



COMUNE DI STORNARELLA
PROVINCIA DI FOGGIA



COMUNE DI ORTA NOVA
PROVINCIA DI FOGGIA

Progetto per la realizzazione di un Impianto agro-fotovoltaico della potenza di 40,658 MWp (36,5 MW in immissione) nei comuni di Stornarella (FG) e Orta Nova (FG) in località "Ferranti", delle opere connesse e delle infrastrutture indispensabili

PROGETTO DEFINITIVO
RELAZIONE GEOLOGICA

COD. ID.	FV071FGEFEB -				
Livello prog.	Tipo documentazione		N. elaborato	Data	Scala
PD	Definitiva			02 / 2021	

Nome file	RELAZIONE GEOLOGICA
-----------	---------------------

REVISIONI					
REV.	DATA	DESCRIZIONE	ESEGUITO	VERIFICATO	APPROVATO
00	FEBBRAIO 2021	PRIMA EMISSIONE		MAGNOTTA	MAGNOTTA

COMMITTENTE:

EFE S.R.L.

Via Paolo Andreoni, N. 6
 20122 MILANO (MI) ITALIA
 efesrl@pec.cloud

PROGETTAZIONE:



MAXIMA INGEGNERIA S.R.L.
 Direttore tecnico: Ing. Massimo Magnotta
 via Marco Partipilo n.48 - 70124 BARI
 pec: gpec@pec.it
 P.IVA: 08848880728



PRO.ENERGY ENGINEERING S.R.L.
 Direttore tecnico: Ing. Gianfranco Lavagna
 via Vincenzo Guoro n.28 - 70043 Monopoli (BA) Italia
 pec: proenergy_pec@pec.it
 P.IVA: 08485410721

CONSULENTI:

Ing. Sabrina Scaramuzzi

Viale Luigi De Laurentis, 6 Int.20, 70124 Bari (BA) Italia
 Tel./fax: 080 2082652 - 328 5289021
 e-mail: progettocustica@gmail.com - sabrina.scaramuzzi@ingpec.eu

Dott. Antonio Mesisca

Via A. Moro, 8/5, 82021 Apice (BN), Italia
 Tel. 327 1818308
 e-mail: mesisca_antonio@virgilio.it

Dott. Geol. Rocco Porsia

Via Tacito, 31, 76100 Matera (MT) Italia
 Tel: +39 3477151870
 e-mail: r.porsia@laboratoriolaro.it

Dott. Gianfranco Vitolla

Via San Benedetto, 20 70013 Castellana Grotte (BA), Italia
 Tel. +39 3284233962
 e-mail: gianfranco.vitolla@virgilio.it

SOMMARIO

1. PREMESSA	pag. 2
2. INQUADRAMENTO MORFOLOGICO, GEOLITOLOGICO, TETTONICO, IDROGRAFICO ED IDROGEOLOGICO DELL'AREA	“ 7
2.1 PQs – <<Sabbie e sabbie argillose a volte con livelli Arenacei giallastri e lenti ciottolose>>	“ 19
2.2 Qm2 – <<Sabbie straterellate con molluschi litorali>>. Qc2 <<Ciottolame incoerente con intercalazioni sabbiose>>	“ 20
3. INDAGINI GEOFISICHE, CLASSIFICAZIONE SISMICA DELL'AREA E DEFINIZIONE DELLA CATEGORIA DI SUOLO DI FONDAZIONE	“ 22
3.1 – Indagini sismiche a rifrazione	“ 22
3.1.1. – Risultati delle indagini sismiche a rifrazione	“ 26
3.2 – Categoria di sottosuolo, condizioni topografiche, indagini sismiche con metodologia M.A.S.W. (Multichannel Spectral Analysis of Surface Waves)	“ 28
3.2.1 – Categoria di sottosuolo	“ 29
3.2.2 – Condizioni topografiche	“ 32
3.2.3 – Indagini sismiche con metodologia M.A.S.W.	“ 32
3.2.3.1 – Risultati delle indagini M.A.S.W. effettuate	“ 37
3.3 – Azioni sismiche	“ 39
4. CARATTERISTICHE LITOLOGICO-STRATIGRAFICHE, IDROGEOLOGICHE E GEOTECNICHE DELL'AREA IN STUDIO E STRUTTURE DI FONDAZIONE DELLE OPERE IN PROGETTO	“ 57
4.1 – Caratteristiche idrogeologiche	“ 58
4.2 – Caratteristiche geotecniche dei terreni e strutture di fondazione delle opere in progetto	“ 58
5. STUDIO DI COMPATIBILITÀ GEOLOGICA E GEOTECNICA	“ 62
6. CONCLUSIONI	“ 65
7. BIBLIOGRAFIA	“ 71
ALLEGATI:	
Allegato 1: Corografia – Scala 1:25.000	
Allegato 2: Carta di Pericolosità Geomorfologica, Idraulica e del Rischio – Scala 1:75.000 – Scala 1: 25.000	
Allegato 3: Carta Geologico-Morfologica con ubicazione della sezione geologica – Scala 1:10.000 Sezione Geologica – Scala 1:4.000	
Allegato 4: Tabelle e Grafici Indagini Geofisiche	

1. PREMESSA

Nell'ambito del **“Progetto per la realizzazione di un impianto agrofotovoltaico della potenza di 40,658 MWp (36,5 MW in immissione) nei comuni di Stornarella (FG) e Orta Nova (FG) in località "Ferranti", delle opere connesse e delle infrastrutture indispensabili”** la Società E.F.E. s.r.l. con sede legale in Milano (MI) alla via Paolo Andreani n. 6 in qualità di proponente ha dato incarico allo scrivente di effettuare uno studio geologico-geotecnico e sismico di un'area ubicata a cavallo tra i territori comunali di Stornarella (FG) ed Orta Nova (FG), la cui esatta ubicazione è riportata negli allegati cartografici, dove saranno installati i pannelli fotovoltaici, del corridoio lungo cui si snoderà il cavidotto di connessione tra il campo agrofotovoltaico e l'area in cui sarà realizzata la sottostazione utente, sita nel territorio comunale di Stornara (FG).

Il progetto prevede l'integrazione di un progetto agronomico per il quale, all'interno della stessa area di installazione dell'impianto, verranno seminate diverse colture.

In questo modo il progetto consente di combinare al sistema di produzione di energia elettrica e la produzione alimentare sulla stessa superficie.

Dal punto di vista tecnico, i pannelli saranno posizionati e sollevati ad una determinata altezza che consentirà il passaggio delle macchine agricole convenzionali necessarie alle produzioni agricole selezionate per l'area.

La scelta delle colture è stata effettuata sulla base delle analisi relative alle coltivazioni effettuate sino ad oggi da parte dell'agricoltore e in ottemperanza alla fattibilità agronomica ed economica dell'APV.

Le principali colture selezionate sono le leguminose, le cover crops, le colture officinali ed una fascia perimetrale coltivata ad ulivo, oltre all'”apiario solare”, realizzato su una porzione dell'area oggetto di intervento.

Le colture scelte possiedono un sistema di coltivazione altamente meccanizzato ed adatto ad ambienti non irrigui e non suscettibili a danni da ombreggiatura.

Lo studio in oggetto, volto a definire il modello geologico-geotecnico del sottosuolo, illustra e caratterizza gli aspetti stratigrafici, strutturali, idrologici, idrogeologici, geomorfologici, litotecnici e fisici, con lo scopo precipuo di valutare il conseguente livello di pericolosità geologica ed il comportamento prima e dopo la realizzazione delle opere, così come richiesto dalla normativa tecnica vigente ed in particolare della **LEGGE 02 febbraio 1974 n. 64** e successive modifiche ed integrazioni, del **D.M. LL.PP. 11 marzo**

1988 e delle loro relative norme di attuazione, del **D.Min. Infrastrutture 14 gennaio 2008**, del **D.Min. Infrastrutture 17 gennaio 2018** e **Circolare esplicativa n. 7 del 21 gennaio 2019**, tenendo in debito conto le prescrizioni del **Piano dell’Autorità di Bacino della Puglia** istituita con la **Legge Regionale n. 19 del 9 dicembre 2002** e delle relative norme tecniche di attuazione (30 novembre 2005).

La consultazione delle norme di attuazione del **PIANO DI BACINO - STRALCIO ASSETTO IDROGEOLOGICO** - e della cartografia ad esso allegato ha consentito di verificare che le aree su cui sarà realizzato l’impianto agrovoltatico e la sottostazione utente non ricadono tra quelle a Rischio, a Pericolosità Idraulica e a Pericolosità Geomorfologica (vedi cartografia allegata), per cui le stesse non sono soggette alle prescrizioni ed alle restrizioni ai sensi dello stesso Piano, mentre il corridoio lungo cui si snoda il cavidotto attraversa per alcuni brevi tratti aree a pericolosità geomorfologica media e moderata (PG1).

In seguito alla pubblicazione dell’Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003 ed alla Deliberazione della Giunta Regionale di Puglia n. 153 del 2 marzo 2004, che ha aggiornato la classificazione sismica del territorio regionale, si è resa necessaria la caratterizzazione sismica delle aree in esame al fine di verificare le caratteristiche di tali aree alla luce della nuova normativa tecnica per le costruzioni in zona sismica (**D.Min. Infrastrutture 17 gennaio 2018**).

Le informazioni sui caratteri litologico-stratigrafici del sottosuolo e le principali caratteristiche geologiche, geotecniche ed idrogeologiche dei siti interessati dal progetto sono state estrapolate dalla vasta bibliografia relativa ai terreni affioranti in tali aree, mentre i caratteri morfologici sono stati raccolti nel corso di alcune ricognizioni di superficie effettuate nelle zone interessate e nelle zone limitrofe e confrontando i dati acquisiti con quelli desunti dalla bibliografia e dalla cartografia ufficiale esistente.

Le indagini sismiche con metodologia M.A.S.W. e quelle effettuate con il metodo della sismica a rifrazione in onda P eseguite ai due estremi dell'area in cui sarà realizzato il parco agrovoltaico (vedi allegata planimetria con ubicazione delle indagini) al fine di verificare le caratteristiche sismiche del sedime dove saranno realizzati i suddetti lavori hanno consentito, altresì, di ricostruire, seppure in maniera indiretta, gli spessori e le caratteristiche litostratigrafiche dei terreni presenti nel sottosuolo di tale area.

Le indagini sismiche effettuate e lo studio geologico generale dell'area in cui saranno realizzati i lavori in oggetto sono state utilizzate per effettuare la ricostruzione del modello geotecnico del volume di terreno influenzato, direttamente o indirettamente, dalla costruzione delle opere in progetto e che a loro volta influenzeranno il comportamento delle opere stesse.

La definizione dei parametri geotecnici dei terreni affioranti nell'area in esame, sulla base dei quali è stato effettuato un primo dimensionamento delle opere da realizzare, sono stati desunti dalla vasta bibliografia ufficiale

esistente, mentre i moduli elastici sono stati calcolati dalle indagini sismiche realizzate.

Di seguito, dopo la descrizione del contesto geologico-morfologico generale dell'area interessata dalla realizzazione dei lavori in oggetto, si riportano i dati acquisiti nel corso dello studio effettuato ed il parere sulla fattibilità delle opere in progetto.

2. INQUADRAMENTO MORFOLOGICO, GEOLITOLOGICO, TETTONICO, IDROGRAFICO ED IDROGEOLOGICO DELL'AREA

L'area territoriale in cui si colloca il sito interessato dalla realizzazione delle opere in progetto costituisce geograficamente una vasta piana alluvionale, compresa in un'area di avanfossa ancora più ampia, denominata Tavoliere delle Puglie, ubicata tra il dominio garganico, quello appenninico e quello murgiano.

Tale area ricade nel Foglio n. 175 "CERIGNOLA" della Carta Geologica d'Italia in scala 1: 100.000 dell'IGM e più specificatamente nella tavoletta IV NE "ORDONA" l'impianto agrovoltaiico e nella tavoletta I NO "ORTA NOVA" la sottostazione, mentre il cavidotto attraversa entrambe le tavolette.

L'impianto per la produzione di energia elettrica da fonte solare è ubicato in posizione all'incirca baricentrica rispetto ai centri abitati di Orta Nova, Stornarella ed Ortona dai quali dista mediamente circa 5.00-6.00 km in linea d'aria, mentre la sottostazione è ubicata a circa 3.00 km a nord di Stornara e dista all'incirca 8.00-9.00 km in direzione nord-est in linea d'aria dalla zona in cui sarà realizzato il parco agrovoltaiico.

Le informazioni sui caratteri litologico - stratigrafici - geostrutturali delle aree interessate dall'attività in oggetto sono state desunte dalla bibliografia ufficiale, ivi comprese le documentazioni cartografiche, e dai dati in possesso dello scrivente.

Le principali caratteristiche geologiche, morfologiche, geotecniche ed idrogeologiche, riferite al sottosuolo delle aree in cui saranno realizzati gli interventi in oggetto, sono state raccolte nel corso delle ricognizioni di superficie e desunte anche dalla vasta bibliografia relativa ai terreni affioranti nelle aree in esame.

L'area interessata dal progetto dista circa 20,00 km dalle prime pendici dell'Appennino Dauno, all'interno di una porzione della Capitanata, l'estesa superficie spianata ed erosa che dalle estreme propaggini orientali dell'Appennino degrada dolcemente verso il mare adriatico, che è compresa nei limiti del Foglio 175 – Cerignola, ed costituita dai depositi alluvionali del torrente Carapelle e del Fiume Ofanto e dei loro relativi affluenti.

I terreni affioranti nell'area in esame e nelle zone circostanti sono rappresentati da:

- Sabbie giallastre con fauna litorale (Pleistocene);
- alluvioni terrazzate (Olocene);
- alluvioni recenti ed attuali.

La natura dei terreni superficiali, che si rinvencono fino ad una profondità di poche decine di metri, escluse le sabbie giallastre, sono da mettere in relazione al trasporto fluviale dei corsi d'acqua.

Il sito in cui sarà realizzato l'impianto agrovoltaico in progetto si colloca a cavallo dei territori comunali di Orta Nova (FG) e Stornarella(FG) ed impegna superfici pianeggianti modellate dagli eventi climatici e glacioeustatici, nonché dalle vicende idrauliche di età mesopleistocenico-olocenica.

Il territorio considerato presenta ulteriori connotazioni identificative in ordine alla sua specifica posizione territoriale principalmente correlate alla presenza di alcuni alvei torrentizi e fluviali, che costituiscono elementi idrografici di particolare rilievo morfologico cui sono collegabili anche parte degli attuali assetti litologici.

La quota media che caratterizza il territorio, quasi completamente pianeggiante nelle immediate vicinanze dei siti di interesse, si aggira intorno ai 150 m slm nella zona in cui sarà realizzato il parco agrovoltaico ed intorno agli 80 m slm dove sarà realizzata la sottostazione.

Tutta la piana infatti tende a sollevarsi configurandosi con pendenze lievi verso i quadranti nord-orientali.

Come si è appena accennato i due alvei più significativi che sviluppano il loro corso a nord-ovest e a sud-est del costruendo impianto, individuati topograficamente con i toponimi di torrente Carapelle e di Fiume Ofanto, rappresentano due precisi elementi fisiografici verosimilmente coincidenti con preesistenti strutture tettoniche profonde.

Gli alvei dei due corsi d'acqua presentano forme complessivamente sinuose dovute alle basse pendenze del territorio attraversato e si sviluppano in

direzione NE, raccordando la zona a ridosso dei Monti della Daunia al Mare Adriatico, attraversano l'intera piana del Tavoliere intercettando nelle parti più alte rilievi di quota superiori ai 350 m slm.

Nel loro percorso intersecano i vari ripiani terrazzati di origine marina correlabili ad oscillazioni glacioeustatiche la cui disposizione, inclinata verso il Golfo di Manfredonia, rappresenta il risultato della sedimentazione recente che, congiuntamente alla progressiva attività di sollevamento regionale conseguente alle spinte appenniniche, ha "plasmato" morfologicamente l'attuale piana del Tavoliere.

Trattasi di un'attività polifasica in cui ai meccanismi di regressione marina si sono sovrapposte anche le fasi continentali di alluvionamento causate dalle pulsazioni isostatiche del sistema catena-avanfossa-avampaese.

I corsi d'acqua di origine pedemontana che scorrono nella piana, tra cui anche i due corsi d'acqua in questione, intersecano dunque una serie di superfici alluvionali poste a quote diverse, lievemente inclinate verso mare e delimitate da più o meno ripide scarpate con inclinazioni tanto più lievi quanto più ci si avvicina alla linea di costa.

Le attuali superfici visibili nelle loro condizioni naturali rappresentano dunque il risultato dell'avvicinarsi delle sedimentazioni marine e continentali e nel caso specifico si deve ritenere che i sedimenti olocenici di pianura abbiano di fatto in gran parte obliterato o cancellato anche le tracce degli antichi terrazzi per la sovrapposizione di sedimenti alluvionali generati dalla trascinamento degli stessi corsi d'acqua in prossimità della fascia costiera.

Le suddette caratteristiche sono peraltro confermate dal sistema idrografico secondario che si configura in forme anastomizzate, con fitti reticoli a direzione di deflusso molto varie, spesso anche contrastanti, di raccordo alle due principali aste fluviali aventi direttrice prevalente coincidente con la direzione di massima pendenza verso mare.

Ad eccezione dei corsi d'acqua principali, che hanno comunque portate medie molto modeste, tutti gli alvei, impluvi e fossi sono normalmente privi d'acqua per gran parte dell'anno ed attivi solo in concomitanza con eventi pluviometrici a carattere eccezionale che possono esplicarsi in aree del bacino idrologico anche non coincidenti con il comparto esaminato.

E' da far notare in tal senso che il territorio oggetto di studio ha subito notevoli variazioni rispetto alle originarie morfologie, sia per la rettifica degli alvei dei torrenti minori, sia per la realizzazione di canali artificiali drenanti e/o di collettamento, realizzati principalmente in occasione della bonifica post-bellica per l'allontanamento delle acque di pioggia e per impedire il ristagno delle stesse nell'ambito dell'ampia pianura compresa tra i due citati corsi d'acqua principali.

Per quanto sopra segnalato si può dire che gran parte delle litologie oggi presenti in questa fascia territoriale costituiscono il risultato di sedimentazioni terrigene alluvionali, causate da rigurgito, per tracimazione dagli argini, delle acque limacciose dei canali e dei corsi d'acqua che attraversano l'ampia pianura alluvionale.

I materiali trascinati dalle acque, nel corso di antichi eventi alluvionali, si sarebbero depositati in ampie aree golenali, oggi asciutte, le cui condizioni idrauliche fossili si palesano allorché si verificano condizioni metereologiche con precipitazioni accentuate.

In definitiva si può ritenere che da un punto di vista morfologico non sussistono condizioni limitative o ostative alla realizzazione di impianti o di strutture edilizie in quanto non si rilevano morfologie a stabilità precaria.

Mancano infatti condizioni predisponenti al dissesto così come non si rilevano elementi di instabilità in atto o potenziali.

Sulla base di quanto direttamente osservato e con riferimento alle conoscenze geologiche del comparto è possibile sviluppare sintetiche valutazioni sulla geologia del territorio per definire in dettaglio anche quella delle aree di intervento.

Come accennato i terreni presenti, che caratterizzano l'intero Tavoliere compresa l'area in esame, costituiscono la successione plio-pleistocenica dell'Avanfossa adriatica.

A partire dal substrato pre-pleistocenico che rappresenta il basamento del Tavoliere, costituito da una potente serie di sedimenti carbonatici di piattaforma di età Mesozoica, si rinvencono le sequenze tipiche di riempimento di questo bacino subsidente comunemente noto come Fossa Bradanica.

Tutta l'area del Tavoliere può essere definita come un'ampia fossa tipo Graben con orientazione appenninica delimitato nelle sue parti meridionali dall'Altopiano murgiano e in quelle settentrionali dall'Horst garganico.

Tali elementi del basamento carbonatico risulterebbero dunque in continuità con le forme del rilievo attualmente affioranti per il tramite di un sistema a gradoni immergente verso l'Appennino, interposto tra Murge e Gargano.

Su questo esteso Graben, a partire dal Miocene, si sarebbero depositate le unità del ciclo della Fossa Bradanica caratterizzate verso la fascia appenninica da interposizione di colate gravitative comprendenti sedimenti torbiditici, caotici, con mescolanze sabbioso-argillose e ciottoloso-sabbiose.

I depositi caratteristici della sedimentazione plio-pleistocenica, così come risulta da sondaggi profondi e da letteratura, sarebbero invece costituiti da conglomerati e sabbie, argille, sabbie e nuovamente conglomerati.

Tale sequenza post-cretacica si origina dunque con i conglomerati trasgressivi che precedono l'ingressione marina pliocenica e si chiudono con le facies sabbioso-conglomeratiche che accompagnano la regressione finale pleistocenica.

Anche nell'ambito territoriale studiato si ritrovano le sequenze accennate che tuttavia vengono intercettate solo relativamente alla parte alta delle unità stratigrafiche regressive.

Nel caso specifico alle formazioni sabbioso-conglomeratiche del ciclo della Fossa Bradanica si presume che possano essersi sovrapposte le attività di ingressione e regressione marina originatesi a partire da circa un milione di anni fa a seguito della progressiva attenuazione delle spinte appenniniche.

Gli effetti distensivi della tettonica quaternaria avrebbero dunque prodotto una nuova riconfigurazione del territorio favorendo la sedimentazione di facies marine e continentali terrazzate, specialmente lungo le fasce prossime alle aree costiere.

Per il Tavoliere meridionale appare dunque di non facile soluzione la ricostruzione di un quadro completo ed esaustivo delle varie fasi di terrazzamento e la distinzione dei cicli sedimentari in funzione anche degli eventi climatici.

Si può verosimilmente presumere che le piane alluvionali dei fiumi attuali possano essere state generate anche dallo smantellamento dei depositi del ciclo bradanico, per un accentuarsi delle precipitazioni e conseguentemente dell'erosione, nelle zone di raccordo tra la fascia pedecollinare appenninica e quella di pianura.

In ogni caso dal punto di vista della caratterizzazione litologica e geologico-tecnica, saranno dettagliatamente illustrate le condizioni specifiche del sito così come rilevato dagli studi e dalle indagini effettuate in precedenza sull'area.

Come già ricordato il comparto territoriale in cui ricade il sito in studio, corrispondente ad una parte del Tavoliere meridionale, risulta contrassegnato da depositi pleistocenici ed olocenici a facies limoso-argillose o sabbioso-limose, passanti a facies ciottoloso-sabbiose o conglomeratiche.

Può ritenersi plausibile che ai suddetti depositi si sovrappongano sedimenti marini e alluvionali terrazzati di età suprapleistocenica ed olocenica.

In conformità alla natura del sedimento variano anche le caratteristiche idrogeologiche delle formazioni.

Le lenti o gli orizzonti sabbioso-ghiaiosi, di età plio-pleistocenica o olocenica, risultano infatti molto permeabili o mediamente permeabili per porosità, viceversa impermeabili o scarsamente permeabili le formazioni argillose profonde ed i limi sabbioso-argillosi.

In relazione a tali caratteristiche si può dunque ritenere possibile la formazione di acquiferi superficiali nelle parti corticali della coltre sedimentaria in funzione di substrati o livelli impermeabili capaci di sostenere l'acquifero stesso.

Tali acquiferi identificabili come acquiferi sospesi appaiono di norma poco estesi e possono ritenersi del tutto improduttivi ai fini di una possibile alimentazione idrica.

Ben più diffusa e significativa la presenza di falda o livelli acquiferi nella parte basale della coltre sedimentaria, nella fascia di contatto, tra le sabbie e le alluvioni conglomeratiche, con le sottostanti argille marine.

I livelli acquiferi in tal caso possono costituire un unico corpo idrico ovvero un sistema multi acquifero rappresentato da corpi discontinui di forma lenticolare alternati a strati argillosi che evidenziano anche caratteri di artesianità.

In tutta la parte del Tavoliere meridionale le argille grigio-azzurre, che rappresentano il livello di base dell'acquifero, si dispongono a profondità non superiori ai 100 m.

Viceversa i corpi sedimentari prevalentemente permeabili ed a diversa granulometria, tendono ad intercalarsi ai livelli limoso-sabbiosi o argillosi di scarsa permeabilità man mano che ci si avvicina alla costa.

Nel caso specifico, come sarà meglio precisato in seguito, si può ritenere che lo spessore complessivo dei sedimenti permeabili o semi-permeabili possa raggiungere ed anche superare i 50 m e che la sottostante coltre argillosa intercettata a partire da tale profondità possa proseguire nel sottosuolo per centinaia di metri.

La resa dei pozzi, così come documentato in numerose ricerche di letteratura, è condizionata dallo spessore e dalle caratteristiche granulometriche degli strati acquiferi, nonché dalla configurazione della superficie di fondo della falda.

L'alimentazione dell'acquifero può avvenire da superfici con affioramenti permeabili anche distanti rispetto alla zona di formazione del corpo idrico e nel caso specifico può essere ragionevolmente attribuito in gran parte ad alimentazioni sotterranee direttamente connesse alle fluenze dei torrenti che scorrono nella zona.

Le caratteristiche idrogeologiche ed idrochimiche del sistema acquifero della piana costiera rappresentano dunque un sistema assai complesso e poco conosciuto, sia in relazione alla possibile connessione idraulica con le altre falde sotterranee, sia alle modalità di alimentazione e deflusso.

Analogamente molto variabili risultano anche i contenuti idrochimici delle acque le cui componenti minerali possono essere fortemente condizionate dall'esistenza di acque connate o di acque a forte componente organica.

