



Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



MINISTERO
DELL'INTERNO



Italiadomani
PIANO NAZIONALE
DI RIPRESA E RESILIENZA



CITTÀ DI
CARPI

OPERE DI VIABILITA' COMPLEMENTARE AL NUOVO POLO SPORTIVO

Città di Carpi

CITTA' DI CARPI - Settore S5 Opere Pubbliche e Manutenzione della Città

PIANO NAZIONALE DI RIPRESA E RESILIENZA (PNRR)

Finanziato dall'Unione Europea NextGenerationEU

Missione M5 - Componente C2 - Misura Investimenti in progetti di rigenerazione urbana, volti a ridurre situazioni di emarginazione e degrado sociale - Investimento 2.1

Progetto n.55/22:

"OPERE DI VIABILITA' COMPLEMENTARE AL NUOVO POLO SPORTIVO" - ID 8660

CUI: L00184280360202000024 - CUP: C91B21002880005

PROGETTAZIONE:



RESPONSABILE INTEGRAZIONE
PRESTAZIONI SPECIALISTICHE
Ing. Marcello Mancone

COORDINATORE DI PROGETTO
Ing. Alessandro Cecchelli

OPERE A VERDE, ASPETTI PAESAGGISTICI E
URBANISTICI
Arch. Maria Cristina Fregni

PROGETTAZIONE OPERE STRADALI
Ing. Alessio Gori

PROGETTAZIONE OPERE IDRAULICHE
Ing. Alessandro Cecchelli

PROGETTAZIONE OPERE STRUTTURALI
Ing. Luciano Viscanti

CANTIERIZZAZIONE E FASI
ESPROPRI ED INTERFERENZE
Ing. Stefano Simonini

PROGETTAZIONE IMPIANTI ELETTRICI
Ing. Francesco Frassinetti

COORD. SICUREZZA IN PROGETTAZIONE
Geom. Stefano Caccianiga

GEOLOGIA
Dott. Pietro Accolti Gil

TEAM DI PROGETTO
Ing. Mattia De Caro
Ing. Stefano Tronconi
Ing. Giulio Melosi
Arch. Daniela Corsini
Arch. Althea Giroto
Ing. Matteo Falcini
Ing. Davide Vescovini
Arch. Emma Ibba
Geom. Franco Mariotti

ELABORATO

GEOLOGIA E GEOTECNICA

Relazione Geologica

PROGETTO ESECUTIVO

PARTE D'OPERA	DISCIPLINA	DOC. E PROG.	FASE	REV.
RO	GE	RT01	3	0

Cartella	File name	Prot.	Scala	Formato
02	ROGERT01_30_5094	5094	-	A4

5					
4					
3					
2					
1					
0	EMISSIONE	MAG 2023	P.Accolti	A.Cecchelli	M.Mancone
REV.	DESCRIZIONE	Data	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO

SOMMARIO

1	PREMESSA	1
2	DESCRIZIONE DEL PROGETTO	3
3	INQUADRAMENTO GEOLOGICO	5
3.1	INQUADRAMENTO GEOLOGICO-STRUTTURALE	5
3.2	STRATIGRAFIA	7
3.3	SINTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO SUPERIORE (AES)	8
3.3.1	<i>Subsistema di Ravenna (AES8). Età: Pleistocene sup. - Olocene (14 ka - attuale)</i>	9
3.3.2	<i>Unità di Modena (AES8a). Età: post-romana (IV-VI sec. d.C. –Attuale)</i>	9
4	INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO	11
5	INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO	16
6	SUBSIDENZA	18
7	PGRA	27
8	STRATIGRAFIA	28
9	SISMICA	34
9.1	SISMICITÀ STORICA (DAL 1000 AL 2017)	34
9.2	FAGLIE CAPACI.....	37
9.3	STRUTTURE SISMOGENETICHE	39
9.4	ZONE SISMOGENETICHE	42
9.5	CLASSIFICAZIONE SISMICA	43
9.6	DETERMINAZIONE DELL'AZIONE SISMICA	53
10	NOTE CONCLUSIVE	59

Allegati:
Indagini di riferimento del DB regionale
HVSr 2023

1 PREMESSA

La presente Relazione Geologica è parte integrante degli elaborati del Progetto Esecutivo (PE) del “Progetto delle Opere di viabilità complementare al Nuovo Polo Sportivo”, nel Comune di Carpi (MO).

Nel presente lavoro vengono illustrate le caratteristiche geologiche, geomorfologiche, stratigrafiche ed idrogeologiche dell’area di progetto in funzione dell’intervento da realizzare. Saranno inoltre esposti, sulla base di dati bibliografici relativi ad indagini eseguite nelle adiacenze dell’area di progetto, il modello geologico/stratigrafico oggetto di intervento. Ai fini della caratterizzazione sismica, a scopo di verifica dei dati bibliografici, è stata eseguita una misura HVSR nell’area di progetto in senso stretto.

La base di questo lavoro è rappresentata dai dati disponibili nei database regionali, dagli elaborati del Piano Regolatore di Carpi e dalla cartografia geologica regionale.

Normativa di riferimento:

- **Decreto Ministeriale 17.01.2018** Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni
- **Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti** Istruzioni per l’applicazione dell’“Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni” di cui al D.M. 17 gennaio 2018. Circolare 21 Gennaio 2019
- **Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici** Pericolosità sismica e Criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale. Allegato al voto n°36 del 27.07.2007
- **Eurocodice8 (1998) Indicazioni progettuali per la resistenza fisica delle strutture** Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici
- **Eurocodice 7.1 (2005)** Progettazione tecnica parte1
- **Eurocodice 7.2 (2002)** Progettazione geotecnica – Parte 2: progettazione assistita da prove geotecniche.
- **Eurocodice 7.3 (2002)** Progettazione geotecnica – Parte 2
- **P.R.G. del Comune di Carpi**
- **L.R. 20/2000**
- **DCR 112/2007** “Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale ed urbanistica”.
- **DGR 1164 del 23/07/2018** Aggiornamento della classificazione sismica di prima applicazione dei comuni dell’Emilia-Romagna

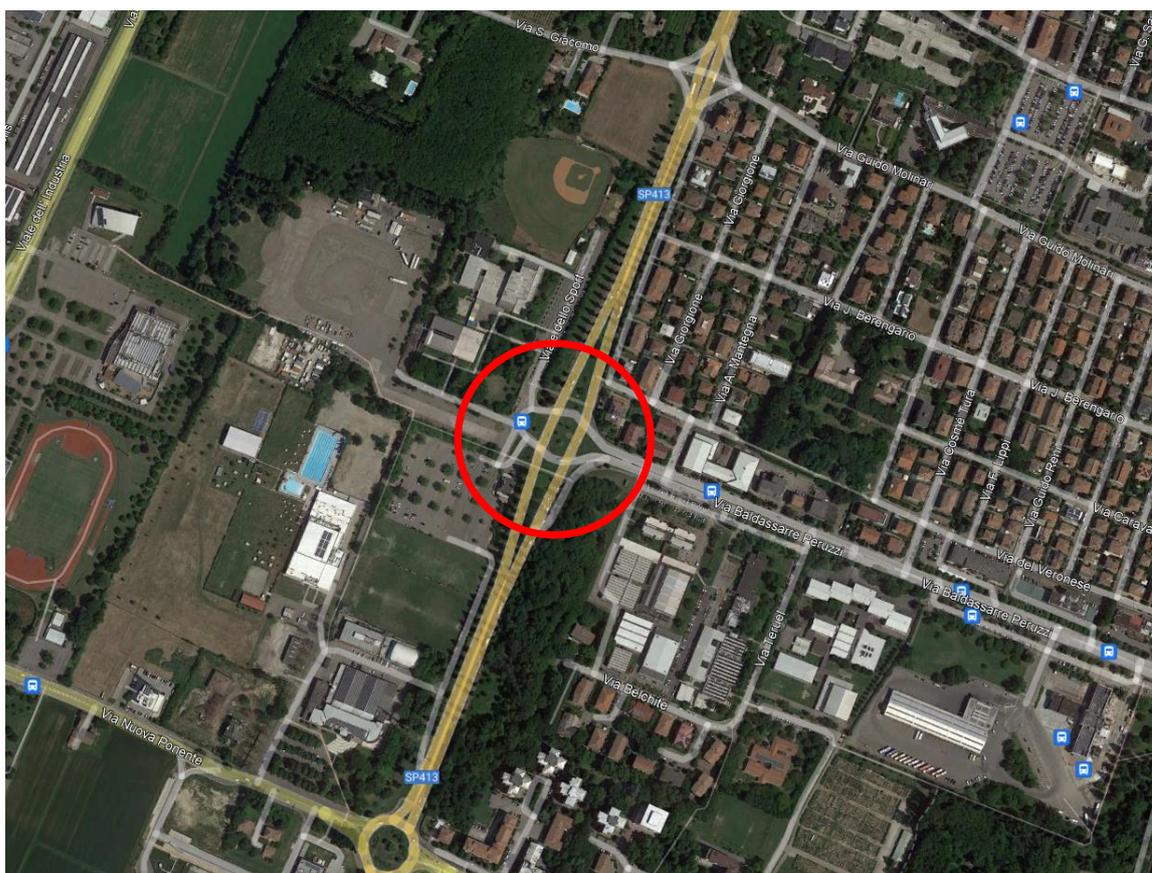


Fig. 1.1. Ubicazione dell'area di progetto. Immagine Google Earth

2 DESCRIZIONE DEL PROGETTO

Si riportano di seguito le caratteristiche progettuali della nuova intersezione rotatoria e dei relativi assi.

ROTATORIA

Il centro della nuova rotatoria di progetto è posizionato all'intersezione tra gli assi di Via Losi e Via Peruzzi. La rotatoria presenta un diametro esterno di 60m, rientrando nel campo delle rotatorie di grande diametro.

Ai fini di aumentare la capacità della rotatoria in termini di smaltimento dei flussi veicolari è stato scelto di disporre su due corsie anche i rami in uscita (dato che la rotatoria di progetto è una rotatoria di grande diametro $D > 50m$, fuori dal range dimensionale delle rotatorie convenzionali, non trova applicazione in questo senso il divieto esposto dal DM 19/04/2006).

Si è scelto di eliminare la corsia dedicata di svolta a DX, da Tangenziale Bruno Losi sud verso via Peruzzi est; infatti anche se tale viabilità potrebbe essere utile non risulta strettamente necessaria per il flusso veicolare grazie anche alla suddetta scelta di impostare i rami di uscita su due corsie.

Il progetto prevede infine la realizzazione di una corsia di svolta dedicata per chi proviene da nord dalla Tangenziale Bruno Losi all'interno del parcheggio delle piscine, utilizzando per quanto possibile il sedime della viabilità esistente.

VIA PERUZZI

Il nuovo asse di progetto si ricinge alla sede stradale attuale. L'ingresso e l'uscita dalla rotatoria presentano doppia corsia di larghezza 6,00m. I residui stradali vengono riconformati a spazi verdi.

VIA BRUNO LOSI SUD

Il nuovo asse di progetto si ricinge a sud alla sede stradale esistente. Per sfruttare al massimo la sede stradale esistente la carreggiata è impostata sul ciglio destro (ovest) esistente per poi curvare e riportare la direzione dell'asse sul centro della rotatoria (configurazione standard).

Immediatamente a sud si sviluppa in allargamento la corsia per uscire dalla tangenziale ed accedere da Via Losi al parcheggio del quadrante sud-ovest.

L'ingresso e l'uscita dalla rotatoria presentano doppia corsia di larghezza 6,00m. I residui stradali vengono riconformati a spazi verdi.

VIA BRUNO LOSI NORD

Il nuovo asse di progetto si ricinge a nord alla sede stradale esistente. Per sfruttare al massimo la sede stradale esistente la carreggiata è impostata sul ciglio sinistro (est) esistente per poi curvare e riportare la direzione dell'asse sul centro della rotatoria (configurazione standard). È stato preferito impostarsi sul ciglio sinistro, e non su quello destro, in modo da allontanarsi dalla zona ovest dove sarà presente la corsia a circolazione antioraria per il passaggio bus, l'accesso alla scuola nel quadrante nord-ovest ed il parcheggio quadrante sud-ovest (vedi paragrafo dedicato).

L'ingresso e l'uscita dalla rotatoria presentano doppia corsia di larghezza 6,00m. I residui stradali vengono riconformati a spazi verdi.

VIABILITA' OVEST A CIRCOLAZIONE ANTIORARIA

La sede stradale esistente viene riconformata con una viabilità a circolazione antioraria per il passaggio bus, l'accesso alla scuola nel quadrante nord-ovest ed il parcheggio quadrante sud-ovest. A partire dall'uscita dalla nuova rotatoria si trova in destra lo svincolo verso la scuola; il progetto prevede la realizzazione di una mini-

3 INQUADRAMENTO GEOLOGICO

3.1 Inquadramento geologico-strutturale

La zona oggetto di studio è situata all'interno dell'ampio bacino sedimentario padano, al bordo settentrionale del Sistema Appenninico.

L'area di pianura è rappresentata da una geosinclinale subsidente (bacino Perisuturale Padano), colmata da materiali alluvionali che hanno ricoperto le argille marine di ambiente costiero che fungono da substrato, fino a raggiungere spessori complessivi anche di 300-400 m. In particolare, i depositi di colmamento più recenti sono stati prodotti principalmente dall'attività deposizionale del sistema fluvio-deltizio padano con alimentazione assiale vergente verso est, e dai sistemi fluviali appenninici ad alimentazione trasversale da sud. Difatti questi sedimenti pleistocenico-olocenici presentano caratteristiche deposizionali e geometriche notevolmente complesse, correlabili a deposizione e successiva erosione di depositi fluviali, attualmente terrazzati, la cui formazione è legata alla continua variazione dei livelli fluviali.

Il riempimento del bacino marino ed il passaggio alla sedimentazione continentale non avvengono in maniera continua e progressiva, ma sono il risultato di eventi tettonico-sedimentari "parossistici", separati nel tempo da periodi di forte subsidenza bacinale e movimenti ridotti delle strutture compressive. Questo fatto è testimoniato dalle numerose superfici di discontinuità stratigrafica riconosciute e cartografate sul Margine Appenninico Padano (Cfr. Figg. 3.1, 3.2, 3.3).

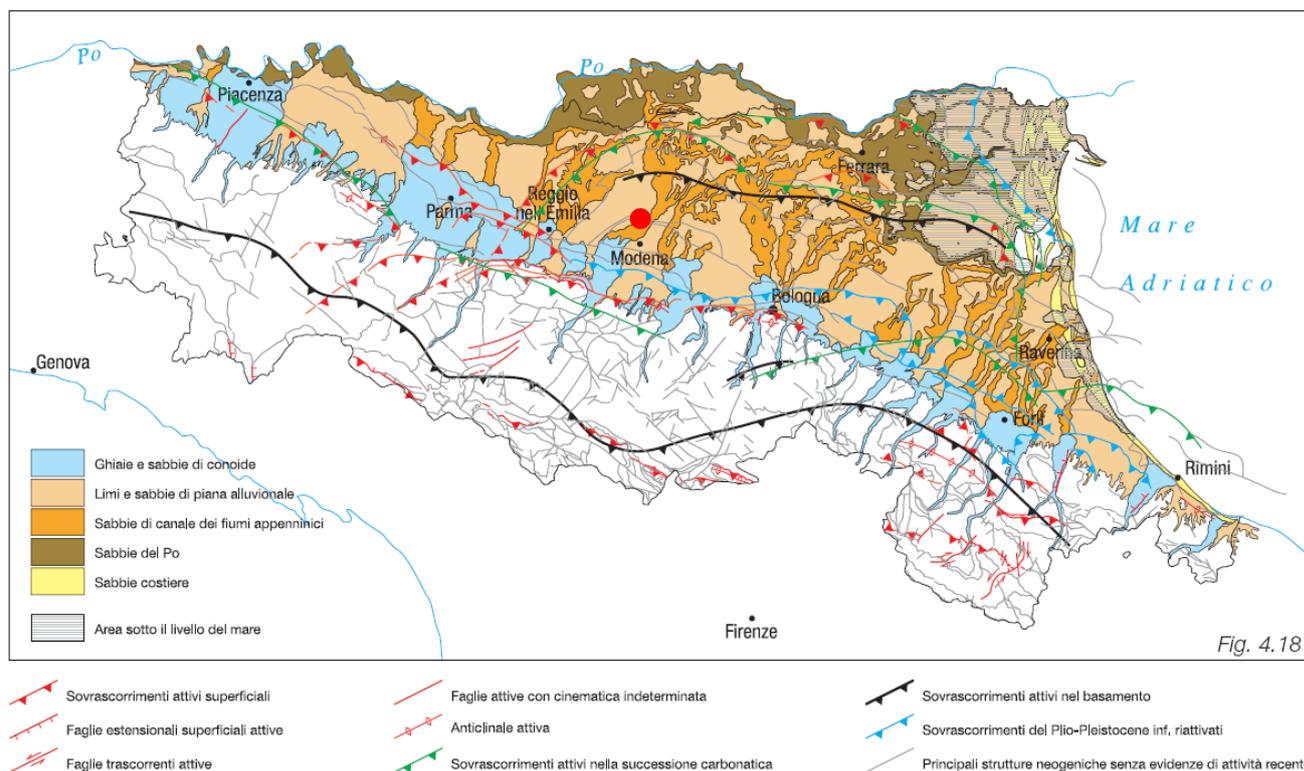


Fig. 3.1. Schema strutturale della pianura emiliano – romagnola-Note illustrative alla carta sismotettonica della regione Emilia-Romagna, scala 1.250.000 EDIZIONE 2004)

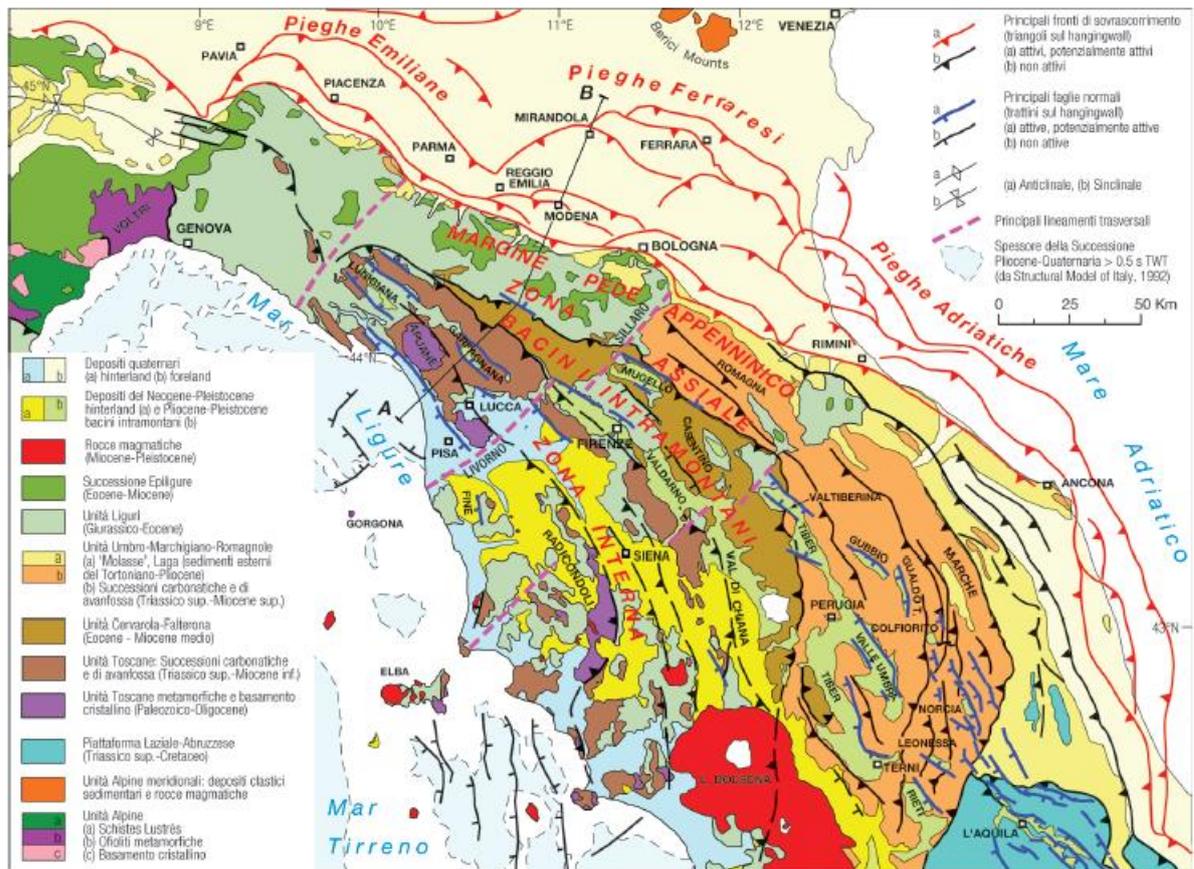


Fig. 3.2. Schema tettonico dell'Appennino Settentrionale e della Pianura Padana. Da Note Illustrative della Carta Sismotettonica della Regione Emilia Romagna e zone limitrofe - EDIZIONE 2017.

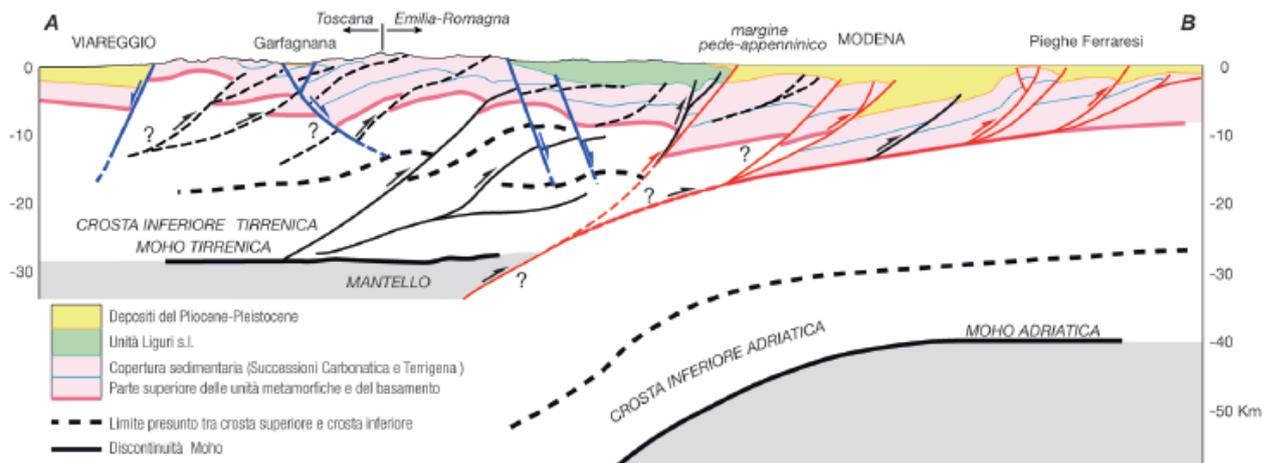


Fig. 3.3. Sezione geologica dal Mar Ligure al Po (traccia in Fig. 3.2.). Da Note Illustrative della Carta Sismotettonica della Regione Emilia Romagna e zone limitrofe EDIZIONE 2017

I terreni continentali affioranti a livello di area vasta appartengono alla successione neogenico-quadernaria del margine appenninico padano e sono rappresentati da depositi fluviali, di conoide e di piana alluvionale. I sedimenti continentali costituiscono la parte sommitale del riempimento quaternario dell'avanfossa padana. Essi costituiscono un ciclo sedimentario, denominato **Qc**, che si sovrappone con un limite in conforme sul precedente ciclo Quaternario marino (**Qm** in letteratura). A seguito di uno studio sulle risorse idriche sotterranee della regione (RIS) condotto da Regione Emilia Romagna e ENI-AGIP nel 1998, è stata proposta la istituzione del Supersintema emiliano-romagnolo comprendente l'intero spessore dei sedimenti continentali ed a sua volta suddiviso in due Sintemi (Sintema Emiliano Romagnolo Inferiore e Sintema Emiliano Romagnolo Superiore) separati da una

discontinuità rilevabile nelle aree marginali della pianura legata ad una fase tettonica di importanza regionale (Fig. 3.4).

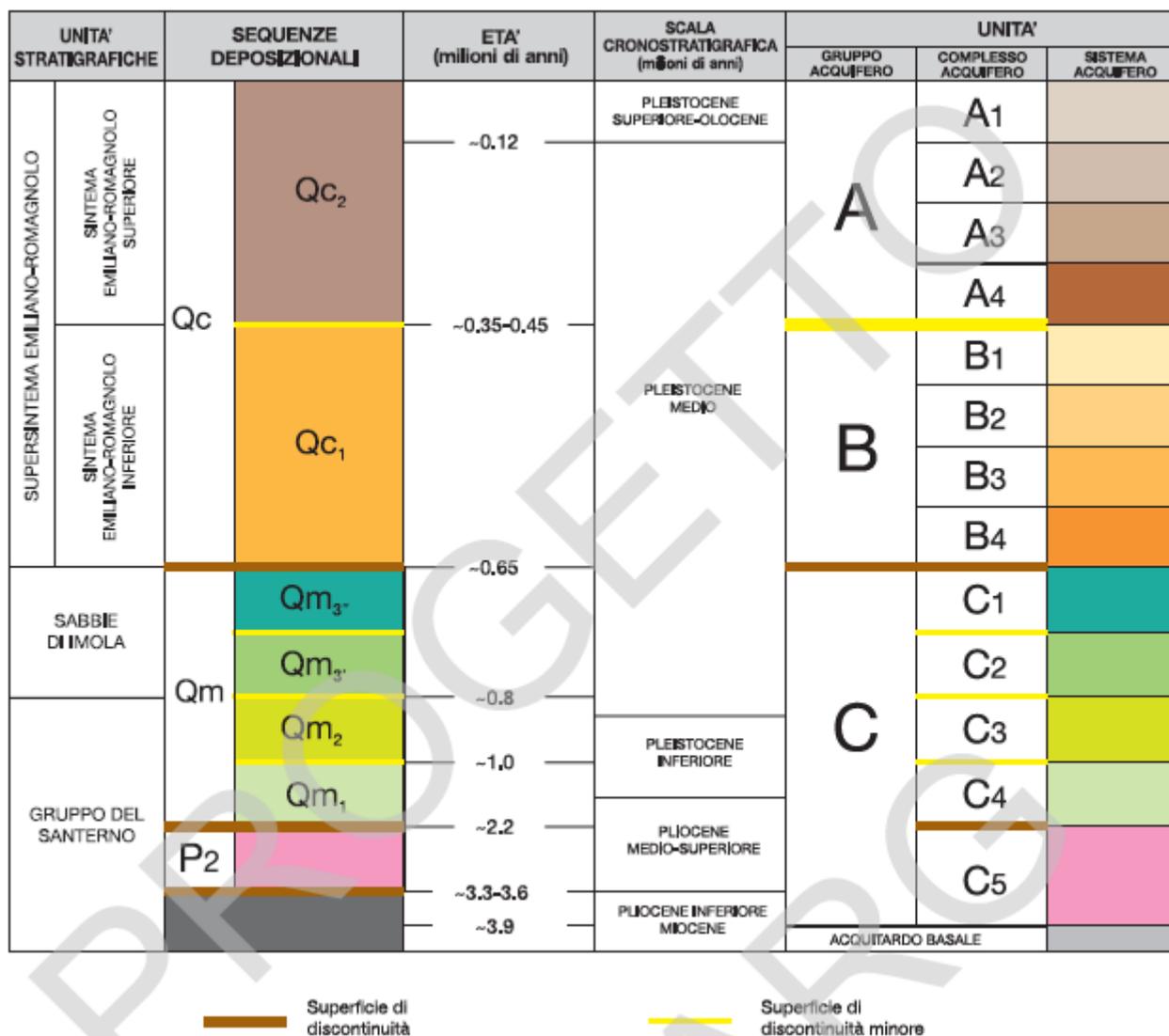


Fig. 3.4. Schema stratigrafico e idrostratigrafico dei depositi plio-quaternari del sottosuolo padano. Da Note Illustrative della Carta Geologica d'Italia in scala 1:50.000 F. 201 Modena e tratto dal volume "Riserve Idriche Sotterranee della Regione Emilia-Romagna" - Regione Emilia-Romagna & ENI-AGIP, 1998, modif.

3.2 Stratigrafia

Il progetto di cartografia geologica d'Italia in scala 1:50.000 (Progetto CARG) stabilisce che la classificazione stratigrafica dei depositi quaternari di pianura, a fini cartografici, debba basarsi sulla litologia relativa a ciascun ambiente deposizionale e sulla presenza di discontinuità o interruzioni della sedimentazione (limiti inconformi) che separano i corpi geologici di età diverse. Ciò consente di caratterizzare i sedimenti di pianura sia sulla base della loro composizione granulometrica (ghiaie, sabbie, alternanza di sabbie e limi, ecc.), sia in funzione dell'ambiente in cui si sono deposte (alluvionale di canale, deltizio di area interdistributrice, ecc.). Si possono così distinguere fra loro litologie in prima approssimazione simili, ma con geometrie e relazioni laterali e verticali dei corpi geologici molto diverse, in base al contesto sedimentario in cui si sono originate.

I medesimi depositi sono anche oggetto della classificazione fondata sui limiti stratigrafici inconformi, che prevede la distinzione di unità stratigrafiche definite sintemi e subsintemi. Queste unità sono particolarmente efficaci per descrivere il territorio in base alla sua storia geologica, all'età dei suoi sedimenti e alla peculiare ciclicità degli eventi

che l'hanno trasformato, tipici dell'epoca quaternaria. Lo schema più esaustivo per la rappresentazione di queste unità è quello di tipo crono stratigrafico che riporta in ascissa la distribuzione geografica delle unità ed in ordinata il tempo in cui tali unità si sono deposte. Nello schema crono-stratigrafico di Fig. 3.5 si possono osservare le litologie e le età delle principali unità stratigrafiche utilizzate per i depositi quaternari di pianura dell'Emilia-Romagna (settore orientale e costiero). L'area oggetto del presente studio ricade nel Sintema Emiliano Romagnolo Superiore (AES).

