

REGIONE PUGLIA
PROVINCIA DI BRINDISI
COMUNE DI SAN PIETRO VERNOTICO

Impianto agrivoltaico denominato FV32-22, ubicato in agro del Comune di San Pietro Vernotico (BR), sui terreni censiti nel N.C.T di San Pietro Vernotico al foglio di mappa n. 46 particella 114, 107, 186, 91,123, 119, 69, 133,120, 141, 174, 131,134, 135, 136, 130,128, 129, 63, 104,97, 181, 127, 124,80, 42, 44, 46,116, 137, 118, 179,65, 34, 122, 121,126, 176, 183, 132,115,187,188 e al foglio di mappa n. 50 particella 210, 46, 1, 2, 3, 4,222, 209, 223,211, 221 e relative opere di connessione su strada pubblica.

Potenza ai fini della connessione 18,714 MW.

Cod. Rint. 202201438

Livello Progettazione		Luglio 2024
-----------------------	--	-------------

Titolo elaborato:

Relazione Geologica e Geotecnica

DATA	MOTIVO REVISIONE	REDATTO	APPROVATO
23.07.2024	Prima emissione	dott. Geol. A. Fabiano	N/A

TECNICO :

dott. Geol. Antonello Fabiano



COMMITTENTE:

SAN PIETRO VERNOTICO SOLAR PARK Srl

Sede Legale: Via Antonio Francavilla n°6

San Vito dei Normanni (BR) - 72019

C.F./P.IVA 02729380747

GESTORE ELETTRICO DI RETE

TERNA

Sommario

Indice delle tavole	2
Premessa	3
1. Ubicazione dell'area oggetto di studio	4
2. Inquadramento geologico generale	5
2.1. Inquadramento geologico di dettaglio	8
3. Inquadramento geomorfologico generale	9
3.1. Inquadramento geomorfologico di dettaglio	10
4. Idrografia superficiale	12
5. Inquadramento idrogeologico	13
6. Piano di tutela delle acque	15
7. Piano stralcio per la difesa dal rischio idrogeologico (PAI).....	20
9. Sismicità del territorio	26
10. Pericolosità sismica di base.....	30
10.1. Vita nominale, classi d'uso e periodo di riferimento	30
10.2 Stati limite, probabilità di superamento e periodo di ritorno.....	32
10.3 Categorie di sottosuolo e condizioni topografiche	34
9.4 Definizione della pericolosità sismica di base	37
9.5 Pericolosità sismica di sito.....	41
11. Caratterizzazione geotecnica dei litotipi.....	47
12. Conclusioni	48
TAVOLE IN ALLEGATO E RELAZIONE SULLE INDAGINI ESEGUITE.....	50

Indice delle tavole

- Tavola 1 – Cartografia amministrativa
- Tavola 2 – Carta topografica d'Italia IGM 1:25.000
- Tavola 3 – Ortofoto (Google 2020)
- Tavola 4 – Carta geologica di dettaglio
- Tavola 5 – Digital Terrain Model (DTM)
- Tavola 6 – Reticolo Idrografico – Carta idrogeomorfologica (Foglio 496)
- Tavola 7A - Piano di Assetto Idrogeologico (PAI) – Aree a Pericolosità Inondazione
- Tavola 7B - Piano di Assetto Idrogeologico (PAI) Aree a pericolosità Geomorfolologica

Premessa

Lo scrivente **dott. Geol. Antonello Fabiano**, iscritto all'Ordine dei Geologi della Regione Puglia al n. 675, su incarico della **Lucon srl** e per conto della proponente Società **S. Pietro Vernotico Solar Park s.r.l.**, 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 "FV32" in agro di S. Pietro Vernotico (BR) alla C.da "Caprariche" nonché delle relative opere di connessione alla rete di trasmissione elettrica nazionale (RTN).

3

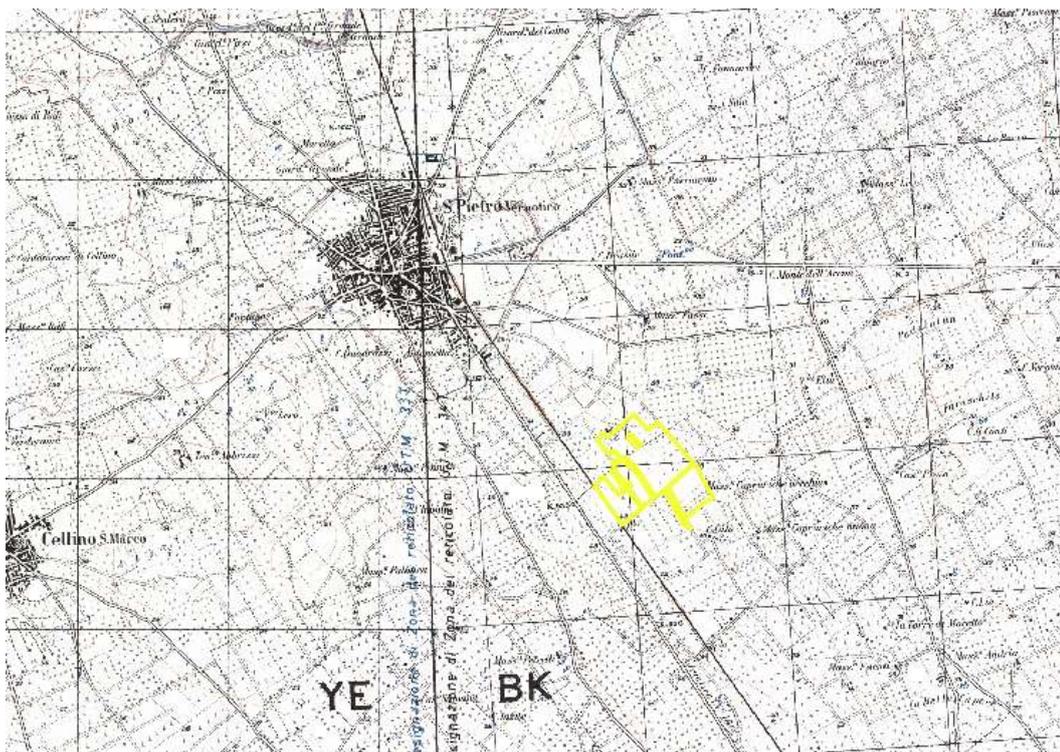
Lo studio è stato svolto secondo quanto prescritto dalle disposizioni delle nuove Norme Tecniche sulle Costruzioni D.M. del 17/01/2018 e dall'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n°3274 del 20/03/2003. L'area oggetto di studio è stata inquadrata in relazione al Piano di Assetto Idrogeologico 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 delle 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 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. Squinzano" III NO (scala 1:25000) del foglio "Lecce" n. 204 (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 "Lecce" n. 204, note illustrative del foglio n. 204 "Lecce" della Carta Geologica d'Italia. Si precisa, infine, che laddove non opportunamente esplicitato, tutte le informazioni contenute nella presente si riferiscono all'area di installazione dell'impianto FV nonchè al percorso del cavidotto di connessione.

1. Ubicazione dell'area oggetto di studio

L'area di studio è situata nel Comune di S. Pietro Vernotico (BR), in territorio agricolo, nella parte Sud rispetto al centro abitato e precisamente alla C.da "Caprariche". L'area si trova ad una quota di circa 40 m s.l.m. Topograficamente, l'area di interesse, ricade nel foglio 204 "Lecce" Tavoletta "Squinzano" III NO ed il punto centrale del sito è identificato dalle coordinate: 40.47573° N - 18.01647° E.



Ubicazione su stralcio del F. 204 IGM – Squinzano III NO in scala 1:25000 nell'originale

A tal proposito si rimanda alle seguenti tavole in allegato:

Tavola 1 Cartografia amministrativa

Tavola 2 Carta topografica d'Italia IGM 1:25.000

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

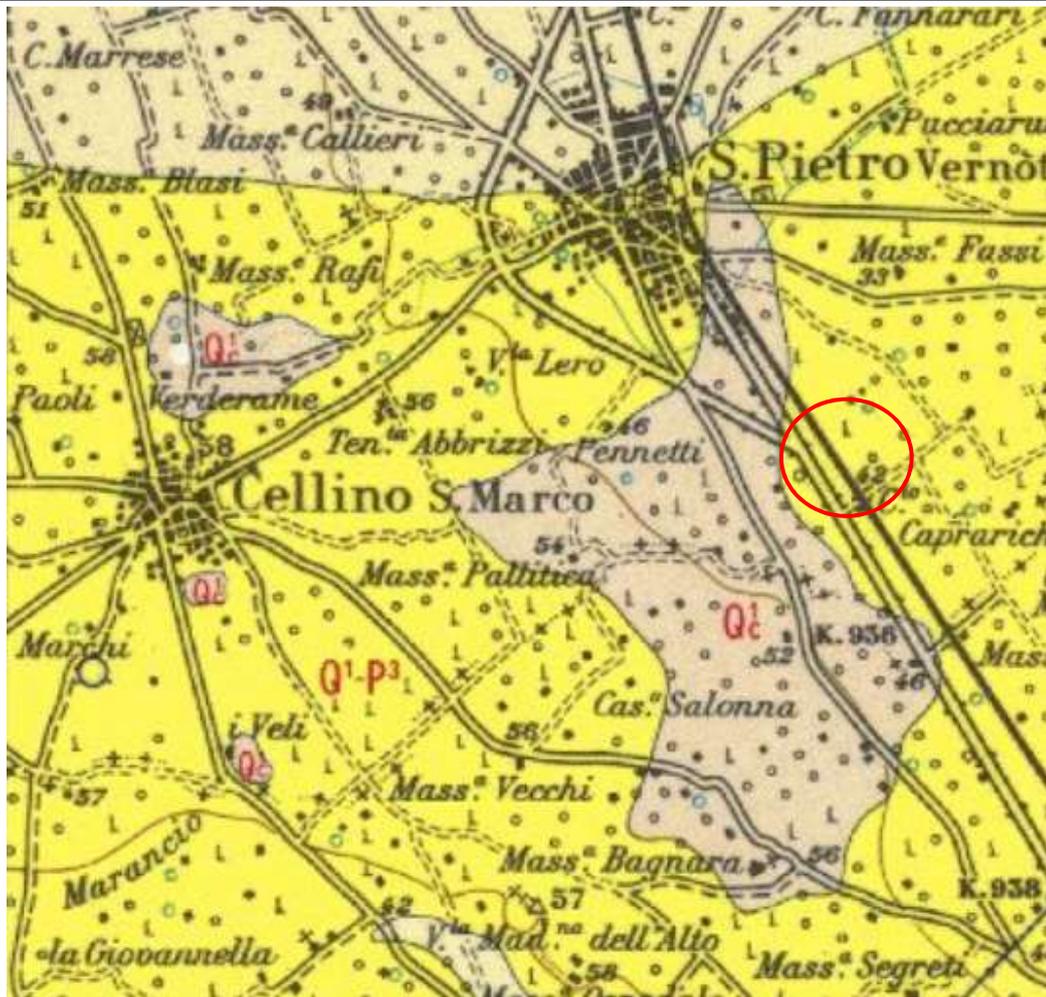
2. Inquadramento geologico generale

Dal punto di vista geologico il sito in esame si sviluppa nell'ambito di una vasta depressione tettonica, comunemente denominata pianura brindisino-leccese, che costituisce un vero e proprio dominio morfologico-strutturale, compreso fra i rilievi delle Murge, a Nord-Ovest, e quelli delle Serre Salentine, a Sud-Est. All'interno di questa vasta area subpianeggiante che si allunga in direzione NO-SE lungo la costa adriatica, si rinvengono, al di sopra del substrato carbonatico cretaceo, sia i depositi sedimentari del ciclo di riempimento della avanfossa Bradanica, che i Depositi Marini Terrazzati. L'intero territorio della pianura brindisino-leccese è prevalentemente pianeggiante e comunque caratterizzato da pendenze estremamente basse, con quote mediamente poco elevate sul livello del mare che, solo nel settore occidentale, raggiungono al massimo valori di 100-110 m s.l.m. L'area di intervento rientra nel Foglio Geologico n. 204 "Lecce", in scala 1:100.000. La successione litologico-stratigrafica dei depositi della Pianura brindisino-leccese, prevalentemente di natura calcarenitica e sabbiosa, e in parte anche argillosa, poggia sulle rocce calcareo-dolomitiche mesozoiche, che rappresentano il substrato dell'intero dominio strutturale pugliese. Al di sopra del substrato carbonatico, si rinvengono i depositi sedimentari del ciclo di riempimento dell'avanfossa Bradanica ed i Depositi Marini Terrazzati. In particolare l'area oggetto di studio corrisponde ad una vasta depressione tettonica delle rocce carbonatiche mesozoiche che, dall'entroterra intorno a Francavilla Fontana, si apre verso il mare Adriatico; tale depressione, a "gradinata", è stata colmata dai depositi del "Ciclo della Fossa Bradanica" e dai "Depositi marini" terrazzati. La formazione più antica è rappresentata dai calcari dolomitici e dalle dolomie grigio nocciola, raggruppati nella formazione di piattaforma continentale dei "Calcari di Altamura", riferibili all'età del Cretaceo superiore. I calcari mesozoici risultano blandamente piegati e ribassati da un sistema di faglie dirette, con prevalente direzione appenninica, mentre le coperture sedimentarie

quaternarie mostrano una giacitura pressoché suborizzontale e non sono interessate da strutture disgiuntive. Le unità riferibili al ciclo bradanico presentano spessori variabili, che tendono ad aumentare laddove il substrato calcareo risulta più ribassato. Le Calcareniti del Salento Q1 – P3, sono costituite da sabbie calcaree poco cementate e sabbie argillose grigio azzurre risalente al Pliocene Superiore – Calambriano, ben rappresentate nella parte centrale di tutto il foglio "Lecce" occupando generalmente aree depresse e pianeggianti con spessori che si aggirano intorno ai 30-35 m. L'orizzonte Q1 – P3 poggia sull'orizzonte P3 costituito da calcareniti e calcareniti argillose giallastre.

Sull'orizzonte Q1 – P3 poggiano gli orizzonti più recenti delle Calcareniti del Salento ovvero il Q2 ed il Q3 costituiti rispettivamente da calcari bioclastici e calcareniti e calcari tipo banchina. Sulle Calcareniti del Salento poggiano le litologie costituenti la Formazione di Gallipoli, a cui appartiene l'area d'intervento, costituita da sabbie argillose giallastre, talora debolmente cementate, che passano inferiormente a sabbie argillose e argille grigio-azzurre. Spesso l'unità ha intercalati banchi arenacei e calcarenitici ben cementati.

La formazione di Gallipoli è costituita da due litotipi fondamentali che sono le marne argillose e più raramente le marne, alla base; le sabbie più o meno argillose, alla sommità. Le marne argillose, sono generalmente plastiche e poco stratificate. Verso l'alto della serie la componente marnoso-argillosa diminuisce gradualmente, finché si passa a sabbie vere e proprie, aventi un certo contenuto di argilla. Le sabbie le argille costituenti la formazione di Gallipoli possono essere sostituite, parzialmente o totalmente, da calcareniti ed arenarie ben cementate e talora da livelli di panchina.



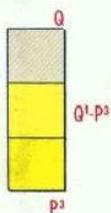
FORMAZIONE DI GALLIPOLI

Livelli appartenenti alle CALCARENITI DEL SALENTO aventi le seguenti caratteristiche:

Q : associazione microfauistica poco significativa: *Elphidium aculeatum* (D'ORB.), *E. crispum* (LIN.), *E. macellum* (FICHT. & MOLL.) *E. owenianum* (D'ORB.), *Discorbis orbicularis* (TERQ.), *Cibicides lobatulus* (WALK & JAC.), *C. refulgens* (MONT.). In base ai rapporti stratigrafici il livello è attribuibile al **PLEISTOCENE**.

Q¹-P³ : sabbie calcaree poco cementate, con intercalati banchi di panchina; sabbie argillose grigio-azzurre. Verso l'alto associazione colobriense: *Hyalinea balthica* (SCHER.), *Cassidulina laevigata* D'ORB. *carinata* SILV., *Bulimina marginata* D'ORB., *Ammonia beccarii* (LIN.). (**PLIOCENE SUPERIORE? - CALABRIANO**). In trasgressione sulle formazioni più antiche.

P³ : calcareniti, calcari tipo panchina, calcareniti argillose giallastre. Macrofauna a Coralli, Cirripedi, Molluschi, Echinidi, Crostacei tra cui *Cancer sismondai* var. *antiatina* MAX. Microfauna ad Ostracodi e Foraminiferi: *Bulimina marginata* D'ORB., *Cassidulina laevigata* D'ORB. var. *carinata* SILV., *Discorbis orbicularis* (TERQ.), *Cibicides ungerianus* (D'ORB.), *C. lobatulus* (WALK & JAC.) *Globigerinoides rubra* (D'ORB.), *G. sacculifera* (BRADY), *Orbulina universa* D'ORB., *Hastigerina aequilateralis* (BRADY) (**PLIOCENE SUP. - MEDIO ?**). In trasgressione sulle formazioni più antiche.



Ubicazione su Carta Geologica d'Italia foglio 204 "Lecce"– 1:100000 nell'originale

2.1. Inquadramento geologico di dettaglio

Dal punto di vista geologico, al di sotto della copertura di terreno vegetale (circa 2 -3 m), localmente l'area in esame è caratterizzata dalla presenza di depositi di sabbie calcaree poco cementate, con intercalati banchi di panchina e sabbie argillose grigio-azzurre. Tali unità (Q1 – P3) appartengono alle Calcareniti del Salento. La potenza di tali depositi in questa zona sembra raggiungere i 30-35 metri. Più in profondità, si trovano le calcareniti argillose giallastre (P3) più o meno cementate, stratificate in banchi dello spessore di circa 1 metro caratterizzate da una potenza complessiva che raggiunge anche i 100 metri.

Le Calcareniti del Salento poggiano in trasgressione su dei calcari dolomitici e doline grigio - nocciola, a frattura irregolare, calcari grigio - chiari.

Tale formazione è denominata Dolomie di Galatina e rappresenta i depositi più antichi presenti nell'area che passano gradualmente al CALCARE DI ALTAMURA.

L'età di tali depositi è Cenomaniano Superiore e forse del Turoniano.

L'ambiente di deposizione delle Dolomie di Galatina si può considerare abbastanza simile a quello di una piattaforma carbonatica attuale, di mare sottile, con eventuali episodi di emersione. In particolare, sulla base del rilevamento geologico in situ e dalle conoscenze dello scrivente, 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 1m)
- Calcareniti con intercalazioni sabbiose calcaree da poco a mediamente cementate, sabbia limosa di colore giallo-ocraceo, debolmente cementata (spessore variabile da 6 a 10 m)
- Calcareniti argillose giallastre mediamente cementate (circa 1 m di spessore e non sempre presenti nella successione stratigrafica)
- Banco argilloso (spessore in media di 8 m)
- Calcareniti (spessore variabile dai 10 fino oltre i 20 m)
- Calcari (sede della falda profonda)

Questi depositi, che secondo alcuni autori sono riferibili ai depositi marini terrazzati sedimentatisi nelle zone depresse occupate dal mare pliocenico, in discordanza con il substrato cretaceo caratterizzato da vari piegamenti, sono databili al pleistocene medio-superiore.

A tal proposito si rimanda ai seguenti elaborati grafici:

Tavola 4 Carta geologica di dettaglio

3. Inquadramento geomorfologico generale

In Puglia si individuano almeno cinque *subregioni* naturali: il Subappennino dauno, il Tavoliere, il Gargano, le Murge ed il Salento, ciascuna caratterizzata da peculiari caratteri geomorfologici. L'area oggetto di indagine ricade nella parte sud orientale della sub regione delle Murge. I principali lineamenti morfologici dell'area, risultano in stretta relazione con la litologia e l'assetto strutturale dei terreni affioranti. Ad una piana costiera molto bassa, fanno seguito verso l'interno una serie di terreni cretacei, delimitati sul lato nord occidentale da scarpate di faglia. A SW della S.S. 16 si ha una zona topograficamente più elevata e con una morfologia piuttosto mossa, caratterizzata da ripiani con sviluppo WNW-ESE. La presenza e la forma di questi ripiani formanti una gradinata con quote decrescenti verso il litorale adriatico, potrebbe indicare anche un'abrasione marina avvenuta in tempi via via più recenti da SSW verso NNE.

Sui diversi ripiani di questa zona sono presenti numerose doline a contorno sub-circolare o ovale estese in larghezza fino a 200-300 m e profonde fino anche a 15 m. Il monotono paesaggio di questa parte del tavoliere pugliese è movimentato da leggere ondulazioni della superficie topografica, dalla presenza di brevi solchi torrentizi e da sporgenze calcaree affioranti un po' ovunque.

L'area costiera è, invece, caratterizzata dalla presenza di una serie di terrazzi marini delimitati da scarpate alte alcuni metri. Queste scarpate presentano un andamento subparallelo con la linea di costa attuale e rappresentano antiche linee di costa. Sul margine adriatico, infine, è presente una catena irregolare e discontinua di cordoni dunari, disposta parallelamente alla linea di costa e con

altezze che raggiungono anche i 13 m. Le coste sono per certi tratti rocciose, ben articolate e spesso frastagliate, terminando verso mare con scarpate verticali; a tratti invece sono basse e sabbiose.

3.1. Inquadramento geomorfologico di dettaglio

10

I caratteri morfologici dell'area, sono in stretta relazione con quelli ereditati di tipo strutturale in quanto, l'evoluzione morfologica del territorio non è indipendente dalla sua struttura geologica ma strettamente connessa.

Piccole e medie forme paracarsiche di superficie ed epigee caratterizzano questo territorio, quali cavità di dissoluzione sub-verticali e piccole doline in presenza di substrati calcarenitici. Le sabbie fini sono diffusamente presenti su questo territorio - afferente alla Piana di Brindisi- , spesso si presentano arrossate entro il metro di profondità, apparentemente come terre rosse; queste ultime sono presenti invece dove ha agito il carsismo ovvero in presenza di calcareniti medio-grossolane che si intercalano nei depositi sabbiosi o affiorano direttamente in superficie. Morfologicamente il territorio è sub-pianeggiante, senza elementi morfo-tettonici significativi. E' inciso da due canali principali ("Infocaciucci" e "Pilella") a carattere torrentizio che drenano le acque di infiltrazione superficiale ed alimentano la relativa falda; quest'ultima è sostenuta dalle argille grigio-azzurre sottostanti i depositi sabbioso-calcarenitici.

A tal proposito si rimanda ai seguenti elaborati grafici:

Tavola 5 Digital Terrain Model (DTM)



Ubicazione dell'area di studio sulla Carta Idrogeomorfologica della Regione Puglia (SIT) – Foglio 496

4. Idrografia superficiale

Nel territorio amministrativo del Comune di S. Pietro Vernotico l'idrografia superficiale è localmente condizionata da tre principali fattori: la permeabilità dei litotipi affioranti, i caratteri morfologici del territorio e la distribuzione delle strutture carsiche. Le linee generali di deflusso superficiale sono complessivamente impostate, a partire dai settori altimetricamente più elevati, in direzione delle adiacenti zone topograficamente più depresse, secondo uno schema di tipo radiale divergente. Nel suo complesso, il reticolo idrografico appare poco evoluto, scarsamente gerarchizzato e fortemente influenzato dalla morfogenesi carsica. Infatti, il recapito finale non è sempre rappresentato dal mare ma, in alcuni casi, è costituito da strutture carsiche come doline (singole o in gruppi) ed inghiottitoi: la distribuzione di tali strutture ha condizionato sia la configurazione che l'evoluzione del reticolo idrografico, determinando localmente dei piccoli bacini di tipo endoreico. Del resto, sul fondo di tutte le doline, al di sotto della coltre detritico-colluviale che generalmente le riempie, sono sempre presenti delle strutture in grado di favorire l'assorbimento concentrato delle acque superficiali in quantità talora rilevante: può trattarsi sia di un sistema di grosse fratture beanti, comunicanti a loro volta con cavità ipogee, che dell'imbocco di una vera e propria cavità a prevalente sviluppo verticale (inghiottitoio). Gli unici elementi idrologici di spicco della Pianura brindisino-leccese sono dati dalla presenza di un diffuso reticolo di canali che si imposta prevalentemente nei terreni dei Depositi Marini Terrazzati, e da una superficie terrazzata digradante verso il Mare Adriatico e verso il Mar Ionio.

Il reticolo idrografico, che si sviluppa essenzialmente nella zona del territorio brindisino, è generalmente poco gerarchizzato e poco inciso e solo raramente è possibile riconoscere forme di modellamento fluviale, come ad esempio piccole ripe di erosione o cigli di sponda fluviale. Questi ultimi si rinvengono soprattutto in corrispondenza dei canali, che si presentano spesso associati a consistenti interventi di bonifica, realizzati nel tempo per favorire il deflusso delle acque piovane. Lo schema della circolazione idrica superficiale dell'area di più stretto

interesse è di natura tipicamente endoreica, caratterizzato dalla presenza di conche chiuse, che consentono l'infiltrazione delle acque nel sottosuolo. A tale proposito appare opportuno sottolineare che l'area di progetto non ricade nell'ambito di zone di alveo fluviale in modellamento attivo ed aree golenali né in fasce di pertinenza fluviale. Il carattere distintivo di tale rete idrografica superficiale è quello del regime "torrentizio"; solo precipitazioni meteoriche intense o prolungate (che si verificano nel semestre autunno inverno) possono far registrare portate considerevoli. Va, altresì, rimarcato che i modesti deflussi che si riversano nelle aste torrentizie sono molto spesso di origine antropica, costituendo, detti corpi idrici, il recapito finale dei reflui civili trattati dagli impianti di depurazione. L'area dell'impianto, come si evince dall'esame della carta idrogeomorfologica (foglio 476 e 495) e con la cartografia IGM 1:25000, interferisce con il reticolo idrografico rappresentato.

A tal proposito, vedasi lo studio idrologico ed idraulico eseguito.