L'acquifero superficiale confinato nei livelli porosi della coltre sedimentaria di copertura ha dunque caratteristiche nell'insieme non perfettamente definibili anche relativamente alle portate emungibili che variano notevolmente da pozzo a pozzo e per lo stesso pozzo nel tempo.

Per il sito in studio saranno svolte considerazioni apposite circa le condizioni idrogeologiche sulla base delle notizie bibliografiche raccolte e dei rilievi effettuati con riferimento anche ai dati acquisiti nel corso dei sopralluoghi effettuati e dell'indagine sismica realizzata.

Un particolare cenno, infine, merita la possibile esistenza dell'acquifero carsico profondo che ospita le acque circolanti nei livelli fratturati delle rocce carbonatiche confinate al di sotto della successione argillosa.

L'esistenza di tale acquifero è stata evidenziata da perforazioni profonde a scopi minerari o petroliferi.

La profondità cui si intercettano le formazioni calcaree è sempre superiore ai 1000 m e le caratteristiche idrauliche dell'acquifero sono in tali casi determinate anche dalla particolare connessione con i sistemi di piattaforma garganica e di quello murgiano.

L'acquifero carsico non può dunque considerarsi un riferimento utile per eventuali prelievi o utilizzi, ma nello stesso tempo deve ritenersi

assolutamente escluso dalle vicende che si possono esplicitare sulla fascia di superficie.

Per le opere in progetto saranno dunque considerate solo le possibili influenze che attengono il rapporto esclusivo tra superficie ed acquifero secondario presente negli orizzonti pleistocenico-olocenici.

Per quanto riguarda la circolazione delle acque di precipitazione al suolo, questa viene condizionata dalla permeabilità dei materiali affioranti e dalle pendenze dell'area in esame.

Nei depositi alluvionali terrazzati, mediamente permeabili per porosità, una cospicua aliquota delle acque meteoriche tenderà ad infiltrarsi nel sottosuolo e solo una piccola parte scorrerà in superficie, con variabilità delle aliquote a seconda della maggiore o minore componente limoso-argillosa.

Tali depositi permettono l'infiltrazione delle acque meteoriche, ma la mancanza di un livello impermeabile continuo superficiale non consente la formazione di una falda superficiale.

Le aliquote di acqua che si infiltrano nel sottosuolo e la natura dei terreni affioranti sono tali, comunque, da permettere la formazione di una falda acquifera superficiale solo localmente negli affioramenti costituiti dai depositi alluvionali terrazzati dove è prevalente la frazione sabbioso-ghiaiosa.

Di seguito si descrivono con maggiore dettaglio solo le unità geologiche affioranti nelle aree di sedime delle opere da realizzare e quella ad esse immediatamente sottostanti.

2.1 – PQs – <<Sabbie e sabbie argillose a volte con livelli arenacei giallastri e lenti ciottolose>>

In continuità di sedimentazione con le argille si hanno, in alto, sedimenti sabbiosi a volte fittamente stratificati con intercalazioni e lenti ciottolose verso la parte superiore della serie.

Si tratta di sabbie più o meno argillose nelle quali la parte argillosa diminuisce progressivamente dal basso verso l'alto.

Esse sono di colore generalmente giallastro ed hanno uno spessore di poco superiore ai 50 metri.

Estese zone da Ascoli Satriano a Lavello ed oltre, sono ricoperte da questi sedimenti sabbiosi, mentre nell'area in studio esse sono sottostanti ai depositi sabbioso-ciottolosi affioranti.

Ciò è dovuto principalmente al fatto che l'azione erosiva dei numerosi, ma modesti corsi d'acqua, non è tale da raggiungere il complesso argilloso sottostante.

In base alle associazioni fossilifere rinvenute in questi depositi, si ritiene che questi sedimenti debbano essere ascritti ad una fase del Pleistocene antico caratterizzata da un impoverimento delle faune plioceniche in relazione all'abbassamento di temperatura già in atto.

2.2 – Qm2 – <<Sabbie straterellate con molluschi litorali>>. Qc2 - <<Ciottolame incoerente con intercalazioni sabbiose>>

I depositi ciottolosi contraddistinti con la sigla **Qc₂** anche se costituiti dagli stessi elementi arenacei e calcarei della formazione **Qc₁**, possono tenersi distinti da essa.

Due sono i motivi principali di questa distinzione.

Un gradino morfologico fra i due complessi, anche se di modeste proporzioni, si riscontra con una certa costanza lungo una direttrice NO-SE fra il Torrente Carapelle a nord ed il Fiume Ofanto a sud.

Anche se la natura litologica risulta essere la stessa, tale formazione ciottolosa, a differenza di **Qc₁**, si presenta generalmente incoerente con elementi di più modeste dimensioni (massimo 10-15 cm) e frammista a sabbie finissime di colore giallo-oro.

Questa componente sabbiosa prevale superiormente e sostituisce del tutto i ciottoli, costituendo in prossimità di Cerignola, un complesso più esteso ed evidente che è stato contraddistinto con la sigla **Qm₂**.

Il limite col ciottolame **Qc₂** segue anch'esso una direttrice NO-SE e precisamente dal paese di Ortona, attraverso Stornara, giunge fino a Madonna di Ripalta sul fiume Ofanto.

Si tratta in generale di sabbie fittamente stratificate, di colore giallo-oro, localmente pulverulente, con rari livelli argillosi e ciottolosi e con concrezioni calcaree intercalate nella sua massa.

In queste sabbie, che ricoprono vaste zone fino ad arrivare al mare Adriatico, sono stati rinvenuti rari molluschi di facies marina litorale.

L'area dell'impianto in senso stretto ricade completamente sui depositi contraddistinti dalla sigla **Qc₂**, l'area della sottostazione ricade completamente sui depositi contraddistinti dalla sigla **Qm₂**, mentre il cavidotto si snoda per circa il 50% a partire dall'area dell'impianto sui depositi ciottolosi **Qc₂** e per il restante 50% sui depositi sabbiosi **Qm₂**.

3. INDAGINI GEOFISICHE, CLASSIFICAZIONE SISMICA DELL'AREA E DEFINIZIONE DELLA CATEGORIA DI SUOLO DI FONDAZIONE

Nel corso dello studio sono state effettuate n. 2 prospezioni indirette del sottosuolo condotte con il metodo della sismica a rifrazione in onda P e n. 2 prospezioni con il metodo della sismica passiva con metodologia M.A.S.W. con il fine di valutare il comportamento elasto-dinamico del sottosuolo in esame, per ricostruire, con l'ausilio delle informazioni bibliografiche, la sequenza litostratigrafica del sito su cui sorgerà il campo agrovoltaiico e la sottostazione e per individuare la categoria di suolo di fondazione ai sensi della nuova normativa tecnica per le costruzioni in area sismica (NTC 2018).

3.1 - Indagini sismiche a rifrazione

La tecnica di prospezione sismica a rifrazione consiste nella misura dei tempi di primo arrivo delle onde sismiche, generate in un punto in superficie (punto sorgente), in corrispondenza di una molteplicità di punti disposti allineati sulla superficie topografica (geofoni).

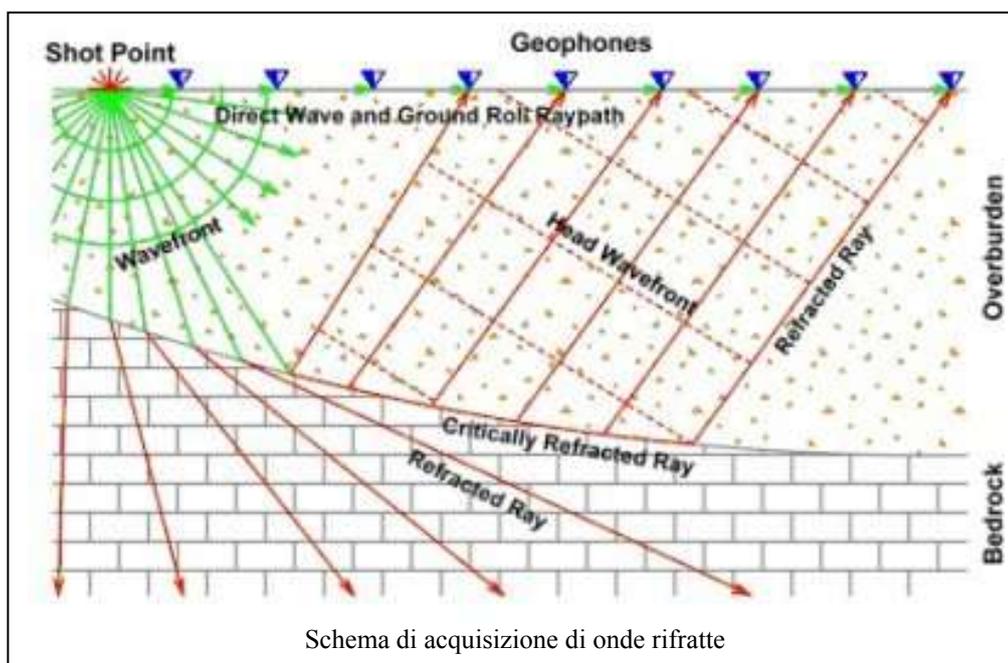
Lo studio della propagazione delle onde sismiche consente di valutare le proprietà geometriche e fisico-meccaniche dei terreni.

Mediante questo tipo di indagine si può risalire alla composizione litologica di massa dei terreni, al loro grado di fratturazione, alla geometria delle prime unità sottostanti la coltre superficiale, alla profondità in cui si trova la roccia di fondo (“bedrock”).

L'unica condizione per eseguire studi di sismica a rifrazione è che la successione rocciosa da investigare sia caratterizzata da velocità sismiche crescenti all'aumentare della profondità.

Normalmente il sottosuolo è caratterizzato da strati piano-paralleli con velocità crescente all'aumentare della profondità.

In contesti più complessi (inversioni di velocità o presenza di corpi non stratificati) bisogna tener conto del modello tridimensionale del sottosuolo ed

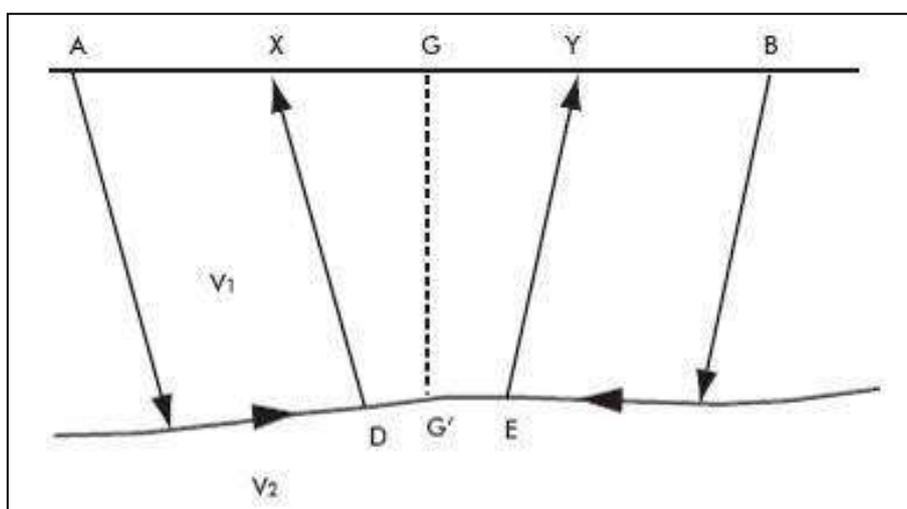


intervenire con indagini più specifiche (misure sismiche in foro) per non incorrere in errori interpretativi.

Il metodo di elaborazione utilizzato nel corso delle analisi dei dati a rifrazione è stato il Generalized Reciprocal Method (GRM: Palmer - 1980).

L'analisi GRM (metodo reciproco generalizzato) si basa sulla determinazione del tempo di tragitto delle onde sismiche tra due geofoni, separati da una distanza variabile XY , ottimale affinché i segmenti dei raggi che viaggiano verso l'alto e arrivano a ciascun geofono emergano quasi dallo stesso punto del riflettore (G').

Ciò permette di valutare tutte le eventuali variazioni laterali di velocità del rifrattore e, quindi, di ricostruire anche morfologie complesse



Successivamente, con l'ausilio del software "Rayfract" della Intelligent Resources Inc., si è proceduto all'analisi del sottosuolo in tomografia sismica.

Il software, utilizzando i tempi d'arrivo delle onde lette sui sismogrammi sperimentali, permette di eseguire delle ottimizzazioni del modello di velocità.

Tali interpretazioni danno modo di rappresentare le velocità sismiche sia secondo sismostrati e sia secondo un'imaging bidimensionale a colori.

Per i profili eseguiti sono state utilizzate le seguenti attrezzature:

- Un sismografo DAQ LINK – III a 24 bit della “Seismic Source Co” con intervallo minimo di campionamento di 0.0208 ms e altissima risoluzione (118 db).
- Un cavo con 24 collegamenti per i geofoni;
- Ventiquattro geofoni a componente verticale con frequenza di 14 Hz;



Strumentazione utilizzata

- Un piattello in alluminio;
- Un generatore di onde ad impatti trasversali;
- Un martello di 8 Kg dotato di trigger;

	Lunghezza (metri)	Distanza geofonica (metri)
Profilo sismico n. 1	72	3,00
Profilo sismico n. 2	72	3,00

il terzo sismostrato è associabile a depositi ben addensati di natura sabbioso-limoso-ghiaiosa con presenza di livelli arenacei cementati.

Nella tabella che segue sono mostrati tutti i valori delle velocità sismiche, il coefficiente di Poisson ed i valori dei moduli dinamici E (modulo di Young), G (modulo di taglio) e K (modulo di compressibilità), espressi in Kg/cm².

Questi valori sono stati calcolati considerando un peso di volume dei terreni γ pari ad uno e, pertanto, per ottenere i moduli dinamici reali è necessario moltiplicarli per il peso di volume effettivo dei terreni.

Le velocità Vs sono state ricavate dai valori medi dei risultati ottenuti con l'indagine MASW.

PROFILO N. 1		AREA IMPIANTO AGROVOLTAICO					
Profondità media (m)	Vp	Vs	σ	γ	E	G	K
1° sismostrato 0÷1.7	480	146	0.45	1.00	630	218	2061
2° sismostrato 1.7÷7.5	980	385	0.41	1.00	4261	1513	7783
substrato rifratore >7.5	1860	751	0.40	1.00	16144	5755	27629

PROFILO N. 2		AREA IMPIANTO AGROVOLTAICO					
Profondità media (m)	Vp	Vs	σ	γ	E	G	K
1° sismostrato 0÷1.8	600	310	0.32	1.00	2585	981	2366
2° sismostrato 1.8÷6.7	1440	629	0.38	1.00	11160	4037	15776
substrato rifratore >6.7	2220	970	0.38	1.00	26538	9601	37488

Vp = velocità onde longitudinali in m/s

Vs = velocità onde trasversali in m/s

σ = coefficiente di Poisson

γ = peso di volume in g/cm³

E = modulo dinamico di Young in Kg/cm^2

G = modulo dinamico di taglio in Kg/cm^2

K = modulo dinamico di compressibilità in Kg/cm^2

3.2 - Categoria di sottosuolo, condizioni topografiche, indagini sismiche con metodologia M.A.S.W. (Multichannel Spectral Analysis of Surface Waves)

In seguito alla pubblicazione dell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003 ed alla Deliberazione della Giunta Regionale di Puglia n. 153 del 2 marzo 2004, che ha aggiornato la classificazione sismica del territorio regionale, si è resa necessaria la caratterizzazione geotecnica e sismica delle aree in esame, al fine di verificare le caratteristiche di tali aree alla luce della nuova normativa tecnica per le costruzioni in zona sismica.

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, si può fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio V_s .

I valori dei parametri meccanici necessari per le analisi di risposta sismica locale o delle velocità V_s per l'approccio semplificato costituiscono parte integrante della caratterizzazione geotecnica dei terreni compresi nel volume significativo, di cui al § 6.2.2 delle NTC 2018.

I valori di V_s sono ottenuti mediante specifiche prove oppure, con giustificata motivazione e limitatamente all'approccio semplificato, sono valutati tramite relazioni empiriche di comprovata affidabilità con i risultati di altre prove in sito, quali ad esempio le prove penetrometriche dinamiche per i terreni a grana grossa e le prove penetrometriche statiche.

Nel caso in esame l'esecuzione di due profili sismici di superficie condotti con metodologia M.A.S.W. ha consentito di calcolare in maniera diretta il valore delle V_s in corrispondenza delle aree in studio che, a confermare la generale uniformità geologico-stratigrafica dell'intera area, ha dato valori molto simili tra loro.

3.2.1 - Categoria di sottosuolo

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

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}} \quad (3.2.1)$$

con:

h_i spessore dell'i-esimo strato;

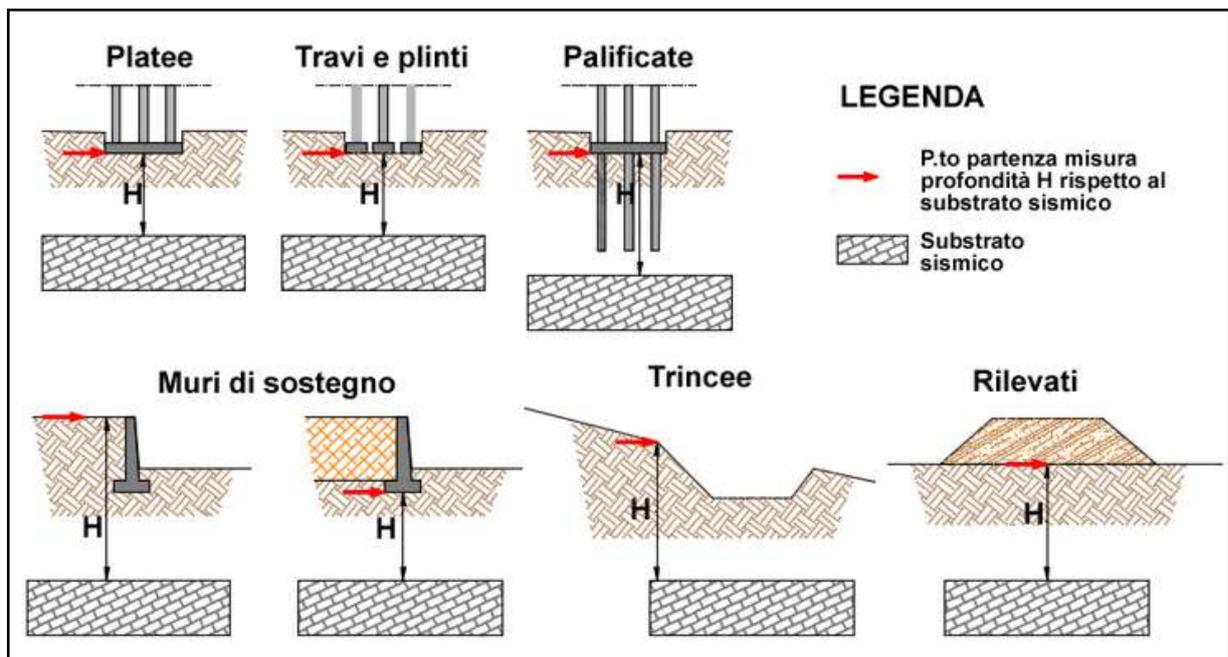
$V_{s,i}$ velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato;

N numero di strati;

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

Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio $V_{s,eq}$ è definita dal parametro V_{s30} ottenuto ponendo $H=30$ m nella precedente espressione (3.2.1) e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Per le fondazioni superficiali la profondità del substrato è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali.



Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell'opera.

Per muri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano di imposta della fondazione.

Le categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato sono definite in **Tab. 3.2.II** delle NTC 2018

Tab. 3.2.II – Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato - NTC 2018

Classe	Descrizione
A	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.
B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.
C	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.
D	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.
E	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.

Per queste cinque categorie di sottosuolo, le azioni sismiche sono definibili come descritto al § 3.2.3 delle NTC 2018.

Per qualsiasi condizione di sottosuolo non classificabile nelle categorie precedenti, è necessario predisporre specifiche analisi di risposta locale per la definizione delle azioni sismiche.

3.2.2 - Condizioni topografiche

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** delle NTC 2018.

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 $i > 30^\circ$

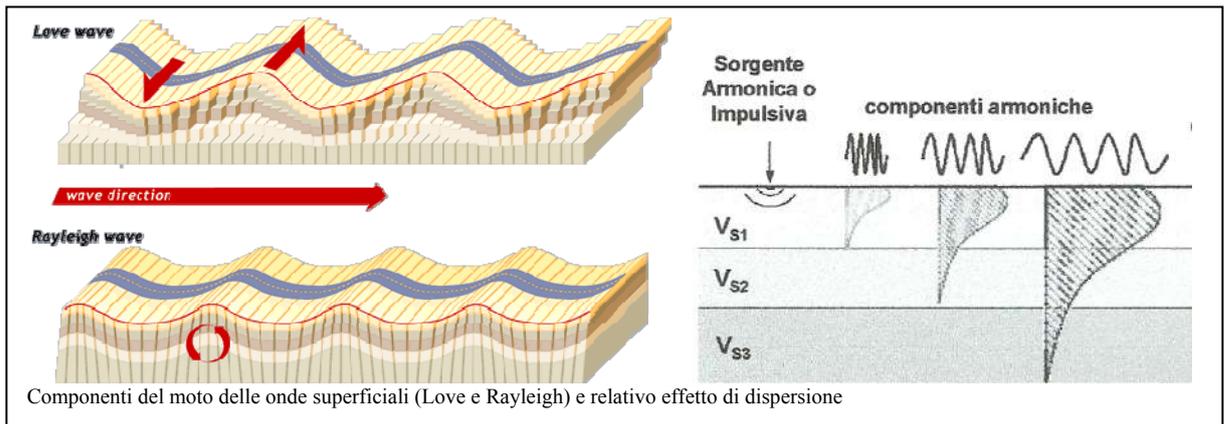
Le suddette categorie topografiche si riferiscono a configurazioni geometriche prevalentemente bidimensionali, creste o dorsali allungate, e devono essere considerate nella definizione dell'azione sismica se di altezza maggiore di 30 m.

3.2.3 – Indagini sismiche con metodologia M.A.S.W.

Il metodo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) è una tecnica di indagine non invasiva che individua il profilo di velocità delle onde di taglio verticali V_s , basandosi sulla misura delle onde superficiali fatta in corrispondenza di diversi sensori (nel nostro caso geofoni) posti sulla superficie del suolo.

Il contributo predominante alle onde superficiali è dato dalle onde di Rayleigh, che viaggiano con una velocità correlata alla rigidità della porzione di terreno interessata dalla propagazione delle onde.

In un mezzo stratificato le onde di Rayleigh sono dispersive, cioè onde con diverse lunghezze d'onda si propagano con diverse velocità di fase 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.

Il metodo di indagine MASW si distingue in “attivo” e “passivo” (Zywicki, 1999; Park e Miller, 2006; Roma, 2006).

- Nel “metodo attivo” le onde superficiali sono prodotte da una sorgente impulsiva disposta a piano campagna e vengono registrate da uno stendimento lineare composto da numerosi ricevitori posti a breve distanza (distanza intergeofonica).

- Nel “**metodo passivo**” (Re.Mi.) lo stendimento presenta le stesse caratteristiche geometriche del metodo attivo ma i ricevitori non registrano le onde superficiali prodotte da una sorgente impulsiva, bensì il rumore di fondo (detto anche “microtremori”) prodotto da sorgenti naturali (vento) e antropiche (traffico, attività industriali). E’ possibile utilizzare alcune varianti geometriche del metodo passivo (disposizione dei geofoni a cerchio, quadrato, triangolo e croce) per una valutazione più accurata del trend dispersivo delle onde superficiali (Park e Miller, 2006).

In questa indagine è stato utilizzato il “**metodo attivo**”, risultato il più idoneo a causa della totale assenza di rumore ambientale.

I profili MASW realizzati hanno le seguenti caratteristiche geometriche:

Denominazione	Sorgente	Lunghezza profilo	Distanza intergeofonica	n. geofoni
Profilo M.A.S.W. n. 1 Area impianto agrovoltaiico	Martello	48 m	2.0 m	24
Profilo M.A.S.W. n. 2 Area impianto agrovoltaiico	Martello	48 m	2.0 m	24

Per le misura eseguite sono state utilizzate le seguenti attrezzature:

- Un sismografo DAQ LINK – III a 24 bit della “Seismic Source Co” con intervallo minimo di campionamento di 0.0208 ms e altissima risoluzione (118 db).
- Un cavo con 24 collegamenti per i geofoni.
- 24 geofoni a componente verticale con frequenza di 4.5 Hz.
- SeisOpt ReMi v.2.0 della Optim LLC.

