



COMUNE DI BARI

Provincia di Bari

**PROGETTO DI ADEGUAMENTO STRUTTURALE DI
ALCUNE PENSILINE METALLICHE POSTE
ALL'INTERNO DELL'AREA DI PERTINENZA
DELL'AZIENDA RETE GAS BARI**

STRU_00e – Relazione Geologica

Committente: RETE GAS BARI

Data 21/04/2023

II TECNICO

ING.SPEDICATO FRANCESCO SALVATORE



COMUNE DI BARI
PROVINCIA DI BARI

**PROGETTO DI ADEGUAMENTO STRUTTURALE
DI ALCUNE PENSILINE METALLICHE POSTE
ALL'INTERNO DELL'AREA DI PERTINENZA
DELL'AZIENDA RETE GAS BARI**

RELAZIONE GEOLOGICA GEOTECNICA E MODELLAZIONE SISMICA

Progettista: Ing Francesco Spedicato

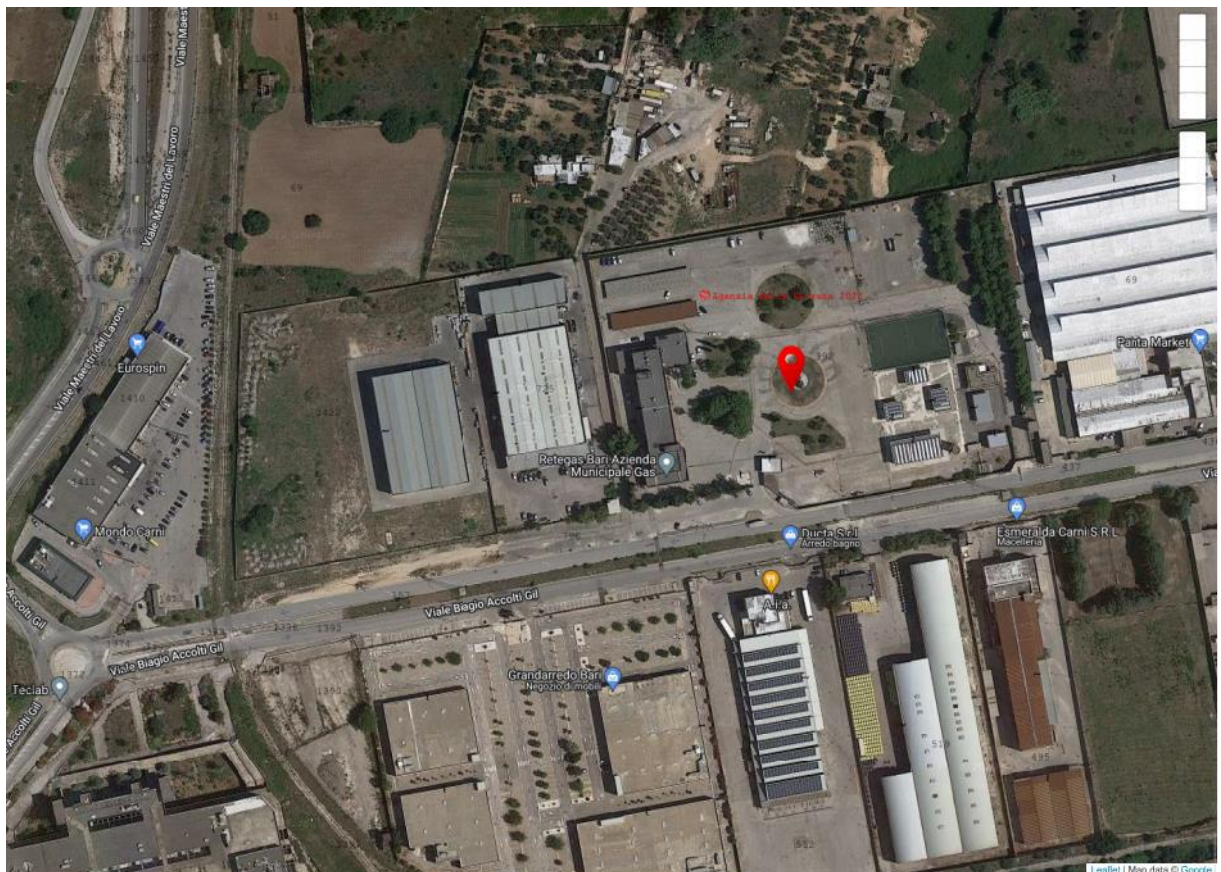
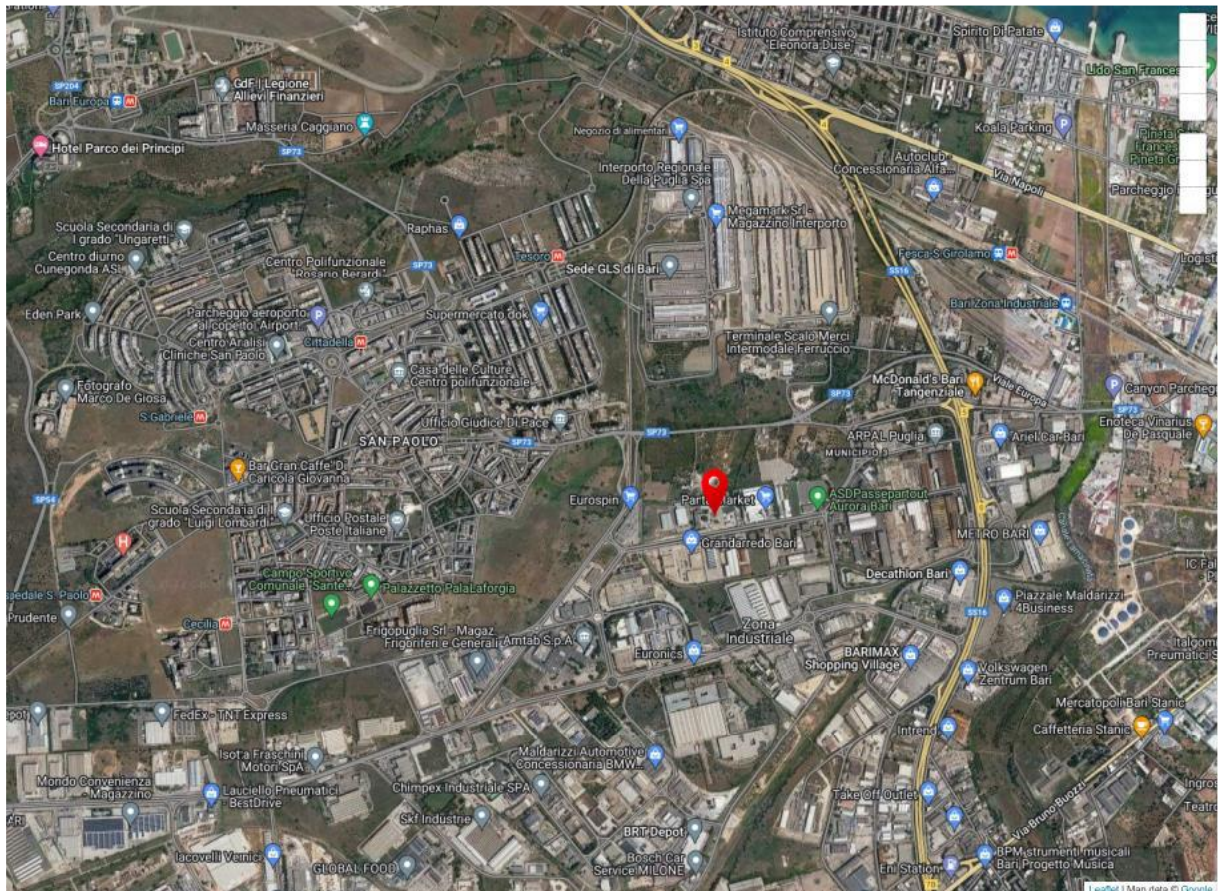
Il Tecnico
dott. geol. Emanuele Spedicato

Per incarico del Progettista si redige la presente relazione geologica sui terreni ad sud-est del centro abitato della città di Bari ed in particolare su quelli in corrispondenza del lotto funzionale, incubatore ASI sito in Bari alla via Accolti Gil, ricadente nel territorio del Comune di Bari (Ba) ubicato nell'area P.I.P. Questi saranno interessati dall'adeguamento di alcune pensiline metalliche.