Si rimanda, inoltre, ai seguenti elaborati grafici:

Tavola 6 Reticolo Idrografico – Carta idrogeomorfologica (Foglio 475 e 496)

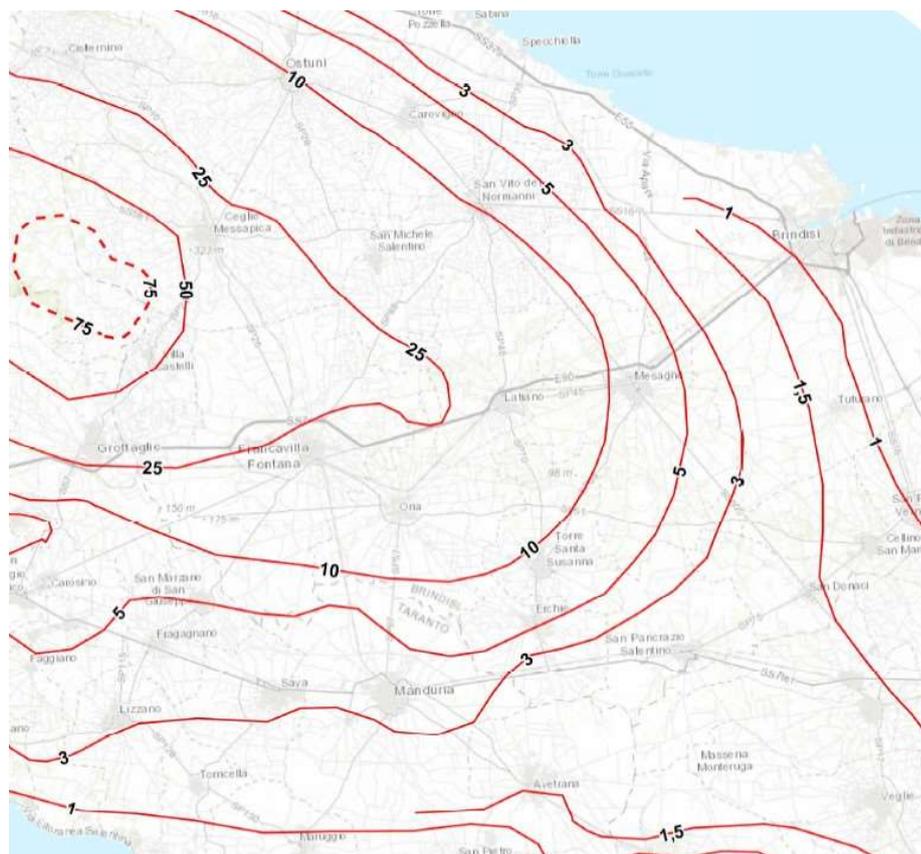
5. Inquadramento idrogeologico

La circolazione idrica sotterranea è caratterizzata dalla presenza di due distinte falde; la prima più profonda, è rappresentata dalla falda carsica circolante nelle rocce carbonatiche del substrato mesozoico, variamente fratturato e carsificato; la seconda è rappresentata da una falda superficiale che si rinviene a piccola profondità dal piano campagna, la cui esistenza è dovuta alla presenza di livelli di sedimenti impermeabili al letto della formazione che funge da acquifero.

Nel sottosuolo, sono presenti depositi costituiti da sabbie limose con intercalazioni di sottili lenti calcarenitiche, caratterizzate da permeabilità per porosità di interstizi, appartenenti ai Depositi Marini Terrazzati. Tali depositi, laddove sostenuti alla base dalle Argille Subappennine, impermeabili, sono sede di una falda superficiale.

Sulla base della cartografia del Piano Regionale per la Tutela delle Acque, l'area di interesse è situata all'esterno della zona della falda freatica superficiale.

Per quanto riguarda la circolazione idrica profonda, la potente falda carsica è contenuta nei terreni del substrato calcareo-dolomitico e si sostiene sulle acque più dense d'intrusione marina, assumendo una tipica forma lenticolare, con spessori decrescenti verso i margini ionico e adriatico. Il deflusso della falda profonda si esplica dall'entroterra in direzione del mare, dove le acque di falda normalmente si riversano, in forma diffusa o concentrata, attraverso sorgenti costiere e polle sottomarine. Il valore del carico piezometrico della falda carsica profonda desumibile dal Piano di Tutela delle Acque in corrispondenza dell'area di indagine è all'incirca di 1 metri s.l.m. Pertanto, essendo la quota al suolo pari a 40 m s.l.m., la profondità della falda dal piano campagna, in corrispondenza dell'area di progetto, è di circa 39 metri. La falda profonda non interferisce in alcun modo con l'opera in costruzione.



Distribuzione media dei carichi piezometrici (da Piano di Tutela delle Acque della Regione Puglia, 2019).

6. 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.

15

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."

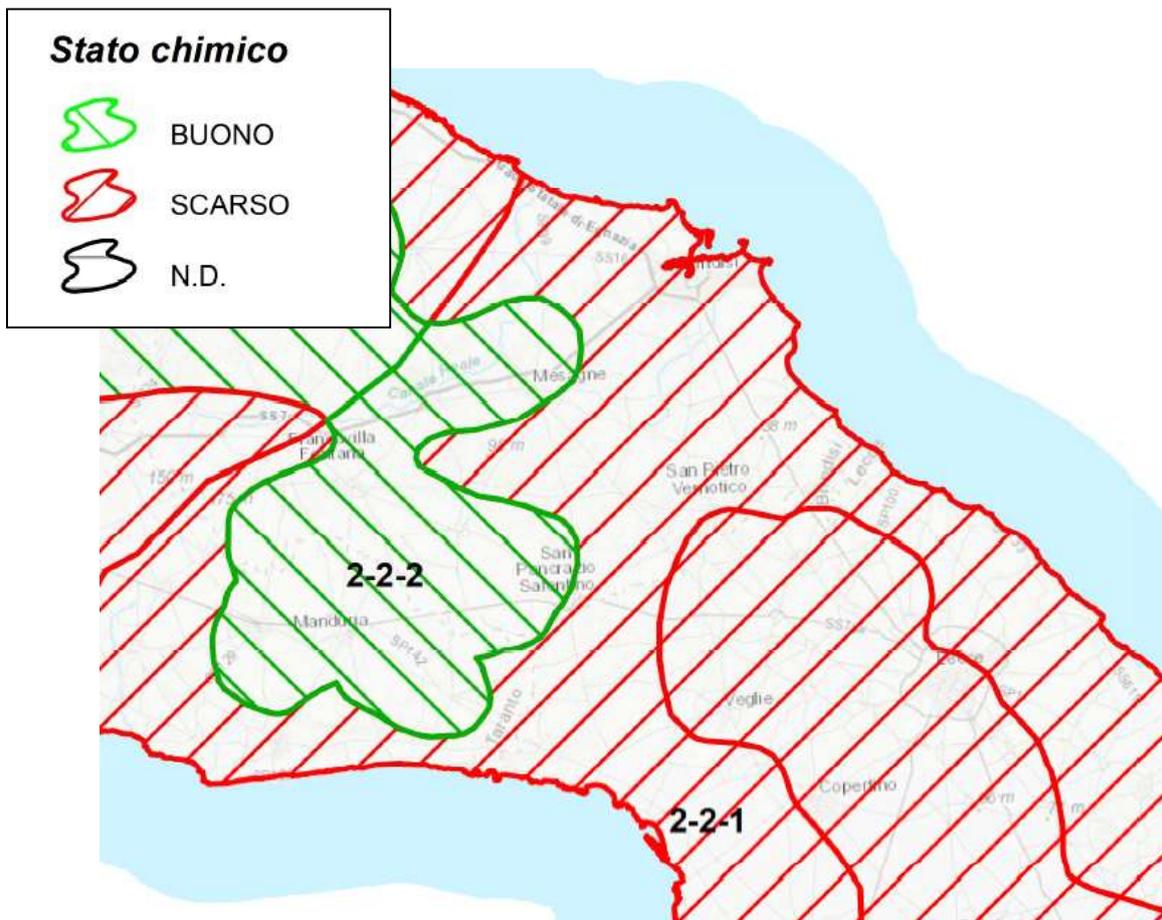
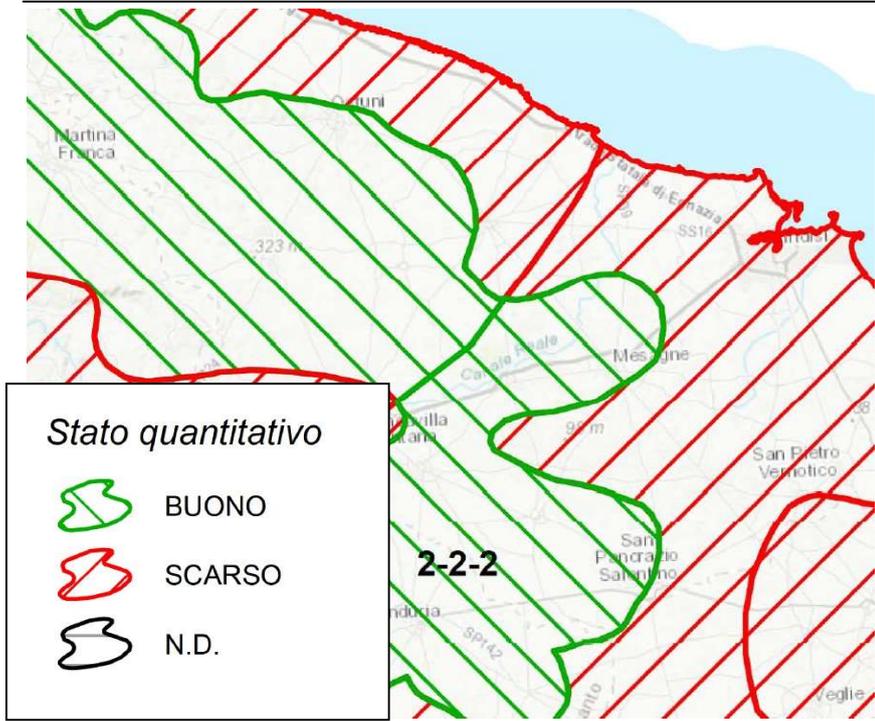
In base al decreto 152/99 i contenuti del Piano di tutela delle acque si possono riassumere come segue:

16

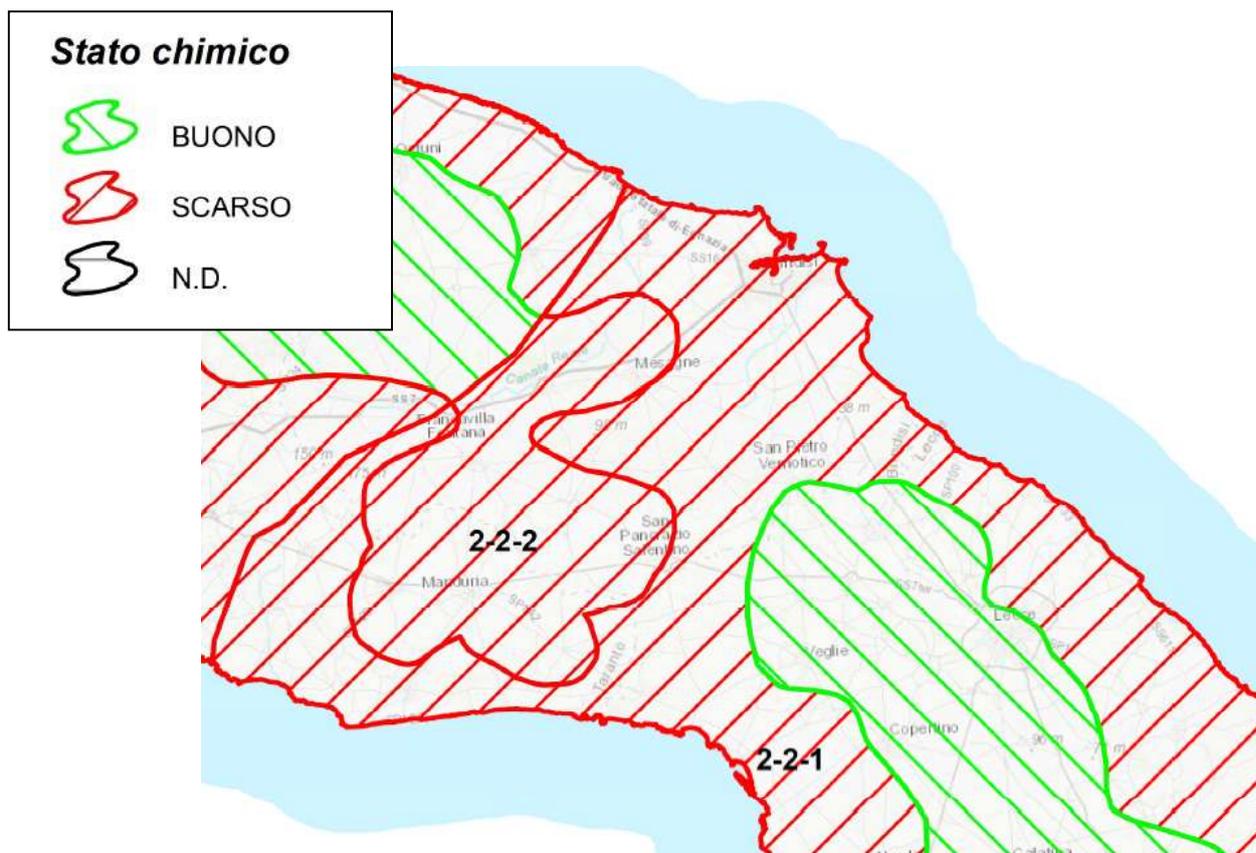
- i risultati dell'attività conoscitiva;
- l'individuazione degli obiettivi di qualità ambientale e per specifica destinazione;
- l'elenco dei corpi idrici a specifica destinazione e delle aree richiedenti specifiche misure di prevenzione dall'inquinamento e di risanamento;
- le misure di tutela qualitative 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'acquifero calcareo cretatico a cui appartiene l'area, è caratterizzato da uno stato quantitativo buono e qualitativo scarso



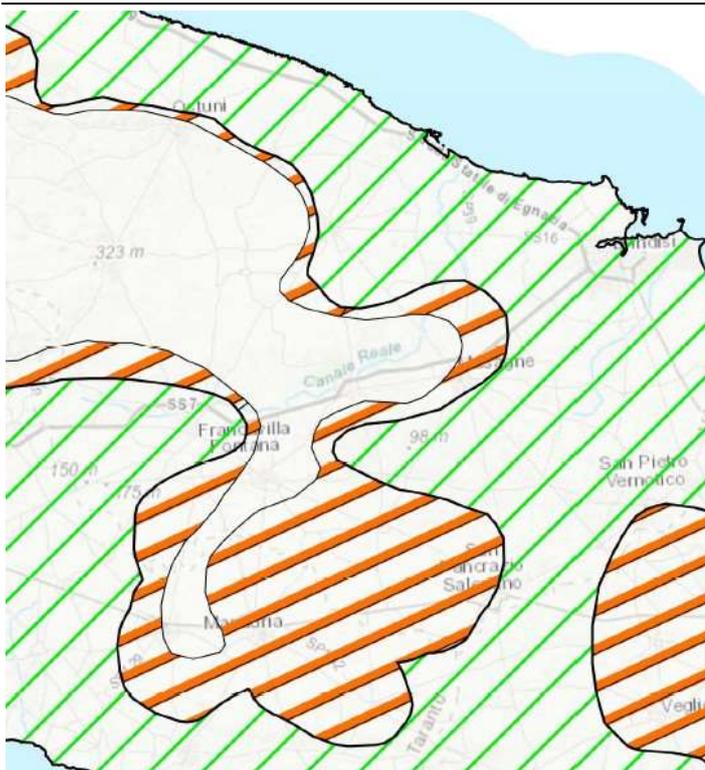
- l'acquifero calcareo cretaceo a cui appartiene l'area, è classificato come a rischio



- l'area non ricade in zone di protezione speciale idrogeologica



- il sito di studio è localizzato in un'area a contaminazione salina



 Aree di tutela quali-quantitativa degli acquiferi carsici della Murgia e del Salento

 Aree vulnerabili alla contaminazione salina degli acquiferi carsici del Gargano, della Murgia e del Salento

 Aree di tutela quantitativa dell'acquifero poroso del Tavoliere e degli acquiferi alluvionali del Saccione, del Fortore e dell'Ofanto

 Area di tutela per approvvigionamento idrico di emergenza (aree limitrofe al Canale Principale dell'Acquedotto Pugliese)

- il sito di studio non è ubicato in zone vulnerabili da nitrati di origine agricola

7. 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

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

“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 nonché il cavidotto di connessione, **non ricadono** nell’ambito delle fasce di pericolosità geomorfologica così come individuate dal P.A.I.
- L’area di progetto nonché il cavidotto di connessione **non ricadono** 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.

Per la rappresentazione cartografica vedansi Tavola 7A - Piano di Assetto Idrogeologico (PAI) – Aree a Pericolosità Inondazione e Tavola 7B - Piano di Assetto Idrogeologico (PAI) Aree a pericolosità Geomorfologica.

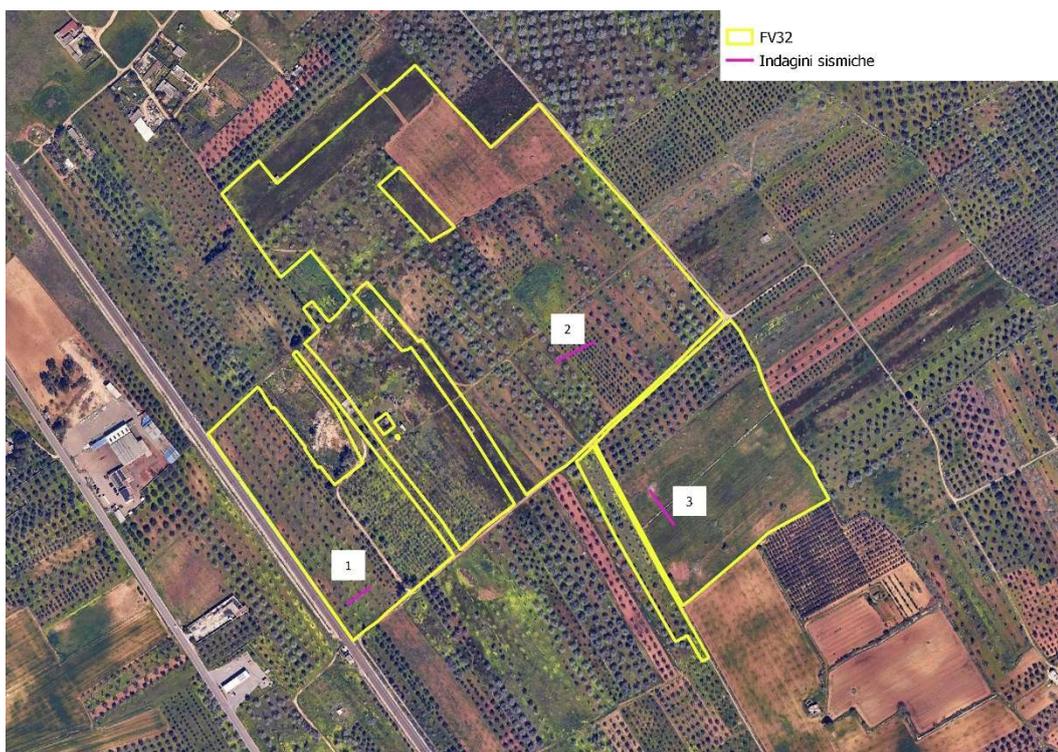
8. Indagini per la caratterizzazione geologica

Al fine di procedere ad una caratterizzazione geologica dell'area in esame sono state eseguite, le seguenti indagini geofisiche:

- n°3 prospezioni di sismica a rifrazione in onde P
- n°3 prospezioni Multichannel analysis of Surface Waves

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.

22



Ubicazione Indagini eseguite

8.1. Risultati delle indagini

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:

CALCOLO VS equivalente

Strato	VS (m/s)	Profondità Top (m)	Spessore (m)
1	200	0	0.5
2	340	0.5	1
3	440	1.5	1.9
4	420	3.4	5.4
5	470	8.8	6.7
6	780	15.5	14.9
7	1170	30.4	-

23

REF01

CALCOLO VS equivalente

Strato	VS (m/s)	Profondità Top (m)	Spessore (m)
1	210	0	0.5
2	380	0.5	1
3	550	1.5	1.8
4	760	3.3	4
5	470	7.3	6.3
6	900	13.6	

REF02

CALCOLO VS equivalente

Strato	VS (m/s)	Profondità Top (m)	Spessore (m)
1	200	0	0.6
2	390	0.6	1.1
3	600	1.7	1.2
4	570	2.9	7.2
5	660	10.1	10.2
6	610	20.3	7.1
7	1440	27.4	2.6
		30	

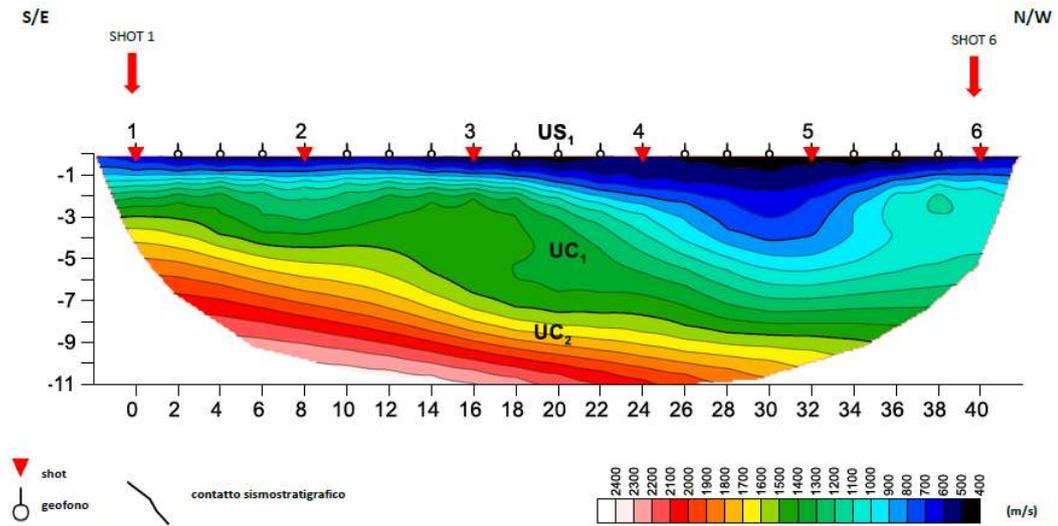
REF03

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 al p.c., è possibile evidenziare che **il valore V_{seq} è risultato essere compreso tra i 565 ed i 606 m/s**. Pertanto per le NTC 2018 il valore V_{Seq} è assimilabile, nell'approccio semplificato, alla **categoria B**.

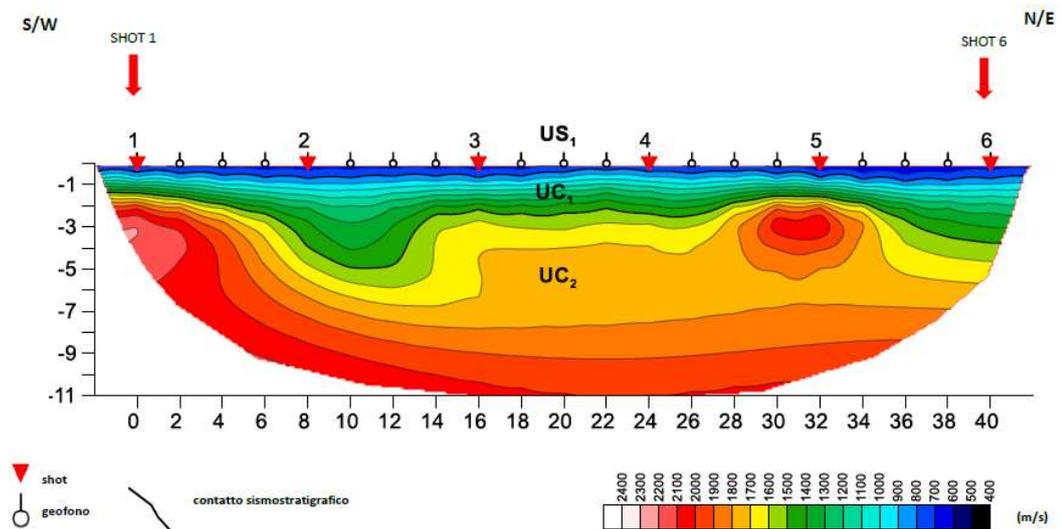
Tab. 3.2.II – Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.

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>Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.</i>
D	<i>Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.</i>
E	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.</i>

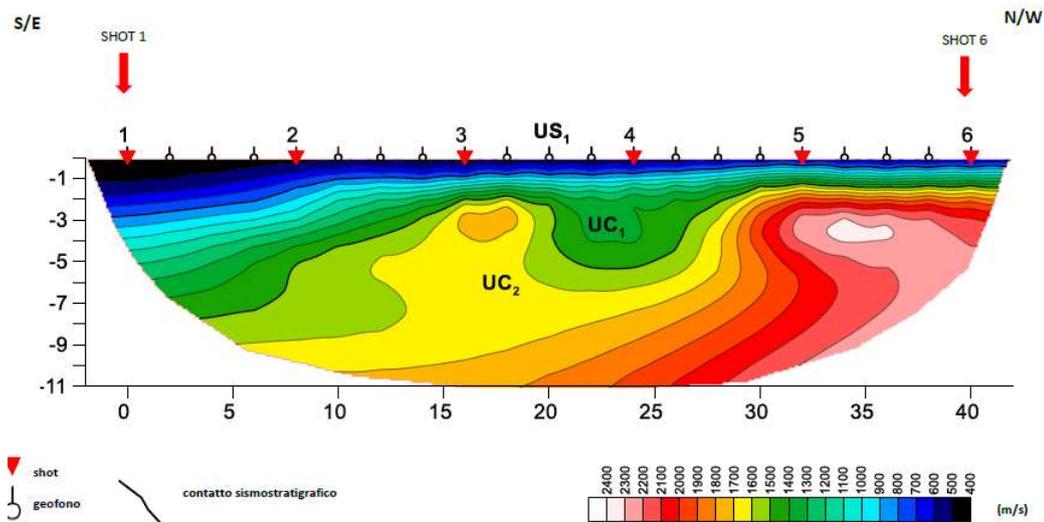
Trattandosi di indagini di tipo indiretto è stato possibile, mediante la prospezione di sismica a rifrazione, individuare una sezione sismografica:



REF01



REF02



REF03

La sequenza litostratigrafica deducibile dalle indagini inizia al top con uno strato (**US1**) che, per le velocità rilevate, risulta assimilabile a terreno vegetale.

