

ISTANZA VIA
Presentata al
Ministero della Transizione Ecologica
e al Ministero della Cultura
(Art. 23 del D. Lgs 152/2006 e ss. mm. ii
Art. 12 del D.Lgs. 387/03 e ss.mm.ii.)

PROGETTO

IMPIANTO FOTOVOLTAICO A TERRA (AGRIVOLTAICO)
COLLEGATO ALLA RTN
POTENZA NOMINALE (DC) 13,79 MWp
POTENZA IN IMMISSIONE (AC) 12,4 MW
Comune di Bondeno (FE)

RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA

21-00008-IT-BONDENO_RS-R05

PROPONENTE:

TEP RENEWABLES (BONDENO PV) S.R.L.
Viale Shakespeare, 71 00144 – Roma
P. IVA e C.F. 16627431006– REA RM - 1666505

PROGETTISTA:

ING. BERTONIERI
Iscritto all' Ordine degli Ing. della Provincia di Massa Carrara al n. 669 sez. A

GEOLOGO:

DOTT.SSA CONCETTA PEREZ
Iscritta all' Ordine Regionale dei Geologi di Sicilia al n. 2733 sez. A

Data	Rev.	Tipo revisione	Redatto	Verificato	Approvato
08/2022	0	Prima emissione	CP	MB	G. Calzolari

	IMPIANTO FOTOVOLTAICO A TERRA (AGRIVOLTAICO) COLLEGATO ALLA RTN POTENZA NOMINALE 13,79 MWp POTENZA DI IMMISSIONE AC 12,4 MW Comune di Bondeno (FE)	Rev.	0
	21-00008-IT-BONDENO_RS-R05 RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA	Pag.	2 di 59

INDICE

1	PREMESSA	3
1.1	DATI GENERALI DEL PROGETTO	5
2	STATO DI FATTO.....	6
2.1	LOCALIZZAZIONE IMPIANTO.....	6
2.1.1	Inquadramento catastale impianto	7
3	INQUADRAMENTO TOPOGRAFICO DELL'IMPIANTO	8
4	INQUADRAMENTO GEOLOGICO REGIONALE	10
4.1	ASSETTO GEOMORFOLOGICO – STRUTTURALE	10
4.2	CARATTERISTICHE LITOLOGICHE E STRATIGRAFIA NELL'AREA DI PROGETTO	13
5	ELEMENTI GEOMORFOLOGICI E IDROGRAFIA SUPERFICIALE.....	16
6	CONSIDERAZIONI IDROGEOLOGICHE - AMBIENTALI	17
7	CARTA DEI DISSESTI E PERICOLOSITÀ IDRAULICA- REGIME VINCOLISTICO	19
8	OPERE DI REGIMAZIONE IDRAULICA.....	25
8.1	SISTEMA DI DRENAGGIO SUPERFICIALE DELL'AREA DI INTERVENTO	25
9	CONSIDERAZIONI IDRO-GEOMORFOLOGICHE E REGIME VINCOLISTICO RILEVATE SULLE AREE ATTRAVERSATE DALLE OPERE DI CONNESSIONE – LINEA AT.....	27
10	CARATTERIZZAZIONE GEOMECCANICA DEL TERRENO DI FONDAZIONE	29
11	INDAGINI GEOFISICHE DEL SOTTOSUOLO AI FINI DALL'AZIONE SISMICA DI PROGETTO 31	
11.1	PREMESSA.....	31
11.2	NORMATIVA DI RIFERIMENTO E PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE	32
11.3	METODOLOGIA SISMICA ADOPERATA E STRUMENTAZIONE UTILIZZATA	33
11.4	ELABORATI SISMICI	36
11.5	CARATTERISTICHE SISMO-STRATIGRAFICHE LOCALI.....	48
11.6	CATEGORIA DI SOTTOSUOLO AI FINI DELLA DEFINIZIONE DELL'AZIONE SISMICA DI PROGETTO.....	51
11.7	CONSIDERAZIONI GEOSISMICHE CONCLUSIVE.....	53
12	INDAGINE GEOELETTRICA ED ELETTROSTRATIGRAFIA DI SINTESI	56
13	CONSIDERAZIONI GEOLOGICO-TECNICHE CONCLUSIVE	57

- ALLEGATO 1: PROVE PENETROMETRICHE STATICHE di tipo meccaniche (C.P.T)
- ALLEGATO 2: RELAZIONE GEOFISICA INDAGINE S.E.V. (Sondaggio Elettrico Verticale)

	IMPIANTO FOTOVOLTAICO A TERRA (AGRIVOLTAICO) COLLEGATO ALLA RTN POTENZA NOMINALE 13,79 MWp POTENZA DI IMMISSIONE AC 12,4 MW Comune di Bondeno (FE)	Rev.	0
	21-00008-IT-BONDENO_RS-R05 RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA	Pag.	3 di 59

1 PREMESSA

La presente relazione espone i risultati dello studio geologico, geomorfologico, idrogeologico, geotecnico e geosismico sulla base dei risultati delle indagini effettuate in situ a supporto del progetto per la realizzazione di un impianto di generazione elettrica con utilizzo della fonte energetica rinnovabile solare attraverso la conversione fotovoltaica.

Il progetto prevede la realizzazione di un impianto solare fotovoltaico denominato "BONDENO PV", di potenza pari a 13,79 MWp in corrente alternata da installarsi in un terreno, di circa 18,29 ettari complessivi e una superficie recintata dedicata all'impianto di 15,70 ha, sito nel territorio Comunale di Bondeno (FE) e relative opere di connessione alla Rete Elettrica Nazionale.

L'iniziativa progettuale mira a contribuire al soddisfacimento delle esigenze di Energia Verde e allo Sviluppo Sostenibile in quanto risponde pienamente ai requisiti di rinnovabilità, inesauribilità, assenza di emissioni inquinanti ed è riconosciuta, insieme ad altre fonti di energia rinnovabile, come preferibile ad altre forme, nella produzione di energia elettrica, inoltre la scelta operata da parte della Società proponente, di sfruttare l'energia solare per la produzione di energia elettrica optando per il regime agri-voltaico, consente di coniugare le esigenze energetiche da fonte energetica rinnovabile con quelle di minimizzazione della copertura del suolo, allorché tutte le aree lasciate libere dalle opere, saranno rese disponibili per fini agronomici.

È importante sottolineare come la posa in opera di un sistema fotovoltaico non determini cambiamenti irreversibili del territorio inoltre, a parere della scrivente, il sito in oggetto ha delle caratteristiche, sia morfologiche che di esposizione, che lo possono far considerare parecchio idoneo per la destinazione d'uso al quale è chiamato.

L'area prescelta risulta ideale per la realizzazione di un impianto fotovoltaico grazie alle seguenti caratteristiche:

- Rispetto agli strumenti di tutela territoriale, in quanto l'intervento risulta sostanzialmente coerente con le previsioni urbanistiche, ambientali e paesaggistiche, sia pure condizionato all'ottenimento delle relative autorizzazioni;
- L'area di progetto identificata è libera da ostacoli e ciò permette all'impianto di beneficiare appieno dell'irraggiamento solare e di condizioni ottimali per la semplicità di installazione;
- Il sito è raggiungibile dalla viabilità già esistente, permettendo una semplificazione logistico- organizzativa dell'accessibilità durante la fase di cantiere, e della viabilità definitiva prevista per la gestione dell'impianto;
- Il sito risulta vicino alla cabina primaria, condizione che comporta una favorevole modalità di connessione alla RTN.

La tecnologia impiantistica prevede l'installazione di moduli fotovoltaici bifacciali su strutture metalliche in acciaio zincato mobili sospese (tracker) di tipo mono-assiale ancorate a terra mediante opere infrastrutturali e di fondazione che il progettista riterrà più idonee in base alle caratteristiche litologiche, geomeccaniche e sismiche del sottosuolo indagato, esposte di seguito in questa relazione.

Catastalmente l'area ricade nelle particelle, come riportato negli elaborati grafici del progetto, censite presso il Catasto terreni del Comune di Bondeno: Foglio n° 186 particelle n°14,18,19, 28,29.

Le aree scelte per l'installazione del Progetto Fotovoltaico sono interamente contenute all'interno di aree di proprietà privata *Inquadramento Catastale_Impianto* su cui TEP Renewables (BONDENO PV) S.r.l. ha acquisito il diritto di superficie per un periodo di 30 anni.

Lo studio è stato commissionato alla sottoscritta Geologo Dr.ssa Concetta Pérez (O.R.G.S. n°2733 sez. A) dalla Soc. TEP RENEWABLES (Italia) S.r.l., la quale è una società del Gruppo TEP Renewables con sede legale in Gran Bretagna, ha uffici operativi in Italia, Cipro e USA, e sarà

	IMPIANTO FOTOVOLTAICO A TERRA (AGRIVOLTAICO) COLLEGATO ALLA RTN POTENZA NOMINALE 13,79 MWp POTENZA DI IMMISSIONE AC 12,4 MW Comune di Bondeno (FE)	Rev.	0
	21-00008-IT-BONDENO_RS-R05 RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA	Pag.	4 di 59

finalizzato alla ricostruzione dei rapporti stratigrafici tra le singole unità litotecniche costituenti il suolo di fondazione e alla loro caratterizzazione geotecnica e sismica secondo la nuova normativa vigente.

Per l'espletamento dell'incarico sono stati effettuati dei preliminari sopralluoghi conoscitivi dei terreni interessati dall'installazione dell'impianto di generazione elettrica in progetto. Successivamente si è eseguito un attento rilevamento geologico di superficie, opportunamente esteso alle zone limitrofe, per inquadrare le stesse nel contesto geologico, geomorfologico e idrogeologico generale, nonché in quello litostratigrafico e strutturale, accertando se nel sito di progetto esistono caratteristiche geologico-geomorfologiche tali da garantire la stabilità dei manufatti da realizzare, in relazione soprattutto al mantenimento degli equilibri morfogenetici esistenti.

Scopo del presente lavoro è quello di individuare ed analizzare, l'assetto geologico, geomorfologico, idrogeologico, geotecnico e geosismico, dei terreni interessati dall'installazione dell'impianto di generazione elettrica, accertando se nel sito di progetto esistono caratteristiche geologico-tecniche tali da garantire la stabilità dei manufatti da realizzare.

A tutela della stabilità delle aree e del buon regime delle acque e per caratterizzare al meglio i terreni di fondazione, la scrivente ha effettuato dei rilevamenti nell'area in studio e in un suo ampio intorno supportato dai dati provenienti dalla campagna di indagini geognostiche di tipo geofisico, geoelettrico e geo-meccanico effettuate in situ, *nel dettaglio sono stati effettuati n° 2 prove di penetrometrica statica di tipo meccanica (C.P.T) SPT, n°1 sondaggio geoelettrico verticale (S.E.V.) quadripolare e n. 4 sondaggi con tecnica sismica passiva a stazione singola "HVSR", eseguita con Tromografo elettronico digitale TROMINO® ENGINEERING, al fine di caratterizzare la stratigrafia del sottosuolo, ricostruire il modello geologico stratigrafico del volume di terreno interessato dalle fondazioni delle opere soprastanti da realizzare e individuare Discontinuità anomale all'interno della successione litostratigrafica sottostante, misurare la frequenza di risonanza dei suoli senza limiti di profondità, nell'intervallo di interesse geotecnico e strutturale, per valutare la risposta sismica del sito ed eventuali effetti di amplificazione sismica, stratigrafica e topografica, del moto in superficie e determinare il V_{s_eq}/V_{s30} per definire la categoria del suolo di fondazione, secondo quanto previsto nel D.M. 17 Gennaio 2018 relativo alle nuove "Norme Tecniche per le Costruzioni".*

Lo studio Geologico-tecnico eseguito ha permesso di potere effettuare:

1. Rilevamento geologico di dettaglio, in scala 1: 25.000, al fine di ricostruire la successione litostratigrafica, la struttura, la giacitura e la natura dei litotipi che costituiscono, la suddetta area;
2. Indagine dell'assetto geomorfologico dell'area in studio al fine di potere accertare eventuali fenomeni di instabilità sia in atto che potenziali;
3. Valutazione delle caratteristiche idrogeologiche dei litotipi per accertare la eventuale presenza di falda freatica sotterranea che può comportare, variazioni delle caratteristiche geo-meccaniche dei terreni e risposte sismiche locali diversificate (es.: variazione di amplificazione sismica);
4. Analisi Geofisiche per identificare i parametri sismici e le frequenze del terreno di fondazione.
5. Considerazioni fisico-meccaniche del substrato per identificare i parametri geo-meccanici del terreno di fondazione.

Lo studio geologico del terreno è stato condotto essenzialmente mediante ricognizioni di superficie, avvalendosi dei dati raccolti durante il sopralluogo. I dati della stratigrafia locale sono stati desunti dall'osservazione diretta, su spaccati di terreno, sia naturali che artificiali, presenti in aree prossime a quella in studio e da quanto riportato nella letteratura geologica specifica in comparazione con il modello geo-stratigrafico ottenuto dai sondaggi sismici, geoelettrici e dalle prove penetrometriche SPT effettuate in sito.

	IMPIANTO FOTOVOLTAICO A TERRA (AGRIVOLTAICO) COLLEGATO ALLA RTN POTENZA NOMINALE 13,79 MWp POTENZA DI IMMISSIONE AC 12,4 MW Comune di Bondeno (FE)	Rev.	0
	21-00008-IT-BONDENO_RS-R05 RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA	Pag.	5 di 59

Per quanto concerne la caratterizzazione fisico-meccanica dei litotipi affioranti ci si è riferiti a valori desunti dalla letteratura geotecnica esistente in comparazione con i risultati ricavati dalle prove penetrometriche dinamiche, effettuate in sito e dall'esperienza della scrivente.

A seguito delle risultanze delle indagini svolte e sulla scorta delle conoscenze acquisite in luogo tramite rilevamento geologico-geomorfologico di superficie è stato possibile fornire al calcolista un quadro completo delle condizioni geologiche, geotecniche e geosismiche del terreno di sedime.

1.1 DATI GENERALI DEL PROGETTO

Nella Tabella 1.1 sono riepilogate in forma sintetica le principali caratteristiche tecniche dell'impianto di progetto.

Tabella 1.1: Dati di progetto

ITEM	DESCRIZIONE
Richiedente	TEP RENEWABLES (BONDENO PV) S.R.L.
Luogo di installazione:	Comune di Bondeno - provincia di Ferrara
Denominazione impianto:	BONDENO PV
Area lorda (ha)	18,29
Area utile (ha)	15,70
Dati catastali area di progetto:	Foglio n° 186 (particelle 14,18,19, 28, 29)
Potenza di picco (MW _p):	13,79 MWp
Informazioni generali del sito:	Sito ben raggiungibile, caratterizzato da strade esistenti, idonee alle esigenze legate alla realizzazione dell'impianto e di facile accesso. La morfologia è piuttosto regolare.
Punto di Connessione:	SSE TERNA BONDENO con standard 36kV
Tipo strutture di sostegno:	Strutture metalliche in acciaio zincato tipo Tracker mono-assiale
Inclinazione piano dei moduli:	da +55°/ - 55°
Azimuth di installazione:	0°
Slope max area utile	5%
N. Cabine di campo:	n. 7 Cabine distribuite nell'area interessata dall'impianto fotovoltaico
Posizione cabina elettrica di consegna:	n.1 Cabina FV in campo
Rete di collegamento:	Alta Tensione – 36 kV
Coordinate sito:	44°50'55.66"N 11°25'30.60"E Altitudine media 10 m s.l.m.

	IMPIANTO FOTOVOLTAICO A TERRA (AGRIVOLTAICO) COLLEGATO ALLA RTN POTENZA NOMINALE 13,79 MWp POTENZA DI IMMISSIONE AC 12,4 MW Comune di Bondeno (FE)	Rev.	0
	21-00008-IT-BONDENO_RS-R05 RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA	Pag.	6 di 59

2 STATO DI FATTO

2.1 LOCALIZZAZIONE IMPIANTO

L'area interessata dall'installazione dell'impianto si colloca all'interno della pianura emiliano romagnola, sita nel territorio comunale di Bondeno (FE) a 4 km a Sud dalla stessa città e a 65 km dal mare, situata altimetricamente a quota media di 10 m s.l.m. L'area deputata all'installazione degli impianti fotovoltaici dista dalla S.P. 69 circa 4 km.

Questa area in oggetto risulta essere adatta allo scopo avendo una buona esposizione ed essendo raggiungibile ed accessibile attraverso le vie di comunicazione esistente.

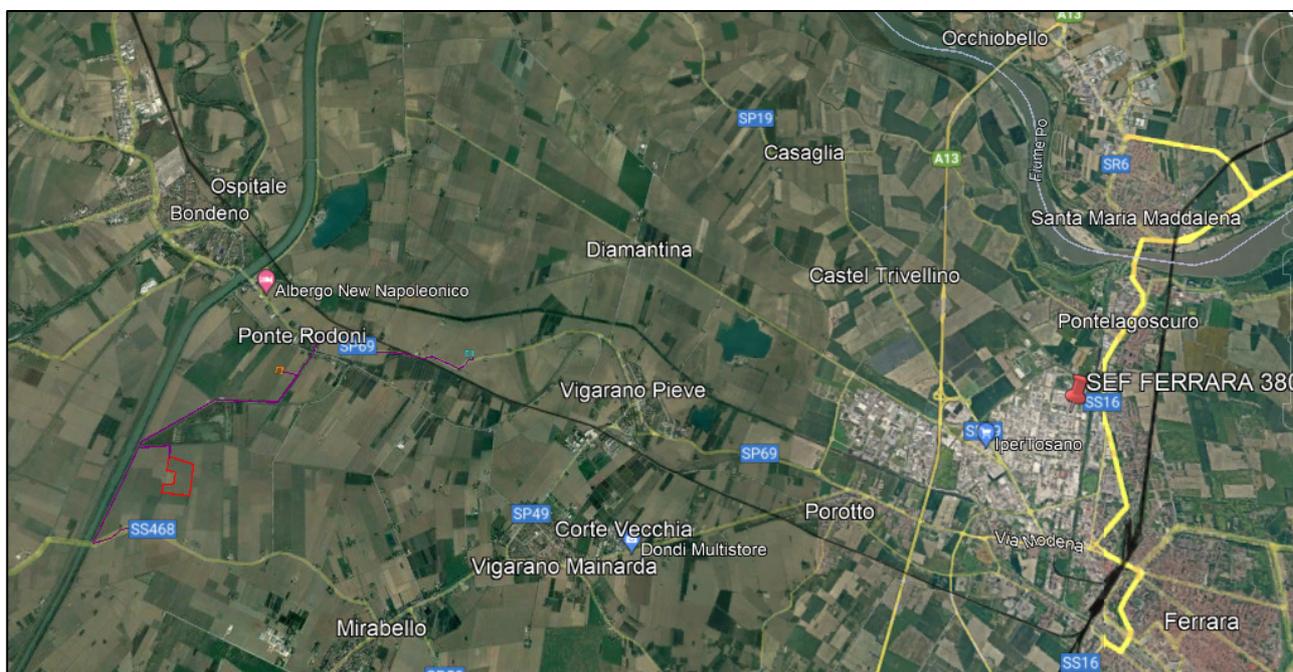


Figura 2.1: Inquadramento territoriale riguardante l'intera area in cui insistono tutte le opere di progetto fino al punto di connessione alla stazione elettrica "SE TERNA BONDENO" - Fonte: Google Earth Pro

L'impianto fotovoltaico sarà tecnicamente connesso in parallelo alla RTN nel rispetto delle norme CEI e delle condizioni di TERNA S.p.A. L'ipotesi di connessione prevede il collegamento dell'impianto alla SE TERNA BONDENO. La lunghezza della linea di connessione individuata dall'impianto FV alla SE BONDENO è di circa 5,5 km con tracciato prevalentemente su strada pubblica. (Fig. 2.1)

Attraverso la valutazione delle ombre si è cercato minimizzare e ove possibile eliminare l'effetto di ombreggiamento, così da garantire una perdita pressoché nulla del rendimento annuo in termini di produttività dell'impianto fotovoltaico in oggetto.

	IMPIANTO FOTOVOLTAICO A TERRA (AGRIVOLTAICO) COLLEGATO ALLA RTN POTENZA NOMINALE 13,79 MWp POTENZA DI IMMISSIONE AC 12,4 MW Comune di Bondeno (FE)	Rev.	0
	21-00008-IT-BONDENO_RS-R05 RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA	Pag.	7 di 59

2.1.1 Inquadramento catastale impianto

In riferimento al Catasto Terreni del Comune di Bondeno (FE), l'impianto occupa le aree di cui al Foglio n°186 sulle particelle indicate nella tabella seguente:

Tabella 2.1: Particelle catastali

FOGLIO	PARTICELLE
N° 186	n°14,18,19, 28,29

Si riporta di seguito uno stralcio dell'inquadramento catastale Rif. "Inquadramento catastale impianto":

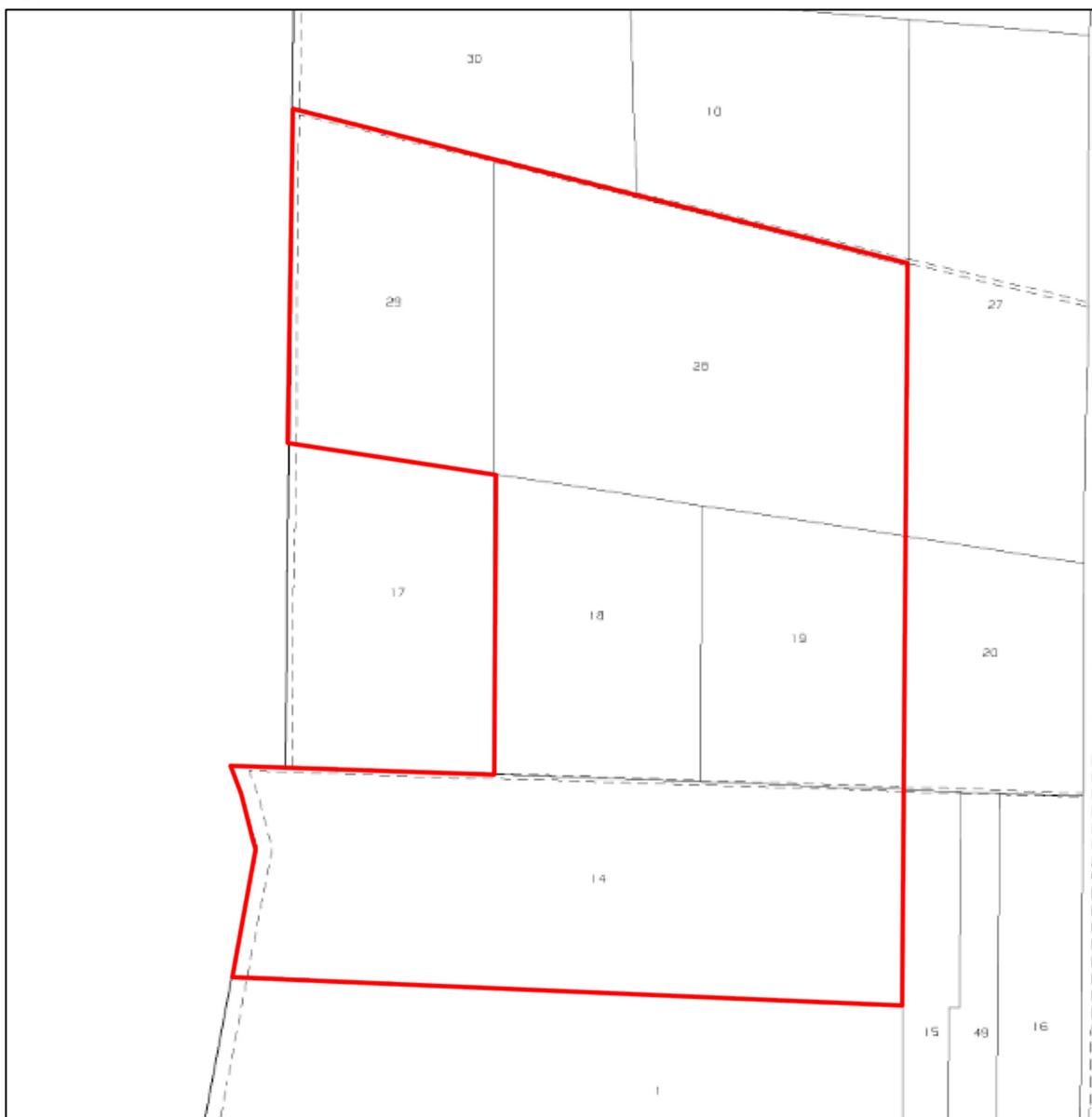


Figura 2.2: Inquadramento catastale impianto – scala originale 1: 5.000

	IMPIANTO FOTOVOLTAICO A TERRA (AGRIVOLTAICO) COLLEGATO ALLA RTN POTENZA NOMINALE 13,79 MWp POTENZA DI IMMISSIONE AC 12,4 MW Comune di Bondeno (FE)	Rev.	0
	21-00008-IT-BONDENO_RS-R05 RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA	Pag.	8 di 59

3 INQUADRAMENTO TOPOGRAFICO DELL'IMPIANTO

L'area interessata dall'installazione dell'impianto si colloca all'interno della pianura emiliano romagnola, sita nel territorio comunale di Bondeno (FE) a 4 km a Sud dalla stessa città e a 65 km dal mare, situata altimetricamente a quota media di 10 m s.l.m.

L'area utile interessata dall'impianto solare fotovoltaico denominato "BONDENO PV", di potenza pari a 13,79 MWp in corrente alternata da installarsi in un terreno di circa 18,29 ettari complessivi e una superficie recintata dedicata all'impianto di 15,70 ha. I terreni risultano distinti in catasto Terreni del Comune di Bondeno (FE) al Foglio di mappa urbana n° 186 particelle n°14,18,19,28,29 a destinazione urbanistica - agricola.

L'area sede di intervento è identificata geograficamente dalle seguenti coordinate geografiche:

Lat. 44°50'55.66"N

Long. 11°25'30.60"E

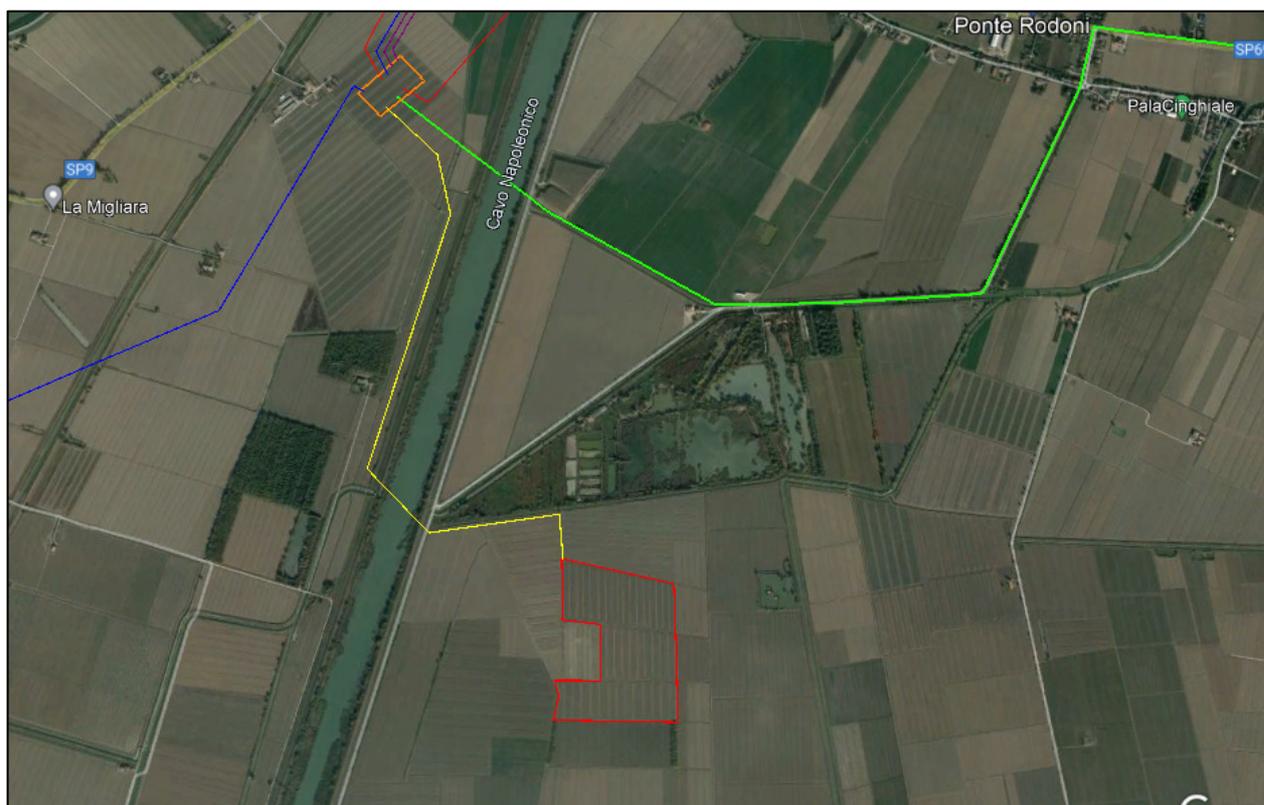


Figura 3.1: Ortofoto zona con identificazione sito di indagine e linea di connessione alla RTN

	IMPIANTO FOTOVOLTAICO A TERRA (AGRIVOLTAICO) COLLEGATO ALLA RTN POTENZA NOMINALE 13,79 MWp POTENZA DI IMMISSIONE AC 12,4 MW Comune di Bondeno (FE)	Rev.	0
	21-00008-IT-BONDENO_RS-R05 RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA	Pag.	9 di 59

LAYOUT PRELIMINARE DI PROGETTO
IMPIANTO FOTOVOLTAICO “BONDENO PV”



LEGENDA

ELEMENTI STATO DI FATTO

 AREA DISPONIBILITÀ CATASTALE

ELEMENTI STATO DI PROGETTO

-  TRACKER (12X2 MODULI)
-  TRACKER (24X2 MODULI)
-  ACCESSO AREA IMPIANTO
-  VIABILITÀ INTERNA
-  RECINZIONE IN PROGETTO
-  FASCIA DI MITIGAZIONE ESTERNA
-  CABINA GENERALE AT
-  CABINA ELETTRICA POWER STATION
-  UFFICIO, MAGAZZINO
-  PARCHEGGI
-  LINEA DI CONNESSIONE AT

	IMPIANTO FOTOVOLTAICO A TERRA (AGRIVOLTAICO) COLLEGATO ALLA RTN POTENZA NOMINALE 13,79 MWp POTENZA DI IMMISSIONE AC 12,4 MW Comune di Bondeno (FE)	Rev.	0
	21-00008-IT-BONDENO_RS-R05 RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA	Pag.	10 di 59

4 INQUADRAMENTO GEOLOGICO REGIONALE

4.1 ASSETTO GEOMORFOLOGICO – STRUTTURALE

I terreni oggetto di studio in scala regionale si trovano nella Pianura Padana, una depressione tettonica formatasi fra le Alpi e gli Appennini quando tali catene montuose si sollevarono ed emersero dal mare in seguito a fenomeni orogenetici, e successivamente colmata da depositi di materiali sciolti di origine marina e fluvio-deltizia.

