

REGIONE
PUGLIA



COMUNE DI
LUCERA



COMUNE DI
FOGGIA



COMUNE DI
TROIA



PROVINCIA DI
FOGGIA



PROGETTO DEFINITIVO RELATIVO ALLA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO EOLICO COSTITUITO DA 18 AEROGENERATORI E RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE ALLA R.T.N. RICADENTI NEI COMUNI DI FOGGIA, LUCERA (FG) E TROIA (FG)

RELAZIONE GEOLOGICA

ELABORATO

TAV103

PROPONENTE:



SKI 05 s.r.l.

via Caradosso n.9
Milano 20123
P.Iva 11412940964

GEOLOGO: Giuseppe Amorosi



PROGETTO E SIA:



ATECH srl

Via Caduti di Nassirya, 55
70124- Bari (BA)
pec: atechsrl@legalmail.it
Ing. Alessandro Antezza

Il DIRETTORE TECNICO
Ing. Orazio Tricarico



SOLARITES s.r.l.

piazza V.Emanuele II n.14
Ceva (CN) 12073

1	Dicembre 2023	GA	GA	GA	Progetto Definitivo
0	Luglio 2023				Progetto Definitivo
EM./REV.	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO	DESCRIZIONE

Sommario

PREMESSA	2
INQUADRAMENTO GEOGRAFICO	4
Analisi dei vincoli	5
INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE	9
GEOLOGIA DELL'AREA D'INTERVENTO	11
CENNI GEOMORFOLOGICI E IDROGEOLOGICI.....	15
Idrogeologia.....	15
Modello Idrogeologico	17
Verifiche con il Piano di Tutela delle Acque	18
INDAGINI GEOGNOSTICHE.....	20
Sondaggi meccanici.....	20
Prove penetrometriche	21
Prelievo di campioni.....	22
Installazione piezometri	22
Prove geotecniche di laboratorio.....	23
Prove sismiche MASW.....	24
MODELLO GEOLOGICO E CARATTERI GEOTECNICI	26
CARATTERI SISMICI DEL TERRITORIO.....	30
Pericolosità sismica di base – accelerazione sismica attesa.....	34
Modello sismico del sito - valutazione dell'azione sismica	37
Modello sismico del sito – definizione delle condizioni stratigrafiche e topografiche	38
Modello sismico del sito - effetti di amplificazione locale	39
NOTE CONCLUSIVE.....	41

ALLEGATI

- 103A - INDAGINI CONSULTATE
- 103B - CARTA UBICAZIONE INDAGINI (in scala 1:10.000)
- 103C - CARTA GEOLOGICA (in scala 1:10.000)
- 103D - CARTA GEOMORFOLOGICA (in scala 1:10.000)
- 103E - CARTA IDROGEOLOGICA (in scala 1:10.000)
- 103F - PROFILI GEOLOGICI (in scala 1:5.000)
- 103G - CARTA PAI - PERICOLOSITA' GEOMORFOLOGICA (in scala 1:10.000)

PREMESSA

Nella presente relazione vengono riportati i risultati dello studio geologico e geologico-tecnico definitivo, compiuto sui terreni interessati dalla progettazione di un impianto alimentato da fonte eolica di potenza nominale fino a 111,6 MW a corredo del progetto "Celone" nei comuni di Foggia, Lucera (FG) e Troia (FG).

A tal proposito sono stati eseguiti i necessari studi e redatta la seguente relazione volta alla definizione di un quadro geologico-ambientale funzionale e di ausilio alle più opportune scelte tecniche da adottare nelle fasi progettuali.

Gli interventi da realizzare sono rappresentati da:

- fondazioni di ancoraggio per le torri eoliche;
- le strade necessarie a collegare tutti gli aerogeneratori;
- trincee per il posizionamento dei cavi per il trasporto dell'energia elettrica prodotta da ciascun aerogeneratore.

Lo scopo dello studio è volto a definire il modello geologico-geotecnico del sottosuolo, illustrare e caratterizzare gli aspetti stratigrafici, strutturali, idrogeologici, geomorfologici, litotecnici e fisici, in modo da valutare, nella fase esecutiva, il conseguente livello di pericolosità geologica ed il comportamento prima e dopo la realizzazione dell'intervento in progetto, così come richiesto dalla normativa tecnica vigente ed in particolare della **CIRCOLARE 21 gennaio 2019, n. 7 C.S.LL.PP.** Istruzioni per l'applicazione dell'"Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018, del DM 17 Gennaio 2018 Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni" e delle loro relative norme di attuazione.

La consultazione delle norme di attuazione del **PIANO STRALCIO PER LA DIFESA DAL RISCHIO IDROGEOLOGICO** e della cartografia ad esso allegato ha confermato che l'area in oggetto non è soggetta a Pericolosità Geomorfologica, per cui l'area non è soggetta a prescrizioni particolari o restrizioni ai sensi dello stesso **Piano**.

I metodi e i risultati delle indagini verranno esaurientemente esposti e commentati in questa Relazione Geologica.

Sono stati effettuati sopralluoghi nella zona interessata e si è portato a termine il seguente piano di lavoro:

- Ricerca bibliografica di pubblicazioni e studi di carattere geologico effettuati nell'area d'interesse;
- Rilevamento geologico e geomorfologico di un'area sufficientemente ampia e delle zone specificatamente interessate dalle opere di progetto;
- Raccolta ed analisi di informazioni e dati provenienti da precedenti studi di carattere geologico ricadenti nell'area oggetto d'intervento ed in aree attigue.

- Consultazione di indagini dirette (consistenti in n°4 sondaggi stratigrafici con prelievo di campioni e prove SPT in foro) e di indagini indirette (consistenti n°4 prospezioni sismiche attive tipo MASW).

Le indagini consultate, hanno consentito l'acquisizione di dati utili alla compilazione di una cartografia geologica e geomorfologica generale.

A corredo degli elaborati cartografici sono stati, inoltre, compilati profili geologici in modo da rendere chiara l'estensione in profondità dei corpi litologici riconosciuti in superficie e del loro sviluppo schematico in profondità.

Lo studio è stato eseguito seguendo le prescrizioni contenute nel:

- D.M. 17 gennaio 2018 – Norme Tecniche per le costruzioni;
- Circolare applicativa del C.S.LL.PP. n° 7/2019;
- Norme Tecniche di Attuazione del PAI dell'Autorità di bacino Distrettuale dell'Appennino Meridionale – sede Puglia;
- L.R 31/05/1980 n56, Tutela ed uso del territorio, regione Puglia;
- Delibera n° 230 del 20/10/2009, Piano di Tutela delle Acque;
- Delibera della Giunta regionale n. 1331/2019 "Interventi di prevenzione sismica di cui alle OO.P.C.M. n. 3907/2010 e n. 4007/2012 e alle OO.C.D.P.C. n. 52/2013, 171/2014, 293/2015, 344/2016, 532/2018 -Annualità 2012, 2013, 2014, 2015 e 2016. DGR n. 542 del 19 marzo 2019, indirizzi attuativi."

INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

L'area d'intervento è ubicata nei comuni di Foggia, Lucera (FG) e Troia (FG) ed è inquadrabile nelle tavolette IGM della serie 25/V n°163 I SE, 163 II NE, 163 II SE, 164 IV SO, 164 III NO e 164 III SO (vedasi Fig.1).

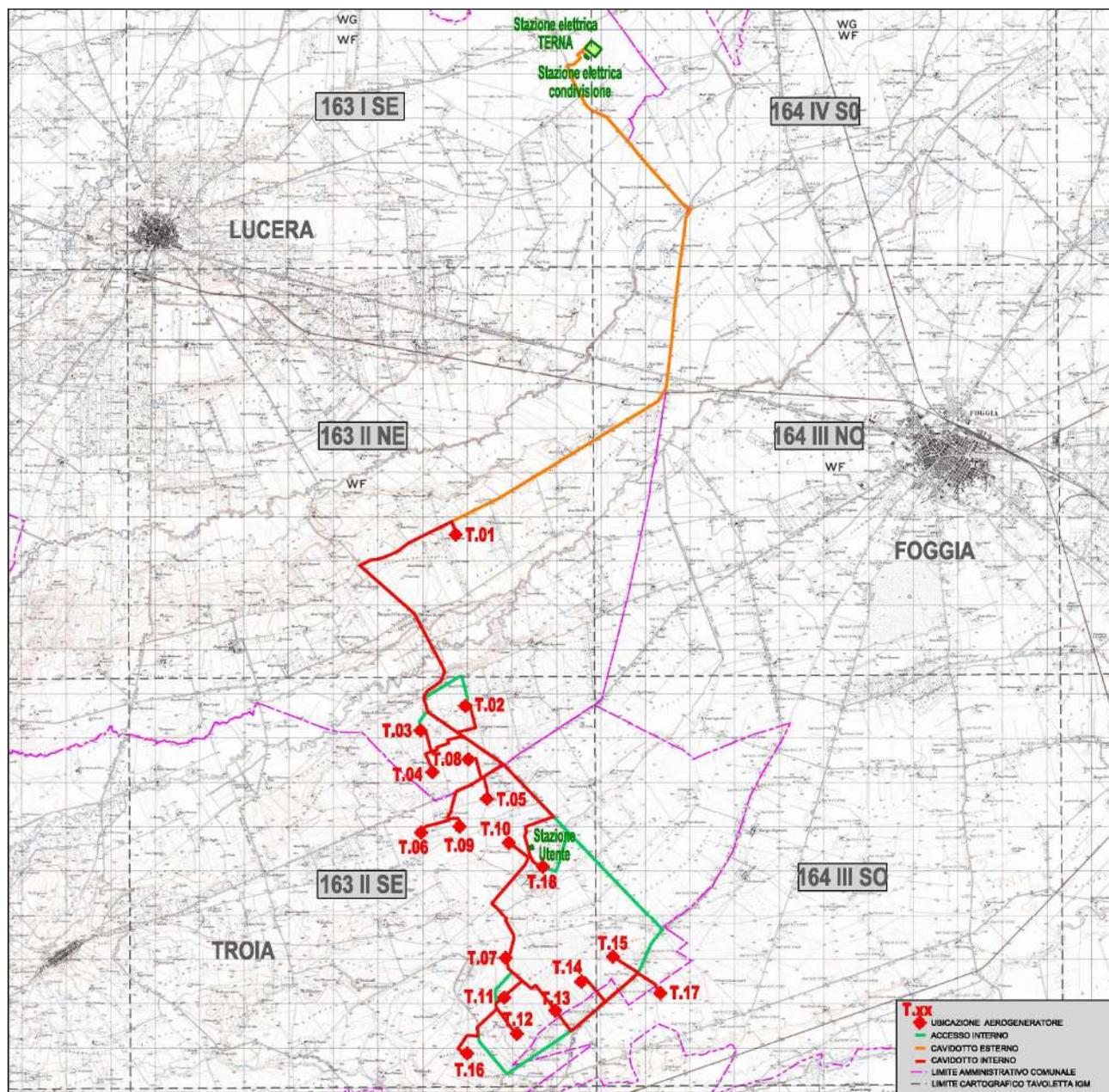


Fig.1: stralcio non in scala su tavolette IGM della serie 25/V

La superficie territoriale totale dell'area di progetto - che prevede l'installazione di n. 18 aerogeneratori di potenza nominale attiva fino a 6,2 MW per una potenza complessiva fino a 111,6 MW, è di 9 ettari (90.000 mq), ossia 5000 mq per aerogeneratore, considerando in tale previsione anche le piazzole, le fondazioni, la cabina, le strade e la superficie dei cavidotti.

Il progetto, oltre all'ubicazione nell'area di n. 18 aerogeneratori, prevede anche la realizzazione di una linea interrata di collegamento alla sottostazione MT-AT da

realizzare.

Per una identificazione univoca di ogni singolo aerogeneratore nella tabella seguente si riportano le coordinate relative all'ubicazione georeferenziata di ognuno di essi nel sistema di riferimento UTM33N – WGS84.

NUMERO WTG	UTM 84-33N	
	EST	NORD
1	534683.00	4588397.00
2	534896.00	4584527.00
3	533893.00	4583972.00
4	534162.97	4583028.27
5	535382.00	4582430.00
6	533905.00	4581665.00
7	535821.00	4578847.00
8	534967.72	4583318.21
9	534769.00	4581803.00
10	535876.01	4581437.98
11	535768.00	4577932.00
12	536055.00	4577118.00
13	536917.00	4577639.00
14	537503.51	4578291.86
15	538213.00	4578849.00
16	534938.00	4576680.00
17	539270.00	4578035.00
18	536635.00	4580893.00

Tab.1: ubicazione in coordinate piane x, y di ogni singolo aerogeneratore

Analisi dei vincoli

Dall'esame della cartografia del Piano Stralcio per la Difesa dal Rischio Idrogeologico (PAI) redatto dall'ex Autorità di Bacino della Regione Puglia, l'ubicazione di ogni singolo aerogeneratore **non ricade** in areali di Pericolosità Geomorfologica così come evidenziato dalle sottostanti figure 2a, 2b e 2c.

Mentre per quanto riguarda il cavidotto, esso ricade per un tratto in areali di pericolosità Geomorfologica PG1 e a pericolosità Idraulica da bassa a media. In quest'area il cavidotto verrà posto in opera per la maggior parte ai margini delle sedi stradali già esistenti ad una profondità di 1.20 m per brevi tratti tempestivamente richiusi in modo da modificare la stabilità dell'area.

Art 15 comma 1 delle NTA del PAI *Nelle aree a pericolosità geomorfologica media e moderata (P.G.1) sono consentiti tutti gli interventi previsti dagli strumenti di governo del territorio purché l'intervento garantisca la sicurezza, non determini condizioni di instabilità e non modifichi negativamente le condizioni ed i processi geomorfologici nell'area e nella zona potenzialmente interessata dall'opera e dalle sue pertinenze.*

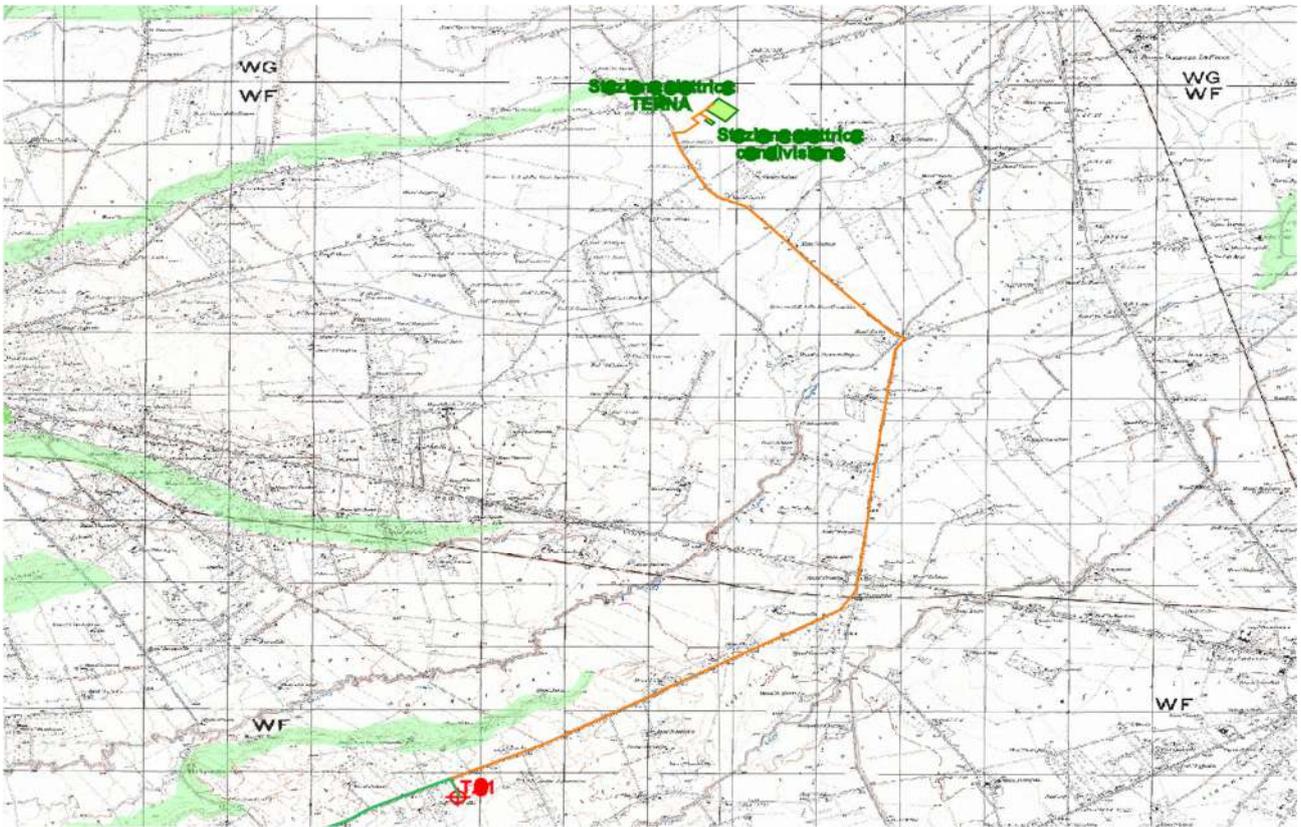


Fig.2a: stralcio non in scala su tavolette IGM della serie 25/V con ubicazione delle opere in progetto e degli areali perimetrati a pericolosità geomorfologica PG1 (moderata) dal PAI, Autorità Distrettuale Appennino Meridionale, sede Puglia.

