



COMUNE DI FOGGIA

PROVINCIA DI FOGGIA



PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN PARCO EOLICO

Numero aerogeneratori: 10

**RICHIESTA DI AUTORIZZAZIONE UNICA**

D.Lgs. 387/2003

**PROCEDIMENTO UNICO AMBIENTALE  
(PUA)**

**Valutazione di Impatto  
Ambientale (V.I.A.)**

D.Lgs. 152/2006 ss.mm.ii. (Art.27)  
*“Norme in materia ambientale”*

PROGETTO

ORIONE

DITTA

ATS Engineering srl

A06

PAGG. 49

Titolo dell'allegato:

RELAZIONE GEOTECNICA

1	EMISSIONE	08/04/2020
REV	DESCRIZIONE	DATA

**CARATTERISTICHE GENERALI D'IMPIANTO**

GENERATORE - Altezza mozzo: fino a 140 m.  
Diametro rotore: fino a 170 m.  
Potenza unitaria: fino a 6 MW.

IMPIANTO - Numero generatori: 10  
Potenza complessiva: fino a 60 MW.

**Il proponente:**

ATS Engineering srl  
P.zza Giovanni Paolo II, 8  
71017 Torremaggiore (FG)  
0882/393197  
atseng@pec.it

**Il progettista:**

ATS Engineering srl  
P.zza Giovanni Paolo II, 8  
71017 Torremaggiore (FG)  
0882/393197  
atseng@pec.it

**Il tecnico:**

Ing. Eugenio Di Gianvito  
atsing@atsing.eu

## **INDICE**

PREMESSA .....	2
1. DESCRIZIONE DELL'AREA .....	3
2. GEOLOGIA REGIONALE .....	7
3. GEOLOGIA LOCALE .....	13
4. INQUADRAMENTO SISMICO .....	19
5. ELEMENTI DI GEOTENCICA .....	22
6. INDAGINI SISMICHE .....	36
6.1 PROVA SISMICA A RIFRAZIONE DI SUPERFICIE .....	36
6.1.2 DESCRIZIONE DELL'INDAGINE .....	37
6.1.3 INTERPRETAZIONE DEI RISULTATI DELLE BASI SISMICHE .....	38
6.2 INDAGINE RE.MI.....	40
6.2.1 CALCOLO DEI MODULI DINAMICI .....	42
6.2.2 PARAMETRI GEOTECNICI.....	45
7. NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....	48
CONCLUSIONI.....	49

## **PREMESSA**

A corredo del progetto definitivo per la realizzazione di un parco eolico per la produzione di energia elettrica e delle relative opere di connessione e distribuzione, è stato eseguito uno studio geologico con successiva modellazione geotecnica, proposto dalla società ATS Engineering srl, con sede in P.zza Giovanni Paolo II, 8 in Torremaggiore (Fg).

Prima di effettuare indagini in sito, sono stati necessari dei sopralluoghi, con lo scopo di evidenziare eventuali problemi connessi con la natura e le caratteristiche del sottosuolo che possono condizionare eventuali scelte progettuali.

Successivamente si è proceduto con una ricerca bibliografica e cartografica, rilevamento geomorfologico di un'area sufficientemente ampia, esecuzione di indagine sismica a rifrazione ed elaborazione dei dati al fine di ricavare i parametri geotecnici caratterizzanti il sottosuolo.

Inoltre, ai fini della caratterizzazione del sottosuolo, sono state prese in considerazione indagini fatte nella zona in esame, ricavando così informazioni utili ad avere un quadro più completo della zona in cui verrà realizzato l'impianto eolico.

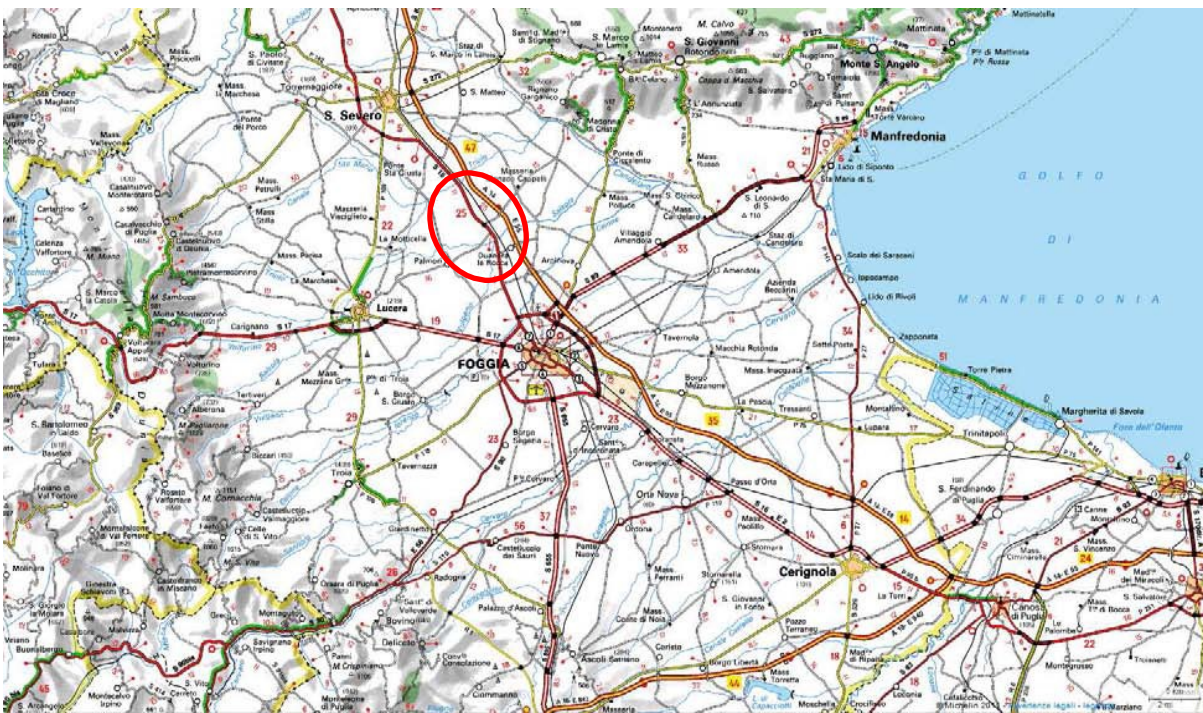
Il presente studio ha perseguito i seguenti scopi:

- individuazione dei litotipi costituenti la successione stratigrafica presente nell'area in esame, con particolare riferimento al loro assetto giaciturale;
- caratterizzazione dei parametri meccanici del sottosuolo.

La presente relazione è stata redatta in conformità a quanto previsto dal D.M. LL.PP. dell'11 Marzo 1988 e successiva circolare LL.PP. n°30483/88.

## 1. DESCRIZIONE DELL'AREA

La seguente Relazione Geotecnica viene realizzata per conto della Società "ATS Engineering srl" in merito alla progettazione del parco eolico "Orione", da realizzarsi nel territorio comunale di Foggia. Il Progetto prevede l'installazione di 10 aerogeneratori con potenza unitaria fino a 6.0 MW e produrrà una potenza complessiva fino a 60 MW.



*Ubicazione del progetto Orione*

L'area di studio, sede del Progetto "Orione", è situata a Nord-Ovest della città di Foggia e si colloca all'interno del foglio I.G.M. 1:100.000 n° 164 "Foggia".

Il progetto "Orione" si estende su entrambi i lati della Strada Statale 16, collegamento tra i comuni di Foggia e San Severo, e occuperà un'area di circa 3,4 ha. In particolare, per l'installazione di ogni singolo aerogeneratore sarà impegnata un'area pari a circa 5.000 m<sup>2</sup> tra fondazioni, cabina e strada d'accesso.

Nella tabella sottostante sono riportate le coordinate relative all'ubicazione georeferenziata delle singole turbine nel sistema di riferimento *Italy East Fuse, Rome 1940 datum*.

N. Torri	EST	NORD
2	2.564.733,7758	4.603.658,9098
3	2.563.231,6126	4.603.802,0039
4	2.564.210,3989	4.602.889,5158
11	2.559.461,8656	4.600.253,0666
12	2.560.385,2580	4.600.196,0434
14	2.558.846,7138	4.599.758,6018
15	2.559.338,9947	4.599.160,4314
16	2.558.952,5235	4.597.833,0285
17	2.559.756,9720	4.598.146,4674
22	2.559.174,9381	4.597.074,1636

*Coordinate aerogeneratori nel sistema di riferimento Italy East Fuse, Rome 1940 datum*

Gli aerogeneratori presi in considerazione, vista la presenza sul mercato di turbine di grossa taglia, hanno le seguenti caratteristiche tecniche: altezza mozzo: fino a 140 m; diametro rotore: fino a 10 m; potenza unitaria: fino a 6 MV.

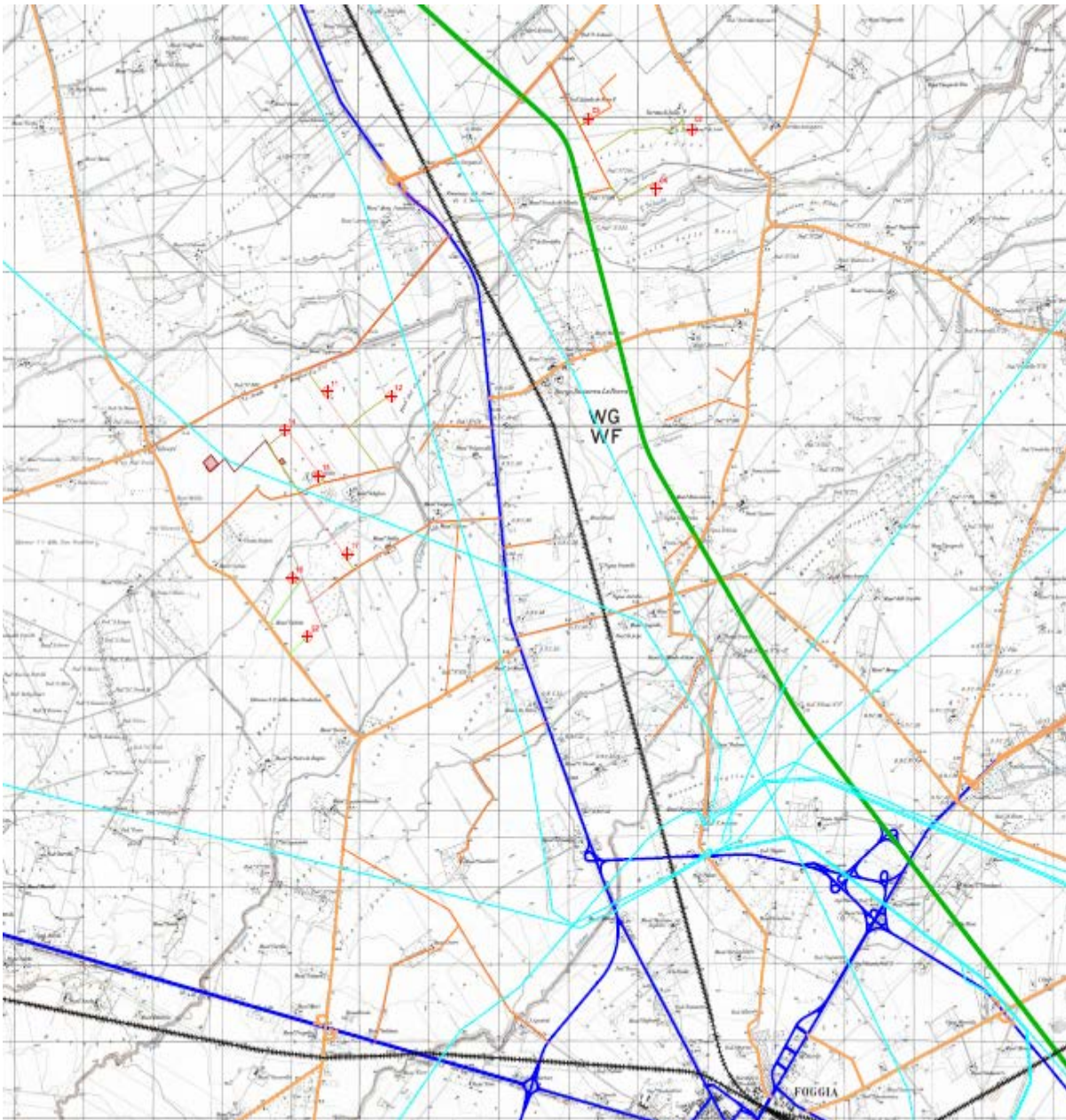
Fanno parte integrante del progetto anche:

la viabilità interna;

i cavidotti interrati per il convogliamento dell'energia in MT;

le cabine primarie e secondarie di trasformazione.

Il progetto è stato collocato all'interno di un'area fortemente antropizzata, sfruttata prevalentemente per la produzione industriale e agricola (cereali e seminativi). Non sono presenti aree di naturalità.



