

Dott.ssa Geol. Anna Rosaria Marletta

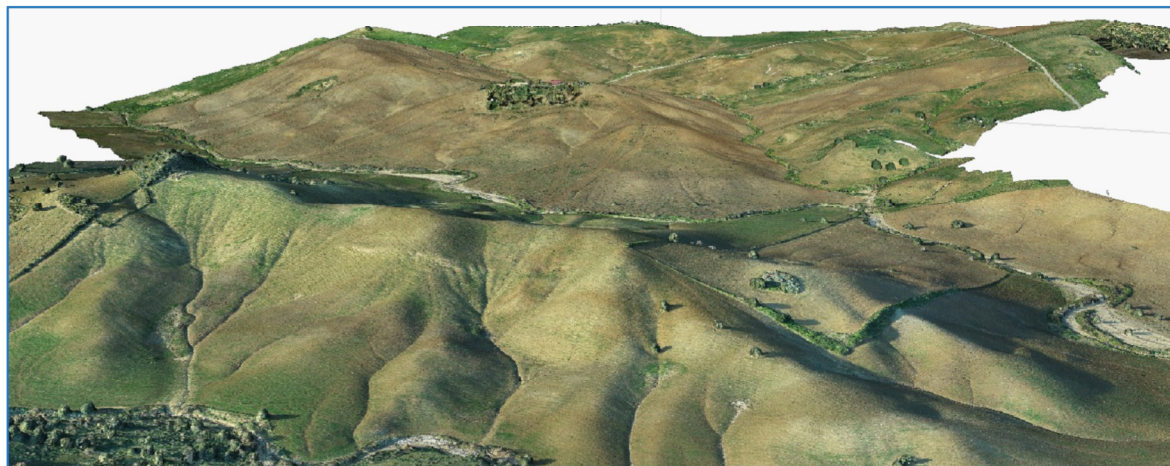
95123 Catania - via Varese 14

Provincia Regionale di Campobasso Comune di Rotello

Oggetto:

PROGETTO DI UN IMPIANTO FOTOVOLTAICO DA 120,16 MW

RELAZIONE GEOLOGICA-TECNICA



Committente : Geoexpert di Maria Rita Arcidiacono

Il geologo
Dott.ssa Geol. Anna Rosaria Marletta
iscritta Ordine Regionale di Sicilia al n° 1644

1	PREMESSE	2
2	SCOPO DEL DOCUMENTO	4
3	INQUADRAMENTO DELL'AREA	5
3.1	<i>Localizzazione geografica dell'area</i>	5
3.2	<i>Inquadramento geomorfologico</i>	5
4	IDROGEOLOGIA	7
5	IDROGRAFIA	8
5.1	<i>Caratteristiche idrografiche locali</i>	9
6	ASSETTO GEOLOGICO LOCALE	10
7	STRATIGRAFIA	12
7.1	<i>Frane</i>	12
7.2	<i>Depositi fluviali</i>	12
7.3	<i>Depositi alluvionali terrazzate</i>	12
7.4	<i>Avanfossa plio-pleistocenica – Ciclo trasgressivo</i>	12
7.5	<i>Unita' di Monte Daunia</i>	13
7.6	<i>Formazione Faeto</i>	13
7.7	<i>Argille varicolori</i>	14
8	TETTONICA REGIONALE	15
9	CARATTERISTICHE GENERALI DELLA SISMICITA'	17
9.1	<i>Sismicità dell'area</i>	19
10	AZIONE SISMICA - STATI LIMITE (D.M. 17/01/2018)	20
11	COMPORAMENTO MECCANICO DEI TERRENI	28
11.1	<i>Caratterizzazione sismica del sottosuolo prospezione MASW</i>	28
11.1.1	<i>Descrizione dei risultati</i>	29
11.2	<i>Prospezione sismica tomografica</i>	32
11.3	<i>Prove penetrometriche dinamiche</i>	33
11.4	<i>Sintesi modello sismostratigrafico del sottosuolo</i>	34
12	CARATTERISTICHE FISICO MECCANICHE DEI TERRENI	43
12.1	<i>Depositi alluvionali terrazzate</i>	44
12.2	<i>Avanfossa plio-pleistocenica – Ciclo trasgressivo</i>	44
12.3	<i>Unita' di Monte Daunia</i>	45
12.3.1	<i>Formazione Faeto</i>	45
12.3.2	<i>Argille varicolori</i>	45
13	CONCLUSIONI	47

I PREMESSE

Su incarico conferitomi dalla Geoexpert si è eseguita una relazione geologica nel territorio comunale di Rotello provincia di Campobasso finalizzata all'approfondimento delle conoscenze stratigrafiche, tettonico-strutturali e geomorfologiche dei terreni implicati, allo scopo di fornire le informazioni necessarie per la progettazione degli impianti di fotovoltaico da 120,16 MW e delle area a servizio. Il presente quadro geologico deriva dall'interazione dei dati di superficie ottenuti tramite rilevamento geologico attraverso l'esame diretto dei terreni affioranti, dall'esame del rilevamento con drone con il quale è stato possibile definire con maggiore chiarezza la situazione geologica e strutturale ricostruendo le geometrie delle formazioni presenti, da dati di laboratorio derivati dal campionamento di materiale in situ e da prove di geotecnica eseguiti sui terreni nell'area in studio.

Il lavoro è stato svolto attraverso le seguenti fasi operative:

- ricerca e analisi bibliografica delle pubblicazioni relative all'area di studio;
- acquisizione ed analisi degli studi geologici effettuati in epoche precedenti riguardanti l'area di interesse;
 - approfondimenti conoscitivi mediante: Prospezioni Masw eseguite con strumentazioni digitali, Tomografie sismiche di superficie, Tomografie elettriche 3D a 24 canali con stendimenti fino a 115 metri ed infine prove geotecniche in situ per la valutazione delle proprietà meccaniche dei terreni;
 - analisi di laboratorio su campioni prelevati;
 - rilievi diretti sul terreno mirati alla definizione delle caratteristiche geologiche, geomorfologiche ed idrogeologiche dell'area;
 - analisi dei dati e redazione delle presenti note di sintesi e degli elaborati cartografici a corredo.

Lo studio geologico è stato eseguito in ottemperanza al D.M. LL.PP. 17/01/18 "Norme tecniche per le costruzioni" che definiscono le regole a seguire per la progettazione, esecuzione e collaudo delle opere, sia in zona sismica che in zona non sismica. Esse forniscono i criteri generali di sicurezza, precisano le azioni che devono essere utilizzate nel progetto, definiscono le caratteristiche dei materiali e dei prodotti e, più in generale, trattano gli aspetti attinenti alla sicurezza strutturale delle opere.

A seguito degli elementi ottenuti e degli accertamenti svolti, sono riportati i sotto-elencati elaborati:

Corografia del sito;

Carta geolitologica di dettaglio

Il lavoro che qui segue oltre a illustrare la localizzazione e identificazione geologica dell'area interessata consente la caratterizzazione geotecnica per la determinazione dei parametri di progetto, utili per il calcolo della capacità portante dei terreni direttamente interessati. La normativa tecnica classifica i

suoli in più categorie sulla base del valore del V_s che rappresenta la velocità media di propagazione delle onde S in profondità al di sotto il piano delle fondazione.

2 SCOPO DEL DOCUMENTO

Le presenti note e gli elaborati cartografici ad esse allegati contengono la sintesi dello studio effettuato, chiariscono gli aspetti connessi con lo scenario naturale relativamente alla componente geologica in cui si colloca il settore di studio e affrontano gli elementi ritenuti critici dal punto di vista geologico, geomorfologico, idrogeologico e sismico.

Il modello geologico applicativo proposto, pone particolare attenzione alla ricostruzione degli assetti idrogeologici, degli assetti e delle configurazioni geometriche delle differenti unità individuate e alla caratterizzazione in senso fisico, litologico e granulometrico dei terreni direttamente interessati dalle opere in progetto.

Le informazioni dedotte dall'analisi aerofotogrammetrica sono state verificate su carta e in situ tramite rilievo puntuale di punti quotati e spuntoni rocciosi localmente affioranti.

Per la datazione delle formazioni sedimentarie affioranti si è fatto riferimento alla bibliografia disponibile.

Gli elaborati cartografici e le relative note di riferimento sono stati redatti secondo gli standard metodologici più diffusi in ambito scientifico, nazionale ed internazionale.

3 INQUADRAMENTO DELL'AREA

3.1 Localizzazione geografica dell'area

L'area oggetto di studio ricade nella porzione nord-orientale della regione Molise costituisce una porzione mediana del decorso del Fiume Saccione orientata secondo una direttrice SW-NE; i pannelli fotovoltaici previsti da 200 MW saranno allocati nelle aree individuate in carta.

3.2 Inquadramento geomorfologico

Dal punto di vista geomorfologico generale l'area si trova nella fascia, di medio-bassa collina, di raccordo tra i rilievi appenninici molisani, e la costa, raccordandosi con la piana del Tavoliere, si sviluppa tra quote altimetriche comprese tra i 50 m ed i 450 m circa s.l.m. L'orografia dell'area appenninica, caratterizzata da una morfologia dolce con ampie pianate, pianalti, debolmente inclinati verso N-NE, che digradano verso la costa raccordandosi con la piana del Tavoliere, con quote comprese tra 300 e 150 metri s.l.m., intervallati da ampie valli, con versanti dolci e poco inclinati, incise dai principali corsi d'acqua.

Da un punto di vista orografico, il territorio in esame è occupato, per oltre la metà, da rilievi montuosi che raggiungono i 2050 m di quota con il M. Miletto sui Monti del Matese che rappresenta uno dei passaggi dello spartiacque appenninico. Quest'area è caratterizzata da dorsali con versanti aspri ed acclivi solcati da valli strette ed incassate disposte parallelamente alle strutture regionali; tali valli si presentano asimmetriche col fianco più ripido in corrispondenza degli strati posti a reggi-poggio e quello meno ripido in corrispondenza delle superfici di strato. Il rimanente territorio è costituito da colline che degradano verso la fascia costiera pianeggiante. Si ritrovano una serie di dossi a morfologia ondulata che raccordano i rilievi montuosi con la costa adriatica hanno una quota di alcune centinaia di metri sul livello del mare ed i versanti appaiono modellati dolcemente in conseguenza della plasticità delle litologie presenti; soltanto localmente i versanti presentano sensibili energie di rilievo generalmente connesse a fenomeni di evoluzione morfologica. In alcune zone l'andamento collinare è interrotto dagli affioramenti litoidi rocciosi su cui sorgono molti centri abitati. Nelle fasce intramontane e nella fascia costiera si individuano paesaggi sub pianeggianti solcati, generalmente da un corso d'acqua; di frequente, in fregio al fiume si osservano consistenti depositi di materiale alluvionale fluviale degradante a depositi a granulometria fine in direzione della foce. La fascia costiera, con sviluppo di circa 35 km si presenta quasi sempre bassa e costituita generalmente da sabbia fine, ad eccezione dei depositi

ghiaiosi in corrispondenza del fiume Trigno; localmente il paesaggio presenta degli alti lati morfologici in corrispondenza dei terrazzi. In sintesi, relativamente agli aspetti geomorfologici, si evidenzia il prevalere di processi fluviali dovuti al dilavamento ed alla neotettonica, a fenomeni di crollo, degradazione ed alterazione delle rocce nella parte montana, a consistenti fenomeni di versante di evoluzione gravitativa nella fascia collinare ed, infine processi di deposizione e sedimentazione nella fascia pianeggiante e costiera, ad eccezione di fenomeni di erosione costiera collegata ai regimi delle correnti marine ed alla loro interferenza con gli apporti fluviali.

Da un punto di vista geologico-strutturale è possibile distinguere diverse unità tettoniche accavallatesi durante le fasi orogenetiche avvenute a partire dal Tortoniano, in concomitanza dell'apertura del Bacino tirrenico (D'argenio et alii, 1973; Mostardini & Merlini, 1986; Patacca et alii, 1990; Patacca & Scandone, 2007). Data la natura fortemente erodibile delle litologie affioranti, i processi denudazionali ivi agenti sono legati prevalentemente all'azione dei processi fluviali e gravitativi.

4 IDROGEOLOGIA

Dal punto di vista idrogeologico, la permeabilità è strettamente condizionata dalla situazione litostratigrafica, le diversità litologiche, condizionano i caratteri idrogeologici in quanto controllano i processi di infiltrazione e la circolazione sotterranea.

Possiamo pertanto definire diverse unità idrogeologiche. L'unità idrogeologica principale, l'acquifero poroso superficiale, è rappresentata dai depositi di copertura quaternaria in cui sono incise le ampie valli dei corsi d'acqua principali. Tale unità, che presenta uno spessore di circa 20 m, è costituita da una successione di terreni sabbioso-ghiaioso ciottolosi, permeabili ed acquiferi con intercalazione di livelli argilloso-siltosi a minore permeabilità. In questa unità l'acqua si rinviene essenzialmente in condizioni di falda libera e coincide, nella parte alta, con la zona di preferenziale ricarica. L'unità impermeabile di base è rappresentata dalle argille sottostanti. In virtù dell'inclinazione, che la formazione argillosa presenta, la direzione di scorrimento delle acque sotterranee dovrebbe evolversi, preferibilmente, verso NE.

Acquiferi di minore importanza possono essere rinvenuti in corrispondenza delle alluvioni terrazzate o dei livelli sabbioso-arenacei sovrapposti a litologie argillose.

In corrispondenza dell'affioramento dei materiali argillosi la permeabilità è da bassa a nulla ad eccezione dei livelli arenaci o calcarenitici che danno origine a piccole emergenze collegate a falde locali. Molto spesso gli olistostromi litoidi che fasciano la parte bassa delle vallate importanti, determinano emergenze idriche non trascurabili, che si manifestano al contatto tra gli olistostromi e le argille in cui gli stessi sono inglobati. Le litologie argillose sono caratterizzate da permeabilità molto bassa che favorisce un deflusso superficiale su un reticolo fluviale di tipo detritico.

Nello specifico, dal rilevamento idrogeologico di campagna, nell'area interessata dalle opere in progetto è possibile rinvenire una falda superficiale, a profondità variabili da - 5.00 a 6.00 metri dal p.c., che si attesta nei terreni ciottolosi sabbiosi affioranti, ed una falda più profonda a profondità superiori a - 20.00 e a - 40.00 metri dal p.c. Nel corso del rilevamento l'individuazione delle unità stratigrafiche è stata effettuata sulla base del criterio litostratigrafico che ha permesso di definire i rapporti geometrici (stratigrafici e/o tettonici) di sovrapposizione tra le varie unità e formazioni affioranti e di riconoscere le geometrie delle strutture ad andamento regionale.

5 IDROGRAFIA

L'idrografia superficiale del Molise è caratterizzata dalla presenza di quattro corsi d'acqua principali a sbocco adriatico (F. Trigno, F. Biferno, F. Fortore e F. Saccione) e di una fitta rete di ordine inferiore. I corsi d'acqua principali presentano uno spiccato controllo tettonico in quanto il loro asse (SW-NE) è in perfetta sintonia con i maggiori sistemi dislocativi presenti nel tratto di Catena Appenninica. Dal punto di vista idrografico i corpi idrici presenti nell'area sono corsi d'acqua perenni con direttrice orientata verso est, si evidenziano il Fiume Saccione, corso d'acqua a regime permanente e il suo affluente, di sinistra idrografica, costituito dal Torrente Mannara, a carattere torrentizio con asse di drenaggio principale orientato circa SW-NE, questi formano delle vallate separate da spartiacque collinari da cui si dipartono modesti impluvi a regime idrometeorico che recapitano nei citati corsi principali.

Il substrato a forte tenore pelitico determina un pattern idrologico di tipo dendritico, suddiviso in pochi ordini gerarchici. I corsi d'acqua hanno un regime idrologico irregolare ed intermittente ed una sensibile dinamicità di fondo; è possibile, infatti, notare paleoalvei e meandri accennati che tendono a scomparire nelle tratte a minor pendenza, in prossimità della confluenza con il Fiume Saccione. Il carattere meandriforme è influenzato sia la bassa acclività media che l'azione di spinta laterale operata da locali fenomeni di instabilità corticale che si registrano lungo i declivi collinari e che condizionano il deflusso superficiale. Le pendici, di modesta altezza soprattutto ove è più elevata la frazione argillosa, evidenziano fenomeni e forme di evoluzione gravitativa nella coltre di terreno più superficiale e destrutturata; in particolare, possono osservarsi ondulazioni e gibbosità di fondo ascrivibili a reptazione lenta e/o soliflusso che interessa spessori inferiori al metro e che talora evolvono in cinematismi tipo colata, senza assumere, tuttavia, connotati di rilevante pericolosità o pregiudizio per l'uso delle aree, come attestato dall'esame geomorfologico e confermato dalla disamina del PAI dei fiumi Trigno, Biferno, Saccione e Minori. Altre forme peculiari sono ascrivibili a conche e depressioni ospitanti laghetti, con fondale di depositi humici; assenti risultano processi denudazionali, con fuoriuscita di substrato roccioso, morfosculture e morfostrutture.