La valutazione dei litotipi presenti nell'area è stata possibile integrando i dati in possesso provenienti da dati di bibliografia , da saggi geognostici eseguiti nel lotto con i dati provenienti da altre prospezioni per lavori similari.

A partire da tali parametri, si sono verificate le condizioni geologiche dei terreni, e la compatibilità geotecnica dell'opera in edificando, in termini di sollecitazioni prodotte dalla stessa.

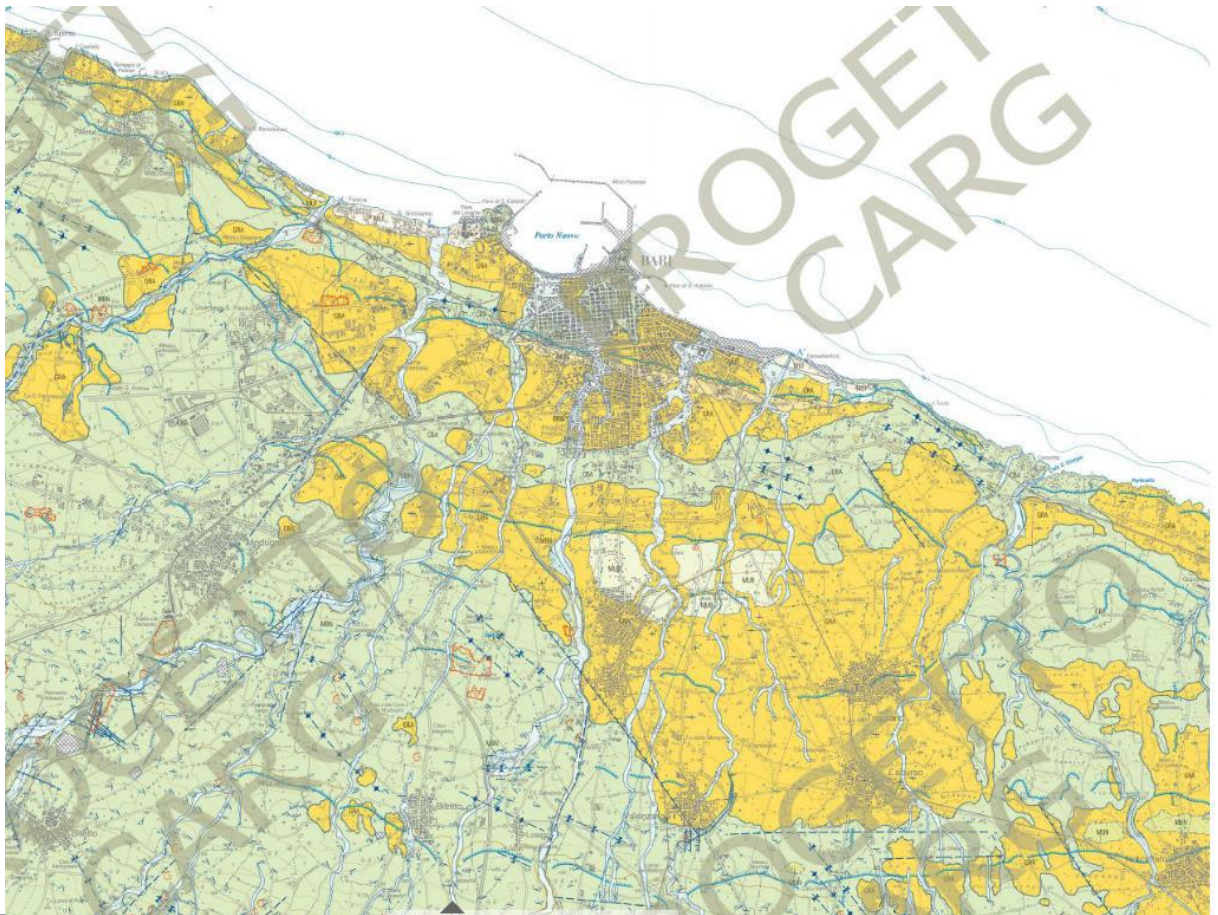
Tav.1 – Ubicazione area d'intervento

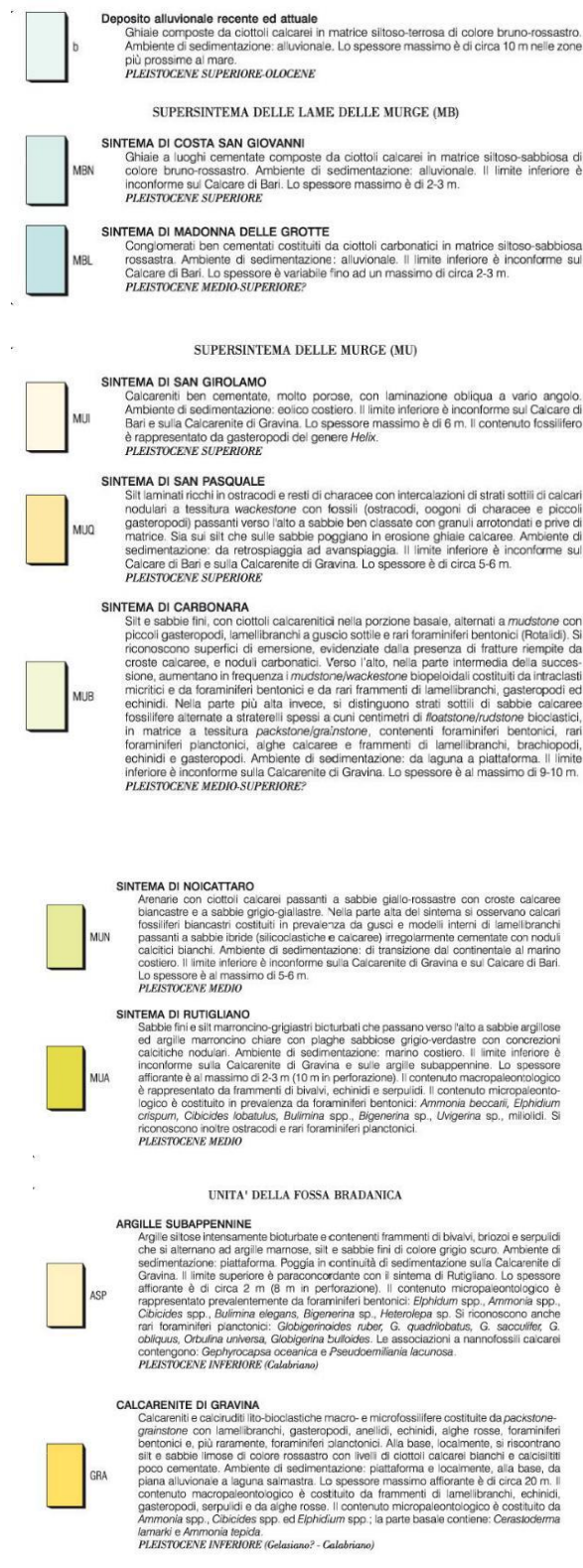


Inquadramento geologico

L'area risulta compresa nel Foglio 438 "Bari" (scala 1:50.000) (Pieri et al.,) è situata lungo il versante adriatico delle Murge centro-settentrionali (Fig. 1) e comprende il tratto di costa tra gli abitati di Giovinazzo e Torre a Mare spingendosi nell'entroterra barese, fino ai primi rilievi posti a quote di poco superiori ai 200 metri (dintorni di Grumo Appula). Dal punto di vista geodinamico, l'area qui considerata fa parte dell'Avampaese apulo (Auctt.).