Dal punto di vista geologico – strutturale il bacino dell'attuale Pianura Padana tuttora subsidente, era compreso nel più ampio Bacino Padano – Adriatico, che corrisponde alla zona di subsidenza sin-orogenica e post-orogenica compresa tra le zone di sollevamento dell'Appennino e delle Alpi; strutturalmente è stato identificato a partire dal Trias come avanfossa delle catene montuose delle Alpi e degli Appennini originatasi dalla progressiva subduzione della placca Africana verso quella Europea con probabile subduzione della interposta micro-placca padano – adriatica soggetta ad un doppio fenomeno di compressione, al di sotto delle coltri appenniniche e sud alpine.

Nel sottosuolo si rinvenivano alternanze di strati sabbiosi, talora ghiaiosi, permeabili con strati limoso – argillosi poco permeabili o impermeabili variamente ondulati. Tali depositi presentano spessori variabili con massimi e minimi distribuiti secondo l'andamento delle aree rilevate e depresse che ammantavano e coltavano durante la deposizione.

Il tetto del substrato roccioso, identificante il margine settentrionale sepolto della catena Appenninica, si incontra a partire dal piano campagna, a profondità variabili fra poco meno di 200 m e più di 2000 m. Esso appartiene alle formazioni di età Pre-Pliocenica ed è caratterizzato, dal punto di vista tettonico, da una fitta serie di anticlinali, faglie inverse e ricoprimenti con assi allungati secondo la direzione WNW-ESE.

Nel territorio di indagine i litotipi più recenti sono rappresentati da accumuli detritici disordinati e caotici in quello che era un golfo marino in subsidenza. Le rocce più antiche costituiscono una parte sepolta dell'Appennino; in particolare, l'area oggetto di studio insiste su una serie di pieghe anticlinali associate a faglie. Infatti, è noto attraverso le prospezioni del sottosuolo per ricerche di idrocarburi che l'arco delle pieghe ferraresi – romagnole, ora sepolte dalla coltre alluvionale, sono l'elemento strutturale più esterno dell'Appennino settentrionale. Lungo gli allineamenti tettonici, lo spessore dei depositi quaternari subisce una notevole riduzione, sino a poche decine di metri (80/90 m).

In termini generali ed in modo schematico possiamo individuare tre zone principali:

- "Zona delle pieghe pedeappenniniche", dal margine collinare alla Via Emilia, costituita da una successione di sinclinali ed anticlinali, con asse a vergenza appenninica, spesso fagliate e sovrascorse sul fianco Nord;
- "Zona della Sinclinale di Bologna-Bomporto-Reggio Emilia", dove i depositi quaternari raggiungono il loro massimo spessore per tutta la pianura Padana;
- "Zona della Dorsale Ferrarese", alto strutturale costituito da una serie di pieghe associate a faglie dove, talora, lo spessore del Quaternario si riduce a poche decine di metri. Questo andamento ad archi di pieghe del fronte sepolto dell'Appennino, di messa in posto sempre più recente, man mano si procede verso le aree più esterne e da correlarsi con il movimento di rotazione della catena in senso antiorario, che genera raccorciamenti cristallini di crescente intensità spostandosi dai settori occidentali a quelli orientali testimonianza del graduale colmamento del bacino (Fig. 4.1).

	IMPIANTO FOTOVOLTAICO A TERRA (AGRIVOLTAICO) COLLEGATO ALLA RTN POTENZA NOMINALE 13,79 MWp POTENZA DI IMMISSIONE AC 12,4 MW Comune di Bondeno (FE)	Rev. 0
	21-00008-IT-BONDENO_RS-R05 RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA	Pag. 11 di 59

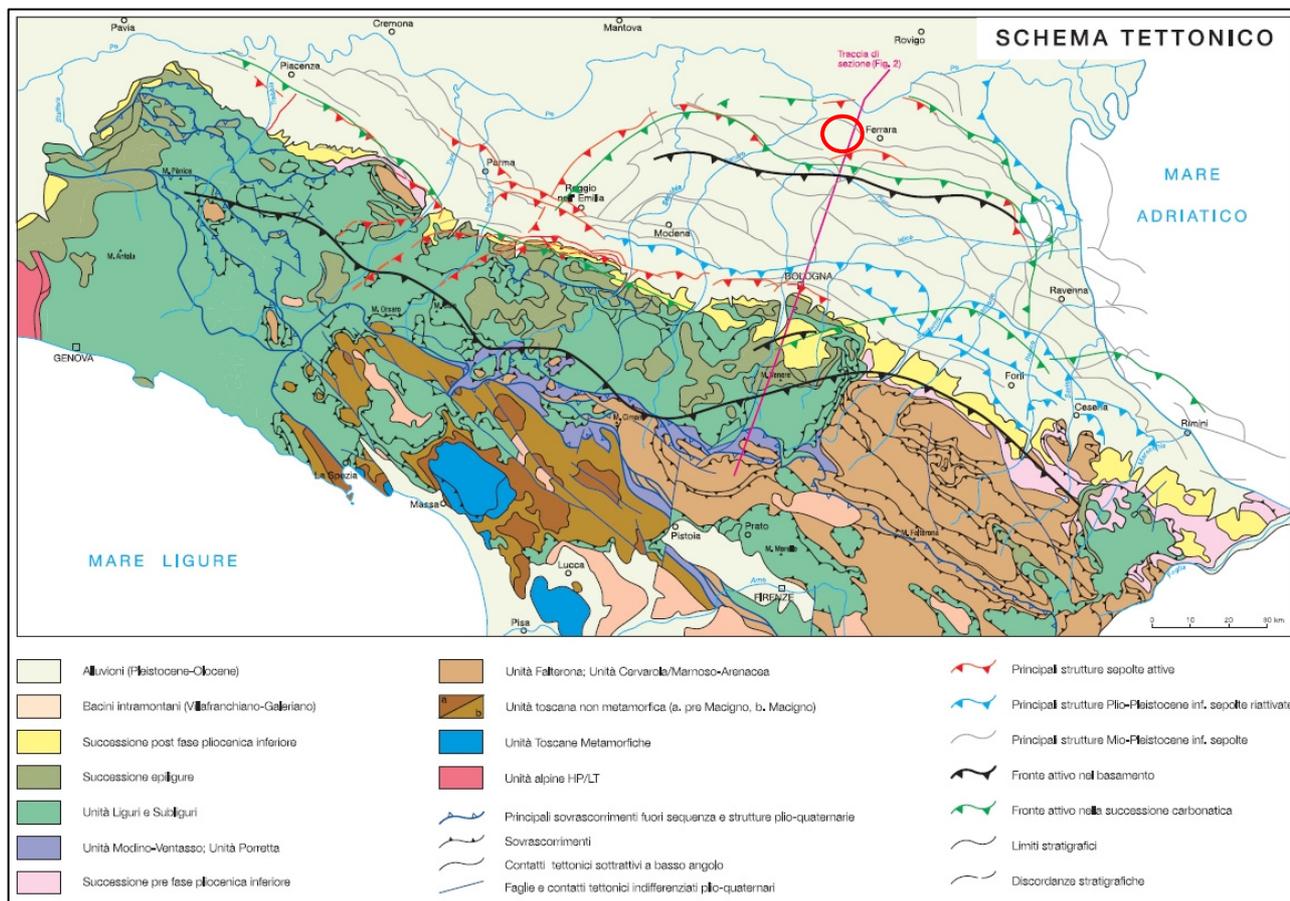


Figura 4.1: Schema tettonico dell'Appennino settentrionale (da Boccaletti et alii 2004), il cerchiato rosso identifica l'area di indagine.

Il territorio in esame dal punto di vista litostratigrafico è caratterizzato da depositi di origine alluvionale, ascrivibili al contesto deposizionale di "Argine, canale e rotta fluviale", tale definizione paleogeografica deriva dalle caratteristiche tessiturali dei sedimenti meno profondi di origine Olocenica. Tali sedimenti sono la conseguenza della fase di accumulo detritico di tipo prevalentemente fluviale, contraddistinti da granulometrie eterogenee e da spessori notevolmente variabili sia verticalmente che arealmente.

Dal punto di vista geomorfologico nell'area Ferrarese sono riscontrabili diverse morfologie relitte attribuibili ad antichi apparati fluviali presenti nella zona la cui espressione odierna è rappresentata da paleoalvei, ovvero letti e argini fluviali non più attivi, conoidi di deiezione (ventagli di rotta) strutture legate alla rottura degli argini in occasione di eventi di piena e le "paleovalli", ovvero le aree interfluviali depresse dove la sedimentazione era legata alla decantazione delle acque che invadevano tali aree durante le esondazioni dei corsi d'acqua.

La deposizione di tipo fluviale, avvenuta in modo non uniforme, ha avuto come conseguenza diretta una estrema eterogeneità granulometrica dei sedimenti, sia in senso verticale che areale, per cui l'assetto stratigrafico della zona risulta abbastanza complesso.

In epoca olocenica e storica l'area oggetto di studio era interessata da una fitta rete idrografica i cui corsi d'acqua erano liberi di espandere le proprie acque di piena nelle zone circostanti: nelle sponde naturali dell'alveo e nelle aree immediatamente circostanti (aree di più alta energia idrodinamica)

	IMPIANTO FOTOVOLTAICO A TERRA (AGRIVOLTAICO) COLLEGATO ALLA RTN POTENZA NOMINALE 13,79 MWp POTENZA DI IMMISSIONE AC 12,4 MW Comune di Bondeno (FE)	Rev.	0
	21-00008-IT-BONDENO_RS-R05 RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA	Pag.	12 di 59

erano depositati i materiali più grossolani trasportati in sospensione, mentre i sedimenti più fini si distribuivano lontano, nelle aree situate tra un alveo e l'altro (acque di esondazione caratterizzate da bassa energia di trasporto).

Nel territorio in esame si possono quindi distinguere entro i primi 20 m di profondità tre *ambienti morfologici - deposizionali* principali:

1. *Ambiente dei paleoalvei*, caratterizzato dalla presenza di corpi sabbiosi inclusi in macro-strati di terreni fini. Tali corpi sabbiosi, talvolta affioranti, spesso sepolti, si sviluppano linearmente seguendo i corsi degli alvei fluviali attivi o estinti; generalmente sono sormontati da decimetri di fanghi di chiusura dei canali.

2. *Ambiente dei bacini interfluviali*, costituito dalle aree di sedimentazione delle frazioni più fini. Tale ambiente è caratterizzato dalla prevalenza di argille inorganiche, argille limose, limi argillosi laminati, argille organiche, con frequenti intercalazioni torbose.

3. *Ambiente di transizione* dalle zone di paleoalveo a quelle dei bacini inter-fluviali, caratterizzato da alternanze di materiali fini e lenti sabbiose.

I depositi di epoca olocenica superficiali insistono su depositi sabbiosi di età fine- Pleistocene/primo-Olocene (ambienti di steppa-taiga glaciale di media pianura) diffusi con continuità in tutto il territorio comunale, più superficiali a nord, dove il tetto delle sabbie glaciali si trova tra i 18 m e i 25 m di profondità, più approfonditi a sud, dove il tetto si spinge fino ad oltre 30 m.

Gli ambienti morfologici - deposizionali descritti sono ben evidenziati nella Carta Geologica riportata a pag. 17. Le informazioni contenute nella carta sono sostanzialmente riferibili alla superficie; oltre alla caratterizzazione litologica dei depositi superficiali essa riporta la suddivisione in ambienti deposizionali. I materiali più grossolani (sabbie) si sono concentrati nelle aree di paleoalveo e nelle loro immediate vicinanze, mentre i terreni a grana fine si sono depositati nelle zone più distanti.

La distribuzione litologica dei sedimenti più superficiali (primi 80 cm dal piano campagna locale) è anch'essa legata alla dinamica delle divagazioni fluviali del reticolo idrografico che caratterizzava la zona.

Dal punto di vista geotecnico, le caratteristiche meccaniche degli strati di terreno più superficiali sono state studiate nel corso della campagna geognostica (sondaggi geognostici e prove penetrometriche statiche spinti fino a 10 m di profondità rispetto al piano campagna locale) effettuata nel sito interessato dall'impianto fotovoltaico.

Per gli ambiti di trasformazione appartenenti a strutture insediative attraversate o lambite da paleoalvei, la sequenza lito-stratigrafica rappresentativa della matrice è stata definita, a favore di sicurezza, escludendo gli elevati valori di resistenza registrati dalle prove localizzate all'interno del paleoalveo, in quanto poco rappresentativi del comportamento dell'intera area.

Di seguito, vengono descritti i termini litologici affioranti nell'area in esame.

	IMPIANTO FOTOVOLTAICO A TERRA (AGRIVOLTAICO) COLLEGATO ALLA RTN POTENZA NOMINALE 13,79 MWp POTENZA DI IMMISSIONE AC 12,4 MW Comune di Bondeno (FE)	Rev.	0
	21-00008-IT-BONDENO_RS-R05 RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA	Pag.	13 di 59

4.2 CARATTERISTICHE LITOLOGICHE E STRATIGRAFIA NELL'AREA DI PROGETTO

In un intorno significativo rispetto all'area interessata dall'impianto fotovoltaico in oggetto è stato eseguito un rilievo geologico di superficie finalizzato alla individuazione dei caratteri litologici, geomorfologici e strutturali dei terreni presenti, supportato dalle indagini geognostiche effettuate nell'area in esame. I dati ricavati dai sondaggi effettuati unitamente ai dati bibliografici esistenti hanno consentito, di redigere una Carta Geologica in scala 1: 25.000 (di seguito riportata) comprendente sia l'area interessata dall'impianto di fotovoltaico sia le aree attraversate dalla linea AT di collegamento dell'impianto alla SE TERNA BONDENO (FE) e di definire i rapporti stratigrafico-strutturali intercorrenti tra le diverse formazioni affioranti.

Il rilevamento geologico di superficie, esteso ad un'area di circa 18 ettari, interessata dalle opere dell'impianto, cartografati alla scala 1/10.000, e l'elaborazione dei risultati scaturiti dalle indagini geognostiche effettuate sui luoghi di intervento ha portato al riconoscimento nell'area studiata, delle seguenti unità litostratigrafiche: di seguito si descrivono le caratteristiche litologiche, giaciture, strutturali e mineralogiche delle unità lito-geologiche rilevate in ciascuna sotto area, descritte dal livello litologico di copertura verso il basso, rappresentati nella colonna litostratigrafica di seguito allegata:

- *Depositi di copertura eluviale/colluviale terrosa*

In superficie è presente, con spessori modesti, una copertura di alterazione di aspetto terroso di origine agraria e/o detritico eluviale costituita da materiali a grana medio fina di natura limo sabbioso e argilla limosa. Lo spessore di questo strato di copertura, nell'intera area in esame, varia dell'ordine di 1,60- 1,80 m da p.c. presenta una consistenza media per fenomeni di essiccamento, tipico degli strati superficiali, con variazioni volumetriche a ciclo stagionale.

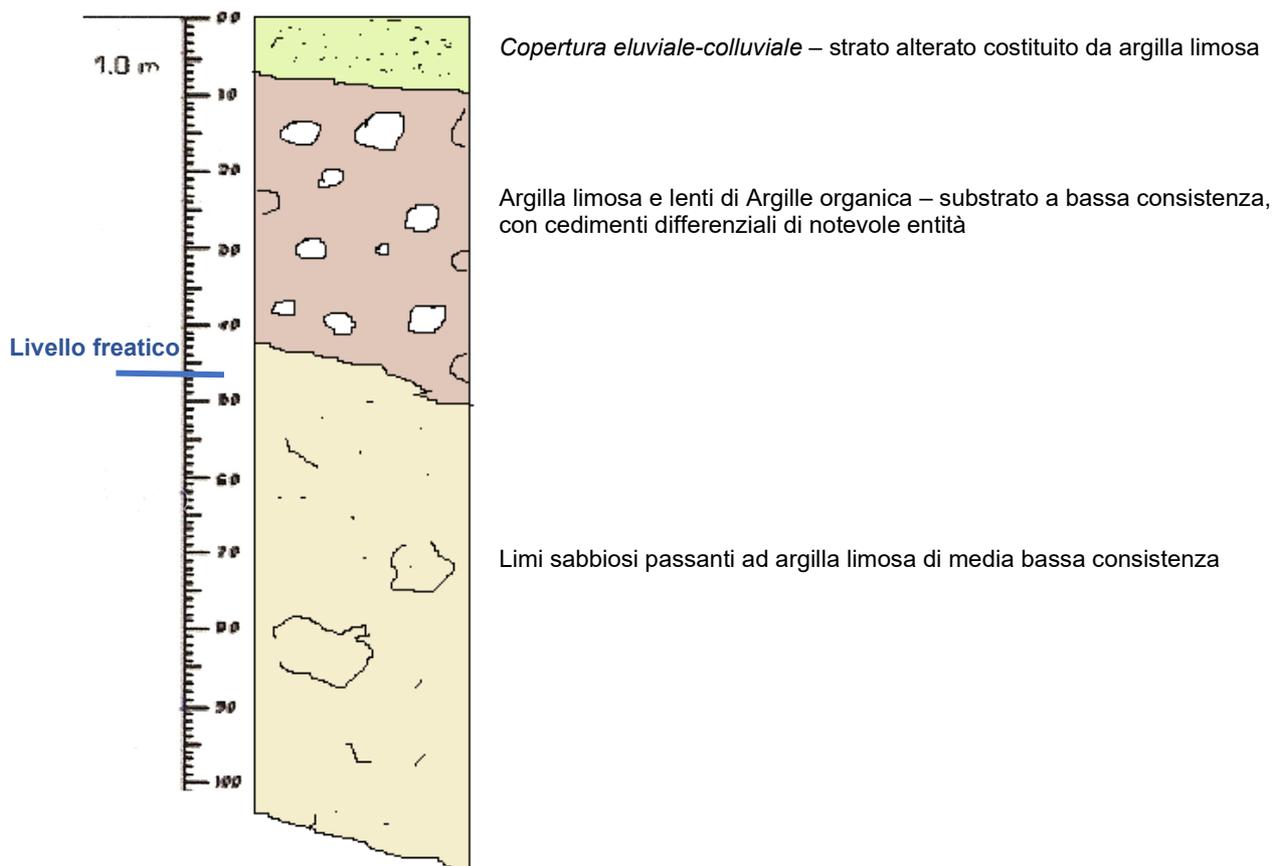
- *Alluvioni fluviali e lacustri (Pleistocene- Olocene)*

Sono costituiti da argille limose, limi argillosi laminati, argille organiche, con frequenti intercalazioni torbose. Si fa presente la criticità geotecnica che sorge su questi ambienti morfologico deposizionali di bacino inter-fluviale, su cui ci ritroviamo, (Ambiente di tipo 2) riguardante la presenza diffusa di lenti di torba e/o di materiale organico rilevato nell'aria in esame, dello spessore di circa 5 metri entro i primi 10 m di profondità da piano campagna, che producono cedimenti totali e differenziali di notevole entità e cedimenti di consolidazione molto differiti nel tempo.

	IMPIANTO FOTOVOLTAICO A TERRA (AGRIVOLTAICO) COLLEGATO ALLA RTN POTENZA NOMINALE 13,79 MWp POTENZA DI IMMISSIONE AC 12,4 MW Comune di Bondeno (FE)	Rev.	0
	21-00008-IT-BONDENO_RS-R05 RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA	Pag.	14 di 59

COLONNA LITOSTRATIGRAFICA

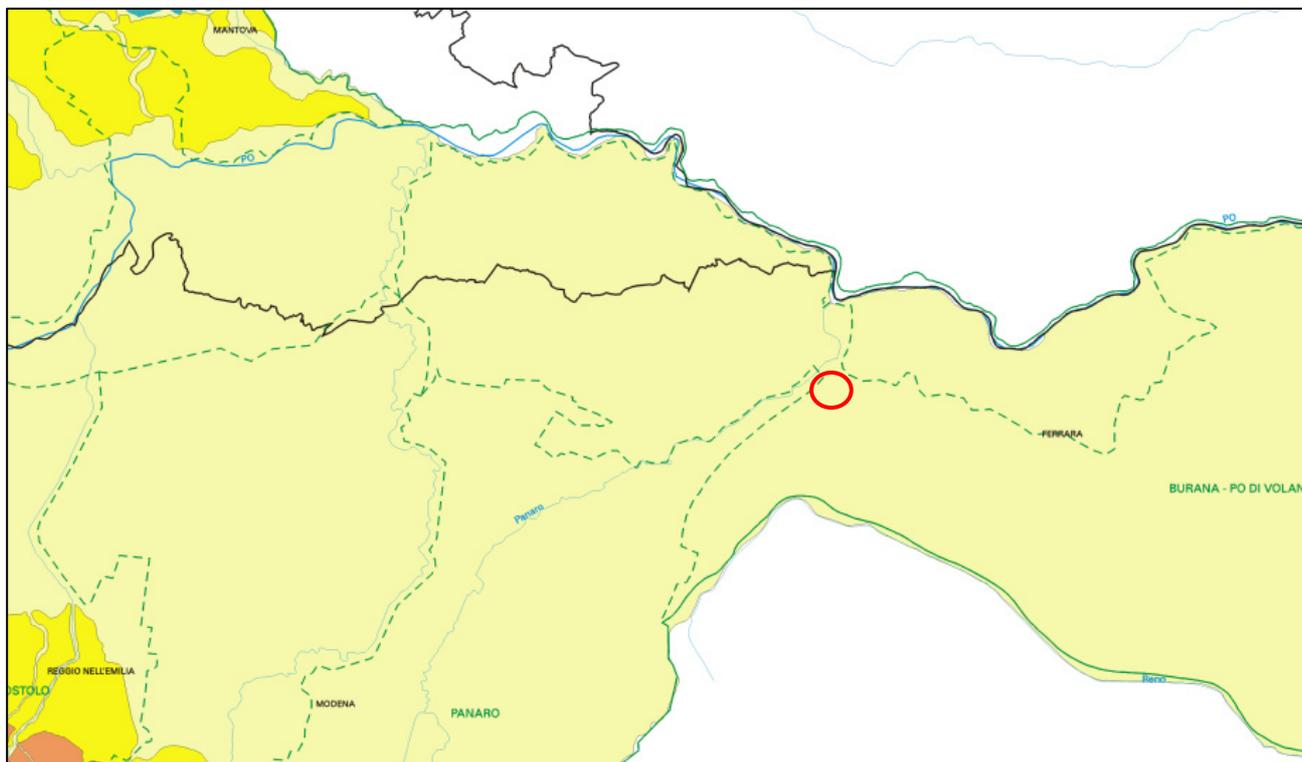
- Scala 1:100 -



	IMPIANTO FOTOVOLTAICO A TERRA (AGRIVOLTAICO) COLLEGATO ALLA RTN POTENZA NOMINALE 13,79 MWp POTENZA DI IMMISSIONE AC 12,4 MW Comune di Bondeno (FE)	Rev.	0
	21-00008-IT-BONDENO_RS-R05 RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA	Pag.	15 di 59

STRALCIO CARTA GEOLITOLOGICA

(Rilievo effettuato a scala 1:25.000)



LEGENDA:

- ROCCE TENERE PREVALENTEMENTE INCOERENTI
marne, argilliti, arenarie e conglomerati poco cementati, ecc. (RTE)
- ALTERNANZA DI LITOTIPI ETEROGENEI A DIVERSO COMPORTAMENTO MECCANICO
calcari/marne, arenarie/argilliti, ecc. (ADM)
- COMPLESSI STRUTTURALI CAOTICI E TETTONIZZATI
argille scagliose, cataclasiti, ecc. (CSC)
- DEPOSITI DERIVANTI DALL'ALTERAZIONE DI ROCCE E TERRENI
sabbioni, limi, argille, lateriti, ecc. (DCG)
- DEPOSITI GLACIALI E FLUVIOGLACIALI
coltri e cordoni morenici, ecc. (DGL)
- DEPOSITI ETEROGENEI E DI VERSANTE E DI TRASPORTO TORRENTIZIO
detriti di falda, accumoli di frana, conoidi, ecc. (DEV)
- TERRENI A COMPORTAMENTO PLASTICO
limi, argille, ecc. (TCP)
- TERRENI AD ABBONDANTE COMPONENTE ORGANICA
torbe (TCO)
- ALLUVIONI FLUVIALI E LACUSTRI FIANCHEGGIANTI I PRINCIPALI CORSI D'ACQUA
ghiaie, sabbie e limi (AFL)
- GHIACCIAI E VEDRETTE
- Idrografia principale
- Fiume PO
- Limite dei bacini idrografici principali
- Limite del bacino idrografico del Po
- Limite regionale
- Laghi



Area interessata dall'impianto fotovoltaico

	IMPIANTO FOTOVOLTAICO A TERRA (AGRIVOLTAICO) COLLEGATO ALLA RTN POTENZA NOMINALE 13,79 MWp POTENZA DI IMMISSIONE AC 12,4 MW Comune di Bondeno (FE)	Rev.	0
	21-00008-IT-BONDENO_RS-R05 RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA	Pag.	16 di 59

5 ELEMENTI GEOMORFOLOGICI E IDROGRAFIA SUPERFICIALE

L'area in studio situata all'interno del sottobacino idrografico del Delta del Po. (Fig. 6.1)

I terreni in studio interessati dall'impinto fotovoltaico presentano un paesaggio con immense distese pianeggianti tipico di ambiente deposizionale di bacino inter-fluviale costituita da depositi a tessitura fine come argille e limi più o meno argillosi talora di natura organica/torbosa tipici degli ambienti deposizionali a bassa energia che caratterizzano le aree interfluviali della pianura in esame.

Le caratteristiche di elevata erodibilità dei terreni, prevalentemente argillosi o argilloso-sabbiosi, spesso se alterati e degradati, unitamente ad altri fattori, quali l'acclività e l'azione degli agenti esogeni, contribuiscono allo stato di erosione diffusa, esponendo i terreni ad una azione di degradazione fisica e denudamento superficiale, laddove è scarsa la vegetazione.

L'area oggetto d'intervento progettuale rientra in una area a morfologia pianeggiante, ad una quota altimetrica media di circa 9 mt s.l.m.

Il rilievo geomorfologico dettagliato alle sole aree interessate dall'impianto fotovoltaico evidenzia aree caratterizzate da ampie zone a morfologia pianeggiante ad andamento regolare interrotte da canali e fossi di irrigazione, all'interno delle quali non si riscontrano fenomenologie particolari. Quindi attualmente l'area in studio, da un rilevamento geomorfologico di superficie, non risulta interessata da evidenti processi morfogenetici in atto, tali da comprometterne la stabilità.

	IMPIANTO FOTOVOLTAICO A TERRA (AGRIVOLTAICO) COLLEGATO ALLA RTN POTENZA NOMINALE 13,79 MWp POTENZA DI IMMISSIONE AC 12,4 MW Comune di Bondeno (FE)	Rev.	0
	21-00008-IT-BONDENO_RS-R05 RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA	Pag.	17 di 59

6 CONSIDERAZIONI IDROGEOLOGICHE - AMBIENTALI

L'area in esame dal punto di vista idrografico rientra nella porzione settentrionale del sottobacino idrografico del Delta del Po. (Fig. 6.1)

In epoca olocenica e storica l'area oggetto di studio era interessata da una fitta rete idrografica i cui corsi d'acqua erano liberi di espandere le proprie acque di piena nelle zone circostanti: nelle sponde naturali dell'alveo e nelle aree immediatamente circostanti (aree di più alta energia idrodinamica) erano depositati i materiali più grossolani trasportati in sospensione, mentre i sedimenti più fini si distribuivano lontano, nelle aree situate tra un alveo e l'altro (acque di esondazione caratterizzate da bassa energia di trasporto).