*Veduta del progetto Orione: torri e viabilità interna al parco*

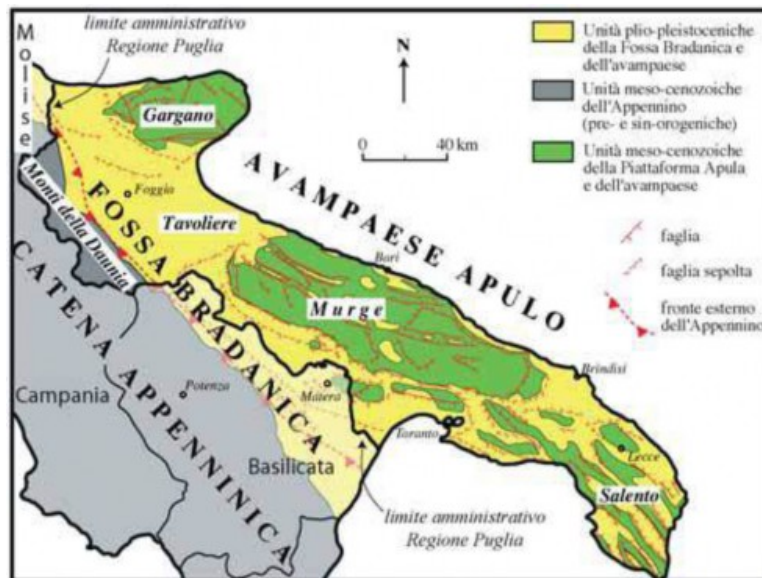
Il sistema viario nel territorio di Progetto si articola tramite la presenza delle seguenti strade principali:

- Autostrada A14 Adriatica;

- Strada Statale S.S.16 Adriatica;
- Strada Statale S.S.17 dell'Appennino abruzzese e Appulo Sannitica;
- Linea Ferroviaria Adriatica;
- Strada Provinciale S.P. 13 Foggia - Torremaggiore;
- Strada Provinciale S.P. 22 Borgo Celano – Rignano Scalo;
- Strada Provinciale S.P. 23 Sprecacenero;
- Strada vicinale S.P. 24 – Ponte di Spini - Circumsanseverina;
- Strada Provinciale S.P. 26 – Foggia – San Marco in Lamis;
- Strade comunali e interpoderali per raggiungere la zone destinate ad accogliere il parco eolico.

## 2. GEOLOGIA REGIONALE

La storia geologica della Puglia va inquadrata nell'insieme dei complessi e differenziati processi geologici che, in base alla teoria della tettonica delle zolle, ha caratterizzato l'evoluzione dell'area mediterranea in merito alla nascita della Penisola. Il settore crostale, nel cui tratto meridionale è locato il territorio pugliese, era un'estensione del margine settentrionale del Paleocontinente africano e durante il Triassico subiva una graduale sommersione a causa della frammentazione del Pangea e dell'apertura dell'Oceano ligure-piemontese. Sempre durante il Trias (O Triassico) la sedimentazione terrigena viene soppiantata da depositi evaporitici, anidritico gessosi e carbonatici di ambiente epicontinentale.



Carta Geologica schematica della Regione Puglia

La sedimentazione evaporitica è stata individuata nel sottosuolo della regione pugliese mediante perforazioni (area garganica e murgiana). Un esiguo affioramento probabilmente è ravvisabile nella località di Punta delle Pietre Nere (Marina di Lesina), all'interno dell'area garganica settentrionale.

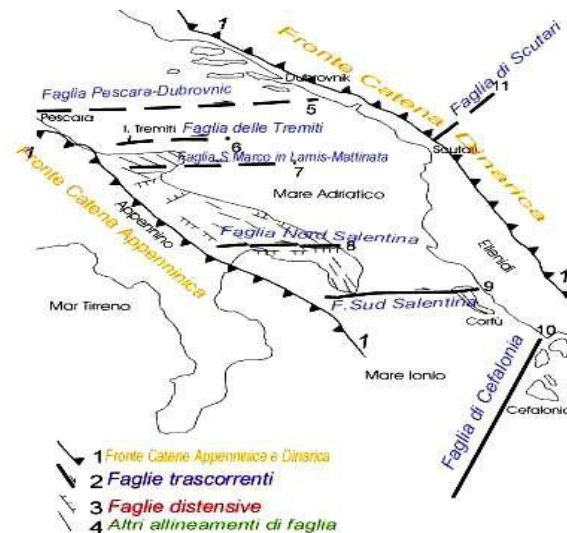
Nel periodo Giurassico e Cretacico il margine superiore della Zolla africana si scompone in frammenti a causa di una tettonica disgiuntiva attivata da differenti tipi di faglie. Uno di questi frammenti corrisponde al Promontorio africano sul quale troviamo sedimentazione carbonatiche con bacini pelagici interposti.



Durante il Paleogene la Zolla africana entra in collisione con il Paleocontinente europeo cambiando il panorama paleogeografico dell'area afro-asiatica.

In questo contesto con il sollevamento del Promontorio africano emerge anche la Piattaforma apula carbonatica, contrassegnata da un notevole aumento delle manifestazioni vulcaniche.

Le fasi geodinamiche eoceniche, inoltre, sono caratterizzate da fenomeni di piegamento con ampio raggio di curvatura e da alcuni allineamenti di faglia nella direzione E-O e dai depositi paleocenico-eocenici e oligocenici presenti lungo le fasce costiere del Gargano e della Penisola salentina. Durante il Neogene, invece, nella parte più occidentale della piattaforma apula, si registra una sovrapposizione di porzioni di crosta, singolarmente dette unità tettoniche, causata



da spinte orizzontali di compressione che causano la formazione di una serie di pieghe coricate o di faglie inverse di bassa inclinazione. Tale sovrapposizione origina la Catena Appenninica. In base alla teoria tettonica delle zolle i tre sistemi orogenici – *catena*, *avanfossa*, *avampaese* – sono il risultato dei processi di subduzione. La catena è rappresentata dall'Appennino campano-lucano; l'avanfossa, dalla Fossa bradanica; l'avampaese, dalla regione apulo-garganica. I tre sistemi suddetti interessano le tre regioni dell'Italia meridionale: Campania, Basilicata, Puglia.

Il sistema Appenninico attuale ha una struttura a falde realizzatasi per successive fasi deformative. Esso presenta, in sovrapposizione tettonica, più unità stratigrafico-strutturali che in precedenza componevano un quadro paleogeografico molto articolato. Nell'attuale struttura appenninica meridionale, in successione geometrica dal basso, possiamo distinguere: unità dell'avampaese apulo, unità della Fossa bradanica e unità della catena appenninica meridionale. L'avampaese apulo in affioramento è rappresentato da un'estesa area autoctona

mesozoica carbonatica e dalla sua prosecuzione in mare chiamata *dorsale pugliese* o *dorsale apula sommersa*. La parte emersa corrisponde al Gargano, alle Murge e al Salento.

In base ai numerosi dati di superficie e di profondità nell'avampaese apulo sono stati individuati i seguenti elementi stratigrafici:

un basamento cristallino precambrico;

una copertura triassica fluvio-deltizia di spessore pari ad almeno 1 Km;

una successione evaporitico-carbonatica-mesozoico-paleogenica spessa fino a 5 km;

una copertura a prevalenza carbonatica, neogenico - pleistoceniche.

Dal punto di vista strutturale la successione mesozoica è stata interessata da lievi piegamenti e da faglie dirette con un'immersione a SSW e i depositi su di essa poggiano in assetto orizzontale.

L'insieme stratigrafico-strutturale Apulo-Garganica di avampaese, ribassata verso SW dal sistema di faglie dirette, costituisce anche il substrato della Fossa bradanica e, quindi, costituisce l'unità tettonica più bassa della struttura dell'Appennino meridionale. La successione carbonatica dell'unità Apulo- Garganica è deformata.

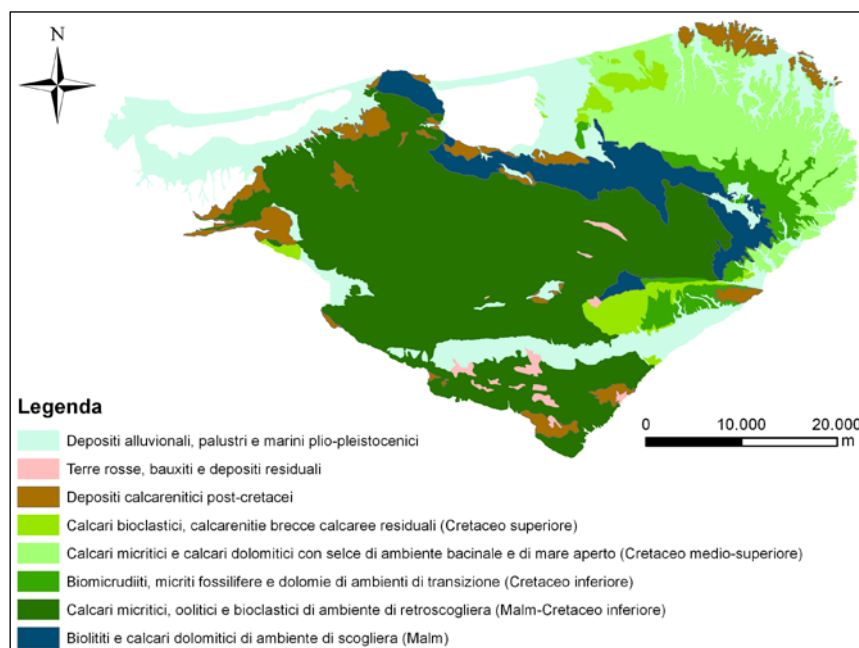
La Fossa bradanica, definita per la prima volta da Migliorini (1937), è un bacino di sedimentazione terrigena di età plio-pleistocenica ed è compresa fra la catena appenninica meridionale e l'avampaese apulo; si estende da NW a SE, dal F. Fortore al Golfo di Taranto. Nel 1975 viene introdotto il termine *avanfossa appenninica* (o *adriatica*) per indicare il bacino formatosi lungo il margine esterno della catena appenninica, esteso dalle Marche allo Ionio, e che quindi comprende anche la Fossa bradanica.

I lavori di aggiornamento della Carta Geologica d'Italia e le ricerche per idrocarburi consentono, a partire dagli anni '60, di definire i caratteri stratigrafici e strutturali della Fossa bradanica. La conoscenza dei depositi della Fossa bradanica è strettamente legata alla ricerca petrolifera che ha consentito una copiosa scoperta di idrocarburi.

La storia della Fossa bradanica termina con un generale sollevamento a partire dal Siciliano (500.000 anni fa) provocato da effetti smorzati dell'orogenesi appenninica. Ciò porta alla sedimentazioni di depositi marini terrazzati che si trovano a quote decrescenti nell'attuale costa ionica lucana.

La catena appenninica presenta una struttura a falde costituita da unità tettoniche adriatico-vergenti e nel suo settore meridionale è sovrapposta alla Fossa bradanica che, a sua volta, poggia su unità meso-cenozoiche dell'avampaese apulo. Negli ultimi trenta anni le soluzioni

proposte per spiegare la formazione della catena sono numerose, in particolare si cita la sintesi di Raimondo Selli (1962) e la monografia di Leo Ogniben (1969).



#### Lineamenti geolitologici del Gargano

In merito alla originaria posizione paleografica vengono distinte unità interne ed unità esterne. Non tutti gli autori però convergono sia sul loro numero che sulla reciproca posizione delle unità stratigrafico-strutturali rispetto al numero e alla posizione delle piattaforme carbonatiche mesozoiche.

Alla fine del Pleistocene inferiore, a seguito della progressiva diminuzione delle spinte indotte dall'apertura del Mar Tirreno, l'intero territorio registra una serie di effetti dinamici di un sollevamento dovuto ad un "rilascio elastico" crostale dei segmenti crostali. Tale fenomeno porta ad una progressiva emersione, con sollevamenti differenziati e più accentuati nell'area tirrenica, 1500 m in Calabria (Aspromonte), rispetto a quelli dell'area adriatica dove si raggiungono i 500 m (altopiano murgiano).

Nel territorio comunale di Foggia gli effetti di tale fenomeno sono molto evidenti sia nelle locali forme di rilievo (terrazzamenti marini e/o continentali) sia dai relativi depositi.

Dal punto di vista geologico la parte settentrionale della regione pugliese rientra in un contesto geodinamico che comprende i Monti della Daunia, che rappresentano la Catena appenninica, il Gargano che rappresenta l'Avampese apulo e il Tavoliere delle Puglie che costituisce

l'Avanfossa bradanica. Lo schema strutturale relativo, procedendo da ovest verso est, vede una sequenza costituita da Catena, Avanfossa e Avampaese.

– *Catena appenninica*

I terreni della Catena appenninica, che – secondo Ogniben- si intercala, nella parte occidentale, alla successione plio-pleistocenica (falda di Metaponto), costituiscono il margine sudorientale dell'avanfossa. I terreni sono molto eterogenei come litologia e vengono raggruppati sotto il generico termine "alloctono", con falde di ricoprimento a vergenza adriatica e il cui spessore cresce rapidamente verso SW. Nei Monti della Daunia è possibile distinguere unità litostratigrafiche riferibili a due distinte successioni (Dazzaro & Rapisardi, 1984; Dazzaro & al., 1988). La prima è principalmente costituita da quarzareniti (Flysch Numidico), argille-marnose e calcari marnosi (Argille Varicolori). La seconda, da facies arenacee (Flysch di S. Bartolomeo) e calcareo-marnose (Flysch di Faeto e Marne argillose di Toppo Capuana).

– *Avanfossa*

L'avanfossa appenninica è un bacino sedimentario allungato in direzione NW-SE, esteso dal Molise al Mar Ionio, attraversa tutta la regione pugliese e la parte nord-occidentale della Basilicata. Dal punto di vista strutturale essa costituisce una depressione tettonica colmata da una successione frammentata di un completo ciclo sedimentario di età plio-pleistocenica. (Ciaranfi & al., 1979).

