

REGIONE: PUGLIA

PROVINCIA: FOGGIA

COMUNE: SAN SEVERO

ELABORATO:

**4.2**  
**3**

OGGETTO:

**PARCO EOLICO SAN SEVERO LA PENNA  
composto da 14 WTG da 3,40MW/cad.**

**PROGETTO DEFINITIVO**

**RELAZIONE GEOTECNICA E SISMICA**

PROPONENTE:

**TOZZI**green

**TOZZI Green S.p.A.**

Via Brigata Ebraica, 50

48123 Mezzano (RA) Italia

[tozzi.re@legalmail.it](mailto:tozzi.re@legalmail.it)

tel. +39 0544 525311

fax +39 0544 525319

PROGETTISTA:

**ing. Massimo CANDEO**

Ordine Ing. Bari n° 3755

Via Canello Rotto, 3

70125 Bari

[m.candeo@pec.it](mailto:m.candeo@pec.it)

tel. +39 328 9569922

fax +39 080 2140950

Dott. geol. Luigi Buttiglione



Collaborazione:

ing. Gabriele CONVERSANO

Ord. Ing.ri Bari n° 8884

Note:

DATA	REV	DESCRIZIONE	ELABORATO da:	APPROVATO da:
8.12.2017	0	Emissione	Dott. gel. Luigi Buttiglione	ing. Massimo Candeo

PROPRIETÀ ESCLUSIVA DELLE SOCIETÀ SOPRA INDICATE  
UTILIZZO E DUPLICAZIONE VIETATE SENZA AUTORIZZAZIONE SCRITTA

## **1 PREMESSA**

La “Tozzi Green s.p.a.” ha in progetto la realizzazione, in agro di San Severo (Fg) Ctr “La Penna”, di un impianto eolico da 3.40 MW costituito da 14 aerogeneratori e dalle strutture di servizio, quali viabilità di servizio e cavidotti di collegamento.

Al riguardo lo scrivente ha ricevuto l’incarico per la redazione della relazione geologico-tecnica e sismica per il progetto definitivo.

Per l’espletamento dell’incarico ricevuto, lo scrivente ha eseguito una serie di studi e di indagini comprendenti:

- raccolta dei dati contenuti nella bibliografia geologica e geologico-tecnica;
- esecuzione di un rilevamento geologico di superficie dell’area d’intervento.

L’insieme dei dati desunti dalle fonti bibliografiche e da rilievi di superficie sono stati integrati con i dati rivenienti da prospezioni geofisiche, eseguite dallo scrivente nel medesimo contesto territoriale al fine della caratterizzazione sismica dell’area, ai sensi del D.M. 14 gennaio 2008.

Nel corso della presente relazione si sintetizzeranno, con l’ausilio degli elaborati grafici allegati, gli esiti delle indagini e degli studi condotti al fine della caratterizzazione geologica, idrogeologica e sismica del sottosuolo dell’area di intervento.

## **2. INQUADRAMENTO MORFOLOGICO E GEOLOGICO DELL'AREA**

La porzione di territorio entro la quale ricade il sito prescelto per la realizzazione dell'impianto eolico, ricade nel dominio geomorfologico della vasta area di pianura che occupa gran parte della Capitanata, estendendosi a partire dal margine murgiano, sino alle pendici dei rilievi del Sub-Appennino Dauno.

Dal punto di vista cartografico, il sito d'intervento ricade nelle Tavole n.163 I N.E. "Masseria Faralla" della Carta d'Italia in scala 1:25.000 (All.1).

L'assetto morfologico dei luoghi è quello tipico delle aree del Tavoliere, con quote del piano campagna variabili da un massimo di 60 m s.l.m. ad un minimo di 54 m s.l.m. e con vaste zone ad andamento tabulare con modestissime pendenze in direzione della linea di costa adriatica. Localmente il monotono contesto morfologico è movimentato dalla presenza di canali di deflusso delle acque superficiali, incassati tra sponde scarsamente declivi.

L'andamento subpianeggiante del piano campagna si deve all'assetto suborizzontale delle formazioni plio-pleistoceniche che costituiscono il sottosuolo dell'area ed alla generale e modesta inclinazione della superficie topografica generata dal processo di regressione del mare pleistocenico.

Considerate le condizioni geomorfologiche dell'area, la porzione di territorio in esame, con particolare riferimento al sito d'intervento, non risulta interessata da fenomeni di instabilità gravitativa in atto o potenziali.

Le condizioni geologiche generali dell'area oggetto di studio sono caratterizzate dalla presenza di alcune delle unità tipiche della Piana del Tavoliere. Tale contesto geologico costituisce la porzione settentrionale

dell'unità geostrutturale della "Fossa Bradanica", interposta tra i domini della Catena Appenninica e dell'Avampaese Apulo (Altipiano Murgiano) ed estesa dall'arco ionico pugliese-lucano sino alla costa adriatica del Golfo di Manfredonia.

Il riempimento del bacino dell'Avanfossa è avvenuto a partire dal Pliocene, sviluppandosi sino al tardo Pleistocene, dando luogo alla formazione di una classica successione regressiva costituita in basso da argille marnose grigio azzurre di origine neritica e, via via verso l'alto, da unità marine prevalentemente sabbiose e, in ultimo, da formazioni spesso conglomeratiche di origine continentale e/o di transizione.

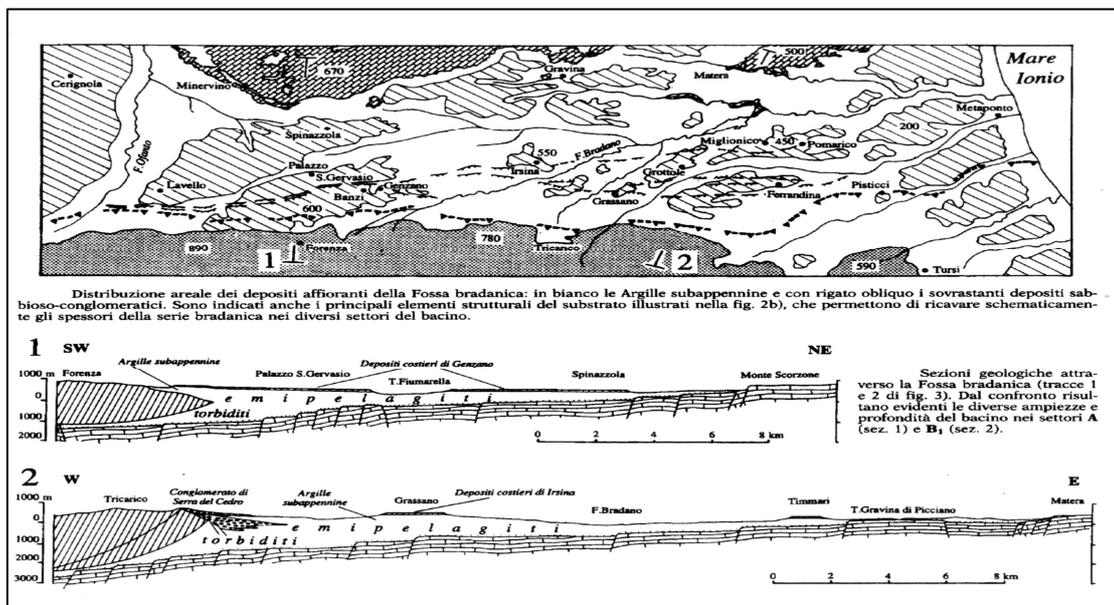


Fig. 1 –Carta e sezioni geologiche schematiche della Fossa Bradanica e delle aree limitrofe.

A partire dall'area di intervento, è stato condotto un rilevamento geologico di superficie finalizzato al riconoscimento delle unità litostratigrafiche affioranti. Le osservazioni sono state condotte sugli affioramenti esistenti e all'interno di alcuni spaccati artificiali.

I risultati ottenuti dalle osservazioni condotte in sito sono stati integrati dalle indicazioni fornite dalla consultazione della cartografia geologica di Stato (Foglio n.163 "Lucera" della Carta Geologica d'Italia Fig.2).

