



Comune di Bologna



Sostenibilità
è Bologna



PUMS
BOLOGNA
METROPOLITANA

RTI Progettisti:



PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA DELLA PRIMA LINEA TRANVIARIA DI BOLOGNA (LINEA ROSSA)



Fondo per lo Sviluppo
e la Coesione

Intervento finanziato con risorse
FSC 2014-2020 – Piano operativo della Città
metropolitana di Bologna
Delibera CIPE n.75/2017



Studi specialistici Geologia Relazione geologica ed idrogeologica

COMUNE DI BOLOGNA
SETTORE MOBILITA' SOSTENIBILE
INFRASTRUTTURE

IL DIRETTORE DEL SETTORE

ING. CLETO CARLINI

IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO

ING. GIANCARLO SGUBBI

IL DIRETTORE DELL'ESECUZIONE DEL CONTRATTO

ING. MIRKA RIVOLA

SEGRETERIA TECNICA

ING. BARBARA BARALDI

GEOM. AGNESE FERRO

RESPONSABILE DI COMMESSA

ING. PAOLO MARCHETTI

RESPONSABILE INTEGRAZIONE
PRESTAZIONI SPECIALISTICHE

ING. SANTI CAMINITI

Gruppo di Progettazione:

Ing. Alessandro Piazza (Coordinatore Tecnico)
Ing. Santi Caminiti (Progetto sistemi tranviari)
Ing. Andrea Spinosa (Studi Trasportistici)
Arch. Sebastiano Fulci De Sarno (Prog. Architettonico e Inser. Urbanistico)
Ing. Sergio Di Nicola (Sovrastruttura Tranviaria)
Ing. Jeremie Weiss (Impianti Tecnologici)
Ing. Maurizio Falzea (Progettazione Funzionale Depositi)
Ing. Pietro Caminiti (Viabilità Interferente)
Ing. Stefano Tortella (Opere Strutturali)
Ing. Andrea Carlucci (Esperto Impianti Eletto-ferroviari)
Ing. Domenico D'Apollonio (Impianti di Trazione Elettrica)
Ing. Francesco Azzarone (Impianti Meccanici)
Arch. Sergio Moscheo (Prime Disposizioni per la Sicurezza)
Ing. Boris. Rowenczyn (Piani Economici e Finanziari)
Prof. Geol. Matteo Mattioli (Geologia)

COMMESSA	FASE	DISCIPLINA	TIPO/NUMERO	REV.	SCALA	NOME FILE
B381	SF	GEO	RT001	A	— —	B381-SF-GEO-RT001A.pdf

REV.	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
0	31-12-2018	EMISSIONE	PAONE	MATTIOLI	S. CAMINITI
1					
2					

INDICE

1. PREMESSA.....	2
1.1 NORMATIVA DI RIFERIMENTO	2
2. INTERVENTI IN PROGETTO	4
3. DESCRIZIONE GENERALE DELL'AREA ED INQUADRAMENTO CARTOGRAFICO.....	5
4. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E IDROGEOLOGICO	7
4.1 GEOMORFOLOGIA DELL'AREA	7
4.2 ASSETTO GEOLOGICO REGIONALE	10
4.3 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO	16
4.3.1 unità idrogeologiche profonde	19
4.3.2 unità idrogeologiche superficiali.....	20
5. SUBSIDENZA.....	26
5.1 SUBSIDENZA LOCALE: I DATI	27
6. INQUADRAMENTO SISMICO.....	34
6.1 MACROSISMICITÀ DELL'AREA	34
6.2 PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE	39
6.3 AZIONE SISMICA DI PROGETTO	39
6.4 CATEGORIE DI SOTTOSUOLO.....	43
7. INDAGINI GEOGNOSTICHE DI RIFERIMENTO	47
7.1 PROVE GEOTECNICHE IN SITO.....	48
8. MODELLO GEOLOGICO E CARATTERIZZAZIONE MECCANICA DEI TERRENI	50
8.1 VERIFICA SUSCETTIBILITÀ ALLA LIQUEFAZIONE	53
9. NOTE CONCLUSIVE E GIUDIZIO DI FATTIBILITÀ.....	56
10. BIBLIOGRAFIA	57
11. ELENCO DEGLI ALLEGATI A FINE TESTO	58

1. PREMESSA

Nell'ambito del "Servizio di progettazione di fattibilità tecnica ed economica della prima linea tranviaria di Bologna (Linea Rossa)", è stato redatto il presente documento inerente lo studio dei terreni del primo sottosuolo interessati dal Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica (PFTE) della prima linea tranviaria di Bologna (Linea Rossa).

La modellazione geologica del territorio in esame è desunta sulla base di indagini di repertorio fornite dalla Committenza e scopo del presente lavoro è analizzare e descrivere la situazione morfologica, idrogeologica e geo-litologica generale, determinare la natura dei terreni costituenti il primo sottosuolo e le loro caratteristiche fisico-meccaniche in fase preliminare.

1.1 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Le considerazioni di seguito riportate fanno riferimento alla vigente normativa del settore geotecnico e delle costruzioni ed in particolare modo si evidenziano:

- *AGI: raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche, Giugno 1977.*
- *D.M. 21 gennaio 1981 – "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 ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione".*
- *Circ. Dir. Centr. Tecn. n°. 97/81 – "Istruzioni relative alle 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 ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione".*
- *ISRM International Society for Rock Mechanics: Rock characterization testing and monitoring suggested methods - Commission on Testing Methods, 1981.*

- *D.M. LL.PP. 11 marzo 1988 - “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 ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione”.*
- *Circ. Min. LL.PP. 24 settembre 1988 n°30483 – “Istruzioni applicative al D.M. 11/03/88”.*
- *Eurocodice Ec7 per l’ingegneria geotecnica, Settembre 1988.*
- *D. L.vo 5 febbraio 1997, n. 22 – “Attuazione delle direttive 91/156/CEE sui rifiuti, 91/689/CEE sui rifiuti pericolosi e 94/62/CE sugli imballaggi e sui rifiuti di imballaggio”;*
- *D.M. 5 febbraio 1998 – “Individuazione dei rifiuti non pericolosi sottoposti alle procedure semplificate di recupero ai sensi degli articoli 31 e 33 del decreto legislativo 5 febbraio 1997, n. 22”;*
- *Legge 23 marzo 2001, n. 93 – “Disposizioni in campo ambientale”;*
- *Ordinanza 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.*
- *Proposta di guida tecnica sui metodi di campionamento dei suoli contaminati – APAT Aprile 2004;*
- *Manuale UNICHIM 196/2 ed. 2004 “Suoli e Falde Contaminati Campionamenti ed Analisi”;*
- *Circolare n. 5205 del 15/07/05 del Min. Ambiente – Indicazioni per l’operatività nel settore edile, stradale e ambientale ai sensi del D.M. 08/05/03 n.203;*
- *D.M. 14.09.2005 - “Norme tecniche sulle costruzioni”.*
- *Manuale per le indagini ambientali nei siti contaminati - Apat Manuali e linee guida 43/2006;*

- *D. L.vo 03 aprile 2006, n. 152 e ss.mm.ii. – “Nuovo Testo Unico ambientale”;*
- *D.M. 14.01.2008 - “Norme tecniche per le costruzioni”.*
- *D.M. 14.01.2018 - “Norme tecniche per le costruzioni”.*

2. INTERVENTI IN PROGETTO

Oggetto della presente relazione è la progettazione della prima linea tranviaria della nuova rete di trasporti programmata dal Comune di Bologna. Il percorso individuato si sviluppa dal capolinea ovest situato a Borgo Panigale lungo l'asse delle vie Marco Emilio Lepido e Aurelio Saffi fino al centro storico di Bologna, per poi proseguire verso nord in direzione della stazione Bologna Centrale FS, del Fiera District, del Pilastro, fino all'altro capolinea nei pressi del CAAB, per un'estensione totale di circa 15 km.

Inoltre, è prevista la realizzazione di un deposito di superficie totale dell'ordine di 100.000 mq, da realizzarsi nei pressi del capolinea Ovest di Borgo Panigale.

3. DESCRIZIONE GENERALE DELL'AREA ED INQUADRAMENTO CARTOGRAFICO

Il territorio del Comune di Bologna si sviluppa al passaggio tra l'alta pianura e le prime propaggini collinari, compresa tra il Fiume Reno ed il Torrente Lavino a Ovest e il Torrente Savena a Est, per una superficie complessiva di circa 141 Km², di cui 105 ricompresi nella zona di alta e media pianura e 36 in quella collinare.

Da un punto di vista planoaltimetrico le quote massime pari a circa 390 m s.l.m. si rilevano nei pressi di Monte Sabbiuno mentre le minime in località "Magistrini" pari a circa 29,5 m s.l.m..

L'opera oggetto di questo elaborato sarà realizzata nella porzione pianeggiante del territorio comunale di Bologna (BO).

Dal punto di vista amministrativo il Comune di Bologna confina a Nord con i Comuni di Calderara di Reno, Castel Maggiore e Granarolo Dell'Emilia, ad Est con i Comuni di Castenaso e San Lazzaro di Savena, a Sud con i Comuni di Pianoro e Sasso Marconi ed a Ovest con i Comuni di Casalecchio di Reno, Zola Predosa e Anzola Dell'Emilia.

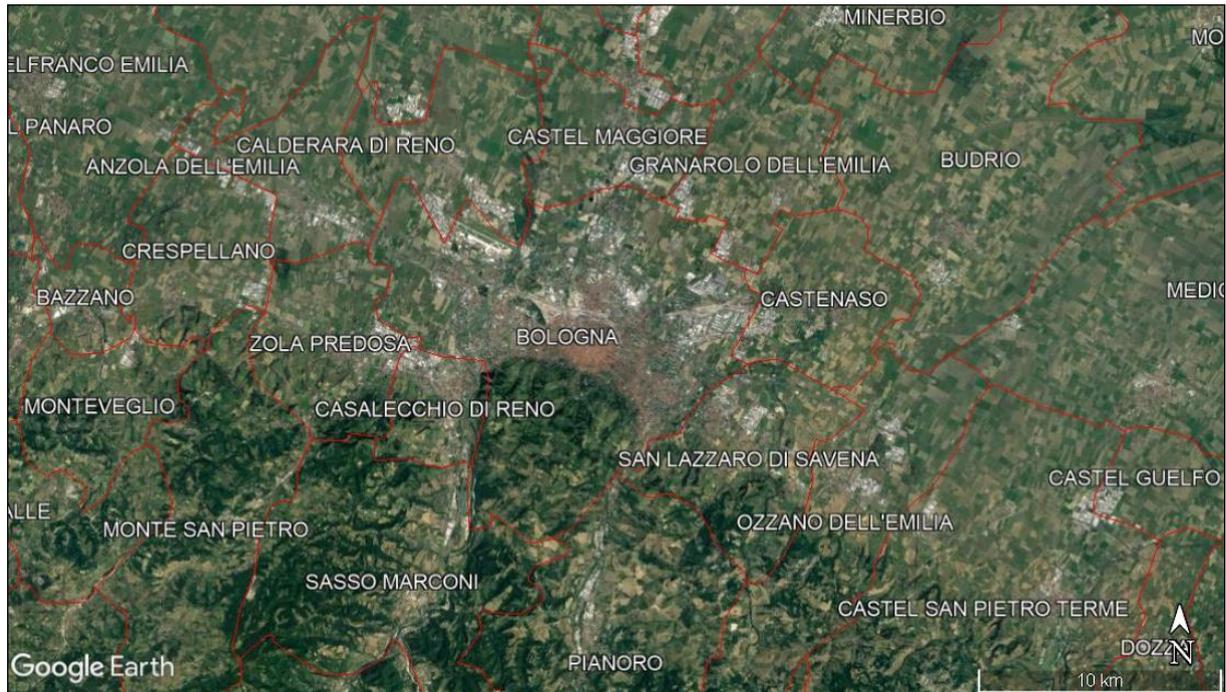


Figura 3-1 - Comuni della RER confinanti con il Comune di Bologna.