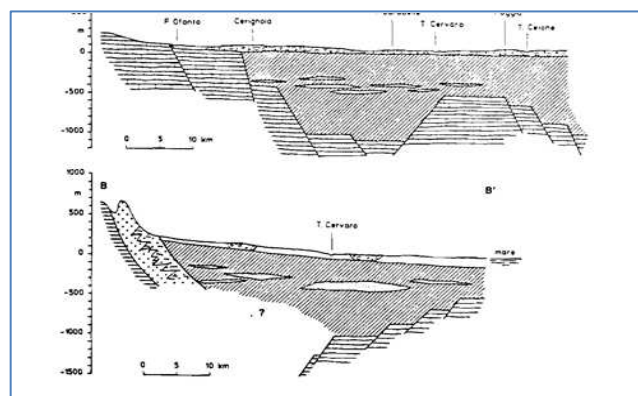
I depositi della fase di riempimento della Fossa bradanica, costituiti da alternanze sequenziali di sabbie e argille, indicate con il generico termine di "Argille grigio azzurre", affiorano principalmente lungo una larga fascia che borda i fianchi orientali dell'Appennino, lungo la bassa valle del F. Ofanto, tra Barletta e Canosa e lungo il F. Fortore. Nella parte medio-bassa della piana, le "Argille grigio-azzurre" sottostanno alla copertura alluvionale e lo spessore dell'unità si riduce in corrispondenza della fascia costiera. La serie, che assume carattere regressivo, si chiude con i terreni sabbiosi e sabbioso-conglomeratici del Pleistocene inferiore che affiorano in un'estesa zona compresa tra Ascoli Satriano e Lavello ed in una sottile fascia lungo il F. Fortore e nei pressi di Serracapriola. Lungo la fascia

settentrionale del Tavoliere (nei pressi di Poggio Imperiale, Chieuti e S. Severo) e a SE del F. Ofanto si rinvengono depositi marini terrazzati del Pleistocene medio-superiore costituiti in prevalenza da limi, sabbie limose e sabbie. Lungo il bordo occidentale del Tavoliere,

s'individuano, inoltre, i depositi terrazzati alluvionali e 10 deltizi del Pleistocene superiore che formano strutture prevalentemente allungate in direzione W-E ed interrotte dalle numerose incisioni prodotte dagli attuali corsi d'acqua. In tutta l'area, specialmente quella orientale, prendono particolare sviluppo i sedimenti della pianura alluvionale, anch'essi del Pleistocene sup.- Olocene che, a partire dalle quote di circa 170-175 m, si spingono fin nei pressi della costa conferendo un aspetto pianeggiante all'intera regione. Gli spessori, variabili, tendono ad aumentare procedendo da W verso E raggiungendo valori massimi nella zona rivierasca. Tali depositi, rappresentati da un'alternanza lenticolare di sedimenti alluvionali ghiaiosi, sabbiosi e argillosi, di facies continentale (Cotecchia, 1956), rappresentano il risultato dei numerosi episodi deposizionali che hanno interessato il Tavoliere.

In particolare nell'area del Tavoliere il plio-pleistocene è costituito da una successione di argille, argille marnose e sabbie (Balduzzi & al., 1982), chiusa da depositi alluvionali prevalentemente sabbio-ghiaiosi, delimitati da superfici piate (terrazzi). Al di sotto di tale successione, per spessori poco meno di 4000 m, è possibile rinvenire le rocce calcaree appartenenti alla Piattaforma apula.

Nell'area del Tavoliere, e nel settore lucano della Fossa bradanica, sono presenti diversi giacimenti di idrocarburi gassosi liquidi.



*Sezione schematica del tavoliere*

– *Avampaese*

Il promontorio del Gargano è costituito da una successione calcareo-dolomitica di spessore superiore a 4000 m, di età giurassico-cretacea, poggiante su rocce evaporitiche triassiche rinvenute in sondaggi profondi per la ricerca di idrocarburi (pozzi Foresta Umbra e Gargano 1).

Le rocce più antiche presenti in affioramento nel Gargano sono rappresentate da calcari e gessi

(Triassico superiore) e sono, localizzate in modestissimi lembi a Punta delle Pietre Nere.

I calcari affiorano estesamente nelle limitrofe aree del Gargano e delle Murge mentre nell'area del Tavoliere sottostanno alla spessa ed estesa copertura dei sedimenti di Avanfossa (Ricchetti *et al.*, 1988). Le calcareniti mioceniche e i depositi calcarenitici più recenti ("tufi calcarei") affiorano, invece, in lembi di limitata estensione e spessore nell'area garganica e lungo il bordo murgiano dell'area.

Il promontorio del Gargano è interessato da una intesa tettonica disgiuntiva che conferisce all'area una sensibile sismicità. I principali aspetti tettonici sono rappresentati da faglie dirette, orientate nella direzione NW-SE (appenninica), ENE-WSW (antiappenninica) e in direzione E-W (garganica). Il sistema di faglie appenninico è predominante ed è diffuso principalmente nelle zone interne del massiccio. A questo sistema appartiene la faglia che mette a contatto, mediante ripida scarpata, le rocce carbonatiche del Gargano con i depositi plio-pleistocenici del Tavoliere (faglia del Candelaro). Le faglie appartenenti al sistema antiappenninico invece sono più modeste, per entità di rigetti e per estensioni, e sono presenti soprattutto lungo il bordo settentrionale del Gargano. Appartiene a questo sistema la faglia situata a N di Sannicandro Garganico.

L'azione combinata di questi sistemi ha originato un assetto strutturale caratterizzato da horst allungato in direzione E-W e costituito trasversalmente da diversi blocchi.

### **3. GEOLOGIA LOCALE**

L'area, oggetto del presente studio, è situata a circa 7-8 km dal centro cittadino del comune di Foggia in località "Orione". La zona si presenta qui completamente pianeggiante con quote intorno 40 – 80 m s.l.m. da N a S o con profili debolmente digradanti verso sud.

Le caratteristiche morfologiche degli impluvi posti sui rilievi cambiano sensibilmente nella parte della piana alluvionale. Infatti il grado di gerarchizzazione degli impluvi aumenta e i profili delle sezioni trasversali risultano meno profondi e meno acclivi



Confluenza del Torrente Vulgano nel Torrente Salsola

La natura e le modalità di distribuzione in superficie ed in profondità dei terreni costituenti il Territorio della città, dipendono strettamente dalle condizioni geologiche e morfologiche del Tavoliere.

La faglia che corre lungo il Torrente Candelaro separa il massiccio Promontorio garganico dalle basse pianure del Tavoliere di Foggia, formando una caratteristica unità orografica, geologica, idrografica e morfologica.

Si è detto che il territorio comunale di Foggia è caratterizzato morfologicamente da una piana alluvionale la quale pende leggermente verso il golfo di Manfredonia e la cui caratteristica principale è la presenza di corsi d'acqua.

L'insediamento urbano nasce proprio per la grande disponibilità di acqua anche se con regimi differenti durante tutto l'anno.

È presente anche una diffusa rete di canali di bonifica e di regimazione delle acque che conferisce al territorio una peculiare fisionomia del territorio pianeggiante che viene interrotto dalla presenza di queste canalizzazioni.



Canale a nord dell'abitato di Foggia lungo la strada statale per S.Severo nei pressi del Torrente Salsola

Il reticolo idrografico è caratterizzato dalla presenza di vasti bacini con linee di impluvio a basso grado di gerarchizzazione e che si generano dai rilievi di origine appenninica. Le sezioni trasversali di queste incisioni sono abbastanza profonde.

Trattasi di corsi d'acqua a carattere torrentizio con portate minime per la maggior parte dei giorni dell'anno e, durante eventi piovosi alquanto cospicui, sono in grado di coinvogliare notevoli quantità d'acqua e di trasporto solido. I torrenti principali che scorrono nel territorio comunale sono: il Torrente Salsola e Vulgano, il Torrente Celone (a nord) e il Torrente Cervaro (a sud).





Torrente Salsola: si notino gli argini e le aree golenali

La generale pendenza verso oriente, su scala regionale, rappresenta l'originaria inclinazione della superficie di regressione del mare pleistocenico e dei depositi fluviali che su essa si sono adagiati. La regressione pleistocenica ha depositato letti e lenti di conglomerato poligenico a volte frammisto a piccoli banchi di argilla.

La formazione più superficiale presente è costituita da ciottolame di diversa natura e qualità a tratti ben cementato, con sabbie gialle ed alternanze di livelli ghiaiosi e sabbiosi con intercalazioni argillose, di età quaternaria, ed attribuibili a depositi alluvionali terrazzati ed in parte come accumuli deltizi. Tale formazione, su cui è fondato prevalentemente l'abitato di Foggia, poggia in discordanza sia sulle argille grigio azzurre e giallo ocracee, a luoghi più o meno sabbiose (Calabriano) sia sulle argille grigie, sabbie argillose giallo grigiastre e sabbie gialle in alternanza più o meno regolare (Pliocene). I termini sopra descritti poggiano in discordanza sui calcari cretacei di base ad una profondità di circa 400 - 500 mt. L'area in studio è stabile ed è attraversata da corsi d'acqua.

L'insieme delle formazioni carbonatiche mesozoiche del Gargano e del substrato prepliocenico del Tavoliere costituiscono un vasto serbatoio idrico sotterraneo, caratterizzato da una permeabilità secondaria dovuta a fessurazione e carsismo.

La circolazione idrica all'interno del substrato prepliocenico dell'avanfossa appenninica è testimoniata dalla presenza di numerosi pozzi per acqua, che si attestano nei calcari mesozoici, situati nella zona del Tavoliere ai piedi del promontorio garganico.

Dati derivanti dalla ricerca petrolifera, inoltre, indicano che calcari porosi e permeabili sono presenti anche più a W, a maggiori profondità, in tutto il substrato pre-pliocenico. Le caratteristiche della circolazione idrica in questo settore dell'acquifero, tuttavia, non sono ben definite; diversi autori ipotizzano, almeno per quanto riguarda l'area pedegarganica, l'esistenza di un flusso idrico da W a E, cioè verso il Gargano (Cotecchia & Magri, 1966; Maggiore & Mongelli, 1991; Grassi & Tadolini, 1991).

La situazione stratigrafica e strutturale del Tavoliere porta a riconoscere tre unità acquifere principali (Maggiore et al., 1996).

### ACQUIFERO FESSURATO CARSICO PROFONDO

Situato in corrispondenza del substrato carbonatico prepliocenico del Tavoliere, esso costituisce l'unità acquifera più profonda. Le masse carbonatiche sepolte ospitano un esteso corpo idrico, localizzato a diverse profondità e collegato lateralmente alle falde idriche del Gargano e delle Murge. L'interesse per questo acquifero è, tuttavia, limitato alle zone dove il substrato si trova a profondità inferiori a qualche centinaio di metri, vale a dire in prossimità della fascia pedegarganica del Tavoliere e lungo il bordo ofantino delle Murge. La circolazione idrica sotterranea è fortemente condizionata dai caratteri strutturali ed in particolare dalla presenza delle numerose faglie che determinano direttrici di flusso preferenziali, nonché dalle caratteristiche idrauliche dell'acquifero che variano da zona a zona in funzione dello stato di fratturazione e carsismo della roccia. Lungo la fascia pedegarganica, diversi Autori (Cotecchia & Magri, 1996; Mongelli & Ricchetti, 1970; Maggiore & Mongelli, 1991; Grassi & Tadolini, 1992) hanno riscontrato per le acque sotterranee valori piuttosto elevati delle temperature spiegabili attraverso un fenomeno di mixing tra acque connate profonde e acque di falda di origine meteorica.

### ACQUIFERO POROSO PROFONDO

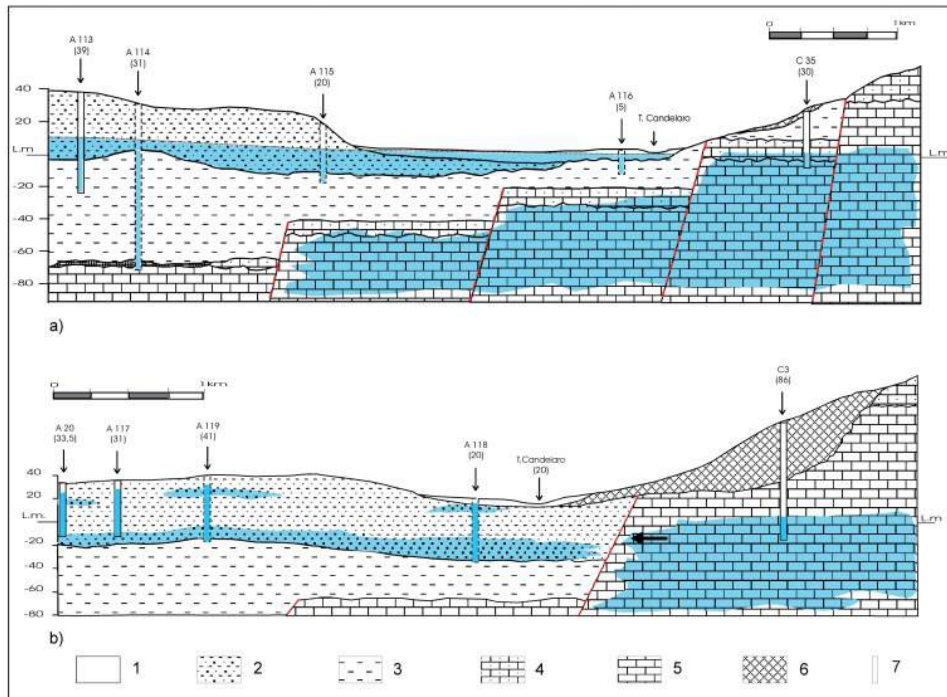
È costituito dai diversi livelli sabbiosi intercalati nella formazione pliopleistocenica delle "Argille grigio-azzurre". I livelli acquiferi sono costituiti da corpi discontinui di forma lenticolare, localizzati a profondità variabili tra i 150 m e i 3000 m dal piano campagna, il cui spessore non supera le poche decine di metri. Nelle lenti più profonde, si rinvencono acque connate, associate a idrocarburi,

che si caratterizzano per i valori piuttosto elevati della temperatura (22-26°C) e per la ricorrente presenza di H<sub>2</sub>S (Cotecchia et al., 1995; Maggiore et al., 1996). La falda è ovunque in pressione e presenta quasi sempre caratteri di artesianità. La produttività dei livelli idrici, pur essendo variabile da luogo a luogo, risulta sempre molto bassa con portate di pochi litri al secondo.

