



COMUNE DI SPINAZZOLA
PROVINCIA DI BARLETTA ANDRIA TRANI
REGIONE PUGLIA
COMUNE DI GENZANO DI LUCANIA
PROVINCIA DI POTENZA
REGIONE BASILICATA

IMPIANTO SOLARE FOTOVOLTAICO "SAVINETTA" CONNESSO ALLA RTN DELLA POTENZA DI PICCO P=20'659.86 kWp E POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 20'000 kW, DELLE RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE ALLA RTN E PIANO AGRONOMOICO PER L'UTILIZZO A SCOPI AGRICOLI DELL'AREA

Proponente

SOLAR ENERGY DIECI S.R.L.

VIA LUIGI GALVANI, 33 - 39100 BOLZANO
C.F. - P.I. - REGISTRO IMPRESE 03058400213
PEC: solareenergydieci.srl@legalmail.it

Progettazione

Dr Geol. ANTONIETTA CILUMBRIELLO
Studio Tecnico Geologia, Energia & Ambiente
Via Albani, snc
85013 - Genzano di Lucania (PZ)
email: geo.lab@gmail.com
Mob: 347/1848562



Preparato

Verificato

Approvato

PROGETTAZIONE DEFINITIVA
Codice Autorizzazione Unica A3EBD54

Titolo elaborato

IMPIANTO FOTOVOLTAICO "SAVINETTA"
RELAZIONE GEOLOGICA

Elaborato N.

3RG

Data emissione

30/04/21

Nome file

Relazione Geologica

N. Progetto

SOL027

Pagina

COVER

00

30/04/21

PRIMA EMISSIONE

REV.

DATA

DESCRIZIONE

IL PRESENTE DOCUMENTO NON POTRA' ESSERE COPIATO, RIPRODOTTO O ALTRIMENTI PUBBLICATO, IN TUTTO O IN PARTE, SENZA IL CONSENSO SCRITTO DI SOLAR ENERGY 10 S.R.L.. OGNI UTILIZZO NON AUTORIZZATO SARA' PERSEGUITO A NORMA DI LEGGE. THIS DOCUMENT CAN NOT BE COPIED, REPRODUCED OR PUBLISHED, EITHER IN PART OR IN ITS ENTIRETY, WITHOUT THE WRITTEN PERMISSION OF SOLAR ENERGY 10 S.R.L.. UNAUTHORIZED USE WILL BE PROSECUTE BY LAW.

RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA

Dr Geol. Antonietta Cilumbriello

INDICE

1. PREMESSA	1
2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE	3
3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO REGIONALE	4
3.1. Geologia di dettaglio dell'area di progetto	8
4. CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE, IDROGEOLOGICHE ED IDROLOGICHE	9
4.1 Caratteristiche morfologiche del sito di progetto	9
4.2 Idrografia ed Idrogeologia	10
4.3. Compatibilità Idrogeologica in conformità al P.A.I.	11
5. INDAGINI GEOGNOSTICHE	13
6. MODELLAZIONE SISMICA DELL'AREA	17
6.1. Normativa sismica di riferimento	17
6.2. Caratterizzazione sismica dell'area.....	20
6.3. Pericolosità sismica di base	22
6.4. Caratterizzazione dinamica.....	25
7. RISPOSTA SISMICA LOCALE	27
8. MODELLO GEOLOGICO E GEOTECNICO.....	30
8.1. Stratigrafia	30
8.2. Caratterizzazione geotecnica.....	33
9. ANALISI DI STABILITA' DEL VERSANTE	33
10.CONCLUSIONI	34

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

1. PREMESSA

Su incarico ricevuto dalla Solar Energy Dieci SRL, la Dr Antonietta Cilumbriello, geologa, iscritta all'Albo dei Geologi di Basilicata al n° 452, ha eseguito lo studio geologico relativo al progetto di installazione di un campo fotovoltaico della potenza nominale di 20,659.89 kW e potenza di immissione pari a 20.000 kW alla località Savinetta, nel Comune di Spinazzola (BT).

Nella presente Relazione si riferisce sulla caratterizzazione e la modellazione geologica ed idrologica del sito di progetto, estesa ad un adeguato intorno, dei caratteri litologici, stratigrafici, geomorfologici, idrogeologici, e sismici in modo da caratterizzare il contesto territoriale in cui si inseriscono le opere di progetto, con la finalità di verificare l'idoneità dell'area da un punto di vista geologico agli usi preposti.

Per la caratterizzazione geologica del substrato di fondazione, oltre ai dati bibliografici, sono stati utilizzati i risultati delle indagini svolte dalla scrivente in aree limitrofe a quella di progetto e su terreni dalle medesime caratteristiche geotecniche, dalle quali è stato possibile ricostruire la stratigrafia dei terreni di progetto oltre che desumere le caratteristiche litotecniche degli stessi, in via preliminare.

I risultati delle indagini consultate sono riportati nella presente relazione, illustrati graficamente negli elaborati che accompagnano la stessa e consistenti in:

1. Carta Geologica – scala 1:5.000 (Elaborato 3.RG.a.)
2. Carta Geomorfologica – scala 1:5.000 (Elaborato 3.RG.b.)
3. Carta Idrogeologica – scala 1:5.000 (Elaborato 3.RG.c.)
4. Sezione Geologica – scala 1:1.000 (Elaborato 3.RG.d.)
5. Planimetria con ubicazione indagini geognostiche (Elaborato 3.RG.e)

Si ricorda, infine, che il Comune di Spinazzola, ai sensi dell'Ordinanza del Presidente del Consiglio n°3274 del 20/03/2003 pubblicata sulla G.U. del 08/05/2003 e del Decreto Interministeriale del 14/9/2005 "Norme tecniche per le costruzioni", è legalmente riconosciuto e classificato come "Zona Sismica 2".

La presente relazione è stata redatta in osservanza delle "*Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione*" del Ministero dei LL.PP. (D.M. 11/3/1988), della Legge n°64 del 02/02/74, del Decreto Ministeriale del LL.PP. del 16/01/1996, alla L.R. n°38 del 06/08/1997, dell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n°3274 del 20/03/2003, della Nota esplicativa dell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n°3274 del 20/03/2003 emanata dal Dipartimento della Protezione Civile – Ufficio Servizio Sismico Nazionale in data 04 giugno 2003, dell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n°3379 del 05/11/2004 art. 6, della Delibera Regionale n°26 del 05/12/2001 dell'Autorità Interregionale di Bacino della Basilicata e successive modifiche ed integrazioni, del Decreto Interministeriale del 14/9/2005 "*Norme tecniche per le costruzioni*", il D.M. 14/02/2008 "*Nuove Norme Tecniche per le costruzioni*", e il D.M. 17/01/2018 Aggiornamento delle "*Norme Tecniche per le costruzioni*".

2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE

La zona oggetto della presente indagine comprende terreni ricadenti in agro del comune di Spinazzola (Provincia di Barletta – Andria - Trani), in località Mass. Savinetta. In particolare, l'area di progetto è ubicata a sud-est dell'abitato di Spinazzola, tra le quote di 460 m e 425 m s.l.m..



Fig. 1a) e b) – Ripresa fotografica aerea dell'area di progetto tratta da archivio interattivo di Bing.

Da un punto di vista cartografico la zona oggetto della presente indagine ricade a cavallo delle Tavole I.G.M. in scala 1:25.000 Foglio Geologico 188 IV/S.E. "Monte Serico" e IV/N.E. "Spinazzola". Per quanto riguarda i principali vincoli esistenti, si può dire che l'area oggetto dell'intervento non risulta sottoposta a vincoli per fini idrogeologici, ai sensi delle Norme del Piano Stralcio per la Difesa dal Rischio Idrogeologico di Puglia e non rientra altresì nell'ambito della perimetrazione del vincolo idrogeologico ai sensi del R.D.L. 2367/23.

3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO REGIONALE

Il territorio comunale di Spinazzola (PZ) è situato nella parte nord-occidentale della Puglia, al confine con la Regione Basilicata. Fisiograficamente il territorio appartiene in parte al dominio strutturale della Fossa bradanica, ossia il bacino di sedimentazione plio-pleistocenico della Catena appenninica meridionale compresa tra la Catena appenninica ad ovest e l'Avampaese apulo ad est (Migliorini, 1937; Selli, 1962) (Fig. 2) e in parte al dominio strutturale dell'avampaese.

L'avanfossa bradanica, che è il contesto strutturale in cui ricade l'area di progetto, corrisponde alla porzione autoctona dell'avanfossa appenninica meridionale definita da Selli (1962). Secondo quest'ultimo il substrato di questa grande area bacinale è stato soggetto dal Cretaceo al Miocene, ad una ridottissima subsidenza; anzi, in quest'intervallo di tempo ha rappresentato per lunghi periodi un'area emersa, come indicano le ampie lacune stratigrafiche e le numerose trasgressioni. Solo nel Pliocene e nel Quaternario essa è stata soggetta ad una cospicua subsidenza, e in tale lasso di tempo ha assunto il carattere di vera e propria fossa. La Fossa bradanica si imposta su un substrato costituito dai calcari cretacei della piattaforma apula ribassati, verso SW, da un sistema di faglie ad andamento appenninico (Ciaranfi *et al.*, 1979) e a partire dal Pliocene inferiore costituisce un'area bacinale a sedimentazione terrigena. Al limite Pliocene superiore-Pleistocene inferiore, la migrazione verso NE del fronte appenninico, che formava un angolo aperto a SE con il margine interno della placca apula in subduzione (Casnedi, 1988), determina, nel settore settentrionale del bacino, la convergenza tra queste due grandi unità del sistema orogenico meridionale (Pieri *et al.*, 1994; 1996). Questo motivo geodinamico segna l'inizio del colmamento del bacino con sedimentazione di mare poco profondo nell'area di convergenza, e la migrazione del depocentro dell'avanfossa verso SE in corrispondenza della cosiddetta Fossa di Salandra nel Bacino lucano (*sensu* Casnedi, 1988) dove avviene la sedimentazione torbiditica. Verso la fine del Pleistocene inferiore, inoltre, l'area di avampaese apulo, insieme all'adiacente settore di avanfossa appenninica, è interessata da sollevamento attribuito da alcuni autori a raggiustamento isostatico o *rebound* (Ciaranfi *et al.*, 1979; Patacca *et al.*, 1990), da altri a *buckling* della placca adriatica (piegamento litosferico indotto dalla spinta relativa verso est del mantello astenosferico che agisce sul piano di subduzione al di sotto degli Appennini; Doglioni *et al.*, 1994; 1996). Tale evoluzione del bacino bradanico è registrata dalla

successione di riempimento spessa alcuni chilometri. Tale successione è costituita dal basso da un intervallo argilloso-marnoso di base (Balduzzi *et al.*, 1982), spesso circa 100-150 m, di età variabile dal Pliocene inferiore al Pliocene medio, con tendenza al ringiovanimento verso E e verso SE (fase pre-torbiditica) (Casnedi *et al.*, 1982). Verso l'alto si passa ad un intervallo essenzialmente sabbioso-argilloso (intervallo sabbioso-argilloso intermedio *sensu* Balduzzi *et al.*, 1982), anch'esso di età progressivamente più recente procedendo da NW verso SE (fase torbiditica *sensu* Casnedi *et al.*, 1982). Secondo Casnedi *et al.* (1982), contemporaneamente alla sedimentazione torbiditica, la fossa si riempie di accumuli di materiale alloctono derivanti dal margine interno del bacino, in seguito a scivolamenti gravitativi a loro volta dovuti alla natura plastica ed incoerente del substrato paleogenico-miocenico sollevato e mobilizzato. La presenza di queste coltri alloctone era già stata messa in luce da una serie di perforazioni e di profili sismici eseguiti presso il margine appenninico della Fossa bradanica (Carissimo *et al.*, 1962). La porzione di successione affiorante ha uno spessore massimo di circa 600 metri, e corrisponde alla cosiddetta fase post-torbiditica *sensu* Casnedi *et al.* (1982) e alle Argille e sabbie sommitali (*sensu* Balduzzi *et al.*, 1982). Si tratta principalmente di argille siltose emipelagiche che passano verso l'alto a depositi silicoclastici grossolani di ambiente marino poco profondo (Valduga, 1973). I depositi della fase post-torbiditica *sensu* Casnedi *et al.* (1988) sono in letteratura noti anche come i depositi del ciclo regressivo della Fossa bradanica (Ricchetti, 1965, 1967) e sono rappresentati dal basso verso l'alto dalla formazione delle argille subappennine, dalla formazione delle Sabbie di Monte Marano e dalla formazione del Conglomerato di Irsina, quest'ultimo a luoghi eteropico alle Sabbie dello Staturo e delle Argille Calcigne (Azzaroli *et al.* 1968a, b; Ricchetti, 1965, 1967; Valduga, 1973; Patacca & Scandone 2001; 2004).

