



Regione Emilia Romagna
Comune di Forlì
Provincia di Forlì

IMPIANTO FOTOVOLTAICO "CA' BELLETTI"

Progetto Definitivo

Progetto delle opere di rete per la connessione alla rete AT di e-distribuzione in regime di Cessione
Totale per l'impianto di produzione da fonte di Solare per una potenza in immissione
richiesta di 19.200,00 KW, sito in via SANSOVINI SNC, nel Comune di FORLÌ (FC)

COMMITTENTE

PRIMO BAGIONI

SVILUPPO PROGETTO



RICHIESTA DI BENESTARE
DOCUMENTAZIONE DA ALLEGARE
A ITER AUTORIZZATIVO

CODICE RINTRACCIABILITA': 418972551

0	18/02/2025	Emissione per Progettazione Definitiva	PLANET	GRASSO	VITALI
Revisione	Data	Descrizione	Preparato	Verificato	Approvato
Progettista Ing. Matteo Zanatta		Geologo Dott. Massimo Castellaro	Scala -	COMMESSA	
EMESSO PER	TITOLO	FILE		FOGLIO DI	FORMATO
<input checked="" type="checkbox"/> APPROVAZIONE	 RELAZIONE GEOLOGICA	CAP-05-RT - Indagine geologica		1/24	A4
<input type="checkbox"/> COSTRUZIONE		Documento No.			
<input type="checkbox"/> AS BUILT		CAP-05-RT			
<input type="checkbox"/> INFORMAZIONE					

SOMMARIO

1.	PREMESSA E LOCALIZZAZIONE DELLE AREE D'INTERVENTO	3
2.	INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO GENERALE	4
	2.1. Assetto geologico	
	2.2. Assetto geomorfologico	
3.	INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO GENERALE	11
4.	ASPETTI GEOTECNICI: INDAGINI GEOGNOSTICHE E GEOFISICHE - GENERALITÀ.....	11
	4.1. Indagine geognostica pregressa	
	4.2. Indagine sismica pregressa	
5.	CONCLUSIONI E PRESCRIZIONI GENERALI	33

1. PREMESSA E LOCALIZZAZIONE DELL' AREA D'INTERVENTO

Su incarico della Committenza, viene redatta la presente Relazione Geologica preliminare a **completamento ed integrazione degli atti progettuali** relativi al **"Progetto Definitivo delle opere di rete per la connessione alla rete AT di e-distribuzione in regime di Cessione Totale per l'impianto di produzione da fonte di Solare per una potenza in immissione richiesta di 19.200,00 KW, sito in Via Sansovini snc, nel Comune di Forlì (FC)"** (vedi estratto della DBTR – ex C.T.R. in FIG.1).

Se ne delineano, per tanto, le principali caratteristiche geologiche, idrogeologiche e geotecniche dei siti sul quale è previsto ampliamento di CP di recente realizzazione, ubicata in ambito pianeggiante ad una quota di circa 23 m s.l.m. a nord del concentrico di Bertinoro, circa 500 m a est del T. Bevano.



Fig. 1 - Estratto DBTR del sito in esame

Per quanto concerne gli aspetti di tipo geologico – geotecnici, la presente relazione viene redatta ai sensi dei:

- **D.M. LL. PP. 11/03/1988 n. 47** recante “Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l’esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione” e relative Istruzioni applicative con Circ. LL.PP. 24/09/1988 n°30483;
- **D.M. 17/01/2018** “Approvazione delle nuove Norme Tecniche per le Costruzioni” e succ. Circ. Espl. 02/02/2009 n. 617.

- **Piano Regolatore Generale** – Aggiornato con approvazione della DGP n°174 del 30/04/2002 al 2003 e adeguamento microzonazione sismica di II° livello nell'aprile 2013;
- **O.P.C.M. n. 3274 del 20/03/2003 e succ. modifiche del 2005**, contenente "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e normative tecniche per la costruzione in zona sismica";

Lo studio di seguito riportato consiste in un prima parte di inquadramenti geologico – geomorfologici dell'area vasta, seguita da una locale caratterizzazione idrogeologica ed in una parte di aspetti geotecnici, in cui sono esposti i risultati delle indagini geofisiche realizzate nelle aree in oggetto.

Il presente studio si è basato in particolare:

- sui dati rilevati durante vari sopralluoghi eseguiti sull'area d'intervento e su un suo intorno significativo;
- sulla consultazione di cartografie geologiche e geomorfologiche specifiche riguardanti l'area in esame, nonché sugli elaborati geologici allegati ai P.R.G.C. in scala 1:10.000;
- su pubblicazioni scientifiche e dati bibliografici;
- **su un'indagine geognostica *pregressa* realizzata nel cosiddetto intorno significativo: è consistita in n°2 prove penetrometriche S.C.P.T. e n°1 indagine geofisica MASW e HVSR.**

2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO GENERALE

2.1. Assetto geologico

Dal punto di vista geo-litologico generale, anche sulla base delle indicazioni riportate sul Foglio 255 "CESENA" della Carta Geologica d'Italia in scala 1:50.000 la C.P. in oggetto ricade entro gli ambiti di affioramento delle *Alluvioni del "Substintema di Ravenna"* corrispondenti alla parte sommitale del Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore (AES). Costituito da depositi fini (sabbie, limi ed argille) di ambiente fluviale (argine di canale, di tracimazione fluviale e piana inondabile) e in parte (settore di NE) deltizio (canale distributore): presentano spessore massimo in affioramento di circa 10 m. Limite superiore coincidente con il piano topografico, dato da suoli variabili da non calcarei a calcarei. I suoli non calcarei e scarsamente calcarei hanno profilo di tipo A/Bw/Bk© e hanno al tetto colore bruno scuro giallastro (10YR, 2.5YR), spessore dell'orizznte decarbonatato da qualche decina di cm fino a 1 m e contenenti resti archeologici di età dal Neolitico al Romano; limite inferiore coincidente, in affioramento, con una superficie di erosione fluviale (Pleistocene sup. – Olocene): sono siglati **AES₈** (vedi stralcio della C.G.I. di Fig. 2).

Il territorio comunale, nella porzione in esame, si sviluppa nell'area di transizione tra la media e la bassa pianura forlivese-cesenate, in un settore deposizionalmente influenzato dalle alluvioni del Fiume Savio, Torrente Bevano e dei torrenti appenninici minori.

L'evoluzione geologica del territorio comunale va necessariamente inquadrata in un contesto regionale; esso ricade, infatti, nella parte centro-meridionale della Pianura Padana propriamente detta, ovvero di uno dei più grandi bacini subsidenti plio-quadernari, di tipo sedimentario, che comincia a delinearsi sin dall'inizio del Triassico (225 milioni di anni fa) e viene interessato da subsidenza differenziata sia nel tempo che nello spazio, in diversi

periodi (Mesozoico, Cenozoico, ma soprattutto Pliocene e Quaternario), con movimenti verticali controllati dai caratteri strutturali presenti in profondità.

L'area in esame, ricade, in particolare, in un settore deposizionale caratterizzato dai depositi alluvionali del Torrente Bevano, dei corsi d'acqua minori di tipo appenninico e annessi colatori; si tratta di depositi di origine continentale a granulometria assai variabile sia in senso areale che verticale, con prevalenza di granulometrie più grossolane, in corrispondenza della parte distale della conoide del Savio e dei tracciati, sia attuale che passati, dello stesso fiume e granulometrie mediamente più fini, nella zona del territorio comunale (area in esame).

Tali depositi, di età compresa tra il Pleistocene medio e l'Olocene ricoprono un substrato datato Pliocene-Pleistocene inferiore, costituito da formazioni marine prevalentemente argillose, affioranti più a sud, lungo il margine appenninico (concentico comunale di Bertinoro) e a luoghi lungo l'alveo dei sopracitati corsi d'acqua.