Il reticolo idrografico è a media densità di drenaggio, il che riverbera la bassa permeabilità media delle litologie, ha un grado di gerarchizzazione fluviale massimo del 4° grado (classificazione di Horton-Strahler).

5.1 Caratteristiche idrografiche locali

L'area interessata dagli interventi in progetto è caratterizzata da un'articolata rete di corsi d'acqua il quale andamento è in prevalenza SW-NE. i principali corpi idrici superficiali del Molise sono i quattro corsi d'acqua naturali recapitanti nel Mare Adriatico, Trigno, Biferno, Fortore, Saccione.

Il fiume Trigno: sorge alla base del Monte Capraro, nei pressi di Vastogirardi in provincia di Isernia, ad una altitudine di circa 1290 m s.l.m.. La superficie complessiva del bacino è di circa 1200 km². Per un tratto di 35 Km scorre interamente in territorio molisano; nel secondo tratto di percorso, di circa 45 Km, segna il confine con l'Abruzzo, fino a 7 Km dalla foce presso San Salvo, quando rientra in territorio molisano. Il Trigno raccoglie nel Molise le acque di circa 30 torrenti e valloni. Dopo un percorso di circa 96 km, sfocia nel Mare Adriatico in località Marina di Montenero di Bisaccia (CB), poco a sud del centro abitato di Marina di San Salvo.

Il fiume Biferno è il principale fiume del Molise, con una superficie di bacino drenante di 1.316 km² e scorre interamente in territorio regionale. Ha origine dalle falde del Matese presso Bojano dall'unione del torrente Quirino, che nasce dalla Serra Macchia Strinata (m 1621), col torrente Càllora e si snoda per 106 km circa, interamente nell'ambito territoriale della provincia di Campobasso. Dopo aver attraversato il centro di Bojano, riceve le acque di numerosi affluenti, quali, a sinistra, il torrente Cervaro, il vallone Coruntoli, il vallone Grande, il vallone Macchie; a destra, il torrente Cigno, il vallone Ingotte, il rio di Oratino, il vallone della Piana, il torrente Rio, il vallone Rio Vivo, il torrente Rivolo, sfocia presso Termoli, con una foce a cuspideltizia molto pronunciata. Il Cigno è uno degli affluenti maggiori del Biferno

Il torrente Saccione nasce dal Colle Frascari (437 m s.l.m.) E' lungo circa 38 km e per metà della sua lunghezza, segna il confine tra il Molise e la Puglia, ha un bacino drenante complessivo di 289 km².

6 ASSETTO GEOLOGICO LOCALE

L'assetto stratigrafico-strutturale dell'area di interesse è stata ricostruita integrando i dati ottenuti dal rilevamento geologico effettuato con tutte le informazioni ricavate dalla fotointerpretazione condotta, dalle fonti bibliografiche disponibili e dalle indagini di sito appositamente realizzate per il presente studio.

Per meglio capire i reciproci rapporti stratigrafici, si rende necessario un inquadramento geologico di una zona più ampia di quell'interessata dall'opera.

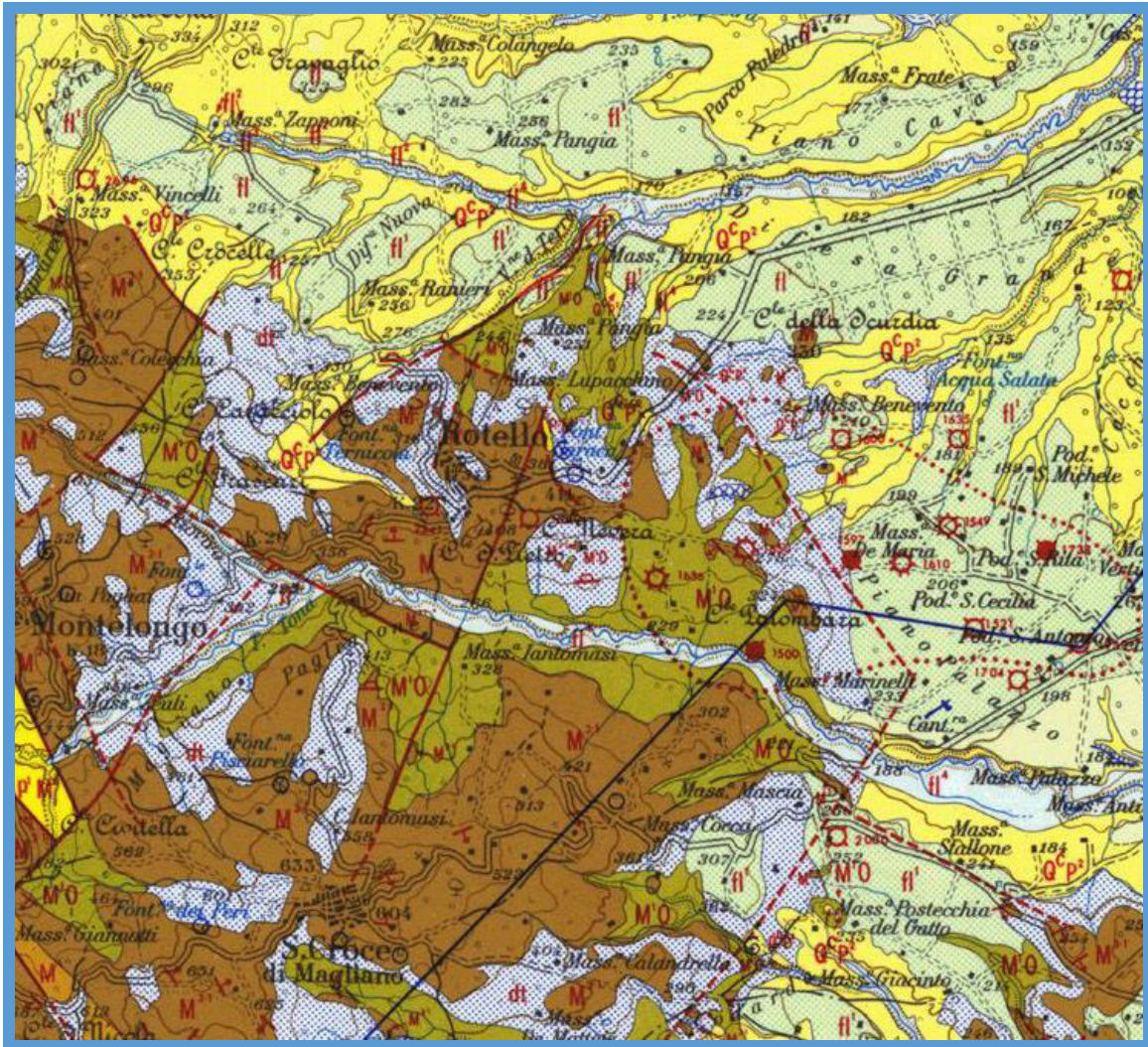
Dal punto di vista geologico generale, il sito in esame è parte integrante dei terreni situati tra i rilievi collinari ai margini orientali dell'Appennino meridionale molisano, a E di Rotello, caratterizzato da una morfologia dolce con ampie spianate, pianalti, debolmente inclinati verso N-NE, che digradano verso la costa raccordandosi con la piana del Tavoliere, intervallati da ampie valli, con versanti dolci e poco inclinati, incise dai principali corsi d'acqua e dai loro affluenti minori.

Dal punto di vista geologico-strutturale si trova in prossimità del limite Catena-Avanfossa dell'Appennino meridionale: i differenti domini strutturali che li caratterizzano sono da riferirsi rispettivamente agli assetti stratigrafico-strutturali del margine esterno della Catena e a quelli dell'Avanfossa (Fossa bradanica).

L'area in esame è compresa nel Foglio 155 "SAN SEVERO" della Carta Geologica d'Italia al 100.000.

STRALCIO CARTA GEOLOGICA D'ITALIA

F. 155 "SAN SEVERO"



ARGILLE DI MONTESECCO - Argille marne, siltoso-sabbiose, grigio-azzurre, con abbondante macrofauna a prevalenti lamellicornici (*Chamae opercularis* L., *C. Roulei* POL., *Glycymeris*, ecc.) e gasteropodi; microfauna, nella parte alta, a *Valculinera brodaensis* (TORN.) *Bolivina operosa* SM., *B. canalicata* WIL. e *Bolivina elegans* TROM. nella parte inferiore, a *Globobulimina crassaformis* (DALL. & WILK.) e *G. subula* (DALL.) **CALABRANO I - FUGGIONE MEDIO.**

FORMAZIONE DELLA DAUNIA - Superiormente calcari organogeni bianchi liofili, con intercalazioni di calcare bianco pulverulento e strati di calcarelli compatti o fogliettati a bronzi, corallinacci, sublacustri, pertinoli, mucopolini, con litigne e microligne a *Glauco-peronea trilinea* (MILNE), *G. bignoniata* (DALL.), *Glaucoquadrina delibata* (DALL., FARR. & DALL.); nella parte media, marne calcaree sabbie con lenti e solette di selce bruna alternati con argille siltose grigiastre e quarze livello di troppi e radiolari; nella parte inferiore, arenarie sabbiose giallastre con intercalazioni di calcareo arenaceo con marne argilose verdine, che si rimpiccioliscono anche come intercalazioni tra gli strati di calcare arenaceo di marone della parte alta delle Argille varicolori **MARAVALLIANO - LANGHIRANO - AQUITANIANO I.**

ARGILLITI VARICOLORI (« Complesso indifferenziato » p. p. del foglio (Lutera). Arenarie giallastre con intercalazioni di calcarelli e di argille verdi; alternanze di argilliti varicolori, prevalentemente rosse, con strati di sabbie fini e rugolosi di calcari a *Leptocyclina* e con concrezioni maggioritari, in assetto frequentemente capico. **ANDREONE PUL. - GUGLIONE.**

7 STRATIGRAFIA

Le successioni stratigrafiche presenti nell'area di interesse possono essere distinte, dal basso verso l'alto, in:

7.1 Frane

Sono costituiti da clasti eterogenei, sciolti superficialmente e/o addensati con l'aumentare della profondità fino a debolmente cementati. Costituiscono depositi per il disfacimento delle unità geologiche presenti rimanendo in posto a ricoprire l'unità geologica di origine o essere trasportate dalla gravità o dalle acque dilavanti lungo i versanti. Si rinvencono spessori variabili, composizione granulometrica variabile in senso latero-verticale. Struttura caotica con pezzame litoide disperso.

7.2 Depositi fluviali

Il complesso è costituito da depositi di ghiaia di dimensione variabile clasti eterogenei con abbondante e/o scarsa matrice grossolana e medio-fine di natura sabbiosa-ghiaiosa con presenza a luoghi di lenti argillose con intercalazioni di paleosuoli bruni.

L'associazione litologica è influenzata dalle caratteristiche geologiche del bacino di erosione da cui trae origine il deposito e dalla selezione prodotta dai processi idrodinamici locali. Lo spessore è variabile sia in senso longitudinale che trasversale.

7.3 Depositi alluvionali terrazzate

La formazione raccoglie le alluvioni fluviali di diverso ordine dei fiumi principali (Trigno, Biferno e Fortore) sono depositi composti da alluvioni ghiaiose, a luoghi cementate, in matrice bruno rossastra (terrazzi del primo ordine); alternativamente con intercalazioni di paleosuoli bruno nerastri (terrazzi del secondo e terzo ordine) mentre i terrazzi olocenici più recenti sono caratterizzati da alluvioni prevalentemente sabbioso-limose-argillose dotate di un maggior grado di addensamento.

7.4 Avanfossa plio-pleistocenica – Ciclo trasgressivo.

I depositi prevalentemente sabbiosi sono costituiti da sabbie grossolane giallastre e da sabbie stratificate a grana media e a modesto contenuto fossilifero, passanti gradualmente a sabbie argillose

giallastro chiare, argille azzurre e argille marnose grigio-azzurrognole. I depositi prevalentemente argillosi sono costituiti da argille scistose azzurre, argille marnose grigio azzurrognole e sabbie argillose giallo-brune con livelli e lenti di argille sabbiose grigiastre ricche a luoghi di contenuto fossilifero. Alla base compaiono lenti di puddinghe minute e a volte intercalate nella formazione conglomerati poligenici, fortemente cementati con ciottoli marnosi e calcarei di varie dimensioni, forma ed età e con frequenti elementi di rocce cristalline

7.5 *Unita' di Monte Daunia*

Formazione della Daunia, una delle più diffuse del bordo orientale dell'Appennino centro-meridionale. Si tratta di un'alternanza di calcareniti, calcari marnosi, brecciole calcaree, marne e marne argillose, con rari noduli di selce. Le marne argillose chiudono al tetto il *flysch di Faeto*. Il passaggio è contrassegnato da sottili intercalazioni che sono calcarenitiche, quando ad essere interessato è il primo, ovvero arenacee, quando è implicato il secondo.

Litologicamente la formazione assume caratteri variabili in funzione sia del prevalere di una, piuttosto che di un'altra, delle facies tipiche e delle unità di letto e di tetto sia della distribuzione delle stesse.

Nella fascia compresa tra le valli del Trigno e del Biferno, la "Daunia" è riconducibile ad alternanze di calcareniti e calcari brecciati, calcari compatti con lenti e noduli di selce, marne, argille ed arenarie calcarifere, in continuità (ove presenti) su calciruditi e calcareniti, con sottili intercalazioni marnose. La base è identificabile in calcari marnosi alternanti a marne, talora predominanti tra il Sangro e l'alto corso del Trigno, ed in marne, argille ed argille marnose con intercalazioni di calcari anche microdetritici, tra l'alto-medio Trigno ed il Biferno. Il tetto è rappresentato da arenarie sino all'alta valle del Trigno e da argille e marne, alternanti con arenarie più o meno cementate, sino al Biferno. Tra le valli del Biferno e del Fortore, la "Daunia" è rappresentata da calcari organogeni, calcareniti e brecciole calcaree, calcari pulverulenti, calcari e calcari marnosi con liste e noduli di selce, arenarie, marne ed argilliti: le rocce carbonatiche caratterizzano nettamente la porzione medio-alta della successione. Il letto è riconducibile ad arenarie, calcareniti ed argille, nelle fascia settentrionale e ad argilliti varicolori, diaspri e calcari in quella meridionale; il tetto si identifica in marne grigie con rare intercalazioni di calcari marnosi.

7.6 *Formazione Faeto*

E' l'unità litostratigrafica arealmente più estesa nell'ambito dell'area in esame, è costituita da un'alternanza di strati e banchi di calcareniti, calciruditi, calciluti, marne, calcaree ed argille marnose; a

causa dell'alto grado di deformazione è difficile calcolarne lo spessore, tuttavia ricostruendo per intervalli stratigrafici successivi è possibile stimare uno spessore massimo di circa 500 m.

Il flysch di Faeto è caratterizzato dalla presenza di alcuni banchi di areniti silicoclastiche a granulometria medio-fine, è stato suddiviso informalmente in tre membri: uno basale caratterizzato da una successione calcareo-argillosa, uno intermedio rappresentato da una fitta alternanza di calciclastiche e calcilutiti ad *Orbuline* e uno superiore costituito da un'alternanza di torbiditi e marne grigie.

Le torbiditi calciclastiche presentano granulometria variabile da medio-grossolana a fine, la geometria degli strati varia da tabulare (strati a grana medio-fine) ad irregolare (strati a grana grossolana). Le impronte di fondo indicano apporti dai quadranti orientali. Sulla base dei caratteri litologici e di facies questa unità può essere riferita a conoidi tipo *Apron de positatesi* in un bacino profondo localizzato in prossimità del margine occidentale della Piattaforma apula.

7.7 Argille varicolori

Costituite da argille e marne prevalentemente siltose, grigie e varicolori, con differente grado di compattazione e scistosità e con intercalati in spessori variabili da zona a zona, strati o insieme di strati litoidi formati da calcari, calcari marnosi, calcareniti, calcilutiti breccie calcaree, arenarie sabbie.

Hanno una colorazione prevalentemente violacee o grigio-nerastre a contenuto fossilifero; argille scagliose rosse, violacee e verdastre con intercalazioni di micriti calcaree, calcari marnosi e livelli e lenti di selce rossicce ed azzurrognole.

8 TETTONICA REGIONALE

Il Molise presenta una elevata variabilità altimetrica connessa alla particolare posizione della catena appenninica ed alla particolare posizione nello scenario geologico-strutturale dell'Italia centro-meridionale.

Spostandosi dall'entroterra fino alla costa adriatica, circa da ovest verso est, si attraversano tre grandi regioni o elementi geologici (Patacca & Scandone, 2007):

- Area di Catena: caratterizzata da successioni che costituivano il paleomargine africano, distinte in successioni di piattaforma carbonatica e di bacino, deformate e coinvolte nella strutturazione dell'edificio orogenico. Area di Avanfossa: caratterizzata da depositi di Avanfossa plio-pleistocenici e depositi all'interno della depressione sviluppatasi sul fronte della catena per subsidenza flessurale della litosfera della Lower plate;

- Area di Avampaese Apulo: caratterizzata da una successione rappresentata da evaporiti triassiche e sovrastanti calcari meso-cenozoici di piattaforma, stratigraficamente sovrapposta al basamento cristallino.

