



Comune di Santeramo in Colle



Provincia di Bari



Regione Puglia



Regione Basilicata



Comune di Matera

COMUNE DI SANTERAMO IN COLLE

“Fattoria solare Fontana Rossa”

PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO AGROVOLTAICO SITO NEL COMUNE DI SANTERAMO IN COLLE (BA) IN LOCALITÀ “CONTRADA MATINE”, DI POTENZA AC PARI A 25 MW E POTENZA DC PARI A 25,889 MWp, E RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE ALLA RETE ELETTRICA NAZIONALE (RTN) NEI COMUNI DI SANTERAMO IN COLLE (BA) E MATERA

PROPONENTE:

REN 183 S.R.L.

Salita di Santa Caterina 2/1 – 16123 Genova
Tel: +39 0106422384; Pec: ren183@pec.it

TECNICI E SPECIALISTI:

- Dott.ssa Archeologa Paola D’Angela: studi ed indagini archeologiche;
- Arch. Sara Di Franco: studio d’impatto acustico;
- Dott. Geologo Antonello Fabiano: studi e indagini geologiche e idrogeologiche;
- Floema S.r.l.: progetto agricolo;
- Dott. Agronomo Donato De Carolis: studio pedoagronomico, piano di monitoraggio ambientale, rilievo essenze, paesaggio agrario;
- Ing. Gabriele Gemma: elaborati grafici, documentazione tecnica, studio ambientale e paesaggistico;

PROGETTISTA:

np enne. pi. studio s.r.l.

Lungomare IX Maggio, 38 - 70132 Bari
Tel/Fax +39 0805346068 - 0805346888
e-mail: pietro.novielli@ennepistudio.it

Timbro e firma



Descrizione Elaborato:

Studio di compatibilità idrologica e idraulica su area impianto, cavidotto e stazione elettrica

	Data emissione	Redatto	Verificato	Approvato	Filename:
N. revisione	Marzo 2023	Dott. Geol. Antonello Fabiano	Enne Pi Studio S.r.l.	REN 183 S.r.l.	SAN_16 - Relazione geologica e geotecnica
					Scala:

Sommario

Indice delle tavole	2
Premessa	3
1. Ubicazione dell'area oggetto di studio e descrizione del progetto.....	4
2. Inquadramento geologico generale	7
2.1. Inquadramento geologico di dettaglio	10
3. Inquadramento geomorfologico generale	11
3.1. Inquadramento geomorfologico di dettaglio	12
4. Caratteri Idrografici ed Idrogeologici.....	15
5. Piano di tutela delle acque	17
6. Piano stralcio per la difesa dal rischio idrogeologico (PAI).....	19
7. Indagini eseguite.....	21
7.1. Risultati derivanti dalle indagini eseguite	22
8. Sismicità del territorio	27
9. Pericolosità sismica di base	31
9.1. Vita nominale, classi d'uso e periodo di riferimento	31
9.2 Stati limite, probabilità di superamento e periodo di ritorno.....	33
9.3 Categorie di sottosuolo e condizioni topografiche	35
9.4 Definizione della pericolosità sismica di base	38
9.5 Pericolosità sismica di sito.....	43
10. Caratterizzazione geotecnica dei litotipi.....	48
11. Opere di Connessione alla RTN.....	49
Conclusioni	50

TAVOLE IN ALLEGATO E RELAZIONE SULLE INDAGINI ESEGUITE..... 53

Indice delle tavole

- Tavola 1 – Cartografia amministrativa
- Tavola 2 – Carta topografica d'Italia IGM 1:25.000
- Tavola 3 – Ortofoto (Google 2018)
- Tavola 4 – Carta geologica di dettaglio
- Tavola 5 – Digital Terrain Model (DTM)
- Tavola 6 – Reticolo Idrografico – Carta idrogeomorfologica (Foglio 473)
- Tavola 7A - Piano di Assetto Idrogeologico (PAI) – Aree a Pericolosità Inondazione
- Tavola 7B - Piano di Assetto Idrogeologico (PAI) Aree a pericolosità Geomorfologica

Premessa

Lo scrivente **dott. Geol. Antonello Fabiano**, iscritto all'Ordine dei Geologi della Regione Puglia al n. 675, su incarico della **Enne.Pi Studio srle e per conto della società proponente REN 183 Srl**, ha redatto la presente relazione tecnica che intende esaminare ed evidenziare le caratteristiche litologiche, stratigrafiche, tettoniche, sismiche e geomorfologiche relative all'area di sedime interessata dall'intervento di realizzazione di un impianto fotovoltaico denominato "Fattoria Solare Fontana Rossa" in agro di Santeramo in Colle (BA) alla Loc. "Matine". Nello specifico l'area di che trattasi è riportata in catasto al Foglio di Mappa n° 104 P.lle 124-125-126-36-89-69-88-49-90-52-91, inoltre, la stazione satellite sarà realizzata su un terreno nella disponibilità del proponente nel Comune di Matera, inquadrato catastalmente al foglio 19 P.lle 76-77-103.

Lo studio è stato svolto secondo quanto prescritto dalle disposizioni delle nuove Norme Tecniche sulle Costruzioni D.M. del 17/01/2018 e dall'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n°3274 del 20/03/2003. L'area oggetto di studio è stata inquadrata in relazione al Piano di Assetto Idrogeologico della Regione Puglia (PAI) mediante la perimetrazione delle aree a pericolosità idraulica, geomorfologica e definendo la relativa classe di rischio così come previsto dal DPCM 29 settembre 1998 "Atto di indirizzo e coordinamento per l'individuazione dei criteri relativi agli adempimenti di cui all'art. 1, commi 1 e 2, del decreto legge 11 giugno 1998, n. 180."

È stata valutata anche la compatibilità dell'intervento con le indicazioni del Piano di Tutela della Acque della Regione Puglia. Le indicazioni qui raccolte derivano da un rilevamento geologico di dettaglio, dalle conoscenze geologiche dello scrivente, da ricerche cartografiche e bibliografiche e dalle indagini sismiche eseguite in sito. In una prima fase, quindi, si è provveduto all'acquisizione di tutte le cartografie esistenti, generali e tematiche, per precisare le caratteristiche e le configurazioni naturali dei luoghi. In particolare è stata consultata la documentazione cartografica riportata sulla tavoletta I.G.M. "Vallone della Silica"

Il SO (scala 1:25000) del foglio "Altamura" n. 189 (scala 1:100000), ortofoto a colori della zona, CTR Regione Puglia in scala 1:5000, la cartografia tematica relativa alla geologia e quindi la Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100000 del foglio "Altamura" n. 189, note illustrative del foglio n. 189 "Altamura" della Carta Geologica d'Italia. Si precisa che, laddove non opportunamente esplicitato, tutte le informazioni contenute nella presente si riferiscono all'area di installazione dei moduli fotovoltaici, al percorso del cavidotto di connessione nonché all'area di sedime della stazione di trasformazione.

1. Ubicazione dell'area oggetto di studio e descrizione del progetto

L'area di studio è situata nel Comune di Santeramo in Colle (BA), in territorio agricolo, nella parte Sud rispetto al centro abitato e precisamente alla Loc. "Matine". Il lotto, con accesso sia da una strada comunale, dista circa 400 m in direzione Ovest dalla SP 176 e si trova ad una quota compresa tra i 360 ed i 370 m s.l.m. Topograficamente ricade nel foglio 189 "Altamura" Tavoleta "Vallone della Silica" Il SO ed il punto centrale del sito è identificato dalle coordinate: 40.73406° N - 16.72349° E.

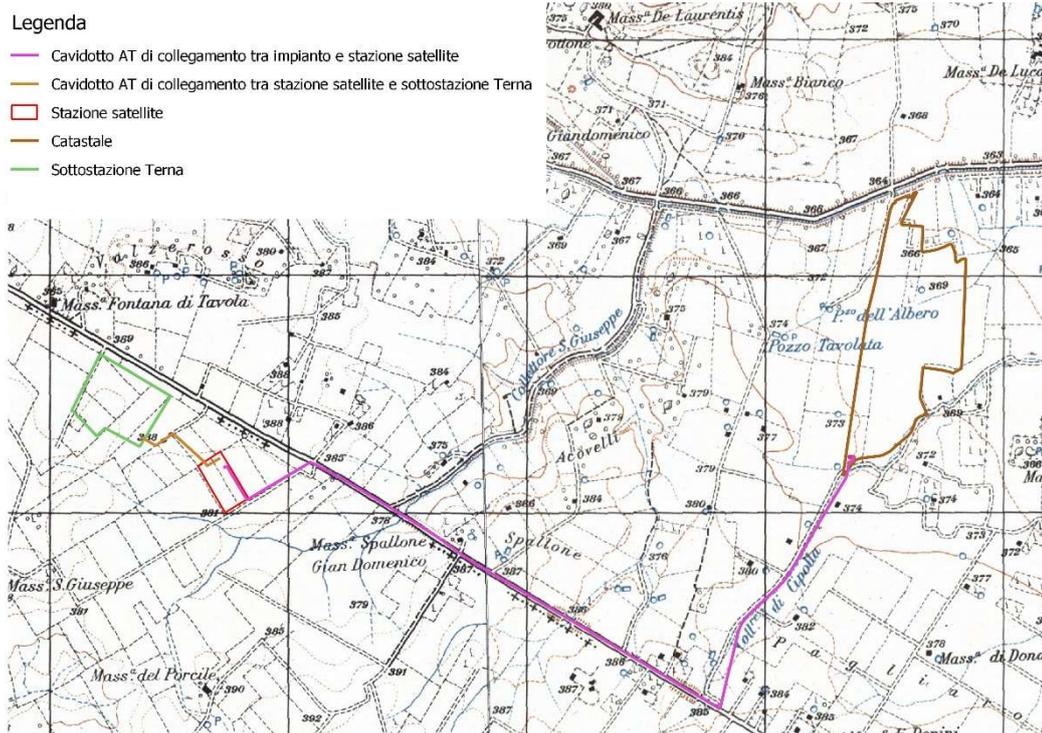
L'area su cui insiste l'area di che trattasi, riportato in catasto al Foglio di Mappa n° 104 P.lle 124-125-126-36-89-69-88-49-90-52-91, è caratterizzata da una superficie di circa 32.04 Ha.

Il progetto prevede la realizzazione di un impianto agrovoltaico della potenza in AC di 25,00 MW e della potenza in DC di 25,889 MW, che sorgerà nel territorio del comune di Santeramo in Colle (BA) in località "Contrada Matine" su una superficie di ettari 32 are 04 e centiare 88 (ha 32.04.88). All'interno del campo saranno posizionate n. 6 cabine di campo (inverter-trasformatori) da 4.200 kVA (per i 6 sottocampi), n. 3 container officina, manutenzione e deposito. Le cabine di campo "power station" avranno anche il compito di elevare la tensione dell'impianto portando la stessa a 36 kV. All'interno dell'area di progetto sarà inoltre realizzata un'apposita area di circa 160 mq nella quale sarà realizzata la "stazione a 36 kV".

In tale stazione saranno posizionati locali tecnici, sala quadri, sala di comando e controllo, i quali avranno il compito di raccogliere e smistare i cavi provenienti dalle power station dell'impianto. Dalla stazione a 36 kV, uscirà infine il cavo ad alta tensione, sempre a 36 kV, che servirà per la connessione dell'impianto agrovoltaiico alla rete pubblica.

Il campo agrovoltaiico, per mezzo della stazione a 36 kV, sarà connesso alla rete elettrica nazionale mediante un cavidotto interrato che avrà una lunghezza di circa 3,8 Km. Esso insisterà quasi totalmente nel territorio del comune di Santeramo in Colle, e per il tratto di arrivo alla stazione satellite ed alla stazione elettrica di Terna, interesserà il comune di Matera. Il cavidotto percorrerà la viabilità pubblica (strade asfaltate), e più precisamente la strada comunale n. 43 "Menatoria di Cipolla" per un tratto di circa 1,2 Km, la strada Provinciale n. 140 per un tratto di circa 2,0 Km, e per quasi 600 metri su terreno privato, fino ad arrivare all'area della stazione satellite di futura realizzazione, dove il cavidotto sarà intestato all'interno dell'edificio quadri a 36 kV. La stazione satellite sarà realizzata su un terreno nella disponibilità del proponente nel comune di Matera, inquadrato catastalmente al foglio 19 particelle 76 – 77 – 103. Un ulteriore tratto di cavidotto in alta tensione, della lunghezza di quasi 400 metri, collegherà la stazione satellite alla stazione elettrica Terna esistente. La soluzione tecnica di connessione prevede che l'impianto di generazione FV sarà collegato in antenna sulla sezione a 36 kV della futura stazione satellite della stazione elettrica di trasformazione 380/150 kV della RTN Terna esistente nel comune di Matera.

Realizzazione di impianto agrovoltaico denominato "Fattoria Solare Fontana Rossa" – Santeramo in Colle (BA) – Fg. 104, P.lle 124-125-126-36-89-69-88-49-90-52-91 - Relazione Geologica, Geotecnica ed Idrogeologica



Ubicazione su stralcio del F. 189 IGM – Vallone della Silica II SO in scala 1:25000 nell'originale



Ripresa fotografica Area ubicazione intervento

A tal proposito si rimanda alle seguenti tavole in allegato:

- Tavola 1 Cartografia amministrativa
- Tavola 2 Carta topografica d'Italia IGM 1:25.000
- Tavola 3 Ortofoto (Google 2018)

2. Inquadramento geologico generale

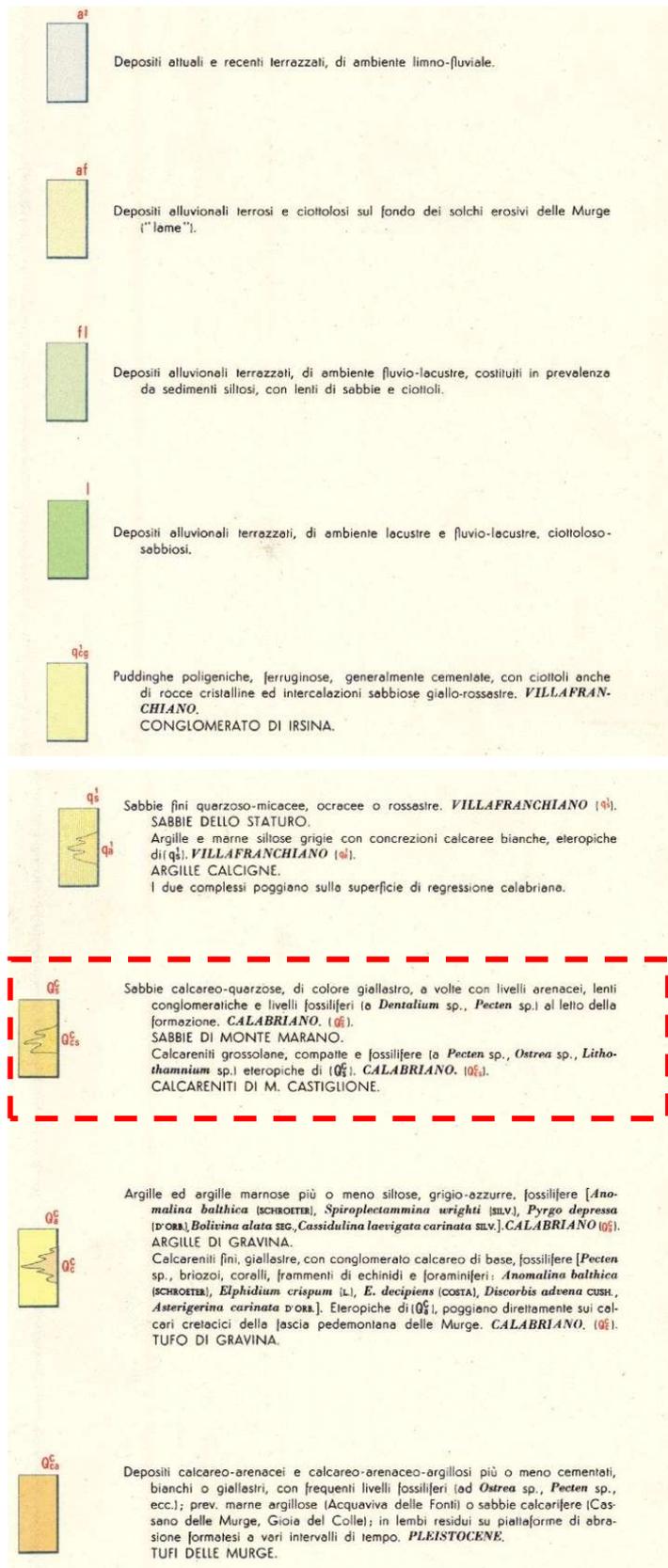
Dal punto di vista geologico l'unità geostrutturale costituita dall' "Avanfossa Bradanica", lungo il margine della quale ricade l'area d'intervento, si contraddistingue per l'affioramento di terreni che, nell'insieme, costituiscono la successione regressiva di colmamento del bacino di sedimentazione attivo dal Pliocene sino al Pleistocene, tra la Catena Appenninica e l'Avampaese Murgiano. Tale successione è costituita da un'unità argillosa di base, di età Plio-Pleistocenica, spesso alcune centinaia di metri nella parte centrale del bacino e più sottile nelle zone di margine. Sull'unità argillosa di base poggiano, in continuità di sedimentazione, terreni sabbiosi con frequenti intercalazioni conglomeratiche, di spessore variabile ma non superiore a cento m. Il ciclo regressivo è chiuso da un'unità conglomeratica di origine continentale, con spessore oscillante intorno ad alcune decine di metri.

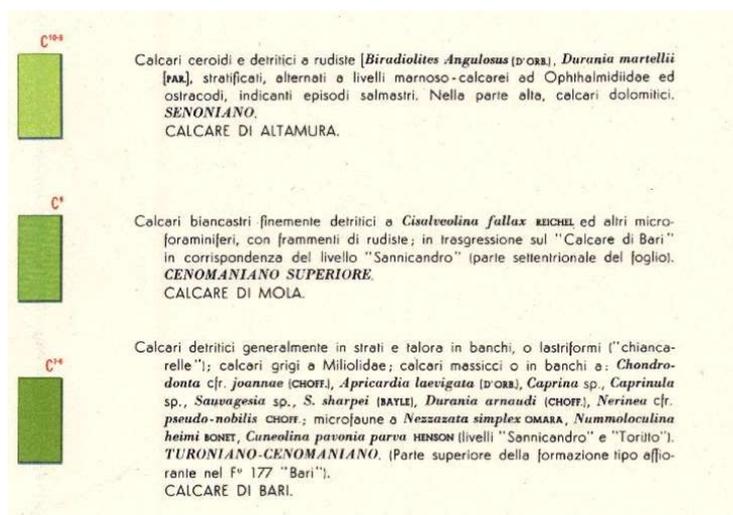
Lungo l'alveo e sulle sponde dei principali corsi d'acqua presenti in zona si rinvencono depositi alluvionali terrazzati di origine fluvio-lacustre costituiti da conglomerati poligenici, limi e sabbie. Nell'immagine seguente si mostra l'ubicazione dell'area d'intervento in riferimento alla Carta Geologica d'Italia in scala 1:100000

Realizzazione di impianto agrovoltaico denominato "Fattoria Solare Fontana Rossa" – Santeramo in Colle (BA) – Fg. 104, P.lle 124-125-126-36-89-69-88-49-90-52-91 - Relazione Geologica, Geotecnica ed Idrogeologica



Ubicazione su Carta Geologica d'Italia foglio 189 "Altamura"– 1:100000 nell'originale





Il sito in esame, come già accennato, ricade nel contesto geologico dell'area di margine dell'Avanfossa Bradanica. La scarpata dell'altipiano delle Murge dista infatti pochi Km più a Nord. L'assetto stratigrafico dell'area è caratterizzato dalla presenza di un'unità geologica di base costituita da argille ed argille limose e marnose grigio azzurre, compatte e sovraconsolidate. Tale unità costituisce l'unità basale del ciclo regressivo di colmamento del bacino dell'Avanfossa. Su tale substrato poggiano, in continuità di sedimentazione, depositi sabbiosi con intercalazioni calcarenitiche. Sulle unità bradaniche si rinvengono terreni di origine alluvionale terrazzati, sabbioso-ghiaiosi e limosi. Lungo l'alveo dei principali corsi d'acqua esistenti in zona, affiorano alluvioni recenti ed attuali.

2.1. Inquadramento geologico di dettaglio

Dal punto di vista geologico, al di sotto della copertura di terreno vegetale (circa 2 m), localmente l'area in esame è caratterizzata dalla presenza di sabbie quarzose calcaree debolmente cementate (Q^c_s), di colore prevalentemente giallastro, con frequenti lenti conglomeratiche ed intercalazioni calcarenitiche ($Q^{c_{cs}}$). Nell'area in esame affiorano cospicuamente, costituendo la parte alta dei versanti e le superfici di cresta dei rilievi.

A letto poggiano sull'unità argillosa di base mentre a tetto passano, in continuità di sedimentazione e per alternanze, all'unità conglomeratica di chiusura del ciclo regressivo. Lo spessore dell'unità non supera i cento metri. L'età delle "Sabbie di Monte Marano" è ascrivibile al Pleistocene medio-inferiore, durante il quale si deposero in ambiente marino litorale. In particolare, sulla base del rilevamento geologico in situ, dalle conoscenze dello scrivente e dalle indagini eseguite, la stratigrafia del sito sottostante l'area oggetto di studio si caratterizza nella seguente maniera partendo dall'alto verso il basso:

- Terreno vegetale (spessore circa 2 m)
- Depositi sabbiosi e sabbioso-limosi: si rinvengono al di sotto della coltre di terreno vegetale con spessori variabili da un minimo di 5 m ad un massimo di 10 m. Sono costituiti da sabbie, sabbie debolmente limose con ciottoli calcarenitici e spesso sede, come nel caso in esame, di una falda sostenuta dalle sottostanti argille e che si attesta ad una profondità di circa 3-4 m dal p.c.
- limi argilloso-sabbiosi di colore giallastro, compatti. Si rinvengono per uno spessore medio di 7-8 m
- argille limose e marnose di colore grigio, compatte. Per uno spessore di circa 20 m

A tal proposito si rimanda ai seguenti elaborati grafici:

Tavola 4 Carta geologica di dettaglio

3. Inquadramento geomorfologico generale

L'ambito morfologico di riferimento è caratterizzato da un assetto condizionato dalla natura dei terreni affioranti, costituiti in prevalenza da depositi sciolti variamente coesi e/o argillosi. Le forme del rilievo, con particolare riferimento all'acclività dei versanti, risultano pertanto variabili a seconda dello stato di aggregazione e della stabilità dei terreni. In linea generale l'andamento geomorfologico si caratterizza per l'alternanza di vaste aree pianeggianti ad

assetto tabulare, attraversate da solchi erosivi con versanti molto ampi e variamente acclivi. L'assetto subpianeggiante delle aree di cresta è legato ai processi di modellamento avvenuti durante la fase di colmamento del bacino di sedimentazione.

L'azione degli agenti erosivi, con particolare riferimento agli effetti del modellamento dovuti allo scorrimento delle acque superficiali, ha inciso profondamente sul territorio, generando avvallamenti con versanti a pendenza variabile a seconda dei litotipi affioranti. Forme locali di dissesto di modeste dimensioni interessano le parti sommitali dei versanti, laddove affiorano terreni più schiettamente sabbiosi.

3.1. Inquadramento geomorfologico di dettaglio

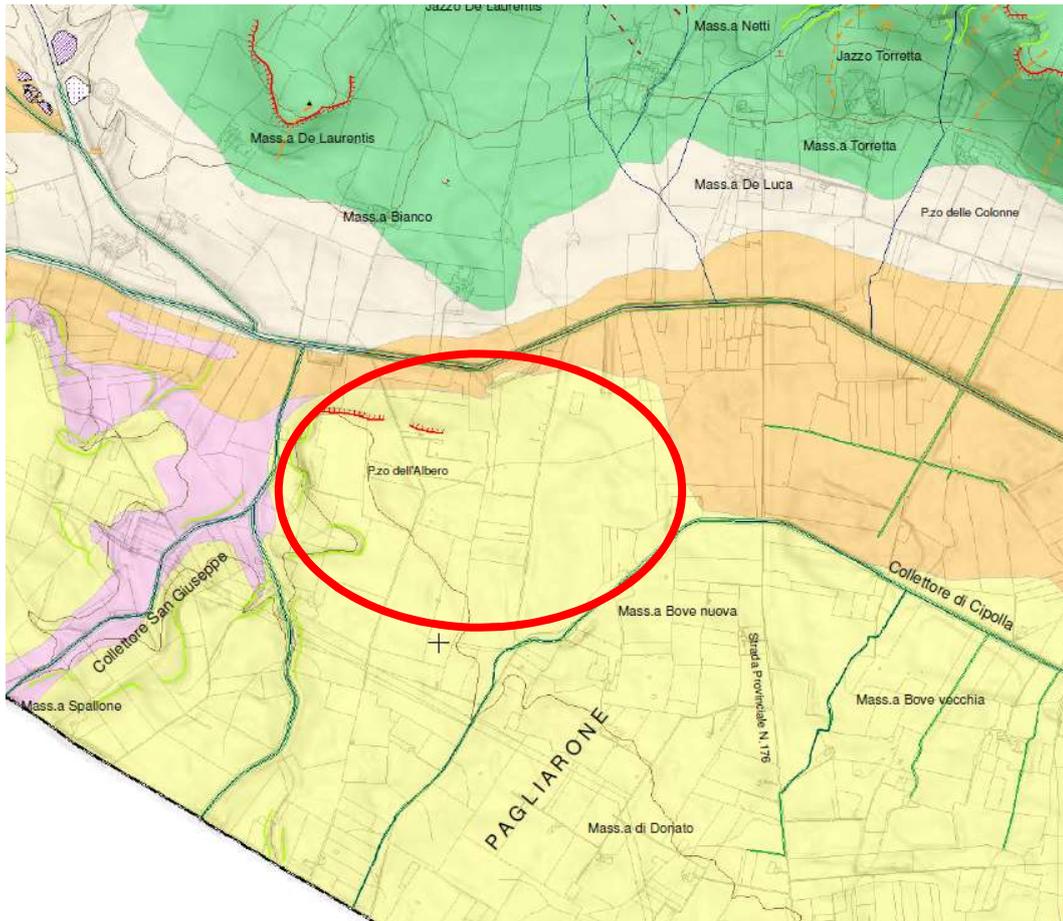
L'area di sedime dell'impianto in progetto, ricade all'interno di una porzione di territorio subpianeggiante, ubicata a Sud della scarpata che delimita l'altipiano delle Murge.