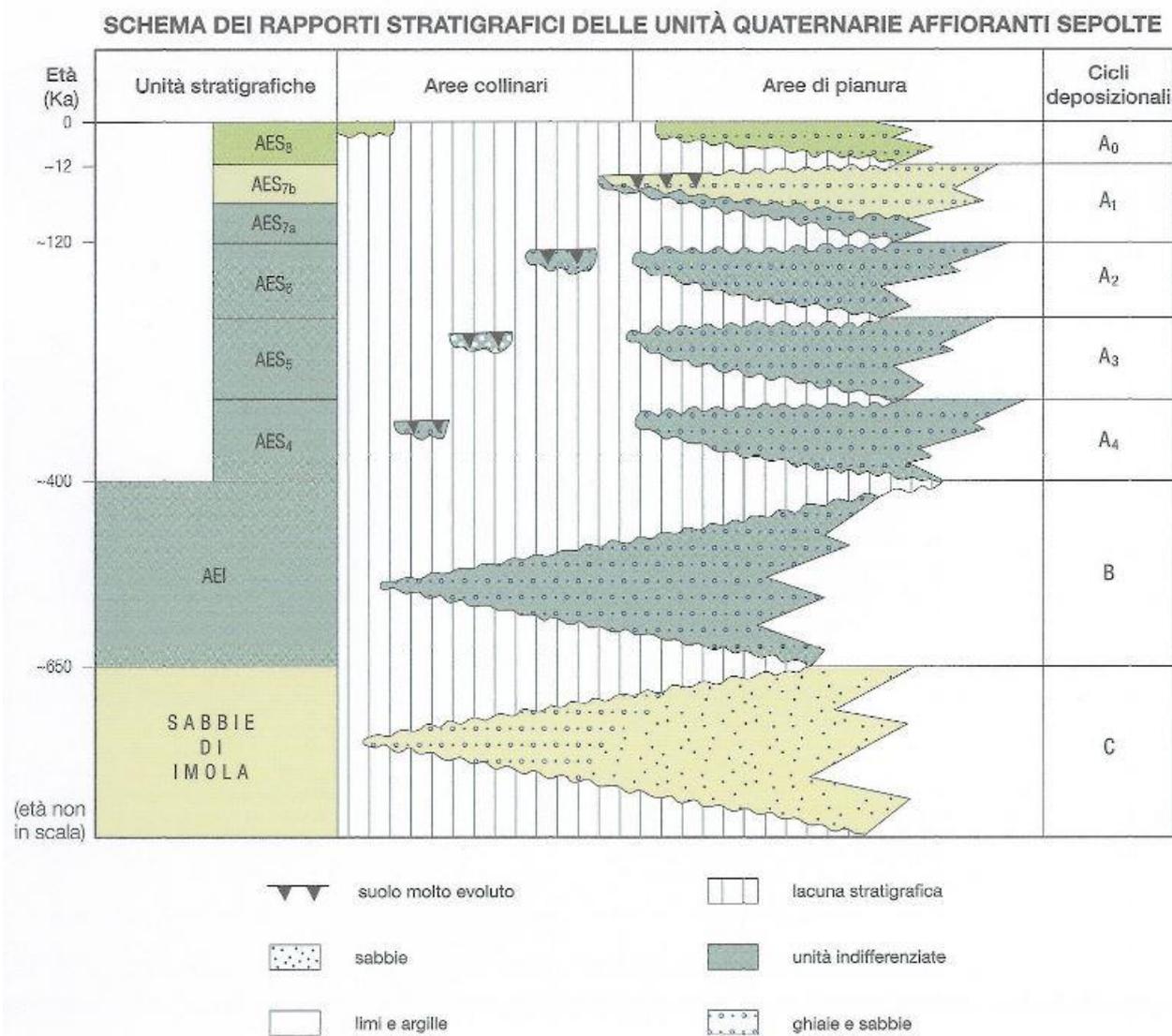


Fig. 3.5. Schema dei rapporti stratigrafici delle unità quaternarie. Da Carta Geologica d'Italia in scala 1:50.000 F. 201 Modena.

La Commissione Italiana di Stratigrafia della Società Geologica Italiana ha convenuto di suddividere ulteriormente questo sintema in otto sub sintemi, tra i quali il subsintema di Ravenna (sigla AES8) cui appartengono i terreni che caratterizzano l'area in studio (Fig. 3.6).

3.3 Sintema emiliano-romagnolo superiore (AES)

Nell'ambito dell'area vasta il Sintema emiliano-romagnolo superiore comprende i depositi continentali costituiti dai depositi alluvionali deposti dai fiumi Crostolo, Secchia e Panaro e dai torrenti Tresinaro, Fossa di Spezzano, Grizzaga, Tiepido dal Pleistocene sino all'Attuale. Il sintema è stato suddiviso in subsintemi, ciascuno dei quali così organizzato: la porzione inferiore è costituita da litologie relativamente più fini, per lo più argillose e le ghiaie e sabbie, quando presenti, sono spesso canalizzate e comunque molto meno estese di quelle che caratterizzano la parte superiore dei subsintemi. Al di sopra di questa, la porzione superiore è caratterizzata da granulometrie più

grossolane, limi, sabbie e ghiaie; le ghiaie hanno tetto tabulare e sono molto più estese e potenti rispetto a quelle della porzione inferiore.

Sono unità cicliche caratterizzate dall'alternarsi di due litologie; le discontinuità che individuano i subsistemi così definiti non sono così evidenti nelle aree di bassa pianura dove i subsistemi, sempre distinguibili in base alla litologia, sono meno differenziati e si sovrappongono senza marcata discontinuità.

3.3.1 Subsistema di Ravenna (AES8). Età: Pleistocene sup. - Olocene (14 ka - attuale)

Questa unità, a differenza delle unità continentali più antiche di ambiente intravallivo e di conoide affioranti in aree pedecollinari, si sviluppa in condizioni di piana inondabile e rappresenta l'intero spessore dei sedimenti, prevalentemente fini, depositi nell'ultimo postglaciale, in parte di sopra l'esteso corpo ghiaioso attribuito all'Unità di Vignola. La base del sub sistema di Ravenna nell'area tipo è caratterizzato da una superficie di discontinuità corrispondente ad una lacuna stratigrafica di entità variabile e marcata da un netto contrasto di facies: i depositi alluvionali di età pleistocenica (parte sommitale di Villa Verrucchio AES7) sono sovrastati da depositi di ambiente paralico e marino-marginale riconducibili all'ultimo ciclo trasgressivo-regressivo di età olocenica. Nel settore emiliano la base del sub sistema cade all'interno di depositi alluvionali ed è generalmente meno facilmente riconoscibile di quanto non avvenga per i settori posti lungo la costa.

Il limite inferiore può poggiare con contatto netto sulle ghiaie e limi di colore bruno rossastro del paleosuolo al tetto dell'unità di Vignola o, laddove questo fosse assente, il limite inferiore poggia al tetto di corpi ghiaioso-sabbiosi che caratterizzano la porzione sommitale di Villa Verrucchio.

Il limite superiore, sempre coincidente con la superficie topografica, è caratterizzato da suoli a basso grado di alterazione. Il subsistema è correlato con gli affioramenti intravallivi rappresentati da depositi fluviali terrazzati a litologia prevalentemente ghiaioso-sabbiosa.

La parte superiore del subsistema è caratterizzata da maggiore frequenza di livelli limoso sabbiosi o limoso argillosi con frequenti intercalazioni sabbiose. la sedimentazione grossolana che si rinviene alla base dell'unità in eteropia con livelli argillosi-torbosi è localizzata nelle aree prossime al F. Secchia.

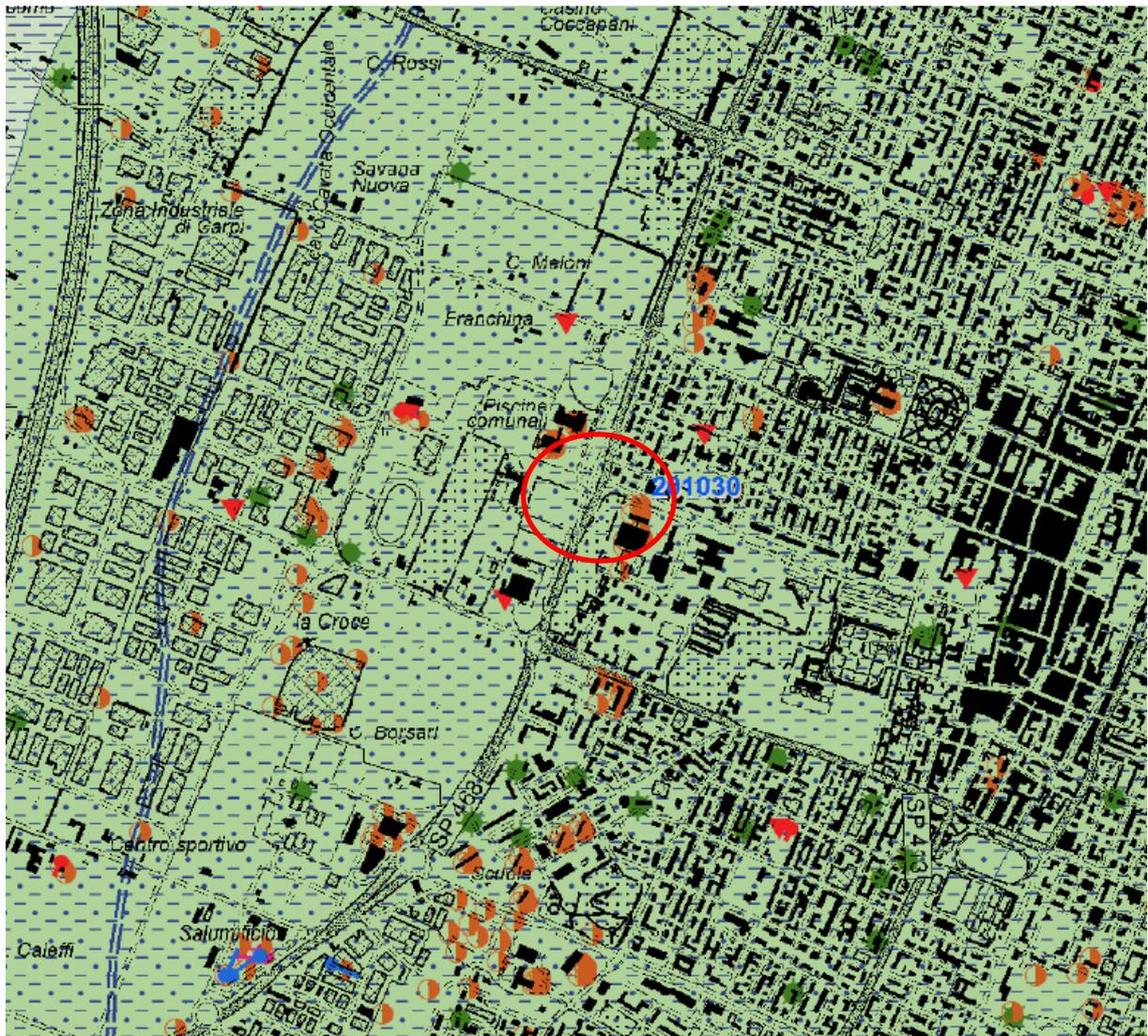
Lo spessore massimo del subsistema nella pianura è di circa 25m. Ad Ovest dell'area di progetto è presente una unità a limiti non conformi di rango gerarchico inferiore: l'Unità di Modena (AES8a) che localmente ne costituisce il tetto stratigrafico.

3.3.2 Unità di Modena (AES8a). Età: post-romana (IV-VI sec. d.C. –Attuale)

A questa unità appartengono i sedimenti depositi dopo l'età romana (post V sec. d.C.). Affiora piuttosto estesamente nell'area vasta, lasciando affiorare il subsistema di Ravenna in un tratto di pianura a SO di Modena, ed in una fascia che da Scandiano va a S. Martino in Rio, Soliera e Carpi. Limi e argille sono le litologie principali, le sabbie sono poco diffuse e le ghiaie sono confinate nelle aree circostanti il F. Secchia. Lo spessore può raggiungere gli 8m.

Più in dettaglio nell'area di progetto la cartografia riporta che il Subsistema di Ravenna AES8 è costituito da "Ghiaie e ghiaie sabbiose, passanti a sabbie e limi organizzate in numerosi ordini di terrazzi alluvionali. Limi prevalenti nelle fasce pedecollinari di interconoide. A tetto suoli a basso grado di alterazione con fronte di alterazione potente fino a 150 cm e parziale decarbonatazione; orizzonti superficiali di colore giallo-bruno. Contengono frequenti reperti archeologici di età del Bronzo, del Ferro e Romana. Potenza fino a oltre 25 m."

In questo caso bisogna osservare che i dati pedologici a disposizione ed i dati penetrometrici (cfr. Cap. 8) mettono in evidenza litologie prevalentemente limose e limoso-argilloso-sabbiose, e pertanto il dato cartografico va interpretato come valido a livello di area vasta ma non a livello di area di progetto in senso stretto.



Prove lineari

- ▬ prova MASW

Prove puntuali

- misure di microtremore a stazione singola (HVSr)
- pozzo per acqua
- prova CPT con punta meccanica

Linee geomorf./antrop. (10K)

- ▬ traccia di alveo fluviale abbandonato

Ambienti deposiz. e litologie (10K)

Argilla - Piana alluvionale

Limo - Piana alluvionale

▨ Limosabbioso - Piana alluvionale

Coperture quaternarie (10K)

■ AES8 - Subsistema di Ravenna

■ AES8a - Unità di Modena

Fig. 3.6. Carta Geologica. Da SIT RER, Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli.
https://geo.regione.emilia-romagna.it/cartografia_sgss/user/viewer.jsp?service=geologia

4 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

Con la pubblicazione del volume RIS (“Riserve Idriche Sotterranee della Regione Emilia-Romagna” - Regione Emilia-Romagna & ENI-AGIP, 1998) è stata proposta una stratigrafia a livello di bacino per i depositi alluvionali e marino litorali presenti nelle prime centinaia di metri del sottosuolo padano. Nella pubblicazione vengono introdotte tre nuove unità stratigrafiche per la pianura emiliano-romagnola denominate come di seguito indicato e schematizzato in Fig. 4.1:

- Gruppo Acquifero A (Pleistocene sup. – Olocene)
- Gruppo Acquifero B (Pleistocene medio)
- Gruppo Acquifero C (Pliocene inf./Miocene – Pleistocene medio)

ETA' (milioni di anni)	SCALA CRONOSTRATIGRAFICA (milioni di anni)	UNITA' IDROSTRATIGRAFICHE	
		GRUPPO ACQUIFERO	COMPLESSO ACQUIFERO
~0.12	PLEISTOCENE SUPERIORE - OLOCENE 0.125	A	A1
			A2
			A3
			A4
~0.35-0.45	PLEISTOCENE MEDIO	B	B1
			B2
			B3
			B4
~0.65	PLEISTOCENE INFERIORE 1.72 PLIOCENE MEDIO - SUPERIORE 3.55	C	C1
			C2
~0.8			C3
~1.0			C4
~2.2			C5
~3.3-3.6	PLIOCENE INFERIORE MIOCENE 3.55	ACQUITARDO BASALE	
~3.9			

Fig. 4.1. Schema delle unità idrostratigrafiche

Il Gruppo Acquifero A corrisponde al Sistema Emiliano Romagnolo Superiore, il Gruppo Acquifero B al Sistema Emiliano Romagnolo Inferiore ed il Gruppo Acquifero C a diverse unità affioranti nell'Appennino, la più recente delle quali è la Formazione delle Sabbie di Imola.

Le unità stratigrafiche sopra denominate appartengono alla categoria delle unità idrostratigrafiche che si caratterizzano per essere formate da una o più sequenze deposizionali e per la presenza di un livello basale scarsamente permeabile e molto continuo che funge da barriera di permeabilità tra le diverse unità.

Il Gruppo Acquifero A ed il Gruppo Acquifero B, entrambi formati da depositi alluvionali, sono costituiti da depositi ghiaiosi di conoide alluvionale, di depositi fini di piana alluvionale e, più estesamente, dai depositi sabbiosi della piana a meandri del Po.

A livello di area vasta l'area di progetto si inquadra tra il complesso idrogeologico della pianura alluvionale appenninica ed il complesso idrogeologico della pianura alluvionale padana (Figg. 4.2-4.3).

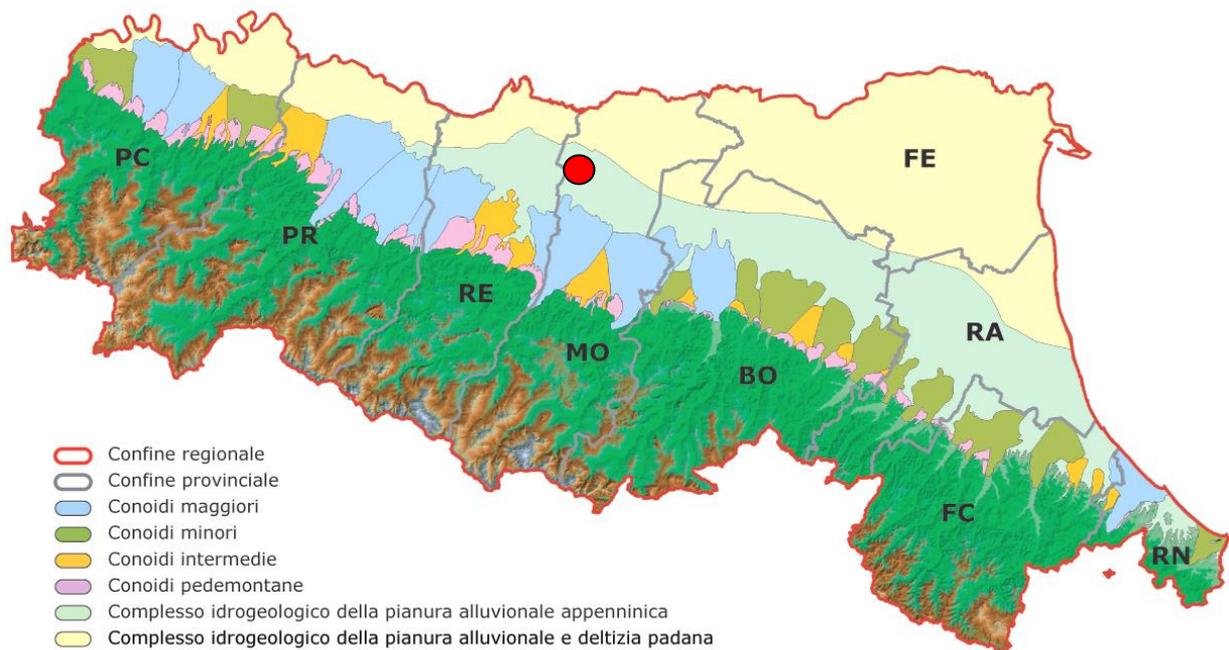


Fig. 4.2. Schema idrogeologico regionale

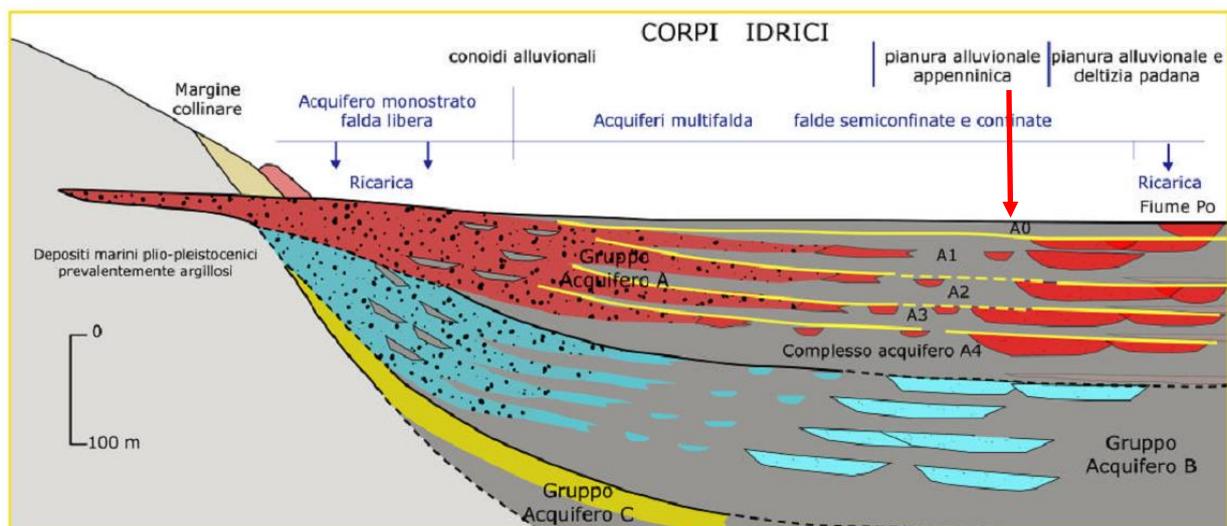


Fig. 4.3. Rapporti tra gli acquiferi della pianura e conoidi

I terreni del Subsistema di Ravenna (AES8) appartengono all'ultimo ciclo deposizionale trasgressivo (A0), incompleto ed il cui limite inferiore è marcato da argille organiche e sabbie costiere. Lo spessore di questa unità stratigrafica può arrivare, nelle zone più subsidenti della pianura, ad oltre 20m e frequentemente la porzione inferiore di A0 può contenere acquiferi confinati di limitata estensione. La porzione prettamente freatica interessa solamente la parte più alta di questa unità, per uno spessore di una decina di metri circa. Dal punto di vista idrogeologico l'acquifero freatico di pianura è un acquifero di modesto interesse per qual che riguarda il volume della risorsa, soprattutto se paragonato con gli acquiferi sottostanti. Tuttavia, data la sua profondità molto esigua, esso è interessato da molti pozzi a grande diametro, molto diffusi nei contesti rurali, che vengono utilizzati per scopi prevalentemente domestici. I pozzi si trovano principalmente nelle zone dove affiorano i depositi sabbiosi degli argini fluviali. Nell'ambito dell'area di progetto, dove i terreni sono di natura prevalentemente fine, sono tuttavia presenti alcuni pozzi sia profondi sia superficiali (Fig. 4.4).

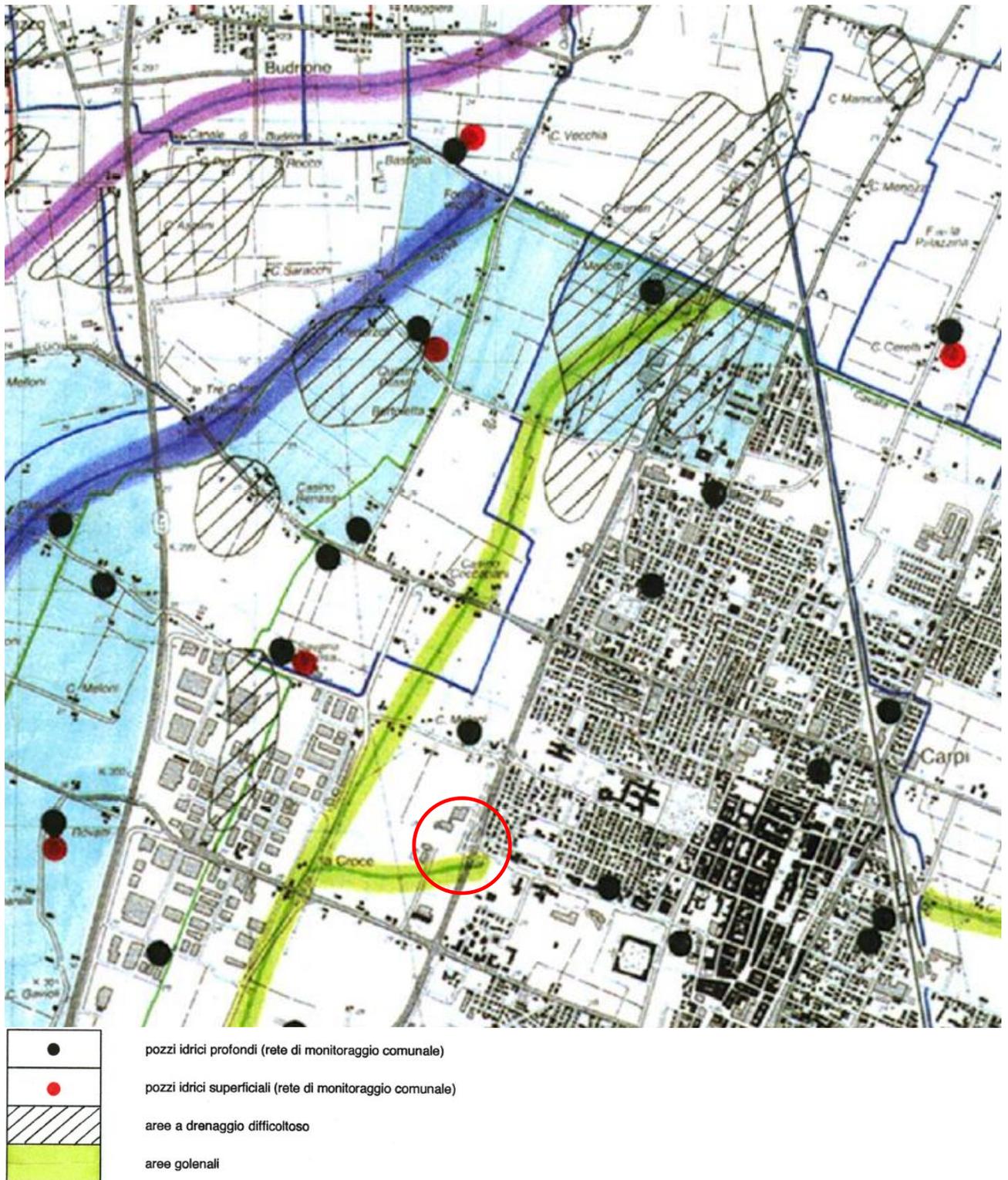


Fig. 4.4. Ubicazione pozzi nelle vicinanze dell'area di progetto. Carta Idrogeomorfologica del PGT comunale.

Per quanto concerne la soggiacenza, gli studi disponibili a livello di PGT/PRG, risalenti al 1998 e riferiti ad una specifica campagna di rilievi piezometrici, indicano, per l'area di progetto una soggiacenza compresa tra 2 e 10m da piano campagna (Fig.4.5).



- profondita' compresa tra 2 e 10 m
- profondita' inferiore a 2 m

Fig. 4.5. Carta della profondità media dei livelli freatici – PGT/PRG

La rete di monitoraggio ARPAE ha un pozzo a S dell'area di progetto (Fig. 4.6), codice MO10-01 le cui misure piezometriche vanno dal 19 Ottobre 1990 al 30 Settembre 2009.

Il grafico in Fig. 4.7 mostra l'andamento della quota assoluta del livello piezometrico: dal grafico si può osservare che la quota è passata da un massimo di 17,75m.s.l.m. nel Maggio 1995 ad un minimo, nel 2009, di 7,3m.s.l.m. cui corrispondono soggiacenze rispettivamente di 7,77 e 19,6m da p.c.. Va però fatto presente che, stando alla scheda del pozzo, quest'ultimo sfrutta gli acquiferi più profondi A1 e A2 e non quello superficiale A0, non solo, ma non è dato di sapere se le misure sono riferite al livello statico a al livello dinamico (<http://geo.regione.emilia-romagna.it/eWaterDataDistributionSgss/EwaterDetailForm?dataType=well&id=MO10-01&lang=it>). Conseguentemente, il dato non è riferibile alla falda superficiale.

In assenza di ulteriori dati più recenti e puntuali, allo stato attuale delle conoscenze **si considera, ai fini progettuali ed in via preliminare, la presenza di una falda superficiale con soggiacenza media annua di compresa tra 1,5 e 2m da piano campagna.**

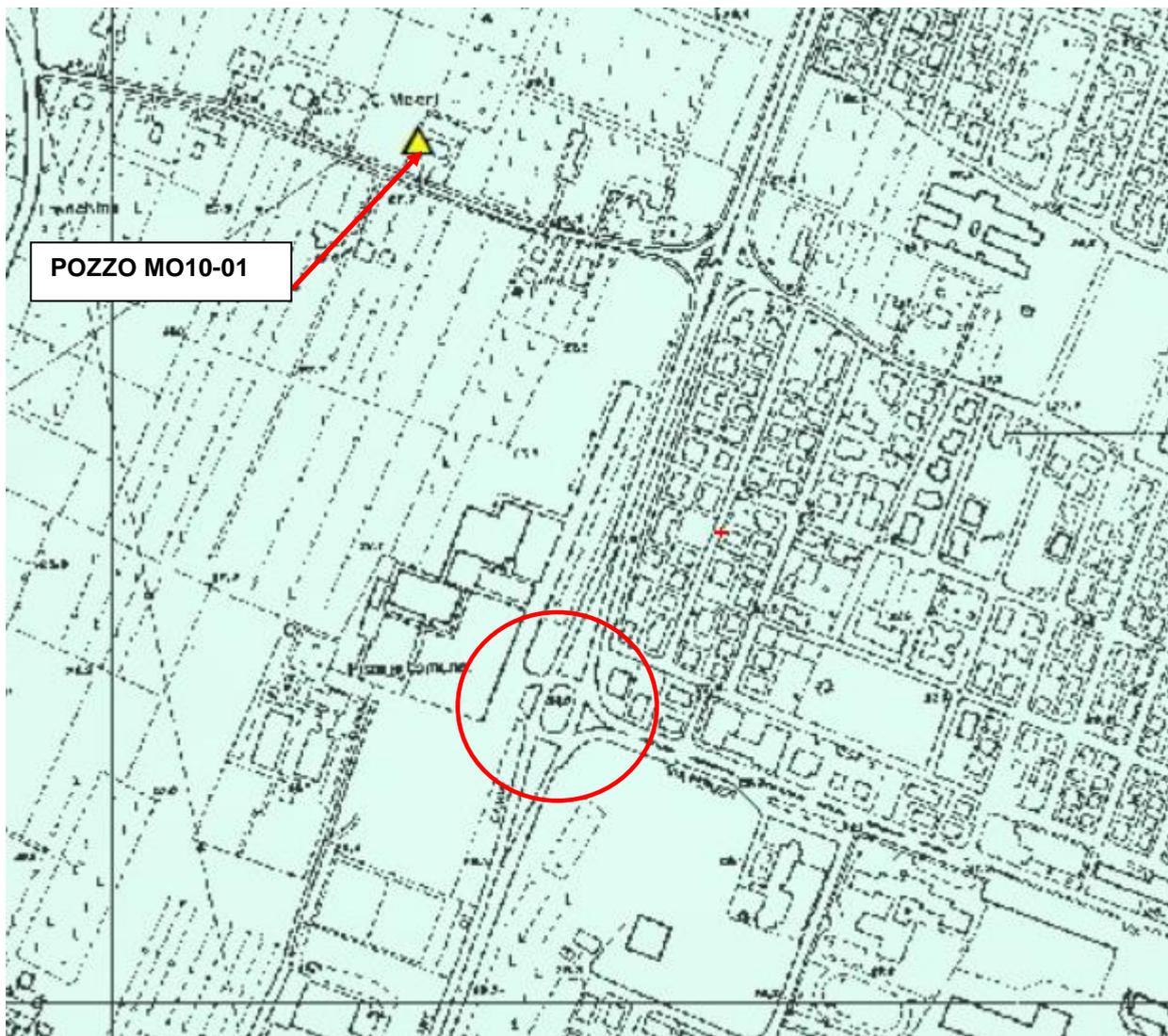


Fig. 4.6. Posizione del pozzo della rete di monitoraggio ARPAE
https://geo.regione.emilia-romagna.it/cartografia_sgss/user/viewer.jsp?service=ewater

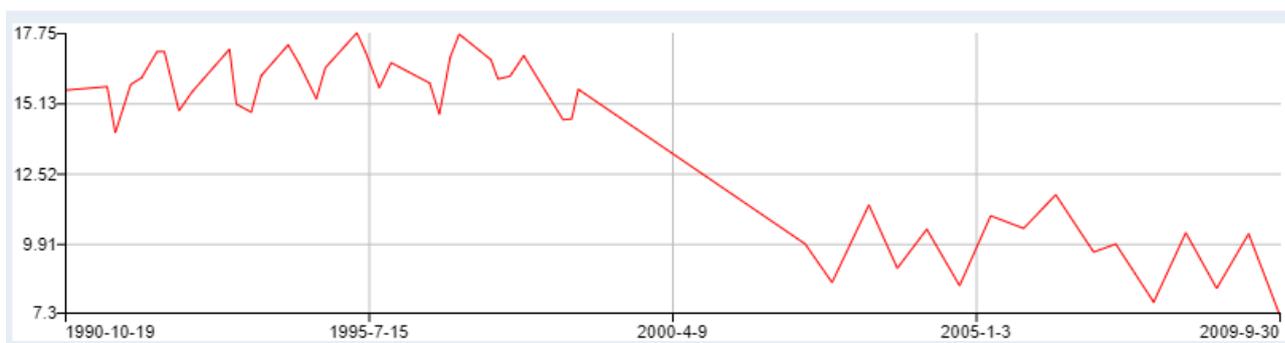


Fig. 4.7. Misure piezometriche del monitoraggio ARPAE nel pozzo MO10-01 anni 1990-2009. Quote in m.s.l.m.