Segue la sequenza l'unità **UC1** (evidenziata dai valori elevati del gradiente di velocità delle onde P, Allegato I) che per le velocità sismiche rilevate risulta assimilabile a calcarenite con possibili alternanze sabbiose ed inclusioni argillose nel bottom.

Chiude la sequenza l'unità **UC2** che per le velocità sismiche rilevate risulta assimilabile a calcarenite con possibili alternanze sabbiose limose ed inclusioni argillose.

9. 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 Brindisi, la nuova situazione è la seguente:

CLASSIFICAZIONE SISMICA DEL TERRITORIO REGIONALE PUGLIESE						
ALLEGATO 1						
Provincia	Codice Istat 2001	Denominazione	Categoria classificazione precedente (Decreti fino al 1984)	Categoria secondo la proposta del GdL del 1988	Zona prevista dall'O.P.C.M. n. 3274/03	Classificazione Regionale
BRINDISI	16074001	Brindisi	N. C.	N. C.	4	4
	16074002	Carovigno	N. C.	N. C.	4	4
	16074003	Ceglie Messapica	N. C.	N. C.	4	4
	16074004	Cellino San Marco	N. C.	N. C.	4	4
	16074005	Cisternino	N. C.	N. C.	4	4
	16074006	Erchie	N. C.	N. C.	4	4
	16074007	Fasano	N. C.	N. C.	4	4
	16074008	Francavilla Fontana	N. C.	N. C.	4	4
	16074009	Latlano	N. C.	N. C.	4	4
	16074010	Mesagne	N. C.	N. C.	4	4
	16074011	Oria	N. C.	N. C.	4	4
	16074012	Ostuni	N. C.	N. C.	4	4
	16074013	San Donaci	N. C.	N. C.	4	4
	16074014	San Michele Salentino	N. C.	N. C.	4	4
	16074015	San Pancrazio Salentino	N. C.	N. C.	4	4
	16074016	San Pietro Vernotico	N. C.	N. C.	4	4
	16074017	San Vito dei Normanni	N. C.	N. C.	4	4
	16074018	Torchiarolo	N. C.	N. C.	4	4
	16074019	Torre Santa Susanna	N. C.	N. C.	4	4
	16074020	Villa Castelli	N. C.	N. C.	4	4

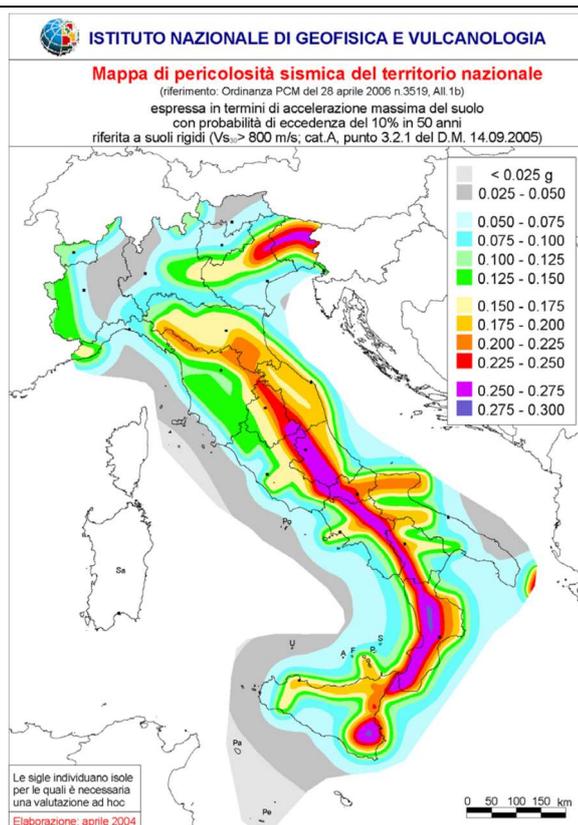
Fig. 12: Classificazione sismica dei Comuni della Provincia di Brindisi

Dalla tabella si evince che al Comune di S. Pietro Vernotico è stata attribuita la Categoria 4 ovvero a **sismicità molto 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



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 4.

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 4.

Classificazione sismica (OPCM n.ro 3274)

10. 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.

10.1. 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		50
3	Costruzioni con livelli di prestazioni elevati		100

Nel caso specifico **VN = 50 anni**.

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:

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

10.2 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:

34

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

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

10.3 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.II 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 in sito, i terreni caratterizzanti l'area di sedime dell'opera da realizzare, sono rappresentati da calcareniti con intercalazioni di sabbie compatibili con la descrizione stratigrafica secondo la tab. 3.2.II delle NTC 2018 e quindi, ricadenti nella **categoria di sottosuolo B**:

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 TC^* , 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. TC^* 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_0 = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;

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

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

a_g , il valore previsto dalla pericolosità sismica S1

F_0 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.

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:

$$\log(p) = \log(p_1) + \log\left(\frac{p_2}{p_1}\right) \cdot \log\left(\frac{p_2}{p_1}\right) \cdot \left[\log\left(\frac{TR_2}{TR_1}\right)\right]^{-1} \quad (4.1)$$

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.

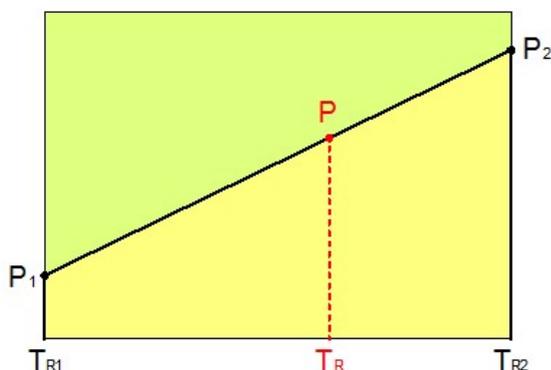


Figura 4.1 - Interpolazione dei periodi di ritorno, per ottenere i parametri di pericolosità sismica, in accordo alla procedura delle NTC08.

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

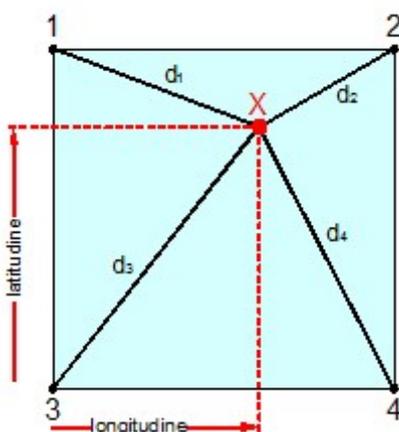


Figura 4.2 - Interpolazione delle coordinate geografiche, per ottenere i parametri di pericolosità sismica, in accordo alla procedura delle NTC08.

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.

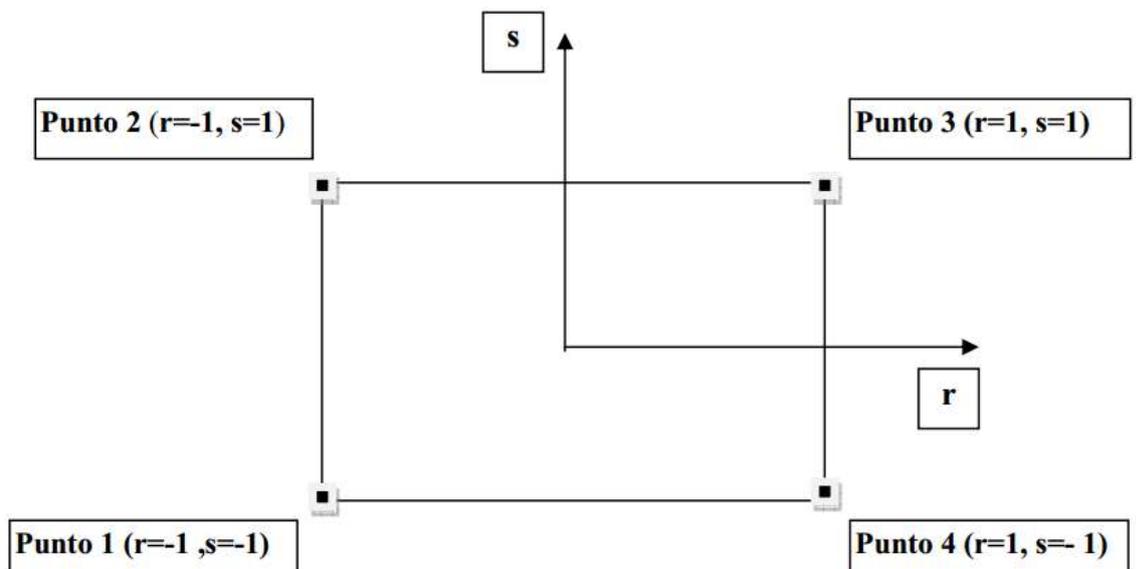


Figura 4.3 - Applicazione dell'interpolazione bilineare.

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, F_0, T_c^* 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 del punto in cui si trova il sito oggetto di analisi e del tipo di opera da calcolare. Il parametro di entrata per il calcolo è il tempo di ritorno (TR) 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.

42

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): 40.4757309 [°]

Longitudine (WGS84): 18.0164700 [°]

Latitudine (ED50): 40.4767113 [°]

Longitudine (ED50): 18.0172520 [°]

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

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

Punto	ID	Latitudine (ED50) [°]	Longitudine (ED50) [°]	Distanza [m]
1	34367	40.496040	17.961360	5192.53
2	34368	40.493400	18.027010	2031.05
3	34590	40.443480	18.023500	3732.65
4	34589	40.446110	17.957940	6062.73

Punto 1

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0.014	2.338	0.154
SLD	50	0.019	2.330	0.214
	72	0.023	2.298	0.269
	101	0.027	2.310	0.323
	140	0.030	2.379	0.350
	201	0.035	2.427	0.378
SLV	475	0.047	2.468	0.463
SLC	975	0.058	2.557	0.525
	2475	0.074	2.708	0.554

44

Punto 2

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0.013	2.375	0.151
SLD	50	0.018	2.291	0.197
	72	0.022	2.300	0.243
	101	0.026	2.279	0.316
	140	0.029	2.352	0.345
	201	0.034	2.405	0.375
SLV	475	0.046	2.440	0.464
SLC	975	0.057	2.528	0.535
	2475	0.074	2.659	0.563

Punto 3

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0.013	2.374	0.153
SLD	50	0.018	2.290	0.200
	72	0.022	2.290	0.251
	101	0.026	2.285	0.321
	140	0.030	2.354	0.349
	201	0.035	2.412	0.377
SLV	475	0.047	2.436	0.469
SLC	975	0.059	2.513	0.539
	2475	0.076	2.650	0.570

Punto 4

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0.014	2.339	0.155
SLD	50	0.019	2.333	0.218
	72	0.023	2.285	0.284

Realizzazione di impianto fotovoltaico denominato "FV32" – S. Pietro Vernotico (BR) - Relazione Geologica

	101	0.027	2.315	0.327
	140	0.031	2.378	0.355
	201	0.035	2.429	0.381
SLV	475	0.048	2.465	0.467
SLC	975	0.059	2.561	0.528
	2475	0.076	2.705	0.561

Punto d'indagine

45

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0.013	2.363	0.153
SLD	50	0.018	2.304	0.204
SLV	475	0.047	2.448	0.466
SLC	975	0.058	2.534	0.533

Coefficiente di smorzamento viscoso ξ : 5 %

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

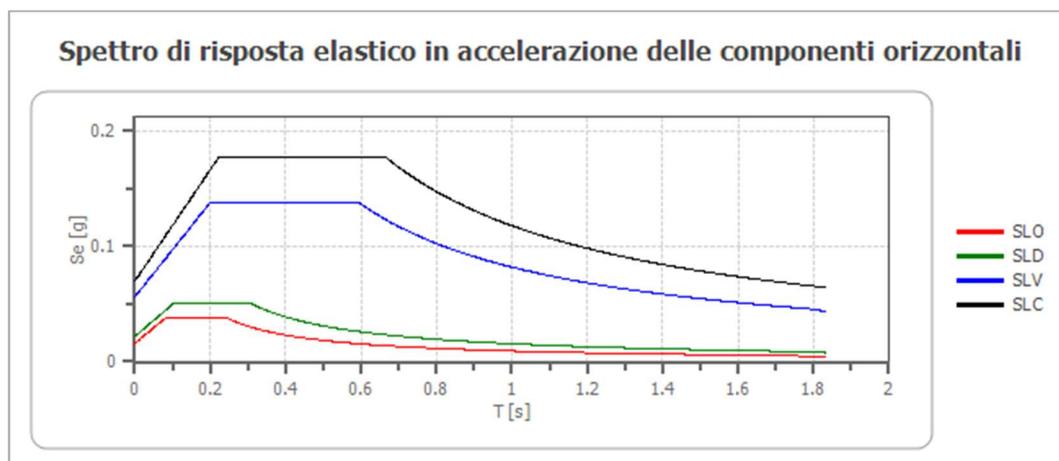
Categoria sottosuolo: B

Categoria topografica: T1

Coefficienti sismici stabilità di pendii e fondazioni

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.003	0.004	0.011	0.014
kv	0.002	0.002	0.006	0.007
amax [m/s ²]	0.157	0.215	0.551	0.684
Beta	0.200	0.200	0.200	0.200

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	0.013	2.363	0.153	1.200	1.600	1.000	1.200	1.000	0.081	0.244	1.653	0.016	0.038
SLD	1.0	0.018	2.304	0.204	1.200	1.510	1.000	1.200	1.000	0.103	0.308	1.673	0.022	0.050
SLV	1.0	0.047	2.448	0.466	1.200	1.280	1.000	1.200	1.000	0.199	0.596	1.787	0.056	0.137

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

Cell: 3497892919

E-Mail: antonello.fabiano@libero.it

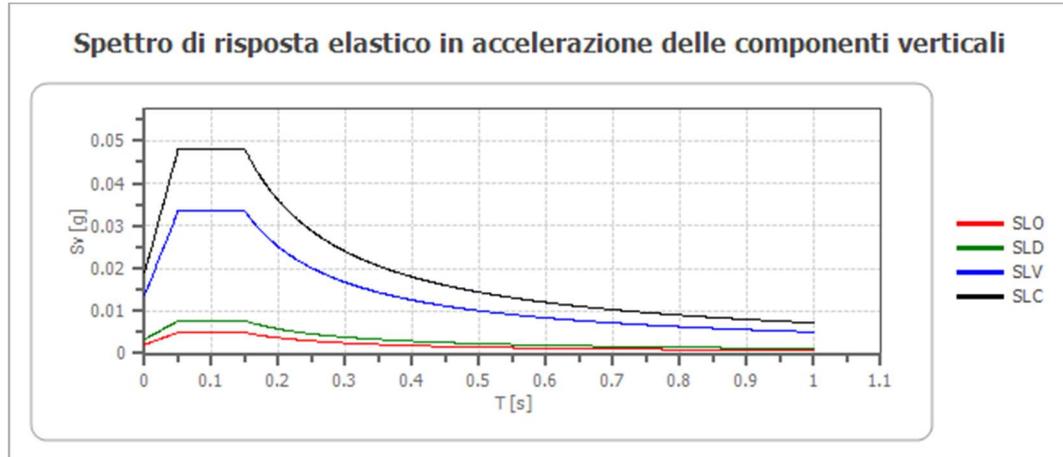
Sito Web: www.antonellofabiano.it

SLC	1.0	0.058	2.534	0.533	1.200	1.250	1.000	1.200	1.000	0.222	0.666	1.833	0.070	0.177
-----	-----	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

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



46

	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	0.013	2.363	0.153	1	1.600	1.000	1.000	1.000	0.050	0.150	1.000	0.002	0.005
SLD	1.0	0.018	2.304	0.204	1	1.510	1.000	1.000	1.000	0.050	0.150	1.000	0.003	0.008
SLV	1.0	0.047	2.448	0.466	1	1.280	1.000	1.000	1.000	0.050	0.150	1.000	0.014	0.033
SLC	1.0	0.058	2.534	0.533	1	1.250	1.000	1.000	1.000	0.050	0.150	1.000	0.019	0.048

Spettro di progetto

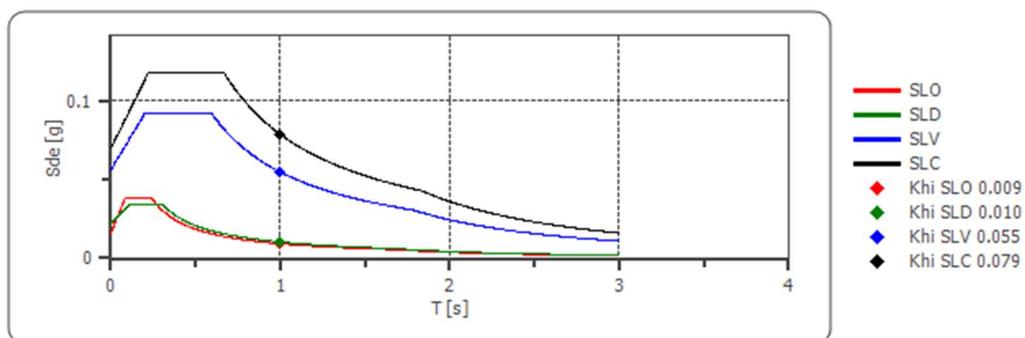
Fattore di struttura spettro orizzontale q : 1,50

Fattore di struttura spettro verticale q : 1,50

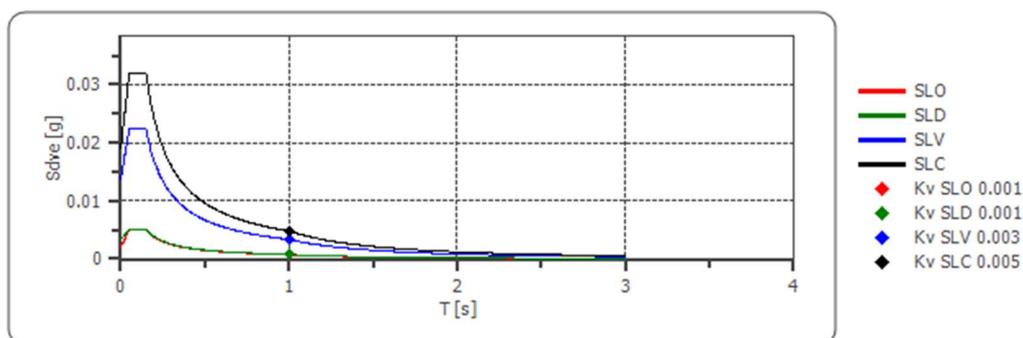
Periodo fondamentale T : 1,00 [s]

	SLO	SLD	SLV	SLC
khi = Sde(T) Orizzontale [g]	0.009	0.010	0.055	0.079
kv = Sdve(T) Verticale [g]	0.001	0.001	0.003	0.005

Spettro di progetto delle componenti orizzontali



Spettro di progetto delle componenti verticali



47

	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	0.013	2.363	0.153	1.200	1.600	1.000	1.200	1.000	0.081	0.244	1.653	0.016	0.038
SLO verticale	1.0	0.013	2.363	0.153	1.200	1.600	1.000	1.000	1.000	0.050	0.150	1.000	0.002	0.005
SLD orizzontale	1.0	0.018	2.304	0.204	1.200	1.510	1.000	1.200	1.500	0.103	0.308	1.673	0.022	0.034
SLD verticale	1.0	0.018	2.304	0.204	1.200	1.510	1.000	1.000	1.500	0.050	0.150	1.000	0.003	0.005
SLV orizzontale	1.0	0.047	2.448	0.466	1.200	1.280	1.000	1.200	1.500	0.199	0.596	1.787	0.056	0.092
SLV verticale	1.0	0.047	2.448	0.466	1.200	1.280	1.000	1.000	1.500	0.050	0.150	1.000	0.014	0.022
SLC orizzontale	1.0	0.058	2.534	0.533	1.200	1.250	1.000	1.200	1.500	0.222	0.666	1.833	0.070	0.118
SLC verticale	1.0	0.058	2.534	0.533	1.200	1.250	1.000	1.000	1.500	0.050	0.150	1.000	0.019	0.032

11. 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 S. Pietro Vernotico e da indagini eseguite dallo scrivente in aree correlabili dal punto di vista geologico e geofisico. 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. Sulla base dei dati geologici reperibili in letteratura, delle conoscenze dello scrivente e delle indagini eseguite, si è delineato un modello del sottosuolo rappresentato da calcarenite sovrapposta a calcare. Le proprietà geotecniche dei terreni caratterizzanti l'area, risentono della notevole variabilità dei caratteri sedimentologici, granulometrici e tessiturali di tali depositi.

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

	VP [m/s]		Vs [m/s]		Poisson		Spessore [m]	
	min	max	min	max	min	max	min	max
Us1	400	700	200	340	0.33	0.35	0.70	4.20
Uc1	825	1000	440	420	0.30	0.39	2.50	6.90
Uc2	1400		470		0.44			

	Young [Mpa]		Shear [Mpa]		Bulk [Mpa]		γ (kN/m ³)		φ (°)	
	Ed		G		K		Densità (Nafe & Drake)		Angolo d'attrito (Sen Sadagah)	
	modulo di elasticità longitudinale		modulo di elasticità tangenziale		modulo di compressibilità					
	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max
Us1	167	540	62	201	167	583	15.6	17.4	25.9	31.0
Uc1	903	913	347	328	757	1422	17.9	18.6	33.3	33.3
Uc2	1258		438		3300		19.8		34.7	

	Young STATICO [Mpa]		Cu [Kg/cm ²]		Coesione amm.so roccioso [Kg/cm ²]		Coefficiente di Winkler (N/mm ³)		RQD	
	Ed		Coesione non drenata Oh et al (2008)		C Sen Sadagah		K Keceli (2012)		Rock Quality Designation *CALCARENITE	
	modulo di elasticità longitudinale									
	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max
Us1	30	48	nd	nd	0.14	0.89	0.008	0.030	nd	nd
Uc1	57	75	nd	1.56	1.22	1.23	0.055	0.049	* < 5 (%)	* 20 (%)
Uc2	136		1.75		1.43		0.065		* 60 (%)	

12. Conclusioni

Nell'ambito del progetto di un impianto fotovoltaico denominato "FV32" in agro di S. Pietro Vernotico(BR) alla C.da "Caprariche", 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 di circa 40 m s.l.m. Nel sottosuolo in corrispondenza dell'area di realizzazione del fabbricato, è presente, al di sotto dello strato di suolo, un litotipo calcarenitico con intercalazioni sabbiose.

Nella classificazione sismica nazionale, l'area ricade nella zona 4 e sulla scorta delle nuove Norme Tecniche per le Costruzioni la Classe d'uso è la Classe II. Poiché il valore di V_{sequ} , ricavato dalle indagini eseguite è **compreso tra i 565 ed i 606 m/s**, per le NTC 2018 il valore V_{Seq} è assimilabile, nell'approccio semplificato, alla **categoria B**.

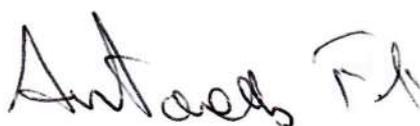
Dalle tavole del PAI l'area di intervento è situata al di fuori da zone perimetrate dall'Autorità di Bacino della Puglia quali zone a pericolosità geomorfologica e zone ad Alta, Media e Bassa pericolosità idraulica.

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.

Pertanto in relazione allo stato attuale dei luoghi, ai dati a disposizione ed alle risultanze dello studio condotto si può affermare che il sito è compatibile per gli aspetti geologici, geomorfologici, geotecnici ed idrogeologici con quanto in progetto.