Il piano campagna si dispone con quote decrescenti da S-SO verso N-NE.

L'andamento planaltimetrico monotono della superficie topografica è localmente movimentato dall'asta del Collettore San Giuseppe, che si sviluppa in un avvallamento diretto NE-SE ubicato nella porzione occidentale dell'area di intervento, con sponde debolmente acclivi.

A tal proposito si rimanda ai seguenti elaborati grafici:

Tavola 6 Digital Terrain Model (DTM)



LEGENDA

ELEMENTI GEOLOGICO-STRUTTURALI

Litologia del substrato

	Unità prevalentemente calcarea o dolomitica
	Unità a prevalente componente argillosa
	Unità a prevalente componente siltoso-sabbiosa e/o arenitica
	Unità a prevalente componente arenitica
	Unità a prevalente componente ruditica
	Unità costituite da alternanze di rocce a composizione e/o granulometria variabile
	Unità a prevalente componente argillitica con un generale assetto caotico
	Depositi sciolti a prevalente componente pelitica
	Depositi sciolti a prevalente componente sabbioso-ghiaiosa

Tettonica

	Faglia
	Faglia presunta
	Asse di anticlinale certo
	Asse di anticlinale presunto
	Asse di sinclinale certo
	Asse di sinclinale presunto
	Strati suborizzontali (<10°)
	Strati poco inclinati (10°-45°)
	Strati molto inclinati (45°-80°)
	Strati subverticali (>80°)
	Strati rovesciati
	Strati contorti

PENDENZA (da CTR 1:5.000)

	Piane costiere e alluvionali, ripiani morfologici
	Versanti a modesta acclività
	Versanti a media acclività
	Versanti ad elevata acclività
	Pareti subverticali

FORME ED ELEMENTI DI ORIGINE MARINA

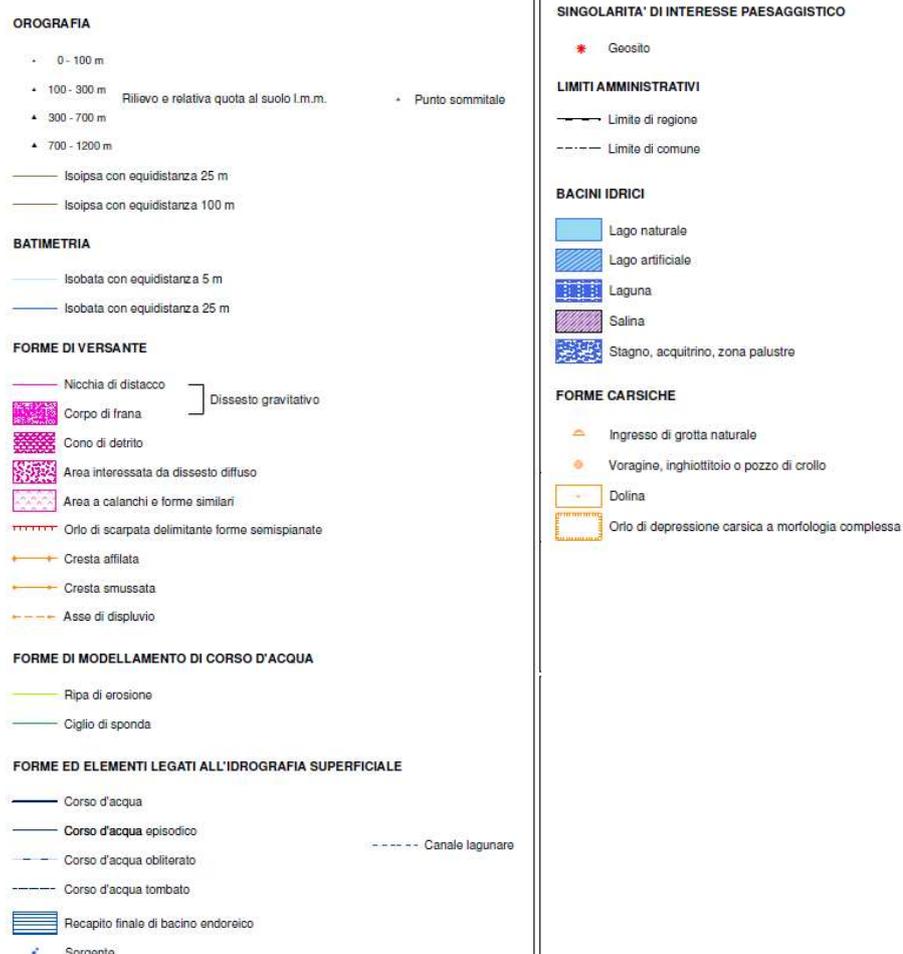
Tipo di costa

	Costa rocciosa
	Costa rocciosa con spiaggia ciottolosa al piede
	Costa rocciosa con spiaggia sabbiosa al piede
	Falesia
	Falesia con spiaggia ciottolosa al piede
	Falesia con spiaggia sabbiosa al piede
	Rias
	Spiaggia sabbiosa
	Spiaggia ciottolosa
	Spiaggia sabbiosa-ciottolosa
	Cordone dunare
	Faraglione

FORME ED ELEMENTI DI ORIGINE ANTROPICA

	Argine
	Traversa fluviale
	Opera di difesa costiera
	Diga
	Opera ed infrastruttura portuale
	Discarica controllata
	Area di cava attiva
	Cava abbandonata
	Cava riqualificata
	Cava rinaturalizzata
	Discarica di residui di cava
	Miniera (abbandonata)
	Discarica di residui di miniera

Cave e miniere



Ubicazione dell'area di studio sulla Carta Idrogeomorfologica della Regione Puglia (SIT) – Foglio 473

4. Caratteri Idrografici ed Idrogeologici

La circolazione idrica di superficie dell'area in esame si sviluppa in alcune linee di deflusso a regime torrentizio.

Si tratta di corsi d'acqua caratterizzati da un regime idraulico segnato da prolungati periodi di magra o di secca, interrotti da improvvisi eventi di piena corrispondenti o immediatamente successivi agli eventi meteorici più cospicui.

L'area di studio, come si evince dall'esame della carta idrogeomorfologica (foglio 473) e con la cartografia IGM 1:25000, non interferisce con il reticolo idrografico rappresentato. Immediatamente a Nord ed a Sud dell'area di intervento, sia nella carta idrogeomorfologica che nella cartografia IGM 1:25000, sono cartografati due

corsi d'acqua a carattere episodico. Pertanto, l'intervento in progetto, ricade all'interno delle aree fluviali in modellamento attivo ed aree golenali nonché nelle fasce di pertinenza fluviale così come definite dagli artt. 6 e 10 delle NTA del PAI. Al fine di definire la compatibilità idrologica ed idraulica dell'intervento è stata redatta una relazione idro-geo-morfologica e di compatibilità idraulica, a firma dello scrivente, ed alla quale si rimanda per ulteriori approfondimenti.

A tal proposito si rimanda ai seguenti elaborati grafici:

Tavola 6 Reticolo Idrografico – Carta idrogeomorfologica (Foglio 473)

Per ciò che attiene la circolazione idrica sotterranea, è necessario distinguere i terreni affioranti nella zona oggetto di studio in base al loro grado di permeabilità.

Terreni impermeabili

Sono costituiti dalla formazione delle "Argille subappennine". Tale unità costituisce la superficie di fondo definita e fissa delle acque circolanti nelle formazioni sovrastanti nella successione regressiva bradanica.

Terreni a permeabilità variabile

Sono costituiti dall'unità delle "Sabbie di Monte Marano" e "Calcareniti di M.te Castiglione", dotate nell'insieme di una permeabilità primaria per porosità di grado estremamente variabile da luogo a luogo, sia verticalmente che lateralmente, per la presenza di frequenti intercalazioni limo-sabbiose.

Nell'unità sabbiosa ha sede una falda idrica sotterranea, con superficie di fondo definita e fissa costituita dal tetto dell'unità argillosa di base. Le acque circolano nelle sabbie a pelo libero con la superficie piezometrica disposta a quote non uniformi per la presenza già indicata di intercalazioni più schiettamente limose che ne interrompono la continuità. La superficie di equilibrio della falda è interessata da importanti oscillazioni di quota stagionali, legate agli apporti meteorici. Nell'area in esame le acque dell'acquifero descritto vengono intercettate con pozzi poco profondi. In corrispondenza del contatto stratigrafico tra le sabbie e le

sottostanti argille si rinvergono scaturigini diffuse (sorgenti di strato) che localmente vengono intercettate e convogliate in un unico punto di sbocco.

Nell'insieme tale falda presente, sebbene non particolarmente ricca oltre che discontinua a causa delle variazioni litologiche dell'acquifero, costituisce una delle principali fonti di approvvigionamento idrico della zona, soprattutto per quanto riguarda l'attività agricola e che nell'area di progetto, si attesta ad una profondità di 4 m dal p.c.

Per quanto riguarda la circolazione idrica più profonda, la potente falda carsica è contenuta nei terreni del substrato calcareo a notevole profondità rispetto al piano campagna.

5. Piano di tutela delle acque

La Regione Puglia, ai sensi dell'art. 121 del decreto legislativo 152/2006 si è dotata di un proprio strumento legislativo in materia di protezione delle acque: il Piano di Tutela delle Acque. La redazione di tale piano costituisce il più recente atto di riorganizzazione e innovazione delle conoscenze e degli strumenti per la tutela delle risorse idriche del territorio regionale, peraltro già disciplinate dal Piano regionale di Risanamento delle Acque (P.R.A.) redatto nel 1983.

Lo strumento normativo del Piano di Tutela delle Acque è individuato dall'art. 44 del decreto legislativo 152/99 "Disposizioni sulla tutela delle acque dall'inquinamento e recepimento della direttiva 91/271/CEE concernente il trattamento delle acque reflue urbane e della direttiva 91/676/CEE relativa alla protezione delle acque dall'inquinamento provocato da nitrati provenienti da fonti agricole", come strumento prioritario per il raggiungimento e il mantenimento sia degli obiettivi di qualità ambientale per i corpi idrici significativi superficiali e sotterranei, sia degli obiettivi di qualità per specifica destinazione, nonché della tutela qualitativa e quantitativa del sistema idrico.

Esso si configura come uno strumento di pianificazione regionale che sostituisce i vecchi "Piani di Risanamento" previsti dalla legge "Merli" 319/76 e rappresenta,

inoltre, un piano stralcio di settore del Piano di Bacino ai sensi dell'art. 17 della legge 183/89 "Norme per il riassetto organizzativo e funzionale della difesa del suolo". Rispetto a quest'ultimo, però, il Piano di Tutela delle Acque si configura come un piano di più ampio dettaglio di scala regionale.

Le disposizioni del Piano di Tutela delle Acque hanno carattere vincolante per le amministrazioni e gli enti pubblici e per i soggetti privati; tali disposizioni vengono successivamente recepite dagli altri strumenti di pianificazione territoriale e dagli altri comparti di governo.

Il Piano di Tutela delle Acque è stato approvato con deliberazione della Giunta Regionale n. 230/2009 e successivamente aggiornato con deliberazione della Giunta Regionale n. 1333 del 16.07.2019 (Aggiornamento PTA 2015-2021). Come indicato nelle NTA adottate con l'aggiornamento, art. 65 comma 2, per tutta la fase di adozione degli aggiornamenti e fino all'approvazione definitiva, "...[omissis] le richieste di autorizzazioni, concessioni, nulla osta, permessi od altri atti di consenso comunque denominati, debbano essere conformi ad entrambi gli strumenti pianificatori."

In base al decreto 152/99 i contenuti del Piano di tutela delle acque si possono riassumere come segue:

- i risultati dell'attività conoscitiva;
- l'individuazione degli obiettivi di qualità ambientale e per specifica destinazione;
- l'elenco dei corpi idrici a specifica destinazione e delle aree richiedenti specifiche misure di prevenzione dall'inquinamento e di risanamento;
- le misure di tutela qualitative e quantitative tra loro integrate e coordinate per bacino idrografico;
- l'indicazione della cadenza temporale degli interventi e delle relative priorità;
- il programma di verifica dell'efficacia degli interventi previsti;
- gli interventi di bonifica dei corpi idrici.

Si sono analizzati gli elaborati del P.T.A. della Regione Puglia (vigente ed aggiornamenti in adozione) in relazione all'area d'interesse. Di seguito si mostrano i risultati di tale analisi in riferimento all'aggiornamento 2015-2021:

- l'area non ricade in zone di protezione speciale idrogeologica
- il sito di studio non è localizzato in un'area vulnerabile da contaminazione salina o a tutela quali-quantitativa.

6. Piano stralcio per la difesa dal rischio idrogeologico (PAI)

L'area di che trattasi rientra nel territorio di competenza dell'Autorità di Bacino della Puglia del quale è stato consultato il relativo piano stralcio, per verificare se i terreni in oggetto ricadessero nelle relative perimetrazioni.

Con deliberazione del comitato istituzionale Autorità di Bacino della Puglia del 30/11/2005 è avvenuta l'approvazione del Piano di Bacino della Puglia, Stralcio "Assetto Idrogeologico" e delle relative misure di salvaguardia – L.R. n.19 del 9/12/2002. La legge nazionale 183/1989 sulla difesa del suolo ha stabilito che il bacino idrografico debba essere l'ambito fisico di pianificazione che consente di superare le frammentazioni prodotte dall'adozione di aree di riferimento aventi confini solamente amministrativi. Strumento di governo del bacino idrografico è appunto il Piano di Bacino, ovvero il documento attraverso il quale sono pianificate le azioni e le norme d'uso volte alla conservazione e valorizzazione del suolo e alla corretta utilizzazione delle acque.

Il Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.) della Regione Puglia si pone quindi, come obiettivo, la conoscenza del territorio di competenza dell'autorità di bacino in termini di caratteristiche morfologiche, geologiche e idrologiche, effettuando al contempo un'analisi storica degli eventi critici (frane e alluvioni).

In tal modo il PAI individua sul territorio regionale le aree soggette a dissesto idrogeologico e gli interventi da realizzare per la mitigazione dei dissesti. In particolare vengono individuate le zone soggette a rischio da frana e/o idraulico e le zone a diversa pericolosità idraulica.

Dall'analisi delle cartografie ufficiali, si può desumere quanto segue:

- L'area di progetto **non ricade** nell'ambito delle fasce di pericolosità geomorfologica così come individuate dal P.A.I. della Puglia approvato con deliberazione del Comitato Istituzionale del 30/11/2005 e non è pertanto soggetta ai vincoli di cui artt. 13, 14 e 15 delle Norme Tecniche di Attuazione dello stesso P.A.I.
- l'area di progetto **ricade** nell'ambito di zone di alveo fluviale in modellamento attivo ed aree golenali ed in fasce di pertinenza fluviale, così come individuate dal P.A.I. della Puglia approvato con deliberazione del Comitato Istituzionale del 30/11/2005 ed è pertanto soggetta a quanto indicato dagli artt. 6 e 10 delle NTA del P.A.I. A tal proposito, si rimanda allo studio idrologico ed idraulico condotto dallo scrivente, nel quale si evidenzia come l'area sede degli interventi è interessata dal deflusso idrico nel caso di portate con tempi di ritorno di 30, 200 e 500 anni solo per una porzione di circa 0.13 Ha ricadente nella particella 52 che sarà libera da qualsiasi opera così come mostrato nelle tavole di progetto.
- l'area di progetto **non ricade** nell'ambito di zone a rischio di allagamento ovvero in aree ad alta, media e bassa pericolosità idraulica, così come individuate dal P.A.I. della Puglia approvato con deliberazione del Comitato Istituzionale del 30/11/2005, e non è pertanto soggetta ai vincoli di cui artt. 7, 8 e 9 delle N.T.A. del P.A.I.

A tal proposito vedansi Tavola 7A - Piano di Assetto Idrogeologico (PAI) – Aree a Pericolosità Inondazione e Tavola 7B - Piano di Assetto Idrogeologico (PAI) Aree a pericolosità Geomorfologica.

In riferimento alle Aree di Alta, Media e Bassa pericolosità idraulica, si sottolinea che le particelle 89 e 126 del Foglio 104 sono in parte interessate da Media ed Alta Pericolosità idraulica così come individuate nel P.G.R.A. (Piano di Gestione del rischio alluvioni). Pertanto nel layout di progetto dell'impianto, tali porzioni non sono interessate da alcuna opera progettuale.

7. Indagini eseguite

Al fine di procedere ad una caratterizzazione geologica, dell'area in esame sono state eseguite dalla ditta G2g snc di Molfetta (BA), le seguenti indagini geofisiche:

- n°1 prospezioni di sismica a rifrazione in onde P (REF01)
- n°1 prospezioni Multichannel analysis of Surface Waves (MASW01)



Le caratteristiche di ciascuna indagine, la strumentazione utilizzata, le operazioni di esecuzione, l'esatta ubicazione ed i relativi risultati sono dettagliatamente descritti nella relazione in allegato alla presente.

7.1. Risultati derivanti dalle indagini eseguite

L'indagine MASW, così come riportato nella relazione in allegato, ha consentito di ottenere tramite l'inversione della curva di dispersione il seguente modello medio di velocità delle onde sismiche di taglio con la profondità:

Strato	VS (m/s)	profondità top (m)	spessore (m)
1	160	0.0	1.0
2	170	1.0	1.5
3	180	2.5	2.1
4	210	4.6	2.8
5	280	7.4	3.5
6	350	10.9	7.6
7	470	18.5	-

Secondo la normativa vigente (D.M. 17/01/2018 Norme Tecniche per le Costruzioni) "... per la definizione dell'azione sismica si può fare riferimento a un approccio semplificato, che si basa sull'individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento". Fatta salva la necessità della caratterizzazione geotecnica dei terreni nel "volume significativo", ai fini della identificazione della categoria di sottosuolo, la classificazione si effettua in base ai valori della velocità equivalente V_{seq} di propagazione delle onde di taglio entro gli strati con velocità inferiore agli 800 m/s. Per le fondazioni superficiali, tale profondità è riferita al piano di imposta delle stesse. Pertanto se si considerano i valori della velocità di propagazione delle onde "S", misurata da p.c., è possibile evidenziare che **il valore V_{seq} è risultato essere pari a 317 m/s** ad una profondità di posa della fondazione di circa -1 m dal p.c. Pertanto per le NTC 2018 il valore V_{Seq} è assimilabile, nell'approccio semplificato, alla **categoria C**.

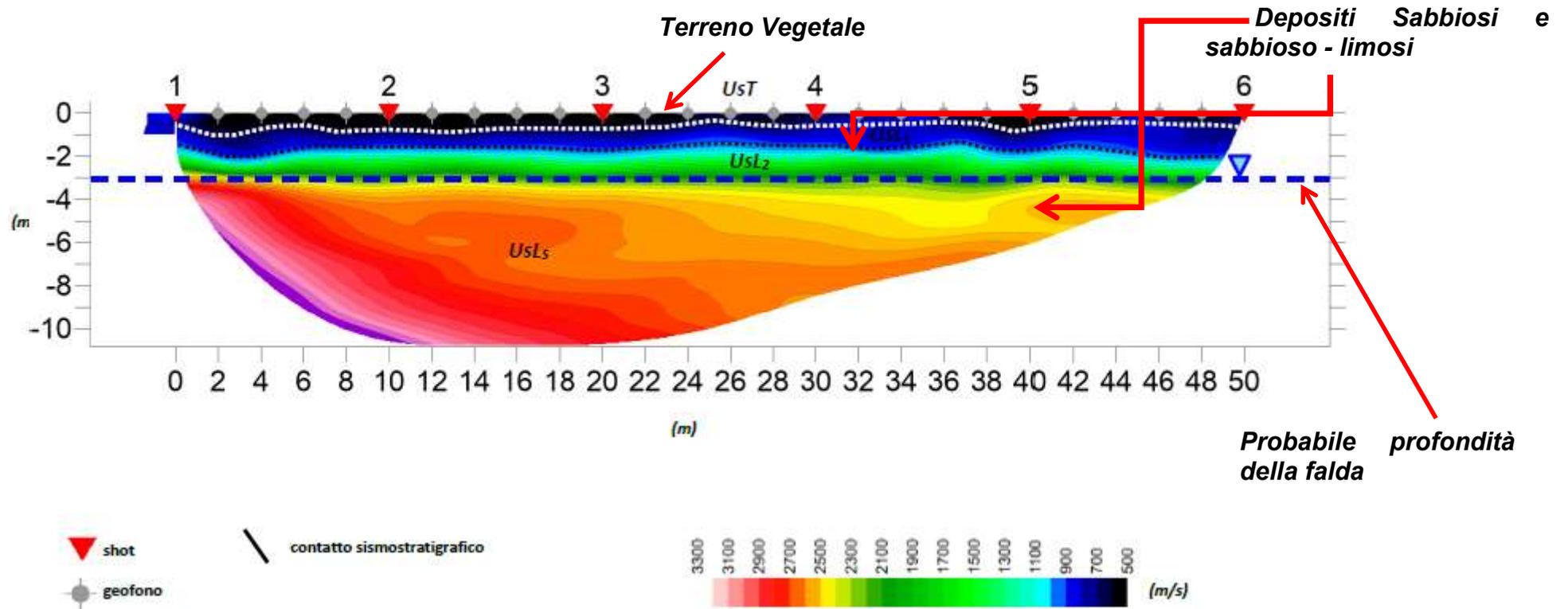
<i>Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato. NTC 2018</i>	
<i>Cap 3.2.2.</i>	
Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.
B	<i>Rocce tenere e depositi 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 scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , con profondità del substrato superiori a 30, 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
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , con profondità del substrato superiori a 30, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 m/s 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 30m

PROFONDITA' FONDAZIONE (m da p.c.)	V_{seq} (m/s)	CATEGORIA
0.0	304	C
-0.5	310	C
-1.0	317	C
-1.5	323	C
-2.0	330	C
-2.5	337	C
-3.0	344	C
-3.5	351	C
-4.0	358	C
-4.1	359	C
-4.2	360	B
-4.5	365	B

Valori della V_{sequ} sulla base della profondità di fondazione

Si precisa che la sola indagine sismica, ai fini della definizione inconfutabile delle litologie, consente solo di avere un'idea della stratigrafia del sottosuolo, delle sue caratteristiche geotecniche e della profondità della falda. Ulteriori indagini di tipo diretto ed indiretto, potranno definire ulteriormente e con maggior definizione i rapporti stratigrafici dei terreni costituenti il sedime dell'area di progetto.

Trattandosi di indagini di tipo indiretto è stato possibile, mediante la prospezione di sismica a rifrazione, individuare una sezione sismografica da cui è possibile risalire alle probabili litologie :



Seguono foto delle indagini eseguite.