Nella zona del territorio in esame la base del Pliocene si rinviene a profondità variabili, con profondità comprese tra circa 100 m e 500 m, profondità che aumenta rapidamente allontanandosi dalla Via Emilia verso NE.

L'area in esame si trova quindi nella zona delle pieghe pedeappenniniche, vergenti verso NE ed associate a faglie inverse variamente inclinate, che sembrano interessare anche i livelli più profondi della copertura alluvionale; questa è costituita principalmente dai depositi derivanti dall'apporto del F. Savio e T. Bevano, che in tempi geologici successivi, ha formato, al suo sbocco in pianura, ampie conidi sovrapposte, di cui è nota l'esistenza e la complessa stratigrafia attraverso i numerosi pozzi perforati nella zona.

All'azione dei suddetti corsi d'acqua va inoltre aggiunta quella dei corsi d'acqua minori, con la creazione di conoidi di limitate dimensioni, con corpi ghiaiosi a modesta consistenza ed irregolarmente distribuiti, frammisti ad abbondanti depositi a granulometria più fine (limi e argille).

Da un punto di vista strutturale la Pianura Padana non costituisce un'unità omogenea; fanno infatti parte del suo sottosuolo, le pieghe più esterne dell'Appennino settentrionale e delle Alpi meridionali lombarde, l'avampaese comune alle due catene e, nel Veneto, l'avampaese delle Alpi meridionali orientali e della catena dinarica. Su questi elementi è impostata l'avanfossa pliocenico quaternaria dell'Appennino.

L'andamento ad "archi di pieghe" del fronte sepolto dell'Appennino, di messa in posto sempre più recente man mano che si procede verso le aree più esterne, è da correlare con il movimento di rotazione della catena in senso orario, che genera raccorciamenti crostali di crescente intensità spostandosi dai settori occidentali a quelli orientali.

Si configura quindi un bacino sedimentario che ha subito una notevole azione di subsidenza, controllata dai movimenti tettonici della struttura esaminata; tali movimenti sono stati accertati con fasi preWurm, preRiss ed ipotizzata anche una fase preMindel.

Il substrato marino pre-Olocenico, oltre a controllare quindi gli spessori dei depositi alluvionali, sembra essere dominante sull'idrografia stessa e quindi sulla morfologia.

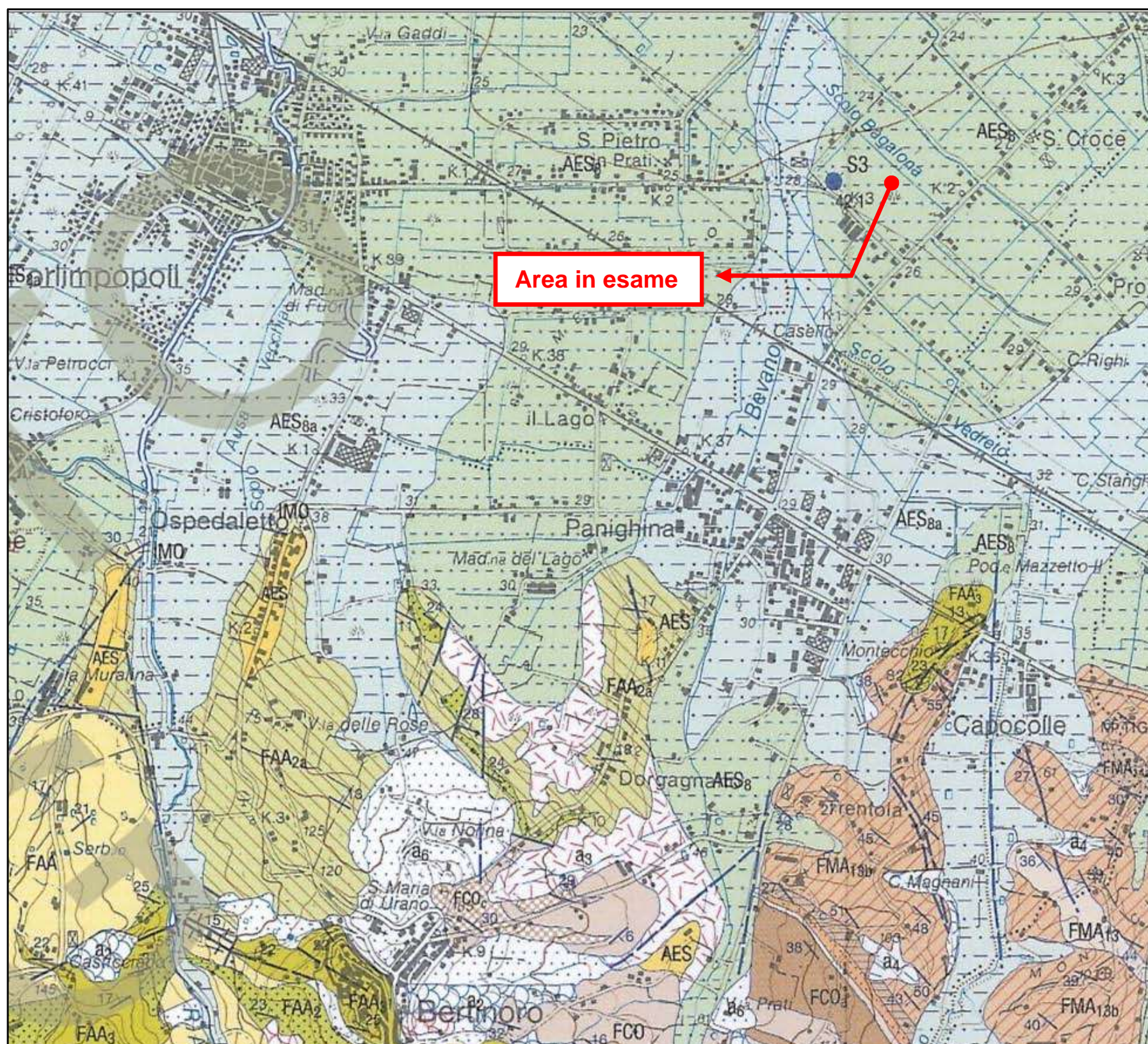


Fig. 2 – Stralcio della Carta Geologica d'Italia Foglio 255 "Cesena"