Le principali unità tettoniche che, secondo il modello di Patacca & Scandone (2007), costituiscono l'Appennino meridionale, sono riferibili a un dominio interno, alla piattaforma Appenninica (Campano-Lucana), al bacino lagonegrese-molisano, ai Simbruini-Matese, alla Marsica occidentale, al Gran Sasso-Genziana ed alla piattaforma Apula.

Nel Molise, i massicci carbonatici caratterizzano i Monti del Matese, costituiti da calcari, calcari dolomitici, e dolomie di età meso-cenozoica.

Le unità tettoniche riferibili al bacino lagonegrese-molisano, derivanti da un unico grande bacino sono: le unità Lagonegresi, le Unità Molisane e l'Unità del Sannio.

Le Unità Molisane vengono ascritte ad un dominio paleogeografico più o meno articolato di mare profondo, il Bacino Molisano, interposto tra la piattaforma appenninica e quella apula. Esse sono costituite da quattro unità tettonostratigrafiche (Patacca et al., 1992; Patacca & Scandone, 2007), dall'interno verso l'esterno: Frosolone, Agnone, Tufillo-Serra Palazzo e Daunia.

Le unità molisane si sovrappongono tettonicamente sia alle unità della piattaforma Apula coinvolte nella strutturazione della catena appenninica sia su quelle che costituiscono la monoclinale di Avampaese non deformato. Superiormente, nella zona più interna tali unità molisane sono ricoperte dall'unità dei

Simbruini-Matese, mentre nelle zone più esterne da quella del Sannio e dai depositi silicoclastici di bacini piggy-back o di Avanfossa pliocenica e pleistocenica.

La Falda Sannitica si è deposta ad ovest del dominio di piattaforma appenninica, rappresenta l'unità strutturalmente più alta, e risulta formata da una successione a prevalente componente argillosa (Argille Varicolori), e, subordinatamente, calcareo-quarzarenitica. I depositi plio-pleistocenici costituiscono i termini di colmamento dell'ultima avanfossa appenninica. Si distinguono due cicli pliocenici, il primo prevalentemente arenaceo-sabbioso, il secondo argilloso sabbioso. Un terzo ciclo (Pliocene Sup. Pleistocene Inf.) di tipo trasgressivo-regressivo, è a prevalente componente argillosa. La Piattaforma Apula è costituita dalle seguenti unità di piattaforma carbonatica: Morrone-Porrara, Queglia, Maiella, Casoli-Bomba e Monte Alpi.

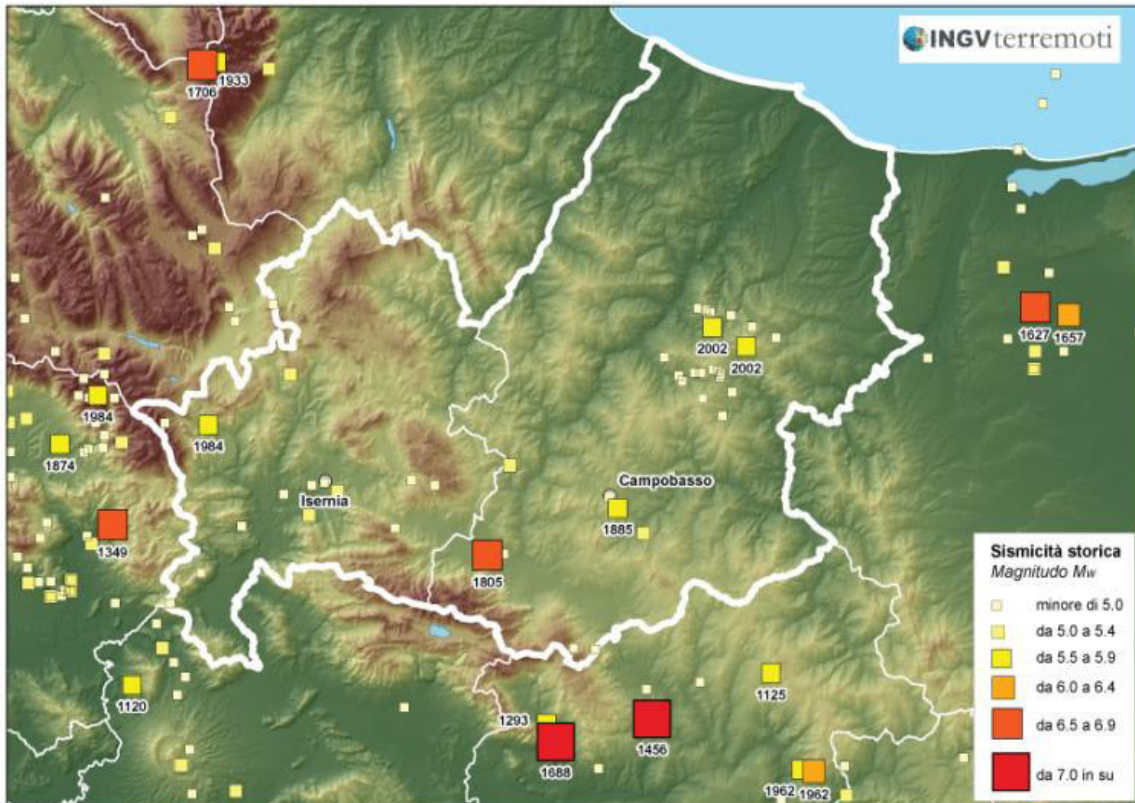
La tettonica pliocenica che caratterizza l'area di Avanfossa-Avampaese, a causa della progressiva migrazione di tutto il sistema Catena-Avanfossa-Avampaese, è rappresentata sia da strutture compressive in corrispondenza delle zone frontali della catena e dell'upper plate, sia da strutture distensive che hanno comportato la disgiunzione e la frammentazione della lower plate, regolando così la subsidenza e controllando la sedimentazione (Bracone V., 2009). Per quanto riguarda l'attività tettonica durante il Pleistocene, questa ha controllato la sedimentazione all'interno del bacino e deformato i depositi stessi. In particolare, il sollevamento tettonico instauratosi a partire dal Pleistocene inferiore ha comportato nel settore molisano la deformazione dei depositi di Avanfossa ed il loro basculamento verso NE (Patacca et al., 1992; Rapisardi, 1978).

9 CARATTERISTICHE GENERALI DELLA SISMICITA'

Il Molise è interessato da elevata attività sismica concentrata essenzialmente lungo i settori assiali ed esterni della catena appenninica. La sismicità appenninica è caratterizzata, generalmente, da sequenze di eventi sismici costituite da un evento a maggiore energia (mainshock), seguito da eventi di energia decrescente nel tempo (aftershocks). Le magnitudo strumentali presentano variazioni piuttosto sensibili, a partire da valori superiori all'unità, fino a valori massimi di poco inferiori a 7 della scala Richter, le profondità ipocentrali variano tra i 5 ed i 20 chilometri. L'estensione delle aree interessate dagli effetti dei sismi e l'entità dei danni risultano funzione dei valori di magnitudo e di profondità di ciascun evento sismico. Una stima sulla sismicità della regione può essere operata esaminando la Carta della Sismicità Storica dell'area molisana dedotta del Catalogo parametrico dei terremoti italiani (Gruppo di lavoro Cpti, 2004) in cui sono riportati gli eventi di magnitudo (m_w =magnitudo del momento) superiore a 4.0, in un periodo temporale compreso tra il 217 a.C. ed il 2002 d.C.

Per quanto riguarda l'area in esame le aree limitrofe, si stima che molti eventi abbiano raggiunto valori di magnitudo più che temibili tuttavia molti terremoti distruttivi, pur essendo probabilmente originati da strutture tettoniche localizzate al limite del confine regionale, hanno avuto un impatto tale sulle popolazioni residenti da dover essere ricordati e testimoniati in vari modi, gli eventi sono stati estratti dal catalogo della sismicità italiana, CSi 1.0 (Castello et alii, 2005), per il periodo 1981-2002, e dal Bollettino sismico italiano, in base alla sismicità strumentale si osserva come, fatta eccezione per l'evento del 31 Ottobre 2002 la quasi totalità dei terremoti mostra magnitudo moderato-basse ed eventi che si susseguono soprattutto in forma di sciame sismici (Aessio et alii, 1987; Milano et alii, 1999; 2005; Vilardo et alii, 2003). Negli ultimi anni, l'interesse scientifico si è concentrato maggiormente sulle sequenze verificatesi nel periodo 1986-2002 che possono rappresentare la spia di un processo di deformazione in atto, lungo la dorsale appenninica molisana, e che individuano un allineamento tettonico tra Isernia e Benevento con orientazione NO-SE.

La regione Molise ha recepito la nuova classificazione sismica del territorio nazionale realizzata dall'INGV e derivata dall'integrazione tra la vecchia classificazione del 1984 (Consiglio Nazionale dei Lavori Pubblici, Servizio Sismico Nazionale, 1984) e la proposta di riclassificazione formulata nel 1998 dal gruppo di lavoro nominato dalla commissione nazionale di previsione e prevenzione dei grandi rischi, secondo tale classificazione vengono riconosciute tre zone di sismicità alta, media e bassa.

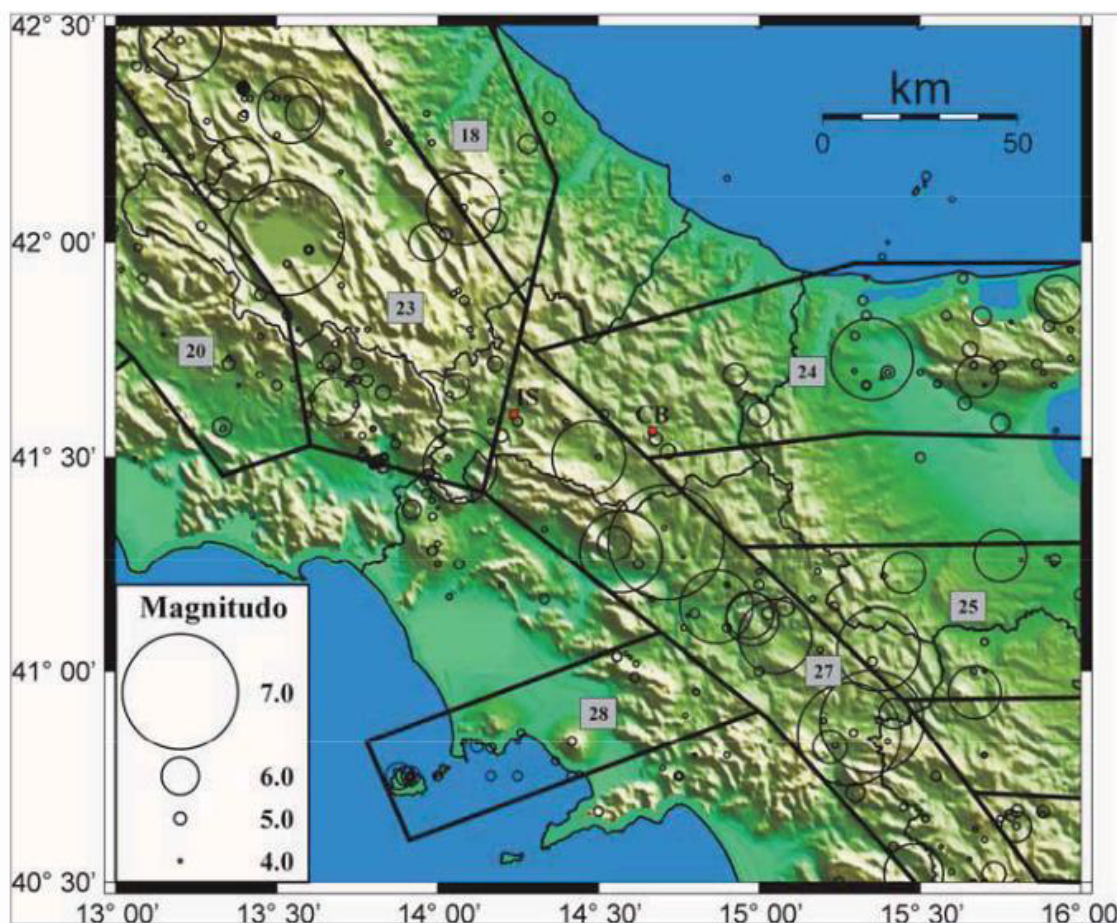


Negli ultimi decenni sono tre le sequenze sismiche significative che hanno interessato il territorio molisano: la prima, lungo l'Appennino abruzzese, si è concentrata prevalentemente nel territorio di confine tra Lazio e Abruzzo e i due eventi sismici di magnitudo ML maggiore di 5.5 (7 maggio 1984, ML 5.9; 11 maggio 1984, ML 5.7) hanno prodotto effetti fino al grado 8 MCS anche in territorio molisano.

La seconda sequenza ha coinvolto la zona del Subappennino Dauno, dove il 31 ottobre 2002 una scossa di magnitudo ML 5.4 provocò effetti del grado 7 MCS in alcune località delle province di Campobasso e Foggia. Il giorno seguente, 1° novembre, si verificò un'altra forte scossa (ML 5.3) con effetti del grado 7 MCS a Castellino del Biferno e Larino (CB) e a Carlantino (FG). La terza sequenza è quella del dicembre 2013 che ha interessato la zona dei **Monti del Matese**, tra le province di **Campobasso, Caserta e Benevento**, con un evento di magnitudo ML 5.0 (Mw 5.0) il 29 dicembre 2013. La scossa fu risentita in gran parte della Campania e del Molise.

9.1 Sismicità dell'area

Dal punto di vista sismico, la città di Rotello (CB) ricade in un distretto geografico sicuramente sismico. Il territorio in esame è compreso tra due regioni ad alto rischio: l'Appennino meridionale e il Promontorio garganico, che sono aree notoriamente sismogenetiche attive. Il settore in esame risulta essere stato colpito da diversi eventi sismici di forte intensità almeno fin dal XVIII secolo con magnitudo maggiore di 5.0.



Distribuzione della sismicità nell'area di studio. Eventi contenuti nel catalogo CPTI04 (Gruppo di lavoro CPTI, 2004). Sovrapposizione della zonazione sismogenetica ZS9 (Gruppo di lavoro MPS, 2004)

In figura è illustrata la distribuzione della sismicità dell'area oggetto di studio. Da essa risulta evidente come la distribuzione degli epicentri corrisponda ad una sismicità regionale diffusa con la presenza non trascurabile di terremoti aventi magnitudo $M_s > 6.0$ (Molise 05/12/1456 $M_s = 6.7$; Matese 05/06/1688 $M_s = 7.3$; Matese 26/07/1805 $M_s = 6.7$; Sannio 21/08/1962 $M_s = 6.2$).

10 AZIONE SISMICA - STATI LIMITE (D.M. 17/01/2018)

La storia sismica del Comune di Rotello è stata ricavata dal Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (versione CPTI11) (disponibile sul sito dell'INGV) che rappresenta il più completo e aggiornato database dei parametri macrosismici e strumentali dell'intero territorio nazionale.

Il D.M. del 17-01-2018 prevede che l'azione sismica di riferimento per la progettazione (paragrafo 3.2.3) venga definita sulla base dei valori di pericolosità sismica proposti nel sito ufficiale dell'INGV.

Per imprimere un maggior peso alle esigenze di sicurezza che il rischio sismico impone, purtroppo a causa del continuo ripetersi di eventi tellurici nel territorio nazionale, si introducono di seguito come specificato nelle "Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni" (D.M. del 17/01/2018), le caratteristiche per lo studio dell'analisi dinamica del sistema terreno-struttura considerata in campo elastico lineare, che viene eseguita, a favore della sicurezza, tramite il metodo degli Stati Limite che si possono verificare durante la vita nominale dell'opera o di parte di essa.

Lo *stato limite* è la condizione superata la quale l'opera non soddisfa più le esigenze per le quali è stata progettata. Con tale normativa si è inteso portare a due gli Stati Limite di Esercizio: Stato Limite di immediata Operatività particolarmente utile come riferimento progettuale per le opere che debbono rimanere operative durante e subito dopo il sisma e Stato Limite di Danno definito come stato limite da rispettare per garantire inagibilità solo temporanee appena dopo il terremoto. In modo analogo, si sono portati a due anche gli Stati Limite Ultimi: allo Sforzo Limite di salvaguardia della Vita, dove la costruzione subisce significativi danni alla parte non strutturale ma conserva ancora un margine di sicurezza nei confronti del collasso, segue quindi lo Stato Limite di prevenzione del Collasso per il quale si possono avere crolli parziali, particolarmente utile come riferimento nel quadro complessivo della progettazione.

I quattro *stati limite* così definiti, consentono di individuare quattro situazioni diverse che, al crescere progressivo dell'azione sismica, ed ai conseguente progressivo superamento dei quattro stati limite ordinati per azione sismica crescente (SLO, SLD, SLV, SLC), fanno corrispondere una progressiva crescita del danneggiamento all'insieme della struttura, per individuare così univocamente ed in modo quasi "continuo" le caratteristiche prestazionali richieste al manufatto.