5 INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

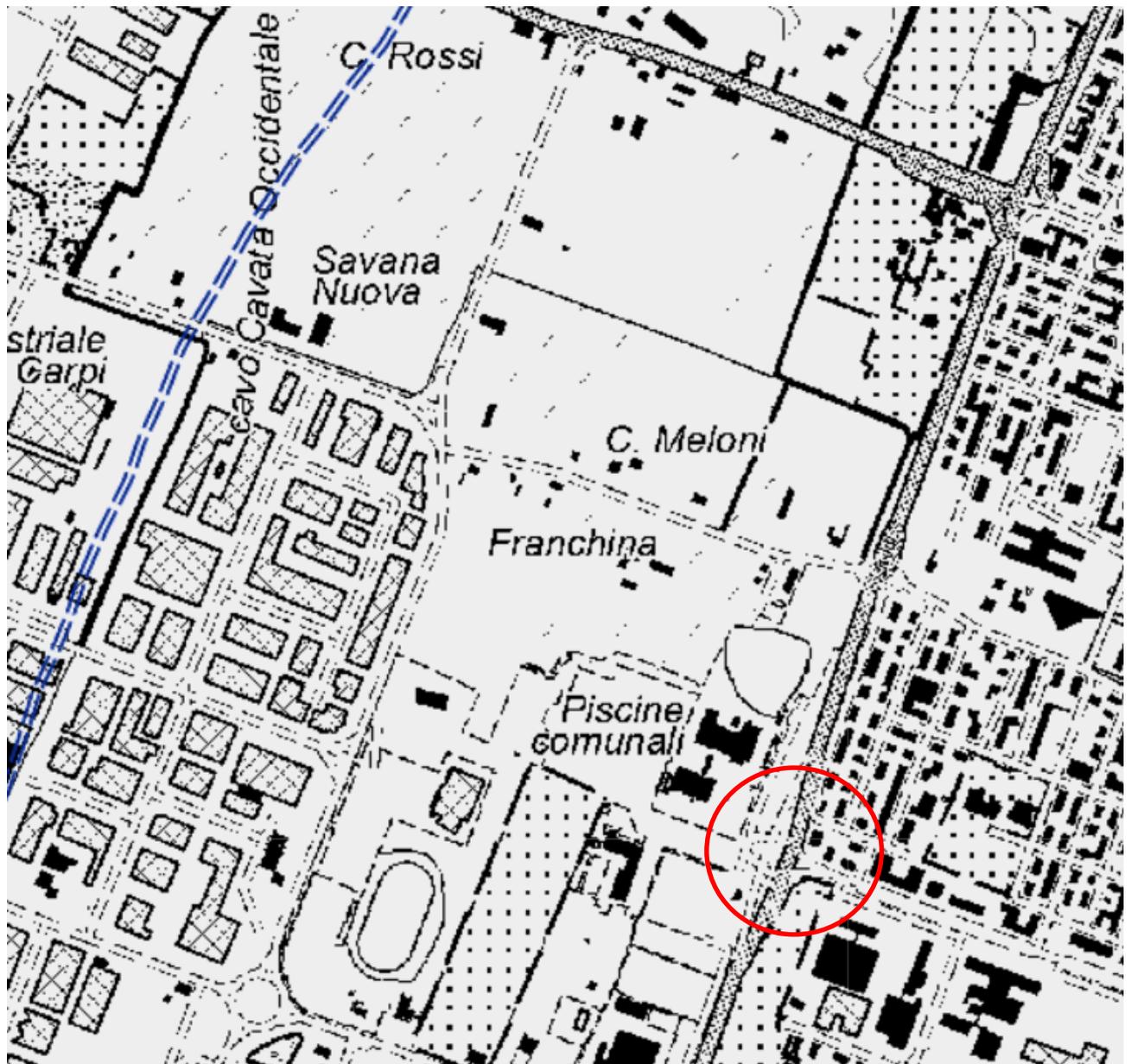
L'area di progetto, collocata nell'ambito della pianura Emiliana ad una quota di circa 24m.s.l.m., ha assetto pianeggiante, ed è dominata da forme di origine antropica, legate sostanzialmente alle sistemazioni idraulico-agrarie. L'elemento dominante è infatti il reticolo di drenaggio a fossi e solchi, che marca il territorio con un pattern orientato in direzione SO-NE e NO-SE. Gli elementi idrografici principali nell'ambito dell'area di studio sono, a partire da Ovest:

- Cavo Fosso Nuova, che scorre in direzione SO-NE fino all'altezza di Fornace Vecchia dove devia verso ESE e diventa Diversivo Cavata che è l'unico elemento idrografico definito ai sensi del DLGS 152/99
- la Cavata Occidentale e il Canale Carpigiano, che scorrono in direzione SO-NE fino al Diversivo Cavata
- il Canale Carpigiano e il suo prolungamento ideale, lo scolo Ravetta, orientati SO-NE fino al Diversivo Cavata
- il Canale della Gusmea, parallelo e affiancato al Diversivo Cavata, che scorre in direzione ONO-ESE

Il suolo è ad uso agricolo, con seminativi e vigneti.

La banca dati geomorfologica della Regione Emilia Romagna (Fig. 5.1) mostra, come unico elemento geomorfologico la traccia di un alveo fluviale abbandonato che interseca la SP1 grosso modo in corrispondenza dell'intersezione di questa con la nuova viabilità in progetto (<https://datacatalog.regione.emilia-romagna.it/catalogCTA/geoviewer2/resource/0a6d3c85-a28c-4e1e-a5b1-fa010b88c5be>).

In generale nell'area di progetto non risulta la presenza di elementi geomorfologici tali da rappresentare una criticità ai fini progettuali.



- - - traccia di alveo fluviale abbandonato

Fig. 5.1. Consultazione del database geomorfologico della RER.

<https://datacatalog.regione.emilia-romagna.it/catalogCTA/geoviewer2/resource/0a6d3c85-a28c-4e1e-a5b1-fa010b88c5be>

6 SUBSIDENZA

L'ARPA, su incarico della Regione Emilia-Romagna e con la collaborazione dell'Università di Bologna ha centralizzato dal 1997 le informazioni riguardanti la subsidenza antropica. Il monitoraggio della subsidenza fino ad allora era avvenuto, a partire dagli anni '60, ad opera di vari Enti che hanno istituito e misurato, in epoche diverse, reti di livellazione in ambiti locali più o meno limitati. Tali iniziative, se efficaci a livello locale, mostravano i loro limiti se osservate in un contesto regionale evidenziando lacune e disomogeneità tali da rendere, in gran parte dei casi, difficoltosa la definizione organica e univoca del fenomeno.

Nel 1997-1998, a partire dal vasto patrimonio di capisaldi esistenti e sulla scorta delle esperienze precedenti è stata progettata e realizzata una rete regionale di monitoraggio della subsidenza costituita, in particolare, da una rete di livellazione geometrica di alta precisione con oltre 2300 capisaldi e una rete di circa 60 punti GPS (Fig. 6.1).

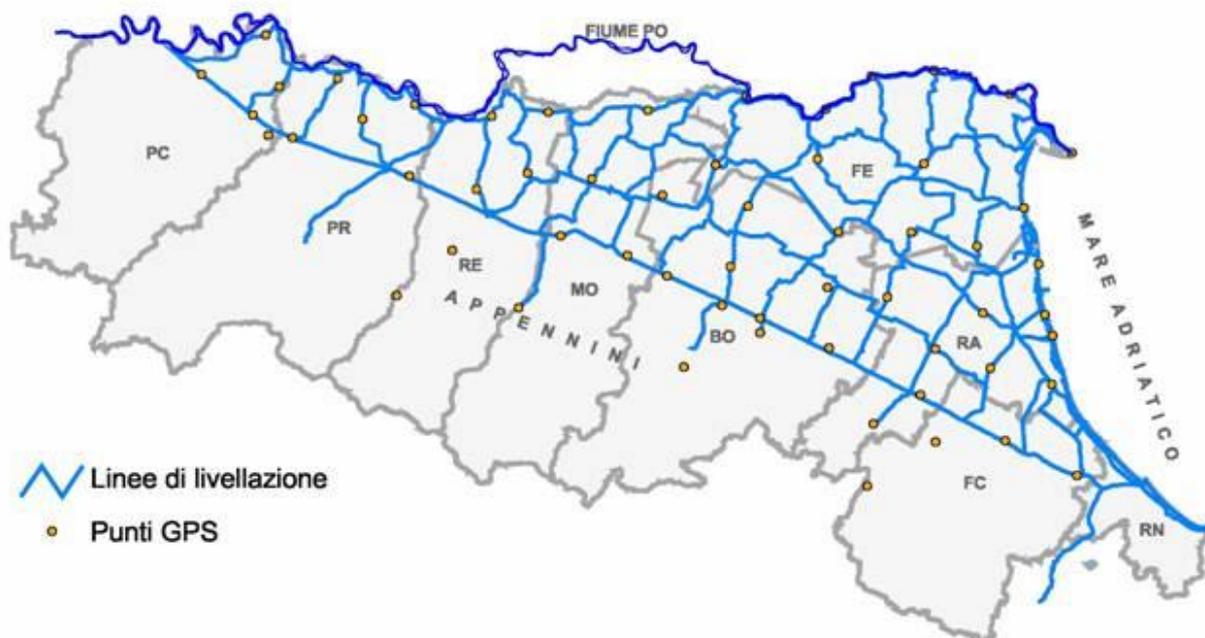


Fig. 6.1. Rete di monitoraggio ARPA per la subsidenza

La rete, nel suo complesso, è stata misurata per la prima volta nel 1999. Il rilievo della rete di livellazione ha permesso di attribuire ad ogni caposaldo, compresi quelli storici, una quota assoluta sul livello medio del mare riferita, in particolare, al caposaldo 5/162" (verticale), ritenuto stabile, sito nei pressi di Sasso Marconi (Appennino bolognese) e appartenente alla rete di livellazione di alta precisione dell'Istituto Geografico Militare Italiano (I.G.M.I.). Per tale caposaldo è stata adottata la quota determinata nel 1949 dall'Istituto stesso pari a 225.9222 m s.l.m.

È stato così possibile realizzare la prima carta a isolinee di velocità di abbassamento del suolo relativa al periodo 1970/93-1999, che costituisce il primo tentativo di restituire un quadro complessivo dei movimenti verticali del suolo sull'intera area di pianura della regione, già nella fase di rilievo "zero" della Rete. Tale rappresentazione, tuttavia, risulta inevitabilmente lacunosa, relativamente o parzialmente aggiornata e, comunque, fortemente disomogenea data la diversa copertura spaziale e temporale dei dati storici. In virtù di questa disomogeneità, le velocità di movimento indicate sulla carta sono riferite a periodi diversi, a seconda delle linee di livellazione, compresi tra il periodo più lungo 1970-1999 e il periodo più breve 1993-1999.

Le misure sono state ripetute nel 2002 ma solo sulla rete GPS, aggiornando così le conoscenze sui movimenti del suolo nel periodo 1999-2002 relativamente ai punti della rete stessa.

Un aggiornamento delle misure è stato effettuato nel periodo 2005-07 è stato effettuato l'aggiornamento delle conoscenze geometriche relative al fenomeno della subsidenza, tramite l'interazione di due tecniche:

- la livellazione geometrica di alta precisione di un sottoinsieme della rete regionale (circa il 50% delle linee di livellazione);

- L'analisi interferometrica di dati radar satellitari con tecnica PSInSARTM estesa all'intero territorio di pianura della regione, circa 11.000 km².

I risultati ottenuti, per la prima volta, forniscono un quadro sinottico di dettaglio del fenomeno della subsidenza a scala regionale. In particolare, sulla base della disponibilità dei dati satellitari, sono state realizzate due diverse cartografie a curve isocinetiche: la prima, relativa al periodo 1992-2000, fa riferimento all'elaborazione dei dati provenienti da due satelliti dell'Agenzia Spaziale Europea (ESA) ERS1 e ERS2 e si basa sulle velocità di movimento relative a circa 160.000 punti (Fig. 6.2). La seconda riguarda il periodo più recente 2002-2006, fa riferimento all'elaborazione dei dati provenienti dal satellite ENVISAT (ESA) e RADARSAT (Agenzia Spaziale Canadese) e si basa sulle velocità di movimento relative a circa 140.000 punti (Fig. 6.3). L'utilizzo del metodo satellitare ha permesso di acquisire un'informazione molto più diffusa e capillare rispetto al rilievo terrestre: un numero di punti di ben due ordini di grandezza superiore al numero dei capisaldi di livellazione sui quali poteva contare la precedente cartografia.

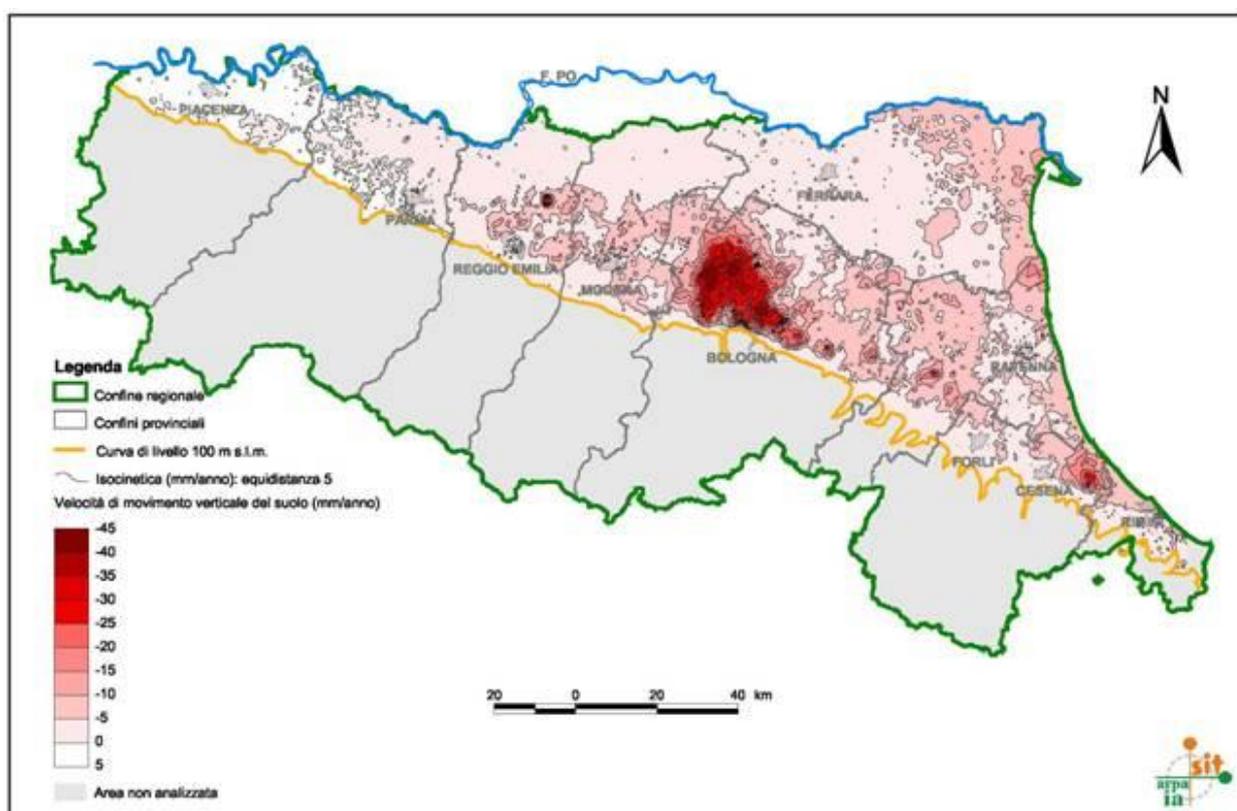


Fig. 6.2. Subsidenza 1992-2000

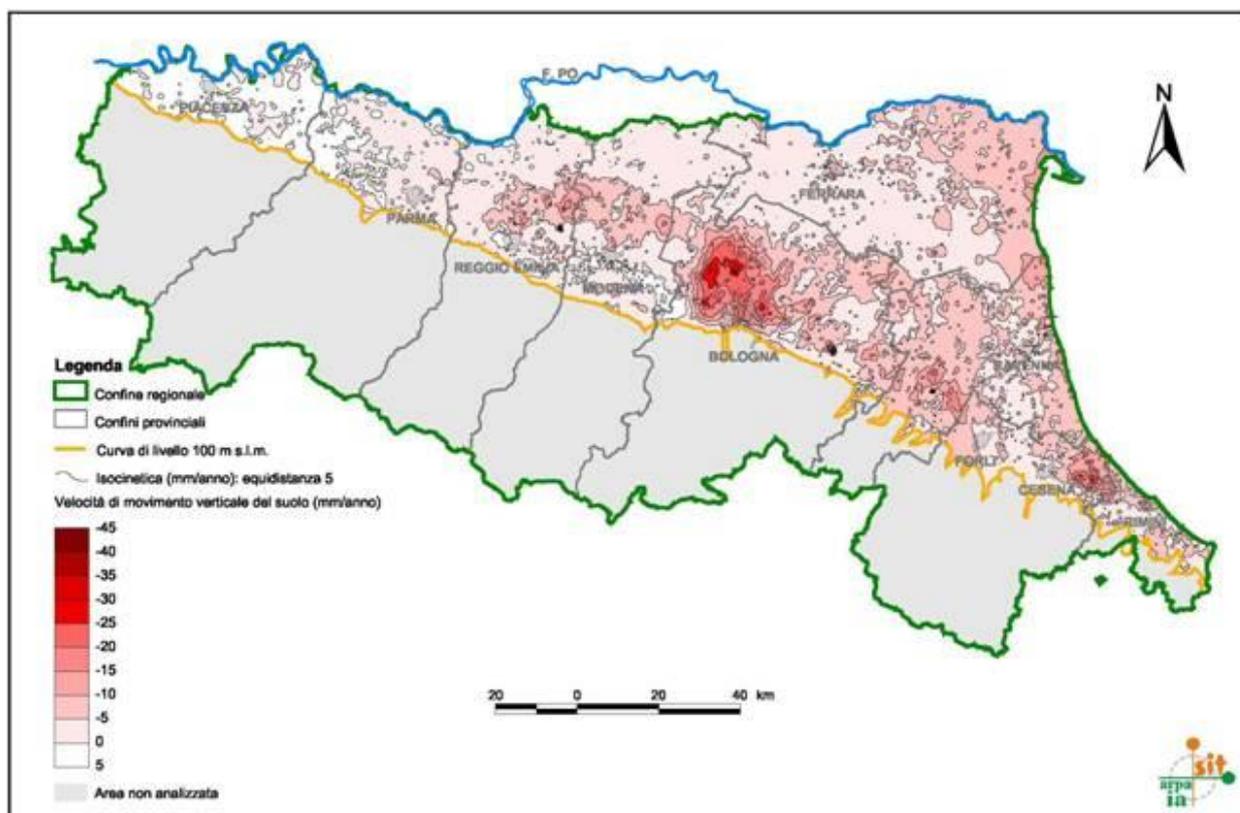


Fig. 6.3. Subsidenza 2002-2006

Le misure di livellazione realizzate nel 2005 hanno interessato un migliaio di km di linee ed oltre 1000 capisaldi. E' stato adottato lo stesso caposaldo di riferimento del 1999 mantenendone invariata la quota .

Le linee di livellazione che non sono state misurate nel 2005 sono state comunque oggetto di ricognizioni (la precedente ricognizione risaliva al 2002) in seguito alle quali sono stati ripristinati i capisaldi scomparsi. Ad ognuno dei capisaldi ripristinati è stata attribuita una quota relativa al 1999 tramite collegamento altimetrico ai capisaldi esistenti più vicini. Infine, ad ogni caposaldo è stata attribuita una velocità di movimento verticale relativa al periodo 2002-2006.

Un ulteriore aggiornamento è stato effettuato nel 2011-2012, sempre con combinazione di dati interferometrici e dati GPS. Grazie ad un numero di punti di misura più che doppio è stato possibile rappresentare la subsidenza con isolinee di 2,5mm/anno contro i 5mm/anno dell'aggiornamento precedente (Fig. 6.4).

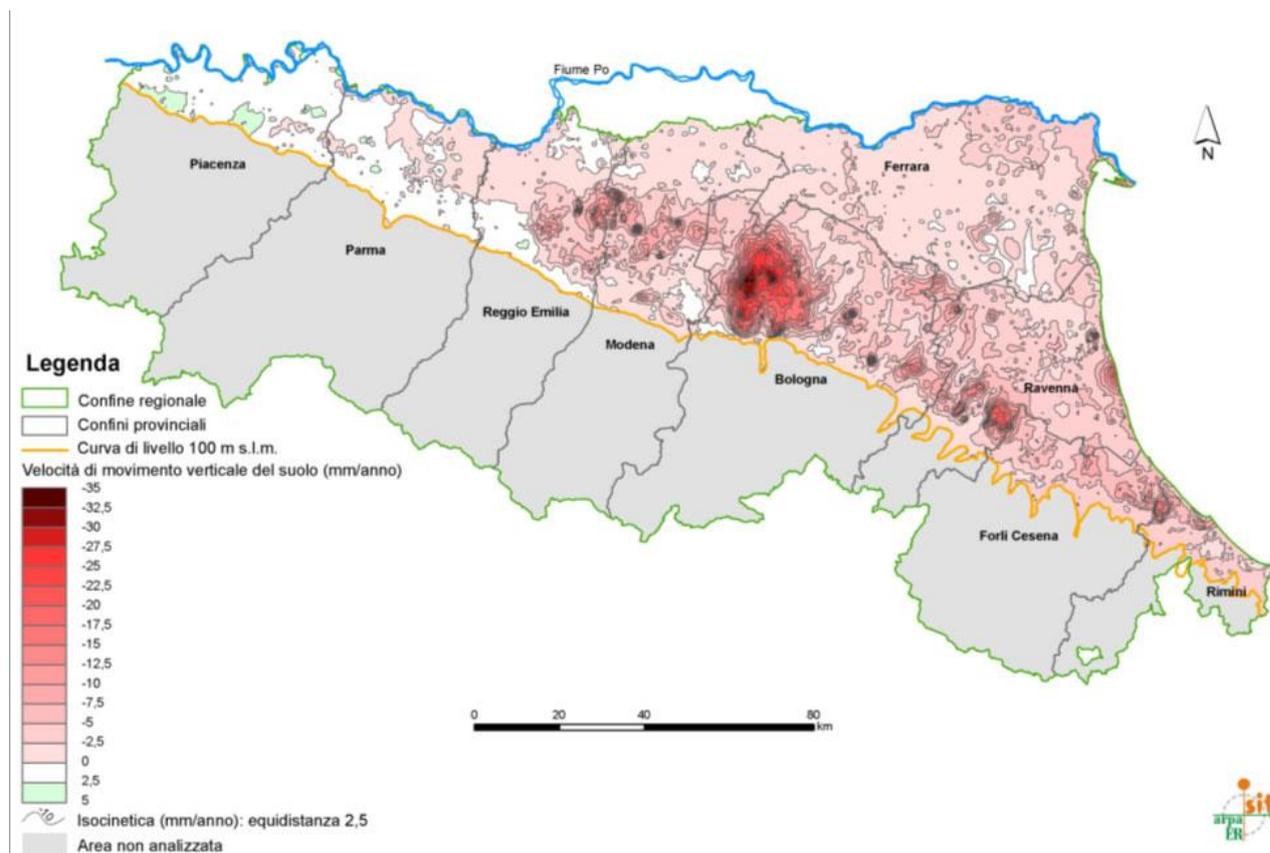


Fig. 6.4. Carta delle velocità di movimento verticale del suolo nel periodo 2006-2011, realizzata sulla base di analisi interferometrica radar effettuata da T.R.E. - Tele-rilevamento Europa mediante la tecnica SqueeSAR™, algoritmo PSInSAR™ di seconda generazione

L'ultimo aggiornamento è riferito al periodo 2011-2016 (Fig. 6.5). Per quanto concerne la Provincia di Modena si osserva, in generale, una riduzione degli abbassamenti: è ancora il territorio di media pianura ad essere più interessato dalla subsidenza, in particolare, in corrispondenza delle aree artigianali ad ovest di Carpi, con massimi di circa 20 mm/anno, e a sud di Soliera, con massimi di circa 25 mm/anno, entrambe in decremento rispetto ai valori massimi precedenti. L'area artigianale a nord di Bomporto presenta ancora valori di oltre 15 mm/anno. La città di Modena è sostanzialmente stabile.

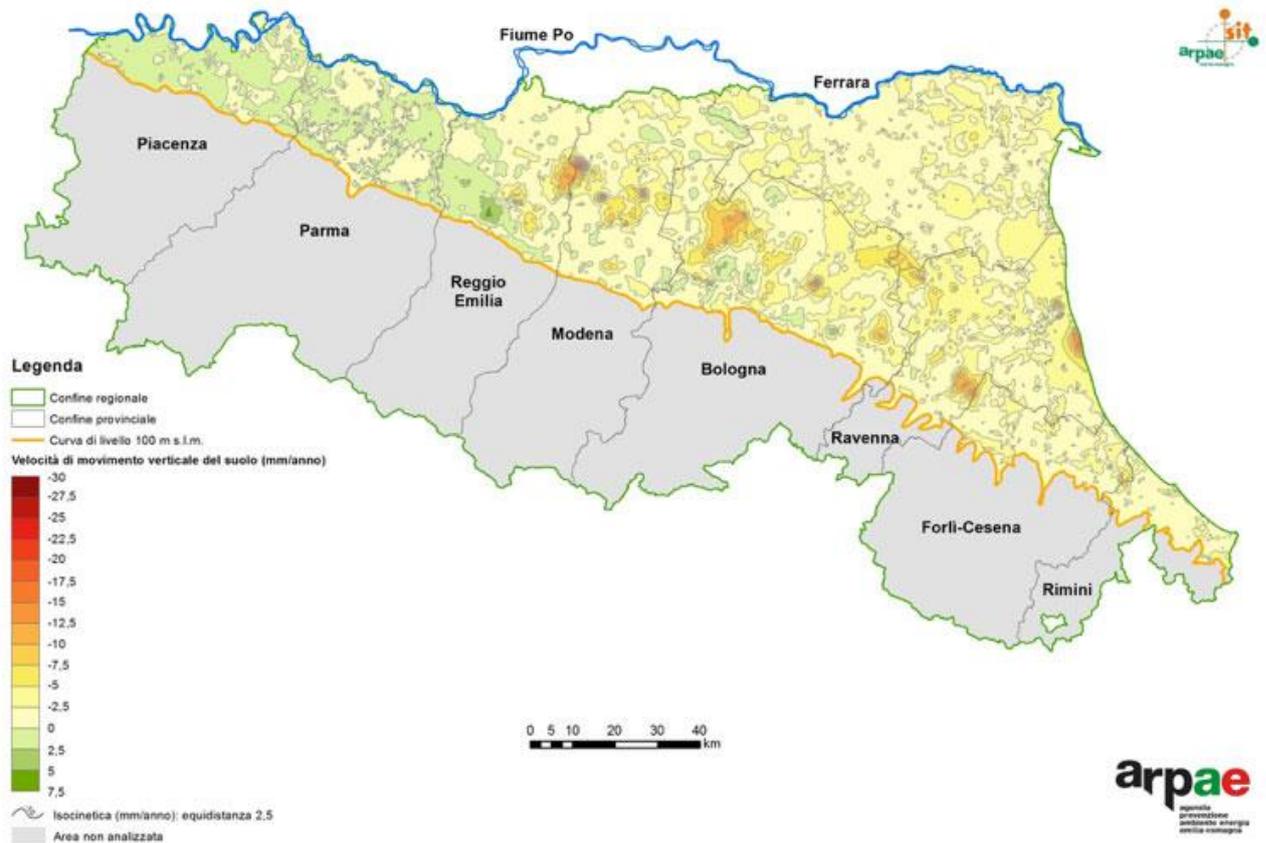


Fig. 6.5. Carta delle velocità di movimento verticale del suolo nel periodo 2011-2016

Nelle seguenti Figg. 6.6-6.9 sono riportati gli stralci della carta delle velocità di movimento verticale per gli anni 1992-2000, 2002-2006, 2006-2011, 2011-2016 nell'area di progetto.