L'area è inclusa negli elementi 220 NE, 221 NO, 220 SO e 221 SE della Carta Tecnica Regionale in scala 1:25.000 e negli elementi 220 Bologna Ovest e 221 Bologna Est della Carta Tecnica Regionale in scala 1:50.000.

Il primo tracciato della futura tramvia, oggetto di tale elaborato, si estende per circa 20 km attraversando il territorio comunale lungo l'asse Est-Ovest a quote comprese tra i 37 ed i 57 m s.l.m in un'area sostanzialmente pianeggiante.

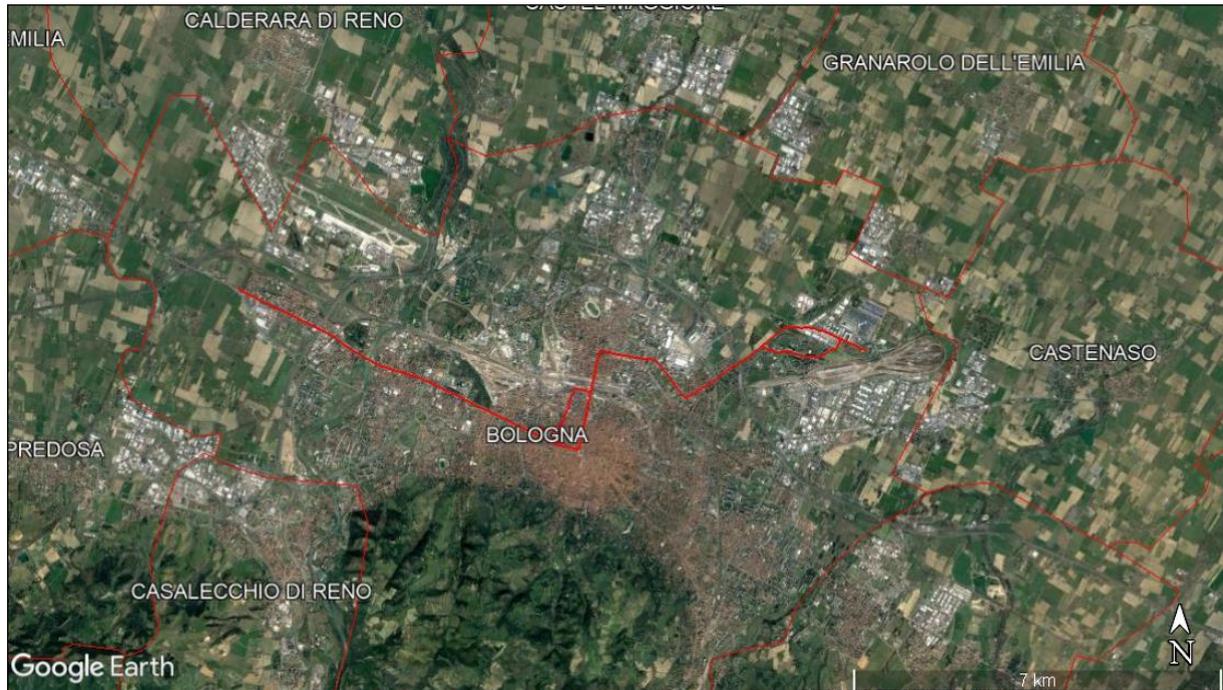


Figura 3-2 - Tracciato della Linea Rossa della Tramvia di Bologna.

4. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E IDROGEOLOGICO

Nel presente capitolo verrà descritta l'area in esame da un punto di vista geologico-geomorfologico e contestualmente verrà illustrata la componente idrogeologica locale

4.1 GEOMORFOLOGIA DELL'AREA

Dal punto di vista morfologico, nell'ambito del comune di Bologna, si distinguono un sistema collinare ed un sistema di pianura. L'individuazione dei due sistemi, caratterizzati da una evoluzione strutturale indipendente, è legata all'esistenza, in corrispondenza del settore pedecollinare, del lineamento tettonico ad andamento NW-SE correlabile alla struttura di thrust nota in letteratura con la denominazione Sovrascorrimento Frontale Pedeappennico o PTF (Castellarin et al., 1985).

Gli elementi geomorfologici riscontrabili in corrispondenza del tracciato in progetto, sono essenzialmente ascrivibili ad ambienti di deposizione alluvionale quali ambiente di conoide, di piana alluvionale e, localmente, di terrazzo alluvionale.

La pianura bolognese può essere suddivisa in tre settori sulla base delle caratteristiche morfologiche, sedimentologiche e tessiturali dei depositi presenti.

L'alta pianura, compresa tra il limite appenninico a Sud e la direttrice Anzola-Castelmaggiore-Castenaso a Nord, caratterizzata principalmente dalla presenza di litotipi a granulometria grossolana di spessore anche rilevante.

La media e la bassa pianura si collocano a Nord del settore individuato e procedendo in direzione Sud-Nord si assiste ad un progressivo aumento dei litotipi a granulometria fine. Le quote variano da 80-90 m s.l.m. m a ridosso del margine appenninico a 32 m s.l.m. m in prossimità del confine settentrionale del territorio comunale. Le pendenze della superficie topografica diminuiscono da valori superiori al 25 per mille in corrispondenza dell'alta pianura a valori di 1-2 per mille nelle porzioni più distali.

L'alta pianura è essenzialmente caratterizzata dalla presenza dei conoidi alluvionali riferibili alla attività deposizionale del F. Reno e del T. Savena che hanno modellato la fascia pedecollinare rispettivamente in corrispondenza del settore occidentale ed orientale dell'area in esame. Fra le due strutture di conoide principali si interpongono le strutture minori del T. Ravone, Rio Meloncello, T. Aposa e Fossa Cavallina.

Le forme di origine antropica sono estremamente diffuse dato il notevole sviluppo di aree urbane in rapida evoluzione. Si tratta essenzialmente di arginature dei corsi d'acqua, canalizzazioni, siti di deviazione fluviale e aree di cava attive, abbandonate o ripristinate.

Di seguito vengono illustrati gli stralci delle carte geomorfologiche di pianura Est ed Ovest per il Comune di Bologna in cui si individuano gli elementi geomorfologici principali, in particolare i corsi d'acqua principali e secondari, i dossi fluviali, i depositi alluvionali antichi e recenti e conoidi alluvionali.

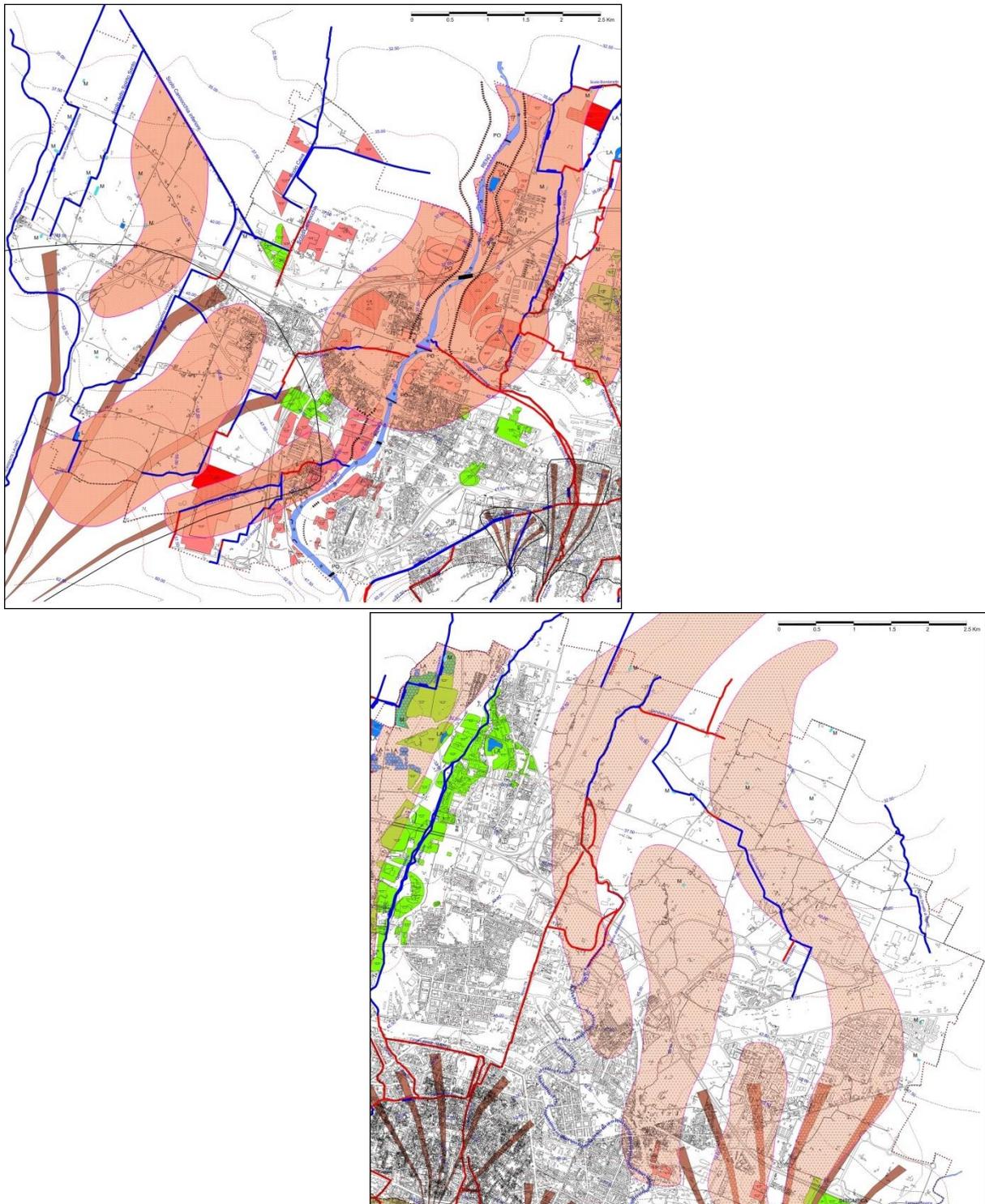


Figura 4-1 - Stralcio della carta geomorfologica di pianura del Comune di Bologna. In alto la porzione ovest, in basso la porzione est.

4.2 ASSETTO GEOLOGICO REGIONALE

La formazione della pianura bolognese, nella quale è situato il territorio in esame, è legata all'evoluzione tettonica-sedimentaria del bacino padano.