Il quadro geologico locale è caratterizzato dalla presenza su tutta l'area di calcari cretacei di piattaforma carbonatica (localmente rappresentati dal Calcare di Bari), che costituiscono il substrato dell'intera regione murgiana, poggiano in discordanza le unità plio-pleistoceniche del ciclo della Fossa bradanica (Calcarenite di Gravina ed argille subappennine) e, in discordanza su tutte le unità più antiche, si rinvencono le unità marine e continentali terrazzate del Pleistocene medio-superiore (Azzaroli & Valduga, 1967; Pieri, 1975; 1980; Ricchetti, 1975; Ciaranfi et al., 1988; Ricchetti et al., 1988).





UNITA' DELLA PIATTAFORMA CARBONATICA APULA

CALCARE DI BARI

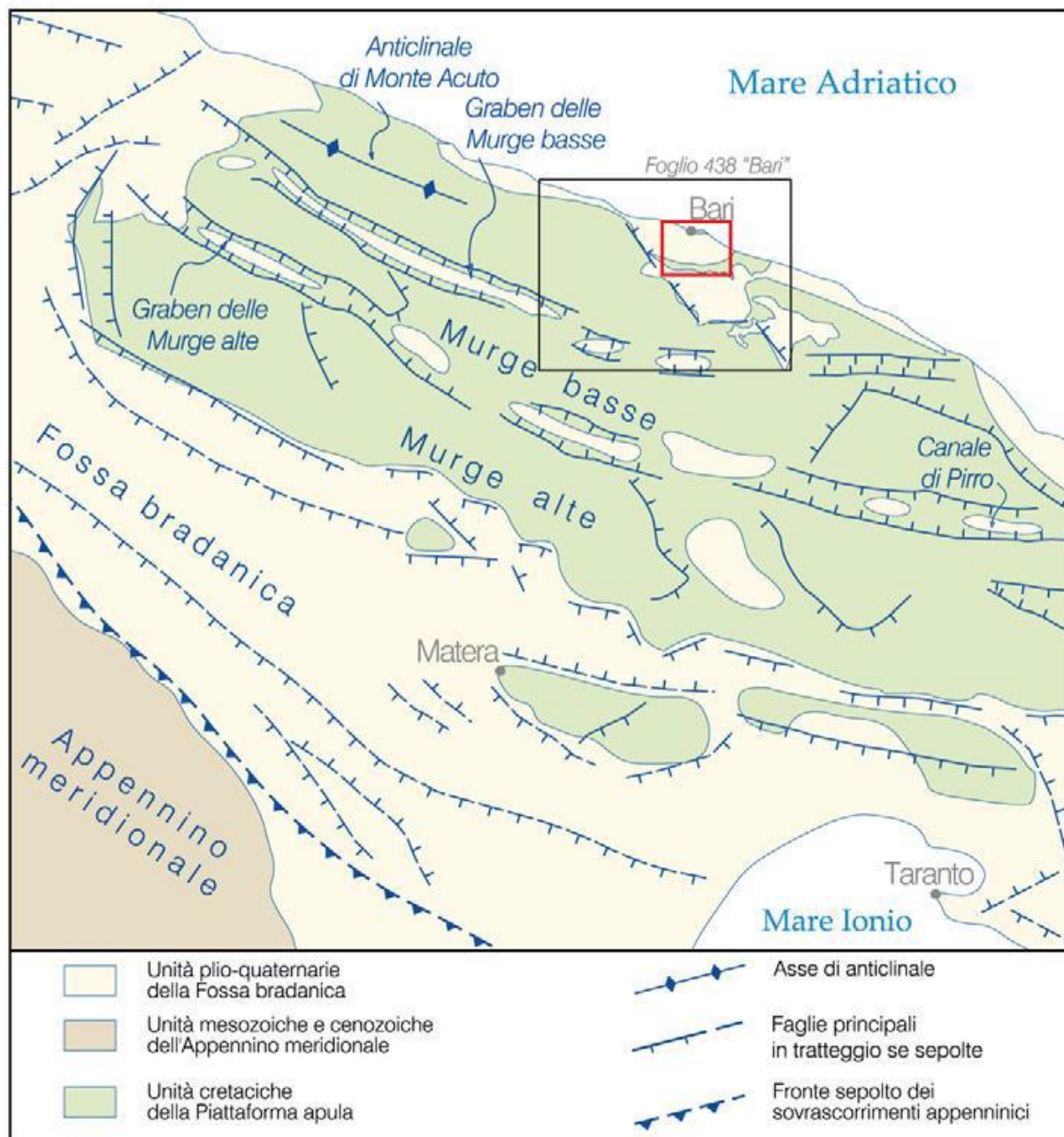
Calcarei bianchi e grigio chiari in strati di spessore decimetrico e metrico costituiti da litofacies a tessitura prevalentemente fango-sostenuta (mudstone/wackestone biopeloidali e bindstone stromatolitici) e subordinatamente granulo-sostenuta (packstone/grainstone bioclastici e biopeloidali) a luoghi interessati da diagenesi meteorica e/o da pedogenesi (floatstone/rudstone intraclastici in matrice argillosa residuale) con frequenti intercalazioni di calcari dolomitici e di dolomie grigie. Nella parte inferiore e superiore del Calcare di Bari, sono stati riconosciuti calcari macrofossiliferi a molluschi (prevalentemente rudiste); si tratta di gruppi di strati costituiti da accumuli conchigliari autoctoni o para-autoctoni con tessitura prevalentemente di tipo floatstone/rudstone, corrispondenti, dal più antico al più recente, al "livello Palese", al "livello Sannicandro" e al "livello Toritto". Nella parte sommitale i floatstone/rudstone bioclastici sono alternati a rudstone intrabioclastici e a mudstone/wackestone bioturbati con tracce fossili tipo *Thalassinoides* sp. Nella parte medio-alta della successione si rinvenivano bancate massive di breccie dolomitiche e di dolomie grigio scure a luoghi fittamente laminate (litofacies CBA) che si chiudono verso est; affiorano nel settore occidentale del foglio e corrispondono al "livello di breccie calcareo-dolomitiche" della precedente edizione della C.G.I. Ambiente di sedimentazione: gran parte del Calcare di Bari si è depositato in ambienti peritidali di piattaforma interna e solo nella parte sommitale sono stati riconosciuti ambienti di transizione da margine a bacino. Limite inferiore: non affiorante; limite superiore: affiora pochi chilometri a sud del limite meridionale del foglio e corrisponde ad una superficie erosiva netta, a luoghi marcata da depositi continentali residui (argille verde pallido), su cui poggia in trasgressione ed in discordanza angolare il Calcare di Altamura. Il Calcare di Bari rappresenta il substrato sedimentario su cui poggiano in discordanza tutte le unità più recenti. Lo spessore affiorante è di circa 470 m. Contenuto micropaleontologico: *Apicardina* sp., *Eoradilites murgensis* e *Eoradilites lyrales* (livello Palese); *Eoradilites* sp., *Apicardina laevigata*, *Chondrodonta cf. joannae* (livello Sannicandro); *Sauvagesia sharpei*, *Sauvagesia nicasei*, *Sphaerucaprina foroujensis* e *Caprinula boissyi* (livello Toritto). Contenuto micropaleontologico (foraminiferi bentonici): Zona di associazione a: *Cuneolina silioti*, *Praechysalidina infracretacea*, *Sabaudia minuta*, *Vercorsella arenata*, *V. scarsellai* (Albiano Inferiore p.p.). Zona di associazione a: "Valdancetella" *descourti*, *Neoragella insolita*, *Parascolina fleuryi*, *Praechysalidina infracretacea* (Albiano superiore); Zona di associazione a: *Neoragella cf. convexa?*, *Protocuneolina elongata*, *Cuneolina pavonia* (transizione Albiano-Cenomaniano); Zona di associazione a: *Sellialveolina vialii*, *Cuneolina pavonia*, *Nezzazata conica*, *N. simplex*, *Pseudocuneolinella heimi* (Cenomaniano inferiore); Zona di associazione a: *Pseudolituonella reicheli*, *Pseudoraphydionina dubia*, *Biconcava bentoni*, *Trochospira avimelechii*, *Broeckina* (Pastrikella) *balcanica*, *Biplanata peneropliformis*, *Cisalveolina fraasi*, *Chrysalidina gradata*, *Pseudocuneolinella heimi* (Cenomaniano medio-superiore).