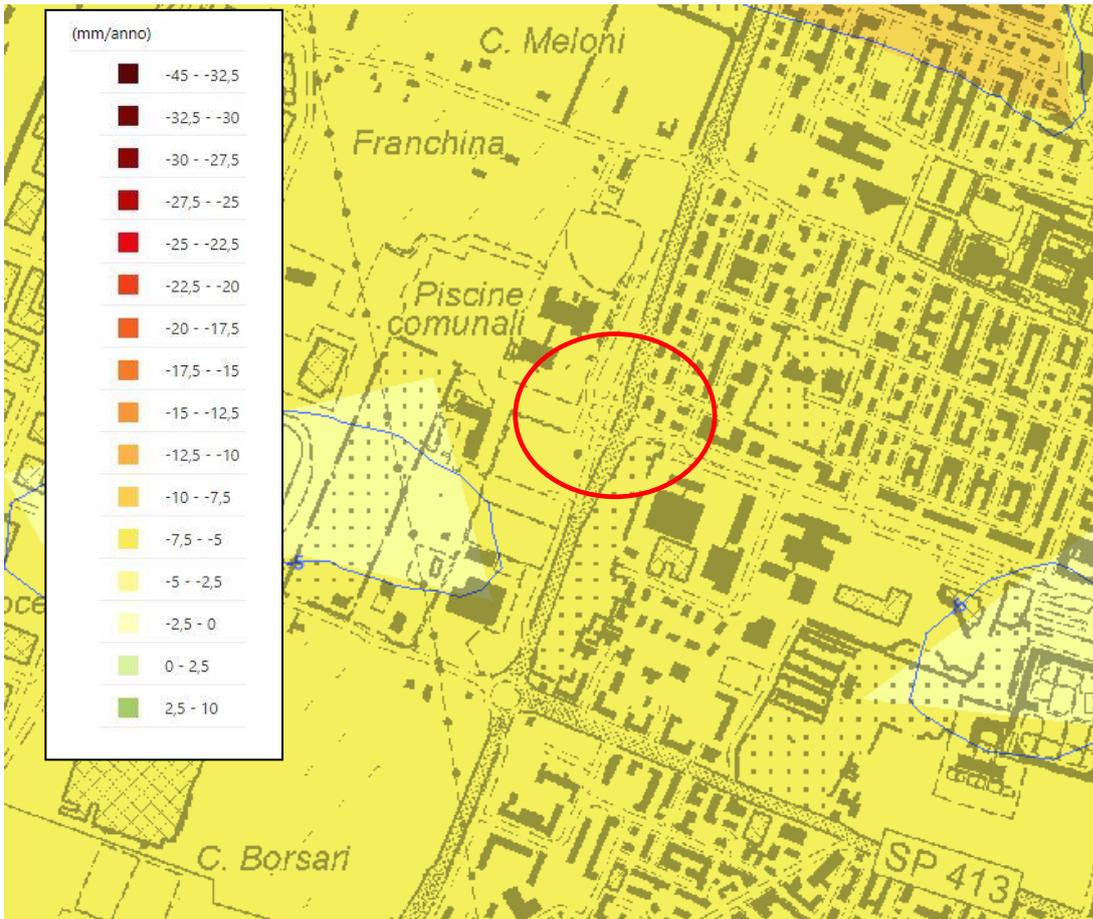


Fig. 6.6. Subsidenza nel periodo 1992-2000

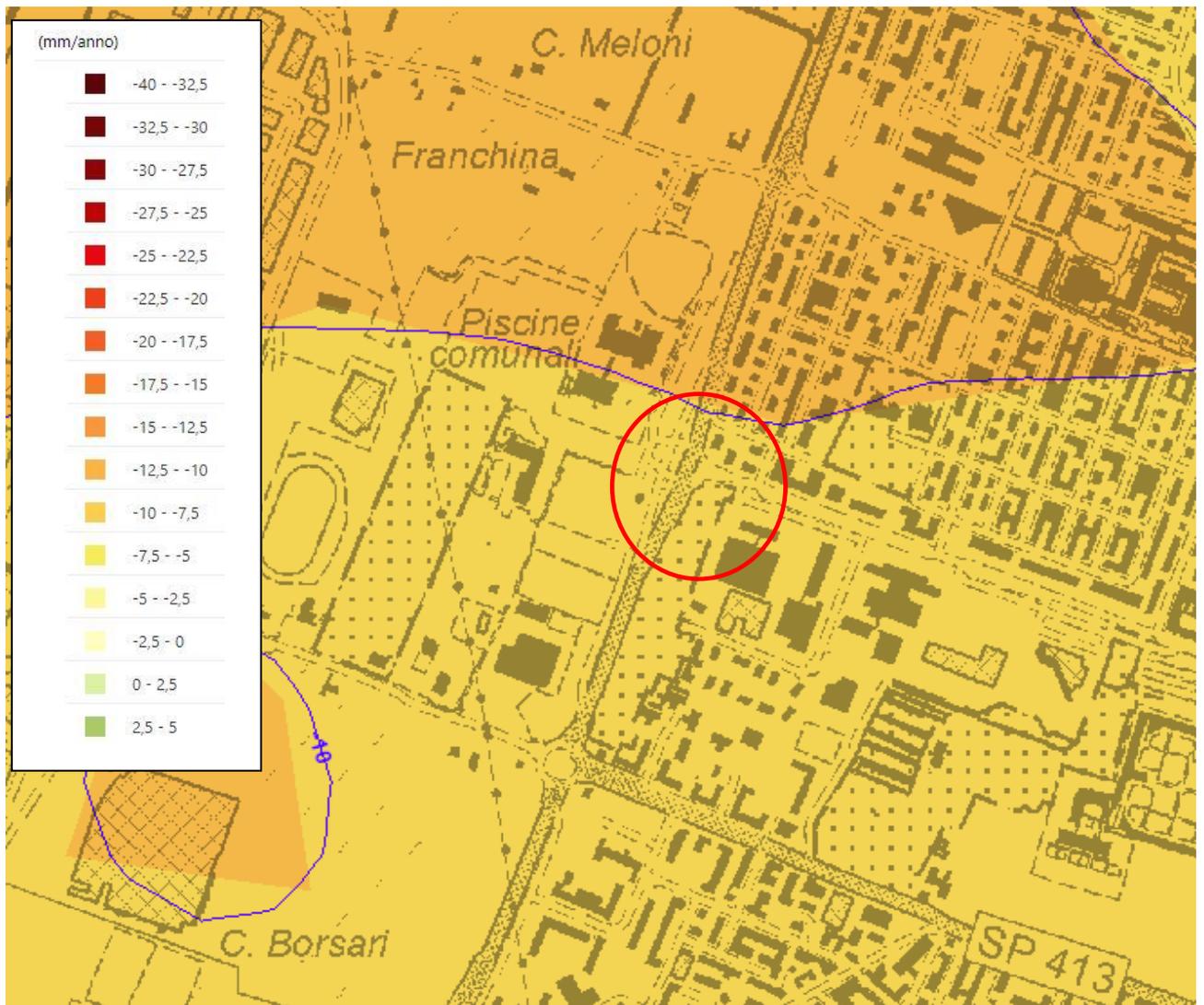


Fig. 6.7. Subsidenza nel periodo 2002-2006

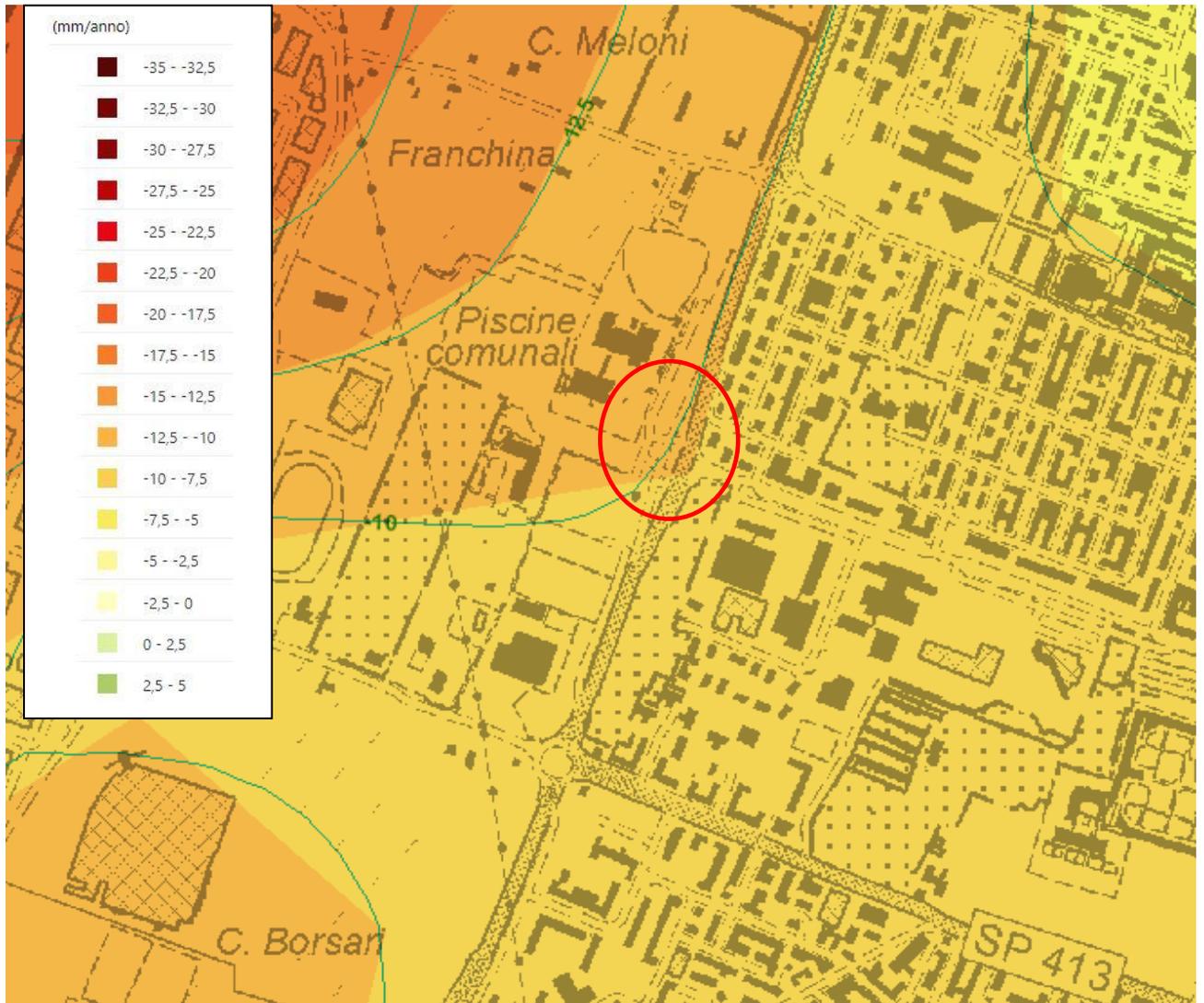


Fig. 6.8. Subsidenza nel periodo 2006-2011

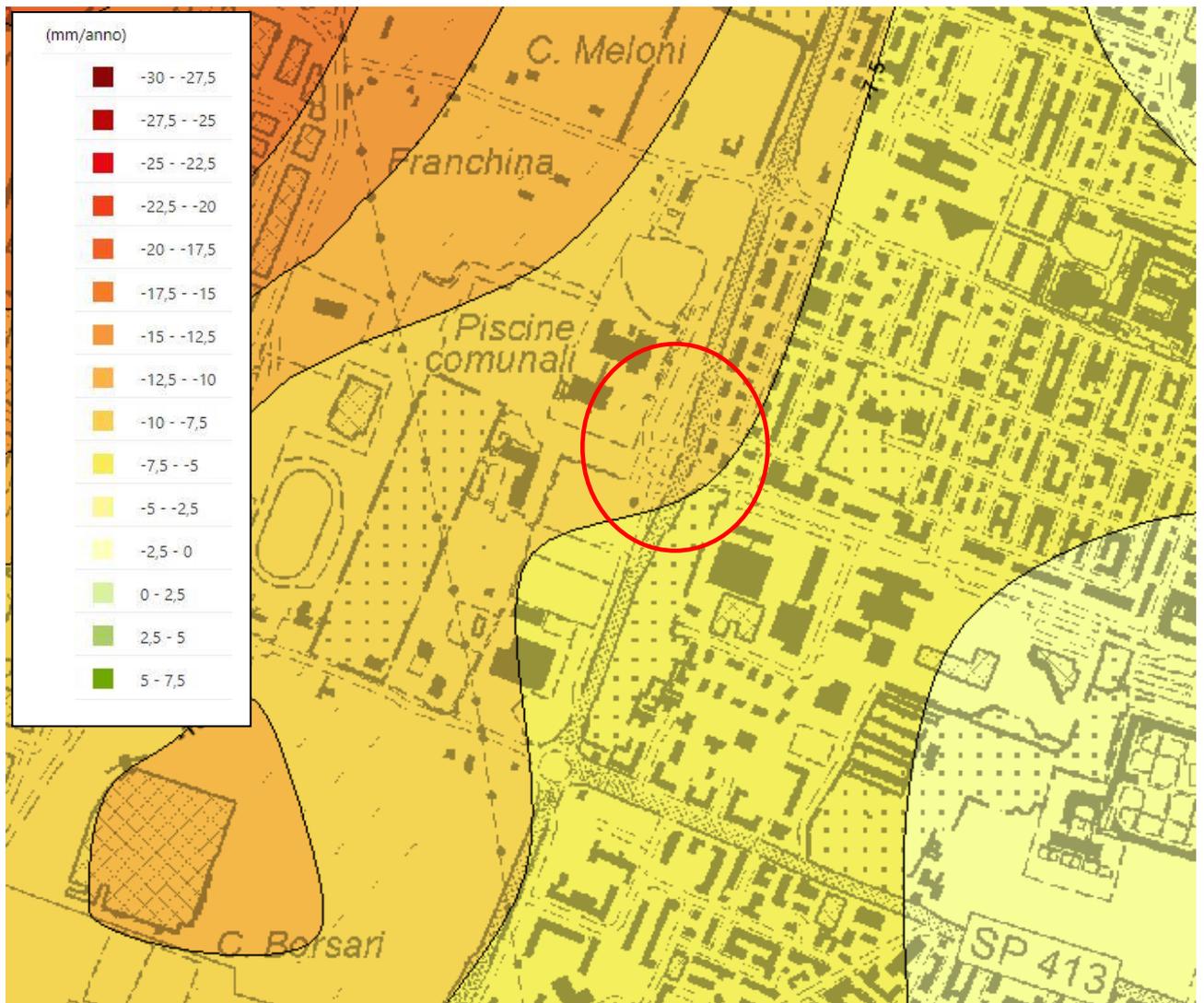


Fig. 6.9. Subsidenza nel periodo 2011-2016

7 PGRA

La mappatura della pericolosità da alluvione (Direttiva alluvioni 2022), consultabile sul webgis istituzionale <https://servizimoka.regione.emilia-romagna.it/mokaApp/apps/DA/index.html>, mostra che l'area di progetto ricade in classe P1 - alluvioni rare. (Fig. 7.1).



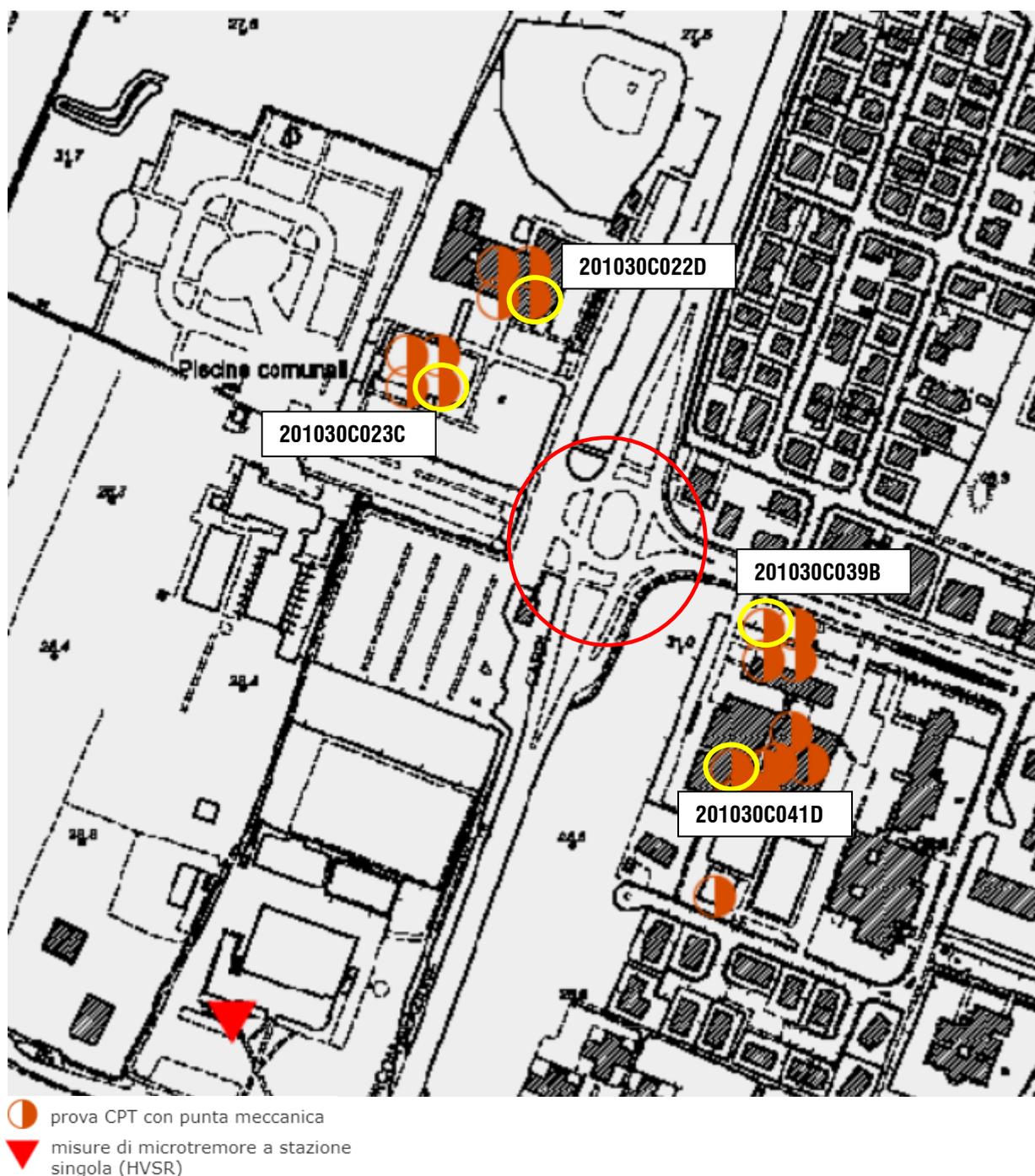
PUOM_Alluvioni_rare_L_P1_ITI01319FHMLRPRER_2022



Fig. 7.1. Mappa delle aree con pericolosità da alluvione - Direttiva alluvioni 2022

8 STRATIGRAFIA

Ai fini della caratterizzazione stratigrafica dei terreni dell'area di progetto si fa riferimento in questa fase progettuale alle indagini disponibili a livello banca dati regionale (<https://servizimoka.regione.emilia-romagna.it/mokaApp/apps/geg/index.html>). Si tratta principalmente di prove penetrometriche CPT a punta meccanica, piuttosto datate e per le quali si dispone solo dei grafici qc e rp/rl. In Fig. 8.1 è riportata l'ubicazione delle prove eseguite nelle vicinanze dell'area di progetto.



In sintesi sono state utilizzate le seguenti prove:

- prova CPT n. **201030C022D** prof. 20m

- prova CPT n. **201030C023C** prof. 20m
- prova CPT n. **201030C039B** prof. 15,5m
- prova CPT n. **201030C041D** prof. 12,5m

Le quattro prove penetrometriche illustrate nelle seguenti Figg. 8.2-8.5 mostrano valori di resistenza alla punta R_p mediamente compresi tra 10 e 20kg/cm² e R_p/R_l ricadente quasi sempre nell'intervallo 15-30, corrispondente a limi e argille (Begemann 1965-AGI 1977) e, in subordine, con valori maggiori cui corrispondono sabbie e sabbie limose.

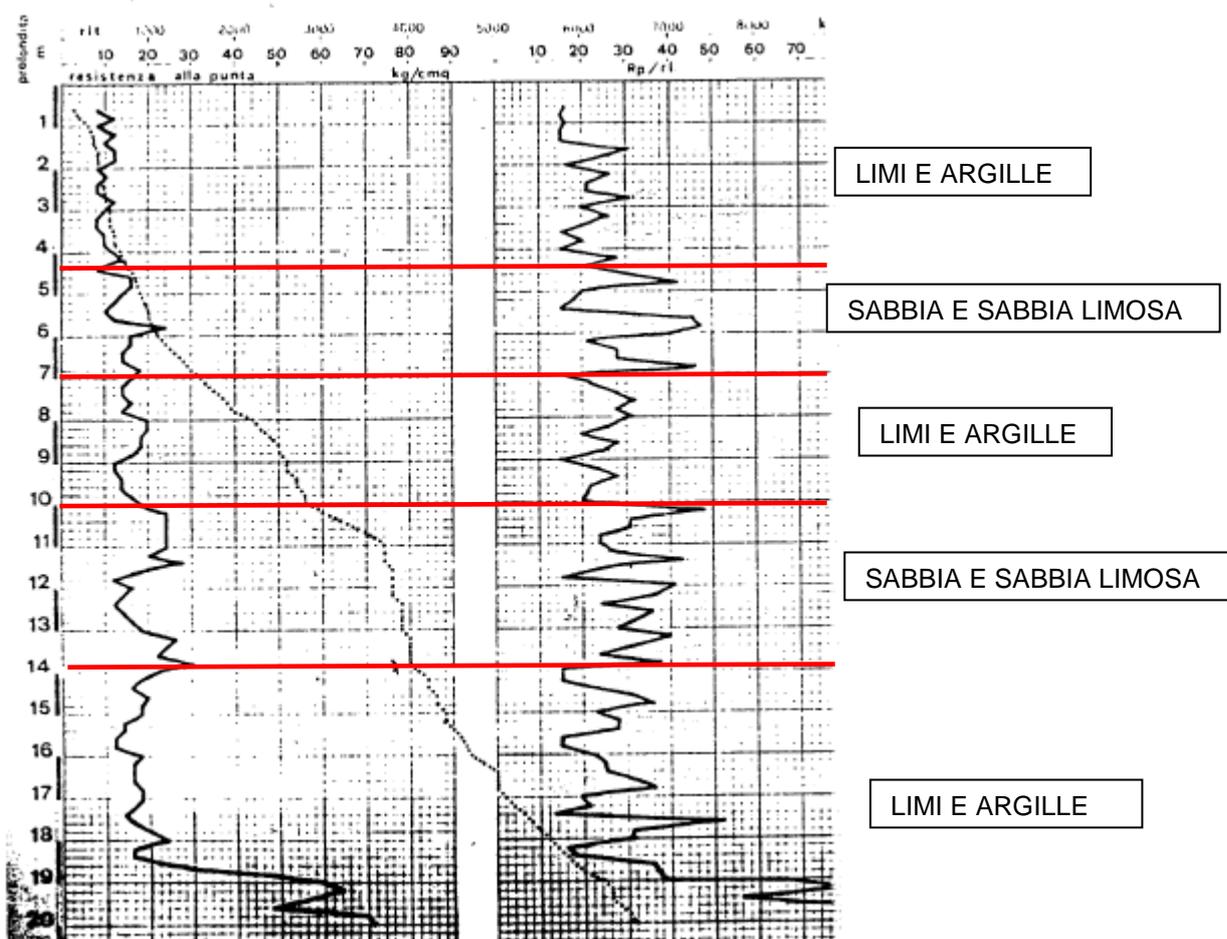


Fig. 8.2. Prova CPT **201030C022D**

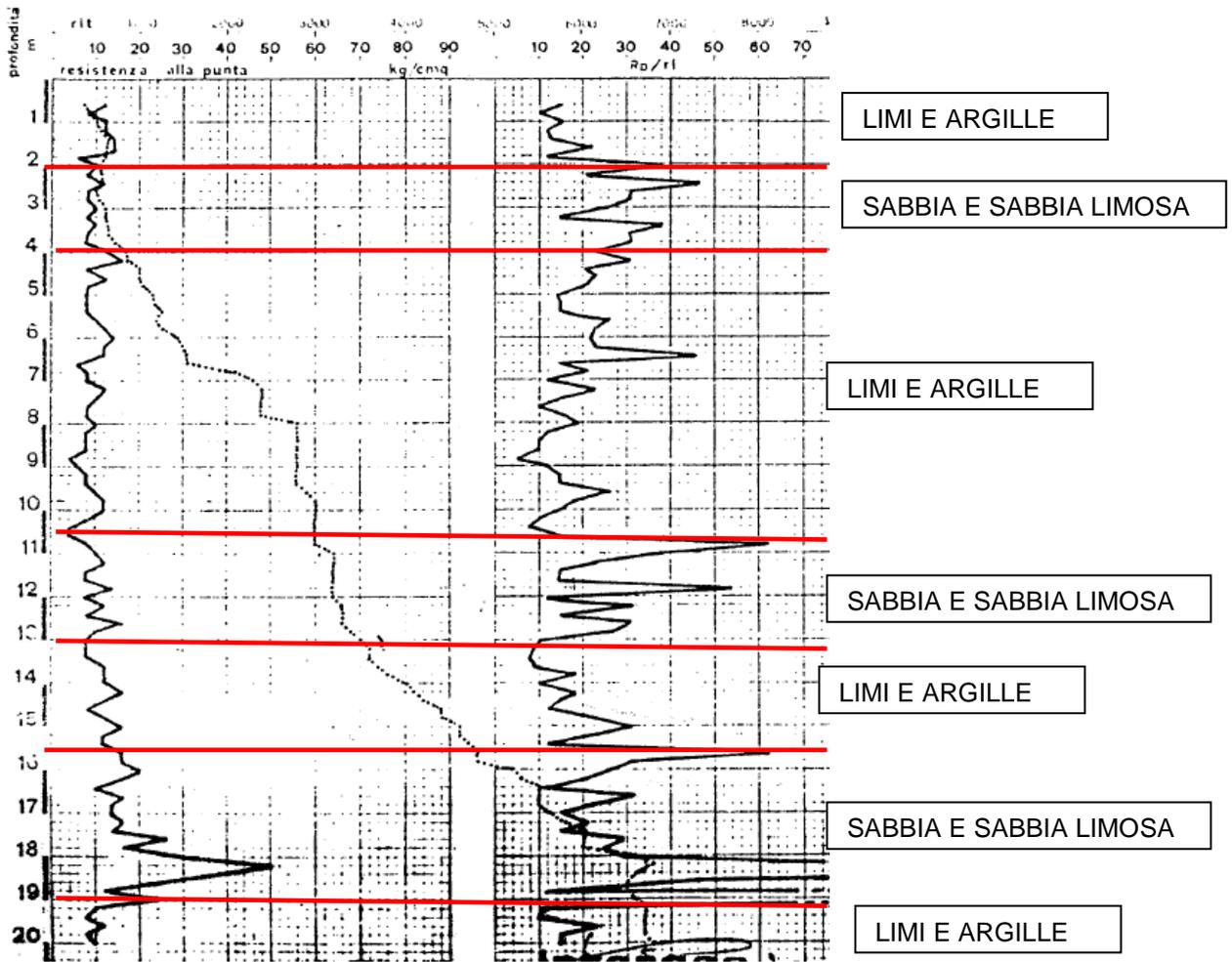


Fig. 8.3. Prova CPT 201030C023C

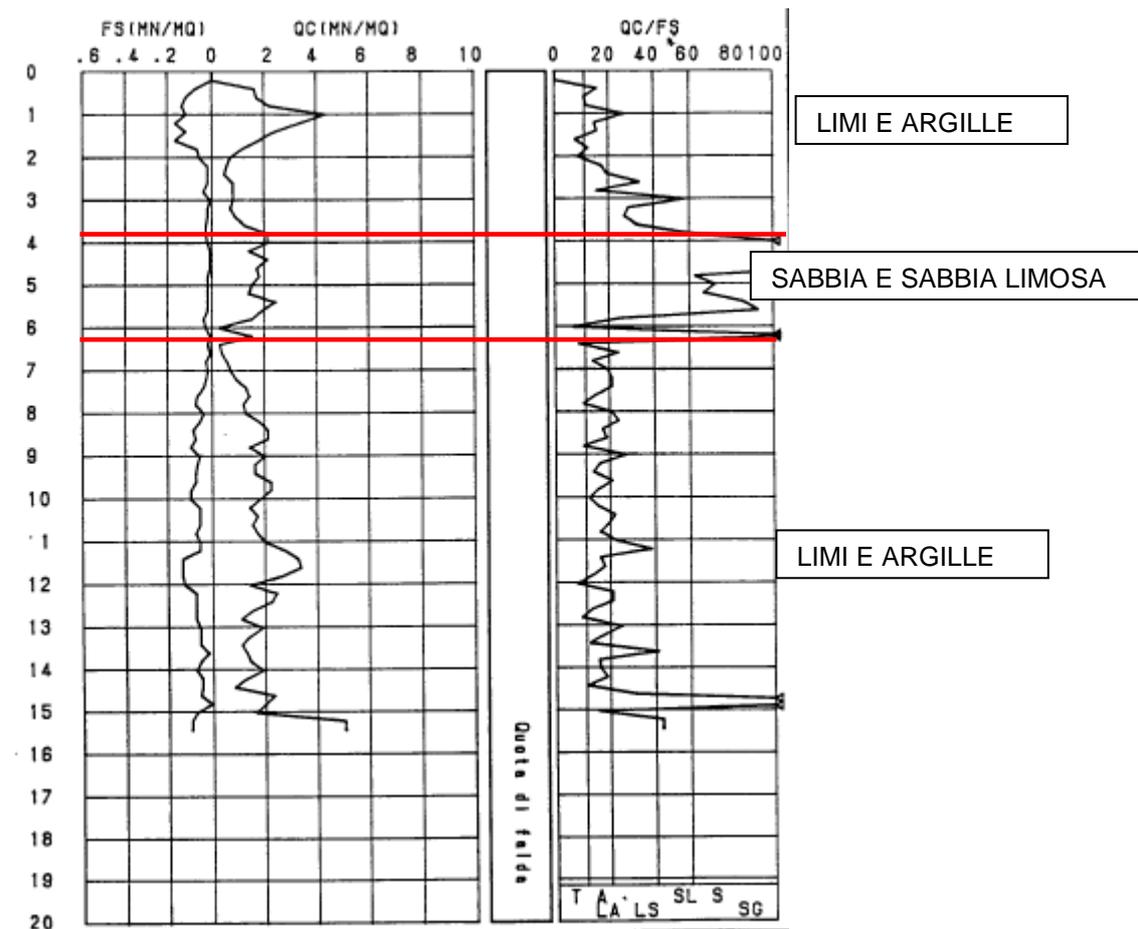


Fig. 8.4. Prova CPT 201030C039B

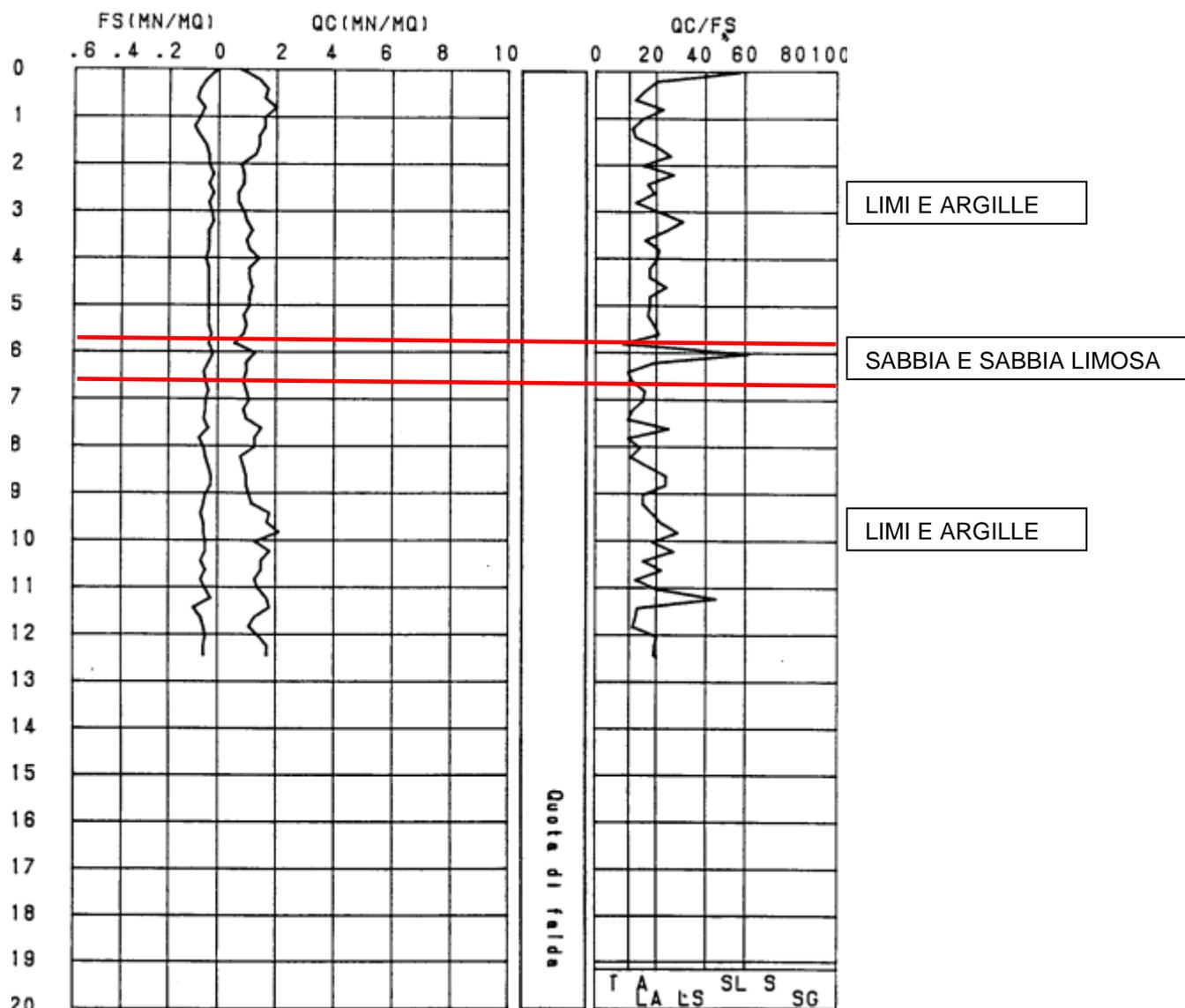
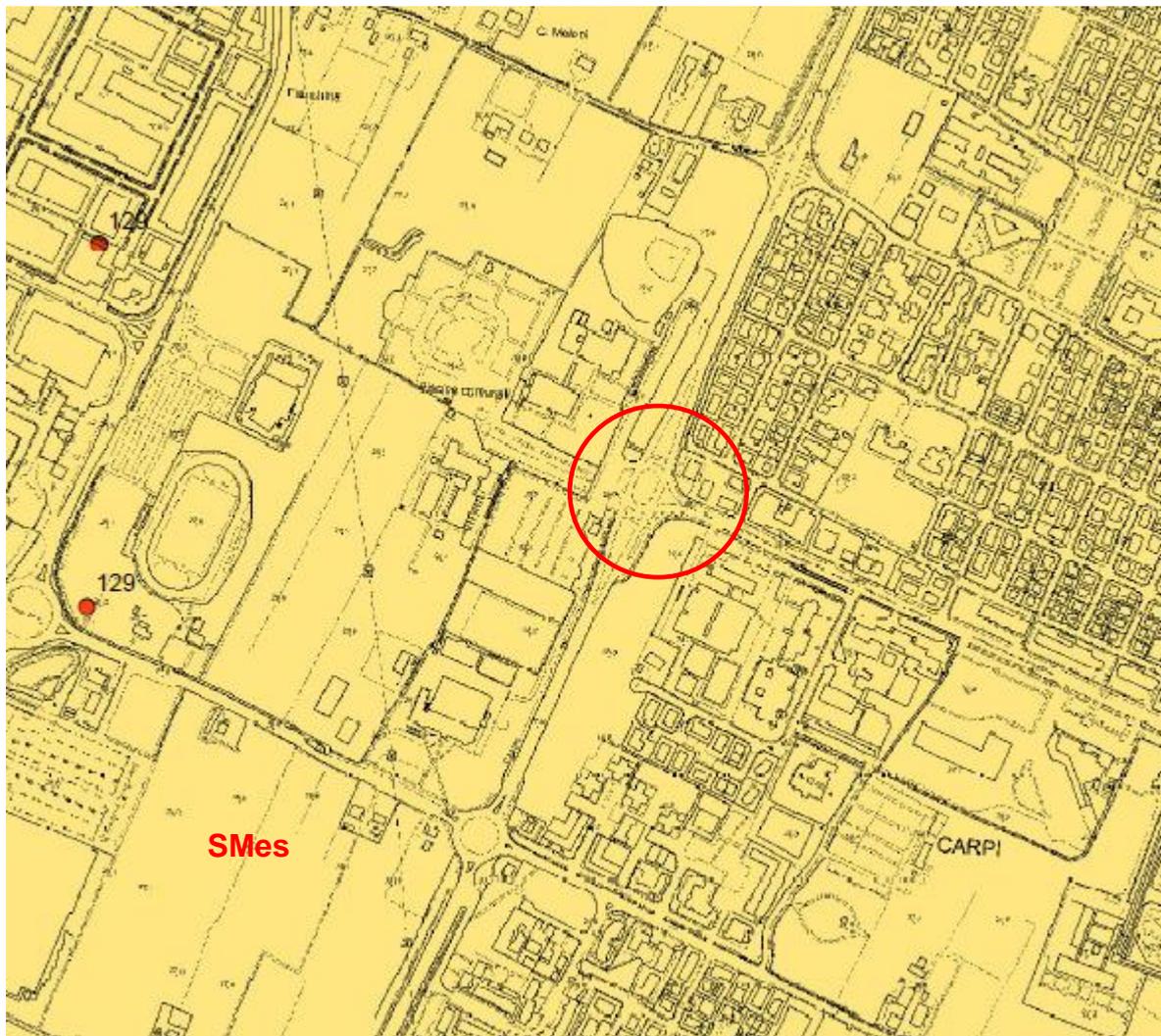