Dott. Geol. Antonello Fabiano – Via San Lorenzo 209, 72021 Francavilla Fontana (BR)
Cell: 3497892919

E-Mail: antonello.fabiano@libero.it
Sito Web: www.antonellofabiano.it

8. Sismicità del territorio

L'O.P.C.M. 3274 del 20 Marzo 2003 "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica" hanno determinato una nuova classificazione sismica del territorio italiano. Per quanto riguarda l'area provinciale di Bari, la nuova situazione è la seguente:

BARI						
16072001	Acquaviva delle Fonti	N. C.	III	3	3	
16072002	Adelfia	N. C.	III	3	3	
16072003	Alberobello	N. C.	N. C.	4	4	
16072004	Altamura	N. C.	III	3	3	
16072005	Andria	III	III	3	3	
16072006	Bari	N. C.	III	3	3	
16072007	Barletta	II	III	2	2	
16072008	Binetto	N. C.	III	3	3	
16072009	Bisceglie	III	III	3	3	
16072010	Bitetto	N. C.	III	3	3	
16072011	Bitonto	N. C.	III	3	3	
16072012	Bitritto	N. C.	III	3	3	
16072013	Canosa di Puglia	II	III	2	2	
16072014	Capurso	N. C.	III	3	3	
16072015	Casamassima	N. C.	III	3	3	
16072016	Cassano delle Murge	N. C.	III	3	3	
16072017	Castellana Grotte	N. C.	N. C.	4	4	
16072018	Cellamare	N. C.	III	3	3	
16072019	Conversano	N. C.	N. C.	4	4	
16072020	Corato	III	III	3	3	
16072021	Gioia del Colle	N. C.	III	3	3	
16072022	Giovinazzo	N. C.	III	3	3	
16072023	Gravina in Puglia	N. C.	III	3	3	
16072024	Grumo Appulia	N. C.	III	3	3	
16072025	Locorotondo	N. C.	N. C.	4	4	
16072026	Minervino Murge	II	III	2	2	
16072027	Modugno	N. C.	III	3	3	
16072028	Mola di Bari	N. C.	N. C.	4	4	
16072029	Molfetta	N. C.	III	3	3	
16072030	Monopoli	N. C.	N. C.	4	4	
16072031	Noci	N. C.	III	3	3	
16072032	Noicattaro	N. C.	III	3	3	
16072033	Palo del Colle	N. C.	III	3	3	

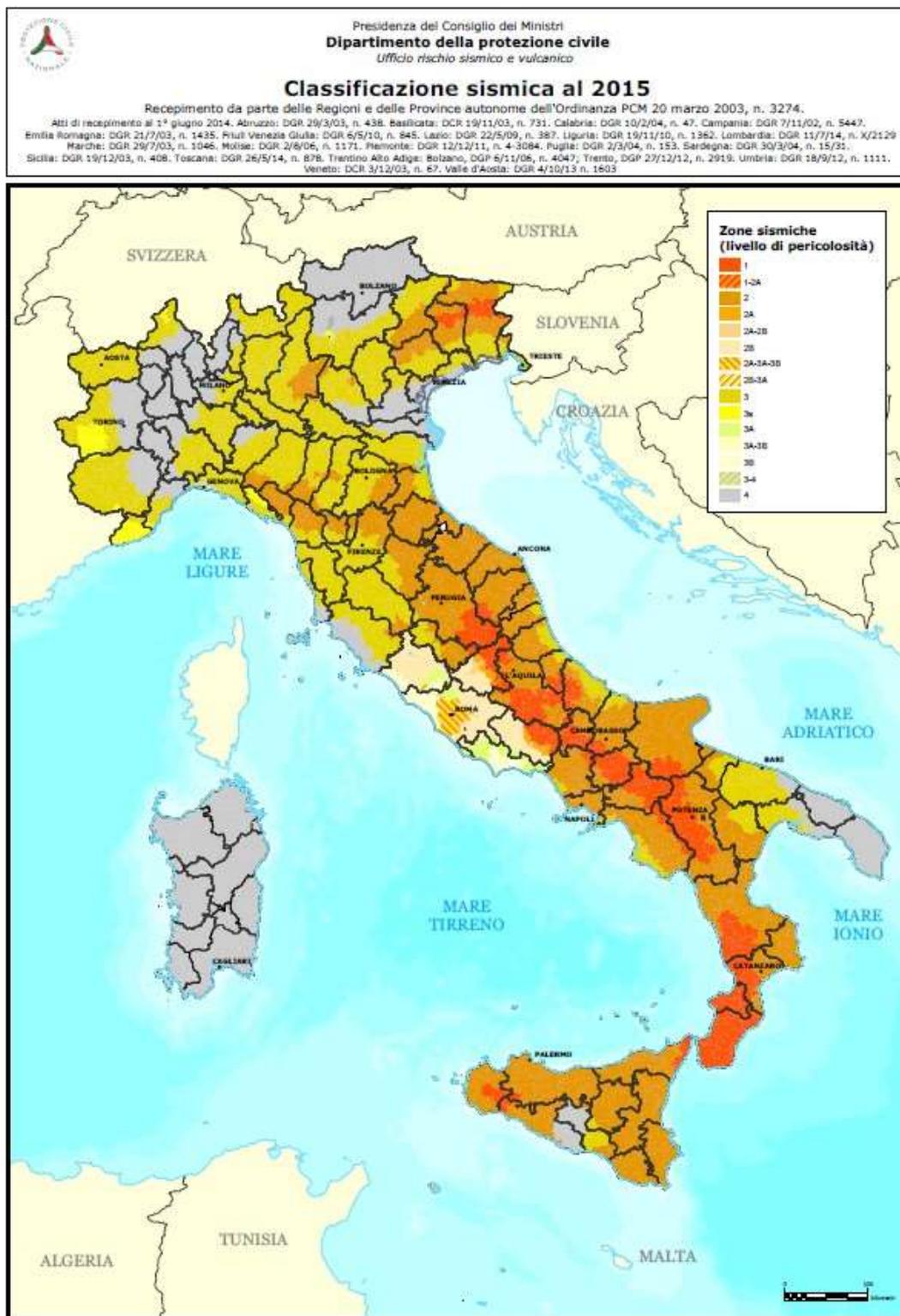
BARI	16072034	Poggiorsini	III	III	3	3
	16072035	Polignano a Mare	N. C.	N. C.	4	4
	16072036	Putignano	N. C.	III	3	3
	16072037	Rutigliano	N. C.	III	3	3
	16072038	Ruvo di Puglia	II	III	3	3
	16072039	Sammichele di Bari	N. C.	III	3	3
	16072040	Sannicandro di Bari	N. C.	III	3	3
	16072041	Santeramo in Colle	N. C.	III	3	3
	16072042	Spinazzola	II	III	2	2
	16072043	Terlizzi	III	III	3	3
	16072044	Toritto	N. C.	III	3	3
	16072045	Trani	III	III	3	3
	16072046	Triggiano	N. C.	III	3	3
	16072047	Turi	N. C.	III	3	3
	16072048	Valenzano	N. C.	III	3	3

Fig. 12: Classificazione sismica dei Comuni della Provincia di Bari

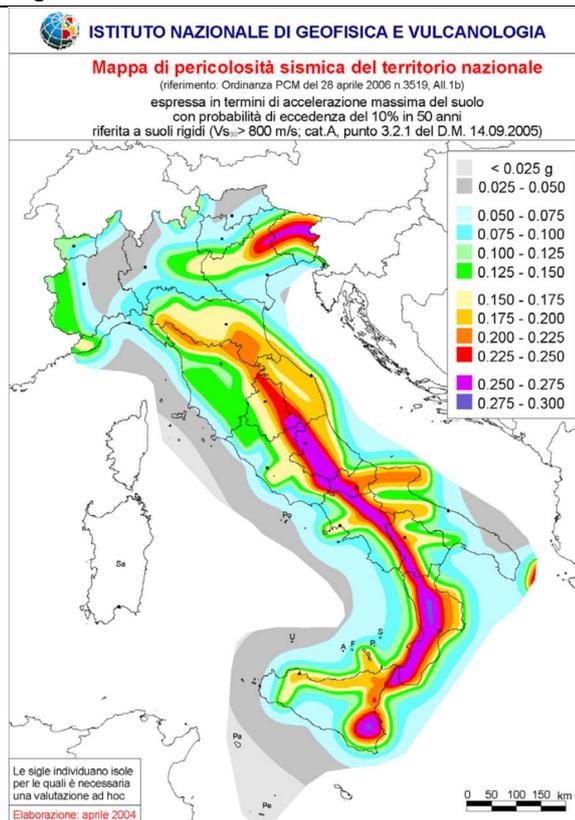
Dalla tabella si evince che al Comune di Francavilla Fontana è stata attribuita la Categoria 3 ovvero a **sismicità bassa**. Si riporta la tabella ove ciascuna zona è individuata secondo valori di accelerazione di picco orizzontale del suolo a_g , con probabilità di superamento del 10% in 50 anni.

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

Realizzazione di impianto fotovoltaico denominato "Fattoria Solare Fontana Rossa" – Santeramo in Colle (BA) – Fg. 104, P.lle 124-125-126-36-89-69-88-49-90-52-91 - Relazione Geologica, Geotecnica ed Idrogeologica



Classificazione sismica (OPCM n.ro 3274)



Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale espressa in termini di accelerazione massima del suolo (Ordinanza 3519-06)

L'Ordinanza su indicata individua le nuove zone sismiche (quattro) nelle quali è suddiviso l'intero territorio nazionale (ivi compreso il territorio regionale pugliese), classificando sismicamente ciascun Comune in una delle quattro zone e comparando detta nuova classificazione con quella previgente. A tal proposito, si evidenzia che l'ordinanza 3274/03 attribuisce alle singole Regioni la facoltà di introdurre o meno l'obbligo della progettazione antisismica per quelle costruzioni da edificare sui rispettivi territori in zona sismica classificata 3.

A livello regionale la normativa vigente è rappresentata dalla "DELIBERAZIONE DELLA GIUNTA REGIONALE 2 marzo 2004, n. 153 - L.R. 20/00 - O.P.C.M. 3274/03 – Individuazione delle zone sismiche del territorio regionale e delle tipologie di edifici ed opere strategici e rilevanti - Approvazione del programma temporale e delle indicazioni per le verifiche tecniche da effettuarsi sugli stessi." Che, come si evince dalla tabella precedente, identifica l'area d'intervento come zona 3.

9. Pericolosità sismica di base

Per valutare se un'opera strutturale è sicura bisogna far riferimento a degli *stati limite*, che possono verificarsi durante un determinato *periodo di riferimento* della stessa opera. Quindi per poter stimare l'azione sismica che dovrà essere utilizzata nelle verifiche agli stati limite o nella progettazione, bisognerà stabilire:

- in primo luogo la *vita nominale* dell'opera, che congiuntamente alla *classe d'uso*, permette di determinare il *periodo di riferimento*;
- una volta definito il periodo di riferimento e i diversi stati limiti da considerare, dopo aver definito le relative *probabilità di superamento* è possibile stabilire il *periodo di ritorno* associato a ciascun stato limite;
- a questo punto è possibile definire la **pericolosità sismica di base** per il sito interessato alla realizzazione dell'opera, facendo riferimento agli studi condotti sul territorio nazionale dal Gruppo di Lavoro 2004 nell'ambito della convenzione-progetto S1 DPC-INGV 2004-2006 e i cui risultati sono stati promulgati mediante l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri (OPCM) 3519/2006.

9.1. Vita nominale, classi d'uso e periodo di riferimento

Nel **DM 17 gennaio 2018**-Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni» il periodo di riferimento, che non può essere inferiore a 35 anni, è dato dalla seguente relazione:

$$V_R = V_N \cdot C_U \quad (2.1)$$

dove:

VR = periodo di riferimento

VN = vita nominale

CU = coefficiente d'uso

La vita nominale di un'opera strutturale VN, secondo le NTC 2018, è definita come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata e viene definita attraverso tre diversi valori, a seconda dell'importanza dell'opera e perciò

delle esigenze di durabilità. I valori minimi di VN da adottare per i diversi tipi di costruzione sono riportati nella Tab. 2.1. Tali valori possono essere anche impiegati per definire le azioni dipendenti dal tempo.

Tab. 2.1 – Valori minimi della Vita nominale VN di progetto per i diversi tipi di costruzioni

TIPI DI COSTRUZIONI		Valori minimi di VN (anni)
1	Costruzioni temporanee e provvisorie	10
2	Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari	50
3	Costruzioni con livelli di prestazioni elevati	100

Dove VN è la “vita nominale di progetto” di un’opera, ovvero il numero di anni nel quale l’opera, purché ispezionata e mantenuta come previsto in progetto, manterrà i livelli prestazionali e svolgerà le funzioni per i quali è stata progettata. Nel caso specifico **VN = 50 anni** essendo opera con livelli di prestazioni ordinari. In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in classi d’uso. Le NTC 2018 prevedono quattro classi d’uso a ciascuna delle quali è associato un valore del coefficiente d’uso:

Classe I: Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli. CU = 0.7;

Classe II: Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l’ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l’ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d’uso III o in Classe d’uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti. CU = 1.0;

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 la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso. CU = 1.5;

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 DM 5/11/2001, 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 elettrica. CU = 2.0;

Nel caso in esame viene presa in considerazione la **classe d'uso II** a cui è associato il coefficiente d'uso **CU = 1**.

Ricavati i valori di VN e CU, è possibile calcolare il periodo di riferimento VR, che qui vale:

$$VR = 50 * 1 = 50 \text{ anni.}$$

9.2 Stati limite, probabilità di superamento e periodo di ritorno

Le NTC 2018 prendono in considerazione 4 possibili *stati limite* (SL) individuati facendo riferimento alle prestazioni della costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e gli impianti: due sono *stati limite di esercizio* (SLE) e due sono *stati limite ultimi* (SLU). Uno stato limite è una condizione superata la quale l'opera non soddisfa più le esigenze per la quale è stata progettata. Più in particolare le opere e le varie tipologie strutturali devono essere dotate di capacità di garantire le prestazioni previste per le condizioni di esercizio (sicurezza nei confronti di SLE) e di capacità di evitare crolli, perdite di equilibrio e di dissesti gravi, totali o parziali, che possano compromettere l'incolumità delle persone o comportare la perdita di beni, oppure provocare gravi

danni ambientali e sociali, oppure mettere fuori servizio l'opera (sicurezza nei confronti di SLU).

Gli stati limite di esercizio sono:

- **Stato Limite di Operatività (SLO)**: a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, non deve subire danni ed interruzioni d'uso significativi;
- **Stato Limite di Danno (SLD)**: a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, subisce danni tali da non mettere a rischio gli utenti e da non compromettere significativamente la capacità di resistenza e di rigidità nei confronti delle azioni verticali ed orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature.

Gli stati limite ultimi sono:

- **Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV)**: a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidità nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidità per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali;
- **Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC)**: a seguito del terremoto la costruzione subisce gravi rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e danni molto gravi dei componenti strutturali; la costruzione conserva ancora un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni orizzontali.

Ad ogni stato limite è associata una *probabilità di superamento PVR* (Tabella 3.1), ovvero la probabilità che, nel periodo di riferimento VR, si verifichi almeno un evento sismico ($n \geq 1$) di **ag** prefissata (**ag** = accelerazione orizzontale massima del

suolo) avente frequenza media annua di ricorrenza $\lambda = 1/TR$ (**TR** = periodo di ritorno).

Tabella 3.1- Stati limite e rispettive probabilità di superamento, nel periodo di riferimento VR

Stato limite di esercizio: operatività	SLO	PVR = 81%
Stato limite di esercizio: danno	SLD	PVR = 63%
Stati limite ultimo: salvaguardia della vita	SLV	PVR = 10%
Stati limite ultimo: di prevenzione del collasso	SLC	PVR = 5%

Fissati VR e PVR associata ad ogni stato limite, è possibile calcolare il periodo di ritorno dell'azione sismica TR, espresso in anni, mediante l'espressione:

$$T_R = -\frac{V_R}{\ln(1 - P_{VR})} \quad (3.1)$$

Tale relazione tra PVR (probabilità) e TR (statistica) risulta biunivoca poiché utilizza la distribuzione discreta Poissoniana.

Poiché è **VR = 50 anni**, il tempo di ritorno TR sarà:

Tabella 3.2- Stati limite e rispettivi tempi di ritorno, nel periodo di riferimento VR

Stato limite di esercizio: operatività	SLO	TR = 30
Stato limite di esercizio: danno	SLD	TR = 50
Stati limite ultimo: salvaguardia della vita	SLV	TR = 475
Stati limite ultimo: di prevenzione del collasso	SLC	TR = 975

9.3 Categorie di sottosuolo e condizioni topografiche

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 delle NTC 2018. In alternativa, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab. 3.2.11 delle stesse NTC, 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, VS.

Sulla base delle risultanze del rilevamento geologico condotto e dalle indagini eseguite nell'area oggetto di studio, i terreni caratterizzanti l'area di sedime dell'opera da realizzare, si può ipotizzare essere rappresentati da sabbie da

debolmente a mediamente cementate e pertanto compatibili con la descrizione stratigrafica secondo la tab. 3.2.II delle NTC 2018 e quindi, ricadenti nella **categoria di sottosuolo C:**

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

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

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 – *Categorie topografiche*

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
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 $i > 30^\circ$

Tali 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 a 30 m.

Nel caso in esame, si considera come categoria topografica la categoria T1. Per tener conto delle condizioni topografiche e in assenza di specifiche analisi di risposta sismica locale, si utilizzano i valori del **coefficiente topografico ST** riportati nella Tab. 3.2.V, in funzione delle categorie topografiche sopra riportate e dell'ubicazione dell'opera o dell'intervento.

Tab. 3.2.V – 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 di un rilievo con pendenza media minore o uguale a 30°	1,2
T4	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media maggiore di 30°	1,4

Il valore S_T si utilizza solo se $H > 30$ m, in ogni caso nel sito di studio tale coefficiente è pari a 1,0.

Per poter definire l'amplificazione stratigrafica, occorre tener conto di due coefficienti:

- S_s : coefficienti di amplificazione topografica;
- C_c : coefficiente funzione della categoria di sottosuolo.

Per sottosuolo di categoria A ($V_{s30} > 800$ m/s) i coefficienti S_s e C_c valgono 1. Per le categorie di sottosuolo B, C, D ed E i coefficienti S_s e C_c possono essere calcolati, in funzione dei valori di F_0 e T_C^* , mediante le espressioni fornite nella Tab. 3.2.IV, nelle quali g è l'accelerazione di gravità ed il tempo è espresso in secondi.

Tab. 3.2.IV – Espressioni di S_s e di C_c

Categoria sottosuolo	S_s	C_c
A	1,00	1,00
B	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,20$	$1,10 \cdot (T_C^*)^{-0,20}$
C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,50$	$1,05 \cdot (T_C^*)^{-0,33}$
D	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,80$	$1,25 \cdot (T_C^*)^{-0,50}$
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,60$	$1,15 \cdot (T_C^*)^{-0,40}$

F_0 è un fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima, su sito di riferimento rigido orizzontale ed ha valore minimo pari a 2,2. T_C^* rappresenta il Tratto Spettrale a Periodo Costante per un Periodo di Ritorno determinato.

9.4 Definizione della pericolosità sismica di base

La pericolosità sismica di base, cioè le caratteristiche del moto sismico atteso al sito di interesse, nelle NTC 2018, per una determinata probabilità di superamento, si può ritenere definita quando vengono designati un'accelerazione orizzontale massima (a_g) ed il corrispondente spettro di risposta elastico in accelerazione, riferiti ad un suolo rigido e ad una superficie topografica orizzontale. Per poter definire la pericolosità sismica di base le NTC 2018 si rifanno ad una procedura basata sui risultati disponibili anche sul sito web dell'INGV <http://esse1-gis.mi.ingv.it/>, nella sezione "Mappe interattive della pericolosità sismica". Secondo le NTC 2018 le forme spettrali sono definite per 9 differenti periodi di ritorno TR (30, 50, 72, 101, 140, 201, 475, 975 e 2475 anni) a partire dai valori dei seguenti parametri riferiti a terreno rigido orizzontale, cioè valutati in condizioni ideali di sito, definiti nell'**Allegato A** alle NTC08:

a_g = accelerazione orizzontale massima;

F_o = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;

T_C^* = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

I tre parametri si ricavano per il 50° percentile ed attribuendo a:

a_g , il valore previsto dalla pericolosità sismica S1

F_o e **T_C^*** i valori ottenuti imponendo che le forme spettrali in accelerazione, velocità e spostamento previste dalle NTC08 scartino al minimo dalle corrispondenti forme spettrali previste dalla pericolosità sismica S1 (il minimo è ottenuto ai minimi quadrati, su valori normalizzati).

I valori di questi parametri vengono forniti in tabella (Tabella 4.1), contenuta nell'**Allegato B** delle NTC08 (a cui le NTC 2018 fanno riferimento), per i 10751 punti di un reticolo di riferimento in cui è suddiviso il territorio nazionale, identificati dalle coordinate geografiche longitudine e latitudine.

Realizzazione di impianto fotovoltaico denominato "Fattoria Solare Fontana Rossa" – Santeramo in Colle (BA) – Fg. 104, P.lle 124-125-126-36-89-69-88-49-90-52-91 - Relazione Geologica, Geotecnica ed Idrogeologica

Tabella 4.1- *Stralcio della tabella contenuta nell'Allegato B delle NTC08, che fornisce i 3 parametri di pericolosità sismica, per diversi periodi di ritorno e per ogni nodo del reticolo che viene identificato da un ID e dalle coordinate geografiche.*

ID	LON	LAT	TR = 30			TR = 50			TR = 72			TR = 101		
			ag	FO	T*c	ag	FO	T*c	ag	FO	T*c	ag	FO	T*c
13111	6.5448	45.1340	0.263	2.500	0.180	0.340	2.510	0.210	0.394	2.550	0.220	0.469	2.490	0.240
13333	6.5506	45.0850	0.264	2.490	0.180	0.341	2.510	0.210	0.395	2.550	0.220	0.469	2.490	0.240
13555	6.5564	45.0350	0.264	2.500	0.180	0.340	2.510	0.200	0.393	2.550	0.220	0.466	2.500	0.240
13777	6.5621	44.9850	0.263	2.500	0.180	0.338	2.520	0.200	0.391	2.550	0.220	0.462	2.510	0.240
12890	6.6096	45.1880	0.284	2.460	0.190	0.364	2.510	0.210	0.431	2.500	0.220	0.509	2.480	0.240
13112	6.6153	45.1390	0.286	2.460	0.190	0.366	2.510	0.210	0.433	2.500	0.220	0.511	2.480	0.240
13334	6.6210	45.0890	0.288	2.460	0.190	0.367	2.510	0.210	0.434	2.500	0.220	0.511	2.490	0.240
13556	6.6268	45.0390	0.288	2.460	0.190	0.367	2.510	0.210	0.433	2.510	0.220	0.510	2.490	0.240
13778	6.6325	44.9890	0.288	2.460	0.190	0.366	2.520	0.210	0.430	2.510	0.220	0.507	2.500	0.240
14000	6.6383	44.9390	0.286	2.470	0.190	0.363	2.520	0.210	0.426	2.520	0.220	0.502	2.500	0.240
14222	6.6439	44.8890	0.284	2.470	0.190	0.360	2.530	0.210	0.421	2.530	0.220	0.497	2.500	0.240
12891	6.6803	45.1920	0.306	2.430	0.200	0.389	2.500	0.210	0.467	2.470	0.230	0.544	2.490	0.230
10228	6.6826	45.7940	0.283	2.420	0.200	0.364	2.460	0.220	0.430	2.460	0.240	0.505	2.440	0.250
13113	6.6860	45.1430	0.309	2.430	0.200	0.391	2.510	0.210	0.470	2.470	0.230	0.546	2.490	0.230
10450	6.6885	45.7450	0.278	2.440	0.200	0.356	2.480	0.220	0.415	2.500	0.230	0.485	2.470	0.250
13335	6.6915	45.0930	0.310	2.430	0.200	0.392	2.510	0.210	0.470	2.480	0.230	0.546	2.500	0.230
10672	6.6942	45.6950	0.275	2.450	0.200	0.351	2.490	0.210	0.406	2.520	0.230	0.475	2.490	0.250
13557	6.6973	45.0430	0.311	2.440	0.200	0.392	2.520	0.210	0.469	2.480	0.230	0.545	2.500	0.230
13779	6.7029	44.9930	0.310	2.440	0.200	0.391	2.520	0.210	0.467	2.480	0.230	0.543	2.500	0.230

Qualora la pericolosità sismica del sito sul reticolo di riferimento non consideri il periodo di ritorno TR corrispondente alla VR e PVR fissate, il valore del generico parametro p ad esso corrispondente potrà essere ricavato per interpolazione (Figura 4.1), a partire dai dati relativi ai tempi di ritorno previsti nella pericolosità di base, utilizzando la seguente espressione dell'Allegato A alle NTC08:

$$\log(p) = \log(p_1) + \log\left(\frac{p_2}{p_1}\right) \cdot \log\left(\frac{p_2}{p_1}\right) \cdot \left[\log\left(\frac{T_{R2}}{T_{R1}}\right)\right]^{-1} \quad (4.1)$$

nella quale p è il valore del parametro di interesse (ag , Fo , TC^*) corrispondente al periodo di ritorno TR desiderato, mentre p_1 , p_2 è il valore di tale parametro corrispondente al periodo di ritorno TR_1 , TR_2 .

Per un qualunque punto del territorio non ricadente nei nodi del reticolo di riferimento, i valori dei parametri p possono essere calcolati come media pesata dei valori assunti da tali parametri nei quattro vertici della maglia elementare del reticolo di riferimento contenente il punto in esame, utilizzando l'espressione dell'Allegato A alle NTC08:

$$p = \frac{\sum_{i=1}^4 \frac{p_i}{d_i}}{\sum_{i=1}^4 \frac{1}{d_i}} \quad (4.2)$$

nella quale p è il valore del parametro di interesse (ag , Fo , TC^*) corrispondente al punto considerato, p_i è il valore di tale parametro nell' i -esimo vertice della maglia elementare contenente il punto in esame e d_i è la distanza del punto in esame dall' i -esimo vertice della suddetta maglia.

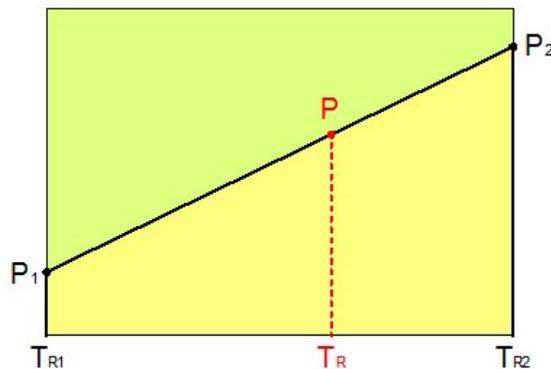


Figura 4.1 - Interpolazione dei periodi di ritorno, per ottenere i parametri di pericolosità sismica, in accordo alla procedura delle NTC08.