## ACQUIFERO POROSO SUPERFICIALE

Corrisponde agli interstrati sabbioso-ghiaiosi dei depositi marini e continentali di età Pleistocene superiore-Olocene che ricoprono con notevole continuità laterale le sottostanti argille. Più dettagliatamente, le stratigrafie dei numerosi pozzi per acqua realizzati in zona, evidenziano l'esistenza di una successione di terreni sabbioso-ghiaioso-ciottolosi, permeabili ed acquiferi, intercalati da livelli limo-argillosi a minore permeabilità. Questi, tuttavia, non costituiscono orizzonti separati ma idraulicamente interconnessi e danno luogo ad un unico sistema acquifero. In linea generale, si può affermare che i sedimenti più permeabili prevalgono nella zona di monte mentre, procedendo verso la costa, si fanno più frequenti ed aumentano di spessore le intercalazioni limoso-sabbiose che svolgono il ruolo di acquitardo. Essendo le modalità di deflusso della falda fortemente influenzate da tali caratteristiche, risulta che l'acqua circola in condizioni freatiche nella fascia pedemontana ed in pressione nella zona medio-bassa, assumendo localmente il carattere di artesianità (Cotecchia, 1956). Nell'alimentazione della falda superficiale, un contributo importante, oltre che dalle precipitazioni, proviene dai corsi d'acqua che solcano il Tavoliere (Colacicco, 1953; Cotecchia, 1956; Maggiore et al., 1996, De Girolamo et al., 2002). Per quanto riguarda la produttività dell'acquifero poroso superficiale, si è ormai ben lontani dalla condizione di acque freatiche segnalata da Colacicco (1951) con portate emungibili dell'ordine di 40-50 l/s. Attualmente, infatti, le portate di emungimento sono spesso così esigue (1-3 l/s) da rendere necessario l'utilizzo di vasche di accumulo. Lo stato attuale della falda risulta, pertanto, di gran lunga differente rispetto a cinquanta anni fa. L'introduzione in Capitanata di colture fortemente idroesigenti, intensificatasi agli inizi degli anni settanta, ha portato alla perforazione di un gran numero di pozzi (circa 3000 nel solo territorio comunale di Cerignola) che attingono alla falda idrica sotterranea. I volumi di acqua erogati per mezzo di fonti superficiali (invasi di Occhito, Marana-Capaciotti ed Osemo) dal Consorzio per la bonifica della Capitanata, sono infatti insufficienti a soddisfare il fabbisogno irriguo (De Girolamo et al., 2002). Il massiccio attingimento ha comportato un progressivo esaurimento della falda ed innescato, contestualmente, un processo di degrado qualitativo per le

acque sotterranee.



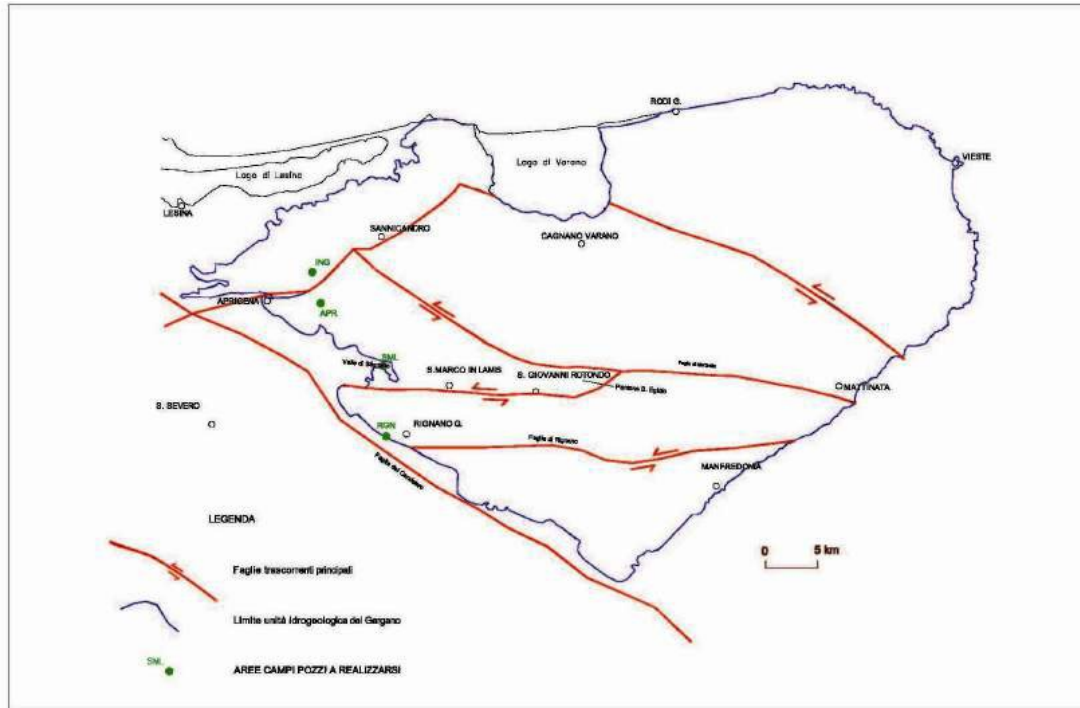
Sezioni idrogeologiche: (a) H-H'; (b) I-I'. Legenda: 1) depositi d'alveo (Olocene); 2) depositi della pianura alluvionale (Olocene-Pleistocene sup.); 3) argille grigio-azzurre con intercalazioni sabbiose (Pleistocene inf.-Pliocene sup.); 4) calcarenite (Pliocene sup.-Miocene); 5) calcari della piattaforma carbonatica apula (Cretaceo); 6) conoidi detritiche (Olocene-Pleistocene sup.); 7) pozzo (in tratteggio, se proiettato).

#### 4. INQUADRAMENTO SISMICO

Il Gargano assume nel complesso la struttura di un Horst nettamente delimitato su tre lati (a SO, a N ed a S) da faglie dirette e intersecato da una rete di faglie, sempre distensive a prevalente direzioni appenninica e tirrenica, che lo suddividono in numerosi Horst e Graben secondari. I terreni giurassici, affioranti lungo un fascia allungata da NO a SE, costituiscono il nucleo dell'Horst garganico e nello stesso tempo anche il nucleo di una piega anticlinale con asse che corre lungo la stessa fascia; infatti i terreni del Gargano nord-orientale immergono mediamente verso NE e quelli del Gargano sud-occidentale verso SO (Cotecchia & Magri, 1966).

I numerosi sistemi di dislocazione, alcuni dei quali sono rappresentati da faglie trascorrenti sinistre, sono visibili in figura.

Le principali lineazioni tettoniche, a prevalente componente trascorrente e a geometria subverticale, sono le faglie di Mattinata e di Rignano, a direzione E-W, e la faglia del Candelaro, a direzione WNW-ESE.



Principali lineamenti di tettonica del Gargano (da Degiovanni A.,2004)

Il carattere primariamente trascorrente di tali faglie, com'è deducibile dalla suborizzontalità delle strie di movimento, e la loro geometria relativamente indisturbata, indicano che gran parte del processo che ha generato l'alto strutturale garganico sia precedente allo sviluppo delle stesse faglie, originatesi in regime transgressivo.

La zona garganica è da considerarsi a rischio sismico; la più alta attività sismica si verifica in corrispondenza delle due fasce tettoniche sub-parallele orientate E-W, che percorrono l'intero promontorio e che definiscono le aree sismo-genetiche settentrionale e meridionale.

È ben noto che i carbonati mesozoico-terziari che formano il substrato rigido dell'area Basso Molise Gargano sono interessati da sistemi di faglie prevalentemente orientate W-E, WNW- ESE e NW-SE, alcune delle quali mostrano segni evidenti di attività nel corso del Pleistocene.

Considerando l'O. P. C. M. 3274/03, si evince che il territorio di Foggia è classificato come *zona sismica 2*.



In previsione della realizzazione di opere si consiglia, ai sensi delle NTC 2018, l'esecuzione di indagini in sito finalizzate alla determinazione della categoria di suolo. Tutti i dati sulle indagini geognostiche sia puntuali che lineari sono stati forniti dall'Ufficio Tecnico del Comune di Foggia. Le indagini puntuali per l'area oggetto di studio sono le seguenti: sondaggi a carotaggio continuo con prelievo di campioni; pozzi realizzati a scopo idrico. Per quanto concerne le indagini lineari invece, sono state reperite prospezioni geofisiche del tipo sismica a rifrazione, indagini MASW e Sondaggi Elettrici Verticali. Dette indagini, sia puntuali che lineari, si concentrano principalmente nelle zone periferiche dell'abitato del nucleo storico della città, mentre risultano avere frequenze minori nella zona centro-meridionale. La prima è costituita da sabbie giallastre a granulometria da fine a grossolana cui si intercalano livelli argillosi e siltosi di spessore centimetrico la cui frequenza è maggiore nella parte alta e rari livelli arenacei e/o calcarenitici di spessore decimetrico. Risultano avere un moderato grado di addensamento e con valori di  $V_s$  compresi tra 600 e 650 m/s.

Per quanto concerne l'unità argilloso-siltosa invece, è possibile constatare che è costituita da argille e silt sabbiosi di colore generalmente scuro cui si intercalano livelli di spessore decimetrico di

sabbie a granulometria da media a grossolana. I valori delle  $V_{s,eq}$  riscontrate nelle indagini sono compresi tra 100 e 300 m/s.

## **5. ELEMENTI DI GEOTECNICA**

Informazioni di tipo geotecnico relative ai parametri meccanici del sottosuolo, sono state dedotte a partire da indagini sismiche.

Per quanto riguarda la velocità delle onde S infine, è possibile far riferimento a quanto detto nel paragrafo relativo alla descrizione delle varie unità costituenti i depositi di substrato e di copertura. Le attività di indagine condotte dal geologo Alessandro Reina hanno riguardato diverse modalità di acquisizione dei dati che si sono esplicitate nelle seguenti azioni:

- la consultazione della letteratura e cartografia geologica specialistica;
- il rilevamento geologico di superficie;
- la raccolta delle indagini geognostiche;

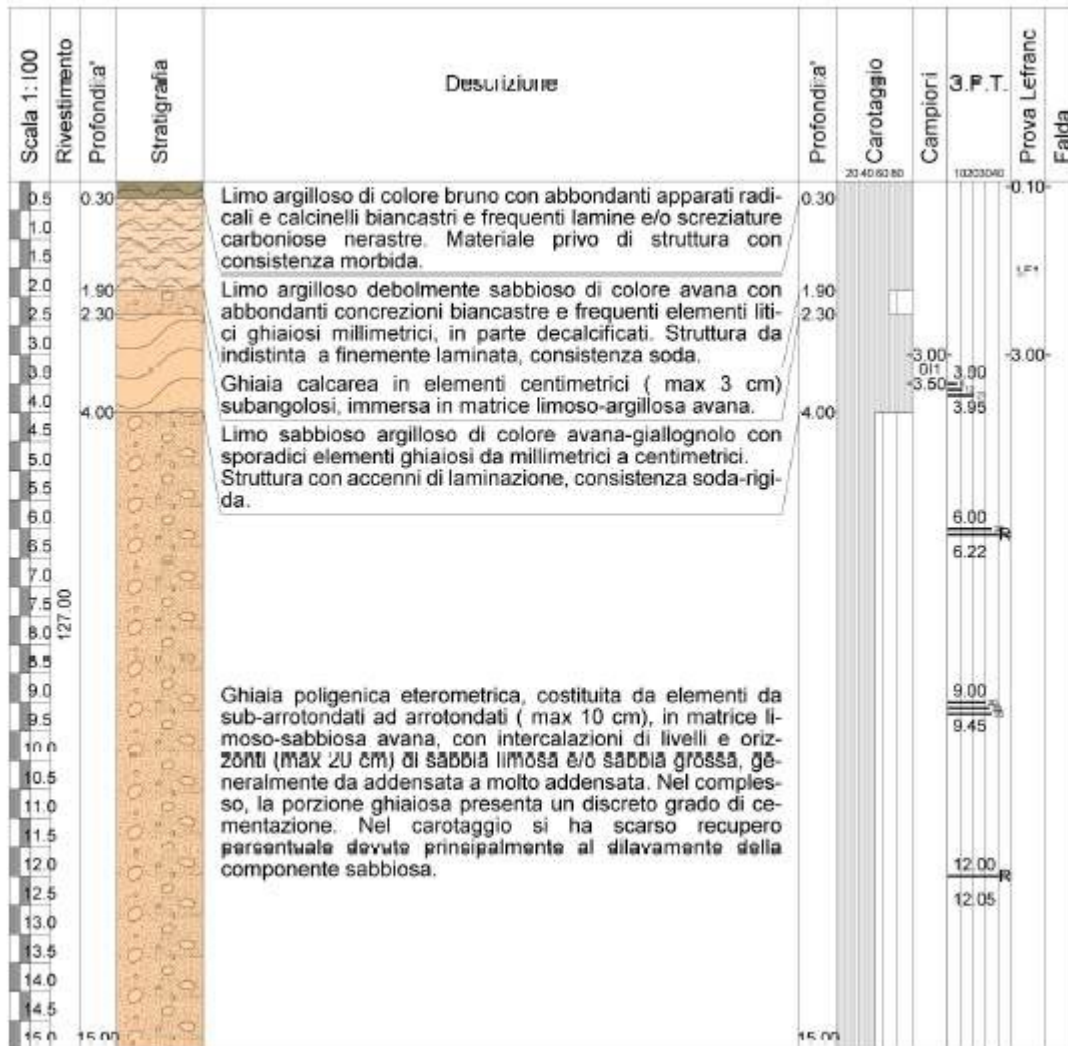
In particolare sono state analizzate e selezionate quelle indagini geognostiche pregresse relative al territorio comunale, sia puntuali che lineari, che si riferiscono all'area del centro abitato e nelle zone periferiche della città (aree industriali e località residenziali). Le indagini utilizzate sono sia di tipo diretto (perforazioni di sondaggio) che di tipo indiretto: nello specifico per quelle di tipo diretto si sono riportate le stratigrafie di sondaggi a carotaggio continuo e per quelle di tipo indiretto si tratta di indagini geofisiche per la valutazione del  $V_{seq}$  ai fini della determinazione della Categoria di suolo (NTC 2018).