ALBANO INFERIORE p.p.-CENOMANIANO SUPERIORE

L'area è quindi caratterizzata da una struttura a pieghe blande, ad assi con una certa prevalenza diretti da est ad ovest (ad es. l'anticlinale osservabile tra Bitonto e Ruvo di Puglia e la sinclinale che si estende tra Palese e Terlizzi).

Si hanno però anche notevoli pieghe con direzioni assiali NO-SE o ONO-ESE (Fig.4).

Più in dettaglio, per quel che riguarda la zona di interesse, essa ricade nelle Murge basse che a sua volta fa parte del dominio geologico-strutturale dell'avampaese apulo. Esso è costituito da un'imponente successione di piattaforma carbonatica mesozoica che, nell'area urbana di Bari si presenta blandamente tettonizzata, con faglie dirette caratterizzate da modesti rigetti e pieghe ad ampio raggio di curvatura. Questa successione è emersa alla fine del Cretacico, quando era già in parte strutturata e solo a partire dal Pleistocene inferiore, a causa della subsidenza subita dall'intera area murgiana (dovuta alla propagazione verso est del sistema orogenico appenninico), è stata in parte ricoperta da altre unità sedimentarie. La subsidenza ha permesso dapprima la sedimentazione di depositi carbonatici grossolani di mare sottile (Calcarenite di Gravina) e successivamente di depositi fini di ambienti marini relativamente più profondi (argille subappennine). A partire dal Pleistocene medio si è verificato un importante cambiamento del regime geodinamico, che ha determinato un sollevamento dell'area con conseguente graduale ritiro del mare. Contestualmente al ritiro del mare si è sviluppato un fitto reticolo idrografico che ha inciso sia le sottili coperture pleistoceniche che il loro substrato roccioso mesozoico.



Nell'area d'interesse, come si evince dalla carta geologica e dai saggi eseguiti, affiora la "Calcareniti di Gravina". Tale litotipo presenta nell'area spessori molto variabili, da pochi decimetri fino ad un massimo di circa 20 m. La Calcareniti di Gravina individua l'unità basale del ciclo della Fossa bradanica, era stata formalizzata da Azzaroli (1968) solo per affioramenti posti ai piedi del versante occidentale delle Murge; solo successivamente la stessa attribuzione è stata informalmente estesa agli analoghi litotipi affioranti sul lato adriatico delle Murge (Iannone & Pieri, 1979).

Le facies tipiche della Calcareniti di Gravina sono rappresentate da calcareniti e calciruditi intensamente bioturbate, scarsamente cementate e porose, contenenti lamellibranchi, gasteropodi, anellidi, echinidi, alghe rosse, foraminiferi bentonici e più raramente foraminiferi planctonici. Tuttavia, a luoghi, la parte inferiore della Calcareniti di Gravina è costituita, per spessori di pochi metri, da terre rosse di origine alluvionale passanti verso l'alto a calcisiltiti contenenti gusci di ostracodi, di gasteropodi, di lamellibranchi e di foraminiferi bentonici, che permettono di attribuire tali depositi ad ambienti lagunari salmastri.

3. IDROGEOLOGIA

Dal punto di vista idrologico, l'area del foglio Bari è caratterizzata dalla presenza di una serie di incisioni dette "lame" che si sviluppano più o meno perpendicolarmente alla linea di costa, tra le quali Lama Balice, Canale Lamasinata, Canale Picone, Torrente Valenzano, Lama San Giorgio, Lama Giotta, etc. (Fig.7).

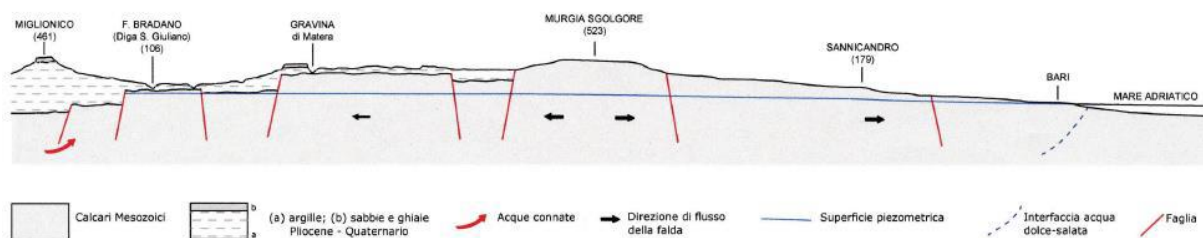
La mancanza di sorgenti e di corsi d'acqua a carattere perenne è evidentemente legata, oltre che a fattori climatici, ai caratteri geologici regionali. I calcari infatti, che costituiscono gran parte delle Murge, sono caratterizzati essenzialmente da una permeabilità per fessurazione, per cui, dove essi affiorano prevale l'infiltrazione delle acque nel sottosuolo.

Il sistema idrogeologico afferente alla città di Bari è parte del più ampio sistema idrogeologico carsico e costiero della Murgia. La potente struttura carbonatica fratturata e carsificata ospita la falda di alimentazione murgiana, contenuta da un lato, dal potente colmamento bradanico e sul lato opposto ed inferiormente, dal mare e dall'acqua di intrusione marina (Fig.8).

Tale falda presenta caratteristiche variabili da punto a punto; nelle zone più interne essa può essere descritta come una falda che circola generalmente in pressione e su più livelli spesso al di sotto del livello mare.

Localmente si può rinvenire la stessa frazionata su distinti livelli separati da intervalli, dello spessore di centinaia di metri di roccia “anidra”.