Le prospezioni geofisiche ed i sondaggi effettuati dall'Agip per la ricerca di idrocarburi hanno individuato nel sottosuolo padano strutture profonde, sviluppatasi in un lasso di tempo compreso tra il Miocene superiore ed il Pleistocene, geneticamente connesse alla tettonica di embricazione che ha caratterizzato l'evoluzione strutturale dell'Appennino. I fronti dei sovrascorrimenti sepolti, che interessano le stesse unità litologiche per lo più di origine marina che è possibile osservare in affioramento nel margine collinare, sono marcati da pronunciate pieghe anticlinali asimmetriche, vergenti a N-NE, con asse orientato mediamente NW-SE, fra le quali si segnalano le pieghe della cosiddetta Dorsale Ferrarese.

L'indagine geofisica ha inoltre evidenziato la presenza di un importante sistema di faglie che esplica tuttora la sua attività a carattere compressivo, noto in letteratura come "sovrascorrimento pedeappenninico": esso costituisce l'elemento morfostrutturale di separazione tra la fascia collinare in sollevamento e l'antistante pianura interessata dalla subsidenza. Il significato cinematico attribuito a tale lineamento concorda con il generale sovrascorrimento degli elementi appenninici al di sopra di quelli padani summenzionati.

La pianura bolognese è quindi compresa tra il sistema tettonico del "sovrascorrimento pedeappenninico" ed il fianco meridionale delle pieghe della Dorsale Ferrarese.

Il colmamento del bacino bolognese si è realizzato principalmente in seguito all'attività sedimentaria dei corsi d'acqua appenninici: procedendo dal basso verso l'alto si rinvengono dapprima sedimenti di origine marina, successivamente sedimenti transizionali (lagunari e costieri) ed infine depositi di origine francamente continentale che costituiscono le alluvioni quaternarie. Le variazioni di spessore e dei caratteri deposizionali, registrate dalla successione litostratigrafica, sono riconducibili a fenomeni tettonici e glacio-eustatici che hanno controllato la sedimentazione all'interno del bacino e hanno condizionato la potenzialità deposizionale dei

vari corsi d'acqua. Il riempimento del bacino marino ed il successivo passaggio alla sedimentazione continentale non si sono verificati in maniera continua e progressiva, ma sono stati il risultato di eventi tettonico-sedimentari parossistici, separati nel tempo da periodi di forte subsidenza bacinale e movimenti ridotti delle strutture compressive.

Di fatto la successione quaternaria continentale (porzione sommitale del riempimento del bacino padano), poggia con un contatto discordante sul ciclo pleistocenico inferiore marino.

Lo spessore del ciclo continentale è molto variabile a seconda delle zone considerate. In prossimità del fiume Reno la facies di transizione all'ambiente marino si incontra ad una profondità di circa 400 m.

Studi recenti hanno individuato nell'area emiliana una formazione fluvio-lacustre che costituisce la base della successione quaternaria continentale. Al suo interno è riconoscibile un'alternanza di unità ghiaiose e pelitico-sabbiose. Le prime vengono interpretate come facies di conoide mentre le seconde come appartenenti ad ambienti di piana alluvionale.

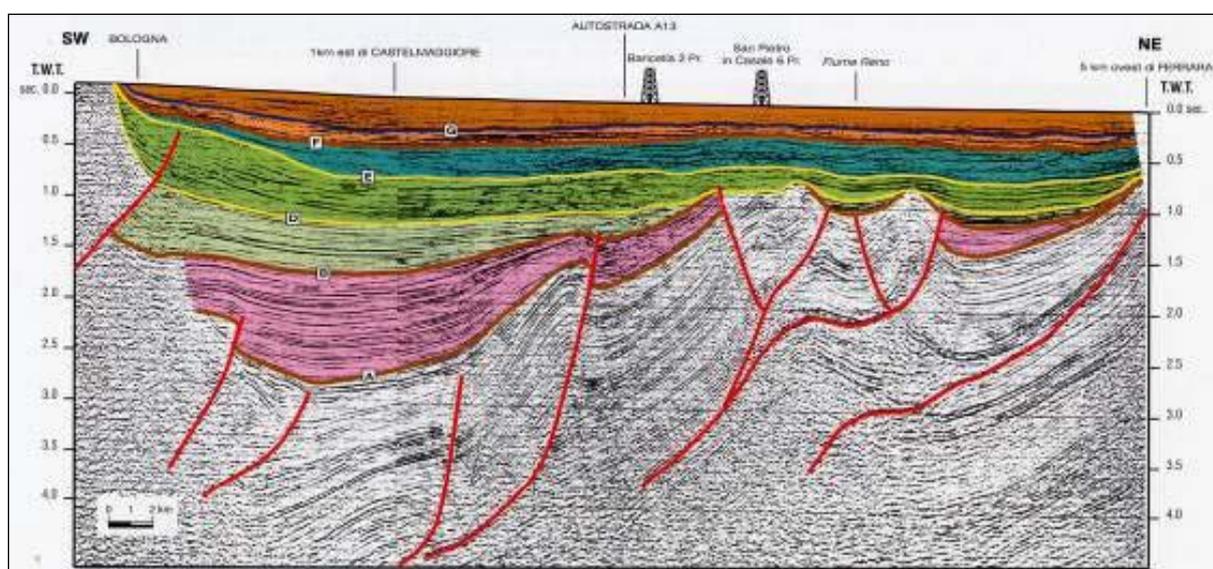


Figura 4-2 - Profilo sismico interpretato (cortesia AGIP, tratto da Regione Emilia Romagna - ENI -AGIP, 1998 :
Riserve idriche sotterranee della Regione Emilia Romagna, a cura di G. Di Dio)

Facendo riferimento alla sezione di *Figura 4-2* ed alla successione geologico-stratigrafica riportata nella pubblicazione da cui è tratta (Regione Emilia-Romagna, ENI-AGIP, 1998: "Riserve idriche sotterranee della Regione Emilia-Romagna". A cura di G. Di Dio), lo schema di riferimento per la pianura bolognese è costituito dalla successione di tre diverse sequenze deposizionali:

- *Supsintema del Pliocene medio-superiore: costituisce la base dei gruppi acquiferi del bolognese (età da 3,6 a 2,2 milioni di anni, in rosa nella sezione)*
- *Supsintema del Quaternario marino: caratterizzato dalla presenza di 4 complessi acquiferi, depositatisi nel periodo compreso tra 2,2 e 0,65 milioni di anni (in verde e blu nella sezione)*
- *Supsintema Emiliano-Romagnolo, che rappresenta la successione quaternaria continentale.*

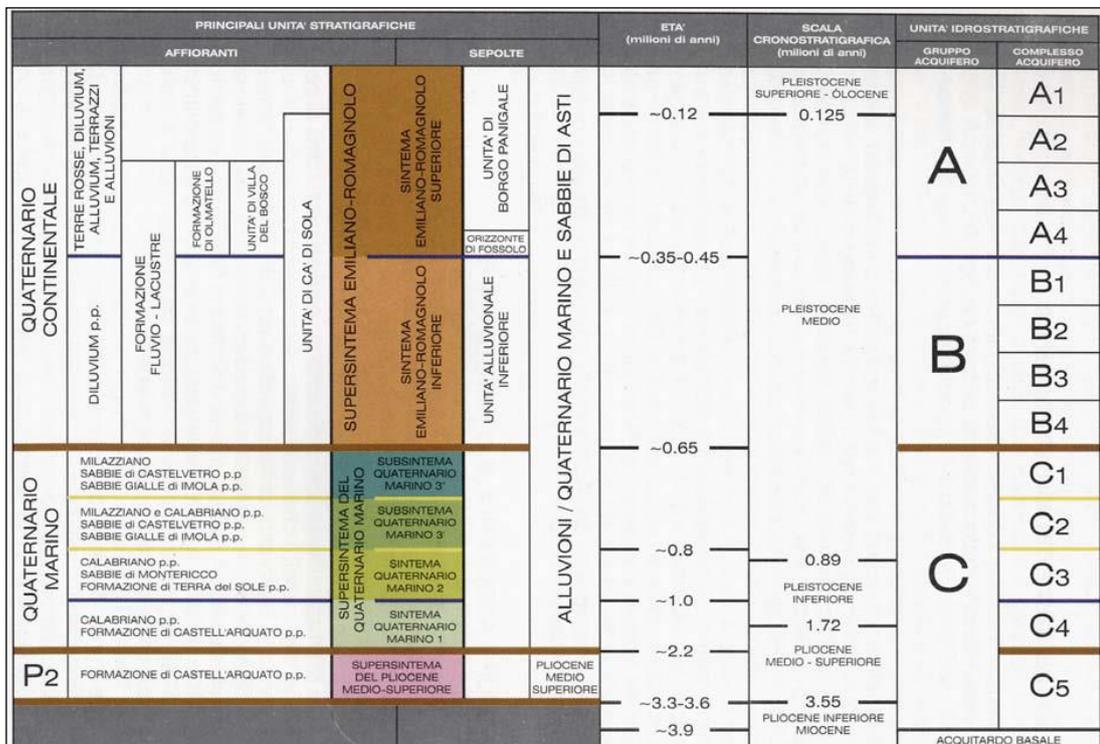


Figura 4-3 - Quadro geologico-stratigrafico e idrostratigrafico Regione Emilia Romagna

Il Supersistema Emiliano-Romagnolo è litologicamente caratterizzato da un'alternanza di ghiaie con scarse sabbie e peliti (argille e limi). In particolare è possibile riconoscere la presenza di due orizzonti pelitici di spessore significativo (superiore ai 20 metri), che consente di effettuare una distinzione in n. 3 megasequenze ghiaiose all'interno della successione in esame; i livelli pelitici sono i seguenti:

- orizzonte inferiore: segnalato alla profondità di 280 m dal p.c., presenta uno spessore di 20/25 m;
- orizzonte superiore: denominato Unità di Fossolo, è situato ad una profondità di circa 120/140 m dal p.c., con spessori variabili tra 20 m e 30 m (identificato con la lettera G nella sezione di *Figura 4-2*).

I terreni affioranti nei pressi dell'area in progetto sono raggruppati nel Supersistema Emiliano Romagnolo e sono inserite nel Subsistema di Ravenna (AES8) come facies di limi sabbiosi. La *Figura 4-4* illustra la distribuzione delle litologie affioranti nella zona di progetto.



Figura 4-4 - Stralcio della Carta geologica RER (scala grafica) della zona.

Descriveremo di seguito le caratteristiche delle litofacies ghiaiose, sabbiose e limoso argillose dei vari livelli che costituiscono il Subsistema.

LITOFACIES GHIAIOSE

I livelli ghiaiosi presentano un grado di organizzazione molto variabile. Le facies più disorganizzate sono generalmente massive, poco cernite e tipicamente matrice sostenute.