La procedura per interpolare le coordinate geografiche è schematizzata nella Figura 4.2

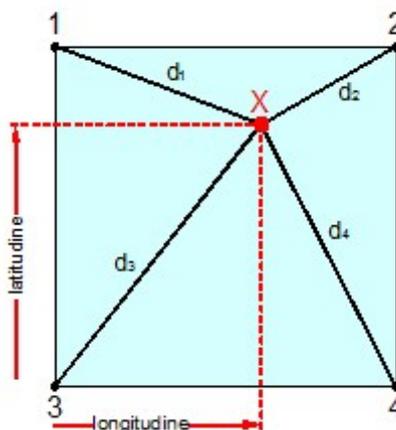


Figura 4.2 - Interpolazione delle coordinate geografiche, per ottenere i parametri di pericolosità sismica, in accordo alla procedura delle NTC08.

Pertanto per poter procedere all'interpolazione delle coordinate geografiche, in accordo alla procedura delle NTC08, bisogna calcolare le distanze che intercorrono tra i 4 punti del reticolo e il punto di interesse. Questo calcolo può essere eseguito approssimativamente utilizzando le formule della trigonometria sferica, che danno la distanza geodetica tra due punti, di cui siano note le coordinate geografiche. Utilizzando quindi il teorema di Eulero, la distanza d tra due punti, di cui siano note latitudine e longitudine, espresse però in radianti, si ottiene dall'espressione seguente:

$$d = R \cdot \arccos[\sin(\text{lat}\beta) \cdot \sin(\text{lat}\alpha) + \cos(\text{lat}\beta) \cdot \cos(\text{lat}\alpha) \cdot \cos(\text{lon}\alpha - \text{lon}\beta)] \quad (4.3)$$

dove $R = 6371$ è il raggio medio terrestre in km, mentre $\text{lat}\alpha$, $\text{lon}\alpha$, $\text{lat}\beta$ e $\text{lon}\beta$ sono la latitudine e la longitudine, espresse in radianti, di due punti A e B di cui si vuole calcolare la distanza. La formula di interpolazione sopra proposta, semplice da usare, presenta però l'inconveniente di condurre a valori di pericolosità lievemente diversi per punti affacciati ma appartenenti a maglie contigue. La modestia delle differenze (scostamenti in termini di PGA dell'ordine di $\pm 0,01g$ ossia della precisione dei dati) a fronte della semplicità d'uso, rende tale stato di cose assolutamente accettabile. Qualora si vogliano rappresentazioni continue della funzione interpolata, si dovrà ricorrere a metodi di interpolazione più complessi, ad esempio i polinomi di Lagrange.

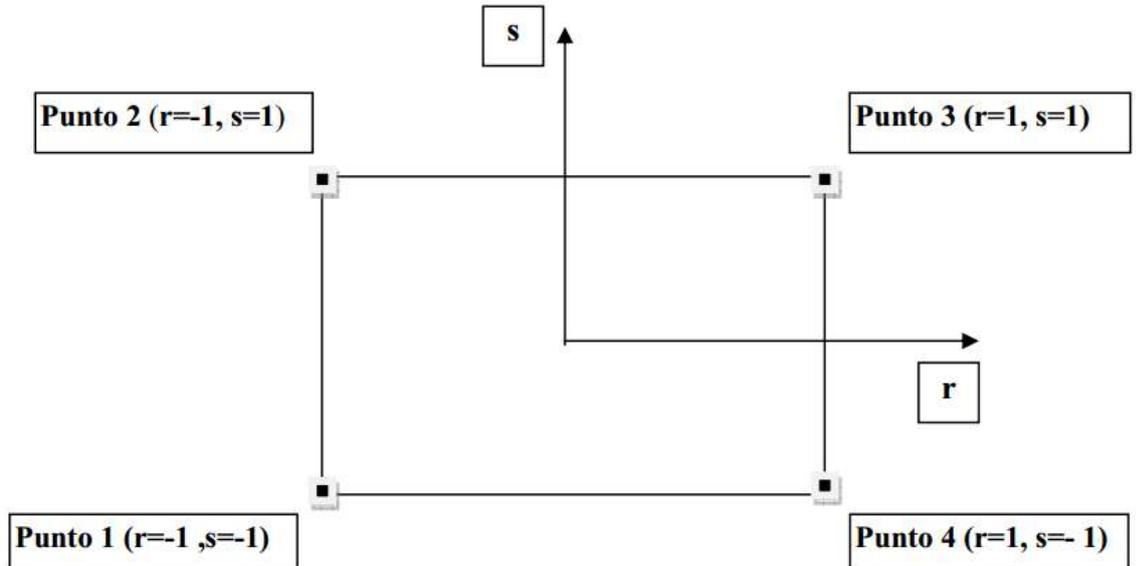


Figura 4.3 - Applicazione dell'interpolazione bilineare.

Definiti i 4 vertici di una generica maglia i polinomi di Lagrange sono così determinati:

$$h_1 = (1-r) \cdot (1-s)/4 \quad (4.4)$$

$$h_2 = (1-r) \cdot (1+s)/4 \quad (4.5)$$

$$h_3 = (1+r) \cdot (1+s)/4 \quad (4.6)$$

$$h_4 = (1+r) \cdot (1-s)/4 \quad (4.7)$$

Tra le coordinate x, y di un punto generico e le coordinate r, s dello stesso punto valgono le seguenti relazioni:

$$4x = \sum_{i=1}^4 h_i \cdot x_i = [(1-r) \cdot (1-s) \cdot x_1 + (1-r) \cdot (1+s) \cdot x_2 + (1+r) \cdot (1+s) \cdot x_3 + (1+r) \cdot (1-s) \cdot x_4] \quad (4.8)$$

$$4y = \sum_{i=1}^4 h_i \cdot y_i = [(1-r) \cdot (1-s) \cdot y_1 + (1-r) \cdot (1+s) \cdot y_2 + (1+r) \cdot (1+s) \cdot y_3 + (1+r) \cdot (1-s) \cdot y_4] \quad (4.9)$$

La soluzione del sistema di equazioni non lineari è ottenuta iterativamente e, tramite i valori di r ed s, si determinano i parametri ag, F0, Tc* dall'equazione:

$$4p = \sum_{i=1}^4 h_i \cdot p_i = [(1-r) \cdot (1-s) \cdot p_1 + (1-r) \cdot (1+s) \cdot p_2 + (1+r) \cdot (1+s) \cdot p_3 + (1+r) \cdot (1-s) \cdot p_4] \quad (4.10)$$

Dove p rappresenta il parametro cercato.

9.5 Pericolosità sismica di sito

Il moto generato da un terremoto in un sito dipende dalle particolari condizioni locali, cioè dalle caratteristiche topografiche e stratigrafiche dei depositi di terreno e degli ammassi rocciosi e dalle proprietà fisiche e meccaniche dei materiali che li costituiscono. Per la singola opera o per il singolo sistema geotecnico la risposta sismica locale consente di definire le modifiche che un segnale sismico subisce, a causa dei fattori anzidetti, rispetto a quello di un sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (sottosuolo di categoria A, definito al § 3.2.2). I coefficienti sismici orizzontale k_h e verticale k_v dipendono dal punto in cui si trova il sito oggetto di analisi e dal tipo di opera da calcolare. Il parametro di entrata per il calcolo è il tempo di ritorno (T_R) dell'evento sismico che è valutato come segue:

$$T_R = -\frac{V_R}{\ln(1 - P_{VR})} \quad (5.1)$$

Con V_R vita di riferimento della costruzione e P_{VR} probabilità di superamento, nella vita di riferimento, associata allo stato limite considerato. La vita di riferimento dipende dalla vita nominale della costruzione e dalla classe d'uso della costruzione (in linea con quanto previsto al punto 2.4.3 delle NTC). In ogni caso V_R non può essere inferiore a 35 anni.

Stabilità dei pendii e fondazioni

Nel caso di stabilità dei pendii i coefficienti k_h e k_v sono così determinati:

$$k_h = \beta_s \cdot \left(\frac{a_{\max}}{g} \right) \quad (5.2)$$

$$k_v = \pm 0.5 \cdot k_h \quad (5.3)$$

Con

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

a_{\max} accelerazione orizzontale massima attesa al sito;

g accelerazione di gravità.

I valori di β_s sono riportati nella tabella 5.1.

Tabella 5.1- Coefficienti di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito.

	Categoria di sottosuolo	
	A	B, C, D, E
	β_s	β_s
$0.2 < ag(g) \leq 0.4$	0.30	0.28
$0.1 < ag(g) \leq 0.2$	0.27	0.24
$ag(g) \leq 0.1$	0.20	0.20

Tutti i fattori presenti nelle precedenti formule dipendono dall'accelerazione massima attesa al sito di riferimento rigido e dalle caratteristiche geomorfologiche del territorio.

$$a_{\max} = S_S \cdot S_T \cdot a_g \quad (5.4)$$

SS (effetto di amplificazione stratigrafica) ($0.90 \leq S_s \leq 1.80$) è funzione di *F0* (Fattore massimo di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale) e della categoria di suolo (A, B, C, D, E). e del rapporto *ag/g*. *ST* (effetto di amplificazione topografica), varia con il variare delle quattro categorie topografiche: **T1**: *ST* = 1.0; **T2**: *ST* = 1.20; **T3**: *ST* = 1.20; **T4**: *ST* = 1.40.

Per il sito d'indagine l'analisi della pericolosità sismica di base è la seguente.

Vita nominale (*Vn*): 50 [anni]

Classe d'uso: II

Coefficiente d'uso (*Cu*): 1

Periodo di riferimento (*Vr*): 50 [anni]

Periodo di ritorno (*Tr*) SLO: 30 [anni]

Periodo di ritorno (*Tr*) SLD: 50 [anni]

Periodo di ritorno (*Tr*) SLV: 475 [anni]

Periodo di ritorno (*Tr*) SLC: 975 [anni]

Tipo di interpolazione: Media ponderata

Coordinate geografiche del punto

Latitudine (WGS84): 40.7340584 [°]

Longitudine (WGS84): 16.7234898 [°]

Realizzazione di impianto fotovoltaico denominato "Fattoria Solare Fontana Rossa" – Santeramo in Colle (BA) – Fg. 104, P.lle 124-125-126-36-89-69-88-49-90-52-91 - Relazione Geologica, Geotecnica ed Idrogeologica

Latitudine (ED50): 40.7350426 [°]

Longitudine (ED50): 16.7243042 [°]

Coordinate dei punti della maglia elementare del reticolo di riferimento che contiene il sito e valori della distanza rispetto al punto in esame

Punto	ID	Latitudine (ED50) [°]	Longitudine (ED50) [°]	Distanza [m]
1	33460	40.738700	16.723470	412.62
2	33461	40.736790	16.789390	5487.21
3	33683	40.686830	16.786860	7519.42
4	33682	40.688740	16.721000	5156.25

Parametri di pericolosità sismica per TR diversi da quelli previsti nelle NTC, per i nodi della maglia elementare del reticolo di riferimento

Punto 1

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0.034	2.454	0.271
SLD	50	0.043	2.475	0.303
	72	0.051	2.531	0.324
	101	0.058	2.587	0.338
	140	0.069	2.486	0.350
	201	0.078	2.535	0.358
SLV	475	0.103	2.645	0.376
SLC	975	0.127	2.682	0.410
	2475	0.163	2.759	0.426

Punto 2

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0.033	2.442	0.270
SLD	50	0.042	2.475	0.303
	72	0.049	2.515	0.324
	101	0.057	2.580	0.336
	140	0.066	2.535	0.348
	201	0.076	2.546	0.357
SLV	475	0.101	2.633	0.372
SLC	975	0.124	2.691	0.406
	2475	0.159	2.772	0.420

Punto 3

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0.035	2.438	0.277
SLD	50	0.045	2.502	0.298
	72	0.054	2.549	0.320
	101	0.063	2.566	0.328
	140	0.075	2.516	0.334
	201	0.088	2.489	0.338
SLV	475	0.123	2.535	0.344
SLC	975	0.159	2.543	0.349
	2475	0.209	2.607	0.352

Punto 4

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0.036	2.451	0.278
SLD	50	0.046	2.516	0.297

Realizzazione di impianto fotovoltaico denominato "Fattoria Solare Fontana Rossa" – Santeramo in Colle (BA) – Fg. 104, P.lle 124-125-126-36-89-69-88-49-90-52-91 - Relazione Geologica, Geotecnica ed Idrogeologica

	72	0.055	2.555	0.320
	101	0.066	2.524	0.329
	140	0.076	2.505	0.337
	201	0.090	2.489	0.340
SLV	475	0.126	2.529	0.347
SLC	975	0.161	2.548	0.353
	2475	0.210	2.624	0.358

Punto d'indagine

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0.034	2.452	0.272
SLD	50	0.043	2.479	0.303
SLV	475	0.105	2.631	0.372
SLC	975	0.131	2.668	0.403

Coefficiente di smorzamento viscoso ξ : 5 %

Fattore di alterazione dello spettro elastico $\eta=[10/(5+\xi)]^{(1/2)}$: 1,000

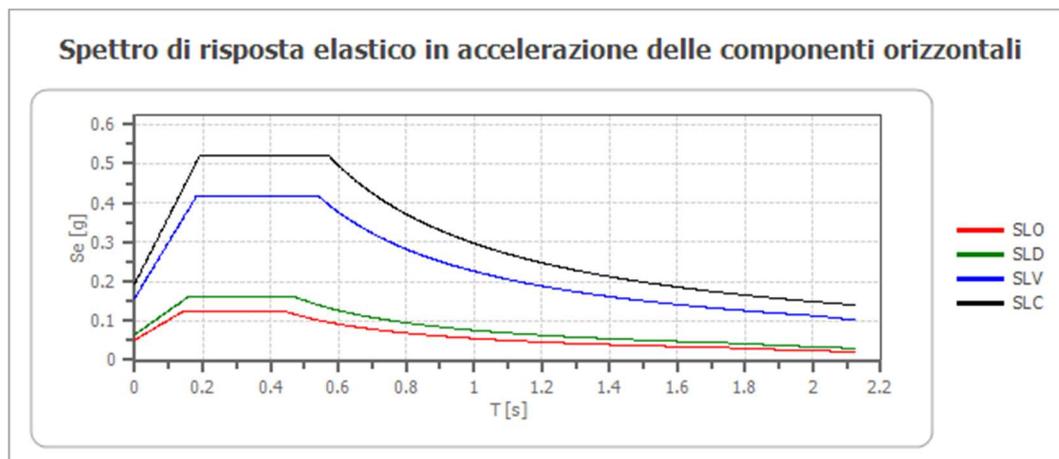
Categoria sottosuolo: C

Categoria topografica: T1

Coefficienti sismici stabilità di pendii e fondazioni

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.010	0.013	0.038	0.047
kv	0.005	0.006	0.019	0.023
amax [m/s ²]	0.503	0.636	1.551	1.911
Beta	0.200	0.200	0.240	0.240

Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali



	cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	η [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]
SLO	1.0	0.034	2.452	0.272	1.500	1.610	1.000	1.500	1.000	0.146	0.437	1.737	0.051	0.126
SLD	1.0	0.043	2.479	0.303	1.500	1.560	1.000	1.500	1.000	0.157	0.472	1.773	0.065	0.161
SLV	1.0	0.105	2.631	0.372	1.500	1.460	1.000	1.500	1.000	0.181	0.543	2.022	0.158	0.416
SLC	1.0	0.131	2.668	0.403	1.490	1.420	1.000	1.490	1.000	0.191	0.572	2.123	0.195	0.520

Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti verticali

Coefficiente di smorzamento viscoso ξ : 5 %

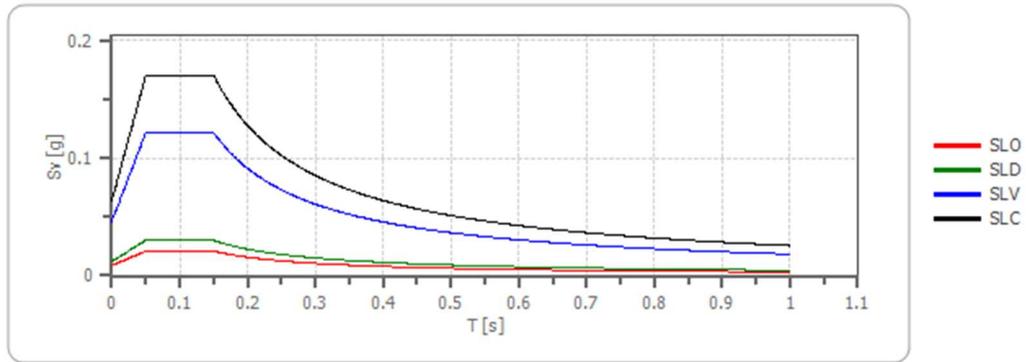
Fattore di alterazione dello spettro elastico $\eta=[10/(5+\xi)]^{(1/2)}$: 1,000

Dott. Geol. Antonello Fabiano – Via San Lorenzo 209, 72021 Francavilla Fontana (BR)
Cell: 3497892919

E-Mail: antonello.fabiano@libero.it
Sito Web: www.antonellofabiano.it

Realizzazione di impianto fotovoltaico denominato "Fattoria Solare Fontana Rossa" – Santeramo in Colle (BA) – Fg. 104, P.lle 124-125-126-36-89-69-88-49-90-52-91 - Relazione Geologica, Geotecnica ed Idrogeologica

Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti verticali



	cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	η [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]
SLO	1.0	0.034	2.452	0.272	1	1.610	1.000	1.000	1.000	0.050	0.150	1.000	0.009	0.021
SLD	1.0	0.043	2.479	0.303	1	1.560	1.000	1.000	1.000	0.050	0.150	1.000	0.012	0.030
SLV	1.0	0.105	2.631	0.372	1	1.460	1.000	1.000	1.000	0.050	0.150	1.000	0.046	0.122
SLC	1.0	0.131	2.668	0.403	1	1.420	1.000	1.000	1.000	0.050	0.150	1.000	0.064	0.170

Spettro di progetto

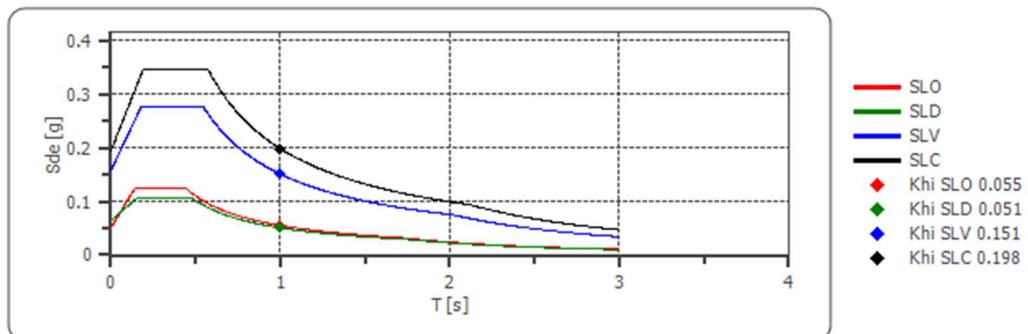
Fattore di struttura spettro orizzontale q : 1,50

Fattore di struttura spettro verticale q : 1,50

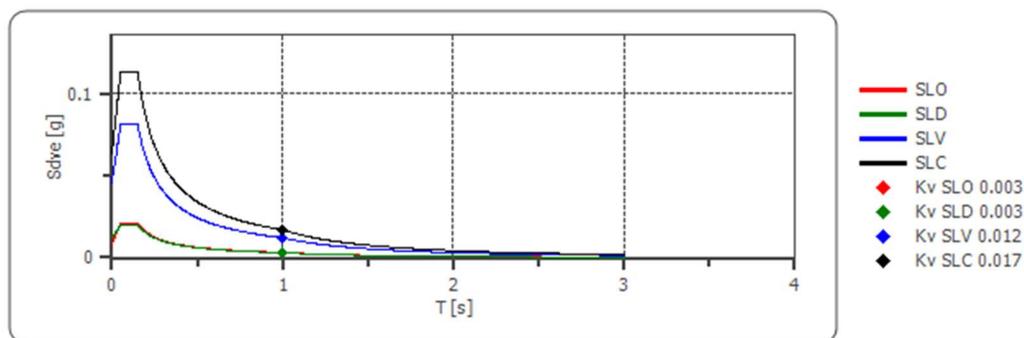
Periodo fondamentale T : 1,00 [s]

	SLO	SLD	SLV	SLC
$k_{hi} = S_{de}(T)$ Orizzontale [g]	0.055	0.051	0.151	0.198
$k_{v} = S_{dve}(T)$ Verticale [g]	0.003	0.003	0.012	0.017

Spettro di progetto delle componenti orizzontali



Spettro di progetto delle componenti verticali



	cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	q [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Sd(0) [g]	Sd(TB) [g]
SLO orizzontale	1.0	0.034	2.452	0.272	1.500	1.610	1.000	1.500	1.000	0.146	0.437	1.737	0.051	0.126
SLO verticale	1.0	0.034	2.452	0.272	1.500	1.610	1.000	1.000	1.000	0.050	0.150	1.000	0.009	0.021
SLD orizzontale	1.0	0.043	2.479	0.303	1.500	1.560	1.000	1.500	1.500	0.157	0.472	1.773	0.065	0.107
SLD verticale	1.0	0.043	2.479	0.303	1.500	1.560	1.000	1.000	1.500	0.050	0.150	1.000	0.012	0.020
SLV orizzontale	1.0	0.105	2.631	0.372	1.500	1.460	1.000	1.500	1.500	0.181	0.543	2.022	0.158	0.277
SLV verticale	1.0	0.105	2.631	0.372	1.500	1.460	1.000	1.000	1.500	0.050	0.150	1.000	0.046	0.081
SLC orizzontale	1.0	0.131	2.668	0.403	1.490	1.420	1.000	1.490	1.500	0.191	0.572	2.123	0.195	0.347
SLC verticale	1.0	0.131	2.668	0.403	1.490	1.420	1.000	1.000	1.500	0.050	0.150	1.000	0.064	0.114

10. Caratterizzazione geotecnica dei litotipi

La raccolta dei dati dei principali parametri geotecnici, si è basata su dati derivanti dalla bibliografia riguardante i caratteri geotecnici dei terreni della Città di Santeramo in Colle e dalle indagini eseguite. A tal proposito è doveroso sottolineare che i parametri che verranno di seguito illustrati, sono del tutto indicativi e che solo un'adeguata campagna di indagini dirette in sito con prelievo di campioni da sottoporre ad opportune analisi di laboratorio può fornire valori

esatti quanto inconfutabili e indiscutibilmente riferibili alle litologie caratterizzanti l'area di progetto.

Si possono considerare i seguenti valori indicativi riferiti alle unità sismostratigrafiche individuate dall'indagine sismica eseguita:

	VP (m/s)		VS (m/s)		ϕ (°)		Poisson		Densità (KN/m ³)	
UsC	350	450	140	180	24.4	24.6	0.40	0.40	15.2	16.0
UsL₁	550	700	150	190	24.4	24.7	0.46	0.46	16.6	17.4
UsL₂	900	1200	180		24.7	24.2	0.48	-	18.2	19.2

	Young Din. (Mpa)		Shear (Mpa)		Bulk (Mpa)		Young stat. (Mpa)		K – Winkler (N/mm ³)	
UsC	84	145	30	52	147	254	10	17	0.004	0.006
UsL₁	109	183	37	63	452	768	13	22	0.004	0.007
UsL₂	175	-	59	-	1397	-	21	-	0.006	-

11.Opere di Connessione alla RTN

Come già menzionato nei paragrafi precedenti, il campo agrovoltaiico, per mezzo della stazione a 36 kV, sarà connesso alla rete elettrica nazionale mediante un cavidotto interrato che avrà una lunghezza di circa 4,5 Km. Esso insisterà quasi totalmente nel territorio del comune di Santeramo in Colle, e soltanto per il tratto di arrivo alla stazione elettrica di Terna, interesserà il comune di Matera. Il cavidotto percorrerà la viabilità pubblica (strade asfaltate), e più precisamente la strada comunale n. 43 "Menatoria di Cipolla" per un tratto di circa 1,2 Km, la strada Provinciale n. 140 per un tratto di circa 3,0 Km, e per quasi 300 metri su strada di servizio che conduce alla stazione Terna esistente, per poi terminare con un ultimo breve tratto che arriva nell'area della stazione elettrica dove avverrà la connessione. La soluzione tecnica di connessione prevede che l'impianto sia collegato in antenna a 36 kV sul futuro ampliamento della stazione elettrica di trasformazione 380/150 kV della RTN Terna esistente nella zona Jesce del comune di Matera.

Dal punto di vista delle caratteristiche geologiche, geotecniche ed idrogeologiche dell'area di sedime del cavidotto nonché della stazione di trasformazione, si ribadisce quanto già indicato nei paragrafi precedenti.

Conclusioni

Nell'ambito del progetto di realizzazione di un impianto fotovoltaico denominato "Fattoria Solare Fontana Rossa" in agro di Santeramo in Colle (BA) alla Loc. "P.zzo dell'Albero", è stata redatta la presente relazione al fine di individuare preliminarmente le caratteristiche geologiche dell'area d'intervento. Il sito di progetto è situato alla quota compresa tra i 360 ed i 370 m s.l.m. Nel sottosuolo sono presenti depositi sabbiosi e sabbioso-limosi: si rinvennero al di sotto della coltre di terreno vegetale con spessori variabili da un minimo di 5 m ad un massimo di 10 m. Sono costituiti da sabbie, sabbie debolmente limose con ciottoli calcarenitici e spesso sede, come nel caso in esame, di una falda sostenuta dalle sottostanti argille e che si attesta ad una profondità di 4 m dal p.c.