Poiché la permeabilità delle rocce calcaree è alquanto irregolare (può essere elevata in caso di presenza, nella roccia, di fratture e condotti carsici e ben sviluppati, o abbastanza contenuta qualora vi sia la presenza di zone relativamente meno fratturate, con fratture di limitata ampiezza spesso riempite da depositi residuali impermeabili, o di cospicui livelli dolomitici), in profondità si può trovare una circolazione idrica più o meno attiva da zona a zona.



sezione idrogeologica attraverso le Murge

Nel settore adriatico, la falda fluisce verso mare in direzione perpendicolare alla linea di costa con gradienti piezometrici compresi tra 0.1 e 0.5%.

In prossimità della costa, l'acqua si rinviene più spesso in condizioni di falda libera o confinata poco al di sotto del livello del mare; tale falda risente l'influenza delle acque marine di invasione continentale. In particolare, importanti processi chimici e fisici si determinano tra le rocce ospitanti e l'acquifero in corrispondenza della sua superficie libera e nella fascia di transizione tra l'acqua dolce e l'acqua salata; tra questi le fenomenologie carsiche che assumono sviluppo prevalentemente orizzontale.

Da una ricostruzione recente della superficie piezometrica nel territorio cittadino (Fig.9), la superficie della falda nell'area interessata si attesta a circa 1 m dal livello mare e degrada verso mare con isopieziche abbastanza parallele alla linea di costa

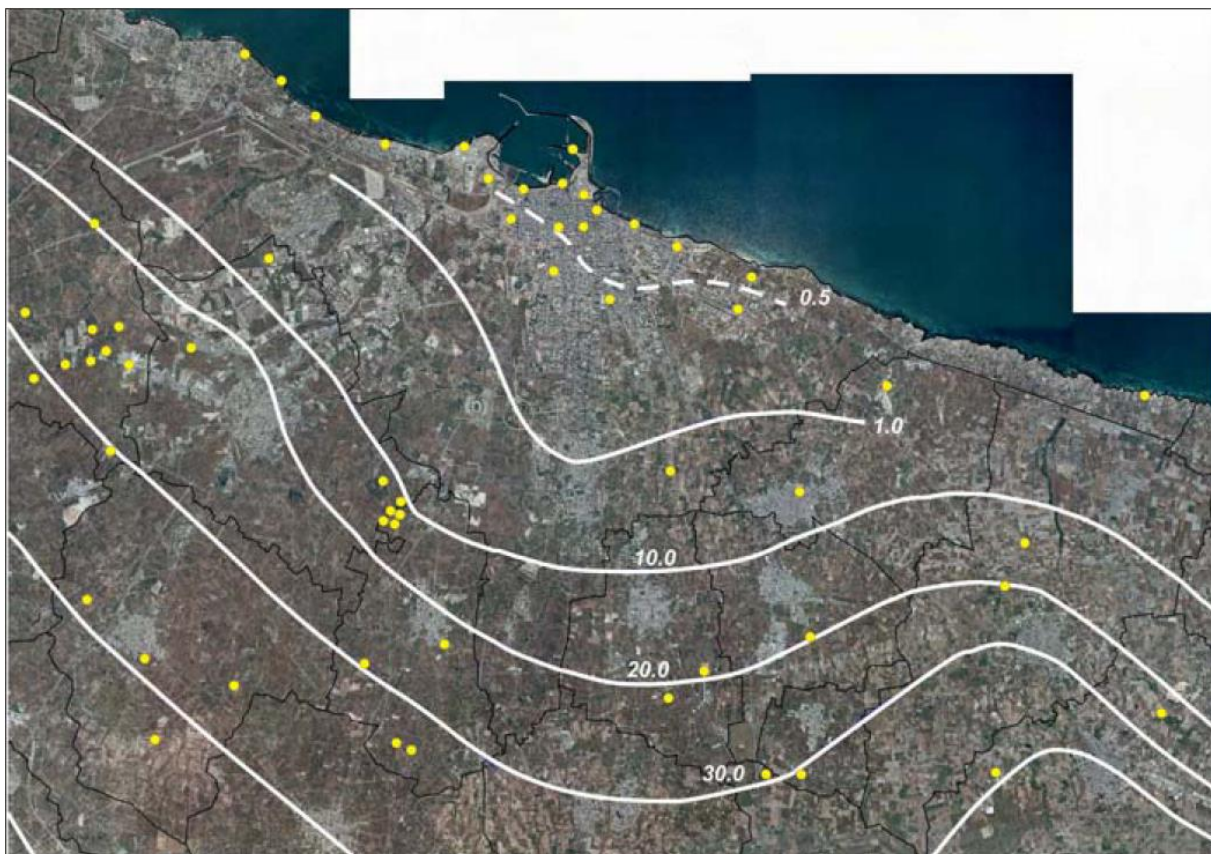


Fig.9: andamento della superficie piezometrica della falda nell'area di Bari attraverso misure puntuali. È evidente la depressione per sovrasfruttamento in corrispondenza della parte più urbanizzata della città (da Spilotro e Leandro 2008 mod.)

Il livello di falda risente, oltre che del sollevamento del livello mare, anche delle oscillazioni di marea, con variazione di ampiezza e di fase che dipendono dalla distanza dalla linea di costa; risente inoltre di tutte le condizioni di perturbazione proprio o al contorno, per cui il suo livello varia stagionalmente per l'alimentazione invernale nelle aree interne di ricarica o a seguito di eventi piovosi intensi sulla fascia costiera; può risentire delle condizioni barometriche e delle condizioni dei venti sul Mar Adriatico. La conseguenza è che l'escursione massima media annuale della falda nell'area della città, a circa 2 km dalla costa è di circa 60 cm e tende a crescere, ad opera della componente tidale, in prossimità della costa.

3 –INDAGINI GEOGNOSTICHE E CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEI TERRENI INTERESSATI

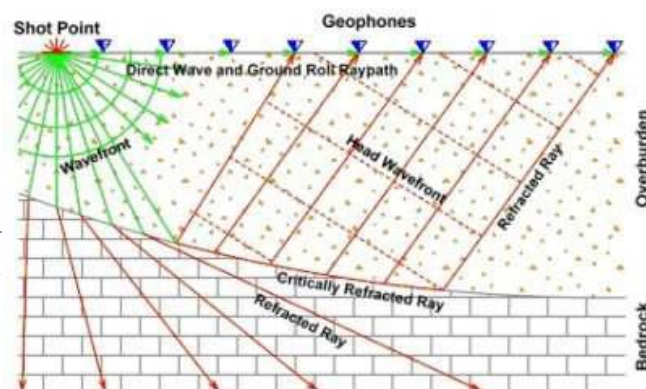
Nell'area d'interesse affiora quindi, al disotto di una coltre di terreno di riporto di spessore variabile, delle calcareniti giallastre da mediamente a molto cementate. La qualità geotecnica dei terreni suddetti è molto variabile sia in senso laterale che verticale a causa della non omogeneità dei sedimenti; di fatto, ai livelli più tenaci corrispondono parametri fisici e meccanici senz'altro migliori rispetto a quelli propri dei livelli più scadenti o addirittura sabbiosi e/o limosi.

Per quanto riguarda le caratteristiche geotecniche dei litotipi costituenti le formazioni suddette, occorre ribadire che le stesse sono influenzate dal diverso grado di cementazione della roccia e dalla loro fratturazione e, soprattutto, dal grado di cementazione dello scheletro granulare.

Per la valutazione delle caratteristiche geotecniche si è fatto riferimento a dati di bibliografia e a dati di indagini dirette e indirette eseguite su aree limitrofe aventi il medesimo assetto geologico-strutturale.