Nello specifico le strutture le opere in esame devono rispettare tutte le verifiche agli stati limite ultimi [SLU di tipo geo] e [SLU del tipo str] e di esercizio [SLU del tipo str] e le verifiche di durabilità (§ 6.4.2 NTC 2018). Gli stati limite ultimi delle opere in esame si riferiscono allo sviluppo di meccanismi di collasso determinati dalla mobilitazione della resistenza del terreno e al raggiungimento della resistenza degli elementi strutturali che compongono l'opera stessa, la verifica progettuale geotecnica terrà conto delle condizioni di sicurezza globale e locale del sistema costruzione-terreno, inclusa la

determinazione delle sollecitazioni delle strutture a contatto con il terreno e la valutazione delle prestazioni del sistema nelle condizioni d'esercizio (§ 6.2.3 NTC 2018). Conseguentemente ai principi generali enunciati, la Progettazione geotecnica farà affidamento sul metodo degli stati limite ultimi e di esercizio e sull'impiego dei coefficienti parziali di sicurezza applicati alle azioni, agli effetti delle azioni, alle caratteristiche dei materiali e alle resistenze.

Ai fini della determinazione delle azioni sismiche di progetto (§ 3.2 NTC 2018) la pericolosità sismica del territorio è definita convenzionalmente riferendosi ad un sito rigido (categoria A) con una superficie topografica orizzontale (categoria T¹) senza manufatti presenti nell'intorno (campo libero). Le caratteristiche di tale moto sismico atteso al sito di riferimento per una fissata probabilità di superamento nel periodo di riferimento (P_{VR}), si ritengono ben determinate quando se ne conosce l'accelerazione massima ed il corrispondente spettro di risposta elastico in accelerazione.

Di seguito le grandezze con le quali vengono compitamente definite le forme spettrali per la generica P_{VR} :

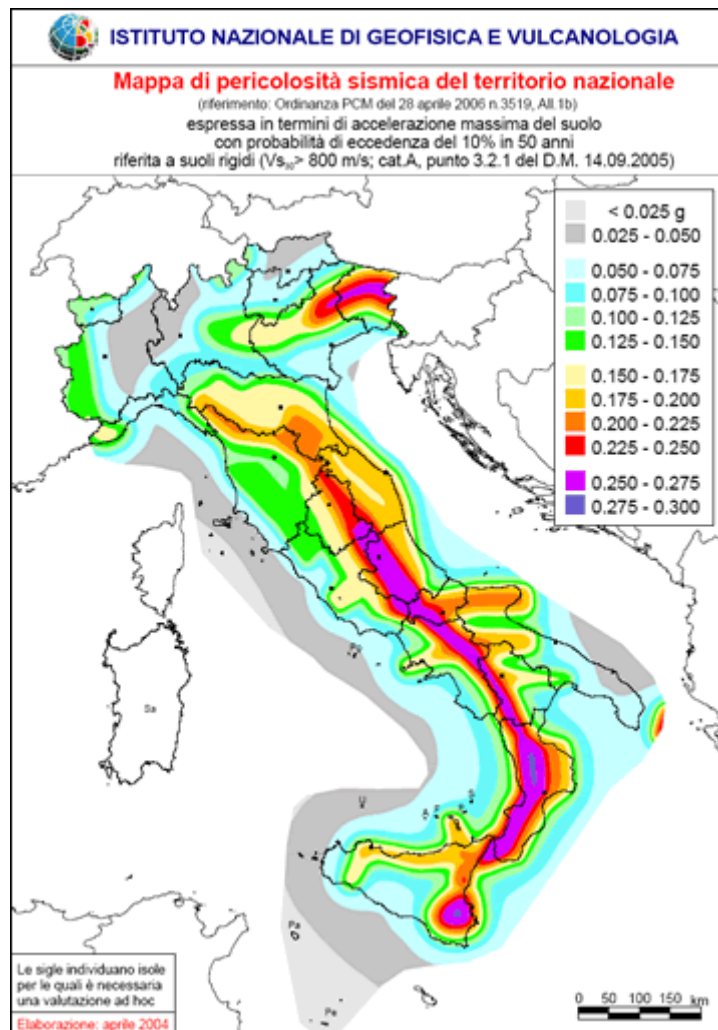
a_g = accelerazione massimo al sito;

F_0 = 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.

Il valore dell'accelerazione a_g è desunto direttamente dalla *pericolosità di riferimento* prodotta e messa in rete dall'Istituto di Geofisica e Vulcanologia non è altro che la probabilità che, in un fissato lasso di tempo, nel sito in studio si verifichi un evento sismico di entità almeno pari ad un valore prefissato.

Nelle NTC 2018, tale lasso di tempo, espresso in anni, è denominato "*periodo di riferimento*" VR e la probabilità è denominata "*probabilità di eccedenza o di superamento nel periodo di riferimento*" P_{VR} . Mentre F_0 e T_{c*} sono calcolati in modo che gli spettri di risposta elastici in accelerazione, velocità e spostamento forniti dal D.M. 17.01.2018 approssimino al meglio i corrispondenti derivanti dalla pericolosità di riferimento.



Mapa della pericolosità sismica del territorio nazionale

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, l'effetto della risposta sismica locale si valuta mediante specifiche analisi, da eseguire con le modalità indicate nel § 7.11.3. In alternativa, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab. 3.2.II, si può fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio, V_s . I valori dei parametri meccanici necessari per le analisi di risposta sismica locale o delle velocità V_s per l'approccio semplificato costituiscono parte integrante della caratterizzazione geotecnica dei terreni compresi nel volume significativo, di cui al § 6.2.2. I valori di V_s sono ottenuti mediante specifiche prove oppure, con giustificata motivazione e limitatamente all'approccio semplificato, sono valutati tramite relazioni empiriche di comprovata affidabilità con i risultati di altre prove in sito, quali ad esempio le prove penetrometriche dinamiche per i terreni a grana grossa e le prove penetrometriche statiche.

La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, $V_{S,eq}$ (in m/s), definita dall'espressione:

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

con: h_i spessore dell'i-esimo strato;

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

N numero di strati;

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

Per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali. Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio $V_{S,eq}$ è definita dal parametro $V_{S,30}$, ottenuto ponendo $H=30$ m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità. Le categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato sono definite in Tab. 3.2.II

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

Per queste cinque categorie le azioni sismiche sono definite al § 3.2.3 delle NTC 2018. Per qualsiasi condizione di sottosuolo non classificabile nelle categorie precedenti, è necessario predisporre specifiche analisi di risposta locale per la definizione delle azioni sismiche.

Per condizioni topografiche complesse è necessario predisporre specifiche analisi di risposta sismica locale. Per configurazioni superficiali semplici si può adottare la seguente classificazione (Tab. 3.2.III):

CATEGORIA TOPOGRAFICA	UBICAZIONE DELL'OPERA	S _T
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i < 15^\circ$	1,0
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$	1,2
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base ed inclin. media $15^\circ < i < 30^\circ$	1,2
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base ed inclinazione media $i > 30^\circ$	1,4

Tab. 3.2.I: Categorie topografiche con relativo valore massimo del coefficiente di amplificazione topografica S- (come da Tabella 3.2.IV e 3.2.VI del D.M. 17/01/2018).

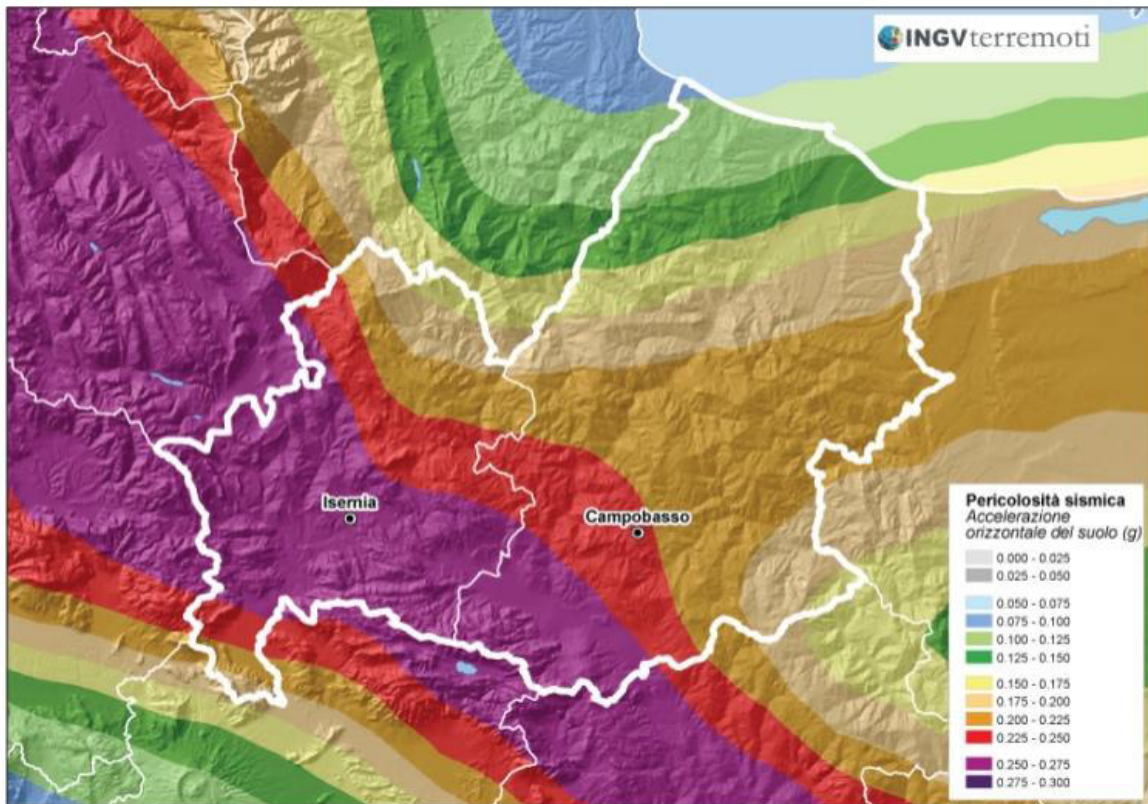
L'azione sismica sulle costruzioni è condizionata dalla risposta del terreno di sedime, essa è generata dal moto non uniforme del litotipo attraversato durante la propagazione delle onde sismiche: la propagazione sismica eccita la struttura dell'edificio provocandone la risposta dinamica, oggetto di verifica e controllo in termini di sicurezza e prestazioni attese.

Sotto l'effetto dell'azione sismica allo sforo *limite ultimo* (superato il quale si ha il collasso strutturale) le strutture dell'edificio, pur subendo danni di rilevante entità negli elementi strutturali, devono mantenere una residua resistenza e rigidità nei confronti delle forze orizzontali e verticali. Sotto l'effetto dell'azione sismica allo sforo *limite di danno* (oltre il quale la struttura presenta danni o deformazioni irreversibili tali da limitare alcune funzionalità e/o prestazioni del manufatto) o nel caso in cui il superamento può avere carattere reversibile (allo *stato limite di esercizio*) e cioè se il danno o tali deformazioni vengono meno al cessare della causa che li ha determinati, la costruzione, come insieme di elementi strutturali e non strutturali, comprese le apparecchiature e gli impianti dell'edificio, non devono subire danni ed interruzione d'uso in conseguenza di eventi sismici che abbiano una ricorrenza maggiore dell'azione sismica allo stato limite ultimo e quindi una più significativa probabilità di verificarsi più volte nel corso della durata utile dell'opera.

Sulla base del documento "Proposta di riclassificazione sismica del territorio nazionale", elaborato dal Gruppo di Lavoro costituito sulla base della risoluzione della Commissione Nazionale di Previsione e Prevenzione dei Grandi Rischi (1998), la mappa di pericolosità sismica MPS04 aggiornata alla classificazione sismica regionale del 15/01/2004 ed utilizzata ancora dalla OPCM 3519/2006 fino alla recente NTC 2018.

Il territorio regionale è caratterizzato da una **pericolosità sismica che è più elevata in corrispondenza dell'Appennino e diminuisce andando verso il mar Adriatico**. Questo significa che

gli eventi di magnitudo elevata sono più probabili in Appennino che non lungo la costa, dove possono comunque verificarsi, per quanto con frequenza minore. Il terremoto del 2002, per esempio, non è legato alle strutture maggiormente attive dell'Appennino.



Valori di pericolosità sismica del Molise (OPCM n°3519 del 28/04/2006).

I valori di accelerazione previsti dal modello di pericolosità sismica (probabilità del 10% in 50 anni) sono compresi tra 0.100 e 0.275 g, ma la maggior parte del territorio regionale mostra valori maggiori di 0.200 g. La pericolosità sismica della regione è determinata dalla presenza delle strutture sismicamente attive dell'Appennino e di quelle del Gargano che si estendono fino al Molise; queste strutture sono caratterizzate da una lunga storia sismica, che ha avuto i suoi massimi in Appennino con il terremoto di Bojano del 1805 (magnitudo Mw 6.6) e nell'area garganica con il terremoto del 1627 (Mw 6.7).

Così come previsto dal § 6.2.2 si è definito, in base ai risultati di "prove geognostiche (previste dai § 7.11.2 e § 7.11.3 del decreto sopra citato) e di ulteriori studi eseguiti nelle vicinanze in possesso degli scriventi, il modello geologico del sito in studio, che è relazionabile alla categoria di profilo stratigrafico *del suolo di fondazione* definito come di seguito rappresentato nella tabella riassuntiva, i valori

ricavati dalle indagini del V_{seq} risultano compresi tra 226,37 a 644,16 m/sec, pertanto i terreni ricadono tra due categorie di riferimento "B" e "C":

"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.

"C" Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30m, 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.

Riassumendo, nel caso specifico, le norme precisano che la sicurezza e le prestazioni della struttura in oggetto dovranno essere valutate in relazione all'insieme degli stati limite che verosimilmente si potrebbero verificare durante la vita normale presa come riferimento in sede progettuale.

La rappresentazione di riferimento per le componenti dell'azione sismica è lo spettro di risposta elastico in accelerazione per uno smorzamento convenzionale del 5% con periodo di oscillazione $T < 4$ sec: espressione del prodotto della forma spettrale per l'accelerazione. Poiché progettualmente si prevede che non saranno necessari interventi di manutenzione straordinaria per ripristinare la capacità di durata della costruzione prima di 50 anni, si pone $V_N \geq 50$ con riferimento alla Tab. 3.2.4.

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

Tab. 3.2.4: Valore della Vita nominale, come da Tabella 2.4.1 del D.M. 17/01/2018.

Inoltre, ai sensi e per gli effetti del D.M. 17/01/2018 § 2.4.2, il carattere strategico di un'opera per le conseguenze di un eventuale collasso sono definiti dalla CLASSE D'USO (vedi Fig. 3.2.4) all'interno delle quali sono suddivise le costruzioni.

Classe I Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli

Classe II, Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie e attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.

Classe III Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie o viarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.

Classe IV- Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al D.M. 5 novembre 2001. N. 6792. "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico: Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia

Classi d'Uso indicate ai § 2.4.2 del D.M. 17/01/2018

CLASSE D'USO	I	II	III	IV
COEFFICIENTE C _U	0,7	1,0	1,5	2,0

Tab. 3.2.5: Valore del Coeff. D'Uso, come da Tabella 2.4.II del D.M. 17/01/2018.

Il prodotto di questi due ultimi dati specifici della struttura ($V_R = V_N \times C_u$) restituisce il valore del periodo di riferimento V_R , di notevole importanza perché, fissata la probabilità di superamento P_{V_R} corrispondente allo stato limite considerato (vedi Tabella 3.2.1 NTC 2018), si utilizza per valutare il periodo di ritorno T_R dell'azione sismica cui far riferimento per la verifica.

In particolare, nel caso in studio, utilizzando le formule d'interpolazione fornite nell'Allegato A alle NTC 2018, si ricavano i valori dei parametri (Tab. 3.2.6: $a_g - F_0 - T_c^*$) necessari a definire l'azione sismica sul territorio premesso che, sulla probabilità di superamento nel Periodo di riferimento considerato P_{V_R} , incidono sia la *categoria di suolo* che le *condizioni topografiche* esaminate nei vari sopralluoghi in situ:

$$S = S_S \times S_T$$

dove S_S è il coefficiente di amplificazione stratigrafica (rapporto tra valore dell'accelerazione massima attesa in superficie e quello su sottosuolo di categoria A calcolato quindi in funzione della categoria di suolo) e S_T è il coefficiente di amplificazione topografica per un profilo T_1

F_0 il fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima calcolata

T_c periodo corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante dello spettro dato dal rapporto:

$$T_c = C_c \times T_c^* \quad \text{dove } T_c^* \text{ è il coefficiente funzione della categoria di suolo.}$$

11 COMPORTAMENTO MECCANICO DEI TERRENI

11.1 Caratterizzazione sismica del sottosuolo prospezione MASW

Il metodo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) è una tecnica di indagine non invasiva che individua il profilo di velocità delle onde di taglio verticali V_s , basandosi sulla misura delle onde superficiali fatta in corrispondenza di diversi sensori (accelerometri o geofoni) posti sulla superficie del suolo. Il contributo predominante alle onde superficiali è dato dalle onde di Rayleigh, che viaggiano con una velocità correlata alla rigidità della porzione di terreno interessata. In un mezzo stratificato le onde di Rayleigh sono dispersive, cioè le onde si propagano con diverse velocità di fase e velocità di gruppo. La natura dispersiva delle onde superficiali è correlabile al fatto che onde ad alta frequenza si propagano negli strati più superficiali dando informazioni sulla parte più superficiale del suolo, invece onde a bassa frequenza si propagano negli strati più profondi dando informazioni sugli strati più profondi del suolo.