La matrice è rappresentata in genere da sabbie da fini a grossolane e da peliti. La dimensione massima dei ciottoli è di circa 25/30 cm e all'interno dei banchi non si riscontrano significative tendenze granulometriche. Questi depositi vengono generalmente interpretati come depositi da colata. Le facies organizzate sono più frequenti delle precedenti ed al loro interno è riconoscibile un motivo deposizionale definito da sequenze fining upward di 2/5 m di spessore a base grossolana. Sono disposte in corpi generalmente amalgamati, limitati alla base da superfici

debolmente erosive e irregolari, passanti verso l'alto a orizzonti discontinui o a lenti di sabbie a stratificazione incrociata o a laminazione parallela.

Questi depositi possono essere interpretati come il prodotto della migrazione delle barre fluviali e come il riempimento di canali secondari. Nell'area di interesse le ghiaie si rinvencono ad una profondità generalmente maggiore di 10,0 m.

LITOFACIES LIMOSO-SABBIOSE

Le sabbie sono generalmente comprese all'interno di unità prevalentemente fini come corpi isolati, oppure sovrastano le unità ghiaiose. Hanno geometria piano-concava, base erosiva e presentano una granulometria variabile da grossolana a fine che forma tipiche sequenze fining upward. Questi depositi sono interpretati come il riempimento di canali in ambiente di conoide intermedio distale e di piana alluvionale. I corpi che mostrano basso rapporto lunghezza/altezza corrispondono al riempimento di canali stabili, mentre quelli il cui rapporto è molto alto riflettono lo spostamento laterale del canale in condizioni di scarsa subsidenza. Lateralmente ai depositi di canale si ritrovano alternanze ritmiche di sabbie fini e finissime con limi sabbiosi organizzate in piccole sequenze a base netta, fining upward ed aventi spessore decimetrico.

Nei rari strati di maggior spessore si possono riconoscere una laminazione obliqua a piccola scala con presenza di ripples rampicanti e di stratificazione lenticolare. Si tratta di depositi di argine o di margine di canale dove avvenivano fenomeni di trazione-decantazione tra loro alternati.

LITOFACIES LIMOSO-ARGILLOSE

I livelli prevalentemente limosi vengono interpretati come depositi di argine distale che, lateralmente, passano a unità costituite da argille limose caratteristiche di ambienti a bassa energia ubicati tra due sistemi di canale-argine. All'interno della successione fine di piana alluvionale si segnalano inoltre degli orizzonti scuri o neri, con spessori variabili da alcuni decimetri ad oltre un metro, che mostrano un'altissima percentuale di sostanza organica (spesso si rinvencono frustoli vegetali e frammenti di legno). Questi orizzonti a forte

componente organica sono spesso associati a pacchi di argille di alcuni metri di spessore, con forti concentrazioni di molluschi che indicano un ambiente palustre di acqua dolce.

4.3 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

Gli acquiferi nell'area di pianura bolognese assumono un ruolo di primaria importanza nell'ambito della gestione delle risorse idriche sotterranee, alimentando i tre principali centri di approvvigionamento idrico comunale.

Gli approfondimenti condotti nell'ambito dei vari progetti consentono una descrizione dettagliata della struttura geologica del sottosuolo. Sono state identificate le seguenti unità idrogeologiche:

- Acquifero A1
- Acquitaro Alfa
- Acquifero A2, A3, A4 (unità acquifere accorpate in una singola unità denominata A234)
- Acquitaro Delta
- Acquifero B
- Acquitaro Epsilon
- Acquifero C

La *Figura 4-5* fornisce uno schema di comparazione fra la nomenclatura utilizzata in letteratura nell'ambito della definizione delle unità geologiche riconosciute, cui si è fatto riferimento in precedenza, e la denominazione delle unità idrogeologiche proposta più recentemente.

Sistema Acquifero		Acquitardi	Falde	
A	A1	A1c	SUP3-SUP4	
		A1b		
		A1a		
			Alfa	Profondo
	A2			
	A3			
	A4			
			Delta	
B				
		Epsilon		
C				

Figura 4-5 - Quadro riassuntivo delle unità geologiche ed idrogeologiche riconosciute.

La struttura geologica dell'area in esame è stata definita attraverso l'analisi di sondaggi e stratigrafie di pozzi idrici e tramite la ricostruzione di appropriate sezioni idrogeologiche.

Vengono di seguito descritte le principali caratteristiche delle unità idrogeologiche identificate:

ACQUIFERO A1

Rappresenta l'acquifero più superficiale. Di geometria cuneiforme, presenta spessori variabili da 24-28 m in prossimità del margine collinare a 65-70 m nelle zone più distali. Ospita un articolato complesso di falde superficiali.

ACQUITARDO ALFA

Questo acquitardo costituisce un importante elemento di suddivisione all'interno del Gruppo Acquifero A, separando il complesso delle falde superficiali dal complesso delle falde profonde. I depositi che lo costituiscono sono prevalentemente di tipo limoso-argilloso, con locali intercalazioni grossolane.

ACQUIFERO A2+A3+ A4 (A234)

La porzione dell'acquifero A sottostante l'Acquitardo Alfa è costituita dalle sottounità denominate A2, A3 e A4 di spessore complessivo compreso tra 40 e 160 m, aumentando in direzione Sud-Nord.

L'Acquifero A234 è sede di una falda profonda confinata caratterizzata da livelli piezometrici differenziati.

ACQUITARDO DELTA

L'Acquitardo Delta si localizza tra gli acquiferi A e B. Lo spessore è compreso tra 20 e 25 m ed i depositi sono prevalentemente limoso-argillosi, con locali intercalazioni grossolane.

ACQUIFERO B

Lo spessore complessivo di tale acquifero varia da 15 a 150 m, aumentando in direzione Nord, con sensibile riduzione riconosciuta in corrispondenza del centro storico di Bologna e connessa a motivi di attività tettonica.

È sede di una falda profonda confinata.

ACQUITARDO EPSILON

L'Acquitardo Epsilon separa gli acquiferi B e C. Nell'ambito dell'area in esame lo spessore varia da 15 a 25 m. I depositi che lo costituiscono sono essenzialmente siltoso-argillosi, con locali intercalazioni di sedimenti a granulometria grossolana.

ACQUIFERO C

L'Acquifero C è sede di un acquifero profondo confinato. I rilievi piezometrici eseguiti confermano l'esistenza di un acquifero multifalda costituito da un complesso di falde superficiali ed un complesso di falde profonde (*Farina et al., 2001*). Tale articolazione si sviluppa ulteriormente all'interno delle falde superficiali, localizzate nell'ambito dei primi 30-40 metri di profondità.

In corrispondenza di profondità inferiori o superiori, ovvero in riferimento a falde ospitate all'interno degli acquiferi B ed A1, si riscontrano livelli piezometrici nettamente diversi, con soggiacenza più prossima al piano campagna (A1) o più profonda (Ciclo B).

Vengono di seguito descritte le principali caratteristiche delle unità idrogeologiche profonde e superficiali e delle falde in esse contenute.

4.3.1 UNITÀ IDROGEOLOGICHE PROFONDE

Le falde profonde si collocano all'interno di acquiferi posti a profondità comprese tra 50-60 metri e 300-400 metri, corrispondenti alle unità stratigrafiche dei Cicli B e C e della porzione inferiore del Ciclo A. Tali corpi acquiferi sono caratterizzati da intercalazioni pelitiche che portano ad una elevata anisotropia della permeabilità. A profondità ulteriori è presente l'interfaccia acqua dolce-acqua salmastra (*Agip, 1972*); l'acqua presente a tali profondità non è pertanto sfruttabile a fini economici.

La documentazione piezometrica nota da letteratura (*Regione Emilia Romagna-Arpa, 1998*) evidenzia una profonda depressione nel conoide del Reno, dovuta agli intensi prelievi, che giunge a -55 m dal piano campagna.

L'evoluzione piezometrica temporale permette di osservare un continuo e progressivo abbassamento della falda, con medie di oltre 2 m/anno (*Artioli e Baldini, 1997*).

L'area bolognese, ubicata su uno dei più antichi centri di emungimento (campi pozzi di Borgo Panigale e Tiro a Segno), ha visto stabilizzarsi le quote piezometriche su livelli dinamici assai depressi, intorno alla metà degli anni '80 anche a seguito della diminuzione dei volumi sollevati.

Il richiamo causato dall'emungimento dei pozzi profondi si trasmette anche negli acquiferi più superficiali. Fenomeni di drenanza sono osservabili fino a circa 200 metri di profondità, pur verificandosi con particolare evidenza tra il piano campagna e i 70 metri di profondità (*Artioli e*

Baldini, 1997) dove la differenza tra le quote piezometriche dei diversi acquiferi è pari a circa 20-30 m.

La morfologia della superficie piezometrica risulta interessata da una marcata depressione localizzata all'interno del conoide del F. Reno. I valori di soggiacenza raggiungono, in queste zone, valori pari a -55 m dal piano campagna.

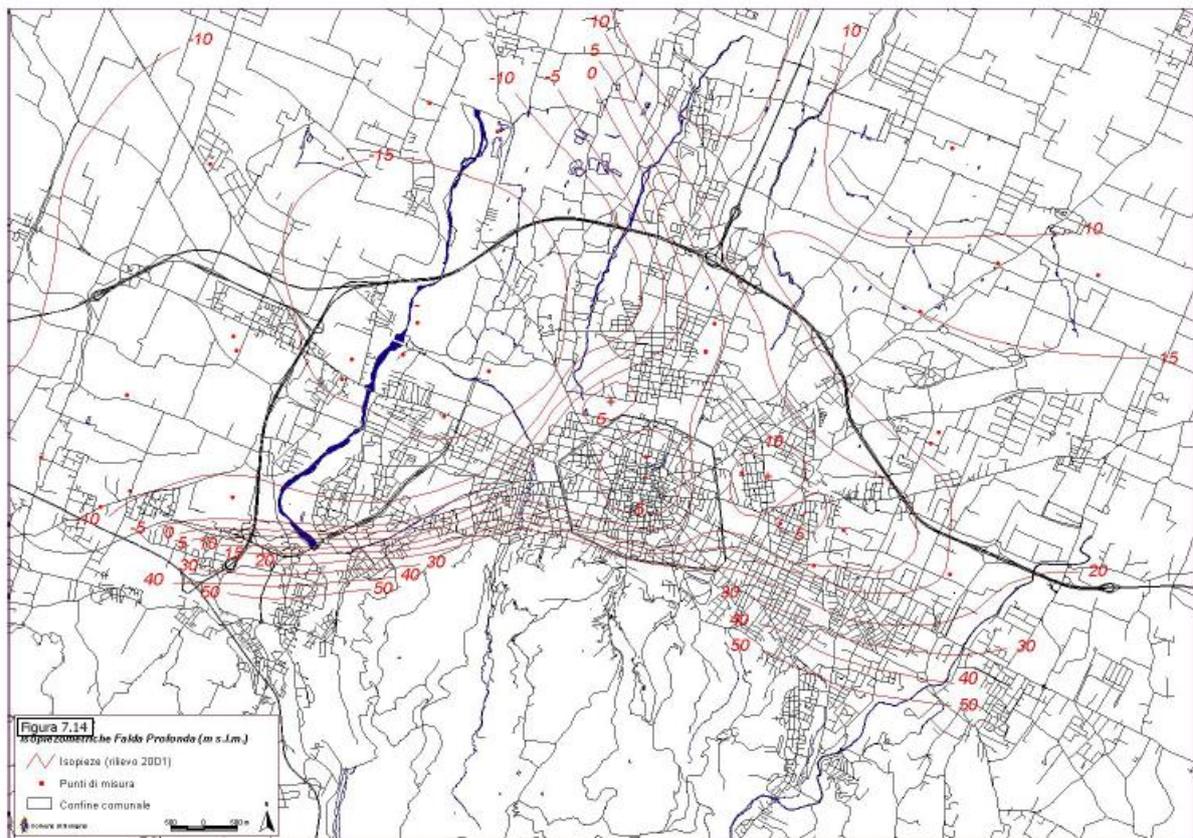


Figura 4-6 - Isopiezometriche falda profonda, m s.l.m. (da P.A.E.2007 - Comune di Bologna)

4.3.2 UNITÀ IDROGEOLOGICHE SUPERFICIALI

La struttura delle unità superficiali, contraddistinta come precedentemente descritto, dall'alternanza verticale di corpi a granulometria grossolana e fine, rappresenta una condizione favorevole per l'individuarsi di un acquifero multifalda.