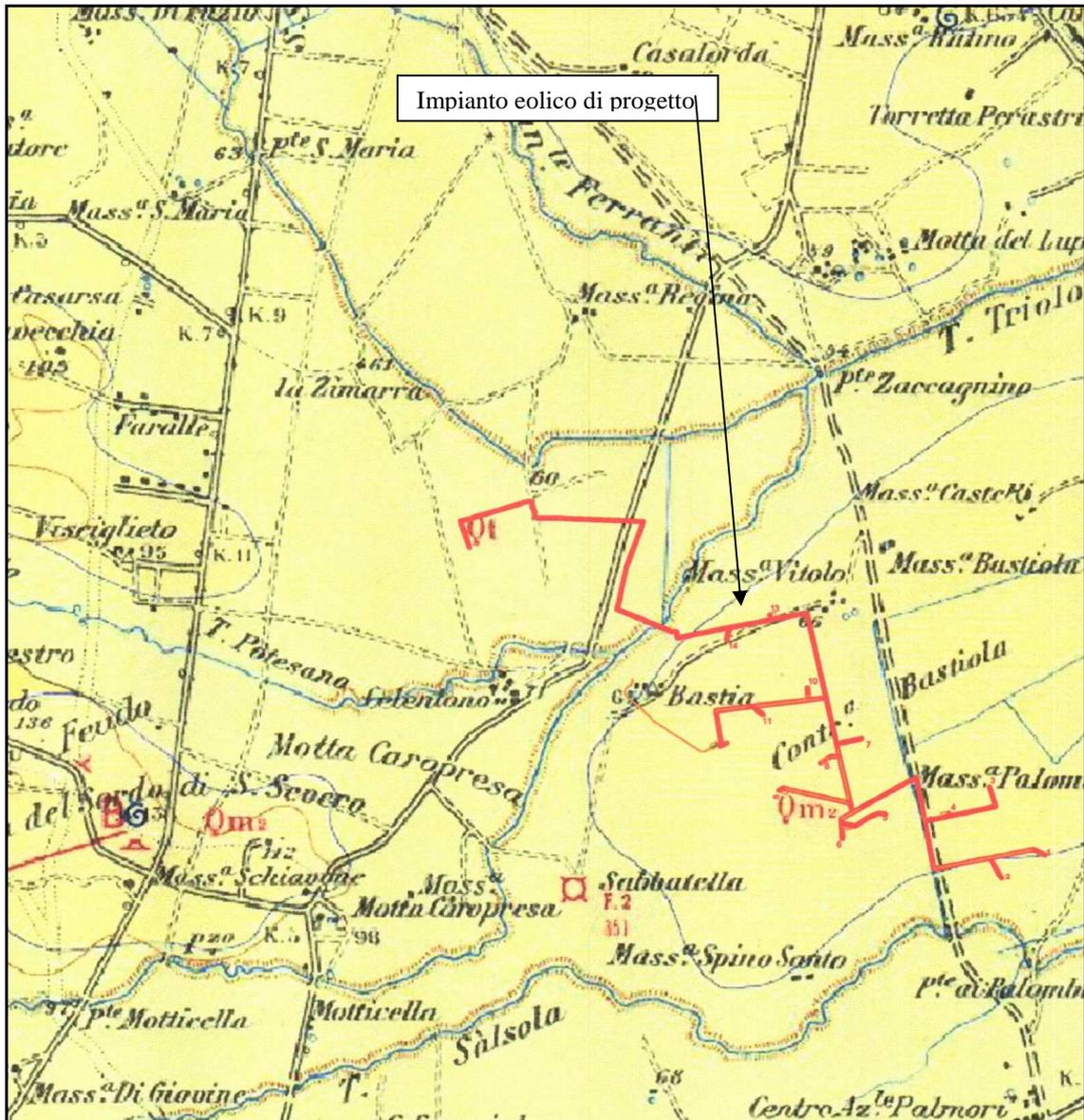


Figura 2: stralcio del Foglio n.163 "Lucera" della Carta Geologica d'Italia.

 Qt Depositi alluvionali       Qm<sub>2</sub> Depositi sabbioso-ciottolosi e limosi

L'assetto litologico dell'area d'intervento è rappresentato con maggiore dettaglio nell'All.2.

L'unità geostrutturale costituita dall' "Avanfossa bradanica" si contraddistingue per la presenza di terreni che, nell'insieme, costituiscono la successione regressiva di colmamento del bacino di sedimentazione attivo dal Pliocene sino al Pleistocene tra la Catena Appenninica e l'Avampaese Murgiano.

Tale successione è costituita da un'unità argillosa di base, di età Plio-Pleistocenica, spesso alcune centinaia di metri nella parte centrale del bacino e più sottile nelle zone di margine. Sull'unità argillosa di base poggiano, in continuità di sedimentazione, terreni sabbiosi con frequenti intercalazioni conglomeratiche, di spessore variabile ma non superiore a cento m. Il ciclo regressivo è chiuso da un'unità conglomeratica di origine continentale, con spessore oscillante intorno ad alcune decine di metri. Tale unità costituisce parte delle superfici ad assetto tabulare dei rilievi presenti in zona.

Nell'ambito del Foglio Lucera i depositi del ciclo regressivo bradanico sono coperti da depositi alluvionali terrazzati di origine fluvio-lacustre disposti a varie quote, costituiti da conglomerati poligenici, limi e sabbie.

Lungo gli alvei e sulle sponde dei principali corsi d'acqua presenti in zona si rinvengono depositi alluvionali attuali, prevalentemente ciottolosi.

Alla descrizione generale della geologia dell'area possono, con maggiore dettaglio, riferirsi le unità litostratigrafiche di seguito indicate in successione:

### *Argille subappennine*

Costituiscono l'unità argillosa di base della successione regressiva dell'Avanfossa bradanica.

Affiorano estesamente al di fuori dell'area di intervento, con particolare riferimento alle aree ubicate al piede dell'Appennino Dauno.

Sono costituite da argille ed argille marnose di colore grigio-azzurro con frequenti intercalazioni di lenti sabbiose, presenti soprattutto nella parte sommitale della formazione.

A letto, lungo il margine murgiano dell' "Avanfossa", le "Argille subappennine" poggiano su unità calcarenitiche, mentre a tetto, nell'ambito dell'area studiata, passano per alternanze ed in continuità di sedimentazione, a depositi sabbiosi.

Lo spessore delle "Argille subappennine" varia a seconda della distanza dai margini del bacino di Avanfossa, raggiungendo un massimo di alcune centinaia di metri nella zona vicina al depocentro.

L'età della formazione viene fatta risalire al Pliocene superiore-basso Pleistocene, periodi durante i quali si depose in ambiente marino neritico.

### *Sabbie di Monte Marano*

Sono costituite da sabbie quarzose calcaree debolmente cementate, di colore prevalentemente giallastro, con frequenti lenti conglomeratiche presenti maggiormente nella parte alta della formazione.

Affiorano al di fuori dell'area di intervento, costituendo la parte medio alta dei versanti e le superfici di cresta dei rilievi.

A letto poggiano sull'unità argillosa di base mentre a tetto passano, in continuità di sedimentazione e per alternanze, all'unità conglomeratica di chiusura del ciclo regressivo.

Lo spessore dell'unità non supera i cento metri.

L'età delle "Sabbie di Monte Marano" è ascrivibile al Pleistocene medio-inferiore, durante il quale si deposero in ambiente marino litorale.

### *Conglomerato di Irsina*

Tale formazione costituisce l'unità di chiusura del ciclo regressivo che portò al colmamento del bacino bradanico.

Il "Conglomerato di Irsina" si rinviene in affioramento al di fuori dell'area d'intervento nelle zone di cresta dei rilievi tabulari descritti in precedenza.

È costituito da ciottoli arrotondati poligenici con abbondante matrice sabbiosa. Frequenti risultano le intercalazioni di lenti sabbiose soprattutto nella parte bassa della formazione.

A letto il "Conglomerato di Irsina" poggia sulle "Sabbie di Monte Marano". Lo spessore formazionale, alquanto variabile da luogo a luogo, raggiunge al massimo alcune decine di metri.

La deposizione dell'unità conglomeratica è avvenuta durante il Pleistocene medio superiore in ambiente prevalentemente continentale.