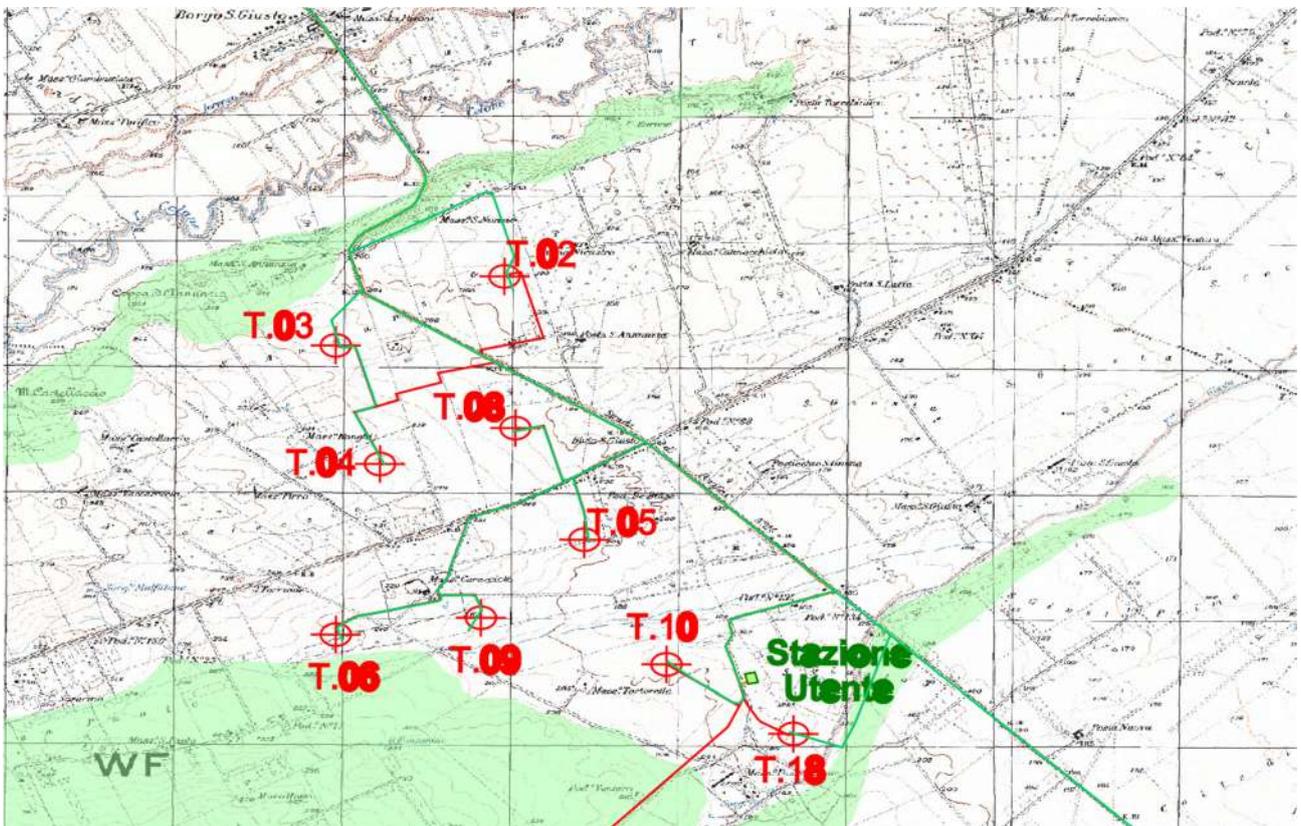


Fig.2b: stralcio non in scala su tavolette IGM della serie 25/V con ubicazione delle opere in progetto e degli areali perimetrati a pericolosità geomorfologica PG1 (moderata) dal PAI, Autorità Distrettuale Appennino Meridionale, sede Puglia.

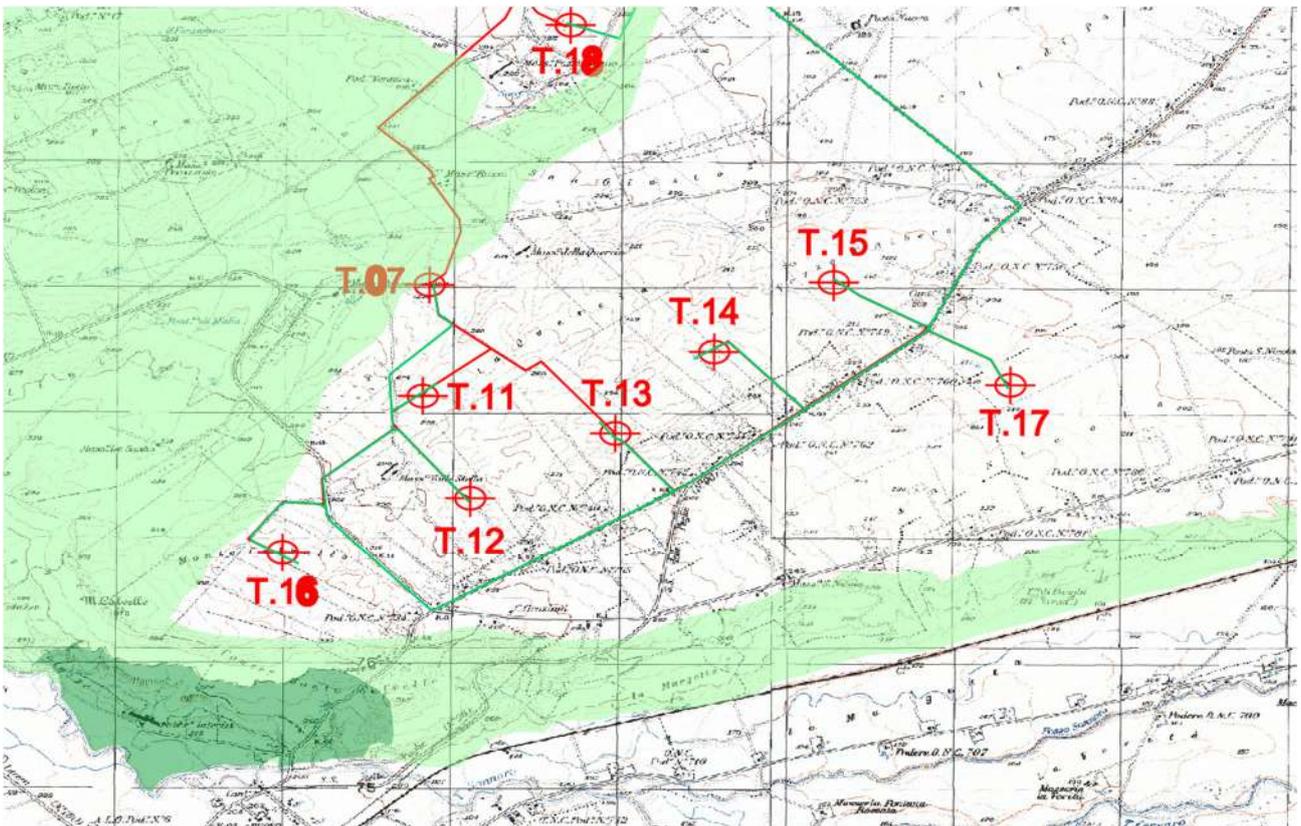


Fig.2c: stralcio non in scala su tavolette IGM della serie 25/V con ubicazione delle opere in progetto e degli areali perimetrati a pericolosità geomorfologica PG1 (moderata) e PG2 (elevata) dal PAI, Autorità Distrettuale Appennino Meridionale, sede Puglia.

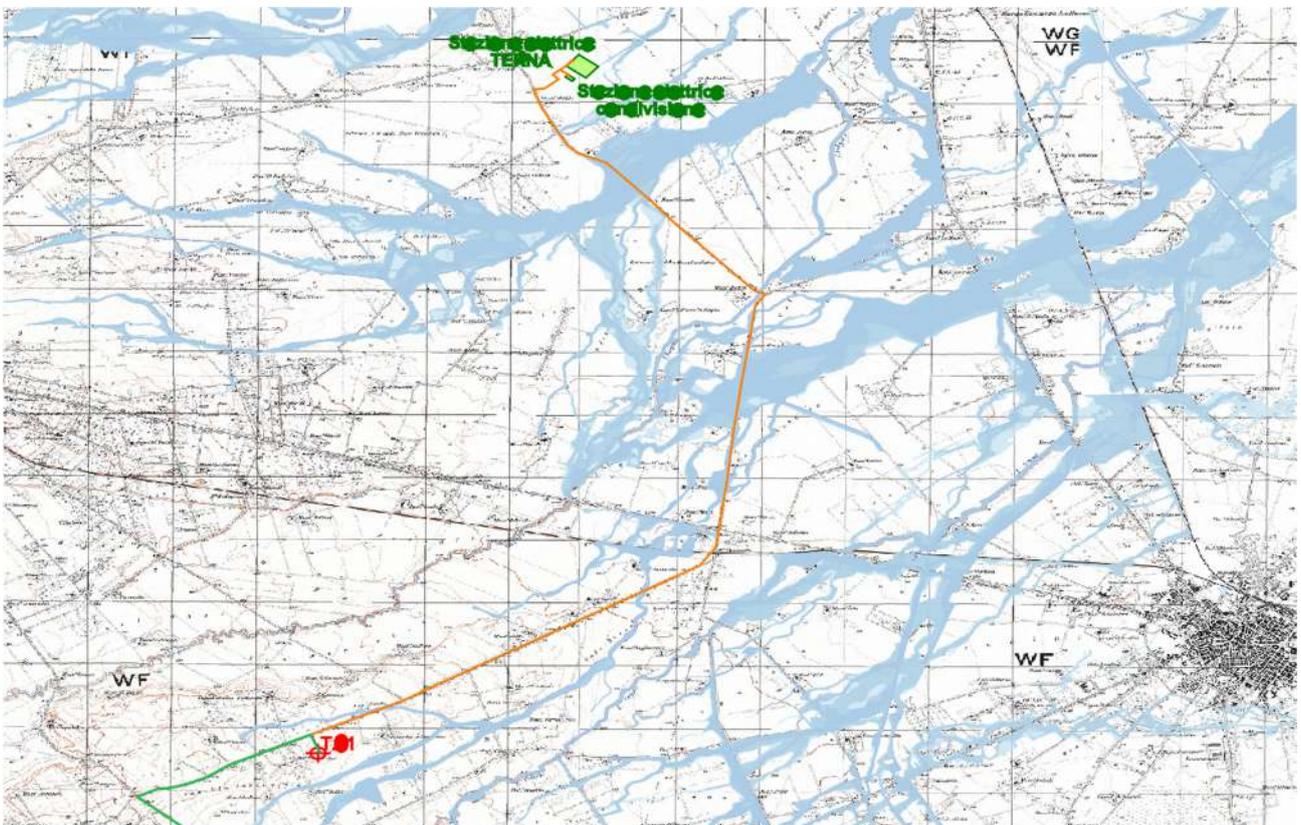


Fig.3a: stralcio non in scala su tavolette IGM della serie 25/V con ubicazione delle opere in progetto e degli areali perimetrati a pericolosità idraulica dal PAI, Autorità Distrettuale Appennino Meridionale, sede Puglia.

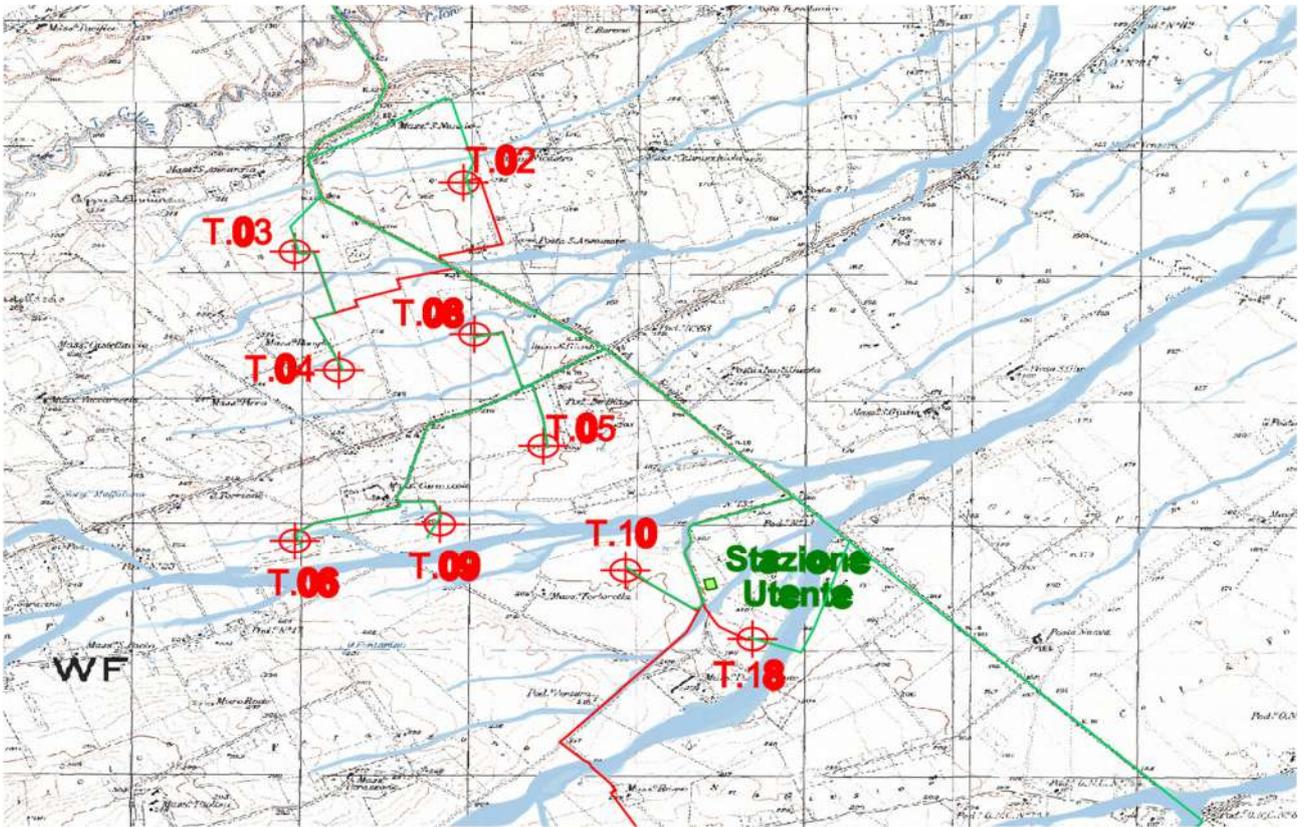


Fig.3b: stralcio non in scala su tavolette IGM della serie 25/V con ubicazione delle opere in progetto e degli areali perimetrati a pericolosità idraulica dal PAI, Autorità Distrettuale Appennino Meridionale, sede Puglia.