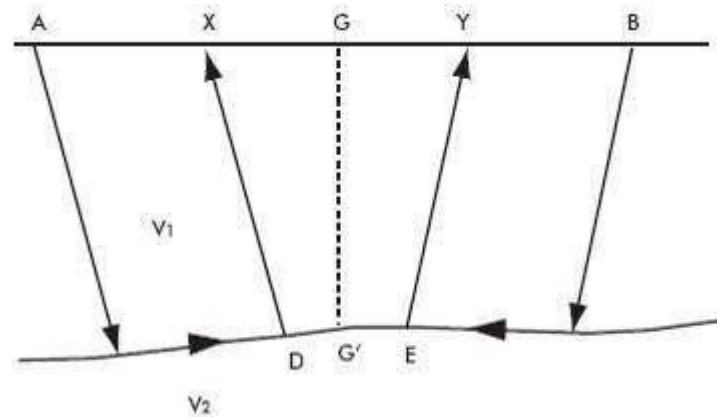
Indagine sismica

Per la valutazione dell'assetto stratigrafico e delle caratteristiche geotecniche si è fatto riferimento alle risultanze di una prospezione sismica a rifrazione. Questa consiste nella misura dei tempi di primo arrivo delle onde sismiche generate in un punto in superficie (punto sorgente), in corrispondenza di una molteplicità di punti disposti allineati sulla superficie topografica (geofoni). Lo studio della propagazione delle onde sismiche consente di valutare le proprietà geometriche e fisico-meccaniche dei terreni. Mediante questo tipo di indagine si può risalire alla composizione litologica di massa dei terreni, al loro grado di fratturazione, alla geometria delle prime unità sottostanti la coltre superficiale, alla profondità in cui si trova la roccia di fondo ("bedrock"). L'unica condizione per eseguire studi di sismica a rifrazione è che la successione rocciosa da investigare sia caratterizzata da velocità sismiche crescenti all'aumentare della profondità.



Relazione geologica-

Normalmente il sottosuolo è caratterizzato da strati piano-paralleli con velocità crescente all'aumentare della profondità. In contesti più complessi (inversioni di velocità o presenza di corpi non stratificati) bisogna tener conto del modello tridimensionale del sottosuolo ed intervenire con indagini più specifiche (misure sismiche in foro), per non incorrere in errori interpretativi. Il metodo di elaborazione utilizzato nel corso delle analisi dei dati a rifrazione è stato il Generalized Reciprocal Method (GRM: Palmer - 1980). L'analisi GRM (metodo reciproco generalizzato) si basa sulla determinazione del tempo di tragitto delle onde sismiche tra due geofoni separati da una distanza variabile XY ottimale per la quale i segmenti dei raggi che viaggiano verso l'alto e arrivano a ciascun geofono, emergano quasi dallo stesso punto del riflettore (G'). Ciò permette di valutare tutte le eventuali variazioni laterali di velocità del rifrattore, e quindi di ricostruire anche morfologie complesse.

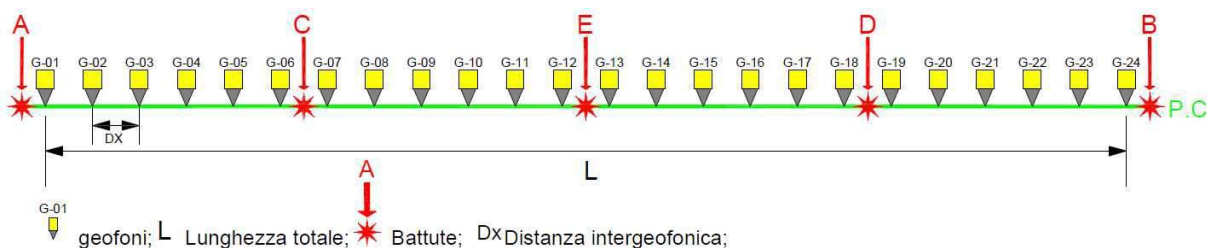


Per le misure eseguite sono stati utilizzati le seguenti attrezzature:

- Un sismografo DAQ LINK – III a 24 bit della “Seismic Source Co” con intervallo minimo di campionamento di 0.0208 ms e altissima risoluzione (118 db).
- Un cavo con 24 collegamenti per i geofoni.
- Ventiquattro geofoni a componente verticale con frequenza di 14 Hz.
- Ventiquattro geofoni a componente orizzontale con frequenza di 14 Hz.
- Un martello di 8 Kg dotato di trigger.
- Un piattello in alluminio per la generazione di onde sismiche longitudinali.
- Un generatore per onde trasversali ad impatto bidirezionale

E' stato eseguito n° 1 profilo avente una lunghezza di 60 metri, distanze intergeofoniche di 2.5 metri. Sono state effettuate 5 energizzazioni per le onde longitudinali e 3 energizzazioni per le onde trasversali. Di seguito è mostrato lo schema geometrico di acquisizione per le onde P, mentre per le onde Sh si sono utilizzati i punti A-E-B:

Relazione geologica-idrogeologica e geotecnica



Il picking delle onde sismiche è stato effettuato sui sismogrammi sperimentali (vedi allegato) mediante il software TomTime della Geotom, LCC, dopo un opportuno filtraggio delle tracce. I primi arrivi sono riportati nei diagrammi tempo-distanza “dromocrone” (vedi allegato).

Risultati

L’elaborazione dei dati ha permesso di ricostruire il sottosuolo secondo 3 “sismostrati”, così caratterizzati:

1. Il primo sismostrato ha velocità V_p compresa tra 400-560 m/s e V_s compresa tra 110-240;
2. Il secondo sismostrato ha velocità V_p compresa tra 980-1640 m/s e V_s compresa tra 420-790;
3. Il substrato rifrattore ha velocità V_p compresa tra 2430-2860 m/s e V_s compresa tra 1090-1510.

Per ciò che concerne la correlazione delle caratteristiche fisico-dinamiche con quelle geologico-tecniche del sottosuolo esplorato, si può ritenere che:

1. Il primo sismostrato è associabile a *terreni di riporto*;
2. Il secondo sismostrato è associabile a *calcareniti cementate oppure a sabbie calcarenitiche o riporto antropico costipato*;
3. Il substrato rifrattore è associabile a *calcareniti molto cementate e/o calcari fratturati e carsificati*.

Nella tabella che segue sono mostrati tutti i valori delle velocità sismiche, il coefficiente di Poisson ed i valori dei moduli dinamici E (di Young), G (di taglio) e K (di compressibilità), espressi in Kg/cm².

Spessori medi (metri)	V_p	V_s	σ	γ	E	G	K
0÷1.8	470	180	0.41	1	935	331	1813
1.8÷11	1640	790	0.35	1	17181	6368	18954
>11	2860	1510	0.31	1	60807	23266	52444

V_p = velocità onde longitudinali in m/s

V_s = velocità onde trasversali in m/s

σ = coefficiente di Poisson

γ = peso di volume in g/cm³

E = modulo dinamico di Young in Kg/cm²

G = modulo dinamico di taglio in Kg/cm²

K = modulo dinamico di compressibilità in Kg/cm²

In considerazione dei dati a disposizione è possibile quindi sintetizzare i parametri geotecnici dei terreni che saranno interessati dalle opere fondali:

- Peso di volume $\gamma = 1.9 \text{ Kg/cm}^3$
- Angolo di attrito $\phi = 28.6^\circ$
- Coesione = 0.169 MPa
- Velocità onde P = 1620 - 2650 m/s
- Velocità onde S = 750- 1340 m/s
- Modulo di Poisson = 0.33 - 0.36
- Modulo di Young $E = 29.730 - 92.470 \text{ kg/cm}^2$
- Modulo di Taglio $G = 10.900 - 34.800 \text{ Kg/cm}^2$
- Modulo di incompressibilità $K = 36.300 - 89.700 \text{ Kg/cm}^2$
- RQD = 35%
- Resistenza a compressione monoassiale $\sigma_c = 22.5 \text{ Kg/cm}^2$

7 · SISMICITA'

I criteri normativi raccomandati dalla Comunità Europea attraverso l'Eurocodice 8 propongono di garantire un definito livello di protezione rispetto a scuotimenti sismici che hanno un'elevata probabilità (90%) di non essere superati nell'arco di 50 anni.