### *Depositi sabbioso-ciottolosi e limosi*

Affiorano estesamente nell'area di intervento, costituendo la sommità tabulare dei rilievi.

Tale unità è caratterizzata da una spiccata variabilità litologica. In essa infatti si rinvencono sabbie fini giallastre, ciottolame calcareo e selcioso di dimensioni variabili. Sono frequenti intercalazioni di “croste calcaree” e di sottili livelli argillosi. A letto tale unità poggia in debole discordanza sulle unità di chiusura del ciclo bradanico. A tetto essa è coperta da depositi alluvionali recenti ed attuali.

Lo spessore formazionale è variabile in funzione dell'evoluzione dei processi erosivi, superando localmente i 15 m.

L'ambiente di deposizione è quello tipico di transizione, variabile da quello lagunare-deltizio a quello alluvionale. L'età è ascrivibile al Pleistocene superiore.

### *Depositi alluvionali*

Affiorano estesamente nell'area di intervento all'interno, all'interno degli avvallamenti alluvionali.

Sono costituiti prevalentemente da sabbie e sabbie limose cui spesso sono intercalati sottili livelli ciottolosi.

Lo spessore di tale unità può raggiungere i 10 m circa.

### **3. INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO DELL'AREA**

La circolazione idrica superficiale dell'area oggetto di studio, condizionata dalla permeabilità dei terreni affioranti, si concentra in alcune linee di deflusso che si sviluppano con andamento prevalente da W verso E.

Si tratta nel complesso di corsi d'acqua a regime stagionale o torrentizio, che possono risultare asciutti per lunghi periodi dell'anno ed essere interessati da piene repentine ed intense in concomitanza degli eventi meteorici più importanti e concentrati. In particolare l'area d'intervento ricade in una porzione di territorio compresa tra l'alveo del Torrente Triolo a Nord e del Torrente Salsola a Sud.

L'assetto complessivo del reticolo idrografico dell'area d'interesse è riportato nello stralcio della Carta Idrogeomorfologica redatta dall'Autorità di Bacino della Puglia, contenuto nell'allegato n.3. Più estesamente, le problematiche inerenti la compatibilità dell'intervento proposto rispetto alle misure di tutela del reticolo idrografico contenute nella N.T.A. del P.A.I., vengono affrontate nello specifico studio, al quale si rimanda.

Considerato l'assetto subpianeggiante della superficie topografica, il deflusso delle acque meteoriche può risultare, nella porzione di territorio in esame, difficoltoso. Ciò può innescare fenomeni di alluvionamento di vaste aree con conseguenti rischi di dissesto. Al fine di verificare se l'area d'intervento è stata inserita nel novero delle zone a pericolosità idraulica, riveniente da rischi di alluvionamento, si è proceduto alla consultazione della cartografia

del Piano di Assetto Idrogeologico, prendendo in considerazione l'ultimo aggiornamento disponibile (All.4).

Come osservabile sullo stralcio della cartografia P.A.I. riportato in All.4, l'area d'intervento ricade a tratti nell'ambito di zone classificate a rischio di alluvionamento. Anche in questo caso, per una trattazione più approfondita dell'argomento, si rimanda ai contenuti dello studio idrologico ed idraulico.

Per ciò che attiene l'instabilità geomorfologia, il Piano non individua aree classificate PG1, PG2 o PG3 nell'ambito della zona di intervento.

Per ciò che attiene la circolazione idrica sotterranea, preliminarmente si rileva che nell'area del Tavoliere sono riconoscibili tre sistemi acquiferi principali:

- l'acquifero superficiale, circolante nei depositi sabbioso conglomeratici marini ed alluvionali pleistocenici;
- l'acquifero profondo, circolante nel substrato roccioso-calcareo del basamento carbonatico;
- orizzonti acquiferi intermedi, interposti tra i precedenti acquiferi principali e contenuti nelle lenti sabbiose dell'unità argillosa pliocenica di base.

Il sottosuolo dell'area d'intervento, costituito come precedentemente indicato da terreni sabbiosi e ciottolosi, è quindi sede della falda superficiale. Tale falda ha potenzialità variabili da zona a zona, anche in base alle modalità di ricarica, più intensa laddove sono presenti terreni più schiettamente sabbioso-ciottolosi.

Il letto di questo acquifero è costituito dalla formazione argillosa impermeabile di base, mentre il suo spessore varia tra i 25 ed i 50 m.

A causa dei naturali processi di alimentazione e deflusso, nonché in relazione ai massicci emungimenti, la superficie piezometrica della falda subisce sensibili escursioni nell'arco dell'anno con oscillazioni stagionali dell'ordine anche della decina di metri. In linea generale, al di sotto dell'area d'intervento, la falda circola a pelo libero con la superficie piezometrica disposta a quote oscillanti intorno ai 50 m s.l.m. (circa 5/10 m di prof. dal p.c.). Tale circostanza è confermata dalla Tav.060301 del Piano di Tutela delle Acque, inerente i carichi piezometrici delle falde contenute negli acquiferi porosi del Tavoliere (fig.3).

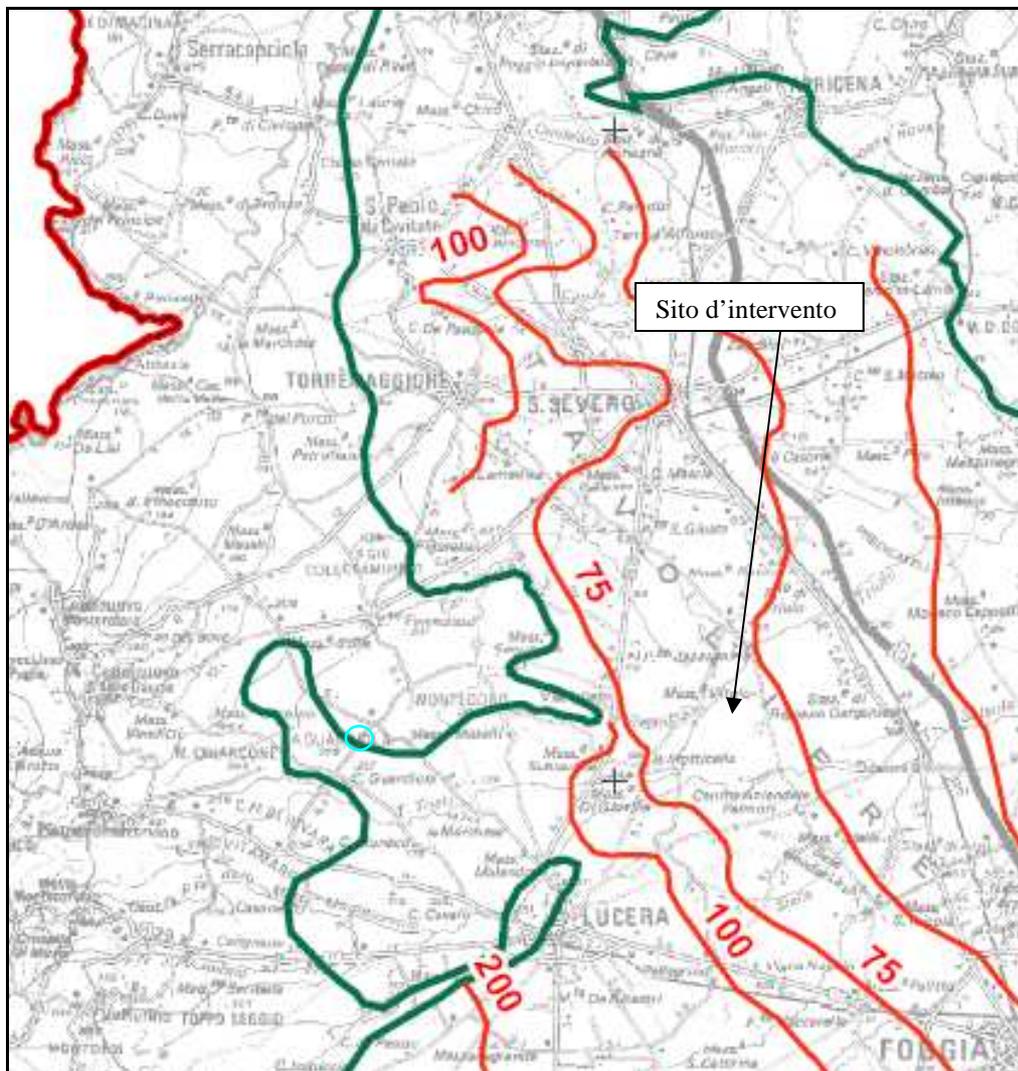


Figura 3: stralcio della carta dei carichi piezometrici del P.T.A.