Nel sottosuolo si rinvengono alternanze di strati sabbiosi, talora ghiaiosi, permeabili con strati limoso – argillosi poco permeabili o impermeabili variamente ondulati.

Prendendo in considerazione la natura geo-litologica dei terreni affioranti, pur tenendo conto dell'estrema variabilità che la permeabilità può presentare anche all'interno di una stessa unità litologica, si è cercato di definire tale parametro per le formazioni affioranti nell'area in studio. A tal fine il complesso idrogeologico affiorante nell'area in esame in base al tipo e al grado di permeabilità che possiede rientra nella classe dei "*Terreni poco permeabili o impermeabili*" caratterizzata da terreni essenzialmente plastici appartenenti alla facies pelitica-arenacea, costituita da argille sabbiose-siltose, ricoperte da argille torbiditiche, *presenta caratteristiche di bassa permeabilità con un coefficiente di permeabilità K valutabile tra 10^{-4} e 10^{-7} cm/s.*

Nel dettaglio possiamo caratterizzare la permeabilità dei terreni interessati dalle fondazioni dell'impianto di generazione elettrica da realizzare in:

Un primo livello più superficiale di copertura, di spessore circa 1,80 m (riporto pedogenizzato e Formazione eluviale rimaneggiata), *a permeabilità medio-bassa con K valutabile 10^{-2} - 10^{-4}* ; esso è granulometricamente ascrivibile nel campo delle sabbie argillose con ghiaie.

Il secondo livello stratigrafico più profondo presenta una *permeabilità molto variabile da bassa a molto bassa con K valutabile 10^{-4} e 10^{-7}* ; Granulometricamente il range di quest'ultimo varia dalle sabbie fini alle siltiti.

Al momento delle prove il livello statico della prima falda acquifera è stato registrato alla profondità di - 4,60 m dal piano campagna.

L'intervento progettato verrà realizzato il più possibile in funzione della salvaguardia, della qualità e della tutela dell'ambiente mantenendo se non migliorando gli equilibri idro-geomorfologici attuali.

Sicurezza da alluvionamento

Il livello dell'acqua nel Po di Volano è mantenuto costante nel tempo, con variazioni fra quota +4,60 m. s.l.m. e +4,90 m. s.l.m., con massimi ammessi per eventi straordinari di + 5,25 m. s.l.m.

Questo garantisce la sicurezza dell'area da alluvionamento avendo l'area naturalmente quote intorno ai 9-10 metri.

	IMPIANTO FOTOVOLTAICO A TERRA (AGRIVOLTAICO) COLLEGATO ALLA RTN POTENZA NOMINALE 13,79 MWp POTENZA DI IMMISSIONE AC 12,4 MW Comune di Bondeno (FE)	Rev.	0
	21-00008-IT-BONDENO_RS-R05 RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA	Pag.	18 di 59

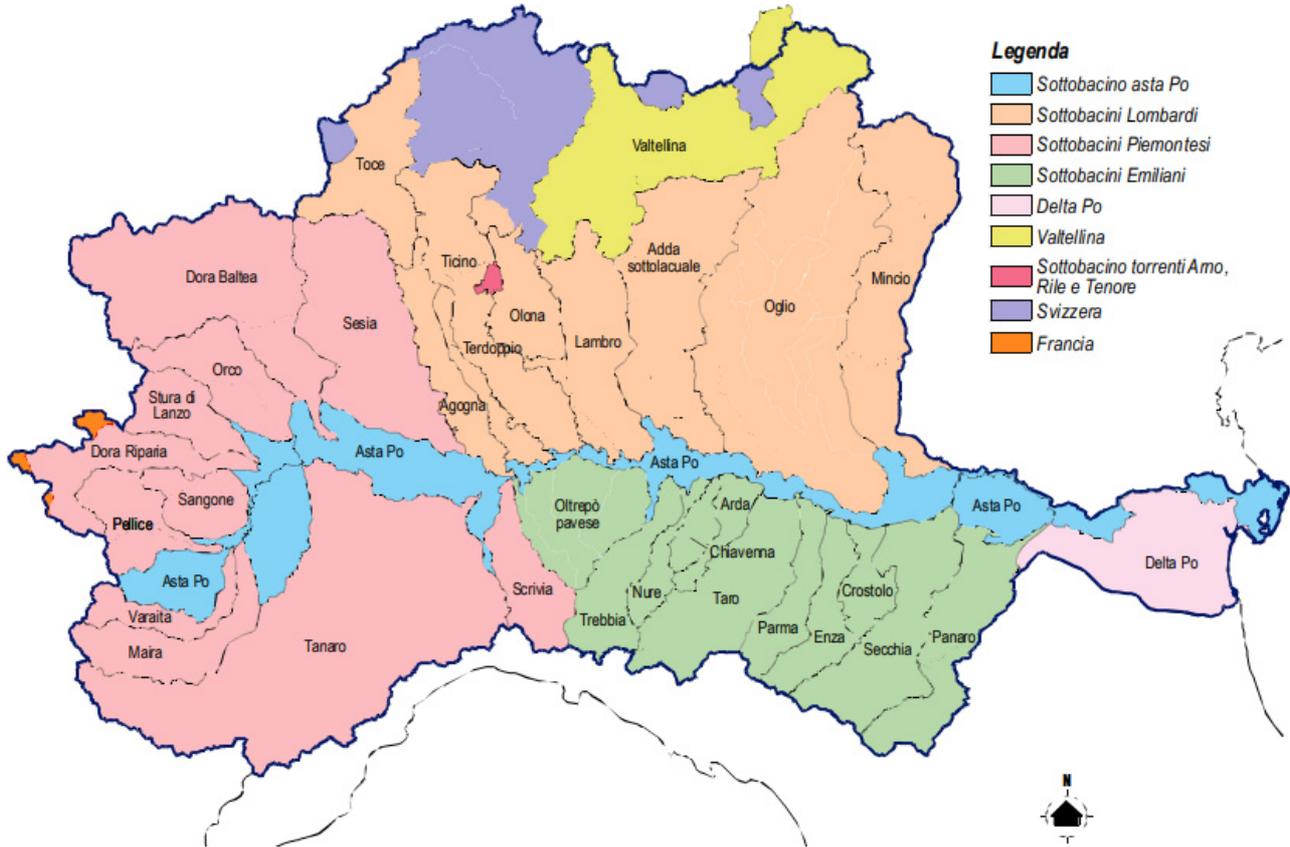


Figura 6.1 – Delimitazione dei principali sottobacini Idrografici del bacino del Fiume Po.

	IMPIANTO FOTOVOLTAICO A TERRA (AGRIVOLTAICO) COLLEGATO ALLA RTN POTENZA NOMINALE 13,79 MWp POTENZA DI IMMISSIONE AC 12,4 MW Comune di Bondeno (FE)	Rev.	0
	21-00008-IT-BONDENO_RS-R05 RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA	Pag.	19 di 59

7 CARTA DEI DISSESTI E PERICOLOSITÀ IDRAULICA- REGIME VINCOLISTICO

Il Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico, di seguito denominato Piano Stralcio o Piano o P.A.I., redatto ai sensi dell'art. 17, comma 6 ter, della L. 183/89, dell'art. 1, comma 1, del D.L. 180/98, convertito con modificazioni dalla L. 267/98, e dall'art. 1 bis del D.L. 279/2000, convertito con modificazioni dalla L. 365/2000, ha valore di Piano Territoriale di Settore ed è lo strumento conoscitivo, normativo e tecnico-operativo mediante il quale sono pianificate e programmate le azioni, gli interventi e le norme d'uso riguardanti la difesa dal rischio idrogeologico del territorio emiliano.

Con il P.A.I. viene così effettuata la perimetrazione delle aree a pericolosità e a rischio, in particolare, dove la vulnerabilità si connette a gravi pericoli per le persone, le strutture ed infrastrutture ed il patrimonio ambientale e vengono altresì definite le norme di salvaguardia.

Tutto ciò al fine di pervenire ad una puntuale definizione dei livelli di rischio e fornire criteri e indirizzi indispensabili per l'adozione di norme di prevenzione e per la realizzazione di interventi volti a mitigare od eliminare il rischio. Il Piano è suscettibile di aggiornamento a seguito di variazioni succedutesi nel tempo o a nuovi studi che dimostrino un diverso assetto del territorio, così come indicato nelle Norme di Attuazione.

L'area in esame appartenente al territorio comunale di Bondeno rientra nell'area territoriale del sottobacino idrografico del Delta del Po. (Fig. 6.1)

Dalle carte riprodotte in tale studio e relativamente alla *Carta del Rischio Idraulico e Idrogeologico e dei Dissesti, tavola n° 6 - III del P.A.I. "Piano Straordinario per l'Assetto Idrogeologico"* in cui ricadono tutti i terreni in esame, interessati dalle opere dell'impianto fotovoltaico, si osserva una morfologia tipicamente pianeggiante all'interno delle quali non si riscontrano fenomenologie particolari, risulta essere mappata all'interno di un'area a rischio idraulico R1 moderato così come riportato dai rilievi effettuati dal vigente P.A.I. (Piano per l'Assetto Idrogeologico) della Regione Emiliana, di seguito riportata.

Nelle Figura 7.1 si evidenzia che l'area in oggetto non è soggetta a vincolo idrogeologico.

Il "Piano Stralcio delle Fasce Fluviali" (PSFF) del bacino del Fiume Po (PAI), approvato con D.P.C.M. 24 maggio 2001 e modificato da successive Varianti, delimita tre fasce fluviali; Fascia di deflusso della piena (Fascia A), Fascia di esondazione (Fascia B) e Area di inondazione per piena catastrofica (Fascia C), quest'ultima costituita dalla porzione di territorio esterna alla Fascia B, che può essere interessata da inondazione al verificarsi di eventi di piena più gravosi. Nella Tav. 3 del P.A.I. a pag. 23 si evidenzia che l'area interessata dall'impianto fotovoltaico si trova sul limite esterno della fascia fluviale C del bacino del fiume Po (vedi Fig. 7.2: Schema esplicativo per la definizione delle fasce fluviali)

L'intera area oggetto d'intervento è esclusa da zone soggette a vincolo paesaggistico.

L'area in esame è soggetta a Vincolo sismico ai sensi della Legge n. 64 del 2/02/1974; Oltre a quanto descritto ai punti precedenti, sull'area non gravano altri vincoli di natura storico architettonica, idrogeologica, o altri vincoli previsti da leggi.

Sicurezza da alluvionamento

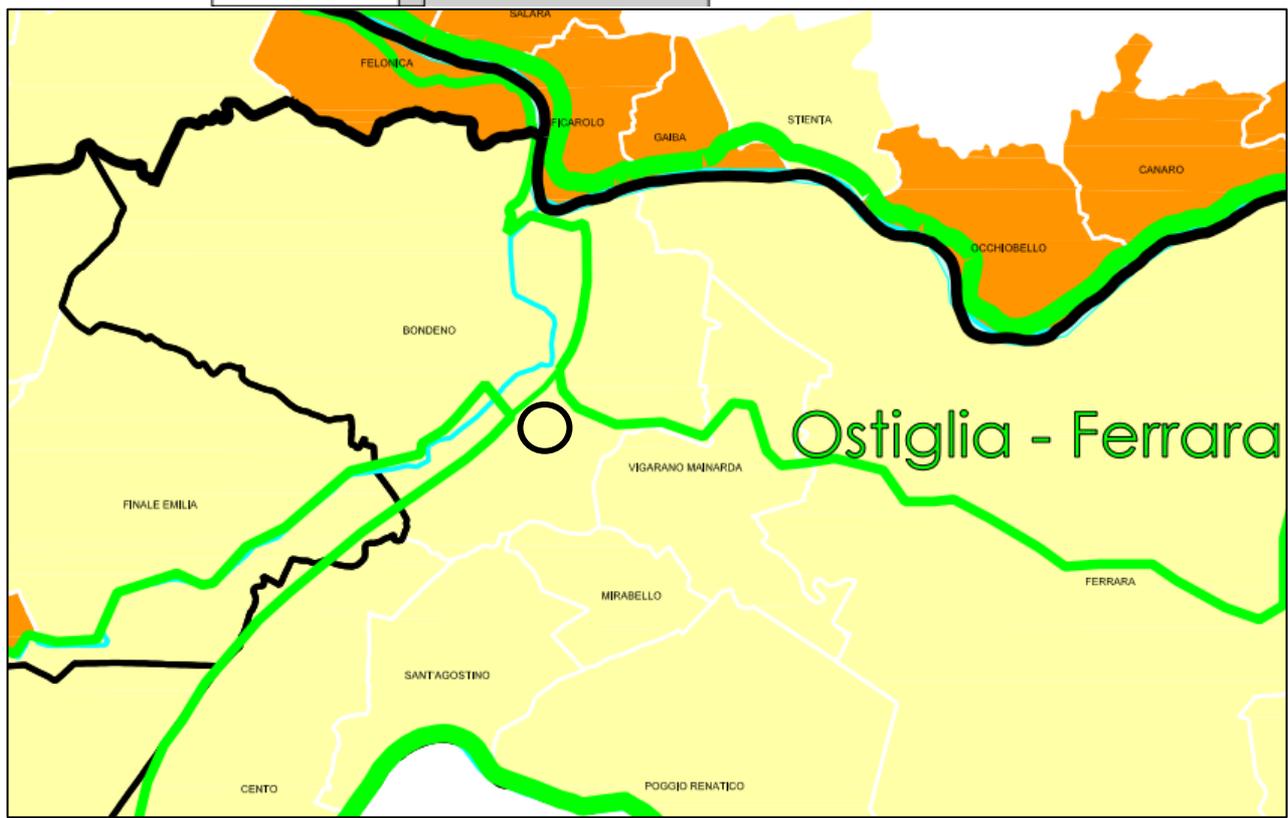
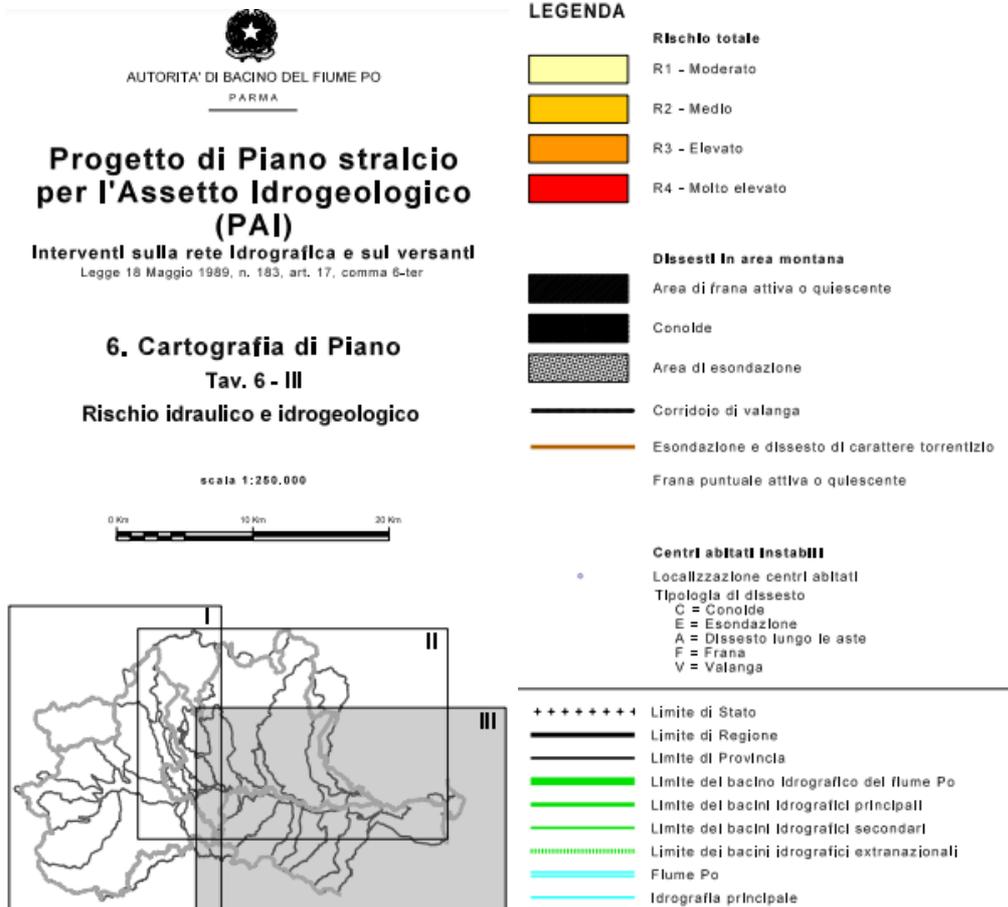
Il livello dell'acqua nel Po di Volano è mantenuto costante nel tempo, con variazioni fra quota +4,60 m. s.l.m. e +4,90 m. s.l.m., con massimi ammessi per eventi straordinari di + 5,25 m. s.l.m.

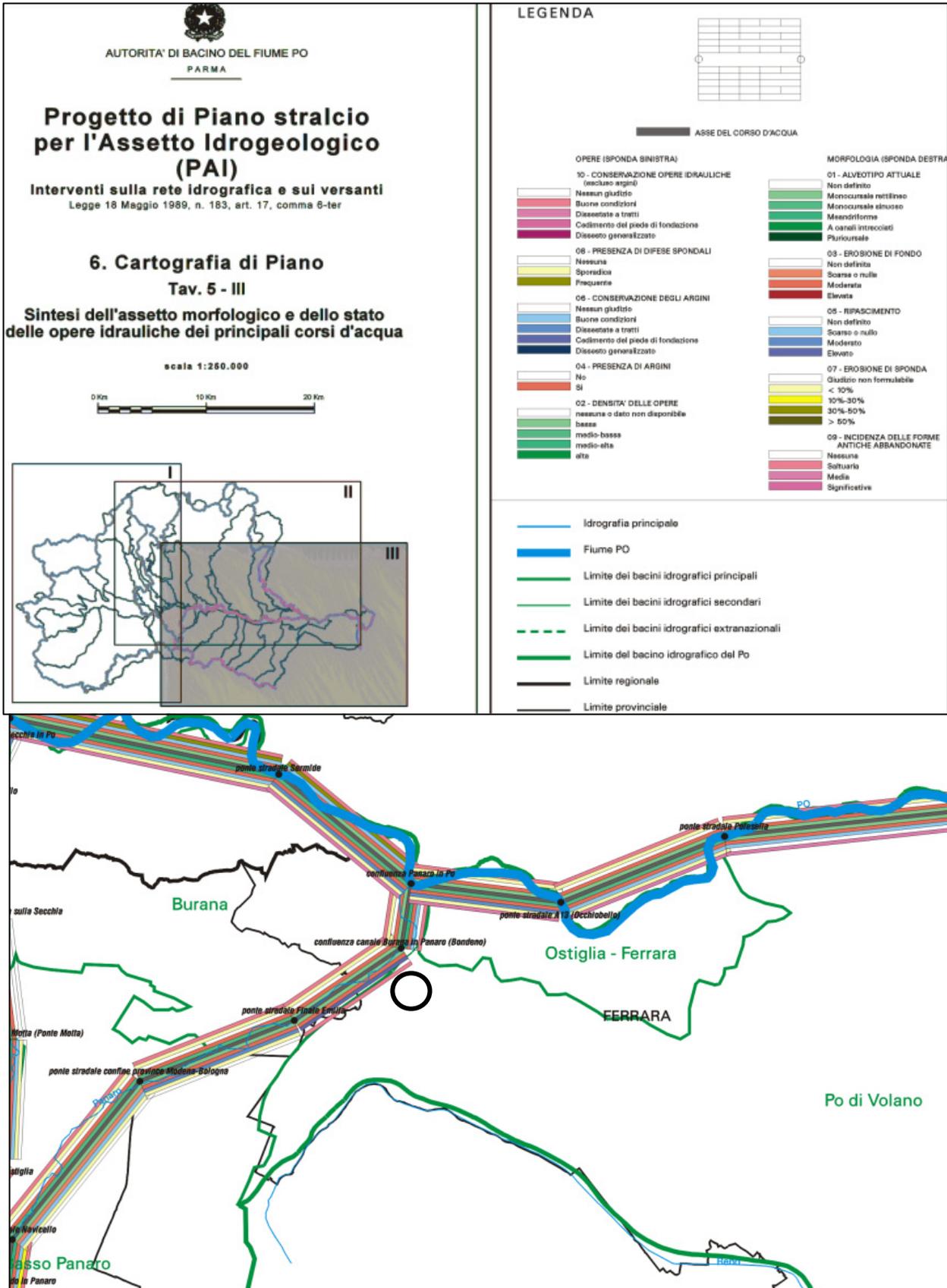
Questo garantisce la sicurezza dell'area da alluvionamento avendo l'area naturalmente quote intorno ai 9-10 metri.

	IMPIANTO FOTOVOLTAICO A TERRA (AGRIVOLTAICO) COLLEGATO ALLA RTN POTENZA NOMINALE 13,79 MWp POTENZA DI IMMISSIONE AC 12,4 MW Comune di Bondeno (FE)	Rev.	0
	21-00008-IT-BONDENO_RS-R05 RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA	Pag.	20 di 59



Figura 7.1: Inquadramento vincolistico







AUTORITA' DI BACINO DEL FIUME PO
PARMA

Progetto di Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI)

Interventi sulla rete idrografica e sui versanti
Legge 18 Maggio 1989, n. 183, art. 17, comma 6-ter

6. Cartografia di Piano

Tav. 3

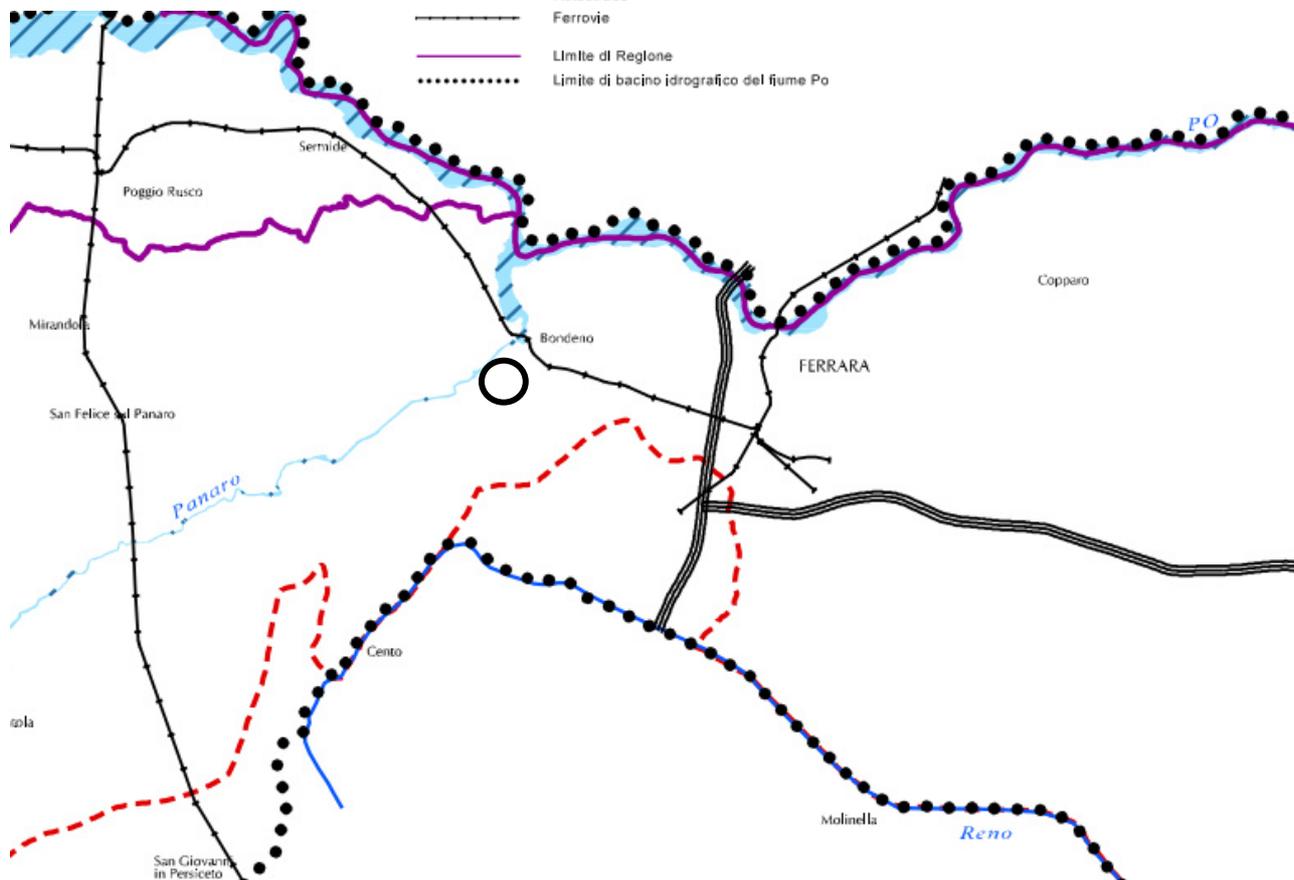
Corsi d'acqua interessati dalle fasce fluviali

scala 1:500.000



LEGENDA

-  Fascia A e Fascia B delimitate nel Piano Stralcio delle Fasce Fluviali - PSFF
-  Fascia C delimitata nel Piano Stralcio delle Fasce Fluviali - PSFF
-  Fascia A e Fascia B delimitate nel Progetto di Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico - PAI
-  Fascia C delimitata nel Progetto di Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico - PAI
-  Centri urbani principali e secondari
-  Autostrade
-  Ferrovie
-  Limite di Regione
-  Limite di bacino idrografico del fiume Po



	IMPIANTO FOTOVOLTAICO A TERRA (AGRIVOLTAICO) COLLEGATO ALLA RTN POTENZA NOMINALE 13,79 MWp POTENZA DI IMMISSIONE AC 12,4 MW Comune di Bondeno (FE)	Rev.	0
	21-00008-IT-BONDENO_RS-R05 RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA	Pag.	25 di 59

8 OPERE DI REGIMAZIONE IDRAULICA

La durata dell'area di impianto e dell'impianto stesso dal punto di vista strutturale è garantita da un efficace sistema idraulico di allontanamento e drenaggio delle acque meteoriche.

Nell'area in esame verranno realizzati degli interventi che avranno due differenti linee di obiettivi:

1. mantenimento delle condizioni di "equilibrio idrogeologico" preesistenti (ante realizzazione del parco fotovoltaico denominato "BONDENO PV");
2. regimazione e controllo delle acque che defluiscono lungo la viabilità del parco fotovoltaico, attraverso la realizzazione di una adeguata rete drenante, volta a proteggere le opere civili presenti nell'area. Le acque defluenti dall'area di impianto verranno raccolte ed allontanate dalle opere idrauliche in progetto, che consistono principalmente in una risagomatura della superficie topografica e nella realizzazione di una rete di canalette in terra a cielo aperto per l'allontanamento rapido delle acque piovane, ed altre opere accessorie di natura idraulica che verranno realizzate in contropendenza per convogliare l'acqua di prima pioggia da un lato all'altro dell'impianto e convogliate lungo gli impluvi naturali presenti nell'area di progetto.

8.1 SISTEMA DI DRENAGGIO SUPERFICIALE DELL'AREA DI INTERVENTO

Il tracciato delle opere di regimazione è stato suggerito a partire dal layout dell'impianto fotovoltaico e dal modello tridimensionale del suolo, individuando le vie preferenziali di deflusso, gli impluvi (ed i solchi di erosione) interferenti con le opere in progetto nonché le caratteristiche plano-altimetriche delle aree di impianto.

Al fine di favorire il deflusso delle acque meteoriche e di ruscellamento superficiale è prevista una rete di allontanamento delle stesse, in leggera contropendenza, costituita da canalette drenanti in terra a cielo aperto scavate nel terreno naturale e rinverdite con recapito lungo gli impluvi naturali presenti nell'area di progetto. Le canalette saranno realizzate in scavo con una sezione di forma trapezio di larghezza e profondità variabile in funzione della portata di progetto e sponde inclinate di 26° .

In corrispondenza delle intersezioni con la viabilità si sono previsti dei tratti interrati composti da scatolati in c.a. carrabili o da tubazioni in HDPE carrabili.

Lo scopo delle canalette e dei condotti interrati è quello di permettere il deflusso e l'allontanamento delle acque meteoriche dall'intera superficie interessata dall'impianto di fotovoltaico. In dettaglio nei terreni in esame è presente già una rete di fossi irrigui collegati a un capofosso questi stessi possono essere utilizzati come fossi drenanti per l'allontanamento delle acque piovane.