Francavilla Fontana, 23/07/2024

dott. Geol. Antonello FABIANO



Dott. Geol. Antonello Fabiano – Via San Lorenzo 209, 72021 Francavilla;
Cell: 3497892919

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

TAVOLE IN ALLEGATO E RELAZIONE SULLE INDAGINI ESEGUITE

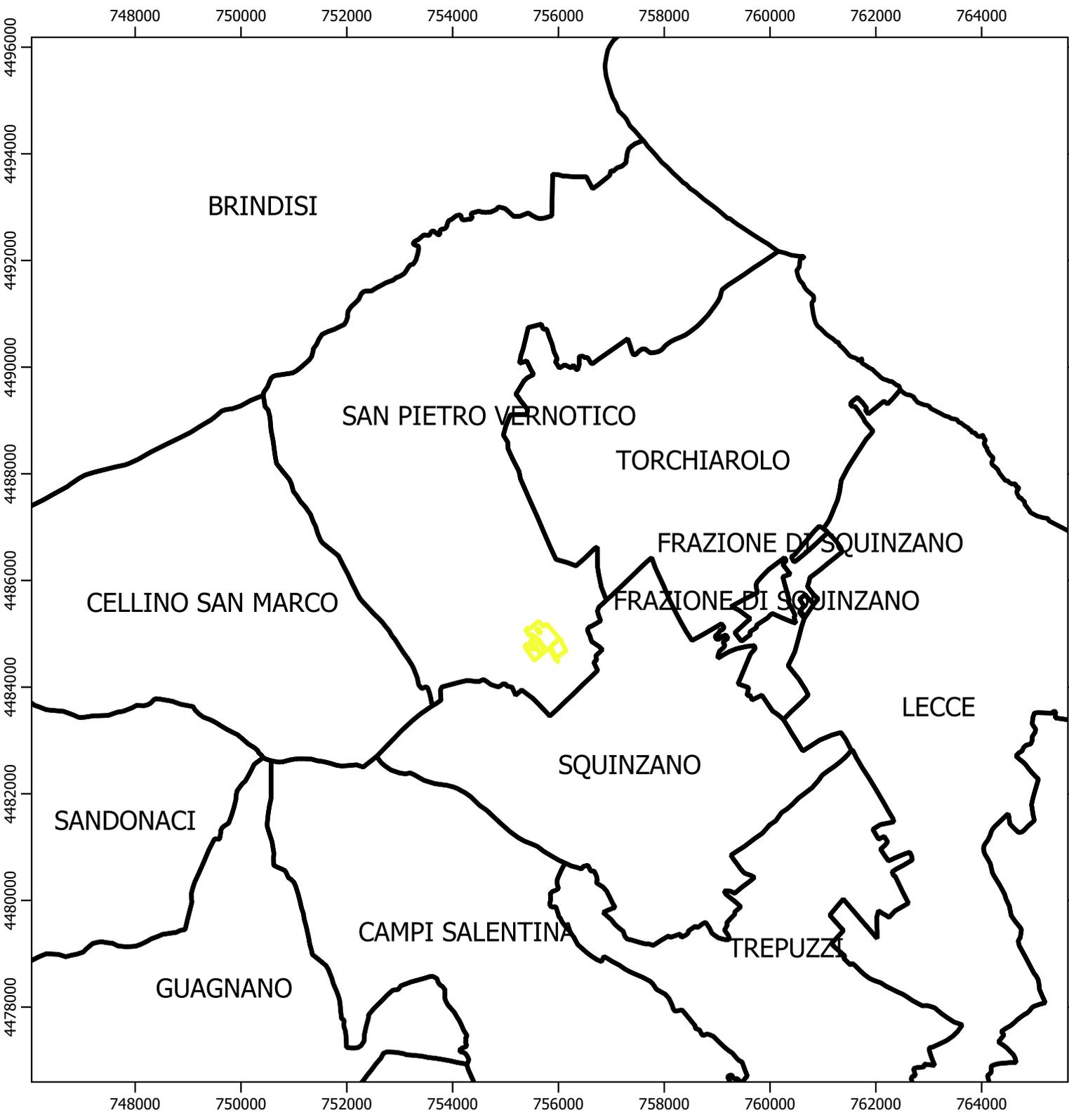


TAVOLA 1 - Cartografia Amministrativa

dott. Geol. Antonello Fabiano

Legenda

 LIMITI COMUNALI

 N

Scala 1:100000 - UTM WGS84 Zona 33N

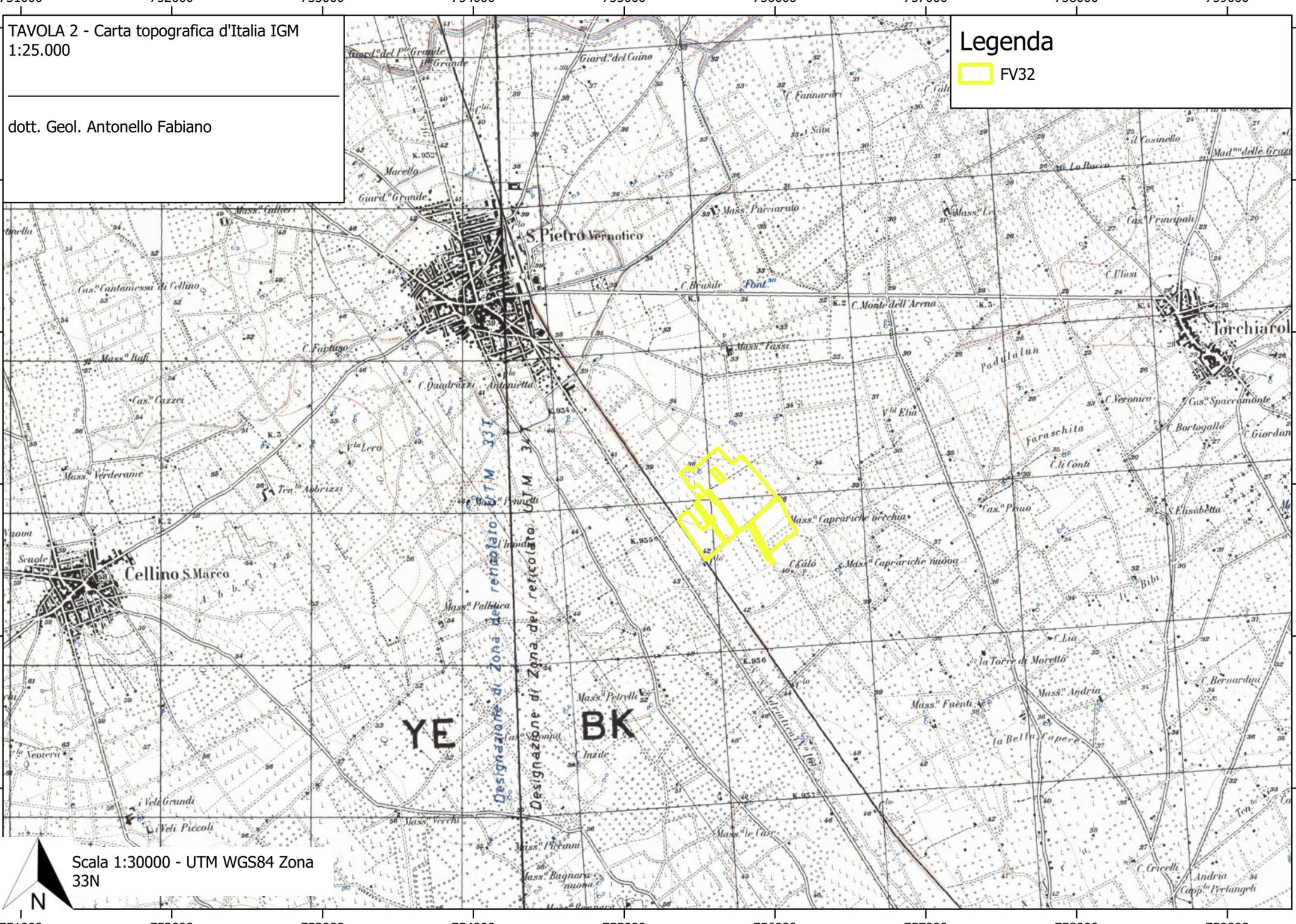
TAVOLA 2 - Carta topografica d'Italia IGM
1:25.000

dott. Geol. Antonello Fabiano

Legenda



FV32



Scala 1:30000 - UTM WGS84 Zona 33N



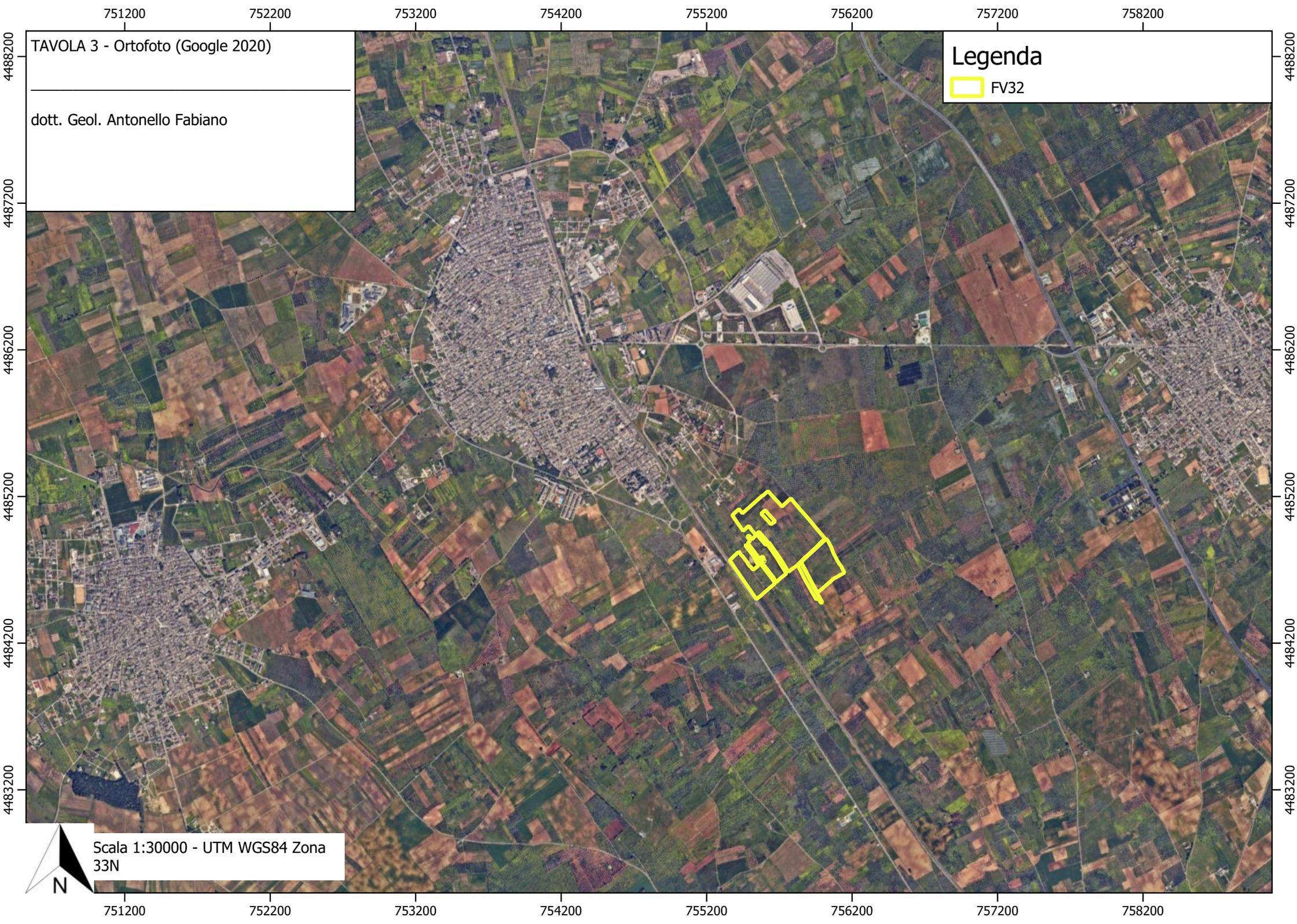


TAVOLA 3 - Ortofoto (Google 2020)

dott. Geol. Antonello Fabiano

Legenda

FV32

Scala 1:30000 - UTM WGS84 Zona 33N

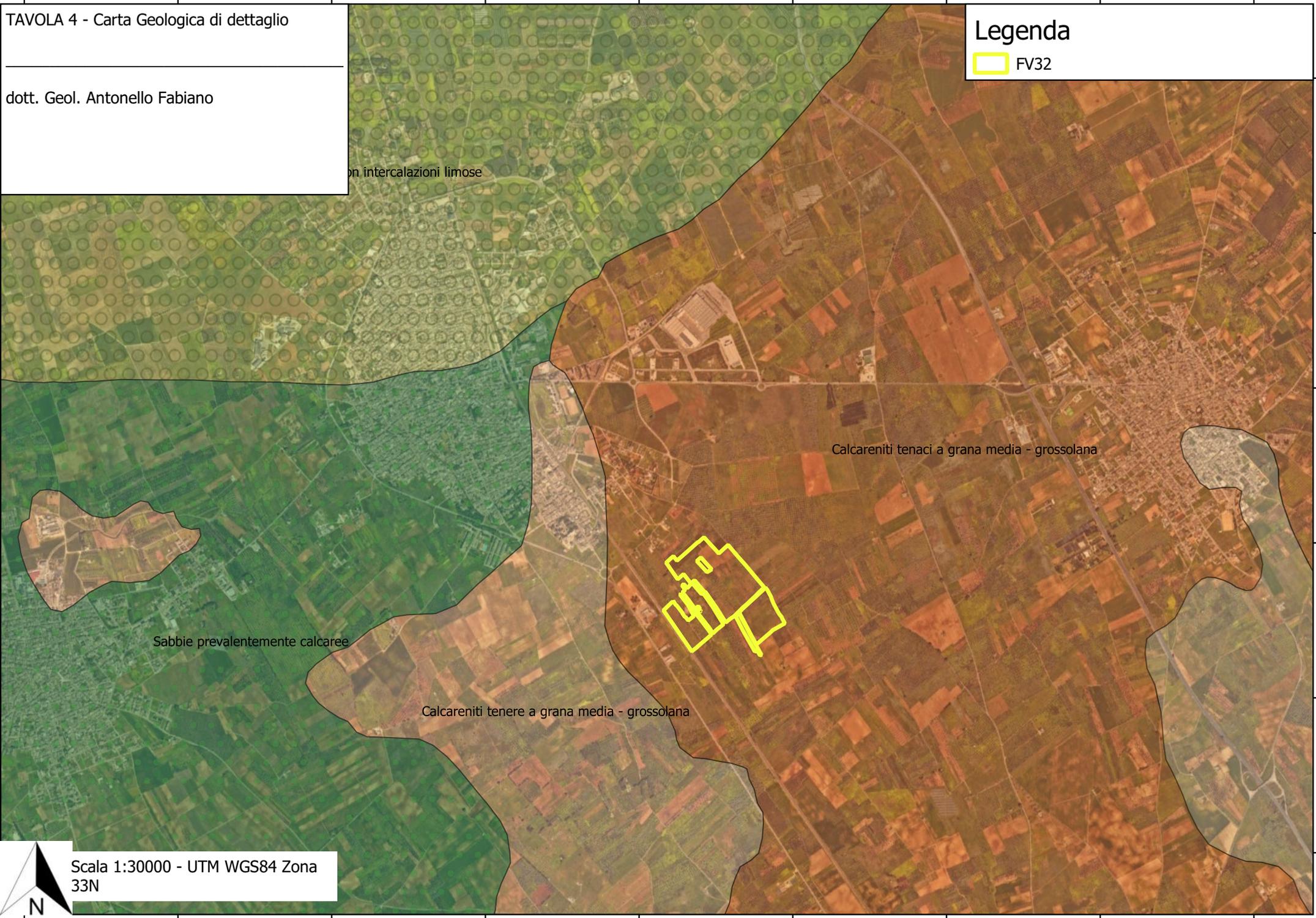


TAVOLA 4 - Carta Geologica di dettaglio

dott. Geol. Antonello Fabiano

Legenda

FV32



Sabbie prevalentemente calcaree

Calcareniti tenere a grana media - grossolana

Calcareniti tenaci a grana media - grossolana

Scala 1:30000 - UTM WGS84 Zona 33N

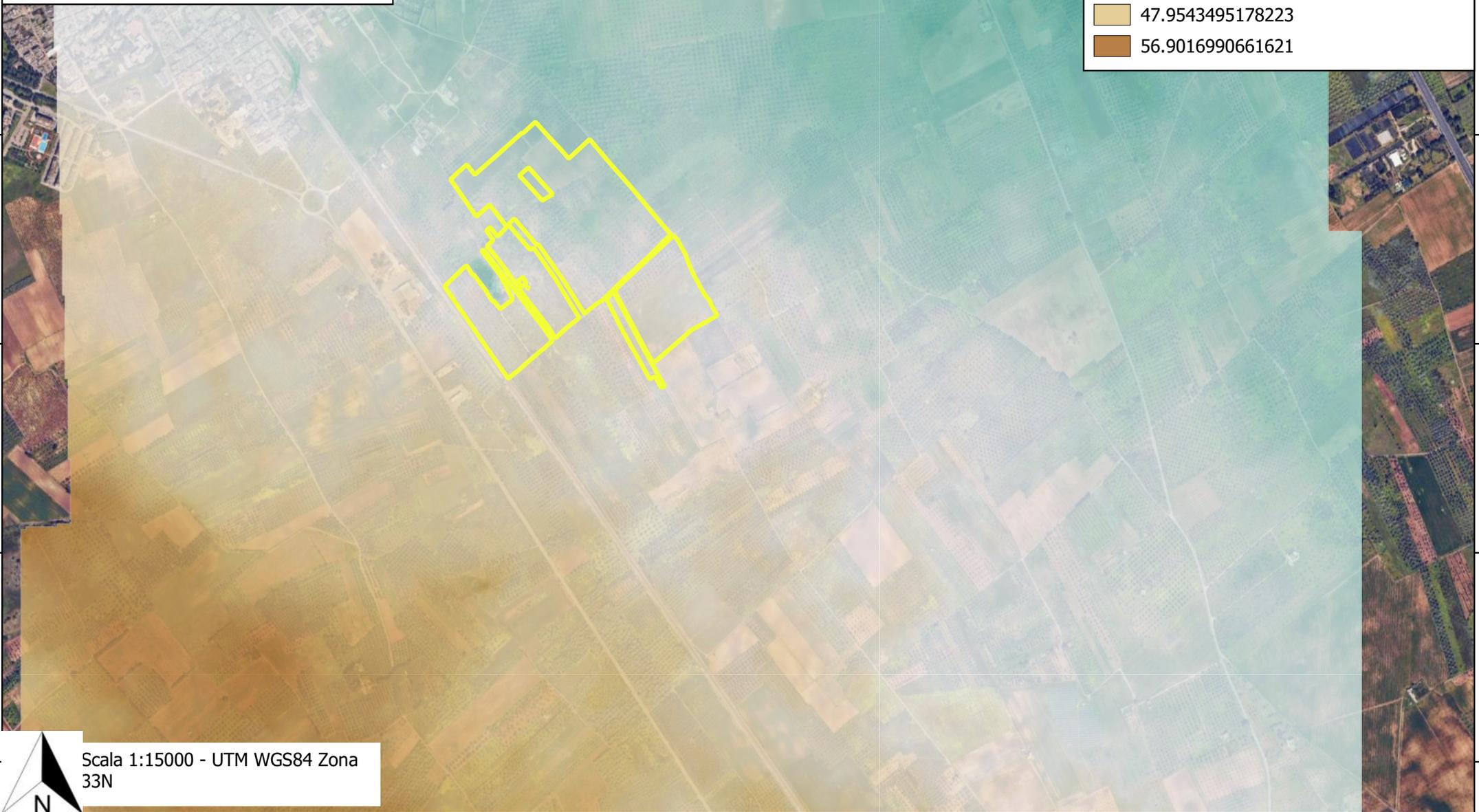


TAVOLA 5 - Digital Terrain Model (DTM)

dott. Geol. Antonello Fabiano

Legenda

-  FV32
- Quota m s.l.m.
 -  21.1123008728027
 -  30.0596504211426
 -  39.0069999694824
 -  47.9543495178223
 -  56.9016990661621



 N

Scala 1:15000 - UTM WGS84 Zona 33N

754400 755000 755600 756200 756800 757400 758000

4485800
4485200
4484600
4484000
4483400

4485800
4485200
4484600
4484000
4483400

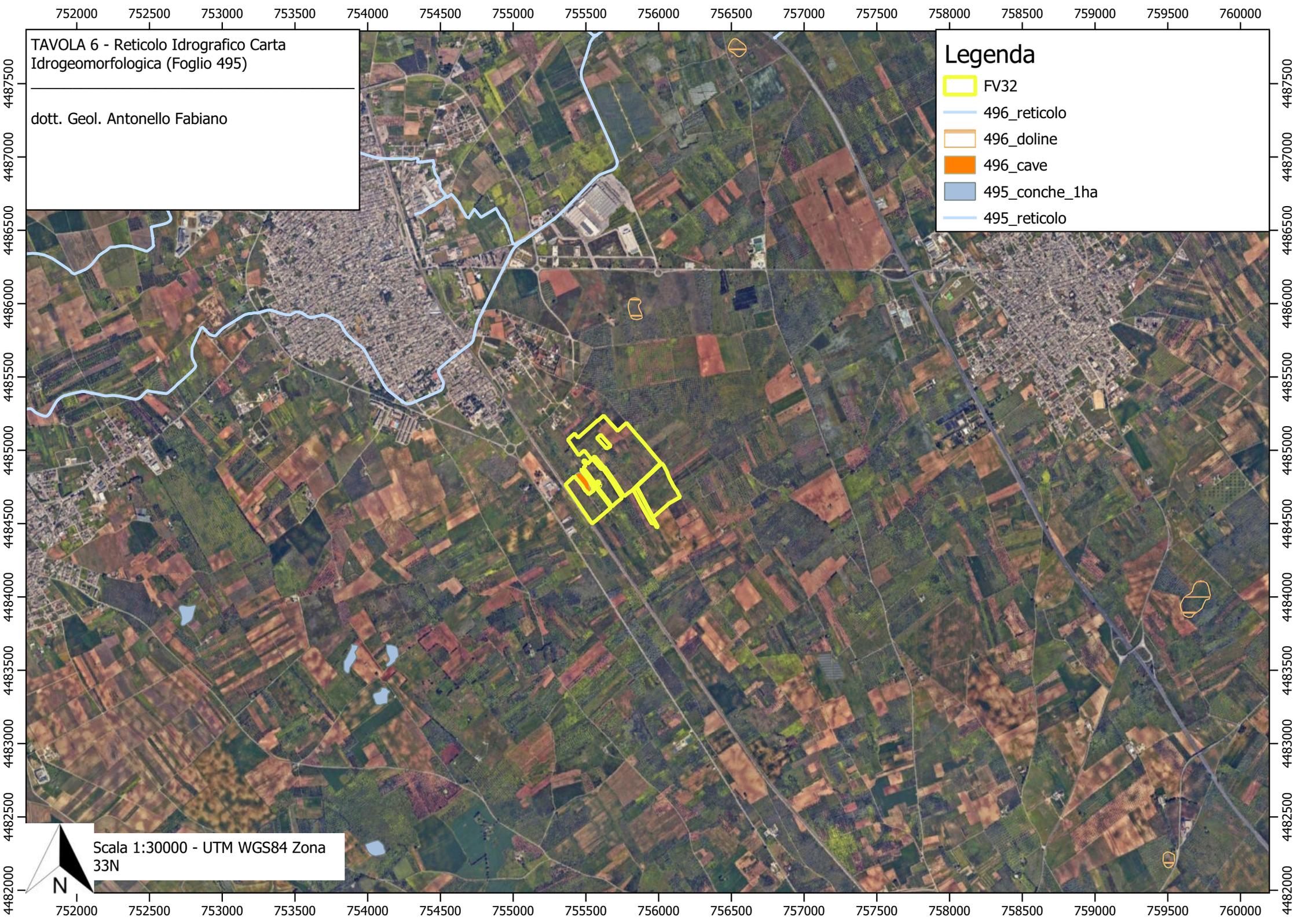


TAVOLA 6 - Reticolo Idrografico Carta Idrogeomorfologica (Foglio 495)

dott. Geol. Antonello Fabiano

Legenda

- FV32
- 496_reticolo
- 496_doline
- 496_cave
- 495_conche_1ha
- 495_reticolo

Scala 1:30000 - UTM WGS84 Zona 33N



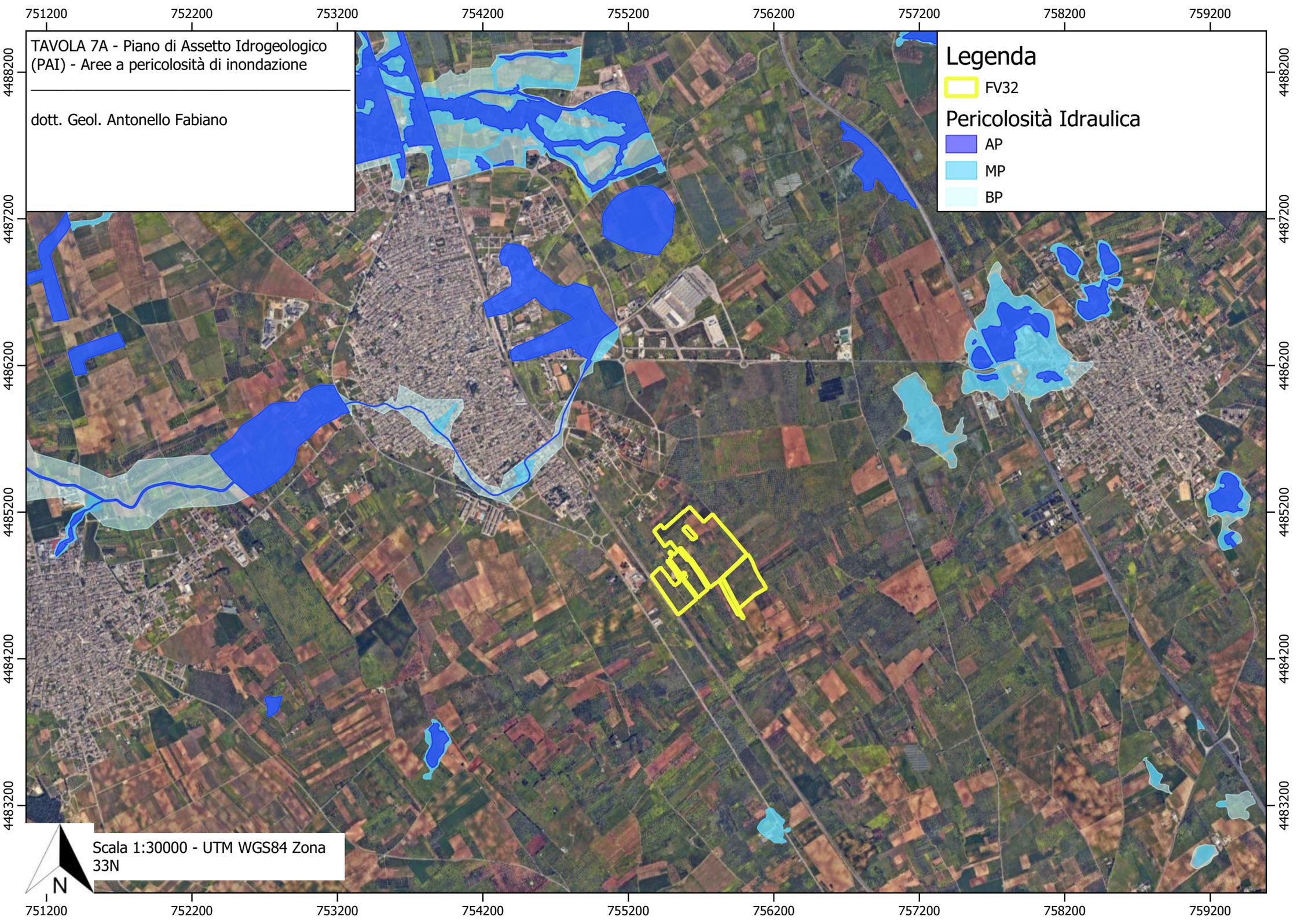
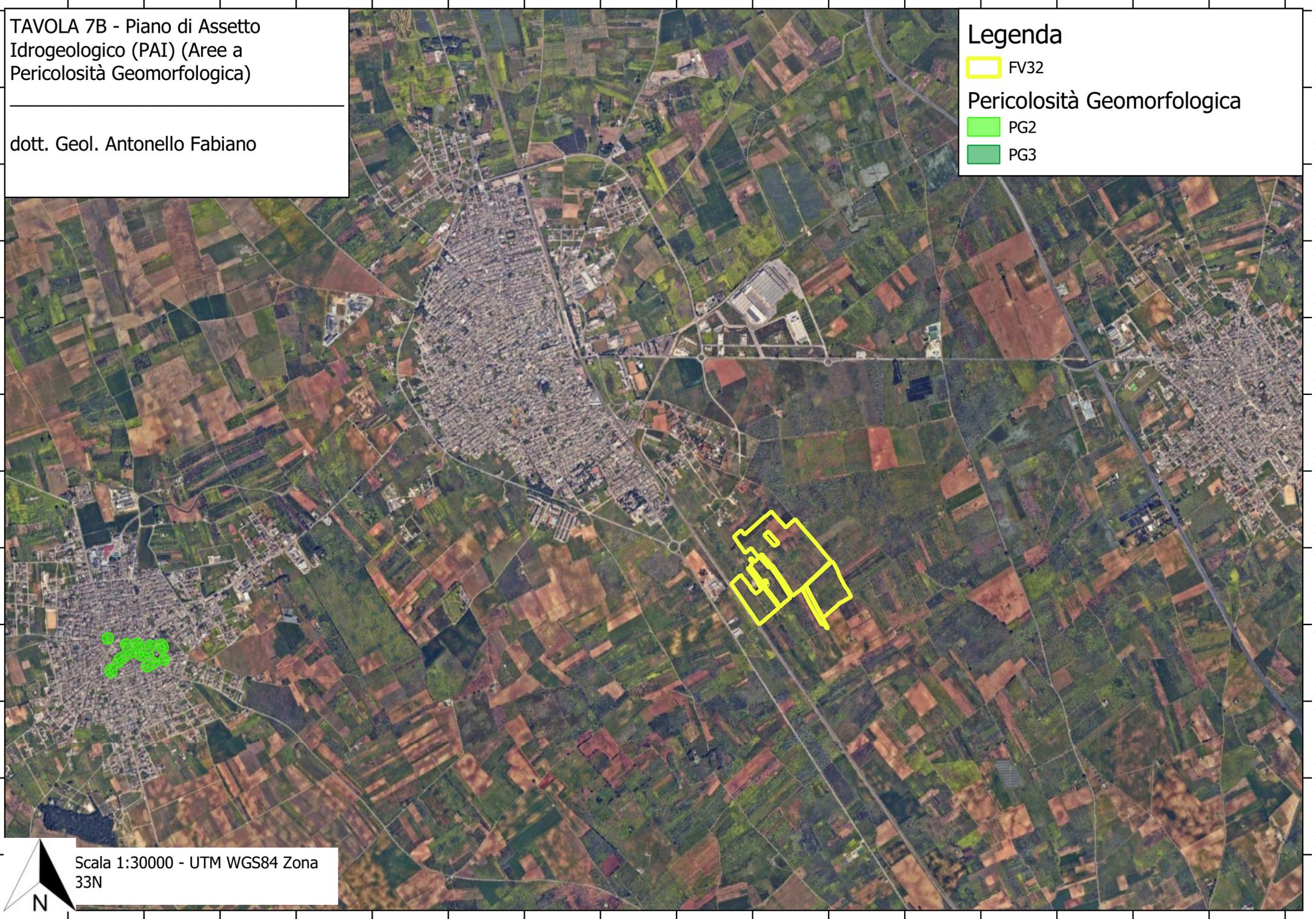