Fig. 8.5. Prova CPT 201030C041D

La Carta Geologico-tecnica di corredo allo studio di microzonazione sismica del Comune di Carpi (Fig. 8.6) che illustra le caratteristiche litologiche, sedimentarie e granulometriche del primo sottosuolo (entro 2-3m da p.c.) mostra che i terreni di copertura nell'area di progetto sono classificati come SMes: sabbie limose, miscela di sabbia e limo di argine/barra/canali. Ciò è in discordanza con quanto desumibile dalle prove CPTU1 e CPTU2 che fanno rilevare terreni prevalentemente limoso-argillosi.



SMes Sabbie limose, miscela di sabbia e limo di argine/barre/canali

Fig. 8.6. Carta geologico-tecnica. Microzonazione sismica del Comune di Carpi

In generale i sondaggi e le prove CPT di riferimento evidenziano la presenza, nell'area di progetto, di terreni a litologia limoso argillosa o argilloso limosa con intercalati consistenti livelli di sabbie e sabbie limose; i depositi, di origine alluvionale, hanno rapporti tra le facies marcatamente eteropici.

9 SISMICA

9.1 Sismicità storica (dal 1000 al 2017)

Con riferimento all'analisi della sismica storica del territorio interessato, vengono esaminati i dati riportati nel D.B.M.I.15 v2.0¹ (<https://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/>), che fornisce dati parametrici omogenei, sia macrosismici, sia strumentali, relativi ai terremoti con intensità massima ≥ 5 o magnitudo ≥ 4.0 . Rispetto alle versioni precedenti il contenuto del catalogo è stato rivisto per quanto concerne:

- la copertura temporale, estesa dal 2006 a tutto il 2017
- il database macrosismico di riferimento (DBMI15 versione 2.0; Locati et al., 2019), significativamente aggiornato
- i dati strumentali considerati, nuovi e/o aggiornati
- le soglie di ingresso dei terremoti, abbassate a intensità massima 5 o magnitudo 4.0 (invece di 5-6 e 4.5 rispettivamente)
- la determinazione dei parametri macrosismici, basata su una nuova calibrazione dell'algoritmo Boxer
- le magnitudo strumentali, che comprendono un nuovo set di dati e nuove relazioni di conversione.

Il catalogo copre all'incirca la stessa area di CPTI11 (Fig. 9.1), vale a dire l'intero territorio italiano con porzioni delle aree e dei mari confinanti, e contiene 4760 terremoti nella finestra temporale 1000-2017. Il catalogo, quindi, considera e armonizza il più possibile dati di base di diverso tipo e provenienza.

La magnitudo utilizzata è la magnitudo momento (Mw) e in tutti i casi è riportata la relativa incertezza.

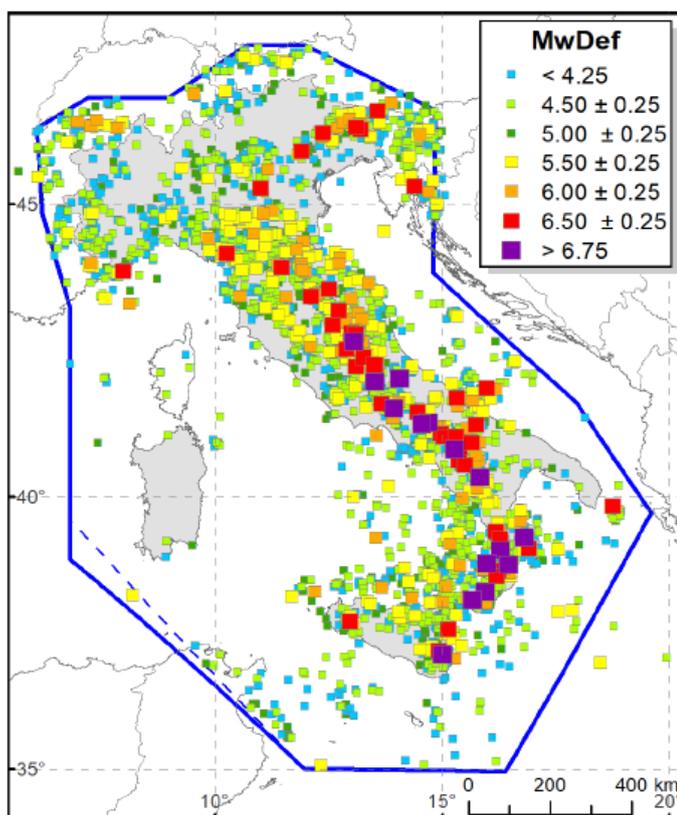


Fig. 9.1. Distribuzione geografica degli epicentri dei terremoti contenuti in CPTI15 per classi di Mw. La nuova copertura spaziale è rappresentata insieme a quella precedente (tratteggiata).

¹ Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli B., Gasperini P., 2019. *Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI15), versione 2.0*. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). <https://doi.org/10.13127/CPTI/CPTI15.2>
Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli B., Gasperini P., 2020. *The Italian earthquake catalogue CPTI15*. *Bulletin of Earthquake Engineering*. <https://doi.org/10.1007/s10518-020-00818-y>

In particolare sono stati estratti i dati disponibili per il comune di Carpi, in cui ricade l'area di progetto. Nella seguente Tab. 9.1 viene riportato, l'elenco degli 84 terremoti con intensità epicentrale uguale o superiore a 4-5, i valori relativi alla intensità al sito, il tempo all'origine (anno, mese, giorno, ora UTC), l'area epicentrale, il numero progressivo, l'intensità epicentrale e la magnitudo momento.

Seismic history of Carpi PlaceID IT_38203 Coordinates (lat, lon) 44.784, 10.885 Municipality (ISTAT 2015) Carpi Province Modena Region Emilia-Romagna No. of reported earthquakes: 84					
Int.	Year Mo Da Ho Mi Se	Epicentral area	NMDP	Io	Mw
HD	1117 01 03 15 15	Veronese	55	9	6,52
F	1474 03 11 20 30	Modena	3	5	4,16
5	1624 03 19	Argenta	18	7-8	5,43
6-7	1661 03 21 23	Modenese	4	6-7	4,86
5	1666 04 14 18 58	Bolognese	3	5	4,16
5-6	1671 06 20 10	Modenese-Reggiano	8	7	5,27
4	1672 04 14 15 45	Riminese	92	8	5,59
4	1695 02 25 05 30	Asolano	107	10	6,4
6-7	1806 02 12	Reggiano	28	7	5,21
4-5	1811 07 15 22 44	Modenese-Reggiano	19	6-7	5,13
6	1818 12 09 18 55	Parmense	26	7	5,24
F	1828 10 09 02 20	Oltrepò Pavese	110	8	5,72
F	1831 07 14 15 30	Reggiano	8	5-6	4,6
6	1831 09 11 18 15	Pianura emiliana	25	7-8	5,48
3-4	1831 09 13 05 30	Pianura emiliana	7		
6	1832 03 11 06 45	Carpi	14	5	4,51
5	1832 03 11 08 45	Parmense	14		
3-4	1832 03 12 08 45	Reggiano	7		
7	1832 03 13 03 30	Reggiano	97	7-8	5,51
F	1832 03 14 04 40	Reggiano	5		
F	1832 03 14 07 41	Reggiano	7		
5	1832 04 19 14 14	Reggiano	5		
3	1834 02 14 13 15	Val di Taro-Lunigiana	112	9	5,96
4	1834 07 04 00 45	Val di Taro-Lunigiana	24	6-7	5,08
3	1834 10 04 19	Bolognese	12	6	4,71
3	1837 04 11 17	Lunigiana	60	9	5,94
3	1846 08 14 12	Colline Pisane	121	9	6,04
F	1850 09 18 06 20	Modenese	7	5	4,16
4	1860 07 17 13 43 31.00	Reggiano	5	4-5	3,93
4-5	1887 02 23 05 21 50.00	Liguria occidentale	1511	9	6,27
3	1889 03 08 02 57 04.00	Bolognese	38	5	4,53
NF	1898 01 16 13 10	Romagna settentrionale	110	6	4,59
NF	1908 06 28 03 19	Finale Emilia	11	4-5	3,93

Seismic history of Carpi
PlaceID IT_38203
Coordinates (lat, lon) 44.784, 10.885
Municipality (ISTAT 2015) Carpi
Province Modena
Region Emilia-Romagna
No. of reported earthquakes: 84

Int.	Year Mo Da Ho Mi Se	Epicentral area	NMDP	Io	Mw
5	1909 01 13 00 45	Emilia Romagna orientale	867	6-7	5,36
NF	1909 08 25 00 22	Crete Senesi	259	7-8	5,34
NF	1910 03 22 23 29	Bassa modenese	15	5	4,16
5	1912 09 12 21 15	Carpi	13	4	3,76
6	1914 10 27 09 22	Lucchesia	660	7	5,63
4	1915 10 10 23 10	Reggiano	30	6	4,87
3	1916 08 16 07 06 14.00	Riminese	257	8	5,82
4-5	1918 05 06 08 05	Reggiano	8	5-6	4,41
6	1919 06 29 15 06 13.00	Mugello	565	10	6,38
6	1920 09 07 05 55 40.00	Garfagnana	750	10	6,53
3-4	1923 06 28 15 12	Modenese	22	6	5,04
7	1928 06 13 08	Carpi	35	6	4,67
5	1928 07 25 01 25	Carpi	3	4-5	3,93
3	1929 04 10 05 44	Bolognese	87	6	5,05
5	1929 04 19 04 16	Bolognese	82	6-7	5,13
3	1929 04 19 22 40	Bolognese	12	5-6	4,54
5	1929 04 20 01 10	Bolognese	109	7	5,36
4-5	1929 04 22 08 26	Bolognese	41	6-7	5,1
4	1929 05 11 19 23	Bolognese	64	6-7	5,29
4	1932 07 13 03 42	Reggiano	8	4-5	3,86
4	1936 10 18 03 10	Alpago Cansiglio	269	9	6,06
3-4	1937 12 10 18 04	Frignano	28	6	5,3
4	1939 10 15 14 05	Garfagnana	62	6-7	4,96
2	1957 08 27 11 54	Appennino modenese	58	5	4,73
5	1963 11 04 15 46	Bassa modenese	5	5	4,16
4	1967 04 03 16 36 18.00	Reggiano	45	5	4,44
6	1971 07 15 01 33 23.00	Parmense	228	8	5,51
5	1971 09 11 23 18 12.00	Pianura emiliana	15	5	4,19
4	1972 10 25 21 56 11.31	Appennino settentrionale	198	5	4,87
5	1978 12 25 22 53 41.00	Bassa modenese	28	5	4,39
3	1980 12 23 12 01 06.00	Piacentino	69	6-7	4,57
4	1983 11 09 16 29 52.00	Parmense	850	6-7	5,04
2	1986 12 06 17 07 19.77	Ferrarese	604	6	4,43
4-5	1987 04 24 02 30 27.04	Reggiano	54	6	4,64
6	1987 05 02 20 43 53.32	Reggiano	802	6	4,71
4	1987 05 08 11 10 27.88	Bassa modenese	24	6	4,44
5	1988 03 15 12 03 16.17	Reggiano	160	6	4,57
4	1989 09 13 21 54 01.50	Prealpi Vicentine	779	6-7	4,85

Seismic history of Carpi PlaceID IT_38203 Coordinates (lat, lon) 44.784, 10.885 Municipality (ISTAT 2015) Carpi Province Modena Region Emilia-Romagna No. of reported earthquakes: 84					
Int.	Year Mo Da Ho Mi Se	Epicentral area	NMDP	Io	Mw
6-7	1996 10 15 09 55 59.95	Pianura emiliana	135	7	5,38
4	1996 10 26 04 56 54.10	Pianura emiliana	63	5-6	3,94
4	1996 10 26 06 50 26.94	Pianura emiliana	35	5-6	3,63
4-5	1996 11 25 19 47 53.85	Pianura emiliana	65	5-6	4,29
4-5	1996 12 16 09 09 53.08	Pianura emiliana	115	5-6	4,06
4	1997 05 12 22 13 52.50	Pianura emiliana	56	4-5	3,68
5	2000 06 18 07 42 07.68	Pianura emiliana	304	5-6	4,4
NF	2002 06 08 20 13 07.10	Frignano	115	4	4,23
NF	2002 06 18 22 23 38.10	Frignano	186	4	4,3
4	2003 09 14 21 42 53.18	Appennino bolognese	133	6	5,24
4-5	2008 12 23 15 24 21.77	Parmense	291	6-7	5,36
3-4	2011 07 17 18 30 27.31	Pianura lombardo-veneta	73	5	4,79
6	2012 05 29 07 00 02.88	Pianura emiliana	87	7-8	5,9

Tab. 9.1.

Nella seguente Fig. 9.2. sono riportate le intensità sismiche degli eventi elencati in Tab. 9.1 in funzione degli anni.

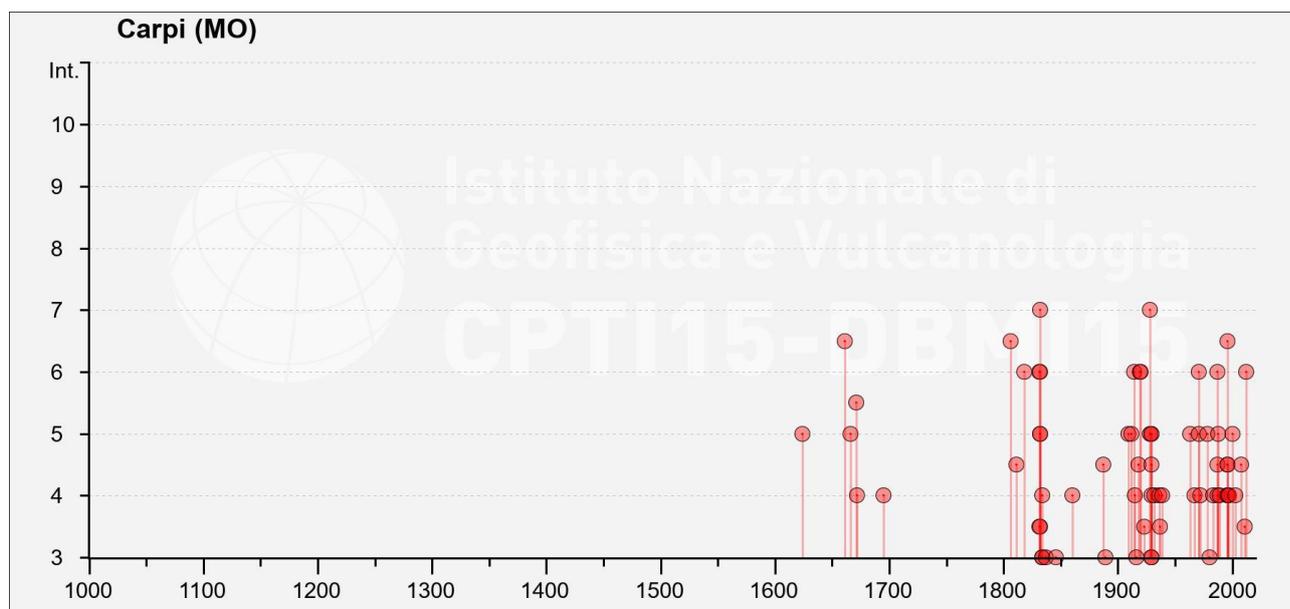


Fig. 9.2. Intensità macrosismiche dal 1000 al 2017 nel Comune di Carpi

9.2 Faglie capaci

Il termine “faglie capaci” è utilizzato per descrivere le faglie “sismiche” con indizi di attività negli ultimi 40.000 anni potenzialmente “capaci” di produrre deformazioni in superficie.

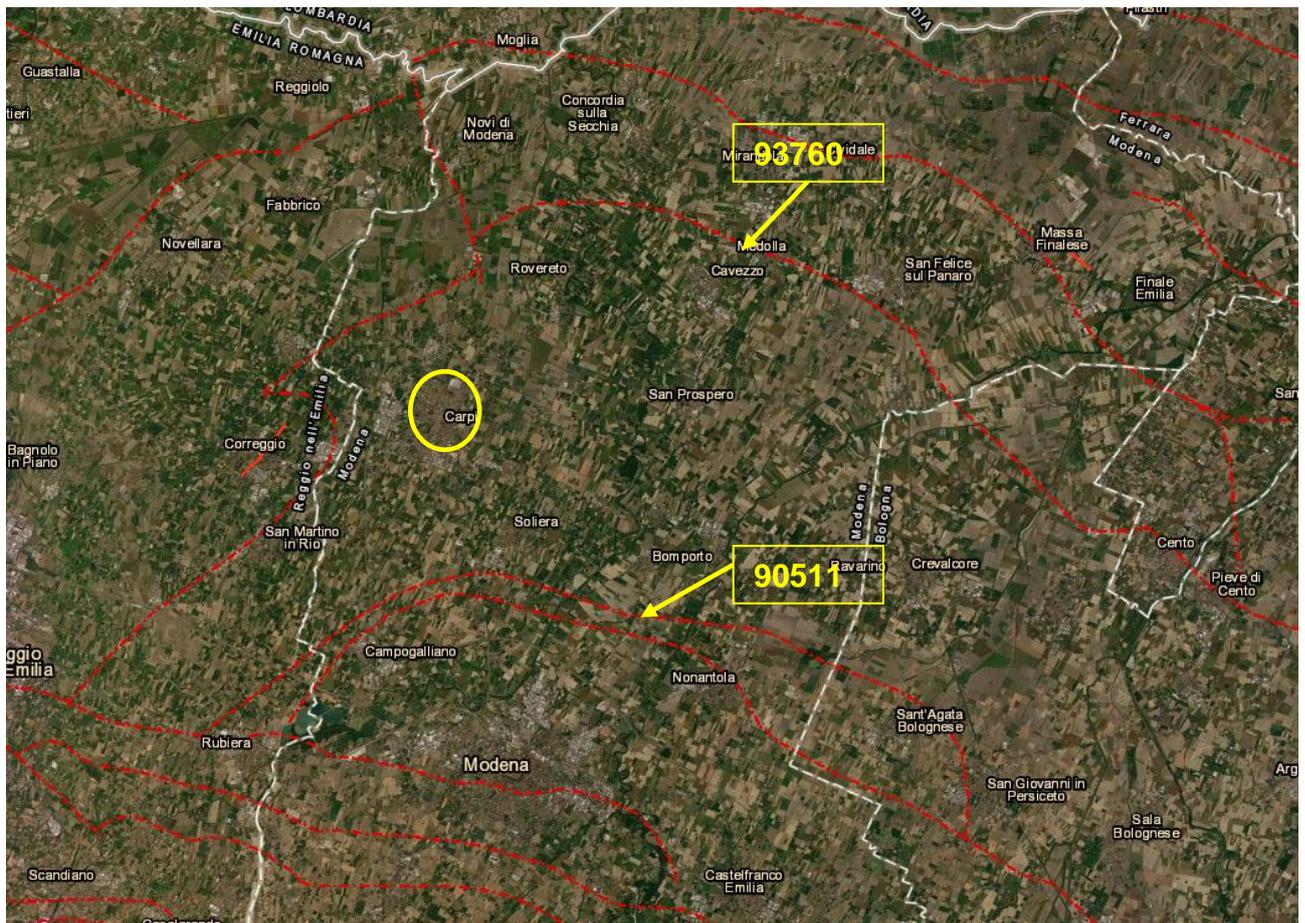
La riattivazione di faglie capaci è in grado di produrre fenomeni di neoformazione (ecosismi) che possono formarsi in superficie nelle aree epicentrali, in concomitanza con eventi sismici di intensità elevata, in genere \geq VIII-IX grado della scala ESI2007.

La presenza di faglie capaci nel territorio oggetto di studio è stata verificata consultando il catalogo delle faglie capaci ITHACA "ITaly HAZard from CApable faults", disponibile on-line all'indirizzo <http://sgi2.isprambiente.it/ithacaweb/viewer/index.html>.

Il database del Progetto ITHACA, raccoglie tutte le informazioni disponibili riguardo le strutture tettoniche attive in Italia, con particolare attenzione ai processi tettonici che potrebbero generare rischi naturali.

Nella seguente Fig. 9.3 si riporta uno stralcio planimetrico della distribuzione delle faglie capaci del Progetto ITHACA relativamente ad un ampio areale contenente la tratta in progetto.

Come si può osservare l'area vasta è interessata dalla presenza di faglie che sono collegate al modello strutturale del sottosuolo della pianura già esposto nei paragrafi precedenti. Spiccano per vicinanza all'area di Carpi la faglia inversa Budrione-Modena (Cod. 93760) localizzata a N e la faglia inversa Castellazzo-Modena (Cod. 90511) localizzata a S.



ITHACA

Kinematics

- Unknown
- Normal Fault
- Oblique Fault
- - Reverse Fault
- - Strike Slip

Fig. 9.3. Faglie capaci nell'area intorno a Carpi e loro codice. Progetto ITHACA

<http://sgi2.isprambiente.it/ithacaweb/viewer/index.html>

9.3 Strutture sismogenetiche

Benché le moderne investigazioni della sismotettonica regionale siano iniziate più di 30 anni fa, la conoscenza delle sorgenti sismogenetiche è ancora incerta. Questo dipende soprattutto dal fatto che l'attività tettonica è collegata ai movimenti di sistemi di faglie cieche, le cui caratteristiche (es. lunghezza del singolo segmento, entità del scivolamento ecc.) non può essere definita solamente attraverso la classica analisi geomorfologica ma derivano dall'applicazione di algoritmi che permettono di definire la geometria della sorgente dai dati puntuali di distribuzione dell'intensità dei terremoti storici.

L'identificazione di tali sorgenti, concisamente definite silenti, permette di definire le aree potenzialmente affette da un alto livello di pericolosità sismica.

La sismicità dell'area è legata al complesso quadro strutturale del fronte compressivo del margine sepolto dell'Appennino Settentrionale. Secondo il Database of Individual Seismic Sources (DISS 3.2.1) l'area di progetto è collocata all'interno della sorgente sismogenetica composta "ITCS051-Carpi-Poggio Renatico" (Fig. 9.4a, b),

caratterizzata da una magnitudo di riferimento (TR=475 anni) pari a $M_w=6$; un segmento di questa sorgente è la sorgente sismogenetica del terremoto di magnitudo $M_w=5,9$ del 29 Maggio 2012, che fu il secondo shock sismico principale della sequenza del 2012. Immediatamente ad Ovest di Carpi, è presente un'altra sorgente sismogenetica composta denominata "ITCS049-Campegine-Correggio" con $M_w=5,5$.

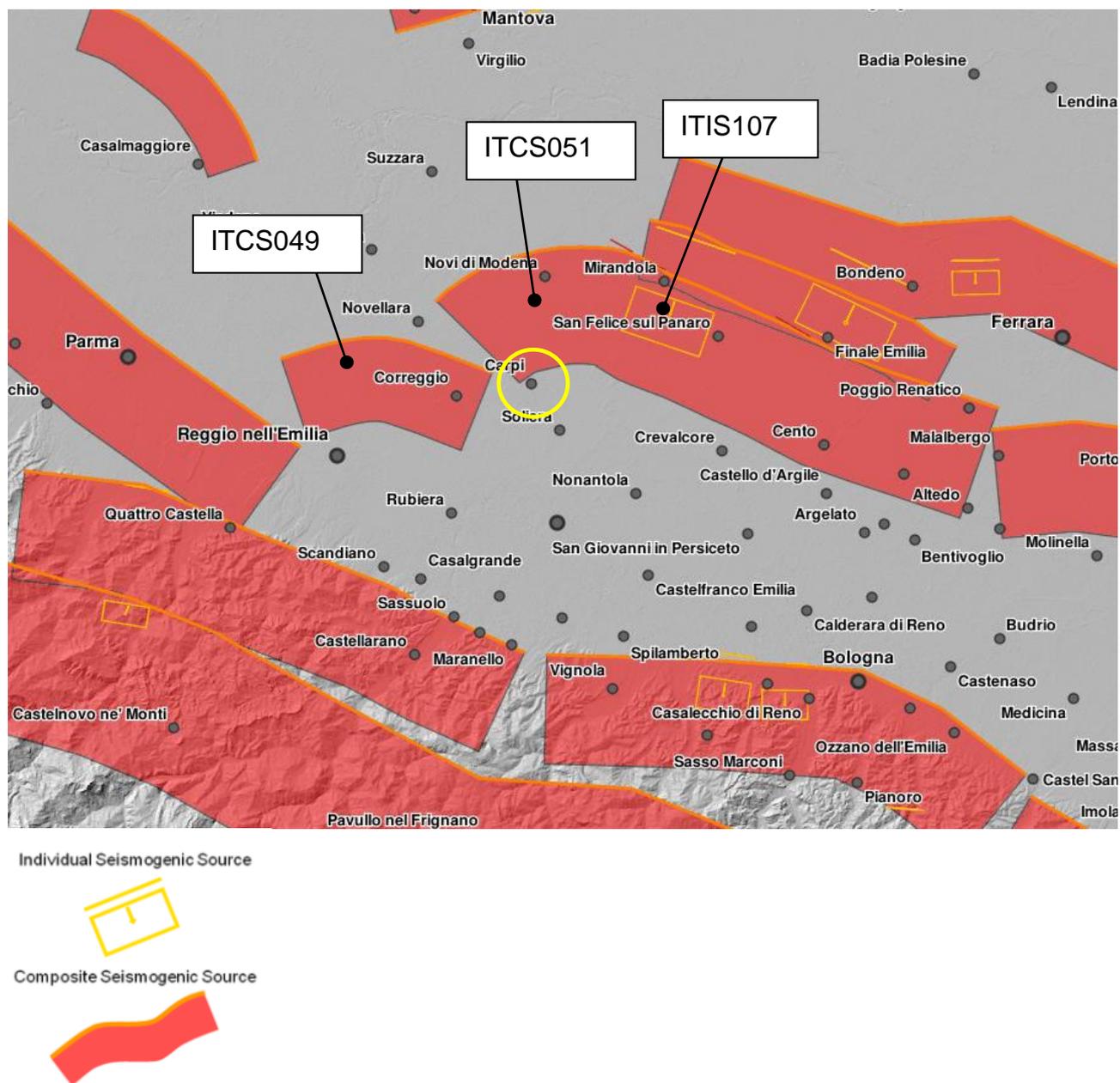


Fig. 9.4a. Posizione dell'area di progetto in funzione delle sorgenti sismogenetiche. Da banca dati DISS3.2.1.