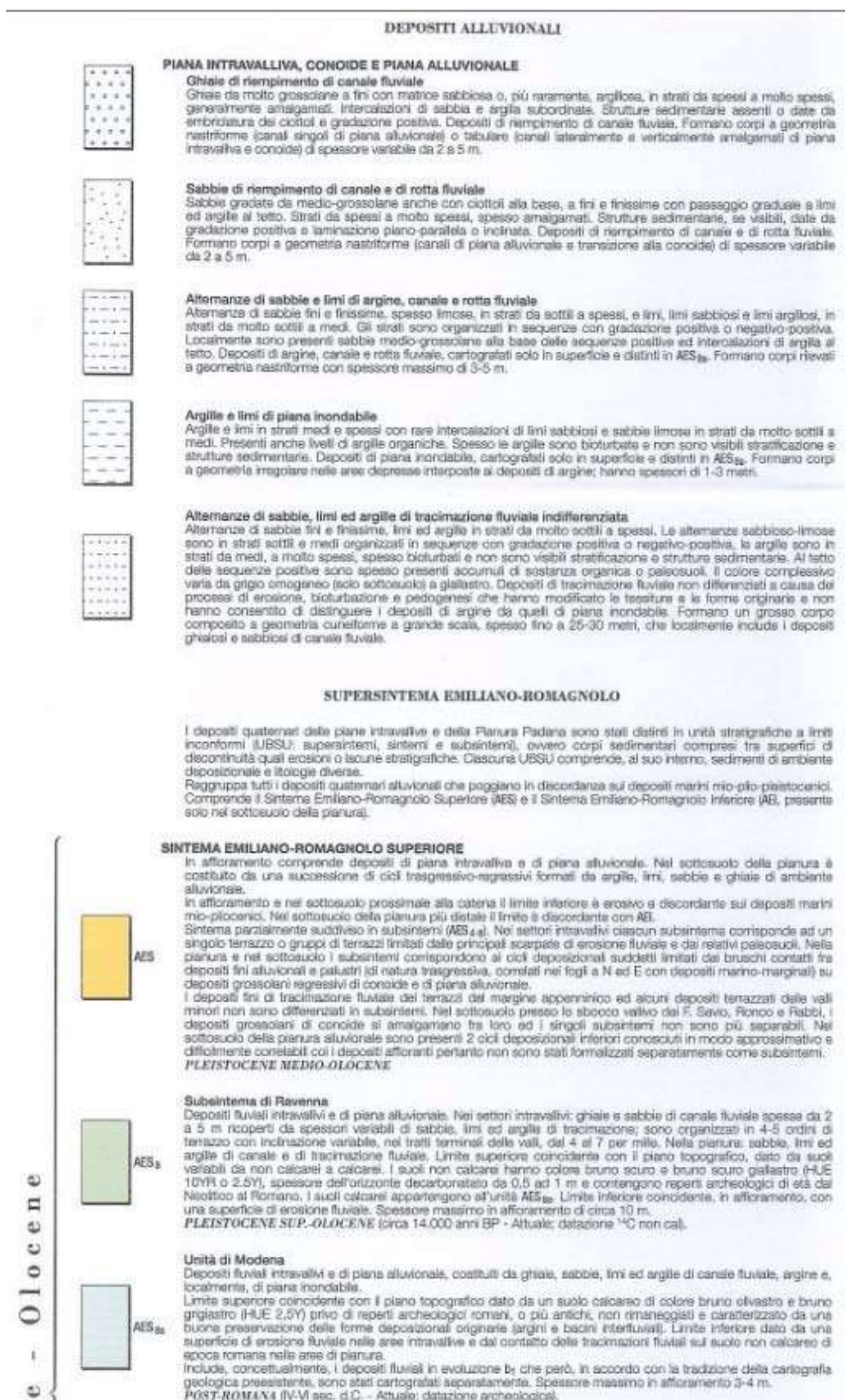
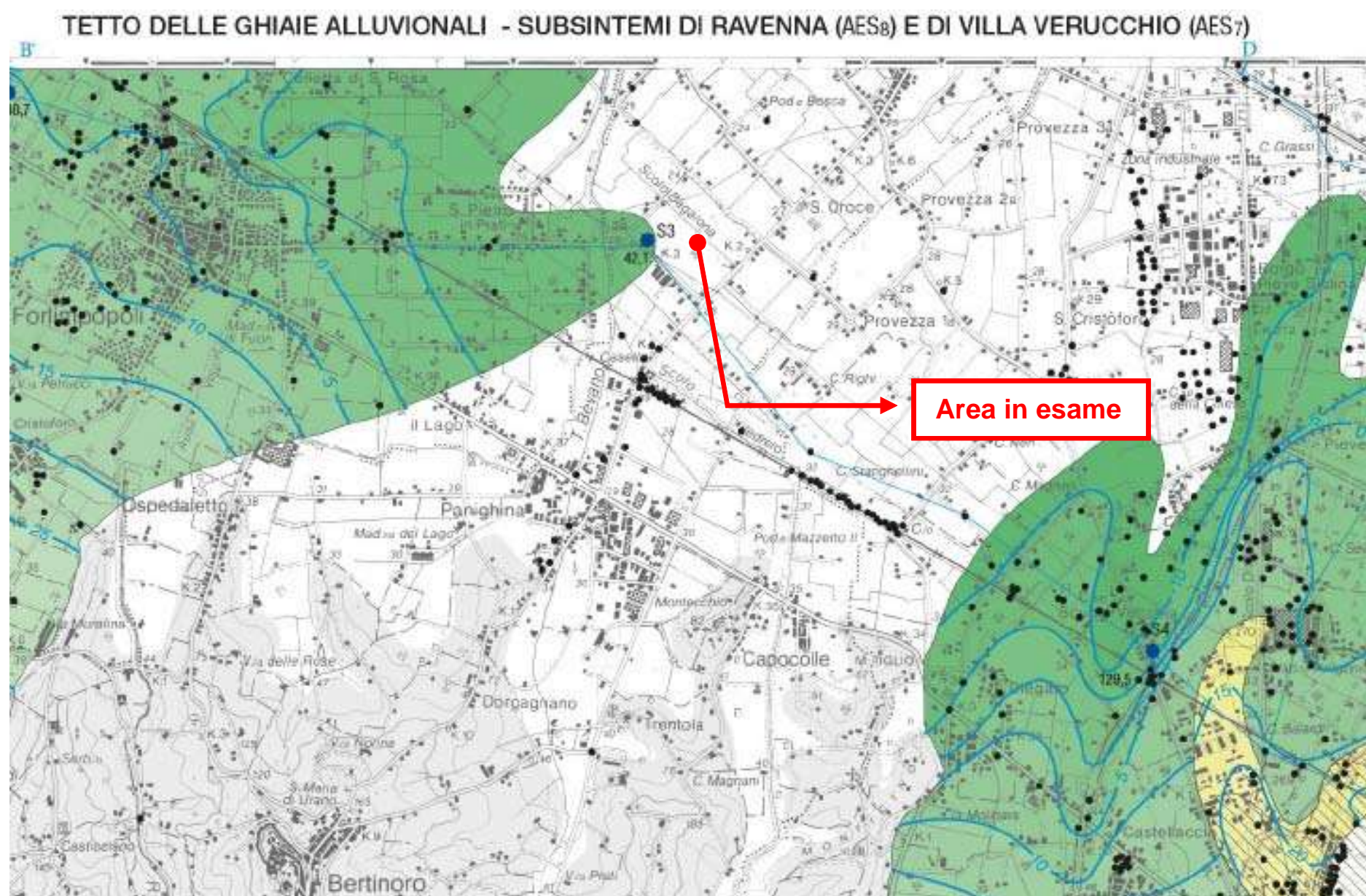