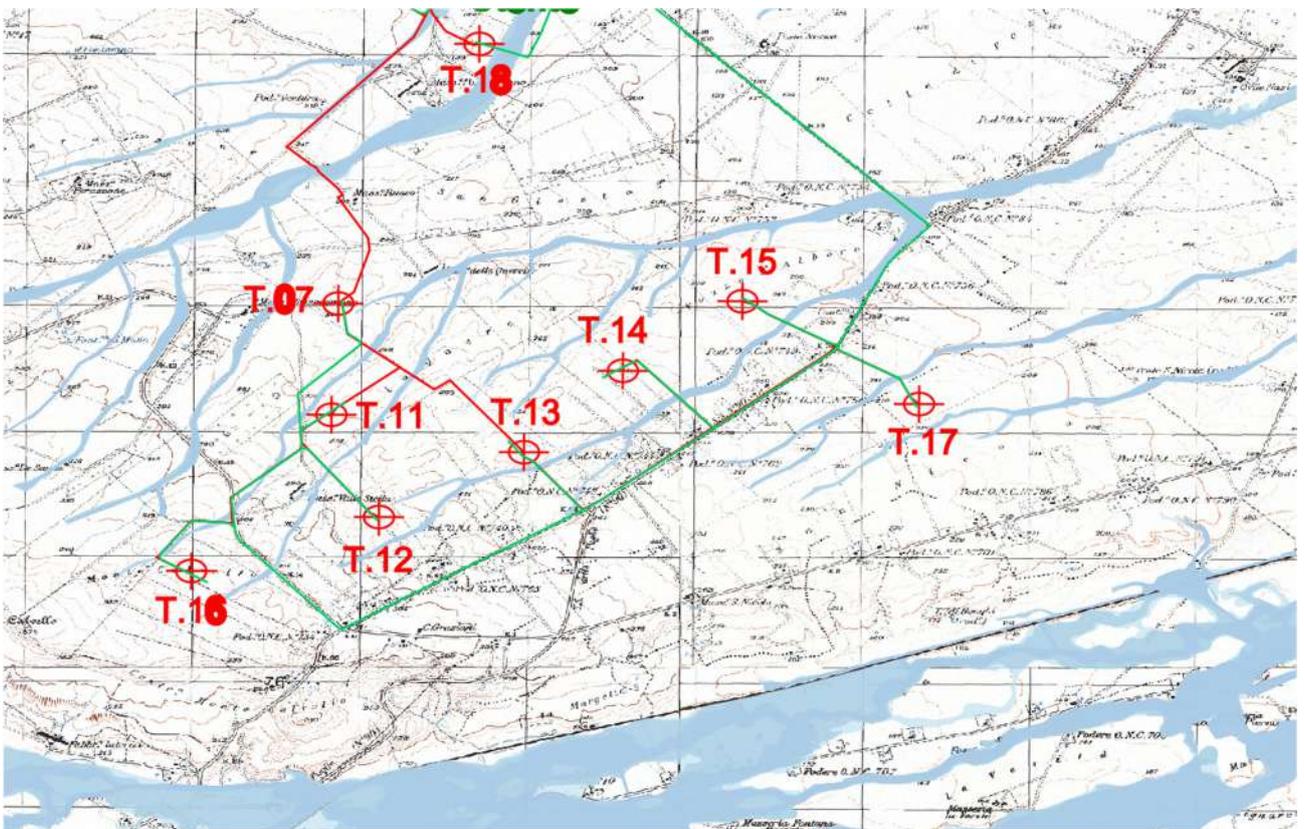


Fig.3c: stralcio non in scala su tavolette IGM della serie 25/V con ubicazione delle opere in progetto e degli areali perimetrati a pericolosità idraulica dal PAI, Autorità Distrettuale Appennino Meridionale, sede Puglia.

INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE

L'area in esame ricade nel bacino di sedimentazione Plio-Pleistocenico dell'Avanfossa ("Fossa Bradanica", Tropeano et al., 2002) (Fig.4a e Fig.4b), un'ampia depressione allungata da nord-ovest a sud-est originatasi nel plio-quadernario fra la catena appenninica e la piattaforma carbonatica dell'Avampaese murgiano.

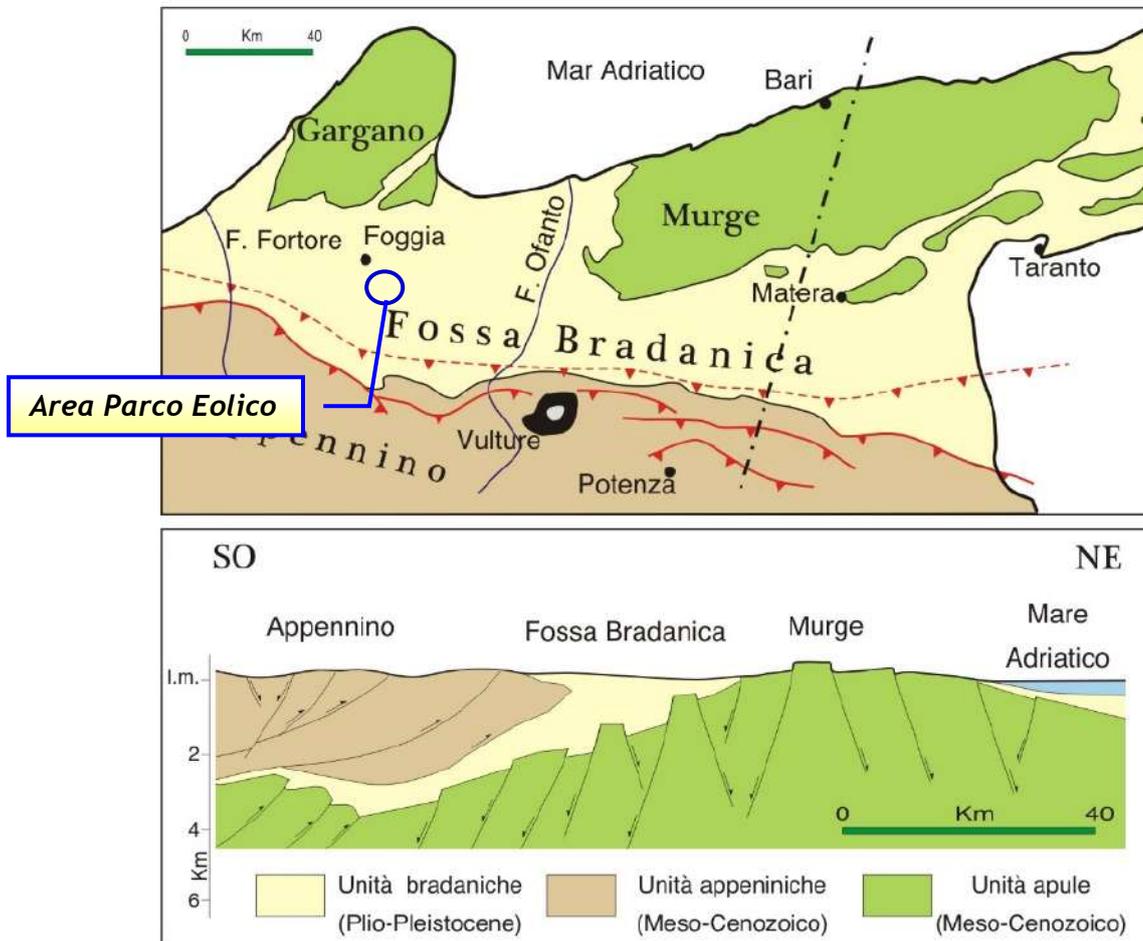


Fig.4a: Schema stratigrafico strutturale di inquadramento

L'evoluzione tettonico-sedimentaria del segmento meridionale d'avanfossa appenninica, che comprende parte dei bacini pugliese e lucano (sensu CRESCENTI, 1971), ha inizio nel Pliocene inferiore, quando, a causa del progressivo avanzamento del fronte appenninico, il bacino è interessato da una generale migrazione verso E degli assi di subsidenza e delle relative depressioni (CASNEDI, 1988a). Il bacino, si presenta così con un margine interno instabile, con tendenza ad un forte sollevamento, ed un margine esterno subsidente che coinvolge via via, aree d'avampaese già dislocate verso la catena.

L'ingressione marina portò alla sedimentazione di depositi prevalentemente sabbioso-argillosi sul substrato calcareo ribassato a gradinata verso sud-ovest secondo un sistema di faglie dirette ad andamento appenninico. Nel Pleistocene inferiore un sollevamento regionale in blocco ed il conseguente ritiro del mare verso l'attuale linea di costa determinò l'emersione dell'area bradanica e la formazione di una serie di

terrazzi marini e alluvionali connessi con brevi fasi di arresto del ciclo regressivo e di trasgressioni di piccola entità.

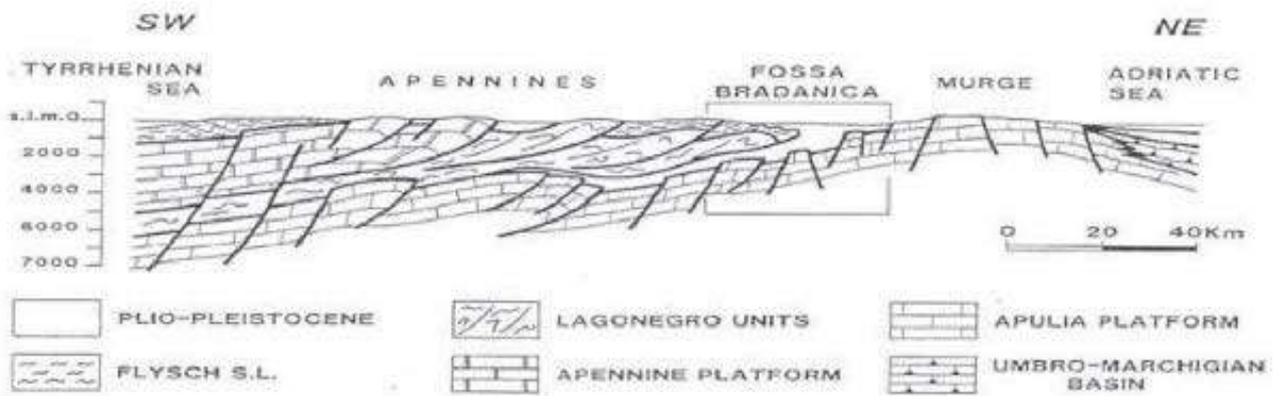


Fig.4b: Sezione dello schema Ovest-Est (Tirreno-Adriatico) dell'Appennino-Avanfossa-Avampaese

GEOLOGIA DELL'AREA D'INTERVENTO

L'area in studio è compresa nel foglio geologico n° 163 "Lucera" e nel foglio geologico n° 164 "Foggia" della Carta Geologica d'Italia in scala 1:100.000 (vedasi Fig. 5a e Fig. 5b).

Con riferimento alla cartografia del progetto CARG in scala 1:50.000 si ricade invece nei fogli n°408 "Foggia" e n°421 "Ascoli Satriano".

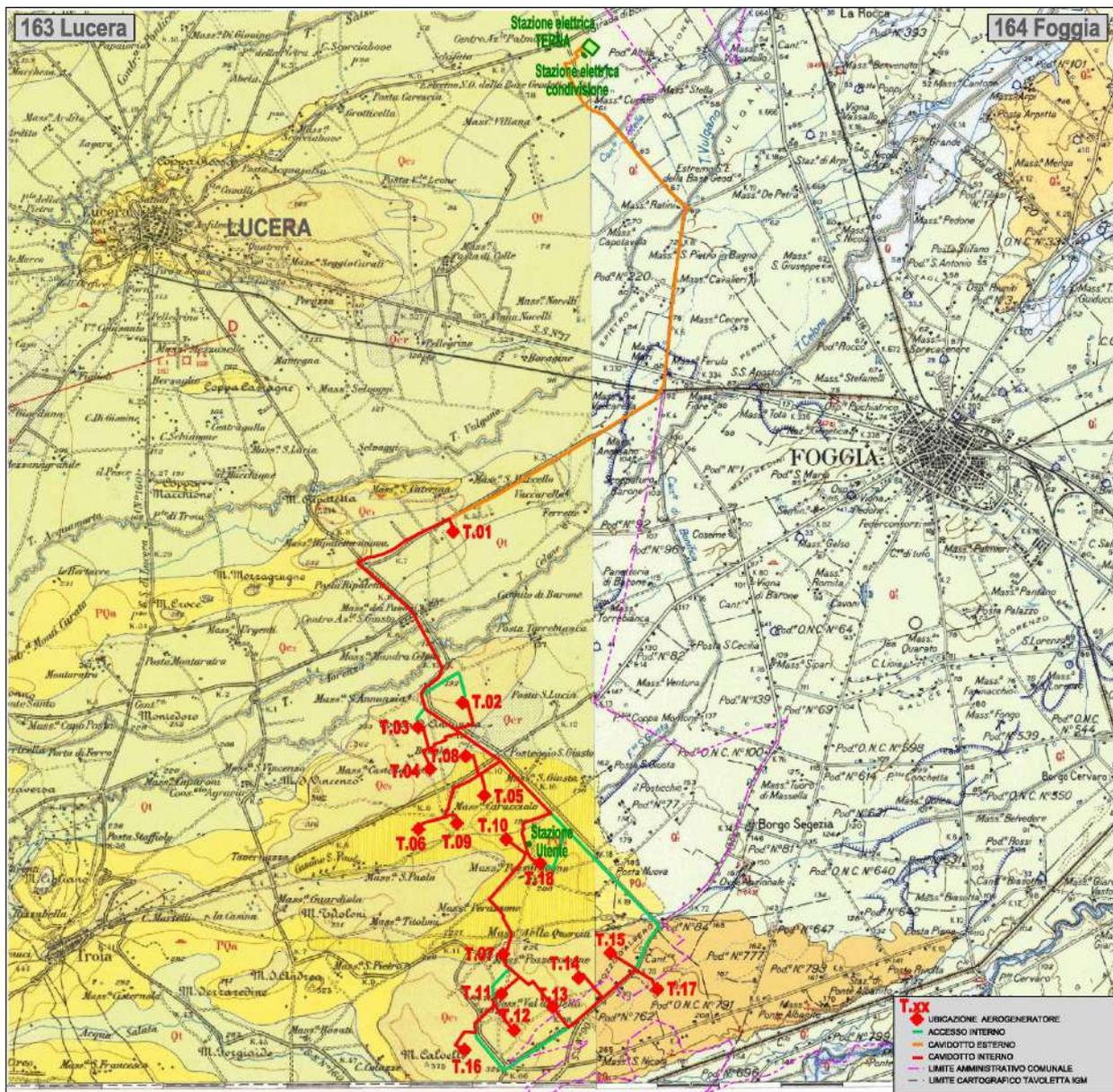


Fig.5a: Stralcio cartografico non in scala dei Fogli n°163 Lucera e n°164 Foggia della Carta Geologica d'Italia in scala 1:100.000

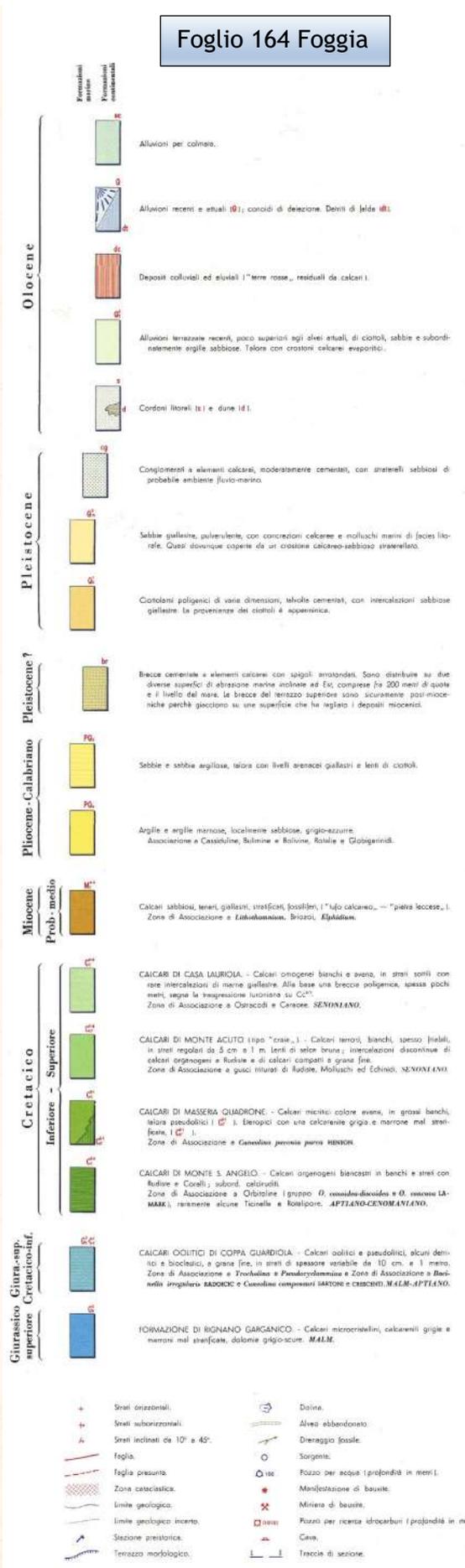
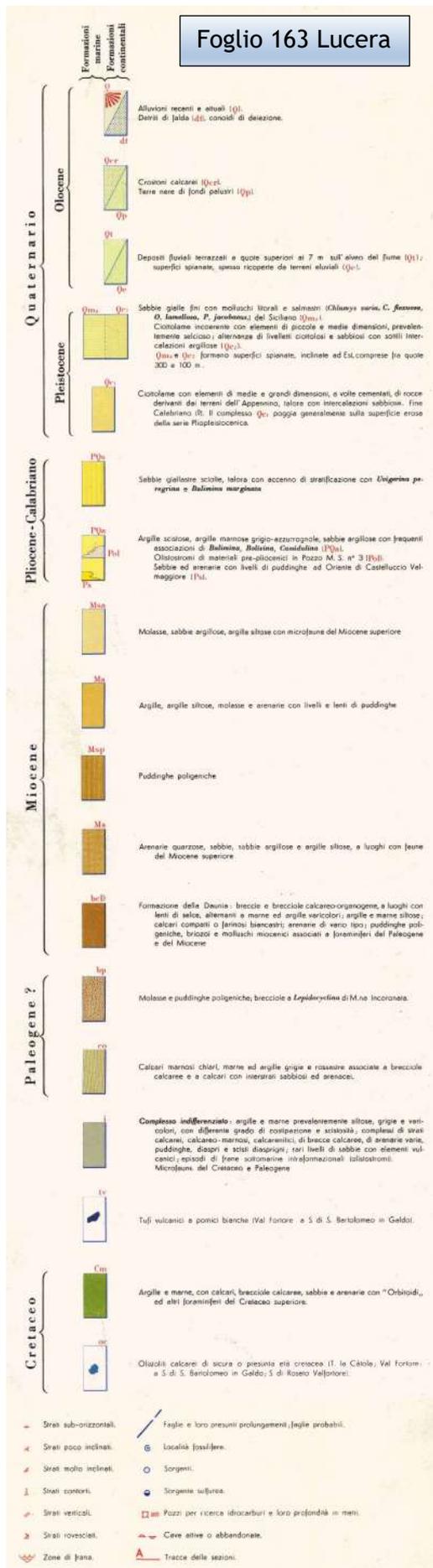


Fig.5b: Legenda dei Fogli n°163 Lucera e n°164 Foggia della Carta Geologica d'Italia in scala 1:100.000

Dalla cartografia geologica disponibile in letteratura si evince che l'area in esame è situata in corrispondenza della regione geografica denominata Tavoliere delle Puglie

caratterizzata da depositi plio-pleistocenici costituiti da una potente successione di silt argillosi con livelli di sabbie appartenenti all'unità geologica delle Argille Subappennine (Unità Pleistoceniche della Fossa Bradanica).