Trattandosi di un terreno granulare con bassi valori di coesione, la stabilità di eventuali pareti scavo dovrà essere assicurata, anche in fase di realizzazione, da idonee opere di sostegno. Nella classificazione sismica nazionale, l'area ricade nella zona 3 e sulla scorta delle nuove Norme Tecniche per le Costruzioni la Classe d'uso è la Classe II. Le indagini sismiche eseguite hanno rilevato un valore di V_{sequ} **pari a 317 m/s** ad una profondità di posa della fondazione di circa -1.0 m dal p.c. Pertanto per le NTC 2018 il valore V_{Seq} è assimilabile, nell'approccio semplificato, alla **categoria C**. Si precisa che la sola indagine sismica, ai fini della definizione inconfutabile delle litologie, consente solo di avere un'idea della stratigrafia del sottosuolo, delle sue caratteristiche geotecniche e della profondità della falda. Ulteriori indagini di tipo diretto ed indiretto, potranno definire ulteriormente e con maggior definizione i rapporti stratigrafici dei terreni costituenti il sedime dell'area di progetto.

Dalle tavole del PAI l'area di intervento è situata al di fuori da zone perimetrare dall'Autorità di Bacino della Puglia quali zone a rischio, zone a pericolosità idrogeologica e zone a pericolosità geomorfologica. Le particelle 89 e 126 del Foglio 104 sono in parte interessate da Media ed Alta Pericolosità idraulica così come individuate nel P.G.R.A. (Piano di Gestione del rischio alluvioni). Pertanto nel layout di progetto dell'impianto, tali porzioni non sono interessate da alcuna opera progettuale. Immediatamente a Nord ed a Sud dell'area di intervento, sia nella carta idrogeomorfologica che nella cartografia IGM 1:25000, sono cartografati due corsi d'acqua a carattere episodico. Pertanto, l'intervento in progetto, ricade all'interno delle aree fluviali in modellamento attivo ed aree golenali nonché nelle fasce di pertinenza fluviale così come definite dagli artt. 6 e 10 delle NTA del PAI. Al fine di definire la compatibilità idrologica ed idraulica dell'intervento è stata redatta una relazione idro-geo-morfologica e di compatibilità idraulica, a firma dello scrivente, ed alla quale si rimanda per ulteriori approfondimenti.

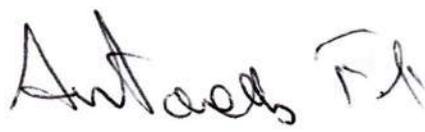
Nel territorio oggetto di indagine, infine, in occasione di eventi meteorici di forte entità, non sono da escludere formazione di ristagni superficiali e temporanei, solchi erosivi, ovvero trasporti e/o accumuli, se pur modesti, di terreno. A tal proposito si evidenzia che la litologia costituente l'area indagata è caratterizzata da depositi sabbiosi e sabbioso-limosi, caratterizzati da valori di permeabilità medi. Tale caratteristica implica, solo nel caso di precipitazioni di notevole entità, tempi più lunghi per l'assorbimento delle acque da parte dei terreni. Tale condizione può comportare, probabilmente, la formazione di ristagni di acqua esclusivamente temporanei, di profondità estremamente trascurabile e che si estingueranno nel momento in cui i terreni assorbiranno tutta l'acqua presente in superficie. Per le loro caratteristiche ed in virtù dei dati attualmente a disposizione, tali ristagni, non si ritiene possano determinare problematiche in riferimento alle opere a farsi. Infine, se si considera la porzione di terreno al di fuori delle aree di modellamento attivo e di pertinenza fluviale (art. 6 ed art. 10 NTA del PAI) dei reticoli presenti a Nord ed a Sud, l'andamento delle quote, per

come è possibile notare dal DTM 8x8 disponibile sul SIT Puglia, non evidenzia variazioni e differenze tali da determinare un forte e concentrato ruscellamento delle acque superficiali tanto da implicare problematiche legate a trascinamenti di strutture o manufatti che saranno presenti ad opera ultimata.

In ogni caso, ulteriori elementi potranno essere assunti in corso d'opera considerando i dati ottenuti con osservazioni e misurazioni nel corso dei lavori, allo scopo di ottenere il migliore adeguamento dell'opera alla situazione riscontrata. Infatti va comunque effettuata la verifica costante in fase di realizzazione dell'opera per intervenire su qualsiasi tipologia di nuovi elementi che dovessero evidenziarsi nell'esecuzione dei lavori quali, ad esempio, problematiche legate alle caratteristiche geotecniche del terreno costituente l'area di sedime dell'opera.

Francavilla Fontana, 03/03/2023

dott. Geol. Antonello FABIANO

TAVOLE IN ALLEGATO E RELAZIONE SULLE INDAGINI ESEGUITE

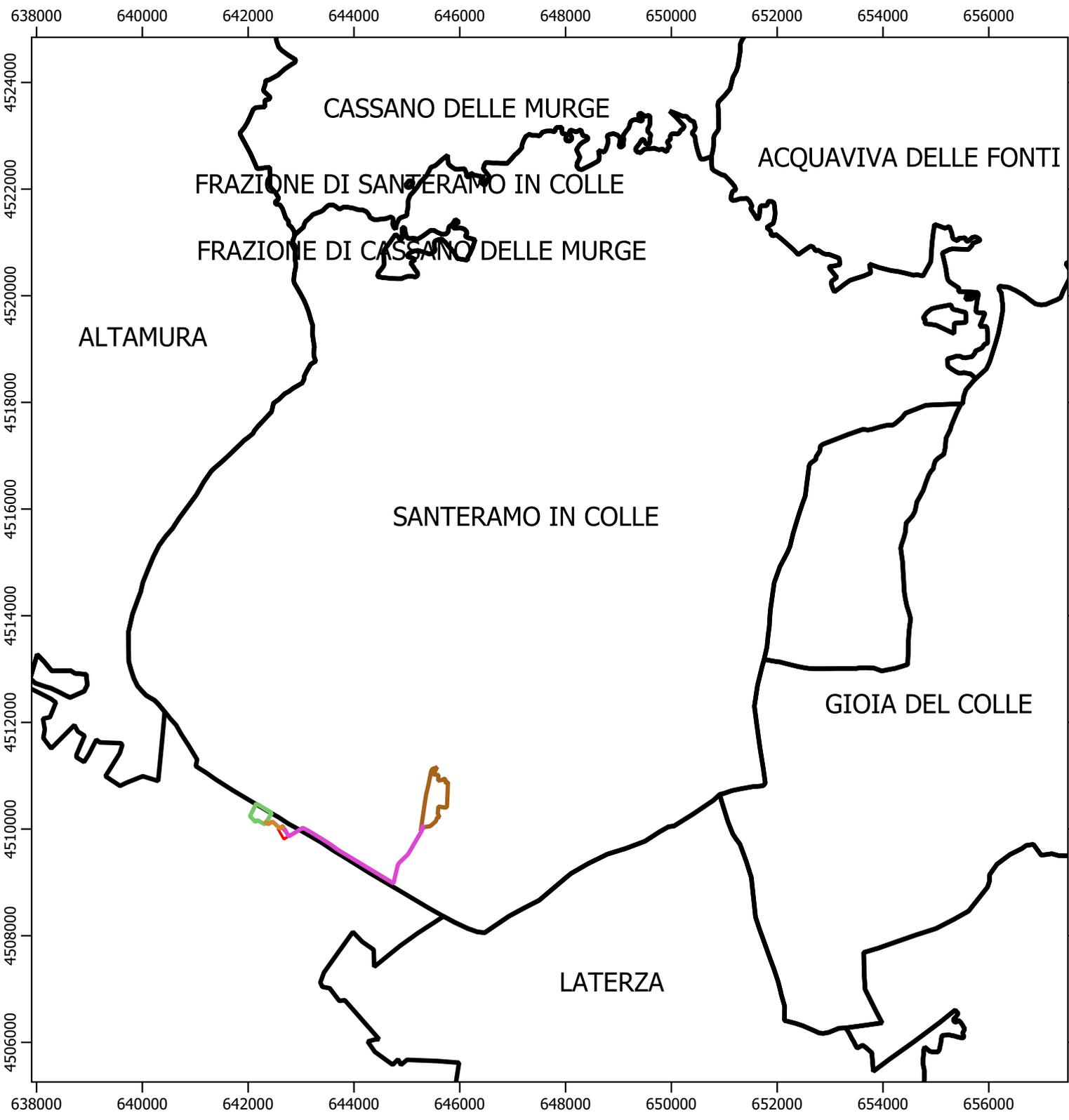


TAVOLA 1 - Cartografia Amministrativa

dott. Geol. Antonello Fabiano

Legenda

- Cavidotto AT impianto e staz. satellite
- Cavidotto AT stazione satellite e sottostaz. Terna
- Stazione satellite
- Catastale
- Sottostazione Terna
- LIMITI COMUNALI

Scala 1:100000 - UTM WGS84 Zona 33N

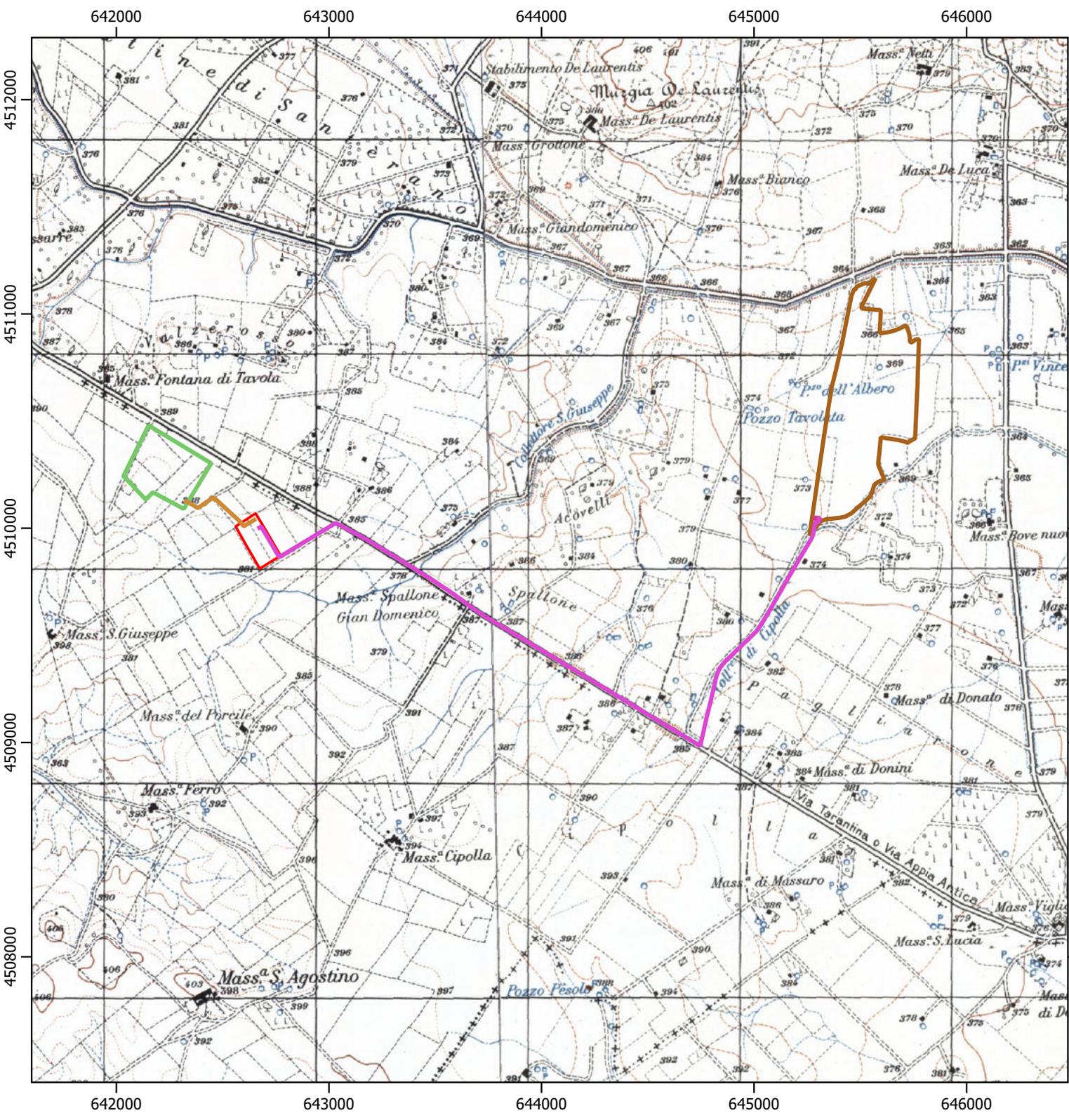


TAVOLA 2 - Carta topografica d'Italia IGM
1:25.000

dott. Geol. Antonello Fabiano

Legenda

- Cavidotto AT impianto e stazione satellite
- Cavidotto AT stazione satellite e sottostaz. Terna
- Stazione satellite
- Catastale
- Sottostazione Terna

Scala 1:25000 - UTM WGS84 Zona
33N



TAVOLA 3 - Ortofoto (Google 2018)

dott. Geol. Antonello Fabiano

Legenda

-  Cavidotto AT impianto e stazione satellite
-  Cavidotto AT stazione satellite e sottostaz. Terna
-  Stazione satellite
-  Catastale
-  Sottostazione Terna

Scala 1:20000 - UTM WGS84 Zona 33N



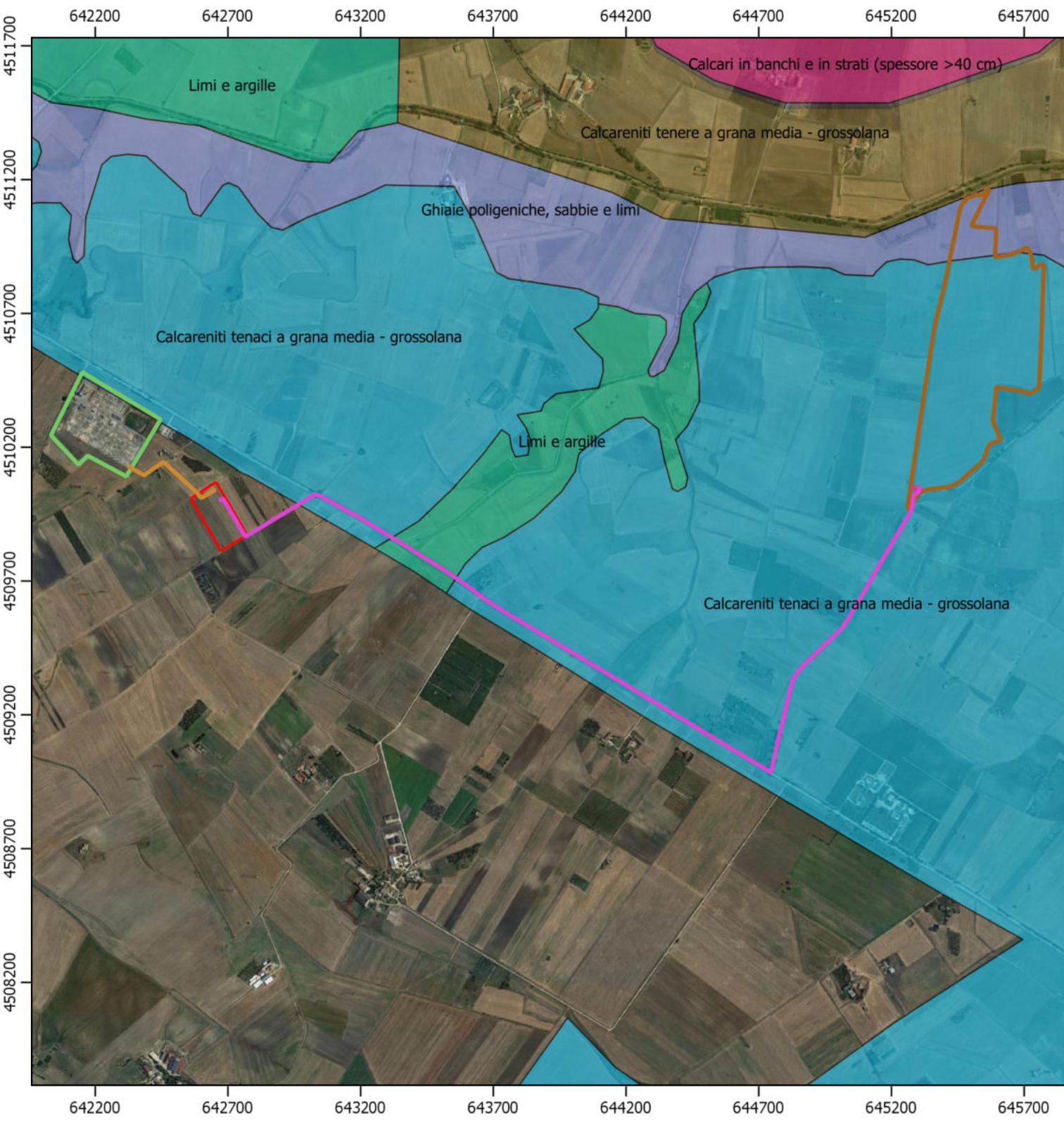


TAVOLA 4 - Carta Geologica di dettaglio

dott. Geol. Antonello Fabiano

Legenda

- Cavidotto AT impianto e stazione satellite
- Cavidotto AT stazione satellite e sottostaz.Terna
- Stazione satellite
- Catastale
- Sottostazione Terna
- Calcareni tenaci a grana media - grossolana
- Calcareni teneri a grana media - grossolana
- Calcari in banchi e in strati (spessore >40 cm)
- Ghiaie poligeniche, sabbie e limi
- Limi e argille

Scala 1:20000 - UTM WGS84 Zona 33N

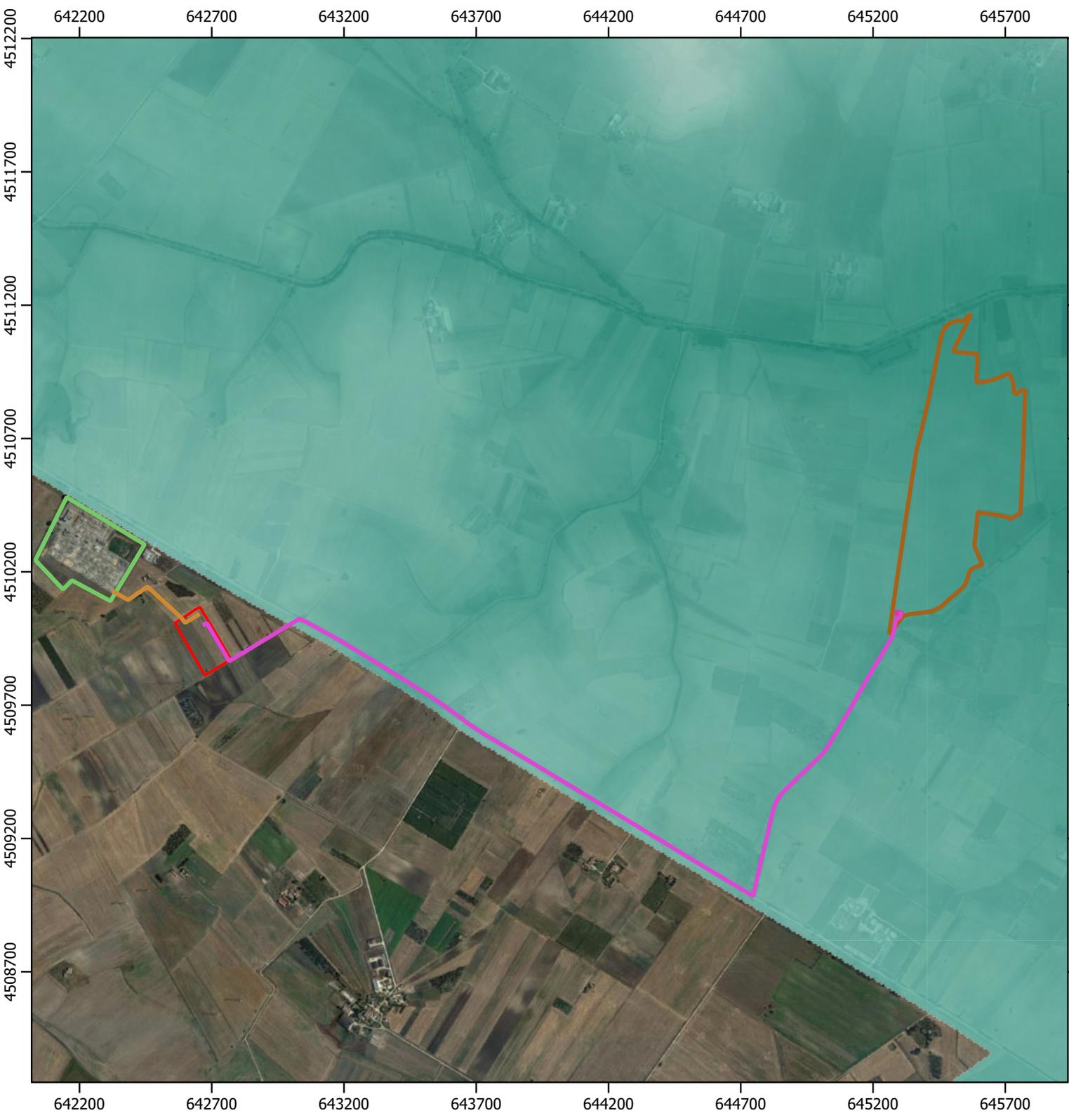


TAVOLA 5 - Digital Terrain Model (DTM)

dott. Geol. Antonello Fabiano

Legenda

- Cavidotto AT impianto e stazione satellite
- Cavidotto AT stazione satellite e sottostaz.Terna
- Stazione satellite
- Catastale
- Sottostazione Terna

Quota m s.l.m..

- 348.137390136719
- 389.553161621094
- 430.968933105469
- 472.384704589844
- 513.800476074219

Scala 1:20000 - UTM WGS84 Zona 33N



TAVOLA 6 - Reticolo Idrografico Carta
Idrogeomorfologica (Foglio 473)

dott. Geol. Antonello Fabiano

Legenda

-  Cavidotto AT impianto e stazione satellite
-  Cavidotto AT stazione satellite e sottostaz.Terna
-  Stazione satellite
-  Catastale
-  Sottostazione Terna

473_reticolo

-  Corso d'acqua episodico
-  473_grotte

473_cave

-  Cava abbandonata

Scala 1:20000 - UTM WGS84 Zona
33N





TAVOLA 7A - Piano di Assetto Idrogeologico (PAI) - Aree a pericolosità di inondazione

dott. Geol. Antonello Fabiano

Legenda

- Cavidotto AT impianto e stazione satellite
- Cavidotto AT stazione satellite e sottostaz. Terna
- Stazione satellite
- Catastale
- Step Up

Pericolosità per inondazione

Pericolosità

- AP (Alta)
- MP (Media)
- BP (Bassa)

Scala 1:20000 - UTM WGS84 Zona 33N



TAVOLA 7B - Piano di Assetto Idrogeologico (PAI) (Aree a Pericolosità Geomorfologica)

dott. Geol. Antonello Fabiano

Legenda

- Cavidotto AT impianto e stazione satellite
- Cavidotto AT stazione satellite e sottostaz. Terna
- Stazione satellite
- Catastale
- Sottostazione Terna

Pericolosità Geomorfologica

- PG2
- PG3

Scala 1:20000 - UTM WGS84 Zona 33N



**CITTA' METROPOLITANA DI BARI
COMUNE DI SANTERAMO IN COLLE**



COMMITTENTE:

Dott. Geol. FABIANO Antonello

via San Lorenzo 209/C
FRANCAVILLA FONTANA (BR) - 72021

PROGETTO:

Indagine geofisica mediante sismica a rifrazione e tecnica
MASW di supporto alla Relazione Geologica



**Relazione Tecnica
Indagini Sismiche**

**Acquisizione, Processing,
Interpretazione eseguite
da:**

Dott. Geol. Pierpaolo Moretti
Phd in Geofisica Applicata

Dott. Davide de Palma
Dottore in Scienze Geofisiche

1. INTRODUZIONE E NORMATIVA DI RIFERIMENTO

La presente relazione tecnica riferisce sui risultati della campagna di indagine geofisica eseguita in data 18/10/2021 mediante l'esecuzione di un profilo di sismica a rifrazione in onde P ed un profilo *MASW*.

La campagna di indagine è stata eseguita in un'area ubicata (fig.1, fig.2) in agro di *Santeramo (BA)* a SUD-SUD_OVEST del centro abitato.

Lo studio, come da piano di indagine, ha seguito il seguente sviluppo:

- n°1 prospezione di sismica a rifrazione in onde P (*REF01*).
- n°1 prospezione *Multichannel analysis of Surface Waves (MASW01)*
- Elaborazione dei dati raccolti.

Risultati attesi dalla prospezione sismica (MASW, Rifrazione)

Lo scopo dell'indagine, oltre alla stima del parametro V_{Seq} (*VS equivalente*) caratteristico dell'area, ovvero la velocità equivalente delle onde sismiche di taglio rispetto alla quota di imposta della fondazione, così come previsto da:

- **D. Min. Infrastrutture 17/01/2018**
- **Circ. Min. Infrastrutture e Trasporti 02/02/2009, n. 617 C.S.LL.PP.** (Suppl.Ord. alla G.U. 26.2.2009, n. 47 – *Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14 gennaio 2008*)

è quello di offrire un contributo all'implementazione di un modello geologico - geotecnico dell'area di indagine.