L'andamento del substrato calcareo, nell'area del territorio comunale di Foggia, non è perfettamente identificabile ma si trova certamente al di sotto della coltre sedimentaria Plio- Pleistocenica anche a profondità superiori ai 200m dal piano campagna.

Per meglio definire il modello geologico dell'area comunale di Foggia si è effettuata una ricerca fra gli studi geologici nell'ambito di opere pubbliche e private ricadenti sul territorio depositate presso gli uffici tecnici del comune.

L'assetto stratigrafico di dettaglio del territorio di Foggia sarà definito mediante stratigrafie di riferimento relative a differenti aree del Comune; tali stratigrafie schematiche sono riportate qui di

seguito.



### Modello Geologico

In questa fase preliminare di studio, sulla base delle informazioni acquisite nel corso dei rilievi e dei sopralluoghi, correlando i dati stratigrafici rilevati lungo tagli stradali, in cave abbandonate e in corrispondenza delle ripe di erosione fluviale dei diversi corsi d'acqua, con le stratigrafie dei carotaggi eseguiti nel centro urbano e le indagini geofisiche sparse in varie zone del territorio comunale, è stato possibile ricostruire il modello geologico che caratterizza il sottosuolo dell'area in esame. Inoltre, sulla base delle indagini Masw e REMI disponibili è stato, inoltre, eseguito l'adeguamento alle NTC 2018 andando a calcolare il V<sub>Sequ</sub> ed individuando il bedrock sismico.



### *Modello geotecnico Calcareniti grossolane e fini*

Le Calcareniti si distribuiscono su vaste aree e affiorano prevalentemente in prossimità della costa, o costituiscono i terrazzi alluvionali e marini. Si tratta di una roccia tenera, sedimentaria, organogena, a granulometria grossolana, di colore giallognolo o biancastro.

Tale formazione presenta caratteristiche meccaniche inferiori rispetto al calcare soprattutto per quanto riguarda la resistenza a compressione monoassiale; le rocce lapidee tenere possono assumere valori di resistenza a compressione monoassiale compresi tra 25 Mpa e 2 Mpa.

Le Calcareniti risultano particolarmente suscettibili alla presenza di acqua anche se, diversamente dalle rocce sciolte, sono caratterizzate da una certa coesione che non perdono quando sono immerse in acqua per la presenza di legami diagenetici. In acqua, però, possono subire una variazione massima di resistenza a compressione pari a circa il 40%.

In particolare presentano una permeabilità per porosità e in subordine per fessurazione. I valori della porosità possono variare tra percentuali che vanno dal 20 % al 50%.

Dal punto di vista dell'ammasso roccioso, le Calcareniti sono interessate da discontinuità rappresentate da fratture piuttosto rade. È da considerare che nelle Calcareniti rientrano materiali assai vari per genesi, caratteri strutturali e proprietà.

La Calcarenite è di facile escavazione e presenta buone capacità auto-portanti in condizioni di bassa alterazione.

### *Sabbie, limi e argille*

Si tratta di terreni sabbiosi e sabbioso-limosi di recente formazione affioranti prevalentemente lungo le aree costiere con spessori medi di circa 2-3 m e max di 15m.

Presentano scadenti caratteristiche geotecniche, sono variamente permeabili ma di facile escavazione. Necessitano sempre si opere di sostegno in prossimità di fronti di scavo.

L'esistenza di falde idriche, libere o in pressione, in terreni porosi sciolti è determinata dal diverso disporsi di strati permeabili acquiferi (costituiti (la sabbie e ghiaie ad esempio) e di strati poco permeabili, detti acquitardi, costituiti da terreni a granulometria più fine (limi, argille).

I cedimenti del suolo in tali tipi di terreni sono legati ai fenomeni che possono instaurarsi, nell'acquifero e negli strati acquitardi adiacenti, a seguito della diminuzione dell'altezza piezometrica (e quindi della pressione neutra) e al corrispondente incremento della pressione intergranulare che

agisce sullo scheletro solido del terreno.

La meccanica del fenomeno è ben nota, almeno nelle usuali schematizzazioni di calcolo, e si richiama alla teoria della consolidazione monodimensionale (edometrica).

Il processo consiste in un graduale trasferimento del carico totale dall'acqua alla fase solida, che causa il riassetamento dei granuli del terreno con riduzione della porosità e del volume complessivo del terreno stesso.

Le deformazioni orizzontali dovute a tale fenomeno sono praticamente trascurabili e la diminuzione di volume dello strato sottoposto a consolidazione si traduce essenzialmente in una componente verticale di cedimento

Pertanto, quando gli spessori di questi depositi superficiali risultano con valori entro i tre metri, è opportuno provvedere ad una azione di rimozione di questi depositi sino al raggiungimento degli strati di calcareniti o calcari sottostanti.

L'analisi dei risultati del rilevamento geologico e delle indagini geognostiche sia di tipo diretto che indiretto fornite dall'Ufficio Tecnico comunale ha portato alla stesura del seguente sintetico modello geologico-tecnico delle unità litologiche presenti in questo territorio.

Al di sopra di un substrato geologico costituito da strati di calcari e calcari dolomitici mesozoici che si presentano fratturati e carsificati, si osservano depositi di unità plio pleistoceniche costituite da terreni sciolti argilloso sabbiose e calcarenitiche. Gli spessori della copertura plio- pleistocenica aumentano considerevolmente procedendo verso sud.

In particolare per i depositi di copertura in base ai dati a disposizione è stato possibile sintetizzare i seguenti valori dei parametri geotecnici.

L'unità argilloso-sabbiosa presente in affioramento è caratterizzata dai seguenti parametri geotecnici:

- peso di volume naturale ( $\gamma$ ) che varia tra 1,6 e 1,9 t/m<sup>3</sup>;
- coesione compresa tra 0,1 e 0,2 kg/cm<sup>2</sup>;
- angolo di attrito interno con valori compresi tra 22° e 26°;

L'unità sabbiosa invece, è caratterizzata dai seguenti parametri geotecnici:

- peso di volume naturale ( $\gamma$ ) che varia tra 1,9 e 2,1 t/m<sup>3</sup>;
- coesione compresa tra 0,01 e 0,4 kg/cm<sup>2</sup>;
- angolo di attrito interno con valori compresi tra 22° e 28°;

L'unità calcarenica infine, è caratterizzata dai seguenti parametri geotecnici:

- peso di volume naturale ( $\gamma$ ) che varia tra 1,9 e 2,0 t/m<sup>3</sup>;
- angolo di attrito interno con valori compresi tra 32° e 38°.

#### Modello sismico

Le condizioni del sito di riferimento rigido non corrispondono, in generale, alle condizioni reali. È necessario, pertanto, tenere conto delle condizioni stratigrafiche del volume di terreno interessato dall'opera ed anche delle condizioni topografiche, poiché entrambi questi fattori concorrono a modificare l'azione sismica in superficie rispetto a quella attesa su un sito rigido con superficie orizzontale. Tali modifiche, in ampiezza, durata e contenuto in frequenza, sono il risultato della risposta sismica locale.

Si denomina "risposta sismica locale" l'azione sismica che emerge in "superficie" a seguito delle modifiche in ampiezza, durata e contenuto in frequenza subite trasmettendosi dal substrato rigido. Per individuare in modo univoco la risposta sismica si assume come "superficie" il "piano di riferimento" così come definito, per le diverse tipologie strutturali, al par. 3.2.2 delle NTC. Le modifiche sopra citate corrispondono a: effetti stratigrafici, legati alla successione stratigrafica, alle proprietà meccaniche dei terreni, alla geometria del contatto tra il substrato rigido e i terreni sovrastanti ed alla geometria dei contatti tra gli strati di terreno; effetti topografici, legati alla configurazione topografica del piano campagna. La modifica delle caratteristiche del moto sismico per effetto della geometria superficiale del terreno è dovuta alla focalizzazione delle onde sismiche in prossimità della cresta dei rilievi a seguito dei fenomeni di riflessione delle onde sismiche e all'interazione tra il campo d'onda incidente

e quello diffratto. I fenomeni di amplificazione cresta/base aumentano in proporzione al rapporto tra l'altezza del rilievo e la sua larghezza.

Gli effetti della risposta sismica locale possono essere valutati con metodi semplificati oppure eseguendo specifiche analisi. I metodi semplificati possono essere adoperati solo se l'azione sismica in superficie è descritta dall'accelerazione massima o dallo spettro elastico di risposta; non possono cioè essere adoperati se l'azione sismica in superficie è descritta mediante storie temporali del moto del terreno. Nei metodi semplificati è possibile valutare gli effetti stratigrafici e topografici. In tali metodi si attribuisce il sito ad una delle categorie di sottosuolo definite nella Tabella 3.2.II delle NTC (A, B, C, D, E) e ad una delle categorie topografiche definite nella Tabella 3.2.IV delle NTC (T1, T2, T3, T4). In questo caso, la valutazione della risposta sismica locale consiste nella modifica dello spettro di risposta in accelerazione del moto sismico di riferimento, relativo all'affioramento della formazione rocciosa (categoria di sottosuolo A) su superficie orizzontale (categoria topografica T1).

L'identificazione della categoria del sottosuolo è basata sulla descrizione stratigrafica e sui valori della velocità di propagazione delle onde di taglio  $V_s$ . Ai fini della valutazione semplificata della risposta sismica locale, nell'attuale versione delle NTC, non è più consentita la classificazione del sottosuolo sulla base del parametro NSPT30 per i terreni a grana grossa e Cu30 per i terreni a grana fine. Le attuali norme tecniche richiedono, quindi, che la categoria di sottosuolo sia stabilita sulla base del profilo  $V_s$ . La misura diretta di  $V_s$  attraverso specifiche indagini geofisiche è in ogni caso preferibile, essendo consentita, in alternativa, la definizione del profilo  $V_s$  attraverso il ricorso a correlazioni empiriche "di comprovata affidabilità" solo per il metodo semplificato ed in ipotesi residuali, stante la maggiore incertezza che caratterizza la determinazione di  $V_s$  con le citate correlazioni empiriche. In caso di utilizzo di correlazioni empiriche è comunque raccomandabile non limitarsi all'uso di un singolo modello empirico, al fine di consentire una stima dell'incertezza legata al carattere regionale di tali correlazioni e alla conseguente elevata dispersione dei relativi dati sperimentali. Fatta salva la necessità di estendere le indagini geotecniche nel volume significativo di terreno interagente con l'opera, la classificazione si effettua in base ai valori della velocità equivalente  $V_{s,eq}$  definita mediante la media armonica delle NTC.

La velocità equivalente è ottenuta imponendo l'equivalenza tra i tempi di arrivo delle onde di taglio in un terreno omogeneo equivalente, di spessore pari ad H dove H è la profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido caratterizzato da valori di  $V_s$  non inferiori ad 800 m/s. Per depositi con profondità H del

substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio  $V_{s,eq}$  è definita dal parametro  $V_{s,30}$  ottenuto ponendo  $H = 30$  m nell'equazione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità. Derivando da una media armonica, la velocità equivalente assume valori differenti da quelli ottenuti dalla media aritmetica delle velocità dei singoli strati pesata sui relativi spessori, soprattutto in presenza di strati molto deformabili di limitato spessore. Lo scopo della definizione adottata è quello di privilegiare il contributo degli strati più deformabili. Per terreni nei quali la profondità del substrato è maggiore di 30 m ( $H \geq 30$  m), la  $V_{s,eq}$  così come definita dall'equazione coincide di fatto con la  $V_{s,30}$  della precedente versione delle NTC. L'introduzione della  $V_{s,eq}$  unita alla modifica nella definizione delle categorie di sottosuolo si è resa necessaria al fine di includere nell'attuale testo normativo le configurazioni stratigrafiche che rimanevano escluse nelle NTC08 (ad esempio profili di tipo B con profondità del substrato inferiore a 30 m). Infine nelle attuali NTC sono state eliminate le categorie speciali di sottosuolo (Classi S1 ed S2 presenti nelle NTC08). Per tutte quelle configurazioni litostratigrafiche non riconducibili alla classificazione riportata in Tab. 3.2.II (ad esempio terreni instabili o suscettibili di liquefazione, per determinati sistemi geotecnici o se si intende aumentare il grado di accuratezza nella previsione dei fenomeni di amplificazione), le azioni sismiche da considerare nella progettazione possono essere determinate mediante specifiche analisi di risposta sismica locale, meglio descritte nel C.7.11.3.1 della Circolare esplicativa del CSLP.

Queste analisi presuppongono un'adeguata conoscenza delle proprietà meccaniche dei terreni in condizioni cicliche e dinamiche, determinate mediante specifiche indagini e prove geotecniche.

La risposta sismica locale e, comunque, la modellazione sismica in generale comprendono, ove necessario in relazione alla natura ed alla dimensione dell'opera, un propedeutico studio geomorfologico, stratigrafico e tettonico, nonché una individuazione delle categorie di sottosuolo a cui afferiscono le opere in progetto.