DAQlink Specifications

1 to 24 channels per unit
 Weatherproof enclosure
 Multiple units can be used together for large channel count

A/D conversion:
 24 bit high-speed sigma delta converters

Dynamic range:
 144 dB (system)
 Greater than 118 dB (measured at 2msec)

Bandwidth:
 DC to 15 KHz –
 Analog filter flat response to 8000 Hz
 Digital Filter Bandwidth = 85% of (sample rate)

Common Mode Rejection:
 Greater than 100 dB

Crosstalk:
 Better than 125 dB

Noise Floor:
 0.2 microvolt RMS noise (2 msec sample rate)

Trigger Accuracy:
 +/- 1 microsecond at all sample rates

Maximum Input Signal:
 Standard (x 2 gain): 3.58 volts peak to peak
 (Optional: (x1 gain): 7.16 volts peak to peak)

Input Impedance:
 100 K ohms

Preamplifier Gains:
 X2, and x32 standard; software selectable
 (X1 and x16 available on special request)

Anti-alias Filters:
 85 % of Nyquist frequency

Digital Filters:
 Low Cut – User Selectable frequency
 Notch – 50 or 60 Hz standard – User selectable
 High Cut – User Selectable

Sample Interval:
 0.0208, 0.0625, 0.125, 0.250, 0.500, 1.00, 2.00, 4.00, 8.00, 16.00 millisecond

Sample Frequency:
 48000, 16000, 8000, 4000, 2000, 1000, 500, 250, 125, 64.5 samples/second

Record Length:
 Up to 4 Gbytes/ number of channels

Pre- trigger delay:
 10 second

Continuous Recording Option

GPS Interface Standard
 Internal Clock synchronized to GPS time
 GPS Time and Position saved with data

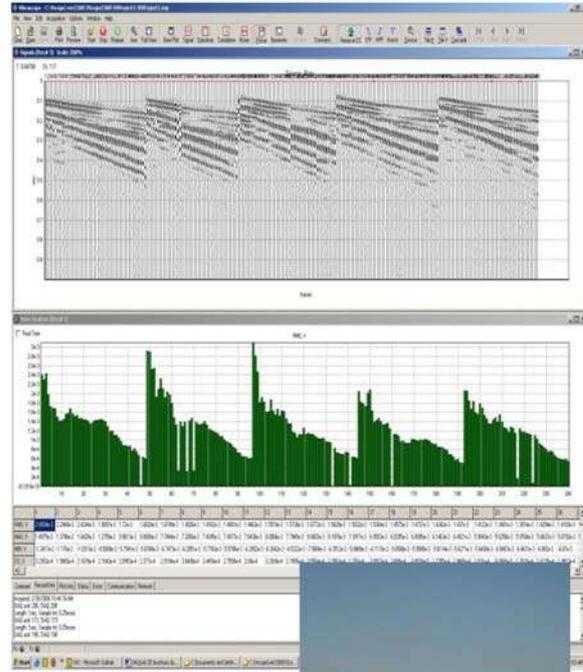
Internal Storage:
 Compact Flash style storage media
 Standard FAT16 or FAT32 file system
 (Maximum file size = 32GB)

100Mbit Ethernet
 Download speed 8MByte/sec; real time transfer

Power consumption:
 24 channels – less than 0.4 watts/channel

Built in Line Testing and Instrument Tests

Size: 330x230x60 mm
Weight: 3.4 Kg



Sono state acquisite, per ogni misura, sei registrazioni, sommate tra loro al fine di ottenere un buon rapporto segnale/rumore.

Esse hanno le seguenti caratteristiche:

	frequenza di campionamento	Lunghezza registrazioni	sorgente
Masw attivo	0.5 millisecondi	1 secondo	Martello

I sismogrammi ottenuti sono stati elaborati con una trasformazione bidimensionale dal dominio tempo-distanza (t-x), al dominio velocità di fase-frequenza (p-f).

E' stato così possibile analizzare l'energia di propagazione del "rumore ambientale" lungo tutte le direzioni della linea sismica e riconoscere le onde superficiali con carattere dispersivo.

I sei spettri di potenza p-f ottenuti sono stati sommati e sullo spettro risultante sono stati individuati una serie di punti sul confine inferiore dell'area ad alta energia (picking).

Tali valori sono stati riportati su un grafico velocità di fase/periodo ed è stata analizzata la relativa curva di dispersione.

E' stato poi calcolato un modello ottimale di velocità di onde trasversali mediante il "fitting" tra curva di dispersione e valori sperimentali.

3.2.3.1 – Risultati delle indagini M.A.S.W. effettuate

I modelli Vs-profondità, ottenuti mediante l'analisi M.A.S.W., sono di seguito schematizzati:

M.A.S.W. n. 1 Area impianto agrovoltaico		M.A.S.W. n. 2 Area impianto agrovoltaico	
Vs (m/s)	Profondità (mt)	Vs (m/s)	Profondità (mt)
146.2	-1.0	365.8	-0.8
377.3	-2.4	254.4	-1.8
414.1	-4.0	554.0	-3.1
364.5	-6.0	569.1	-4.7
681.8	-8.6	764.2	-6.7
674.8	-11.8	930.4	-9.2
896.5	-15.8	993.0	-12.4
1183.4	-20.7	982.0	-16.3
1022.7	-27.0	973.3	-21.2
1071.3	-33.7	1389.0	-26.5

In conformità al D.M. 17/01/2018 “Norme tecniche per le costruzioni” la classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio.

Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, come nel caso in esame, la velocità equivalente delle onde di taglio V_{Seq} è definita dal parametro V_{S30} , ottenuto ponendo $H=30$ m nella sotto riportata espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

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

Poiché le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni sono chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab. 3.2.II, si può fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio V_s nei primi 30 m di profondità.

Le velocità misurate lungo i due profili realizzati sono rispettivamente

M.A.S.W. n. 1 → $V_{S,30}=411$ m/s

M.A.S.W. n. 2 → $V_{S,30}=480$ m/s

pertanto i due siti investigati possono essere annoverati entrambi tra le **categorie di suolo di fondazione di tipo B - Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.**

3.3 - Azioni sismiche

Le azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati, si definiscono a partire dalla “pericolosità sismica di base” del sito di costruzione e sono funzione delle caratteristiche morfologiche e stratigrafiche che determinano la risposta sismica locale.

La pericolosità sismica è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa a_g in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (di categoria A come definita al § 3.2.2

delle NTC), nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente $S_e(T)$, con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza P_{VR} come definite nel § 3.2.1 delle NTC, nel periodo di riferimento V_R , come definito nel § 2.4.

In alternativa è ammesso l'uso di accelerogrammi, purché correttamente commisurati alla pericolosità sismica locale dell'area della costruzione.

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

a_g accelerazione orizzontale massima al sito;

F_0 valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;

T^*_C valore di riferimento per la determinazione del periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Per i valori di a_g , F_0 e T^*_C , necessari per la determinazione delle azioni sismiche, si fa riferimento agli Allegati A e B al Decreto del Ministro delle Infrastrutture 14 gennaio 2008, pubblicato nel S.O. alla Gazzetta Ufficiale del 4 febbraio 2008, n.29, ed eventuali successivi aggiornamenti.

Le recenti Norme Tecniche per le Costruzioni (17/01/2018) e l'OPCM del 28 aprile 2006 n. 3519 superano il concetto della classificazione del territorio in zone, imponendo nuovi e precisi criteri di verifica dell'azione

sismica nella progettazione delle nuove opere ed in quelle esistenti, valutata mediante una analisi della risposta sismica locale.

In assenza di queste analisi, la stima preliminare dell'azione sismica può essere effettuata sulla scorta delle "categorie di sottosuolo" e della definizione di una "pericolosità di base" fondata su un reticolo di punti di riferimento, costruito per l'intero territorio nazionale.

Ai punti del reticolo sono attribuiti, per nove differenti periodi di ritorno del terremoto atteso, i valori di a_g e dei principali "parametri spettrali" riferiti all'accelerazione orizzontale, da utilizzare per il calcolo dell'azione sismica (fattore di amplificazione massima F_0 e periodo di inizio del tratto a velocità costante T^*_C).

Il reticolo di riferimento ed i dati di pericolosità sismica vengono forniti dall'INGV e pubblicati nel sito <http://esse1.mi.ingv.it/>.

Secondo le NTC sia l'area della sottostazione che l'area dell'impianto agrovoltaioco sono caratterizzate da un'accelerazione compresa tra 0.150-0.175 g, come evidenziato nelle figure n. 1 e n. 2 rispettivamente, in cui sono riportate le mappe di pericolosità sismica per i siti in questione con una probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni (riferita a suoli rigidi - categoria A $V_{S30}>800\text{m/s}$).

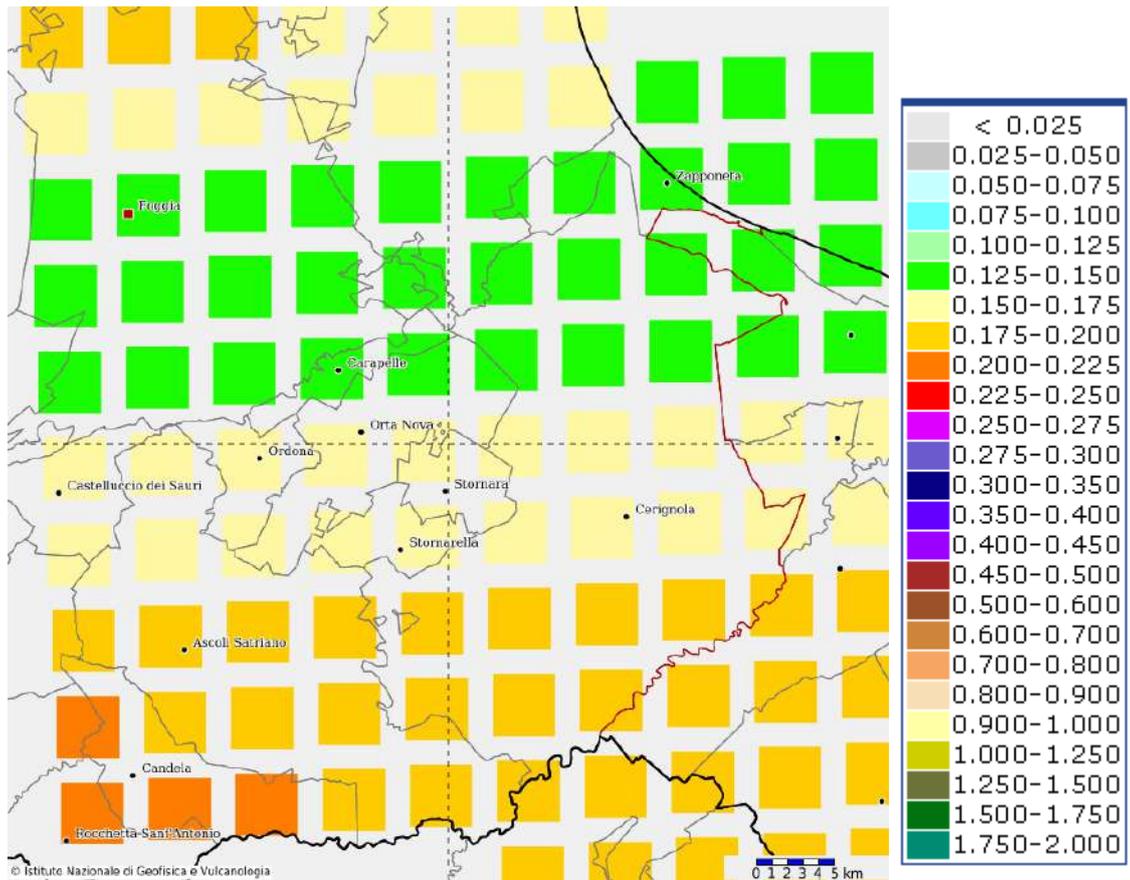


Fig. 1 - Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale espressa in termini di accelerazione massima del suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli rigidi (Ordinanza 3519-06)

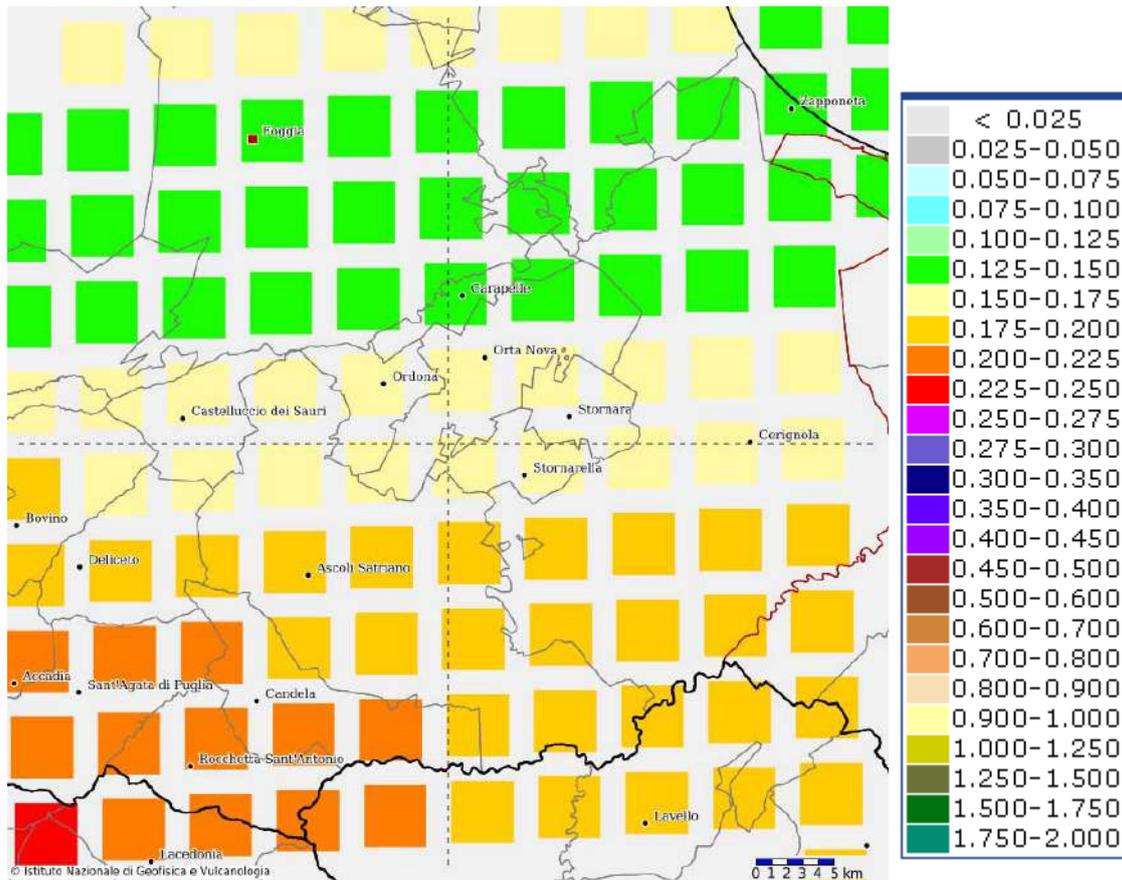


Fig. 2 - Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale espressa in termini di accelerazione massima del suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli rigidi (Ordinanza 3519-06)

Tali mappe di pericolosità sismica sono riferite ad un periodo di ritorno $T_R=475$, corrispondente ad una vita nominale dell'opera $V_N = 50$ anni e ad un coefficiente d'uso $C_U = 1$ (struttura ordinaria), parametri legati tra loro dalla seguente formula:

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

Valori dei parametri per la definizione del periodo di ritorno		
P_{V_r} (Stato Limite)	C_U	V_N [anni]
81% Operatività (SLO)	0.7 (I. Strutture secondarie)	≤ 10 (Opere provvisorie)
63% Danno (SLD)	1.0 (II. Strutture ordinarie)	≥ 50 (Opere ordinarie)
10% Salvaguardia della vita (SLV)	1.5 (III. Strutture importanti)	≥ 100 (Grandi opere)
5% Prevenzione del Collasso (SLC)	2.0 (IV. Strutture strategiche)	

Nota la zona sismica in cui ricade ciascuna area in studio e definita la categoria di suolo di fondazione della medesima area, è possibile arrivare a valutare le caratteristiche del moto sismico del sito.

Il moto generato da un terremoto in un sito dipende, quindi, 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.

Il moto sismico alla superficie di un sito, associato a ciascuna categoria di sottosuolo, è definito mediante l'accelerazione massima (a_{max}) attesa in superficie ed una forma spettrale ancorata ad essa.

Il valore dell'accelerazione massima a_{max} può essere ricavato dalla relazione

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

dove S è il coefficiente che tiene conto della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche mediante la relazione seguente

$$S = S_s \cdot S_T$$

essendo S_s il coefficiente di amplificazione stratigrafica calcolabile mediante la tabella sotto riportata

Tabella 3.2.V – Espressioni di S_s e di C_c

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

e S_T il coefficiente di amplificazione topografica.

E' stata omessa la verifica di una potenziale suscettibilità alla liquefazione dei terreni presenti nel sottosuolo dei siti sui quali sorgeranno le opere in progetto, in quanto le indagini effettuate hanno consentito di rilevare l'assenza della falda nel sottosuolo delle aree in esame, mentre tale verifica si rende necessaria solo quando si è in presenza di terreni saturi, prevalentemente sabbiosi, che sollecitati da azioni cicliche e dinamiche che agiscono in condizioni non drenate, potrebbero subire una perdita di resistenza al taglio o accumulo di deformazioni plastiche.

Ciò premesso, nota la posizione geografica dei siti in esame individuata dalle coordinate geografiche espresse in gradi decimali

Latitudine - Area sottostazione	41,31545
Longitudine - Area sottostazione	15,77280
Latitudine - Area impianto agrovoltaiico	41,27820
Longitudine - Area impianto agrovoltaiico	15,67380

si procede all'individuazione della pericolosità di ciascun sito sulla base dei risultati del progetto S1 – INGV, che consente di definire i valori dei parametri a_g , F_o , T_C^* per i periodi di ritorno T_R di riferimento, che sono riportati nelle seguenti tabelle:

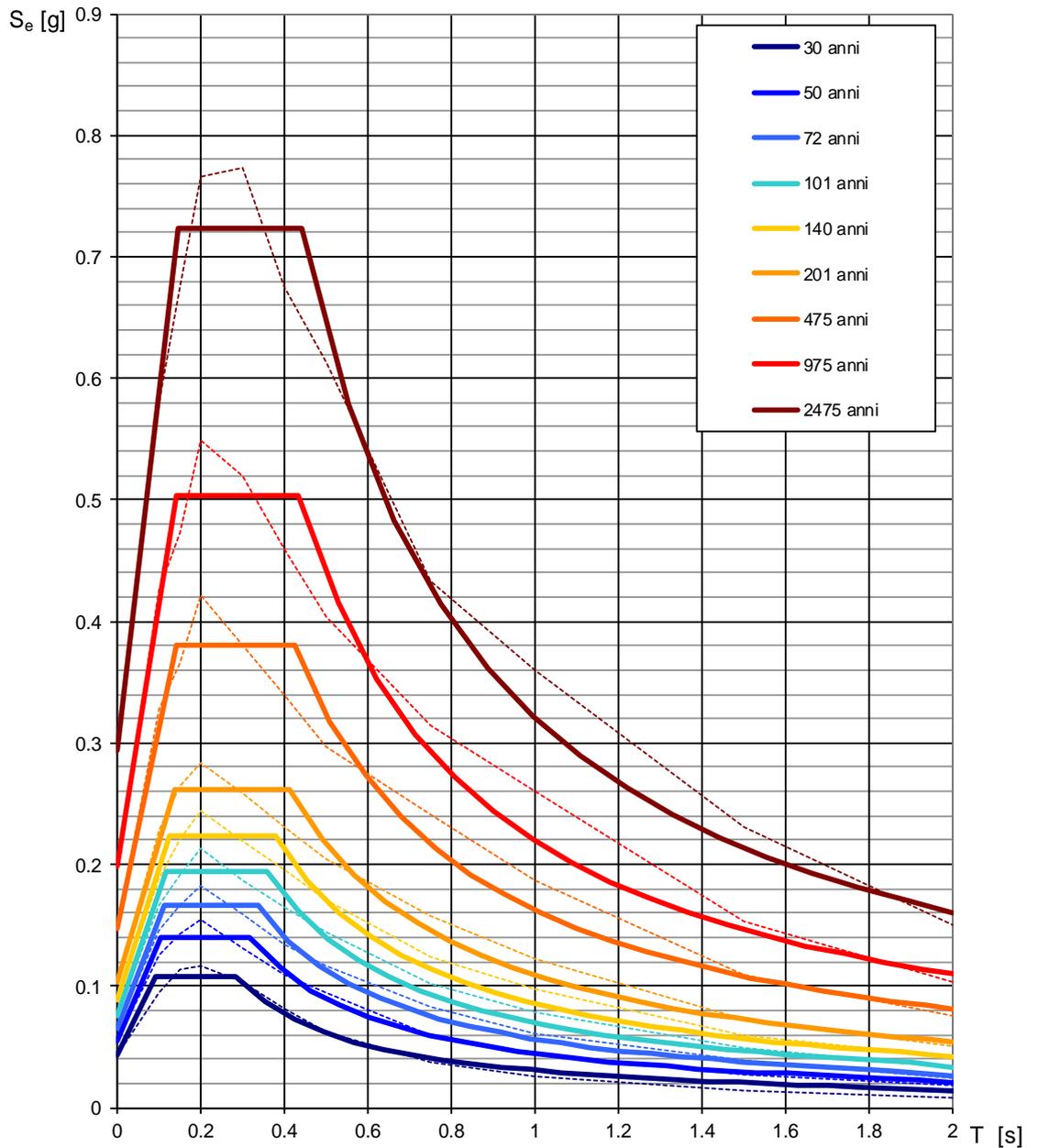
Valori dei parametri a_g, F_o, T_C^* per i periodi di ritorno T_R di riferimento			
Area sottostazione			
T_R	a_g	F_o	T_C^*
[anni]	[g]	[-]	[s]
30	0.043	2.503	0.283
50	0.055	2.561	0.320
72	0.065	2.557	0.340
101	0.075	2.582	0.361
140	0.088	2.535	0.383
201	0.104	2.516	0.416
475	0.148	2.567	0.428
975	0.199	2.530	0.437
2475	0.294	2.460	0.444

Valori dei parametri a_g, F_o, T_C^* per i periodi di ritorno T_R di riferimento			
Area impianto agrovoltaiico			
T_R	a_g	F_o	T_C^*
[anni]	[g]	[-]	[s]
30	0.045	2.478	0.287
50	0.057	2.571	0.309
72	0.070	2.504	0.334
101	0.081	2.532	0.352
140	0.094	2.537	0.368
201	0.113	2.454	0.414
475	0.165	2.519	0.417
975	0.227	2.466	0.427
2475	0.345	2.380	0.438

Sulla base della definizione di tali parametri, individuata la **categoria di sottosuolo (B)** e la **categoria topografica (T1)**, sarà possibile per il

progettista individuare la strategia di progettazione e definire gli spettri di risposta rappresentativi delle componenti (orizzontali e verticali) delle azioni sismiche di progetto idonei agli interventi da realizzare ed alla situazione riscontrata.