Considerando che l'azzeramento del rischio non è praticamente realizzabile, tale criterio comunitario assicura di contenere in un limite assai basso (10%) il rischio che eventi sismici possano produrre sollecitazioni superiori a quelle che le opere ingegneristiche possono sopportare.

Di seguito si riporta uno stralcio della Carta della pericolosità sismica riferito al territorio salentino: l'area interessata dall'intervento di progetto risulta classificata come zona a bassa

pericolosità sismica, espressa in termini di accelerazione massima del suolo (riferita a suoli rigidi di Cat. A così come definiti al p.to 3.2.1 del D.M. 14/09/2005) con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni.

Nell'attuale impostazione del testo unico per le costruzioni, la normativa costituita dal testo integrato delle OPCM 3274 (20/3/2003); 3316 (2/10/2003); 3431 (3/5/2005) costituirebbe insieme all'eurocodice 8 il riferimento per il conseguimento degli obiettivi di sicurezza e prestazionali prefissi.

A seguito dell'ordinanza PCM n. 3274 del 20.03.2003 (come integrata e modificata dall'OPCM 3316), recante "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica" il territorio nazionale è stato suddiviso in n° 4 zone sismiche, ciascuna caratterizzata da un diverso valore del parametro a_g (accelerazione orizzontale massima attesa su suolo di categoria A). I valori convenzionali di a_g (espressi come frazione dell'accelerazione di gravità g) attribuiti a ciascuna zona sismica, sono riferiti ad una probabilità di superamento del 10% in 50 anni (corrispondenti ad un periodo di ritorno di 475 anni) ed assumono i valori riportati nella seguente Tabella:

Zone sismiche e valori di a_g

Zona	Valore di a_g
1	0,35g
2	0,25g
3	0,15g
4	0,05g

A seguito di tale ordinanza, la Regione Puglia ha emanato la Deliberazione di Giunta Regionale 2 marzo 2004, n. 153 con la quale ha provveduto alla prima, benché temporanea, riclassificazione sismica del territorio regionale. L'Allegato 1 di tale deliberazione classifica tutti i comuni pugliesi in 4 zone sismiche. Il territorio comunale di Lecce, al pari di quello degli altri comuni della provincia di Lecce, rientra in zona sismica 4 corrispondente al "Non Classificato" sia della precedente classificazione (Decreti sino al 1984) che della proposta di riclassificazione elaborata dal Gruppo di

Lavoro appositamente costituito dalla Commissione Nazionale Grandi Rischi con risoluzione del 23.04.1997.

Sebbene la Zona Sismica 4 sia quella caratterizzata dal più basso rischio sismico, la normativa, recepita anche a livello regionale, prevede per la progettazione di alcune categorie di edifici individuati quali strategici e rilevanti ai fini della protezione civile e dell'eventuale collasso degli stessi (si veda quanto riportato nell'All. 2 della Delib. G.R n. 153 del 2 marzo 2004), di adottare le stesse norme tecniche previste per la Zona Sismica 3.

Con l'entrata in vigore del D.M. 14 gennaio 2008, 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. Il primo passo consiste nella determinazione di a_g (accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido).

Per tale determinazione in base alle coordinate geografiche dell'opera da verificare si determina la maglia di riferimento in base alle tabelle dei parametri spettrali fornite dal ministero e si determinano i valori di riferimento del punto come media pesata dei valori nei vertici della maglia moltiplicati per le distanze dal punto.

La suddivisione in differenti categorie di profilo stratigrafico prevede i seguenti litotipi:

A – *Formazioni litoidi o suoli omogenei molto rigidi* caratterizzati da valori di V_{s30} superiori a 800 m/s, comprendenti eventuali strati di alterazione superficiale di spessore massimo pari a 5 m.

B – *Depositi di sabbie o ghiaie molto addensate o argille molto consistenti*, con spessori di diverse decine di metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 360 e 800 m/s (ovvero resistenza penetrometrica $N_{SPT} > 50$, o coesione non drenata $C_u > 250 \text{ KPa}$).

C – *Depositi di sabbie o ghiaie mediamente addensate, o di argille di media consistenza*, con spessori variabili da diverse decine a centinaia di metri, caratterizzati da valori di V_{s30} compresi tra 180 e 360 m/s ($15 < N_{SPT} < 50$;

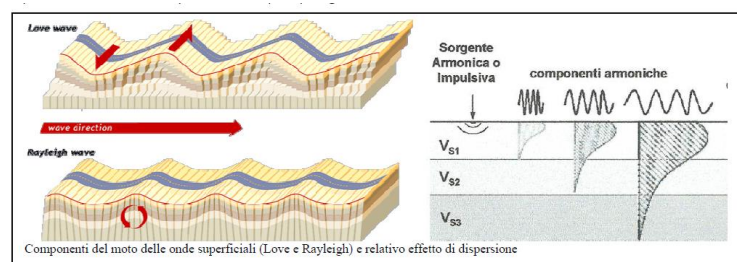
$70 < C_u < 250 \text{ KPa}$).

D – Depositi di terreni granulari da sciolti a poco addensati oppure coesivi da poco a mediamente consistenti, caratterizzati da valori di $V_{s30} < 180 \text{ m/s}$ ($N_{SPT} < 15$; $C_u < 70 \text{ KPa}$).

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 20 m, giacenti su di un substrato di materiale più rigido con $V_{s30} > 800 \text{ m/s}$.

Indagine sismica in situ – Metodologia Indagini M.A.S.W.

L'indagine MASW eseguita con la tecnica “passiva” Re.Mi. (Refraction Microtremor) è una tecnica di indagine non invasiva che individua il profilo di velocità delle onde di taglio verticali V_s , basandosi sulla misura delle onde superficiali fatta in corrispondenza di diversi sensori (nel nostro caso geofoni) posti sulla superficie del suolo. Il contributo predominante alle onde superficiali è dato dalle onde di Rayleigh, che viaggiano con una velocità correlata alla rigidezza della porzione di terreno interessata dalla propagazione delle onde. In un mezzo stratificato le onde di Rayleigh sono dispersive, cioè onde con diverse lunghezze d'onda si propagano con diverse velocità di fase o detto in maniera equivalente la velocità di fase (o di gruppo) apparente delle onde di Rayleigh dipende dalla frequenza di propagazione.



La natura dispersiva delle onde superficiali è correlabile al fatto che onde ad alta frequenza con lunghezza d'onda corta si propagano negli strati più superficiali e quindi danno informazioni sulla parte più superficiale del suolo, invece onde a bassa frequenza si propagano negli strati più profondi e quindi interessano gli strati più profondi del suolo.

La natura dispersiva delle onde superficiali è correlabile al fatto che onde ad alta frequenza con lunghezza d'onda corta si propagano negli strati più superficiali e quindi danno

informazioni sulla parte più superficiale del suolo, invece onde a bassa frequenza si propagano negli strati più profondi e quindi interessano gli strati più profondi del suolo.