Mediante l'indagine di sismica a rifrazione in onde P si è potuto caratterizzare la stratigrafia sismica del sottosuolo in termini di spessori e velocità sismiche in onde P (V_p);
Inoltre, attraverso relazioni (cfr. 6.4) tra valori di V_p (sismica a rifrazione) e V_s (*MASW*) è stato possibile ottenere una stima dei moduli dinamici caratterizzanti i litotipi oggetto di studio.

Le indagini sono state condotte seguendo linee guida nazionali ed internazionali:

- **Linee guida per indagini geofisiche A.S.G** (*Associazione Società di Geofisica*)
- **ASTM D 5777 - 95** (*Standard Guide for Using the Seismic Refraction Method for Subsurface Investigation*).

2. UBICAZIONE INDAGINI

L'area di indagine (fig.1) è ubicata in un'area ubicata (fig.1, fig.2) in agro di *Santeramo (BA)* a SUD-SUD_OVEST del centro abitato.

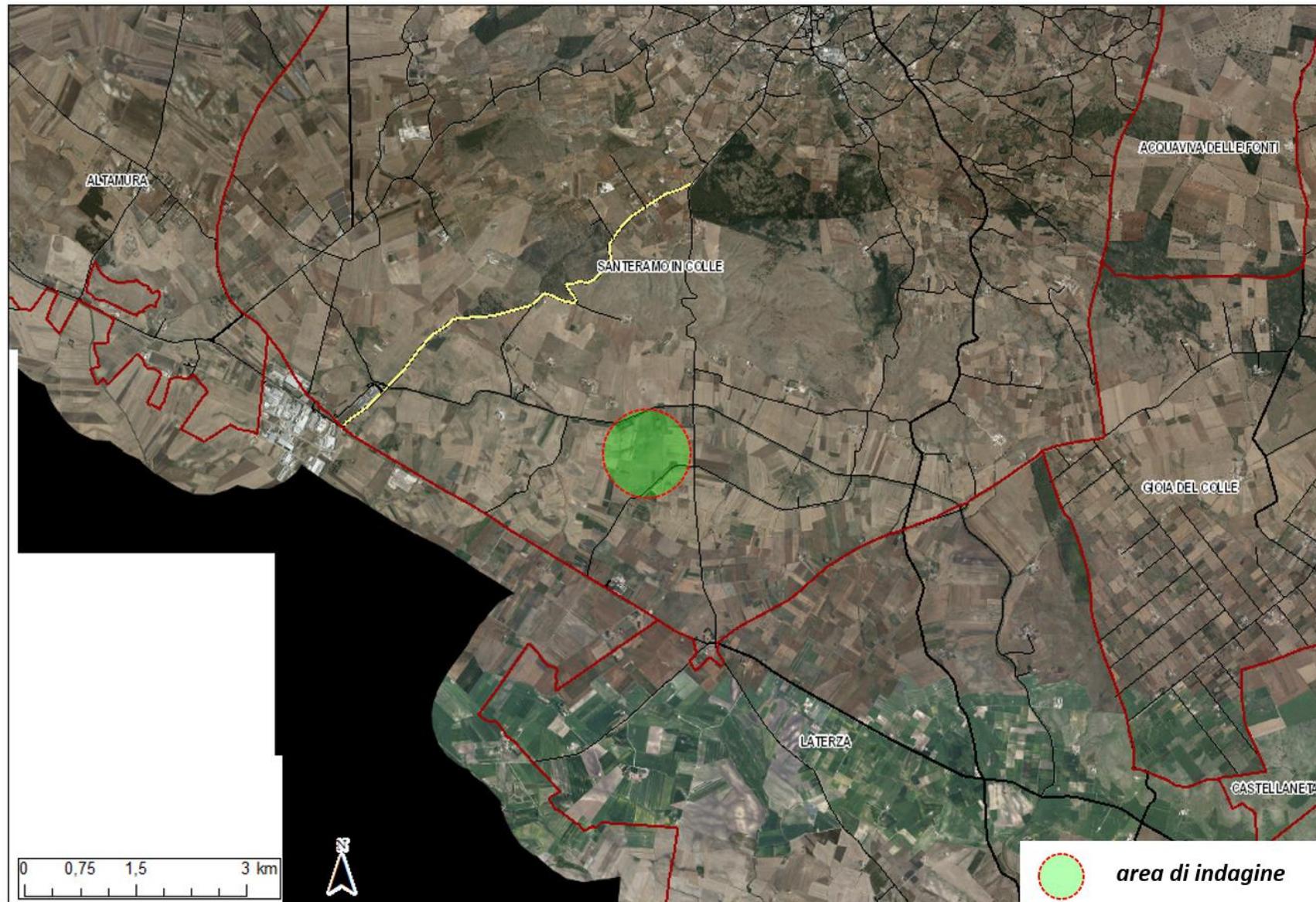


Fig. 1 – ubicazione area di indagine (© CTR- SIT PUGLIA).



Fig. 2 – ubicazione indagine sismica (©Google Earth).

3. DESCRIZIONE DEI METODI

3.1 Sismica 2D in onde P

Le indagini di sismica a rifrazione permettono la ricostruzione delle geometrie e degli spessori dei depositi di copertura, le profondità del substrato (entro i limiti di penetrazione del metodo), la verifica di eventuali discontinuità laterali nonché di determinare le caratteristiche fisico-meccaniche dei materiali attraverso la determinazione dei moduli elastici dinamici mediante correlazioni tra i valori di V_p e V_s ed i suddetti parametri. Il metodo sismico a rifrazione si basa sul concetto della birifrazione delle onde elastiche a seguito del fronte d'onda conico. Data una sorgente di onde elastiche ed uno stendimento di geofoni lungo un profilo giungeranno in superficie ai geofoni onde dirette, onde riflesse ed onde rifratte. Tali onde giungono sulla superficie rifrangente (discontinuità individuata fra due corpi aventi proprietà meccaniche diverse) con un angolo di incidenza critico (legge di *Snell*) e vengono quindi rifratte con un angolo di 90° propagandosi parallelamente alla superficie rifrangente e venendo nuovamente rifratte verso la superficie con lo stesso angolo di incidenza. I contrasti di proprietà alla base di tale fenomeno possono essere legati a cause stratigrafiche, strutturali, idrogeologiche. Sulla superficie da investigare si posizionano i trasduttori verticali sensibili al del moto del suolo (velocimetri o accelerometri) ad una certa distanza dalla sorgente sismica che può essere per la generazione di onde P, una massa battente (diversamente applicata e guidata), un fucile sismico o una carica esplosiva a seconda della lunghezza dello stendimento e della profondità di indagine richiesta. Nell'indagine sismica a rifrazione i trasduttori rilevano le onde rifratte che viaggiano a velocità più elevata. Conoscendo i tempi di primo arrivo e la distanza geofono-sorgente, tramite l'analisi delle curve dei primi arrivi ad ogni trasduttore (dromocrone) si può determinare la velocità dei vari strati; da qui produrre una stratigrafia sismica da correlare alle formazioni geologiche o discontinuità presenti nella serie investigata nel sottosuolo. Le indagini di sismica a rifrazione si basa sulla determinazione dei primi arrivi (*First Break Picking*) i quali sottoposti ad un apposito algoritmo di inversione, permette di ricostruire la distribuzione bidimensionale delle velocità sismiche.

3.2 MASW

Il metodo *MASW*, *Multichannel Analysis of Surface Waves*, (*Park et al., 1999*) è una tecnica di indagine 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. La determinazione delle V_s viene ottenuta tramite inversione delle curve di dispersione delle onde di *Rayleigh*. In un mezzo stratificato le onde di *Rayleigh* sono dispersive, cioè onde con diverse lunghezze d'onda si propagano con diverse velocità di fase e velocità di gruppo (*Achenbach, J.D., 1999, Aki, K. and Richards, P.G., 1980*) o detto in maniera equivalente la velocità di fase (o di gruppo) apparente delle onde di *Rayleigh* dipende dalla frequenza di propagazione. La natura dispersiva delle onde superficiali e correlabile al fatto che onde ad alta frequenza con lunghezza d'onda corta si propagano negli strati più superficiali e quindi danno informazioni sulla parte più superficiale del suolo, invece onde a bassa frequenza si propagano negli strati più profondi e quindi interessano gli strati più profondi del suolo. A partire dall'intero campo d'onda, acquisito in campagna utilizzando un numero variabile di geofoni (di solito 12-24) allineati a spaziatura regolare (similmente a un classico esperimento di sismica a rifrazione), l'obbiettivo del metodo è di derivare una curva di dispersione sperimentale velocità di fase – frequenza ($cf - f$), la cui forma è associata alle proprietà meccaniche del terreno da indagare. Dato che le onde superficiali mostrano le ampiezze e le durate maggiori nel dominio spazio-tempo, anche nel dominio frequenza-velocità di fase, i massimi dello spettro saranno relativi alle differenti frequenze con cui si propagano le onde superficiali stesse. Dall'estrazione delle

coppie frequenza velocità di fase corrispondenti ai massimi d'intensità dello spettro si deriva la curva di dispersione sperimentale. In realtà, l'interpretazione degli spettri risulta spesso complicata dall'intrecciarsi dei modi superiori rispetto a quello fondamentale e/o alla generazione e propagazione di onde guidate. Per la definizione del profilo di velocità delle onde di taglio è poi necessario procedere alla fase d'inversione della curva di dispersione per ottenere un modello delle proprietà fisiche del sottosuolo. Un miglioramento nell'individuazione di un modello più accurato può essere ottenuto, come è stato fatto nel presente lavoro, utilizzando, nel processo di inversione, curve relative a più modi di vibrazione

4. STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

4.1 Sismica a rifrazione e MASW

L'attrezzatura utilizzata sia per le indagini di sismica a rifrazione che MASW consta di:

- sistema energizzante per le onde P e Rayleigh: la sorgente è costituita da una mazza del peso di 8 Kg battente verticalmente su una piastra di alluminio (fig.3a) adagiata opportunamente al suolo, per la generazione prevalente di onde P ad alta frequenza ricche di energia, con forme d'onda ripetibili e direzionali.

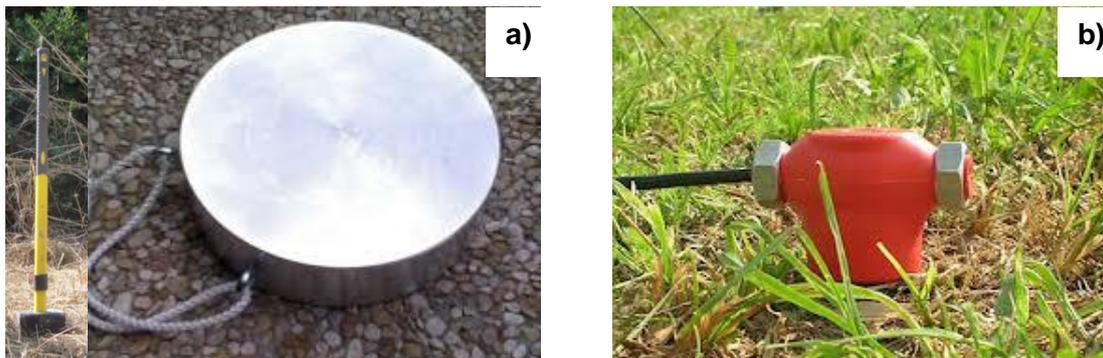


Fig. 3 - Foto del sistema energizzante utilizzato per la generazione onde P e del sistema di ricezione: a), mazza (8 Kg) e piastra di battuta, b) geofoni verticali.

- sistema di ricezione: per le indagini sono stati utilizzati 24 geofoni verticali (onde P) del tipo elettromagnetico a bobina mobile, con frequenza caratteristica di 4.5 Hz (fig.3b).
- trigger: le metodologie utilizzate, in quanto attive, prevedono che l'inizio della registrazione sia individuato mediante un *trigger* il quale consiste in un circuito elettrico che viene chiuso nell'istante in cui la massa battente colpisce la piastra. L'impulso generato, inviato al sistema di acquisizione, consente di fissare il tempo zero di riferimento per il calcolo dei tempi di percorso delle onde generate.
- sistema di acquisizione dati: nel nostro caso è stato utilizzato un sismografo costituito da un sistema multicanale a conversione digitale il modello *ECHO 24/2010* prodotto da *AMBROGEO - Strumenti per Geofisica*. Tale modello possiede risoluzione di acquisizione pari a 24 bit (*Tecnologia Delta Sigma*) ed è in grado di registrare su ciascun canale in forma digitale le forme d'onda e di

conservarle su memoria di massa dinamica minima a 24 *bit* (Tab.I). Esso è collegato a ciascuno dei geofoni in ed al sensore del trigger e consente quindi di registrare in forma numerica e visualizzare come tracce su un apposito monitor le vibrazioni a partire dall'impulso inviato dal *trigger*.

A/D Conversion	24 bit
Amplifiers	
Input impedance	1 KOhm
Gain	10 dB - 100 dB, step 1 dB
Saturation tension	+/- 2,3 V
Saturation level	100 dB
Distorsion	0,01%
Sampler	25 msec (191 points)
	50 msec (383 points)
	100 msec (756 points)
	200 msec (1530 points)
	400 msec (3060 points)
	800 msec (6121 points)
Sampling	130 micro/sec
Record lenght	25-50 -10 -20 -400-800 millisec
Filter low pass	from 50 to 950 Hz, step1 Hz
Digital Filter (Fir) low pass	1000-900-800-700-600-500-400-300-200-100-50 Hz
Digital Filter (Fir) high pass	0-25-50-75-100-125-150-175-200-225-250 Hz
Frequency response	7-950 Hz, filter at 950 Hz
Dynamic range	93 dB
Noise	0,66 uV rms, gain = 55 dB
Crosstalk	52 dB, gain = 55 dB
Power	12 V
A/D Conversion	24 bit
Amplifiers	
Input impedance	1 KOhm

Tab. I - specifiche tecniche sismografo AMBROGEO ECHO24/2010

5. ACQUISIZIONE

5.1 Sismica a rifrazione in onde P

Lo stendimento sismico è stato realizzato utilizzando 24 canali d'acquisizione, adottando una distanza intergeofonica pari a 2 m. L'acquisizione dei dati sismici è stata condotta secondo la seguente configurazione spazio-temporale:

- n° geofoni: 24
- distanza intergeofonica: 2 m
- n° 4/9 *shot* per ogni punto di energizzazione da sottoporre al processo di *stacking* in fase di processing per ottimizzare il rapporto *signal/noise*.
- tempo di acquisizione: 1.0 s
- intervallo di campionamento 0.256 μ s.

Al fine di ottenere una migliore risoluzione della sismostratigrafia, i punti di energizzazione, detti punti di scoppio (*shot points*) rispetto al profilo, vengono disposti ai suoi estremi (end) ed a distanze variabili entro il profilo stesso (punti di scoppio centrali). In questa occasione sono stati utilizzati 8 *shot points*.

- 2 *end-shots* posti rispettivamente a -2 m ed a +48 m rispetto al geofono 1.
- 4 intermedi posti rispettivamente in corrispondenza del 5°, 10°, 15° e 20°

I dati sismici sono stati acquisiti utilizzando un numero di *shots* piuttosto elevato contribuendo ad incrementare la capacità risolutiva del metodo.

5.2 MASW

L'acquisizione dei dati sismici è stata condotta secondo la seguente configurazione:

- n° geofoni: 24
- distanza intergeofonica di 3.0 m per complessivi 46 m di rilievo
- 2 *end-shots* posti rispettivamente a -2 m ed a +48 m rispetto al geofono 1.
- n° 4/9 shot per ogni punto di energizzazione da sottoporre al processo di *stacking* in fase di processing per ottimizzare il rapporto *signal/noise*.
- tempo di acquisizione: 2.0 s
- intervallo di campionamento 0.256 μ s.

6. ELABORAZIONE

6.1 Sismica in onde P

Il processing dei dataset di sismica a rifrazione in onda P è stato condotto mediante il software *RAYFRAC* (© 1996-2021 *Intelligent Resources Inc.*), studiato per l'elaborazione di dati relativi ad indagini sismiche eseguite in superficie (fig.7), realizzate sia con onde P che SH, per scopi geotecnico-ingegneristici, ambientali, nonché per l'esplorazione nel campo delle georisorse. *Rayfract* consente sia la ricostruzione della geometria dei rifrattori con la sismica a rifrazione tradizionale, che la realizzazione di dettagliati modelli di velocità del sottosuolo con le più evolute tecniche tomografiche. Il metodo della tomografia sismica è una tecnica di indagine che permette l'individuazione di anomalie nella velocità di propagazione delle onde sismiche con un alto potere risolutivo, in funzione delle modalità di acquisizione, offrendo la possibilità di ricostruire anomalie e discontinuità stratigrafiche anche particolarmente complesse.

Lo schema di processing tomografico utilizzato nel presente lavoro è basato sulla creazione di un modello iniziale ottenuto mediante interpretazione con una tecnica sofisticata di processo dei tempi di primo arrivo basata sui metodi dei "Fronti d'onda" (*Brückl 1987; Jones and Jovanovich 1985*) e del *Plus-minus* (*Hagedoorn 1959*), fondata su una regressione del campo dei tempi di primo arrivo (*Brückl 1987*). Tale metodo può essere considerato un'ottimizzazione dell'algoritmo del GRM, capace di risolvere l'immagine dei rifrattori con andamenti topografici molto accidentati. A partire dal modello sopraccitato è stato quindi utilizzato il codice di calcolo per la modellazione tomografica che utilizza, nell'algoritmo d'inversione, un "*raytracing*" con raggi curvilinei e metodi di calcolo ai minimi quadrati attraverso il metodo *Delta t-v* (*Gebrande and Miller 1985*), al fine di migliorare il riconoscimento e la localizzazione di strutture di forma anomala, stabilizzando la soluzione dell'algoritmo d'iterazione.

Si ricostruisce in tal modo un modello di velocità, che può essere migliorato attraverso successive iterazioni: la fase di calcolo si conclude quando si ha la migliore sovrapposizione fra i tempi di primo arrivo calcolati e quelli misurati.

6.2 MASW

L'analisi dei dati acquisiti dalla metodologia avviene attraverso le seguenti fasi:

1. Calcolo dello spettro di velocità;
2. Individuazione del *modo fondamentale* e degli eventuali superiori;

3. Calcolo della curva di dispersione mediante modellazione diretta, cioè attribuzione degli spessori e delle velocità relative, sulla base di dati riguardanti il sito acquisiti precedentemente tramite indagini dirette o bibliografia. In alternativa *picking* della curva di dispersione, cioè selezione dei punti che si ritengono appartenere ad un determinato modo;

4. Inversione della curva di dispersione e conseguente individuazione del profilo di velocità V_s .

Nel metodo MASW le onde superficiali generate in un punto sulla superficie del suolo sono misurate da uno stendimento lineare di sensori. In questo caso il segnale può essere rappresentato come una funzione $u(x,t)$ dove x è lo spazio e t il tempo. Applicando ai segnali la trasformata di Fourier lungo l'asse dei tempi otteniamo la funzione $U(x,f)$:

$$U(x, f) = \int u(x, t) e^{ift} dt \quad (1)$$

La funzione $U(x,f)$ può essere espressa come la moltiplicazione di due termini separati:

$$U(x, f) = P(x, f) A(x, f) \quad (2)$$

dove $P(x,f)$ e $A(x,f)$ rappresentano rispettivamente lo spettro di fase e di ampiezza. Nella funzione $U(x,f)$ ogni componente in frequenza è completamente separata dalle altre e l'informazione del tempo di arrivo è preservata nello spettro di fase $P(x,f)$. Nella funzione $P(x,f)$ sono contenute inoltre tutte le informazioni relative alla dispersione delle onde superficiali di Rayleigh mentre la funzione $A(x,f)$ contiene tutte le informazioni inerenti l'attenuazione e la divergenza sferica. Tenendo conto della rappresentazione esponenziale dello spettro di fase la (2) può essere espressa come:

$$U(x, f) = e^{-i\theta x} A(x, f) \quad (3)$$

Dove $F=f/cf$ con f = frequenza angolare e cf = velocità di fase per ogni frequenza. Operando un integrale di linea in dx e normalizzando per il modulo della funzione $|U(x,f)|$, otteniamo la funzione $V(f,\varphi)$:

$$V(f, \varphi) = \int e^{i\varphi x} [U(x, f) / |U(x, f)|] dx = \int e^{-i(\Phi-\varphi)x} [A(x, f) / |A(x, f)|] dx \quad (4)$$

La funzione $V(f,\varphi)$, ottenuta dalla trasformazione integrale, può essere pensata come la somma, lungo tutto lo stendimento, del campo d'onda relativo ad ogni frequenza, applicando uno shift di fase dipendente dall'offset, al campo d'onda, per un'assunta velocità di fase $cf = f/\varphi$.

La normalizzazione al modulo della funzione $|U(x,f)|$, minimizza i fenomeni di attenuazione e di divergenza sferica. Risulta ovvio che la funzione $V(f, \varphi)$ avrà un massimo in corrispondenza di un valore:

$$\varphi = F = f / cf \quad (5)$$

Per un dato valore di φ dove si verifica un massimo della funzione $V(f,\varphi)$, la velocità di fase cf può essere determinata.

Tenendo conto che $cf = f/\varphi$ la funzione $V(f,\varphi)$ può essere trasformata nella funzione $I(f,cf)$ che viene definita spettro di velocità di fase. In essa lungo l'asse cf appariranno dei picchi che soddisferanno, per ogni frequenza, l'equazione (5). Il luogo dei punti lungo questi massimi, per differenti valori di frequenza f , permette di identificare le curve di dispersione delle velocità di fase dei modi di oscillazione dell'onda superficiale di

Rayleigh. Generalmente quando la rigidità degli strati aumenta gradualmente con la profondità il modo fondamentale risulta predominante a tutte le frequenze. Tuttavia, esistono diverse stratigrafie, con strati rigidi compresi tra strati soffici o strati soffici compresi tra strati rigidi o con variazioni brusche di rigidità con la profondità, in cui i modi superiori al primo diventano predominanti in certi intervalli di frequenza (Roma, 2006). Per la definizione del profilo di velocità delle onde di taglio è poi necessario procedere alla fase d'inversione della curva di dispersione per ottenere un modello delle proprietà fisiche del sottosuolo. Nel nostro caso il processing dei dataset è stato condotto mediante il modulo MASW del Software ZondST2D.

6.3 Calcolo moduli dinamici

Per la stima della densità si è optato per la correlazione ben nota in letteratura tra V_p e γ (Nafe & Drake, 1965).

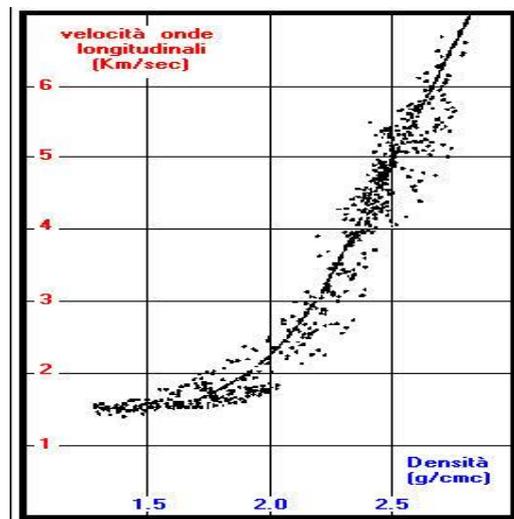


Fig. 4 – correlazione utilizzata per la stima della densità del terreno: (Nafe & Drake, 1965)

Per la stima dell'angolo di attrito (φ), si è optato per correlazioni ben note in letteratura con N_{SPT} (Kong & Yang, 1998)

$$\varphi' = 32.352 \cdot (1 + 0.314 \cdot N_{SPT} / 100) \cdot (1 - 0.316 \cdot CF / 100)$$

partendo dalla correlazione tra V_s ed N_{SPT} (Ohsaki & Iwasaki, 1973)

$$V_s = 82 \cdot N_{SPT}^{0.39}$$

Per il calcolo del modulo di Young statico (fig.5), è stata utilizzata la correlazione di Froidi e Lunardi (1994).

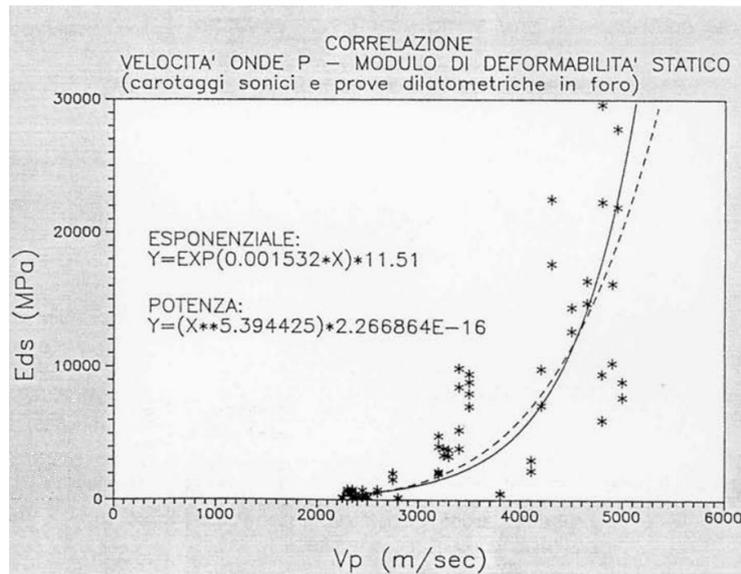


Fig. 5 – correlazione utilizzata per la stima del modulo di Young statico (Froldi e Lunardi, 1994)

Infine per il calcolo del coefficiente di Winkler (k) è stata utilizzata una correlazione con i valori di V_s ricavati sperimentalmente (Imai, T. e Yoshimura, M., 1976 - Keceli, 2012) di seguito esplicitata:

$$k = 0,025 \cdot V_s^{2,4}$$

di V_p e V_s provenienti da sismica a rifrazione in onde P ed SH ottenendo come risultato una mappatura 2D di tali parametri. Nel presente lavoro i valori relativi alla sismostatigrafia in onde S sono stati ottenuti dall'indagine MASW. Si precisa pertanto che tali valori rappresentano una stima monodimensionale dei suddetti moduli.