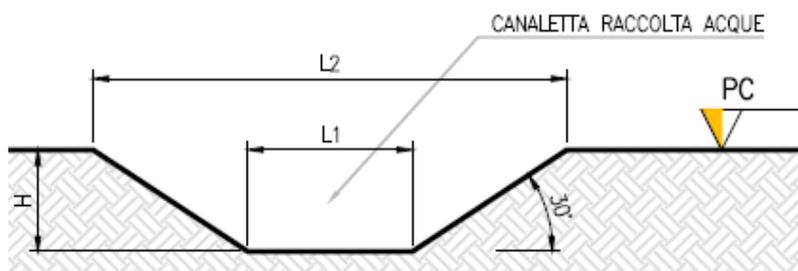


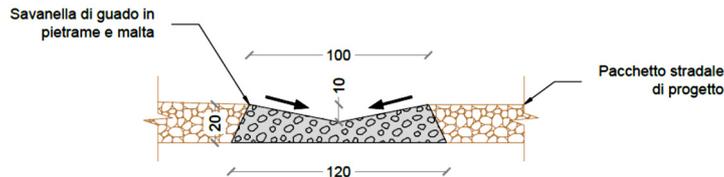
Figura 9.2 - Sezione "Tipo" canaletta di drenaggio realizzata in scavo

Gli scarichi della rete di drenaggio convergeranno ai ricettori esistenti.

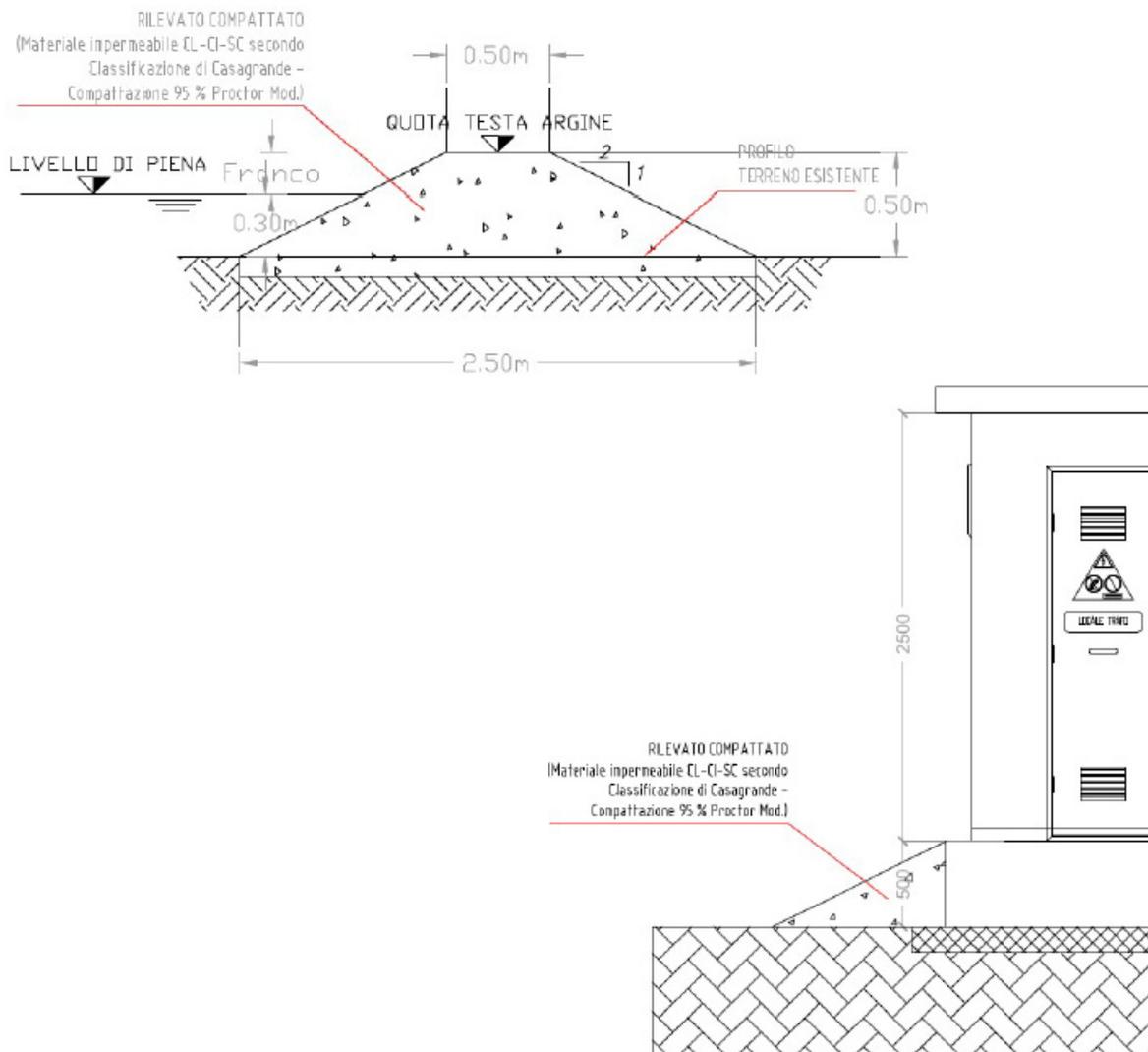
	IMPIANTO FOTOVOLTAICO A TERRA (AGRIVOLTAICO) COLLEGATO ALLA RTN POTENZA NOMINALE 13,79 MWp POTENZA DI IMMISSIONE AC 12,4 MW Comune di Bondeno (FE)	Rev.	0
	21-00008-IT-BONDENO_RS-R05 RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA	Pag.	26 di 59

In fase esecutiva, qualora ritenute necessarie, potranno realizzarsi opere di protezione stradale del tipo sottoelencato:

- **Savanelle di guado in pietrame e malta** per un attraversamento “a raso” della viabilità di progetto.



Nel caso in esame, in funzione della presenza antropica, l'impianto presenta un rischio idraulico moderato R1, dove corrisponde un battente idraulico inferiore a 30 cm. Questo permette di osservare che qualora si verificasse l'inondazione il battente d'acqua risulterà inferiore a 30 cm. Quindi al fine di evitare che poco probabili fenomeni di esondazione, nel corso dell'esistenza del manufatto, possano non garantire il perfetto funzionamento dello stesso, si consiglia che i pannelli nella parte più prossima al terreno siano discosti 50 cm e inoltre la realizzazione di un argine di altezza pari a 50cm, in un rilevato posto alla base delle cabine.



	IMPIANTO FOTOVOLTAICO A TERRA (AGRIVOLTAICO) COLLEGATO ALLA RTN POTENZA NOMINALE 13,79 MWp POTENZA DI IMMISSIONE AC 12,4 MW Comune di Bondeno (FE)	Rev.	0
	21-00008-IT-BONDENO_RS-R05 RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA	Pag.	27 di 59

9 CONSIDERAZIONI IDRO-GEOMORFOLOGICHE E REGIME VINCOLISTICO RILEVATE SULLE AREE ATTRAVERSATE DALLE OPERE DI CONNESSIONE – LINEA AT

L'opera in progetto prevede la realizzazione di un impianto per la produzione di energia elettrica da fonte solare fotovoltaica installato a terra della potenza di 15,13 MWp. La tecnologia impiantistica prevede l'installazione di moduli fotovoltaici bifacciali su strutture mobili sospese (tracker) di tipo mono-assiale ancorate a terra mediante opere infrastrutturali e di fondazione che il progettista riterrà più idonee in base alle caratteristiche geomeccaniche e sismiche del sottosuolo indagato, esposte in questa relazione.

L'impianto fotovoltaico sarà tecnicamente connesso in parallelo alla RTN nel rispetto delle norme CEI e delle condizioni di TERNA S.p.A. L'ipotesi di connessione prevede il collegamento dell'impianto alla SE TERNA BONDENO. La lunghezza della linea di connessione individuata dall'impianto FV alla SE BONDENO è di circa 5,5 km con tracciato prevalentemente su strada pubblica. (Fig. 2.1)

L'area catastale di progetto, di potenza nominale di 13,79 MWp, risulta essere pari a ca. 18,29 ha di cui ca. 15,70 ha tutti recintati, verranno utilizzati per l'installazione dei moduli fotovoltaici nonché delle Power Station (o cabine di campo) che avranno la funzione di elevare la tensione da bassa (BT) a media (MT). Le aree, saranno connesse mediante cavo interrato MT e mediante una cabina di consegna MT, collocata all'interno dell'Area 1, uscirà un unico cavo MT a 30 kV che si estenderà lungo la viabilità pubblica fino a raggiungere la stazione di utenza che eleverà la tensione da 30 kV a 150 kV per poi interconnettersi mediante cavo AT alla "SE TERNA BONDENO". Tutti i cavi di connessione saranno interrati e l'insieme del cavo MT e AT avrà un'estensione totale di oltre 5,5 km.

Dalla consultazione sugli elaborati geomorfologici P.A.I. (Piano per l'Assetto Idrogeologico) della Regione Emilia-Romagna, sul sito di riferimento, Vedi: *Carta del Rischio Idraulico e Idrogeologico e dei Dissesti, tavola n° 6 - III del P.A.I. "Piano Straordinario per l'Assetto Idrogeologico"* in cui ricadono tutti i terreni in esame, interessati dalle opere dell'impianto fotovoltaico compreso l'intero percorso della linea di connessione, si osserva una morfologia tipicamente pianeggiante all'interno delle quali non si riscontrano fenomenologie particolari, risulta essere mappata all'interno di un'area a rischio idraulico R1 moderato così come riportato dai rilievi effettuati dal vigente P.A.I. (Piano per l'Assetto Idrogeologico) della Regione Emiliana, di seguito riportata.

Sicurezza da alluvionamento

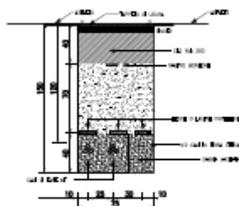
Il livello dell'acqua nel Po di Volano è mantenuto costante nel tempo, con variazioni fra quota +4,60 m. s.l.m. e +4,90 m. s.l.m., con massimi ammessi per eventi straordinari di + 5,25 m. s.l.m.

Questo garantisce la sicurezza dell'area da alluvionamento avendo l'area naturalmente quote intorno ai 9-10 metri s.l.m.

SEZIONE TIPICA VIE CAVO INTERRATO

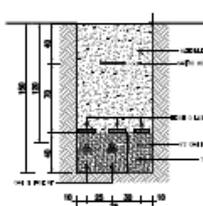
SEZIONE TIPICA VIE CAVO
SU STRADE ASFALTATE *

SEZIONE TIPO "DA"



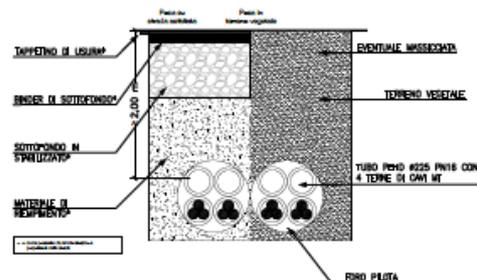
SEZIONE TIPICA VIE CAVO
SU STRADE STERRATE *

SEZIONE TIPO "D"



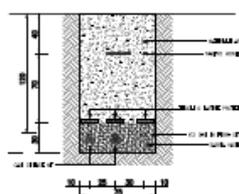
SEZIONE TIPICA PERFORAZIONE
TELEGUIDATA A TRIFOGLIO *

SEZIONE TIPO "TOC"

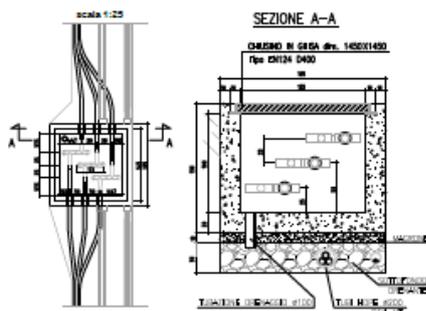


SEZIONE TIPICA VIE CAVO
SU STRADE STERRATE *

SEZIONE TIPO "B"



SEZIONE TIPICA VIE CAVO
POZZETTO SEZIONABILE



(* DISEGNI NON IN SCALA

	IMPIANTO FOTOVOLTAICO A TERRA (AGRIVOLTAICO) COLLEGATO ALLA RTN POTENZA NOMINALE 13,79 MWp POTENZA DI IMMISSIONE AC 12,4 MW Comune di Bondeno (FE)	Rev.	0
	21-00008-IT-BONDENO_RS-R05 RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA	Pag.	29 di 59

10 CARATTERIZZAZIONE GEOMECCANICA DEL TERRENO DI FONDAZIONE

I terreni, direttamente interessati dall'Impianto di fotovoltaico, sono caratterizzati da affioramenti di litotipi terrigeni composte da argille limose e limo sabbiosi provenienti da sedimenti alluvionali depositatesi in ambiente di bassa energia idrodinamica prevalentemente coesivi (come mostrano le prove CPTU svolte in situ).

Per la caratterizzazione geotecnica delle *Unità Litotecniche* riscontrate si è fatto ricorso, all'esperienza consolidata dello scrivente su morfologie e litologie analoghe ai terreni in oggetto e per avere preso visione di numerosi fronti di scavo e sezioni presenti nell'area di progetto comparati con i risultati acquisiti dalle prove penetrometriche statiche di tipo meccaniche (C.P.T) e dalle indagini di sismica passiva e geoelettrica (ERT) eseguite nell'area in studio, al fine di definire le caratteristiche litostratigrafiche e geotecniche del suolo di fondazione interessato dalle opere di progetto. Dall'elaborazione dei risultati scaturiti dalle indagini geognostiche effettuate sui luoghi e stato possibile ricostruire il profilo litostratigrafico e geotecnico del substrato (vedi colonna Litostratigrafica di seguito allegata) e quantificare le caratteristiche geo-meccaniche dei terreni attraversati suddividendoli ad intervalli a comportamento omogeneo per quanto riguarda la resistenza meccanica, per ogni intervallo vengono forniti i parametri geotecnici caratteristici ai sensi del D.M. del 17.01.2018, riferibili alla coesione, l'angolo di attrito interno ed al peso di volume, che il progettista dovrà tenere conto in sede di scelta di progetto:

- Per la successione litotecnica rilevata nell'intera "Area 1" interessata dalle fondazioni dell'impianto fotovoltaico, si possono stimare i seguenti parametri geotecnici riepilogativi, dopo avere asportato l'intera coltre superficiale di copertura alterata influenzata dalle variazioni meteorologiche stagionali dello spessore di circa 0,30 m:

Parametri geo-meccanici medi ricavate da C.P.T.

I dati riportati fanno riferimento ai valori minimi desunti dall'indagine eseguita, ridimensionati in funzione dell'indice di consistenza dei vari strati attraversati.

Profondità (m)	Modulo di deformazione drenato - E'_{ed} (Mpa)	Angolo di attrito (Φ')	Composizione geotecnica	Coesione non drenata (c_u) (K/Pa)	Peso unità di volume saturo (sat.) t/m ³
0,20 – 1,60: Materiali a grana medio-fine di natura argillo-limosa di media consistenza per fenomeni di essiccamento, tipico degli strati superficiali, con variazioni volumetriche a ciclo stagionale	4,6	0°	coesivo	86	1.90
1,60 - 4,60: Materiali a grana medio-fine di natura argillo-organica a bassa consistenza	3,0	0°	coesivo	28	1.80
4,60 - 5,80: Materiali a grana medio-fine di natura limo – sabbioso substrato mediamente consistente	...	22°	incoerente	2.00
5,80 - 10,00: Materiali a grana medio-fine di natura argillo-limosa substrato a bassa consistenza	4,2	0°	coesivo	47	1.90

	IMPIANTO FOTOVOLTAICO A TERRA (AGRIVOLTAICO) COLLEGATO ALLA RTN POTENZA NOMINALE 13,79 MWp POTENZA DI IMMISSIONE AC 12,4 MW Comune di Bondeno (FE)	Rev.	0
	21-00008-IT-BONDENO_RS-R05 RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA	Pag.	30 di 59

- Per la successione litotecnica rilevata nell'intera "Area 2" interessata dalle fondazioni dell'impianto fotovoltaico, si possono stimare i seguenti parametri geotecnici riepilogativi, dopo avere asportato l'intera coltre superficiale di copertura alterata influenzata dalle variazioni meteorologiche stagionali dello spessore di circa 0,30 m:

Parametri geo-meccanici medi ricavate da C.P.T.

I dati riportati fanno riferimento ai valori minimi desunti dall'indagine eseguita, ridimensionati in funzione dell'indice di consistenza dei vari strati attraversati.

Profondità (m)	Modulo di deformazione drenato - E'_{ed} (Mpa)	Angolo di attrito (Φ')	Composizione geotecnica	Coesione non drenata (c_u) (K/Pa)	Peso unità di volume saturo (sat.) t/m^3
0,20 – 1,80: Materiali a grana medio-fine di natura argillo-limosa di media consistenza per fenomeni di essiccamento, tipico degli strati superficiali, con variazioni volumetriche a ciclo stagionale	4,0	0°	coesivo	103	2.00
1,80 - 6,80: Materiali a grana medio-fine di natura argillo-organica a bassa consistenza	3,0	0°	coesivo	31	1.80
6,80 - 10,00: Materiali a grana medio-fine di natura argillo – limoso substrato mediamente consistente	4,5	0°	coesivo	64,5	1.90

Vedi report prove penetrometriche dinamiche "Allegato 1", dove sono riportati le tabelle riepilogative delle prove P.CPT eseguite ed i relativi certificati¹.

¹ Allegato 1

	IMPIANTO FOTOVOLTAICO A TERRA (AGRIVOLTAICO) COLLEGATO ALLA RTN POTENZA NOMINALE 13,79 MWp POTENZA DI IMMISSIONE AC 12,4 MW Comune di Bondeno (FE)	Rev.	0
	21-00008-IT-BONDENO_RS-R05 RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA	Pag.	31 di 59

11 INDAGINI GEOFISICHE DEL SOTTOSUOLO AI FINI DALL'AZIONE SISMICA DI PROGETTO

11.1 PREMESSA

A supporto dello studio geologico, relativo all'intervento progettuale oggetto di questa Relazione sono state effettuate tre indagini geofisiche per la definizione dell'azione sismica di progetto e per analizzare il comportamento sismico del terreno di fondazione in conformità al D.M. 17.01.2018 Norme Tecniche per le Costruzioni.

Nella fattispecie sono state eseguite cinque acquisizioni sismiche, con l'impiego della tecnica di sismica passiva a stazione singola, per una finestra temporale di 20 minuti denominati - TR1 - TR2 - TR3 - TR4, la quale mette in luce le frequenze alle quali lo scuotimento del terreno viene amplificato per risonanza morfologica e stratigrafica.

L'analisi in situ, realizzata con **Tromografo** elettronico digitale TROMINO® ENGINEERING il quale, è un tipo particolare di sismometro creato per la misurazione del tremore sismico ambientale e delle frequenze di risonanza dei terreni, ha permesso attraverso le caratteristiche elastiche del terreno e le discontinuità sismiche presenti, legate alle variazioni litologiche, di determinare:

- il *rapporto spettrale H/V* (componenti orizzontali X-Y in rapporto alla verticale Z) del micro-tremore ambientale (sismica passiva) per la determinazione della frequenza fondamentale di risonanza del sottosuolo naturale e valutare la *risposta sismica del sito ed eventuali effetti di amplificazione sismica, topografica e stratigrafica locale, del moto in superficie*;
- *Profili vincolati di velocità delle onde di superficie (prossimi ad onde S)*
- *Ricostruzione del modello geologico stratigrafico, del volume di terreno interessato dalle fondazioni dell'opera soprastante*;
- *Stratigrafia del sottosuolo (e individuazione di sedimenti saturi d'acqua per, eventuale, presenza di falda freatica sotterranea che potrebbe, comportare variazioni delle caratteristiche geomeccaniche dei terreni e risposte sismiche locali diversificate es.: variazione di amplificazione del segnale sismico locale)*;
- *Discontinuità e cavità all'interno della roccia.*
- *Mappatura della profondità del bed rock con alta precisione.*
- *La velocità equivalente media ponderata delle onde di taglio "S" nei primi H m di spessore del substrato, "Vs_eq", in presenza di un vincolo ossia profondità dello strato riflettore, e la categoria di sottosuolo associata secondo quanto previsto nel D.M. 14/01/2008 relativo alle "Norme Tecniche per le Costruzioni" e Nuovi Aggiornamenti del 17/01/2018 e succ. modifiche ed integrazioni.*

Questo tipo di indagine ha lo scopo di fornire indicazioni preliminari sulla struttura del sottosuolo con costi e tempi ridotti, e solo successivamente alla luce dei risultati acquisiti, prevenire eventuali analisi di dettaglio con altre metodologie. Evitando sprechi economici per altre indagini inutili e invasivi. Inoltre, per la caratterizzazione sismica di un sito, secondo la Normativa sopra citata, la tecnica sismica passiva a stazione singola è verosimilmente quella che ha più aspetti positivi perché misura (e non "deriva" da altri N parametri) le frequenze di risonanza senza limiti di profondità nell'intervallo d'interesse geotecnico e strutturale e in modo molto rapido e non invasivo.

La restituzione dei dati, con relativa interpretazione del "profilo sismico", avvenuta attraverso il software "Grilla" è riportata in allegato alla presente. A seguito dell'analisi della prospezione sismica eseguita si riporta la classificazione della categoria di suolo di fondazione secondo quanto previsto nel D.M. 17/01/2018 relativo alle "Norme Tecniche per le Costruzioni" e il valore di picco di accelerazione al suolo del sito.

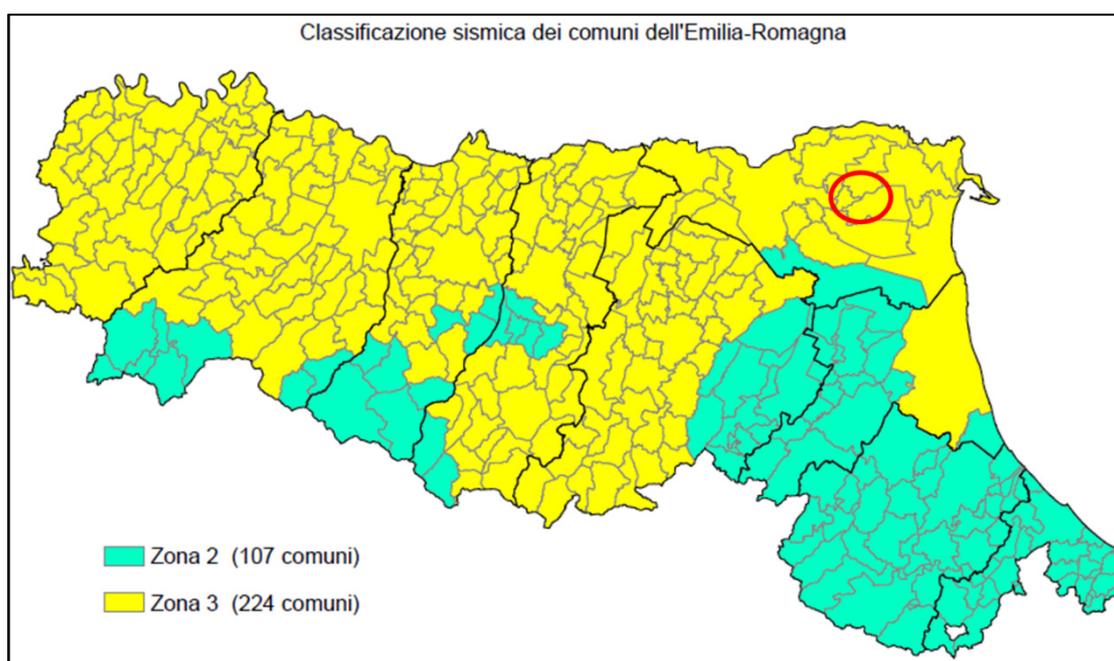
	IMPIANTO FOTOVOLTAICO A TERRA (AGRIVOLTAICO) COLLEGATO ALLA RTN POTENZA NOMINALE 13,79 MWp POTENZA DI IMMISSIONE AC 12,4 MW Comune di Bondeno (FE)	Rev.	0
	21-00008-IT-BONDENO_RS-R05 RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA	Pag.	32 di 59

11.2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO E PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE

La nuova normativa tecnica per le costruzioni in zona sismica” – costituisce la nuova legge di riferimento per la progettazione di nuovi edifici soggetti ad azioni sismiche, nonché la valutazione della sicurezza e gli interventi di adeguamento sismico su edifici esistenti soggetti al medesimo tipo di azione.

La regione Emilia-Romagna recepisce l’OPCM n. 3274/2003 attraverso la DGR N. 1435 del 2003, recentemente aggiornata dalla DGR N. 1164 del 23/07/2018, la quale tra le modifiche introdotte porta ad includere tutti i comuni della regione all’interno di due sole Zone sismiche: la 2 e la 3. Il territorio comunale di Fiscaglia, sulla base della normativa nazionale e regionale sopra menzionata è stato classificato in Zona sismica 3 (sismicità bassa).

L’appartenenza ad una delle quattro zone viene stabilita rispetto alla distribuzione sul territorio dei valori di ag_{475} con una tolleranza 0.025g, espressa in termini di accelerazione massima su suolo rigido *convenzionale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico (ag)*.



In ossequio alle direttive previste dallo stesso decreto D.M. 14 gennaio 2008 e nuovi aggiornamenti 17 gennaio 2018, sono state attenzionate le problematiche riguardanti il fattore pericolosità sismica locale, che rappresenta il primo passo per la riduzione del rischio sismico. È necessario, tenere conto delle condizioni stratigrafiche del volume di terreno interessato dall’opera ed anche delle condizioni topografiche, poiché entrambi questi fattori concorrono a modificare l’azione sismica in superficie rispetto a quella attesa su un sito rigido con superficie orizzontale. Tali modifiche, in ampiezza, durata e contenuto in frequenza, sono il risultato della risposta sismica locale.

La pericolosità sismica, intesa come la misura dello scuotimento al suolo atteso in un dato sito, è legata, oltre che alle caratteristiche sismo-tettoniche dell’area e alla propagazione delle onde ed anche alle caratteristiche geologiche locali denominata “risposta sismica locale”. Si denomina “risposta sismica locale” l’azione sismica quale emerge in “superficie” a seguito delle modifiche in ampiezza, durata e contenuto in frequenza subite trasmettendosi dal substrato rigido. È noto, infatti,

	IMPIANTO FOTOVOLTAICO A TERRA (AGRIVOLTAICO) COLLEGATO ALLA RTN POTENZA NOMINALE 13,79 MWp POTENZA DI IMMISSIONE AC 12,4 MW Comune di Bondeno (FE)	Rev.	0
	21-00008-IT-BONDENO_RS-R05 RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA	Pag.	33 di 59

che in occasione di eventi sismici di una certa rilevanza, si verificano effetti differenti connessi a particolari condizioni geologico-geomorfologiche detti effetti stratigrafici e topografici:

- **effetti stratigrafici**, legati alla successione stratigrafica, alle proprietà meccaniche dei terreni, alla geometria del contatto tra il substrato rigido e i terreni sovrastanti ed alla geometria dei contatti tra gli strati di terreno;
- **effetti topografici**, legati alla configurazione topografica del piano campagna.

La modifica delle caratteristiche del moto sismico per effetto della geometria superficiale del terreno va attribuita alla focalizzazione delle onde sismiche in prossimità della cresta dei rilievi a seguito dei fenomeni di riflessione delle onde sismiche ed all'interazione tra il campo d'onda incidente e quello rifratto. I fenomeni di amplificazione cresta-base aumentano in proporzione al rapporto tra l'altezza del rilievo e la sua larghezza. Questi effetti, producono danni anche molto diversificati su manufatti di caratteristiche strutturali analoghe, situati anche a breve distanza.

Le categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato sono definite in Tab. 3.2.II (A, B, C, D, E) della normativa vigente in materia antisismica NTC 2018. Per condizioni topografiche complesse è necessario predisporre specifiche analisi di risposta sismica locale, per configurazioni superficiali semplici si può adottare la classificazione definita in (Tab. 3.2.III – T1, T2, T3 T4) della normativa vigente in materia antisismica, vedi – Nuova Normativa Antisismica del 17/01/2018.

11.3 METODOLOGIA SISMICA ADOPERATA E STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

Le indagini geosismiche sono state realizzate avvalendosi del metodo sismico che utilizza l'acquisizione del "rumore sismico" di fondo come funzione di eccitazione. Il rumore sismico, generato dai fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento) e dall'attività antropica, è presente ovunque sulla superficie terrestre, si chiama anche *micro-tremore* poiché riguarda oscillazioni molto più piccole di quelle indotte dai terremoti nel campo prossimo all'epicentro.