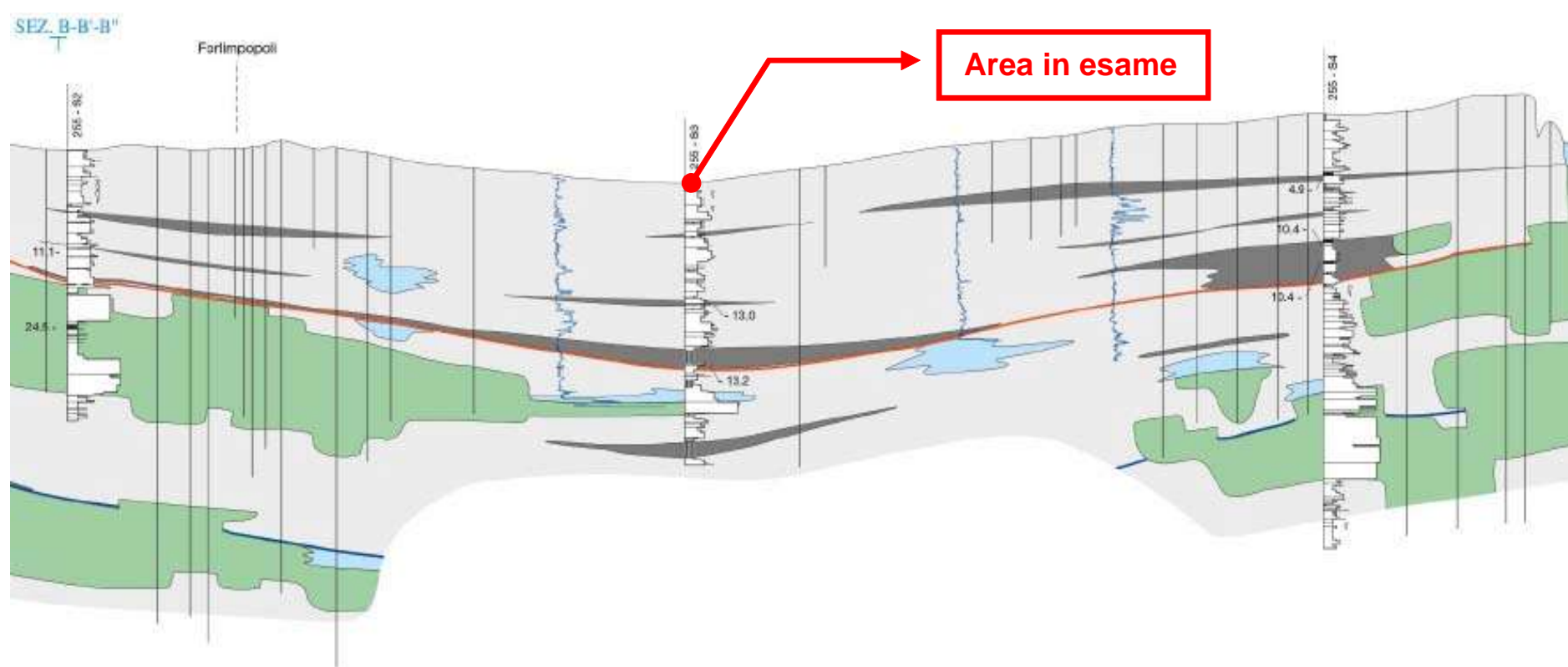
Fig. 2b – Stralcio della legenda Carta Geologica d'Italia Foglio 255 "Cesena"

La struttura tettonica dei terreni pliocenici alla base dei sedimenti alluvionali è assimilabile alla struttura tettonica appenninica affiorante a sud e che in questi luoghi appare sepolta dal bacino sedimentologico quaternario.

La litologia più superficiale dell'area è caratterizzata quindi dalla presenza di sedimenti fini di tipo limoso argilloso, finanche sabbioso fine. I terreni di copertura sono rappresentati per lo più da argille inorganiche a medio-bassa plasticità, passanti ad argille sabbioso-ghiaiose, limose e argille magre. Presenti ad intervalli disomogenei in profondità lenti sabbiose con ghiaie sede di falde freatiche e livelli ghiaiosi appartenenti al prisma di divagazione degli antichi alvei fluviali, che nel tempo hanno modificato percorso e tracciato, e localmente a depositi di rotta degli argini naturali durante le fasi di massimo stress idrologico dei paleoalvei.

Nei seguenti estratti vengono riportate le cartografie e relative sezioni, con stratigrafia del sondaggio S3 profondo 42 m dal locale p.c., nei pressi dell'area della SP in oggetto.





SEZIONE GEOLOGICA PROFONDA



SEZIONI GEOLOGICHE SUPERFICIALI

scala 1: 50 000
Esagerazione verticale 50x

DEPOSITI ALLUVIONALI DI PIANA INTRAVALLE, CONOIDE E PIANA ALLUVIONALE

- ghiaie di riempimento di canale fluviale
- sabbie di riempimento di canale e di rotta fluviale
- alternanze di sabbie, limi e argille di trascinamento fluviale
- argille e limi con sostanza organica di palude

DEPOSITI DELTIZI E LITORALI

- sabbie di cordone litorale
- argille e limi con sostanza organica di palude-laguna
- substrato marino mio - pliocenico
- base del Subinterna di Ravenna - AES₈
- base del Subinterna di Villa Verucchio - AES₇
- indagini geognostiche della banca dati RER
- penetrometrie elettriche con o senza piezometro "Progetto CARG" (resistenza alla punta)

CAROTAGGI

- 255 - S5 carotaggio "Progetto CARG" (SGN) e "Progetto microzonazione sismica" (RER)
- 255070P506 altro carotaggio visionato durante il rilevamento
- profilo granulometrico del carotaggio
- 31.0 età ¹⁴C B.P. (in ka non calibrati)
- paleosuoli (non calcarei o scarsamente calcarei)

2.2. Assetto geomorfologico

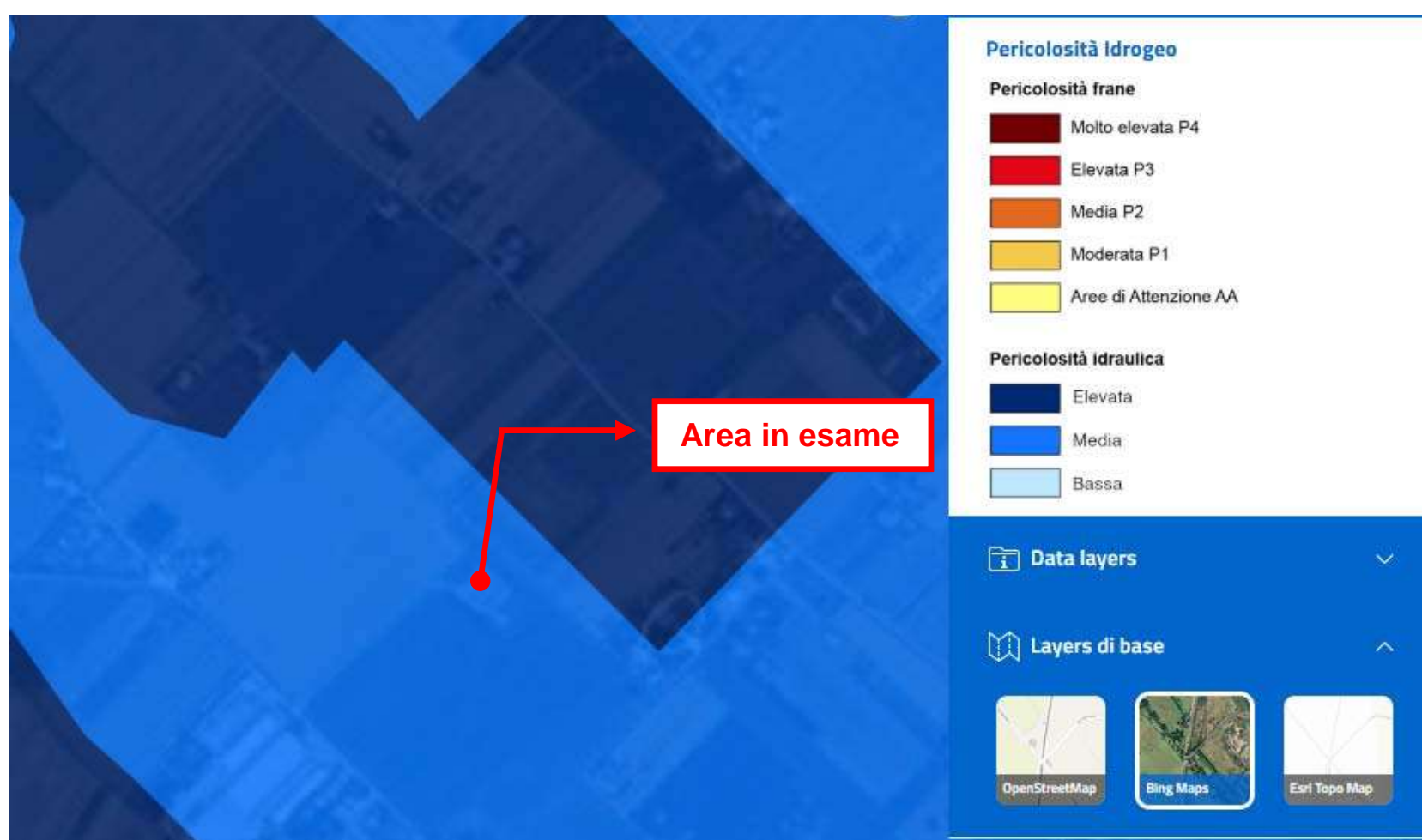
L'assetto morfologico del territorio è il risultato dell'evoluzione geomorfologica Olocenica della pianura emiliana, con particolare riguardo agli ultimi 14000 anni. Per evoluzione geomorfologica si intende specificamente la divagazione dell'apparato del Fiume Panaro e Reno e corsi d'acqua annessi, che ha fatto seguito alla trasgressione Flandriana, con lo sviluppo di canali distributori, oggi rimasti come residui dossivi a far da limite a catini interfluviali morfologicamente depressi, anche in relazione al maggiore tasso di subsidenza effetto della maggiore costipabilità dei sedimenti fini.