Il modulo di Young E (o modulo di elasticità longitudinale) è definito a partire dalla legge di Hooke:

$$E = \sigma / \varepsilon$$

σ : sforzo, viene misurato in pascal.

ε : deformazione, è una grandezza adimensionale, spesso la si esprime in percentuale.

Il modulo di Young viene determinato dal diagramma sforzo-deformazione (fig.6a) mediante la formula appena vista, nel tratto in cui il materiale subisce una deformazione elastica (ovvero rimuovendo lo sforzo il materiale deve essere in grado di ritornare alle dimensioni iniziali).

Il **modulo di taglio μ** , detto anche modulo di scorrimento, di rigidità o di elasticità tangenziale, è una *costante di Lamè* che esprime il rapporto sforzo-deformazione tangenziali (fig.6b).

Data una piastra di lunghezza indefinita di spessore h , perpendicolare all'asse x , sulle cui facce agisce una coppia di tensioni tangenziali (o di taglio) di verso opposto T_1 e $-T_1$, si produrrà uno spostamento $\delta l / 2$ nel senso delle z positive e $\delta l / 2$ nel senso opposto. In pratica è come se una faccia rimanesse ferma e si producesse uno spostamento di δl .

Lo spostamento totale δl sarà in relazione allo sforzo di taglio T_1 e allo spessore h secondo la relazione:

$$\delta l = \frac{1}{\mu} h T_1$$

dove μ è il modulo di taglio.

Considerando lo spostamento angolare α , ponendo l'angolo uguale alla sua tangente, la relazione diventerà semplicemente:

$$\alpha = \frac{T_1}{\mu}$$

Il modulo bulk k (o modulo di compressibilità) di una materiale definisce la capacità della stessa di resistere ad una forza di compressione uniforme. È definito come l'incremento di pressione necessario a causare un relativo decremento di volume (fig.6c) secondo la relazione:

$$K = -V \frac{\partial p}{\partial V}$$

dove K è appunto il modulo di compressibilità, p la pressione e V il volume.

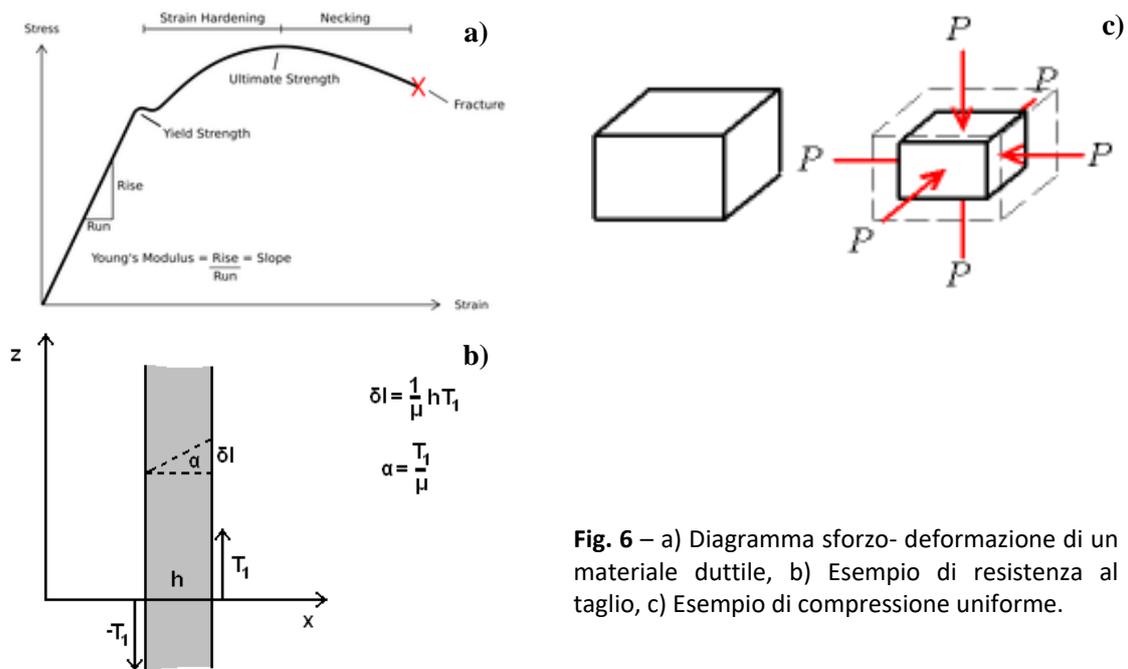


Fig. 6 – a) Diagramma sforzo- deformazione di un materiale duttile, b) Esempio di resistenza al taglio, c) Esempio di compressione uniforme.

Le correlazioni tra V_p , V_s e moduli, utilizzate nel presente lavoro, sono le seguenti:

<i>Poisson</i>	$\nu = (V_p^2 - 2 \cdot V_s^2) / 2 \cdot (V_p^2 - V_s^2)$
<i>Young</i>	$E = [2 \cdot \gamma \cdot V_s^2 \cdot (1 + \nu)] / 10000$
<i>Shear</i>	$G = (\gamma \cdot V_s^2) / 10000$
<i>Bulk</i>	$K = [\gamma \cdot V_p^2 - (4/3 \cdot V_s^2)] / 10000$

le quali restituiscono valori dei moduli in *MPa*. Le formule utilizzate per il calcolo dei parametri elastici si basano essenzialmente sulle proprietà sismiche dei terreni (V_p e V_s).

7. Risultati

7.1 Sismica a rifrazione in onde P - REF01

La tomografia sismica (fig.7) suggerisce un sottosuolo costituito dall'alto verso il basso da 2 unità sismostratigrafiche di base:

UsT

UsL

L'unità sismica **UsT** preserva un assetto pressoché stratiforme si estende sino ad una profondità mediamente compresa tra 0.6÷1.0 m da p.c.

Tale sismostrato presenta V_P comprese tra 350÷450 m/s distribuiti in maniera piuttosto omogenea. Il contatto con il sismostrato sottostante appare piuttosto marcato in quanto caratterizzato da valori del gradiente molto elevati (ALL.I).

Segue l'unità **UsL** che segna un blando incremento nelle velocità rilevate e presenta una distribuzione piuttosto uniforme dei valori rilevati. Questa unità che chiude la sequenza sismostratigrafica per i valori rilevati ed i contatti dettati dal *plot* del gradiente di velocità (ALL. I), può essere ulteriormente suddivisa in 3 subunità:

- la subunità **UsL₁** presenta uno spessore variabile 0.5 ÷ 1.0 m preservando un assetto pressoché tabulare. Di fatto appare caratterizzata da V_P comprese tra 550÷700 m/s con un generale incremento in profondità.
- la subunità **UsL₂** risulta caratterizzata da V_P comprese tra 900÷1200 m/s e spessore compreso tra 1÷2 m, preservando, anche in questo caso, un assetto pressoché tabulare.
- Chiude la sequenza sismostratigrafica la subunità **UsL₃** che funge da semispazio e risulta caratterizzata da V_P maggiori di 1500 m/s.

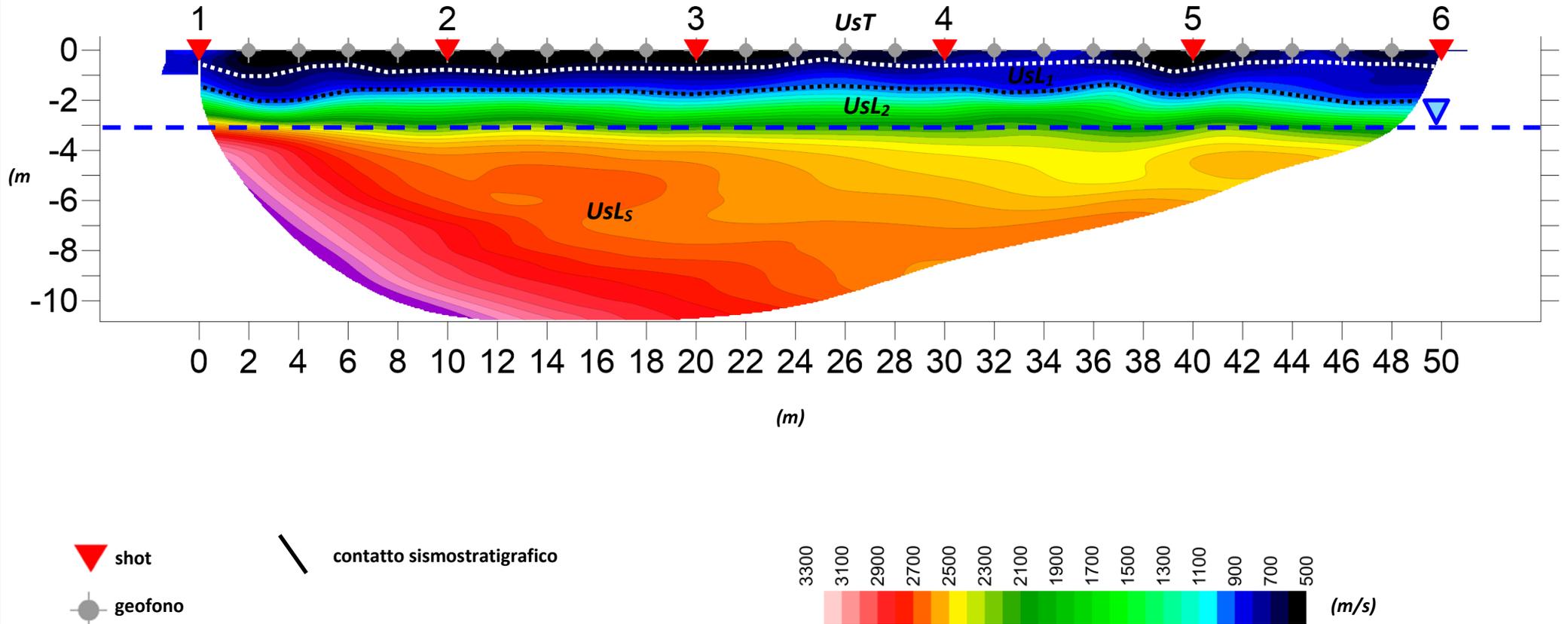


Fig. 7 – tomografia sismica in onde P

7.2 MASW – MASW01

L'indagine MASW è stata effettuata per estrapolare la sismostratigrafia in onde S da poter correlare ai valori di V_p al fine di ottenere una stima dei moduli dinamici relativi ai sismostrati indagati e per la valutazione del parametro V_{seq} .

L'analisi in frequenza (fig.8) è stata condotta sino a 100 Hz. Il *picking* riguarda il range 16÷65 Hz. Tale *range* risulta sufficiente ad indagare il volume di sottosuolo di interesse. In tale *range* di frequenza è stato possibile apprezzare il modo fondamentale di vibrazione del sottosuolo ed il I modo, attraverso chiari picchi in ampiezza dello spettro frequenza/velocità.

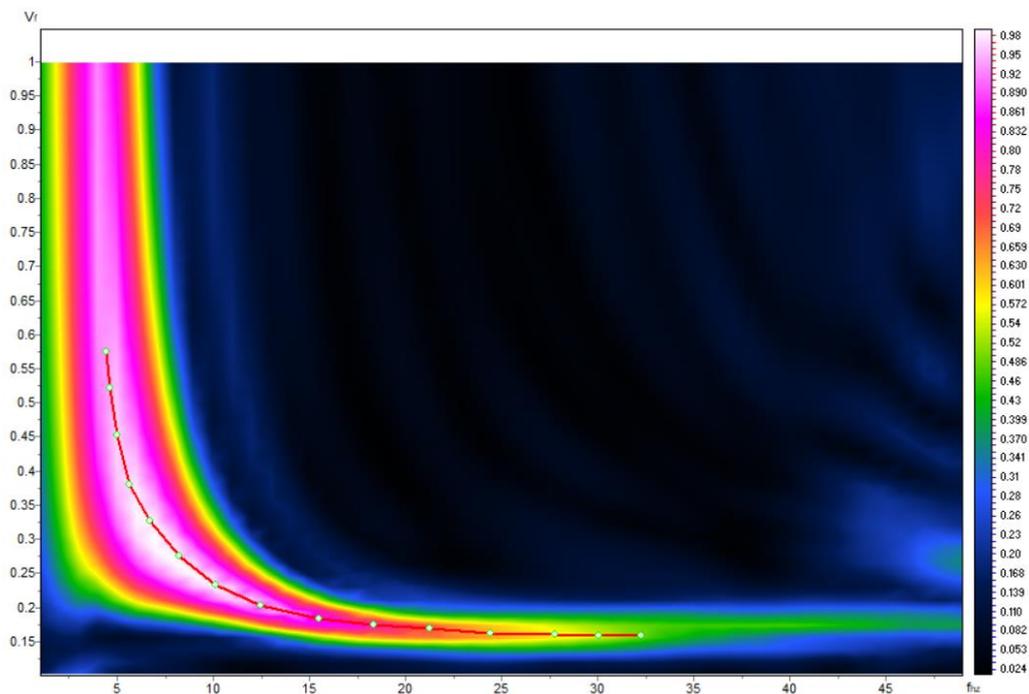


Fig. 8 - spettro frequenza / velocità di fase. sovrainposto è il picking del modo fondamentale (rosso) e del I modo (blue)

L'indagine MASW suggerisce un sottosuolo assimilabile a quello evidenziato dall'indagine di sismica a rifrazione in termini sia di spessori che di velocità rilevate, pur considerando che l'indagine fornisce un profilo monodimensionale V_S – profondità che media i valori in termini di spessori e velocità (fig.9).

Si riporta la tabella riepilogativa dell'andamento delle velocità delle onde S con la profondità per i sismostrati individuati attraverso l'analisi del modello di inversione.

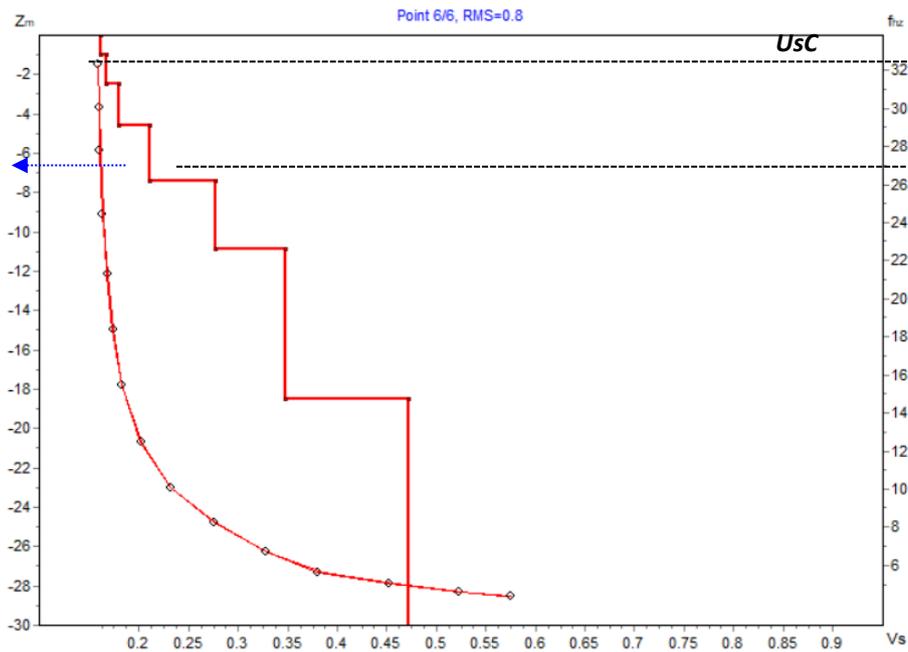


Fig. 9- Profilo di Vs (Km/s); sovrainposti lo spettro, le curve di dispersione misurate e calcolate per il modo fondamentale (rosso) e per il I modo (blue)

Strato	VS (m/s)	profondità top (m)	spessore (m)
1	160	0.0	1.0
2	170	1.0	1.5
3	180	2.5	2.1
4	210	4.6	2.8
5	280	7.4	3.5
6	350	10.9	7.6
7	470	18.5	-

Tab. II - Vs/profondità

La problematica inerente alla classificazione del terreno da un punto di vista sismico è stata oggetto di numerose ordinanze e normative (OPCM 3274; DM 14/09/2005); in ultimo, il Decreto del Ministero per le Infrastrutture del 17 gennaio 2018.

Nel suddetto Decreto al par. 3.2.2. “*Categorie di Sottosuolo e Condizioni Topografiche*”, facente parte del più ampio capitolo riguardante l’Azione Sismica, si riporta che “... per la definizione dell’azione sismica si può fare riferimento a un approccio semplificato, che si basa sull’individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento”.

Fatta salva la necessità della caratterizzazione geotecnica dei terreni nel “volume significativo”, ai fini della identificazione della categoria di sottosuolo, la classificazione si effettua in base ai valori della velocità equivalente V_{Seq} di propagazione delle onde di taglio. Per le fondazioni superficiali, tale profondità è riferita al piano di imposta delle stesse.

Tali categorie sono riepilogate nella tabella di seguito riportata.

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

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

Tab. III- *Tabella di suddivisione delle categorie di suolo*

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

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

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.

La classificazione del suolo di fondazione quindi, è stata identificata in base al profilo V_s stimato mediante l'indagine MASW.

PROFONDITA' FONDAZIONE (m da p.c.)	V_{SEQ} (m/s)	CATEGORIA
0.0	304	C
-0.5	310	C
-1.0	317	C
-1.5	323	C
-2.0	330	C
-2.5	337	C
-3.0	344	C
-3.5	351	C
-4.0	358	C
-4.1	359	C
-4.2	360	B
-4.5	365	B

Tab. IV - *categorie di suolo a varie profondità*

Pertanto, sulla base delle risultanze delle indagini condotte nell'area (Tab. II - IV), ai sensi delle normative che attualmente regolano il settore (*Ordinanza della Presidenza del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003*, recepita dalla Regione Puglia nel marzo 2004; *DGR Puglia 2 marzo 2004* e dalle modifiche allo stesso portate dal *Consiglio dei ministri con ordinanza n.3431 del 03.05.2005, D.M. 17/01/2018*), si dichiara che:

il sottosuolo oggetto di indagine appartiene alla **CATEGORIA "C"** sino ad una profondità pari a 4.1 m da p.c.

A partire da una profondità pari a 4.2 da p.c. il sottosuolo oggetto di indagine appartiene alla **CATEGORIA "B"**.

7.3 Calcolo dei moduli dinamici

Considerando l'analogia tra le unità sismostratigrafiche individuate dai due metodi sismici applicati a tale studio ($V_P - V_S$), in termini di spessori e di coerenza tra i rapporti V_P/V_S è stato possibile effettuare una stima approssimativa dei valori dei moduli dinamici (cap.6.3) caratterizzanti le unità, riassunti nelle seguenti tabelle.

	VP (m/s)		VS (m/s)		ϕ (°)		Poisson		Densità (KN/m ³)	
UsC	350	450	140	180	24.4	24.6	0.40	0.40	15.2	16.0
UsL₁	550	700	150	190	24.4	24.7	0.46	0.46	16.6	17.4
UsL₂	900	1200	180		24.7	24.2	0.48	-	18.2	19.2

	Young Din. (Mpa)		Shear (Mpa)		Bulk (Mpa)		Young stat. (Mpa)		K – Winkler (N/mm ³)	
UsC	84	145	30	52	147	254	10	17	0.004	0.006
UsL₁	109	183	37	63	452	768	13	22	0.004	0.007
UsL₂	175	-	59	-	1397	-	21	-	0.006	-

Tab V -Tabelle relative a: velocità sismiche, angolo di attrito, Poisson, densità e moduli geomeccanici e Winkler

8. CONCLUSIONI E ASSOCIAZIONI LITOSTRATIGRAFICHE

La sequenza litostratigrafica deducibile dalle indagini eseguite (fig.7) e dal contesto geologico, inizia con uno sismostrato (**UsT**) che presenta una geometria pressoché tabulare. Per le velocità rilevate e per le osservazioni di superficie, risulta assimilabile a terreno vegetale.

I sismostrati individuati al di sotto di tale sismostrato presentano un assetto pressoché tabulare e pertanto, una variabilità principalmente verticale nella sismostratigrafia individuata.

La subunità **UsL₁** risulta assimilabile principalmente ad un materiale terrigeno probabilmente limoso-sabbioso.

La subunità **UsL₂** risulta riferibile principalmente ad un materiale terrigeno probabilmente limoso-sabbioso oppure calcarenitico, con scarse caratteristiche geomeccaniche. L'utilizzo del solo metodo sismico non è in grado di risolvere tale ambiguità

Chiude la sequenza la subunità **UsL₃** che risulta compatibile con un materiale terrigeno o calcarenitico, con scarse caratteristiche geomeccaniche, probabilmente caratterizzato da un elevato grado di saturazione.

9. BIBLIOGRAFIA

Aki, K. and Richards, P.G. (1980) – *Quantitative Seismology, Theory and Methods* Vol. 1-2 W.H. Freeman & Co., New York

Brückl, E. (1987) – *The interpretation of travelttime fields in refraction seismology.* Geophys Prospect., Vol. 35, 973 – 992

Froldi, P., Lunardi, P. (1994) – *La deformabilità degli ammassi rocciosi.* Quarry and Costructions; p. 91-98

Gebrande, H. and Miller, H. (1985) – Refraktionsseismik (in German). In: F. Bender (Editor), *Angewandte Geowissenschaften II.* Ferdinand Enke, Stuttgart; p. 226-260. ISBN 3-432-91021-5

Imai, T. e Yoshimura, M. (1976) – *The relation of mechanical properties of soils to P and S-wave velocities for soil ground in Japan.* Urana Reasearch Institute, OYO Corporation

Jones, G.M., Jovanovich, D.B. (1985) – *A ray inversion method for refraction analysis.* Geophysics, Vol. 50, p. 1701-1720

Kong S.K. e Yang D.Q. (1998) - *Shear strength characteristics of residual soils from sedimentary Jurong Formation in Singapore.* Thirteenth Southeast Asian Geotechnical Conf., 16-20 November, Taipei, Taiwan, 1073-1079.