All'interno dell'Unità A1 (o UBP4) sono stati riconosciuti tre corpi ghiaioso-sabbiosi, denominati A1a, A1b, A1c (*Farina et al., 1998*). Si tratta di corpi acquiferi parzialmente saturi, localmente in pressione, totalmente insaturi in corrispondenza di specifiche localizzazioni.

Le falde in essi contenute sono denominate, dalla più profonda alla più superficiale, SUP1, SUP2 e SUP3, e sono ospitate all'interno dei corpi acquiferi A1a A1b e A1c rispettivamente. Un'ulteriore falda, denominata SUP4, è contenuta nei depositi sabbioso siltoso-argillosi localizzati in corrispondenza degli spessori più superficiali. In quest'ultimo caso non è chiaramente riconoscibile un corpo acquifero permeabile delimitato da intervalli a bassa permeabilità. L'acquifero appare infatti costituito da corpi semipermeabili difficilmente circoscrivibili.

Viene di seguito fornita una descrizione dei principali lineamenti caratterizzanti il complesso delle falde superficiali.

UNITÀ SUP1 – CORPO ACQUIFERO: CICLO A1A

L'unità denominata SUP1 è contenuta all'interno del corpo acquifero A1a ghiaioso-sabbioso, situato a profondità variabile fra 25 e 55 metri e caratterizzato da spessori superiori a 15 m in corrispondenza delle parti depocentrali della conoide del Fiume Reno.

Il corpo acquifero A1 si sovrappone stratigraficamente all'orizzonte acquitardo Alfa (*Farina et al., 2001b*) e la morfologia della superficie piezometrica consente di individuare un settore interessato da linee di flusso divergenti localizzato in corrispondenza di depositi a valori di conducibilità idraulica limitata, correlabili ai corpi acquiferi prevalentemente canalizzati in matrice limoso-argillosa presenti nella zona di interconoide nel cui ambito si colloca il centro storico di Bologna.

In corrispondenza di questo settore si viene ad individuare uno spartiacque che separa i due bacini idrogeologici principali riferibili al F. Reno e al T. Savena.

Gli assi di drenaggio corrispondono essenzialmente agli assi depocentrali delle strutture di conoide.

I settori di conoide del F. Reno e del T. Savena risultano presentano condizioni di falda libera individuabili principalmente in posizione apicale e mediana, mentre nelle posizioni distali si rilevano condizioni di falda in pressione.

Il settore di conoide del F. Reno, in particolare, risulta caratterizzato prevalentemente da condizioni di falda libera correlabili alla presenza di spessori superficiali consistenti di depositi a granulometria grossolana.

In conseguenza della situazione sopra descritta, la falda SUP1 riceve localmente alimentazione diretta dalla superficie e dal corso d'acqua.

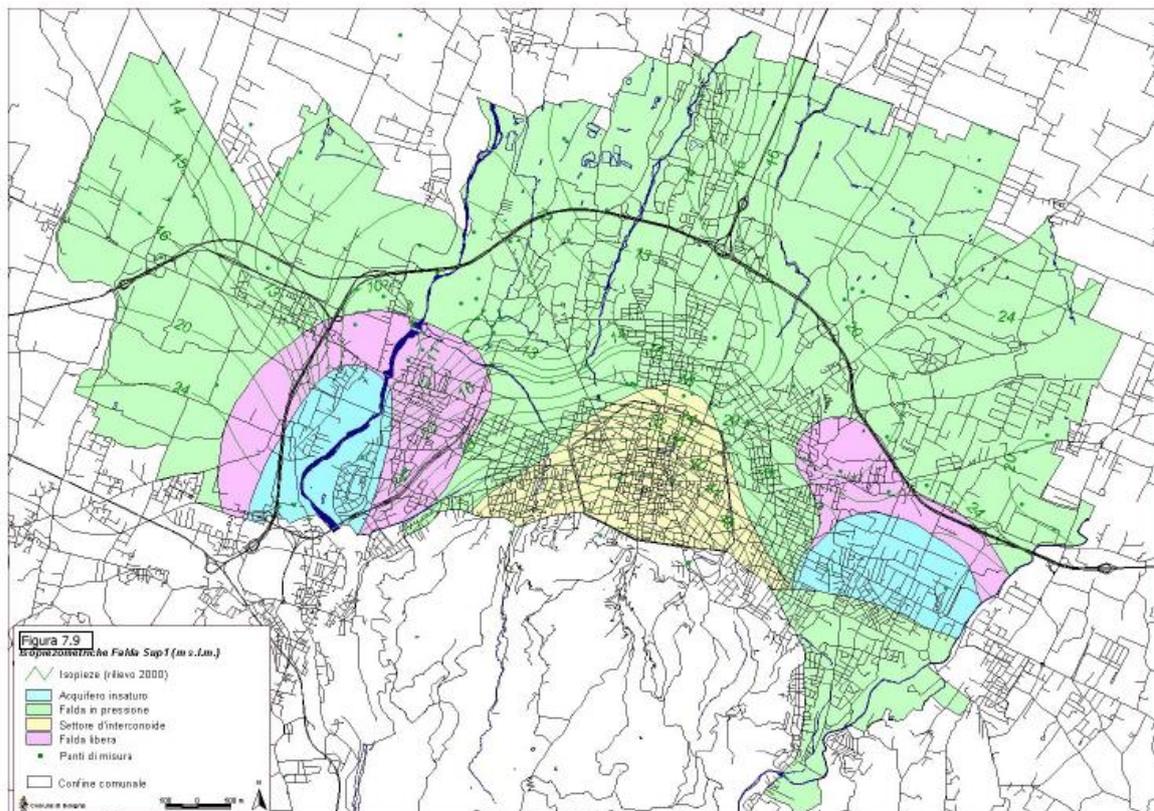


Figura 4-7 - Isopiezometriche falda Sup1, m s.l.m. (da P.A.E.2007 - Comune di Bologna)

UNITÀ SUP2 – CORPO ACQUIFERO: CICLO A1B

L'unità denominata SUP2 è contenuta all'interno dell'acquifero A1b e risulta stratigraficamente sovrapposta ad un acquitardo di minore importanza stratigrafica rispetto al caso precedentemente esaminato, caratterizzato da minori spessori di materiale grossolano, ridotti spessori di falda e una maggiore estensione areale del corpo grossolano

Il corpo acquifero A1b è caratterizzato da estesi corpi lenticolari delimitati in prevalenza da depositi fini e la struttura della falda SUP2 ripercorre i lineamenti morfologici della falda SUP1. Essa risulta caratterizzata da condizioni di falda libera per buona parte del territorio comunale. Condizioni di falda confinata si riscontrano nella porzione nord-orientale e nel settore di interconoide. In particolare, data l'esiguità degli intervalli costituiti litotipi a granulometria fine, in corrispondenza delle porzioni occidentali, interessate dalla presenza della conoide del F. Reno. In corrispondenza di questo settore il corpo acquifero A1b è privo di manifestazioni idriche; i corpi A1a e A1b risultano saldati insieme e il corpo A1b costituisce l'insaturo della sottostante falda SUP1.

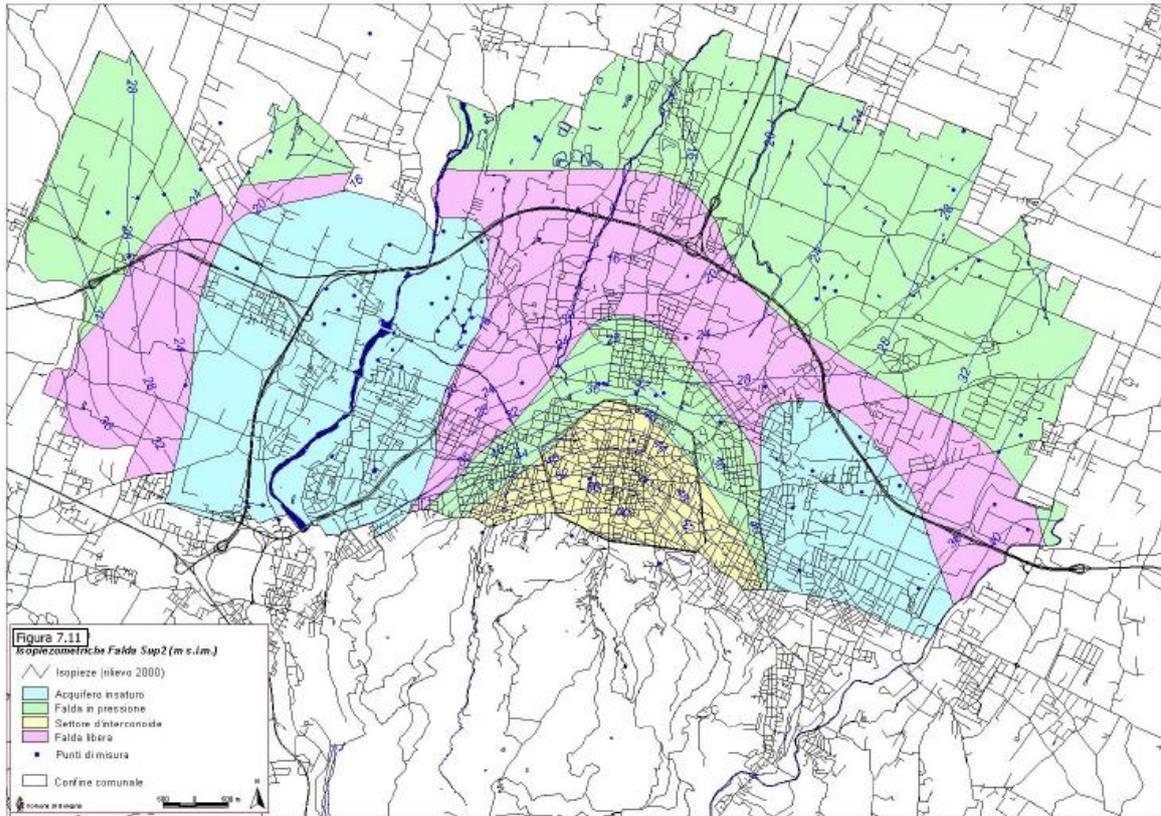


Figura 4-8 - Isopiezometriche falda Sup2, m s.l.m. (da P.A.E.2007 - Comune di Bologna)

UNITÀ SUP3 E SUP4 – CORPO ACQUIFERO: CICLO A1C

Il corpo acquifero A1c costituisce il corpo grossolano più prossimo al piano campagna. Le sue dimensioni sono meno rilevanti rispetto ai corpi A1a e A1b, nonostante la struttura a corpi ghiaiosi coalescenti mantenga una larghezza comunque considerevole e pari anche a 4-5 km.

