

Il valore dell'RQD, come visto precedentemente, può assumersi pari a 0.30; a tale valore compete un indice 5.

Per quanto riguarda la spaziatura e le condizioni dei giunti, la prima può essere stimata in 50-300 mm, mentre la seconda è caratterizzata da Superfici lisce o laminate o riempimento <5 mm o apertura 1-5 mm giunti continui. Al primo parametro può essere assegnato il valore 10 ed al secondo il valore 3.

Alle condizioni idrauliche si può assegnare l'indice 7 corrispondente alla condizione "solo umidità" poiché le indagini eseguite in sito hanno messo in evidenza la possibile presenza di acqua alla profondità di circa 4 m dal p.c.

Pertanto, riepilogando i valori dei parametri relativi alla classificazione di BIENIAWSKI, si è ottenuto:

- resistenza a compressione uniassiale roccia intatta.....	punti	1
- indice RQD.....	"	5
- spaziatura giunti.....	"	10
- condizioni giunti.....	"	3
- condizioni idrauliche.....	"	7
Totale.....		" 26

La somma degli indici parziali relativi ai singoli parametri analizzati fornisce l'indice complessivo, o indice RMR, dell'ammasso roccioso.

In base al valore di tale indice, l'ammasso roccioso viene suddiviso in 5 classi come indicato in **FIG. 20**. Per ciascuna classe viene indicata una stima, di larga massima, dei parametri di resistenza globale dell'ammasso roccioso.

Poiché nel caso in esame $RMR = 25$, l'unità geomeccanica può essere collocata nella classe IV "scadente" cui compete una coesione $c = 1-1.5 \text{ Kg/cm}^2$ ed un angolo d'attrito interno $\phi = 30^\circ-35^\circ$.

L'unità in parola è caratterizzata dai seguenti parametri geotecnici:

$$\gamma = 1.80 \text{ t/mc}; \quad c = 10 \text{ t/mq}; \quad RQD = 0.30; \quad \phi = 30^\circ$$

PARAMETRI		CAMPO VALORI							
1	RESISTENZA	Carico puntuale	>80 kg/cm ²	40-80 kg/cm ²	20-40 kg/cm ²	10-20 kg/cm ²	Non applicabile		
	ROCCIA INTATTA	Compressione uniassiale	>2000kg/cm ²	1000-2000 kg/cm ²	500-1000 kg/cm ²	250-500 kg/cm ²	100-250 kg/cm ²	30-100 kg/cm ²	10-30 kg/cm ²
		INDICE		15	12	7	4	2	1
2	RQD		90-100%	75-90%	50-75%	25-50%	< 25%		
	INDICE			20	17	13	8	3	
3	SPAZIATURA GIUNTI		>3 m	1-3 m	0.3-1 m	50-300 mm	<50 mm		
	INDICE			30	25	20	10	5	
4	CONDIZIONE GIUNTI		Superfici molto scabre non continue. Pareti roccia dura	Superfici scabre Apertura <1mm Pareti roccia dura	Superfici scabre Apertura >1mm Pareti roccia dura	Superfici lisce o laminate o riempimento <5 mm o apertura 1-5 mm giunti continui	Riempimento tenero spessore >5 mm o giunti aperti >5 mm giunti continui		
	INDICE			25	20	12	6	0	
5	CONDIZIONI IDRAULICHE	Afflusso per 10 m lunghezza tunnel	Assente		<25 litri/min	25-125 litri/min	>125 litri/min		
		Rapp. nei giunti _____ Soll. nat. in situ	0		0.0-0.2	0.2-0.5	<0.5		
	Condizioni generali		Completamente asciutto		Solo umidità	Acqua in debole pressione	Severi problemi idraulici		
INDICE			10		7	4	0		

FIG. 19 - VALORE DI PARAMETRI RELATIVI ALLA CLASSIFICAZIONE DI BIENIAWSKI.

Proprietà meccaniche e comportamento degli ammassi rocciosi

N = Σ ni	0-25	25-50	50-70	70-90	90-100
CLASSE	V	IV	III	II	I
QUALITA' DELL'AMMASSO	molto scadente	scadente	discreta	buona	ottima
c kg/cmq	> 1	1-1.5	1.5-2.0	2.0-3.0	>3.0
ϕ	< 30°	30°-35°	35°-40°	40°-45°	>45°
GIUDIZIO SULLE DIFFICOLTA' DISCAVO	nessuna difficoltà	può essere cavato facilmente Frammentazione notevole	discreta difficoltà	si scava con difficoltà Frammenti di notevoli dimensioni	notevoli difficoltà di scavo
T	10 min	5 ore	1 settimana	6 mesi	10 anni
L m	0.5	1.5	2	4	5

FIG. 20 - CLASSIFICAZIONE DELL'AMMASSO ROCCIOSO SECONDO BIENIAWSKI.

6. CONCLUSIONI.

Dallo studio condotto per conto dell'Amministrazione Comunale di Molfetta è risultato che il sottosuolo dell'area in esame è caratterizzato dalla presenza di depositi calcarenitici.

L'area in parola non rientra nelle perimetrazioni del P.A.I. dell'AdB Puglia approvato dal Comitato Istituzionale con Delibera n.° 39 del 30-11-2005.

Per la caratterizzazione geomeccanica dell'area sono stati presi in esame i risultati di una campagna di indagini realizzata per mezzo di:

n.2 indagini sismiche a rifrazione in onda P ed S, per la caratterizzazione elastica del sottosuolo e per la caratterizzazione sismostratigrafica dell'area,

n. 1 indagine MASW, per la caratterizzazione del suolo di fondazione;

Le indagini geofisiche eseguite hanno evidenziato un andamento generale abbastanza costante per i due siti indagati, contraddistinti da un sismostrato superficiale mediamente consistente ed uno spessore variabile tra 1,5 e 2,5 m, ed un sismostrato di spessore indefinito contraddistinto da variazioni laterali di velocità delle onde elastiche ed un rallentamento delle velocità a circa 7,00 m dal p.c. probabilmente dovuto ad un aumento dello stato di fratturazione e alla presenza di una falda superficiale.

Dall'indagine Masw si è riscontrata una Vs30, calcolata dal piano campagna, pari a 969 m/s che permette di porre l'area di sedime in categoria A.

Per la caratterizzazione geotecnica è stato considerato solo il sismostrato caratterizzato da velocità delle onde sismiche di 2100 m/sec, presente dalla profondità di 1.5-2.5 m dal p.c. e fino alla profondità investigata, in quanto la parte superficiale non può essere utilizzata come sedime di fondazione, per le sue scadenti caratteristiche geotecniche.

Le caratteristiche geotecniche di tali sedimenti sono:

- Peso per unità di volume = 1.8gr/cm³;
- Modulo di Young = 76000 kg/cm²;
- Indice di qualità della roccia R.Q.D. = 30%;
- Compressione uniassiale = 80 Kg/cm²
- Coesione = 1.0 Kg/cm²
- Angolo di attrito = 30°

Quanto detto nella presente relazione, dovrà comunque essere verificato in sede di esecuzione dei lavori, essendo le indagini effettuate di tipo indiretto. Qualora si riscontrassero difformità dalle indicazioni su esposte, ovvero anomalie nei fronti di scavo, discontinuità che si discostino da quanto indicato in questo studio, presenza di falde sospese, sarà opportuno sospendere ed aggiornare il piano di verifiche geognostiche.

Tanto in adempimento dell'incarico conferito.

Bari, novembre 2015

dott. Tiziana De Razza