I micro-tremori sono solo in parte costituiti da onde di volume, P o S. In essi giocano un ruolo fondamentale le onde superficiali, che hanno velocità prossime a quella delle onde S (vedi ad es. Lachet e Bard, 1994), il che spiega la dipendenza di tutta la formulazione dalla velocità di queste ultime. Dai primi studi di "Kanai" (1957) in poi, diversi metodi sono stati proposti per estrarre l'informazione relativa al sottosuolo dal rumore sismico registrato in un sito. Tra questi, la tecnica che si è maggiormente consolidata nell'uso è quella dei "rapporti spettrali" tra le componenti del moto orizzontale e quella verticale ("Horizontal to Vertical Spectral Ratio", HVSR o H/V), proposta da "Nogoshi e Igarashi" (1970) e resa popolare da Nakamura (1989). Tale tecnica è universalmente riconosciuta come efficace nel fornire stime affidabili della "*frequenza fondamentale di risonanza*" del sottosuolo indagato ("Field e Jacob", 1993; "Lachet e Bard", 1994; "Lermo e Chavez-Garcia", 1993, 1994; "Bard", 1998; "Ibsvon Seht e Wohlenberg", 1999; "Fah et al.", 2001; solo per citarne alcune), così come è altrettanto riconosciuto che le ampiezze di detti rapporti spettrali H/V rappresentino un indicatore dell'amplificazione "minima" attesa al sito, in caso di terremoto. In altre parole, se consideriamo un terremoto composto di onde di volume (dominanti nella prima fase - primi secondi – dell'evento) e di onde di superficie (dominanti nella seconda fase del terremoto), l'amplificazione registrata con il micro-tremore coincide con quella attesa per il treno di onde di superficie del terremoto (il cosiddetto "sciame" del terremoto) mentre può essere inferiore a quella reale nei primi secondi del terremoto. Tale tecnica si fonda, infatti, su un segnale composto per la maggior parte da onde di superficie (Rayleigh e Love che sono quelle che provocano i maggiori danni nei terremoti a causa della loro ampiezza) e sfrutta la proprietà per cui la componente spettrale verticale (Rayleigh) si annulla in corrispondenza delle auto-frequenze dell'onda di volume SH questo è il motivo per cui si osserva un massimo nella curva H/V in corrispondenza di queste frequenze.

	IMPIANTO FOTOVOLTAICO A TERRA (AGRIVOLTAICO) COLLEGATO ALLA RTN POTENZA NOMINALE 13,79 MWp POTENZA DI IMMISSIONE AC 12,4 MW Comune di Bondeno (FE)	Rev.	0
	21-00008-IT-BONDENO_RS-R05 RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA	Pag.	34 di 59

Un suolo vibra con maggiore ampiezza a specifiche frequenze, per l'appunto di risonanza, non solo quando è eccitato da un terremoto ma anche quando è eccitato da un tremore di qualsiasi origine. Questo fa sì che la misura delle auto-frequenze dei terreni sia possibile ovunque ed in modo semplice, anche in assenza di terremoti.

Le misure di "micro-tremore sismico ambientale" sono state effettuate per mezzo di un *tromografo digitale portatile progettato per l'acquisizione del rumore sismico. Lo strumento (Tromino®Engy, Micromed SpA, 10 x 7 x 14 cm per 1 kg di peso)* è dotato di: sei canali connessi a tre sensori elettrodinamici (velocimetri) ad alta risoluzione disposti secondo tre direzioni ortogonali (N-S, E-W e verticalmente), più un canale per il segnale GPS e un canale analogico con trigger esterno per l'applicazione di sismica attiva.

I dati di rumore, amplificati e digitalizzati a 24 bit equivalenti, sono stati acquisiti alla frequenza di campionamento di 128 Hz e per una finestra temporale di 20 minuti su terreno naturale, lo strumento è stato orientato in direzione Nord, le condizioni meteorologiche durante la misura: si presentava cielo sereno temperatura 29°C circa, vento 10 km/h S.E.

Lo strumento memorizza i dati in una scheda di memoria interna da 1 Gb, evitando così la presenza di qualsiasi cavo che possa introdurre rumore meccanico od elettronico.

TROMINO® ENGINEERING permette di misurare anche le vibrazioni potenzialmente dannose negli edifici e nelle strutture, analizzando il picco di velocità /o accelerazione per ogni frequenza a suolo e sui fabbricati, in quanto il *rapporto spettrale H/V* (componenti orizzontali X-Y in rapporto alla verticale Z) del micro tremore ambientale (sismica passiva) determina sia la frequenza di risonanza del terreno naturale che di quella di fabbricati e strutture, da cui derivare la presenza o meno della condizione di "doppia risonanza" indice di vulnerabilità sismica di un'opera.

Il TROMINO® ENGY in combinazione con un Sistema Trigger, comprensivo di cavo di lunghezza 50 metri, geofono con puntale verticale, frequenza propria 4.5 Hz, permette di effettuare la prova attiva di tipo ARRAY-MASW (usando un solo canale per volta) e sismica a rifrazione a piccola scala. Questa combinazione permette di effettuare un fit congiunto delle due prove, questo approccio misto di tecniche in array attiva e tecniche a stazione singola passiva si rivela ideale in quanto la prova in array fornisce il vincolo per il fit della prova H/V anche in assenza di sondaggi e la prova H/V permette di ottenere profili di sottosuolo in termini di Vs fino a profondità maggiori di quelle raggiungibili dalla sola prova in array attiva.

Una mappa bidimensionale (mappa 2-D) può essere costruita accostando e sovrapponendo più profili 1-D consecutivi ed utilizzando un contouring software.

	IMPIANTO FOTOVOLTAICO A TERRA (AGRIVOLTAICO) COLLEGATO ALLA RTN POTENZA NOMINALE 13,79 MWp POTENZA DI IMMISSIONE AC 12,4 MW Comune di Bondeno (FE)	Rev.	0
	21-00008-IT-BONDENO_RS-R05 RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA	Pag.	35 di 59

Ubicazione indagini sismiche foto aerea *Fonte: Google Earth Pro*



Acquisizioni sismiche effettuate in situ, denominate: TR1-TR2-TR3- TR4

	IMPIANTO FOTOVOLTAICO A TERRA (AGRIVOLTAICO) COLLEGATO ALLA RTN POTENZA NOMINALE 13,79 MWp POTENZA DI IMMISSIONE AC 12,4 MW Comune di Bondeno (FE)	Rev.	0
	21-00008-IT-BONDENO_RS-R05 RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA	Pag.	36 di 59

11.4 ELABORATI SISMICI

- TR1: FW BONDENO (FE)

TROMINO® Grilla
www.tromino.eu

Instrument: TEP-0200/01-12

Data format: 16 byte

Full scale [mV]: n.a.

Start recording: 08/07/22 09:29:43 End recording: 08/07/22 09:47:43

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN; north south; east west; up down

GPS location: 011°25.4341 E, 44°50.9315 N (3.9 m)

Satellite no.: 06

Trace length: 0h18'00". Analyzed 80% trace (manual window selection)

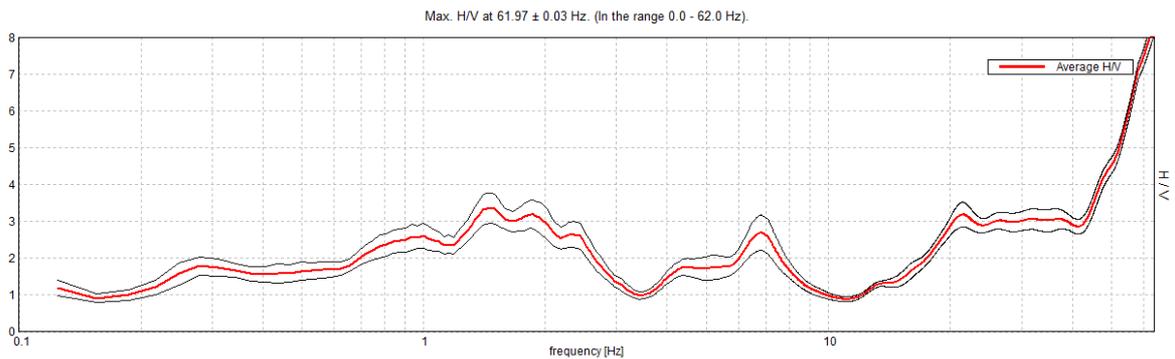
Sampling rate: 128 Hz

Window size: 20 s

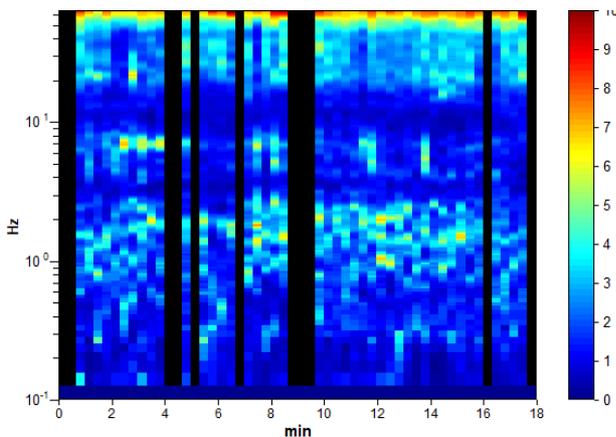
Smoothing type: Triangular window

Smoothing: 10%

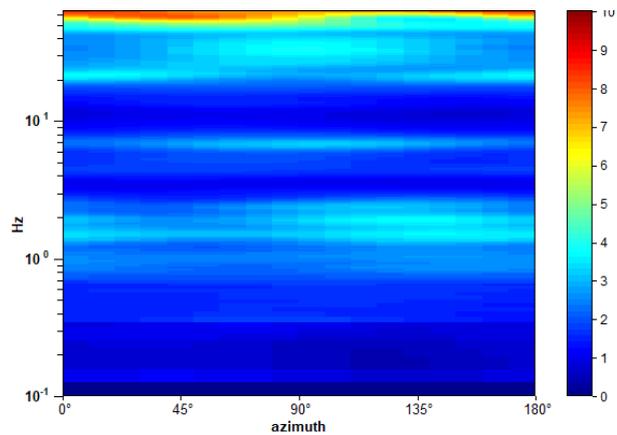
HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO



H/V TIME HISTORY

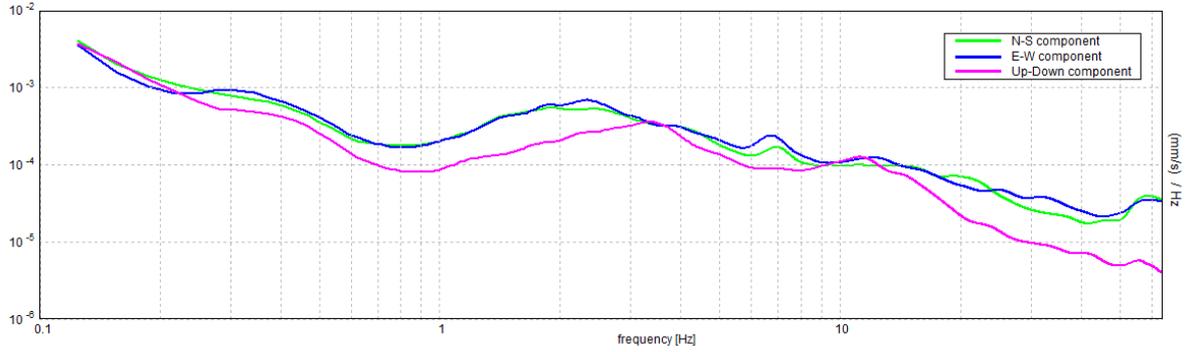


DIRECTIONAL H/V

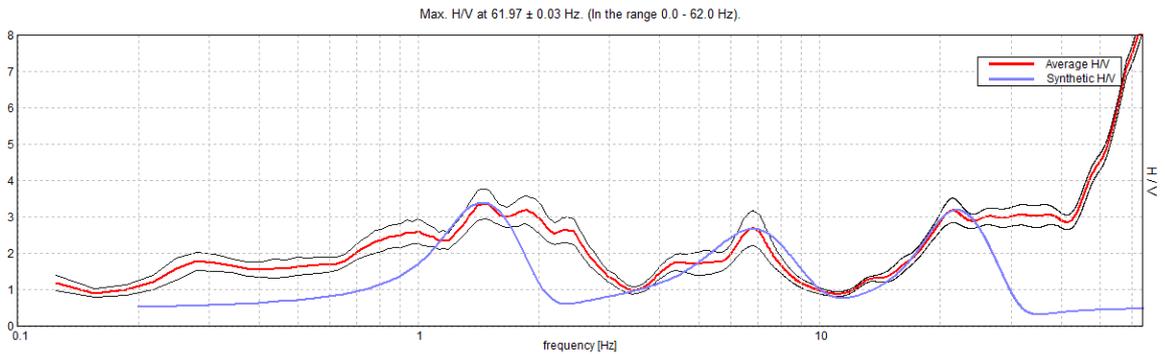


	IMPIANTO FOTOVOLTAICO A TERRA (AGRIVOLTAICO) COLLEGATO ALLA RTN POTENZA NOMINALE 13,79 MWp POTENZA DI IMMISSIONE AC 12,4 MW Comune di Bondeno (FE)	Rev. 0
	21-00008-IT-BONDENO_RS-R05 RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA	Pag. 37 di 59

SINGLE COMPONENT SPECTRA



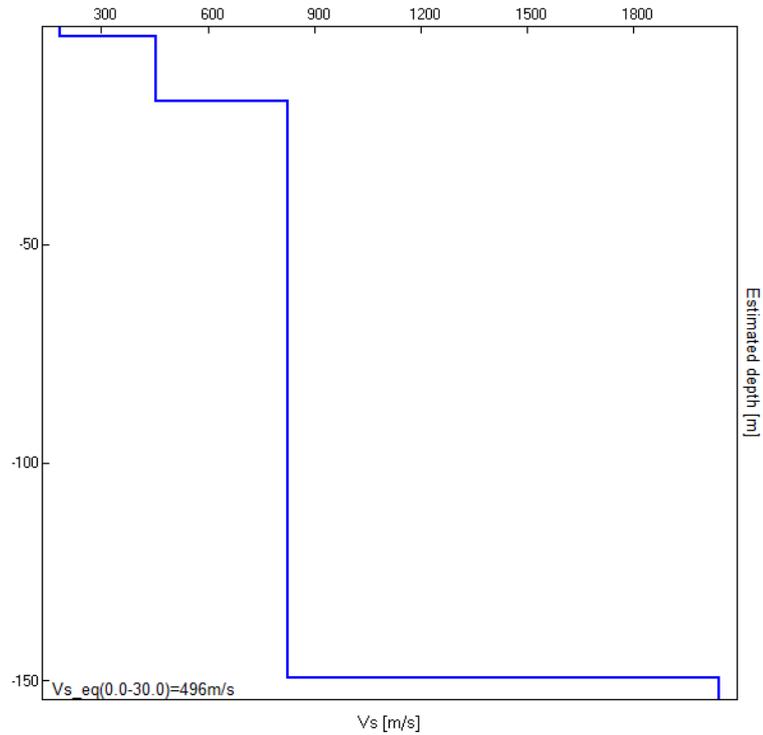
EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC H/V



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
2.20	2.20	184	0.33
17.20	15.00	455	0.41
149.20	132.00	825	0.30
inf.	inf.	2040	0.35

Vs_eq (0.0-30.0) = 496 m/s

	IMPIANTO FOTOVOLTAICO A TERRA (AGRIVOLTAICO) COLLEGATO ALLA RTN POTENZA NOMINALE 13,79 MWp POTENZA DI IMMISSIONE AC 12,4 MW Comune di Bondeno (FE)	Rev.	0
	21-00008-IT-BONDENO_RS-R05 RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA	Pag.	38 di 59



DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



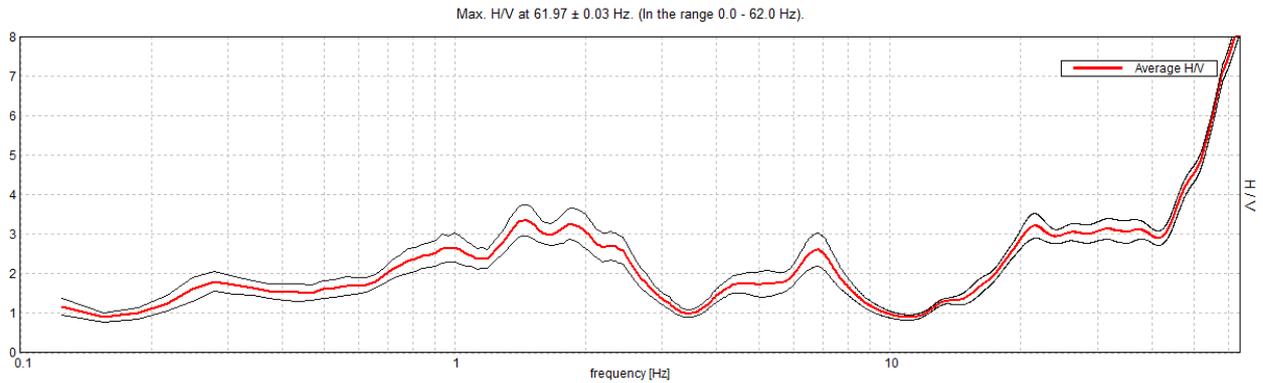
TR1: Acquisizione sismica effettuata nell'area interessata dall'impianto

	IMPIANTO FOTOVOLTAICO A TERRA (AGRIVOLTAICO) COLLEGATO ALLA RTN POTENZA NOMINALE 13,79 MWp POTENZA DI IMMISSIONE AC 12,4 MW Comune di Bondeno (FE)	Rev. 0
	21-00008-IT-BONDENO_RS-R05 RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA	Pag. 39 di 59

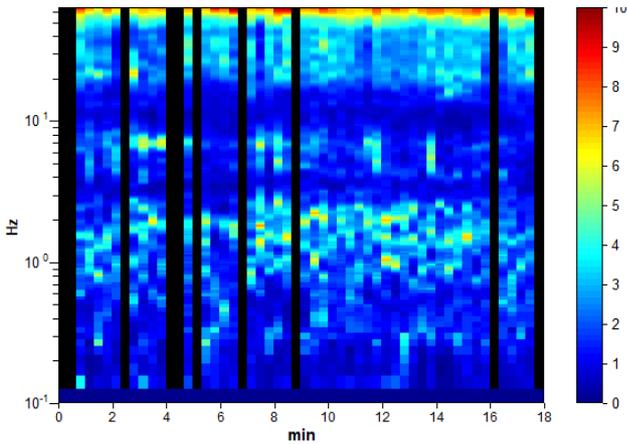
TR2: FW BONDENO, BONDENO (FE)

Instrument: TEP-0200/01-12
 Data format: 16 byte
 Full scale [mV]: n.a.
 Start recording: 08/07/22 09:29:43 End recording: 08/07/22 09:47:43
 Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN; north south; east west; up down
 GPS location: 011°25.4341 E, 44°50.9315 N (4.0 m)
 Satellite no.: 06
 Trace length: 0h18'00". Analyzed 81% trace (manual window selection)
 Sampling rate: 128 Hz
 Window size: 20 s
 Smoothing type: Triangular window
 Smoothing: 10%

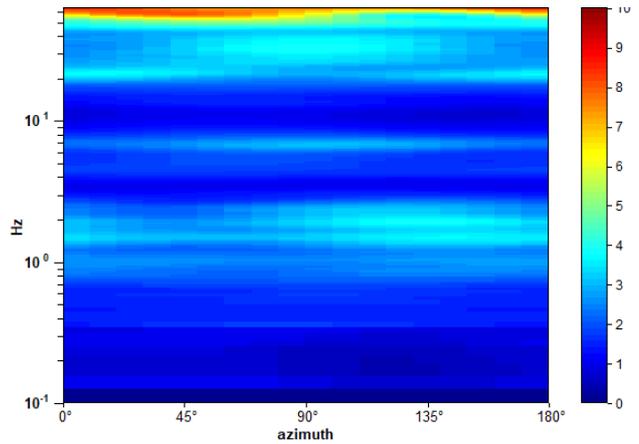
HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO



H/V TIME HISTORY

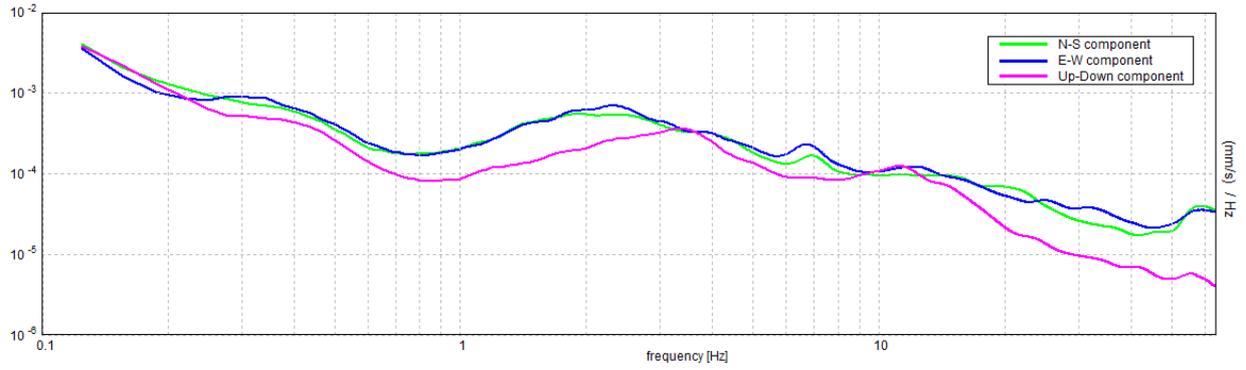


DIRECTIONAL H/V

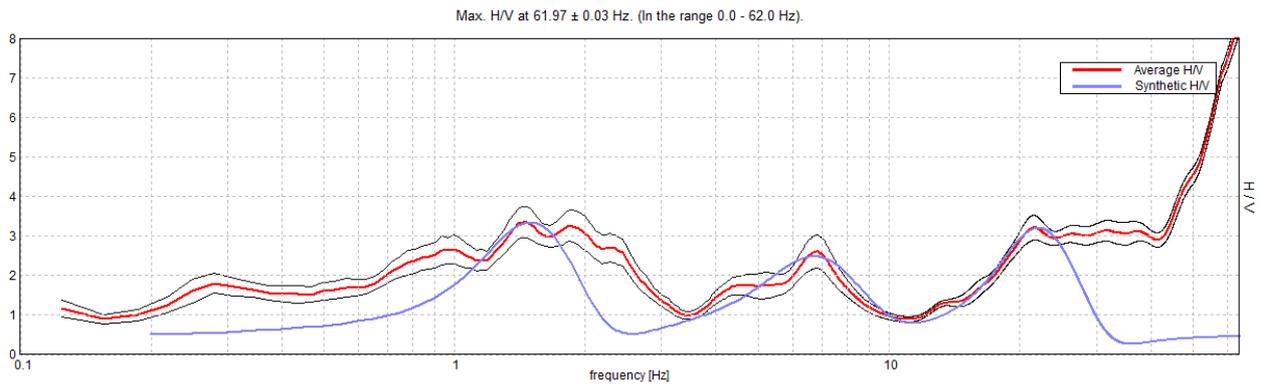


	IMPIANTO FOTOVOLTAICO A TERRA (AGRIVOLTAICO) COLLEGATO ALLA RTN POTENZA NOMINALE 13,79 MWp POTENZA DI IMMISSIONE AC 12,4 MW Comune di Bondeno (FE)	Rev. 0
	21-00008-IT-BONDENO_RS-R05 RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA	Pag. 40 di 59

SINGLE COMPONENT SPECTRA



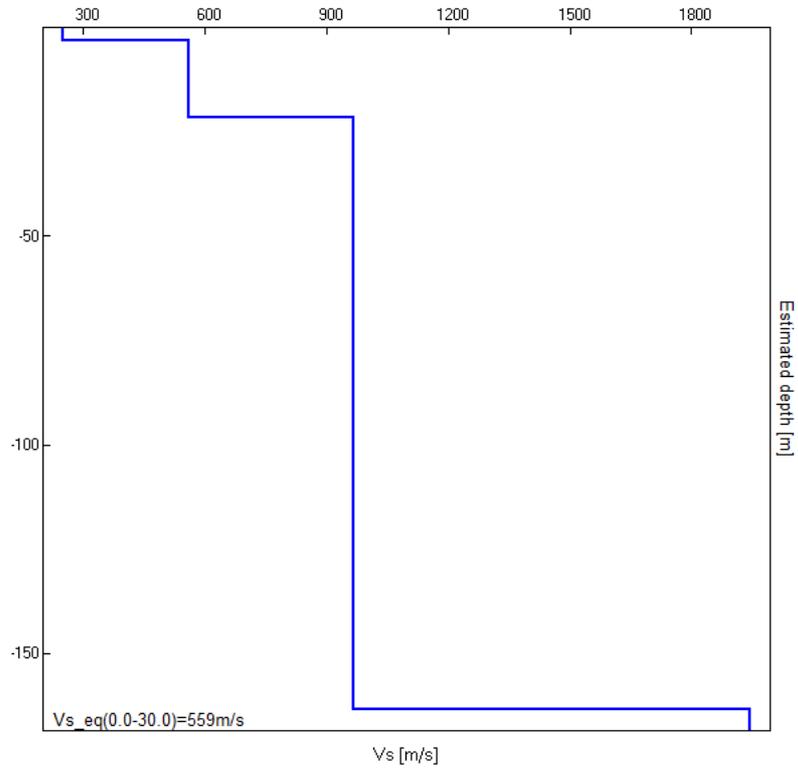
EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC H/V



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
3.00	3.00	252	0.40
21.40	18.40	560	0.42
163.40	142.00	965	0.42
inf.	inf.	1942	0.42

Vs_eq (0.0-30.0) = 559 m/s

	IMPIANTO FOTOVOLTAICO A TERRA (AGRIVOLTAICO) COLLEGATO ALLA RTN POTENZA NOMINALE 13,79 MWp POTENZA DI IMMISSIONE AC 12,4 MW Comune di Bondeno (FE)	Rev.	0
	21-00008-IT-BONDENO_RS-R05 RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA	Pag.	41 di 59



DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



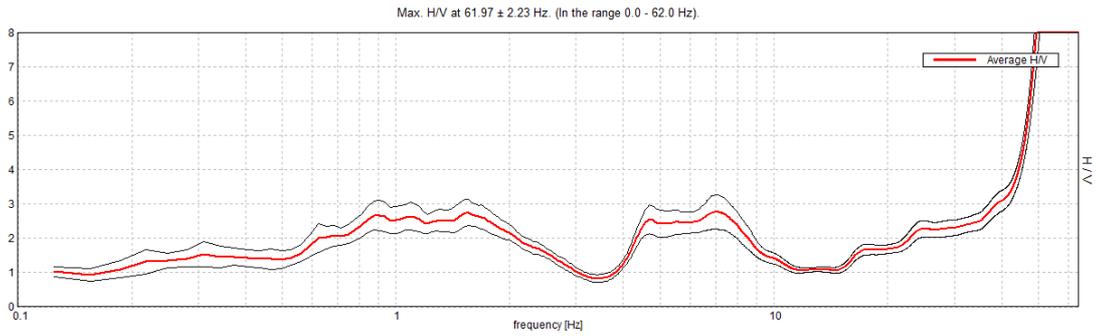
TR2: Acquisizione sismica effettuata nell'area interessata dall'impianto

	IMPIANTO FOTOVOLTAICO A TERRA (AGRIVOLTAICO) COLLEGATO ALLA RTN POTENZA NOMINALE 13,79 MWp POTENZA DI IMMISSIONE AC 12,4 MW Comune di Bondeno (FE)	Rev.	0
	21-00008-IT-BONDENO_RS-R05 RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA	Pag.	42 di 59

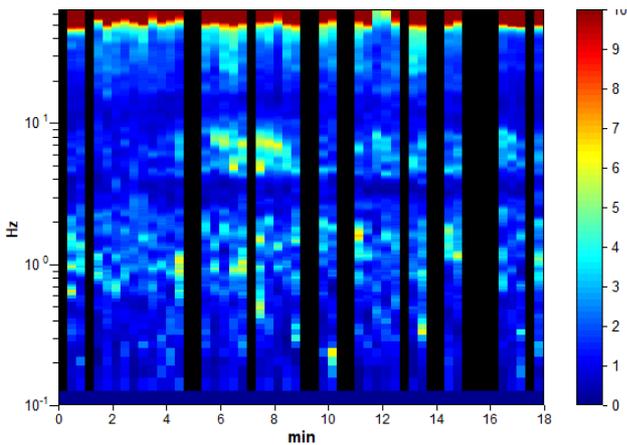
TR3: FV BONDENO - FE-

Instrument: TEP-0200/01-12
 Data format: 16 byte
 Full scale [mV]: n.a.
 Start recording: 08/07/22 09:51:13 End recording: 08/07/22 10:09:13
 Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN; north south; east west; up down
 GPS location: 011°25.4169 E, 44°50.9396 N (11.9 m)
 Satellite no.: 06
 Trace length: 0h18'00". Analyzed 69% trace (manual window selection)
 Sampling rate: 128 Hz
 Window size: 20 s
 Smoothing type: Triangular window
 Smoothing: 10%

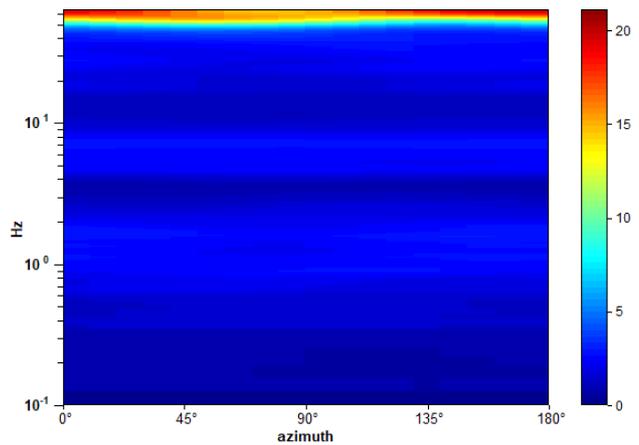
HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO



H/V TIME HISTORY

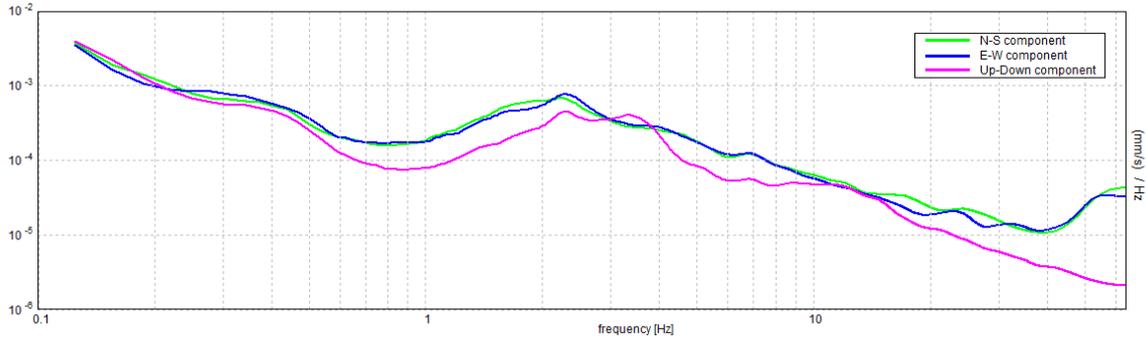


DIRECTIONAL H/V

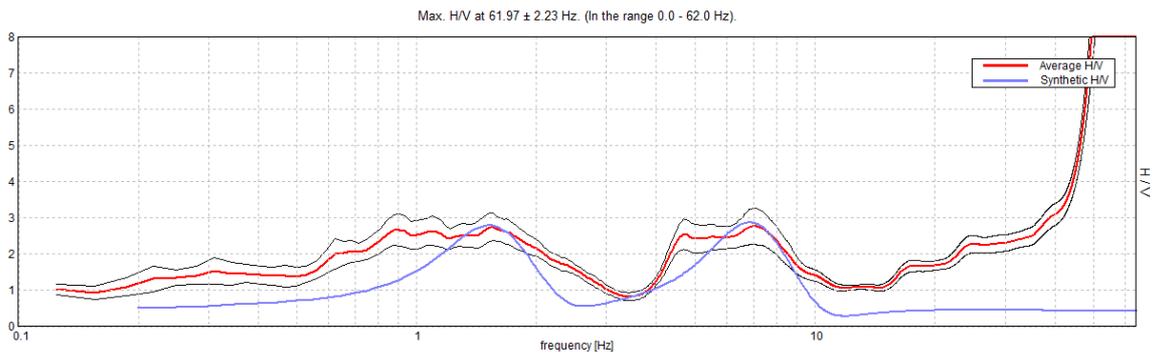


	IMPIANTO FOTOVOLTAICO A TERRA (AGRIVOLTAICO) COLLEGATO ALLA RTN POTENZA NOMINALE 13,79 MWp POTENZA DI IMMISSIONE AC 12,4 MW Comune di Bondeno (FE)	Rev. 0
	21-00008-IT-BONDENO_RS-R05 RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA	Pag. 43 di 59

SINGLE COMPONENT SPECTRA



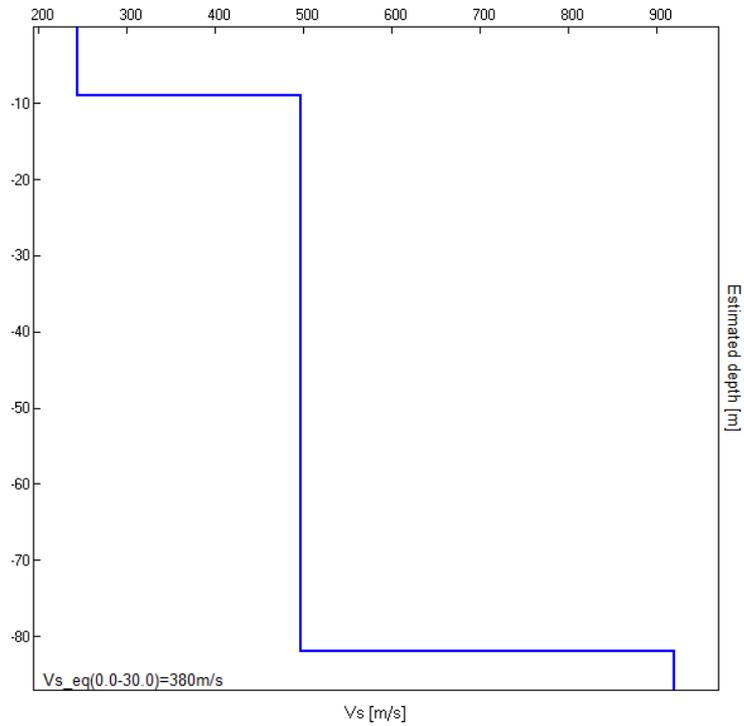
EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC H/V



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
9.00	9.00	245	0.43
82.00	73.00	497	0.42
inf.	inf.	920	0.40

Vs_eq (0.0-30.0) = 380 m/s

	IMPIANTO FOTOVOLTAICO A TERRA (AGRIVOLTAICO) COLLEGATO ALLA RTN POTENZA NOMINALE 13,79 MWp POTENZA DI IMMISSIONE AC 12,4 MW Comune di Bondeno (FE)	Rev.	0
	21-00008-IT-BONDENO_RS-R05 RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA	Pag.	44 di 59



DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



TR3: Acquisizione sismica effettuata nell'area interessata dall'impianto

	IMPIANTO FOTOVOLTAICO A TERRA (AGRIVOLTAICO) COLLEGATO ALLA RTN POTENZA NOMINALE 13,79 MWp POTENZA DI IMMISSIONE AC 12,4 MW Comune di Bondeno (FE)	Rev.	0
	21-00008-IT-BONDENO_RS-R05 RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA	Pag.	45 di 59

TR4: FV BONDENO - FE-, BONDENO - FE-

Instrument: TEP-0200/01-12

Data format: 16 byte

Full scale [mV]: n.a.

Start recording: 08/07/22 10:21:43 End recording: 08/07/22 10:39:43

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN; north south; east west; up down

GPS location: 011°25.4814 E, 44°50.8267 N (5.2 m)

Satellite no.: 07

Trace length: 0h18'00". Analyzed 78% trace (manual window selection)

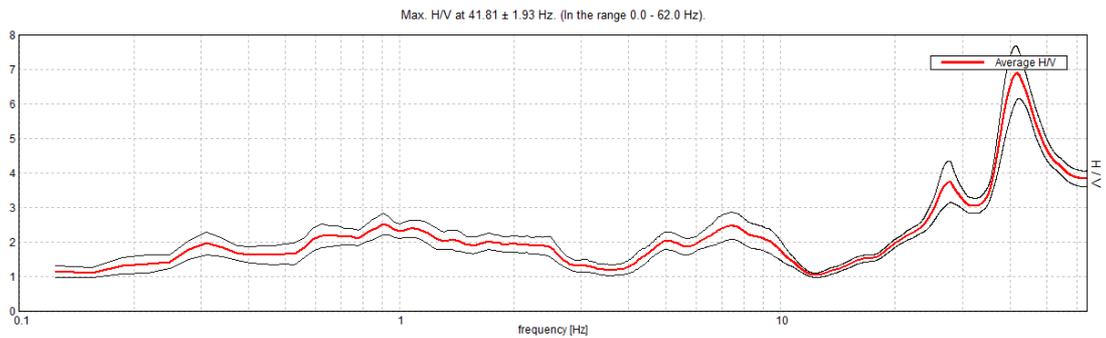
Sampling rate: 128 Hz

Window size: 20 s

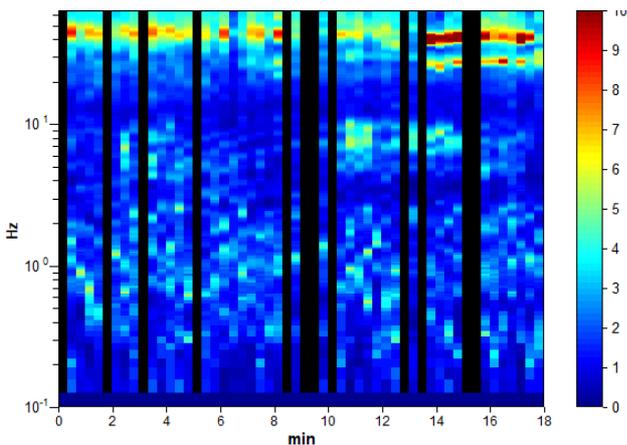
Smoothing type: Triangular window

Smoothing: 10%

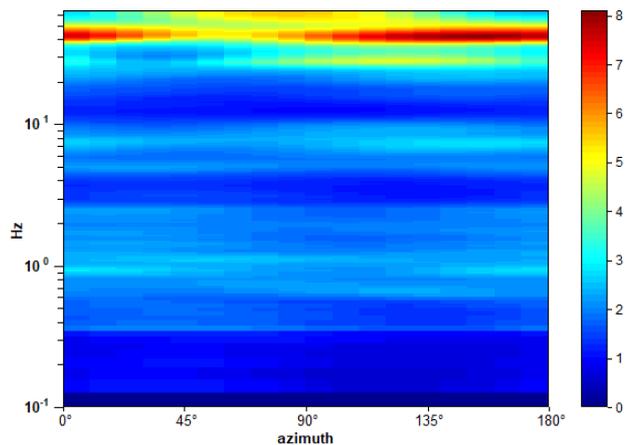
HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO



H/V TIME HISTORY

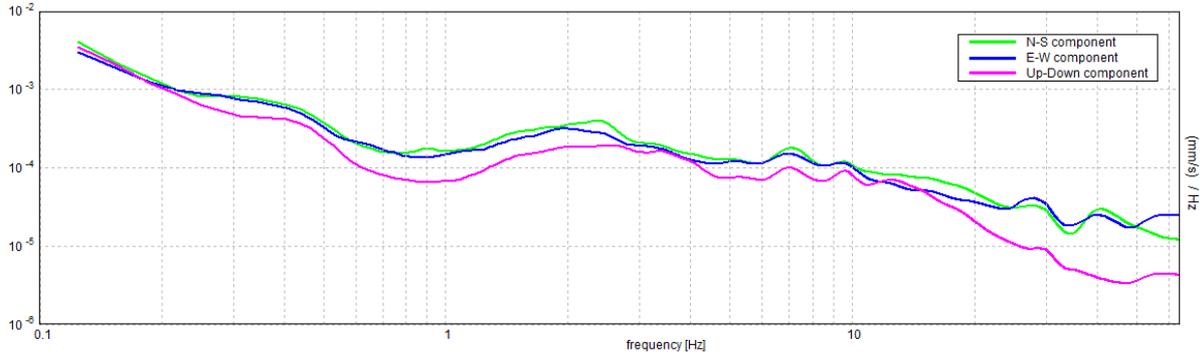


DIRECTIONAL H/V

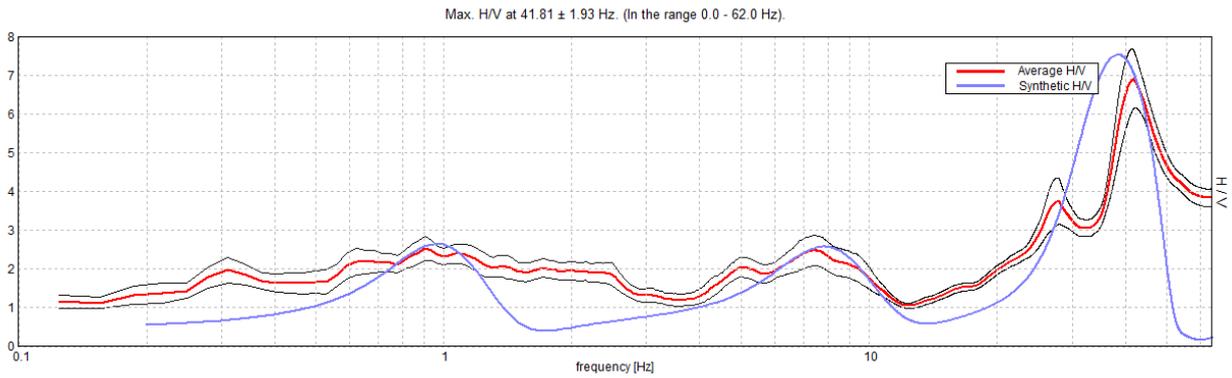


	IMPIANTO FOTOVOLTAICO A TERRA (AGRIVOLTAICO) COLLEGATO ALLA RTN POTENZA NOMINALE 13,79 MWp POTENZA DI IMMISSIONE AC 12,4 MW Comune di Bondeno (FE)	Rev. 0
	21-00008-IT-BONDENO_RS-R05 RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA	Pag. 46 di 59

SINGLE COMPONENT SPECTRA



EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC H/V

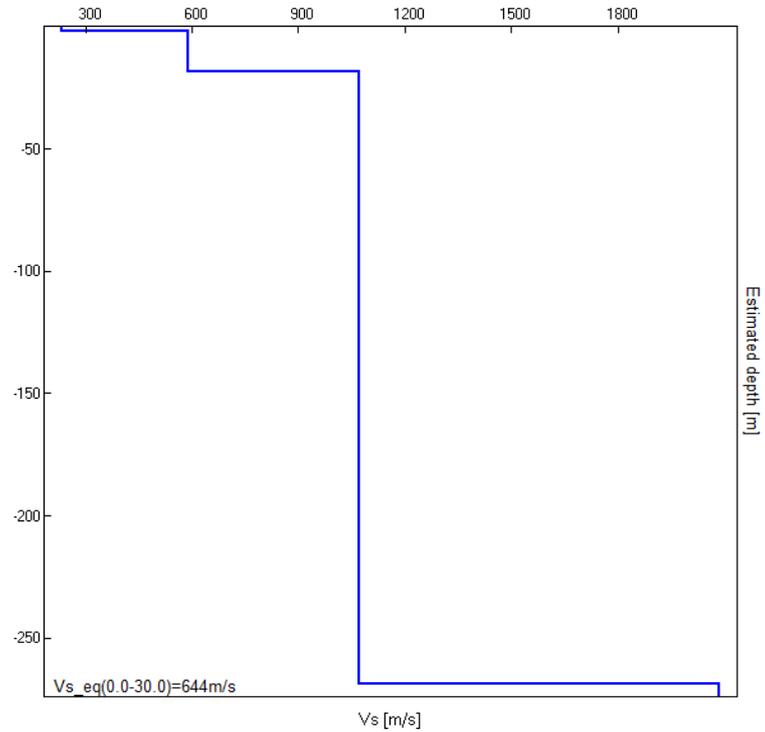


Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
1.70	1.70	234	0.42
18.70	17.00	590	0.42
268.70	250.00	1072	0.44
inf.	inf.	2084	0.45

Vs_eq (0.0-30.0) = 644 m/s

	IMPIANTO FOTOVOLTAICO A TERRA (AGRIVOLTAICO) COLLEGATO ALLA RTN POTENZA NOMINALE 13,79 MWp POTENZA DI IMMISSIONE AC 12,4 MW Comune di Bondeno (FE)	Rev.	0
	21-00008-IT-BONDENO_RS-R05 RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA	Pag.	47 di 59

TR4



DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



TR4: Acquisizione sismica effettuata nell'area interessata dall'impianto

	IMPIANTO FOTOVOLTAICO A TERRA (AGRIVOLTAICO) COLLEGATO ALLA RTN POTENZA NOMINALE 13,79 MWp POTENZA DI IMMISSIONE AC 12,4 MW Comune di Bondeno (FE)	Rev.	0
	21-00008-IT-BONDENO_RS-R05 RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA	Pag.	48 di 59

TROMINO® Grilla
www.tromino.eu

11.5 CARATTERISTICHE SISMO-STRATIGRAFICHE LOCALI

Il modello, geologico stratigrafico, interpretativo fornito con le acquisizioni di sismica passiva denominate “TR1-TR2-TR3”, ha permesso di fornire una stima affidabile della “*frequenza fondamentale di risonanza*” del sottosuolo indagato e di localizzare ed evidenziare i fattori che rivestono grande importanza per la valutazione della risposta sismica locale quali: spessore delle coperture, delle coltri di alterazione e della profondità del bed-rock con alta precisione di seguito descritti.

TR1-TR2

Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio	Y t/m ³
2.20	2.20	184	0.33	1.80
17.20	15.00	455	0.41	2.00
149.20	132.00	825	0.30	2.20
inf.	inf.	2040	0.35	2.20

- *Caratteristiche fisico-tecniche del profilo litostratigrafico ricavate dal sondaggio sismico passivo a stazione singola “TR1” effettuato su terreno agrario. – Il modello geologico stratigrafico, ottenuto dall’analisi della traccia acquisita, evidenzia n°3 sismo-strati che vengono descritti qui di seguito a partire dall’alto:*

- Un primo strato sismico di copertura, delimitato alla base da un livello stratigrafico riflettente a circa 2.20 m, definito da un picco di frequenza di risonanza a circa 21.88 Hz contrassegnante la porzione superficiale arenata, attraversato da una velocità di propagazione delle onde di compressione “Vp” pari a 617 m/s e delle onde di taglio “Vs” pari a 184 m/sec, tipica di terreni di copertura costituite da argille limose, mediamente consistenti.
- un secondo strato sismico, di spessore di circa 15.00 m delimitato alla base da un livello stratigrafico riflettente a circa 17.20 m, definito da un picco di frequenza di risonanza di 6.80 Hz, attraversato da una velocità di propagazione delle onde sismiche di compressione “Vp” pari a 1508 m/s e onde di taglio “Vs” pari a 455 m/sec tipica ghiaie. Tale livello stratigrafico si presenta mediamente addensato.
- un terzo strato sismico, di spessore di circa 132.00 m delimitato alla base da un livello stratigrafico riflettente a circa 149.20 m, definito da un picco di frequenza di risonanza di 1.48 Hz, attraversato da una velocità di propagazione delle onde sismiche di compressione “Vp” pari a 2598 m/s e onde di taglio “Vs” pari a 825 m/sec tipica di rocce lapidee.
- Segue l’unità sismica, avente spessore indefinito, che ha evidenziato un valore di propagazione delle onde di compressione “Vp” pari a 5229 m/s e delle onde di taglio “Vs” pari a 2040 m/sec tipica rocce a consistenza litoide – costituenti il bed-rock.
- La registrazione HVSR eseguita della durata 20 minuti mostra un chiaro picco del rapporto H/V a frequenza di Max. H/V at 61.97 ± 0.03 Hz (in the range 0.0 - 62.0 Hz) e rientra nei criteri di validazione SESAME.

	IMPIANTO FOTOVOLTAICO A TERRA (AGRIVOLTAICO) COLLEGATO ALLA RTN POTENZA NOMINALE 13,79 MWp POTENZA DI IMMISSIONE AC 12,4 MW Comune di Bondeno (FE)	Rev.	0
	21-00008-IT-BONDENO_RS-R05 RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA	Pag.	49 di 59

TR3

Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio	Y t/m ³
9.00	9.00	245	0.43	1.80
82.00	73.00	497	0.42	2.00
inf.	inf.	920	0.40	2.20

- *Caratteristiche fisico-tecniche del profilo litostratigrafico ricavate dal sondaggio sismico passivo a stazione singola "TR3" effettuato su terreno agrario. – Il modello geologico stratigrafico, ottenuto dall'analisi della traccia acquisita, evidenzia n°3 sismo-strati che vengono descritti qui di seguito a partire dall'alto:*

- Tolto un primo strato sismico di copertura di circa 0.20 m, il substrato costituito da un secondo strato sismico di spessore di circa 8.80 m delimitato alla base da un livello stratigrafico riflettente a circa 9.00 m definito da un picco di frequenza di risonanza a circa 7.0 Hz, attraversato da una velocità di propagazione delle onde di compressione "Vp" pari a 699 m/s e delle onde di taglio "Vs" pari a 245 m/sec, tipica di terreni costituiti da limi sabbiosi di media consistenza.
- un secondo strato sismico, di spessore di circa 72.80 m delimitato alla base da un livello stratigrafico riflettente a circa 82.00 m, definito da un picco di frequenza di risonanza di 1.54 Hz, attraversato da una velocità di propagazione delle onde sismiche di compressione "Vp" pari a 1338 m/s e onde di taglio "Vs" pari a 497 m/sec tipica di ghiaie e rocce sedimentarie tenere/stratificate.
- Segue l'unità sismica, avente spessore indefinito, che ha evidenziato un valore di propagazione delle onde di compressione "Vp" pari a 2254 m/s e delle onde di taglio "Vs" pari a 920 m/sec tipica di rocce lapidee – costituenti il bed-rock.
- La registrazione HVSR eseguita della durata 20 minuti mostra un chiaro picco del rapporto H/V a frequenza di Max. H/V at 61.97 ± 2.23 Hz (in the range 0.0 - 62.0 Hz) e rientra nei criteri di validazione SESAME.

TR4

Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio	Y t/m ³
1.70	1.70	234	0.42	1.80
18.70	17.00	590	0.42	2.00
268.70	250.00	1072	0.44	2.20
inf.	inf.	2084	0.45	2.20

- *Caratteristiche fisico-tecniche del profilo litostratigrafico ricavate dal sondaggio sismico passivo a stazione singola "TR4" effettuato su terreno agrario. – Il modello geologico stratigrafico, ottenuto dall'analisi della traccia acquisita, evidenzia n°3 sismo-strati che vengono descritti qui di seguito a partire dall'alto:*

- Un primo strato sismico di copertura, delimitato alla base da un livello stratigrafico riflettente a circa 1.70 m, definito da un picco di frequenza di risonanza a circa 38.47 Hz contrassegnante la porzione superficiale areata, attraversato da una velocità di propagazione delle onde di compressione "Vp" pari a 630 m/s e delle onde di taglio "Vs" pari a 234 m/sec, tipica di terreni di copertura costituite da limi sabbiosi di media consistenza.

	IMPIANTO FOTOVOLTAICO A TERRA (AGRIVOLTAICO) COLLEGATO ALLA RTN POTENZA NOMINALE 13,79 MWp POTENZA DI IMMISSIONE AC 12,4 MW Comune di Bondeno (FE)	Rev.	0
	21-00008-IT-BONDENO_RS-R05 RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA	Pag.	50 di 59

- un secondo strato sismico, di spessore di circa 17.00 m delimitato alla base da un livello stratigrafico riflettente a circa 18.70 m, definito da un picco di frequenza di risonanza di 7.65 Hz, attraversato da una velocità di propagazione delle onde sismiche di compressione “Vp” pari a 1589 m/s e onde di taglio “Vs” pari a 590 m/sec tipica di rocce alterate tenere.
- un terzo strato sismico, di spessore di circa 250.00 m delimitato alla base da un livello stratigrafico riflettente a circa 268.70 m, definito da un picco di frequenza di risonanza di 0.98 Hz, attraversato da una velocità di propagazione delle onde sismiche di compressione “Vp” pari a 3275 m/s e onde di taglio “Vs” pari a 1072 m/sec tipica di rocce lapidee.
- Segue l’unità sismica, avente spessore indefinito, che ha evidenziato un valore di propagazione delle onde di compressione “Vp” pari a 6912 m/s e delle onde di taglio “Vs” pari a 2084 m/sec tipica rocce a consistenza litoide – costituenti il bed-rock.
- La registrazione HVSR eseguita della durata 20 minuti mostra un chiaro picco del rapporto H/V a frequenza di Max. H/V at 41.81 ± 1.93 Hz (in the range 0.0 - 62.0 Hz) e rientra nei criteri di validazione SESAME.

Il profilo stratigrafico che tali tecniche possono restituire, si basa sul concetto di contrasto d’impedenza cosicché per strato si intende un’unità distinta da quella di sopra e sottostante per un contrasto di impedenza, ossia per il diverso rapporto tra i prodotti della velocità delle onde sismiche di un mezzo per la densità del mezzo stesso. L’uso di algoritmi di calcolo, finalizzati ad una modellizzazione sintetica dello spettro H/V, permette d’associare ad ogni picco spettrale le possibili “variazioni” presenti nel sottosuolo in termini di spessori, profondità e velocità di propagazione delle onde di taglio. Ciascun picco nel grafico H/V corrisponde ad un livello stratigrafico (riflettore sismico) che presenta un contrasto d’impedenza rispetto al livello confinante; maggiore è il contrasto d’impedenza maggiore risulta l’ampiezza del picco amplificativo sebbene la relazione tra le due variabili non sia lineare.

I parametri sismici riportati nelle tabelle esprimono le seguenti caratteristiche:

- spessore strato espresso in (m)
- Vp: velocità delle onde longitudinali o di compressione P in (m/s)
- Vs: velocità delle onde di trasversali o di taglio S in (m/s)
- ν : modulo di rigidità, rapporto di Poisson
- γ : densità in t/m³
- f(i): frequenza rilevata in Hz

La conoscenza contemporanea delle velocità in situ delle onde P ed S consente di ricavare i moduli elastici dei terreni, i quali dipendono da rapporto esistente tra le due velocità in situ.

Infatti, il **coefficiente di Poisson**, dato dal rapporto tra la deformazione trasversale e longitudinale del materiale, fornisce un criterio di valutazione della elasticità o della plasticità di un litotipo che è legato al grado di litificazione, alla porosità e al grado di saturazione del litotipo stesso; pertanto, è legato strettamente agli stessi parametri da cui dipendono le velocità di propagazione delle onde nei mezzi.

	IMPIANTO FOTOVOLTAICO A TERRA (AGRIVOLTAICO) COLLEGATO ALLA RTN POTENZA NOMINALE 13,79 MWp POTENZA DI IMMISSIONE AC 12,4 MW Comune di Bondeno (FE)	Rev.	0
	21-00008-IT-BONDENO_RS-R05 RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA	Pag.	51 di 59

11.6 CATEGORIA DI SOTTOSUOLO AI FINI DELLA DEFINIZIONE DELL'AZIONE SISMICA DI PROGETTO

Dalla individuazione della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio “Vs” generate in corrispondenza del punto di indagine è stato possibile determinare la velocità di propagazione media di tali onde entro i primi metri di terreno attraversato ($V_{s,eq}$); successivamente, attraverso questo parametro ed ai sensi della normativa vigente in materia antisismica, – Nuova Normativa Antisismica del 17/01/2018, è stato possibile effettuare la classificazione del sottosuolo, con il metodo della tecnica sismica passiva a stazione singola, la quale secondo la Normativa sopracitata è verosimilmente quella che ha più aspetti positivi perché misura (e non “deriva” da altri N parametri) le frequenze di risonanza senza limiti di profondità nell’intervallo di interesse geotecnico e strutturale e in modo molto rapido e non invasivo.

Di particolare importanza è a “*frequenza fondamentale di risonanza*” (f_r) dello strato i-esimo relativa alle onde “S” è pari a:

$$f_r = V_s \text{ i-esimo} / 4H \quad (1)$$

La “*frequenza fondamentale di risonanza*” è la prima frequenza naturale di vibrazione del deposito stratigrafico, per frequenza naturale fondamentale si intende la frequenza più bassa di tutte quindi la più profonda, è la frequenza a cui un sistema eccitato da un impulso vibra con maggiore ampiezza ed è il reciproco del periodo fondamentale.

L’analisi H/V permette pertanto di identificare i “*contrast di impedenza*” tra strati, la successiva determinazione della velocità delle “onde S” fino a profondità notevoli (ben oltre i 100 m di profondità) e strettamente dipendenti dallo spazio temporale di acquisizione; quindi l’elaborazione della $V_{s,eq}$, avviene attraverso una formulazione specifica adottando come punto di partenza la relazione (1) sopra riportata. Per i nostri scopi, la determinazione della velocità equivalente delle onde di taglio (onde S) entro i primi H metri di spessore ha permesso di definire il parametro $V_{s,eq}$ e di poter altresì caratterizzare i terreni in esame ai sensi dell’*Ordinanza 3274 – Nuova Normativa Antisismica del 20/03/2003 e D.M. 14/01/2008 e nuovi aggiornamenti del 17/01/2018* e succ. mod. ed integrazioni. La determinazione dell’andamento dei valori delle onde di taglio entro i primi H metri di terreno è stata resa possibile dall’interpretazione congiunta del profilo H/V in comparazione con la curva degli spettri di ampiezza. *L’individuazione delle discontinuità è infatti resa possibile quando in corrispondenza dei valori di frequenza di risonanza caratteristici nella curva H/V si realizza contestualmente una inversione nella componente verticale dello spettro di ampiezza.* Successivamente avendo noti sia lo spessore degli strati (ricavati dai sondaggi penetrometrici effettuati in situ) che i relativi valori di propagazione delle onde di taglio è stato possibile dare una classificazione del sottosuolo determinando i valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, $V_{s,eq}$ (in m/s) nei primi H metri, attraverso la seguente espressione:

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

con:

h_i spessore dell’i-esimo strato;

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

N numero di strati;

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

	IMPIANTO FOTOVOLTAICO A TERRA (AGRIVOLTAICO) COLLEGATO ALLA RTN POTENZA NOMINALE 13,79 MWp POTENZA DI IMMISSIONE AC 12,4 MW Comune di Bondeno (FE)	Rev.	0
	21-00008-IT-BONDENO_RS-R05 RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA	Pag.	52 di 59

Per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali. Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell'opera. Per muri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano di imposta della fondazione.

Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio $V_{s,eq}$ è definita dal parametro VS30, ottenuto ponendo $H=30$ m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità. La Velocità Equivalente è ottenuta imponendo l'equivalenza tra i tempi di arrivo delle onde di taglio in un terreno omogeneo equivalente, di spessore pari a 30 m.

Nella precedente espressione "hi" è "Vs,i" indicano lo "spessore" (in m) e la "velocità delle onde di taglio dello strato i-esimo (in m/sec), per un totale di N strati presenti nei primi 30 metri superiori, si è ottenuto un "valore medio ponderato" della "velocità delle onde di taglio" nei primi trenta metri, partendo dal piano campagna, pari a: $V_{s,eq} = V_{s30} = TR1 = 496$ m/s, $TR2 = 559$ m/s, $TR3 = 380$ m/s $TR4 = 644$.

Riferendosi alla descrizione stratigrafica secondo la tabella riportata nel Testo Unitario riguardante le "Norme tecniche per le costruzioni", ("D.M. del 14 gennaio 2008" e nuovi aggiornamenti del 17 gennaio 2018"), si definisce la "Categoria del sottosuolo di fondazione" relativamente al piano campagna per le aree interessate dall'impianto fotovoltaico come **Categoria di "tipo B"** e cioè: - "Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti" con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s, così come previsto dalla normativa sopra menzionata.

TR1

$V_{s,eq} = V_{s30}$ (m/s)	
Al p.c.	496,00

TR2

$V_{s,eq} = V_{s30}$ (m/s)	
Al p.c.	559,00

TR3

$V_{s,eq} = V_{s30}$ (m/s)	
Al p.c.	380,00

TR4

$V_{s,eq} = V_{s30}$ (m/s)	
Al p.c.	644,00

	IMPIANTO FOTOVOLTAICO A TERRA (AGRIVOLTAICO) COLLEGATO ALLA RTN POTENZA NOMINALE 13,79 MWp POTENZA DI IMMISSIONE AC 12,4 MW Comune di Bondeno (FE)	Rev.	0
	21-00008-IT-BONDENO_RS-R05 RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA	Pag.	53 di 59

11.7 CONSIDERAZIONI GEOSISMICHE CONCLUSIVE

Il modello interpretativo fornito con l'acquisizione **sismica passiva TR1,TR2,TR3, TR4**, ha consentito di caratterizzare: sismicamente l'area in studio, fornire una stima affidabile della "frequenza fondamentale di risonanza" del sottosuolo analizzato e di localizzare ed evidenziare i fattori che rivestono grande importanza per la valutazione della risposta sismica locale quali: spessore delle coperture, delle coltri di alterazione e della profondità del bed-rock con alta precisione, a permesso di ricostruire il modello geologico stratigrafico del volume di terreno interessato dall'impianto di fotovoltaico, creando un profilo Sismo-Stratigrafico del sottosuolo ampiamente descritto nel paragrafo precedente (12.4).

In osservanza al Nuovo NTC di cui al D.M. del 14 Gennaio 2008 e nuovi aggiornamenti del 17/01/2018, ai fini dell'azione sismica di progetto, la stima del valore del **$V_{s,eq} = V_{s30}$** (*velocità media delle onde di taglio nei primi 30 metri*), relative alle acquisizioni di sismica passiva con tromografo risulta essere pari a: **TR1: $V_{s,eq} = V_{s30} = 496$ m/s, TR2: $V_{s,eq} = 559$ m/s, TR3: $V_{s,eq} = 380$ m/s, TR3: $V_{s,eq} = 644$ m/s**, misurato al piano campagna, quindi ai sensi del D.M. 17/01/18 **la categoria del suolo di fondazione per l'intera area interessata dall'impianto fotovoltaico risulta come "Categoria di tipo B"** e cioè: - "Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti" con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s, così come previsto dalla sopra menzionata. Mentre la "Categoria del sottosuolo di fondazione" relativamente al piano campagna per le aree interessate dall'impianto fotovoltaico **"AREA 2" da acquisizione TR3 come Categoria di "tipo C"** e cioè: *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, così come previsto dalla normativa sopra menzionata.

La correlazione tra le unità sismo-stratigrafiche e litologie investigate è di seguito riassunta (vedi para. 12.4):

PROSPEZIONE SISMICA TR1 – TR2 $V_{s,eq} = 496$ m/s		
SISMOSTRATI	LITOLOGIA INVESTIGATA	Profondità (m)
SISMOSTRATO I	Coltre di copertura superficiale costituita da argille limose, mediamente consistenti.	0,00 – 2,20
SISMOSTRATO II	Sabbie e ghiaie. Livello stratigrafico risulta mediamente addensato	2,20 – 17,20
SISMOSTRATO III	Rocce stratificate	17,20 -149,20
SISMOSTRATO IV	Bed-rock – Rocce a consistenza litoide	Indefinito

	IMPIANTO FOTOVOLTAICO A TERRA (AGRIVOLTAICO) COLLEGATO ALLA RTN POTENZA NOMINALE 13,79 MWp POTENZA DI IMMISSIONE AC 12,4 MW Comune di Bondeno (FE)	Rev.	0
	21-00008-IT-BONDENO_RS-R05 RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA	Pag.	54 di 59

PROSPEZIONE SISMICA TR3 Vs_eq = 380 m/s		
SISMOSTRATI	LITOLOGIA INVESTIGATA	Profondità (m)
SISMOSTRATO I	Coltre di copertura superficiale costituita da argille e limi sabbiosi – mediamente consistenti	0,20 – 9,00
SISMOSTRATO II	Rocce sedimentarie tenere stratificate	9,00 – 82,00
SISMOSTRATO IV	Bed-rock – Rocce lapidee	Indefinito

PROSPEZIONE SISMICA TR4 Vs_eq = 644 m/s		
SISMOSTRATI	LITOLOGIA INVESTIGATA	Profondità (m)
SISMOSTRATO I	Coltre di copertura superficiale costituita da argille di scarsa qualità	0,00 - 1,70
SISMOSTRATO II	Ghiaie e rocce alterate tenere da mediamente addensate a consistenti a profondità elevate	1,70 – 18,70
SISMOSTRATO III	Rocce sedimentarie	18,70 - 268,70
SISMOSTRATO IV	Bed-rock – rocce sedimentarie a consistenza litoide	Indefinito

Tenendo conto delle condizioni topografiche e in assenza di specifiche analisi di risposta sismica locale, si utilizzano i valori del *coefficiente di amplificazione topografico ST* riportati nella Tab.3.2. V della vigente normativa NTC 2018, in funzione delle categorie topografiche definite nella Tab. § 3.2.II e dell'ubicazione dell'opera o dell'intervento.

Quindi in considerazione alle condizioni Topografiche di progetto, i lotti in esame sono caratterizzati da una morfologia sub-pianeggiante, facendo rientrare il sito nella **categoria Topografica T1** (pendii con inclinazione media $i \leq 15^\circ$) per la quale si ha un valore del fattore di amplificazione topografica pari a **ST 1,0** secondo l'**EC8** e come riportato nella Tab. 3.2.V. della – Nuova Normativa Antisismica 2018.

Per le componenti orizzontali del moto e per le categorie di sottosuolo di fondazione definite nella formula § 3.2.2 riportata nella Normativa NTC 2018, la forma spettrale su sottosuolo di categoria A è modificata attraverso il coefficiente stratigrafico SS, il coefficiente topografico ST e il coefficiente CC che modifica il valore del periodo TC. Dove nella formula 3.2.2 **S** è il coefficiente che tiene conto della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche mediante la relazione seguente $S = SS \cdot ST$ - [3.2.3] essendo SS il coefficiente di amplificazione stratigrafica (vedi Tab. 3.2.IV) e ST il coefficiente di amplificazione topografica (vedi Tab. 3.2.V);

Per le categorie di sottosuolo **B, C, D** ed **E** i coefficienti SS e CC possono essere calcolati, in funzione dei valori di Fo e Tc relativi al sottosuolo di categoria A, mediante le *espressioni di Ss* (coefficiente

	IMPIANTO FOTOVOLTAICO A TERRA (AGRIVOLTAICO) COLLEGATO ALLA RTN POTENZA NOMINALE 13,79 MWp POTENZA DI IMMISSIONE AC 12,4 MW Comune di Bondeno (FE)	Rev.	0
	21-00008-IT-BONDENO_RS-R05 RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA	Pag.	55 di 59

di amplificazione stratigrafica) e di C_c (coefficiente della categoria del sottosuolo) fornite nella Tab. 3.2.IV, nelle quali $g = 9,81$ m/s, è l'accelerazione di gravità e T_c è espresso in secondi.

Si riportano le espressioni per la categoria B e C rilevata nell'area in studio:

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

Categoria sottosuolo	S_s	C_c
A	1,00	1,00
B	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,20$	$1,10 \cdot (T_c^*)^{-0,20}$
C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,50$	$1,05 \cdot (T_c^*)^{-0,33}$

Le condizioni topografiche locali non mostrano situazioni tali da far variare in termini negativi la risposta sismica del sito e/o provocare amplificazioni dell'ampiezza e durata delle onde sismiche mentre dal punto di vista litostratigrafico l'area è caratterizzata da depositi superficiali di scarse qualità geotecniche e da un livello di circa 2 metri di spessore compreso tra 1,60 e 4,70 m da p.c. dalle discrete qualità geotecniche, il livello di falda è stato rilevato a circa a 4,70 m da p.c e considerate le sue caratteristiche granulometriche e di addensamento tali litologie se saturate d'acqua possono andare incontro al fenomeno di liquefazione in caso di eventi sismici prolungati di magnitudo superiore a 5,5.

Nuove Norme Tecniche per la Costruzione D.M. 17 gennaio 2018
Categoria Suolo di fondazione: "B" e "C"
Categoria Topografica "T1"

Termini Imerese, li 29/08/2022

Il Tecnico: Dott.ssa Geol. Concetta Pérez

	IMPIANTO FOTOVOLTAICO A TERRA (AGRIVOLTAICO) COLLEGATO ALLA RTN POTENZA NOMINALE 13,79 MWp POTENZA DI IMMISSIONE AC 12,4 MW Comune di Bondeno (FE)	Rev.	0
	21-00008-IT-BONDENO_RS-R05 RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA	Pag.	56 di 59

12 INDAGINE GEOELETRICA ED ELETTROSTRATIGRAFIA DI SINTESI

I metodi di prospezione geoelettrica in corrente continua sondaggio elettrico verticale, indicato sinteticamente come S.E.V., sono comunemente utilizzati per l'indagine del sottosuolo attraverso lo studio della resistività elettrica.

Il metodo si basa sul principio che la distribuzione di un campo di potenziale elettrico (U) sulla superficie del terreno dipende, oltre che dalle caratteristiche geometriche della sorgente, anche dalla distribuzione della resistività elettrica (ρ) nel sottosuolo.

La resistività elettrica, inverso della conducibilità elettrica, è un parametro fisico intrinseco delle rocce ed indica la resistenza specifica che oppongono i vari litotipi a farsi attraversare dalla corrente elettrica quando questi sono sottoposti all'azione di una forza elettromotrice. Essa può variare notevolmente da punto a punto poiché sono molti i fattori che la influenzano, tra i quali la presenza di acqua, la porosità, la temperatura e la pressione. La tecnica della prospezione geoelettrica consiste nell'inviare corrente continua nel terreno attraverso un dipolo (dipolo di energizzazione) e registrare la differenza di potenziale del campo elettrico indotto attraverso altri distinti dipoli (dipolo di misura), posti in successione a distanze progressivamente maggiori lungo uno stendimento. Questi poli elettrici sono costituiti da elettrodi di ferro o acciaio, possibilmente impolarizzabili.

In un semispazio omogeneo e isotropo il campo elettrico si distribuisce attraverso linee di corrente radiali e superfici equipotenziali semisferiche aventi il loro centro nel punto sorgente in superficie.

In un sottosuolo non omogeneo, la presenza di un corpo anomalo o di una struttura geologica conduttiva o resistiva determina la distorsione delle linee di corrente, in funzione delle caratteristiche elettriche del corpo attraversato, addensandole o diradandole a seconda che si tratti di corpi isolanti o conduttori.

Dall'analisi della sezione elettro-stratigrafica è stato possibile verificare la presenza di un substrato composto da materiali a grana medio fine di natura argillo-limosa. Ogni corpo roccioso presenta un ampio campo di variabilità dei propri valori di resistività, dipendente dal grado di omogeneità, dal livello di alterazione e dal grado di fratturazione delle rocce. Nel caso di terreni sciolti, quali i depositi alluvionali recenti, la resistività dipende dalla granulometria, dai fluidi in essi contenuti e dal quantitativo in sali disciolti. A questa regola fanno eccezione le argille che, anche se compatte, hanno sempre valori di resistività estremamente bassi; questo è dovuto principalmente alle caratteristiche del reticolo cristallino dei minerali che le compongono ed al loro grado di saturazione. Il modello elettro-stratigrafico fornito evidenzia diversi elettro-strati, con proprie caratteristiche di conducibilità elettrica, presentano nel complesso valori medio resistivi. Il modello ricavato dall'esame dei profili eseguiti è sovrapponibile a quanto già determinato con l'indagine sismica.

STRATIGRAFIA ELETTRICA				
Quota [m. dal p.c.]		Litologia	Resistività Elettrica	
da	A			(ρ_m)
0.00	- 6.00	Materiali grana medio fine di natura argillo-limosa	Medio resistivo (MR)	16,00
- 6.00	- 25.00	Materiali a grana fine di natura argillo-limosa	Medio basso resistivo (MC)	10,00

Tabella 13.1 – Elettro-strati nell'area di impostazione del campo fotovoltaico

In allegato si riporta la Relazione Geofisica sull'indagine S.E.V. con la relativa sezione elettro-stratigrafica interpretativa².

² Allegato 2

	IMPIANTO FOTOVOLTAICO A TERRA (AGRIVOLTAICO) COLLEGATO ALLA RTN POTENZA NOMINALE 13,79 MWp POTENZA DI IMMISSIONE AC 12,4 MW Comune di Bondeno (FE)	Rev.	0
	21-00008-IT-BONDENO_RS-R05 RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA	Pag.	57 di 59

13 CONSIDERAZIONI GEOLOGICO-TECNICHE CONCLUSIVE

- Indicazioni progettuali

Esaminate le caratteristiche geomorfologiche, geologiche, idrogeologiche, statiche del luogo e valutate le condizioni geotecniche e sismiche del sottosuolo attraverso i risultati acquisiti dalla campagna di indagini geognostiche rilevate nell'area in studio, sita nel territorio comunale di Bondeno (Fe), si esprime parere favorevole all'esecuzione delle opere in progetto, alle condizioni e con l'adozione dei parametrici geotecnici e sismici sopra menzionati (parag. 10 -11).

Da quanto detto precedentemente si prescrivono i seguenti interventi:

- 1) Adozione della fondazione compatibile con le resistenze del terreno in posto;
- 2) Impostazione del piano di fondazione ad una profondità adeguata al raggiungimento del substrato competente costituito da argille limose di medio-bassa consistenza;
- 3) Realizzazione di un opportuno drenaggio onde favorire e non alterare l'attuale deflusso superficiale il quale ha un ulteriore fondamentale scopo che è quello di proteggere le strutture fondiarie da eventuali infiltrazioni che potrebbero destabilizzarli con conseguente variazione della resistenza di attrito e di amplificazione del segnale sismico locale;

Particolare attenzione dovrà essere posta nella posa delle fondazioni, infatti, dovrà necessariamente essere asportata l'intera copertura di alterazione della sottostante formazione, ovvero quegli orizzonti litologici che sono largamente influenzati dalle variazioni meteorologiche stagionali e dunque soggetti ad alterazione ed a perdita di resistenza meccanica, fino ad appoggiare le strutture fondali sugli orizzonti più integri, dove si iniziano a rilevare buone caratteristiche fisico meccaniche *i cui valori nel dettaglio sono riportati nel capitolo precedente "10" e "11" dedicato alla geomeccanica e alla geofisica valori che l'ingegnere progettista potrà utilizzare per la scelta della fondazione più consona da adottare per le opere strutturali riguardanti l'intero parco fotovoltaico.*

Le prove sismiche eseguite in campagna hanno consentito di individuare sia la categoria del suolo di fondazione, *ai sensi delle nuove Norme Tecniche delle costruzioni D.M.17/01/2018*, mediante la misura del $V_{s,eq}$ che la sismo-stratigrafia del sito. Nella fattispecie i valori delle V_s equivalenti ottenute fanno sì che il sottosuolo di fondazione dell'area interessata dall'impianto fotovoltaico possa essere attribuita, *in maniera cautelativa*, la categoria di tipo "tipo C".

Per maggiori dettagli sul comportamento sismico che caratterizza il terreno di fondazione, si rimanda alle conclusioni ampiamente riportate nel capitolo "11" dedicato alla geofisica, dove sono riportati i valori dei parametri sismici e le proprietà elastiche dei mezzi attraversati sul sito di riferimento che il progettista dovrà tenere conto in sede di scelta di progetto.

Dall'analisi dei profili geoelettrici, si può affermare che i primi 10 metri di sottosuolo investigato è caratterizzato da valori di resistività compresi in un intervallo che va da circa 10.0 a 16,0 pm, con variazioni laterali di resistività modeste.

Al momento delle prove il livello statico della prima falda acquifera è stato registrato alla profondità di - 4,60/4,70 m dal piano campagna.

Opportuno seguire degli accorgimenti per la durata dell'intero impianto fotovoltaico ed in particolare che l'area dell'impianto vada opportunamente protetta con una leggera risagomatura della superficie topografica e *la realizzazione di un sistema di canalette drenanti* per l'allontanamento rapido delle acque piovane, ed altre opere accessorie di natura idraulica che verranno realizzate in contropendenza per convogliare l'acqua di prima pioggia da un lato all'altro dell'impianto e convogliate lungo l'impluvi naturali presenti all'interno dei lotti esaminati, prevedendo anche eventuali tubazioni di raccordo interrato. Le canalette saranno realizzate *in leggera contropendenza*

	IMPIANTO FOTOVOLTAICO A TERRA (AGRIVOLTAICO) COLLEGATO ALLA RTN POTENZA NOMINALE 13,79 MWp POTENZA DI IMMISSIONE AC 12,4 MW Comune di Bondeno (FE)	Rev.	0
	21-00008-IT-BONDENO_RS-R05 RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA	Pag.	58 di 59

in scavo di forma trapezoidale con una sezione variabile in funzione della portata di progetto. Tutte le opere di regimazione rientreranno nell'ambito dell'Ingegneria naturalistica.

I sopralluoghi eseguiti sull'area interessata dall'Impianto Fotovoltaico e sui terreni attraversati dalle opere di connessione della Linea AT necessarie al collegamento alla Rete Elettrica Nazionale S.E. "BONDENO" non hanno evidenziato, segni di dissesti o movimenti gravitativi in atto, in quanto si osserva come i caratteri morfologici dell'area sono caratterizzati da ampie zone a morfologia pianeggiante interrotte da canali drenanti all'interno delle quali non si riscontrano fenomenologie particolari. Quindi attualmente l'area in studio, da un rilevamento geomorfologico di superficie, non risulta interessata da evidenti processi morfogenetici in atto, tali da comprometterne la stabilità. Per quanto detto la superficie netta interessata dall'impianto agri-fotovoltaico non risulta essere mappata a pericolosità e rischio geomorfologico, risulta secondo i rilievi del P.A.I. (Piano per l'Assetto Idrogeologico) della Regione Emiliana essere mappata all'interno di un'area a rischio idraulico "R1 moderato" vedi "Carta del Rischio Idraulico e Idrogeologico e dei Dissesti, tavola n° 6 - III del P.A.I.", riportata in questa relazione.

Per quanto riguarda la linea di connessione AT in cavo interrato, considerato che il cavidotto da realizzare sarà posizionato sul fondo di uno scavo in trincea a profondità non inferiore a 1 m e con sviluppo complessivo in lunghezza di circa 5,50 km, per un buon funzionamento, si consiglia di sostituire il materiale rimosso dal fondo trincea con un tappeto drenante, creando un "letto di posa" con materiale arido di idonea pezzatura e spessore. Per il rinterro dello scavo e per il posizionamento del cavidotto, è opportuno che la granulometria del terreno utilizzato sia omogenea e media (quella delle sabbie), allo scopo di salvaguardare l'integrità della condotta ed evitare le problematiche connesse all'infiltrazione di acqua. Sarà necessario eseguire a regola d'arte la porzione terminale dello scavo (verso la superficie), realizzando la sede stradale in tutti i suoi strati per evitare dannose infiltrazioni d'acqua in corrispondenza della trincea di scavo.

L'area interessata dal progetto non presenta corpi idrici superficiali e sotterranei destinati all'emungimento per scopi potabili, a protezione dei rischi di inquinamento del suolo e del sottosuolo, di cui al DPR 236/88 e DL 152/99 e s.m. e i. e inoltre si esclude il rischio di inquinamento idrico durante la fase di cantiere.

Come già detto precedentemente nel paragrafo 9 esposto in questa Relazione, l'impianto fotovoltaico e le relative opere di connessione attraversano aree non soggette a vincoli ambientali o storico/artistici di alcun tipo.

- Conclusioni

A seguito delle risultanze delle indagini svolte e sulla scorta delle conoscenze acquisite in luogo tramite rilevamento geologico-geomorfologico di superficie è stato possibile valutare che gli interventi progettuali non costituiscono alcun turbamento all'equilibrio morfogenetico e idrogeologico dell'area, sia per quanto riguarda le acque di scorrimento superficiali che per quelle sotterranee né dissesti idro-geomorfologici in genere in quanto l'intervento progettuale verrà realizzato nel rispetto e in funzione della salvaguardia, della qualità e della tutela dell'ambiente e del paesaggio mantenendo se non migliorando gli equilibri idro-geomorfologici attuali, in quanto verranno realizzati, dove è necessario, opere di regimazione idraulica nell'ambito dell'Ingegneria naturalistica con la funzione di migliorare il deflusso delle acque superficiali e di prevenire fenomeni erosivi della coltre superficiale ad opera delle acque meteoriche.

Il sito in oggetto ha precise caratteristiche che lo identificano come ideale, in quanto le caratteristiche di esposizione dell'area interessata rientrano in quei parametri per cui è permesso tale sfruttamento. La valutazione e l'interpretazione critica delle osservazioni afferenti al complesso degli elementi oggettivi raccolti nel corso dei sopralluoghi consentono di esprimere parere di fattibilità geologica

	IMPIANTO FOTOVOLTAICO A TERRA (AGRIVOLTAICO) COLLEGATO ALLA RTN POTENZA NOMINALE 13,79 MWp POTENZA DI IMMISSIONE AC 12,4 MW Comune di Bondeno (FE)	Rev.	0
	21-00008-IT-BONDENO_RS-R05 RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA	Pag.	59 di 59

per la realizzazione degli interventi in progetto, se si attiene a quanto esposto nella presente relazione geologico-tecnica, nel pieno rispetto dei precedenti equilibri geologici.

Dalle argomentazioni sopra esposte, si conclude affermando la piena idoneità del sito, anche per ciò che concerne il possibile impatto dell'impianto sulle matrici ambientali considerate (morfologia, idrologia sotterranea e superficiale), come esplicitato nei precedenti paragrafi, ed anche la fase di cantiere non produrrà alcun impatto in quanto al termine delle operazioni di installazione, tutte le aree verranno ripristinate.

In fase esecutiva la direzione lavori verificherà la congruenza delle caratteristiche litologiche del terreno in posto, con quelle attese in seguito alla schematizzazione effettuata nel presente documento.

Termini Imerese, li 29/08/2022

Dott.ssa Geol. Concetta Pérez

Dott.ssa CONCETTA PEREZ

**BONDENO (FE)
NUOVA SE TERNA**

Report indagine geognostica

REVISIONE N° 00

DATA DI EMISSIONE: 12/07/2022

REDATTA DA: dott. A. Freddo geologo



APPROVATA DA: dott. E. Fornasiero ingegnere
Direttore Tecnico



Dott.ssa CONCETTA PEREZ
BONDENO (FE) – NUOVO SE TERNA
REPORT INDAGINE GEOGNOSTICA

INDICE

1. INTRODUZIONE
2. INDAGINE GEOGNOSTICA
 - 2.1 Prove penetrometriche statiche CPT (Cone Penetration Test)
 - 2.2 Misura del livello dell'acqua entro il foro di prova
3. INDAGINE GEOELETTRICA
 - 3.1 Interpretazione dei dati

TAVOLE TECNICHE

- N° 1 FOGLIO PLANIMETRICO
- N° 2 FOGLI INTERPRETATIVI DELLE PROVE CPT
- N° 3 FOTOGRAFIE DEI PIAZZAMENTI D'INDAGINE
- N° 1 FOGLIO ELABORAZIONE STESA GEOELETTRICA

1. INTRODUZIONE

Su incarico della dottoressa Concetta Perez nella presente relazione si riportano i risultati ottenuti dall'indagine geognostica eseguita in Comune di Bondeno (FE) in corrispondenza dei terreni sui quali è prevista la realizzazione di un nuovo impianto fotovoltaico.



Vista aerea del sito (Google Earth)

Finalità dell'indagine è l'individuazione delle caratteristiche litostratigrafiche e meccaniche del sottosuolo, a tale scopo sono state eseguite:

- N° 2 prove penetrometriche statiche meccaniche CPT;
- N° 1 indagine geoelettrica ERT.

2. INDAGINE GEOGNOSTICA

L'ubicazione delle prove, come riportato nella planimetria allegata, è stata scelta in accordo con la committente e compatibilmente alle effettive possibilità di accesso ai punti d'indagine.

2.1 Prove penetrometriche statiche CPT (Cone Penetration Test)

La prova penetrometrica statica CPT (di tipo meccanico) consiste essenzialmente nella misura della resistenza alla penetrazione di una punta meccanica di dimensioni e caratteristiche standardizzate, infissa nel terreno a velocità costante di 2 cm/sec.

La penetrazione viene effettuata tramite un dispositivo di spinta (penetrometro), opportunamente ancorato al suolo che agisce su una batteria di aste alla cui estremità è collegata la punta. Lo sforzo necessario per l'infissione è misurato per mezzo di celle di carico.

La punta conica è dotata di un manicotto sovrastante per la misura dell'attrito laterale ed ha dimensioni standardizzate: punta/manicotto tipo Begemann.

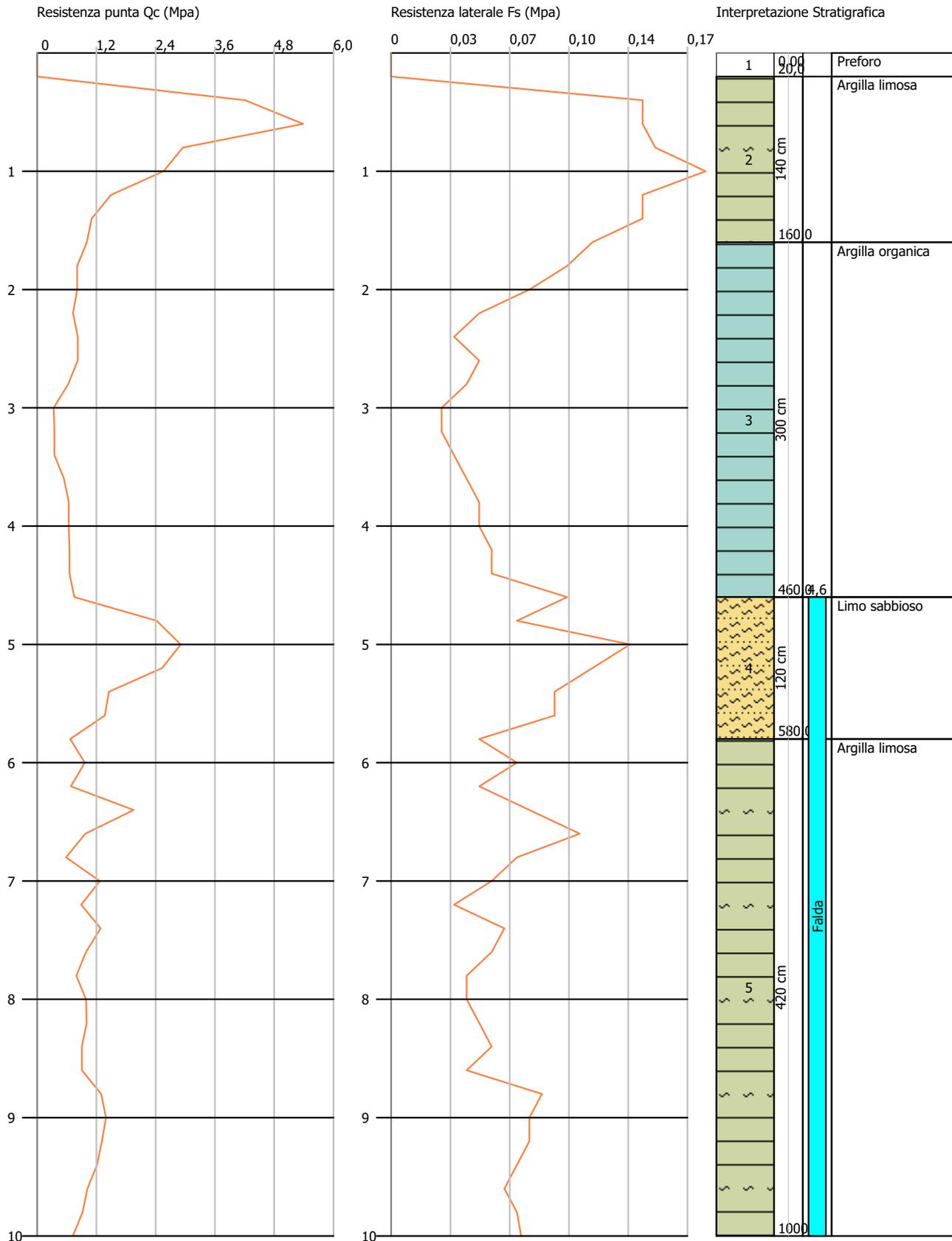
I dati rilevati della prova sono una coppia di valori per ogni intervallo di lettura costituiti da LP (Lettura alla punta) e LT (Lettura della punta + manicotto), le relative resistenze vengono quindi desunte per differenza. Le resistenze specifiche **Q_c** (Resistenza alla punta) e **Q_l** (Resistenza laterale) vengono desunte sulla base dei valori specifici dell'area di base della punta e dell'area del manicotto di frizione laterale.