Essi, dai più antichi ai più recenti, presentano le seguenti caratteristiche geolitologiche:

- Argille subappennine Q^c_a (Pliocene superiore-Pleistocene inferiore): argille marnose e argille siltose abbastanza compatte, di colore grigio azzurro a cui, soprattutto nella parte alta della formazione si intercalano livelli sabbiosi con spessori variabili dal centimetro al metro. Lo spessore è estremamente variabile: al centro della fossa si aggira su qualche centinaio di metri, in prossimità delle Murge si riduce fino ad annullarsi. Dal punto di vista strutturale costituiscono una monoclinale immergente a sud-est con inclinazione di $6^\circ/10^\circ$.
- Sabbie di Monte Marano Q^c_c (Pleistocene inferiore): sabbie quarzoso-calcaree, giallastre, incoerenti, a luoghi cementate, con intercalazioni di lenti conglomeratiche. Lo spessore di quest'unità è variabile e può raggiungere i 100 m nel settore depocentrale della fossa e ridursi notevolmente verso i bordi.
- Conglomerato di Irsina Q^c_g (Pleistocene inferiore-medio): deposito ghiaioso-conglomeratico, stratificato con lenti sabbiose e rare lenti argillose. Lo spessore di questa unità è variabile da circa 30 m fino a pochi metri in prossimità del bordo murgiano.
- Sabbie dello Staturo q^1_s (Pleistocene inferiore-medio): sabbie fini quarzoso-micacee, con lenti conglomeratiche e stratificazione incrociata evidente. Il colore è prevalentemente rosso e risultano prive di fossili. Il loro spessore varia da pochi decimetri ad una quindicina di metri. Generalmente si rinviene intercalata tra le Sabbie di Monte Marano ed il

Conglomerato di Irsina, ma non forma un livello continuo, essendo spesso eteropica del conglomerato.

- Argille Calcigne q^1_a (Pleistocene inferiore-medio): argille siltose grigie con concrezioni calcaree, spesse al massimo pochi metri. Rappresenta una formazione eteropica delle Sabbie dello Staturo.



Fig. 2 – Carta geologica schematica dell'Appennino meridionale.

In erosione sui depositi del ciclo bradanico si rinvengono una serie di depositi di età variabile dal Pleistocene superiore (?) all'attuale. Tali depositi sono rappresentati da: *Conglomerati, sabbie ed argille di origine lacustre e fluvio-lacustre (l)*; *Alluvioni terrazzate di ambiente fluvio-lacustre (fl)* *Alluvioni terrazzate (f)*, *depositi limno-fluviali (a)* ed *Alluvioni terrazzate attuali (a^2)*. Questi depositi sono attribuiti a fasi di erosione e sedimentazione successive al colmamento del bacino bradanico (depositi post-regressivi *sensu* Lazzari & Pieri, 2002).

A partire dal deposito più antico a quello più recente si descrivono le principali caratteristiche geolitologiche:

- Conglomerati, sabbie ed argille di origine lacustre e fluvio-lacustre (I) (Pleistocene medio): sabbie-argillose con numerosi lenti conglomeratiche intercalate. Presenza di materiali di origine vulcanica quali ceneri, lapilli, scorie, frammenti di lave. Questi depositi sono riferibili ad un antico bacino fluvio-lacustre allungato in direzione NO-SE nella cui depressione attualmente scorre il torrente Basentello.
- Alluvioni terrazzate di ambiente fluvio-lacustre (fI) (Pleistocene superiore): depositi siltoso-argillosi con lenti conglomeratiche ed una, non sempre ben evidente, morfologia terrazzata. Sono riferibili alle fasi di alluvionamento successive alle incisioni delle valli del Bradano e del Basentello.
- Alluvioni terrazzate (f¹, f², f³) (Pleistocene superiore): ciottolame poco cementato, sabbia ed argilla, caratterizzati da una molto ben evidente morfologia terrazzata. Sono ben riconoscibili in tutta l'area bradanica tre ordini principali di terrazzi alluvionali.
- depositi limno-fluviali (a) (Olocene): limi sabbiosi o argillosi a cui si associano terre nere e/o rosse. Si rinvencono sul fondo di alcune depressioni.
- Alluvioni attuali (a²) (Olocene): limi argillosi con sostanza organica diffusa e residui vegetali, di colore marrone giallastro, associati a scheletro ghiaioso; la struttura è assente.

Lo stralcio del Foglio Geologico 188 "Gravina in Puglia" della Carta geologica d'Italia in scala 1:100.000 (Fig. 3), mostra in sintesi la geologia dell'area investigata.



Fig. 3 – Stralcio Foglio Geologico n°188 "Gravina in Puglia" in scala 1:100.000

3.1. Geologia di dettaglio dell'area di progetto

La ricostruzione litostratigrafica è scaturita dal rilevamento geologico di superficie, esteso ad un'area più ampia rispetto a quella strettamente interessata dal progetto.

Le caratteristiche peculiari delle formazioni presenti sono di seguito descritte, dall'alto verso il basso stratigrafico:

- **Depositi alluvionali recenti ed attuali.** Unità costituita prevalentemente da sedimenti ciottoloso-sabbiosi e posti a ridosso del letto dell'attuale alveo dei corsi d'acqua.
- **Conglomerati, sabbie ed argille di origine lacustre e fluvio-lacustre.** Unità costituita da sabbie e argille con numerose lenti conglomeratiche intercalate. Le lenti conglomeratiche sono costituite da elementi poligenici, eterometrici, di natura calcarea, marnosa, arenacea e silicea e di natura vulcanica. Presentano una tessitura clasto-sostenuta, con matrice sabbioso-limosa ed argilloso-limosa di colore grigio tra i clasti, e una stratificazione suborizzontale. Possono essere presenti grosse lenti sabbiose e/o argillose. Costituiscono una formazione post-regressiva che giace in discordanza sulla formazione delle argille subappennine, e sono la testimonianza dell'esistenza di un antico bacino fluvio-lacustre, che si sviluppava in direzione NO/SE da Venosa verso Gravina durante il Pleistocene medio.
- **Conglomerato di Irsina.** Unità costituita da elementi poligenici, eterometrici, di natura calcarea, marnosa, arenacea e silicea ed a luoghi di natura granitica. Presenta una tessitura clasto-sostenuta, con matrice sabbiosa grossolana tra i clasti e cemento carbonatico. Quest'ultimo conferisce al deposito un grado di cementazione medio-alto. La stratificazione è da suborizzontale ad incrociata concava. Possono essere presenti grosse lenti sabbiose e/o argillose.
- **Sabbie di Monte Marano.** Unità costituita prevalentemente da sabbie a granulometria da medio-grossolane a fini e/o finissime, composizione calcareo-quarzosa e colorazione giallo-ocra. All'interno si rinvengono livelli, strati e/o banchi da centimetrici a metrici di arenarie cementate. Sono altresì presenti intercalazioni di strati limoso-argillosi, grigiastri, a luoghi dello spessore metrico. Gli strati sabbiosi presentano una stratificazione da piano-parallela ad obliqua a basso angolo (stratificazione gibbosa), a luoghi sono bioturbate tanto da risultare massive; gli strati limoso-argillosi presentano strutture sedimentarie tipo *ripples* da onda e/o rampicanti. A varie altezze stratigrafiche si rinvengono lenti e/o corpi ghiaioso-conglomeratici di spessore variabile fino alla decina di metri. I clasti che li costituiscono sono principalmente poligenici, eterometrici, di natura calcarea, marnosa, arenacea e silicea ed a luoghi di natura granitica. Tali corpi presentano tessitura clasto-sostenuta, con molta matrice sabbiosa grossolana tra i clasti e cemento carbonatico.
- **argille subappennine.** Unità argilloso-limosa, di colore grigio-azzurro, con intercalazioni di strati sabbiosi fini. Costituisce una successione monotona con stratificazione indistinta, a luoghi, messa in evidenza dalla presenza di strati limosi di colore giallo chiaro. Lo spessore, nell'area rilevata, è di circa 25-30 m.

La **Carta Geologica** mostra la sintesi del rilevamento geologico effettuato nell'area di studio (ALLEGATO 1).

4. CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE, IDROGEOLOGICHE ED IDROLOGICHE

4.1 Caratteristiche morfologiche del sito di progetto

L'area di interesse si colloca nel contesto morfologico-strutturale della Fossa bradanica che è un'area in gran parte occupata da terreni argillosi e sabbioso-conglomeratici che costituiscono un paesaggio dalla morfologia collinare caratterizzato da rilievi e versanti di tipo tabulare a sommità pianeggiante. Tali depositi sono incisi da un importante corso d'acqua, il fiume Bradano, e da una serie di affluenti ed una rete idrografica secondaria normalmente attiva solo nella stagione piovosa.

L'area di progetto, dal punto di vista morfologico, è ubicata prevalentemente su una superficie suborizzontale, terrazzata, che si sviluppa tra le quote di 460 m e 425 m s.l.m.. Due aree di impianto sono ubicate su una superficie a maggiore inclinazione che però non supera i 10°.

L'assetto geomorfologico è riconducibile a due fattori fondamentali:

- la presenza di formazioni omogenee costituite prevalentemente da ghiaie sabbie ed argille più o meno limose;
- l'erosione subita da dette formazioni nelle fasi successive alla regressione marina conseguente a loro volta ai massimi sollevamenti subiti dall'area.

I rilievi, presentano, pertanto, caratteristiche geomorfologiche dovute a processi di erosione differenziata. Quest'ultima risulta, infatti, più o meno accentuata a seconda che i versanti siano costituiti da ghiaie e sabbie ed argille. In particolare, nelle aree di affioramento dei materiali argillosi e argilloso-limosi, dotate di un basso grado di coesione, i dissesti e le frane sono piuttosto diffusi, e causano la presenza di contropendenze lungo i versanti. Nelle ghiaie più competenti, l'instabilità è quasi sempre dovuta a fenomeni di crollo. In particolare, le sommità pianeggianti delle dorsali, costituite in prevalenza da sedimenti ghiaiosi, sono a luoghi delimitate da gradini, cui seguono verso il basso, in corrispondenza degli affioramenti argillosi, tratti meno inclinati.

Le caratteristiche topografiche dell'area di interesse fanno rientrare il sito nella **categoria topografica T1** (pendenza inferiori a 15°, ai sensi del D.M. 14/01/2008), come si evince dalla Sezione Geologica riportata nell'ALLEGATO 1 – Cartografia tematica.

4.2 Idrografia ed Idrogeologia

Il Fiume Bradano è il corso d'acqua più importante dell'area. Esso scorre da NO verso SE, con andamento meandriforme, su un fondo valle nel quale si distingue una piana alluvionale incisa e terrazzata soggetta a periodiche esondazioni. Localmente, si distinguono fino a tre ordini di terrazzi fluviali.

Il bacino idrografico del fiume Bradano nell'area di studio consta di diversi affluenti e fossi minori. I principali affluenti sono il Torrente Basentello in sponda sinistra e la Fiumara di Tolve in sponda destra.