Il metodo di indagine MASW utilizzato nelle presenti indagini è il metodo attivo dove le onde superficiali generate in un punto della superficie del suolo sono misurate da uno stendimento lineare di sensori. Questo metodo “attivo” consente di ottenere una velocità di fase nel range delle frequenze compreso tra 5Hz e 70Hz, è dà informazioni sulla parte più superficiale del suolo, sui primi 30m-50m, in funzione della rigidità del suolo.

Il metodo MASW consiste in tre fasi:

1. calcolo della velocità di fase sperimentale;
2. calcolo della velocità di fase apparente numerica;
3. individuazione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali V_s , modificando opportunamente lo spessore h , le velocità delle onde di taglio V_s e di compressione V_p (o in maniera alternativa alle velocità V_p è possibile assegnare il coefficiente di Poisson ν), la densità di massa ρ degli strati che costituiscono il modello del suolo, fino a raggiungere una sovrapposizione ottimale tra la velocità di fase sperimentale e la velocità di fase numerica corrispondente al modello di suolo da indagare.

Dopo aver determinato il profilo di velocità delle onde di taglio verticali V_s è possibile procedere al calcolo della velocità equivalente nei primi 30 m di profondità V_{s30} e quindi individuare la categoria sismica del suolo. La modellazione della curva di dispersione con il metodo MASW ha consentito la ricostruzione dei profili dell'andamento delle V_s in sottosuolo.

11.1.1 Descrizione dei risultati

La nuova normativa tecnica sulle costruzioni, il D.M. 17.01.2018, introducono il concetto di “velocità equivalente $V_{S,eq}$ ”, che viene calcolata attraverso l’espressione:

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

dove H rappresenta la profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_s non inferiore ad 800 m/s. Per terreni con profondità H del substrato superiore o pari a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio $V_{S,eq}$ è definita dal parametro V_{S30} , ottenuto ponendo $H=30$ nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati del terreno fino a quella profondità.

La modellazione del sottosuolo con il metodo MASW ha consentito la ricostruzione di un profilo monodimensionale dell’andamento delle V_s in sottosuolo.

Nella presente tabella A sono indicati i valori del $V_{S,eq}$ ottenuti attraverso le prospezioni MASW, e la categoria di sottosuolo come prevista nel (D.M. 17.01.18) oltre alle coordinate geografiche (nel sistema di riferimento WGS 84, in gradi decimali).

Per una migliore rappresentazione della **consistenza del suolo di fondazione** nella tabella B sono stati inoltre riportati i valori di velocità delle onde di taglio nei primi otto metri di profondità zona interessata dagli elementi fondazionali da utilizzare per la collocazione dei pannelli fotovoltaici distinti in tre intervalli “da 0 a 2.00 m”, “da 2.01 a 5.00 m” e “da 5.01 a 8.00 m”; in questi intervalli sono stati inoltre indicati oltre alla stima della consistenza e dei parametri elasto-dinamici, i moduli di rigidità, moduli di volume, modulo di elasticità dinamico e statico:

tabella A

<i>Consistenza del terreno</i>	<i>Bassa</i>	<i>Media</i>	<i>Medio-Elevata</i>
Velocità delle onde di taglio V_s	<180 m/s	180-300	>300
Modulo di Rigidità (Kg/cmq)	<526,0	526,0-1800,3	>1800,3
Modulo di Volume (Kg/cmq)	<1896,2	1896,2-26403,9	>26403,9
Modulo di elasticità dinamico (Kg/cmq)	<1444,44	1444,44-5280,8	>5280,8
Modulo di elasticità statico (Kg/cmq)	<37,38	37,38-282,5	>282,5

tabella B

MASW n°	V _{s,eq} (m/s)	Formazione geologica affiorante	Categoria sottosuolo (D.M.17.01.18)	V _s (m/s) 0 - 2,00 m	V _s (m/s) 2,01-5,00 m	V _s (m/s) 5,01-8,00 m
1	242,85	Terrazzo alluvionale	C	328	284	262
2	325,65	Terrazzo alluvionale	C	145	159	219
3	226,37	Argille azzurre	C	160	149	187
4	267,90	Argille azzurre	C	247	288	215
5	258,85	Argille azzurre	C	289	421	269
6	333,23	Terrazzo alluvionale	C	221	346	480
7	282,02	Terrazzo alluvionale	C	195	274	325
8	343,74	Marne	C	195	280	253
9	299,83	Marne	C	263	198	233
10	368,09	Marne	B	444	471	489
11	314,60	Marne	C	229	306	285
12	644,16	Calcari marnosi	B	532	635	658
13	278,63	Marne	C	140	181	201
14	270,52	Argille azzurre	C	174	169	205
15	284,69	Argille azzurre	C	230	175	214
16	325,63	Argille azzurre	C	211	221	238
17	377,41	Terrazzo alluvionale	B	236	325	379
18	280,18	Terrazzo alluvionale	C	228	155	211
19	332,30	Argille azzurre	C	332	368	345
20	254,90	Argille azzurre	C	167	181	208
21	289,00	Terrazzo alluvionale	C	241	231	249
22	295,10	Terrazzo alluvionale	C	201	214	240
23	284,16	Argille azzurre	C	205	210	239
24	309,49	Terrazzo alluvionale	C	151	183	259
25	256,97	Terrazzo alluvionale	C	127	153	171
26	251,79	Terrazzo alluvionale	C	176	169	205
27	285,77	Argille azzurre	C	290	356	271
28	240,44	Terrazzo alluvionale	C	367	330	270
29	303,45	Terrazzo alluvionale	C	221	312	415
30	229,37	Marne	C	234	175	229
31	354,55	Marne	C	212	243	266
32	333,91	Terrazzo alluvionale	C	413	383	277
33	266,33	Argille azzurre	C	161	192	223
34	354,93	Terrazzo alluvionale	C	277	377	419

Il suolo di fondazione dove dovranno realizzarsi le opere riscontrato a seguito delle indagini è tale che la formazione indagata classifica il V_{seq} variabile da 226,37 a 644.16 m/sec e pertanto esso ricade fondamentalmente tra due categorie di riferimento "B" e "C":

"B" Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consi-stenti, 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.

"C" Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.

Dalle indagini eseguite i cui valori sono rappresentati in tabella è emerso che i terreni di fondazione delle aree in cui dovranno essere collocati gli impianti ricarono per circa il 10% dei terreni indagati nella Categoria B e il 90% dei terreni indagati nella categoria C di cui alle N.T.C. 2018, ma tutti presentano da 0 a 5 metri valori di consistenza molto bassi a causa della presenza di formazione di natura limo-argillosa i valori del parametro $V_{s,eq}$ sono più alti in corrispondenza dei calcari marnosi della formazione Faeto affioranti ad ovest di Rotello.

11.2 Prospezione sismica tomografica

Nei terreni interessati dall'intervento per ricostruire la geometria e le caratteristiche fisiche (V_p) è stata eseguita una tomografia sismica assiale di superficie allo scopo di restituire la struttura del substrato come "immagine" bidimensionale di velocità delle onde sismiche longitudinali.

La tomografia sismica ci permette di stabilire le proprietà dinamiche in sito dei terreni di fondazione, individuare eventuali discontinuità, o strati particolarmente poco consistenti presenti nel sottosuolo, mediante la definizione della velocità e della direzione di propagazione delle onde elastiche generate da sorgenti artificiali. Attraverso la correlazione con le V_s desunte dalle MASW e mediante relazioni empiriche è stato possibile schematizzare in modo quali-quantitativo le caratteristiche meccaniche del terreno, seppure con le opportune limitazioni.

Le sezioni sismiche sono state distribuite in maniera rappresentativa sul territorio, cercando di dare un quadro il più esaustivo possibile sulle varie formazioni indagate.

11.3 Prove penetrometriche dinamiche

Nei terreni interessati dall'intervento sono state eseguite n° 8 prove penetrometriche dinamiche del tipo DPSH con profondità di prova da 3,00 a 4.40 metri. Le prove dinamiche DPSH sono state condotte con penetrometro statico/dinamico TG63-200 PAGANI (Figura 2), in accordo con le normative internazionali (ASTM D-3441; Raccomandazione ISSMFE 1989).

La prova dinamica consiste nell'infiggere nel terreno una punta conica per tratti consecutivi di lunghezza δ , misurando il numero di colpi N necessari all'infissione richiesta.

Dal numero di colpi N necessari per l'infissione della punta conica si può definire una correlazione con il valore di N_{SPT} attraverso il coefficiente teorico di energia β_t .

$$N_{SPT} = \beta_t N$$

dove: $\beta_t = Q / Q_{SPT}$

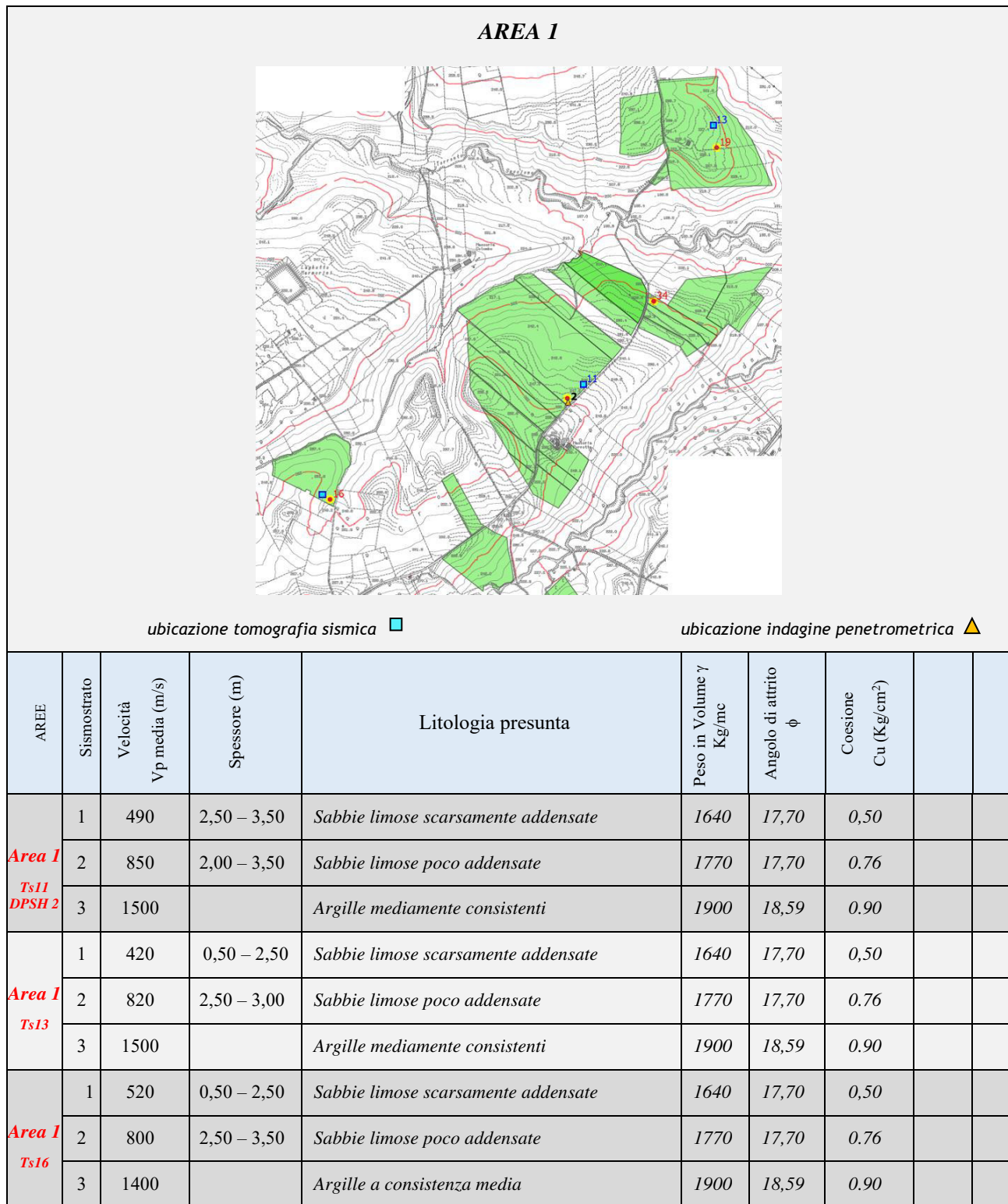
in cui Q è l'energia specifica per colpo e Q_{SPT} è quella riferita alla prova SPT.

La loro elaborazione, interpretazione e visualizzazione grafica consente di "catalogare e parametrizzare" il suolo attraversato con una immagine in continuo, che permette anche di avere un raffronto sulle consistenze dei vari livelli attraversati e una correlazione diretta con sondaggi geognostici per la caratterizzazione stratigrafica. La sonda penetrometrica permette inoltre di riconoscere con buona approssimazione lo spessore delle coltri sul substrato, la quota di eventuali falde e superfici di rottura sui pendii, e la consistenza in generale del terreno.

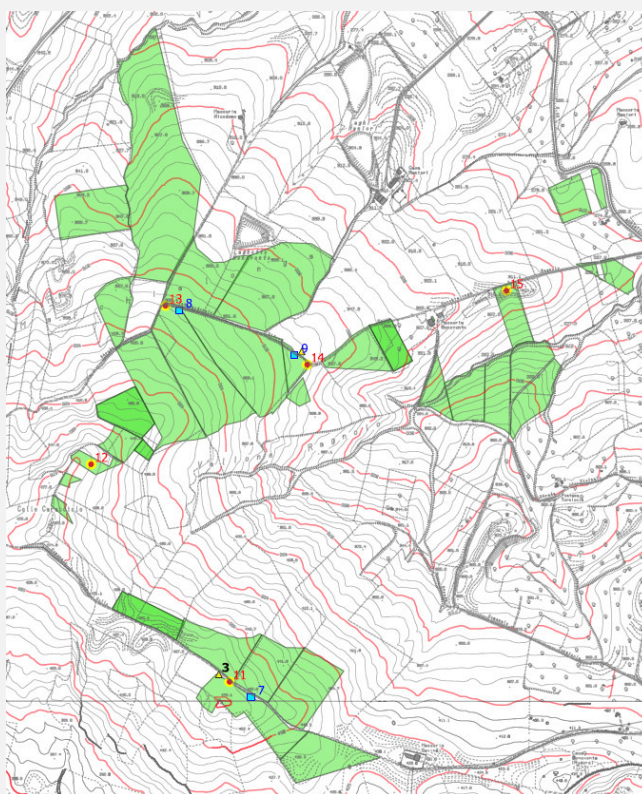
Tra i valori determinati a seguito delle prove, sono stati calcolati i valori degli angoli d'attrito, analizzando tali risultati per i terreni indagati principalmente terrazzi con componente argillosa è emerso che gli stessi appaiono piuttosto elevati, pertanto considerato che dette prove sono state eseguite alla fine del mese di luglio dopo parecchi mesi di siccità, considerato che i terreni d'impianto sono fondamentalmente argillosi e che il lungo periodo di siccità li ha resi piuttosto compatti, contrariamente alle loro caratteristiche meccaniche, si è valutato di ridurre i valori determinati di circa il 20%.