#### 4. SISMICITA' DELL'AREA

Negli ultimi anni, in seguito agli eventi sismici del Molise nel 2002 e in Abruzzo nel 2009, il quadro normativo di riferimento in materia sismica è notevolmente cambiato.

L'entrata in vigore dell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri 3274/2003 "*primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica*", ha classificato come "sismici" tutti i comuni italiani; nel sito in esame il comune di San Severo (FG) rientra in Zona Sismica n.2. Successivamente con il D.M. 14 gennaio 2008 "Norme Tecniche sulle Costruzioni" l'approccio per la stima della pericolosità sismica è stato ridefinito mediante un approccio "*sito dipendente*" e non più tramite il criterio "*zona dipendente*".

L'azione sismica di progetto in base alla quale valutare il rispetto dei diversi stati limite presi in considerazione viene definita partendo dalla "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione, che è l'elemento essenziale di conoscenza per la determinazione dell'azione sismica.

Si riporta quindi la tabella ove ciascuna zona è individuata secondo valori di accelerazione di picco orizzontale del suolo  $a_g$ , con probabilità di superamento del 10% in 50 anni.

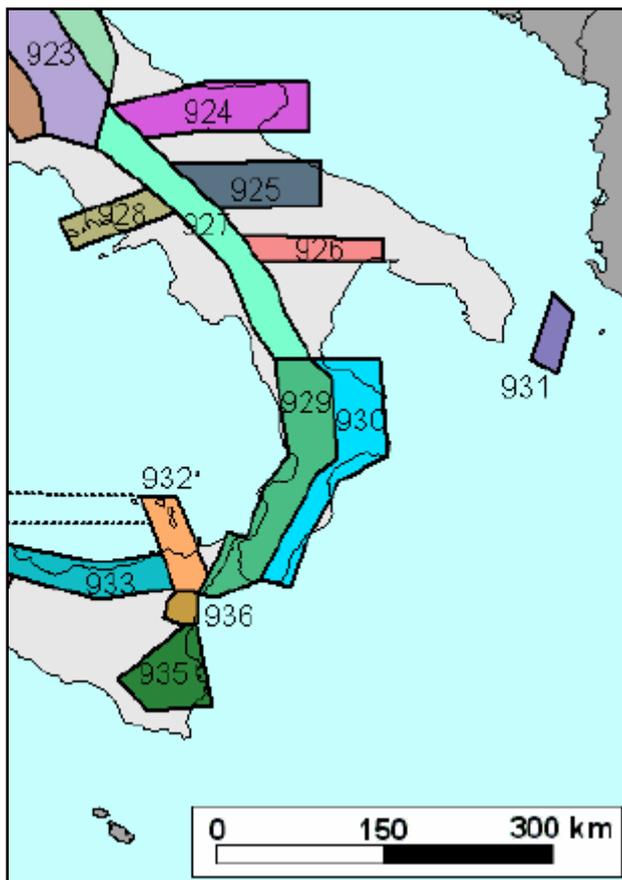
Zona sismica	Accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni [ag/g]	Accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico [ag/g]
1	> 0.25	0.35
2	0.15 – 0.25	0.25
3	0.05 – 0.15	0.15
4	< 0.05	0.05

Come indicato in precedenza, la porzione di territorio in esame si trova in una porzione del territorio italiano nota in letteratura con il nome di “Tavoliere” ed appartiene strutturalmente al dominio della *Fossa Bradanica* laddove questa si attesta nella depressione tettonica posta tra il Promontorio del Gargano a Nord, l’altopiano Murgiano a Sud ed il fronte della Catena Appenninica ad Ovest.

Rimanendo in un contesto prevalentemente geologico e sismotettonico del territorio, considerando l’evoluzione ad oggi in atto del sistema Appennino meridionale – Avampaese apulo e sulla base di studi di sismicità storica eseguiti da diversi Autori, nel 2004 il *Gruppo di lavoro per la redazione della mappa di pericolosità sismica* (OPCM

3274 del 20.03.03)

nell’ambito della *zonazione sismogenetica del territorio nazionale*, ha individuato, tra l’altro, la **zona 924** con orientamento circa E – W caratterizzata da una cinematica trascorrente destra, nella quale collocare tutta la sismicità dell’area che include l’Appennino meridionale e l’Avampaese apulo (es. terremoto del 1627, terremoti prodotti dalla faglia di Mattinata,



terremoto di San Giuliano del 2002).

A chiarimento di questo paragrafo si riportano i risultati di uno studio eseguito su tutto il territorio nazionale, che considera la ricorrenza dei forti terremoti dall'anno 1000 al 2004 (Stucchi et alii. (2007). *DBMIO4, il database delle osservazioni macrosismiche dei terremoti italiani utilizzate per la compilazione del catalogo parametrico CPTIO4*. <http://emidius.mi.ingv.it/DBMIO4/> Quaderni di Geofisica, Vol 49, pp.38).

Per una completa comprensione della tabella si consideri che la colonna “**effetti**” riporta, in termini di *intensità (Is)* (Scala Mercalli – MCS), quanto “*forte*” è stato avvertito il terremoto nello specifico comune, mentre le colonne successive riportano, oltre al toponimo dell'area epicentrale, quanto “*forte*” è stato il terremoto sia in termini di *intensità (Io)* che di *magnitudo (Mw)* (Scala Richter).

### Osservazioni sismiche (37) disponibili per S. Severo

Effects	Earthquake occurred:					
Is	Anno Me Gi Or	Area epicentrale	Studio	nMDP	Io	Mw
10	1627 07 30 10 50	Gargano	CFTI	65	10	6.73
5-6	1628 07 12	SAN SEVERO	DOM	1	5-6	4.63
7	1688 06 05 15 30	Sannio	CFTI	216	11	6.72
D	1694 09 08 11 40	Irpinia-Basilicata	CFTI	253	10-11	6.87
7-8	1731 03 20 03	Foggiano	CFTI	50	9	6.34
7	1805 07 26 21	Molise	CFTI	223	10	6.57
6-7	1851 08 14 13 20	Basilicata	CFTI	102	9-10	6.33
2	1873 03 12 20 04	Marche meridionali	CFTI	196	8	5.88
7	1875 12 06	S.MARCO IN LAMIS	DOM	97	7-8	6.07
3	1882 06 06 05 40	Monti del Matese	CFTI	52	7	5.28
5-6	1889 12 08	APRICENA	DOM	122	7	5.55
3	1892 04 20	GARGANO	DOM	15	6-7	5.15
3-4	1892 06 06	TREMITI	DOM	72	6-7	5.07
3	1893 08 10 20 52	Gargano	CFTI	69	8	5.44
5	1894 03 25	LESINA	DOM	29	7	5.17
4	1904 04 08 08 22	GARGANO	DOM	32	6-7	4.98
5	1910 06 07 02 04	Irpinia-Basilicata	CFTI	376	8-9	5.87
4-5	1913 10 04 18 26	MATESE	DOM	205	7-8	5.40
4-5	1915 01 13 06 52	AVEZZANO	DOM	1040	11	6.99
5-6	1919 10 21 00 24	GARGANO	DOM	28	5-6	5.02
3	1925 08 25 05 10	GARGANO	DOM	14	6-7	5.09
3-4	1927 05 25 02 50	CERRETO	DOM	54	6-7	5.16