La falda contenuta all'interno dell'unità descritta (SUP3) presenta solitamente una minore continuità rispetto alla falda sottostante.

Si riscontra una totale assenza di falda superficiale all'interno di un ampio settore assiale ai conoidi del F. Reno e del T. Savena, legata alla mancanza di orizzonti a granulometria fine di spessore e continuità sufficienti ad interrompere la continuità dei depositi ghiaiosi superficiali.

La situazione descritta si rileva lungo il tracciato del F: Reno in corrispondenza di un settore di larghezza pari a circa 3-4 km, individuabile da Casalecchio al confine comunale settentrionale.

Nell'ambito del conoide del T. Savena tale situazione si riscontra all'interno di un settore ampio circa 3 km. La morfologia della superficie piezometrica della falda SUP4 evidenzia, inoltre, la depressione prodotta dal drenaggio esercitato dal Canale Navile nella parte occidentale del comune fino entro il limite del centro storico. Tale funzione di drenaggio porta a situazioni di depressione allungata nel senso del corso di acqua.

È però plausibile ammettere che tale andamento delle isolinee venga accentuato dai numerosi vuoti di ex cava ivi presenti.

Si osserva, inoltre, l'effetto di ricarica operata dal paleoalveo del Savena che determina la formazione di un possibile spartiacque.

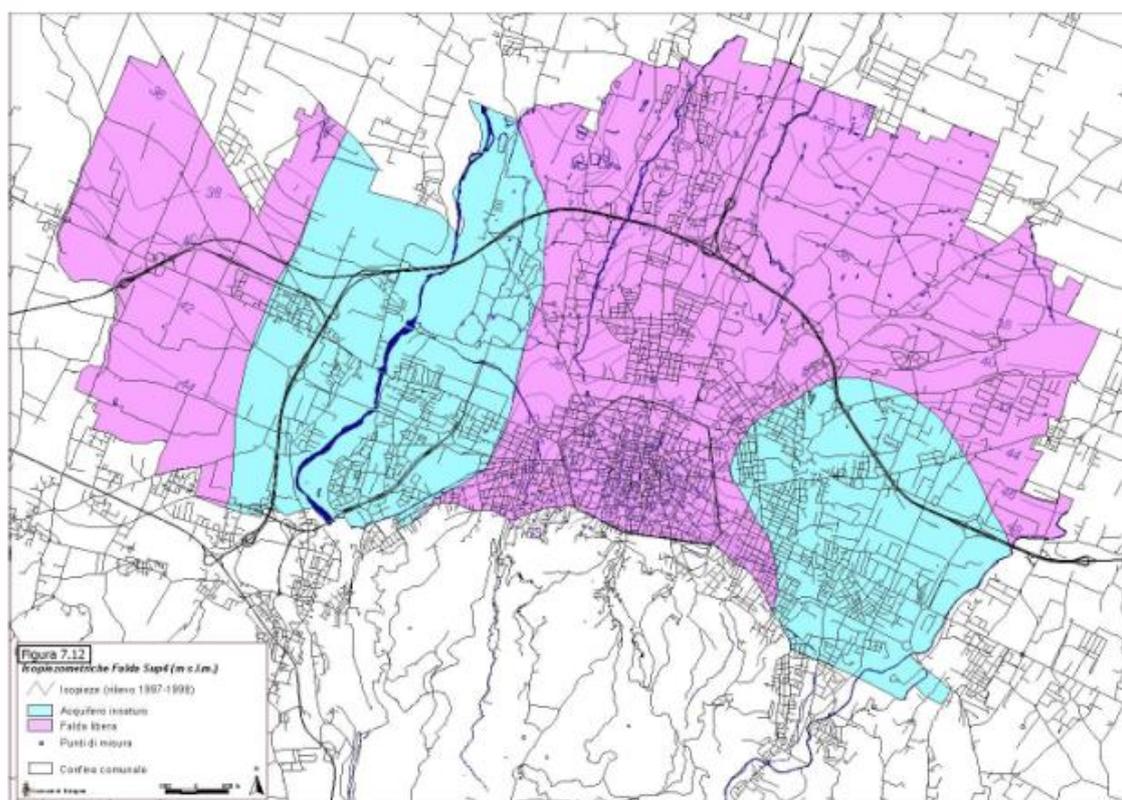


Figura 4-9 - Isopiezometriche falda Sup4, m s.l.m. (da P.A.E.2007 - Comune di Bologna)

5. SUBSIDENZA

La subsidenza è un fenomeno che va inteso come movimento della superficie del terreno che interessa aree relativamente estese, con direzione prevalentemente verticale (Viggiani, 1978).

Si tratta di un movimento, generalmente lento, graduale e costante che può avere origini sia di tipo naturale sia antropico ma che, sempre più spesso, viene attivato o accelerato dalla compartecipazione delle due cause.

Le cause naturali possono così riassumersi:

- correnti magmatiche subcrostali (moti convettivi);
- risposta isostatica ad un sovraccarico che si verifica sulla crosta terrestre (imponente apporto sedimentario; crescita dei sistemi glaciali);
- perdita dei fluidi interstiziali nei terreni non cementati;
- costipamento negli accumuli di detriti;
- assestamenti nelle aree vulcaniche a seguito di eventi che determinano fuoriuscite di masse magmatiche (bradisismo negativo).
- Le cause antropiche in linea di massima sono invece:
 - estrazione di idrocarburi, sia fluidi che gassosi, presenti nel sottosuolo con costipamento dei sedimenti che li contengono;
 - emungimento della falda idrica con conseguente riduzione delle pressioni idrostatiche incremento delle tensioni efficaci ed innesco di fenomeni di consolidazione nei terreni coesivi;
 - esecuzione di bonifiche idrauliche con allontanamento di acqua e conseguente compattazione dei terreni;
 - aumento del carico statico dovuto alla edificazione con addensamento del terreno sottostante.

La subsidenza derivante da cause naturali si presenta generalmente con ritmi graduali e tempi piuttosto lenti. Quella attivata invece da azioni antropiche si presenta con velocità di abbassamento elevate ed elementi di imprevedibilità circa gli sviluppi e gli effetti.

Spesso il fenomeno risulta indotto dalla azione integrata delle cause naturali e quelle antropiche ed in tal caso assume la connotazione del rischio ambientale e come tale occorre che venga valutato in un confronto con la vulnerabilità territoriale.

5.1 SUBSIDENZA LOCALE: I DATI

Come evidenziato da ARPA nel progetto di rilievo della subsidenza in Emilia-Romagna realizzato per la Regione e la Provincia di Bologna, l'elemento primario è stato l'aggiornamento delle conoscenze sul fenomeno della subsidenza da un punto di vista geometrico, su un area di indagine che comprende l'intera pianura regionale, circa 11.000 km².

L'elemento innovativo è stato l'utilizzo del metodo satellitare dell'interferometria differenziale: il metodo è noto da almeno una quindicina di anni ma solo dopo l'avvento della tecnica PSInSAR™, nel 2000, ha mostrato tutte le sue reali potenzialità, in particolare per la valutazione dei movimenti verticali del suolo utilizzando un grande numero di bersagli radar a terra.

La misura di tali movimenti, specie se piccoli, è stata sempre affidata ad operazioni topografiche quali le livellazioni geometriche di alta precisione che, pur fornendo ottimi risultati quanto a qualità delle misure, non possono fornire un'informazione altrettanto capillare e diffusa.

Un metodo non esclude l'altro: entrambi vanno utilizzati in completa integrazione. Nel 2005 è stata realizzata la misura di una rete di livellazione, sottoinsieme della rete regionale, di circa 1000 km di sviluppo, per confrontarla con le misure del 1999 e determinare i movimenti del suolo relativamente a circa un migliaio di capisaldi. Questa campagna, oltre a fornire una prima visione del fenomeno, è servita per operare tutte quelle verifiche indispensabili ai fini di un concreto utilizzo del metodo satellitare.

Successivamente sono state realizzate analisi interferometriche e sono state compiute le operazioni necessarie per la validazione e la messa a punto dei dati radar. Lo studio ha dimostrato come la tecnica dei diffusori permanenti radar possa essere utilizzata per questo tipo di analisi territoriali, anche se sono emersi alcuni problemi, soprattutto per indagini così ad ampia scala, come la necessità di elaborazioni congiunte di un gran numero di immagini appartenenti a molte traks differenti, o la necessità di operare separatamente per siti e successivamente mosaicare i risultati. Quest'ultima procedura darebbe probabilmente risultati migliori se per ogni sito si potesse disporre sia di un punto di riferimento di cui fosse noto, da misure di altro tipo, il movimento in atto, sia di altri capisaldi da usare come punti di controllo. A tal fine è risultato di grande utilità il supporto delle misure di livellazione geometrica, tanto da risultare un riferimento imprescindibile per un corretto utilizzo del dato interferometrico.

I risultati ottenuti forniscono un quadro di dettaglio del fenomeno della subsidenza a scala regionale in un arco temporale molto ampio, che va letto ricordando il grado di incertezza associato alle velocità calcolate. I valori più elevati sono quelli che caratterizzano una vasta area della provincia di Bologna, con abbassamenti medi intorno a 20 mm/anno, sebbene si registri, in generale, un notevole miglioramento rispetto agli anni '90.

PERIODO 1992-2000

Nel periodo 1992-2000 nella provincia di Bologna il fenomeno si presenta particolarmente accentuato sia per i valori massimi, oltre 40 mm/anno, sia per l'estensione della superficie interessata, oltre 600 km², i cui confini arrivano a sud con la via Emilia da Ponte Samoggia fino ad Ozzano dell'Emilia, a ovest ai centri di San Giovanni in Persiceto e di San Matteo della Decima, a nord sino a Pieve di Cento e ad est ai centri di San Giorgio di Piano, di Minerbio e di Budrio.

All'interno di tale area in particolare si distinguono tre zone di massimo sprofondamento in corrispondenza di Sala Bolognese, Bonconvento e Cadriano con oltre 40 mm/anno; mentre al di

fuori di tale area si notano altri 2 coni di abbassamento significativi in corrispondenza della località Poggio (4 km a nord di Castel San Pietro) con un massimo di 30 mm/anno e di Sasso Morelli (5 km a est di Castel Guelfo) con un massimo di circa 20 mm/anno.

Per ciò che riguarda in dettaglio il territorio comunale di Bologna, si hanno i massimi abbassamenti registrati, pari anche a 45 mm/anno (vd. Figura 5-1).