11.4 Sintesi modello sismostratigrafico del sottosuolo

Il modello sismostratigrafico del sottosuolo a seguito delle indagini sin qui eseguite può essere così sintetizzato:



AREA 2

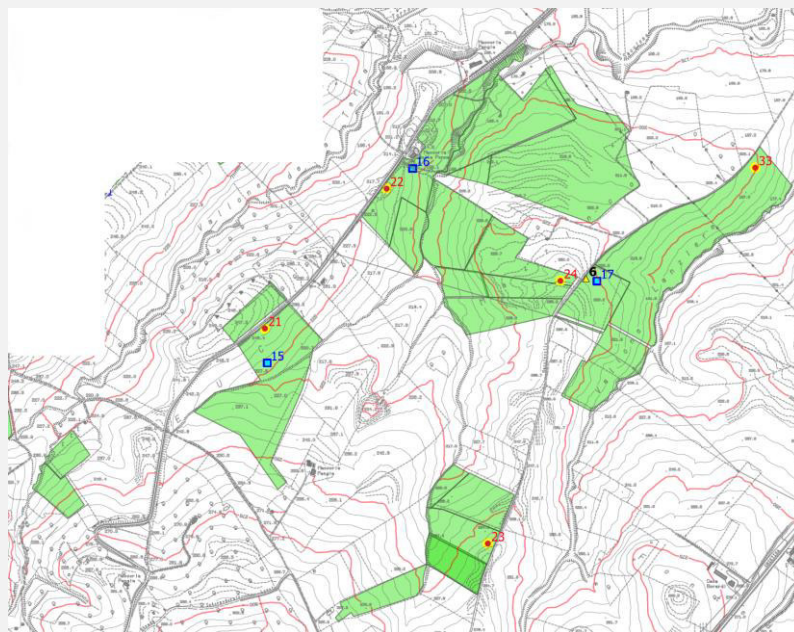


ubicazione tomografia sismica ■

ubicazione indagine penetrometrica ▲

AREE	Sismostrato	Velocità Vp media (m/s)	Spessore (m)	Litologia presunta	Peso in Volume γ Kg/mc	Angolo di attrito ϕ	Coesione Cu (Kg/cm ²)		
Area 2 <i>Ts7</i> <i>DPSH 3</i>	1	430	1,50 – 3,00	<i>Areato superficiale scarsamente consistente</i>	2100	20,42	0,30		
	2	750	2,00 – 3,00	<i>Marne poco consistenti</i>	1570	20,42	0,36		
	3	1350		<i>Marne a consistenza media</i>	2180	25,89	2,38		
Area 2 <i>Ts8</i>	1	450	2,00– 3,50	<i>Areato superficiale scarsamente consistente</i>	2100	20,42	0,30		
	2	800	3,00 – 5,00	<i>Marne poco consistenti</i>	1570	20,42	0,36		
	3	1400		<i>Marne a consistenza media</i>	2180	25,89	2,38		
Area 2 <i>Ts9</i>	1	400	0,50 – 3,50	<i>Limi argillosi scarsamente addensate</i>	1640	17,00	0,50		
	2	750	3,00 – 5,00	<i>Argille limose poco consistenti</i>	1770	18,00	0,76		
	3	1300		<i>Argille a consistenza media</i>	1900	18,59	0,90		

AREA 3

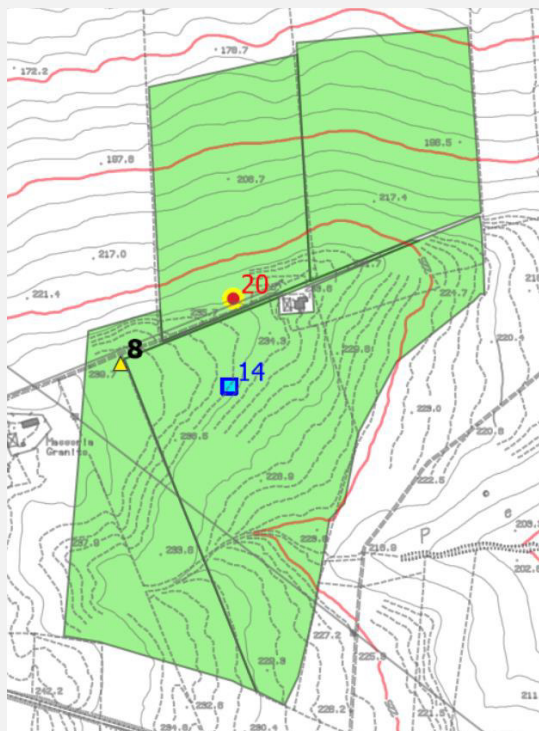


ubicazione tomografia sismica ■

ubicazione indagine penetrometrica ▲

AREE	Sismostrato	Velocità Vp media (m/s)	Spessore (m)	Litologia presunta	Peso in Volume γ Kg/mc	Angolo di attrito ϕ	Coesione Cu (Kg/cm ²)		
Area 3 <i>Ts15</i>	1	620	1,00 – 2,00	<i>Limi argillosi poco addensati</i>	1640	17,00	0,70		
	2	940	1,80 – 2,50	<i>Argille limose a consistenza medio bassa</i>	1770	18,00	0.76		
	3	1450		<i>Argille a consistenza media</i>	1900	18,59	0.90		
Area 3 <i>Ts16</i>	1	520	0.50– 2,50	<i>Sabbie limose scarsamente addensate</i>	1640	17,70	0,50		
	2	800	2,50 – 3,50	<i>Sabbie limose poco addensate</i>	1700	17,70	0.76		
	3	1400		<i>Argille a consistenza media</i>	1900	18,59	0.90		
Area 3 <i>Ts17</i> <i>DPSH 6</i>	1	460	2.20 – 3,00	<i>Limi argillosi poco consistenti</i>	1640	17,70	0,70		
	2	850	4,00 – 6,00	<i>Argille limose a consistenza medio bassa</i>	1770	18,59	0.76		
	3	1500		<i>Argille a consistenza media</i>	1900	18,59	0.90		

AREA 4

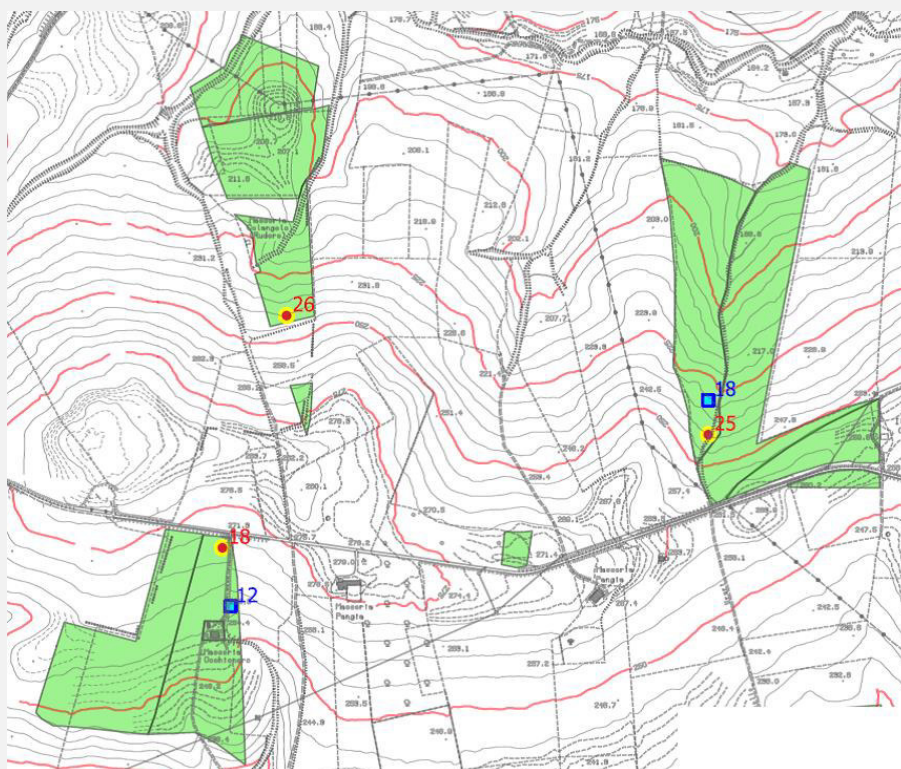


ubicazione tomografia sismica ■

ubicazione indagine penetrometrica ▲

AREE	Sismostrato	Velocità Vp media (m/s)	Spessore (m)	Litologia presunta	Peso in Volume γ Kg/mc	Angolo di attrito ϕ	Coesione Cu (Kg/cm ²)		
Area 4 DPSH 8	1		1,40	<i>Limi argillosi ben consistenti</i>	1820	22,80	0,87		
	2		3,00	<i>Argille a consistenza elevata</i>	2150	25,55	2,12		
Area 4 Ts14	1	460	2,00 – 3,00	<i>Limi argillosi scarsamente consistenti</i>	1640	17,70	0,50		
	2	800	1,50 – 2,50	<i>Argille limose a consistenza media</i>	1750	18,00	0,76		
	3	1350		<i>Argille a consistenza medio-elevata</i>	2110	20,25	1,87		

AREA 5

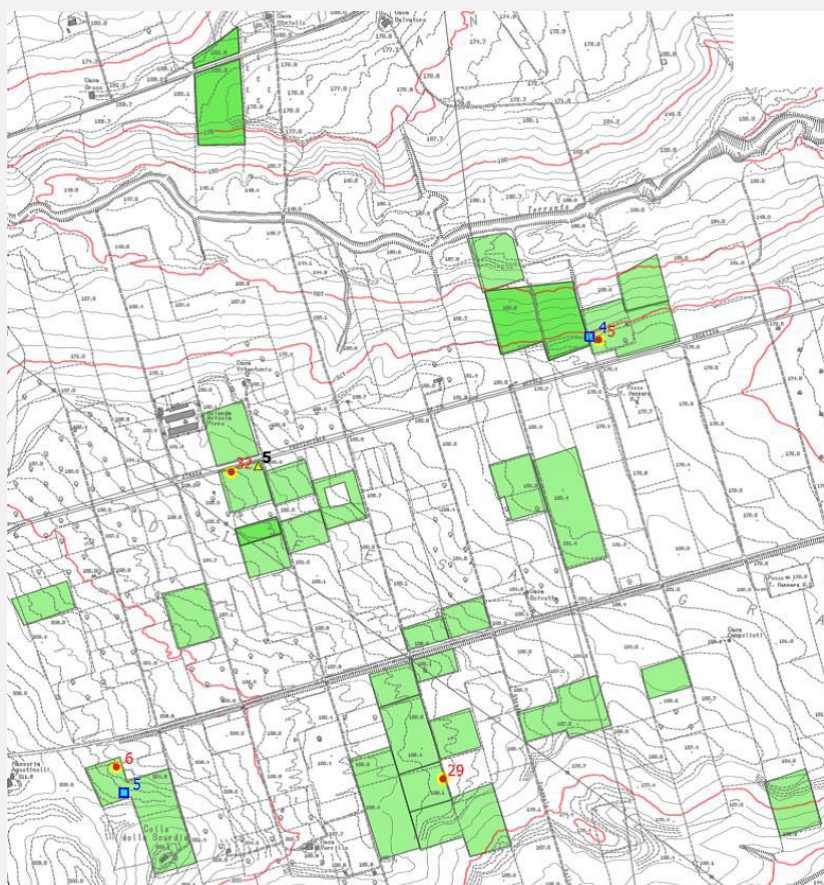


ubicazione tomografia sismica ■

ubicazione indagine penetrometrica ▲

AREE	Sismostrato	Velocità Vp media (m/s)	Spessore (m)	Litologia presunta	Peso in Volume γ Kg/mc	Angolo di attrito ϕ	Coesione Cu (Kg/cm ²)		
Area 5 Ts12	1	500	1,00 – 3,00	Sabbie limose scarsamente addensate	1640	17,70	0,50		
	2	850	2,00 – 3,00	Sabbie limose poco addensate	1770	17,70	0,76		
	3	1500		Argille a mediamente consistenti	1900	18,59	0,90		
Area 5 Ts18	1	500	2,00– 3,00	Sabbie limose scarsamente addensate	1640	17,70	0,50		
	2	780	2,50 – 3,00	Limi argillosi poco addensati	1770	17,70	0,76		
	3	1450		Argille a mediamente consistenti	1900	18,59	0,90		

AREA 6

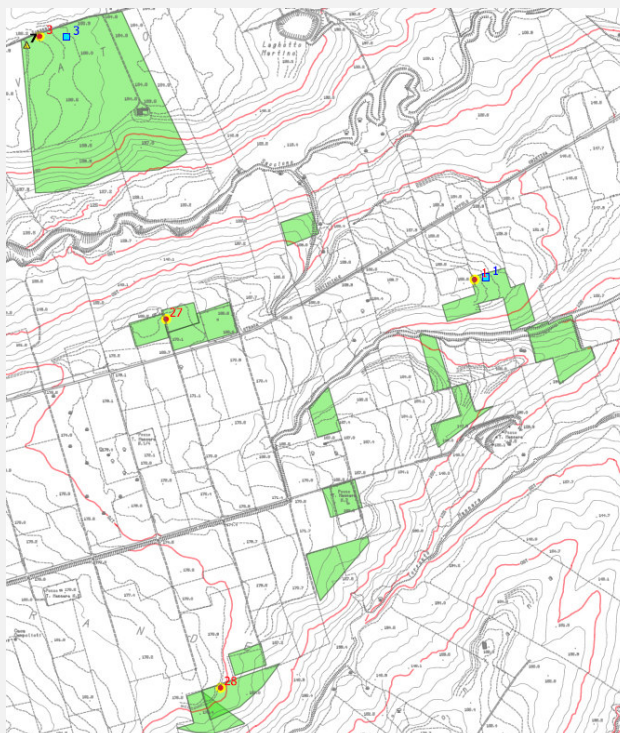


ubicazione tomografia sismica ■

ubicazione indagine penetrometrica ▲

AREE	Sismostrato	Velocità Vp media (m/s)	Spessore (m)	Litologia presunta	Peso in Volume γ Kg/mc	Angolo di attrito ϕ	Coesione Cu (Kg/cm ²)		
Area 6 DPSH 5	1	///	0,40	Sabbie limose scarsamente addensate	1640	17,70	0,50		
	2	///	1,00	Sabbie limose poco addensate	1770	17,70	0,76		
	3	///	2,80	Argille a consistenza medio-elevata	2110	20,25	1,87		
Area 6 Ts4	1	550	1,50– 2,00	Limi sabbiosi poco addensati	1770	17,70	0,76		
	2	950	4,00 – 6,00	Argille mediamente consistenti	1900	19,00	0,90		
	3	1600		Argille a consistenza media-elevata	2110	20,25	1,87		
Area 6 Ts5	1	400	2,00 – 3,50	Sabbie limose scarsamente addensate	1640	17,70	0,50		
	2	750	2,50 – 4,00	Sabbie limose poco addensate	1770	17,70	0,76		
	3	1300		Argille mediamente consistenti	1900	19,00	0,90		

AREA 7

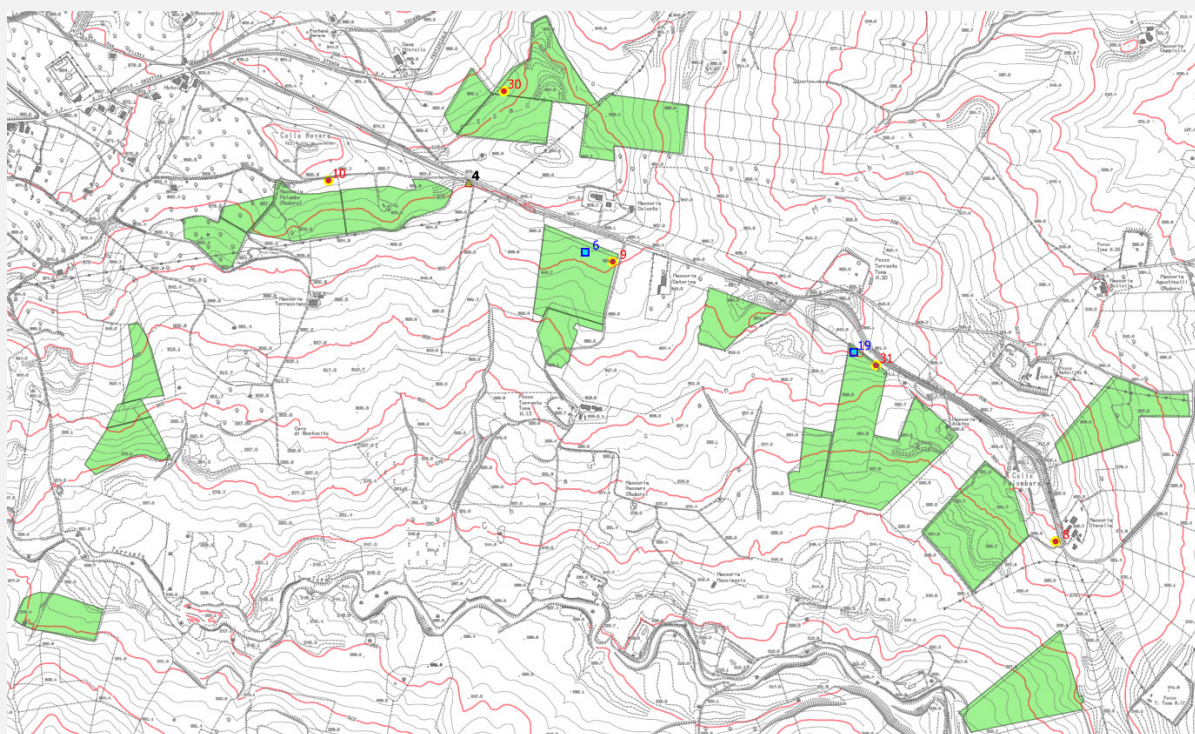


ubicazione tomografia sismica ■

ubicazione indagine penetrometrica ▲

AREE	Sismostrato	Velocità Vp media (m/s)	Spessore (m)	Litologia presunta	Peso in Volume γ Kg/mc	Angolo di attrito ϕ	Coesione Cu (Kg/cm ²)		
Area 7 Ts1	1	480	1,00-2,00	Sabbie limose scarsamente addensate	1550	17,70	0,50		
	2	750	3,00-4,00	Sabbie limose poco addensate	1730	17,70	0,76		
	3	1300		Argille mediamente consistenti	1900	19,00	0,90		
Area 7 Ts3 DPSH 7	1	520	2,00- 3,00	Limi sabbiosi poco addensati	1610	17,70	0,70		
	2	900	3,00 - 4,00	Argille limose mediamente consistenti	1750	18,00	0,76		
	3	1600		Argille a consistenza media-elevata	2080	20,25	1,87		