Keceli A. (2012) – *Soil parameters which can be determined with seismic velocities.* Jeofizik, 16, 17-29

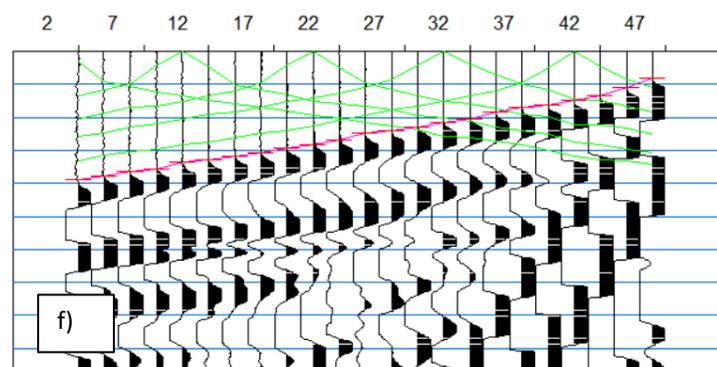
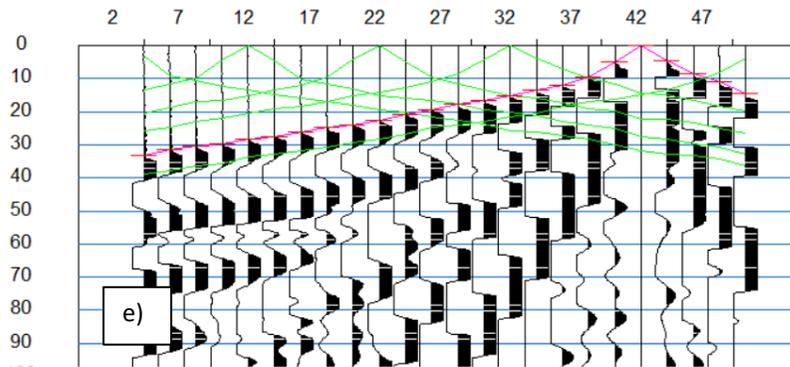
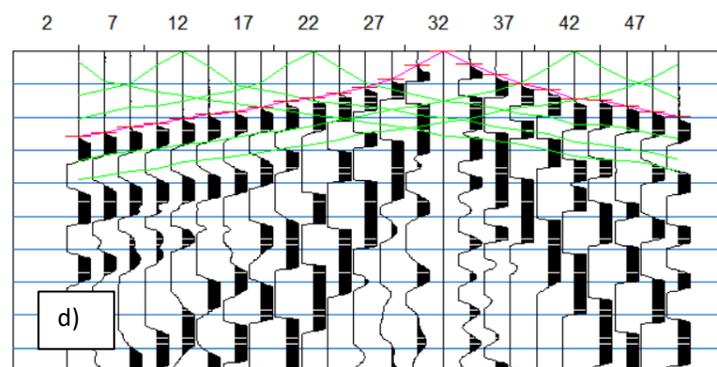
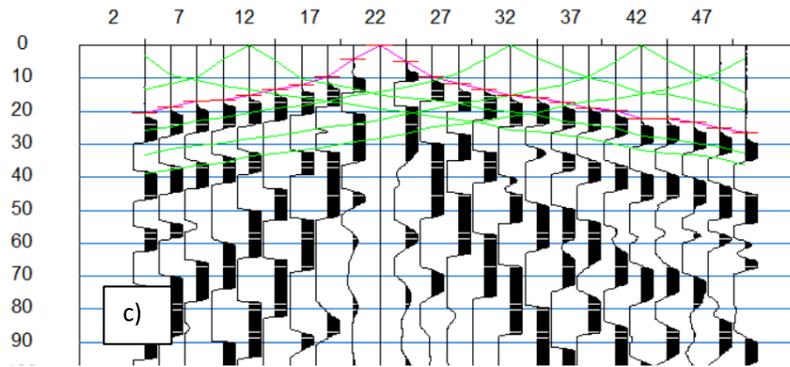
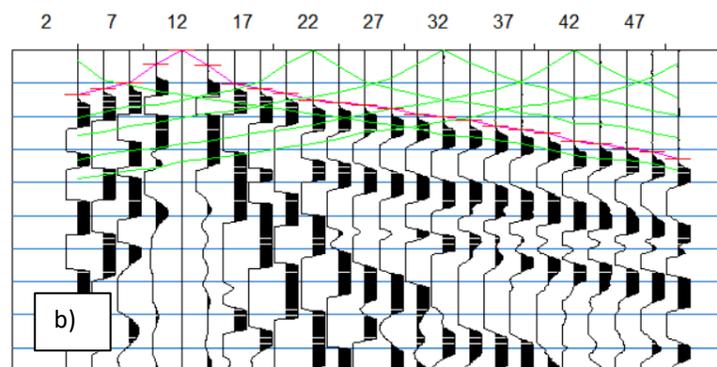
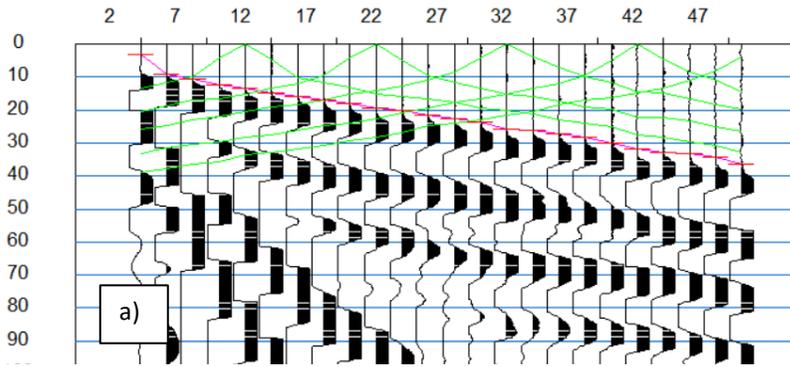
Nafe, J.E., Drake, C., (1965) – *Interpretation theory in applied geophysics.* Grant & West

Park, C.B., Miller, R.D., and Xia J., (1999) – *Multichannel Analysis of surface waves -* Geophysics, 64, 800-808

Roma, V., (2006) – *Caratterizzazione sismica dei suoli con Il metodo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves)* http://www.masw.it/downloads/Opuscolo_MASW_22_Gen_2007.pdf. microtremor on the ground surface, QR of RTI, 30, 25-33

ALLEGATO I
Elaborati Indagini geofisiche



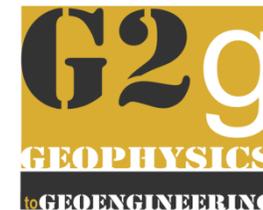


**INDAGINE GEOFISICA
 MEDIANTE SISMICA A
 RIFRAZIONE E
 TECNICA MASW DI
 SUPPORTO ALLA
 RELAZIONE
 GEOLOGICA**

Indagine:
 REF01
Data esecuzione:
 18/10/2021

Tavola I:
 sismogrammi :
 a) Scoppio n°1 (0.0 m)
 b) Scoppio n°2 (10.0 m)
 c) Scoppio n°3 (20.0 m)
 c) Scoppio n°4 (30.0 m)
 e) Scoppio n°5 (40.0 m)
 f) Scoppio n°6 (50.0 m)

<i>GEOFONO \ SHOT</i>	<i>S1 (ms)</i>	<i>S2 (ms)</i>	<i>S3 (ms)</i>	<i>S4 (ms)</i>	<i>S5 (ms)</i>	<i>S6 (ms)</i>
1	3.10	13.59	20.51	25.74	33.33	38.86
2	9.07	11.71	18.72	24.50	31.28	37.93
3	10.65	9.87	16.92	23.08	30.32	36.35
4	12.29	4.21	16.41	21.73	29.44	35.42
5	13.58	-	15.13	20.37	28.09	33.58
6	14.69	4.64	13.33	19.05	27.27	32.92
7	15.98	10.14	12.05	18.44	25.93	31.87
8	17.15	11.55	9.49	16.86	24.87	30.49
9	18.09	13.08	4.30	15.38	23.94	29.26
10	19.43	15.18	0.01	14.05	22.53	28.18
11	20.25	15.88	-	12.82	20.89	26.73
12	21.54	16.58	9.49	10.80	19.31	24.89
13	22.65	17.64	11.54	8.43	17.56	23.97
14	23.70	19.43	13.33	4.30	16.50	23.05
15	25.69	20.06	15.38	-	15.33	21.60
16	26.22	21.33	15.90	3.86	13.58	20.41
17	27.16	22.78	17.38	7.18	11.88	18.57
18	28.21	24.10	18.79	9.74	9.36	16.80
19	30.02	25.09	19.84	11.54	4.97	16.15
20	31.74	27.52	22.21	14.36	-	14.81
21	32.92	28.18	22.21	14.66	4.62	13.59
22	33.05	29.63	23.44	16.77	8.46	10.71
23	34.24	30.55	25.02	18.44	11.03	8.14
24	36.21	32.70	26.43	19.84	14.36	3.95



**INDAGINE GEOFISICA
 MEDIANTE SISMICA A
 RIFRAZIONE E
 TECNICA MASW DI
 SUPPORTO ALLA
 RELAZIONE
 GEOLOGICA**

Indagine:

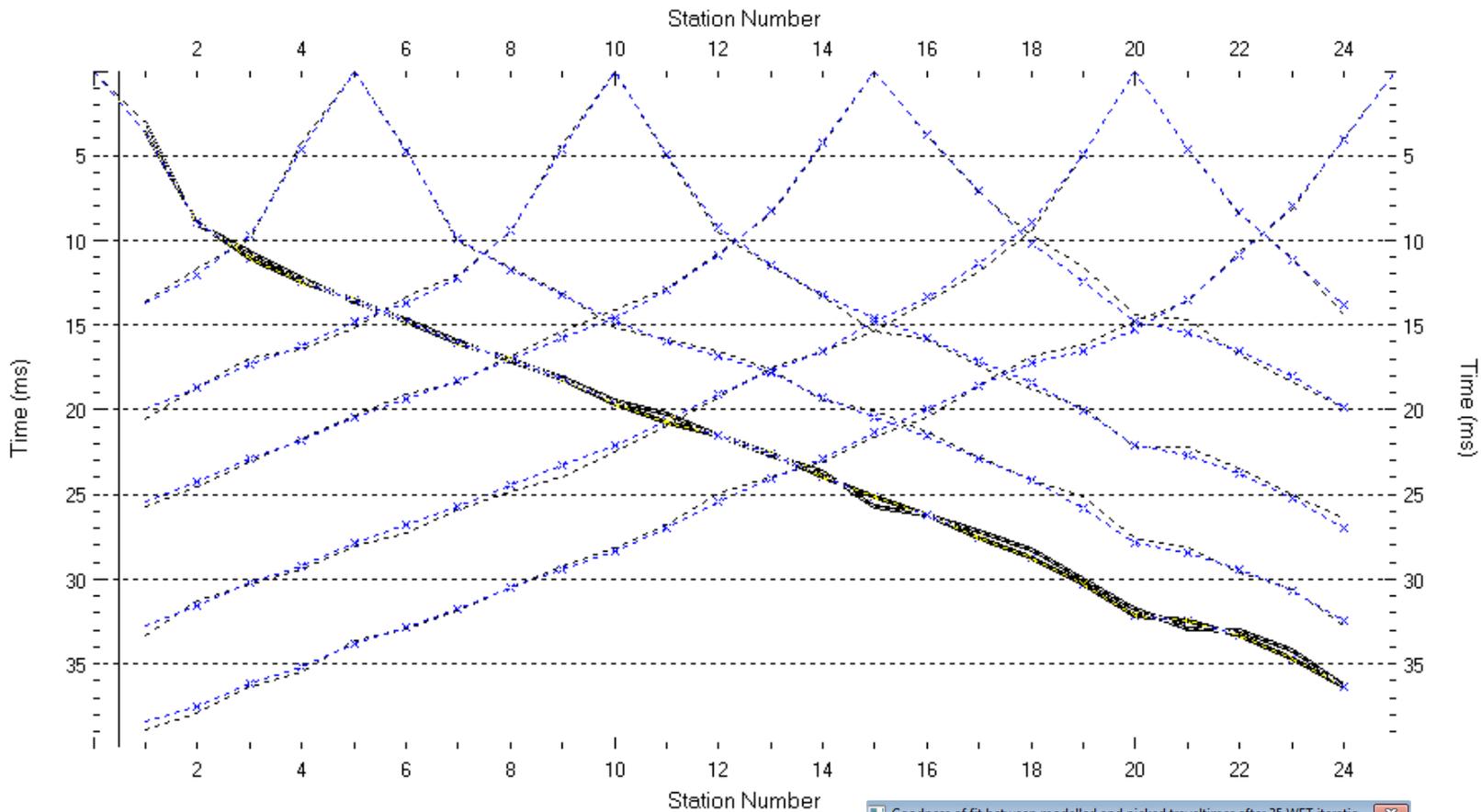
REF01

Data esecuzione:

18/10/2021

Tavola II:

primi arrivi (*FBP*)



Goodness of fit between modelled and picked traveltimes after 35 WET iteratio...

i RMS error : 0.32 milliseconds.
 Normalized RMS error : 0.8 percent (RMS error, divided by maximum pick time of all traces modelled)

Relative misfit function : 0.05 milliseconds. (Gerard T. Schuster 1993 p. 1315; squared error summed over all traces modelled, divided by twice the modelled trace count)

Maximum absolute error : 0.89 milliseconds, for trace 004-019 (Shot # - Trace #)

of traces modelled : 144



**INDAGINE GEOFISICA
 MEDIANTE SISMICA A
 RIFRAZIONE E
 TECNICA MASW DI
 SUPPORTO ALLA
 RELAZIONE
 GEOLOGICA**

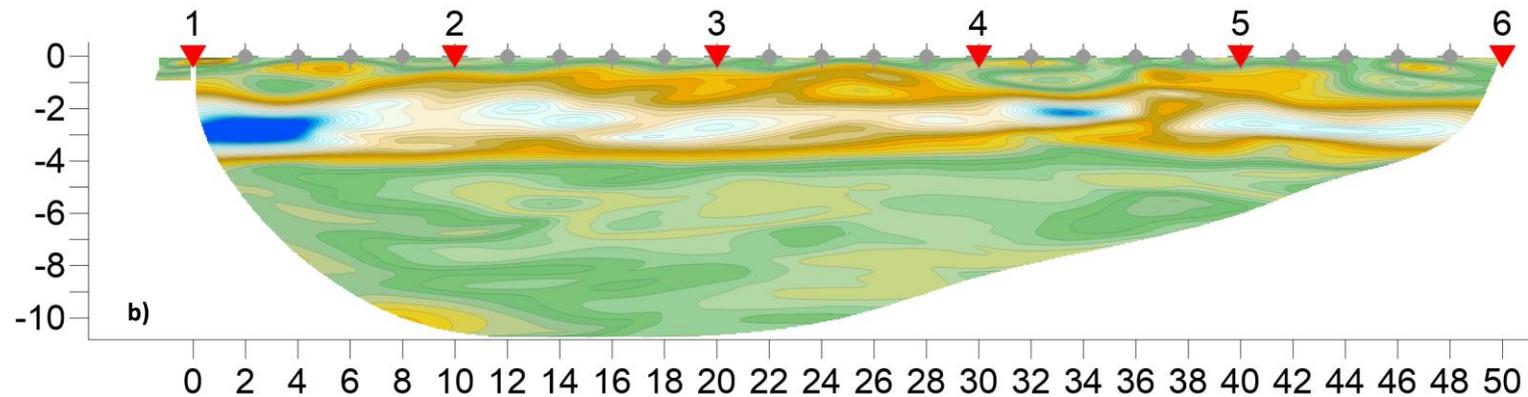
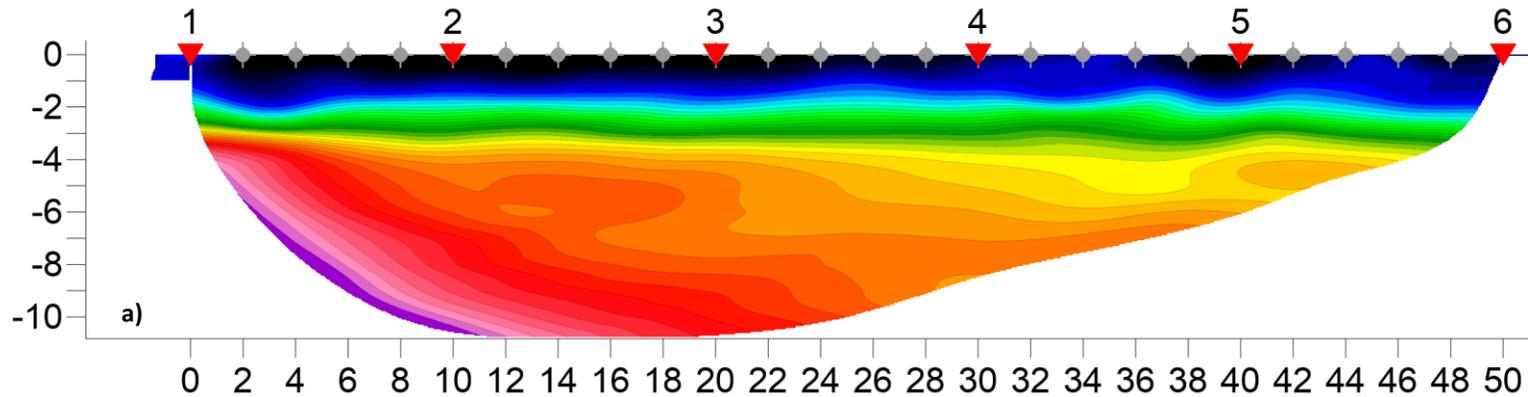
Indagine:
 REF01
Data esecuzione:
 18/10/2021

Tavola III:
 dromocrone calcolate e
 misurate

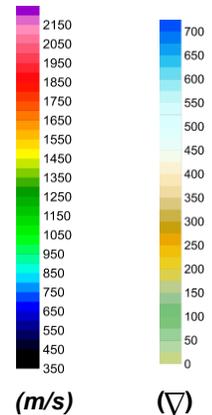
**INDAGINE GEOFISICA
 MEDIANTE SISMICA A
 RIFRAZIONE E
 TECNICA MASW DI
 SUPPORTO ALLA
 RELAZIONE
 GEOLOGICA**

Indagine:
 REF01
Data esecuzione:
 18/10/2021

Tavola IV:
 a) tomografia sismica
 b) gradiente di Vp



▼ shot sismico
 ● geofono

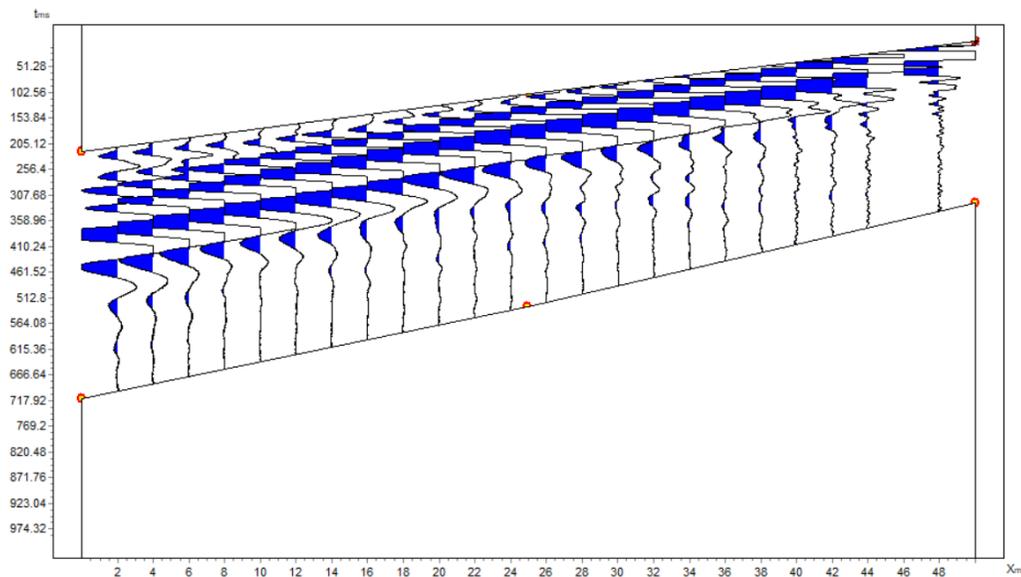


**INDAGINE GEOFISICA
 MEDIANTE SISMICA A
 RIFRAZIONE E
 TECNICA MASW DI
 SUPPORTO ALLA
 RELAZIONE
 GEOLOGICA**

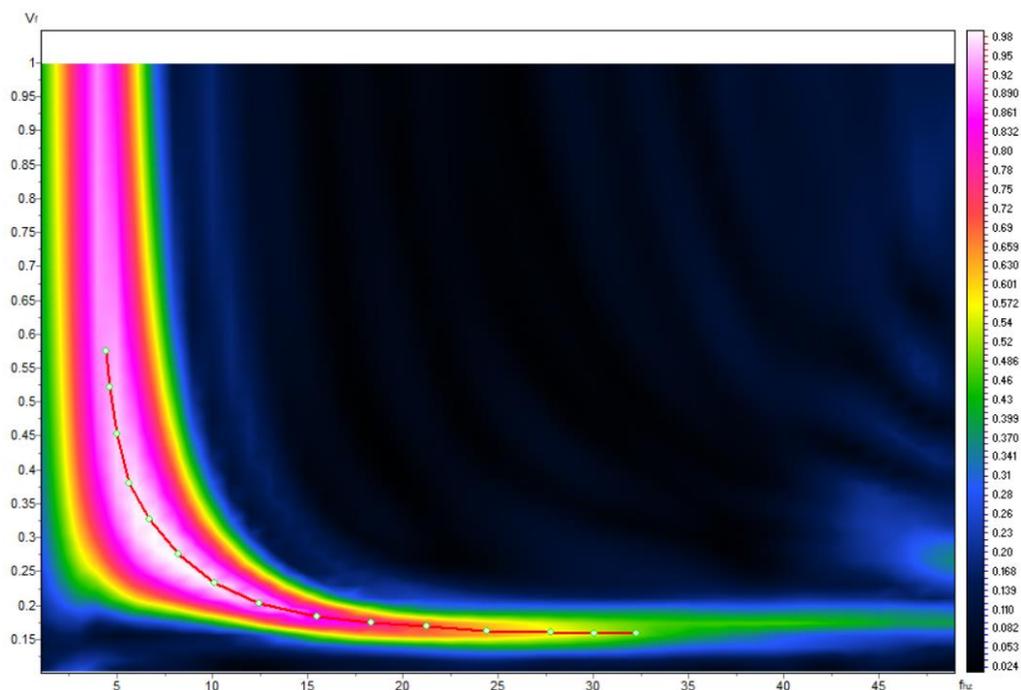
Indagine:
 MASW01
Data esecuzione:
 18/10/2021

Tavola V:
 a) sismogrammi
 b) spettro F-V con
 sovrapposizione della
 curva di dispersione
 delle onde di *Rayleigh*
 relative al modo
 fondamentale (rosso)

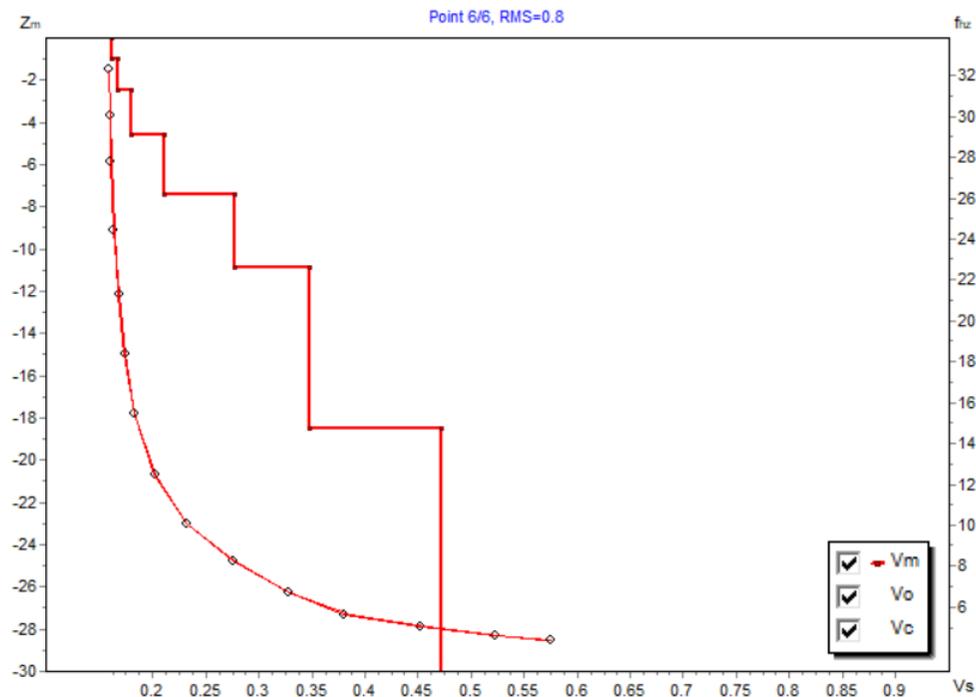
a)



b)



a)

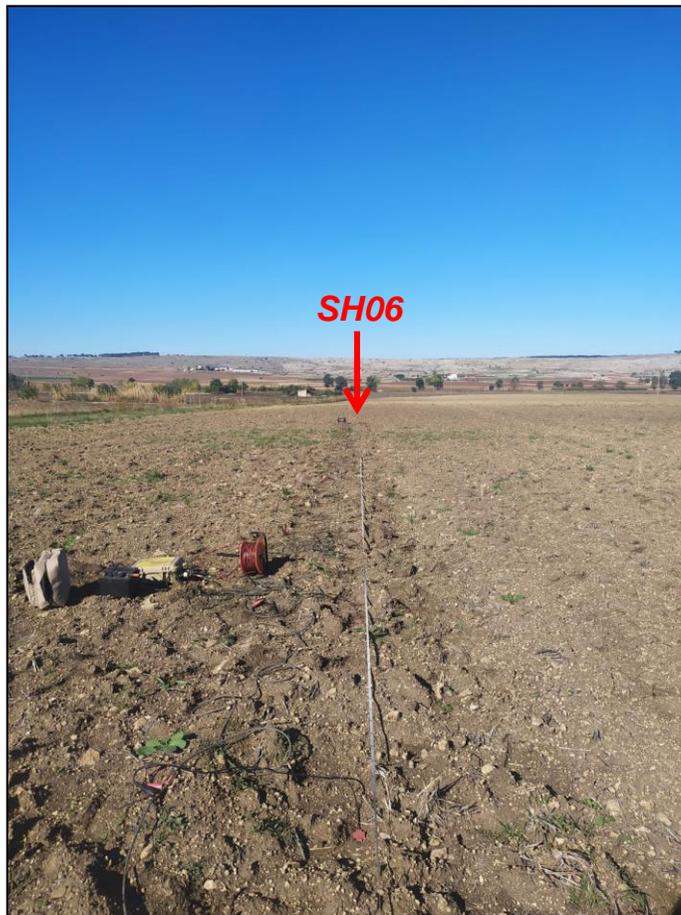


b)

<i>sismostrato</i>	<i>VS (m/s)</i>	<i>profondità top (m)</i>	<i>spessore (m)</i>
1	160	0.0	1.0
2	170	1.0	1.5
3	180	2.5	2.1
4	210	4.6	2.8
5	280	7.4	3.5
6	350	10.9	7.6
7	470	18.5	-

ALLEGATO II
Documentazione fotografica





**INDAGINE GEOFISICA
MEDIANTE SISMICA A
RIFRAZIONE E
TECNICA MASW DI
SUPPORTO ALLA
RELAZIONE
GEOLOGICA**

Indagine:
REF01 / MASW01
Data esecuzione:
18/10/2021

Tavola I:
Foto indagine sismica
REF01 / MASW01