6	1930 07 23 00 08	Irpinia	CFTI	509	10	6.72
NF	1930 10 30 07 13	SENIGALLIA	DOM	263	9	5.94
7	1937 07 17 17 11	SAN SEVERO	DOM	40	6-7	5.07
4	1937 12 15 21 25	CAPITANATA	DOM	23	5	4.72
6-7	1948 08 18 21 12 20	Puglia settent.	CFTI	59	7-8	5.58
4	1951 01 16 01 11	GARGANO	DOM	73	7	5.27
3-4	1954 10 26 02 25	GARGANO	DOM	8	5	4.82
6	1962 08 21 18 19 30	Irpinia	CFTI	214	9	6.19
F	1967 12 09 03 09	ADRIATICO MER.	DOM	22	6	4.83
4	1972 02 29 20 54	ADRIATICO MER.	DOM	21	6-7	4.87
6	1980 11 23 18 34 52	Irpinia-Basilicata	CFTI	1317	10	6.89
4	1984 05 07 17 49 42	Appennino abruzzese	CFTI	912	8	5.93
3-4	1988 04 26 00 53 45	ADRIATICO CENTRALE	BMING	78	5	5.43
3-4	1990 05 05 07 21 17	POTENTINO	BMING	1374	7	5.84
5	1995 09 30 10 14 34	GARGANO	BMING	145	6	5.22

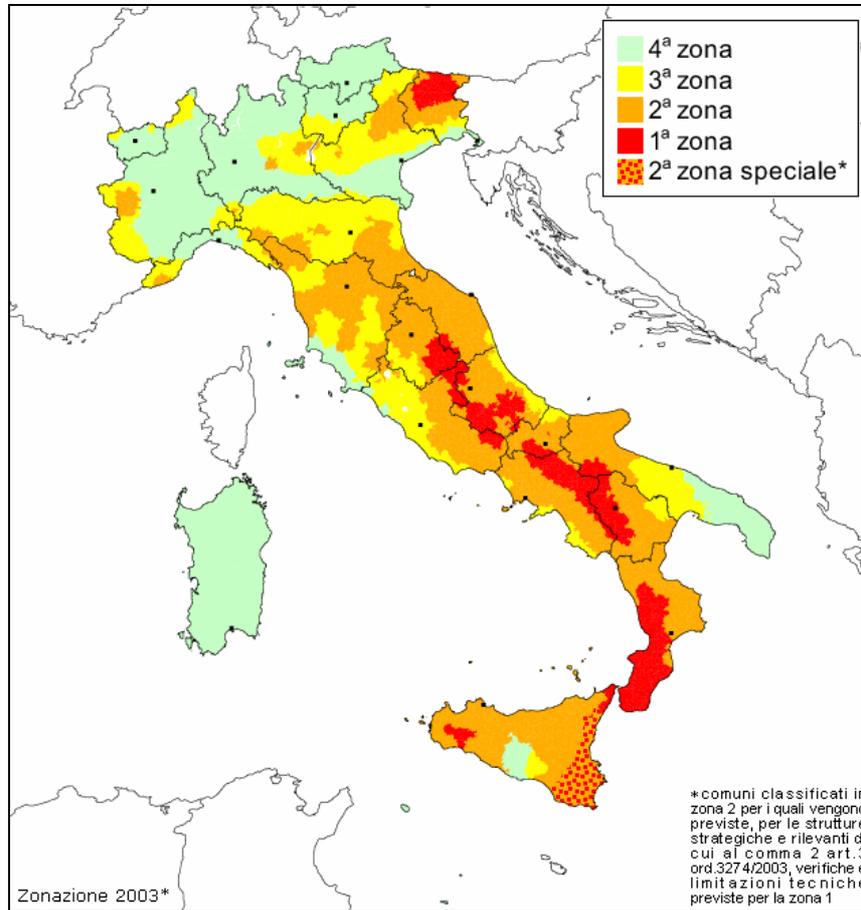
**F** avvertito (**felt**); in genere si esclude che vi siano danni ( $I < 6$ )

**NF** non avvertito (**not felt**); in caso di esplicita segnalazione in tal senso è equiparabile a  $I = 1$

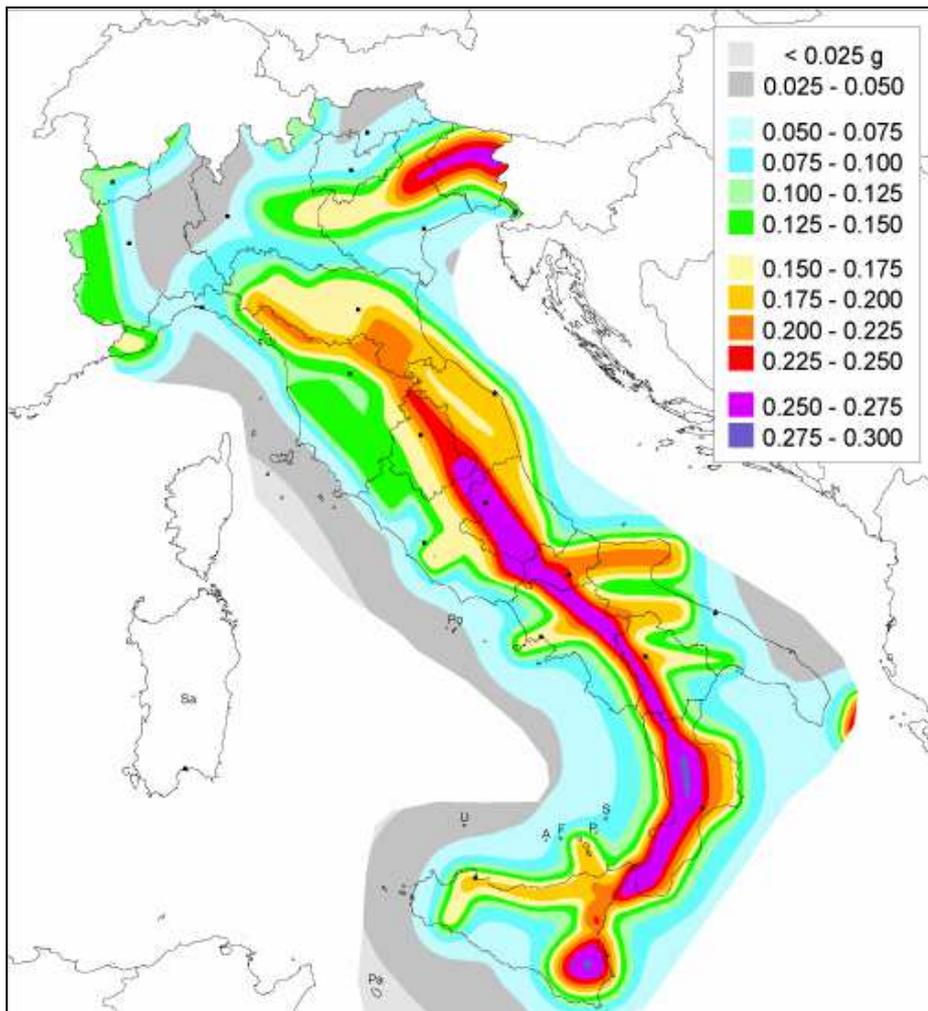
**NC** non classificato (**not classified**); indica una informazione non classificabile in termini di intensità o con i codici utilizzati

**RS** registrazione strumentale: alcuni studi riportano questa informazione, non utilizzabile dal punto di vista macrosismico, che tuttavia si è preferito conservare.

Si riportano in seguito la carta della zonazione sismica del territorio nazionale ad opera dell'INGV ed inoltre la carta delle accelerazioni del suolo (INGV) in termini di frazioni di "g" (accelerazione di gravità), alle quali il suolo può essere sottoposto a seconda dell'area in cui ricade.



**Fig.4: zonazione sismica del territorio nazionale**



**Fig.5: carta delle accelerazioni sismiche locali**

## **5. CATEGORIA SUOLO DI FONDAZIONE**

Con l'Ordinanza della Presidenza del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003, recepita dalla Regione Puglia nel marzo 2004, si individuano i criteri generali in materia di classificazione sismica del territorio nazionale e le normative tecniche per le costruzioni in zona sismica.

In seguito a tale Ordinanza, l'area di intervento è classificata in **ZONA 2**.