Il territorio comunale di Foggia, è stato classificato in 2a categoria sismica nei decreti emessi fino al 1984. Successivamente è stata inserita in categoria III secondo la proposta del GdL del 1998 ed, infine, classificata in Zona 2 in base alla classificazione sismica del territorio nazionale italiano derivante dall'applicazione dell' Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 Marzo 2003, 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", pubblicata sulla G.U. n.105 del 08/05/2003, e successive modifiche e

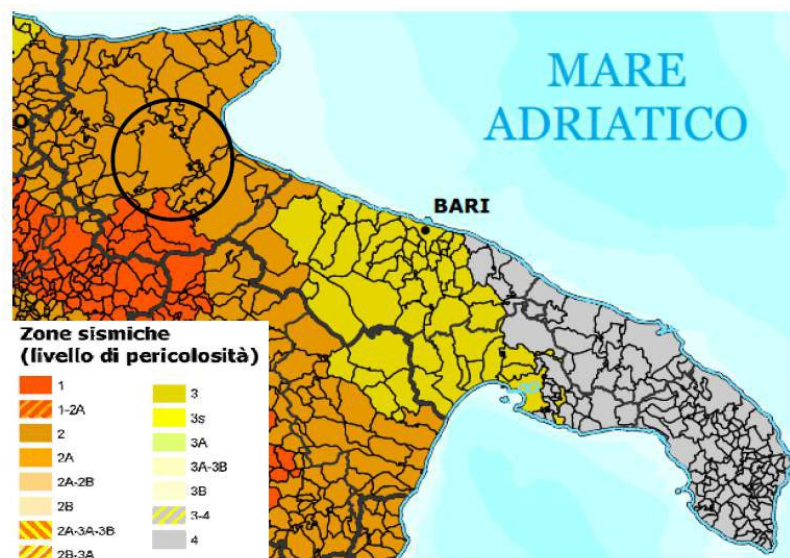
integrazioni.

Le Norme Tecniche per le Costruzioni superano il concetto della classificazione del territorio in zone, imponendo nuovi e precisi criteri di verifica dell'azione sismica nella progettazione delle nuove opere ed in quelle esistenti, valutata mediante una analisi della risposta sismica locale. In assenza di queste analisi, la stima preliminare dell'azione sismica può essere effettuata sulla scorta delle "categorie di sottosuolo" e della definizione di una "pericolosità di base" fondata su un reticolo di punti di riferimento, costruito per l'intero territorio nazionale. Ai punti del reticolo sono attribuiti, per nove differenti periodi di ritorno del terremoto atteso, i valori di  $a_g$  e dei principali "parametri spettrali" riferiti all'accelerazione orizzontale, da utilizzare per il calcolo dell'azione sismica (fattore di amplificazione massima  $F_0$  e periodo di inizio del tratto a velocità costante  $T^*C$ ).

Dalla mappa della pericolosità sismica risulta che il territorio comunale è caratterizzato da accelerazioni attese al piano campagna in condizioni di campo libero sono risultate comprese tra 0.125 e 0.150g.

I nuovi criteri di caratterizzazione sismica locale (NTC 2018) implicano la necessità di caratterizzare il sito in funzione degli spettri di risposta sismica delle componenti orizzontali e verticali del suolo. Gli spettri di risposta sismica vanno stimati in relazione ai differenti Stati Limite a cui un manufatto è potenzialmente sottoposto ("SLO" (Stato Limite Operativo); "SLD" (Stato Limite di Danno); SLV" (Stato Limite di Salvaguardia della Vita); "SLC" (Stato Limite di Collasso).

Tale stima va effettuata per ogni progetto di intervento ed è possibile ottenerlo mediante il software "Spettri" fornito dal sito del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici ([www.cslp.it](http://www.cslp.it)) inserendo le coordinate geografiche del sito. Si considera, inoltre, nei calcoli: la categoria topografica, ai sensi delle Tabb. 3.2.III e 3.2.V del DM/18 (parametro ricavato dalla morfologia del sito ed un coefficiente di amplificazione stratigrafica  $SS$  funzione della categoria di sottosuolo, e dei parametri  $F_0$  ed  $a_g$ ).



In base alle valutazioni sopra espresse, la probabilità di occorrenza del fenomeno di liquefazione è molto bassa e l'ambiente fisico entro cui ricadono le aree del territorio comunale non risulta vulnerabile alla liquefazione.

#### *Categoria di suolo*

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, l'effetto della risposta sismica locale (RSL) si valuta mediante specifiche analisi da eseguirsi con le modalità indicate nel Capitolo 7.11.3 delle NTC del DM 17 Gennaio 2018. In alternativa, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nel citato D.M. del 2018 (Tab.3.2.II), 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. Pertanto, la recente normativa in materia di costruzione NTC 2018 ha introdotto il calcolo di un nuovo parametro, il  $V_{s,eq}$  in sostituzione del  $V_{s30}$ , ottenuto attraverso la seguente formula:

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

$h_i$  = Spessore in metri dello strato  $i$ -esimo

$V_{s,i}$  = 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/sec

In tale formula appare evidente come il calcolo delle velocità sismiche di taglio non si riferisce più necessariamente alla profondità di 30 m, ma alla reale profondità del bedrock, ovvero, alla profondità di quella formazione rocciosa o terreno molto rigido, caratterizzato da  $V_s$  non inferiore a 800m/s, pertanto la profondità del bedrock varia di volta in volta.

Basandosi sulle indagini sismiche eseguite nelle varie zone di Foggia è stato ricalcolato il valore del  $V_{s,eq}$ . Lo stesso criterio è stato applicato a tutte le indagini Masw e REMI.

Avendo a disposizione dati derivanti dalle indagini Masw e indagini REMI effettuate in varie aree nel territorio di Foggia è stato determinato il  $V_{s,eq}$ , andando ad adeguare le indagini geofisiche pregresse, che invece riportano il VS30 ai sensi della precedente normativa. Per depositi con profondità  $H$  del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio  $V_{s,eq}$  è definita dal parametro VS<sub>30</sub>, ottenuto ponendo  $H=30$  m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

I risultati delle determinazioni effettuate vengono esplicitati nella Carta di Microzonazione sismica di I livello, in cui si evidenziano l'ubicazione del parco eolico "Orione" e le corrispondenti categorie di suolo del Comune di Foggia e riepilogati nella tabella seguente (dove sono indicati due valori è perché nello stesso sito sono state effettuate più indagini geofisiche).



**LEGENDA**

Carta della Microzonazione sismica di I livello

- Area a potenziale riconoscimento di categoria di suolo C
- Area a potenziale riconoscimento di categoria di suolo B
- confine comunale FG



Tabella riepilogativa

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

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi 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.</i>
B	<i>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 con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.</i>
C	<i>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.</i>
D	<i>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 e 180 m/s.</i>
E	<i>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.</i>

Con l'applicazione delle NTC 2018, dai dati ottenuti con le indagini speditive effettuate, è emerso che suolo di categoria "B" ha valori di  $V_{s,eq}$  compresi tra 360m/s e 800m/s ed è costituito da rocce tenere e litologie a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti. Il suolo do categoria "C" ha valori di  $V_{seq}$  compresi tra 180m/s e 360m/s. Le indagini reperite comunque, sono risultate adeguate per la comprensione dei rapporti delle varie unità geolitologiche presenti, ma si rimanda la comprensione di dettaglio dei rapporti geologici di alcune zone dell'abitato al successivo livello di approfondimento, in quanto i dati pregressi

reperiti non sono stati sufficienti ad una dettagliata ricostruzione del modello geologico. Dette aree saranno descritte nei successivi paragrafi.

Le unità geolitologiche che costituiscono il substrato dell'area a partire dalla più antica sono le seguenti: calcarenitica e argillosa-sabbiosa.

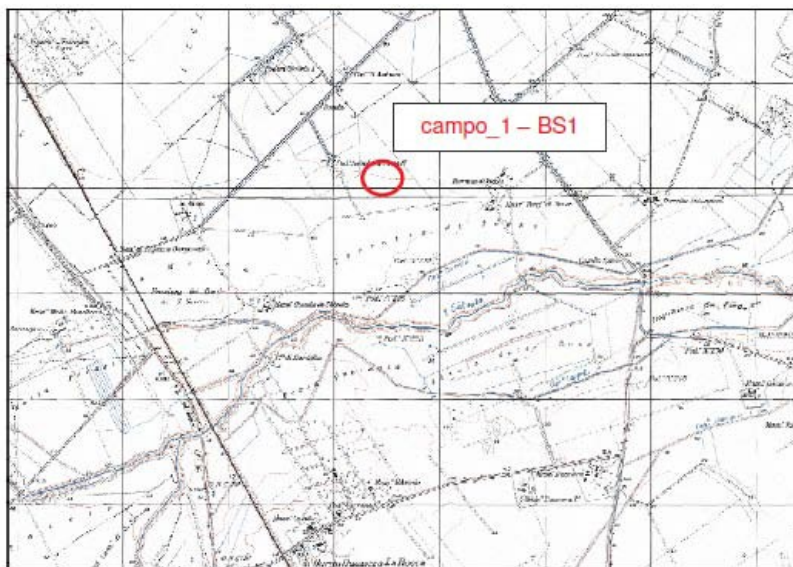
L'unità calcarenitica è costituita da calcareniti e calciruditi giallastre e grigiastre tenaci e di norma massicce o stratificate in grossi banchi di spessore generalmente superiore al metro. Lo spessore complessivo dell'unità varia in base alle zone di affioramento fino a raggiungere un massimo di circa 40 metri

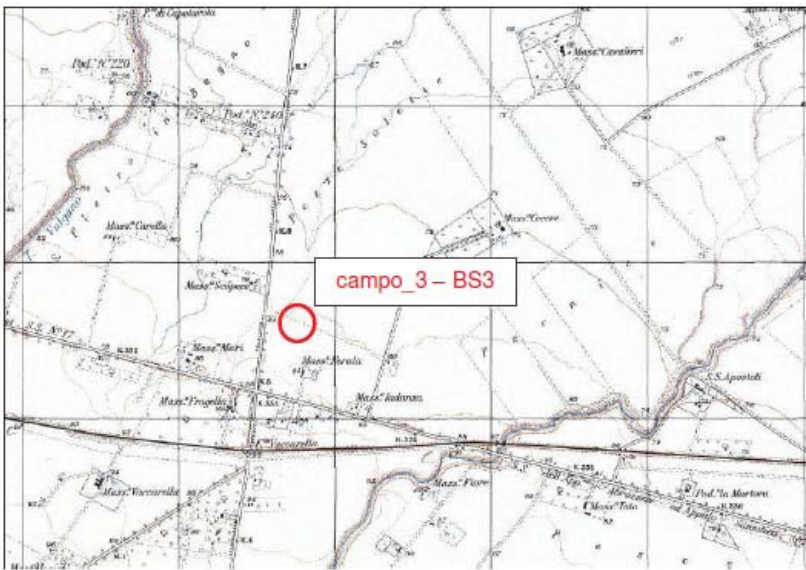
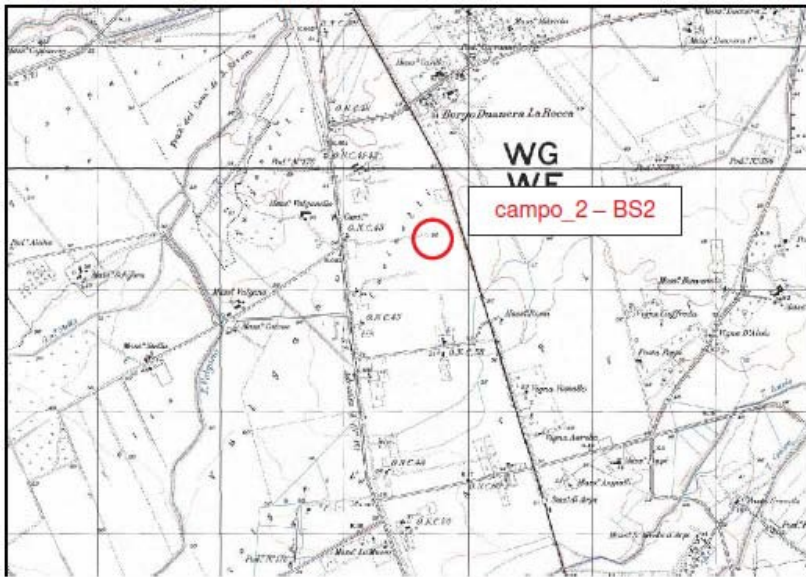
I depositi di copertura presenti nel territorio comunale di Foggia sono riferibili a due unità litologiche:

l'unità sabbiosa di età Pleistocene medio-superiore e dall'unità argilloso-sabbiosa di età riferibile al Pleistocene superiore-Olocene.

Si riportano le indagini sismiche effettuate con la precedente NTC (2008) – VS30 – riferite alla realizzazione del parco eolico costituito da 63 aereogeneratori che in questa circostanza viene aggiornato a 10 aereogeneratori.

Le aree oggetto dell'intervento sono ubicate in località "Orione", agro del comune di Foggia, a varie quote: il *campo 1* ad una quota di 45m, il *campo 2* ad una quota di circa 55 e il *campo 3* ad una quota di circa 80m sul livello del mare (*fig.4*).







**STRALCIO DEL F. 164 "FOGGIA" DELLA CARTA GEOLOGICA  
D'ITALIA CON UBICAZIONE DELL'AREA IN ESAME**



**LEGENDA**

	Alluvioni terrazzate recenti, poco spiccate agli estremità, di sabbie, sabbie e sabbie-argille, talora con corredi sabbiosi interstiziali.
	Sabbie gialle, calcaree, con corazzoni calcarei e molluschi marini di fossi fossili. Quasi ovunque ricoperte da un mantello calcareo-sabbioso calcareo.