<http://diss.rm.ingv.it/dissmap/dissmap.phtml>

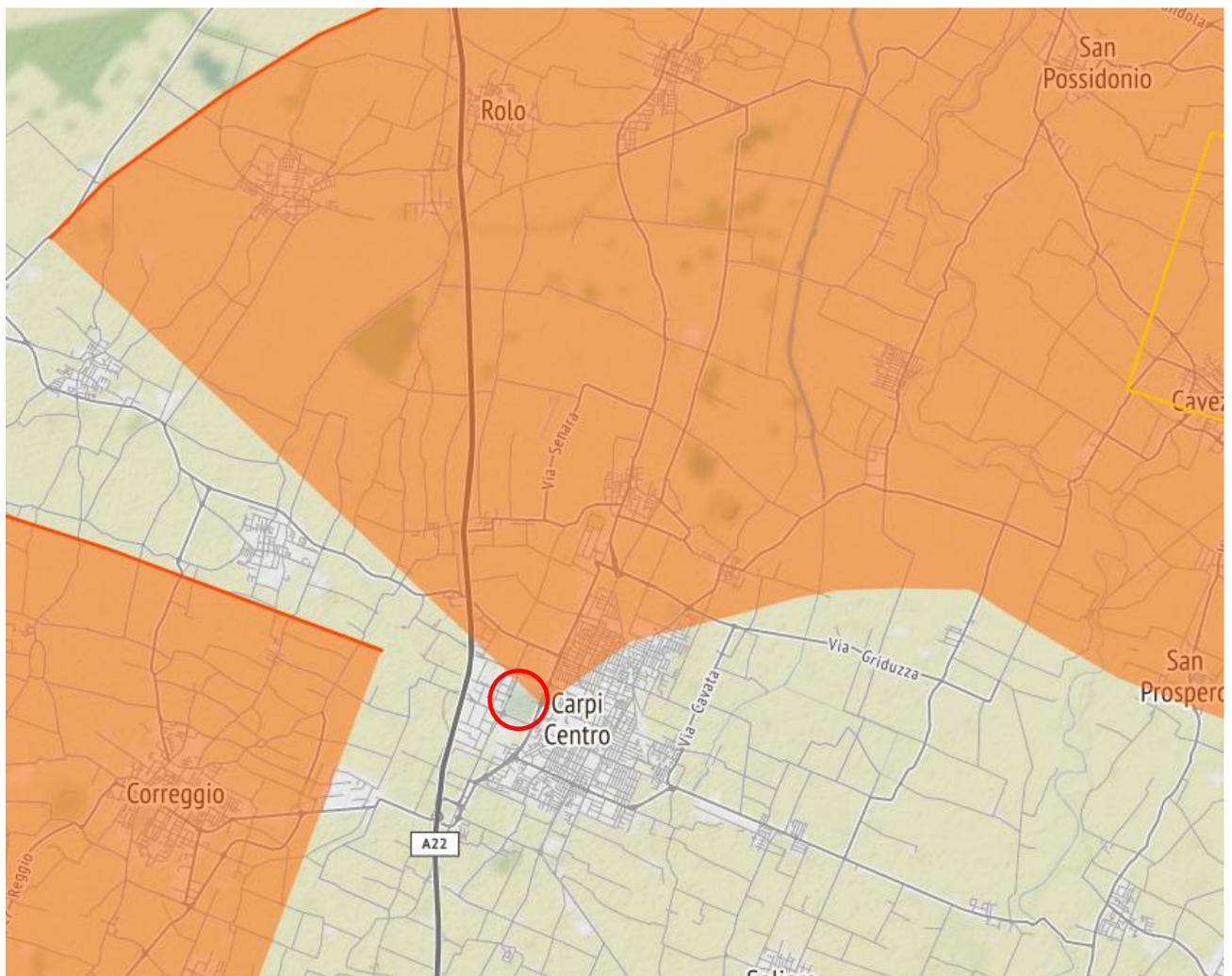


Fig. 9.4b. Dettaglio dell'immagine in Fig. 9.1a <http://diss.rm.ingv.it/dissGM/>

All'interno della sorgente composita è presente la sorgente sismica individuale denominata "ITIS107-Mirandola" che fu attivata dal sisma del 29 Maggio 2012 producendo un percettibile sollevamento dell'anticlinale sepolta di Mirandola (Fig. 9.5) anch'essa caratterizzata da magnitudo $M_w=6$.

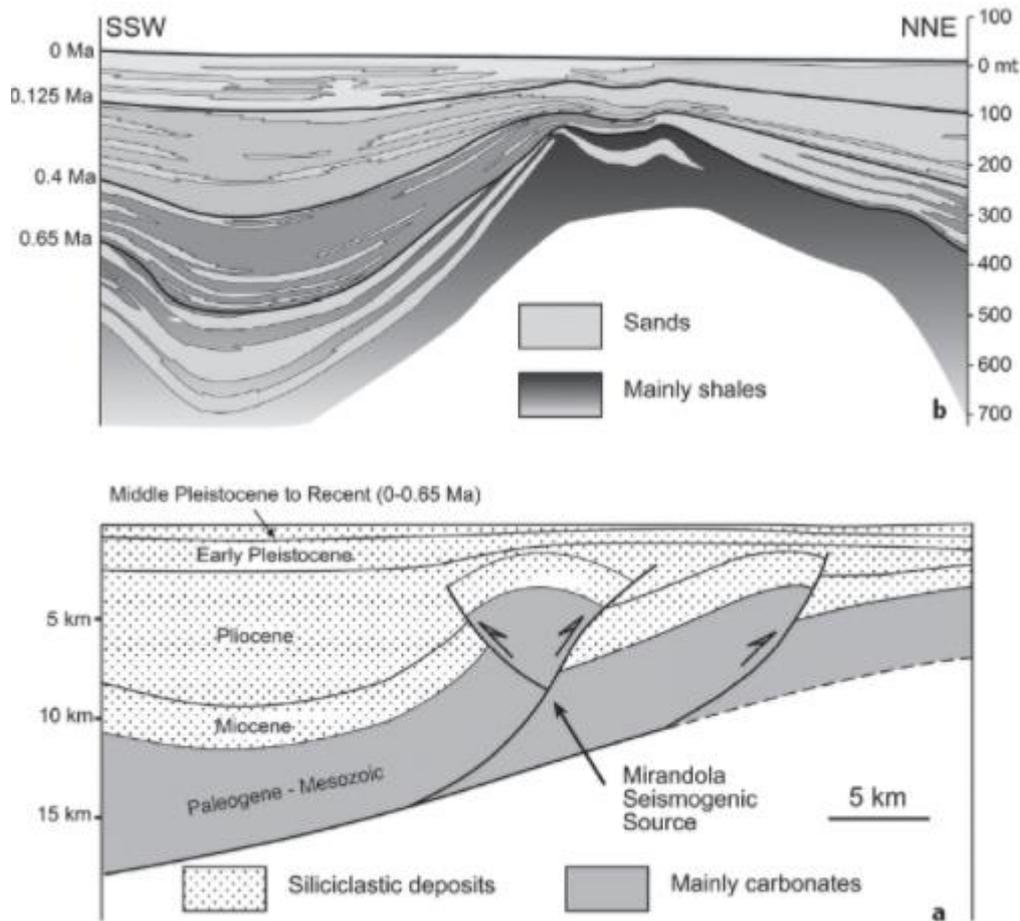


Fig. 9.5. Sezione geologica dell'anticlinale di Mirandola. a) sezione geologica semplificata (Pieri & Groppi 1981, CNR 1992), b) assetto stratigrafico da Pleistocene medio all'Attuale basato su dati stratigrafici ad alta risoluzione (RER & AGIP-ENI 1998)

9.4 Zone sismogenetiche

Le zone sismogenetiche sono state definite in base a uniformità e congruenza cinematica con il modello deformativo. In base alla cartografia ZS9 del Gruppo di Lavoro per la redazione della mappa di pericolosità sismica – INGV (OPCM 3274/03), la porzione di pianura emiliano-romagnola in cui ricade l'area di progetto può essere associata alla zona **912** "Dorsale Ferrarese (Mw=6,4)" (Fig. 9.6).

La zona 912, assieme alla 917 rappresentano la porzione più esterna della fascia in compressione dell'arco appenninico settentrionale. Nella zona 912, che chiude poco a Sud di Porto San Giorgio, dove non si hanno più evidenze di cinematica compressiva, il numero di terremoti è superiore rispetto alla zona 917 che include le sorgenti sismogenetiche principali della fascia appenninica esterna.

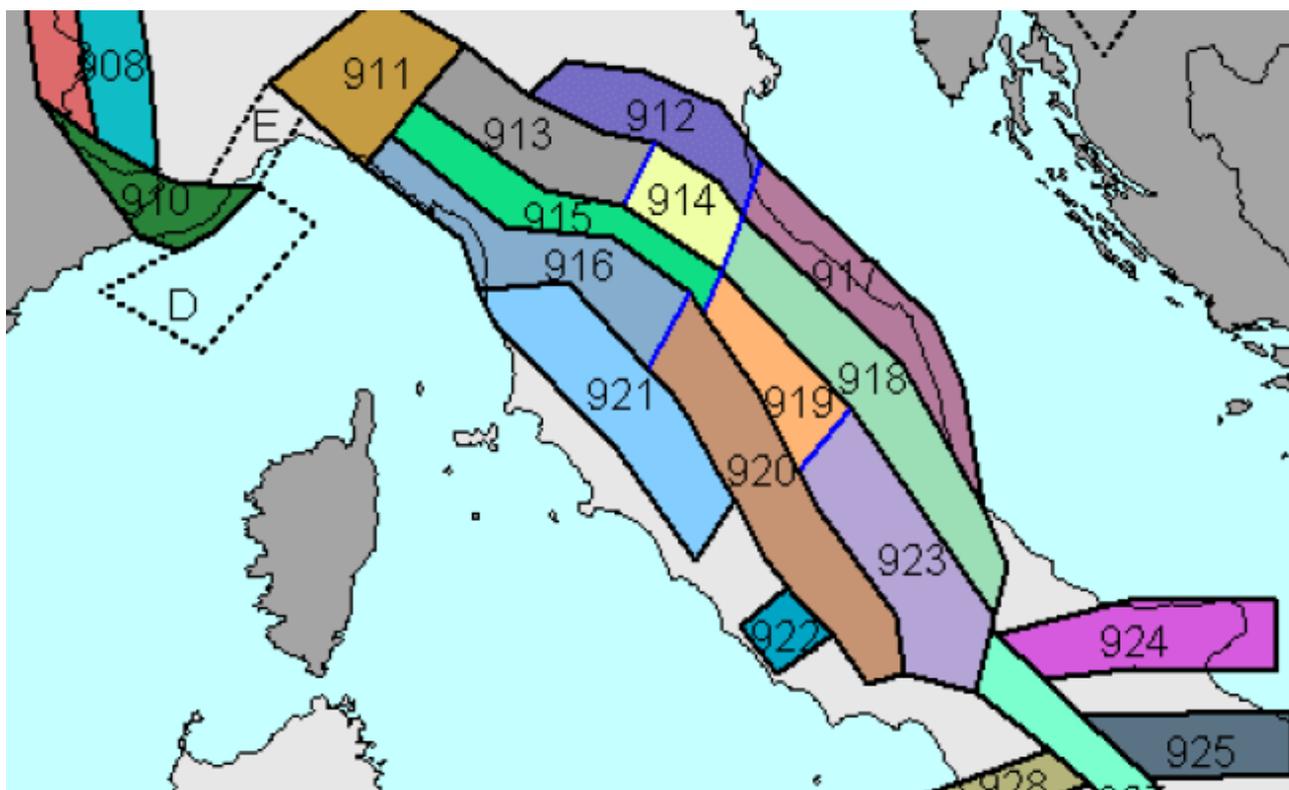


Fig. 9.6. Zonazione sismogenetica ZS9 per l'Appennino Settentrionale e Centrale.

9.5 Classificazione sismica

Sino al 2003 il territorio nazionale era classificato in tre categorie sismiche a diversa severità, che coprivano però circa il 45% della superficie nazionale (Decreti ministeriali del Ministero dei Lavori Pubblici emanati dal 1981 al 1984). L'emanazione dell'Ordinanza del P.C.M. n. 3274 del 20/03/2003 *"Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica"* pubblicata sulla Gazzetta Ufficiale n. 105 dell'8 maggio 2003 ha stabilito la nuova classificazione sismica di tutto il territorio nazionale sulla base di studi più recenti, e disciplinato la progettazione e la costruzione di nuovi edifici soggetti ad azioni sismiche. Il provvedimento detta i principi generali sulla base dei quali le Regioni, a cui lo Stato ha delegato l'adozione della classificazione sismica del territorio, hanno compilato l'elenco dei comuni con la relativa attribuzione ad una delle quattro zone, a pericolosità decrescente, nelle quali è stato riclassificato il territorio nazionale. A ciascuna zona, inoltre, viene attribuito un valore dell'azione sismica utile per la progettazione, espresso in termini di accelerazione massima su roccia (zona 1=0.35 g, zona 2=0.25 g, zona 3=0.15 g, zona 4=0.05 g).

Un aggiornamento dello studio di pericolosità di riferimento nazionale, realizzato con il supporto di centri di competenza quali l'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (Gruppo di Lavoro 2004), è stato adottato successivamente con l'Ordinanza del P.C.M. n. 3519 del 28 aprile 2006. Il nuovo studio di pericolosità introduce degli intervalli di accelerazione (a_g), con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni, da attribuire alle 4 zone sismiche:

Zona sismica	Accelerazione con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni (ag)
1	$ag > 0.25$
2	$0.15 < ag \leq 0.25$
3	$0.05 < ag \leq 0.15$
4	$ag \leq 0.05$

Tab. 9.2. Suddivisione delle zone sismiche in relazione all'accelerazione di picco su terreno rigido (OPCM 3519/06).

La Regione Emilia-Romagna con **DGR 1164 del 23/07/2018** ha aggiornato la classificazione sismica del territorio regionale. In base alla classificazione il territorio comunale di Carpi rientra in **ZONA 3** (Fig. 9.7).

Classificazione sismica dei comuni dell'Emilia-Romagna

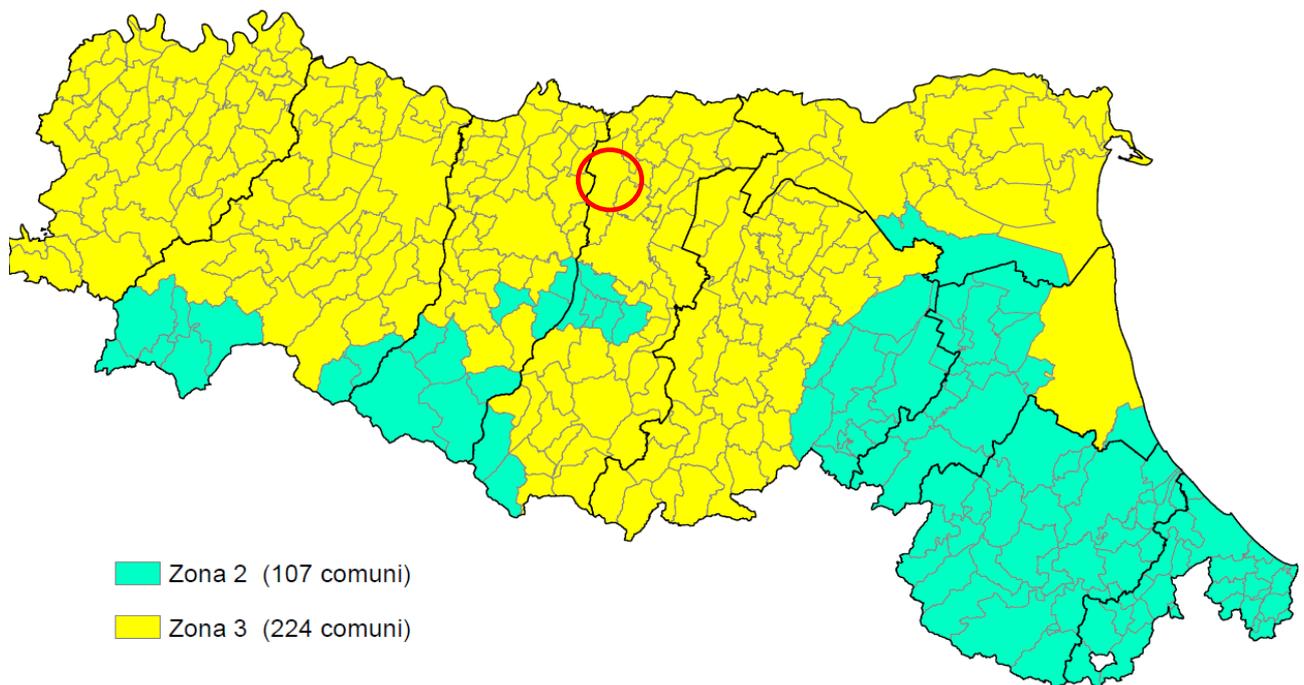


Fig. 9.7. Mappa di aggiornamento della classificazione sismica della Regione Emilia Romagna - DGR 1164 del 23/07/2018

Con l'introduzione delle NTC del D.M. 14 gennaio 2008 e, successivamente, con le NTC 2018, la stima della pericolosità sismica, intesa come accelerazione massima orizzontale su suolo rigido ($V_{s30} > 800$ m/s), viene definita mediante un approccio "sito dipendente" e non più tramite un criterio "zona dipendente" (secondo il quale l'accelerazione di base a_g derivava direttamente dalla Zona sismica di appartenenza del comune senza considerare l'incremento dovuto ad effetti locali dei terreni).

Per ogni costruzione ci si deve riferire dunque ad una accelerazione di riferimento "propria" individuata sulla base delle coordinate geografiche dell'area di progetto e in funzione della "vita nominale" dell'opera. Un valore di pericolosità di base, dunque, definito per ogni punto del territorio nazionale, su una maglia quadrata di 5 km di lato, indipendentemente dai confini amministrativi comunali. La classificazione sismica (zona sismica di appartenenza del comune) rimane utile solo per la gestione della pianificazione e per il controllo del territorio da parte degli enti preposti (Regione, Genio civile, ecc.).

Dalla Mappa di Pericolosità Sismica di Fig. 9.8. elaborata dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia si evince che il territorio interessato dal progetto ricade in un areale caratterizzato da valori di a_{max} con probabilità di superamento del 10% in 50 anni riferita a suoli molto rigidi ($V_{s30} > 800\text{m/s}$ - cat. A di cui al DM 14/01/2008 e s.m.i.) che variano da 0.150 a 0.175g.

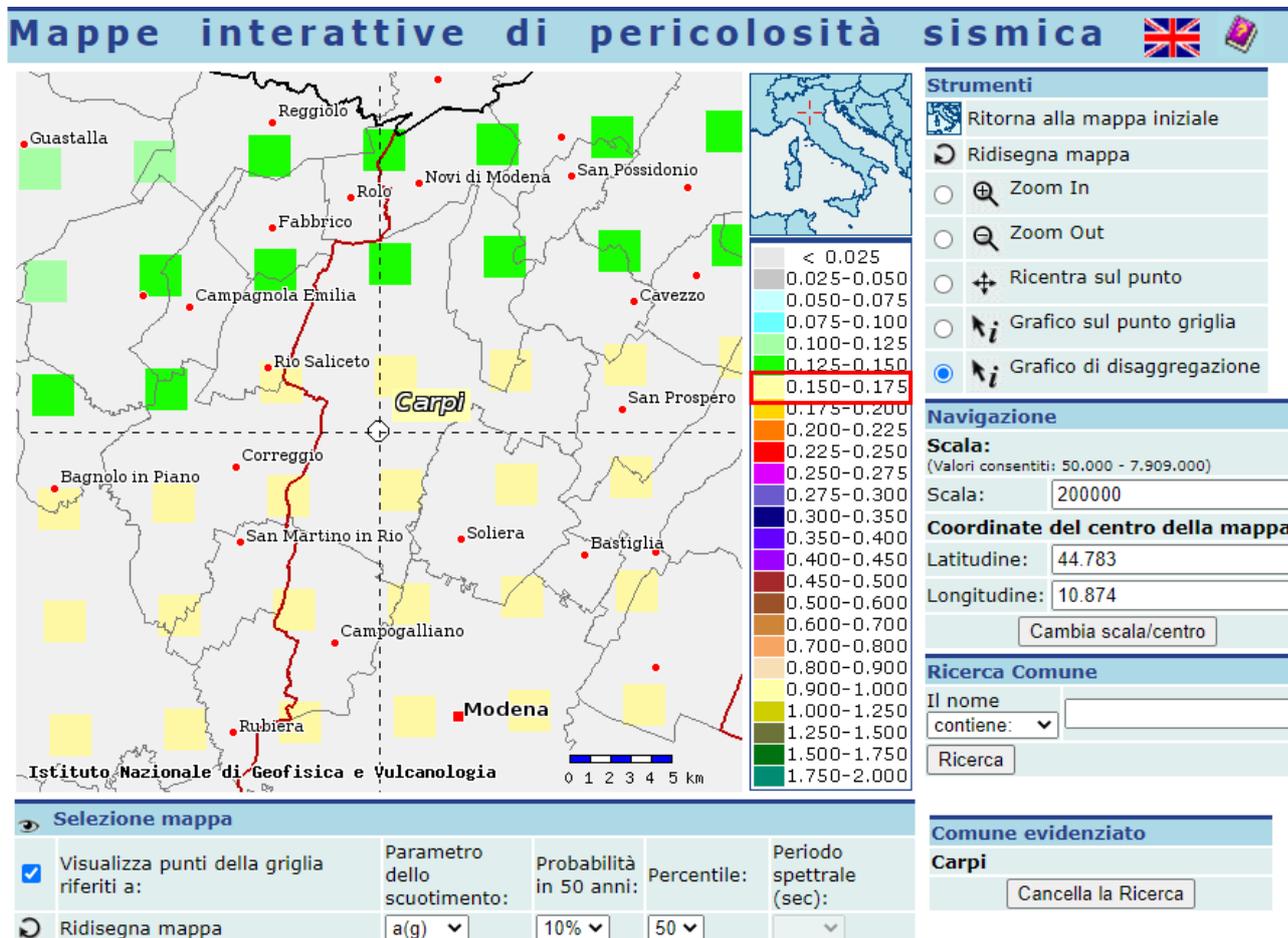


Fig. 9.8. Mappa di Pericolosità Sismica (<http://esse1-gis.mi.ingv.it/>)

Bisogna rilevare che le mappe di pericolosità sismica del territorio nazionale sopra menzionate prevedono una diminuzione della PGA da sud verso nord, in opposizione a quanto si è verificato con il sisma del Maggio 2012 nel territorio emiliano. Nella seguente Tab. 9.3 sono riportati i dati delle stazioni accelerometriche che mostrano che i valori di normativa sono stati superati più volte nel corso dell'evento sismico.

Sigla	Nome stazione	Comune	PGA _{max} (PGA/g)	Evento (M _L)	D
CAS0	Castelmassa	Castelmassa (RG)	130.000 (0.133)	29/5/2012 07.00.03 (5.8)	26.3
CRP	Carpi	Carpi	140.000 (0.143)	29/5/2012 10.55.57 (5.3)	16.0
FIN0	Finale Emilia	Finale Emilia	122.322 (0.125)	23/5/2012 21.41.18 (4.3)	5.1
MOG0	Moglia	Moglia (MN)	240.000 (0.245)	29/5/2012 07.00.03 (5.8)	16.4
			216.634 (0.221)	29/5/2012 10.55.57 (5.3)	9.0
MRN	Mirandola	Mirandola	303.300 (0.309)	20/5/2012 02.03.52 (5.9)	13.2
			205.155 (0.209)	20/5/2012 03.02.50 (4.9)	3.3
			900.000 (0.917)	29/5/2012 07.00.03 (5.8)	3.6
			155.342 (0.158)	29/5/2012 08.27.23 (4.7)	4.4
			197.267 (0.201)	29/5/2012 10.55.57 (5.3)	4.4
			250.960 (0.256)	29/5/2012 11.00.25 (5.2)	9.1
NVL	Novellara	Novellara	134.292 (0.137)	29/5/2012 10.55.57 (5.3)	22.4

Stazioni accelerometriche che hanno registrato PGA superiori a 100 cm s^{-2} nel corso della crisi sismica del Maggio 2012 (dal Bollettino della Rete Accelerometrica Nazionale a cura del Dipartimento della Protezione Civile. PGA_{max} = massima accelerazione del terreno registrata (in cm s^{-2} e, tra parentesi, rispetto all'accelerazione di gravità, $g = 981 \text{ cm s}^{-2}$), M_L = magnitudo del terremoto che ha prodotto la PGA_{max}, D = distanza della stazione dall'epicentro (km). La data dell'evento è seguita dal tempo origine della scossa (ora, minuti e secondi).

Tab. 9.3. Stazioni accelerometriche che hanno registrato PGA superiori a 100 cm/s^2 durante la crisi sismica del Maggio 2012

Le caratteristiche sismiche di un'area dipendono dalle sorgenti sismogenetiche, dall'energia, dal tipo e dalla frequenza dei terremoti (pericolosità sismica di base); tuttavia il moto sismico in superficie può essere modificato dalle condizioni geologiche e morfologiche locali (accumuli di detriti, versanti acclivi, depositi suscettibili di liquefazione etc...). La Microzonazione Sismica ha lo scopo di individuare, a scala comunale, le zone in cui le condizioni locali possono modificare le caratteristiche del moto sismico atteso oppure possono produrre deformazioni permanenti rilevanti per le costruzioni, per le infrastrutture e per l'ambiente.

A livello nazionale, il 13 novembre 2008 è stato approvato il documento relativo agli "Indirizzi e criteri generali per la microzonazione sismica", dal Dipartimento della Protezione Civile e dalla Conferenza Unificata delle Regioni e delle Province autonome. Gli indirizzi e i criteri costituiscono un utile documento di interesse nazionale di riferimento per gli studi e le analisi relative alla microzonazione sismica, applicabile ai settori della programmazione territoriale, della pianificazione urbanistica e della normativa tecnica per la progettazione.

A livello comunale e subcomunale, in base a quanto definito dall'O.P.C.M. 3907/2010 e dalle specifiche tecniche definite negli Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica (ICMS) è stato necessario individuare le zone in cui le condizioni locali possono modificare le caratteristiche del moto sismico atteso o possono produrre deformazioni permanenti rilevanti per le costruzioni, per le infrastrutture e per l'ambiente.

Gli ICMS individuano, in funzione dei diversi contesti e dei diversi obiettivi, vari livelli di approfondimento degli studi di Microzonazione Sismica (MS), con complessità ed impegno crescenti, passando dal livello 1 fino al livello 3.

Lo studio di Microzonazione del Comune di Carpi è stato effettuato per i livelli 1, 2, 3 nel 2013 ed ha portato alla realizzazione dei seguenti elaborati cartografici:

Livello 1

- Carta delle Indagini
- Carta Geologico-Tecnica: descrive le caratteristiche litologiche dei primi 2-3m da p.c.
- Carta delle frequenze naturali dei terreni: riporta il valore della frequenza naturale
- Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS)

Livello 2

- Carta delle Velocità delle onde di taglio: riporta i valori puntuali delle Vs30
- Carta di Microzonazione sismica Livello 2 FA SI 0.1-0.5s, 0.5-1s
- Carta di Microzonazione sismica Livello 2 FA-PGA

Livello 3

- Carta di Microzonazione Sismica Livello 3 solo per aree urbanizzate e urbanizzabili.

La Carta geologico-tecnica (Fig. 9.9), come già esposto precedentemente, mostra che l'area di progetto ricade su terreni classificati come "Sabbie limose, miscela di sabbie e limo di argine/barre/canali" (**SMes**). Si fa però presente che la cartografia si riferisce al primo sottosuolo (entro 2-3m da piano campagna).

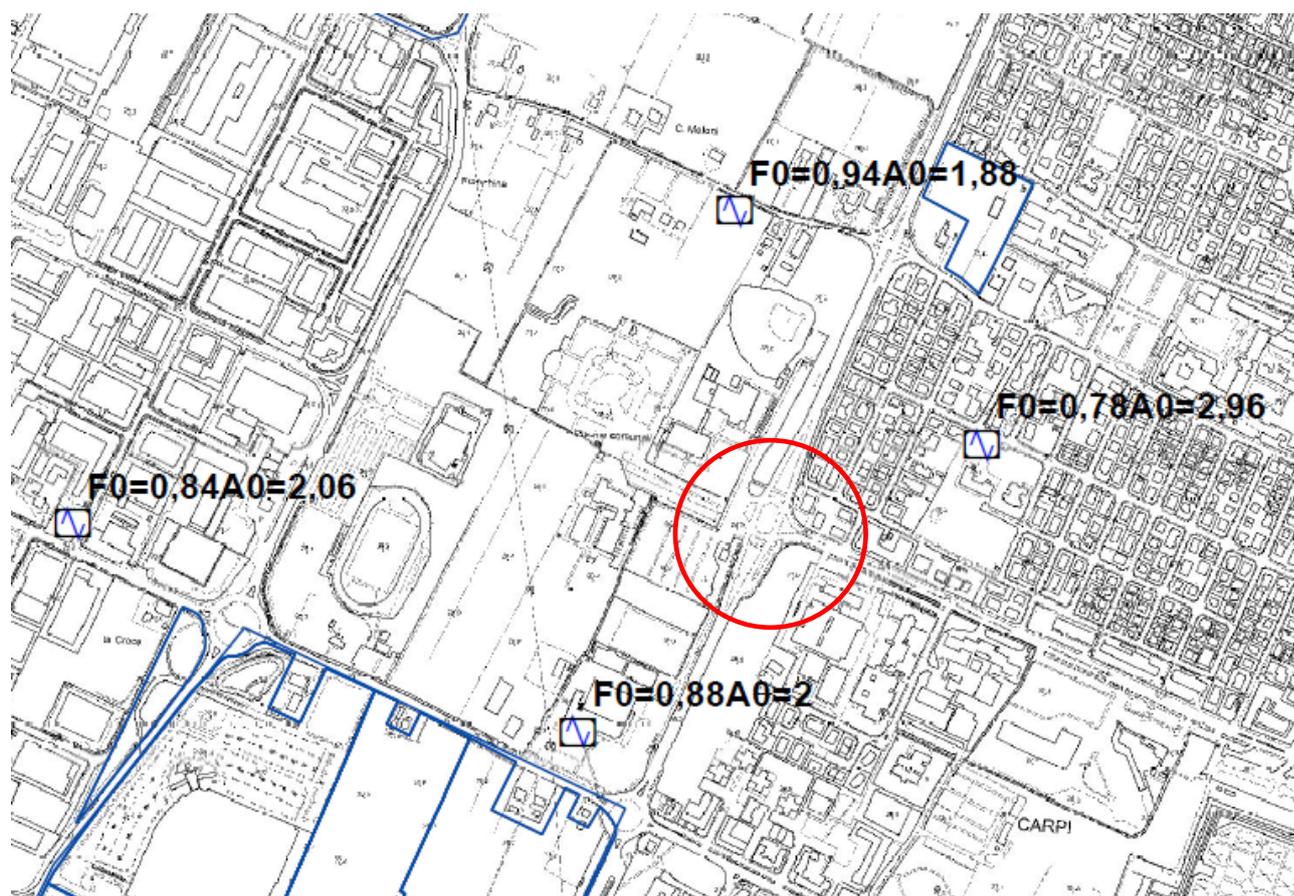


SMes

Sabbie limose, miscela di sabbia e limo di argine/barre/canali

Fig. 9.9. Carta Geologico-Tecnica

La Carta delle frequenze naturali del terreno (Fig. 9.10) mostra che nell'ambito dell'area di progetto la frequenza naturale F_0 varia tra 0,88 e 0,94Hz e che il rapporto H/V varia tra $A_0=1,88$ e $A_0=2,96$.