Per la determinazione della struttura di velocità delle onde s (informazione essenziale per lo studio degli effetti sismici locali), si fa riferimento agli esiti di una campagna di prospezioni geofisiche, condotta dallo scrivente nel medesimo contesto territoriale e per fini analoghi, utilizzando una moderna metodologia che permette di ottenere tale informazione attraverso l'analisi spettrale del rumore ambientale comunemente presente denominata **NASW** (Noise Analysis of Seismic Wave). Con questa tecnica si analizzano le onde superficiali presenti nel rumore ambientale e si ottengono le curve di dispersione; da queste, sfruttando le proprietà dispersive delle onde superficiali nei mezzi stratificati ed il legame tra la loro velocità di propagazione e quella delle onde di taglio, si risale al profilo delle Vs.

Il metodo di elaborazione ed interpretazione **ReMi** (Refraction Microtremor ovvero microtremori in rifrazione), consente di ottenere un profilo verticale delle velocità trasversali (Vs) tramite una inversione della velocità di fase delle onde di superficie (Onde di Rayleigh e di Love). Questo tipo di onde sismiche si trasmettono sulla superficie libera di un mezzo omogeneo ed isotropo e derivano dall'interferenza tra le onde longitudinali (P) e le onde trasversali (Sv). In un mezzo stratificato,

come il caso in questione, queste onde sono di tipo guidato (la velocità di propagazione cambia con la frequenza) e dispersivo (le componenti a frequenza minore penetrano più in profondità e, generalmente, hanno velocità di fase maggiore).

La campagna di prospezioni geofisiche alla quale si fa riferimento è consistita nella esecuzione di tre profili sismici; per ognuno vennero eseguite 15 registrazioni in continuo da 30 sec. con frequenza di campionamento di 500 Hz, utilizzando 12 geofoni aventi frequenza di 4,5 Hz, ed un registratore digitale modello GEODE della GEOMETRICS.

L'analisi dei sismogrammi registrati, nel dominio p-f (lentezza – frequenza), permette di analizzare l'energia di propagazione del rumore ambientale lungo tutte le direzioni e riconoscere le onde superficiali con carattere dispersivo.

La successiva analisi della curva di dispersione permette di calcolare il modello di velocità della componente Sv delle onde trasversali.

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, è stato valutato di 30 metri lo spessore dello strato che interagisce in maniera significativa con la struttura e, conseguentemente, si sono individuate differenti categorie di suolo di fondazione utilizzando i seguenti criteri discriminanti:

- litologia,
- valore della  $V_{s30}$ ,
- resistenza penetrometrica  $N_{spt}$ ,
- coesione non drenata  $c_u$

Per la classificazione del sottosuolo i termini di  $V_{s30}$ , si è partiti dal modello geotecnico del sottosuolo desumibile dalle indagini eseguite.

Calcolando la velocità media delle onde S (di taglio) sino a 30 m di profondità tramite la relazione:

$$V_{S30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_i}}$$

dove  $h_i$  = spessore in metri,

$V_i$  = velocità onde di taglio (S) dello strato "i"

si sono ottenuti i valori di  $V_{S30}$  qui sinteticamente riassunti:

PROFILO	Valore Vs30	Categoria di suolo
ReMi 01	550 m/s	B
ReMi 02	580 m/s	B
ReMi 03	325 m/s	B

Detto valore associato alla successione litostratigrafica dell'area (cfr, Tabb. 3.2.II – 3.2.III delle NTC 2008) pone il suolo di fondazione in esame, ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, nella **categoria "B"**,

Tabella 3.2.II – Categorie di sottosuolo (Decreto 14 gennaio 2008)

Cat.	Descrizione
A	<b>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</b> caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.
B	<b>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</b> con essori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $NSPT_{,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $cu_{,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).
C	<b>Deposit</b> di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con essori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < NSPT_{,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < cu_{,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).
D	<b>Deposit</b> di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $NSPT_{,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $cu_{,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).
E	<b>Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m</b> , posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).

**Tabella 3.2.III** – Categorie aggiuntive di sottosuolo Categoria Descrizione

<b>categoria</b>	<b>Descrizione</b>
S1	Depositi di terreni caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 100 m/s (ovvero $10 < C_{u,30} < 20$ kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di torba o di argille altamente organiche.
S2	Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.

Il valore medio di  $V_{s30}$  misurato sperimentalmente,  **$V_{s30} = 480$  m/s** è compreso tra **300 e 800 m/s** ed impone l'attribuzione al suolo di fondazione della **CATEGORIA "B"** (*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  $V_{s,30}$  compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero  $NSPT_{,30} > 50$  nei terreni a grana grossa e  $c_{u,30} > 250$  kPa nei terreni a grana fina) ai sensi delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni.*

Si riportano di seguito, i principali parametri da adottare ai fini del calcolo in un suolo di fondazione di categoria "B":

#### **Amplificazione stratigrafica**

$$S_s = 1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_0 \cdot a_g / g \leq 1,20$$

$$C_c = 1,10 \cdot (T^*_c)^{-0,20}$$

#### **Amplificazione topografica**

**Categoria topografica** T1

$$S_T = 1,00$$

#### **Spettro di risposta elastico in accelerazione**

<b>Componente</b>	<b><math>S_s</math></b>	<b><math>T_B</math></b>	<b><math>T_C</math></b>	<b><math>T_D</math></b>
Verticale	1,00	0,05s	0,15s	1,00s

<b>Componente</b>	<b>T<sub>E</sub></b>	<b>T<sub>F</sub></b>
Orizzontale	5,0	10,0

Poiché come detto, l'area in esame viene classificata in **ZONA 2**, il valore di accelerazione orizzontale massima al suolo, espresso come frazione dell'accelerazione di gravità **g** da adottare, deve essere:

$$\mathbf{a_g = 0,25g}$$

---

## 6. STIMA DELLA PERICOLOSITA' SISMICA DEL SITO E COEFFICIENTI SISMICI DEL SUOLO DI FONDAZIONE

Per determinare le azioni sismiche di progetto è necessario stimare la “*pericolosità sismica*” del sito oggetto di studio, rappresentata dalla probabilità che, in un fissato lasso di tempo (“*periodo di riferimento*”  $V_R$  espresso in anni), in detto sito si verifichi un evento sismico di entità almeno pari ad un valore prefissato; la probabilità è denominata “*Probabilità di eccedenza o di superamento nel periodo di riferimento*” =  $P_{VR}$ .

Il *periodo di riferimento* si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale  $V_N$  per il coefficiente d’uso  $C_U$  :

$$V_R = V_N \times C_U$$

dove la vita nominale  $V_N$  è data dalla Tab. 2.4.I (NTC-08)

TIPI DI COSTRUZIONE		Vita Nominale $V_N$ (in anni)
1	Opere provvisorie – Opere provvisionali - Strutture in fase costruttiva <sup>1</sup>	$\leq 10$
2	Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale	$\geq 50$
3	Grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica	$\geq 100$

il coefficiente d’uso  $C_U$  è dato dalla Tab. 2.4.II (NTC-08)

CLASSE D’USO	I	II	III	IV
COEFFICIENTE $C_U$	0,7	1,0	1,5	2,0

e le classi d’uso sono quelle definite al punto 2.4.2. delle NTC 2008.

Nel caso del progetto in esame, la costruzione rientra nella **CLASSE D'USO II**: *Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.*

Pertanto, nel caso in esame il periodo di riferimento è pari a:

$$V_R = 50 \times 1 = 50 \text{ anni}$$

Per ciascuno stato limite e relativa probabilità di eccedenza  $P_{VR}$  nel periodo di riferimento  $V_R$  il periodo di ritorno  $T_R$  del sisma è dato da:

$$T_R = -V_R / \ln(1 - P_{VR}) = -C_U V_N / \ln(1 - P_{VR})$$

Calcolato il periodo di riferimento  $V_R$ , la pericolosità sismica è definita in termini di :

- accelerazione orizzontale massima attesa  $a_g$  su sito di riferimento rigido (bed-rock);
- ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente  $Se(T)$ , con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza  $P_{VR}$  nel periodo di riferimento  $V_R$ .

Ai fini delle NTC 2008 le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento  $P_{VR}$ , a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

- $a_g$  accelerazione orizzontale massima al sito;
- $F_o$  valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale.
- $T_c^*$  periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Una delle novità delle NTC 2008 è appunto la stima della pericolosità sismica basata su una griglia di 10751 punti, ove viene fornita la terna di valori  $a_g$ ,  $F_o$  e  $T_c^*$  per nove distinti periodi di ritorno  $T_R$ .