Il sito di progetto è ubicato in sinistra del torrente *Basentello*. Il Basentello è un corso d'acqua che insieme alla Fiumara di Venosa a nord solcano e percorrono, in direzione opposta, la depressione valliva nota come bacino fluvio-lacustre di Venosa e del T. Basentello. Tale bacino dalla complessa storia morfotettonica, si sviluppa da NO verso SE su una lunghezza di circa 60 Km, ai confini della Puglia con la Basilicata. I limiti morfologici sono ben definiti: il tratto nord-occidentale, attualmente aperto a N nella valle del F. Ofanto, è limitato dalle pendici orientali del M. Vulture; i bordi sud-occidentali e nord-orientali corrispondono agli allineamenti collinari di Venosa, Palazzo S. Gervasio ed Irsina da un lato e di Lavello, Spinazzola, Poggiorsini e Gravina in Puglia dall'altro; il tratto sud-orientale è aperto nella valle del F. Bradano.

Il Basentello è un corso d'acqua a carattere torrentizio: nei periodi di piena assume portate rilevanti con intumescenze a rapidissimo decorso che danno luogo a frequenti esondazioni; nei periodi estivi rimane pressochè asciutto con portate molto basse dell'ordine di pochi litri al secondo. Numerosi fossi minori senza denominazione, confluiscono sia in sinistra sia in destra orografica dello Basentello.

Nell'area di progetto, inoltre, si rinvengono deboli ondulazioni topografiche, che definiscono una serie di avvallamenti e depressioni, a testimonianza di antichi assi di deflusso associati alla rete idrografica che anticamente interessava quest'area. Pur non essendo più connesse con i processi associati alla dinamica fluviale del Torrente Basentello, in quanto aree ormai sollevate, ed estranee ai fenomeni di alluvionamento, queste microforme relitte hanno assunto, storicamente, una funzione agraria, in quanto lungo le stesse si è impostata, nel corso dei secoli, la rete irrigua a scala locale.

Dal punto di vista della circolazione idrica sotterranea l'area di studio ricade nel dominio strutturale della Fossa bradanica, dominato dalla presenza di un potente substrato impermeabile costituito dalla formazione delle argille subappennine, a cui si sovrappongono localmente terreni marini e alluvionali permeabili per porosità.

Tale situazione stratigrafica associata alla scarsa fratturazione delle rocce e a contatti stratigrafici suborizzontali determina l'esistenza di due importanti tipi di acquiferi. Il primo acquifero è presente nei depositi sabbiosi e conglomeratici riferibili principalmente alle formazioni delle Sabbie di Monte Marano e del Conglomerato di Irsina rispettivamente, caratterizzato da permeabilità medio-bassa ed affioranti in corrispondenza dei principali rilievi collinari. Dalla letteratura i depositi sabbiosi e conglomeratici sono caratterizzati da un valore

di K (coefficiente di permeabilità) compreso tra $1 \cdot 10^{-1}$ e $1 \cdot 10^{-4}$ cm/sec. Aumenti del valore di permeabilità si possono avere nei conglomerati in presenza di fratturazioni.

Il secondo acquifero si identifica con quelli presenti nei depositi alluvionali del Pleistocene superiore-Olocene, caratterizzati da una buona permeabilità per porosità. Tali acquiferi sono in genere monostrato, a superficie libera, di spessore, estensione ed importanza variabile in funzione della geometria e della granulometria del deposito; anche in questo caso, le risorse idriche disponibili restano limitate, sia per lo scarso spessore del materasso alluvionale, che in genere non supera i 10 metri, sia per le scarse precipitazioni meteoriche.

Il sito di progetto si sviluppa completamente nell'ambito del primo acquifero.

Dal punto di vista idrogeologico, i depositi prevalentemente ghiaioso che costituiscono il sottosuolo dell'area di progetto, presentano una permeabilità per porosità primaria variabile da medio-alta ad alta. I rilievi effettuati permettono di affermare che i depositi in oggetto sono riferibili a sistemi alluvionali e la loro capacità di costituire o meno dei buoni acquiferi dipende da come sono distribuite le litofacies all'interno del sistema deposizionale studiato.

I depositi grossolani (ghiaioso-conglomeratici e sabbiosi) costituiscono generalmente un acquifero dotato di una discreta produttività idrica, di tipo freatico, nella zona posta al centro della valle alluvionale, e/o semiconfinato o confinato nelle zone distali, dove è maggiore lo spessore della copertura poco permeabile argilloso-limosa. Nell'area di progetto, considerato lo spessore dei depositi grossolani, ipotizziamo essere nelle aree centrali di un'antica piana alluvionale. Questo porta a dire che tali terreni possono essere sedi di falde acquifere come dimostrato anche dalla presenza di diversi pozzi e/o sorgenti nell'intorno.

4.3. Compatibilità Idrogeologica in conformità al P.A.I.

L'area in esame, come riportato nell'ALLEGATO 1 "*Carta del Rischio*" del Piano Stralcio delle Aree di Versante del Comune di Spinazzola dell'Autorità di Bacino della Basilicata e come riportato nella "*Carta del Rischio frane*", ricade, in zone in cui non sono state cartografate frane rischi idrogeologici sia relativamente al rischio frane sia al rischio alluvioni (Fig. 4).

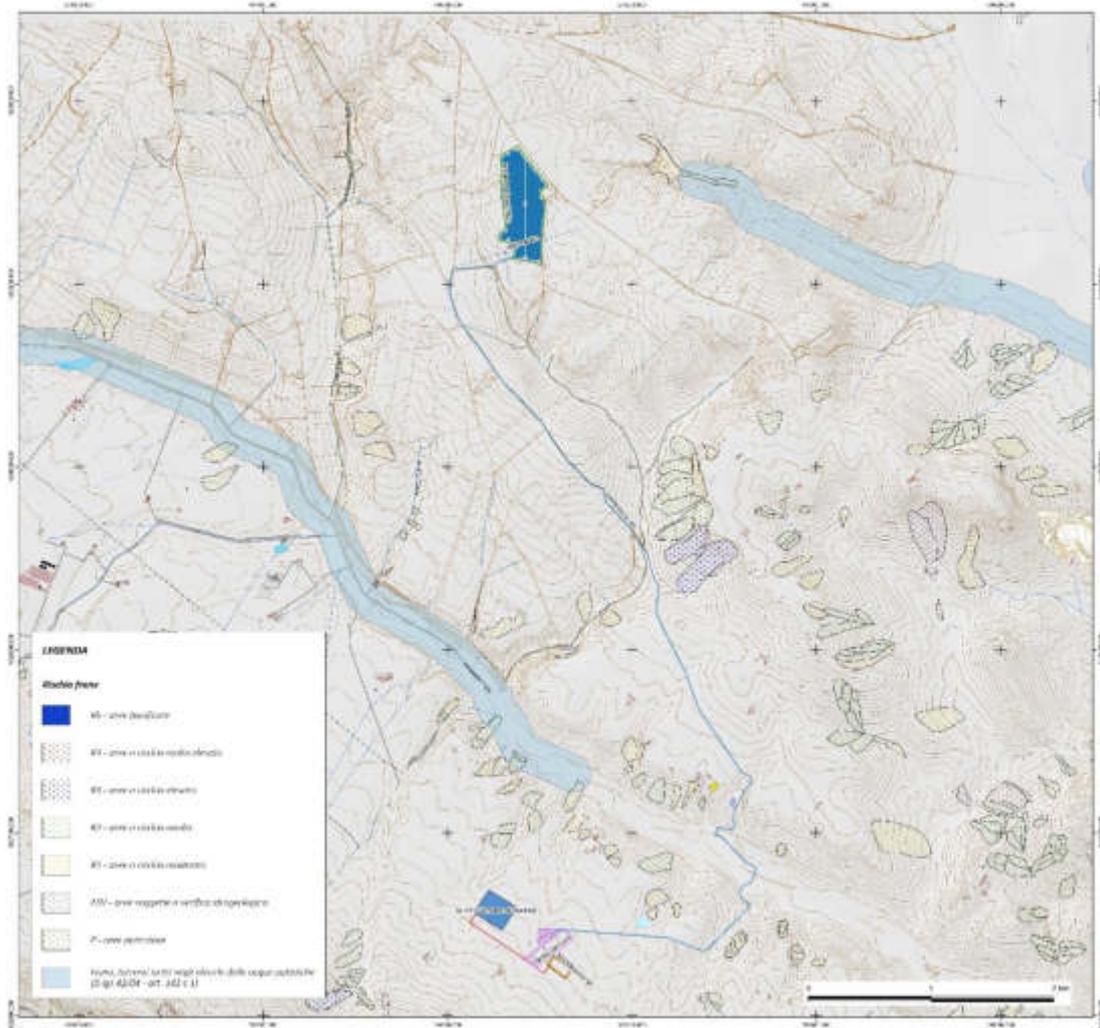


Fig. 4 – Carta del Rischio Idrogeologico dell’AdB di Basilicata

5. INDAGINI GEOGNOSTICHE

Per la ricostruzione della successione stratigrafica dei terreni oggetto di intervento e la determinazione dei parametri geotecnici ci si è serviti di dati di letteratura e di dati provenienti da indagini eseguite dalla scrivente in aree caratterizzate dall'affioramento di terreni dalle medesime caratteristiche litotecniche. In particolare, sono state utilizzate le indagini MASW per la determinazione delle velocità V_s nei primi 30 m di profondità.

5.1.1. Indagini sismiche per la stima del V_{s30} - MASW

Le prove MASW sono molto utili per ricavare il parametro V_{s30} richiesto dalla nuova normativa sismica (O.P.C.M. 3274), in maniera semplice ed economica ma decisamente affidabile. 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 , nei primi 30 metri di profondità, basandosi sulla misura delle onde superficiali fatta in corrispondenza di diversi sensori (accelerometri o geofoni) posti sulla superficie del suolo.

In un'area intorno a quella di progetto è stata effettuata un'indagine sismica di tipo MASW. Per le misure è stato utilizzato un sistema costituito da un sismografo GEA24 della PASI a 24 canali ed un set di 24 geofoni a 4,5 Hz. I geofoni sono stati disposti lungo uno stendimento lineare con una distanza intergeofonica di 2 m ed hanno consentito di ottenere uno stendimento sismico con lunghezza di 48 m (Fig. 5). Quattro energizzazioni sono state fatte a 2 metri dal primo e dall'ultimo geofono.

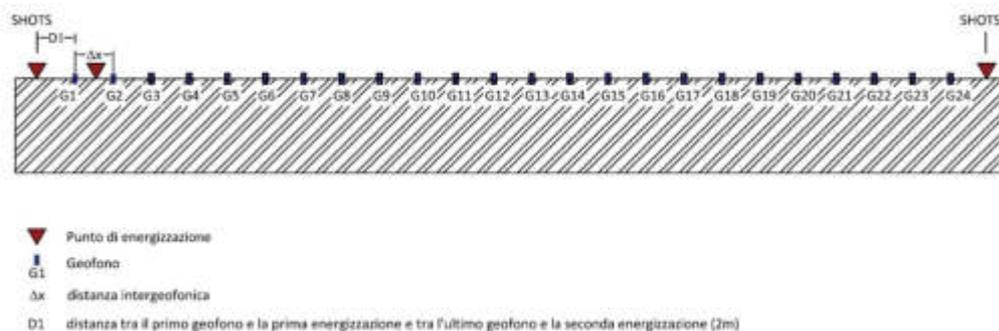


Fig. 5 – Disposizione geometrica dello stendimento di sismica MASW.

5.1.2. Interpretazione ed elaborazione

Le tracce acquisite sono state sommate per migliorare il rapporto segnale/rumore (S/N) e il sismogramma derivante da questa procedura è stato successivamente elaborato ed interpretato utilizzando il software WinMASW.

Dall'elaborazione dei dati sono state ricavate per ogni *shot* le densità spettrali nel piano frequenza – velocità di fase. Nelle figure seguenti sono riportate la densità spettrale nel piano frequenza – velocità di fase delle onde superficiali relative allo *shot* posto a – 3 m dal primo geofono. Ottenuti i grafici f/v in 2D per differenti algoritmi, si è proceduto alla selezione dei punti di massima intensità del segnale (*picking*); tale operazione ha consentito di ottenere la curva di dispersione media e la deviazione standard delle diverse curve, dalla cui inversione si è giunti al profilo verticale delle Vs. Il *picking* della curva di dispersione è stato eseguito sullo *shot* posto a – 3 m dal 1° geofono.