Per le misure eseguite sono state utilizzate le seguenti attrezzature:

- Un sismografo DAQ LINK – III a 24 bit della “Seismic Source Co” con intervallo minimo di campionamento di 0.0208 ms e altissima risoluzione (118 db).
- Un cavo con 24 collegamenti per i geofoni.
- 24 geofoni a componente verticale con frequenza di 4.5 Hz.
- SeisOpt ReMi v.2.0 della Optim LLC.

Tutti i profili eseguiti sono ubicati sulle stesse linee della sismica a rifrazione ed hanno le stesse geometrie.

Per ogni profilo sono state acquisite cinque registrazioni di 20 secondi con una frequenza di campionamento di 500 Hz. I sismogrammi ottenuti sono stati elaborati con una trasformazione bidimensionale dal dominio tempo-distanza (t-x), al dominio velocità di fase-frequenza (p-f). E' stato così possibile analizzare l'energia di propagazione del “rumore ambientale” lungo tutte le direzioni della linea sismica e riconoscere le onde superficiali con carattere dispersivo. Gli spettri di potenza p-f ottenuti sono stati sommati e sullo spettro risultante sono stati individuati una serie di punti sul confine inferiore dell'area ad alta energia (piking).

Tali valori sono stati riportati su un grafico velocità di fase/periodo ed è stata analizzata la relativa curva di dispersione. Infine è stato poi calcolato un modello ottimale di velocità di onde trasversali mediante il “fitting” tra curva di dispersione e valori sperimentali

7.2 Risultati

In conformità al D.M. 17/01/2018 “Norme tecniche per le costruzioni” la classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, $V_{S,eq}$ (in m/s), definita dall'espressione dove:

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{S,i}}}$$

h_i spessore dell' i -esimo strato;

$V_{s,i}$ velocità delle onde di taglio nell' i -esimo strato;

N numero di strati;

H profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_s non inferiore a 800 m/s.

Per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali. Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell'opera. Per muri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano di imposta della fondazione.

Per depositi con profondità H del substrato (definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_s non inferiore a 800 m/s) superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio $V_{s,eq}$ è definita dal parametro $V_{s,30}$ ottenuto ponendo $H=30$ m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità. Poiché le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni sono chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab. 3.2.II (di seguito), si può fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio, V_s .

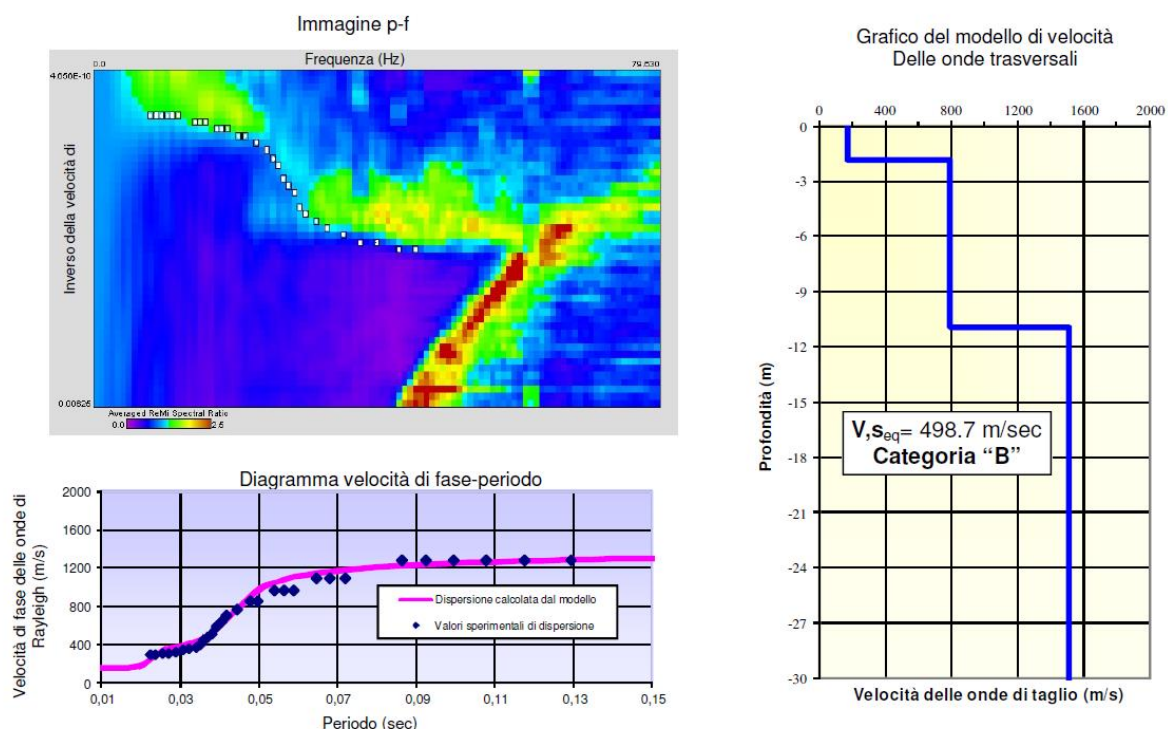
Pertanto i siti in esame rientrano nelle seguenti categorie di sottosuolo:

$V_{s,eq} = 498.7$ m/s

Categoria B

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

NB: In molti casi (contrasti di impedenza*, inversioni di velocità**, depositi di elevato spessore, etc.), la stima degli effetti di sito mediante la $V_{s,eq}$ risulta affetta da notevoli incertezze e si deve fare riferimento, come del resto prescritto in generale dalle NTC2018, alla RSL mediante analisi numerica



8 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

I dati scaturiti dalle indagini effettuate mostrano come nel lotto di intervento siano presenti al di sotto del terreno eluviale/riporto (dello spessore di circa 0,5 m), delle calcareniti e calcari biancastri mediamente fratturati.

Il calcolatore nella verifica strutturale potrà attribuire le seguenti caratteristiche fisico-meccaniche:

- Peso di volume $\gamma = 1.9 \text{ Kg/cm}^3$
- Angolo di attrito $\phi = 28.6^\circ$
- Coesione = 0.169 MPa
- Modulo di Poisson = 0.33 - 0.36
- Modulo di Young $E = 29.730 - 92.470 \text{ kg/cm}^2$
- Modulo di Taglio $G = 10.900 - 34.800 \text{ Kg/cm}^2$
- Modulo di incompressibilità $K = 36.300 - 89.700 \text{ Kg/cm}^2$
- RQD = 35%
- Resistenza a compressione monoassiale $\sigma_c = 22.5 \text{ Kg/cm}^2$

In fase esecutiva bisognerà verificare la quota d'imposta delle fondazioni esistenti e quelle integrative in diversi punti, affinché si verifichino la tipologia di terreno interessato dalle fondazioni; la presenza infatti di variazioni litologiche localizzate, per la presenza di terreni "peggiori" dal punto di vista meccanico, invaliderebbe i calcoli in termini di portanza. In fase esecutiva si dovranno considerare le possibili interazioni con le strutture adiacenti esistenti in considerazione della tipologia strutturale utilizzata

Il progettista dovrà realizzare una struttura portante che nell'insieme garantirà all'opera uniformità di comportamento alle diverse sollecitazioni..

Seppur in maniera ripetitiva è doveroso sottolineare la necessità di un attento esame dello stato fondazionale esistente per la definizione del progetto esecutivo.

Dal punto di vista idrogeologico l'area su cui insiste il lotto preso in esame, non ha evidenziato particolari problematiche.

Lecce, ottobre 2022

dott. geol.
Emanuele Spedicato