TAVOLA 7B - Piano di Assetto
Idrogeologico (PAI) (Aree a
Pericolosità Geomorfologica)

dott. Geol. Antonello Fabiano

Legenda

-  FV32
- Pericolosità Geomorfologica**
 -  PG2
 -  PG3



 Scala 1:30000 - UTM WGS84 Zona
33N

751000 751500 752000 752500 753000 753500 754000 754500 755000 755500 756000 756500 757000 757500 758000 758500 759000

4488500
4488000
4487500
4487000
4486500
4486000
4485500
4485000
4484500
4484000
4483500
4483000

751000 751500 752000 752500 753000 753500 754000 754500 755000 755500 756000 756500 757000 757500 758000 758500 759000



**PRONVINCIA DI BRINDISI
COMUNE DI SAN PIETRO VERNOTICO**

COMMITTENTE:

Spett.le

Dott Geol FABIANO Antonello

PROGETTO:

Indagine geofisica di Sismica a Rifrazione & MASW, di supporto alla Relazione Geologica, agro Sud/Est, San Pietro Vernotico (Br).



**RELAZIONE TECNICA INDAGINE
GEOFISICA MEDIANTE SISMICA
A RIFRAZIONE E MASW**



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

Dott. Geol. Pierpaolo Moretti
Phd in Geofisica Applicata

Dott. Geol. Davide de Palma
Dottore in Scienze Geofisiche

1. INTRODUZIONE E NORMATIVA DI RIFERIMENTO

La presente relazione tecnica riferisce sui risultati della campagna di indagini geofisiche eseguite nel territorio sud orientale del Comune di San Pietro Vernotico (Br) di supporto al progetto inerente la realizzazione di parchi fotovoltaici. Tali indagini sono state eseguite il 04/07/2024 mediante sismica a rifrazione in onde P, MASW (*Multichannel Analysis of Surface Waves*).

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

- n°3 prospezioni di sismica a rifrazione in onde P (*REF 01÷REF 03*)
- n°3 prospezioni Multichannel analysis of Surface Waves (*MASW 01÷MASW 03*)
- Elaborazione dei dati raccolti.

Risultati attesi dalla prospezione sismica (Rifrazione, MASW)

Lo scopo dell'indagine, oltre alla stima del parametro *VSeq* (*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:

- **Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni». Decreto 17 gennaio 2018.** (Capitolo 3.2.2 *Categorie di sottosuolo.*)
- **CIRCOLARE 21 gennaio 2019 , n. 7 C.S.LL.PP.** Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni” di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018

è quello di offrire un contributo all'implementazione di un modello geologico - geotecnico dell'area di indagine. Mediante l'indagine di sismica a rifrazione 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 D5777 - 95 (Standard Guide for Using the Seismic Refraction Method for Subsurface Investigation).

2. UBICAZIONE INDAGINI

Le indagini geofisiche sono state eseguite in un'area ubicata a Sud Est dell'abitato di San Pietro Vernotico (Br) (fig.1 a, b).



Fig.1a – ubicazione indagini geofisiche (© Google Earth)



Fig.1b – ubicazione indagini sismiche



Fig.1c – ubicazione indagini sismiche

	E (m)	N (m)	E (m)	N (m)	Lunghezza (m)
REF01 (SH01-SH06)	246896.82	4484435.28	246875.36	4484470.11	40.0
MASW01 (G1-G19)	246894.07	4484438.55	246876.77	4484467.94	36.0
REF02 (SH01-SH06)	247203.95	4484801.56	247237.12	4484824.95	40.0
MASW02 (G1-G19)	247205.27	4484802.81	247234.88	4484823.48	36.0
REF03 (SH01-SH06)	247313.88	4484456.11	247294.89	4484492.09	40.0
MASW03 (G1-G19)	247312.47	4484459.45	247296.10	4484490.17	36.0

Tab. I – Coordinate degli estremi dei profili di Sismica a rifrazione, MASW. Sistema di riferimento UTM
 - datum WGS84 - fuso 34 T

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. Diversamente per le onde SH si utilizzano trasduttori orizzontali e la sorgente viene generata da una piastra di metallo o legno infissa nel suolo e posta perpendicolarmente alla stesa sismica, questa viene pesantemente battuta ai 2 lati, generando impulsi polarizzati. Nell'indagine sismica a rifrazione i trasduttori situati più vicino alla sorgente rilevano prima l'onda diretta che arriva con velocità legata alle caratteristiche meccaniche dello strato di terreno più superficiale, mentre quelli più lontani 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. L'indagine 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 è 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'obiettivo 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.2a) adagiata opportunamente al suolo, per la generazione prevalente di onde P ad alta frequenza ricche di energia, con forme d'onda ripetibili e direzionali.

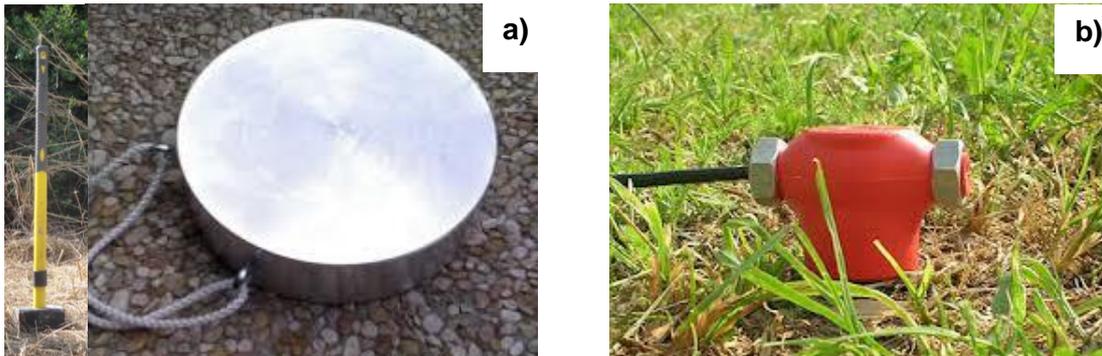


Fig. 2 - Foto del sistema energizzante utilizzato per la generazione onde P e del sistema di ricezione: a), mazza (8 Kg) e piastra di battuta, b) geofoni verticali.

- sistema di ricezione: per le indagini sono stati utilizzati 19 geofoni verticali (onde P) del tipo elettromagnetico a bobina mobile, con frequenza caratteristica di 4.5 Hz (fig.5a) e 24 geofoni orizzontali (onde SH) del tipo elettromagnetico a bobina mobile, con frequenza caratteristica di 8 Hz (fig.2b).

- ***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.III). 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. II: specifiche tecniche SISMOGRAFO AMBROGEO ECHO 24

5.ACQUISIZIONE

5.1 Sismica a rifrazione in onde P

Lo stendimento sismico è stato realizzato utilizzando 19 canali d'acquisizione, adottando una distanza intergeofonica pari a 2.0 m. L'acquisizione dei dati sismici è stata condotta secondo la seguente configurazione spazio temporale:

- n° geofoni: 19
- n° scoppi: 6
- distanza intergeofonica: 2.0 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: 2.0 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 6 *shot points*.

- 2 *end-shots* posti rispettivamente a -2.0 e +38.0 m rispetto al geofono 1.
- 6 intermedi posti rispettivamente in corrispondenza del 4°, 8°, 12°, 16° geofono.

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

5.3 MASW

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

- n° geofoni: 19
- distanza intergeofonica di 2.0 m per complessivi 36.0 m di rilievo
- n° 2 punti di energizzazione distanti -2.0 m dal I geofono, +2.0 m dall'ultimo geofono.
- n° 4/8 *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
- frequenza di campionamento: 4000 Hz (25 msec)

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 *RAYFRACT* (*Intelligent Resources Inc., Canada*), studiato per l'elaborazione di dati relativi ad indagini sismiche eseguite in superficie, 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:

- calcolo dello spettro di velocità;
- individuazione del *modo fondamentale* e degli eventuali superiori;
- 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*;
- 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 $V(f, \varphi)$:

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

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 e dell'angolo di attrito, si è optato per correlazioni (fig.3) ben note in letteratura tra V_p e γ (Nafe & Drake, 1965), tra modulo di Young e indice RMR (Berardi e Bellingeri, 1998) tra RMR ed angolo di attrito (ϕ) (Sen e Sadagah, 2003).

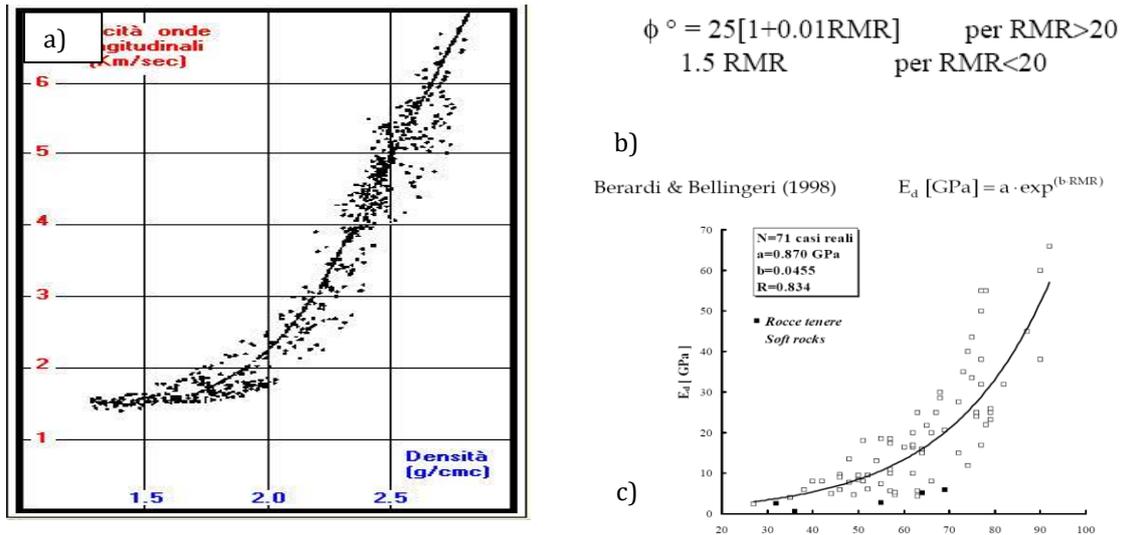


Fig. 3 – correlazioni utilizzate per la stima dei parametri del terreno: a) Nafe & Drake, (1965), c) Sen e Sadagah, (2003), c) Berardi e Bellingeri, (1998)

Per il calcolo del modulo di Young statico (fig.4), è stata utilizzata la correlazione di Frolidi e Lunardi (1994).

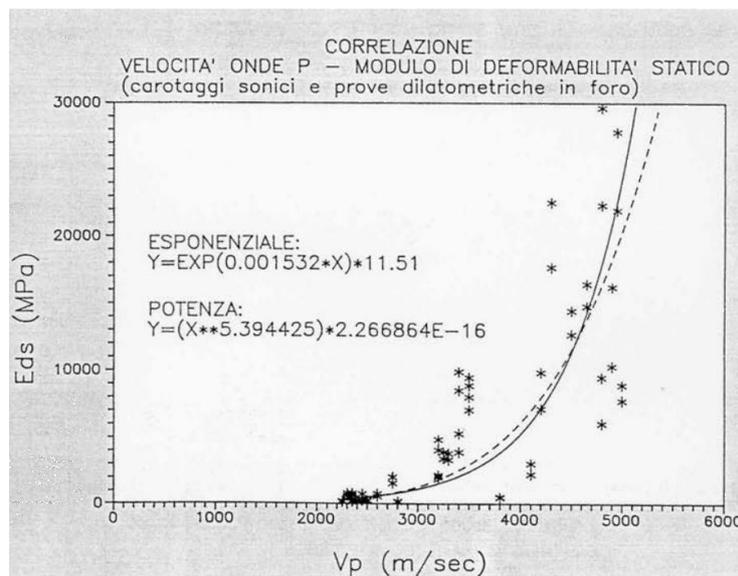


Fig. 4 – correlazione utilizzata per la stima del modulo di Young statico (Frolidi e Lunardi, 1994)

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:

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

Normalmente i moduli dinamici vengono calcolati sperimentalmente, mediante spessori e valori di V_p e V_s provenienti da sismica a rifrazione in onde P e 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.5a) 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.5b).

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.

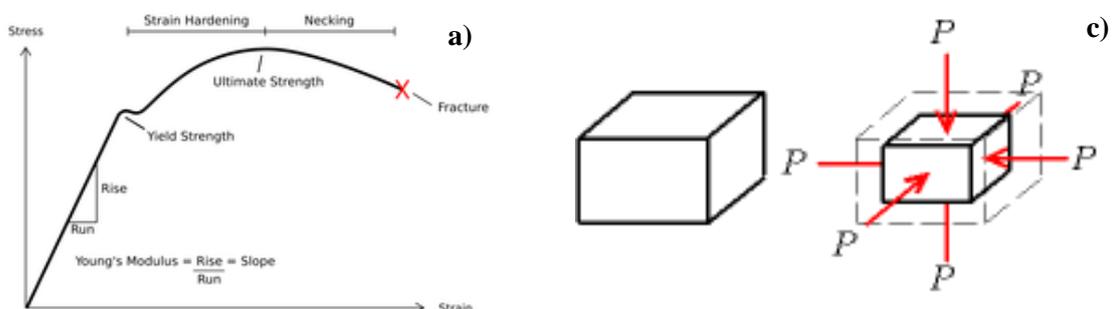
Considerando lo spostamento angolare α , ponendo l'angolo uguale alla sua tangente, la relazione diventerà semplicemente:

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

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.5c) 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.



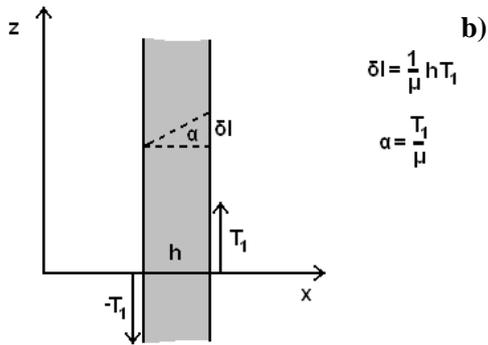


Fig. 5 – a) Diagramma sforzo- deformazione di un materiale duttile, b) Esempio di resistenza al taglio, c) Esempio di compressione uniforme

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 PRELIMINARI COMPLESSIVI

La indagini sismiche di Sismica a Rifrazione e *Multichannel Analysis of Surface Waves*, mostrano presenza di litotipi calcarenitici con inclusioni fini e/o zone di alterazioni; analizzando il valore della V_{Seq} da profondità di posa fondazioni (- 1.0m), tutti gli stendimenti rientrano nella classe sismica B, sono presenti inversioni di velocità (fig.6), dovute ad inclusioni di lenti/straterelli più o meno compatti rispetto al contesto e/o zone di alterazione dell'ammasso calcarenitico. Si riassumono brevemente la caratteristiche principali degli stendimenti acquisiti:

Pertanto si definisce con **Inversione di Velocità** del profilo delle V_s in profondità, una situazione litostratigrafica dove siano verificate contemporaneamente le seguenti **4** condizioni:

- un terreno rigido che in profondità sovrasta un terreno soffice con un rapporto $V_{s\text{ rig}}/V_{s\text{ sof}} > 1.5$;
- la differenza fra le V_s dei due terreni deve essere > 200 m/s;
- lo spessore dello strato a minore velocità deve essere > 5 mt
- la V_s dello strato più rigido deve essere ≥ 500 m/s.

Fig. 6 – definizione di Inversione di velocità presa in considerazione

- **REF01:** La sequenza litostratigrafica deducibile dalle indagini inizia al top con uno strato (US1) che, per le velocità rilevate, risulta assimilabile a terreno vegetale. Segue la sequenza l'unità UC1 (evidenziata dai valori elevati del gradiente di velocità delle onde P, Allegato I) che per le velocità sismiche rilevate risulta assimilabile a calcarenite con possibili alternanze sabbiose/terrose. Chiude la sequenza l'unità UC2 che per le velocità sismiche rilevate risulta assimilabile a calcarenite con possibili alternanze sabbiose limose ed inclusioni argillose.
MASW 01: Categoria sismica CLASSE B (da profondità di posa di -1,0m da p.c.)
- **REF02:** La sequenza litostratigrafica deducibile dalle indagini inizia al top con uno strato (US1) che, per le velocità rilevate, risulta assimilabile a terreno vegetale. Segue la sequenza l'unità UC1, che per le velocità sismiche rilevate risulta assimilabile a calcarenite mediamente cementata. Chiude la sequenza l'unità UC2 che per le velocità sismiche rilevate risulta assimilabile a calcarenite con possibili alternanze sabbiose limose ed inclusioni argillose.
MASW 02: Categoria sismica CLASSE B (da profondità di posa di -1,0m da p.c.)
- **REF03:** La sequenza litostratigrafica deducibile dalle indagini inizia al top con uno strato (US1) che, per le velocità rilevate, risulta assimilabile a terreno vegetale. Segue la sequenza l'unità UC1, che per le velocità sismiche rilevate risulta assimilabile a calcarenite con possibili alternanze sabbiose ed inclusioni argillose nel bottom, Chiude la sequenza l'unità UC2 che per le velocità sismiche rilevate risulta assimilabile a calcarenite con possibili alternanze sabbiose limose ed inclusioni argillose.
MASW 03: Categoria sismica CLASSE B (da profondità di posa di -1,0m da p.c.)

8. BIBLIOGRAFIA

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

Berardi R., Bellingeri P. (1998) – *Deformability of rock masses by empirical approaches: influence of rock quality and in situ stress*. Rivista Italiana di Geotecnica, XXXII, 1

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

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

Loke, M.H., Barker, R., 1995 - *Least-squares deconvolution of apparent resistivity pseudosections*. Geophysics 60, 1682–1690

Loke, M.H. and Barker, R.D., (1996) - *Rapid least–squares inversion of apparent resistivity pseudosections by quasi – Newton method*. Geophys Prospect, Vol. 44, 131– 152

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* - Geophysiscs, 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

Sen, Z., Sadagah, H. (2003) – *Modified rock mass classification system by continuous rating*. Engineering Geology, 67: 269-280

COMMITTENTE:

Spett.le
Dott Geol FABIANO Antonello

ANTONELLO FABIANO
GEOLOGO

PROGETTO:

*Indagine geofisica di Sismica a Rifrazione & MASW,
di supporto alla Relazione Geologica, Agro sud est,
San Pietro Vernotico (Br).*

**INDAGINI SISMICHE – REF 001; MASW001
(Sismica a rifrazione in onde P e MASW)**



G2g snc di Pierpaolo Moretti & Davide de Palma
Via Sant'Orsola n°1
70056 Molfetta (Ba)
P.IVA. 07687410725 - pec : g2gsnc@pec.it

1. INDAGINE DI SISMICA A RIFRAZIONE & MASW 001

Le indagini geofisiche sono state eseguite in un'area ubicata a Sud Est dell'abitato di San Pietro Vernotico (Br) (fig.1 a, b).

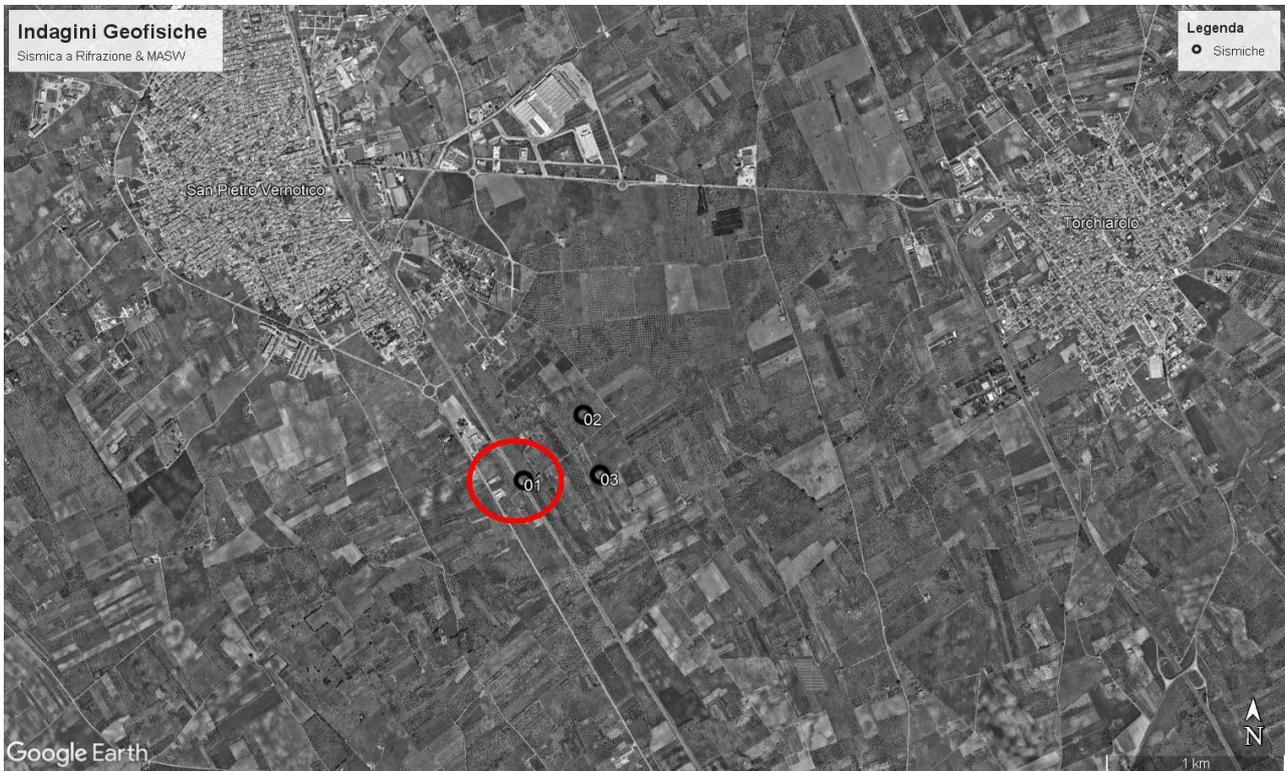


Fig.1a – ubicazione indagini geofisiche (© Google Earth)

2. Risultati

2.1 Sismica a rifrazione in onde P - REF01

La tomografia sismica (fig.2) suggerisce un sottosuolo costituito dall'alto verso il basso da 3 unità sismostratigrafiche di base.

US₁ è presente da p.c. attestandosi ad una profondità massima di compresa tra 0.7÷4.2m, con Vp mediamente comprese tra i 400 m/s ed i 700 m/s.

Continuando in profondità è presente l'unità **UC₁** la quale presenta uno spessore compreso tra 2.5÷6.9m, con Vp mediamente variabili tra 825÷1000 m/s.

Conclude la subunità **UC₂** caratterizzata da Vp mediamente maggiore di 1400 m/s.