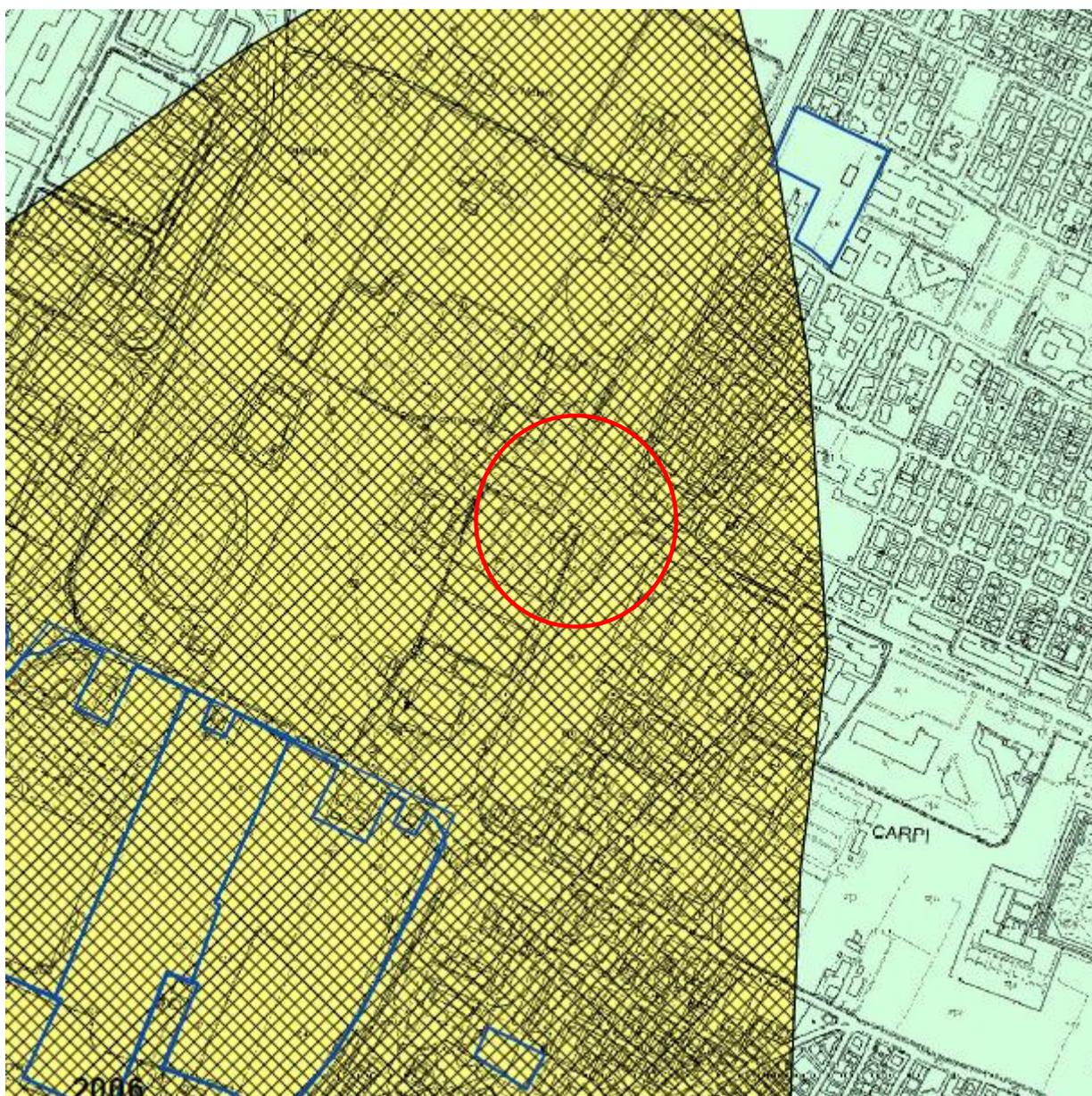
F0 - Frequenza naturale dell'indagine HVSR (in hertz)

A0 - Ampiezza del rapporto H/V

 Stazione microtremore a stazione singola

Fig. 9.10 Carta delle frequenze naturali del terreno

La Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica – MOPS (Fig. 9.11) mostra che l'area di progetto ricade nella Zona 6: Alternanze tra strati metrici/plurimetrici sabbiosi e strati metrici/plurimetrici pelitici. Risultano inoltre problematiche connesse a fenomeni di liquefazione.



Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali

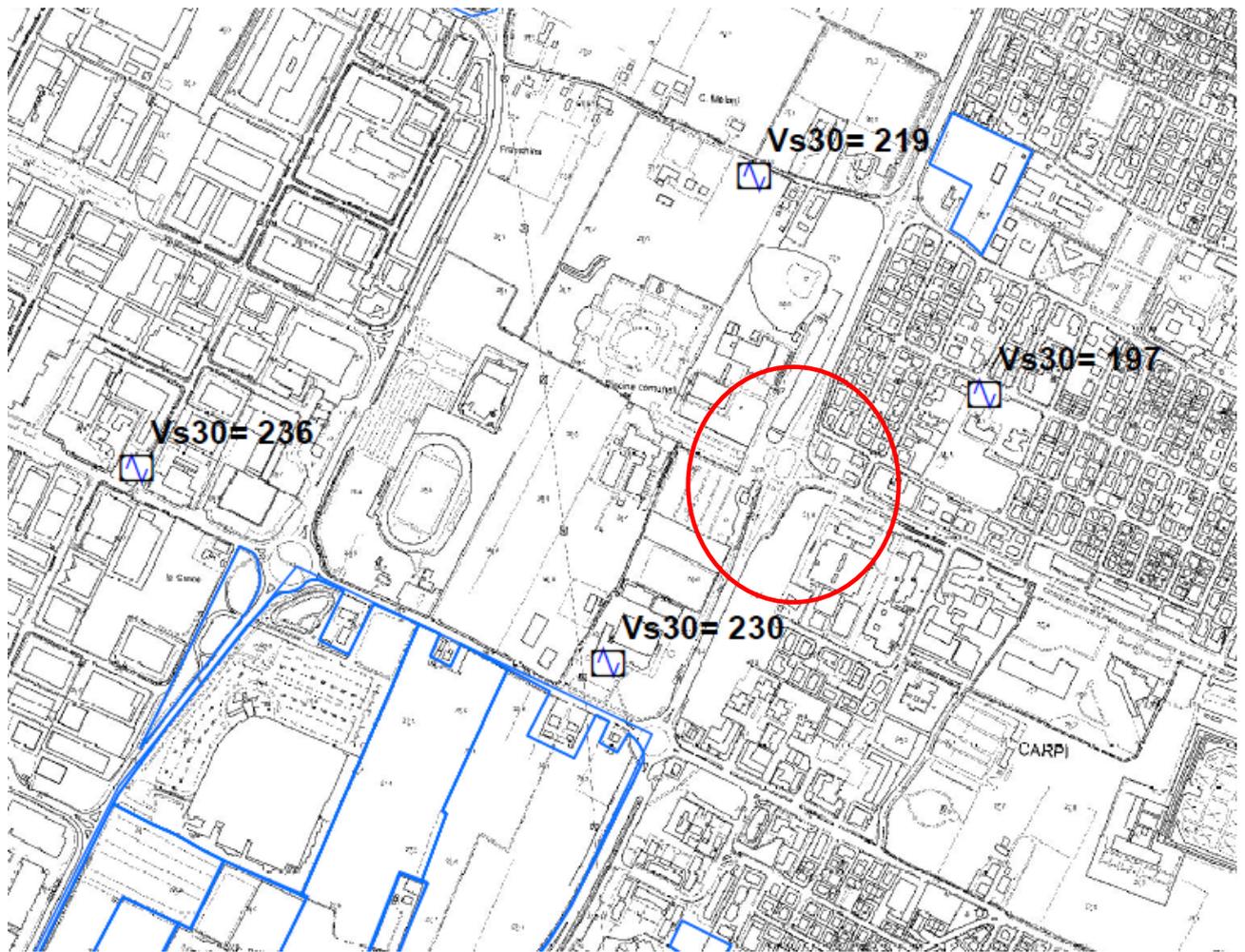
- 2001 Zona 1-Alternanze di strati di argille e argille limose con strati di limi, limi sabbiosi e sabbie limose (sedimenti di provenienza appenninica)
- 2004 Zona 4-Peliti prevalenti (con radi strati sabbiosi) fino almeno 20-30 m di profondità
- 2006 Zona 6-Alternanze tra strati metrici/plurimetrici sabbiosi e strati metrici/plurimetrici pelitici

Zone suscettibili di instabilità

- Liquefazioni
- Aree urbanizzate e urbanizzabili

Fig. 9.11 Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS)

La Carta della velocità delle onde di taglio di Livello 2 (Fig. 9.12) mostra che, in base alle misure effettuate in sede di studio di micro zonazione sismica, valori della velocità delle onde di taglio V_{s30} nell'ambito dell'area di progetto ricadono fra 197 e 236m/s.



 Stazione microtremore a stazione singola

Fig. 9.12 Carta della velocità delle onde di taglio di Livello 2

La Carta di microzonazione sismica di livello 2 (Fig. 9.13) riporta il valore del fattore di amplificazione in termini di intensità spettrale nell'intervallo 0,1-0,5 secondi. L'area di progetto ricade in zona con F_a compreso tra 1,7 e 1,8



Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali (FA SI 0.1 – 0.5 s)

 Fa = 1,7 - 1,8

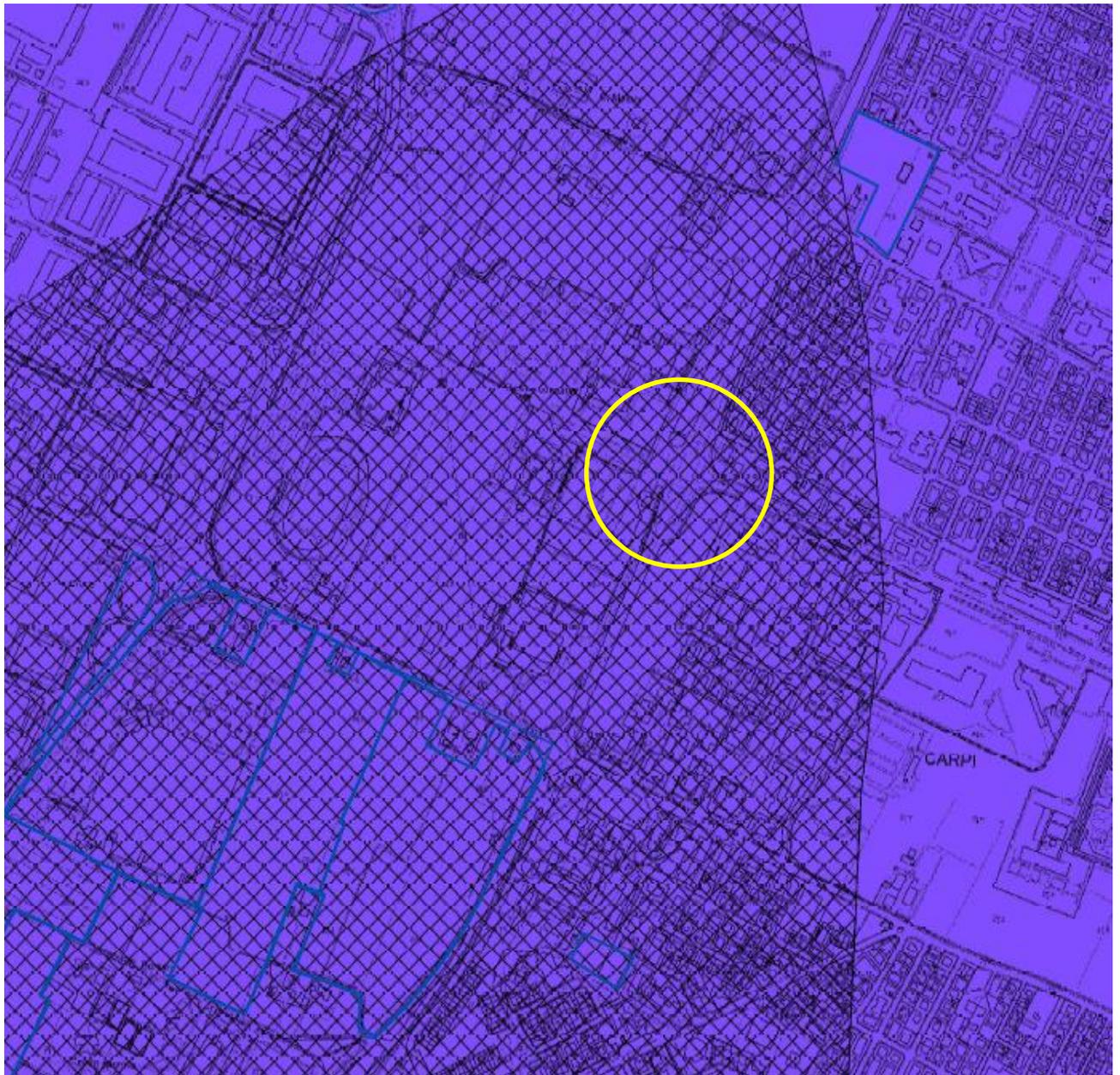
 Fa = 1,9 - 2

Zone suscettibili di instabilità

 Liquefazioni

Fig. 9.13. Carta di microzonazione sismica di livello 2 – FA SI 0,1-0,5s

La Carta di microzonazione sismica di livello 2 (Fig. 9.14) riporta il valore del fattore di amplificazione in termini di intensità spettrale nell'intervallo 0,5-1 secondi. L'area di progetto ricade, come del resto tutto il territorio comunale, in zona con $F_a > 2,5$.



Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali (FA SI 0.5 - 1 s)

 Fa > 2,5

Zone suscettibili di instabilità

 Liquefazioni

Fig. 9.14. Carta di microzonazione sismica di livello 2 – FA SI 0,5-1s

La Carta di microzonazione sismica di livello 2 (Fig. 9.15) riporta il valore del fattore di amplificazione in termini di PGA. L'area di progetto ricade in zona con Fa compreso tra 1,5 e 1,6.



Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali (FA PGA)

 Fa = 1,5 - 1,6

Zone suscettibili di instabilità

 Liquefazioni

Fig. 9.15. Carta di Microzonazione sismica Livello 2 FA-PGA

Si fa inoltre presente che tutto il territorio comunale è sede di cedimenti per presenza di terreni coesivi compressibili. Il terzo Livello di approfondimento copre solo le aree urbanizzate e, conseguentemente, l'area di progetto non è coperta da tale studio.

9.6 Determinazione dell'azione sismica

La determinazione dell'azione sismica di progetto si effettua a partire dalla pericolosità sismica di base del sito d'intervento, descritta dalla probabilità (PVR) che, in un fissato lasso di tempo (periodo di riferimento VR), nel sito prescelto si verifichi un evento sismico di entità almeno pari ad un valore prefissato. La pericolosità è definita in termini di accelerazione orizzontale attesa a_g in condizioni di campo libero (assenza di edifici) su sito di riferimento rigido (sottosuolo A) con superficie topografica orizzontale (categoria T1) e di ordinate del corrispondente spettro di

risposta elastico in accelerazione $S_e(T)$, con riferimento a determinate PVR (probabilità di eccedenza o di superamento nel periodo di riferimento). Le forme spettrali sono definite per ciascuna PVR a partire dai valori di a_g di F_0 (valore massimo di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale) e di $T^* C$ (periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale), riportati nell'Allegato B del D.M. 14 gennaio 2008 (poi ripresi pedissequamente nelle NTC 2018) e rappresentati in termini di andamento medio in funzione del periodo di ritorno TR per l'intero territorio nazionale. Il valore di a_g è desunto direttamente dalla pericolosità di riferimento fornita dall'INGV mentre F_0 e $T^* C$ sono calcolati in modo che gli spettri di risposta elastici forniti dal D.M. 14 gennaio 2008, anch'essi ripresi nelle NTC 2018, approssimino al meglio quelli derivanti dalla pericolosità di riferimento.

La vigente normativa (NTC 2008 e NTC 2018) definisce quattro stati limite di riferimento, ordinati per azione sismica crescente (SLO, SLD, SLV e SLC), ai quali sono stati attribuiti valori specifici di PVR (pari rispettivamente a 81%, 63%, 10% e 5%); tali probabilità di eccedenza, valutate nel periodo di riferimento proprio della costruzione considerata, consentono di individuare, per ciascuno stato limite, l'azione sismica di progetto corrispondente. In assenza di determinazioni derivanti da analisi di risposta sismica locale, per le componenti orizzontali del moto la forma spettrale di riferimento per il sito prescelto, quale che sia la PVR, è modificata attraverso il coefficiente S (dato dal prodotto di S_s , coefficiente di amplificazione stratigrafica che tiene conto della categoria di sottosuolo, con ST, coefficiente di amplificazione topografica) ed il coefficiente CC (funzione della categoria di sottosuolo) che modifica il valore del periodo TC corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante dello spettro di riferimento.

Come detto, a partire dalle NTC 2008 e successivamente con le NTC 2018, la stima della pericolosità viene definita mediante un approccio "sito dipendente" e non più tramite un criterio "zona dipendente".

L'azione sismica di progetto in base alla quale valutare il rispetto dei diversi stati limite presi in considerazione, viene definita partendo dalla pericolosità di base del sito di costruzione, che è l'elemento essenziale di conoscenza per la determinazione dell'azione sismica.

La pericolosità sismica è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa a_g , in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente $S(T)$, con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza PVR, nel periodo di riferimento VR.

Le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento PVR, a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

a_g accelerazione orizzontale massima al sito

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

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

In allegato alla norma, per tutti i siti considerati, sono forniti i valori di a_g , F e TC necessari per la determinazione delle azioni sismiche di riferimento. Nella Relazione di Progetto saranno indicati periodo di riferimento, coordinate del sito, vita nominale, tipo di costruzione TR, PVR etc. nonché sarà definita l'azione sismica del sito.

Categoria di Sottosuolo

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, si rende necessario valutare l'effetto della risposta sismica locale mediante specifiche analisi. In assenza di tali analisi, per la definizione dell'azione sismica si può fare riferimento a un approccio semplificato, che si basa sull'individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento (Tab. 9.4).

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

Tab. 9.4. Categorie di sottosuolo NTC 2018

In funzione della categoria di sottosuolo del sito in esame è possibile poi determinare attraverso la Tab. 9.5. le espressioni per il calcolo di S_s e di C_c .

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

Tab. 9.5.

Ai fini della caratterizzazione del sottosuolo si fa riferimento sia alle indagini condotte in sede di microzonazione sismica sia alla misura HVSR eseguita in sito (Fig. 9.16-9.17), dalle quali risulta che nell'area di progetto il valore di V_{seq} (in questo caso coincidente con V_{s30} perché il bedrock sismico si trova a profondità $>30m$) calcolato secondo la formula:

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

dove

h_i è lo spessore dell' i -esimo strato

$V_{S,i}$ è la velocità delle onde di taglio dell' i -esimo strato

N è il numero di strati

H è la profondità del substrato, definito come la formazione costituita da roccia o terreno molto rigido caratterizzato da valori di V_s non inferiore a 800m/s.

è compreso, per le indagini di bibliografia, tra 197 e 236m/s e per quanto riguarda la misura HVSR si ha $V_{seq}=V_{s30}=218m/s$ il che pone i terreni in categoria C di sottosuolo secondo le definizioni di cui alle NTC 2018 (Tab. 9.4.).

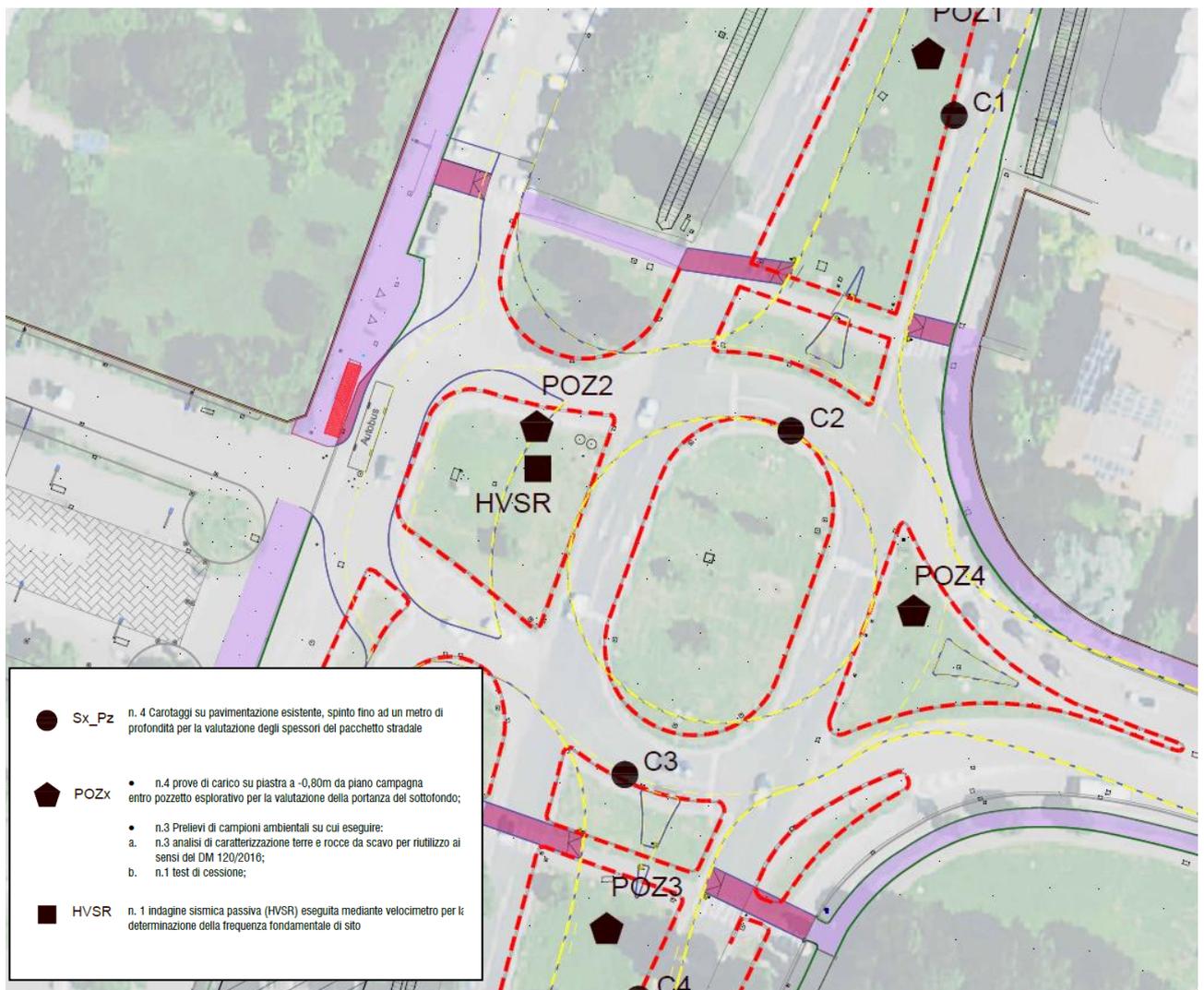
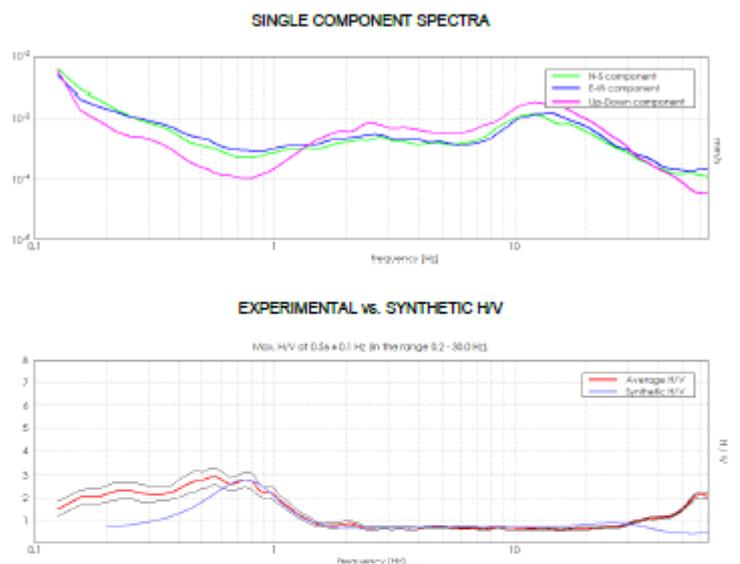


Fig. 9.16. Ubicazione misura HVSR - Indagini PD-PE 2023



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
1.00	1.00	120	0.42
6.00	5.00	180	0.44
16.00	10.00	220	0.44
31.00	15.00	250	0.43
51.00	20.00	300	0.43
81.00	30.00	350	0.43
171.00	90.00	480	0.42
Inf.	Inf.	620	0.42

$V_{s_eq}(0.0-30.0)=218$ m/s

Fig. 9.17. Misura HVSR - Indagini PD-PE 2023

Condizioni topografiche

Per condizioni topografiche complesse è necessario predisporre specifiche analisi di risposta sismica locale. Per configurazioni superficiali semplici si può adottare la seguente classificazione (Tab. 9.6):

Categoria	Descrizione
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15 \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

Tabella 9.6. Categorie topografiche

Le categorie topografiche si riferiscono a configurazioni geometriche prevalentemente bidimensionali, creste o dorsali allungate, e devono essere considerate nella definizione dell'azione sismica se di altezza maggiore di 30 m. Per tener conto delle condizioni topografiche e in assenza di specifiche analisi di risposta sismica locale, si utilizzano i valori del coefficiente topografico S_T riportati nella Tab. 9.7, in funzione delle categorie topografiche definite nella tabella precedente e dell'ubicazione dell'opera o dell'intervento.

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	S_T
T1	pianeggiante o poco inclinato	1,00
T2	pendii con inclinazione $i > 15^\circ$	1,20
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media tra 15° e 30°	1,20
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione superiore a 30°	1,40

Tabella 9.7. Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica S_T

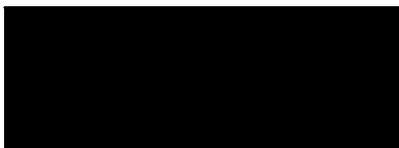
Nel caso in esame, in relazione all'orografia del sito si ricade in **categoria T1** cui corrisponde un coefficiente di amplificazione topografica **$S_t=1,00$** .

10 NOTE CONCLUSIVE

Gli studi ed i rilievi effettuati hanno consentito di delineare le caratteristiche geologiche, stratigrafiche, idrogeologiche, geotecniche e sismiche dell'area di progetto con dettaglio sufficiente in relazione alla tipologia delle opere in progetto. Lo studio ha messo in evidenza quanto segue:

- l'area di progetto è in situazione pianeggiante e non risulta la presenza di elementi geomorfologici tali da rappresentare una criticità a livello progettuale
- i terreni sono costituiti da limi argillosi alternati a sabbie e sabbie limose
- le indagini di riferimento mostrano che la falda superficiale ha una soggiacenza compresa tra 1,5 e 2m da piano campagna, ma il dato deve essere verificato
- in base alla cartografia PGRA più recente l'area ricade in classe P1 di pericolosità da alluvioni
- il Comune di Carpi ricade in zona sismica 3
- in base ai valori di Vs30 disponibili a livello di microzonazione sismica ed alla misura HVS eseguita in sito, la categoria di sottosuolo di riferimento ai sensi delle NTC 2018 è la C
- lo studio di microzonazione sismica comunale ha messo in evidenza che l'area rientra tra quelle con possibilità di liquefazione.