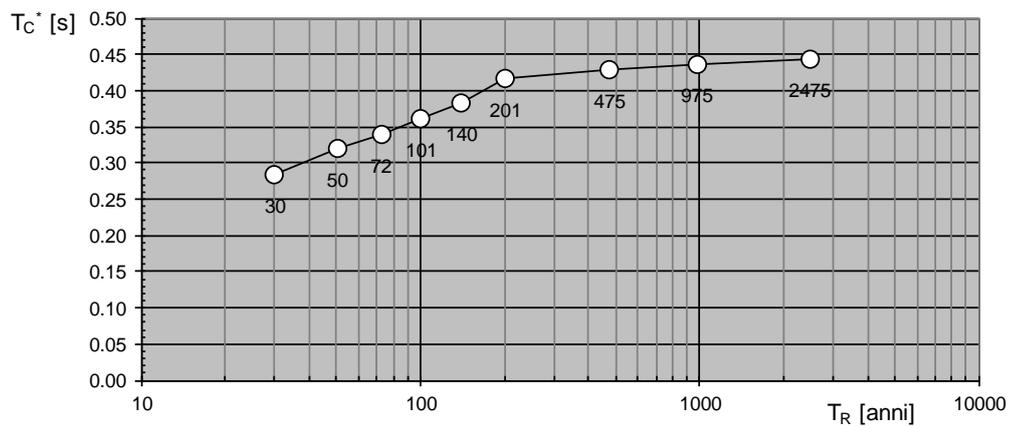
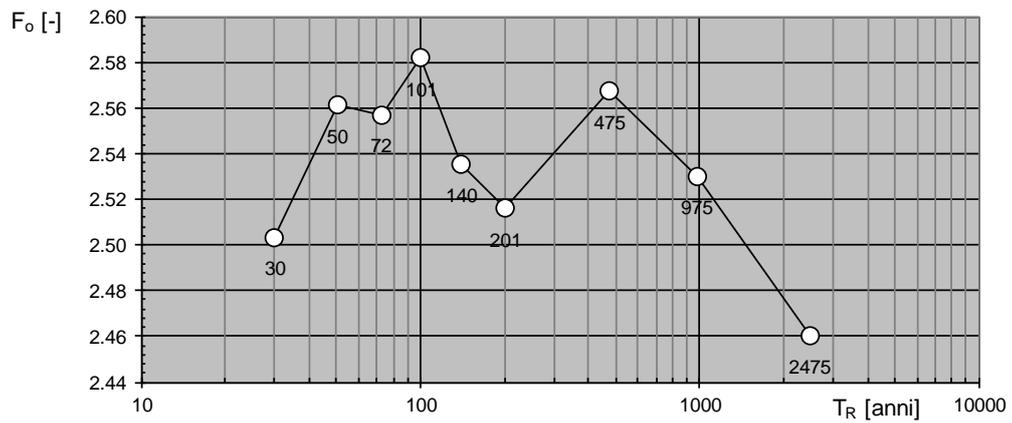
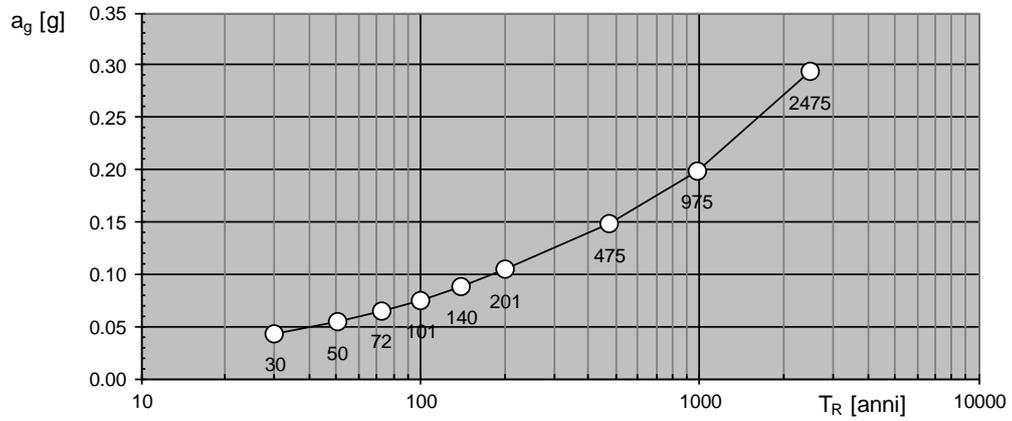
Spettri di risposta elastici per i periodi di ritorno T_R di riferimento - Area Sottostazione



NOTA:

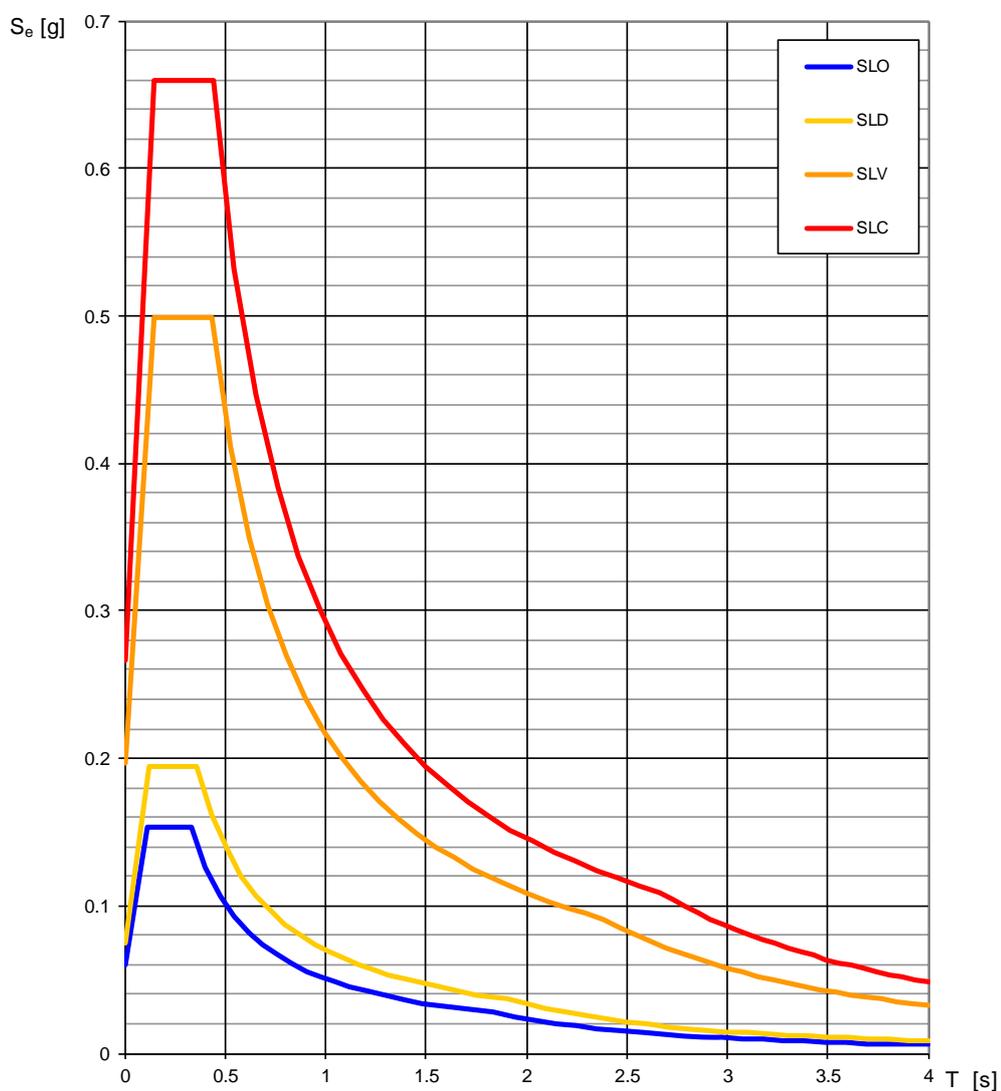
Con linea continua si rappresentano gli spettri di Normativa, con linea tratteggiata gli spettri del progetto S1-INGV da cui sono derivati.

Valori dei parametri a_g , F_o , T_c^* : variabilità col periodo di ritorno T_R di riferimento - Area Sottostazione

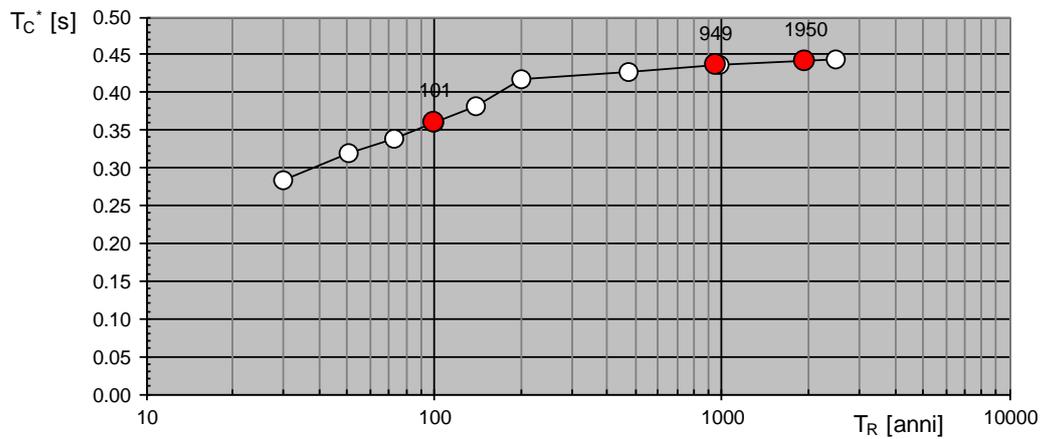
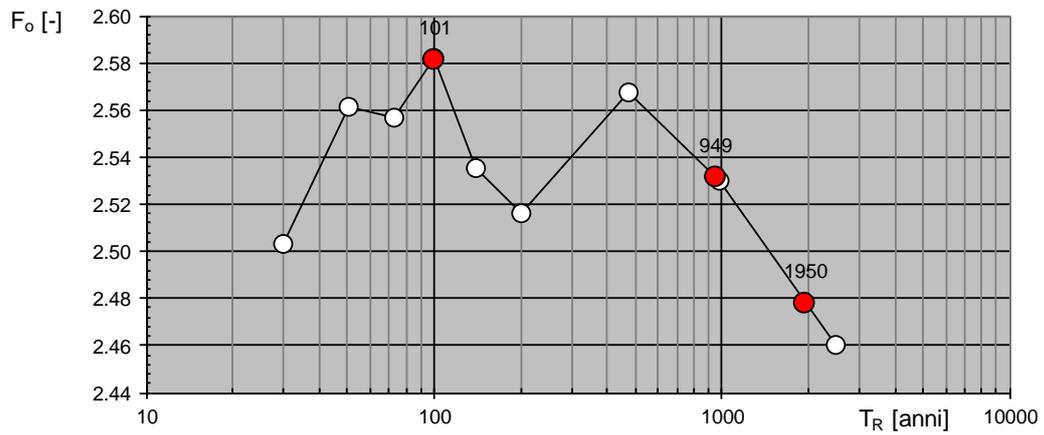
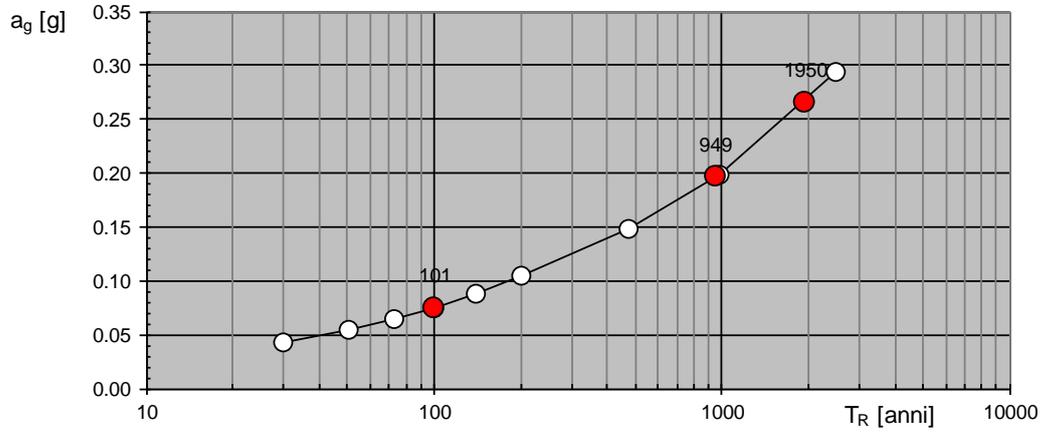


Valori dei parametri a_g , F_0 , T_C^* per i periodi di ritorno T_R associati a ciascuno SL Area Sottostazione					
STATO LIMITE	Probabilità di superamento	T_R	a_g	F_0	T_C^*
	[%]	[anni]	[g]	[-]	[s]
SLO	81	60	0.060	2.559	0.330
SLD	63	101	0.075	2.582	0.360
SLV	10	949	0.197	2.531	0.436
SLC	5	1950	0.266	2.478	0.442

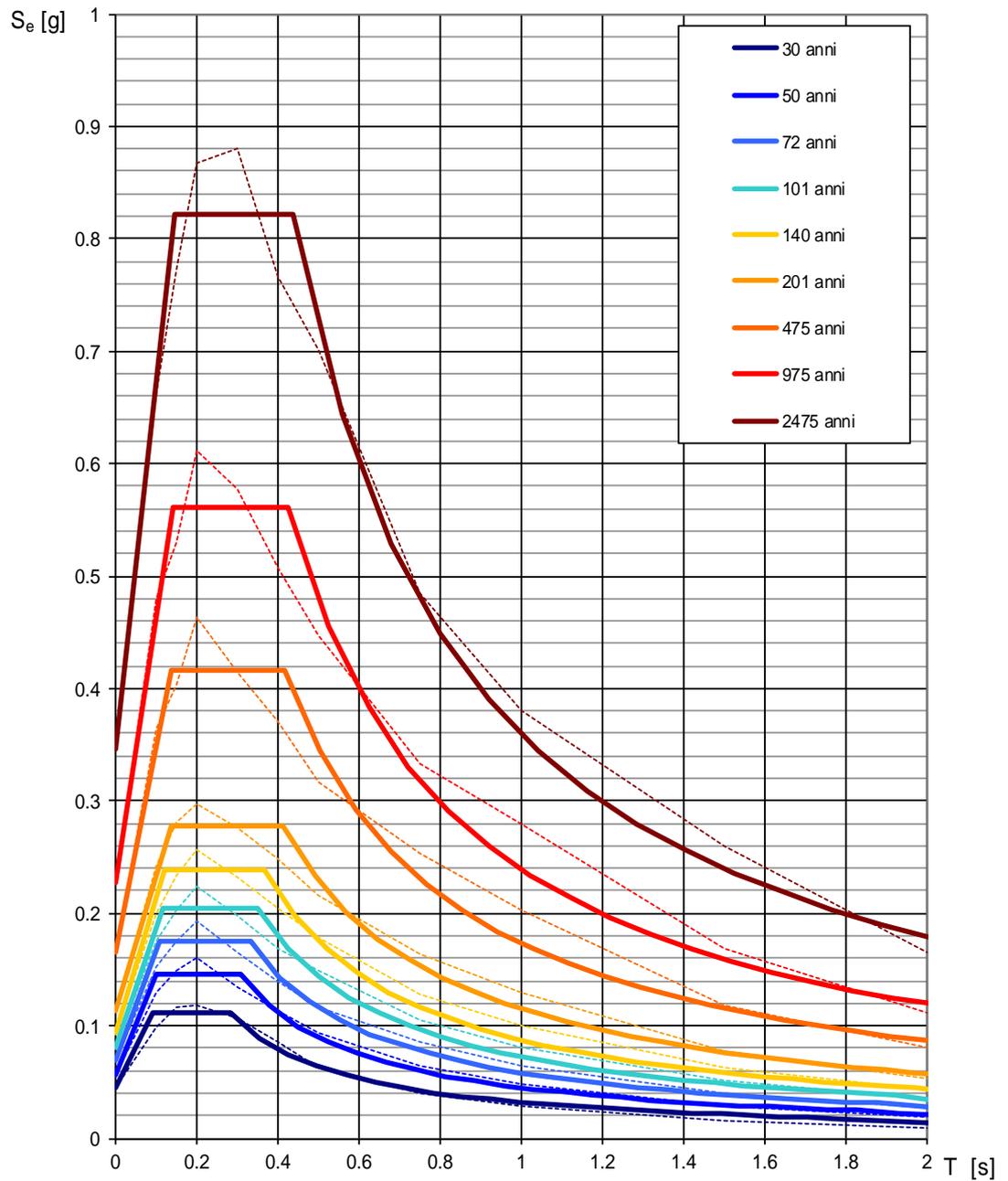
Spettri di risposta elastici per i diversi Stati Limite - Area Sottostazione



Valori di progetto dei parametri a_g , F_0 , T_C^* in funzione del periodo di ritorno T_R - Area Sottostazione



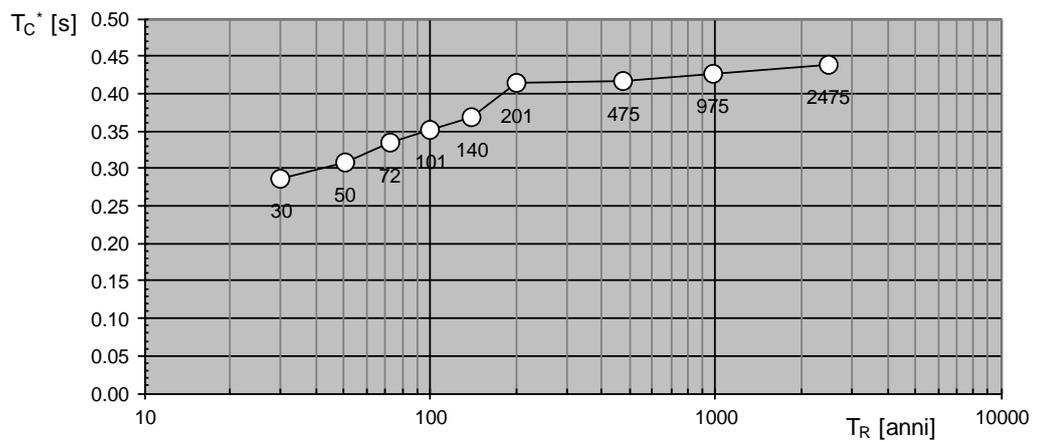
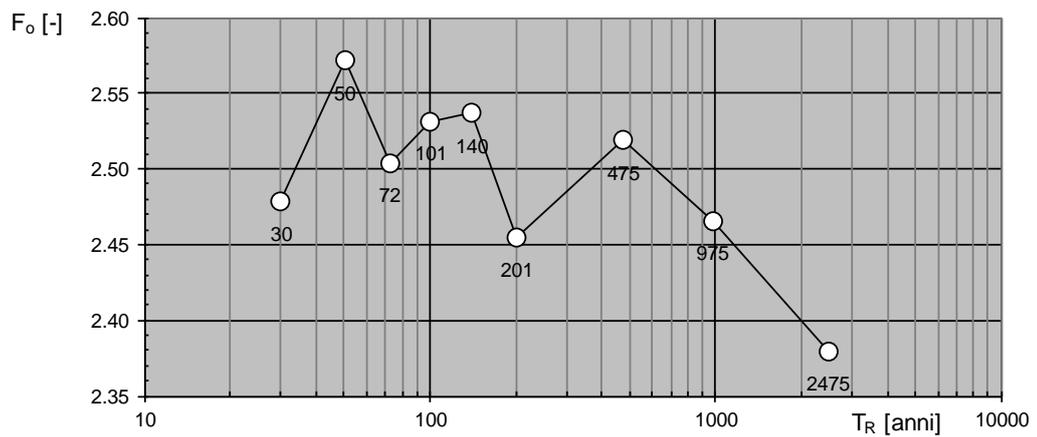
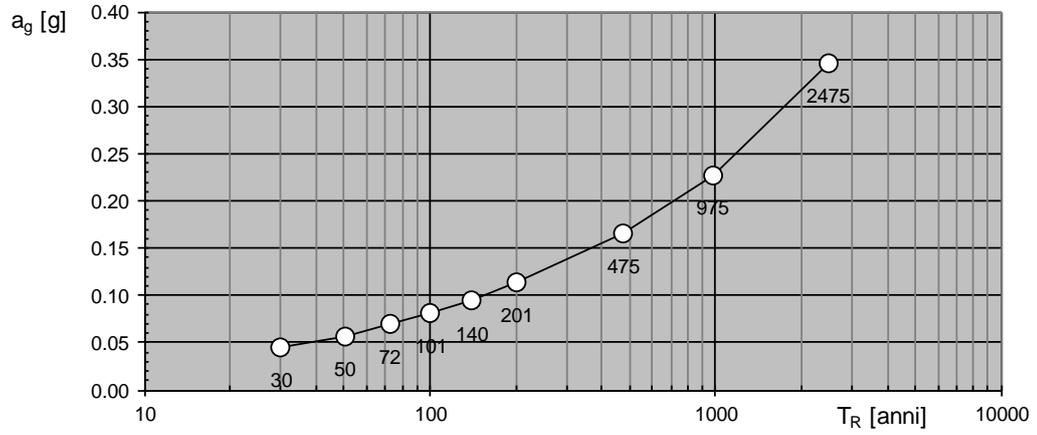
Spettri di risposta elastici per i periodi di ritorno T_R di riferimento - Area impianto agrovoltaico



NOTA:

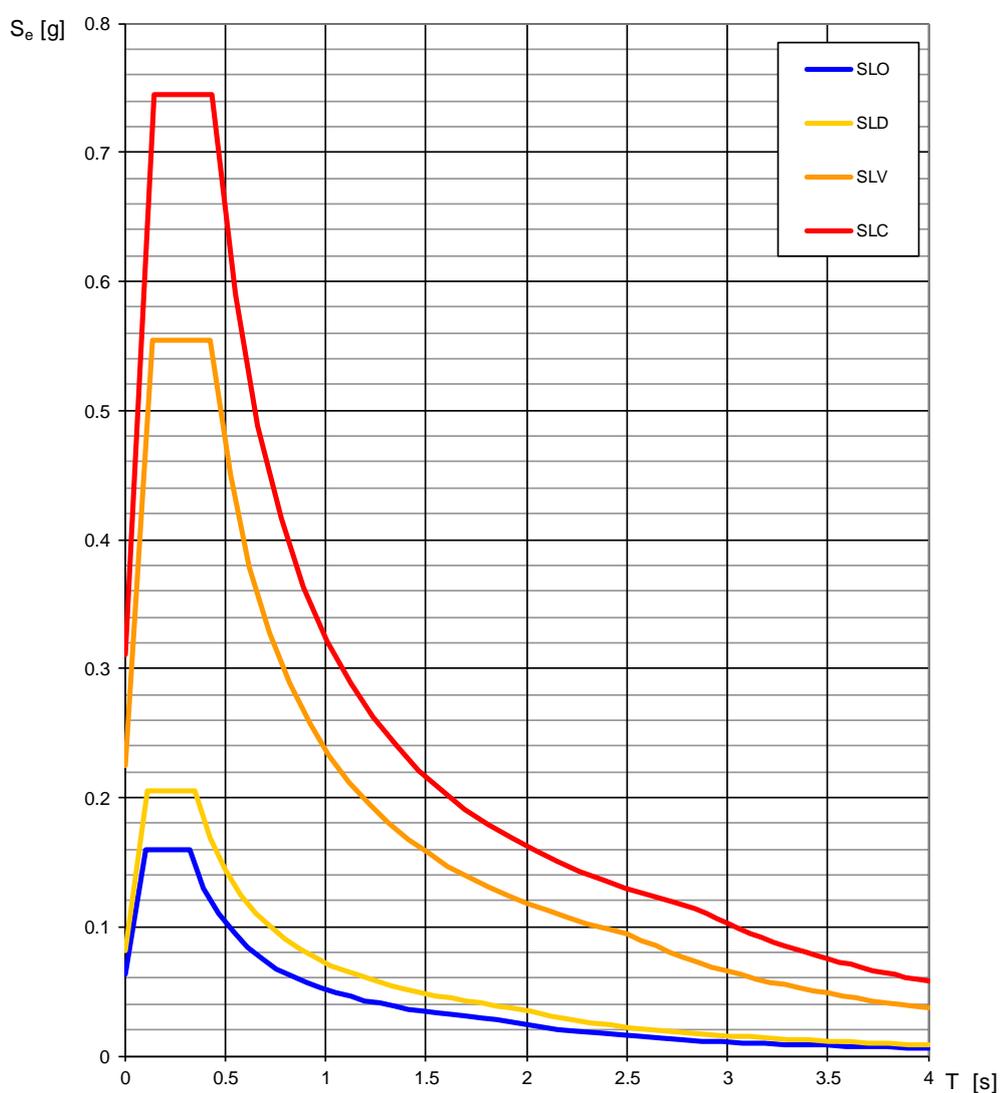
Con linea continua si rappresentano gli spettri di Normativa, con linea tratteggiata gli spettri del progetto S1-INGV da cui sono derivati.

Valori dei parametri a_g , F_0 , T_C^* : variabilità col periodo di ritorno T_R - Area impianto agrovoltaiico

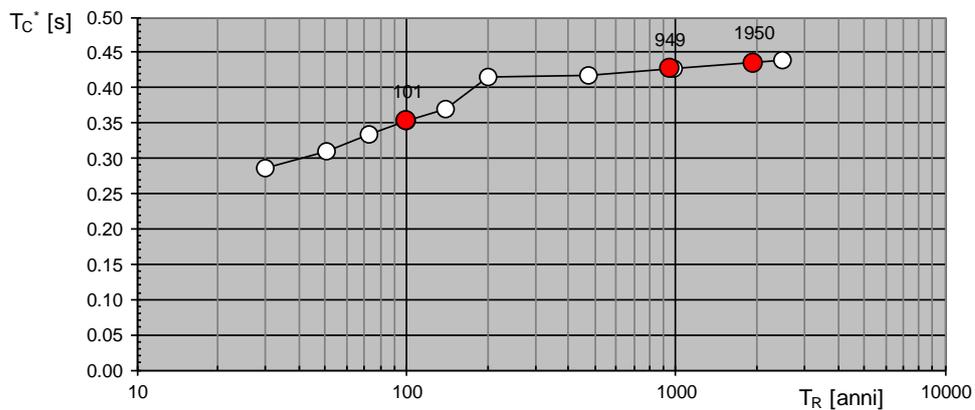
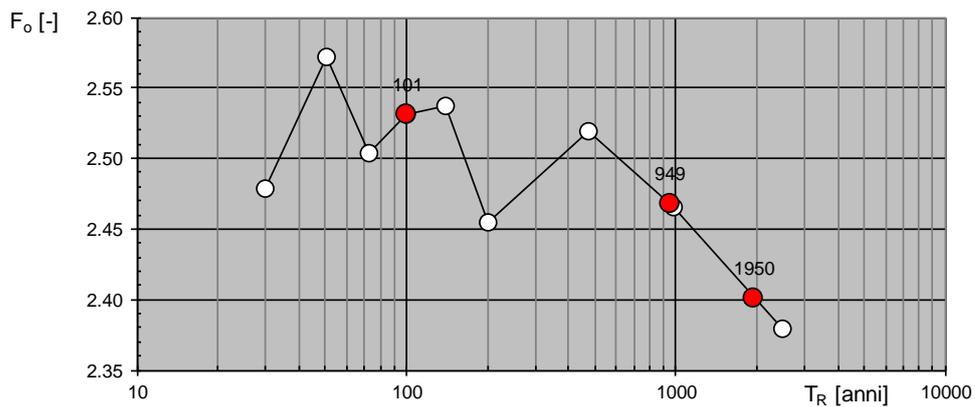
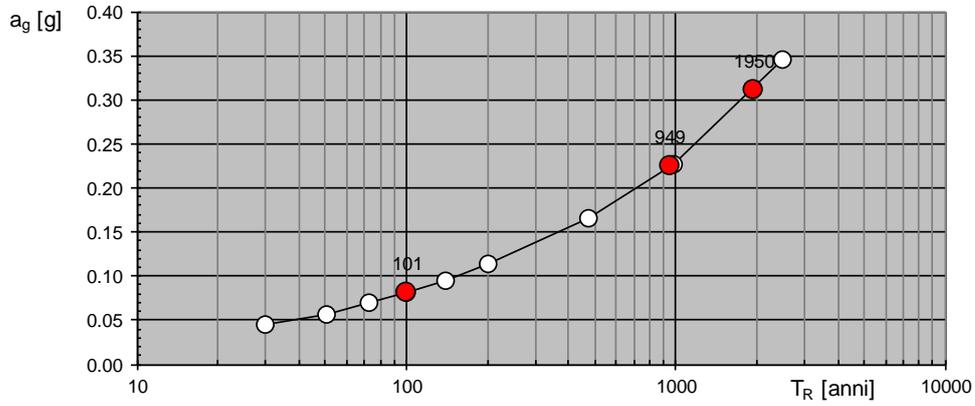


Valori dei parametri a_g , F_o , T_c^* per i periodi di ritorno T_R associati a ciascuno SL Area Impianto Agrovoltaico					
STATO LIMITE	Probabilità di superamento	T_R	a_g	F_o	T_c^*
	[%]	[anni]	[g]	[-]	[s]
SLO	81	60	0.063	2.537	0.322
SLD	63	101	0.081	2.531	0.352
SLV	10	949	0.225	2.468	0.427
SLC	5	1950	0.310	2.401	0.435

Spettri di risposta elastici per i diversi Stati Limite - Area impianto agrovoltaico



Valori di progetto dei parametri a_g , F_o , T_c^* in funzione del periodo di ritorno T_R - Area impianto agrovoltaiico



Il livello di protezione antisismica da adottare per i manufatti da realizzare dipende dalla categoria di importanza, pertanto, poichè le strutture in progetto dovranno avere una **Vita Nominale** $V_N \geq 50$ anni e possono essere considerate ricadenti nella *CLASSE D'USO IV*, il *COEFFICIENTE D'USO* C_U da utilizzare nella progettazione può essere assunto pari a 2,0 ne discende, pertanto, che la **Vita di Riferimento** sarà:

$$V_R = V_N * C_U = 100 \text{ anni}$$

Alla luce delle conoscenze acquisite nel corso dello studio effettuato ed in mancanza di studi specifici e più approfonditi per la previsione dei fenomeni di amplificazione e della risposta sismica locale, per le componenti orizzontali del moto e per le categorie di sottosuolo di fondazione definite nelle NTC, la forma spettrale su sottosuolo di categoria A è modificata attraverso il coefficiente stratigrafico S_s , il coefficiente topografico S_T e il coefficiente C_c che modifica il valore del periodo T_c .