La chiusura di tale successione è a luoghi rappresentata da depositi alluvionali di età quaternaria, prevalentemente sabbioso-ghiaiosi, delimitati verso l'alto da superfici piate (terrazzi).

Nella recente letteratura (Note Illustrative del Foglio 408 Foggia della Carta Geologica d'Italia in scala 1:50.000) tali depositi di copertura vengono riferiti al Sintema di Foggia da cui è stata ricavata la carta geologica allegata alla relazione; in particolare nella carta geologica allegata è stata mantenuta la sola sigla del sintema coinvolto mentre la descrizione è stata riferita alla litologia del deposito terrazzato ed in particolare al suo ordine di appartenenza.

Stiamo parlando delle Unità Quaternarie del Tavoliere di Puglia ed in particolare del Supersintema del Tavoliere di Puglia (Calabriano ? – Olocene?) che comprende una serie di Depositi alluvionali terrazzati che si differenziano dal I ordine (i più antichi) sino al VII ordine, costituiti da una variabilità litologica e da una tessitura differente a seconda dell'ordine di appartenenza del terrazzo alluvionale e del suo ambiente deposizionale.

Al di sopra dei depositi alluvionali terrazzati sono presenti infine le coperture quaternarie attuali (Unità Tardo Quaternarie) appartenenti alle alluvioni attuali e recenti dei corsi d'acqua, ai depositi detritici di versante ed alle coltri eluvio-colluviali.

Le unità geologiche di seguito esposte a partire dalle più recenti sono visualizzabili nell'elaborato n°**103C – Carta Geologica in scala 1:10.000**):

UNITA' TARDO QUATERNARIE

- DTR - Detrito di versante materiale per lo più sabbioso mediamente cementato; ciottoli di varia composizione in matrice terroso-argillosa
- Depositi Alluvionali: costituiti da ghiaie clasto-sostenute con matrice sabbiosa e intercalazioni di lenti sabbioso-argillose, sospesi rispetto ai principali impluvi presenti più a nord del parco eolico (Pleistocene Superiore – Olocene).
- COL - Coltre eluvio-colluviale: limi argillosi scuri con inclusi clasti calcareo-arenacei.

UNITA' QUATERNARIE DEL TAVOLIERE DELLA PUGLIA

- TIA - Depositi di conoide alluvionale: Ghiaie con spessori metrici poco cementate. Nello strato talora presenti lenti di sabbia fine e limo.
- TLP - Depositi terrazzati del VI ordine: Sabbie fini alternate a limi stratificati.
- TGF - Depositi terrazzati del V ordine: Limi argillosi laminati con intercalazioni sabbioso limose.

- MLM - Depositi terrazzati del IV ordine: Sabbie calcarenitiche e sabbie limose di ambiente di spiaggia massivi ed irregolarmente cementati. Nello strato possono rinvenirsi corpi conglomeratici.
- TVP - Depositi terrazzati del II ordine: Ghiaie poligeniche ed eterometriche in matrice sabbiosa e sabbie debolmente stratificate.
- TLC2 - Depositi terrazzati del I ordine: Ghiaie eterometriche poco cementate e limi sabbiosi alternati a conglomerati in matrice sabbiosa
- TLC1 - Depositi terrazzati del I ordine: Sabbie limose biancastre stratificate. Verso l'alto si associano a strati ghiaiosi.

UNITA' PLEISTOCENICHE DELLA FOSSA BRADANICA

- ASP - Argille Subappennine: Limi argillosi grigi con intercalazioni limoso-sabbiose al tetto.

CENNI GEOMORFOLOGICI E IDROGEOLOGICI

Tutta l'area in esame in cui è ubicato l'impianto eolico, si individua all'esterno della catena appenninica, in un contesto di bassa collina ed aree con quote del terreno comprese tra il valore massimo di circa 313 m s.l.m. in loc. Montecalvello fino a circa 210 m slm verso N in prossimità del torrente Celone. In generale la pendenza media dell'area in esame varia tra 1 -3%.

Pertanto il territorio mostra un assetto morfologico dolcemente ondulato rappresentato da pianori posti a varie quote ed incisi da linee di impluvio secondarie afferenti ai vari corsi d'acqua che scorrono all'incirca in direzione ovest-est.

Gli impluvi secondari, a carattere stagionale e saltuario, attraversano l'area in direzione NW-SW.

Il differente grado di erodibilità che esiste tra i sedimenti argillosi ed i materiali di copertura, a granulometria maggiore, determina l'esistenza, verso l'alto, di gradini subverticali abbastanza pronunciati, in corrispondenza degli affioramenti dei sedimenti sabbioso-ghiaiosi.

Al di sotto del gradino morfologico, segue, nei sedimenti argillosi, una scarpata meno ripida, localmente franosa e calanchiva.

In corrispondenza delle porzioni di territorio in cui la copertura superficiale risulta assente perché erosa, il paesaggio è contraddistinto da una morfologia dolce, con colli e dossi poco elevati.

Altro elemento morfologico riconosciuto nell'area in esame è rappresentato dagli orli di terrazzamento dei depositi alluvionali, che si presentano molto pronunciato soprattutto per i ripiani più recenti. In corrispondenza dei ripiani più antichi, invece, i terrazzamenti sono meno differenziati ed hanno uno sviluppo asimmetrico rispetto all'asse vallivo

Sia sul sito oggetto di realizzazione dell'impianto eolico che in prossimità di esso, non sono presenti componenti geomorfologiche o idrologiche di rilievo (vedasi elaborato n°**103D – Carta Geomorfologica in scala 1:10.000**).

Idrogeologia

Questa porzione settentrionale della provincia foggiana è incisa da tre importanti corsi d'acqua ad andamento parallelo: il Vulgano, il Celone ed il Cervaro, e da una serie di affluenti che costituiscono una rete idrografica secondaria attiva generalmente solo nella stagione piovosa.

In generale il reticolo idrografico è caratterizzato dalla presenza vasti bacini ma con linee di impluvio a basso grado di gerarchizzazione che si generano dai rilievi di origine appenninica. I profili delle sezioni trasversali di queste incisioni sono piuttosto profondi.

Si tratta di corsi d'acqua a carattere torrentizio, con portate minime per la maggior parte dei giorni dell'anno, ma che in occasione di eventi piovosi di un determinata entità e durata sono in grado di convogliare notevoli quantità d'acqua e di trasporto solido.

Più nel dettaglio l'area in esame è solcata da aste torrentizie tributarie del torrente Celone e del torrente Sannoro; la natura prevalentemente clastico-sedimentaria delle rocce affioranti e la prevalenza delle facies o della componente argillosa delle stesse, determina profili morfologici generalmente morbidi. Lungo i fianchi di alcune incisioni vallive si osservano morfologie accidentate, per la presenza di litotipi meno erodibili.

Con riferimento all'idrogeologia nel territorio analizzato si rinvencono litologie granulari quali sabbie e conglomerati di età Pliocene superiore – Olocene e depositi alluvionali antichi terrazzati posti a quote diverse rispetto all'alveo dei torrenti attuali.

I depositi continentali affioranti sono caratterizzati da una permeabilità primaria per porosità, essa è in stretta dipendenza con la granulometria, il grado di classazione del deposito e la distribuzione verticale ed areale delle intercalazioni lentiformi prevalentemente limo-argillose. Per tali fattori la permeabilità dei litotipi investigati risulta molto variabile da punto a punto sia in senso orizzontale che verticale. Il coefficiente di permeabilità è compreso tra valori medi e bassi; i valori maggiori, stimati in 10^{-2} - 10^{-4} cm/s, sono attribuibili ai banchi sabbioso-ghiaioso-ciottolosi, mentre quelli inferiori stimati in 10^{-4} - 10^{-7} cm/s, si riferiscono agli intervalli limo-sabbioso-argillosi o a livelli di sabbie e ghiaie più cementate.

Volendo fare una classificazione delle principali unità idrogeologiche presenti nel territorio in esame possiamo distinguere le seguenti (visibili anche nell'elaborato n°**103E – Carta Idrogeologica in scala 1:10.000**):

- Unità idrogeologica a prevalente componente argillosa (praticamente impermeabile).
- Unità idrogeologica costituita da depositi sciolti a prevalente componente pelitica, (permeabilità bassa).
- Unità idrogeologica a prevalente componente limoso-sabbiosa e/o arenitica (permeabilità da medio-bassa a medio elevata).
- Unità idrogeologica a prevalente componente ruditica (permeabilità da medio-bassa a medio elevata).

- Unità idrogeologica costituita da depositi sciolti a prevalente componente sabbioso – ghiaiosa (permeabilità elevata).

Modello Idrogeologico

L'area in esame appartiene all'unità idrogeologica del Tavoliere, delimitata inferiormente dal corso del fiume Cervaro, lateralmente dal mare Adriatico e dall'arco collinare dell'Appennino Dauno, superiormente dal corso del torrente Candelaro.

Gli affioramenti principali sono costituiti da depositi quaternari in facies alluvionale e lacustre e, subordinatamente nelle zone marginali occidentali da argille grigio-azzurre della serie pliocenico-calabriana.

Sinteticamente, la successione litologica riconosciuta è costituita a partire dal basso da:

- basamento impermeabile di argille azzurre;
- ciclo sedimentario plio-calabriano;
- secondo ciclo calabriano di argille sabbiose grigio-azzurre e sabbie;
- depositi discontinui quaternari di conglomerati.

Sulla base della successione litostratigrafica appena descritta, che vede l'alternarsi di terreni a differente permeabilità, caratteristica dell'area è una duplice circolazione idrica sotterranea rappresentata da una falda profonda e da una falda superficiale.

La falda profonda si rinviene a notevoli profondità e non soggetta ad interazioni con le opere in progetto, infatti è posta al di sotto delle argille plioceniche, ed all'interno del basamento carbonatico mesozoico permeabile per fessurazione e carsismo. La falda scorre in pressione e le acque sono caratterizzate da elevato contenuto salino a causa dei frequenti processi di contaminazione e della scarsa alimentazione

La falda superficiale, di potenzialità molto variabile da zona a zona, circola nei depositi sabbioso-ghiaiosi quaternari ed è delimitata inferiormente dai depositi argillosi impermeabili. La potenza di questo acquifero risulta molto variabile, ma comunque dell'ordine delle diverse decine di metri.

La falda circola generalmente a pelo libero e solo localmente, laddove ricoperta da depositi sabbio-limo-argillosi, da scarsamente a del tutto impermeabili di spessore generalmente superiore alla decina di metri, in pressione. Laddove la falda circola a pelo libero lo spessore dei depositi di copertura si aggira intorno ai 5 – 10 m.

La ricostruzione della circolazione idrica sotterranea dell'area in studio, presente nei terreni sabbioso-conglomeratici di copertura, è stata desunta dai dati stratigrafici e idrogeologici di pozzi e sondaggi censiti nel territorio in esame unitamente ai dati desunti da studi professionali eseguiti nello stesso territorio comunale.

L'acquifero sabbioso-ghiaioso risulta condizionato sia dall'assetto strutturale che da quello geomorfologico e dalle variazioni climatiche stagionali. La distribuzione dei carichi piezometrici risulta fortemente condizionata dalla morfologia del substrato impermeabile, costituito dai depositi argillosi grigio-azzurre.

Le precipitazioni atmosferiche e le condizioni giaciture dei terreni costituiscono fattori determinanti per la formazione della falda acquifera sotterranea.

Data l'inclinazione della formazione argillosa la direzione preferenziale di scorrimento delle acque sotterranee dovrebbe avvenire in direzione nord-orientale.

I depositi interessati dalla costruzione del parco eolico rientrano per la gran parte nei sedimenti caratterizzati da permeabilità da media ad alta.

Verifiche con il Piano di Tutela delle Acque

La Regione Puglia, con Delibera n° 230 del 20/10/2009, ha adottato il Piano di Tutela delle Acque ai sensi dell'articolo 121 del Decreto legislativo n. 152/2006, strumento finalizzato al raggiungimento degli obiettivi di qualità dei corpi idrici e, più in generale, alla protezione dell'intero sistema idrico superficiale e sotterraneo.

Con tale Piano vengono adottate alcune misure di salvaguardia distinte in:

- Misure di Tutela quali-quantitativa dei corpi idrici sotterranei;
- Misure di salvaguardia per le zone di protezione speciale idrogeologica;
- Misure integrative (area di rispetto del canale principale dell'Acquedotto pugliese).

Si tratta di prescrizioni a carattere immediatamente vincolanti per le Amministrazioni, per gli Enti Pubblici, nonché per i soggetti privati.

Con riferimento alle cartografie allegare al Piano, l'area di indagine non ricade in "zone vulnerabili da nitrati".

Inoltre il perseguimento dell'obiettivo di Tutela quali-quantitativa dei corpi idrici, ha portato all'individuazione di particolari perimetrazioni a Protezione Speciale Idrogeologica, il cui obiettivo è quello di ridurre, mitigare e regolamentare le attività antropiche che si svolgono o che si potranno svolgere in tali aree.

Sulla base di tali prescrizioni è possibile affermare che l'area di impianto non ricade in aree di Protezione Speciale Idrogeologica (vedasi Fig.6).

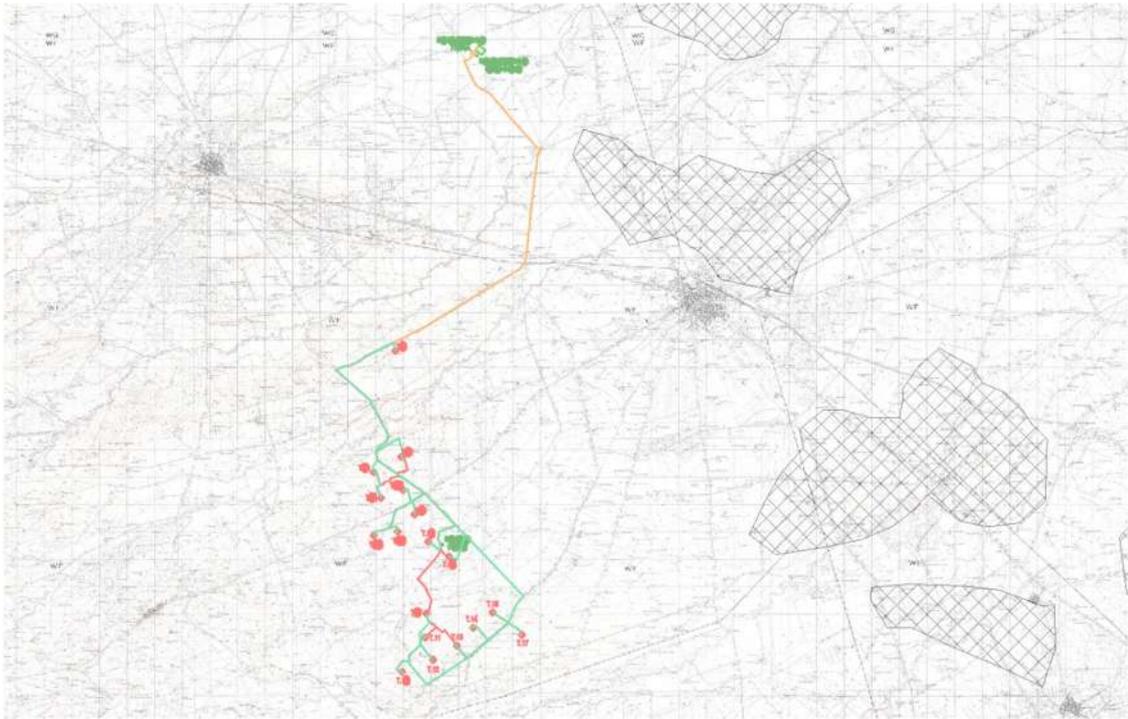


Fig.6: Stralcio cartografia Piano Tutela Acque

(http://www.sit.puglia.it/portal/portale_pianificazione_regionale/Piano%20di%20Tutella%20delle%20Acque)

INDAGINI GEOGNOSTICHE

Per la definizione della litostratigrafia dell'area d'interesse si è fatto riferimento a dati di letteratura e a dati provenienti dalla consultazione di indagini dirette ed indirette eseguite preliminarmente nel territorio in cui è ubicato l'impianto eolico in progetto.