Fig.1b – ubicazione indagini sismica REF001/MASW001

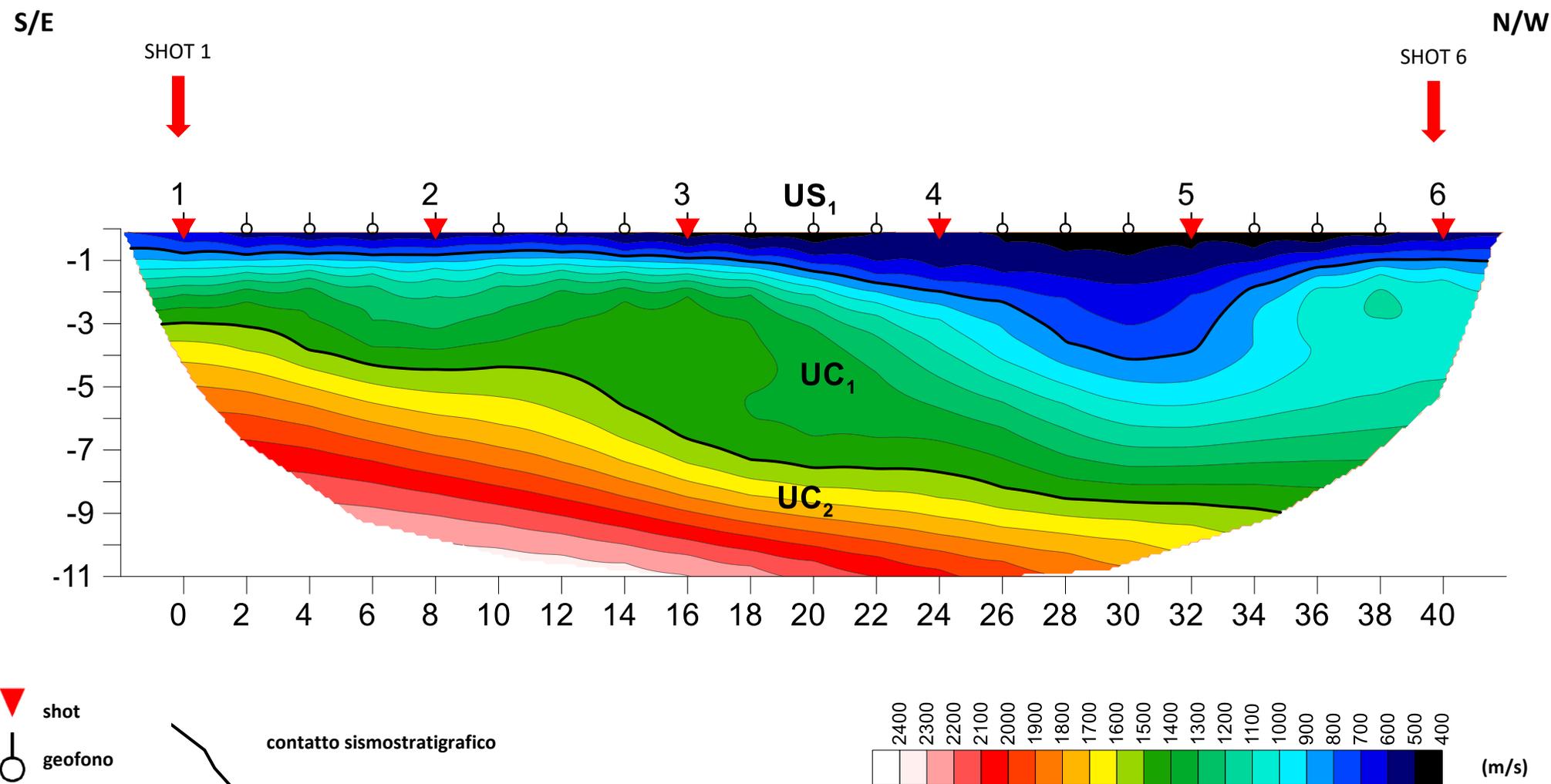


Fig. 2 – tomografia sismica in onde P

2.2 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.3) è stata condotta nell'intervallo 7÷40 Hz. Tale *range* risulta sufficiente ad indagare il volume di sottosuolo di interesse.

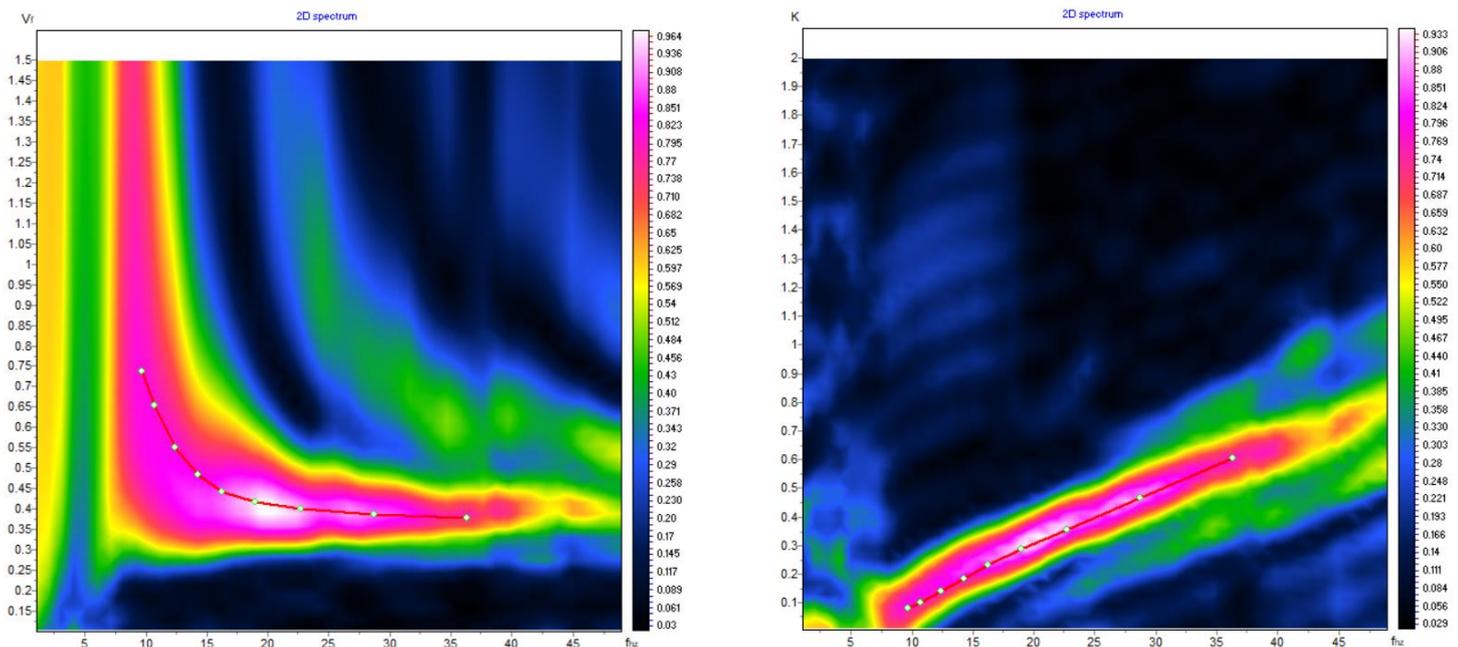


Fig. 3 – Spettro velocità di fase/frequenza e numero d'onda/frequenza. sovrainposti sono i picking del modo fondamentale (rosso).

In tale range di frequenza la curva di dispersione appare dominata dal modo fondamentale, presentando chiari picchi in ampiezza dello spettro frequenza/velocità. L'indagine è stata effettuata considerando tutti i modi di vibrazione summenzionati. In tale maniera è stato possibile utilizzare un ulteriore *constrain* per la ricerca del modello più adeguato alla realtà geologica oggetto di studio.

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

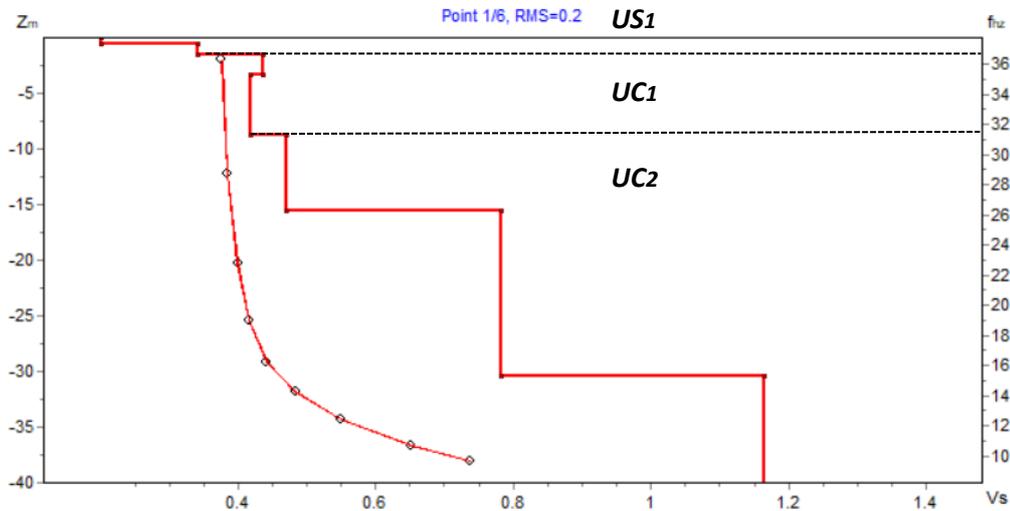


Fig. 4- Profilo di Vs (Km/s); sovrainposti lo spettro, le curve di dispersione misurate e calcolate per ciascun modo di vibrazione; fondamentale (rosso).

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.

CALCOLO VS equivalente

Strato	VS (m/s)	Profondità Top (m)	Spessore (m)
1	200	0	0.5
2	340	0.5	1
3	440	1.5	1.9
4	420	3.4	5.4
5	470	8.8	6.7
6	780	15.5	14.9
7	1170	30.4	-

Tab. I- Vs/profondità

La problematica inerente la 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, che costituisce l'approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni.

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 $V_{s,eq}$ 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. Tali categorie sono riepilogate nella tabella di seguito riportata.

<i>Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato. NTC 2018 Cap 3.2.2.</i>	
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 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 scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, 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</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, 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</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 30m</i>

Tab. II - Tabella di suddivisione delle categorie di suolo

La velocità equivalente delle onde di taglio V_{seq} è definita dall'espressione:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}} \quad (6)$$

dove:

h_i è lo spessore (in metri) dell'i-esimo strato compreso nei primi 30 m di profondità;

$V_{s,i}$ velocità (in m/s) delle onde di taglio nell'i-esimo strato.

N numero di strati

H profondità del substrato, roccia o terreno molto rigido, caratterizzato da V_s non inferiore a 800 m/s.

Pertanto se si considerano i valori della velocità di propagazione delle onde "S", è possibile evidenziare che il valore $V_{s,eq}$ rientra, nell'approccio semplificato, alla *categoria B*, da piano campagna, considerando la profondità di posa pari ad 1m possiede V_{seq} pari a 565 m/s, rientrando nella **categoria B**, comprendendo cioè: "Rocce tenere e depositi 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".

2.3 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]		Poisson		Spessore [m]	
	min	max	min	max	min	max	min	max
Us1	400	700	200	340	0.33	0.35	0.70	4.20
Uc1	825	1000	440	420	0.30	0.39	2.50	6.90
Uc2	1400		470		0.44			

	Young [Mpa]		Shear [Mpa]		Bulk [Mpa]		γ (kN/m ³)		ϕ (°)	
	Ed modulo di elasticità longitudinale		G modulo di elasticità tangenziale		K modulo di compressibilità		Densità (Nafe & Drake)		Angolo d'attrito (Sen Sadagah)	
	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max
Us1	167	540	62	201	167	583	15.6	17.4	25.9	31.0
Uc1	903	913	347	328	757	1422	17.9	18.6	33.3	33.3
Uc2	1258		438		3300		19.8		34.7	

	Young STATICO [Mpa]		Cu [Kg/cm ²]		Coesione amm.so roccioso (Kg/cm ²)		Coefficiente di Winkler (N/mm ³)		RQD	
	Ed modulo di elasticità longitudinale		Coesione non drenata Oh et al (2008)		C Sen Sadagah		K Keceli (2012)		Rock Quality Designation *CALCARENITE	
	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max
Us1	30	48	nd	nd	0.14	0.89	0.008	0.030	nd	nd
Uc1	57	75	nd	1.56	1.22	1.23	0.055	0.049	* < 5 (%)	* 20 (%)
Uc2	136		1.75		1.43		0.065		* 60 (%)	

Tab. III - Caratterizzazione geo meccanica di massima ottenuta da dati indiretti e correlazioni sperimentali

3. CONCLUSIONI E ASSOCIAZIONI LITOSTRATIGRAFICHE

La sequenza litostratigrafica deducibile dalle indagini inizia al top con uno strato (**US₁**) che, per le velocità rilevate, risulta assimilabile a terreno vegetale.

Segue la sequenza l'unità **UC₁** (evidenziata dai valori elevati del gradiente di velocità delle onde P, Allegato I) che per le velocità sismiche rilevate risulta assimilabile a calcarenite con possibili alternanze sabbiose.

Chiude la sequenza l'unità **UC₂** che per le velocità sismiche rilevate risulta assimilabile a calcarenite con possibili alternanze sabbiose limose ed inclusioni argillose.

COMMITTENTE:

Spett.le
Dott Geol FABIANO Antonello

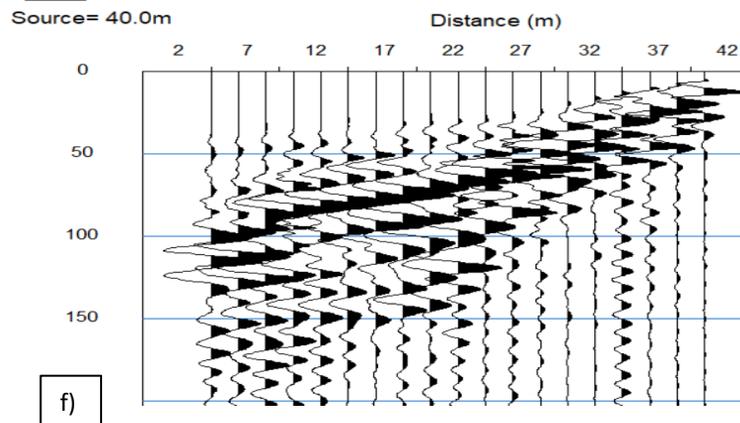
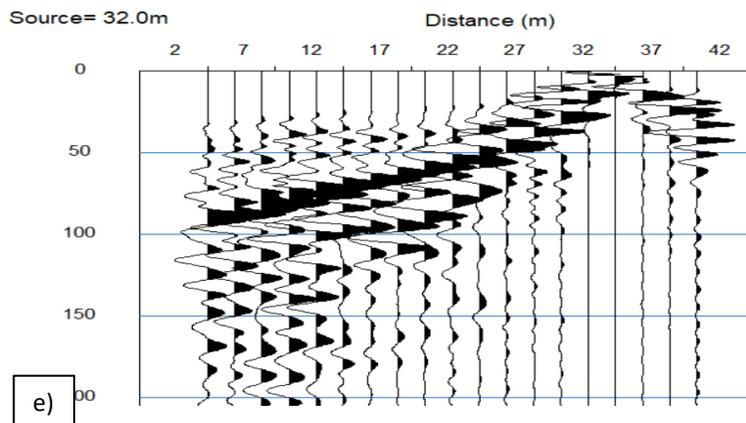
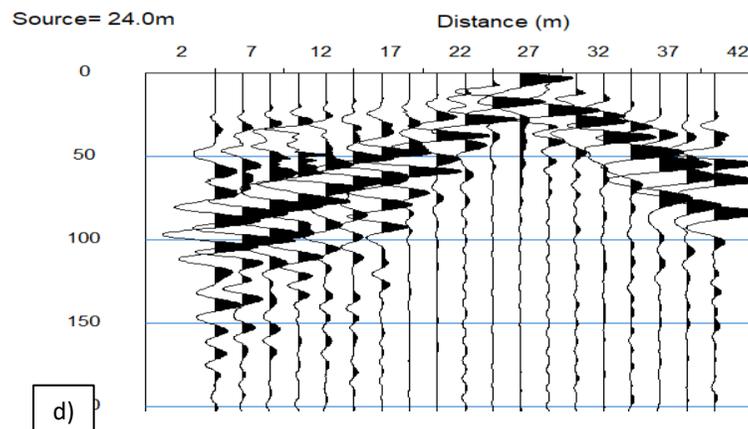
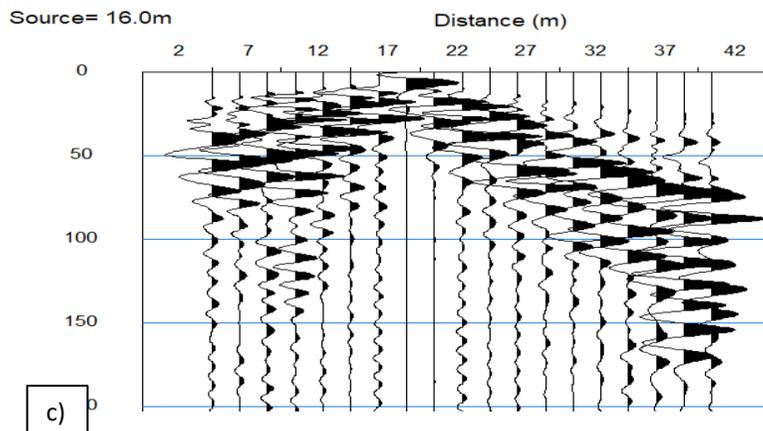
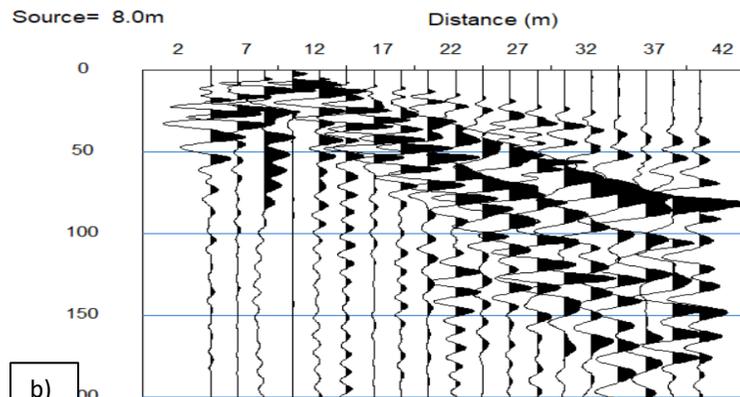
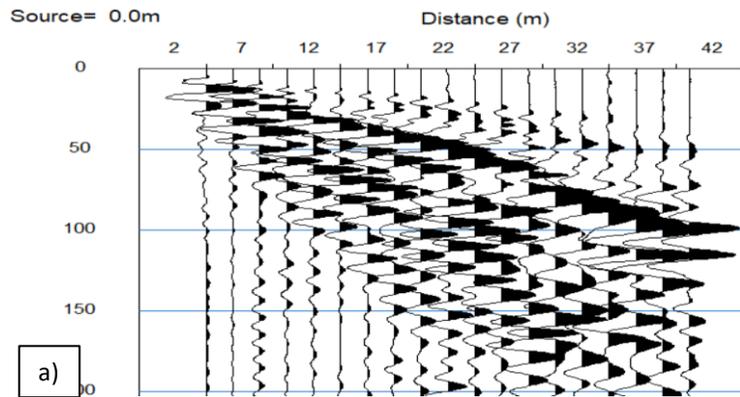
ANTONELLO FABIANO
GEOLOGO

ALLEGATO I: REF 001 & MASW 001

**INDAGINI SISMICHE – REF 001; MASW001
(Sismica a rifrazione in onde P e MASW)**



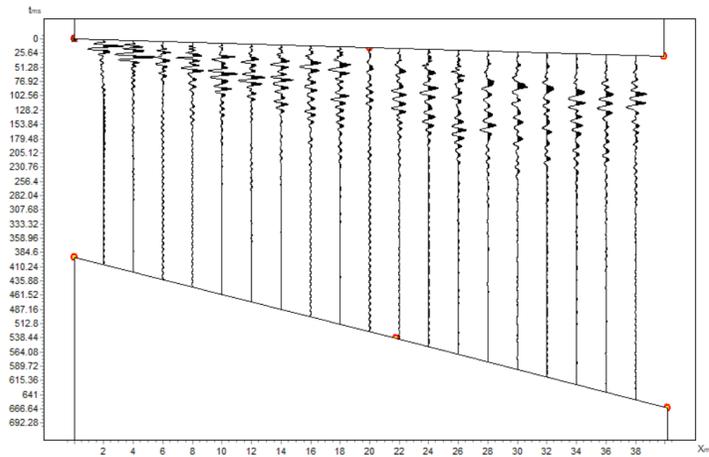
G2g snc di Pierpaolo Moretti & Davide de Palma
Via Sant'Orsola n°1
70056 Molfetta (Ba)
P.IVA. 07687410725 - pec : g2gsnc@pec.it



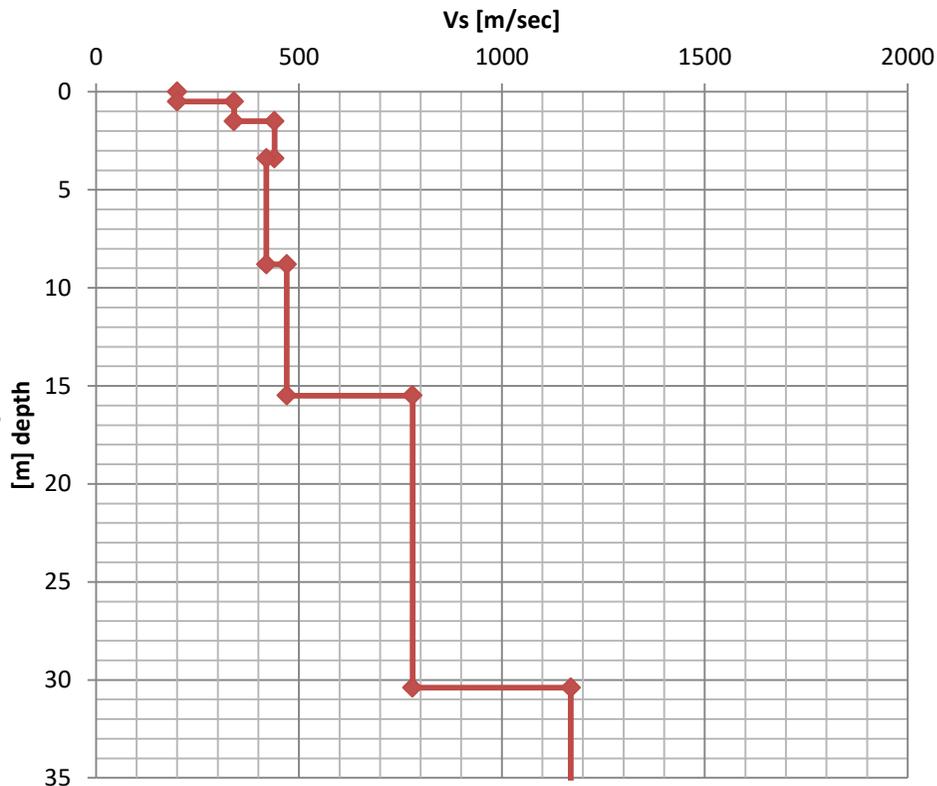
Indagine geofisica di Sismica a Rifrazione & MASW, di supporto alla Relazione Geologica, Agro sud est, San Pietro Vernotico (Br).

Indagine:
REF01
Data esecuzione:
04/07/2024

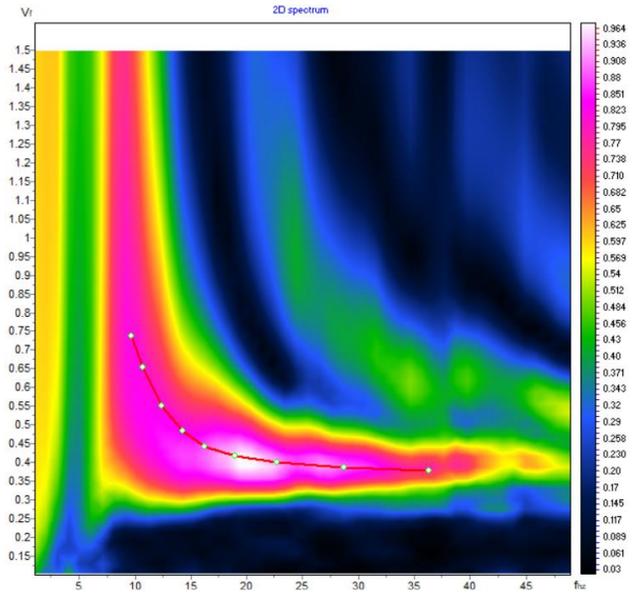
Tavola 1:
sismogrammi :
a) scoppio n°1 (0,0m)
b) scoppio n°2 (8,0m)
c) scoppio n°3 (16,0m)
d) scoppio n°4 (24,0m)
e) scoppio n°5 (32,0m)
f) scoppio n°6 (40,0m)



a)



c)



b)



Indagine geofisica di Sismica a Rifrazione & MASW, di supporto alla Relazione Geologica, Agro sud est, San Pietro Vernotico (Br).

Indagine:
REF01
Data esecuzione:
04/07/2024

Tavola 2:
a) Sismogrammi
b) Spettro K-V con sovrapposizione delle curve di dispersione delle onde di Rayleigh relative al modo fondamentale (rosso) e 1° modo (blu)
c) Vs/Z

SH1



SH6



**Indagine geofisica di
Sismica a Rifrazione
& MASW, di
supporto alla
Relazione
Geologica, Agro sud
est, San Pietro
Vernotico (Br).**

Indagine:

REF01

Data esecuzione:

04/07/2024

Foto Stendimento

COMMITTENTE:

Spett.le
Dott Geol FABIANO Antonello

ANTONELLO FABIANO
GEOLOGO

PROGETTO:

*Indagine geofisica di Sismica a Rifrazione & MASW,
di supporto alla Relazione Geologica, Agro sud est,
San Pietro Vernotico (Br).*

**INDAGINI SISMICHE – REF 002; MASW002
(Sismica a rifrazione in onde P e MASW)**



G2g snc di Pierpaolo Moretti & Davide de Palma
Via Sant'Orsola n°1
70056 Molfetta (Ba)
P.IVA. 07687410725 - pec : g2gsnc@pec.it

1. INDAGINE DI SISMICA A RIFRAZIONE & MASW 002

Le indagini geofisiche sono state eseguite in un'area ubicata a Sud Est dell'abitato di San Pietro Vernotico (Br) (fig.1 a, b).