Nelle seguenti tabelle sono riassunti i coefficienti sismici per i siti di riferimento in esame.

Area sottostazione - Coefficienti sismici - Fondazioni							
	S_s [-]	C_c [-]	S_T [-]	K_h [-]	K_v [-]	A_{max} [m/s ²]	Beta [-]
STATO LIMITE							
SLO	1,200	1,370	1,000	0,014	0,007	0,702	0,200
SLD	1,200	1,350	1,000	0,018	0,009	0,886	0,200
SLV	1,200	1,300	1,000	0,057	0,028	2,314	0,240
SLC	1,140	1,290	1,000	0,085	0,042	2,970	0,280

Area impianto agrolvoltaico - Coefficienti sismici - Fondazioni							
	S _s [-]	C _c [-]	S _T [-]	K _h [-]	K _v [-]	A _{max} [m/s ²]	Beta [-]
STATO LIMITE							
SLO	1,200	1,380	1,000	0,015	0,008	0,739	0,200
SLD	1,200	1,360	1,000	0,019	0,011	0,953	0,200
SLV	1,180	1,300	1,000	0,085	0,074	2,595	0,280
SLC	1,100	1,300	1,000	0,110	0,095	3,341	0,280

4. CARATTERISTICHE LITOLOGICO-STRATIGRAFICHE, IDROGEOLOGICHE E GEOTECNICHE DELL'AREA IN STUDIO E STRUTTURE DI FONDAZIONE DELLE OPERE IN PROGETTO

I caratteri litostratigrafici del sottosuolo delle aree di sedime della sottostazione e dell'impianto agrovoltaiico sono stati ricostruiti in base alle osservazioni effettuate nel corso dei sopralluoghi effettuati in sito e dai dati desumibili dalla bibliografia ufficiale che, congiuntamente ad indagini effettuate dallo scrivente in due siti geologicamente ricadenti nella piana alluvionale della Capitanata in cui affiorano gli stessi tipi litologici presenti nelle aree in studio e le indagini sismiche effettuate in tali aree, hanno consentito di effettuare una attendibile ricostruzione delle caratteristiche geologiche, idrogeologiche e geotecniche generali dei siti in esame.

La disponibilità di tali dati e di un buon modello stratigrafico-geotecnico sono da considerarsi essenziali per valutare attendibilmente la risposta reologica del sottosuolo e, quindi, per effettuare una buona scelta tipologica e dimensionale delle strutture di fondazione delle opere da realizzare.

Il comportamento meccanico delle formazioni su cui poggeranno le fondazioni dei manufatti da realizzare dipende da diversi fattori tra cui le condizioni di giacitura e lo stato di integrità chimico-fisica dei terreni.

Sulla base dei dati raccolti si è accertato che nelle aree in studio è presente un esiguo spessore di terreno vegetale di natura limoso-argilloso-sabbiosa a cui seguono terreni di natura prevalentemente sabbioso-limoso-ghiaiosa e subordinatamente limoso-sabbioso-argillosa (vedi sezioni geologiche allegate).

La granulometria dei depositi sabbiosi varia da medio-fine a grossolana, con presenza di ghiaia e ciottoli di medie dimensioni con elementi arrotondati prevalentemente calcareo-marnosi.

4.1 – Caratteristiche idrogeologiche

Dai dati dello studio effettuato, dalle osservazioni di superficie, dai dati bibliografici e dai dati delle indagini sismiche effettuate nelle aree in esame si è potuto rilevare, almeno fino alle profondità investigate, l'assenza della falda nel sottosuolo in cui saranno realizzate le opere in progetto.

4.2 Caratteristiche geotecniche dei terreni e strutture di fondazione delle opere in progetto

Il comportamento meccanico dei terreni affioranti nelle aree di sedime dipende da diversi fattori tra cui lo stato di addensamento, la granulometria e lo stato di integrità chimico-fisica degli stessi.

Per qualsiasi calcolo geotecnico che riguardi i terreni di fondazione, si consiglia di adottare i seguenti parametri geotecnici che, pur non essendo stati calcolati direttamente, sono stati dedotti dalla bibliografia esistente:

Parametri di input

Depositi prevalentemente sabbioso-argillosi-ciottolosi (area sottostazione)

- Peso di volume naturale $\gamma = 1.95-2.00 \text{ t/m}^3$
- Angolo di attrito interno $\phi = 28^\circ - 31^\circ$
- Coesione $c = 0.05 - 0.07 \text{ kg/cm}^2$

Depositi prevalentemente sabbioso-limoso-ghiaiosi (area impianto agrovoltico)

- Peso di volume naturale $\gamma = 2.00-2.05 \text{ t/m}^3$
- Angolo di attrito interno $\phi = 32^\circ - 35^\circ$
- Coesione $c = 0.00 \text{ kg/cm}^2$

Le caratteristiche geologiche, litostratigrafiche ed idrogeologiche delle aree interessate dagli interventi, acquisite nel corso dello studio effettuato hanno consentito di effettuare una attendibile valutazione delle caratteristiche geotecniche dei terreni fino a profondità di interesse ingegneristico.

La disponibilità di tali dati e di un buon modello stratigrafico-geotecnico sono da considerarsi essenziali per valutare attendibilmente la

risposta reologica del sottosuolo e, quindi, per effettuare una buona scelta tipologica e dimensionale delle strutture di fondazione.

La scelta progettuale del tipo di fondazioni da adottare e il loro dimensionamento va fatta contestualmente alla progettazione delle strutture in elevato, nella considerazione dell'importanza delle opere da realizzare e delle verifiche in condizione degli stati limiti ultimi (SLU) e di esercizio (SLE).

Gli aspetti principali che hanno contribuito ad effettuare una valutazione dei siti vanno individuati nella costituzione litologico-stratigrafica, nelle caratteristiche fisico-meccaniche dei terreni e negli aspetti geomorfologici delle aree.

Le osservazioni di superficie, come già ricordato in precedenza, hanno consentito di rilevare un aspetto geomorfologico delle aree in esame tale da non destare preoccupazioni di alcun genere, essendo le aree subpianeggianti e prive di elementi geomorfologici di alcun rilievo.

Le caratteristiche litologico-stratigrafiche dei terreni osservati in affioramento in associazione a quelle desunte dalle informazioni tratte dalla bibliografia, pur non destando preoccupazioni sulla generale stabilità delle aree in esame e sulla sicurezza dei manufatti che saranno realizzati, hanno consentito di effettuare una ricostruzione del sottosuolo tale da richiedere l'adozione di strutture fondali che abbiano i seguenti requisiti:

- adeguata superficie di contatto per la trasmissione dei carichi indotti al fine di evitare fenomeni di rottura locale dei terreni di fondazione;

- elevata rigidità e sezione inerziale per l'assorbimento di eventuali piccoli cedimenti differenziali immediati ed a lungo termine dovuti ad aggiustamento intergranulare e per opporre la necessaria resistenza alle eventuali sollecitazioni sismiche.

Considerata la modestia delle strutture da realizzare una tipologia fondale che ha i suddetti requisiti può essere individuata in una trave di fondazione di altezza e larghezza di base adeguata.

5. STUDIO DI COMPATIBILITÀ GEOLOGICA E GEOTECNICA

Come meglio si evince dagli elaborati di inquadramento su Piano di Assetto Idrogeologico della Regione Puglia, il progetto prevede la realizzazione di un cavidotto interrato che ricade parzialmente in area classificata a “Media e moderata pericolosità geomorfologica (PG1)” ai sensi dell’art. 15 delle N.T.A. del P.A.I.

In dette aree la realizzazione degli interventi previsti in progetto è subordinata ad uno “Studio di compatibilità geologica e geotecnica” che dimostri la compatibilità degli stessi con le condizioni di pericolosità geomorfologica dell’area.

Sulla base di una adeguata ricostruzione del modello geologico e geotecnico del terreno ed una conseguente analisi qualitativa e quantitativa delle condizioni che influirebbero sulla stabilità del versante di sedime in fase post opera, di seguito si dimostra l’esistenza di adeguate condizioni di sicurezza geomorfologica delle aree interessate dai lavori.

L'elettrodotto in oggetto avrà una lunghezza complessiva di circa 13.52 km, sui territori comunali di Stornara, Stornarella e Orta Nova, nella Provincia di Foggia.

Sarà realizzato in cavo interrato con tensione nominale di 30 kV, che collegherà l'impianto agrovoltaico in antenna alla Sezione a 150 kV di una futura Stazione RTN di Terna S.p.A..

In particolare l'impianto sarà collegato in antenna a 150 kV con una nuova Stazione Elettrica (SE) RTN a 150 kV, ubicata in agro di Stornara, da inserire in entra-esce alla linea a 150 kV "CP Ortanova – SE Stornara".

Il cavidotto di collegamento dell'impianto agrovoltaico alla stazione elettrica è costituito da 2 terne di cavi posti in opera interrati entro trincea di scavo.

Lo scavo avrà profondità pari a 150 cm e larghezza pari a 60 cm, i cavi saranno posti in opera entro uno strato di sabbia avente spessore pari a 20 cm.

Il riempimento della trincea di scavo avverrà per mezzo di materiale rinveniente dagli scavi opportunamente vagliato e compattato per strati e ove previsto si procederà alla ricostituzione del pacchetto stradale.

Le sopra descritte opere previste in progetto non generano alcuna variazione dello stato di sollecitazione dei versanti rispetto alla condizione ante intervento.

In considerazione della modellazione geotecnica sopra riportata e del fatto che le opere previste in progetto non generano alcuna variazione dello stato di sollecitazione dei versanti rispetto alla condizione ante intervento, si

può dedurre che le condizioni di stabilità persistenti in fase ante opera sono confermate anche in fase post opera.

Per tutto quanto suddetto si conclude che il presente studio di compatibilità geologica e geotecnica, redatto ai sensi dell'art. 15 delle N.T.A. del P.A.I., dimostra, sulla base di una adeguata ricostruzione del modello geologico e geotecnico del terreno ed una conseguente analisi qualitativa e quantitativa delle condizioni di carico del versante di sedime, l'esistenza di adeguate condizioni di sicurezza geomorfologica delle aree interessate dai lavori.

Si esprime, pertanto, giudizio positivo sulla compatibilità complessiva degli interventi in progetto.

6. CONCLUSIONI

In relazione alle caratteristiche morfologiche, litostratigrafiche, geotecniche, idrologiche ed idrogeologiche delle aree in esame, al termine dello studio effettuato ed in riferimento agli interventi previsti, è stato possibile arrivare a trarre alcune importanti conclusioni.

Dal punto di vista morfologico, geologico-strutturale e stratigrafico, idrogeologico e geotecnico, i siti in studio presenta caratteristiche ben delineate e definite che non collidono con l'ipotesi progettuale tesa a realizzare gli interventi in progetto.

La conformazione topografica delle aree in esame e la loro costituzione litologica unitamente alle osservazioni di superficie consentono di dire che gli aspetti morfoevolutivi di tali aree sono da imputare esclusivamente ad interventi antropici e, pertanto, sono facilmente prevedibili e controllabili e tali da non destare preoccupazioni.

Mancano, infatti, condizioni predisponenti al dissesto così come non si rilevano elementi di instabilità in atto o potenziali.

La natura compressibile della coltre vegetale presente in superficie non rappresenta alcun problema in quanto si dovrà procedere alla totale rimozione

di tale materiale per la realizzazione delle fondazioni dei modesti manufatti in progetto.

La tipologia fondale indicata per le piccole strutture da realizzare, il cui dimensionamento sarà effettuato dal progettista in relazione alla effettiva entità dei carichi e alla loro esatta distribuzione, si ritiene che potrà assolvere appieno alle sue funzioni.

Per la definizione dell'azione sismica di progetto sono state effettuate indagini simiche specifiche che hanno reso possibile stabilire che il substrato su cui si andranno ad esplicare le azioni delle strutture da realizzare può essere annoverato tra le categorie di suolo di fondazione di **tipo B**.

Sulla base di questa individuazione di categoria sono definite le azioni sismiche che il progettista dovrà considerare per il calcolo strutturale delle realizzande opere, in osservanza della nuova normativa tecnica per la progettazione in zona sismica.

L'affioramento esclusivo di terreni a prevalente componente sabbioso-ghiaiosa nelle aree in cui saranno realizzate le opere in progetto e la piatta morfologia delle stesse, caratterizzate da pendenze molto blande, condizionano in maniera determinante lo schema generale di circolazione delle acque di pioggia ed influiscono in maniera significativa sulla tipologia e sull'evoluzione dei reticoli di drenaggio superficiali che, nelle ristrette aree d'interesse, si presentano poco sviluppati o completamente assenti.

Il monotono aspetto morfologico delle aree in esame è interrotto solamente da lembi residui delle antiche scarpate dei terrazzi fluviali, la cui continuità spaziale non è sempre facilmente ravvisabile a causa delle azioni antropiche legate soprattutto all'intensivo sfruttamento ai fini agricoli della zona.

Ciò significa che nella porzione di territorio che sarà interessata dalle opere in progetto, il modello idrologico-idrogeologico di riferimento, considerate le caratteristiche morfologiche, geologico-stratigrafiche, l'assetto strutturale complessivo, il grado di permeabilità dei terreni affioranti, è quello tipico dei depositi sabbioso-ghiaiosi, con buona infiltrazione e con generale scarsa tendenza al ristagno in superficie delle acque meteoriche.

In virtù di quanto appena detto si ritiene, quindi, che la realizzazione delle opere in progetto non apporteranno una grossa variazione all'attuale assetto idrologico-idrogeologico delle zone in esame, in particolare della zona dove sarà realizzato l'impianto, in quanto, pur sviluppandosi l'impianto su un'area molto ampia all'interno della quale sarà ridotta la superficie di infiltrazione diretta di acqua nel sottosuolo, è pur vero che l'elevata permeabilità dei terreni affioranti porterà comunque allo smaltimento per assorbimento delle acque di precipitazione e, in ogni caso, le aliquote in eccesso saranno allontanate in maniera controllata.

La quantità d'acqua che verrà sottratta alla infiltrazione, considerate le caratteristiche di permeabilità dei terreni affioranti nelle aree in esame, sarà

talmente esigua da poter considerare praticamente invariato il bilancio idrogeologico finale di tali aree.

A tal proposito va ricordato che le caratteristiche meteorologiche ed in particolare il regime pluviometrico della porzione di territorio in esame è riferita ai valori misurati presso la stazione meteorologica di Foggia-Amendola.

Nella valutazione delle caratteristiche climatiche bisogna tener conto anche di variazioni locali degli elementi climatici dovuti all'orografia, all'esposizione dei versanti e alle condizioni vegetazionali.

Il territorio all'interno del quale cade la stazione meteorologica menzionata presenta una generale omogeneità orografica che si manifesta con la presenza di vaste superfici pianeggianti debolmente inclinate verso il mare.

L'area su cui sorgerà la sottostazione è posta ad una quota media di circa 80 m s.l.m. e l'area in cui sorgerà l'impianto agrovoltico è posta ad una quota media di circa 151 m s.l.m. ed hanno una distribuzione stagionale delle precipitazioni che vede l'inverno come la stagione più perturbata in cui inizia un lungo e regolare periodo piovoso che si protrae fino all'inizio della primavera.

L'inversione di tendenza comincia nel mese di marzo e prosegue regolarmente per tutta la stagione primaverile ed estiva.

Il valore massimo e minimo della temperatura media annua, nel periodo 1990-2020, è risultata essere di 21.2° C e 9.7° C rispettivamente.

La media annua delle precipitazioni che interessano il territorio in cui ricade la zona in studio, caratterizzato da un regime pluviometrico tipicamente mediterraneo, con massimi pluviometrici nel periodo autunno-inverno e minimi concentrati nel periodo primavera-estate, è di circa 500 mm.

Alla luce di quanto precedentemente espresso si può affermare che le aree in cui si andranno ad installare i manufatti in progetto siano idonee ad accogliere tali opere, salvo verificare, prima della fase esecutiva ed in maniera più approfondita, tutto ciò che non è stato possibile rilevare ed acquisire in questa fase.

In merito alla compatibilità dei lavori per la posa in opera del cavidotto interrato che attraversa in alcuni tratti aree classificate a “Media e moderata pericolosità geomorfologica (PG1)” ai sensi dell’art. 15 delle N.T.A. del P.A.I., considerata in generale la scarsa pendenza del territorio attraversato e considerati i modesti interventi di scavo e rinterro per la posa in opera del suddetto cavidotto, si ribadisce la piena compatibilità degli interventi in progetto con gli obiettivi delle N.T.A. del P.A.I..

Data la situazione generale delle aree, che da un punto di vista geologico-tettonico, geomorfologico, idrogeologico ed idrologico, non presentano elementi tali da destare preoccupazioni sulla loro generale stabilità, si conferma l’idoneità delle aree ad accogliere gli interventi progettuali

previsti, ferma restando la necessità di realizzare gli accertamenti propri della fase esecutiva.

Matera, febbraio 2021

Dott. Geol. Rocco PORSIA



Rocco Porsia

7. BIBLIOGRAFIA

- Carta Geologica d'Italia alla scala 1: 100.000 – Foglio n. 175
“CERIGNOLA”
- Note Illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1: 100.000
– Foglio n. 175 “CERIGNOLA”
- Piano dell'assetto idrogeologico dell'Autorità di Bacino della
Puglia e relativa cartografia
- Norme Tecniche per le Costruzioni – D.M. 14 gennaio 2008
- Norme Tecniche per le Costruzioni – D.M. 17 gennaio 2018
- Consiglio Superiore Lavori Pubblici – Azioni sismiche – Spettri di
risposta – ver 1.0.3.
- Pericolosità sismica dei comuni italiani – Istituto Nazionale di
Geofisica e Vulcanologia
- Classificazione sismica – Dipartimento Protezione Civile

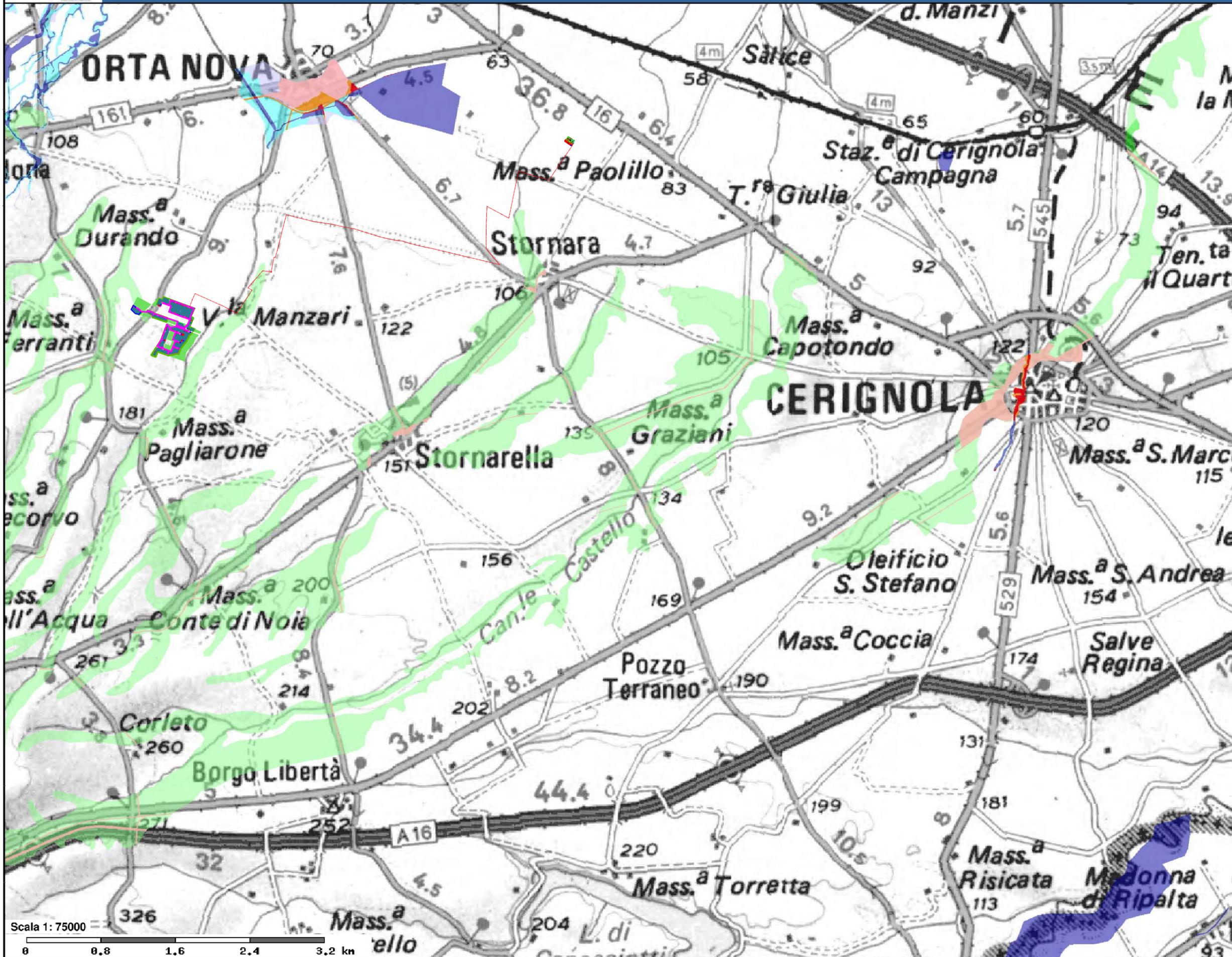
Allegato n. 1

Corografia - scala 1:25.000

Allegato n. 2

Carta di Pericolosità Geomorfologica,

Idraulica e del Rischio – Scala 1:75.000 – 1:25.000



Pericolosità e Rischio

Peric. Geomorf.
media e moderata (PG1)

elevata (PG2)
elevata (PG3)