In particolare trattasi di una campagna di indagini geognostiche tenutasi nel Luglio del 2022 presso l'area in esame in cui sono stati eseguiti:

- n°4 sondaggi meccanici, a rotazione e a carotaggio continuo, alla profondità di max di 20 m
 - n° 12 prove penetrometriche dinamiche tipo SPT nei fori di sondaggio;
 - n° 4 prelievi di campioni rimaneggiati e n°2 prelievi indisturbati;
 - n° 3 installazioni di piezometri a tubo aperto, alla profondità di 20 m, per complessivi 60 m;
- n° 3 analisi geotecniche di laboratorio eseguite sui campioni di terreno prelevati nel corso dei sondaggi.
- n° 4 profili sismici a rifrazione
- n° 4 profili MASW (MASW1- MASW2 - MASW 3 – MASW 4)

Di seguito saranno sintetizzate le indagini geotecniche consultate con la finalità di definire un modello litotecnico del sottosuolo in esame.

Per i dettagli sull'esecuzione delle indagini e sulla documentazione fotografica si rimanda all'elaborato allegato n°**103A - Indagini consultate** mentre per l'ubicazione si veda l'elaborato n°**103B – Carta Ubicazione Indagini in scala 1:10.000.**

Sondaggi meccanici

Come riportato sono state consultate le stratigrafie di n°4 sondaggi eseguiti nell'ambito del sito oggetto d'intervento. Per ulteriori dettagli sulle colonne stratigrafiche si rimanda all'elaborato allegato n°103° - Indagini consultate.

Di seguito se ne riporta una sintesi in forma tabellare:

SONDAGGIO S1	
Profondità	Descrizione litologica
0.0 – 0.5	Terreno vegetale e limi scuri
0.5 – 7.5	Limo sabbioso giallastro con livelli di ghiaie eterometriche
7.5 – 20.0	Alternanze di ghiaie in matrice sabbioso limosa e limi sabbiosi

Tab.2a - stratigrafia sondaggio S1

SONDAGGIO S2	
Profondità	Descrizione litologica
0.0 – 0.6	Terreno vegetale e limi scuri
0.6 – 3.5	Limo sabbioso giallastro con trovanti lapidei
3.5 – 20.0	Alternanze di ghiaie in matrice sabbioso limosa e limi sabbiosi

Tab.2b - stratigrafia sondaggio S2

SONDAGGIO S3	
Profondità	Descrizione litologica
0.0 – 0.5	Terreno vegetale e limi scuri
0.5 – 6.0	Limo sabbioso giallastro con ghiaia
6.0 – 8.0	Limo sabbioso
8.0 – 20.0	Alternanza di sabbie limose con ghiaia eterometrica

Tab.2c - stratigrafia sondaggio S3

SONDAGGIO S4	
Profondità	Descrizione litologica
0.0 – 0.8	Terreno vegetale e limi scuri
0.8 – 3.5	Limo sabbioso giallastro con ghiaia grossolana
3.5 – 20.0	Alternanza di sabbie limose con ghiaia eterometrica

Tab.2d - stratigrafia sondaggio S4

Prove penetrometriche

Nei fori di sondaggio sono state effettuate 22 prove penetrometriche dinamiche (S.P.T.), utilizzando attrezzatura standard della NENZI (MI), costituita da campionatore tipo Raymond (lung.711 mm, $\phi_e=50.8$ mm $\phi_i=34.9$ mm), dispositivo di guida e di sganciamento automatico del maglio, di peso 63.5 kg (+0.5 kg), con corsa a caduta libera di 0.76 m (+0.02 m). La percussione è stata effettuata secondo le modalità delle norme ASTM n° D 1586/67.

I risultati delle prove, riportati sulle stratigrafie dei sondaggi, hanno fornito i seguenti risultati della resistenza alla penetrazione (numero colpi/305 mm - NSPT), necessari alla penetrazione utile di 30.48 cm, misurati separatamente per tratti 15.24 cm, ciascuno d'approfondimento. Sono inoltre riportati, in forma tabellare la consistenza del terreno in correlazione con il valore N_{spt} Ed.

Sigla sondaggio	Prof. (m)	N SPT (colpi/piede)	Consistenza
S1	4.5	(35;)	Consistenta
S1	9.0	(45-Rif)	Dura
S1	15.0	(35;48-Rif))	Dura
S2	5.5	(33; Rif)	Consistente
S2	10.0	(38-Rif)	Dura
S2	16.0	(46; Rif)	Dura
S3	3.5	(32;24; Rif)	Dura
S3	9.0	(33-Rif)	Molto Consistente
S3	15.0	(23; 34; Rif)	Dura
S4	4.0	(34)	Consistente
S4	14.0	(32; Rif)	Dura
S4	18.0	(Rif)	Molto Consistente

Tab.3a – sintesi prove penetrometriche SPT

Prelievo di campioni

Durante le operazioni di sondaggio, compatibilmente alla natura dei terreni, sono stati effettuati alcuni tentativi di prelievo campioni indisturbati, mediante campionatore a pareti sottili tipo Shelby.

La presenza di depositi ghiaiosi e sabbiosi molto superficiali e l'elevata consistenza dei suoli incoerenti sottostanti (depositi prevalentemente sabbioso-ghiaiosi con intercalati livelli limosi, resistenza con vane test tascabile $> -200 \text{ KN/m}^2 = 2.0 \text{ kg/cm}^2$), non ha consentito l'infissione parziale in molti casi nel terreno della fustella, perciò si è proceduto, laddove necessario, all'immediata conservazione, di porzioni di carote appena estratte, in buste di plastica opportunamente sigillate con nastro adesivo.

Sono stati pertanto prelevati i seguenti campioni disturbati:

Sigla sondaggio	Sigla Campione	Profondità (m)
S1	S1C1	4.0
S2	S2 c1	5.0
S4	S4c1	3.5

Tab.3b – sintesi prelievo campioni

Installazione piezometri

I fori di sondaggio S1 - S2 - S4 sono stati attrezzati con piezometro a tubo aperto, della lunghezza di complessiva 60 m, utilizzando tubi in PVC, macrofessurati, del diametro 60 mm. La parte iniziale del foro è stata isolata mediante la creazione di un tappo impermeabile ottenuto con miscela di bentonite e cemento. Il boccaforo è stato protetto

con chiusino e lucchetto. Al termine delle perforazioni, anche dove non sono stati posti i piezometri, atteso un tempo sufficiente per il ristabilirsi delle condizioni d'equilibrio idrico sotterraneo, è stato misurato il livello piezometrico della falda idrica sotterranea. Le letture, effettuate con freatimetro elettrico munito d'avvisatore acustico (OTR), in basso, sono riportate nella seguente tabella:

Piezometro (n°)	Sondaggio	Quota (m s.l.m)	Profondità (m)	falda prof (m)
1	S1	215	20	16
2	S2	275	20	18.5
	S3	235	20	ass
4	S4	253	20	ass

Tab.3c – schema installazione piezometri

Così come prevedibile, data la natura dei litotipi presenti nel sottosuolo dell'area indagata, non è stato rinvenuto un unico livello idrico ma l'acqua scorre nel sottosuolo lì dove trova vie preferenziali di deflusso in corrispondenza dei termini a maggiore permeabilità.

Prove geotecniche di laboratorio

Sui campioni disturbati, sono state effettuate, in ossequio alle normative vigenti (A.S.T.M., U.N.I., A.A.S.H.T.O, C.N.R. e B.S.),

- n° 3 analisi granulometriche per setacciatura e sedimentazione
- limiti di Atterberg, peso specifico dei grani, peso unitario secco, contenuto naturale di acqua, indice dei vuoti, grado di saturazione.

I risultati ottenuti sono riportati in grafici e tabelle allegate alla presente

Id Sond.	Ghiaia (%)	Sabbia (%)	Limo (%)	Argilla (%)	Descrizione granulometrica
S1-c1	52	22	18	8	Ghiaia sabbiosa limosa
S2-c1	9	31	34	26	Limo con sabbia e argilla
S4-c1	40	34	18	8	Ghiaia sabbiosa limosa

Tab.4a – Granulometria dei campioni

Id Sond.	γ_s (kN/mc)	γ_{nat} (kN/mc)	W (%)	LL (%)	LP (%)	Ip (%)	Ic (%)
S1-c1	26.428	18.72	13.39	-	-	-	-
S2-c1	26.363	18.49	15.16	38	19	19	1.21
S4-c1	26.341	23.35	6.80	31	15	16	1.49

Tab.4b – Proprietà fisiche

Prove sismiche MASW

Le prove sismiche tipo MASW consultate sono state eseguite presso i luoghi d'interesse progettuale nell'Agosto 2022.

Dall'andamento delle velocità dei vari profili sismici in onda S si riscontrano dei valori di velocità medio-alti sin dal piano campagna ad eccezione dell'ultima prova (MASW4), segno che gli strati superficiali si presentano già con un discreto grado di addensamento. In tutte le prove ad eccezione dell'ultima si riscontra una piccola inversione di velocità tra il primo il secondo ed il terzo sismostrato dopodiché la velocità aumenta molto lievemente con la profondità senza mai raggiungere il bedrock sismico.

Nell'ultima prova MASW (MASW4), l'andamento risulta abbastanza regolare con aumento lineare delle onde S proporzionalmente alla profondità, segno dell'aumentare del grado di addensamento dei terreni nel sottosuolo.

In quest'ultima prova viene individuato il bedrock sismico ad una profondità di 27.42 m ($V_s = 830.7$ m/sec).

Tutte le prove MASW hanno dato una categoria di suolo di fondazione ai sensi delle NTC 2018 di tipo B.

I risultati ottenuti sono riportati in grafici e tabelle allegate alla presente

Sismostrato	Profondità [m]	Spessore [m]	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1	4.45	4.45	751.1	460.0
2	9.47	5.02	712.8	436.5
3	15.11	5.63	713.1	436.7
4	21.99	6.89	717.1	439.1
5	30.13	8.14	719.0	440.3
6	oo	oo	732.1	448.3

Tab.5a: MASW S1 SEGEZIA (WTG03): LAT: 41°24'33.2"N LONG: 15°24'16.3"E

Sismostrato	Profondità [m]	Spessore [m]	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1	4.33	4.33	786.0	481.3
2	9.83	5.50	783.6	479.9
3	16.64	6.81	782.3	479.0
4	23.51	6.87	783.2	479.6

Tab. 5b MASW S2 SEGEZIA(WTG 11) LAT: 41°21'07.5"N LONG: 15°25'38.9"E

Sismostrato	Profondità [m]	Spessore [m]	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1	4.95	4.95	791.5	484.7
2	10.94	5.99	810.0	496.0
3	17.83	6.89	801.2	490.6
4	25.63	7.80	802.1	491.2
5	34.35	8.72	801.6	490.9
6	∞	∞	887.4	543.4

Tab. 5c MASW S3 SEGEZIA (WTG14) LAT: 41°21'23.57"N LONG: 15°26'50.54"E

Sismostrato	Profondità [m]	Spessore [m]	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1	3.00	3.00	412.2	252.4
2	7.00	4.00	895.9	548.6
3	12.01	5.01	1047.2	641.3
4	18.43	6.43	1229.2	752.7
5	27.42	8.99	1356.5	830.7
6	∞	∞	1370.0	839.0

Tab. 5d MASW S4 SEGEZIA LAT: 41°22'48.2"N LONG: 15°26'04.3"E

MODELLO GEOLOGICO E CARATTERI GEOTECNICI

In relazione ai lavori previsti per la realizzazione del Parco Eolico si dà evidenza sull'andamento degli spessori delle unità geolitologiche presenti nei luoghi d'interesse che di alcune delle relative caratteristiche fisico-meccaniche dei terreni costituenti dette unità ed interessati dalle opere in progetto.

In particolare la geologia del territorio come già precedentemente riportato mostra un substrato geologico pelitico appartenente all'unità delle Argille Subappennine in parte ricoperto a varie altezze da depositi terrazzati di vario ordine.

Nel caso specifico l'impianto eolico interesserà depositi terrazzati del I ordine ricoperti in alcuni casi da sottili spessori di coltre eluvio colluviale e da depositi di conoide alluvionale.

Una schematizzazione generale del modello geologico del sottosuolo è sintetizzata in Tab.6 a partire dalle unità più superficiali:

Unità geologica	Descrizione	Spessore (m)	Affiorante in sito
Coltre eluvio colluviale	<i>Limi argillosi scuri con inclusi clasti calcareo-arenacei</i>	1 - 3	SI
Conoide alluvionale	<i>Ghiaie con spessori metrici poco cementate. Nello strato talora presenti lenti di sabbia fine e limo</i>	5 - 15	SI
Depositi terrazzati I ordine	<i>Ghiaie eterometriche poco cementate e limi sabbiosi alternati a conglomerati in matrice sabbiosa</i>	5 - 25	SI
Argille Subappennine	<i>Limi argillosi grigi con intercalazioni limoso-sabbiose al tetto.</i>	-	NO

Tab. 6a : modello geologico del sito studiato

Per un dettaglio sull'andamento dei limiti litologici nel sottosuolo del sito oggetto d'intervento sono stati tracciati n°4 profili geologici (Profilo A-A', Profilo B-B', Profilo C-C' e Profilo D-D') della lunghezza di 2.5 km ciascuno che abbracciano in gran parte l'impianto eolico (vedasi elaborato n°**103 F – Profilo geologici in scala 1:5.000**)

Da un'analisi dei profili si riscontra che la maggior parte degli aerogeneratori fondano sui depositi alluvionali terrazzati del I ordine in particolare

- il profilo A-A' mostra che gli impianti T03, T04 e T09 fondano su depositi alluvionali terrazzati del I ordine per uno spessore variabile da 15 a 30 metri; più in profondità sono presenti le argille plio-pleistoceniche
- il profilo B-B' mostra che l'impianto T05 fonda su depositi alluvionali terrazzati del I ordine per uno spessore medio di 15 metri mentre le torri T10 e T018 poggiano sui depositi di conoide alluvionale che mostrano per il caso specifico uno spessore variabile da 5 a 15 metri; più in profondità sono presenti i terrazzi del I ordine ed

ancora più in profondità le argille plio-pleistoceniche.

- Il profilo C-C' mostra che gli impianti T15, T17 fondano su depositi alluvionali terrazzati del I ordine per uno spessore variabile da 10 a 15 metri; più in profondità sono presenti le argille plio-pleistoceniche;
- Il profilo D-D' mostra che l'impianto T12 fonda su depositi alluvionali terrazzati del I ordine per uno spessore variabile da 13 a 15 metri mentre gli impianti T13 e T14 poggiano su coltre eluvio-colluviale per uno spessore medio di 1-3 metri. A seguire in profondità è presente uno strato appartenente ai depositi alluvionali terrazzati del I ordine per uno spessore variabile da 15 a 25 metri; più in profondità sono presenti i terrazzi del I ordine ed ancora più in profondità le argille plio-pleistoceniche.

Caratteristiche fisico-meccaniche dei terreni

La caratterizzazione fisico-meccanica dei terreni mostrati nel modello geologico del sito è stata eseguita ragionevolmente sia sulla base di dati bibliografici che dai campioni prelevati dai sondaggi consultati.

Per tale ragione, nel seguito si riporta una parametrizzazione geotecnica dei suddetti lio tipi ricavata dall'esame dei risultati di indagini eseguite anche su campioni di terreni, della stessa tipologia, prelevati nel corso di campagne di indagini eseguite in siti adiacenti a quello in esame, nello stesso territorio comunale, unitamente ad informazioni bibliografiche disponibili.

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

Unità litotecnica 1 – Coltre eluvio-colluviale

Si tratta di terreni con caratteristiche geotecniche medio basse. Purtroppo non si hanno dati puntuali relativi a questa tipologia di litologie che sono caratterizzate da materiali fini che presentano una certa coesione; la struttura è caotica con inclusi clastici per cui gli angoli di resistenza al taglio saranno bassi.

I principali parametri fisico-meccanici possono essere i seguenti:

Parametri fisico-meccanici	Valore assunto
peso volume naturale	18.0 – 18.5 kN/mc
γ' peso volume saturo	19.0 kN/mc
c' coesione	5 – 10 kPa
ϕ - angolo di resistenza al taglio	20° - 21°
K costante di Winkler	2 – 3 kg /cmc

Tab. 7 : parametri geotecnici relativi alla frazione sabbiosa dell'unità litotecnica 3

Unità litotecnica 2 - Depositi di conoide alluvionale

Trattandosi di materiali in prevalenza ghiaiosi e poco cementati risulta altamente improbabile prelevare campioni indisturbati o eseguire prove penetrometriche su tali litologie. Il deposito risulta poco coerente, la coesione gli viene data da livelli fini di sabbia e limo presenti nell'unità.