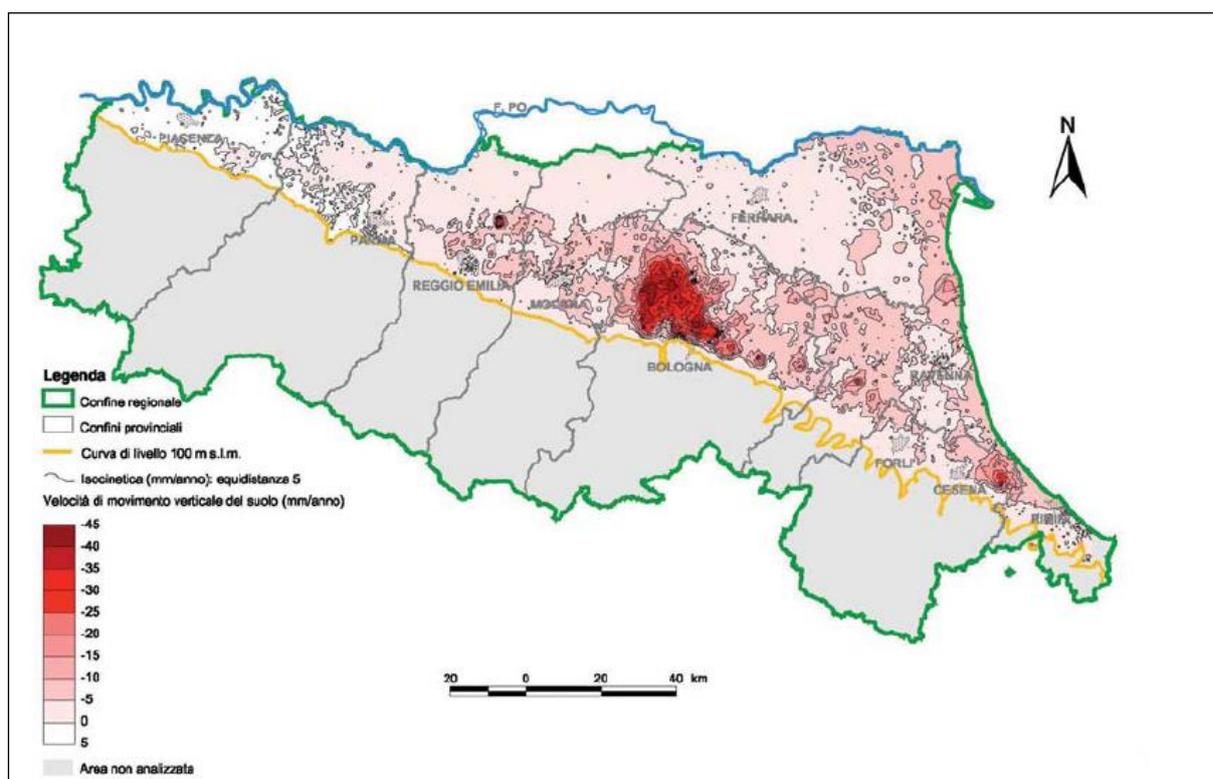


Figura 5-1 - Carta delle velocità di movimento verticale del suolo nel periodo 1992-2000 – Provincia di Bologna.

PERIODO 2002-2006

Nel periodo 2002-2006 nella stessa provincia di Bologna si evidenziano abbassamenti generalmente in accentuata riduzione rispetto al periodo precedente; in particolare tale riduzione è evidente in corrispondenza dell'area ampia, anche se sono ancora presenti alcuni picchi localizzati nei pressi di Sala Bolognese, Anzola dell'Emilia e Cadriano con circa 30 mm/anno e Bonconvento con circa 40 mm/anno.

Al di fuori di tale area, si evidenzia ancora il cono di sprofondamento della località Poggio, con un massimo di 30 mm/anno come nel periodo precedente. Viene confermata anche l'area di abbassamento presso Sasso Morelli seppure con valori di poco inferiori (15 mm/anno). Si evidenzia inoltre la scomparsa dell'area di sprofondamento localizzata precedentemente a nord di Ozzano dell'Emilia, mentre per l'area compresa all'interno del comune di Bologna, si nota un accentuamento del fenomeno di subsidenza con valori massimi di abbassamento compresi tra i 0 ed i 35 mm/anno (vd. Figura 5-2).

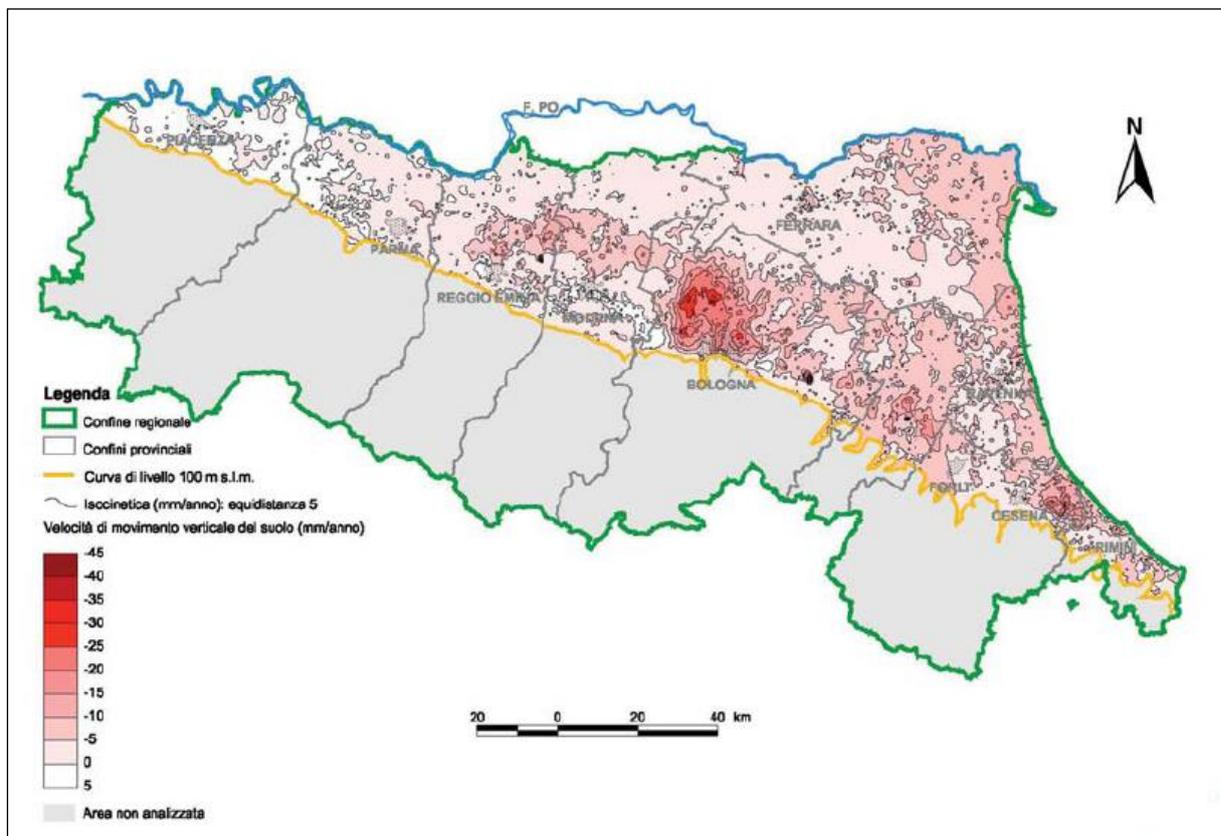


Figura 5-2 - Carta delle velocità di movimento verticale del suolo nel periodo 2002-2006 – Provincia di Bologna.

PERIODO 2006-2011

Dall'esame degli elaborati prodotti si evince che la gran parte del territorio di pianura della regione non presenta nel periodo 2006-11 variazioni di tendenza rispetto al periodo 2002-06; circa un terzo della superficie evidenzia una riduzione della subsidenza e appena il 3% un incremento, presente in particolare nel Modenese, Bolognese, Ravennate e Forlivese.

Il Bolognese si conferma come il territorio più subsidente, nonostante continui la tendenza, già in atto da alcuni decenni, verso una progressiva riduzione degli abbassamenti. Persiste, infatti, un'ampia area a ridosso della città di Bologna, con una superficie di oltre 500 km², con un abbassamento medio di circa 15 mm/anno e punte massime di oltre 30 mm/anno in corrispondenza di Sala Bolognese, Lavino di Sotto e dell'area tra Lavino di Mezzo e Anzola dell'Emilia; di oltre 35 mm/anno in corrispondenza della cassa di espansione a ridosso del Fiume Reno nei pressi di Malacappa; di oltre 30 mm/anno a Castello d'Argile e di oltre 20 mm/anno a Castelmaggiore. Il centro storico di Bologna, in particolare, risulta invece esente da abbassamenti significativi (alcuni mm/anno).

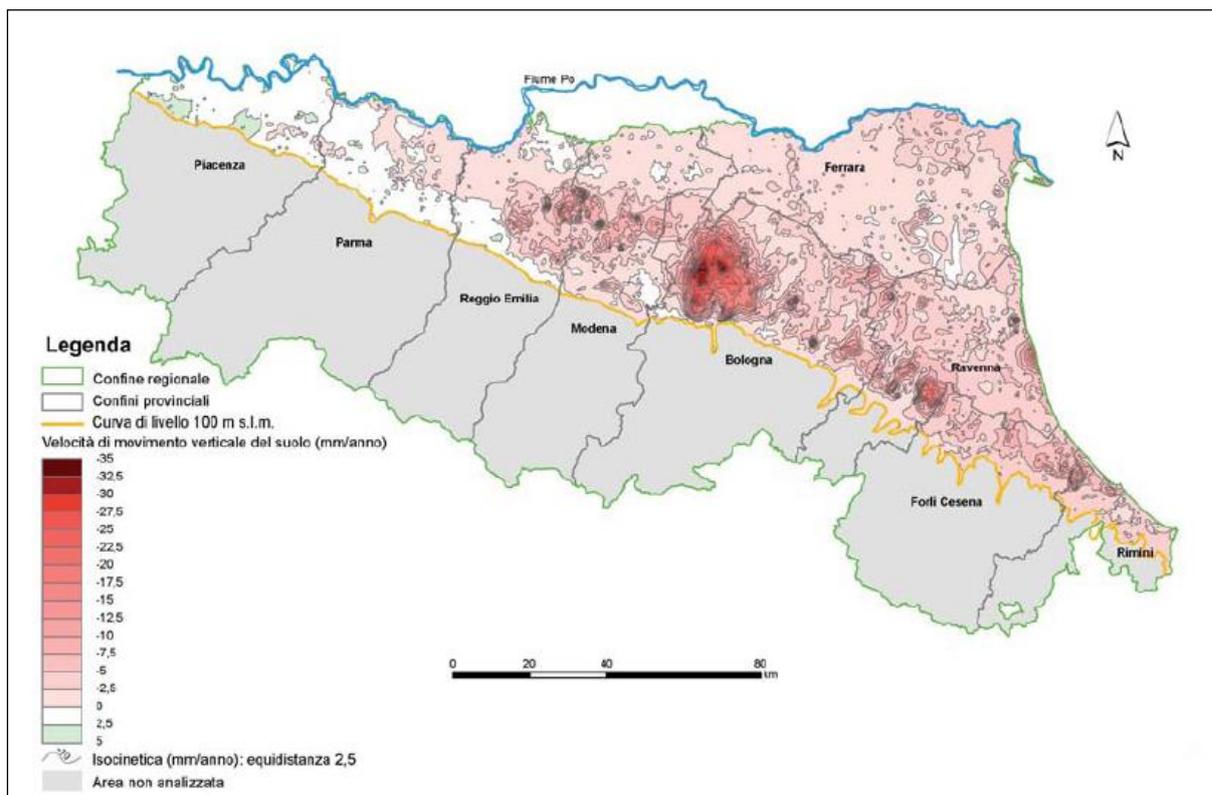


Figura 5-3 - Carta delle velocità di movimento verticale del suolo nel periodo 2006-2011 – Provincia di Bologna.