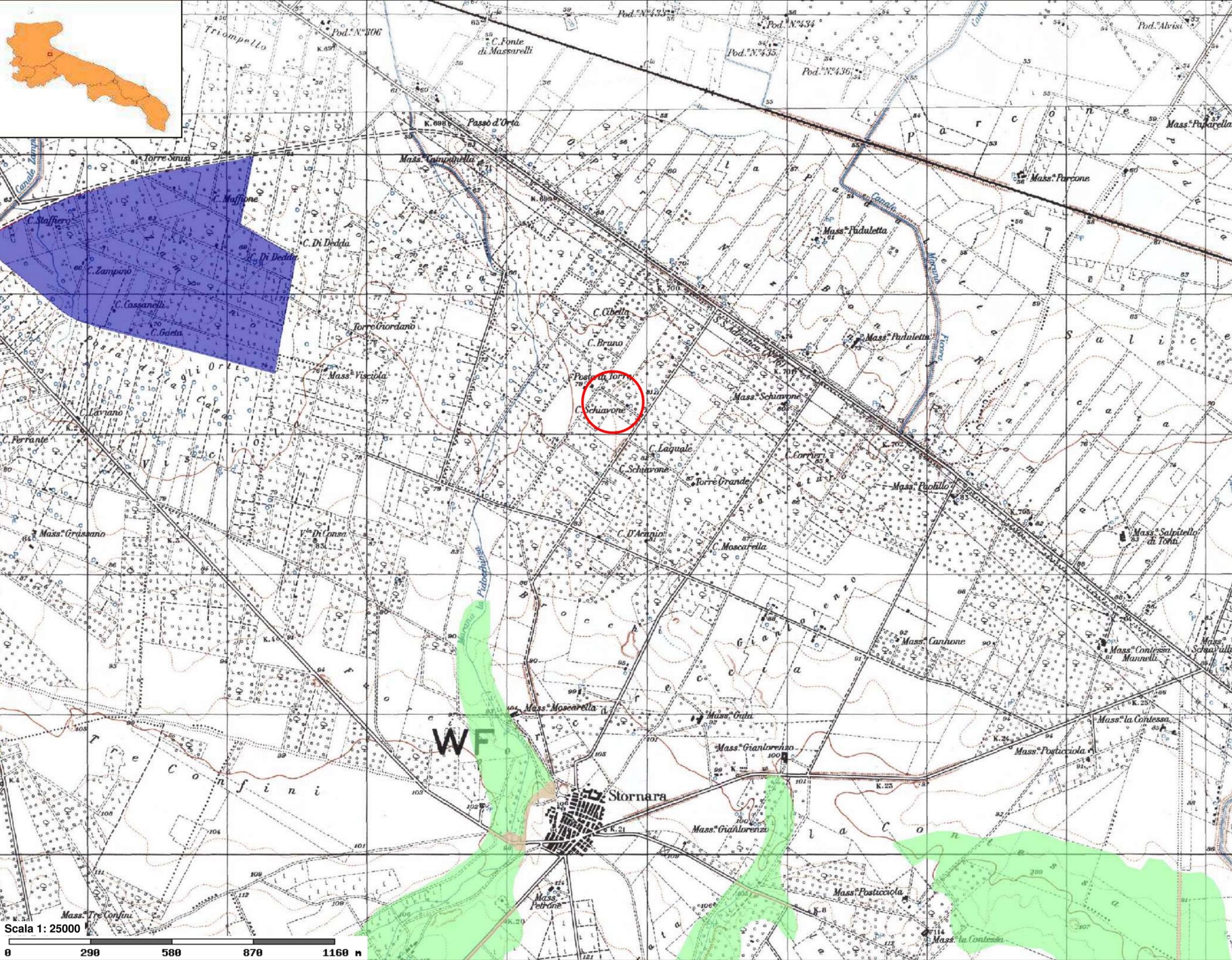
Peric. Idraulica
bassa (BP)
media (MP)
alta (AP)

Rischio
R1
R2
R3
R4

Cartografia di base

Ubicazione delle opere in progetto





Pericolosità e Rischio

Peric. Geomorf.
media e moderata (PG1)

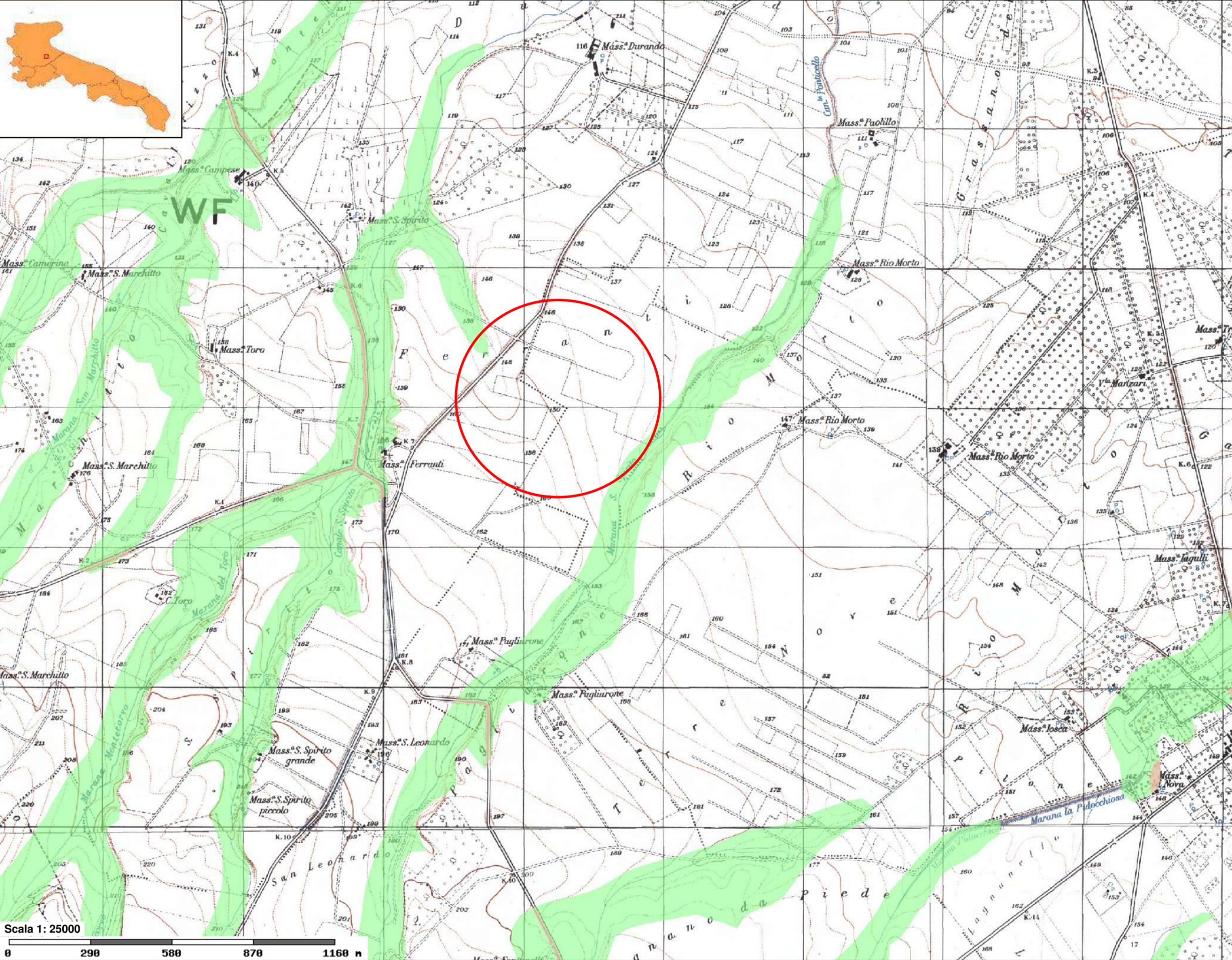
elevata (PG2)
elevata (PG3)

Peric. Idraulica
bassa (BP)
media (MP)
alta (AP)

Rischio
R1
R2
R3
R4

Cartografia di base

Ubicazione della sottostazione



Pericolosità e Rischio

- Peric. Geomorf.**
- media e moderata (PG1)
 - elevata (PG2)
 - elevata (PG3)

- Peric. Idraulica**
- bassa (BP)
 - media (MP)
 - alta (AP)

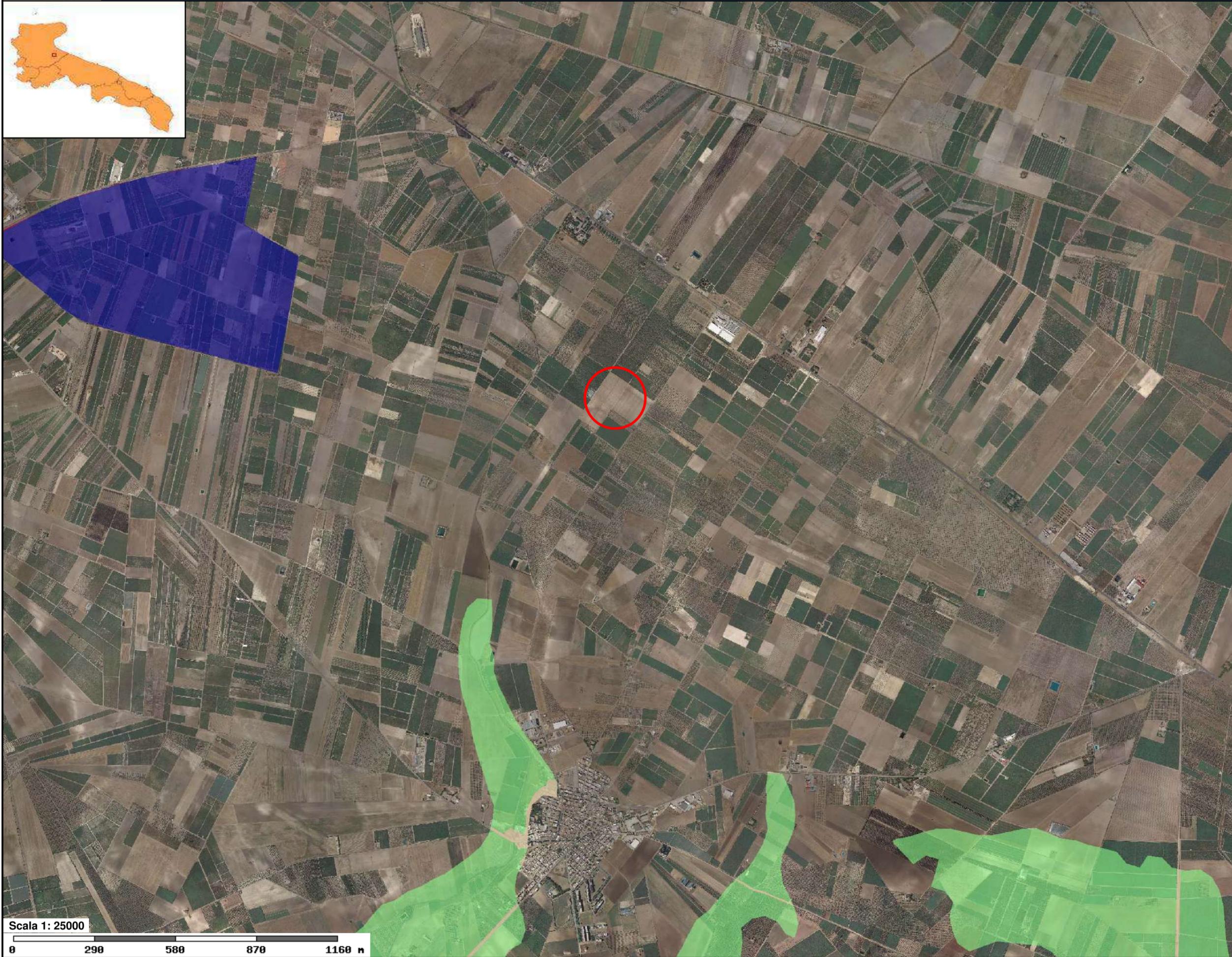
- Rischio**
- R1
 - R2
 - R3
 - R4

Cartografia di base

- Ubicazione del parco agrovoltaico

Scala 1: 25000





Pericolosità e Rischio

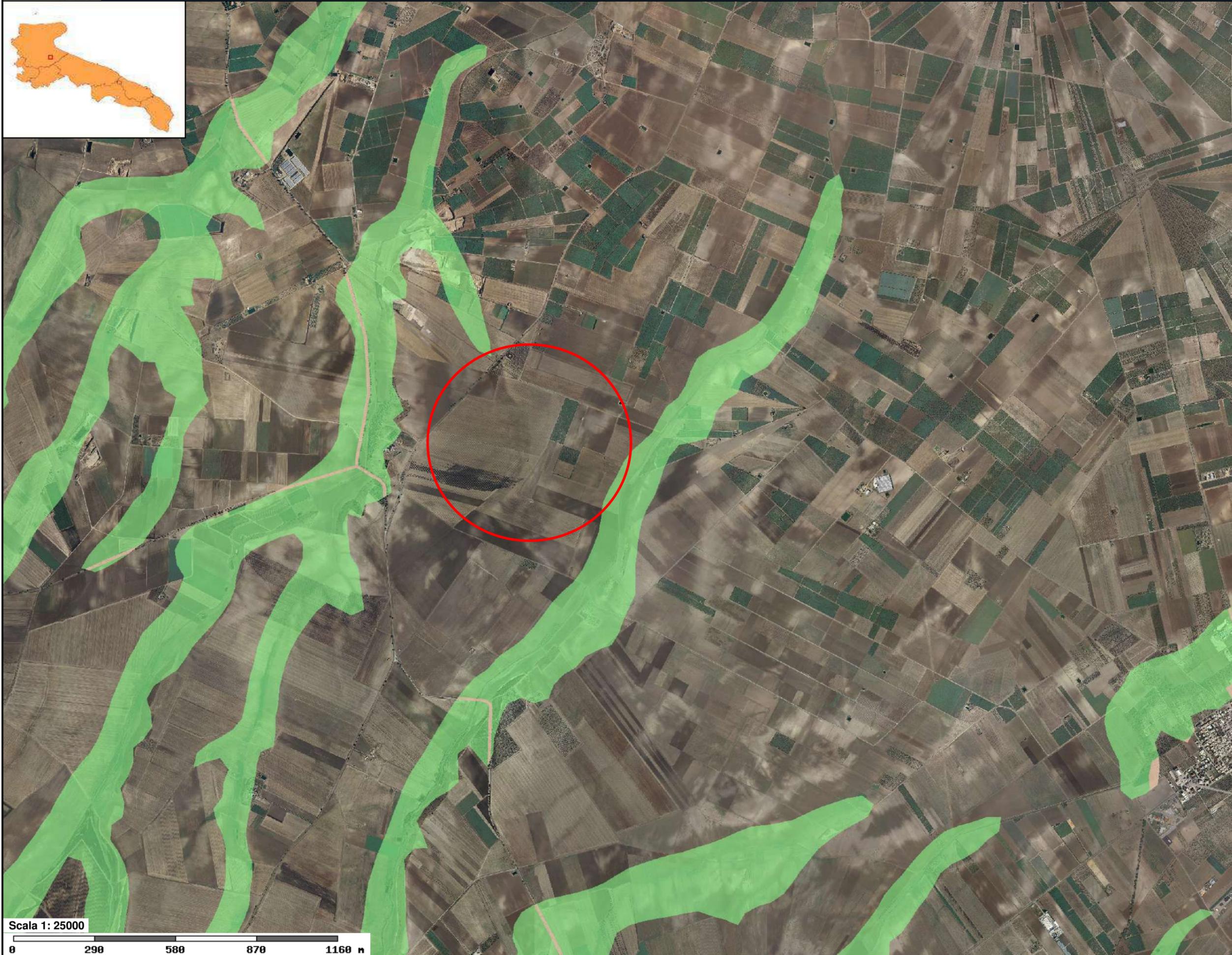
- Peric. Geomorf.**
- media e moderata (PG1)
 - elevata (PG2)
 - elevata (PG3)

- Peric. Idraulica**
- bassa (BP)
 - media (MP)
 - alta (AP)

- Rischio**
- R1
 - R2
 - R3
 - R4

Cartografia di base

- Ubicazione della sottostazione



Pericolosità e Rischio

- Peric. Geomorf.**
- media e moderata (PG1)
 - elevata (PG2)
 - elevata (PG3)

- Peric. Idraulica**
- bassa (BP)
 - media (MP)
 - alta (AP)

- Rischio**
- R1
 - R2
 - R3
 - R4

Cartografia di base

Ubicazione del parco agrovoltaico

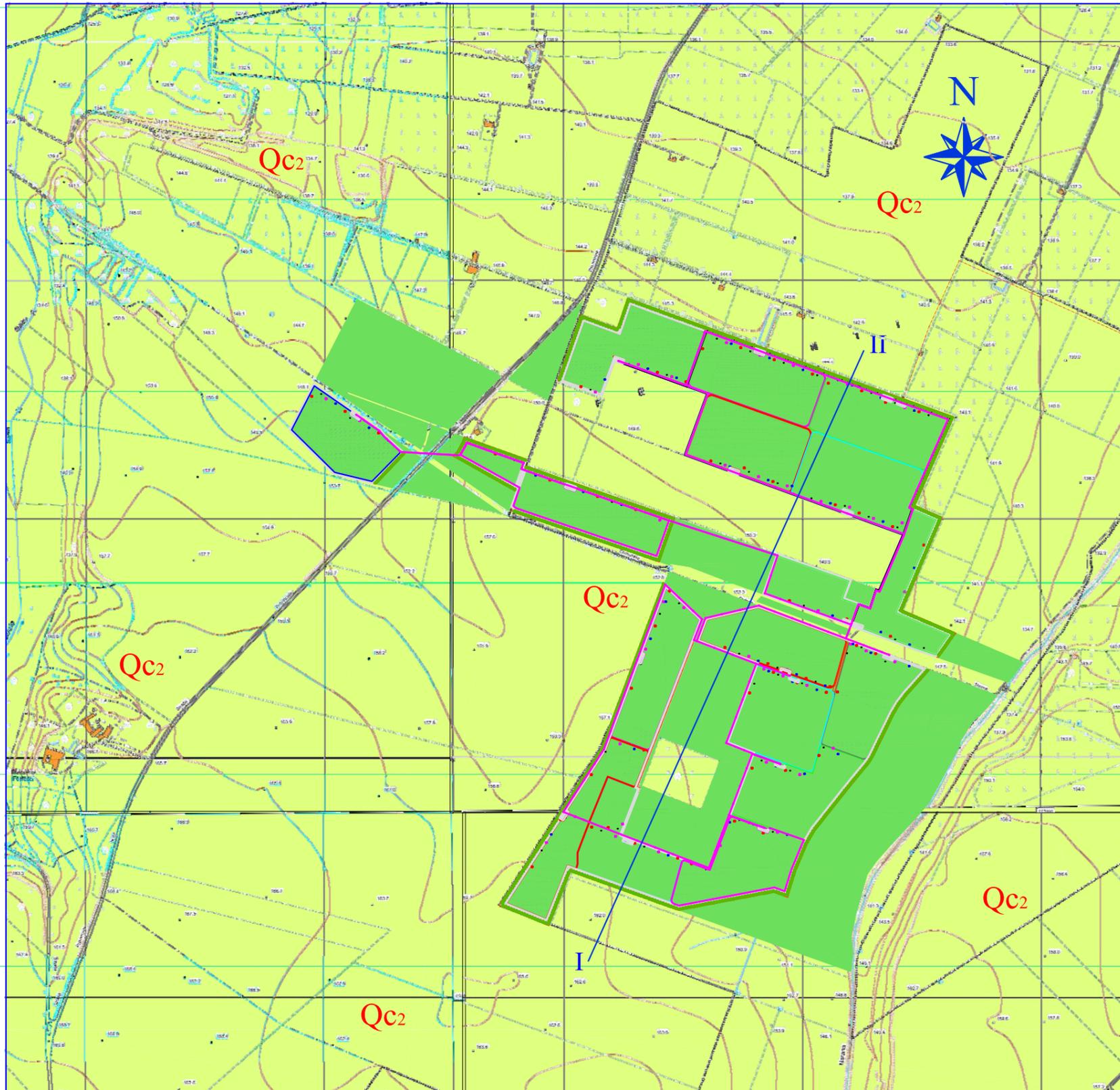
Allegato n. 3

Carta Geologico-Morfologica con ubicazione

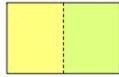
della sezione geologica - scala 1:10.000

Sezione Geologica - scala 1:4.000

CARTA GEOLOGICO-MORFOLOGICA



LEGENDA

- Qm₂ Qc₂

 Sabbie straterellate giallastre a volte polverulente con intercalazioni argillose, ciottolose e concrezioni calcaree con molluschi litorali di facies marina (Qm₂)
 Ciottolame incoerente, localmente cementato con ciottoli di medie e piccole dimensioni con intercalazioni sabbiose giallastre e con inclinazione costante verso Est (Qc₂)
- PQs

 Sabbie e sabbie argillose a volte con livelli arenacei di colore giallastro; lenti ciottolose localmente fossilifere

- 
 Contatti stratigrafici
- 
 Ubicazione dell'impianto agrovoltaico
- I II

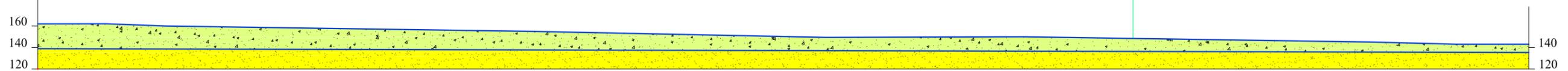
 Traccia della sezione geologica

scala 1: 10.000

I - 162.00 m s.l.m.

SEZIONE GEOLOGICA

II - 143.00 m s.l.m.



scala 1: 4.000

Allegato n. 4

Tabelle e grafici indagini geofisiche

PLANIMETRIA CON UBICAZIONE DELLE INDAGINI

- **UBICAZIONE AREA D'INDAGINE (da CTR) scala 1:30.000 (formato foglio A3)**
 - **UBICAZIONE MISURE GEOFISICHE PROFILO 1 (da ORTOFOTO-CTR) scala 1:2.000 (formato foglio A4)**
 - **UBICAZIONE MISURE GEOFISICHE PROFILO 2 (da ORTOFOTO-CTR) scala 1:2.000 (formato foglio A4)**
-

Ubicazione aree d'indagine (da CTR)

Centrale a turbogas e serre.

ORTA NOVA (FG)

STORNARA (FG)

AREE D'INDAGINE

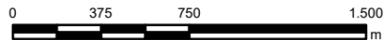
STORNARELLA (FG)