I principali parametri fisico-meccanici possono essere i seguenti:

Parametri fisico-meccanici	Valore assunto
peso volume naturale	17.6 – 18.6 kN/mc
γ' peso volume saturo	17.6 – 19.6 kN/mc
c' coesione	0 – 5 kPa
ϕ - angolo di resistenza al taglio	31°-33°
Densità relativa	70-80%

Tab. 8 : parametri geotecnici relativi alla frazione sabbiosa dell'unità litotecnica 3

Unità litotecnica 3 - Depositi alluvionali terrazzati I ordine

In tali materiali risulta estremamente complesso il prelievo di campioni indisturbati ed è altrettanto improbabile eseguire qualunque tipo di prova penetrometrica, per cui la seguente parametrizzazione geotecnica fa riferimento ai risultati di prove SPT in sabbia e/o a prove geotecniche eseguite su campioni a prevalente componente sabbiosa, prelevati nell'ambito di tale unità e ricavati indirettamente con correlazioni empiriche.

I caratteri geotecnici della frazione sabbiosa-ghiaiosa sono quelli di un deposito non coesivo (sabbia media e ghiaia arrotondata, ben assortita, densa) di bassa compressibilità e poco deformabile; la permeabilità è da media ad alta.

I caratteri geotecnici della frazione argillosa sono quelli di un deposito coesivo: limo argilloso-sabbioso, di consistenza elevata, di medio-bassa compressibilità, impermeabile e/o talora permeabile per fessurazione.

I principali parametri fisico meccanici da seguire sono indicati nelle seguenti tabelle:

Parametri fisico-meccanici	Valore assunto
peso volume naturale	18.6 – 19.6 kN/mc
γ' peso volume saturo	19.6 – 21 kN/mc
c' coesione	0,1-0,5 kPa
ϕ - angolo di resistenza al taglio	30°
M - modulo edometrico	4000-6000 g/cm ²
K costante di Winkler	10 kg/cm ³

Tab. 9a : parametri geotecnici relativi alla frazione sabbiosa dell'unità litotecnica 3

Parametro geotecnico	Valore assunto
γ peso volume	16.6 – 17.6 kN/mc
c' coesione	10 – 15 kPa
ϕ angolo di resistenza al taglio	15°-20°
W contenuto naturale d'acqua	20-26%
LL limite liquido	40-70%
M -modulo edometrico	500-600 g/cm ²
K costante di Winkler	8-10 kg/cm ³

Tab. 9b : parametri geotecnici relativi alla frazione fine limoso argillosa dell'unità litotecnica 3

Unità litotecnica 4 – Argille plio-pleistoceniche

Costituiscono il substrato geologico del sito e presentano uno spessore rilevante. Dal punto di vista litologico, si tratta di argille marnose, siltoso-sabbiose, grigio-azzurre, con talvolta intercalazione sabbiose, più frequenti nella parte alta della formazione, che assumono una colorazione giallastra in superficie per alterazione.

Sono depositi coesivi, riferibili ad argilla limosa, a consistenza elevata, poco compressibile ed impermeabile. La tabella seguente sintetizza i valori da assegnare ai principali parametri geotecnici.

Parametro geotecnico	Valore assunto
γ peso volume	18.5 – 19.0 kN/mc
c' coesione	10 - 20 kPa
ϕ angolo di resistenza al taglio	25°
W contenuto naturale d'acqua	20-26%
LL limite liquido	45-60%
M modulo edometrico	700-1500 g/cm ²

Tab.10: parametri geotecnici relativi alla frazione fine limoso argillosa dell'unità litotecnica 4

CARATTERI SISMICI DEL TERRITORIO

Le strutture tettoniche che caratterizzano l'area di indagine localizzata nella porzione esterna della catena appenninica, dove affiorano i depositi pliocenici, sono rappresentate da alti e bassi costituiti da pieghe e pieghe-faglie, a vergenza adriatica, che sono il risultato delle fasi tettoniche del Miocene superiore, della parte bassa del Piacenziano nonché del Pleistocene. In generale, i terreni del substrato risultano maggiormente tettonizzati e presentano strutture più complesse. Conseguenza diretta dei disturbi tettonici sono le intense fratturazioni che si presentano nei terreni calcarenitici

Classificazione sismica dei territori comunali

In seguito alla introduzione della normativa DPCM 20.03.03 n. 3274 – Dm 17.01.2018 la sismicità adottata per i comuni di Lucera e di Troia è Classificata come Zona 2.

I dati sismici possono essere così riepilogati:

CODICE ISTAT 2001	Classificazione 2003-2018
Lucera - 1607 1028	Zona 2
Troia - 1607 1058	Zona 2
Foggia - 160 71024	Zona 2

Tab.11: parametri geotecnici relativi alla frazione fine limoso argillosa dell'unità litotecnica 4

In base alla mappa della zonazione sismogenetica ZS9 di figura 7 redatta dall'INGV (2004) nell'Appennino Meridionale si evince che il territorio d'interesse è ubicato tra due fasce sismogenetiche la 924 e la 925 caratterizzate da movimenti trascorrenti.

Il database macrosismico, utilizzato nel 2004 per la compilazione del catalogo CPTI04 (Gruppo di lavoro CPTI, 2004), permette di visionare la storia sismica delle località italiane presenti almeno tre volte in DBMI04 (5325 località in totale).

Le informazioni contenute nel database hanno consentito una prima individuazione dei "centri sismici" rilevanti per il sito in esame e delle relative potenzialità in termini di intensità epicentrali storicamente documentate.

Di seguito in Figura 8a e 8b viene riportato graficamente (anni / intensità massima) l'elenco degli eventi registrati nel territorio di Lucera, di Troia e di Foggia negli ultimi 300 anni.

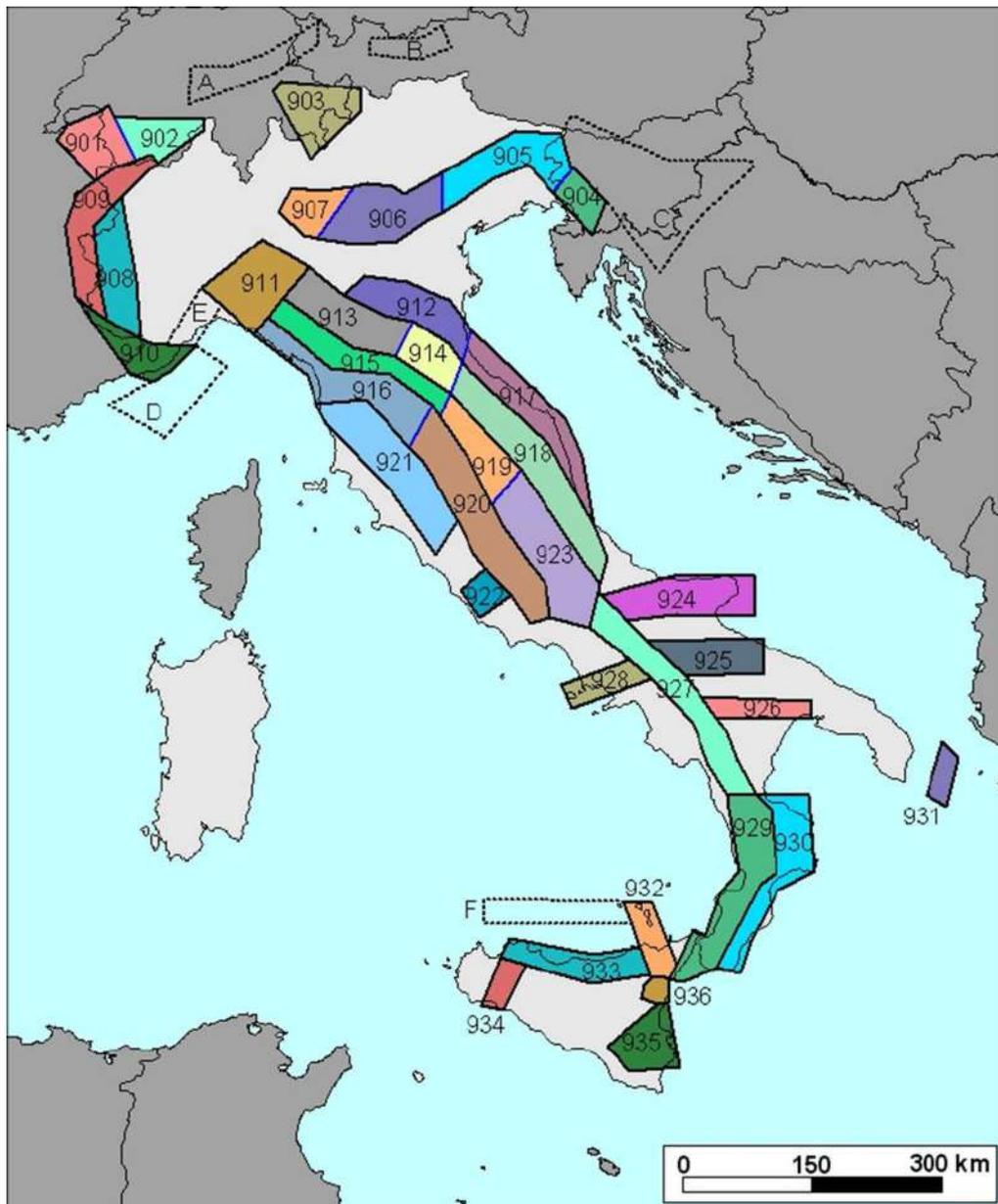


Fig.7 - Zonazione sismogenetica ZS9

(tratto da Zonazione sismogenetica ZS9 - App.2 al Rapporto Conclusivo a cura di C. Meletti e G. Valensise (marzo 2004) con contributi di R. Azzaro, S. Barba, R. Basili, F. Galadini, P. Gasperini, M. Stucchi e G. Vannucci

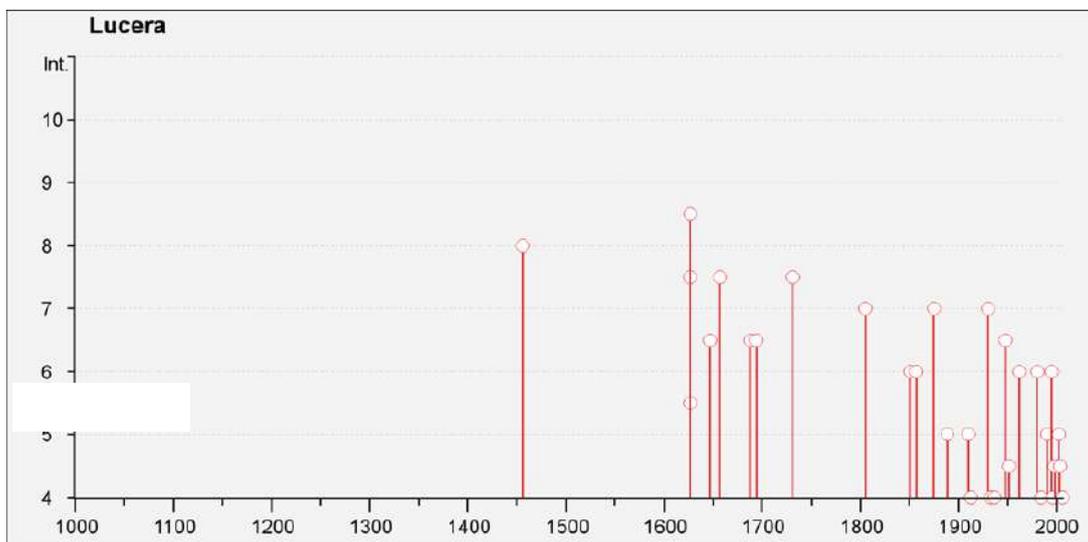


Fig.8a - elenco eventi nel territorio di Lucera (<https://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/>)

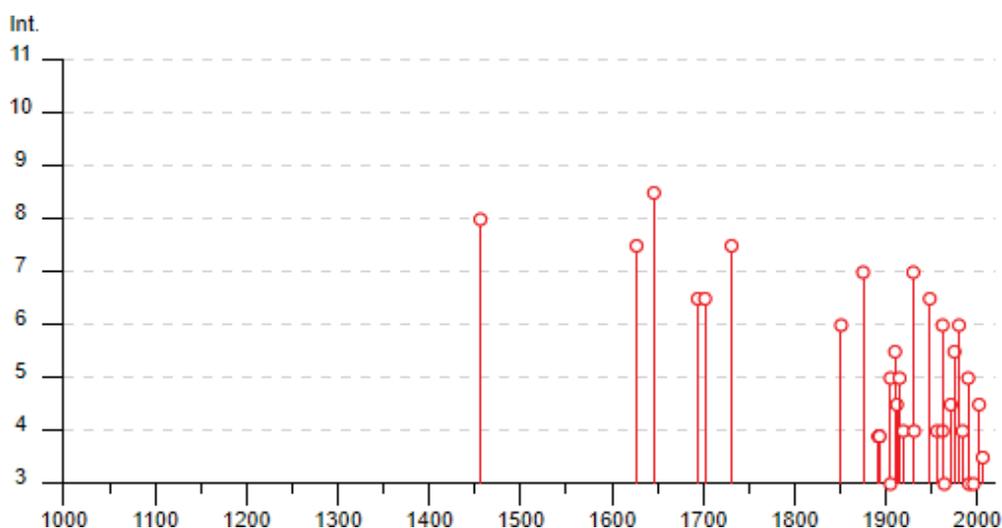


Fig.8b - elenco eventi nel territorio di Troia (<https://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/>)

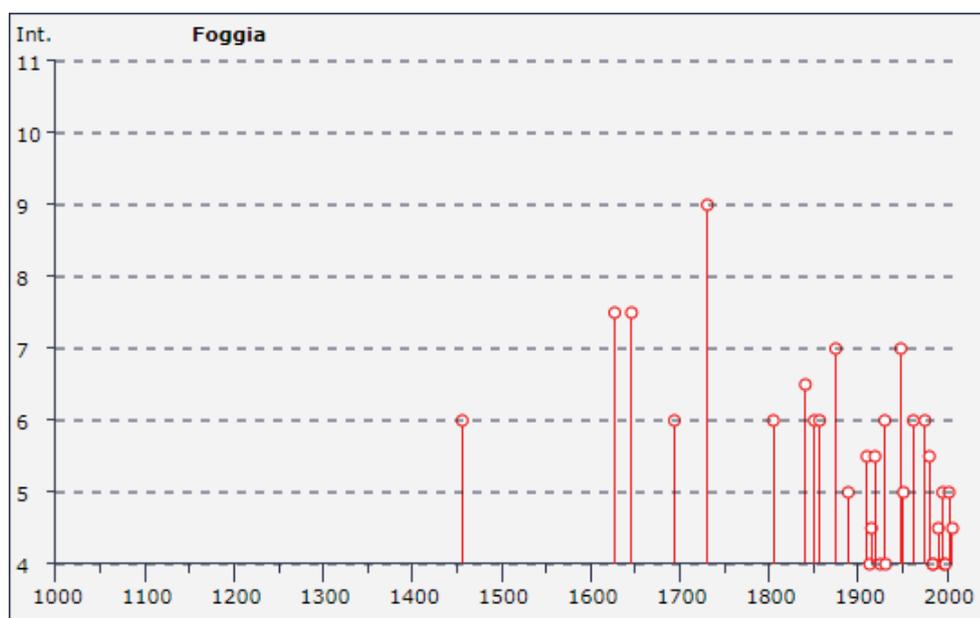


Fig.8c - elenco eventi nel territorio di Foggia (<https://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/>)

Nell'ottica di prevenzione del rischio sismico per gli effetti indiretti che potrebbero riattivare i fenomeni di dissesto, è stata effettuata una valutazione degli allineamenti tettonici che possono rappresentare sorgenti sismogenetiche.

In particolare si è fatto riferimento alle sorgenti sismogenetiche censite nel progetto ITHACA (*Italy Hazard from Capable faults*), che prevede un database per la raccolta e la facile consultazione di tutte le informazioni disponibili riguardo le strutture tettoniche attive in Italia, con particolare attenzione ai processi tettonici che potrebbero generare rischi naturali. Il progetto si occupa in modo particolare delle faglie capaci, definite come faglie che potenzialmente possono creare deformazione in superficie.

Nel caso specifico l'area di interesse si inserisce ad una lineazione di faglia diretta posta

a circa 10 km in direzione Nord-Ovest (vedasi Fig. 8d) mentre nella fascia esterna dell'Appennino l'area d'interesse si individua ad una distanza dai principali allineamenti tettonici, che risultano con meccanismo di faglie dirette, pari a 35 km verso Nord e 15 Km verso Sud (vedasi Fig. 8e).