AREA 8

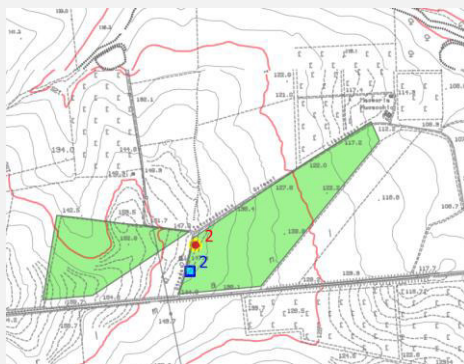


ubicazione tomografia sismica ■

ubicazione indagine penetrometrica ▲

AREE	Sismostrato	Velocità Vp media (m/s)	Spessore (m)	Litologia presunta	Peso in Volume γ Kg/mc	Angolo di attrito ϕ	Coesione Cu (Kg/cm ²)		
Area 8 <i>DPSH 4</i>	1	///	0,40	Sabbie limose scarsamente addensate	1520	16,85	0,28		
	2	///	3,40	Sabbie limose poco addensate	1480	16,85	0,23		
	3	///	4,40	Limi sabbiosi poco addensati	1650	17,78	0,49		
Area 8 <i>Ts6</i>	1	420	2,00 – 3,00	Areato superficiale scarsamente consistente	2100	20,42	0,30		
	2	700	2,50 – 3,00	Marne poco consistenti	1570	20,42	0,36		
	3	1300		Marne a consistenza media	2180	25,89	2,38		
Area 8 <i>Ts19</i>	1	450	2,00 – 3,00	Areato superficiale scarsamente consistente	2100	20,42	0,30		
	2	800	1,50 – 2,00	Marne poco consistenti	1570	20,42	0,36		
	3	1400		Marne a consistenza media	2180	25,89	2,38		

AREA 9



ubicazione tomografia sismica ■

ubicazione indagine penetrometrica ▲

AREE	Sismostrato	Velocità Vp media (m/s)	Spessore (m)	Litologia presunta	Peso in Volume γ Kg/mc	Angolo di attrito ϕ	Coesione Cu (Kg/cm ²)		
Area 9 Ts2	1	400	0,50 – 3,50	Limi argillosi scarsamente addensati	1650	17,70	0,50		
	2	750	3,00 – 5,00	Argille limose poco consistenti	1770	18,59	0,76		
	3	1300		Argille a consistenza media	1900	18,59	0,90		

AREA 10



ubicazione tomografia sismica ■

ubicazione indagine penetrometrica ▲

AREE	Sismostrato	Velocità Vp media (m/s)	Spessore (m)	Litologia presunta	Peso in Volume γ Kg/mc	Angolo di attrito ϕ	Coesione Cu (Kg/cm ²)		
Area 10 Ts20	1	460	3,00 – 4,00	Limi argillosi poco consistenti	1820	17,70	0,70		
	2	780	3,00	Argille limose consistenza medio-bassa	1770	18,59	0,76		
	3	1400		Argille a consistenza media	1900	18,59	0,90		

12 CARATTERISTICHE FISICO MECCANICHE DEI TERRENI

Nel corso dello studio sono state consultate ed analizzate tutte le indagini geognostiche appositamente realizzate nei settori di territorio interessati dagli interventi in progetto. L'analisi critica, ha permesso di configurare un quadro di conoscenze geologico-tecniche adeguato alla presente fase progettuale.

In relazione a quanto emerso dagli approfondimenti condotti, è stato possibile definire le principali caratteristiche fisico-meccaniche delle differenti unità geologiche intercettate dalle aree di progetto. Nel seguito si riporta quindi una sintesi delle metodologie di analisi impiegate e, ovviamente, delle principali caratteristiche litotecniche delle unità geologiche di interesse.

Le principali caratteristiche fisico-meccaniche dei terreni in esame sono state determinate, in particolare, mediante analisi dei dati geotecnici a disposizione. Esso deriva ovviamente sia dalle numerose indagini in sito che dalle informazioni bibliografiche reperite per i termini litologici in questione, oltre che dalla correlazione con dati geognostici di prove in situ su terreni analoghi in aree limitrofe.

I valori, dunque, risultano rappresentativi del comportamento medio dei terreni presenti nei diversi settori di intervento, limitatamente alle profondità investigate.

La variazione dei valori proposti è riconducibile, ovviamente, sia all'eterogeneità di comportamento delle singole unità litotecniche che alla variazione di tali caratteristiche in relazione allo stato di alterazione/fessurazione dei materiali e alla profondità dal piano campagna dello specifico orizzonte litologico considerato.

Per la definizione delle caratteristiche litotecniche non direttamente deducibili dai risultati delle indagini, le parametrizzazioni sono state estrapolate dagli studi bibliografici disponibili e da pregresse esperienze su unità geologiche affini a quelle di interesse.

Nelle pagine che seguono vengono proposti i range di variazione delle principali caratteristiche fisico-meccaniche dei termini litologici ascritti alle differenti unità individuate nell'area ed interessate dalle opere in progetto. Come detto, le caratterizzazioni proposte sono la sintesi dei dati geotecnici a disposizione e sono indicative del comportamento medio di ogni singola unità litotecnica, a meno di particolari anisotropie e disomogeneità di tipo sia litologico che meccanico.

Nel seguito, si riporta la descrizione di tutte le unità litotecniche riferibili alle sequenze sedimentarie di substrato, compresi i parametri fisico-meccanici più rappresentativi dal punto di vista applicativo. Le parametrizzazione fisico-meccanica di seguito riportate sono state basate sui dati di prove di laboratorio, sulle risultanze delle indagini eseguite, nonché sulle informazioni bibliografiche riportate in letteratura.

12.1 Depositi alluvionali terrazzate

La formazione raccoglie le alluvioni fluviali di diverso ordine dei fiumi principali sono depositi composti da alluvioni ghiaiose, a luoghi cementate, in matrice bruno rossastra; alternativamente con intercalazioni di paleosuoli bruno nerastri, mentre i terrazzi olocenici più recenti sono caratterizzati da alluvioni prevalentemente sabbioso-limose-argillose dotate di un maggior grado di addensamento. I parametri fisico-meccanici rappresentativi del comportamento litotecnico medio dell'unità possono essere riassunti come segue:

• Peso per unità di volume	γ	= 16.5 – 17.70	kN/m ³
• Coesione non drenata	c_u	= 0.47 – 0.76	Kg/cm ²
• Angolo di attrito efficace	ϕ	= 17.70 – 18.59	C°
• Modulo Edometrico	E_{ed}	= 34.50 – 51.20	Kg/cm ²
• Modulo di Young	E_y	= 75.20 – 112.30	Kg/cm ²
• Modulo di Poisson	Poisson	= 0.33 – 0.34	
• Modulo di deformazione a taglio	G	=433.07- 631.35	Kg/cm ²

12.2 Avanfossa plio-pleistocenica – Ciclo trasgressivo.

I depositi prevalentemente sabbiosi sono costituiti da sabbie grossolane giallastre e da sabbie stratificate a grana media e a modesto contenuto fossilifero, passanti gradualmente a sabbie argillose giallastro chiare, argille azzurre e argille marnose grigio-azzurrognole. I depositi prevalentemente argillosi sono costituiti da argille scistose azzurre, argille marnose grigio azzurrognole e sabbie argillose giallo-brune con livelli e lenti di argille sabbiose grigiastre ricche a luoghi di contenuto fossilifero.

• Peso per unità di volume	γ	= 16.50 – 19.00	kN/m ³
• Coesione non drenata	c_u	= 0.70 – 0.90	Kg/cm ²
• Angolo di attrito efficace	ϕ	= 17.00 – 18.59	C°
• Modulo Edometrico	E_{ed}	= 60.00 – 150.00	Kg/cm ²
• Modulo di Young	E_y	= 130.00 – 300.00	Kg/cm ²
• Modulo di Poisson	Poisson	= 0.29 – 0.33	
• Modulo di deformazione a taglio	G	=700.00- 1600.00	Kg/cm ²

12.3 Unita' di Monte Daunia

Formazione della Daunia, una delle più diffuse del bordo orientale dell'Appennino centro-meridionale. Si tratta di un'alternanza di calcareniti, calcari marnosi, brecciole calcaree, marne e marne argillose, con rari noduli di selce. Le marne argillose chiudono al tetto il *flysch di Faeto*. Il passaggio è contrassegnato da sottili intercalazioni che sono calcarenitiche, quando ad essere interessato è il primo, ovvero arenacee, quando è implicato il secondo.

Litologicamente la formazione assume caratteri variabili in funzione sia del prevalere di una, piuttosto che di un'altra, delle facies tipiche e delle unità di letto e di tetto sia della distribuzione delle stesse.

12.3.1 Formazione Faeto

Alternanza di strati e banchi di calcareniti, calciruditi, calciluti, marne, calcaree ed argille marnose; a causa dell'alto grado di deformazione è difficile calcolarne lo spessore, tuttavia ricostruendo per intervalli stratigrafici successivi è possibile stimare uno spessore massimo di circa 500 m.

Caratterizzato dalla presenza di alcuni banchi di areniti silicoclastiche a granulometria medio-fine, suddiviso in tre membri:

uno basale: successione calcareo-argillosa,

uno intermedio: caratterizzato da alternanza di calciclastiche e calcilutiti ad *Orbuline*,

uno superiore: costituito da un'alternanza di torbiditi e marne grigie.

• Peso per unità di volume	γ	= 15.70 – 21.00	kN/m ³
• Coesione non drenata	c_u	= 0.30 – 2.38	Kg/cm ²
• Angolo di attrito efficace	ϕ	= 20,42 – 25.89	C°
• Modulo Edometrico	E_{ed}	= 26,11 – 161,45	Kg/cm ²
• Modulo di Young	E_y	= 56,90 – 351,90	Kg/cm ²
• Modulo di Poisson	Poisson	= 0,28 – 0,34	
• Modulo di deformazione a taglio	G	= 333,21- 1847,34	Kg/cm ²

12.3.2 Argille varicolori

Costituite da argille e marne prevalentemente siltose, grigie e varicolori, con differente grado di costipazione e scistosità e con intercalati in spessori variabili da zona a zona, strati o insieme di strati litoidi formati da calcari, calcari marnosi, calcareniti, calcilutiti breccie calcaree, arenarie sabbie.

Hanno una colorazione violacee o grigio-nerastre a contenuto fossilifero; argille scagliose rosse, violacee e verdastre con intercalazioni di micriti calcaree, calcari marnosi e livelli e lenti di selce rossicce ed azzurrognole .

• Peso per unità di volume	γ	= 17.00 – 22.00	kN/m ³
• Coesione non drenata	c_u	= 0.30 – 2.00	Kg/cm ²
• Angolo di attrito efficace	ϕ	= 20.50 – 26.00	C°
• Modulo Edometrico	E_{ed}	= 30,00 – 300,00	Kg/cm ²
• Modulo di Young	E_y	= 60.00 – 350.00	Kg/cm ²
• Modulo di Poisson	Poisson	= 0,30 – 0,34	
• Modulo di deformazione a taglio	G	=300.00- 1800.00	Kg/cm ²

13 CONCLUSIONI

Nel presente lavoro sono state descritte le caratteristiche geologico-stratigrafiche, geomorfologiche e geotecniche dei terreni sede del progetto di un impianto fotovoltaico da 200 MW. Lo studio è stato elaborato in ottemperanza alle direttive sismiche più recenti, come premesso alle prime pagine, aggiornato alle nuove NTC 2018, ed è stato svolto sulla base di una campagna di indagini geofisiche supportata da dati geognostici diretti e informazioni derivanti da un'ampia documentazione bibliografica e di lavori svolte su terreni analoghi.

Le indagini hanno permesso di ricostruire la struttura del sottosuolo per valutare le problematiche a cui possono essere soggette le opere da realizzare.

– Dal punto di vista geologico generale, il sito in esame è parte integrante dei terreni situati tra i rilievi collinari ai margini orientali dell'Appennino meridionale molisano, a Est di Rotello, caratterizzato da una morfologia dolce con ampie spianate, pianalti, debolmente inclinati verso verso N-NE, che digradano verso la costa raccordandosi con la piana del Tavoliere, intervallati da ampie valli, con versanti dolci e poco inclinati, incise dai principali corsi d'acqua e dai loro affluenti minori.

– Dal punto di vista geologico-strutturale si trova in prossimità del limite Catena-Avanfossa dell'Appennino meridionale: i differenti domini strutturali che li caratterizzano sono da riferirsi rispettivamente agli assetti stratigrafico-strutturali del margine esterno della Catena e a quelli dell'Avanfossa (Fossa bradanica).

– Dal punto di vista idrogeologico, la permeabilità è strettamente condizionata dalla situazione litostratigrafica, le diversità litologiche, condizionano i caratteri idrogeologici in quanto controllano i processi di infiltrazione e la circolazione sotterranea. Nello specifico, dal rilevamento idrogeologico di campagna, nell'area interessata dalle opere in progetto è possibile rinvenire una falda superficiale, a profondità variabili da – 5.00 a 6.00 metri dal p.c., che si attesta nei terreni ciottolosi sabbiosi affioranti, ed una falda più profonda a profondità superiori a – 20.00 e a – 40.00 metri dal p.c.

– Dal punto di vista geologico-tecnico, le principali caratteristiche fisico-meccaniche dei terreni in esame sono state determinate, mediante analisi statistica dei dati geotecnici a disposizione. Esse derivano dalle numerose indagini in sito che dalle informazioni bibliografiche reperite per i termini litologici in questione. I valori, dunque, risultano rappresentativi del comportamento medio dei terreni presenti nei diversi settori di intervento, limitatamente alle profondità investigate.

Dalle indagini eseguite i cui valori sono riportati in tabella, emerge che il sottosuolo delle aree indicate per la collocazione degli impianti, ricadono nella Categoria B per il 10% e nella categoria C per il 90% di cui alle N.T.C. 2018.

Sotto il profilo geologico-tecnico dai risultati delle indagini eseguite è emerso che la porzione superficiale del terreno, per uno spessore che può essere variabile da 1 metro a 5 metri, è caratterizzata da scarsa consistenza e caratteristiche meccaniche mediocri, tali valori di consistenza sono causati dalla presenza della formazione di natura limo-argillosa, dove i valori del parametro $V_{s,eq}$ sono più alti si è in presenza dei calcari marnosi della formazione Faeto affioranti ad ovest di Rotello.

– Visti i notevoli dislivelli, gli impluvi presenti, le caratteristiche fisico meccaniche dei terreni affioranti nelle aree esaminate è fondamentale garantire per la realizzazione e il mantenimento delle opere, una opportuna fascia di rispetto dalle linee di impluvio onde evitare che piogge torrenziali responsabili dell'erosione e approfondimento degli impluvi possano gravemente compromettere la stabilità delle opere in progetto;

Pertanto le opere possono essere pienamente realizzate nello specifico a condizione che venga mantenuta una fascia di rispetto come su menzionata a garanzia della durata e stabilità dell'opera specialmente nei casi di eventi piovosi di breve durata ma di notevole intensità. Qualora la progettazione interessi anche le aree con acclività superiore al 15 %, va attenzionata la presenza di processi in atto o potenziali e prevedere interventi atti alla mitigazione degli effetti del ruscellamento e dell'imbibizione (drenaggi, regimazione, canalizzazione delle acque, ecc.).

Le opere in progetto allocate nelle aree non interessate da impluvi o da fenomeni erosivi restano di piena fattibilità e non costituiscono alcun ostacolo al regolare deflusso delle acque meteoriche e delle acque di ruscellamento superficiale.