LEGENDA



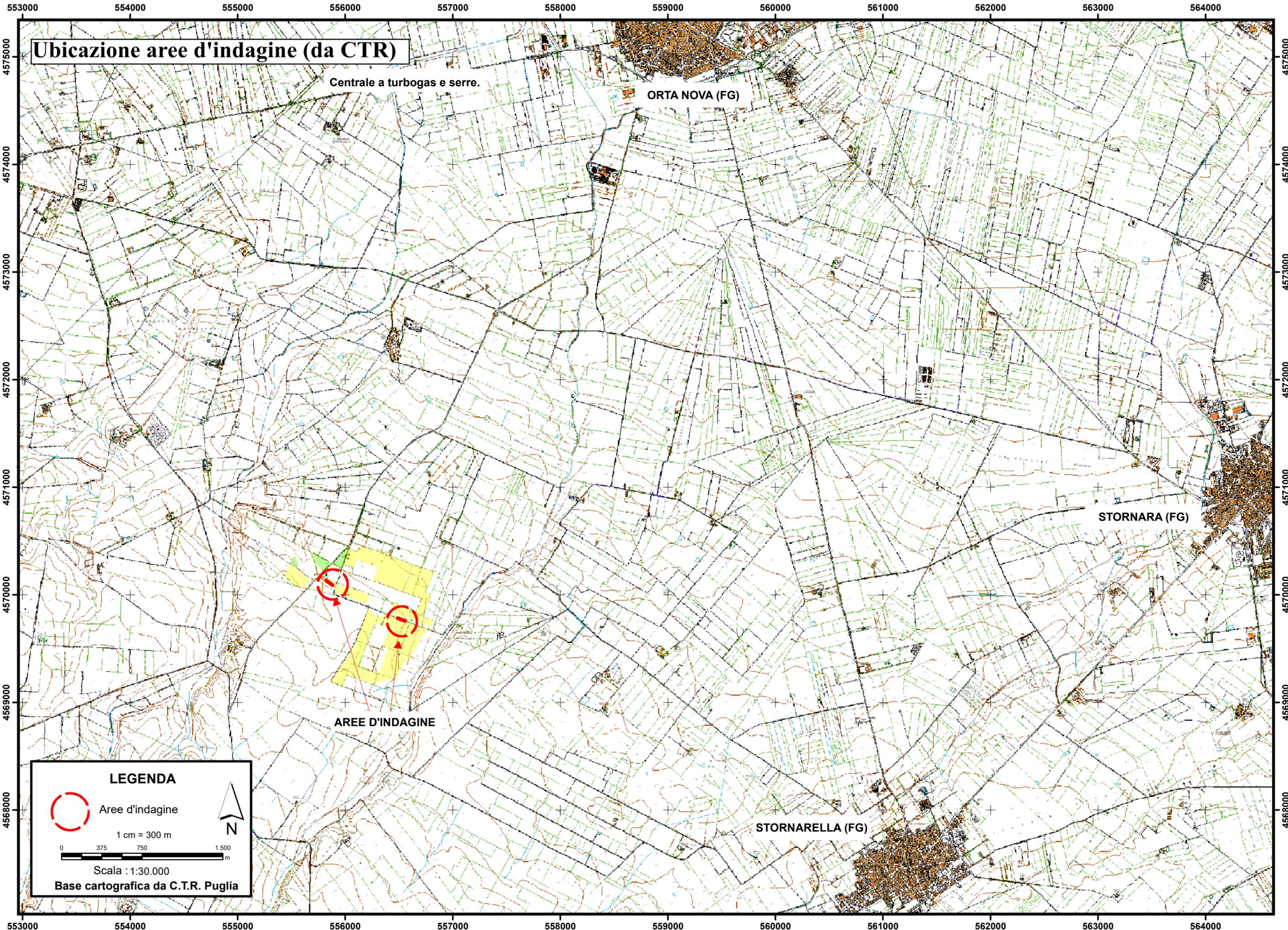
Aree d'indagine

1 cm = 300 m

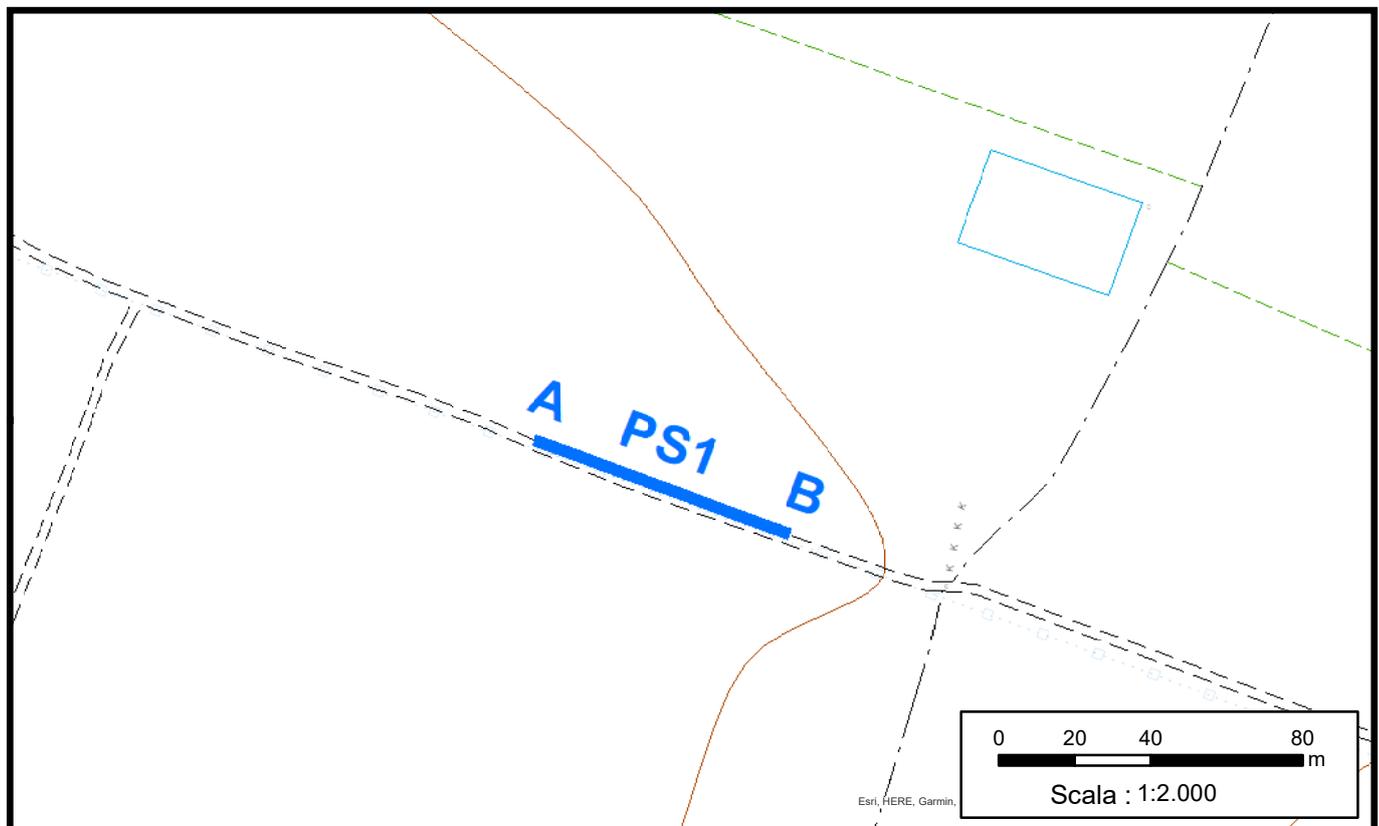


Scala : 1:30.000

Base cartografica da C.T.R. Puglia



Ubicazione misure geofisiche profilo 1



LEGENDA

A PS

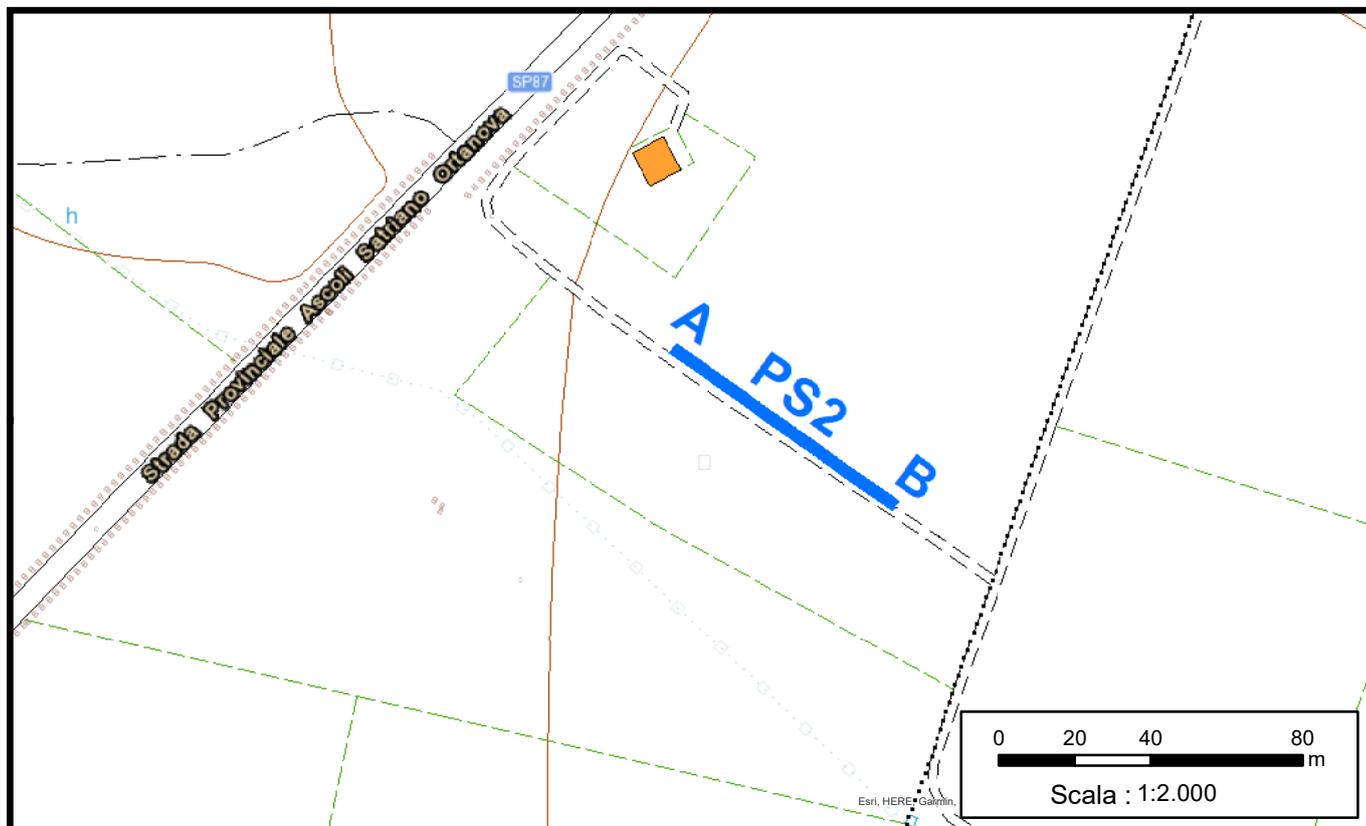
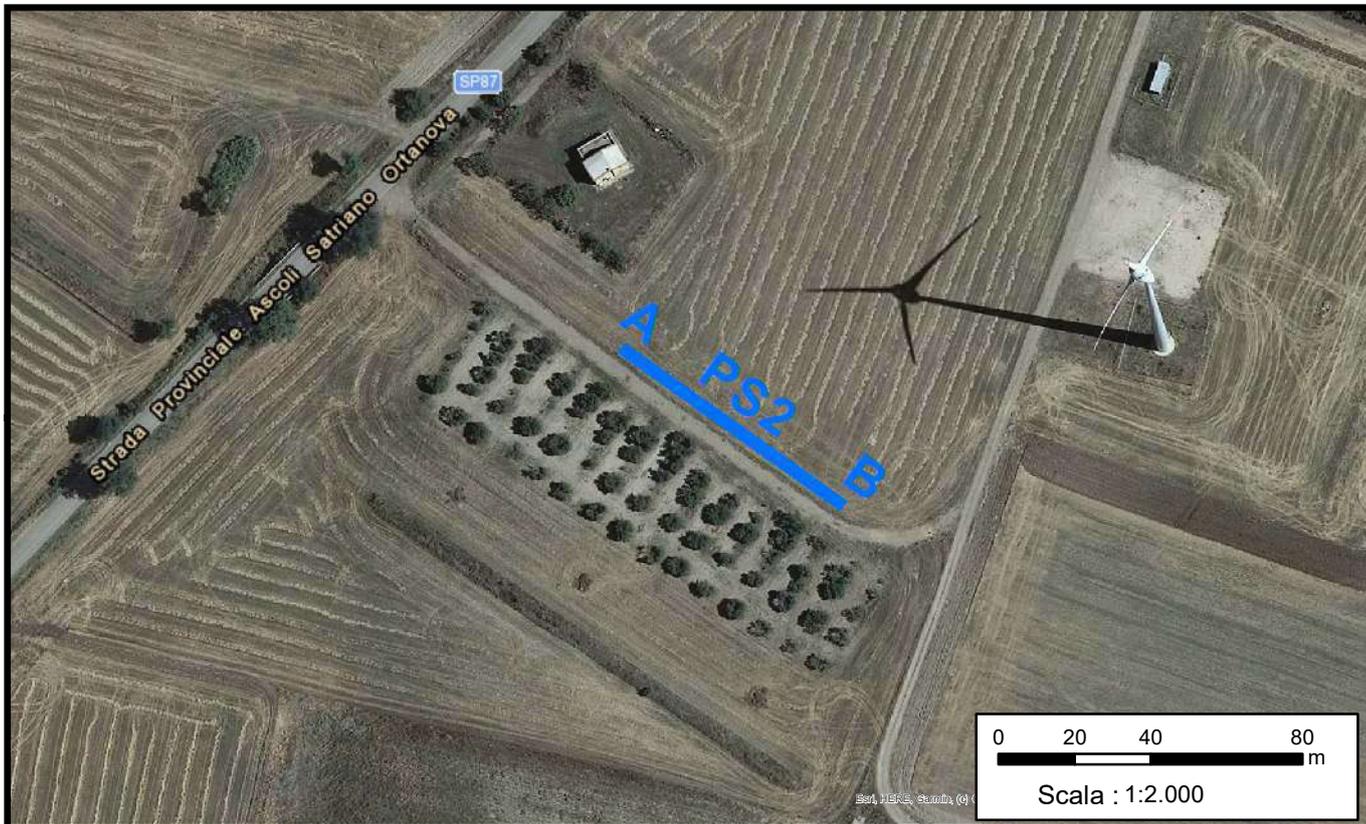


Ubicazione profilo sismico in onde longitudinalie (onde P) e Masw.



Basi cartografiche da Ortofoto-C.T.R. sit Puglia.

Ubicazione misure geofisiche profilo 2



LEGENDA

A PS



Ubicazione profilo sismico in onde longitudinali (onde P) e Masw.

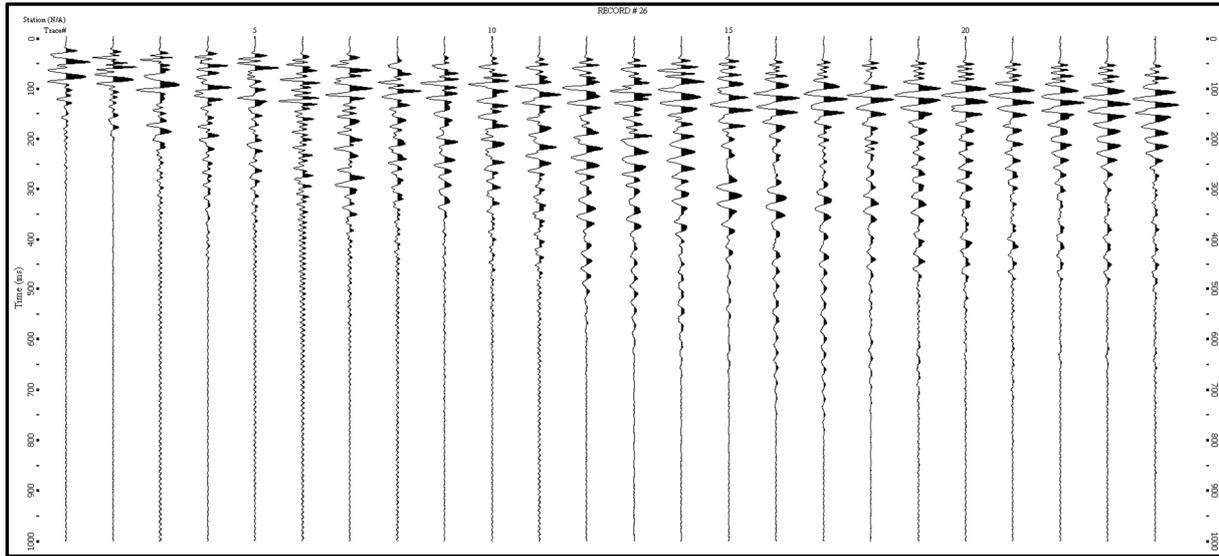


Basi cartografiche da Ortofoto-C.T.R. sit Puglia.

ALLEGATO "PROFILO SISMICO 1"

- *Sismogramma analisi Masw (metodo attivo)*
 - *Analisi Masw (metodo attivo)*
 - *Sismogrammi sismica a rifrazione onde P*
 - *Dromocrone onde P*
 - *Tomografia sismica ed interpretazione sismostratigrafica*
 - *Documentazione fotografica*
-

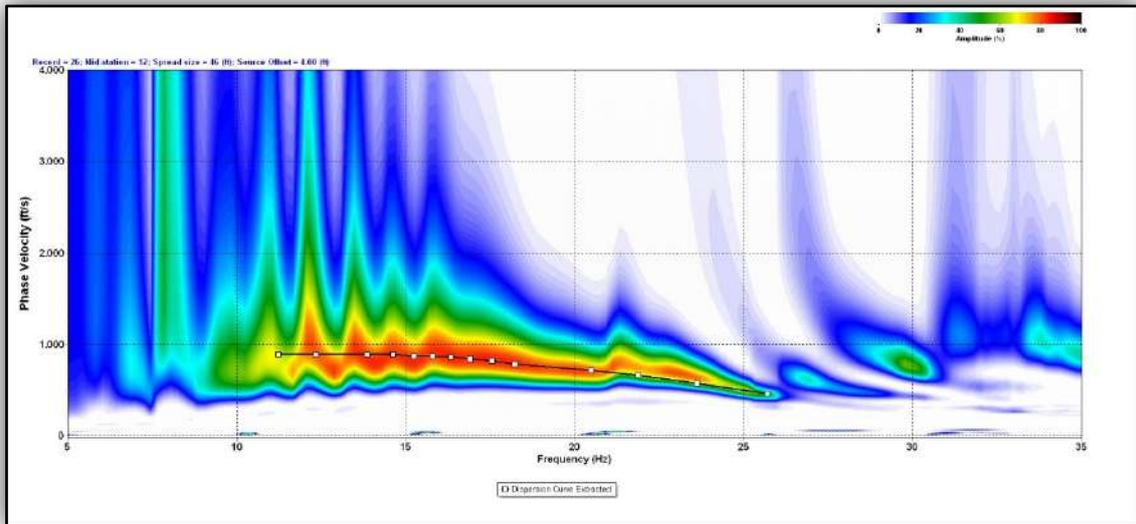
SISMOGRAMMA ANALISI MASW (METODO ATTIVO) 1



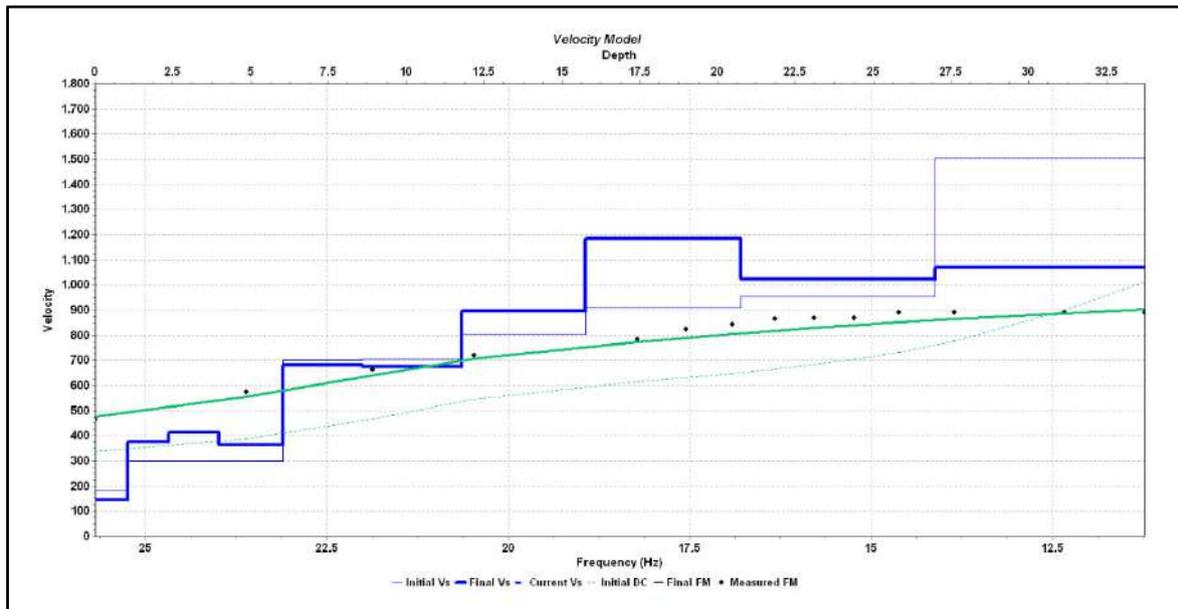
Sismogramma analisi Masw-offset 4 metri

ANALISI MASW (offset 4 m) – P1

Spettro nel dominio velocità di fase/frequenza



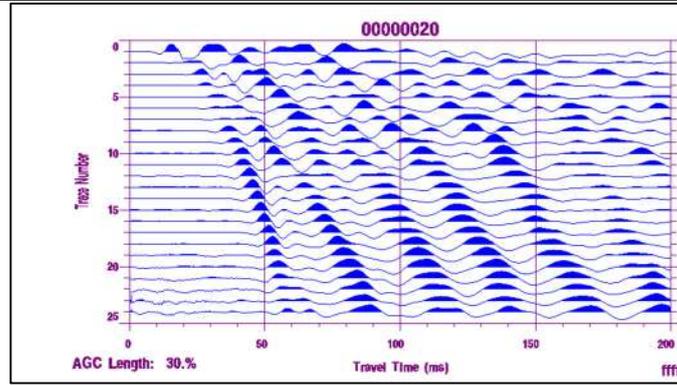
Modello di velocità (V_s) in funzione della profondità e della frequenza



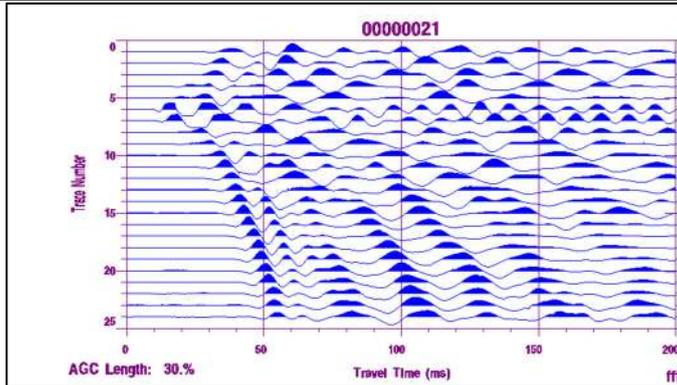
$V_{s,eq} = 411 \text{ m/s}$
Categoria di sottosuolo "B"
(NTC 2018)

SISMOGRAMMI SISMICA A RIFRAZIONE ONDE LONGITUDINALI (ONDE P) 1

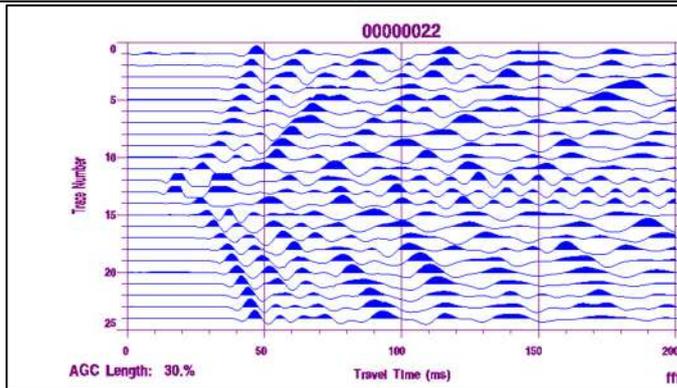
Punto sorgente "A"



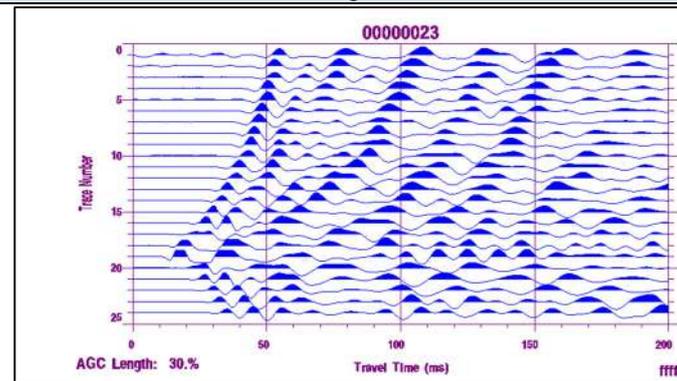
Punto sorgente "C"



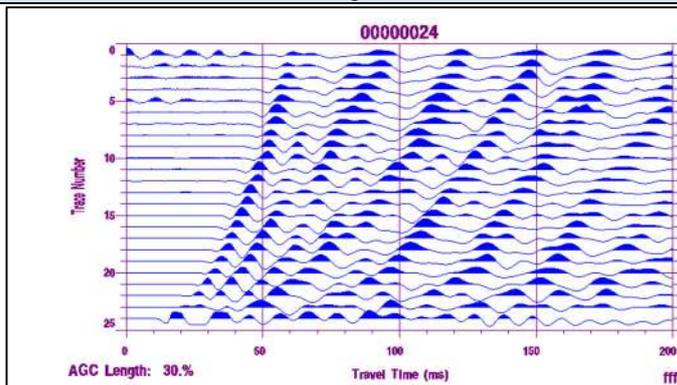
Punto sorgente "E"



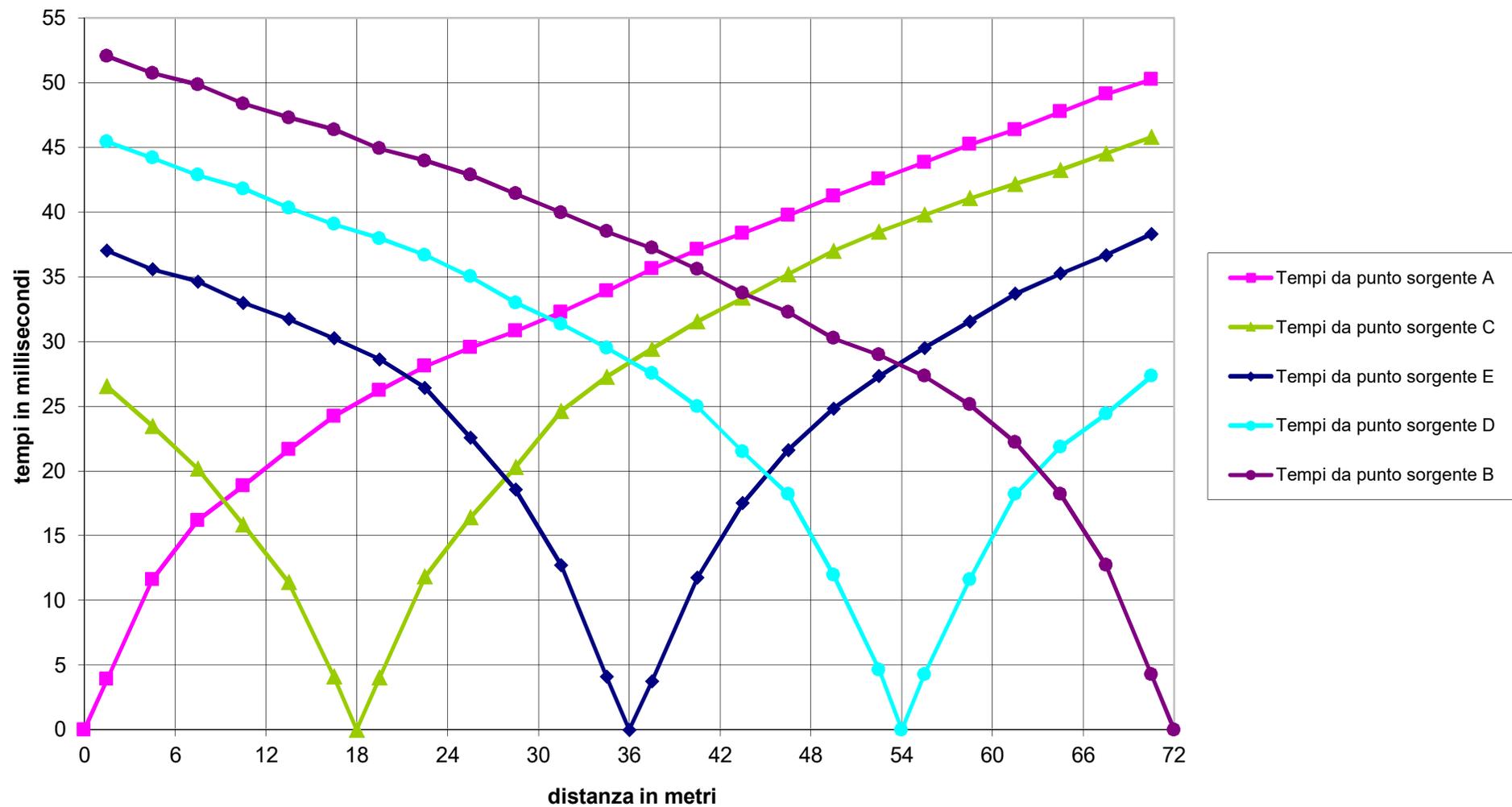
Punto sorgente "D"