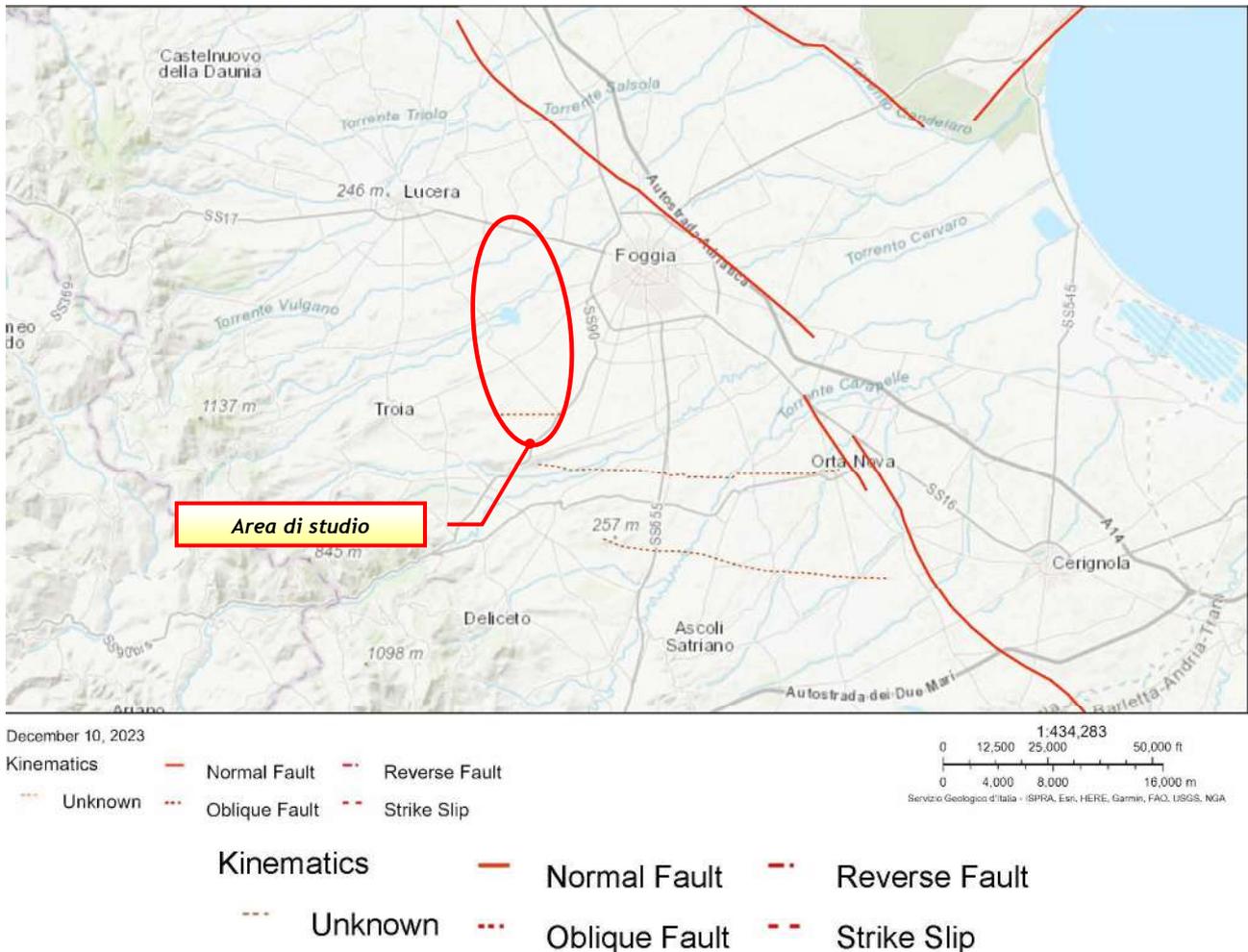


Fig.8d: Faglie sismogenetiche più prossime all'area di studio, Progetto ISPRA ITHACA (tratto da <https://www.isprambiente.gov.it/it/progetti/cartella-progetti-in-corso/suolo-e-territorio-1/ithaca-catalogo-delle-faglie-capaci/default>)

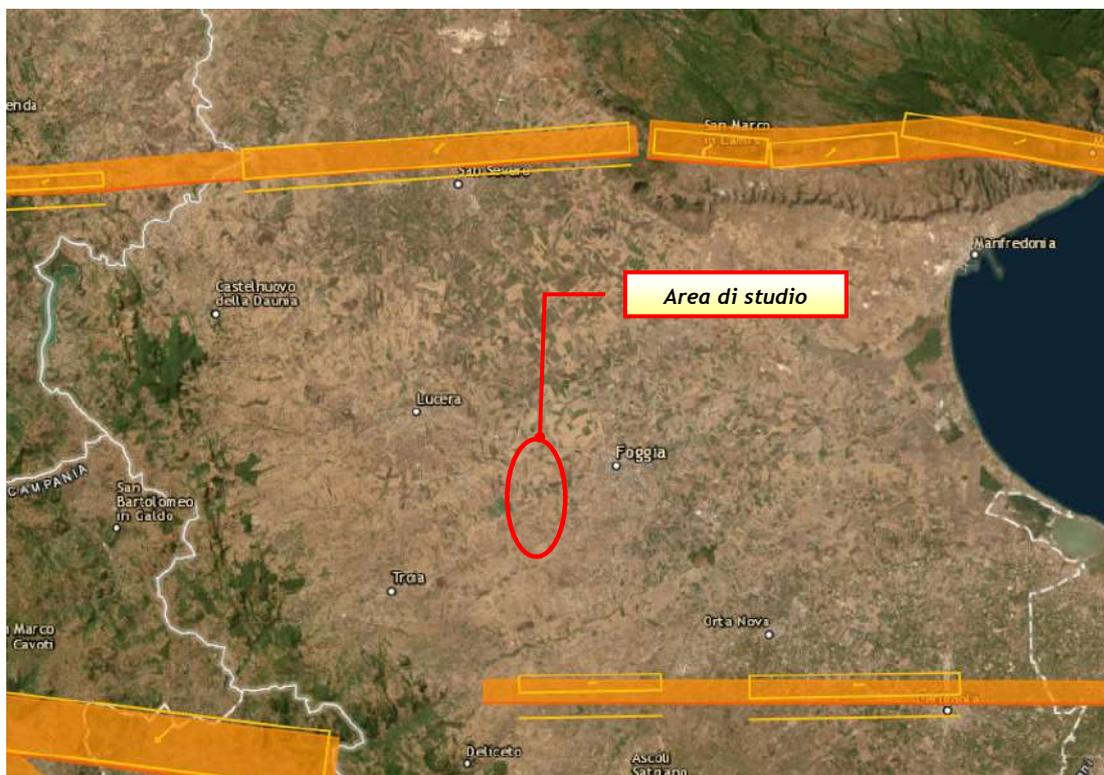


Fig. 8e: Faglie ritenute attive nel territorio settentrionale della Basilicata, da INGV Cartografia DISS 3.2.1 (tratto da <https://diss.ingv.it/diss330/dissmap.html>)

Pericolosità sismica di base – accelerazione sismica attesa

Ai sensi della precedente Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n°3274/2003, il territorio in esame era classificato come “Zona 2” ovvero “Zona con pericolosità sismica media” dove possono verificarsi terremoti relativamente forti [$a_g/g = 0,25$].

Tuttavia i valori di accelerazione del terreno sopracitati, sono differenti da quello ottenuto con le N.T.C. 2018, quest’ultimo valore è riferito ad una probabilità del 10% di essere superato in 50 anni (vedasi Fig. 9).

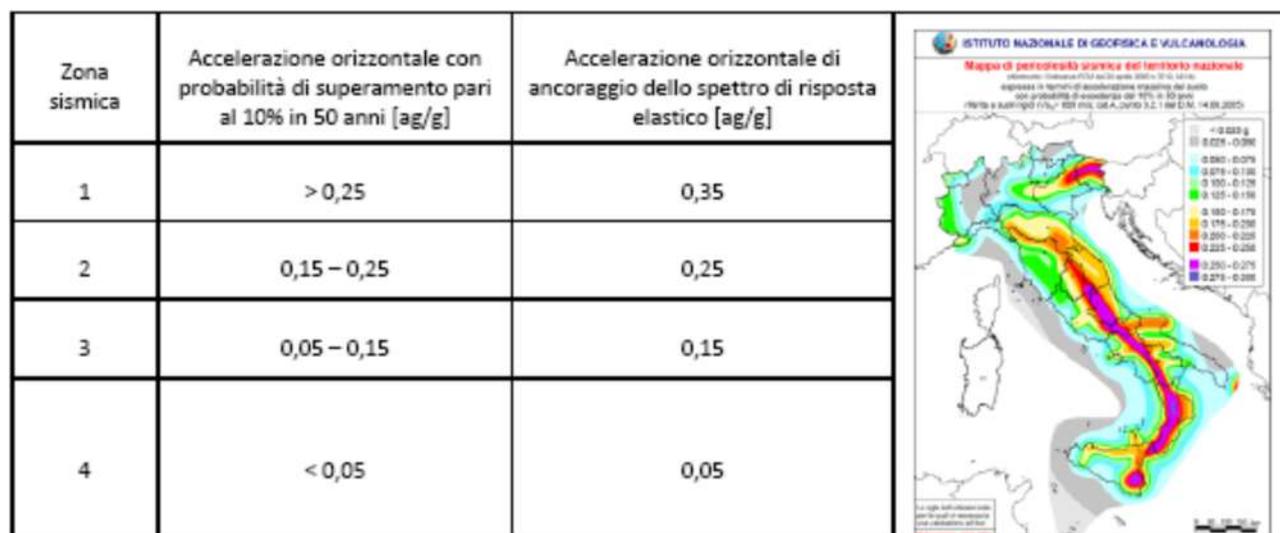


Fig. 9: Valori dell’accelerazione sismica riferiti alla Zonazione sismica del territorio nazionale ai sensi dell’O.P.C.M. n°3274/2003 e riferiti alla zonazione sismica secondo l’ O.P.C.M. del 28 aprile 2006, n. 3519, All. 1b (adottato nelle NTC 2008 ed NTC 2018).

Già con l'entrata in vigore delle N.T.C. 2008 (D.M. 14 Gennaio 2008) ed ora con le nuove N.T.C. 2018 (D.M. 17 Gennaio 2018), la stima della pericolosità sismica del sito viene definita non più tramite un criterio "zona dipendente" ma mediante un approccio "sito dipendente".

Il valore di pericolosità di base [a_g/g] è così definito, per ogni punto del territorio nazionale, su una maglia quadrata di 5 km di lato, indipendentemente dai confini amministrativi comunali ed è espresso in termini di accelerazione orizzontale del suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni, riferita a suoli rigidi orizzontali ($V_{s30} > 800$ m/s; cat. A) (Figura 10.a e Figura 10.b).

Allo stato attuale, la pericolosità sismica su reticolo di riferimento nell'intervallo di riferimento è fornita dai dati pubblicati sul sito <http://esse1.mi.ingv.it/> i cui punti del reticolo di riferimento sono definiti in termini di Latitudine e Longitudine.

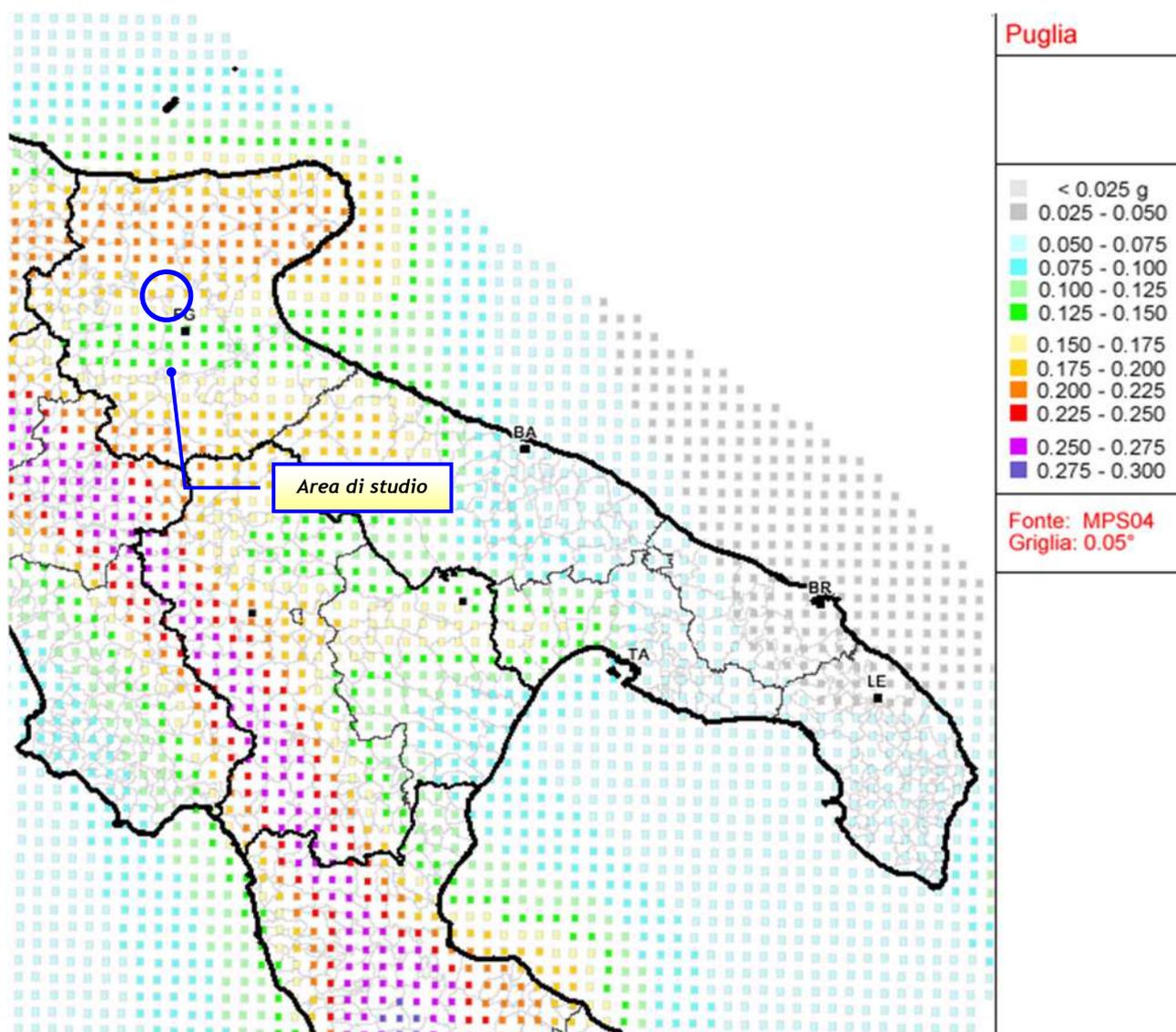


Fig. 10.a: Mappa dei valori della pericolosità sismica
(tratto da http://zonesismiche.mi.ingv.it/mappa_ps_apr04/puglia.html)

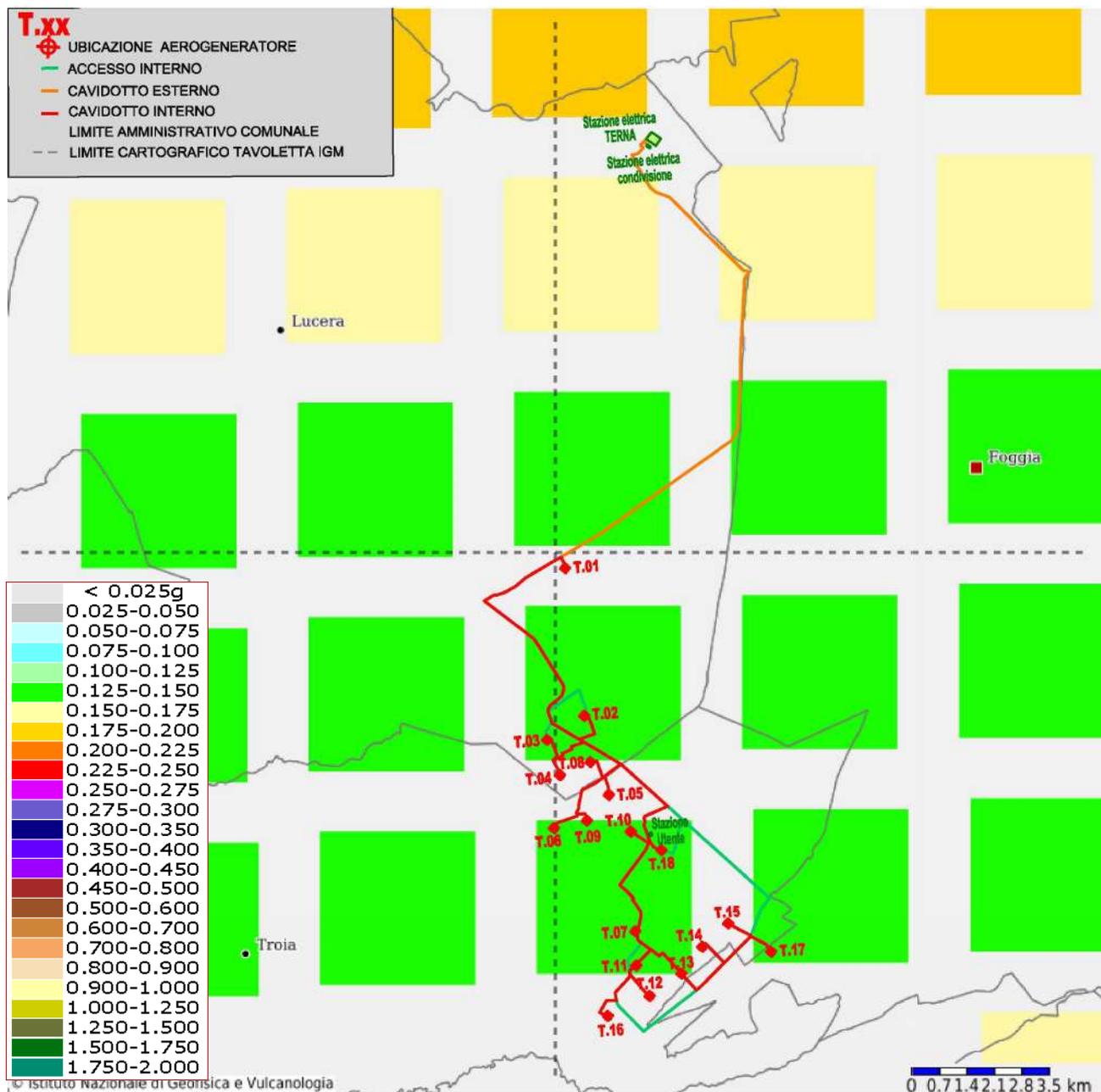


Fig. 10.b: Mappa dei valori della pericolosità sismica per il sito oggetto d'intervento (<http://esse1-gis.mi.ingv.it/>)

Dall'analisi di Fig.10b si evince come l'impianto eolico sia molto esteso ed abbracci porzioni di territorio con valori di accelerazione sismica al suolo differenti variabili da valori compresi tra 0.125 g e 0.150 g ove sono presenti i singoli aerogeneratori sino a valori che arrivano a 0.175 g ove sono presenti le stazioni Terna e di condivisione. Pertanto per ogni opera (ogni singola torre) ci si deve riferire ad una accelerazione di riferimento "propria" individuata sulla base delle coordinate geografiche dell'area d'indagine e rimodulata in funzione della vita nominale dell'opera in progetto oltreché delle caratteristiche sismo-stratigrafiche e morfologiche del sito oggetto d'intervento.