L'analisi geomorfologica si è quindi avvalsa anche dei dati derivanti dall'analisi di varie stratigrafie, della litologia di superficie, dell'analisi fotogeologica e della cartografia antica. La distribuzione dei paleocanali (oggi rimasti come paleoalvei, dossivi e non dossivi), dei ventagli e canali di rotta associati e dei catini interfluviali, condiziona il flusso della falda freatica, anche in virtù del fatto che le zone depresse sono soggette a bonifica e qui la falda è tenuta forzatamente bassa dall'opera di sollevamento meccanico delle acque ad opera di impianti idrovori. In genere, quindi, i paleoalvei corrispondono a zone di distribuzione e di alimentazione della falda freatica, laddove i catini interfluviali corrispondono a zone di drenaggio e richiamo delle acque.

L'area in oggetto, dal punto di vista locale, è inserita in un'ampia zona pianeggiante, dove l'assetto morfologico assume omogenea conformazione. Gli unici percettibili elementi morfologici, di origine antropica, sono rappresentati dai rilevati stradali della vicina Strada SP61 (Via Fonde) e SP5 (Via Santa Croce) e dalle canalizzazioni artificiali (nello specifico l'adiacente Scolo Bagalona).

Il territorio è occupato dalle alluvioni oloceniche, che coprono l'intervallo granulometrico compreso fra sabbie limose e argille. Lo spessore della copertura alluvionale quaternaria, non consente di acquisire riscontri diretti sulle caratteristiche del substrato e degli elementi tettonici sepolti.

A grande scala l'idrologia è caratterizzata dal passaggio dell'asse fluviale del Fiume Savio ad est e del Torrente Bevano a ovest, mentre a scala locale assistiamo al passaggio dello Scolo Bagalona lungo il margine NE della CP stessa (**area ricadente a pericolosità idraulica media come da estratto Idrogeo**).



Da un punto di vista idrogeologico, in relazione quindi all'acqua sotterranea, l'evoluzione del territorio comunale di Bertinoro è frutto di una complessa rete di interazioni fra la realtà geologica e lo sviluppo antropico ed economico dell'area. I processi geomorfologici e sedimentologici che hanno agito sul territorio hanno determinato la distribuzione dei corpi sedimentari acquiferi e delle falde idriche in essi contenute. Il Fiume Savio e Bevano e la rete di canali determinano la distribuzione dei battenti idraulici di ricarica e di alimentazione delle falde.

3. INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO GENERALE

Come evidenziato dalla Carta della Profondità della Superficie Freatica Comunale la falda freatica ha superficie libera collocata ad una quota intorno a -2,0 m da p.c., con escursioni annue intorno al metro come anche riscontrato da altri dati bibliografici in possesso dello scrivente (sondaggi nell'intorno significativo, con livello della falda da valutare puntualmente nel sito stesso). Generalmente presenta degli "alti" in corrispondenza dei paleoalvei, e dei "bassi" relativi in corrispondenza dai catini interfluviali. Le escursioni della superficie libera tra periodo invernale e periodo estivo sono mediamente intorno a 1 m.

Come evidenziato nella relazione idrogeologica allegata al quadro conoscitivo del PSC del Comune la falda freatica, nelle zone studiate, non è interpretabile come un corpo d'acqua continuo ma piuttosto come un insieme di corpi idrici, separati e fluenti nei litosomi sabbiosi e sabbio-limosi, separati da plaghe argillose o limoso-argillose ove è più corretto parlare di zona di saturazione e non di falda vera e propria.

Sulla base delle ricostruzioni litostratigrafiche, gli assetti idrogeologici risultano essere caratterizzati da un complesso acquifero superficiale. Tale complesso, di spessore limitato agli orizzonti maggiormente produttivi, risulta caratterizzato dalla presenza di sabbie da fini a medie, intercalate da livelli limoso-argillosi, e con una soggiacenza per il sito in esame stimabile intorno a -2,00 m dal locale p.c. ed escursioni stagionali limitate entro 1 m.

4. ASPETTI GEOTECNICI: INDAGINI GEOGNOSTICHE E GEOFISICHE PREGRESSE

La valutazione degli aspetti geotecnici-geofisici e delle problematiche geotecniche è da ricondursi essenzialmente alla:

- **Indagine geofisica pregressa consistita in n°1 prospezione MASW e sismica passiva HVSR nonché prove penerometriche dinamiche SCPT condotte nel cosiddetto intorno significativo, su terreni del tutto analoghi a quelli in oggetto;**
- Ricostruzione dell'assetto stratigrafico locale;
- Parametrizzazione geotecnica dei terreni di fondazione;
- Azione sismica: categoria del suolo di fondazione.

Dal punto di vista geotecnico, le caratteristiche meccaniche degli strati di terreno più superficiali sono state diffusamente studiate nel corso delle varie campagne geognostiche (sondaggi geognostici e prove penetrometriche statiche spinti fino a 10 m di profondità rispetto al piano campagna locale) effettuate negli ultimi

decenni nell'ambito della redazione degli strumenti di pianificazione urbanistica comunali. Attraverso la determinazione del limite liquido, del limite plastico e del contenuto d'acqua naturale, i terreni studiati sono stati inoltre suddivisi in cinque classi di consistenza: compatta (classe I), media (II), molle (III), molto molle (IV), inconsistente (V), come evidenziato nella Carta Geotecnica Schematica Comunale. Dalla carta, rappresentativa di volumi di terreno a comportamento geotecnico simile, emerge che estese zone del territorio comunale sono caratterizzate in superficie da terreni piuttosto compressibili (classi III, IV).

I suddetti archi dell'orogene appenninico sepolto, come la maggior parte delle strutture dell'Appennino, sono ancora soggetti a movimenti, che spesso si traducono in sismi capaci di superare la soglia del danno. Si ha infatti notizia di 15 terremoti prodottisi a Forlì-Cesena e nelle aree immediatamente circostanti (e quindi attribuibili a movimenti dell'arco settentrionale) nel periodo 1234-1787, di cui 9 superiori al sesto grado della scala Mercalli; uno solo, quello del 1570 ha raggiunto l'ottavo grado (CNR 1980; Ardizzoni et al. 1991; Boschi et al. 1995, 1997; Camassi e Stucchi 1998; Bondesan 2002a). In considerazione di questi eventi, il Gruppo di Lavoro costituito dal Servizio Sismico Nazionale per la riclassificazione sismica del territorio nazionale, nella nuova mappa della pericolosità sismica messa a punto nel 1998 (Servizio Sismico Nazionale 1998), ha incluso il **comune di Bertinoro nella categoria 2** (territori suscettibili di terremoti fino al 9° grado Mercalli).