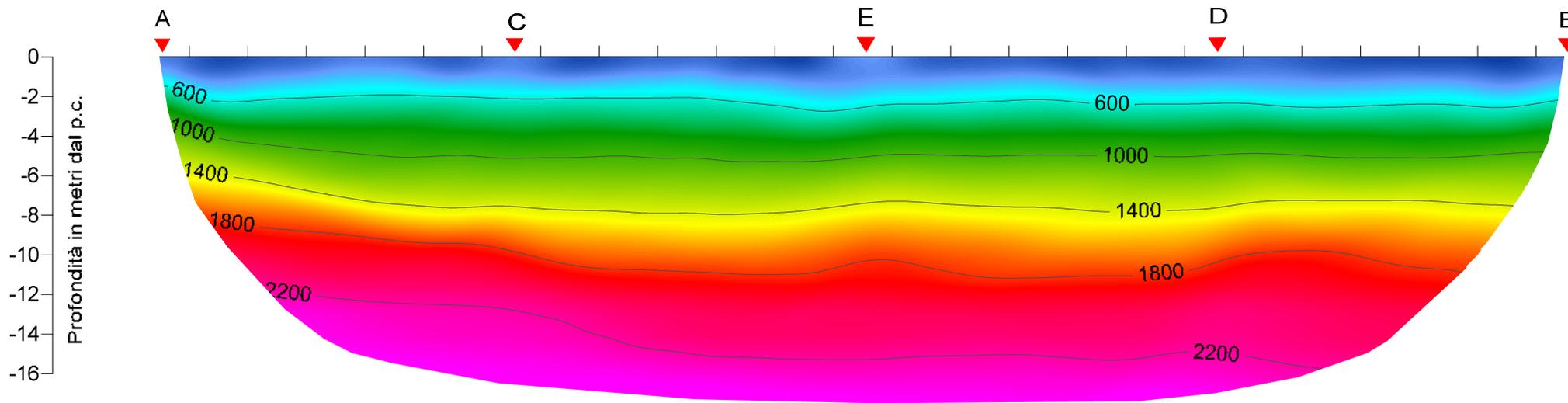
Punto sorgente "B"



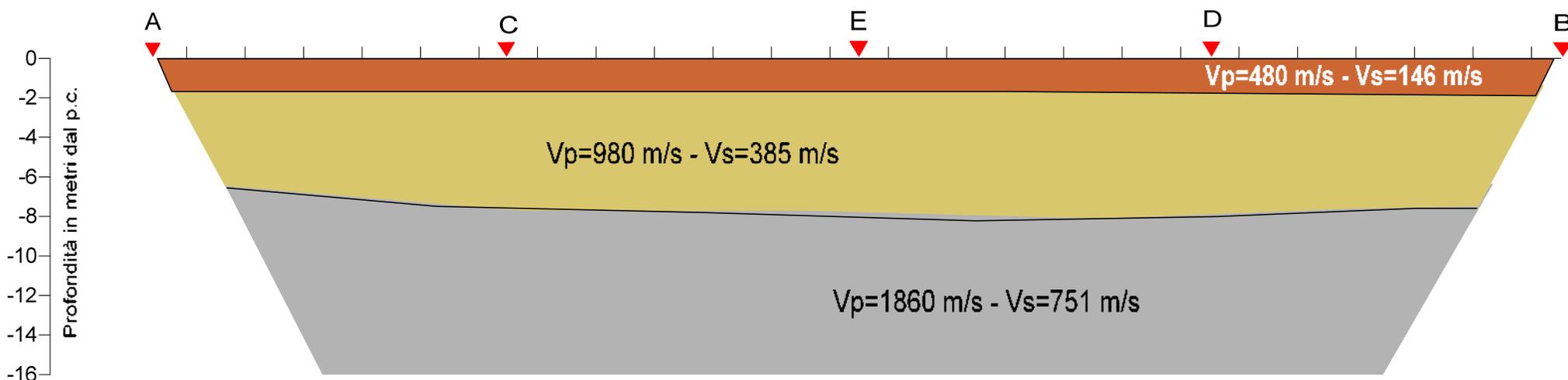
Dromocrone profilo sismico 1 - ONDE LONGITUDINALI



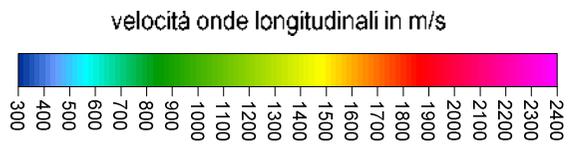
SEZIONE TOMOGRAFICA 1



SEZIONE SISMOSTRATIGRAFICA 1



- Terreno vegetale ciottoloso
- Sabbie limose con ghiaia
- Conglomerati



- | STAZIONE GEOFONICA
 - ▼ PUNTO SORGENTE
- 0 12m

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA PROFILO SISMICO 1

INDAGINE SISMICA A RIFRAZIONE IN ONDE LONGITUDINALI (ONDE P e MASW)



Acquisizione dati misure sismiche

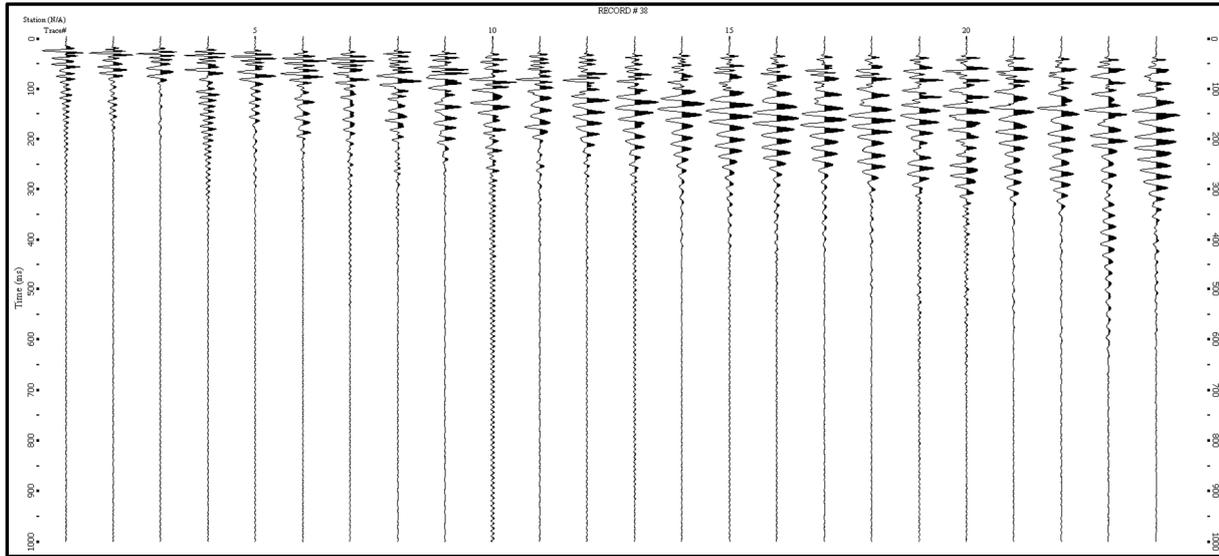


Energizzazione con mazza battente onde longitudinali

ALLEGATO "PROFILO SISMICO 2"

- *Sismogramma analisi Masw (metodo attivo)*
 - *Analisi Masw (metodo attivo)*
 - *Sismogrammi sismica a rifrazione onde P*
 - *Dromocrone onde P*
 - *Tomografia sismica ed interpretazione sismostratigrafica*
 - *Documentazione fotografica*
-

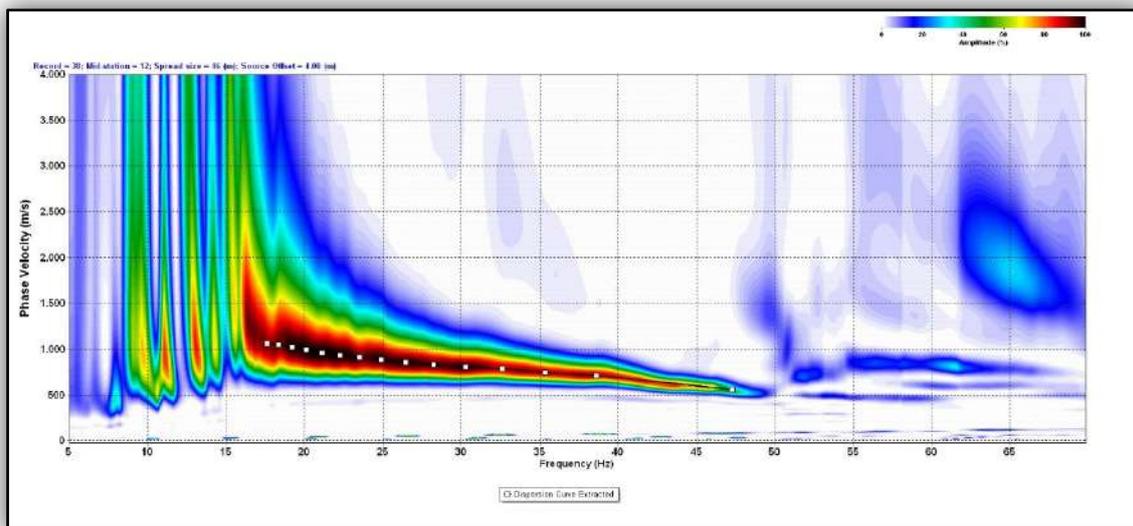
SISMOGRAMMA ANALISI MASW (METODO ATTIVO) 2



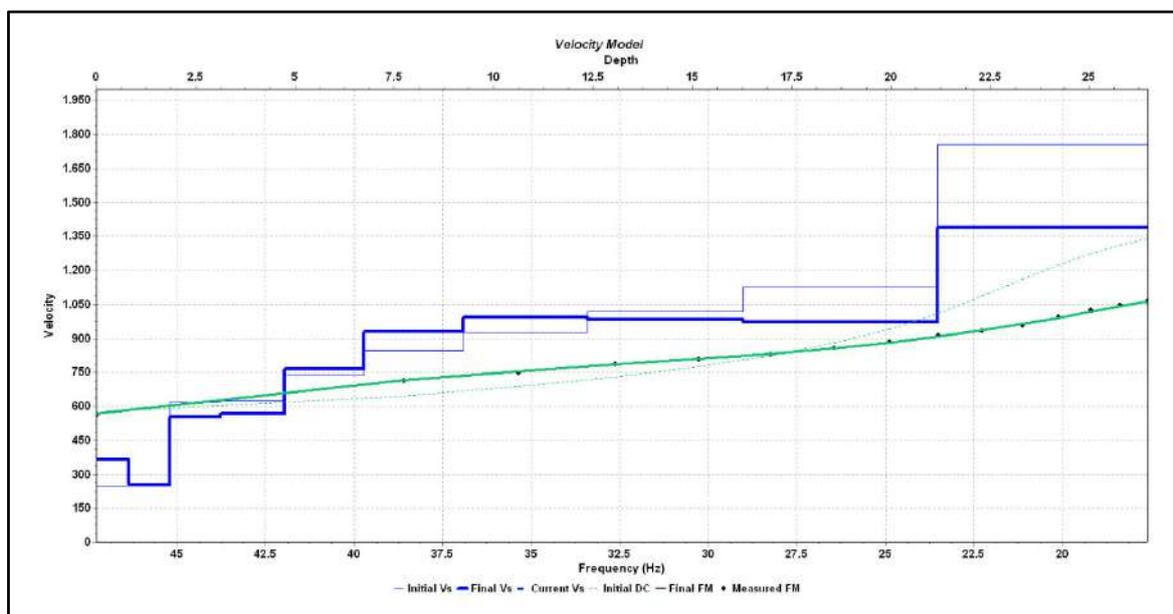
Sismogramma analisi Masw-offset 4 metri

ANALISI MASW (offset 4 m) – P2

Spettro nel dominio velocità di fase/frequenza



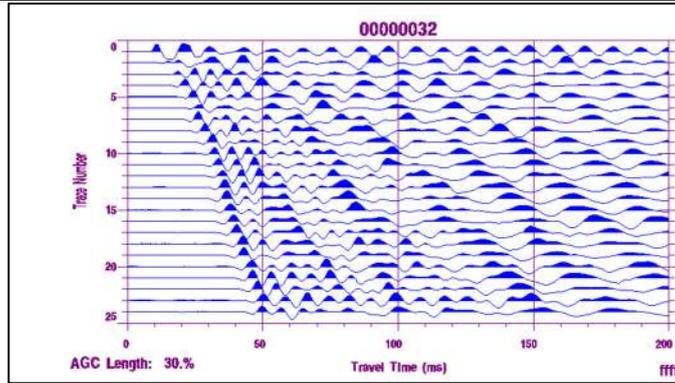
Modello di velocità (V_s) in funzione della profondità e della frequenza



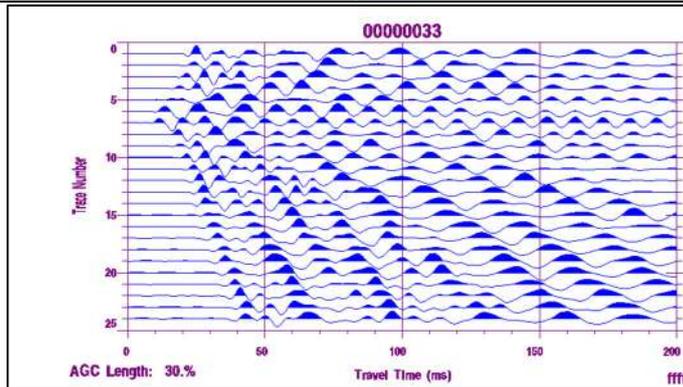
$V_{s, eq} = 480 \text{ m/s}$
Categoria di sottosuolo "B"
(NTC 2018)

SISMOGRAMMI SISMICA A RIFRAZIONE ONDE LONGITUDINALI (ONDE P) 2

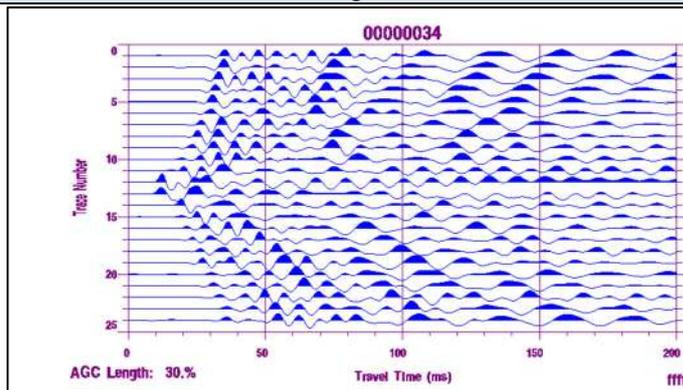
Punto sorgente "A"



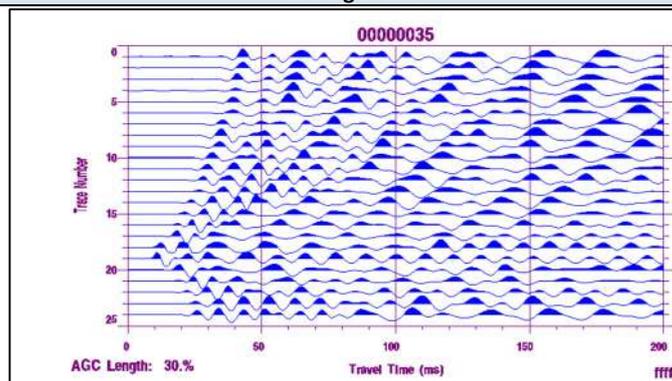
Punto sorgente "C"



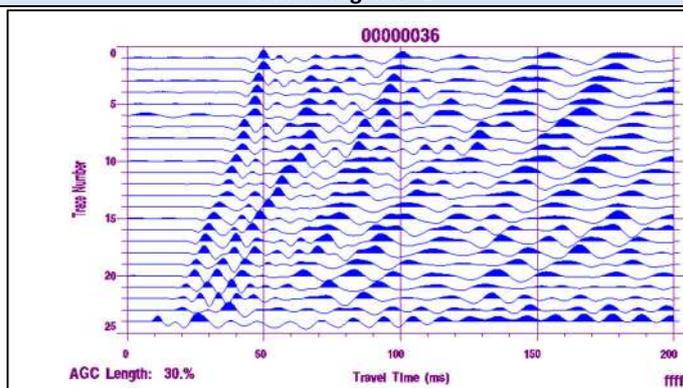
Punto sorgente "E"



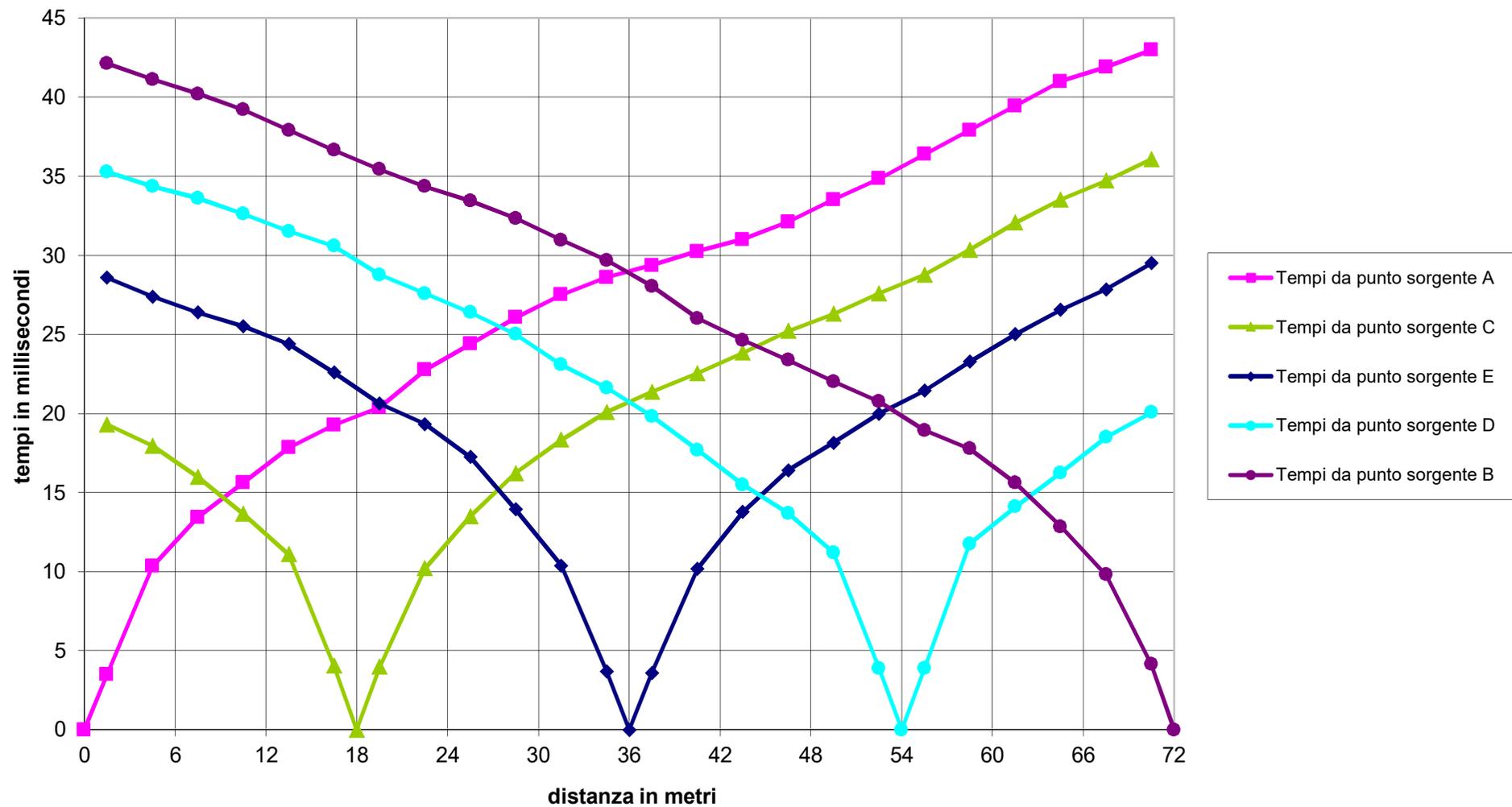
Punto sorgente "D"



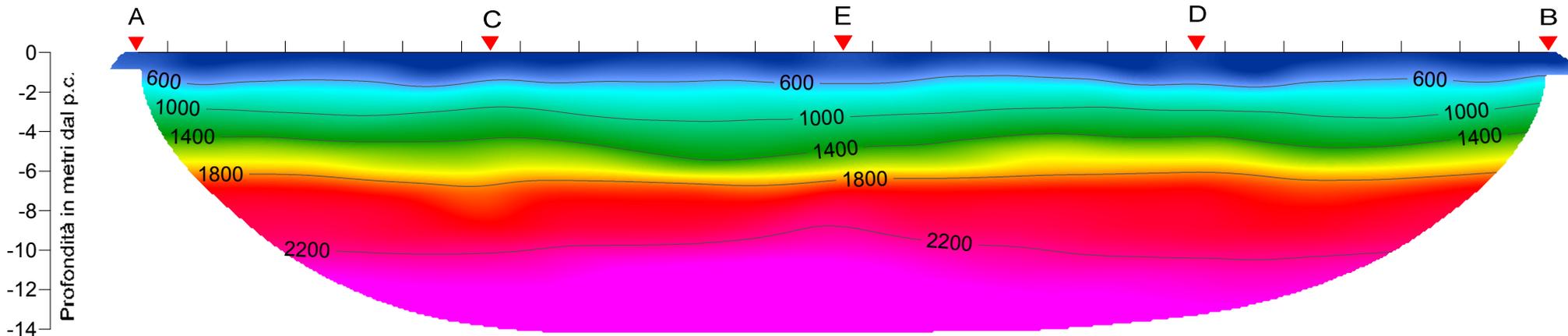
Punto sorgente "B"



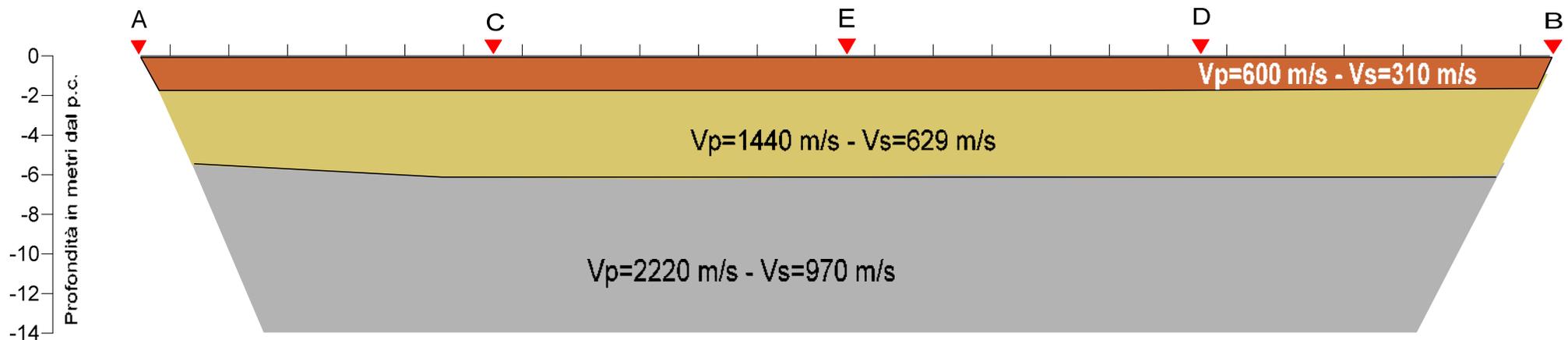
Dromocrone profilo sismico 2 - ONDE LONGITUDINALI



SEZIONE TOMOGRAFICA 2

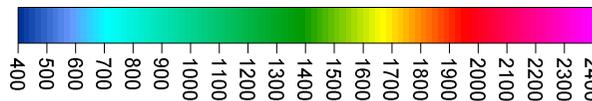


SEZIONE SISMOSTRATIGRAFICA 2



-  Terreno vegetale ciottoloso
-  Sabbie e ghiaie addensate
-  Conglomerati

velocità onde longitudinali in m/s



| STAZIONE GEOFONICA

▼ PUNTO SORGENTE



DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA PROFILO SISMICO 2

INDAGINE SISMICA A RIFRAZIONE IN ONDE LONGITUDINALI (ONDE P e MASW)



Acquisizione dati misure sismiche



Energizzazione con mazza battente onde longitudinali