Fig.1a – ubicazione indagini geofisiche (© Google Earth)

2. Risultati

2.1 Sismica a rifrazione in onde P - REF02

La tomografia sismica (fig.2) suggerisce un sottosuolo costituito dall'alto verso il basso da 3 unità sismostratigrafiche di base.

US₁ è presente da p.c. attestandosi ad una profondità massima di compresa tra 0.4÷0.9m, con Vp mediamente comprese tra i 400 m/s ed i 750 m/s.

Continuando in profondità è presente l'unità **UC₁** la quale presenta uno spessore compreso tra 0.9÷4.2m, con Vp mediamente variabili tra 1050÷1450 m/s.

Conclude la subunità **UC₂** caratterizzata da Vp mediamente maggiore di 1500 m/s.



Fig.1b – ubicazione indagini sismica REF002/MASW002

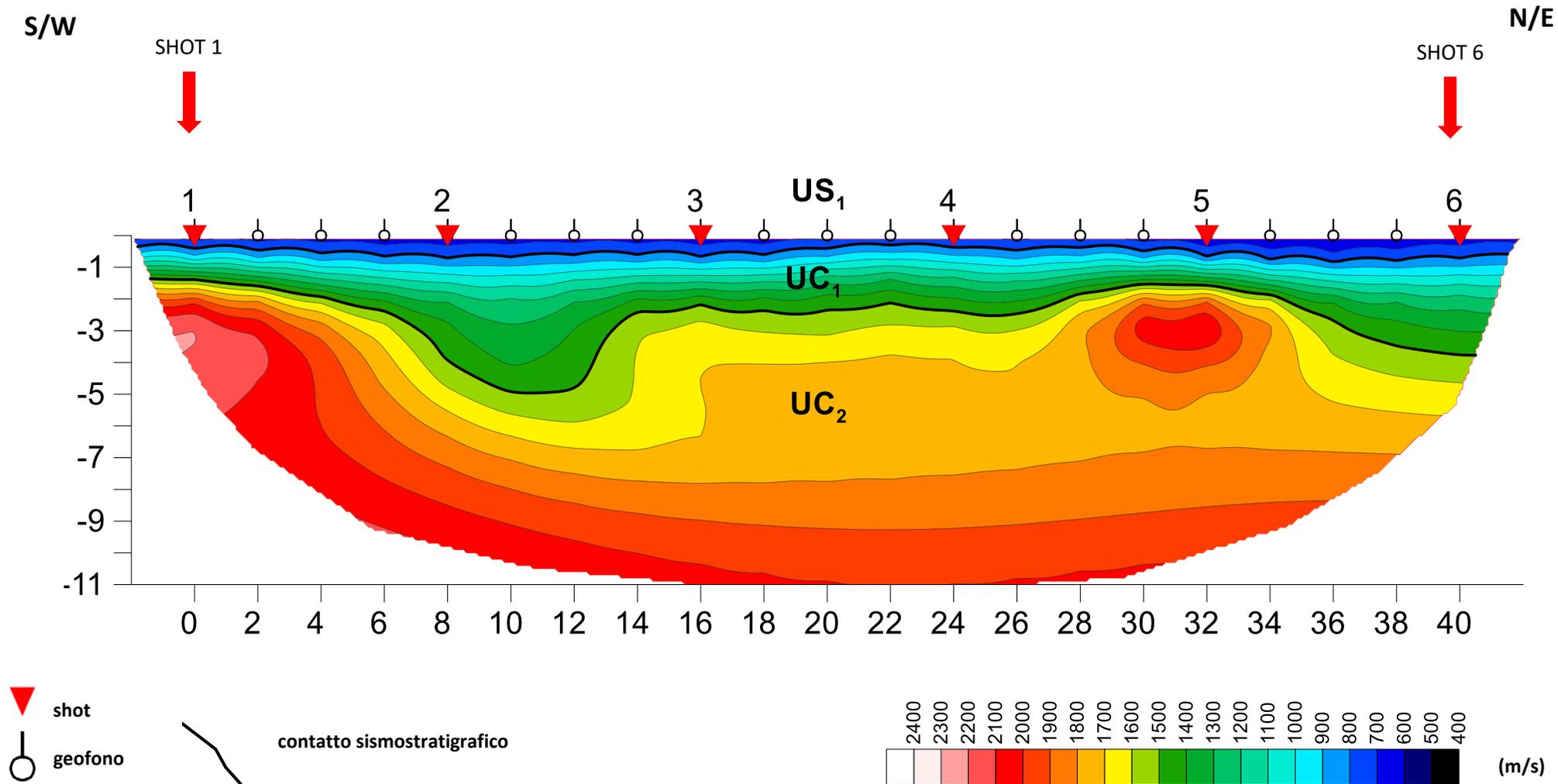


Fig. 2 – tomografia sismica in onde P

2.2 MASW – MASW02

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.3) è stata condotta nell'intervallo 7÷70 Hz. Tale *range* risulta sufficiente ad indagare il volume di sottosuolo di interesse.

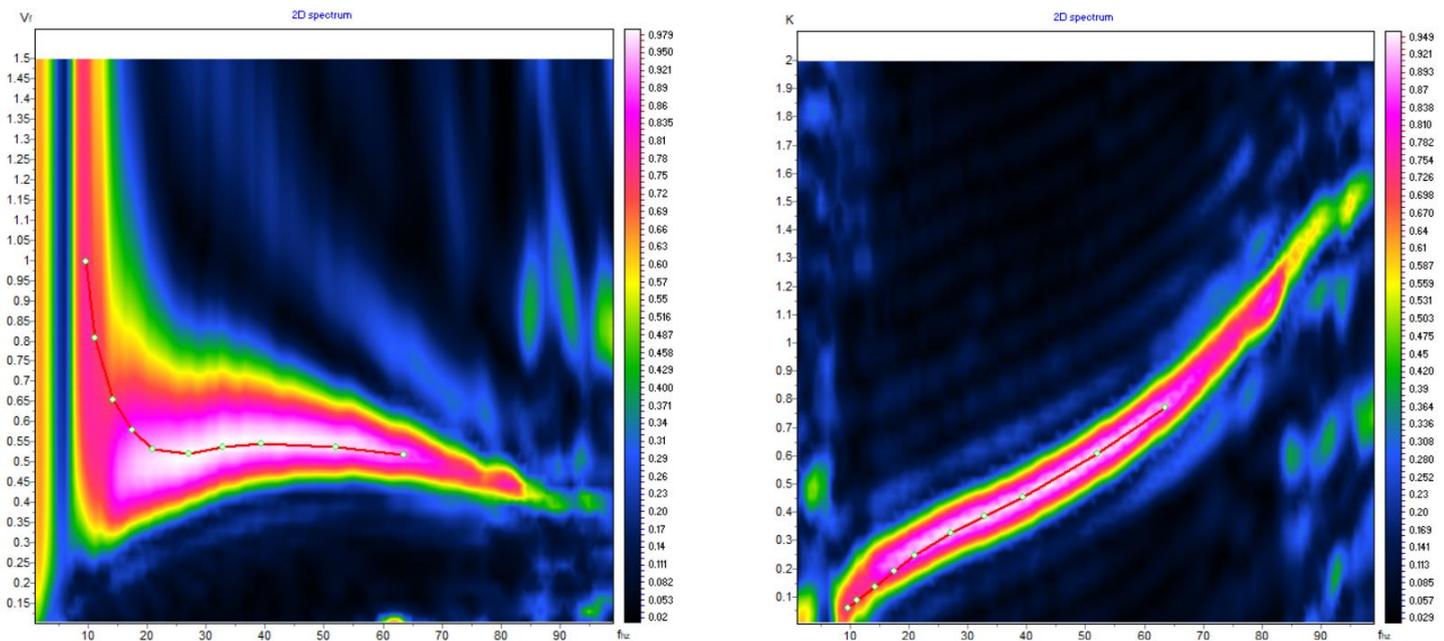


Fig. 3 – Spettro velocità di fase/frequenza e numero d'onda/frequenza. sovrainposti sono i picking del modo fondamentale (rosso).

In tale range di frequenza la curva di dispersione appare dominata dal modo fondamentale, presentando chiari picchi in ampiezza dello spettro frequenza/velocità. L'indagine è stata effettuata considerando tutti i modi di vibrazione summenzionati. In tale maniera è stato possibile utilizzare un ulteriore *constrain* per la ricerca del modello più adeguato alla realtà geologica oggetto di studio.

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

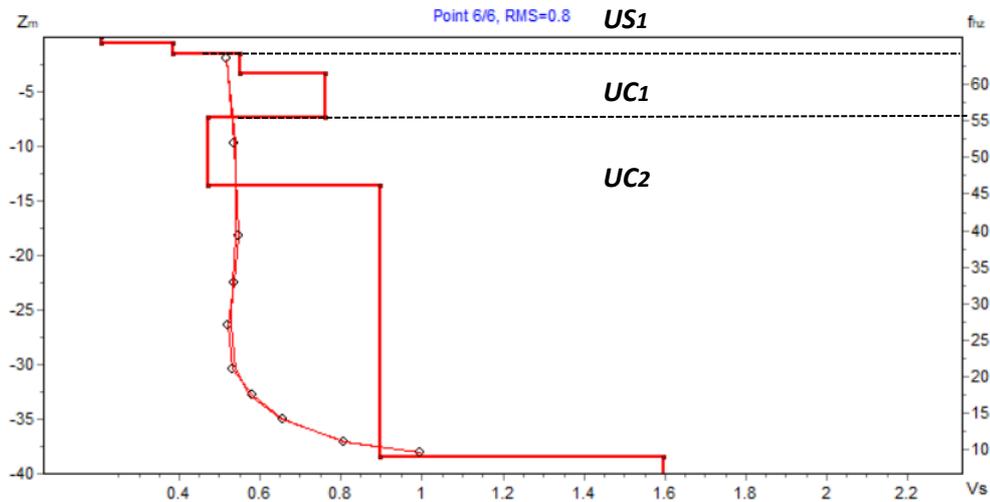


Fig. 4- Profilo di Vs (Km/s); sovrainposti lo spettro, le curve di dispersione misurate e calcolate per ciascun modo di vibrazione; fondamentale (rosso).

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.

CALCOLO VS equivalente

Strato	VS (m/s)	Profondità Top (m)	Spessore (m)
1	210	0	0.5
2	380	0.5	1
3	550	1.5	1.8
4	760	3.3	4
5	470	7.3	6.3
6	900	13.6	

Tab. I- Vs/profondità

La problematica inerente la 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, che costituisce l'approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni.

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 $V_{s,eq}$ 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. Tali categorie sono riepilogate nella tabella di seguito riportata.

<i>Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato. NTC 2018 Cap 3.2.2.</i>	
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 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 scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, 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</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, 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</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 30m</i>

Tab. II - Tabella di suddivisione delle categorie di suolo

La velocità equivalente delle onde di taglio V_{seq} è definita dall'espressione:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}} \quad (6)$$

dove:

h_i è lo spessore (in metri) dell'i-esimo strato compreso nei primi 30 m di profondità;

$V_{s,i}$ velocità (in m/s) delle onde di taglio nell'i-esimo strato.

N numero di strati

H profondità del substrato, roccia o terreno molto rigido, caratterizzato da V_s non inferiore a 800 m/s.

Pertanto se si considerano i valori della velocità di propagazione delle onde “S”, è possibile evidenziare che il valore $V_{s,eq}$ rientra, nell'approccio semplificato, alla *categoria B*, da piano campagna, considerando la profondità di posa pari ad 1m possiede V_{seq} pari a 541 m/s, rientrando nella **categoria B**, comprendendo cioè: “Rocce tenere e depositi 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”.

2.3 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]		Poisson		Spessore [m]	
	min	max	min	max	min	max	min	max
Us1	400	750	210	380	0.31	0.33	0.40	0.90
Uc1	1050	1450	550	760	0.31	0.31	0.90	4.20
Uc2	1500		470		0.45			

	Young [Mpa]		Shear [Mpa]		Bulk [Mpa]		γ (kN/m ³)		ϕ (°)	
	Ed modulo di elasticità longitudinale		G modulo di elasticità tangenziale		K modulo di compressibilità		Densità (Nafe & Drake)		Angolo d'attrito (Sen Sadagah)	
	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max
Us1	180	675	69	254	158	651	15.6	17.6	26.3	32.0
Uc1	1488	3020	568	1152	1312	2658	18.8	19.9	35.4	38.5
Uc2	1282		443		3926		20.1		34.8	

	Young STATICO [Mpa]		Cu [Kg/cm ²]		Coesione amm.so roccioso (Kg/cm ²)		Coefficiente di Winkler (N/mm ³)		RQD	
	Ed modulo di elasticità longitudinale		Coesione non drenata Oh et al (2008)		C Sen Sadagah		K Keceli (2012)		Rock Quality Designation *CALCARENITE	
	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max
Us1	30	51	nd	nd	0.19	1.03	0.009	0.039	nd	nd
Uc1	81	147	nd	nd	1.54	2.00	0.094	0.205	*20 (%)	*60 (%)
Uc2	159		1.75		1.45		0.065		*80 (%)	

Tab. III - Caratterizzazione geo meccanica di massima ottenuta da dati indiretti e correlazioni sperimentali

3. CONCLUSIONI E ASSOCIAZIONI LITOSTRATIGRAFICHE

La sequenza litostratigrafica deducibile dalle indagini inizia al top con uno strato (**US₁**) che, per le velocità rilevate, risulta assimilabile a terreno vegetale.

Segue la sequenza l'unità **UC₁** (evidenziata dai valori elevati del gradiente di velocità delle onde P, Allegato I) che per le velocità sismiche rilevate risulta assimilabile a calcarenite mediamente cementata.

Chiude la sequenza l'unità **UC₂** che per le velocità sismiche rilevate risulta assimilabile a calcarenite con possibili alternanze sabbiose limose ed inclusioni argillose.

COMMITTENTE:

Spett.le
Dott Geol FABIANO Antonello

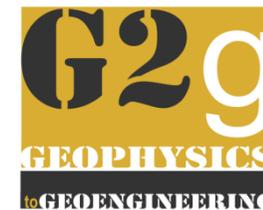
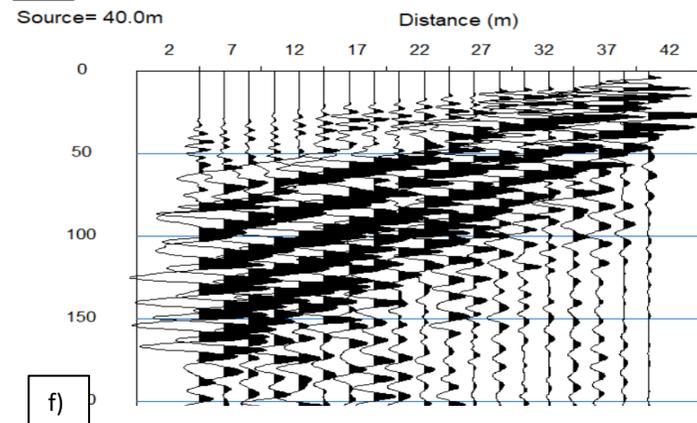
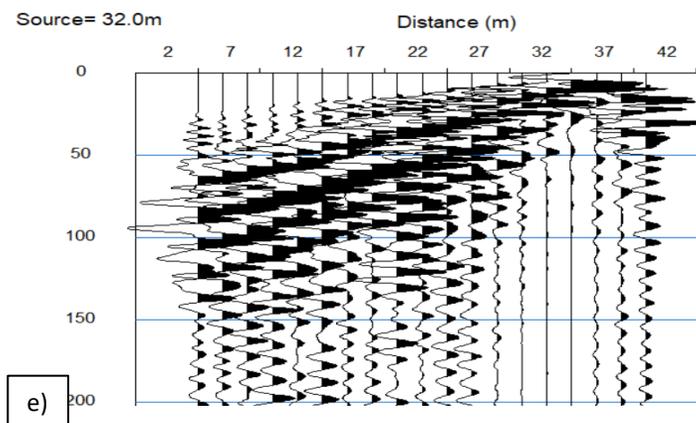
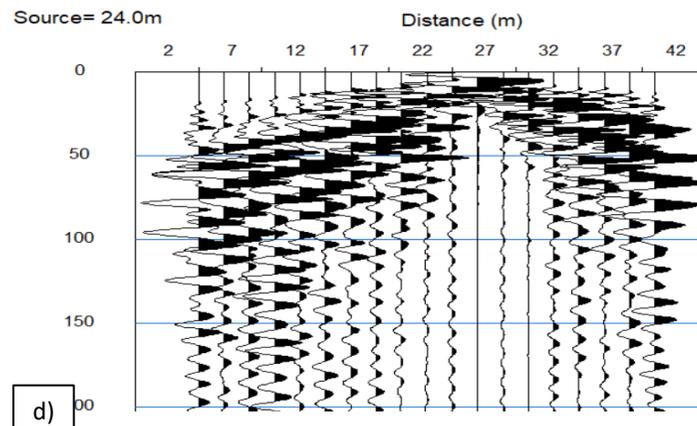
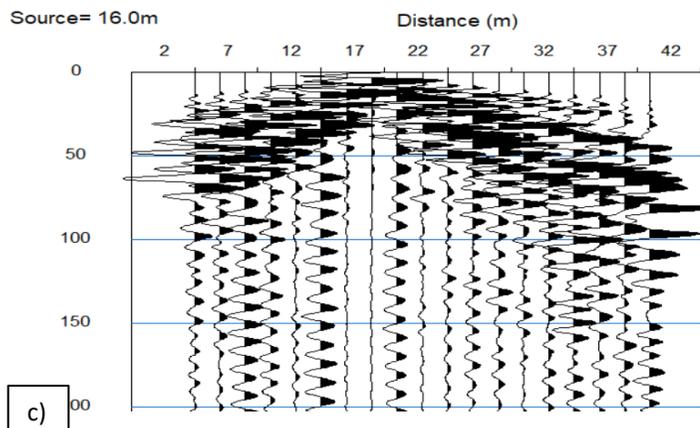
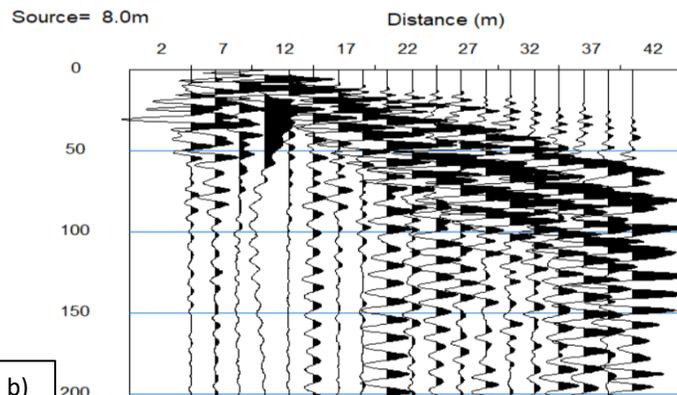
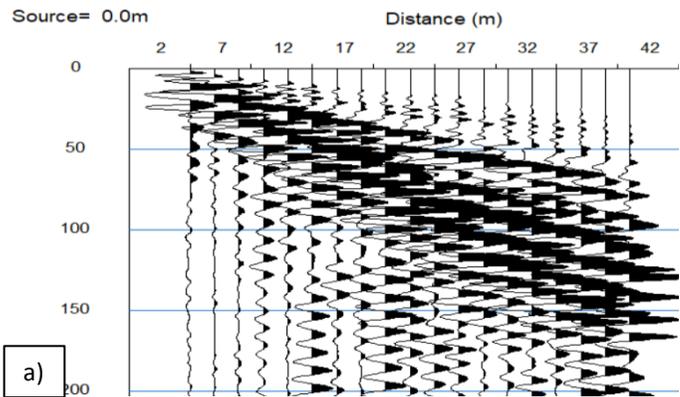
ANTONELLO FABIANO
GEOLOGO

ALLEGATO I: REF 002 & MASW 002

**INDAGINI SISMICHE – REF 002; MASW002
(Sismica a rifrazione in onde P e MASW)**



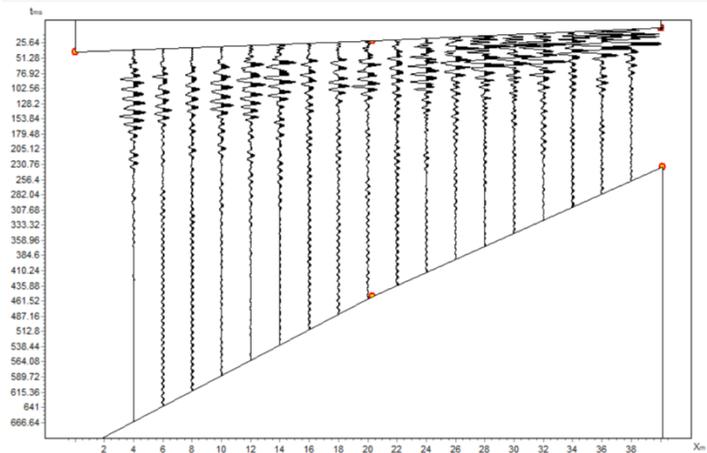
G2g snc di Pierpaolo Moretti & Davide de Palma
Via Sant'Orsola n°1
70056 Molfetta (Ba)
P.IVA. 07687410725 - pec : g2gsnc@pec.it



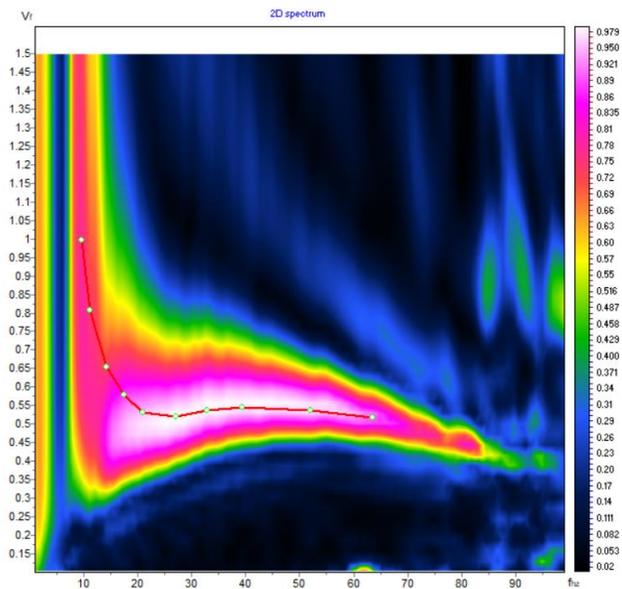
*Indagine geofisica di
Sismica a Rifrazione
& MASW, di
supporto alla
Relazione
Geologica, Agro sud
est, San Pietro
Vernotico (Br).*

Indagine:
REF02
Data esecuzione:
04/07/2024

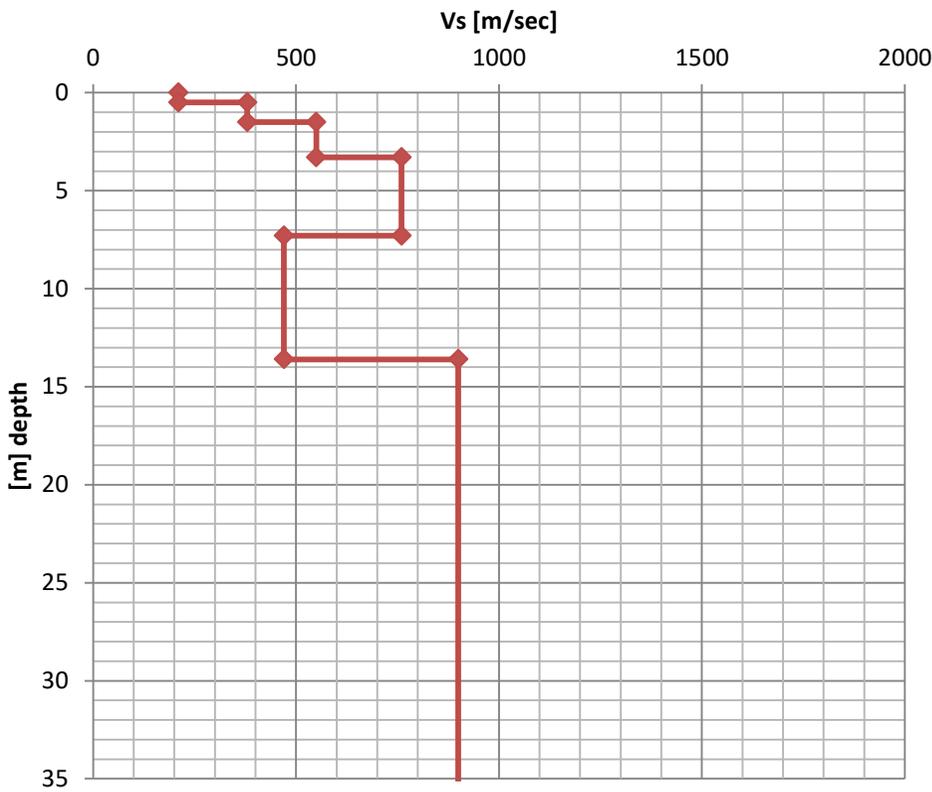
Tavola 1:
sismogrammi :
a) scoppio n°1 (0,0m)
b) scoppio n°2 (8,0m)
c) scoppio n°3 (16,0m)
d) scoppio n°4 (24,0m)
e) scoppio n°5 (32,0 m)
f) scoppio n°6 (40,0 m)



a)



b)



c)



Indagine geofisica di Sismica a Rifrazione & MASW, di supporto alla Relazione Geologica, Agro sud est, San Pietro Vernotico (Br).

Indagine:
REF02
Data esecuzione:
04/07/2024

Tavola 2:
a) Sismogrammi
b) Spettro K-V con sovrapposizione delle curve di dispersione delle onde di Rayleigh relative al modo fondamentale (rosso) e l'1° modo (blu)
c) Vs/Z

COMMITTENTE:

Spett.le
Dott Geol FABIANO Antonello

ANTONELLO FABIANO
GEOLOGO

PROGETTO:

*Indagine geofisica di Sismica a Rifrazione & MASW,
di supporto alla Relazione Geologica, Agro sud est,
San Pietro Vernotico (Br).*

**INDAGINI SISMICHE – REF 003; MASW003
(Sismica a rifrazione in onde P e MASW)**



G2g snc di Pierpaolo Moretti & Davide de Palma
Via Sant'Orsola n°1
70056 Molfetta (Ba)
P.IVA. 07687410725 - pec : g2gsnc@pec.it

1. INDAGINE DI SISMICA A RIFRAZIONE & MASW 003

Le indagini geofisiche sono state eseguite in un'area ubicata a Sud Est dell'abitato di San Pietro Vernotico (Br) (fig.1 a, b).