Il Geologo

Dott.ssa Anna Rosaria Marletta
O.R.G.S. n° 1644

Riferimenti Bibliografia

- ANTONUCCI A., DE CORSO S., DI LUZIO E., GIOIA P., LENCI F., SCROCCA D. & TOZZI M. (2000) - Carta geologica della Montagnola di Frosolone. Scala 1:30.000. Geol. Romana, 35, 89-109.
- ANTONUCCI A., DI LUZIO E., LENCI F., SCROCCA M. & TOZZI M. (2002) - Mesoscopic structural styles of deformation within the Frosolone unit multilayer (Molise region, central Italy). Boll. Soc. Geol. It., Vol. Spec. 1, 641-648.
- BALLY A.W., BURBI L., COOPER C. & GHELARDONI R. (1986) – Balanced sections and seismic reflection profiles across the Central Apennines. Mem. Soc. Geol. It., 35, 257-310.
- BERTINELLI A., CIARAPICA G. & PASSERI L. (2002) – The late Triassic cherty dolostones of Mt. Marrone (Mainarde range) as part of the Molise basin. Boll. Soc. Geol. It., Vol. spec. 1, 481- 487.
- CALABRÒ R.A., CORRADO S., DI BUCCI D., ROBUSTINI P. & TORNAGHI M. (2003) – Thin-skinned vs. thick-skinned tectonics in the Matese Massif, Central – Southern Apennines (Italy). Tectonophysics, 377, 269-297. CARISSIMO L.,
- D’AGOSTINO O., LODDO C. & PIERI M. (1963) - Petroleum exploration by AGIP Mineraria and new geological information in Central and Southern Italy from the Abruzzi to the Taranto Gulf. 6th Petr. Int. Congress., sect. 1, 267-292.
- CARBONE S. & LENTINI F. (1990) – Migrazione neogenica del sistema catena-avampaese nell’Appennino Meridionale: problematiche paleogeografiche e strutturali. Riv. It. Paleont. Strat., 96 (2-3), 271-296.
- CASERO P., ROURE F., ENDIGNOUX L., MORETTI I., MULLER C., SAGE L. & VIALLY R. (1988) - Neogene geodynamic evolution of the southern Apennines. Mem. Soc. Geol. It., 41, 109 - 120.
- CASNEDI R., CRESCENTI U., D’AMATO C., MOSTARDINI F. & ROSSI U. (1981) – Il Plio-Pleistocene del sottosuolo molisano. Geologica Romana, 20, 1-42.
- CASTORINA F., CIPOLLARI P., COSENTINO D., DI BIASIO E., NASO G. & TALLINI M. (1996) - Testimonianza dell’evento a gessi nei depositi di avanfossa della Val Roveto (Appennino centrale): considerazioni sull’estensione spazio-temporale dell’avanfossa messiniana. Mem. Soc. Geol. It., 51, 35-47.
- CELLO G., MARTINI N., PALTRINIERI W. & TORTORICI L. (1989) – Structural styles in the frontal zones of the southern Apennines, Italy: an example from the Molise district. Tectonics, 8 (4), 753- 768.
- CELLO G., PALTRINIERI W. & TORTORICI L. (1987) – Caratterizzazione strutturale delle zone esterne dell’Appennino molisano. Mem. Soc. Geol. It., 38, 155-161.
- CIAMPO G., SGROSSO I. & RUGGIERO TADDEI E. (1983) – Età e modalità della messa in posto del massiccio del Matese nel bacino Molisano. Boll. Soc. Geol. It., 102, 573-580.
- CIARANFI N., DAZZARO L., PIERI P. & RAPISARDI L. (1980) – I depositi del Miocene superiore a confine molisano-abruzzese. Boll. Soc. Geol. It., 99, 103-118.
- CIARAPICA G. & PASSERI L. (1998) – Evoluzione paleogeografica degli Appennini. Atti Tic. Sc. Terra, 40, 233-290.
- CIPOLLARI P., COSENTINO D. & PAROTTO M. (1995a) - Modello cinematico - strutturale dell’Italia centrale. Studi Geol. Camerti, Volume Speciale 1995/2, 135 - 143.
- CIPOLLARI P. & COSENTINO D. (1995b) – Miocene unconformities in the Central Apennines: geodynamic significance and sedimentary basin evolution. Tectonophysics, 252, 375-389.
- CIPOLLARI P. & COSENTINO D. (1997) – Il bacino di Belvedere-Vallocchia (Monti di Spoleto): un thrust-top basin dell’Appennino Serravalliano. Boll. Soc. Geol. It., 116, 347-362.

- CLERMONT J. (1977) – La bordure abruzzaise Sud-orientale et le Haut Molise: histoire sédimentaire et tectonique comparée. Riv. Ital. Paleont., 83 (1), 21-102.
- CLERMONT J. & PIRONON B. (1979) – La plate-forme Campano-Abruzzaise de la Méta au Matèse (Italie Meridionale): différentiations au Paléogène et au Miocène. Structures, relations avec les formations Molisanes. Bull. Soc. Geol. France, s. 7, 21 (6), 737-743.
- CORRADO S., DI BUCCI D., LESCHIUTTA I., NASO G. & TRIGARI A. (1997) - La tettonica quaternaria della piana di Isernia nell'evoluzione strutturale del settore molisano. Il Quaternario, 10 (2), 609-614.
- CORRADO S., DI BUCCI D., NASO G. & BUTLER R.W.H. (1997) – Thrusting and strike-slip tectonics in the Alto Molise region (Italy): implications for the Neogene-Quaternary evolution of the Central Apennine orogenic system. Journal Geol. Soc. London, 154, 679-688.
- CORRADO S., DI BUCCI D., NASO G. & DAMIANI A.V. (1998) – Rapporti tra le grandi unità stratigrafico-strutturali dell'Alto Molise (Appennino centrale). Boll. Soc. Geol. It., 117, 761- 776.
- COSTA E., DI GIULIO A., NEGRI A. & PLESI G. (1991) – CROP 03. Settore compreso tra Castiglione Fiorentino e Bocca Trabaria: nuovi dati stratigrafici, petrografici e strutturali. Studi Geologici Camerti, vol. spec. (1991/1), 217-234.
- CROSTELLA A. & VEZZANI L. (1964) – La geologia dell'Appennino foggiano. Boll. Soc. Geol. It., 83 (1), 121-141.
- D'ANDREA M., MICCADEI E. & PRATURLON A. (1992) – Rapporti tra il margine orientale della piattaforma laziale-abruzzese ed il margine occidentale della piattaforma Morrone-Pizzalto-Rotella. Studi Geologici Camerti, Vol. spec. (1991/2), CROP 11, 389-395.
- D'ARGENIO B., PESCATORE T. & SCANDONE P. (1973) – Schema geologico dell'Appennino meridionale (Campania, Lucania). Atti del Convegno: Moderne vedute sulla geologia dell'Appennino. Acc. Naz. Lincei, Quaderno 183, 49-72.
- DE CORSO S., DI LUZIO E. & TOZZI M. (2000) – Geologia della Montagnola di Frosolone. Geol. Romana, 35, 89-109.
- DE CORSO S., SCROCCA D. & TOZZI M. (1998) – Geologia dell'anticlinale del Matese e implicazioni per la tettonica dell'Appennino Molisano. Boll. Soc. Geol. It., 117, 419-441, 1 carta geol., scala 1: 20.000.
- DEMANGEOT J. (1965) – Géomorphologie des Abruzzes adriatiques. Mémoires et documents. Hors série. 403 pp.
- DI BUCCI D. (1995) – Evidenze di strutture regionali profonde nel settore a sud della Maiella: il contributo dell'analisi di foto aeree e dei dati di pozzo. Boll. Soc. Geol. It., 114, 477-496.
- DI BUCCI D., MASSA B., TORNAGHI M. & ZUPPETTA A. (2005) – Structural setting of the 1688 Sannio earthquake epicentral area (Southern Italy) from surface and subsurface data. Journal of Geodynamics, 40, 294-315.
- DI BUCCI D. & SCROCCA D. (1997) – Assetto tettonico dell'Alto Molise (Appennino centrale): considerazioni stratigrafiche e strutturali sull'Unità di Montenero Val Cocchiara. Boll. Soc. Geol. It., 116, 221-236.
- DI LUZIO E., PANICCIA D., PITZIANI P., SANSONNE P. & TOZZI M. (1999) – Evoluzione tettonica dell'Alto Molise. Boll. Soc. Geol. It., 118, 287-315.
- DI NOCERA S., MATANO F. & TORRE M. (2002) – Le Unità sannitiche Auct. (Appennino centro-meridionale): rassegna delle correnti interpretazioni stratigrafiche e paleogeografiche e nuova ipotesi alternativa con l'introduzione dell'Unità del Frigento. Studi Geol. Camerti, 1, 87-102.
- ELTER P., GRASSO M., PAROTTO M. & VEZZANI L. (2003) – Structural setting of the Apennine-Maghrebian thrust belt. Episodes, 26 (3), 205-211.

- FERRANTI L. (1994) – Le strutture del bordo meridionale del massiccio del Matese (Appennino meridionale): elementi di tettonica compressiva e distensiva. *Boll. Soc. Geol. It.*, 113, 157- 171.
- FESTA A. (2000) – Rapporti strutturali tra le unità del Sannio, del Matese – Frosolone e Molisane (alto Molise). Tesi di dottorato, Università degli Studi di Torino (consorzio Torino – Genova – Cagliari), XIII ciclo, 176 pp, 1 carta geol., scala 1:50.000.
- FINETTI I., LENTINI F., CARBONE S., CATALANO S. & DEL BEN A. (1996) –Il sistema Appennino meridionale - arco Calabro – Sicilia nel Mediterraneo centrale: studio geologico – geofisico. *Boll. Soc. Geol. It.*, 115, 529-559.
- GHISSETTI F., BARCHI M., BALLY A.W., MORETTI I & VEZZANI L. (1993) – Conflicting balanced structural sections across the central Apennines (Italy): problems and implications. In: *Generation, Accumulation and Production of Europe's Hydrocarbons III*, edito da A.M. SPENCER, Special Publication of the European Association of Petroleum Geoscientists, 3, 219-231.
- GHISSETTI F., FOLLADOR U., CASNEDI R. & VEZZANI L (1994) – Assetto tettonico delle zone esterne dell'Appennino Abruzzese: elementi di analisi stratigrafico-strutturali. *Atti Ticinensi Sc. Terra, Serie Sp.*, 2, 5-43.
- GHISSETTI F. & VEZZANI L. (1997a) – Geometrie deformative ed evoluzione cinematica dell'Appennino centrale. *Studi Geol. Camerti, XIV (1996-97)*, 127-154.
- GHISSETTI F. & VEZZANI L. (1997b) – Interfering paths of deformation and development of arcs in the fold-and-thrust belt of the central Apennines (Italy). *Tectonics*, 16, 523-536.
- GHISSETTI F. & VEZZANI L. (1998) – Segmentation and tectonic evolution of the Abruzzi – Molise thrust belt (central Apennines, Italy). *Annales Tectonicae*, 12, 97-112.
- GHISSETTI F. & VEZZANI L. (2002) – Normal faulting, extension and uplift in the outer thrust belt of the central Apennines (Italy): role of the Caramanico fault. *Basin Research*, 14, 225-236.
- HIPPOLYTE J.-C., ANGELIER J. & BARRIER E. (1995) – Compressional and extensional tectonics in an arc system: example of the Southern Apennines. *Journal of Structural Geology*, 17 (12), 1725- 1740.
- IETTO A. (1971) – Assetto strutturale e ricostruzione paleogeografica del Matese occidentale (Appennino meridionale). *Mem. Soc. Nat. Napoli*, 78, 441-471.
- JABOLI D. & ROGER A. (1952) – Esquisse structurale de la Fosse Bradanique (Italie meridionale). *Congres. Geol. Int., C.R., Sect. 9*, 305-324.
- LANZAFAME G. & TORTORICI L. (1976) – Osservazioni geologiche sul medio e basso bacino del F. Biferno (Molise, Italia centro-meridionale). *Geol. Romana*, 15, 199-222.
- MATTEI M. & MICCADEI E. (1991) – Strike-slip tectonics between the Marsica range and the Molisan basin in the Sangro valley (Abruzzo, Central Italy). *Boll. Soc. Geol. It.*, 110, 737- 745.
- MARTINIS B. & PIERI M. (1963) – Alcune notizie sulla formazione evaporitica del Triassico superiore nell'Italia centro-meridionale. *Mem. Soc. Geol. It.*, 4, 649-678.
- MICCADEI E. (1993) – Geologia dell'area Alto Sagittario-Alto Sangro (Abruzzo, Appennino centrale). *Geologica Romana*, 29, 463-481.
- MORETTI I. & ROYDEN L. (1988) – Deflection, gravity anomalies and tectonics of doubly subducted continental lithosphere: Adriatic and Ionian seas. *Tectonics*, 7, 875-893.
- MOSTARDINI F. & MERLINI S. (1986) – Appennino centro-meridionale. Sezioni geologiche e proposta di un modello strutturale. *Mem. Soc. Geol. It.*, 35,

- NASO G., TALLINI M. & TOZZI M. (1995) – Caratteristiche geologico-strutturali dell'area di Miranda (Isernia): un contributo alla comprensione dei rapporti tra falde molisane e avansfossa del Messiniano-Pliocene inferiore. Boll. Soc. Geol. It., 114, 423-441, 1 carta geol. scala 1:10.000.
- OGNIBEN L. (1969) – Schema introduttivo alla geologia del confine calabro-lucano. Mem. Soc. Geol. It., 8, 453-763.
- ORTOLANI F. & TORRE M. (1971) – Il Monte Alpi (Lucania) nella paleogeografia dell'Appennino meridionale. Boll. Soc. Geol. It., 90, 213-248.
- PATACCA E. & SCANDONE P. (2004) – The Plio-Pleistocene thrust belt-foredeep system in the Southern Apennines and Sicily (Italy). In Geology of Italy, Sp. Vol. Ital. Geol. Society for the IGC Florence – 2004, 93-129.
- PATACCA E., SCANDONE P., BELLATALLA M., PERILLI N. & SANTINI U. (1991) – La zona di giunzione tra l'arco appenninico settentrionale e l'arco appenninico meridionale nell'Abruzzo e nel Molise. Studi Geol. Camerti, Vol. Spec. 1991/2, CROP 11, 417-441.
- PATACCA E., SCANDONE P., BELLATALLA M., PERILLI N. & SANTINI U. (1992) – The numidian sand event in the southern Apennines. Mem. Sci. Geol., Padova, 43, 297-337.
- PENTA F. (1950) – Risultati di alcune perforazioni nei terreni metaniferi di Rivisondoli e di Pescocostanzo in Abruzzo. Boll. Soc. Geol. It., 69, 435-448.
- PESCATORE T. (1965) – Ricerche geologiche sulla depressione molisano-sannitica. Atti Acc. Sc. Fis., Mat., s. 3, 5(4), 101-145.
- PIERI M. (1966) – Tentativo di ricostruzione paleogeografico-strutturale dell'Italia centromeridionale. Geol. Romana, 5, 407-424.
- RENAUD P., BILLAUD Y., CLERMONT J., LORENZ C. & PIRONON B. (1990) – Evolution paléogéographique le long de la bordure sud-orientale de la plate-forme campano-abruzzaise (Italie) du Crétacé au Néogène. Bull. Soc. Géol. France, 6 (1), 105-112.
- SCANDONE P. (1967) – Studi di geologia lucana: la serie calcareo-silico-marnosa e i suoi rapporti con l'Appennino Calcareo. Boll. Soc. Nat. Napoli, 76, 301-469.
- SCROCCA D. & TOZZI M. (1999) – Tettogenesi mio-pleiocenica dell'Appennino molisano. Boll. Soc. Geol. It., 118, 255-286.
- SCROCCA D., TOZZI M. & PAROTTO M. (1995) – Assetto strutturale del settore compreso tra il Matese, le Mainarde e l'Unità di Frosolone. Implicazioni per l'evoluzione neogenica del sistema di sovrascorrimenti nell'Appennino centro-meridionale. Studi Geol. Camerti, vol. spec. 1995/2, 407-418.
- SELLA M., TURCI C., & RIVA A. (1988) – Sintesi geopetrolifera della Fossa Bradanica. Mem. Soc. Geol. It., 41, 87-107. SELLI R. (1962) – Il Paleogene nel quadro della geologia dell'Italia centro-meridionale. Mem. Soc. Geol. It., 3, 737-789.
- SGROSSO I. (1964) – La serie stratigrafica di Serra delle Macchietelle in relazione ad alcune caratteristiche della tettonica del Matese. Boll. Soc. Nat. Napoli, 73, 186-194.
- SGROSSO I. (1983) – Alcuni dati sulla possibile presenza di una quarta piattaforma carbonatica nell'Appennino centro-meridionale. Rend. Soc. Geol. It., 4, 31-34.
- SGROSSO I. (1986) – Criteri ed elementi per una ricostruzione paleogeografica delle zone esterne dell'Appennino centro-meridionale. Mem. Soc. Geol. It., 35, 203-219.
- SGROSSO I. (1988) – Nuovi elementi per un più articolato modello paleogeografico nell'Appennino centro-meridionale. Mem. Soc. Geol. It., 41, 225-242.

- SGROSSO I. (1996) – I rapporti tra i depositi del Massiccio del Matese e quelli del Bacino molisano. Mem. Soc. Geol. It., 51 (1), 263-272.
- SGROSSO I. (1998) – Possibile evoluzione cinematica miocenica nell'orogene centro-sudAppenninico. Boll. Soc. Geol. It., 117, 679-724.
- STEFFENS P. (1968) – Zur Geologie der Molise Zone nordostlich von Isernia. Diss. Dokt. Math.-Nat. Fak. Freien Univ. Berlin.
- VEZZANI L. (1975) – Lithostratigraphic complexes and evidence for tectonic phases in the Molise 177-202. Puglia-Lucania Apennines. In Structural Model of Italy. Maps and explanatory notes C.N.R., Quad. Ric. Scient., 90, 329-363.
- VEZZANI L. CASNEDI R. & GHISSETTI F. (1993) – Carta geologica dell'Abruzzo nord-orientale. Scala 1:100.000. Ed. S.EL.CA., Firenze.
- VEZZANI L. & GHISSETTI L. (1995) – Domini in compressione ed in distensione al retro dei fronti del Gran Sasso-M. Picca e del Morrone: il ruolo della zona di taglio Avezzano-Bussi (Appennino centrale). Studi Geol. Camerti, vol. spec. 1995/2, 475-490.
- VEZZANI L. & GHISSETTI L. (1998) – Carta geologica dell'Abruzzo. Scala 1:100.000. Ed. S.EL.CA. Firenze. VEZZANI L.,
- GHISSETTI F. & FESTA A. (2004) – Carta geologica del Molise. Scala 1:100.000. Ed. S.EL.CA. Firenze.