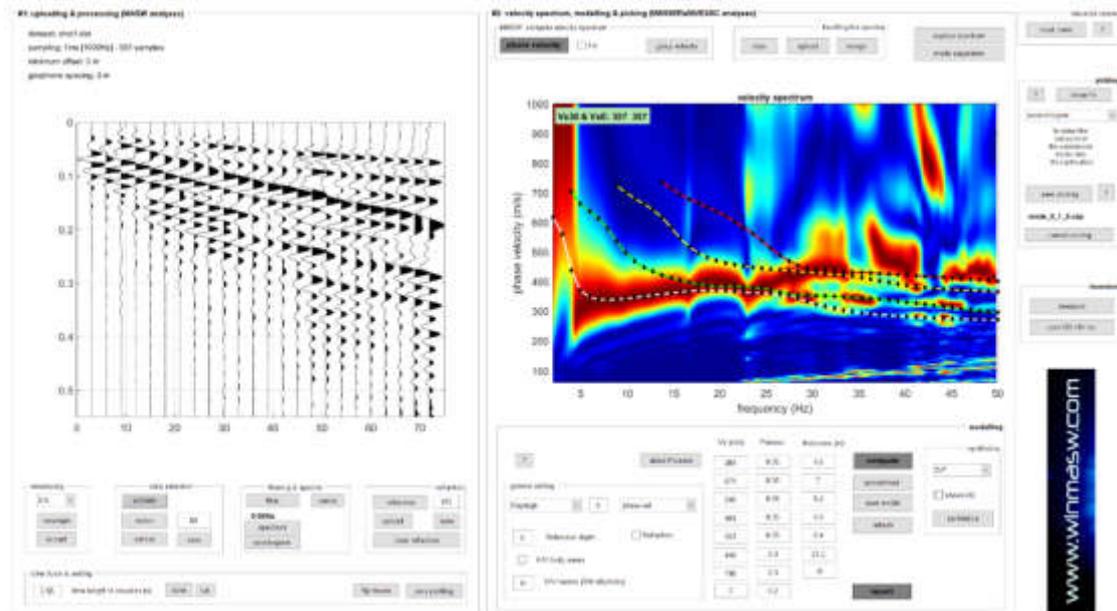


Fig. 6 – Diagramma frequenza – velocità di fase relativi alle due MASW eseguite.

Il processo di inversione della curva di dispersione con il quale sono stati ricercati i modelli geofisici di sottosuolo che meglio approssimano il dato sperimentale è iniziato ipotizzando due strati con variazioni molto ampie dei parametri di rigidezza. Successivamente il modello è stato affinato per ridurre al minimo possibile lo scarto con il dato sperimentale.

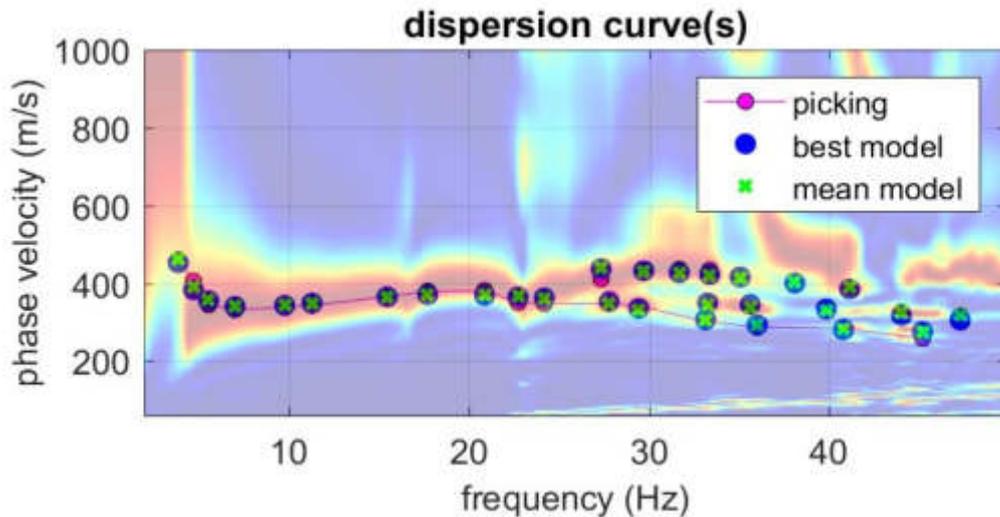


Fig. 7 –Curva di dispersione

I profili del sottosuolo per quanto riguarda il parametro velocità delle onde di taglio (V_s) sono graficati nella figura sottostante; la linea rossa rappresenta il modello di curva medio, in azzurro il modello di curva migliore.

Il profilo verticale delle velocità delle onde di taglio ricavato per lo stendimento MW1 che è quello che meglio approssima le caratteristiche dell'area di progetto è così riassumibile:

- un primo sismostrato caratterizzato da velocità delle onde S pari a 283 m/s e base a profondità 4,5 m dal p.c.;
- un secondo sismostrato caratterizzato da velocità delle onde S intorno al valore di 571 m/s e base a profondità di 11 m dal p.c.;
- un terzo sismostrato caratterizzato da valori di velocità medie delle onde S intorno ai 246 m/s fino ai 16,2 m di profondità.
- aumento graduale con la profondità fino a circa 50 m con V_s che raggiungono i 700 m/s.

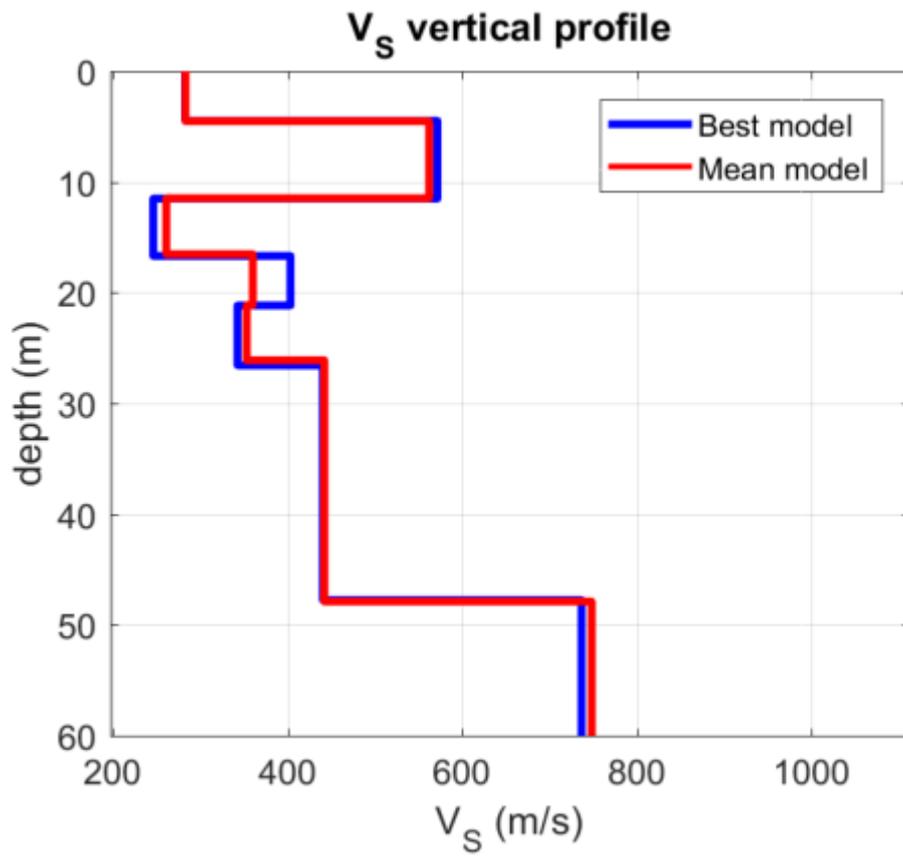


Fig. 8 –Profili di velocità delle onde S nei primi 30 m di profondità - (MW1)

6. MODELLAZIONE SISMICA DELL'AREA

6.1. Normativa sismica di riferimento

La legislazione antisismica italiana prescrive norme tecniche in base alle quali un edificio debba sopportare senza gravi danni i terremoti meno forti e senza crollare i terremoti più forti, salvaguardando prima di tutto le vite umane.

I riferimenti legislativi relativi ai terreni di fondazione nella legislazione sismica vigente sono:

- l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n°3274 del 20/03/2003 "Primi elementi in materia di criteri per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica";
- Decreto Interministeriale del 14/9/2005 "Norme tecniche per le costruzioni";
- D.M. 14/01/2008 "Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni"
- D.M. 17/01/2018 Aggiornamento delle "Norme Tecniche per le costruzioni"

Con l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003 vengono emanati i criteri di nuova classificazione sismica del territorio nazionale, considerato che ante OPCM 3274, il territorio nazionale era classificato in tre categorie sismiche a diversa severità. Tali criteri sono basati sugli studi di pericolosità sismica del territorio nazionale, ossia sull'analisi della probabilità che il territorio venga interessato in un certo intervallo di tempo (generalmente 50 anni) da un evento che superi una determinata soglia di intensità o magnitudo, e prevedono una riclassificazione in quattro zone dell'intero territorio italiano. In virtù di tale provvedimento tutte le Regioni hanno compilato l'elenco dei comuni con la relativa attribuzione ad una delle quattro zone, a pericolosità decrescente, nelle quali è stato riclassificato il territorio nazionale.

Zona 1 - E' la zona più pericolosa. Possono verificarsi fortissimi terremoti
Zona 2 - In questa zona possono verificarsi forti terremoti
Zona 3 - In questa zona possono verificarsi forti terremoti ma rari
Zona 4 - E' la zona meno pericolosa. I terremoti sono rari

Di fatto, sparisce il territorio "non classificato", e viene introdotta la zona 4, nella quale è facoltà delle Regioni prescrivere l'obbligo della progettazione antisismica. A ciascuna zona, inoltre, viene attribuito un valore dell'azione sismica utile per la progettazione, espresso in termini di accelerazione massima su roccia (zona 1=0.35 g, zona 2=0.25 g, zona 3=0.15 g, zona 4=0.05 g).

Inoltre, l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n°3274, recepita dal Decreto Interministeriale del 14/9/2005 "Norme tecniche per le costruzioni", contempla, per la definizione delle azioni sismiche di progetto, cinque categorie principali di terreno di fondazione, individuate dai valori della velocità media (V_{s30}) delle onde di taglio nei primi 30

metri di sottosuolo o dalla resistenza penetrometrica NSPT o dalla coesione non drenata c_u . La classificazione viene effettuata principalmente sulla base del valore di V_{s30} valutato dalla seguente espressione

$$V_{s30} = 30 / \sum(h_i/V_i)$$

con h_i e V_i rispettivamente spessore e velocità dello strato i esimo degli N strati presenti nei primi 30 metri di sottosuolo. In assenza di informazioni sulle velocità delle onde di taglio, potranno essere presi in considerazione i valori di NSPT o di c_u .

Categorie	Descrizione
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di V_{s30} superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{SPT,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento della proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{SPT,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).
E	<i>Terreni di sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m</i> , posti sul substrato di riferimento (con $V_{s30} < 800$ m/s).

Tab. I – Categorie di sottosuolo

In aggiunta a queste categorie se ne definiscono altre due, per le quali sono richiesti studi speciali per la definizione dell'azione sismica da considerare:

Categorie	Descrizione
S1	<i>Depositi costituiti da, o che includono, uno strato spesso almeno 10 m di argille/limi di bassa consistenza, con elevato indice di plasticità ($PI > 40$) e contenuto di acqua, caratterizzati da valori di $V_{s30} < 100$ m/s</i>
S2	<i>Depositi di terreni soggetti a liquefazione, di argille sensitive, o qualsiasi altra categoria di terreno non classificabile nei tipi precedenti.</i>

Tab. II – Categorie di sottosuolo

In seguito è stata emanata la l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3519 del 28 aprile 2006 che ha fornito alle Regioni uno strumento aggiornato per la classificazione del proprio territorio, introducendo degli intervalli di accelerazione (a_g), con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni, da attribuire alle 4 zone sismiche. Tale valore di pericolosità di base non ha però influenza sulla progettazione.