4.1. Inquadramento sismico

La microzonazione sismica di 2° livello (relazione illustrativa MZS) ricomprende l'area in esame in **Zona 13**: - caratteristica delle aree in cui la profondità del substrato marino è superiore ai 40 m. Le coperture appartengono ai depositi alluvionali di fondovalle. I primi 30 m sono caratterizzati da livelli limoso-argillosi con livelli sabbiosi da compatti a molto compatti (25) a cui si alternano livelli argillosi e limi sabbiosi da mediamente a molto compatti (23) da circa 10 m a 15 m dal p.c. e da 20 m a 25 m dal p.c. Localmente sono presenti lenti sabbioso – ghiaiose dopo i 30 m dal p.c. I valori di V_s 30 variano da 200 a 250 m/s. Tale zona caratterizza le aree di pianura/fondovalle di Santa Maria Nuova e Panighina (area in esame).

Parametri sismici di riferimento del sito in esame

Tipo di elaborazione: Stabilità dei pendii e fondazioni
Muro rigido: 0

Sito in esame.

latitudine: 44,188647
longitudine: 12,170942
Classe: 2
Vita nominale: 50

Siti di riferimento

Sito 1	ID: 18296	Lat: 44,1775	Lon: 12,1659	Distanza: 1308,034
Sito 2	ID: 18297	Lat: 44,1782	Lon: 12,2356	Distanza: 5280,648
Sito 3	ID: 18075	Lat: 44,2282	Lon: 12,2345	Distanza: 6710,638
Sito 4	ID: 18074	Lat: 44,2275	Lon: 12,1648	Distanza: 4343,756

Parametri sismici**Categoria sottosuolo: C****Categoria topografica: T1****Periodo di riferimento: 50anni****Coefficiente cu: 1****Operatività (SLO):****Probabilità di superamento: 81 %****Tr: 30 [anni]****ag: 0,060 g****Fo: 2,428****Tc*: 0,265 [s]****Danno (SLD):****Probabilità di superamento: 63 %****Tr: 50 [anni]****ag: 0,077 g****Fo: 2,411****Tc*: 0,275 [s]****Salvaguardia della vita (SLV):****Probabilità di superamento: 10 %****Tr: 475 [anni]****ag: 0,197 g****Fo: 2,383****Tc*: 0,313 [s]****Prevenzione dal collasso (SLC):****Probabilità di superamento: 5 %****Tr: 975 [anni]****ag: 0,251 g****Fo: 2,424****Tc*: 0,320 [s]****Coefficienti Sismici Stabilità dei pendii**

	SLO	SLD	SLV	SLC
Ss	1,500	1,500	1,420	1,340
Cc	1,630	1,610	1,540	1,530
St	1,000	1,000	1,000	1,000
Kh	0,012	0,012	0,015	0,017
Kv	0,006	0,006	0,007	0,009
Amax	0,600	0,600	0,600	0,600
Beta	0,200	0,200	0,240	0,280

Le coordinate espresse in questo file sono in ED50**Coordinate WGS84****latitudine: 44.187707****longitudine: 12.169973**

STIMA DEI FATTORI DI AMPLIFICAZIONE (D.A.L. 112/2007)

Per ciò che riguarda la stima dei fattori di amplificazione stratigrafica, secondo le direttive regionali corrispondenti a diverse situazioni geologiche e stratigrafiche i cui margini sono stati riportati nella carta Geologico tecnica 1 e 2, sono stati individuati due scenari principali:

- **Appennino e margine appenninico - padano (A2.1.1):** nelle zone più propriamente collinari dove lo spessore dei depositi di copertura non supera i 40 m, nel cui ambito sono state utilizzate tabelle relative al substrato marino caratterizzato da $V_s > 800$ m/s negli ambiti caratterizzati dalle formazioni delle Argille Azzurre Membro dello Spungone (FAA3) e dalla formazione Marnoso Arenacea Membro di Castel del Rio (FMA 12a e FMA12b) e le tabelle relative al substrato marino caratterizzato da $V_s < 800$ m/s per le zone in cui affiorano la Formazione delle Argille Membro delle Arenarie di Borello e la Formazione a Colombacci. In questa fascia rientrano le zone da Z1 a Z12 delle MOPS.
- **Pianura Padana e Costa Adriatica (A2.1.2):** in corrispondenza delle aree di pianura con profondità del substrato sia maggiore che minore di 100m. In particolare si è fatto riferimento alla tabella relativa a PIANURA 2 nel primo caso e PIANURA 1 nel secondo. In questa fascia rientra la Zona 13 delle MOPS.

La fascia caratteristica di PIANURA 1 corrisponde a zone caratterizzate da valori V_{s30} compresi tra 200 e 230 m/sec, senza contrasti di impedenza rilevanti ($H/V < 3$). In tutta l'area è invece ben visibile un'amplificazione delle curve H/V tra 0,82 e 1,3 Hz, legata alla risonanza dei terreni fini sovrastanti il substrato posto a profondità superiori ai 100 m (base del Sistema Emiliano Romagnolo). Tale zona caratterizza parte di Panighina e Santa Maria Nuova.

Ci si è riferiti alle tabelle di PIANURA 2 nelle zone caratterizzate da valori V_{s30} compresi tra 230 e 240 m/sec, senza contrasti di impedenza rilevanti ($H/V < 3$). In tutta l'area è invece ben visibile un'amplificazione delle curve H/V tra 1,6 e 1,7 Hz, legata alla risonanza dei terreni fini sovrastanti lo stesso substrato a profondità inferiori ai 100 m. Tale zona caratterizza la zona di Panighina verso il passaggio con la fascia appenninica.

I valori dei **fattori di amplificazione stratigrafica** sono stati selezionati in funzione dello spessore dei depositi e del valore della velocità media equivalente delle onde S nello spessore stesso. Per depositi con spessore inferiore ai 30 m è stato assunto il valore di V_{sH} relativo allo spessore del deposito. Per il substrato caratterizzato da $V_s < 800$ m/s affiorante e per aree di pianura in cui il substrato è identificabile a profondità superiori ai 30 m è stato assunto il valore di V_{s30} . Per il substrato caratterizzato da $V_s > 800$ m/s affiorante, non sono attesi fenomeni di amplificazione stratigrafica.

I fattori di amplificazione stratigrafica sono espressi sia in termini di rapporto di accelerazione massima orizzontale (FA_{PGA}) sia di rapporto di Intensità Spettrale di Housner (FA_{SI}) quest'ultimo per intervalli di periodi T tra 0,1s e 0,5s e 0,5s e 1,0s.

4.2. Indagine geognostica pregressa

La parametrizzazione geotecnica riportata nelle "Conclusioni" è da ricondurre ad indagini geognostiche realizzate nel cosiddetto intorno significativo, su terreni del tutto analoghi a quelli presenti nel sito in oggetto. Di seguito vengono riportate le risultanze delle prove penetrometriche DPSH.