Si determina, quindi, la maglia di riferimento in base alle tabelle dei parametri spettrali fornite dal ministero e, sulla base della maglia interessata, si determinano i valori di riferimento del punto come media pesata dei valori nei vertici della maglia moltiplicati per le distanze dal punto.

L'allegato B alle norme tecniche per le costruzioni (D.M. 14/01/2008) espone i nuovi dati di pericolosità sismica per tutto il territorio nazionale che permettono di definire l'azione sismica.

Il software ***Geostru PS Parametri sismici*** è un software free on-line della GEOSTRU che permette di individuare la pericolosità sismica direttamente dalla mappa geografica e, nel contempo, di determinare tutti i parametri di pericolosità sismica.

Nel nostro caso, per il sito in oggetto, dati i seguenti

*Parametri sismici:*

Categoria sottosuolo: B

Categoria topografica: T1

Periodo di riferimento: 50 anni

Coefficiente  $c_u$ : 1,0 (classe edif. II)

Si ottengono i valori dei coefficienti riportati nelle tabelle che seguono:

	<b>SLO</b>	<b>SLD</b>	<b>SLV</b>	<b>SLC</b>
<b>Probabilità di superamento</b>	81 %	63 %	10 %	5 %
<b>Tr:</b>	30[anni]	50[anni]	475[anni]	975[anni]
<b>Ag</b>	0,052 g	0,068 g	0,178 g	0,232 g
<b>Fo</b>	2,418	2,494	2,502	2,499
<b>Tc*</b>	0,292[s]	0,298[s]	0,356[s]	0,362[s]

Cui corrispondono i seguenti *Coefficienti Sismici per le fondazioni*:

<b>COEFF.</b>	<b>STATI LIMITE</b>			
	<b>SLO</b>	<b>SLD</b>	<b>SLV</b>	<b>SLC</b>
<b>Ss</b>	1,00	1,00	1,00	1,00
<b>Cc</b>	1,00	1,00	1,00	1,00
<b>St</b>	1,00	1,00	1,00	1,00
<b>Kh</b>	0,010	0,014	0,051	0,072
<b>Kv</b>	0,005	0,007	0,026	0,036
<b>Amax</b>	0,510	0,668	1,741	2,274
<b>Beta</b>	0,200	0,200	0,290	0,310

---

## **7. ASPETTI GEOTECNICI**

Come indicato nei paragrafi precedenti il sottosuolo dell'area di intervento è costituito da una copertura di sabbie e sabbie ciottolose, spesso all'incirca 30 m alla quale soggiacciono argille grigio azzurre compatte.

Alle sabbie di copertura possono attribuirsi, sulla scorta di analisi di laboratorio effettuati sul medesimo litotipo, i seguenti principali parametri fisici e geotecnici medi:

- $\gamma_n$  20 Kn/mc
- $\gamma_d$  16 Kn/mc
- C 0.0 kg/cmq
- $\phi$  28°

Si tratta pertanto di materiali incoerenti, in grado di mobilitare resistenza al taglio solo per attrito. In relazione al modesto carico litostatico al quale sono sottoposte, le sabbie in esame risultano scarsamente addensate, soprattutto nei livelli prossimi al piano campagna.

Non trascurabile sul comportamento geotecnico della copertura sabbiosa è anche l'effetto dovuto alla presenza di acque sotterranee ed alla notevole oscillazione stagionale della superficie freatica.

Al di sotto dell'unità sabbiosa, si rinviene l'unità argillosa afferente alla formazione delle "Argille subappennine".

A tali argille possono attribuirsi, sulla scorta di analisi di laboratorio effettuati sul medesimo litotipo, i seguenti principali parametri fisici e geotecnici medi:

- $\gamma_n$  19 Kn/mc
- $\gamma_d$  15 Kn/mc
- Cont. Nat. Acqua (W) 23%
- L.L. 32%
- L.P. 23%
- I.C. 1.27
- I.P. 8%
- Consistenza solido-plastica
- C 26 Kn/mq
- $\phi$  25°

Si tratta di argille debolmente sovraconsolidate, in grado di mobilitare un buona resistenza al taglio per attrito e, soprattutto, per coesione. Il grado di sovraconsolidazione del litotipo varia da luogo a luogo, in funzione del carico litostatico in essere rispetto a quello originario.

L'assetto stratigrafico del sottosuolo e quello geotecnico che ne deriva, consente di ritenere preferibile per gli aerogeneratori la realizzazione di strutture fondali di tipo misto, costituite da una platea poggiate su pali profondi ammorsati debitamente nell'unità argillosa. Un siffatto sistema fondale, ampiamente utilizzato per analoghi impianti ubicati nel medesimo territorio, consentirebbe di sfruttare adeguatamente la capacità portante per coesione e per attrito mobilitabile dai pali nelle argille (di punta e laterale), supportata dal contributo della fondazione superficiale ammorsata nell'unità argillosa.

---

## **CONCLUSIONI**

L'assetto morfologico dei luoghi è quello tipico delle aree del Tavoliere, con quote del piano campagna variabili da un massimo di 60 m s.l.m. ad un minimo di 54 m s.l.m. e con vaste zone ad andamento tabulare con modestissime pendenze in direzione della linea di costa adriatica. Localmente il monotono contesto morfologico è movimentato dalla presenza di canali di deflusso delle acque superficiali.

La circolazione idrica superficiale dell'area oggetto di studio, condizionata dalla permeabilità dei terreni affioranti, si concentra in alcuni torrenti che defluiscono verso la linea di costa adriatica con andamento da W verso E. Si tratta nel complesso di corsi d'acqua a regime stagionale o torrentizio, che possono risultare asciutti per lunghi periodi dell'anno ed essere interessati da piene repentine ed intense in concomitanza degli eventi meteorici più importanti e concentrati.

L'area d'intervento ricade parzialmente nell'ambito di zone classificate a rischio di alluvionamento. Per una trattazione più approfondita dell'argomento, si rimanda ai contenuti dello studio idrologico.

Per ciò che attiene l'instabilità geomorfologica, il P.A.I. non individua aree classificate PG1, PG2 o PG3 nell'ambito della zona di intervento.

Le condizioni geologiche generali dell'area oggetto di studio sono caratterizzate dalla presenza di alcune delle unità tipiche della Piana del Tavoliere. Tale contesto geologico costituisce la porzione settentrionale dell'unità geostrutturale della "Fossa Bradanica", interposta tra i domini della Catena Appenninica e dell'Avampese Apulo (Altipiano Murgiano) ed estesa dall'arco ionico pugliese-lucano sino alla costa adriatica del

Golfo di Manfredonia. Nell'ambito dell'area d'intervento, in affioramento e nel sottosuolo, per uno spessore di alcune decine di metri, si rinvennero depositi sabbiosi-ciottolosi incoerenti con intercalazioni limose. Tale unità costituisce l'immediato sottosuolo di sedime delle opere in progetto. A profondità variabili dal p.c., indicativamente non inferiori a 30 m ca, l'unità sabbiosa passa ad argille azzurre plioceniche.

I terreni interessati sono ascrivibili alla *Categoria B* di cui alla Tab.3.2. II del D.M. 14 gennaio 2008, comprendente **“Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti”**, caratterizzati da valori di  $V_{s30}$  compresi tra **360 e 800 m/s**.

Infine, in riferimento alla definizione della categoria topografica secondo quanto previsto nelle tabelle 3.2.IV e 3.2.VI delle NTC, considerato l'assetto planoaltimetrico della porzione di territorio in esame, l'area d'intervento può essere classificata come appartenente alla

**categoria 'T1':**

*“Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media  $i \leq 15^\circ$ ”.*

Nel complesso quindi, per quanto attiene gli aspetti di ordine geotecnico, l'area prescelta non presenta particolari criticità che possano risultare ostative alla realizzazione del progetto in esame, fatti salvi in necessari approfondimenti da eseguirsi durante la fase della stesura del progetto esecutivo.

---

Tanto si doveva in espletamento dell'incarico ricevuto.