Zona sismica	Accelerazione con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni (ag)
1	ag > 0.25
2	0.15 < ag ≤ 0.25
3	0.05 < ag ≤ 0.15
4	ag ≤ 0.05

L'entrata in vigore delle Norme Tecniche per le Costruzioni (Decreto Ministeriale del 14 Gennaio 2008), invece, ha modificato il ruolo che la classificazione sismica aveva ai fini progettuali: per ciascuna zona – e quindi territorio comunale – precedentemente veniva fornito un valore di accelerazione di picco e quindi di spettro di risposta elastico da utilizzare per il calcolo delle azioni sismiche. Dal 1 luglio 2009 per ogni costruzione ci si deve riferire ad una accelerazione di riferimento “propria” individuata sulla base delle coordinate geografiche dell'area di progetto ed in funzione della vita nominale dell'opera. Un valore di pericolosità di base, dunque, definito per ogni punto del territorio nazionale, su una maglia quadrata di 5 km di lato, indipendentemente dai confini amministrativi comunali.

Attualmente, il Decreto Ministeriale del 17/01/2018 - Aggiornamento delle “Norme Tecniche per le costruzioni”, che sostituiscono le NTC 2008, introduce, limitatamente all'approccio semplificato per la definizione della categoria di sottosuolo, la cosiddetta velocità 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. Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell'opera. Per muri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano di imposta della fondazione.

Per depositi con profondità H del substrato 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. III.

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

Tab. III – Categorie di sottosuolo ai sensi del DM 17/01/2018

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:

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i \geq 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i \geq 30^\circ$

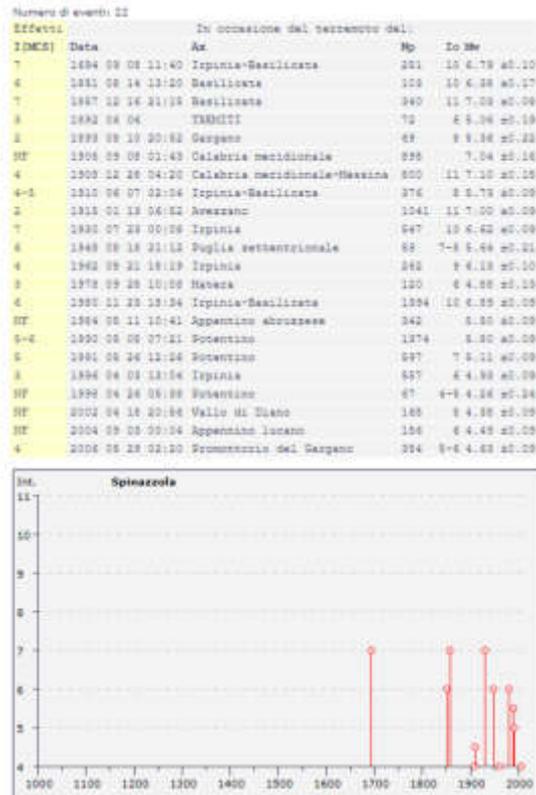
Le susposte categorie topografiche si riferiscono a configurazioni geometriche prevalentemente bidimensionali, creste o dorsali allungate, e devono essere considerate nella definizione dell'azione sismica se di altezza maggiore di 30 m.

6.2. Caratterizzazione sismica dell'area

Dal punto di vista della sismicità l'area dell'Appennino meridionale presenta una storia sismica tra le più importanti d'Italia, sia in termini di intensità che di frequenza dei terremoti. Le zone maggiormente interessate da eventi sismici sono quelle ubicate prevalentemente in corrispondenza del fronte della catena appenninica. In un raggio inferiore 45Km da Spinazzola ricadono diverse zone sismogenetiche: in particolare vi ricade la zona 927 (Sannio-Irpinia-Basilicata) che rappresenta l'area caratterizzata dal massimo rilascio di energia legata alla distensione generalizzata che, a partire da circa 0,7 Ma, ha interessato l'Appennino

meridionale; a meno di 25 Km vi ricade la zona 926 (Basento) mentre a ridosso si ritrova la zona 925 (Ofanto); queste ultime due sono dotate di cinematica trascorrente destra ed orientazione generale circa E-W.

A completamento di questo paragrafo in tabella IV si riportano i risultati di uno studio eseguito su tutto il territorio nazionale, che considera la ricorrenza dei forti terremoti dall'anno 1000 al 2000 (Fonte INGV DBMI11). Per una completa comprensione della tabella si consideri che la colonna "effetti" riporta, in termini di intensità (I_s), quanto forte è stato avvertito il terremoto a Spinazzola e nell'immediato circondario, mentre la colonna *in occasione del terremoto di:* riporta, oltre al toponimo dell'area epicentrale, quanto "forte" è stato il terremoto sia in termini di intensità sia di magnitudo. Da un'analisi dei dati si evince che l'attività maggiormente risentita è legata in prevalenza alla sismicità dell'Appennino Meridionale: i terremoti che hanno causato gli effetti più rilevanti sono quelli del 1694, 1851, 1857, 1892, 1893, 1908, 1910, 1915, 1930, 1948, 1962, 1978, 1991, 1996, 1998, 2002, 2004 e 2006.



Tab IV - Tabella delle Osservazioni sismiche disponibili per l'area di Spinazzola

6.3. Pericolosità sismica di base

L'azione sismica sulle costruzioni è generata dal moto non uniforme del terreno di sedime per effetto della propagazione delle onde sismiche. Il moto sismico eccita la struttura provocandone la risposta elastica che va riferita e controllata negli aspetti di sicurezza e di prestazioni attese.

Le azioni sismiche di progetto si definiscono in base alla pericolosità sismica del sito di costruzione che a sua volta è definita, ai sensi delle NTC, in termini di accelerazione orizzontale massima a_g in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale di categoria A, nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente $S_e(T)$, con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza P_{VR} nel periodo di riferimento V_R .

La stima dei parametri spettrali necessarie per la definizione dell'azione sismica di progetto viene effettuata direttamente per il sito in esame, sulla base delle informazioni disponibili nel reticolo di riferimento riportato nella tabella 1 dell'allegato B del D.M. 14 Gennaio 2008. I tre parametri spettrali sono:

- a_g = accelerazione orizzontale massima del terreno;
- 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.

Per ciascuno dei nodi del reticolato sono forniti i tre parametri spettrali.

Per un punto del territorio non ricadente nei nodi del reticolo di riferimento, i valori dei parametri p (a_g , F_0 , T^*c) di interesse per la definizione dell'azione sismica di progetto possono essere calcolati come media pesata dei valori assunti da tali parametri nei quattro vertici della maglia elementare del reticolo di riferimento contenete il punto in esame, attraverso la seguente espressione:

$$p = \frac{\sum_{i=1}^4 \frac{p_i}{d_i}}{\sum_{i=1}^4 \frac{1}{d_i}}$$

dove:

- p è il parametro di interesse nel punto in esame;
- p_i è il valore del parametro di interesse nell' i -esimo punto della maglia elementare contenente il punto in esame;
- d_i è la distanza del punto in esame dall' i -esimo punto della maglia suddetta.

Se il tempo di ritorno considerato non coincide con nessuno dei 9 tempi di ritorno forniti in Tabella 1, il valore del generico parametro $p(a_g; F_0; T^*c)$ ad esso corrispondente potrà essere

ricavato per interpolazione (tra i valori dei parametri corrispondenti ai due tempi di ritorno che comprendono quello di calcolo) con la formula seguente:

$$\log(p) = \log(p_1) + \log\left(\frac{p_2}{p_1}\right) \times \log\left(\frac{T_R}{T_{R1}}\right) \times \left[\log\left(\frac{T_{R2}}{T_{R1}}\right)\right]^{-1}$$

Dove:

- p è il valore del parametro di interesse corrispondente al periodo di ritorno T_R considerato
- T_{R1} e T_{R2} sono i valori del tempo di ritorno più prossimi a T_R per i quali si dispone dei valori di p_1 e p_2

Ubicazione dell'opera di progetto (Coord. ED50)	Latitudine	Longitudine
Spinazzola Località Mass. Savinetta	40,937446	16,124641

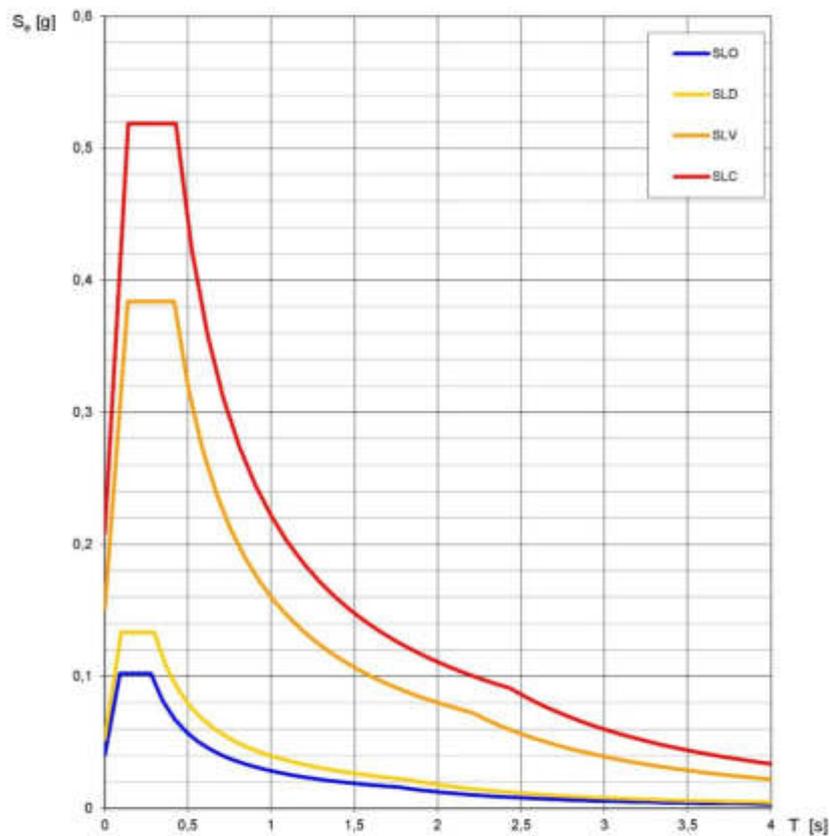
Da progetto				
Classe dell'edificio	II			
Vita nominale	50			
Periodo di riferimento per l'azione sismica:	50			
Caratteristiche sismiche				
Stato Limite	Tr [anni]	a_g [g]	Fo	Tc* [s]
Operatività (SLO)	30	0,040	2,548	0,277
Danno (SLD)	50	0,052	2,571	0,297
Salvaguardia vita (SLV)	475	0,151	2,540	0,417
Prevenzione collasso (SLC)	975	0,208	2,490	0,427

Coefficienti sismici

Stato Limite	Ss	Cc	St	kh	kv	Amax	Beta
Operatività (SLO)	1,50	1,60	1,00	0,011	0,005	0,590	0,180
Danno (SLD)	1,50	1,57	1,00	0,014	0,007	0,761	0,180
Salvaguardia vita (SLV)	1,47	1,40	1,00	0,053	0,027	2,179	0,240
Prevenzione collasso (SLC)	1,39	1,39	1,00	0,090	0,045	2,839	0,310

Otteniamo così 4 spettri di risposta validi per roccia affiorante e superficie topografica pianeggiante, che costituiscono nell'insieme la cosiddetta risposta sismica di base, ossia relativa ad un sito con roccia affiorante e con superficie topografica orizzontale (il segnale sismico è privo di amplificazioni) (Fig. 9). Abbiamo individuato la pericolosità sismica di base. A questo punto la risposta sismica di base va ulteriormente sviluppata considerando l'amplificazione sismica in funzione delle condizioni litostratigrafiche e topografiche. L'effetto di amplificazione delle onde sismiche dovuto alla successione stratigrafica e alla presenza di alture viene applicato tramite opportuni coefficienti, che variano la risposta sismica in intensità e frequenza (periodo). Nella normativa europea ed italiana esistono 5 principali categorie di sottosuolo A, B, C, D, E. la categoria A coincide con la risposta sismica di base, in mancanza di amplificazione topografica.