Ubicazione delle aree di indagine

## **6. INDAGINI SISMICHE**

Al fine di caratterizzare il sottosuolo nell'area di studio si è scelto di utilizzare il metodo sismico, in primo luogo per rilevare l'andamento della sismostratigrafia del sottosuolo, ricercando le superfici di discontinuità fisica – rifrattori – ed in particolare quelle superfici che separano porzioni di ammasso terroso o roccioso con differente grado di densità e compattezza; in secondo luogo per ricavare lo spessore e le caratteristiche geotecniche degli strati così riconosciuti, calcolare i valori di Rigidità Sismica dei singoli orizzonti al fine di valutare ad esempio l'amplificazione sismica locale e classificare i terreni alla luce della recente normativa sismica (VS30).

### **6.1 PROVA SISMICA A RIFRAZIONE DI SUPERFICIE**

L'indagine geosismica, del tipo a rifrazione di superficie come tutti i metodi di indagine indiretta del sottosuolo ci permette di investigare un certo volume, variabile a seconda della lunghezza dei profili eseguiti e della natura litologica del sito.

Il metodo consiste nell'inviare nel terreno un impulso sismico, tramite un'opportuna sorgente ad impatto o esplosiva, e nel rilevare il primo arrivo di energia, costituito da un'onda elastica diretta e da una rifratta. L'onda rifratta, emergente in superficie, viene generata da interfacce rifrangenti, che separano mezzi a differente velocità sismica (sismostrati), generalmente, crescente con la profondità.

I primi arrivi, individuati su sismogrammi rilevati dai geofoni e registrati tramite un sismografo, sono riportati su grafici tempo-distanza (dromocrone), in seguito interpretati per ottenere informazioni sismostratigrafiche. La strumentazione utilizzata è composta da un sismografo a 24 canali, della "MAE" modello A6000/S, con acquisizione computerizzata dei dati. È stata utilizzata una sorgente del tipo ad impatto verticale ed orizzontale (massa battente di 8Kg) per la generazione di onde, rilevate da 24 geofoni.

Ai fini di una corretta interpretazione dei risultati dell'indagine sismica è importante sottolineare che:

a) i sismostrati non sono necessariamente associabili a litotipi ben definiti, ma sono rappresentativi di livelli con simili caratteristiche elastiche, in cui le onde sismiche si

propagano con la stessa velocità;

b) la risoluzione del metodo è funzione della profondità di indagine e la risoluzione diminuisce con la profondità: considerato uno strato di spessore  $h$  ubicato a profondità  $z$  dal piano campagna, in generale non è possibile individuare sismo strati in cui  $h < 0.25 * z$ .

c) nelle indagini superficiali, le onde di taglio, che in questo caso non sono state eseguite con il metodo della sismica a rifrazione classico, meno veloci, arrivano in un tempo successivo, per cui il segnale registrato sarà la risultante delle onde S con le onde P e quindi la lettura dei tempi di arrivo delle onde S può risultare meno precisa della lettura dei tempi di arrivo delle onde P;

d) i terreni esaminati possono ricoprire un ampio campo delle velocità sismiche, in relazione alla presenza di materiale di riporto, di terreno vegetale e di acqua di falda nonché ai vari gradi di stratificazione, carsificazione e di fratturazione dell'ammasso roccioso.

### **6.1.2 DESCRIZIONE DELL'INDAGINE**

Sono state eseguite n. 3 basi sismiche (**BS1÷BS3**) in onde P, tutte di lunghezza pari a 125m con distanza intergeofonica pari a 5m mentre gli offset sono stati effettuati a distanze variabili, via via crescenti, lungo ciascuno stendimento; infatti, per ciascun profilo sono stati effettuati cinque scoppi: oltre quelli classici alle due estremità (il primo e l'ultimo) anche tre interni: in particolare il secondo scoppio è stato eseguito tra il sesto e il settimo geofono, il terzo scoppio è stato eseguito tra il dodicesimo e il tredicesimo geofono e il quarto scoppio è stato eseguito tra il diciottesimo e il diciannovesimo.

I profili sismici sono stati variamente orientati rispetto al nord, in particolare la BS1 è stato ubicato in direzione SW-NE, il profilo BS2 è stato ubicato in direzione SSE-NNW ed il profilo BS3 è stato ubicato in direzione WSW-ENE.

Data la lunghezza degli stendimenti eseguiti, è stato possibile investigare il sottosuolo fino a una massima profondità di circa 25 metri a partire dal piano campagna.

Dalle velocità sismiche, ricavate dall'indagine a rifrazione superficiale classica in onde P e dalla metodologia RE.MI., per il calcolo delle onde di taglio (S), sono stati inoltre calcolati alcuni parametri geotecnici: assegnando la densità in sito è stato calcolato il *coefficiente di Poisson* ed il modulo elastico dinamico. Le determinazioni dei moduli elastici effettuati mediante tali metodologie sismiche sono riferibili a volumi rilevanti di terreno in

condizioni relativamente indisturbate a differenza delle prove geotecniche di laboratorio che, pur raggiungendo un elevato grado di sofisticazione ed affidabilità, soffrono della limitazione di essere puntuali cioè relative ad un modesto volume di roccia. I moduli elastici sismici possono essere correlati ai normali moduli statici attraverso un fattore di riduzione (Rzhevsky et alii, 1971) semplicemente evidenziando che si riferiscono, in virtù delle energie movimentate dall'indagine e del conseguente basso livello di deformazione raggiunto, ad un modulo statico tangente iniziale.

$$E_{din} = 8.3E_{stat} + 0,97$$

Infine, con i dati ottenuti dall'indagine eseguita, è possibile calcolare il coefficiente di reazione del terreno  $K_s$  (Kg/cm<sup>3</sup>) attraverso la relazione di Vesic (1961):

$$K_s = E_s/B(1 - \nu^2)$$

Dove:

B = larghezza della fondazione;

E = modulo di elasticità del terreno;  $\nu$  = coefficiente di Poisson

### **6.1.3 INTERPRETAZIONE DEI RISULTATI DELLE BASI SISMICHE**

Dall'interpretazione dei risultati ottenuti dall'indagine è stato possibile definire la stratigrafia caratterizzante il sottosuolo, oggetto di intervento delle opere, con relative caratteristiche geotecniche.

Dai valori di velocità di propagazione delle onde P, in generale, è stato possibile ricavare la struttura del sottosuolo distinguendolo in tre sismo strati ciascuno dei quali caratterizzato da un determinato valore di velocità delle onde di compressione.

Dall'interpretazione quantitativa delle dromocrone è stato possibile individuare sia per la base sismica **BS1** che per la base sismica **BS2** un primo sismo strato con valori medi della velocità di propagazione delle onde P di **565m/s** attribuibile alla presenza di terreno

vegetale frammisto a deposito sabbioso debolmente addensato il quale si rileva fino ad una profondità compresa tra 3.5m e 4.0m; in successione un secondo sismo strato con valori medi della velocità di propagazione delle onde P di **800m/s**, attribuibile alla presenza di un deposito sabbioso limoso mediamente addensato, il quale si rileva fino ad una profondità compresa fra 9.5 e 11m; in successione un terzo sismo strato con valori medi della velocità di propagazione delle onde P di **1245m/s**, attribuibile alla presenza di un deposito argilloso sabbioso mediamente consistente, il quale si rileva fino alla massima profondità investigata.

Dall'interpretazione quantitativa delle dromocrone anche per la base sismica **BS3** è stato possibile individuare un **primo sismo strato** con valori medi della velocità di propagazione delle onde P di **545m/s** attribuibile alla presenza di **terreno vegetale frammisto a deposito argilloso sabbioso poco consistente** il quale si rileva fino ad una profondità di circa 1.5m; in successione un **secondo sismo strato** con valori medi della velocità di propagazione delle onde P di **1278m/s**, attribuibile alla presenza di un **deposito argilloso sabbioso mediamente consistente**, il quale si rileva fino ad una profondità compresa fra 7.0m e 8.5m; in successione un **terzo sismo strato** con valori medi della velocità di propagazione delle onde P di **2133m/s**, attribuibile alla presenza di un **deposito ghiaioso sabbioso**, a luoghi argilloso di media consistenza e buon grado di addensamento, il quale si rileva fino alla massima profondità investigata.



## 6.2 INDAGINE RE.MI.

Al fine di calcolare il valore di velocità delle onde di taglio (S) fino alla profondità di 30m (**VS30**) e quindi determinare la classe di appartenenza del terreno di fondazione, secondo quanto è richiesto dalle *Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni DM 14/1/2008 (G.U. 4 febbraio 2008, n.29 – s.o. n.30)*, sono stati eseguiti tre profili RE.MI. (**RE.MI.1÷RE.MI.3**) ubicati in corrispondenza delle stesse basi sismiche.

La tecnica utilizzata consente una stima accurata dell'andamento delle velocità di propagazione delle onde S nel sottosuolo; ciò avviene registrando semplicemente il rumore di fondo ed elaborando il segnale con un opportuno software.

A rigore, quella che è misurata è la velocità delle onde superficiali (Onde di Rayleigh), ma essa è praticamente uguale alla velocità delle Onde S (95 ÷ 97%).

È così possibile definire con un'approssimazione valutabile tra il 5% e il 15%, il profilo "**VS30**". Le fasi operative possono essere così schematizzate:

- predisposizione dello stendimento, cioè una serie di 24 geofoni regolarmente spazati e in linea retta, ciascuno della lunghezza di 115 metri (**RE.MI.1÷RE.MI.3**);
- esecuzione di 20 registrazioni della durata di 30 sec del rumore ambientale;
  
- controllo dei dati raccolti con prima elaborazione in situ del profilo, in modo da verificare la coerenza del segnale, l'effettivo raggiungimento della profondità d'investigazione richiesta ed eventualmente apportare le necessarie variazioni dei parametri d'acquisizione prima di ripetere la registrazione;
- i dati raccolti sono registrati nell'hd dell'A6000/S.

L'analisi prevede la formattazione dei files dati, l'analisi spettrale con l'individuazione della curva di dispersione e la modellazione del profilo. E' importante rilevare che il profilo è ottenuto coinvolgendo nelle misurazioni un'estesa porzione del sito da investigare, esso quindi, pur non avendo la risoluzione di un profilo ottenuto ad es. con la tecnica down-hole, è più rappresentativo a larga scala rispetto a quello ottenibile da un rilievo puntuale.

Il calcolo è stato ottenuto dal programma d'interpretazione dei Re.mi. "**Swan della Geostudi**". Pertanto sulla base delle indagini sismiche eseguite, considerando il profilo stratigrafico dell'attuale piano campagna, è possibile calcolare il parametro **VS30**, applicando l'espressione riportata nel DM 14/01/2008: →

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

il quale per le basi sismiche **BS1** e **BS2**, rispettivamente poste nel campo 1 e nel campo 2 risulta compreso tra **222m/s** e **290m/s**; di conseguenza questi due siti ambedue appartengono alla categoria di suolo di fondazione di tipo "**C**" che nella Nuova Normativa Sismica, viene definita come (punto

*3.2.2. cap. 3 tabella 3.2 II del DM 14-01-2008): "Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e dai valori di VS30 compresi tra 180 m/s e 360 m/s"; per la base sismica **BS3**, posta nel campo 3, risulta pari a **611m/s** e di conseguenza questo sito appartiene alla categoria di suolo di fondazione di tipo "**B**" che nella Nuova Normativa Sismica, viene definita come (punto 3.2.2. cap. 3 tabella 3.2 II del DM 14-01-2008): "**Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di VS30 compresi tra 360 m/s e 800 m/s**".*

## 6.2.1 CALCOLO DEI MODULI DINAMICI

Nelle tabelle seguenti, sono riportati i principali moduli elastici dei terreni riguardanti le basi sismiche eseguite; tali valori si riferiscono all'ammasso terroso pertanto devono essere intesi come valori medi.