Dott. Geol. Pietro Accolti Gil



ALLEGATI
INDAGINI DI RIFERIMENTO
HVSR 2023



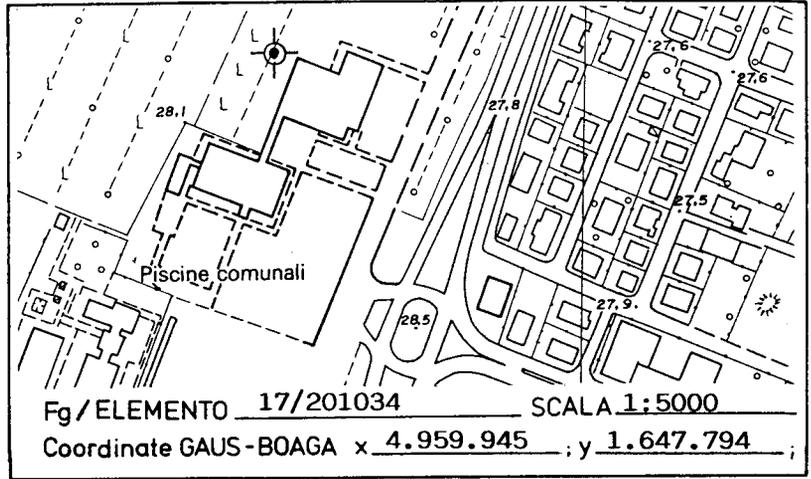
COMUNE DI CARPI

Settore : B3
STRUM. ECONOMICA E TERRITORIALE

SCHEDA N 98

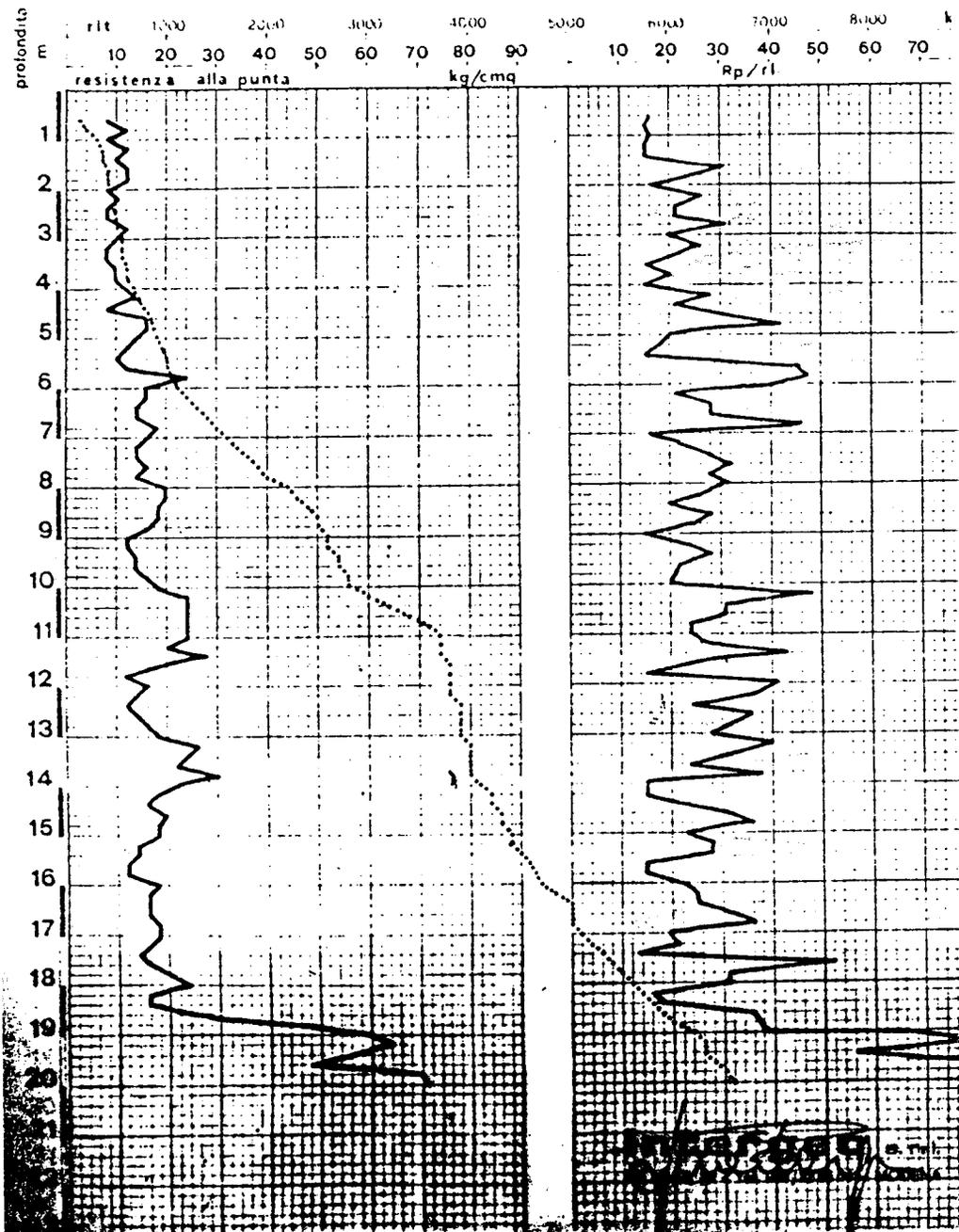
C022d

BANCA DATI AMBIENTALI
Indagini Geognostiche
**CATASTO PROVE
PENETROMETRICHE**
STATICHE DINAMICHE



DITTA ESECUTRICE Intergeo
OPERATORE dr. Guadagni
DATA ESECUZIONE PROVA 5/04/79

LIVELLO STATICO _____
QUOTA PIANO CAMPAGNA (M s.l.m.) 27.40
QUOTA INIZIO PROVA (M s.l.m.) 27.40



NOTE:

SISTEMA INFORMATIVO TERRITORIALE * SISTEMA INFORMATIVO TERRITORIALE



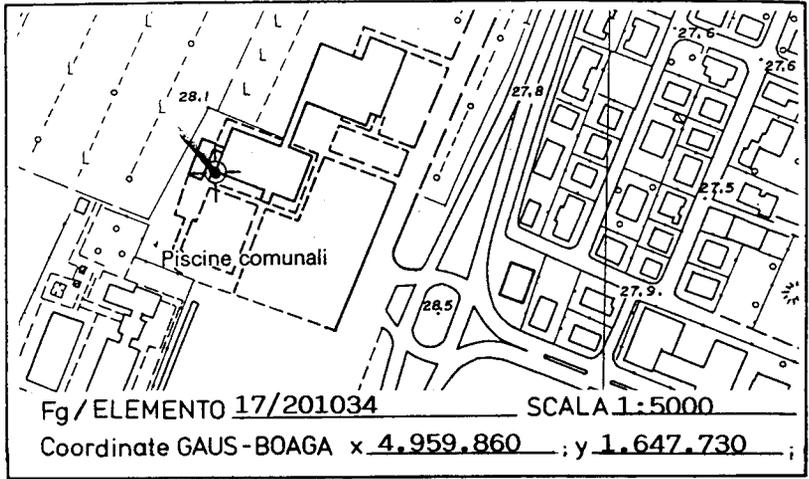
COMUNE DI CARPI

Settore : B3
STRUM. ECONOMICA E TERRITORIALE

SCHEDA N 101

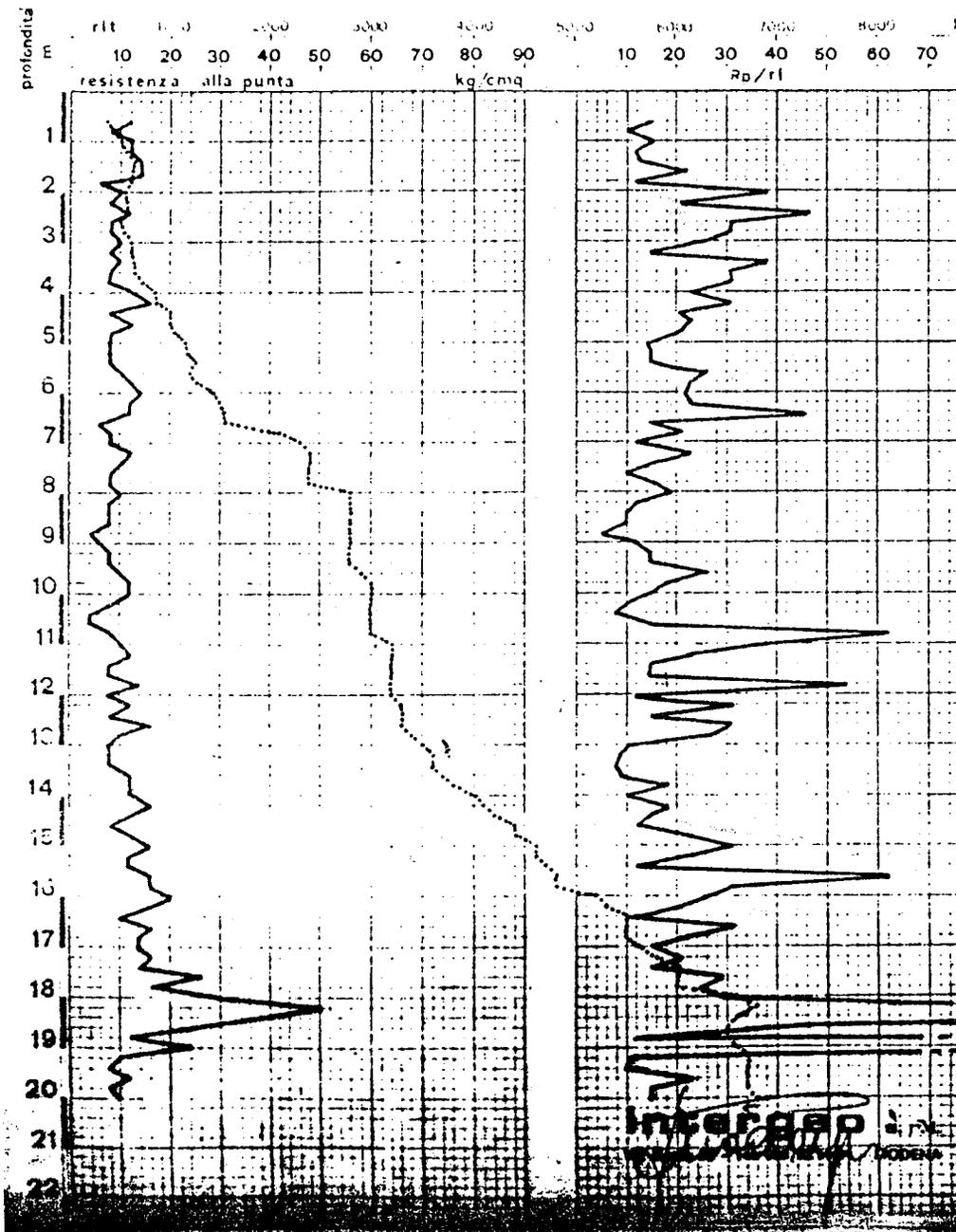
C023 c

BANCA DATI AMBIENTALI
Indagini Geognostiche
**CATASTO PROVE
PENETROMETRICHE**
STATICHE DINAMICHE



Fg / ELEMENTO 17/201034 SCALA 1:5000
Coordinate GAUS-BOAGA x 4.959.860 ; y 1.647.730 ;

DITTA ESECUTRICE Intergeo LIVELLO STATICO _____
OPERATORE dr. Chiossi QUOTA PIANO CAMPAGNA (M s.l.m.) 27.40
DATA ESECUZIONE PROVA 7/05/79 QUOTA INIZIO PROVA (M s.l.m.) 27.40



NOTE :

SISTEMA INFORMATIVO TERRITORIALE * SISTEMA INFORMATIVO TERRITORIALE



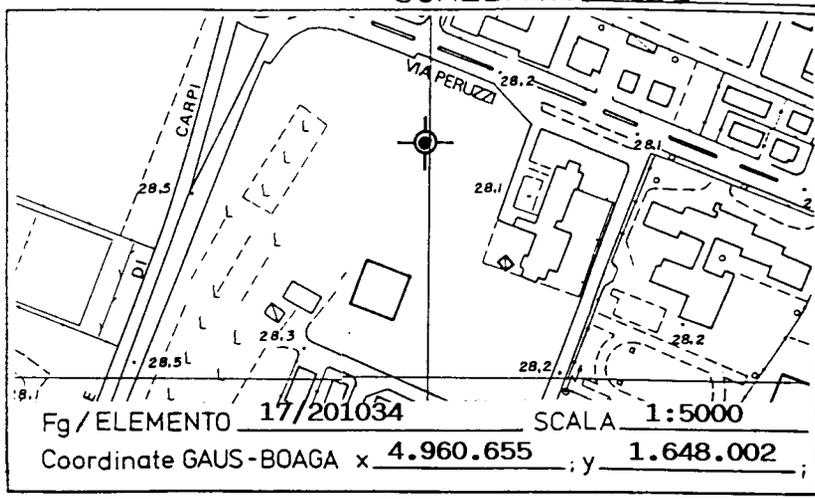
COMUNE DI CARPI

Settore : B3 STRUM. ECONOMICA E TERRITORIALE

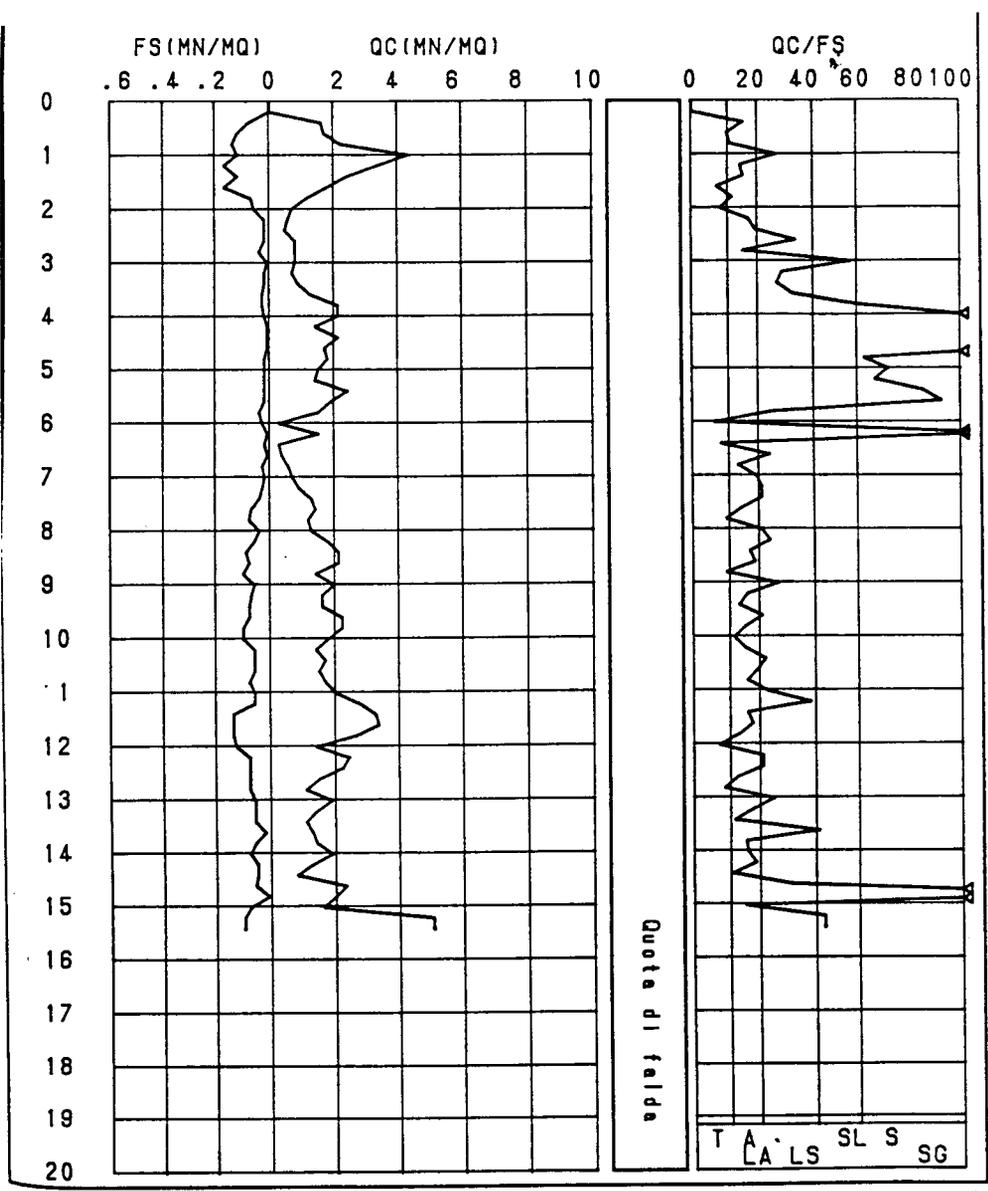
SCHEDA N. 151

C 396

BANCA DATI AMBIENTALI
Indagini Geognostiche
CATASTO PROVE
PENETROMETRICHE
STATICHE DINAMICHE



DITTA ESECUTRICE <u>PROVE PENETROMETRICHE</u>	LIVELLO STATICO _____
OPERATORE <u>dr. Marra</u>	QUOTA PIANO CAMPAGNA (M s.l.m.) <u>28.10</u>
DATA ESECUZIONE PROVA <u>28/09/89</u>	QUOTA INIZIO PROVA (M s.l.m.) <u>28.10</u>



NOTE :

SISTEMA INFORMATIVO TERRITORIALE * SISTEMA INFORMATIVO TERRITORIALE



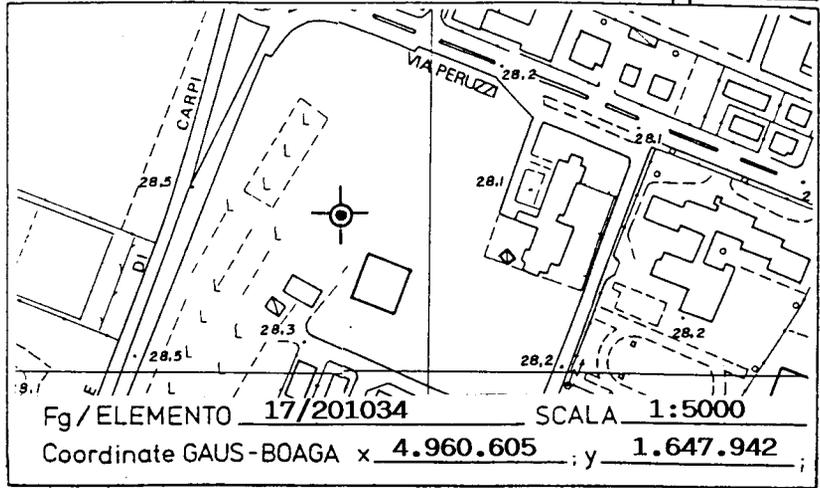
COMUNE DI CARPI

Settore B3
STRUM. ECONOMICA E TERRITORIALE

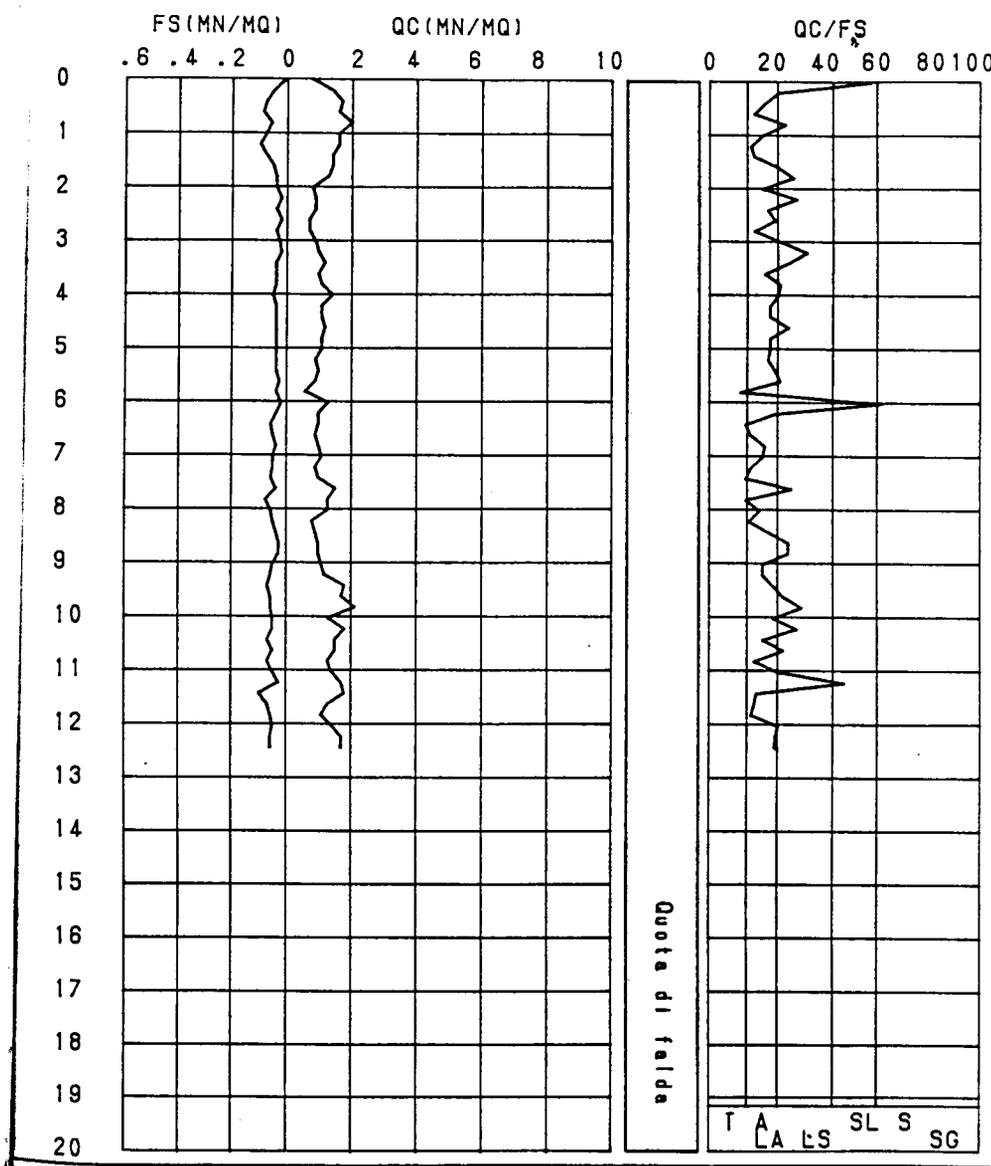
SCHEDA N. 1/4

C041d

BANCA DATI AMBIENTALI
Indagini Geognostiche
**CATASTO PROVE
PENETROMETRICHE**
STATICHE DINAMICHE



DITTA ESECUTRICE PROVE PENETROMETRICHE LIVELLO STATICO _____
OPERATORE dr. Marra QUOTA PIANO CAMPAGNA (M s.l.m.) 28.20
DATA ESECUZIONE PROVA 27/09/89 QUOTA INIZIO PROVA (M s.l.m.) 28.20



NOTE: _____

SISTEMA INFORMATIVO TERRITORIALE * SISTEMA INFORMATIVO TERRITORIALE

CARPI, nuova rotatoria tra Tangenziale e Via Peruzzi

Instrument: TZB-0123/01-20

Data format: 32 bit

Full scale [mV]: 179

Start recording: 12/05/2023 07:43:33 End recording: 12/05/2023 08:03:33

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN

GPS data not available

Trace length: 0h20'00". Analyzed 75% trace (manual window selection)

Sampling rate: 128 Hz

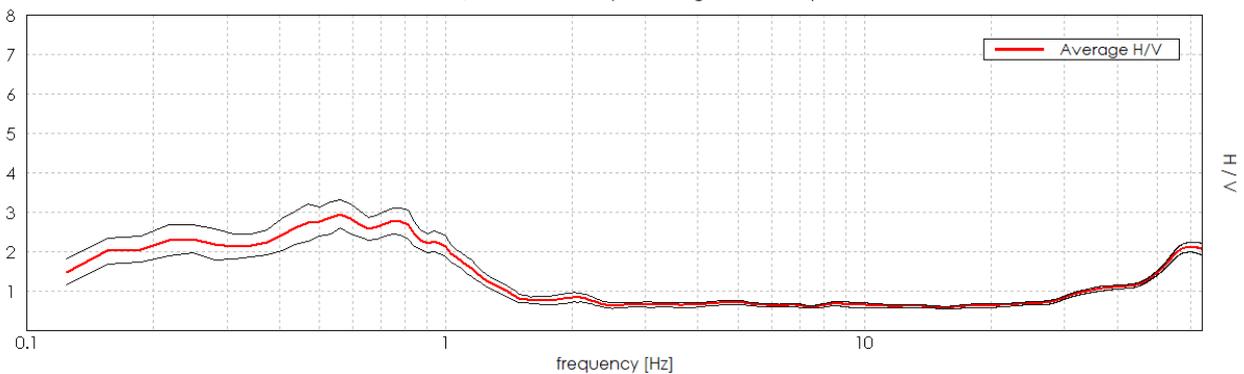
Window size: 20 s

Smoothing type: Triangular window

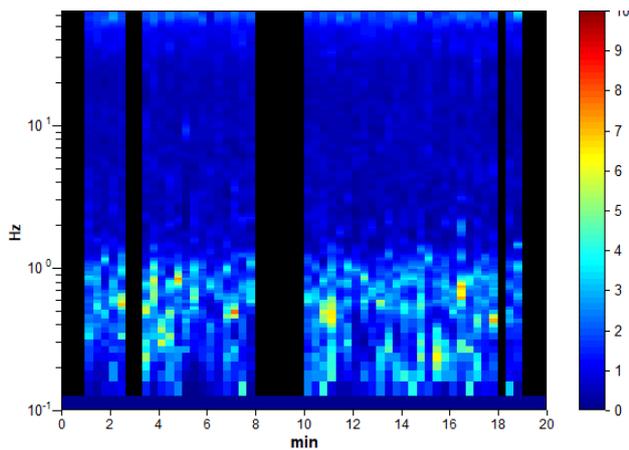
Smoothing: 10%

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

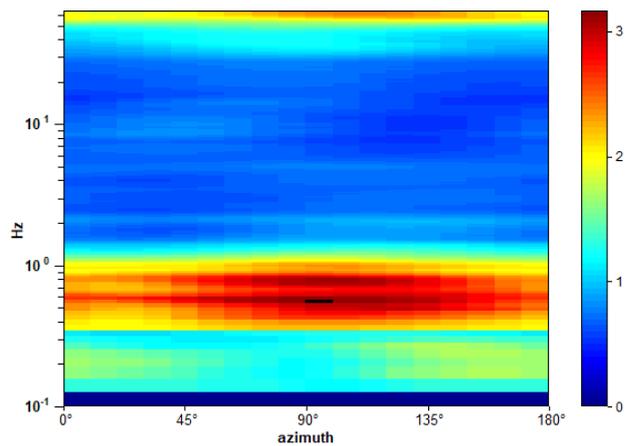
Max. H/V at 0.56 ± 0.1 Hz (in the range 0.2 - 30.0 Hz).



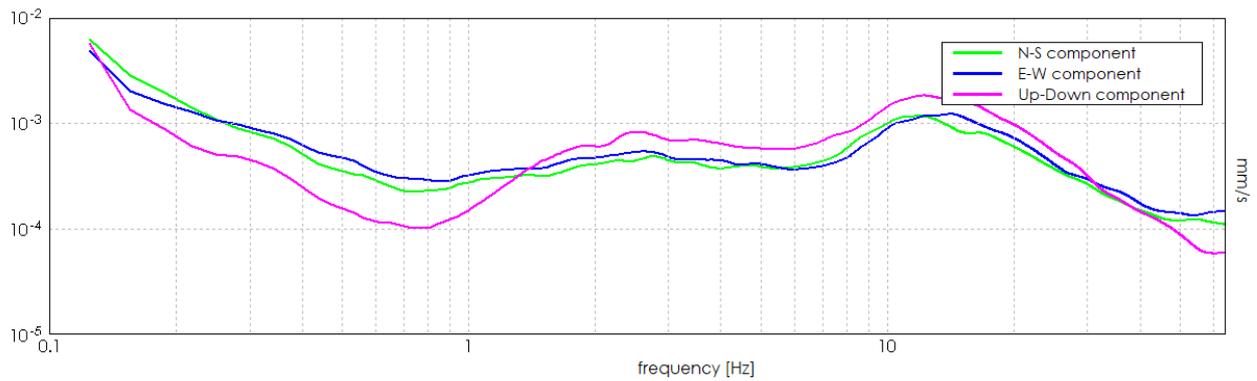
H/V TIME HISTORY



DIRECTIONAL H/V

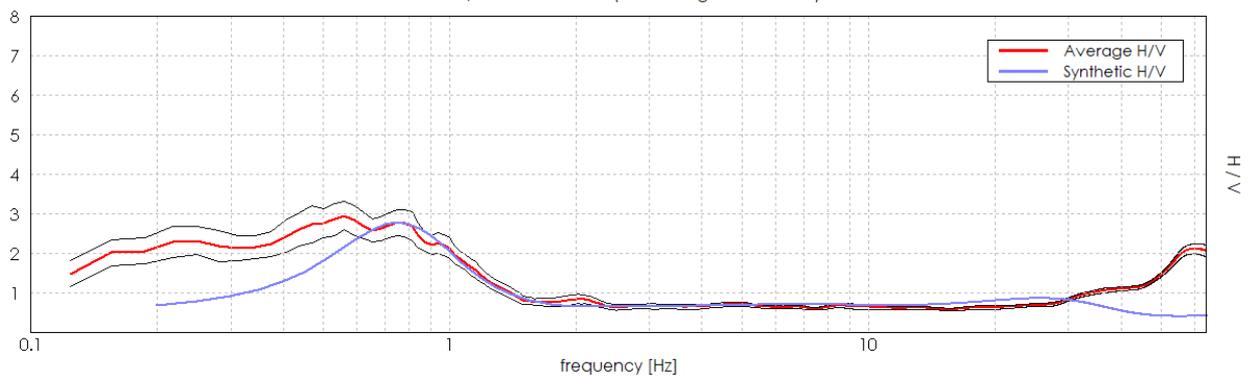


SINGLE COMPONENT SPECTRA



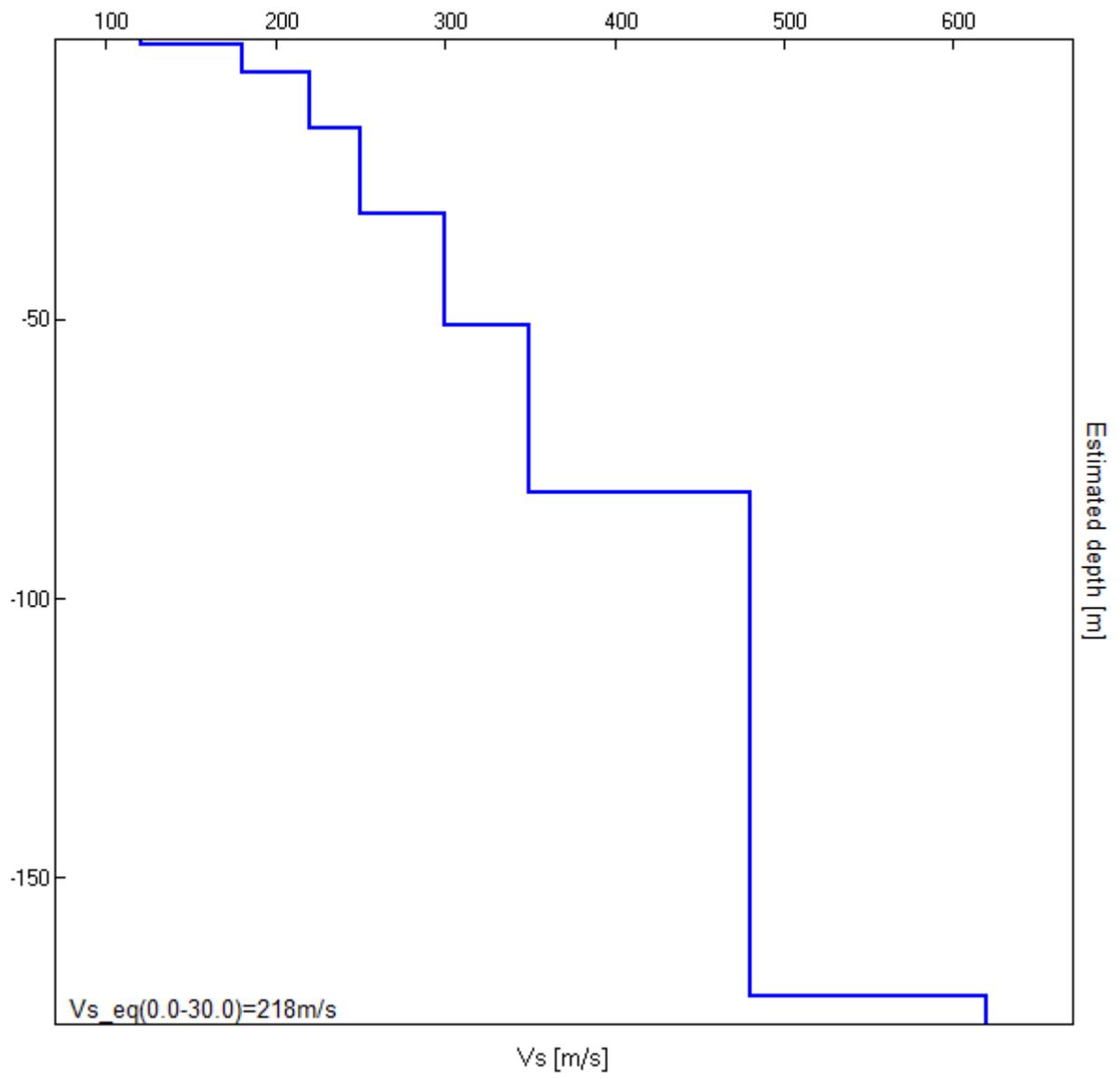
EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC H/V

Max. H/V at 0.56 ± 0.1 Hz (in the range 0.2 - 30.0 Hz).



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
1.00	1.00	120	0.42
6.00	5.00	180	0.44
16.00	10.00	220	0.44
31.00	15.00	250	0.43
51.00	20.00	300	0.43
81.00	30.00	350	0.43
171.00	90.00	480	0.42
inf.	inf.	620	0.42

$V_{s_eq}(0.0-30.0)=218$ m/s



[According to the SESAME, 2005 guidelines. **Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.**]

Max. H/V at 0.56 ± 0.1 Hz (in the range 0.2 - 30.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	$0.56 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$506.3 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 28 times	OK	

Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$			NO
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	1.188 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$2.96 > 2$	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.1747 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.09827 < 0.08438$		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.357 < 2.0$	OK	

L_w	window length
n_w	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
f	current frequency
f_0	H/V peak frequency
σ_f	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	H/V peak amplitude at frequency f_0
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency f
f^-	frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$

Freq. range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20