Elaborazioni effettuate con "Spettri-NTCver. 1.0.3.xls"

Spettri di risposta elastici per i diversi Stati Limite

La verifica dell' idoneità del programma, l' utilizzo dei risultati da esso ottenuti sono onere e responsabilità esclusiva dell' utente. L' ANIDIS non potrà essere ritenuta responsabile dei danni risultanti dall' utilizzo dello stesso.

Fig. 9 - Spettri di risposta elastici corrispondenti ai parametri sopra indicati.

6.4. Caratterizzazione dinamica

La normativa prevede la caratterizzazione geofisica e geotecnica del profilo stratigrafico del suolo definendo cinque tipologie di suoli da individuare in relazione ai parametri di velocità delle onde di taglio mediate sui primi 30 m di terreno (V_{s30}).

Per la determinazione delle V_s sono state utilizzate indagini sismiche di tipo MASW eseguite dalla scrivente in aree affioranti in contesti geologici simili.

Il modello del terreno ricavato dal processo di elaborazione dello stendimento sismico di tipo MASW MW1 evidenzia una velocità delle onde S variabile da 280 a 700 m/s. Il profilo di Vs riprende ad aumentare fino a velocità di circa 450 m/s (Fig. 10).

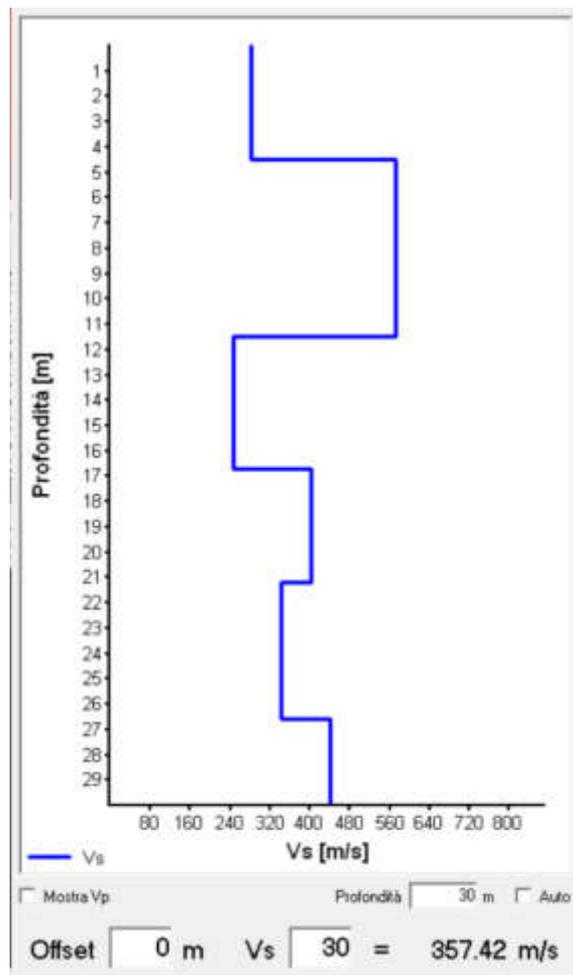


Fig. 10 - Profilo delle velocità delle onde di tipo S nei primi 30 m di profondità.

La velocità delle onde S considerate la tipologia di terreni affioranti nell'area di progetto permette di classificare il suolo di fondazione come **tipo 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 di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.**].

7. RISPOSTA SISMICA LOCALE

I caratteri del moto sismico, in un determinato sito, dipendono sostanzialmente da tre fattori: il meccanismo focale del terremoto, la trasmissione delle onde dall'epicentro al sito con relative trasformazioni ed attenuazioni, la trasmissione del segnale sismico da una formazione rocciosa di base (*bedrock*) alla superficie attraverso le stratificazioni di terreni sciolti che ricoprono il *bedrock*.

Schematizzando il problema, la risposta sismica locale si riferisce alle caratteristiche del moto sismico in fase di affioramento in superficie, modificato in relazione alle proprietà geotecniche dei terreni attraversati e delle condizioni morfologiche del sito.

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

Le norme NTC2008 al Paragrafo 3.2.2 recitano: " Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, si rende necessario valutare l'effetto della risposta sismica locale mediante specifiche analisi In assenza di tali analisi, per la valutazione dell'azione sismica si può fare riferimento ad un approccio semplificato, che si basa sull'individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento".

APPROCCIO SEMPLIFICATO

Amplificazione stratigrafica

L'influenza del profilo stratigrafico sulla risposta sismica locale può essere valutata in prima approssimazione con riferimento alle categorie di sottosuolo. Il moto sismico alla superficie di un sito, associato a ciascuna categoria di sottosuolo, è definito mediante l'accelerazione massima (a_{max}) attesa in superficie ed una forma spettrale ancorata ad essa. Il valore di a_{max} può essere ricavato dalla relazione:

$$a_{max} = S_s \cdot a_g$$

dove a_g è l'accelerazione massima su sito di riferimento rigido ed S_s è il coefficiente di amplificazione stratigrafica.

Amplificazione topografica

Per la progettazione o la verifica di opere e sistemi geotecnici realizzati su versanti e per l'analisi delle condizioni di stabilità dei pendii, la valutazione dell'amplificazione topografica può essere effettuata mediante analisi di risposta sismica locale o utilizzando il coefficiente di amplificazione topografica S_T .

Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica S_T

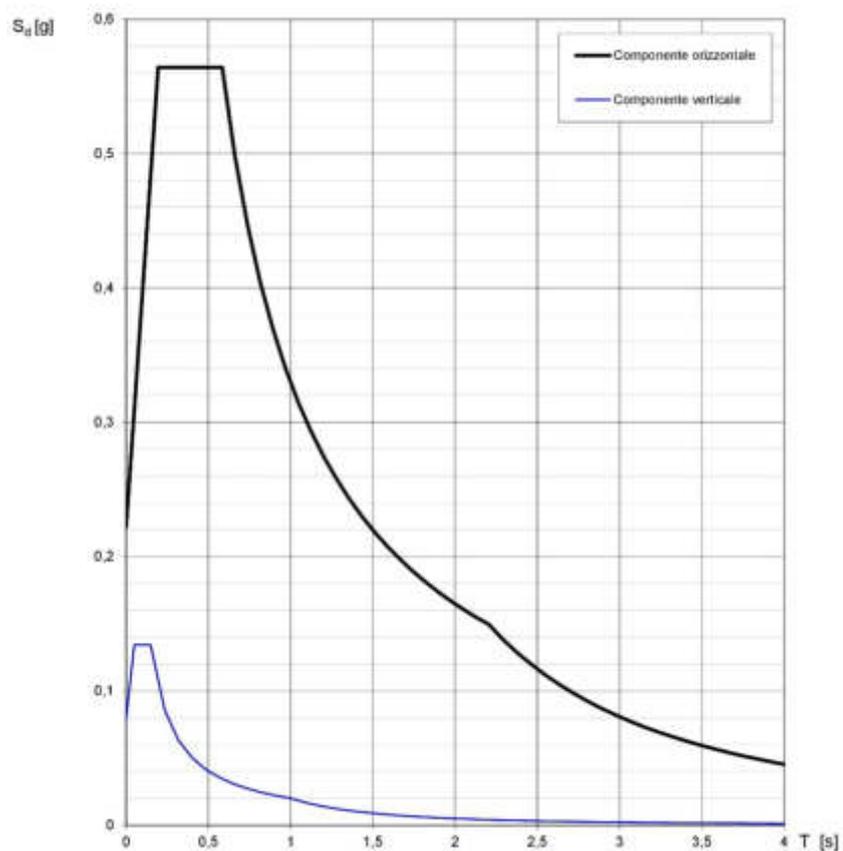
Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	S_T
T1	-	1,0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,2
T4	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,4

Il parametro S_T deve essere applicato nel caso di configurazioni geometriche prevalentemente bidimensionali, creste o dorsali allungate, di altezza superiore a 30 m. Gli effetti topografici possono essere trascurati per pendii con inclinazione media inferiore a 15°.

Nell'area di progetto, nello stato limite per la salvaguardia (SLV), vengono riconosciute le caratteristiche evidenziate di seguito.

Caratteristiche stratigrafiche e topografiche del sito	
Categoria di suolo	C
Condizioni topografiche	T₁
Amplificazione stratigrafica (S_s) per terreni di categoria C	1,50
Amplificazione topografica (S_t)	1,0

Elaborazioni effettuate con "Spettri-NTCver. 1.0.3.xls"

Spettri di risposta (componenti orizz. e vert.) per lo stato limite: SLV

La verifica dell'idoneità del programma, l'utilizzo dei risultati da esso ottenuti sono onere e responsabilità esclusiva dell'utente. L'ANIDIS non potrà essere ritenuta responsabile dei danni risultanti dall'utilizzo dello stesso.

8. MODELLO GEOLOGICO E GEOTECNICO

8.1. Stratigrafia

In base ai rilievi effettuati ed alle informazioni ricavate dalla bibliografia e da studi condotti dalla scrivente in aree contermini si indicano nel seguito alcune considerazioni di carattere generale sulla stratigrafia del sito.

Per conoscere con precisione il modello geologico dell'area interessata dalla fondazione sarà necessario in sede esecutiva procedere ad effettuare indagini geognostiche dirette o indirette. Allo stato attuale di conoscenza si può ipotizzare una stratigrafia del sito in esame come segue:

- **argilla** moderatamente consistente, spessa da 0,9 m a 1,20 m (coltre vegetale di alterazione superficiale di colore marrone-nerastro);
- **limo con elementi lapidei**, moderatamente addensato, spesso da 0,20 m a 0,50 m;
- **ghiaia** addensata, spessa circa 0,10 m.

Il quadro stratigrafico non è ancora perfettamente chiaro, ma non si rilevano in questa fase particolari problematiche legate al rapporto terreno-fondazioni. Le caratteristiche litologiche sono state desunte dalla consultazione di stratigrafia derivanti da prove penetrometriche condotte dalla scrivente in un'area adiacente e dalle medesime caratteristiche litotecniche (Figg 11, 12).

Integrando i risultati delle prove penetrometriche consultate con i rilievi di terreno si ottiene un modello geologico-tecnico dell'area di progetto che prevede una copertura superficiale di spessore variabile fino a circa 1,00 m che passa verso il basso dapprima a limo con elementi lapidei sparsi e poi a ghiaia sciolta fino alla profondità di 1,50 m. Si tratta quindi di una coltre di alterazione superficiale, di colore nerastro e costituita prevalentemente da argilla con ciottoli sparsi, poggiate su depositi ghiaiosi in matrice limosa prevalentemente che verso il basso passa ai depositi ghiaioso e ghiaioso/conglomeratici riferibili alla formazione del Conglomerato di Irsina. Quest'ultimi, dai rilievi effettuati nell'area raggiungo uno spessore di circa 10 m. Questi poggiano su depositi sabbiosi e sabbioso-arenacei spessi fino a 50 m riferibili alla formazione delle Sabbie di Monte Marano che poggiano a loro volta sui depositi limo-argillosi con intercalazioni sabbiose riferibili alla formazione delle argille subappennine.