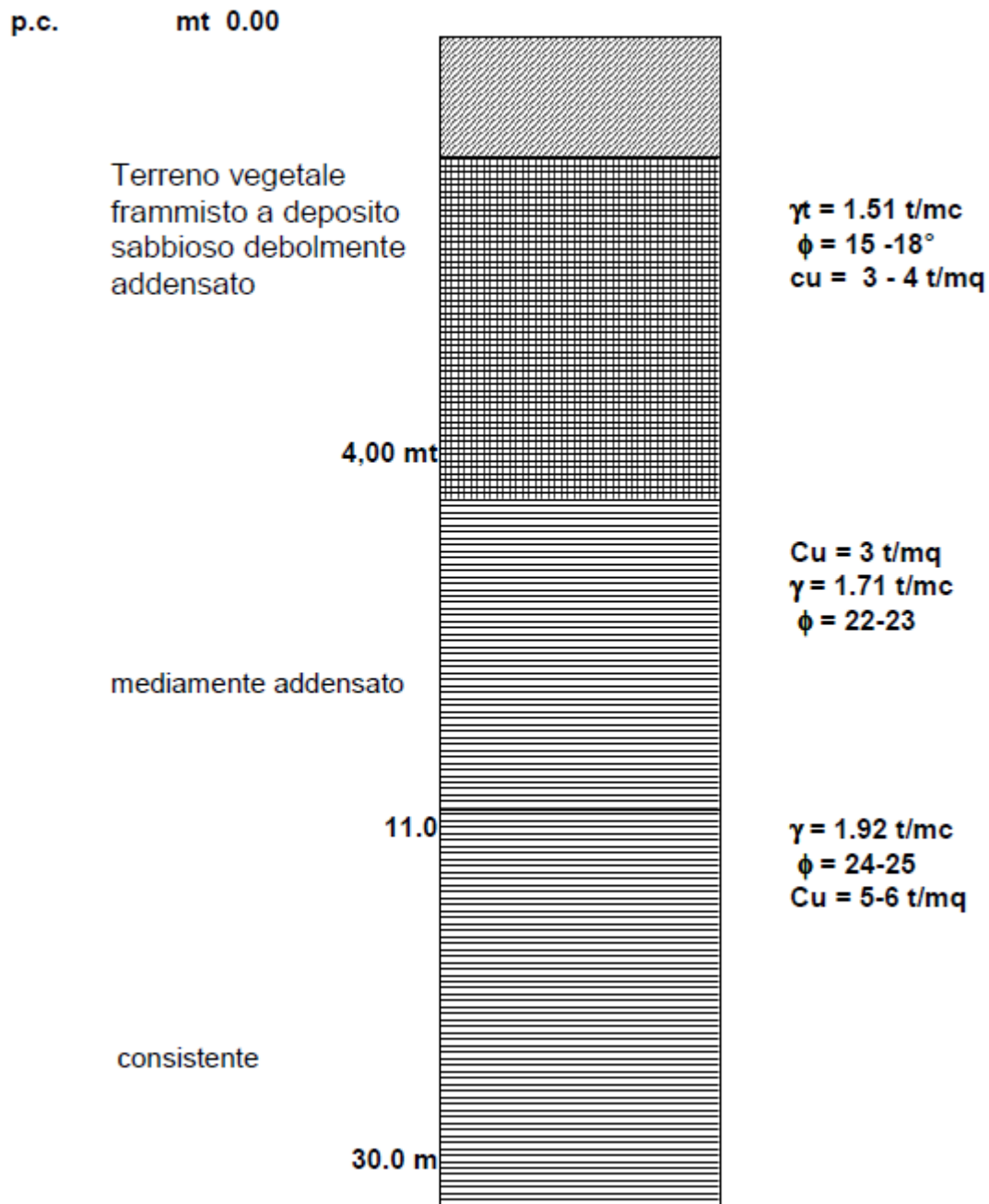
<b>BASE SISMICA 1</b>			
Dati da inserire:	Sismostrato 1	Sismostrato 2	Sismostrato 3
Velocità onde P (m/s):	450	750	1200
Velocità onde S (m/s):	105	175	323
Modulo di Poisson:	0,47	0,47	0,46
Densità naturale (gr/cm <sup>3</sup> ):	1,43	1,62	1,82
SPESORE MEDIO STRATO (m):	3,50	7,50	14,00
CALCOLA:			
MODULO di YOUNG (E) MPa: (mod. di elasticità dinamico)	45	146	555
MODULO di TAGLIO (G) MPa: (mod. di rigidità)	15	50	190
MODULO di BULK (K) MPa: (mod. di incompress. di volume)	263	845	2371
MODULO di YOUNG STATICO MPa (Rzhevsky e t alii, 1971)	5	17	67
Rigidità Sismica (Mg/m <sup>2</sup> *sec)	150	263	588
Frequenza dello Strato	8	6	6
Periodo dello Strato	0,13	0,17	0,17
B (Larghezza Fondazione in cm)	200	200	200
K (Coeff. di Winkler in Kg/cm <sup>3</sup> )	0,35	1,15	4,33
K (Coeff. di Winkler in N/cm <sup>3</sup> )	3,44	11,23	42,42

<b>BASE SISMICA 2</b>			
<b>Dati da inserire:</b>			
	<b>Sismostrato 1</b>	<b>Sismostrato 2</b>	<b>Sismostrato 3</b>
Velocità onde P (m/s):	680	650	1290
Velocità onde S (m/s):	177	223	400
Modulo di Poisson:	0,46	0,46	0,45
Densità naturale (gr/cm <sup>3</sup> ):	1,58	1,67	1,85
SPESORE MEDIO STRATO (m)	4,00	7,00	14,00
<b>CALCOLA:</b>			
MODULO di YOUNG (E) MPa: (mod. di elasticità dinamico)	142	243	659
MODULO di TAGLIO (G) MPa: (mod. di rigidità)	49	83	297
MODULO di BULK (K) MPa: (mod. di incompress. di volume)	652	1097	2692
MODULO di YOUNG STATICO MPa (Rzhvsky et alii, 1971)	17	29	103
Rigidità Sismica (Mg/m <sup>2</sup> sec)	280	373	742
Frequenza dello Strato	11	8	7
Periodo dello Strato	0,09	0,13	0,14
B (Larghezza Fondazione in cm)	200	200	200
K (Coeff. di Winkler in Kg/cm <sup>3</sup> )	1,10	1,89	6,59
K (Coeff. di Winkler in N/cm <sup>2</sup> )	10,83	18,58	64,59

<b>BASE SISMICA 3</b>			
Dati da inserire:	<b>Semestrato 1</b>	<b>Semestrato 2</b>	<b>Semestrato 3</b>
Velocità onde P (m/s):	645	1278	2133
Velocità onde S (m/s):	231	467	890
Modulo di Poisson:	0,43	0,42	0,39
Densità naturale (gr/cm <sup>3</sup> ):	1,56	1,85	2,10
SPESSORE MEDIO STRATO (mt)	1,50	5,50	18,00
<b>CALCOLA:</b>			
MODULO di YOUNG (E) MPa: (mod. di elasticità dinamico)	233	1149	4649
MODULO di TAGLIO (G) MPa: (mod. di rigidità)	82	404	1667
MODULO di BULK (K) MPa: (mod. di incompres. di volume)	528	2485	7351
MODULO di YOUNG STATICO MPa (Rzhevsky et alii, 1971)	28	138	560
Rigidità Sismica (Mg/m <sup>2</sup> 'sec)	360	864	1872
Frequenza dello Strato	39	21	12
Periodo dello Strato	0,03	0,05	0,08
B (Larghezza Fondazione in cm)	200	200	200
K (Coeff. di Winkler in Kg/cm <sup>2</sup> )	1,74	8,59	33,81
K (Coeff. di Winkler in N/cm <sup>2</sup> )	17,07	84,22	331,61

### 6.2.2 PARAMETRI GEOTECNICI

Sulla base delle indagini svolte, si definisce la seguente stratigrafia del sottosuolo di fondazione, con relative caratteristiche geotecniche:



Le caratteristiche geotecniche, ricavate dall' interpretazione della media delle prove sismiche, sono riportate nella seguente tabella:

LITOLOGIA	Mes (MPa)	Cu (t/m <sup>2</sup> )	$\phi'$	$\gamma_n$ (g/cm <sup>3</sup> )
<i>Terreno vegetale frammisto a deposito sabbioso debolmente addensato</i>	140	3-4	15-18	1.51
<i>Deposito sabbioso limoso mediamente addensato</i>	512	3-5	22-23	1.71
<i>Deposito argilloso sabbioso mediamente consistente</i>	2021	5-6	24-25	1.92

Caratteristiche meccaniche del sottosuolo

con:

-  $\gamma_n$  = peso unitario di volume naturale

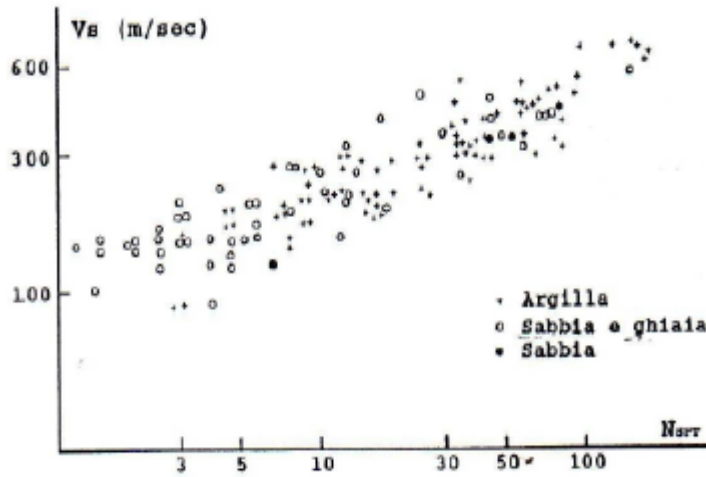
- Mes = modulo edometrico

- Cu = coesione non drenata,

-  $\phi'$  = angolo di resistenza al taglio

-

Dati più precisi deriveranno dalle indagini che saranno effettuate a supporto della successiva fase di progettazione esecutiva del parco.

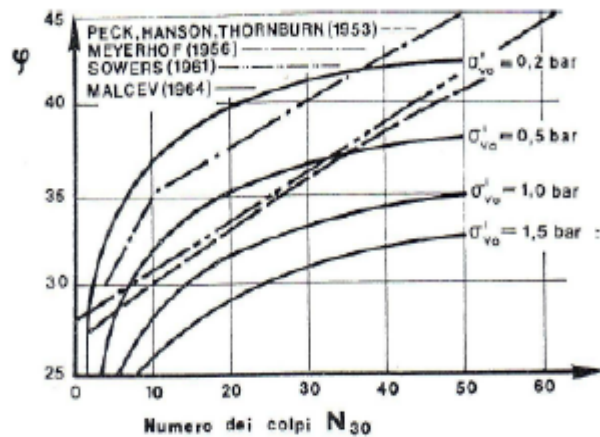


Correlazione tra  $V_s$  ed il numero di colpi  $N_{arr}$  per argille, sabbie e ghiaie (da Mai e Yoshimura, 1975)

a) Terzaghi & Peck

Il metodo è valido per argille di media plasticità e si basa sulla seguente relazione:

$$c_u (\text{kg/cm}^2) = 0,067 N_{60}$$



Angolo di attrito di terreni coerenti correlato al numero dei colpi S.P.T. (Schultze)



## **7. NORMATIVA DI RIFERIMENTO**

Legge nr.1086 del 05/11/1971: "Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio, normale e precompresso ed a struttura metallica".

Legge nr. 64 del 02/02/1974: "Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche".

D.M. LL.PP del 11/03/1988: "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione".

D.M. LL.PP. del 14/02/1992: Norme tecniche per l'esecuzione delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche.

D.M. 9 Gennaio 1996: Norme tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche.

D.M. 16 Gennaio 1996: Norme tecniche relative ai "Criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi".

D.M. 16 Gennaio 1996: "Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche"

Circolare Ministero LL.PP. 15 Ottobre 1996 N. 252 AA.GG/S.T.C: "Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche di cui al D.M. 9 Gennaio 1996"

Circolare Ministero LL.PP. 10 Aprile 1997 N. 65/AA.GG : "Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche per la costruzione in zone sismiche di cui al D.M. 16 Gennaio 1996".

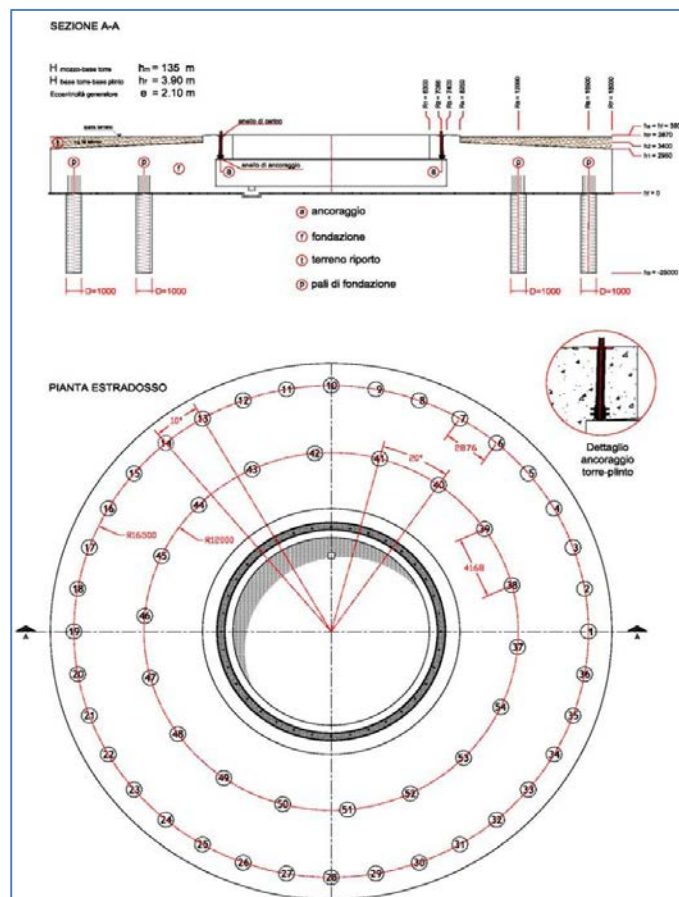
O.P.C.M. 3274 del 20.03.2003: "Costruzioni in zona sismica".

D.M. 14 Settembre 2005: "Norme Tecniche per le Costruzioni".

NTC 2018 – Nuove norme sismiche per il calcolo strutturale. Approvate con Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018. Testo aggiornato delle norme tecniche per le costruzioni (NTC2018), di cui alla legge 5 novembre 1971, n. 1086, alla legge 2 febbraio 1974, n. 64, al decreto del Presidente della Repubblica 6 giugno 2001, n. 380, ed al decreto legge 28 maggio 2004, n. 136, convertito, con modificazioni, dalla legge 27 luglio 2004, n. 186.

## CONCLUSIONI

Dalle indagini effettuate in sito e dalle elaborazione dei dati, si definisce una stratigrafia caratterizzata da strati superficiali limosi-sabbiosi, con caratteristiche geotecniche piuttosto scadenti, poggianti su strato argilloso sabbioso, con caratteristiche geotecniche più consistenti. In funzione delle analisi geologiche e geotecniche, si prevede quindi una fondazione caratterizzata da plinti posti su pali. In questa prima fase si prevedono n° 54 pali di diametro  $\varnothing 100$  cm posti su due file, rispettivamente i primi 36 pali posti su un raggio di 16,5 metri, i restati 18 pali posti su un raggio pari a 12 metri. La congiungente degli assi di due generici pali contigui con il centro del plinto forma un angolo di  $10^\circ$  per la fila più esterna e  $20^\circ$  per quella più interna. Il plinto su cui atterreranno i pali, avrà un diametro esterno di 36 metri ed un diametro interno medio di 14,8 metri (Fig. 5)



Pianta plinto di fondazione