Caratteristiche Tecniche-Strumentali Sonda: DPSH TG 63-200 PAGANI

Rif. Norme	DIN 4094
Peso Massa battente	63.5 Kg
Altezza di caduta libera	0.75 m
Peso sistema di battuta	0.63 Kg
Diametro punta conica	51.00 mm
Area di base punta	20.43 cm ²
Lunghezza delle aste	1 m
Peso aste a metro	6.31 Kg/m
Profondita' giunzione prima asta	0.40 m
Avanzamento punta	0.20 m
Numero colpi per punta	N(20)
Rivestimento/fanghi	No
Angolo di apertura punta	90°

PROVA ... Nr.1

Strumento utilizzato...DPSH TG 63-200 PAGANI

Prova eseguita in data 05/04/2023

Profondita' prova 9.40 mt

Falda rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm ²)	Res. dinamica (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)
0.20	1	0.855	8.98	10.51	0.45	0.53
0.40	1	0.851	8.94	10.51	0.45	0.53
0.60	1	0.847	8.17	9.64	0.41	0.48
0.80	2	0.843	16.27	19.29	0.81	0.96
1.00	2	0.840	16.20	19.29	0.81	0.96
1.20	2	0.836	16.13	19.29	0.81	0.96
1.40	1	0.833	8.03	9.64	0.40	0.48
1.60	1	0.830	7.39	8.91	0.37	0.45
1.80	1	0.826	7.36	8.91	0.37	0.45
2.00	1	0.823	7.34	8.91	0.37	0.45
2.20	2	0.820	14.62	17.82	0.73	0.89

2.40	3	0.817	21.84	26.73	1.09	1.34
2.60	2	0.814	13.49	16.56	0.67	0.83
2.80	4	0.811	26.88	33.13	1.34	1.66
3.00	2	0.809	13.39	16.56	0.67	0.83
3.20	2	0.806	13.35	16.56	0.67	0.83
3.40	2	0.803	13.31	16.56	0.67	0.83
3.60	3	0.801	18.59	23.21	0.93	1.16
3.80	4	0.798	24.70	30.94	1.24	1.55
4.00	4	0.796	24.63	30.94	1.23	1.55
4.20	4	0.794	24.56	30.94	1.23	1.55
4.40	3	0.791	18.37	23.21	0.92	1.16
4.60	3	0.789	17.18	21.77	0.86	1.09
4.80	3	0.787	17.14	21.77	0.86	1.09
5.00	4	0.785	22.79	29.03	1.14	1.45
5.20	4	0.783	22.73	29.03	1.14	1.45
5.40	5	0.781	28.34	36.28	1.42	1.81
5.60	6	0.779	31.95	41.00	1.60	2.05
5.80	6	0.777	31.87	41.00	1.59	2.05
6.00	7	0.775	37.10	47.84	1.85	2.39
6.20	7	0.774	37.01	47.84	1.85	2.39
6.40	7	0.772	36.93	47.84	1.85	2.39
6.60	5	0.770	24.87	32.29	1.24	1.61
6.80	6	0.769	29.79	38.75	1.49	1.94
7.00	7	0.767	34.68	45.20	1.73	2.26
7.20	6	0.766	29.67	38.75	1.48	1.94
7.40	6	0.764	29.61	38.75	1.48	1.94
7.60	6	0.763	28.01	36.73	1.40	1.84
7.80	5	0.761	23.30	30.60	1.16	1.53
8.00	4	0.760	18.61	24.48	0.93	1.22
8.20	4	0.759	18.57	24.48	0.93	1.22
8.40	4	0.757	18.54	24.48	0.93	1.22
8.60	3	0.756	13.19	17.45	0.66	0.87
8.80	3	0.755	13.17	17.45	0.66	0.87
9.00	4	0.753	17.53	23.27	0.88	1.16
9.20	4	0.752	17.51	23.27	0.88	1.16
9.40	5	0.751	21.85	29.09	1.09	1.45

Prof. Strato (m)	NPDM	Rd (Kg/cm²)	Tipo	Peso unità di volume (t/m³)	Peso unità di volume saturo (t/m³)	Tensione efficace (Kg/cm²)	Coeff. di correlaz. con Nspt	NSPT	Descrizione
3.4	1.76	15.81	Incoerente - coesivo	1.61	1.86	0.27	1.47	2.59	Limo argilloso
7.6	5.05	34.91	Incoerente - coesivo	1.88	1.9	0.94	1.5	7.6	Argilla con sabbia
9.4	4	23.84	Incoerente - coesivo	1.82	1.89	1.5	1.52	6.08	Argilla sabbiosa

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI

TERRENI COESIVI

Coesione non drenata

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Cu (Kg/cm²)
Strato (1) Limo argilloso	2.59	0.00-3.40	Terzaghi-Peck	0.16
Strato (2) Argilla con sabbia	7.60	3.40-7.60	Terzaghi-Peck	0.48
Strato (3) Argilla sabbiosa	6.08	7.60-9.40	Terzaghi-Peck	0.38

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Qc (Kg/cm²)
Strato (1) Limo argilloso	2.59	0.00-3.40	Robertson (1983)	5.18
Strato (2) Argilla con sabbia	7.60	3.40-7.60	Robertson (1983)	15.20
Strato (3) Argilla sabbiosa	6.08	7.60-9.40	Robertson (1983)	12.16

Modulo Edometrico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Eed (Kg/cm²)
Strato (1) Limo argilloso	2.59	0.00-3.40	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	28.21
Strato (2) Argilla con sabbia	7.60	3.40-7.60	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	79.31
Strato (3) Argilla sabbiosa	6.08	7.60-9.40	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	63.80

Modulo di Young

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Ey (Kg/cm ²)
Strato (1) Limo argilloso	2.59	0.00-3.40	Apollonia	25.90
Strato (2) Argilla con sabbia	7.60	3.40-7.60	Apollonia	76.00
Strato (3) Argilla sabbiosa	6.08	7.60-9.40	Apollonia	60.80

Classificazione AGI

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
Strato (1) Limo argilloso	2.59	0.00-3.40	A.G.I. (1977)	POCO CONSISTENTE
Strato (2) Argilla con sabbia	7.60	3.40-7.60	A.G.I. (1977)	MODERAT. CONSISTENTE
Strato (3) Argilla sabbiosa	6.08	7.60-9.40	A.G.I. (1977)	MODERAT. CONSISTENTE

Peso unità di volume

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m ³)
Strato (1) Limo argilloso	2.59	0.00-3.40	Meyerhof	1.61
Strato (2) Argilla con sabbia	7.60	3.40-7.60	Meyerhof	1.88
Strato (3) Argilla sabbiosa	6.08	7.60-9.40	Meyerhof	1.82

Peso unità di volume saturo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m ³)
Strato (1) Limo argilloso	2.59	0.00-3.40	Meyerhof	1.86
Strato (2) Argilla con sabbia	7.60	3.40-7.60	Meyerhof	1.90
Strato (3) Argilla sabbiosa	6.08	7.60-9.40	Meyerhof	1.89

Velocità onde di taglio

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Velocità onde di taglio (m/s)
Strato (1) Limo argilloso	2.59	0.00-3.40	Ohta & Goto (1978) Argille limose e argille di bassa plasticità	89.35
Strato (2) Argilla con sabbia	7.60	3.40-7.60	Ohta & Goto (1978) Argille limose e argille di bassa plasticità	135.02
Strato (3) Argilla sabbiosa	6.08	7.60-9.40	Ohta & Goto (1978) Argille limose e argille di bassa plasticità	141.29

TERRENI INCOERENTI

Densità relativa

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Densità relativa (%)
Strato (1) Limo argilloso	2.59	0.00-3.40	2.59	Meyerhof 1957	34.25
Strato (2) Argilla con sabbia	7.60	3.40-7.60	7.60	Meyerhof 1957	45.18
Strato (3) Argilla sabbiosa	6.08	7.60-9.40	6.08	Meyerhof 1957	34.9

Angolo di resistenza al taglio

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato (1) Limo argilloso	2.59	0.00-3.40	2.59	Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION)	21.23
Strato (2) Argilla con sabbia	7.60	3.40-7.60	7.60	Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION)	25.68
Strato (3) Argilla sabbiosa	6.08	7.60-9.40	6.08	Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION)	24.55

Modulo di Young

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo di Young (Kg/cm ²)
Strato (1)	2.59	0.00-3.40	2.59	Schmertmann	20.72

Limo argilloso				(1978) (Sabbie)	
Strato (2) Argilla con sabbia	7.60	3.40-7.60	7.60	Schmertmann (1978) (Sabbie)	60.80
Strato (3) Argilla sabbiosa	6.08	7.60-9.40	6.08	Schmertmann (1978) (Sabbie)	48.64