Modello sismico del sito - valutazione dell'azione sismica

I parametri sismici del sito utili ai fini progettuali (accelerazione massima a_g/g e tutti i parametri che permettono di definire gli spettri di risposta ai sensi delle N.T.C.2018) sono descritti oltre che in termini geografici anche in termini temporali ovvero per diverse probabilità di superamento in 50 anni e/o diversi periodi di ritorno T_R ricadenti in un intervallo di riferimento compreso almeno tra 30 e 2475 anni, estremi inclusi.

Per l'area di studio al momento non è possibile determinare un'analisi del genere (sito dipendente); a scopo preliminare la stessa può essere eseguita prendendo come riferimento generale il punto baricentrico dell'impianto eolico.

Pertanto definiti i parametri generali del sito (si veda Tabella 12.a) ed utilizzando il software Geostru PS (<http://www.geostru.com/geoapp/parametri-sismici.aspx>) è possibile ricavare i valori dei parametri di pericolosità sismica del sito indagato (a_g , F_0 , T_c) per i periodi di ritorno T_R associati a ciascun Stato Limite (si veda Tabella 12.b).

Sito in esame	ubicazione baricentrica Parco Eolico – progetto Celone
Latitudine e Longitudine	41.414300° – 15.44300°
Classe d'uso in presenza di	II
Vita nominale calcolata in base	50 anni
Categoria sismica sottosuolo	C
Categoria Topografica	T1
Periodo di riferimento per l'azione sismica	50 anni (dato dal prodotto della Vita nominale per il Coefficiente d'uso)
Coefficiente d'uso C_u	1,0

Tab.12.a: Parametri generali sito d'intervento

Stato Limite	Prob. superamento [%]	T_R [anni]	a_g [g]	F_0 [-]	T_c^* [s]
Operatività (SLO)	81	30	0,046	2,429	0,294
Danno (SLD)	63	50	0,057	2,542	0,329
Salvaguardia della vita (SLV)	10	475	0,135	2,635	0,449
Prevenzione dal collasso (SLC)	5	975	0,172	2,617	0,517

Tab.12.b: Parametri sismici del sito indagato riferiti al baricentro dell'opera in progetto

dove:

T_R = tempo di ritorno (espresso in anni)

a_g = accelerazione orizzontale massima al sito (espressa in g/10)

F_0 = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale (adimensionale)

T_c^* = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale (espresso in secondi)

Si rammenta che i valori dei parametri a_g , F_0 e T_c^* determinati sono relativi a situazioni geologiche corrispondenti ad un sito con assenza di effetti locali dei terreni, ovvero con presenza di substrato sismico affiorante o sub-affiorante ($V_{s30} > 800\text{m/s}$) ed in condizioni morfologiche pianeggianti.

Modello sismico del sito – definizione delle condizioni stratigrafiche e topografiche

L'azione sismica così individuata viene variata, nei modi precisati dalle Norme Tecniche (*cf. 3.2.2 N.T.C. 2018 - definizione dell'azione sismica di progetto con approccio semplificato*), per tener conto delle modifiche prodotte dalle condizioni locali stratigrafiche del sottosuolo effettivamente presenti nel sito d'intervento e dalla morfologia della superficie presente.

Gli effetti locali che danno origine alla risposta sismica locale sono da ricondursi alla:

- differenza di rigidità tra terreni e basamento;
- geometria del substrato che può esercitare un controllo sulla generazione e propagazione di onde superficiali;
- geologia di superficie che controlla il fenomeno di risonanza e ai fattori morfologici (irregolarità topografiche, creste e valli) che possono influenzare la propagazione superficiale delle onde sismiche dando luogo a fenomeni di amplificazione dinamica.

Alla scala della singola opera o del singolo sistema geotecnico, la risposta sismica locale consente di definire le modifiche che un segnale sismico subisce, a causa dei fattori anzidetti (stratigrafici e topografici), rispetto a quello di un sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (*sottosuolo di categoria A, definito al § 3.2.2*).

Ai sensi del Decreto Ministeriale 17 Gennaio 2018 recante “Norme Tecniche per le Costruzioni”, l'azione sismica di progetto, è valutata mediante la “pericolosità sismica di base” del sito di costruzione (§ 3.2 NTC, C3.2, § 7.11). La valutazione dell'azione sismica è stata eseguita seguendo un approccio semplificato (§3.2.2; § 7.11.3.2; § 7.11.3.3) basato sulla definizione di categorie di sottosuolo (come indicate nella Tabella 3.2.II).

L'identificazione della categoria di sottosuolo si basa principalmente sui valori della velocità equivalente $V_{s,eq}$ di propagazione delle onde di taglio definita dall'espressione:

$$V_{s,Eq} = H / \sum_{i=1...N} (h_i/V_{s,i}) \text{ (in m/s)}$$

in cui:

- h_i è lo spessore, in metri, dell' i -esimo strato compreso nei primi 30 m di profondità;
- $V_{s,i}$ è la velocità delle onde di taglio nell' i -esimo strato.
- N numero di strati;
- H profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_S non inferiore a 800 m/s.

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

Dalle indagini sismiche eseguite (MSW01 ÷ MSW04) è stato ottenuto un valore della $V_{s,30}$ come mostrato in tabella seguente (Tab.6):

Denominazione prova MASW	V_{s30} (m/sec)	Categoria suolo	Torre eolica
MSW01	441	B	WTG03
MSW02	480	B	WTG 11
MSW03	490	B	WTG 14
MSW04	518	B	-

Tab.12c - valori della V_{seq} per le indagini eseguite

Sulla base di quanto detto la categorie di suolo individuata è:

- **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 con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s"

Poiché si è in fase preliminare di studio a scopo conservativo si consiglia di considerare anche l'utilizzo di una categoria di suolo tipo C.

- **C:** "Depositati 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."

Le condizioni topografiche del sito, considerando la morfologia dell'area d'interesse avente una "configurazione superficiale semplice" ed in considerazione della posizione dell'opera in progetto, sono riconducibili alla "Categoria T1 - Inclinazione del pendio < 15°" (cfr Tab. 3.2 VI - N.T.C. 2018) da cui si evince che il fattore di amplificazione S_T deve essere considerato, nel caso specifico, uguale ad 1.0.

Sulla base della categoria di suolo determinata (B) e (C) e della categoria topografica del sito (T1) è possibile definire i coefficienti sismici degli spettri di risposta rappresentativi delle componenti (orizzontali e verticali) delle azioni sismiche di progetto idonee all'opera da realizzare ed alla situazione riscontrata.

Modello sismico del sito - effetti di amplificazione locale

I fattori stratigrafici e topografici che possono determinare fenomeni di amplificazione del segnale sismico, sono facilmente ricavabili dalle tabelle 3.2. IV e 3.2.VI del D.M. 17 Gennaio 2018 e C.3.2.3 della Circolare n.7/2019.

Nello specifico considerando il sottosuolo dell'area d'intervento di categoria B e quindi sviluppando i calcoli in funzione dei valori di a_g , F_0 e T^*c , i coefficienti S_s e C_c per il caso in esame sono quelli mostrati in Tab.13a e Tab.13b

Stati limite	S_s [-]	C_c [-]	S_T [-]	K_h [-]	K_v [-]	A_{max} [m/s ²]	Beta [-]
SLO	1,200	1,410	1,000	0,011	0,005	0,536	0,200
SLD	1,200	1,370	1,000	0,014	0,007	0,668	0,200
SLV	1,200	1,290	1,000	0,039	0,019	1,585	0,240
SLC	1,200	1,260	1,000	0,049	0,025	2,021	0,240

Tab. 13a: Coefficienti sismici (fondazione e stabilità del pendio) suolo categoria B

Stati limite	S_s [-]	C_c [-]	S_T [-]	K_h [-]	K_v [-]	A_{max} [m/s ²]	Beta [-]
SLO	1,500	1,570	1,000	0,014	0,007	0,670	0,200
SLD	1,500	1,510	1,000	0,017	0,008	0,835	0,200
SLV	1,490	1,370	1,000	0,048	0,024	1,968	0,240
SLC	1,430	1,310	1,000	0,059	0,030	2,408	0,240

Tab. 13b: Coefficienti sismici (fondazione e stabilità del pendio) suolo categoria C

dove:

S_s = coefficiente di amplificazione stratigrafica (si veda Tab. 3.2.IV – NTC 2018)

C_c = coefficiente funzione della categoria di sottosuolo (si veda Tab. 3.2.IV – NTC 2018)

S_T = coefficiente di amplificazione topografica (si veda Tab. 3.2.V – NTC 2018)

K_h = coefficiente sismico orizzontale [$K_h = \beta_s * (a_{max} / g)$]

K_v = coefficiente sismico verticale [$K_v = \pm 0.5 * K_h$]

A_{max} = accelerazione orizzontale massima attesa al sito

β_s = coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito;

NOTE CONCLUSIVE

Sulla base del quadro geologico offerto, e sin qui esposto, si ritiene che le opere in progetto siano pienamente compatibili con il quadro geomorfologico e geologico tecnico preliminare che caratterizza i luoghi esaminati.

Si rendono tuttavia necessarie indagini geognostiche finalizzate ad una precisa ed esaustiva analisi di tutti gli elementi funzionali ad una progettazione pienamente rispondente alle norme tecniche vigenti.

In tale logica si suggerisce di realizzare:

- a) Perforazione a carotaggio continuo spinta sino alla profondità non inferiore ai 30 m dal p.c., in corrispondenza di ciascun aerogeneratore; il prelievo dei campioni indisturbati sarà eseguito solo in corrispondenza dei livelli più pelitici mentre nei livelli più sabbiosi si valuterà l'esecuzione di prove SPT; qualora fosse rinvenuta la falda durante le perforazioni, sarebbe opportuno attrezzare il foro a piezometro.
- b) Indagini geofisiche di tipo sismico (down-hole) in ogni foro di sondaggio fori attrezzati, per indagine sismica;
- c) Esecuzione presso qualificato laboratorio geotecnico di un adeguato numero di prove e indagini volte alla definizione dei parametri geotecnici dei terreni di fondazione presso ciascun aerogeneratore;
- d) Si consiglia infine l'esecuzione di misure di microtremore HVR per l'individuazione del bedrock sismico qualora sia richiesto / necessario uno studio di risposta sismica locale.

Lo studio della compatibilità delle aree preposte per la realizzazione del parco eolico in agro dei comuni di Lucera, Troia e Foggia tiene principalmente conto del fatto che i territori comunali sono ascritti tra le località sismiche di seconda categoria caratterizzate da valori di medio-alta sismicità, per cui l'effetto di un'eventuale crisi sismica sui manufatti resterebbero condizionati e dalle situazioni tettoniche e dalla natura litologica dei terreni, e dalla presenza d'eventuali falde idriche.

Considerate le risultanze dell'indagine e le finalità del presente studio geologico, teso a valutare le problematiche e le implicazioni geologiche connesse con le previsioni realizzative previste, è possibile affermare la piena compatibilità dell'opera con il quadro geomorfologico e geologico locale.

In particolare, alla luce di quanto illustrato nei capitoli precedenti a cui si rimanda per ogni utile approfondimento, è possibile trarre le seguenti considerazioni conclusive:

- In relazione agli aspetti geomorfologici relativi a possibili dissesti superficiali e profondi, non si evidenziano situazioni che possano modificare l'attuale stato di equilibrio dei luoghi ed è possibile affermare che l'area si presenta globalmente stabile;

- Dal punto di vista idrogeologico non sussistono fenomeni e processi morfoevolutivi di tipo erosivo in atto né potenziali. In attinenza alla falda superficiale, quest'ultima è stata rinvenuta nei sondaggi S1 ed S2 rispettivamente alle profondità di 16.0 metri e 18.5 metri da piano campagna. Trattasi probabilmente di una falda superficiale che scorre nei livelli più permeabili ghiaioso-sabbiosi dei terrazzi alluvionali;
- In relazione alle scelte costruttive si ritiene idonea la scelta di utilizzare fondazioni profonde al fine di trasmettere i carichi in profondità a strati dotati di adeguate caratteristiche di resistenza;
- Ai fini sismici si tenga conto nei calcoli di verifica che l'area rientra in Zona 2 (O.P.C.M. n°3274/2003) caratterizzata da un'accelerazione orizzontale massima su suolo di categoria A (a_g) pari a 0,20 g (dove g = accelerazione di gravità) e che il suolo è classificabile quale Categoria B tuttavia si consiglia di valutare conservativamente anche la categoria C;
- Benché ovvio, si abbia cura di eseguire i lavori di fondazione subito dopo i lavori di scavo al fine di evitare il deterioramento delle caratteristiche geomeccaniche dei terreni di fondazione;
- Si realizzi un efficace drenaggio superficiale al fine di allontanare dai terreni di fondazione le acque di precipitazione meteorica sia in fase di cantiere che in fase d'esercizio;
- La prevista espansione conoscitiva consentirà di parametrizzare puntualmente le caratteristiche stratigrafiche, geotecniche e sismiche dei terreni di fondazione sulle quali basare le successive fasi progettuali. Infine per ciò che concerne gli aspetti legati alle scelte progettuali previste per le strutture fondazionali (di tipo profondo, costituite da un macroplinto su pali) esse non pongono alcun problema di ordine geologico e tecnico e non incidono negativamente sugli equilibri idrogeologici dei luoghi, non determinando alcuna apprezzabile turbativa degli assetti geomorfologici, idrogeologici o geotecnici dell'area né pongono alcun problema di ordine geologico e tecnico alla realizzabilità delle opere.

Come ovvio in fase di progettazione esecutiva, saranno verificate le caratteristiche geostrutturali locali attraverso una puntuale campagna di indagini geognostiche che completerà il quadro geologico-tecnico conoscitivo.

Sulla base di quest'ultimo saranno analizzati compiutamente gli effetti di tali opere sulla stabilità dell'area interessata da ogni intervento attraverso la redazione di uno studio di compatibilità geologica e geotecnica che, unitamente agli altri elaborati progettuali.

I lavori di scavo dovranno avvenire in presenza del geologo estensore della presente al fine di verificare, in fase esecutiva, la validità delle scelte adottate.

Questo studio ha messo in risalto le caratteristiche tecniche dei terreni e le problematiche geologiche, rinviando di eseguire, in caso di necessità, ulteriori indagini durante i lavori.

Sulla base di tali considerazioni, si può pertanto concludere che non esistono preclusioni di ordine geologico-tecnico alla realizzazione delle opere in progetto.

IL GEOLOGO
Giuseppe Amorosi