La loro elaborazione, interpretazione e visualizzazione grafica consente di "catalogare e parametrizzare" il suolo attraversato con un'immagine in continuo, che permette anche di avere un raffronto sulle consistenze dei vari livelli attraversati per la caratterizzazione stratigrafica. L'utilizzo dei dati dovrà comunque essere trattato con spirito critico e possibilmente, dopo esperienze geologiche acquisite in zona.

Probe CPT - Cone Penetration CPT1
 Strumento utilizzato PAGANI TG 63 (200 kN)

Committente: dott.ssa Concetta Perez
 Cantiere:
 Località: Bondeno (FE)

Data: 08/07/2022



PROVA CPT1

Committente: dott.ssa Perez
 Strumento utilizzato: PAGANI TG 63 (200 kN)
 Prova eseguita in data: 08/07/2022
 Profondità prova: 10,00 mt
 Località: Bondeno (FE)

Profondità (m)	Lettura punta (Mpa)	Lettura laterale (Mpa)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	qc/fs Begemann	fs/qcx100 (Schmertmann)
0,20						
0,40	4,22	5,9	4,21686	0,130755	32,25	3,1
0,60	5,39	7,4	5,393658	0,130723	41,26	2,4
0,80	2,94	4,9	2,955528	0,137293	21,527	4,6
1,00	2,55	4,6	2,563262	0,163477	15,68	6,4
1,20	1,47	3,9	1,498064	0,130723	11,46	8,7
1,40	1,08	3,0	1,105798	0,130723	8,459	11,8
1,60	0,98	2,9	1,007731	0,104637	9,631	10,4
1,80	0,78	2,4	0,811598	0,091496	8,87	11,3
2,00	0,78	2,2	0,811598	0,071883	11,291	8,9
2,20	0,69	1,8	0,727065	0,045797	15,876	6,3
2,40	0,78	1,5	0,825132	0,032656	25,267	4,0
2,60	0,78	1,3	0,825132	0,045797	18,017	5,6
2,80	0,59	1,3	0,628999	0,039227	16,035	6,2
3,00	0,29	0,9	0,334799	0,026184	12,786	7,8
3,20	0,29	0,7	0,348332	0,026184	13,303	7,5
3,40	0,29	0,7	0,348332	0,032656	10,667	9,4
3,60	0,49	1,0	0,544465	0,039227	13,88	7,2
3,80	0,59	1,2	0,642532	0,045797	14,03	7,1
4,00	0,59	1,3	0,642532	0,045797	14,03	7,1
4,20	0,59	1,3	0,656065	0,052269	12,552	8,0
4,40	0,59	1,4	0,656065	0,052269	12,552	8,0
4,60	0,69	1,5	0,754131	0,091496	8,242	12,1
4,80	2,35	3,7	2,421262	0,06541	37,017	2,7
5,00	2,84	3,8	2,911594	0,12425	23,433	4,3
5,20	2,45	4,3	2,532862	0,104637	24,206	4,1
5,40	1,37	2,9	1,45413	0,084991	17,109	5,8
5,60	1,37	2,6	1,372931	0,085024	16,148	6,2
5,80	0,59	1,9	0,669598	0,045797	14,621	6,8
6,00	0,88	1,6	0,963798	0,06541	14,735	6,8
6,20	0,59	1,6	0,683131	0,045797	14,917	6,7
6,40	1,86	2,5	1,957996	0,071883	27,239	3,7
6,60	0,88	2,0	0,977331	0,098067	9,966	10,0
6,80	0,49	2,0	0,585065	0,06541	8,945	11,2
7,00	1,18	2,2	1,27153	0,052269	24,327	4,1
7,20	0,78	1,6	0,892797	0,032656	27,339	3,7
7,40	1,18	1,7	1,285063	0,05884	21,84	4,6
7,60	0,88	1,8	0,990864	0,052269	18,957	5,3
7,80	0,69	1,5	0,794731	0,039227	20,26	4,9
8,00	0,88	1,5	0,990864	0,039227	25,26	4,0
8,20	0,88	1,5	1,004397	0,045797	21,932	4,6
8,40	0,78	1,5	0,906331	0,052269	17,34	5,8
8,60	0,78	1,6	0,906331	0,039227	23,105	4,3
8,80	1,18	1,8	1,298597	0,078453	16,553	6,0
9,00	1,27	2,5	1,396663	0,071883	19,43	5,1
9,20	1,18	2,3	1,31213	0,071883	18,254	5,5
9,40	1,08	2,2	1,214063	0,06541	18,561	5,4
9,60	0,88	1,9	1,01793	0,05884	17,3	5,8
9,80	0,78	1,7	0,919864	0,06541	14,063	7,1
10,00	0,59	1,6	0,723731	0,067568	10,711	9,3

STIMA SUCCESSIONE STRATIGRAFICA

Prof. Strato (m)	qc Media (Mpa)	fs Media (Mpa)	Gamma Medio (KN/m ³)	Comp. Geotecnico	Descrizione
Strato 1	0,20				Preforo
Strato 2	1,60	1,723075	0,132619	18,6	Coesivo Argilla limosa
Strato 3	4,60	0,565963	0,049249	17,7	Coesivo Argilla organica
Strato 4	5,80	1,367372	0,085018	18,6	Incoerente Limo sabbioso
Strato 5	10,00	0,945963	0,058943	17,7	Coesivo Argilla limosa

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI

TERRENI COESIVI

Coesione non drenata

	Prof. Strato (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	Tensione litostatica totale (KPa)	Tensione litostatica efficace (KPa)	Correlazione	Cu (KPa)
Strato 2	1,60	1,723075	0,132619	13,0	13,0	Terzaghi	86,3
Strato 3	4,60	0,565963	0,049249	52,6	52,6	Terzaghi	28,4
Strato 5	10,00	0,945963	0,058943	138,6	106,3	Terzaghi	47,1

Modulo Edometrico

	Prof. Strato (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	Tensione litostatica totale (KPa)	Tensione litostatica efficace (KPa)	Correlazione	Eed (Mpa)
Strato 2	1,60	1,723075	0,132619	13,0	13,0	Metodo generale del modulo Edometrico	4,6
Strato 3	4,60	0,565963	0,049249	52,6	52,6	Metodo generale del modulo Edometrico	3,0
Strato 5	10,00	0,945963	0,058943	138,6	106,3	Metodo generale del modulo Edometrico	4,2

Grado di sovraconsolidazione

	Prof. Strato (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	Tensione litostatica totale (KPa)	Tensione litostatica efficace (KPa)	Correlazione	Ocr
Strato 2	1,60	1,723075	0,132619	13,0	13,0	Stress-History	3,08
Strato 3	4,60	0,565963	0,049249	52,6	52,6	Stress-History	<0.5
Strato 5	10,00	0,945963	0,058943	138,6	106,3	Stress-History	<0.5

Peso unità di volume

	Prof. Strato (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	Tensione litostatica totale (KPa)	Tensione litostatica efficace (KPa)	Correlazione	Peso unità di volume (KN/m ³)
Strato 2	1,60	1,723075	0,132619	13,0	13,0	Meyerhof	19,1

Strato 3	4,60	0,565963	0,049249	52,6	52,6	Meyerhof	17,1
Strato 5	10,00	0,945963	0,058943	138,6	106,3	Meyerhof	18,0

Peso unità di volume saturo

	Prof. Strato (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	Tensione litostatica totale (KPa)	Tensione litostatica efficace (KPa)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (KN/m³)
Strato 2	1,60	1,723075	0,132619	13,0	13,0	Meyerhof	19,9
Strato 3	4,60	0,565963	0,049249	52,6	52,6	Meyerhof	17,9
Strato 5	10,00	0,945963	0,058943	138,6	106,3	Meyerhof	18,7

TERRENI INCOERENTI

Densità relativa

	Prof. Strato (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	Tensione litostatica totale (KPa)	Tensione litostatica efficace (KPa)	Correlazione	Densità relativa (%)
Strato 4	5,80	1,367372	0,085018	90,3	84,4	Schmertmann	5,0

Angolo di resistenza al taglio

	Prof. Strato (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	Tensione litostatica totale (KPa)	Tensione litostatica efficace (KPa)	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato 4	5,80	1,367372	0,085018	90,3	84,4	Koppejan	22,3

Modulo di Young

	Prof. Strato (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	Tensione litostatica totale (KPa)	Tensione litostatica efficace (KPa)	Correlazione	Modulo di Young (Mpa)
Strato 4	5,80	1,367372	0,085018	90,3	84,4	ISOPT-1 1988	2,7

Grado di sovraconsolidazione

	Prof. Strato (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	Tensione litostatica totale (KPa)	Tensione litostatica efficace (KPa)	Correlazione	Ocr
Strato 4	5,80	1,367372	0,085018	90,3	84,4	Stress-History	<0.5

Peso unità di volume

	Prof. Strato (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	Tensione litostatica totale (KPa)	Tensione litostatica efficace (KPa)	Correlazione	Peso unità di volume (KN/m³)
Strato 4	5,80	1,367372	0,085018	90,3	84,4	Meyerhof	17,7

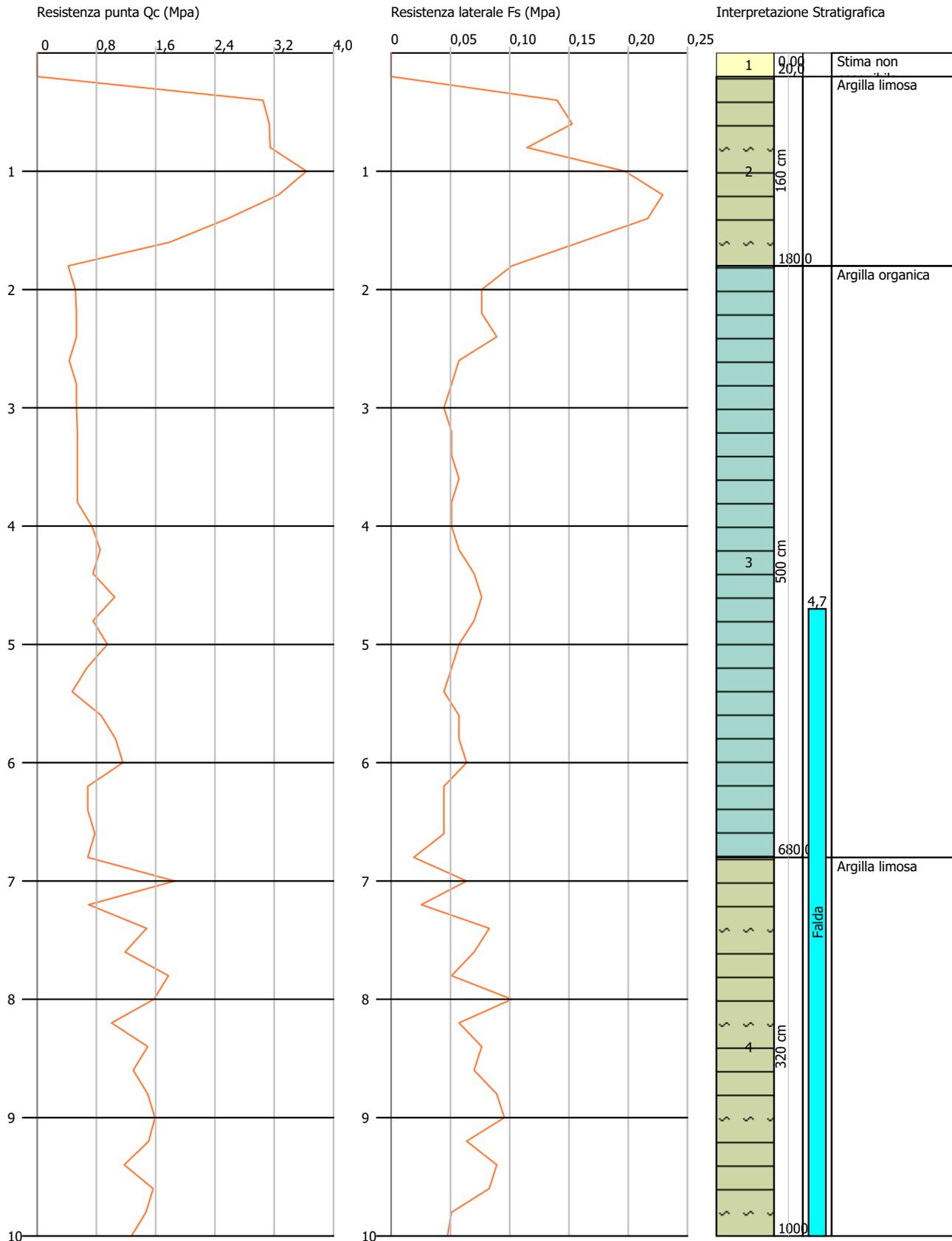
Peso unità di volume saturo

	Prof. Strato (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	Tensione litostatica totale (KPa)	Tensione litostatica efficace (KPa)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (KN/m³)
Strato 4	5,80	1,367372	0,085018	90,3	84,4	Meyerhof	20,6

Probe CPT - Cone Penetration CPT2
 Strumento utilizzato PAGANI TG 63 (200 kN)

Committente: dott.ssa Concetta Perez
 Cantiere:
 Località: Bondeno (FE)

Data: 08/07/2022



PROVA CPT2

Committente: dott.ssa Perez
 Strumento utilizzato: PAGANI TG 63 (200 kN)
 Prova eseguita in data: 08/07/2022
 Profondità prova: 10,00 mt
 Località: Bondeno (FE)

Profondità (m)	Lettura punta (Mpa)	Lettura laterale (Mpa)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	qc/fs Begemann	fs/qcx100 (Schmertmann)
0,20						
0,40	3,04	4,9	3,053595	0,143831	21,23	4,7
0,60	3,14	5,3	3,138128	0,156906	20,0	5,0
0,80	3,14	5,5	3,151661	0,11768	26,782	3,7
1,00	3,63	5,4	3,641994	0,202703	17,967	5,6
1,20	3,24	6,3	3,263261	0,23536	13,865	7,2
1,40	2,55	6,1	2,576795	0,222317	11,591	8,6
1,60	1,77	5,1	1,792263	0,163477	10,963	9,1
1,80	0,39	2,8	0,419332	0,104637	4,007	25,0
2,00	0,49	2,1	0,517399	0,078453	6,595	15,2
2,20	0,49	1,7	0,530932	0,078453	6,768	14,8
2,40	0,49	1,7	0,530932	0,091496	5,803	17,2
2,60	0,39	1,8	0,432866	0,05884	7,357	13,6
2,80	0,49	1,4	0,530932	0,052269	10,158	9,8
3,00	0,49	1,3	0,530932	0,045797	11,593	8,6
3,20	0,49	1,2	0,544465	0,052269	10,417	9,6
3,40	0,49	1,3	0,544465	0,052269	10,417	9,6
3,60	0,49	1,3	0,544465	0,05884	9,253	10,8
3,80	0,49	1,4	0,544465	0,052269	10,417	9,6
4,00	0,69	1,5	0,740598	0,052269	14,169	7,1
4,20	0,78	1,6	0,852198	0,05884	14,483	6,9
4,40	0,69	1,6	0,754131	0,071883	10,491	9,5
4,60	0,98	2,1	1,048331	0,078453	13,363	7,5
4,80	0,69	1,9	0,754131	0,071883	10,491	9,5
5,00	0,88	2,0	0,950264	0,05884	16,15	6,2
5,20	0,59	1,5	0,669598	0,052269	12,811	7,8
5,40	0,39	1,2	0,473465	0,045797	10,338	9,7
5,60	0,78	1,5	0,865731	0,05884	14,713	6,8
5,80	0,98	1,9	1,061864	0,05884	18,047	5,5
6,00	1,08	2,0	1,159931	0,06541	17,733	5,6
6,20	0,59	1,6	0,683131	0,045797	14,917	6,7
6,40	0,59	1,3	0,683131	0,045797	14,917	6,7
6,60	0,69	1,4	0,781198	0,045797	17,058	5,9
6,80	0,59	1,3	0,683131	0,019613	34,831	2,9
7,00	1,77	2,1	1,859929	0,06541	28,435	3,5
7,20	0,59	1,6	0,696664	0,026184	26,606	3,8
7,40	1,37	1,8	1,481196	0,085024	17,421	5,7
7,60	1,08	2,4	1,186997	0,071883	16,513	6,1
7,80	1,67	2,7	1,775396	0,052269	33,967	2,9
8,00	1,47	2,3	1,579263	0,104637	15,093	6,6
8,20	0,88	2,5	1,004397	0,05884	17,07	5,9
8,40	1,37	2,3	1,49473	0,078453	19,053	5,2
8,60	1,18	2,4	1,298597	0,071883	18,065	5,5
8,80	1,37	2,5	1,49473	0,091496	16,337	6,1
9,00	1,47	2,8	1,592796	0,098067	16,242	6,2
9,20	1,37	2,8	1,508263	0,065378	23,07	4,3
9,40	1,18	2,2	1,176798	0,091529	12,857	7,8
9,60	1,57	2,9	1,569064	0,084991	18,462	5,4
9,80	1,47	2,7	1,470998	0,052302	28,125	3,6
10,00	1,27	2,1	1,274865	0,048906	26,068	3,8

STIMA SUCCESSIONE STRATIGRAFICA

Prof. Strato (m)	qc Media (Mpa)	fs Media (Mpa)	Gamma Medio (KN/m ³)	Comp. Geotecnico	Descrizione
Strato 1	0,20				Preforo
Strato 2	1,80	2,058058	0,168364	19,1	Coesivo Argilla limosa
Strato 3	6,80	0,632044	0,058051	17,4	Coesivo Argilla organica
Strato 4	10,00	1,288467	0,071703	18,6	Coesivo Argilla limosa

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI

TERRENI COESIVI

Coesione non drenata

	Prof. Strato (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	Tensione litostatica totale (KPa)	Tensione litostatica efficace (KPa)	Correlazione	Cu (KPa)
Strato 2	1,80	2,058058	0,168364	15,3	15,3	Terzaghi	103,0
Strato 3	6,80	0,632044	0,058051	74,1	74,1	Terzaghi	31,4
Strato 4	10,00	1,288467	0,071703	147,3	111,0	Terzaghi	64,7

Modulo Edometrico

	Prof. Strato (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	Tensione litostatica totale (KPa)	Tensione litostatica efficace (KPa)	Correlazione	Eed (Mpa)
Strato 2	1,80	2,058058	0,168364	15,3	15,3	Metodo generale del modulo Edometrico	4,1
Strato 3	6,80	0,632044	0,058051	74,1	74,1	Metodo generale del modulo Edometrico	3,3
Strato 4	10,00	1,288467	0,071703	147,3	111,0	Metodo generale del modulo Edometrico	4,7

Grado di sovraconsolidazione

	Prof. Strato (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	Tensione litostatica totale (KPa)	Tensione litostatica efficace (KPa)	Correlazione	Ocr
Strato 2	1,80	2,058058	0,168364	15,3	15,3	Stress-History	3,13
Strato 3	6,80	0,632044	0,058051	74,1	74,1	Stress-History	<0.5
Strato 4	10,00	1,288467	0,071703	147,3	111,0	Stress-History	<0.5

Peso unità di volume

	Prof. Strato (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	Tensione litostatica totale (KPa)	Tensione litostatica efficace (KPa)	Correlazione	Peso unità di volume (KN/m ³)
Strato 2	1,80	2,058058	0,168364	15,3	15,3	Meyerhof	19,4
Strato 3	6,80	0,632044	0,058051	74,1	74,1	Meyerhof	17,3

Strato 4	10,00	1,288467	0,071703	147,3	111,0	Meyerhof	18,5
----------	-------	----------	----------	-------	-------	----------	------

Peso unità di volume saturo

	Prof. Strato (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	Tensione litostatica totale (KPa)	Tensione litostatica efficace (KPa)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (KN/m ³)
Strato 2	1,80	2,058058	0,168364	15,3	15,3	Meyerhof	20,2
Strato 3	6,80	0,632044	0,058051	74,1	74,1	Meyerhof	18,1
Strato 4	10,00	1,288467	0,071703	147,3	111,0	Meyerhof	19,3

2.2 Misura del livello dell'acqua entro il foro di prova

Al termine dell'esecuzione delle prove penetrometriche si è proceduto a misurare la profondità dell'acqua dal piano campagna entro il foro di prova mediante freatimetro:

CPT 1 4,60 m da p.c.

CPT 2 4,70 m da p.c.

3. INDAGINE GEOELETTRICA

L'indagine geoelettrica fa utilizzo di correnti elettriche fatte circolare nel terreno al fine ricavare il parametro di resistività elettrica.

Ogni corpo roccioso presenta un ampio campo di variabilità dei propri valori di resistività, dipendente dal grado di omogeneità, dal livello di alterazione e dal grado di fratturazione delle rocce. Nel caso di terreni sciolti, quali i depositi alluvionali recenti, la resistività dipende dalla granulometria, dai fluidi in essi contenuti e dal quantitativo in sali disciolti. A questa regola fanno eccezione le argille che, anche se compatte, hanno sempre valori di resistività estremamente bassi; questo è dovuto principalmente alle caratteristiche del reticolo cristallino dei minerali che le compongono ed al loro grado di saturazione.

L'ubicazione planimetrica dello stendimento è riportata nelle Tavole Tecniche dove, in posizione iniziale e finale, vengono indicati il primo e l'ultimo elettrodo. Nella seguente tabella sono riportati il nome della stesa, la sua lunghezza, il numero di elettrodi utilizzati e il passo elettrodo.

DENOMINAZIONE STESA	LUNGHEZZA (m)	N. ELETTRODI	PASSO ELETTRODICO (m)
ERT 01	125	24	5,0

3.1 Interpretazione dei dati

I dati misurati in campagna sono stati elaborati per ricavarne il valore di resistività reale del terreno. L'elaborazione della stesa è riportata nelle tavole tecniche allegate e la sua interpretazione è basata su dati di resistività presenti in letteratura e sui dati ottenuti dalle altre prove eseguite in sito.

Dalla prova eseguita si osserva una successione continua di terreni coesivi argillosi con una variazione di resistività con la profondità dovuta alla saturazione dei terreni.

In particolare si evidenzia la seguente successione stratigrafica:

- un livello superficiale con resistività media pari a circa 16 ρm rilevabile fino alla profondità di 6 ml da p.c.
- un livello profondo saturo con resistività media pari a 10 ρm rilevabile fino alla profondità massima investigata di 25 ml da p.c.

La successione stratigrafica risulta lineare e continua per tutta la lunghezza della stesa elaborata.

TAVOLE TECNICHE



Ubicazione planimetrica delle indagini



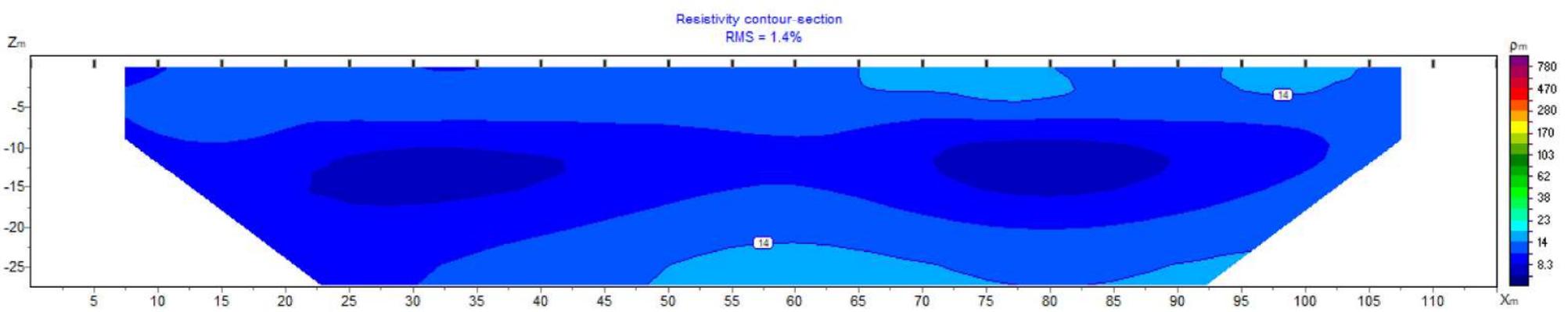
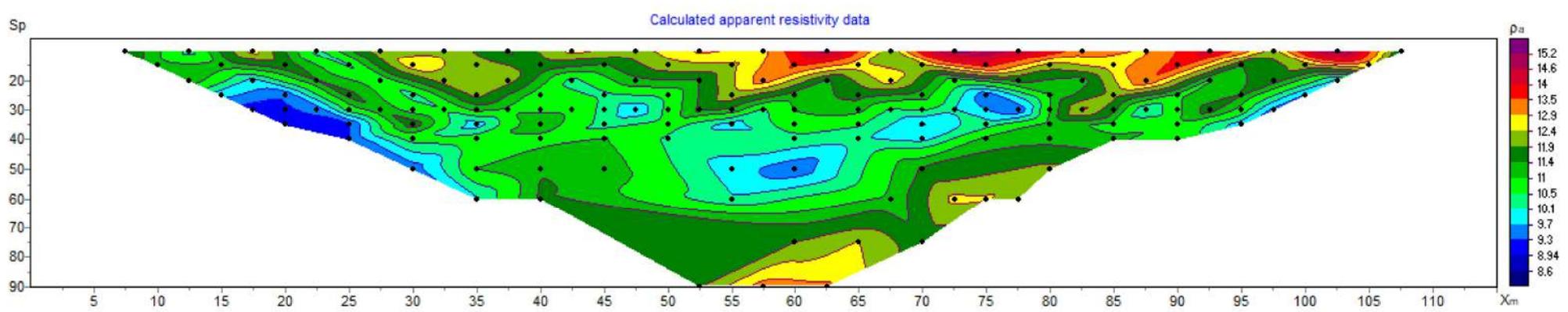
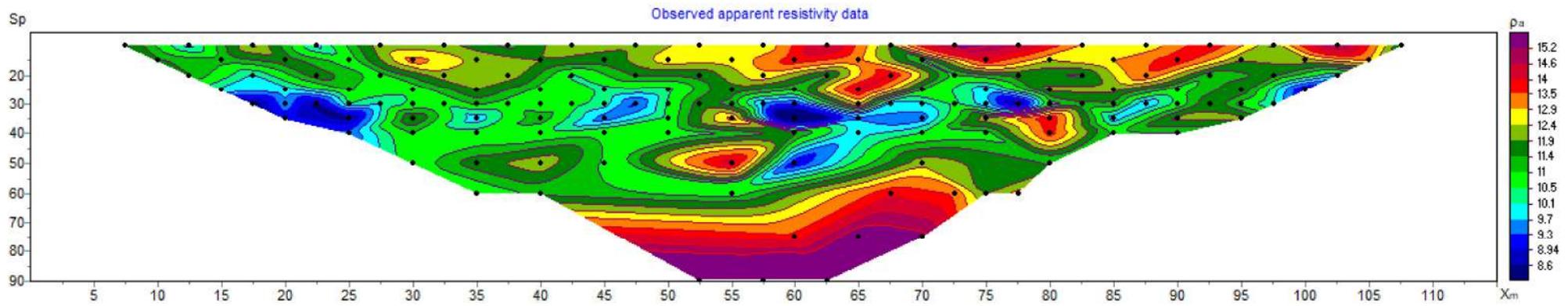
Piazzamento prova CPT1



Piazzamento prova CPT2



Stendimento prova geoelettrica



3F Laboratori S.r.l.	Dott.ssa Concetta Perez
Via Rovigo, 61	Bondeno (FE)
www.3flaboratori.it	