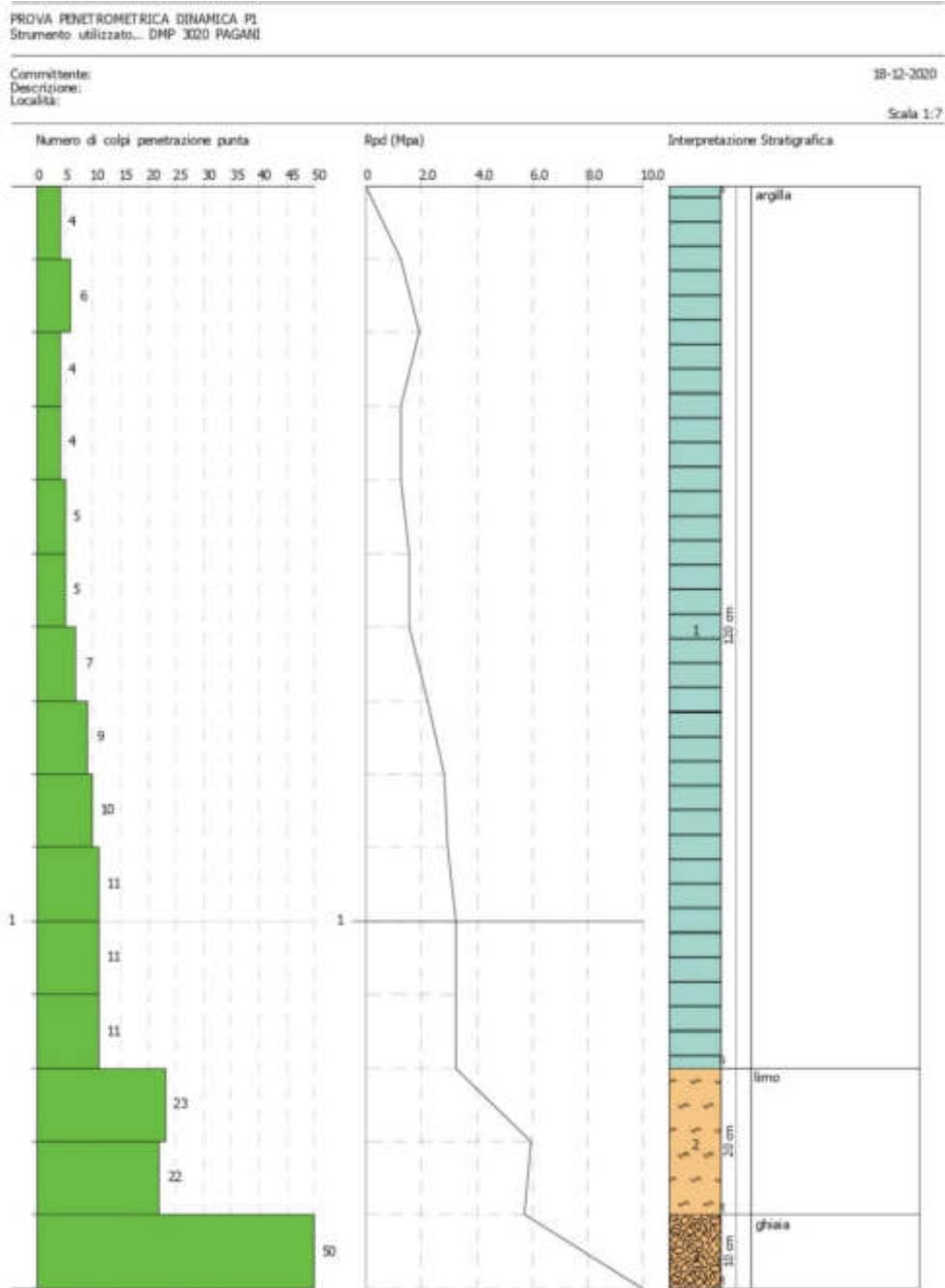


Fig. 11 – Elaborazione prova penetrometrica P1 consultata

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA P2
Strumento utilizzato... DMP 3020 PAGANI

Committente:
Descrizione:
Località:

18-12-2020

Scala 1:7

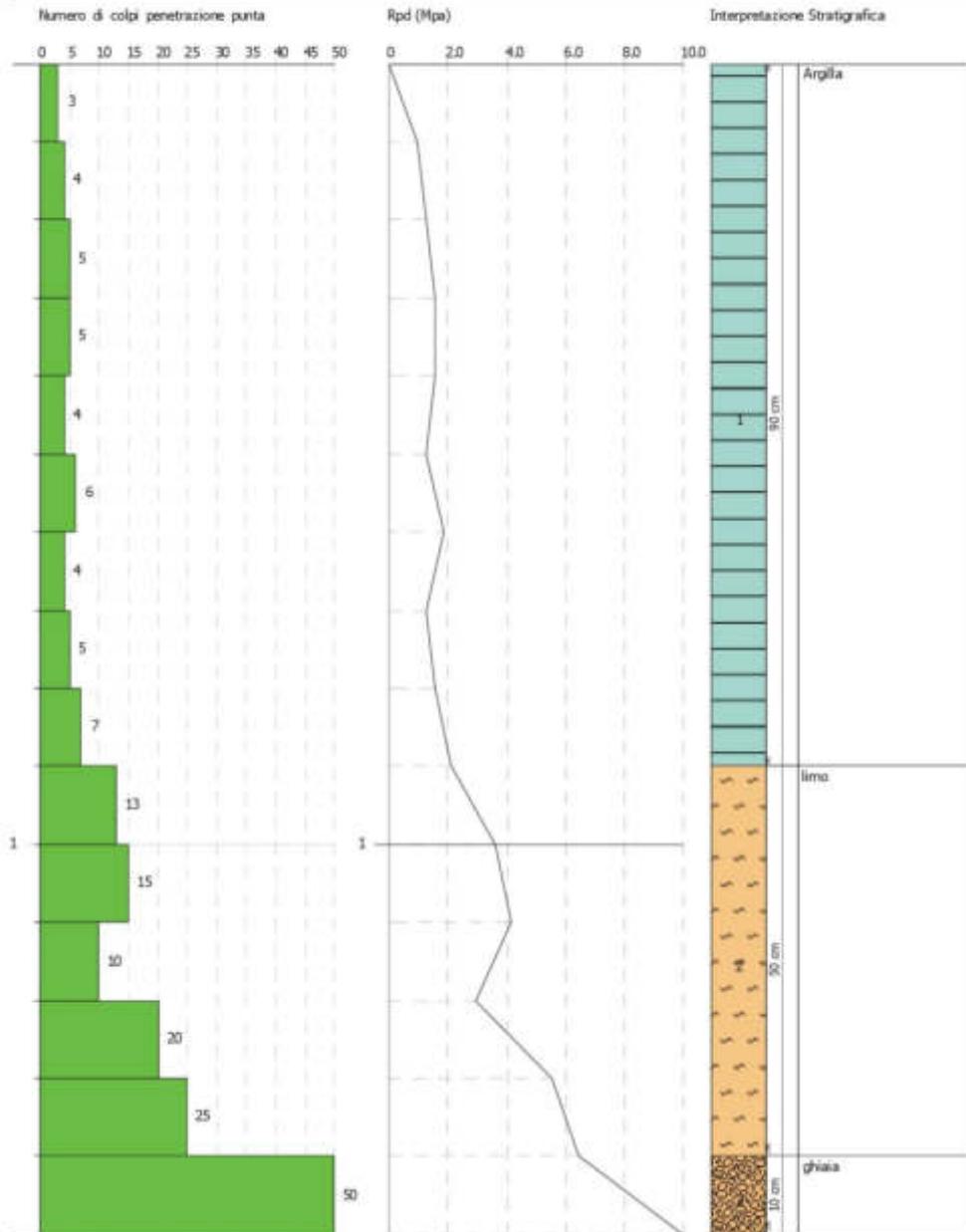


Fig. 12 – Elaborazione prova penetrometrica P2 consultata

8.2. Caratterizzazione geotecnica

Le caratteristiche geologiche e geotecniche specifiche per i terreni di fondazione del campo fotovoltaico sono state – in questa fase progettuale – desunte da indagini geognostiche NON esaustive per l'opera da realizzare.

Nella fase ESECUTIVA del progetto dovranno essere necessariamente previste specifiche indagini geognostiche.

La caratterizzazione dal punto di vista geotecnico dei terreni dell'area di indagine è stata effettuata, attraverso i parametri ottenuti dalle prove penetrometriche dinamiche continue consultate. In tabella, riassumendo i dati ottenuti dalle indagini consultate si è ritenuto di considerare i seguenti valori rappresentativi dei terreni investigati.

	<i>Litotipo</i>	Potenza	Peso di volume (γ)	Coesione non drenata (c_u)	Coesione drenata (c')	Angolo di attrito (ϕ)
A	Argilla (terreno eluvio-colluviale)	~ 0,90 m	16,67 KN/m ³	19,61 KPa	-	-
B	Limo (matrice deposito ghiaioso sciolto)	~ 0,50 m	20,00 KN/m ³	63,74 KPa	-	-
C	Ghiaia sciolta (Conglomerato di Irsina)	~ 10 m	19 ÷ 20,00 KN/m ³	-	0 ÷ 20 KPa	31° ÷ 42°
D	Sabbie ed arenarie poco cementate (Sabbie di Monte Marano)	~ 20 m	18,5 KN/m ³	-	0 KPa	38°

9. ANALISI DI STABILITA' DEL VERSANTE

Le condizioni di stabilità del pendio oggetto di intervento sono state analizzate nel dettaglio attraverso un rilievo geomorfologico che ha permesso di escludere la presenza di fenomeni di instabilità. L'analisi geomorfologica qualitativa del sito d'imposta dell'impianto fotovoltaico non ha messo in evidenza segni di instabilità. Infatti, l'area di sedime insiste in una porzione di versante, stabile sia per posizione morfologica sia per condizioni litologiche con pendio caratterizzato da pendenze poco acclivi, inferiore ai 10°, senza forme di movimenti gravitativi in atto né in preparazione.

10. CONCLUSIONI

Lo studio riportato nella seguente relazione ha fornito un quadro dettagliato delle caratteristiche geologiche, geomorfologiche, idrogeologiche, litotecniche e sismiche dei terreni presenti nell'area di progetto.

In particolare, dallo studio effettuato, risulta che:

- Il campo fotovoltaico in progetto si estende su terreni riferibili ai depositi sabbiosi e ghiaioso-conglomeratici riferibili rispettivamente alla formazione delle Sabbie di Monte Marano ed ai Conglomerati di Irsina.
- Da un punto di vista geomorfologico l'area di progetto ricade su un'area di versante, stabile sia per posizione morfologica che per condizioni litologiche: le formazioni affioranti hanno assetto sub-orizzontale ed il pendio di progetto è caratterizzato da pendenze mediamente acclivi con pendenze inferiori ai 10°. Non sono presenti aree a rischio idrogeologico.
- Da un punto di vista idrogeologico, le rocce affioranti sulla base delle caratteristiche di permeabilità, si distinguono in:
 - ✓ rocce permeabili per porosità primaria
 - ✓ rocce porose ma impermeabili

Appartengono alla prima classe i depositi ghiaioso-conglomeratici e sabbiosi permeabili per porosità riferibili alle Sabbie di Monte Marano ed ai conglomerati di Irsina; appartengono alla seconda classe i depositi riferibili alla formazione delle argille subappennine.

- Le caratteristiche geologiche e geotecniche specifiche per i terreni di fondazione sono state desunte – in questa fase progettuale – da indagini NON esaustive per l'opera da realizzare; nella fase ESECUTIVA del progetto dovranno essere necessariamente previste specifiche indagini geognostiche.
- Sulla base di indagini geofisiche consultate ed eseguite in aree dalle medesime caratteristiche litotecniche dalla scrivente, è possibile attribuire al sito d'interesse progettuale, cautelativamente la seguente tipologia di suolo: "C" - *"Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 m caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e valori del VS30 compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < NSPT30 < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < cu30 < 250$ kPa nei terreni a grana fina)".*
- In relazione al D.M. 17-01-2018 i parametri sismici del sito di progetto sono rappresentati, per la salvaguardia della vita umana, da: **a_g pari a 0,151; F_o pari a 2,540 e T^*c pari a 0,417. La microzona individuata ha le seguenti caratteristiche sismiche:** categoria di suolo di fondazione di tipo "C" (ai sensi O.P.C.M. 3274/03); coefficiente di amplificazione stratigrafica (S_s)= 1,50; coefficiente di amplificazione topografica (S_T) = (T_1) = 1. La scelta ed il dimensionamento delle opere di fondazione da adottare per la realizzazione dell'impianto in progetto dovranno essere effettuate in sede di progettazione esecutiva,

solo dopo aver effettuato una campagna di indagini geognostiche (dirette e/o indirette) in situ, con prelievo di campioni di rocce e terre da sottoporre ad analisi di laboratorio.