Bari, Dicembre 2017

Dott. geol. Luigi Buttiglione

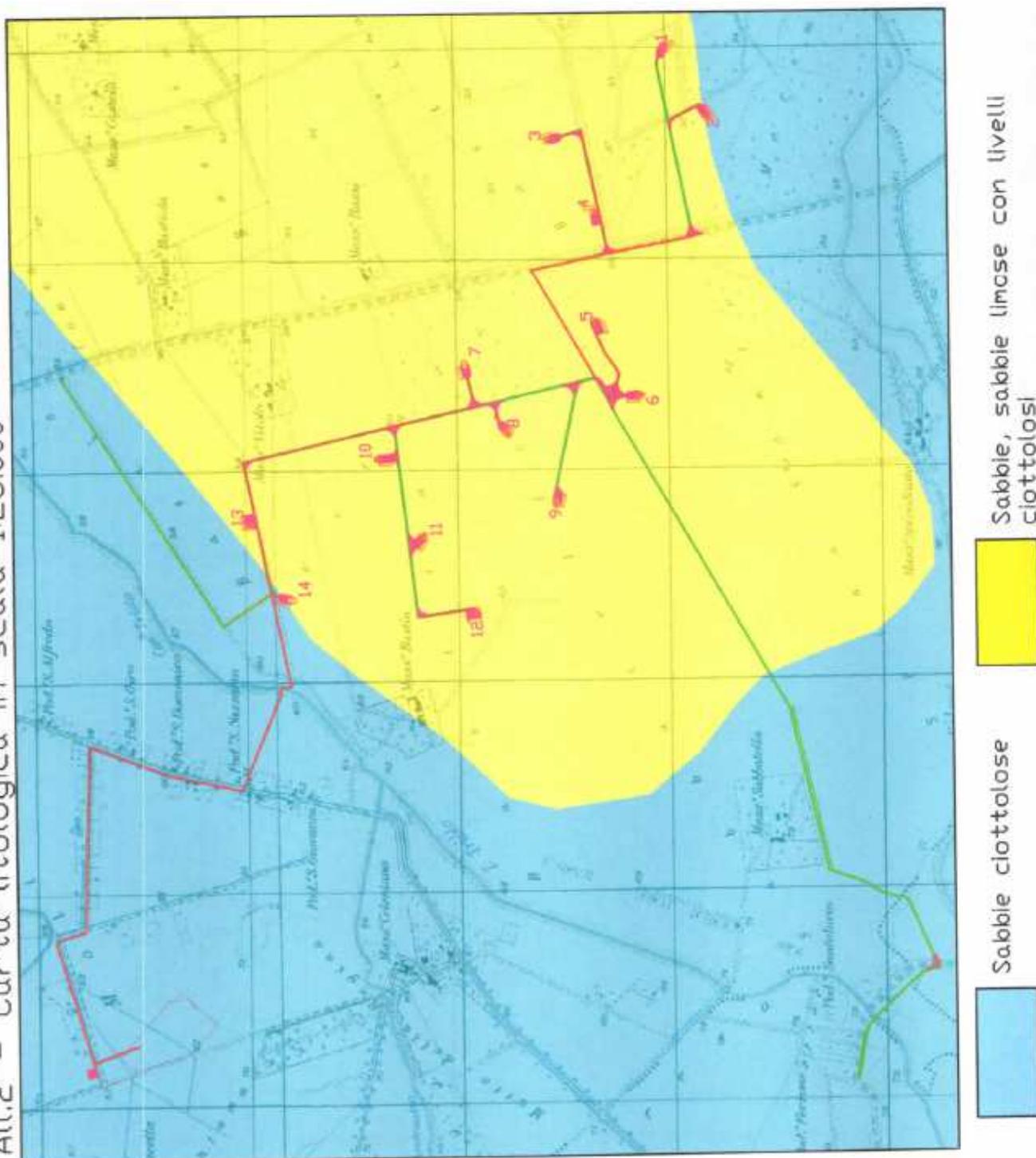


ORDINE DEI GEOLOGI  
Dott. Geol.  
BUTTIGLIONE  
LUIGI  
N°244  
PUGLIA

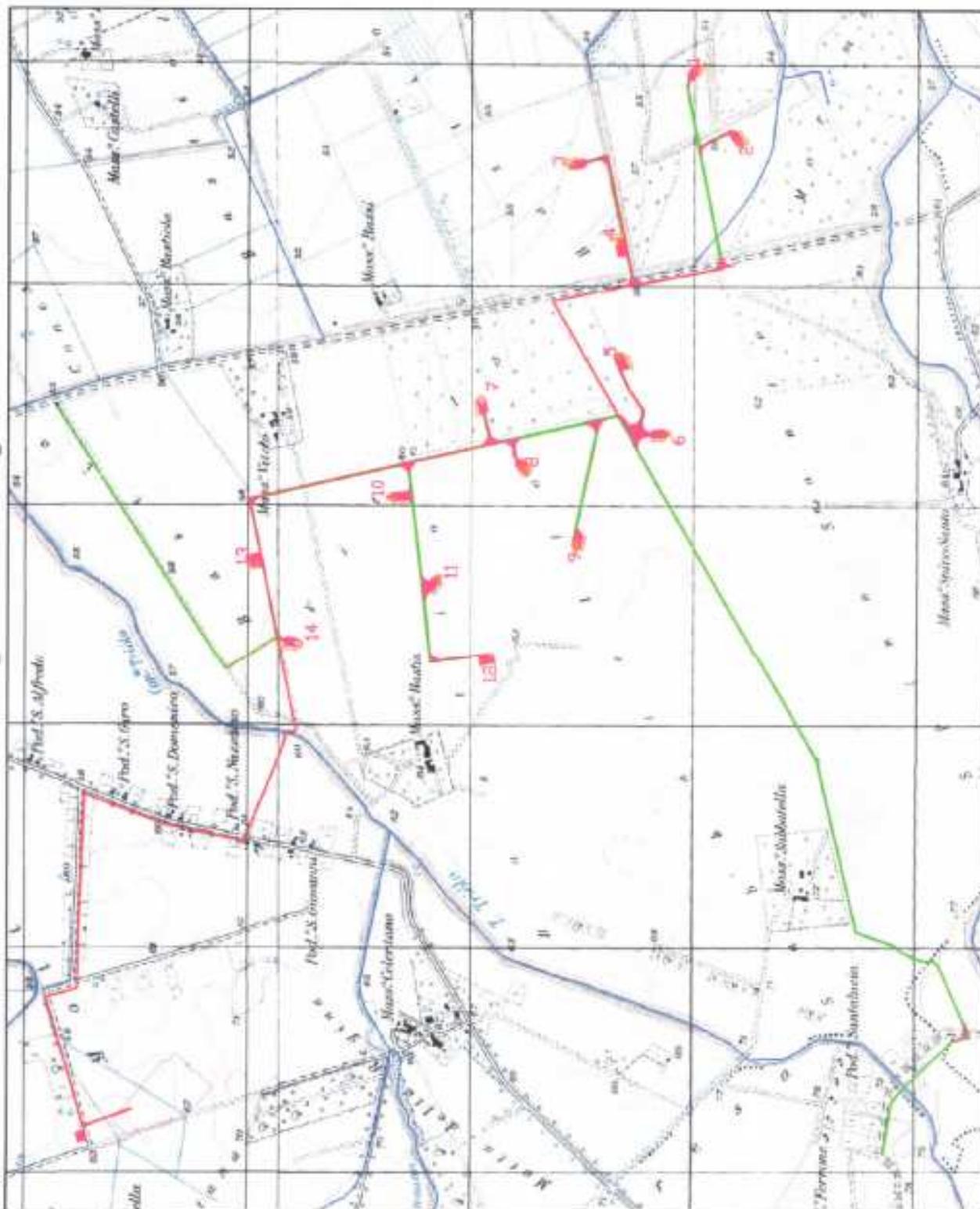
## **ALLEGATI**



All.2 - Carta litologica in scala 1:25.000



All.3 - Stralcio carta idrogeomorfologica 1:25.000



ALL.4 - Stralcio cartografia P.A.I. - scala 1:25.000