Fig.1a – ubicazione indagini geofisiche (© Google Earth)

2. Risultati

2.1 Sismica a rifrazione in onde P - REF03

La tomografia sismica (fig.2) suggerisce un sottosuolo costituito dall'alto verso il basso da 3 unità sismostratigrafiche di base.

US₁ è presente da p.c. attestandosi ad una profondità massima di compresa tra 0.35÷2.7m, con Vp mediamente comprese tra i 400 m/s ed i 750 m/s.

Continuando in profondità è presente l'unità **UC₁** la quale presenta uno spessore compreso tra 1.0÷5.4m, con Vp mediamente variabili tra 1250÷1350 m/s.

Conclude la subunità **UC₂** caratterizzata da Vp mediamente maggiore di 1500 m/s.



Fig.1b – ubicazione indagini sismica REF003/MASW003

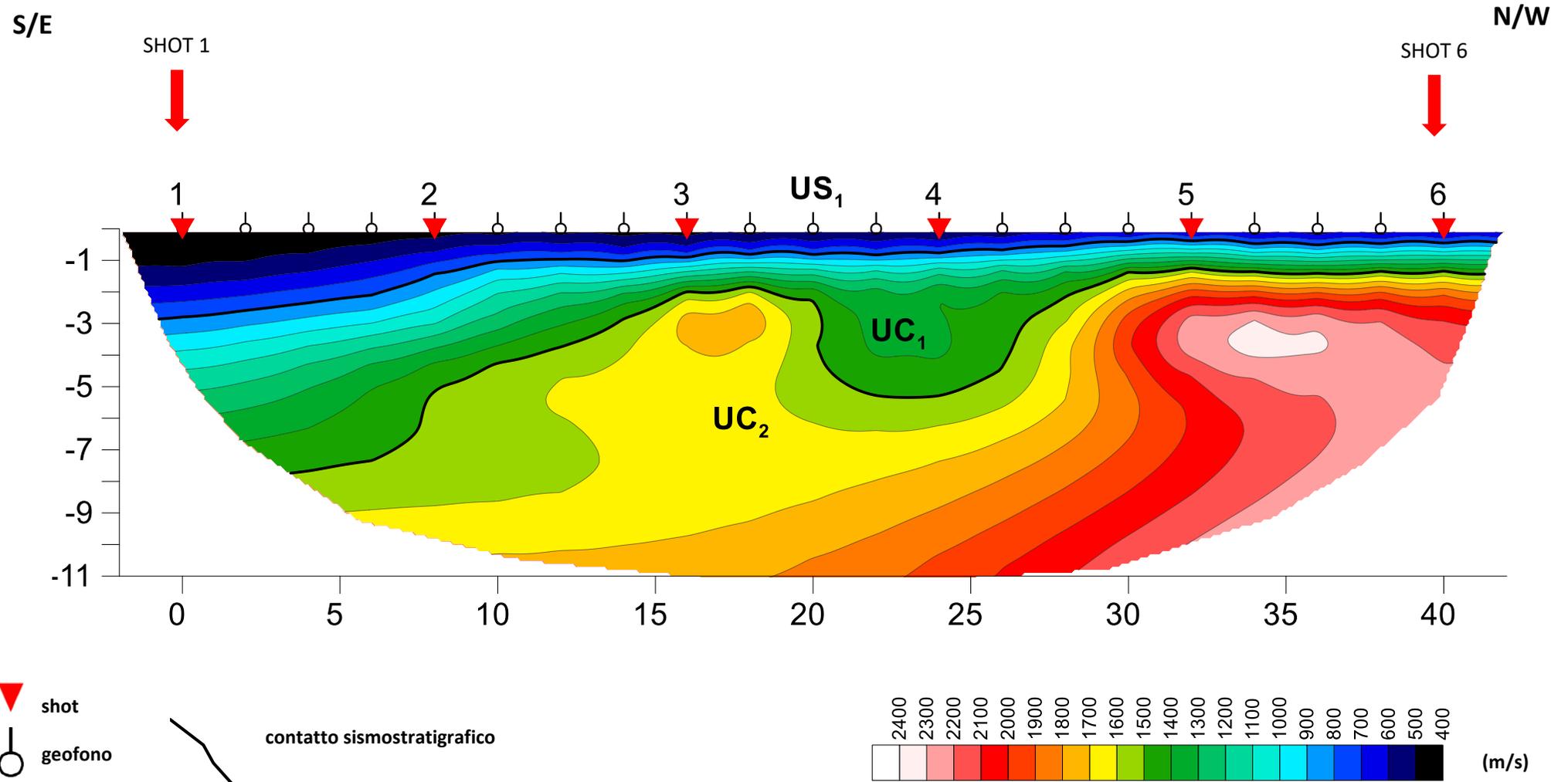


Fig. 2 – tomografia sismica in onde P

2.2 MASW – MASW03

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.3) è stata condotta nell'intervallo 7÷80 Hz. Tale *range* risulta sufficiente ad indagare il volume di sottosuolo di interesse.

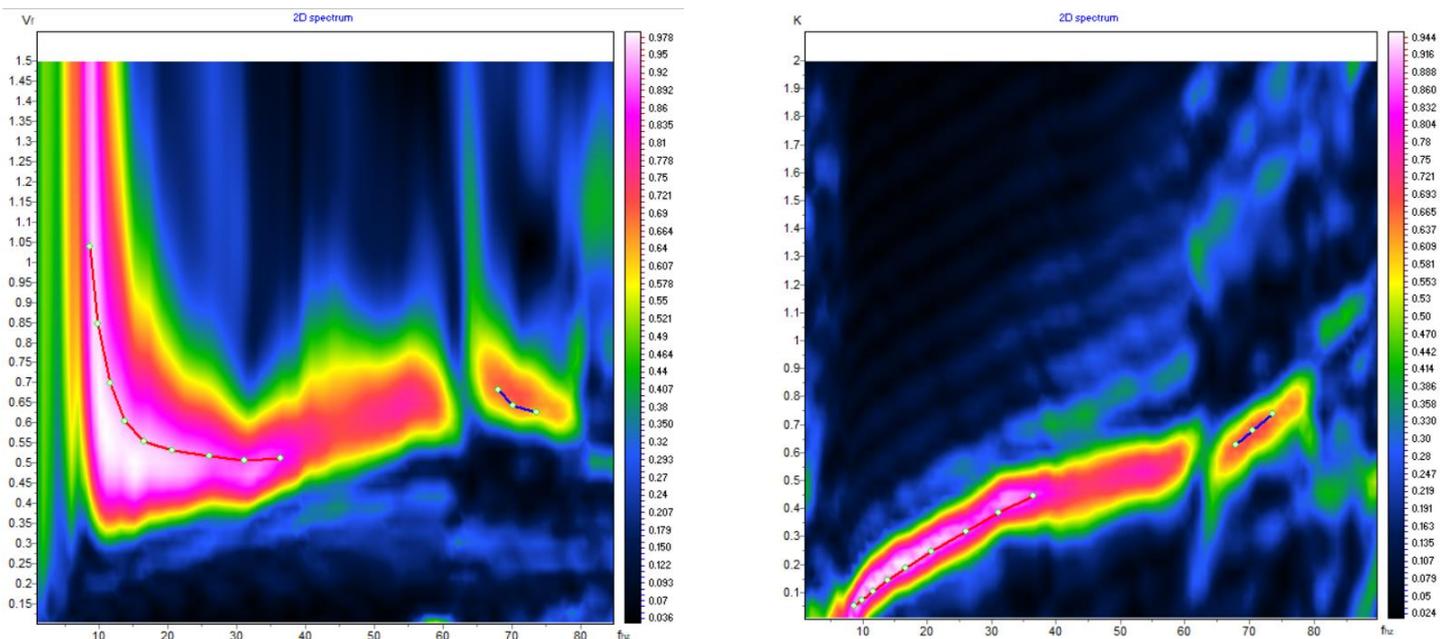


Fig. 3 – Spettro velocità di fase/frequenza e numero d'onda/frequenza. sovrainposti sono i picking del modo fondamentale (rosso).

In tale range di frequenza la curva di dispersione appare dominata dal modo fondamentale, presentando chiari picchi in ampiezza dello spettro frequenza/velocità. L'indagine è stata effettuata considerando tutti i modi di vibrazione summenzionati. In tale maniera è stato possibile utilizzare un ulteriore *constrain* per la ricerca del modello più adeguato alla realtà geologica oggetto di studio.

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

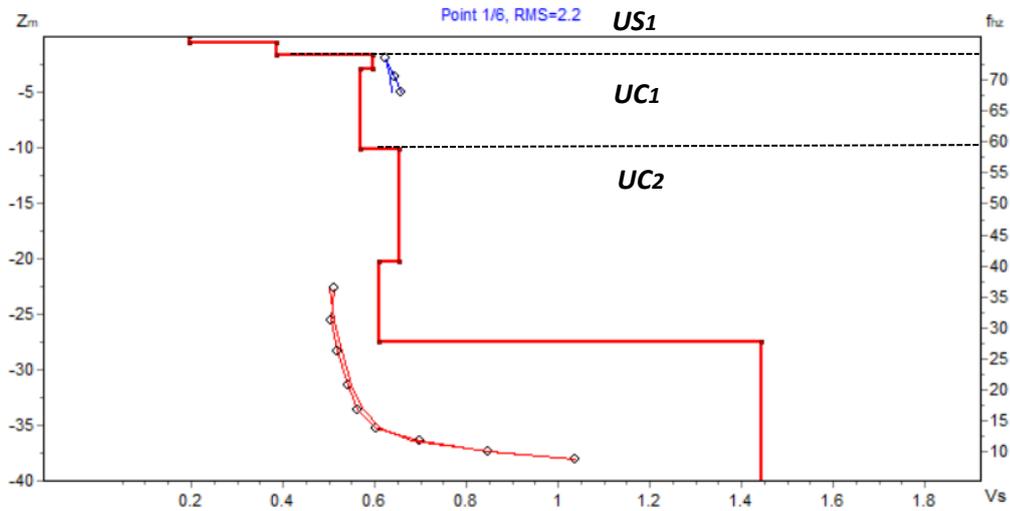


Fig. 4- Profilo di Vs (Km/s); sovrainposti lo spettro, le curve di dispersione misurate e calcolate per ciascun modo di vibrazione; fondamentale (rosso).

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.

CALCOLO VS equivalente

Strato	VS (m/s)	Profondità Top (m)	Spessore (m)
1	200	0	0.6
2	390	0.6	1.1
3	600	1.7	1.2
4	570	2.9	7.2
5	660	10.1	10.2
6	610	20.3	7.1
7	1440	27.4	2.6
		30	

Tab. I- Vs/profondità

La problematica inerente la 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, che costituisce l'approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni.

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 $V_{s,eq}$ 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. Tali categorie sono riepilogate nella tabella di seguito riportata.

<i>Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato. NTC 2018 Cap 3.2.2.</i>	
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 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 scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, 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</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, 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</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 30m</i>

Tab. II - Tabella di suddivisione delle categorie di suolo

La velocità equivalente delle onde di taglio V_{seq} è definita dall'espressione:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}} \quad (6)$$

dove:

h_i è lo spessore (in metri) dell'i-esimo strato compreso nei primi 30 m di profondità;

$V_{s,i}$ velocità (in m/s) delle onde di taglio nell'i-esimo strato.

N numero di strati

H profondità del substrato, roccia o terreno molto rigido, caratterizzato da V_s non inferiore a 800 m/s.

Pertanto se si considerano i valori della velocità di propagazione delle onde "S", è possibile evidenziare che il valore $V_{s,eq}$ rientra, nell'approccio semplificato, alla *categoria B*, da piano campagna, considerando la profondità di posa pari ad 1m possiede V_{seq} pari a 606 m/s, rientrando nella **categoria B**, comprendendo cioè: "Rocce tenere e depositi 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”.

2.3 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]		Poisson		Spessore [m]	
	min	max	min	max	min	max	min	max
Us1	400	750	200	390	0.33	0.31	0.35	2.70
Uc1	1250	1350	600	570	0.35	0.39	1.00	5.40
Uc2	1500		660		0.38			

	Young [Mpa]		Shear [Mpa]		Bulk [Mpa]		γ (kN/m ³)		ϕ (°)	
	Ed modulo di elasticità longitudinale		G modulo di elasticità tangenziale		K modulo di compressibilità		Densità (Nafe & Drake)		Angolo d'attrito (Sen Sadagah)	
	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max
Us1	167	704	62	268	167	633	15.6	17.6	25.9	32.2
Uc1	1885	1779	698	639	2099	2734	19.4	19.7	36.5	36.2
Uc2	2414		875		3351		20.1		37.5	

	Young STATICO [Mpa]		Cu [Kg/cm ²]		Coesione amm.so roccioso (Kg/cm ²)		Coefficiente di Winkler (N/mm ³)		RQD	
	Ed modulo di elasticità longitudinale		Coesione non drenata Oh et al (2008)		C Sen Sadagah		K Keceli (2012)		Rock Quality Designation *CALCARENITE	
	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max
Us1	30	51	nd	nd	0.14	1.06	0.008	0.041	nd	nd
Uc1	109	126	nd	2.1	1.69	1.66	0.116	0.103	*50 (%)	*60 (%)
Uc2	159		2.5		1.85		0.146		*80 (%)	

Tab. III - Caratterizzazione geo meccanica di massima ottenuta da dati indiretti e correlazioni sperimentali

3. CONCLUSIONI E ASSOCIAZIONI LITOSTRATIGRAFICHE

La sequenza litostratigrafica deducibile dalle indagini inizia al top con uno strato (**US₁**) che, per le velocità rilevate, risulta assimilabile a terreno vegetale.

Segue la sequenza l'unità **UC₁** (evidenziata dai valori elevati del gradiente di velocità delle onde P, Allegato I) che per le velocità sismiche rilevate risulta assimilabile a calcarenite con possibili alternanze sabbiose ed inclusioni argillose nel bottom,

Chiude la sequenza l'unità **UC₂** che per le velocità sismiche rilevate risulta assimilabile a calcarenite con possibili alternanze sabbiose limose ed inclusioni argillose.

COMMITTENTE:

Spett.le
Dott Geol FABIANO Antonello

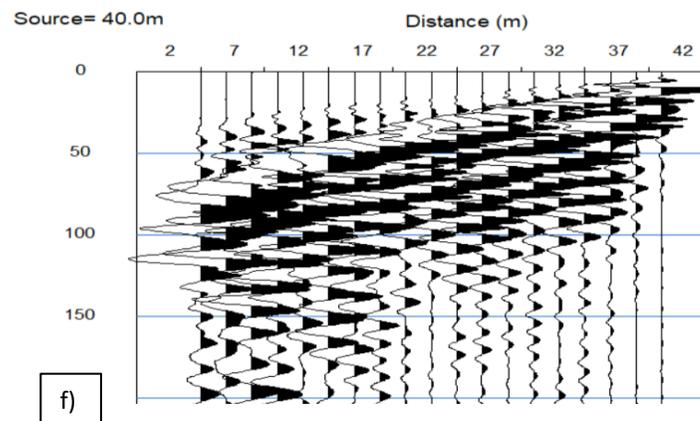
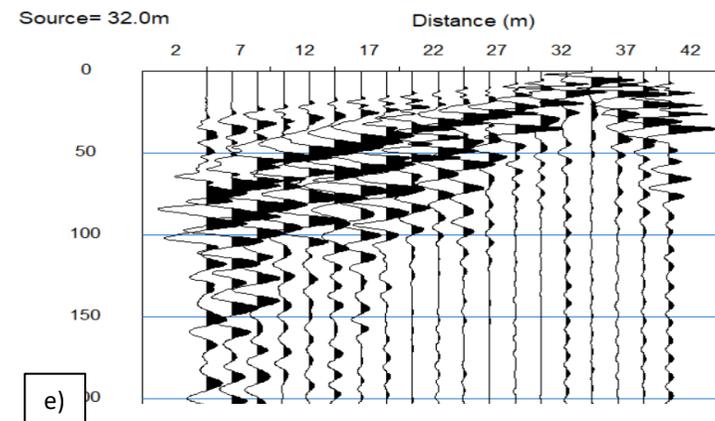
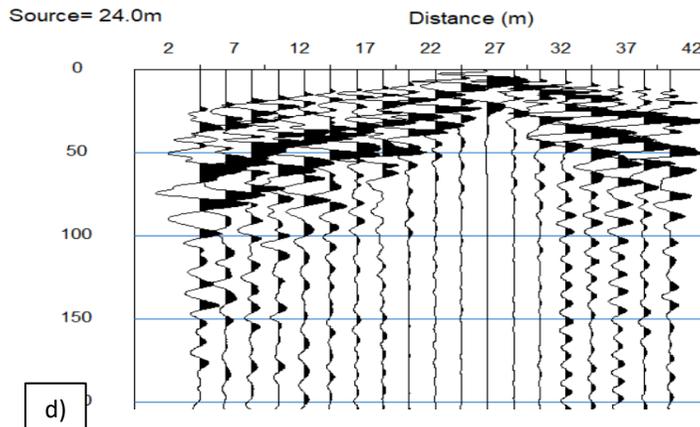
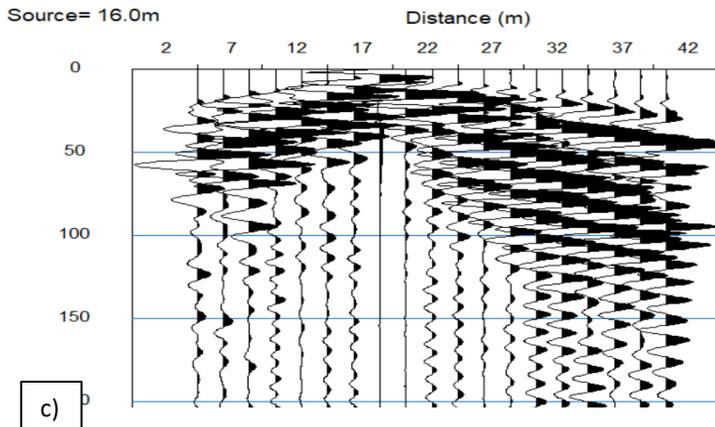
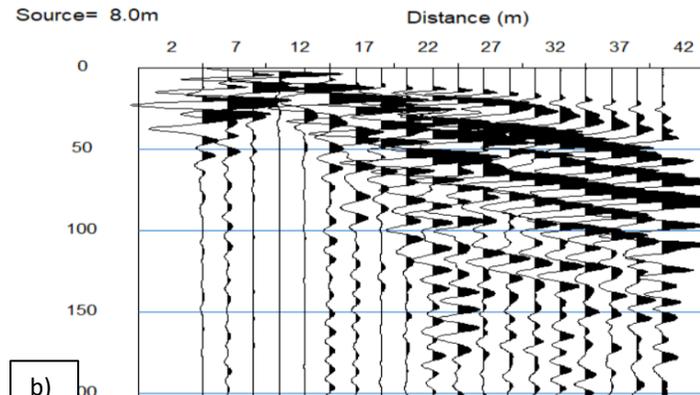
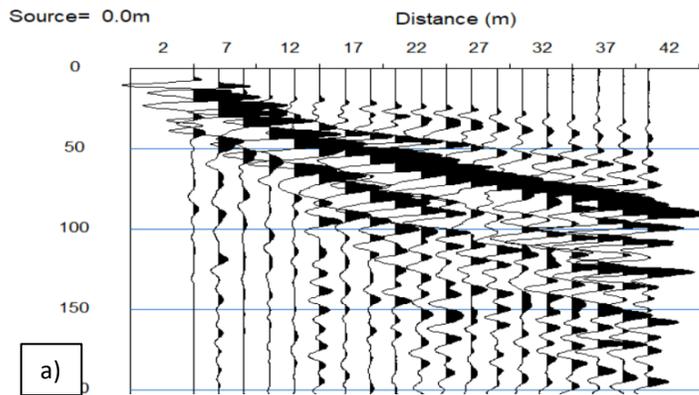
ANTONELLO FABIANO
GEOLOGO

ALLEGATO I: REF 003 & MASW 003

**INDAGINI SISMICHE – REF 003; MASW003
(Sismica a rifrazione in onde P e MASW)**



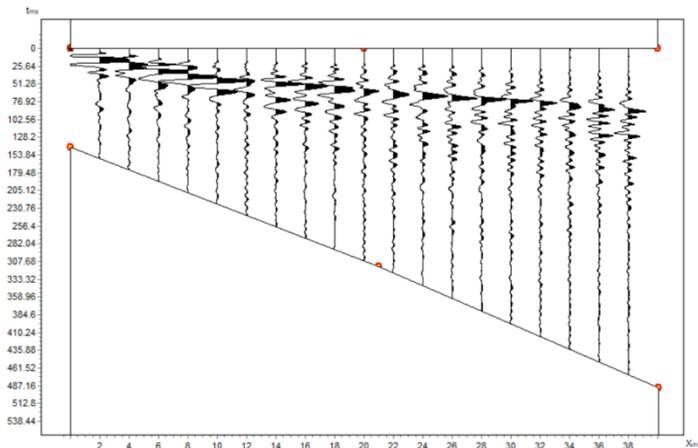
G2g snc di Pierpaolo Moretti & Davide de Palma
Via Sant'Orsola n°1
70056 Molfetta (Ba)
P.IVA. 07687410725 - pec : g2gsnc@pec.it



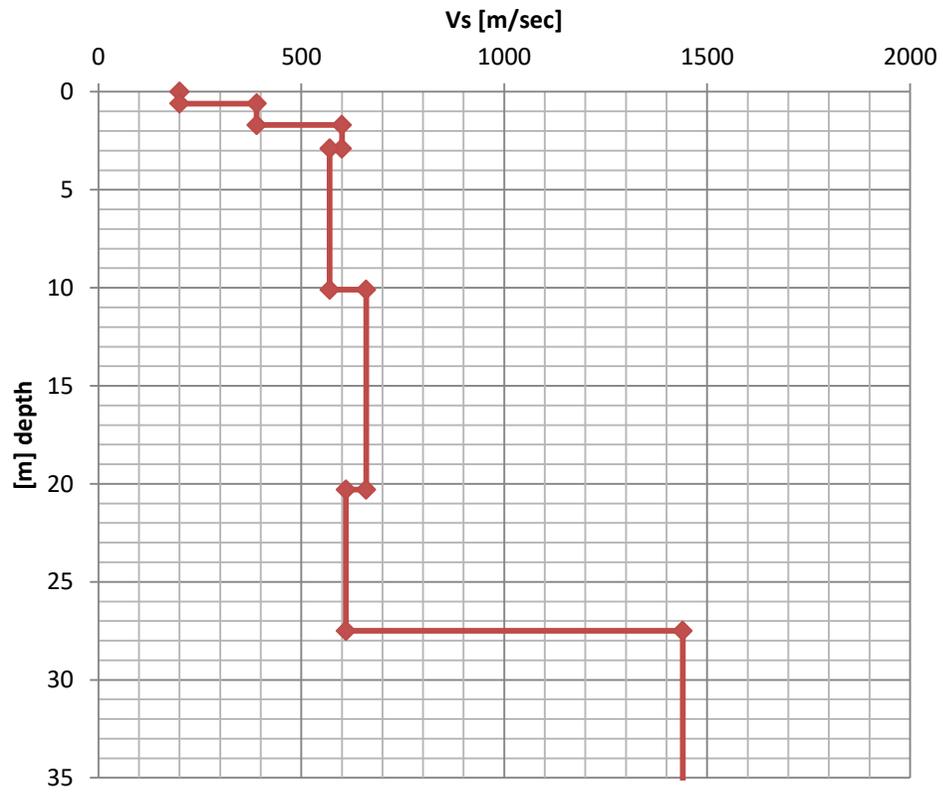
Indagine geofisica di Sismica a Rifrazione & MASW, di supporto alla Relazione Geologica, Agro sud est, San Pietro Vernotico (Br).

Indagine:
REF03
Data esecuzione:
04/07/2024

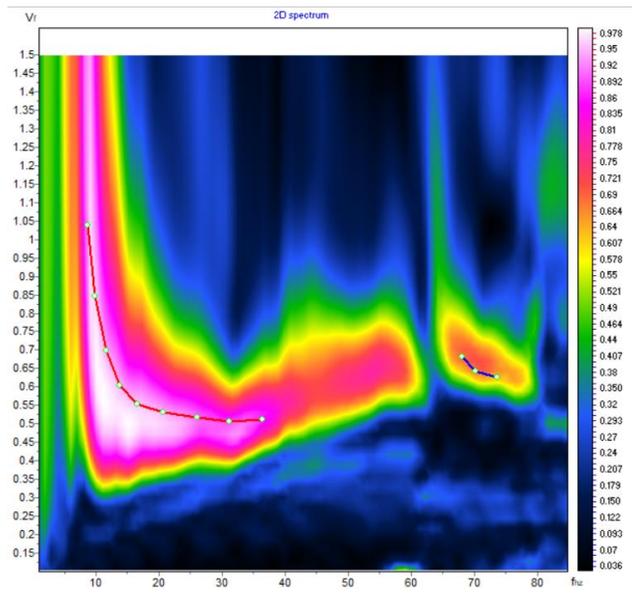
Tavola 1:
sismogrammi :
a) scoppio n°1 (0,0m)
b) scoppio n°2 (8,0m)
c) scoppio n°3 (16,0m)
d) scoppio n°4 (24,0m)
e) scoppio n°5 (32,0 m)
f) scoppio n°6 (40,0 m)



a)



c)



b)



Indagine geofisica di Sismica a Rifrazione & MASW, di supporto alla Relazione Geologica, Agro sud est, San Pietro Vernotico (Br).

Indagine:
REF03
Data esecuzione:
04/07/2024

Tavola 2:
a) Sismogrammi
b) Spettro K-V con sovrapposizione delle curve di dispersione delle onde di Rayleigh relative al modo fondamentale (rosso) e l'1° modo (blu)
c) Vs/Z



Indagine geofisica di Sismica a Rifrazione & MASW, di supporto alla Relazione Geologica, Agro sud est, San Pietro Vernotico (Br).

Indagine:
REF03
Data esecuzione:
04/07/2024

Foto Stendimento