Modulo Edometrico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo Edometrico (Kg/cm ²)
Strato (1) Limo argilloso	2.59	0.00-3.40	2.59	Menzenbach e Malcev (Sabbia media)	49.55
Strato (2) Argilla con sabbia	7.60	3.40-7.60	7.60	Menzenbach e Malcev (Sabbia media)	71.90
Strato (3) Argilla sabbiosa	6.08	7.60-9.40	6.08	Menzenbach e Malcev (Sabbia media)	65.12

Classificazione AGI

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Classificazione AGI
Strato (1) Limo argilloso	2.59	0.00-3.40	2.59	Classificazione A.G.I	SCIOLTO
Strato (2) Argilla con sabbia	7.60	3.40-7.60	7.60	Classificazione A.G.I	POCO ADDENSATO
Strato (3) Argilla sabbiosa	6.08	7.60-9.40	6.08	Classificazione A.G.I	POCO ADDENSATO

Peso unità di volume

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unità di Volume (t/m ³)
Strato (1) Limo argilloso	2.59	0.00-3.40	2.59	Meyerhof et al.	1.43
Strato (2) Argilla con sabbia	7.60	3.40-7.60	7.60	Meyerhof et al.	1.64
Strato (3) Argilla sabbiosa	6.08	7.60-9.40	6.08	Meyerhof et al.	1.58

Peso unità di volume saturo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unità Volume Saturo (t/m ³)
Strato (1) Limo argilloso	2.59	0.00-3.40	2.59	Terzaghi-Peck 1948-1967	1.87
Strato (2) Argilla con sabbia	7.60	3.40-7.60	7.60	Terzaghi-Peck 1948-1967	1.90
Strato (3) Argilla sabbiosa	6.08	7.60-9.40	6.08	Terzaghi-Peck 1948-1967	1.89

Modulo di Poisson

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Poisson
Strato (1) Limo argilloso	2.59	0.00-3.40	2.59	(A.G.I.)	0.35
Strato (2) Argilla con sabbia	7.60	3.40-7.60	7.60	(A.G.I.)	0.34
Strato (3) Argilla sabbiosa	6.08	7.60-9.40	6.08	(A.G.I.)	0.34

Modulo di deformazione a taglio dinamico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	G (Kg/cm ²)
Strato (1) Limo argilloso	2.59	0.00-3.40	2.59	Ohsaki (Sabbie pulite)	159.01
Strato (2) Argilla con sabbia	7.60	3.40-7.60	7.60	Ohsaki (Sabbie pulite)	437.40
Strato (3) Argilla sabbiosa	6.08	7.60-9.40	6.08	Ohsaki (Sabbie pulite)	354.64

Velocità onde di taglio

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Velocità onde di taglio (m/s)
Strato (1) Limo argilloso	2.59	0.00-3.40	2.59	Ohta & Goto (1978) Limi	89.35
Strato (2) Argilla con sabbia	7.60	3.40-7.60	7.60	Ohta & Goto (1978) Limi	135.02
Strato (3) Argilla sabbiosa	6.08	7.60-9.40	6.08	Ohta & Goto (1978) Limi	141.29

Coefficiente spinta a Riposo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	K0
Strato (1) Limo argilloso	2.59	0.00-3.40	2.59	Navfac 1971- 1982	0.41
Strato (2) Argilla con sabbia	7.60	3.40-7.60	7.60	Navfac 1971- 1982	1.58
Strato (3) Argilla sabbiosa	6.08	7.60-9.40	6.08	Navfac 1971- 1982	1.24

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Qc (Kg/cm ²)
Strato (1) Limo argilloso	2.59	0.00-3.40	2.59	Robertson 1983	5.18
Strato (2) Argilla con sabbia	7.60	3.40-7.60	7.60	Robertson 1983	15.20
Strato (3) Argilla sabbiosa	6.08	7.60-9.40	6.08	Robertson 1983	12.16

5. CONCLUSIONI E PRESCRIZIONI GENERALI

Nel corso dell'indagine sono state descritte le caratteristiche geologiche, geomorfologiche ed idrogeologiche dei siti nei quali è prevista la sostituzione dei sostegni ammalorati ed è stata ricostruita la caratterizzazione geotecnica dei terreni di fondazione.

Tale caratterizzazione si è basata principalmente sui risultati di indagini geognostiche e geofisiche ubicate nel cosiddetto intorno significativo su terreni del tutto analoghi a quello in esame.

L'indagine sismica di tipo MASW pregressa e ggli studi di microzonazione sismica di II livello consentono di determinare una velocità media delle onde di taglio "s" nei primi 30 m di sottosuolo compresa tra **200-250 m/s**, cui corrisponde una **categoria di suolo di tipo C**

L'andamento morfologico dei rifrattori è coerente col contesto geomorfologico dell'area, caratterizzata dalla presenza di depositi alluvionali di potenza superiore ai 40 m come evidenziato dal sondaggio S3 del C.A.R.G., il quale definisce per il sito in ogetto litologie comprese tra argille, limi e sabbie con locali livelli ghiaiosi alla base.

L'indagine geognostica pregressa ha permesso quindi di definire la stratigrafia e le caratteristiche geomeccaniche dei terreni di fondazione. **La parametrizzazione geotecnica (indicativa) è la seguente:**

Parametri litotecnici di massima

Prof. Strato (m)	cu (Kg/cm ²)	Angolo attrito (°)	Gamma medio (t/m ³)	Comp. Geotecnico	Descrizione
1,20	--	--	--	Incoerente	L0 - Asfalto e suo sottofondo
3,40	0,1	21-22	1,6	Incoerente - Coesivo	L1 – Limo argilloso
7,80	0,5	25-26	1,8	Incoerente - Coesivo	L2 - Argilla con sabbia
9,40	0,4	24-25	1,7	Incoerente - Coesivo	L3 – Argilla sabbiosa

Falda a -2,0 m da p.c. (valore stimato dalle cartografie idrogeologiche del sito, da verificare puntualmente)

Si prescrive in generale:

- di adottare delle opere di impermeabilizzazione, di drenaggio e di allontanamento delle acque, onde evitare infiltrazioni ed eccessive spinte idrauliche a tergo delle strutture portanti;
- di porre particolare attenzione durante gli scavi ed i lavori, soprattutto in caso di forti precipitazioni, che potrebbero causare temporanei rigonfiamenti e problemi di stabilità dei fronti di scavo; si raccomandano, dunque, le più attente cautele nella esecuzione di scavi e sbancamenti; sarà sicuramente necessario proteggere le pareti di scavo con **adeguate opere di sostegno**; si raccomanda, inoltre, di non basare carichi provvisori, silos, gru, depositi e accumuli di materiali a meno di tre metri del bordo degli scavi per non provocarne crolli.
- i terreni argillosi e argilloso-limosi nei primi metri da p.c. permettono di definire tali volumi interessati non suscettibili in via preliminare al fenomeno di liquefazione (da verificare in situ)

Sulla base di quanto sopra espresso, in relazione ai disposti previsti dalla normativa di cui ai **D.M. 14/01/2008 (N.T.C.)** e **D.M. LL.PP. 11/03/1988 n. 47** e relative istruzioni applicative emanate con **Circolari LL.PP. 24/09/88 n. 30483**, si ritiene che le opere in progetto, così come rappresentate negli elaborati progettuali visionati, se realizzate secondo le corrette regole costruttive e le prescrizioni specificate, non inducono modificazioni al preesistente assetto geologico ed idrogeologico del sito e del suo immediato contorno; pertanto se ne attesta preliminarmente la fattibilità geologica.

Asti, febbraio 2025

Il Geologo incaricato

Dr. Geol. Massimo Castellaro

(Firmato digitalmente)

ALLEGATO:

- **aerofoto del sito in esame**