In fase di progettazione esecutiva si rende necessario approfondire il presente studio geologico con un adeguato piano d'investigazione costituito da:

- Indagini penetrometriche che consentano di evidenziare la successione litologica. Durante l'esecuzione della prova penetrometrica sarà opportuno prelevare dei campioni significativi dei terreni incontrati da analizzare tramite prove geotecniche di laboratorio.
- Analisi e prove geotecniche di laboratorio sui campioni prelevati
- Stendimenti di sismica a rifrazione in onde P per la determinazione dei parametri sismo-stratigrafici ed elastodinamici dei terreni oggetto di studio.

Inoltre, vengono suggeriti alla D.L. i seguenti criteri esecutivi:

- Il materiale di sterro deve essere accuratamente allontanato a discarica ovvero se utilizzato per terrazzamenti, messo in opera per strati non superiori a 30 cm debitamente compattati; eventuali opere di contenimento, devono essere fondate sul substrato non degradato;
- le acque di ruscellamento devono essere regimentate con appositi sistemi di drenaggio superficiale, senza alterare il normale deflusso, al fine di garantirne l'allontanamento ed evitare che siano intercettate dalle opere in questione;
- le acque di dilavamento dovranno essere controllate con apposite opere di raccolta e smaltimento, così come le strutture interrato devono essere provviste di adeguate sistemazioni idrauliche a tergo.

Genzano di Lucania 20/05/2021

La Geologa

Dr Antonietta Cilumbriello



RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- AZZAROLI A., RADINA B., RICCHETTI G. & VALDUGA A. (1968b) – *Note illustrative della Carta Geologica d'Italia, alla scala 1:100.000 del F° 189 "Altamura"*. Serv. Geol. d'Italia, 22 pp.
- BALDUZZI A., CASNEDI R., CRESCENTI U., MOSTARDINI F. & TONNA M. (1982a) - *Il Plio-Pleistocene del sottosuolo del bacino lucano (Avanfossa appenninica)*. Geol. Rom., **21**: 89-111.
- BAROSH P.J. (1969) - *Use of seismic intensity data to predict the effects of earthquakes and underground nuclear explosions in various geologic settings*. U.S. Govt. Print. Off. (Washington).
- BOENZI, PALMENTOLA & VALDUGA (1971) – *Note illustrative della Carta Geologica d'Italia, F° 200 Tricarico*.
- CARISSIMO L., D'AGOSTINO O., LODDO C. & PIERI M. (1962) – *Le ricerche petrolifere dell'Agip mineraria e nuove informazioni geologiche nell'Italia centro-meridionale dall'Abruzzo al Golfo di Taranto*. In: *Proceeding of VI Congresso Mondiale del Petrolio*, Francoforte, Germany, I, AGIP Report, san Danato Milanese, Italy.
- CASNEDI R. (1988) - *La Fossa Bradanica: origine, sedimentazione e migrazione*. Mem. Soc. Geol. It., **41**: 439-448.
- CIARANFI N., MAGGIORE M., PIERI P., RAPISARDI L., RICCHETTI G. E WALSH N. (1979) – *Considerazioni sulla neotettonica della Fossa Bradanica*. P. F. Geodinamica. Pubbl. **515**, 1-63.
- CIARANFI N., GHISETTI F., GUIDA M., IACCARINO G., LAMBIASE S., PIERI P., RAPISARDI L., RICCHETTI G., TORRE M., TORTORICI L. & VEZZANI L. (1983) – *Carta neotettonica dell'Italia meridionale*. Prog. Fin. Geod. del CNR, **515**, 62 pp.
- CILUMBRIELLO A., SABATO L. & TROPEANO M. (2008). *Problemi di cartografia geologica relativa ai depositi quaternari di chiusura del ciclo della Fossa bradanica: l'area chiave di Banzi e Genzano di Lucania (Basilicata)*. MEMORIE DESCRITTIVE DELLA CARTA GEOLOGICA D'ITALIA. Volume Speciale in ricordo di Iacobacci, APAT, in corso di stampa. ISSN: 0536-0242.
- D'ARGENIO, PESCATORE & SCANDONE (1973) – *Schema geologico dell'Appennino meridionale (Campania e Lucania)*. Acc. Naz. Lincei, Pubbl. N°280; 49-72
- DAL MORO, G. (2012) - *Onde di superficie in geofisica applicata*. Acquisizione e analisi di dati secondo tecniche MASW e HVSR. D. Flaccovio, Palermo, pp. 191.
- DE CELLES P. G. & GILES K. A. (1996) - *Foreland basin systems*. Basin Research, **8**, 105-123.
- DOGLIONI C. MONGELLI F. & PIERI P. (1994) – *The Puglia uplift (SE-Italy): an anomaly in the foreland of the Apenninic subduction due to buckling of a thick continental lithosphere*. Tectonics, **13**, 1309-1321.
- DOGLIONI C. TROPEANO M., MONGELLI F. & PIERI P. (1996) - *Middle-Late Pleistocene uplift of Puglia: an "anomaly" in the Apenninic foreland*. Mem., Soc., Geol., It., **51**: 101-117.
- DOLCE M., ALBARELLO D., CASTELLARO S., CASTENETTO S., COLOMBI A., COMPAGNONI M., DI FILIPPO M., DI NEZZA M., EVA C., FOTI S., MARTINI G., NASO G., PERGALANI F., SANTUCCI DE MAGISTRI F., SCARASCIA.
- GALLICCHIO S. & MAIORANO P. (1999) – *Revised stratigraphy of the Serra Palazzo Formation, a Miocene foredeep turbidite succession of the Southern Apennines (Italy)*. Riv. It. Paleont. E Stratig., **105**, n° 2, 287-302.
- IDRISS I.M. & SUN J. (1992) – *User's for SHAKE91*. Center for Geotechnical Modeling, Univ. Of California, Davis, 13p.
- LABRIOLA M, ONOFRIO V., GALLICCHIO S. & TROPEANO M. (2008) - *Caratteri stratigrafico-strutturali della porzione frontale dell'Appennino lucano compresa fra Acerenza e Oppido Lucano (Potenza, Basilicata)*. Mem. Descr. Carta Geol. D'It. **LXXVII**, 111-118.
- LANZO G., SILVESTRI F. (1999) - *Risposta sismica locale: teoria ed esperienze*. Argomenti di Ingegneria Geotecnica, Hevelius Edizioni.
- LAZZARI M. & PIERI P. (2002) - *Modello stratigrafico-deposizionale della successione regressiva infra-pleistocenica della Fossa bradanica nell'area compresa fra Lavello, Genzano e Spinazzola*. Mem. Soc. Geol. It., **57**: 231-237.
- MARTINI (Eds.): «Anatomy of an Orogen». Kluwer Academic Publ.: 401-440.
- MERLIN, LA VOLPE, NAPPI, PICCARRETA, REDINI, & SANTAGATI (1971) – *Note illustrative della Carta Geologica d'Italia, F° 186, 187 Sant'Angelo de' Lombardi, Melfi*.
- MUGNOZZA G., SILVESTRI F. (2011) – *Integrazioni agli Indirizzi e Criteri di Microzonazione Sismica*. Ingegneria Sismica, Vol 2, giugno 2011
- MIGLIORINI C. (1937) – *Cenno sullo studio e sulla prospezione petrolifera di una zona dell'Italia meridionale*. In: 2nd Petroleum world Congress. Paris. ASGIP Report, Roma: 1-11.
- NAKAMURA, Y. (1989) – *A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface*. Quarterly Report of Railway Technical Research Inst. (RTRI), **30**, 25-33.
- OGNIBEN (1969) – *Schema introduttivo alla geologia del confine calabro-lucano*. MEM. SOC. GEOL. IT., **35**: 177-202.
- PALMER, D. (1982) – *An introduction to the generalized reciprocal method of seismic refraction interpretation*. Geophysics, **46**, 1508-1518.
- PARK, C.B. XIA J., MILLER R.D. (1999) - *Multichannel analysis of surface waves*. Geophysics, **64**, 800-808.
- PATACCA E. & SCANDONE P. (2001) - *Late thrust propagation and sedimentary response in the thrust belt-foredeep system of the Southern Apennines (Pliocene-Pleistocene)*. In: G.B. VAI & I.P. MARTINI (Eds.): «Anatomy of an Orogen». Kluwer Academic Publ.: 401-440.

- PATACCA E. & SCANDONE P.** (2004) – *The Plio-Pleistocene thrust belt-foredeep system in the southern Apennines and Sicily (Italy)*. Soc. Geol. It., Vol. Spec., IGC 32 Florence.
- PIERI P., SABATO L. & TROPEANO M.** (1994) - *Evoluzione tettonico-sedimentaria della Fossa bradanica a sud dell’Ofanto nel Pleistocene*. In: "Guida alle escursioni". 77° Cong. Naz. Soc. Geol. It., Bari. Quad. Bibl. Prov. Matera, **15**, 35-54.
- PIERI P., SABATO L. & TROPEANO M.** (1996) - *Significato geodinamico dei caratteri deposizionali e strutturali della Fossa bradanica nel Pleistocene*. Mem. Soc. Geol. It., **51**, 501-515.
- PIERI P., GALLICCHIO S., SABATO L. & TROPEANO M.** – *Note illustrative della Carta Geologica d’Italia alla scala 1:50.000*. Foglio 471 IRSINA.
- PESCATORE T., DI NOCERA S. & MATANO F.** – *Note illustrative della Carta Geologica d’Italia alla scala 1:50.000*. Foglio 470 POTENZA.
- RICCHETTI G.** (1965) - *Alcune osservazioni sulla serie della Fossa bradanica. Le “Calcareni di M. Castiglione”*. Boll. Soc. Nat. in Napoli **74**: 3-11.
- RICCHETTI G.** (1967) - *Lineamenti geologici e morfologici della media valle del Fiume Bradano*. Boll. Soc. Geol. It., **86**: 607-622.
- RICCHETTI G. & MONGELLI F.** (1980) – *Flessione e campo gravimetrico della micropiastra apula*. Boll., Soc., Geol., It., **99**, 431-436.
- RIGA G.** (2011) – *Metodi per stimare le proprietà geotecniche dei terreni, Correlazioni semi-empiriche dei parametri geotecnici basate su prove in situ, tabelle bibliografiche geologiche e geotecniche di confronto, elaborazione di prove penetrometriche dinamiche*. EPC Editore, Roma, pp.208.
- ROCCAFORTE F. & CUCINOTTA C.** (2015) – *Stima dei parametri geotecnici in geofisica applicata, correlazione tra parametri sismici e geotecnici per la pratica professionale*. Dario Flaccovio Editore, Palermo, pp.139.
- SABATO L., TROPEANO M. & PIERI P.** (2004) - *Problemi di cartografia geologica relativa ai depositi quaternari del F° 471 “Irsina”. Il Conglomerato di Irsina: mito o realtà? Il Quaternario* **17**(2/1): 391-404.
- SELLI R.** (1962) – *Il Paleogene nel quadro della geologia dell’Italia meridionale*. Mem. Soc. Geol. It., **3**: 737-789.
- SESAME PROJECT** (2004) – *Guidelines for the implementation of the H/V spectral ratio technique on ambient vibrations - Measurements, processing and interpretation*. European Commission, n° EVG1-CT-2000- 00026 - <http://sesame-fp5.obs.uif-grenoble.fr/>.
- VALDUGA A.** (1973) - *Fossa bradanica*. In: A. DESIO: «*Geologia dell’Italia*», U.T.E.T., Torino: 692- 695.