PERIODO 2011-2016

Nel periodo di osservazione 2011-16, per la provincia di Bologna, risulta immediatamente evidente la forte riduzione della velocità media di abbassamento del suolo e, in particolare, la progressiva diminuzione e quindi scomparsa delle superfici territoriali caratterizzate dai fenomeni di subsidenza maggiormente critici: già al 2000 la percentuale di superficie con velocità di abbassamento maggiori di 20 mm/anno si era più che dimezzata, per poi scomparire del tutto nell'ultima campagna, che evidenzia limitatissime superfici con velocità superiore a 10 mm/anno.

È possibile affermare che, l'abbassamento generalizzato che ha caratterizzato in passato il territorio bolognese, sia per vastità delle superfici interessate sia per i valori di velocità particolarmente elevati, si è fortemente ridimensionato, in ragione principalmente della riduzione dei prelievi acquedottistici. Il 39% dell'intero territorio presenta una riduzione della



subsidenza e nel dettaglio la città di Bologna presenta abbassamenti di alcuni mm/anno fino a massimi di 5 mm/anno, grosso modo in linea con il precedente rilievo.

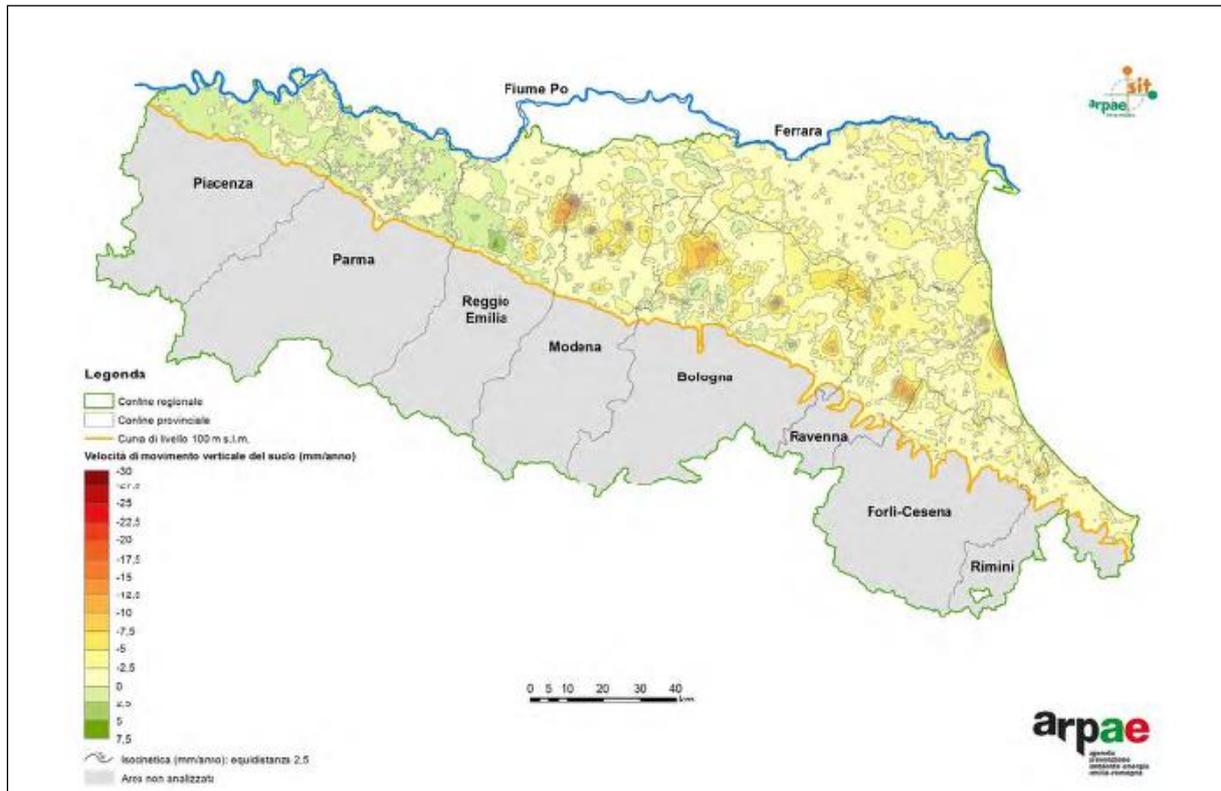


Figura 5-4 - Carta delle velocità di movimento verticale del suolo nel periodo 2011-2016 – Provincia di Bologna.

6. INQUADRAMENTO SISMICO

6.1 MACROSISMICITÀ DELL'AREA

La raccolta di dati storici relativi la macrosismicità dell'area consente una prima approssimazione delle caratteristiche tettono-sismiche di sito e consente di ottenere data, intensità macrosismica e magnitudo momento degli eventi indicativi relativi all'area in esame. Questi stessi eventi registrati, combinati con una schematizzazione delle sorgenti sismogenetiche e con leggi di attenuazione del moto sismico, sono la base per il calcolo probabilistico delle PGA0 relative il bedrock sismico.

Viene di seguito riportata la tabella degli eventi registrati che hanno interessato l'area e il relativo grafico-istogramma per il Comune di Bologna (*vedi Figura -1*).

Gli eventi nell'archivio storico sono 183 ed includono il periodo tra 1065 e il 2004 e hanno Magnitudo comprese tra 4.09 (anno 1174 e 1383) e 7.02 (anno 1348).

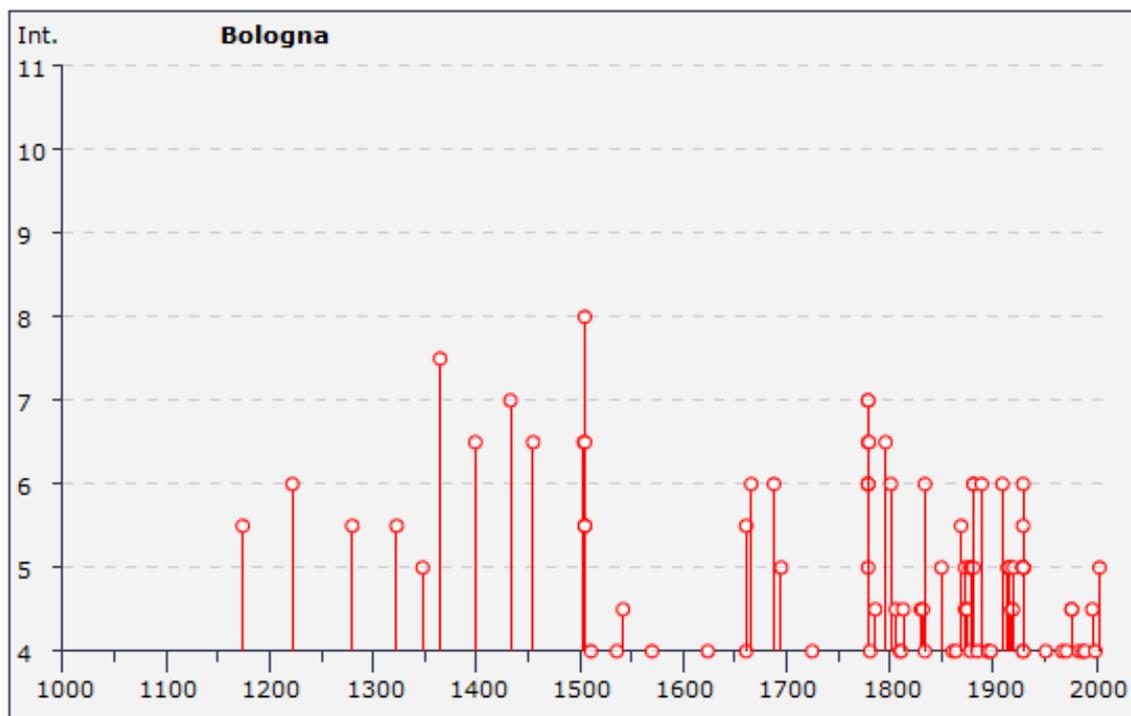


Figura 6-1 - Istogramma di intensità macrosismica di Bologna (BO)

Il territorio di Bologna (BO) si trova all'interno della zona sismogenetica 913 ed in piccola parte nella zona sismogenetica 912 (Meletti e Valensise 2004) come rappresentato nella seguente Figura 6-2.

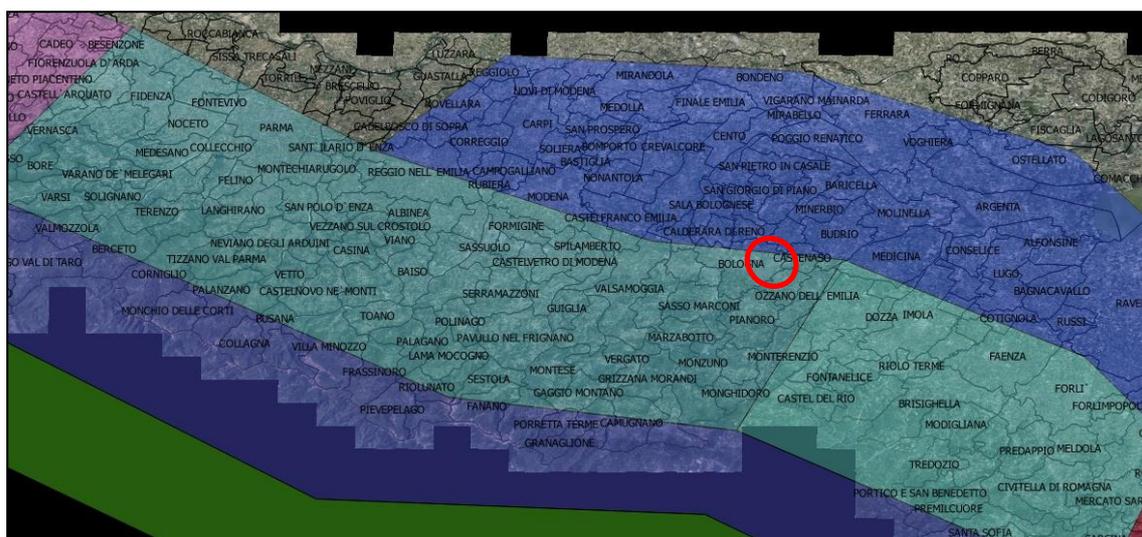


Figura 6-2 - Zone sismogenetiche riguardanti l'Emilia Romagna (Meletti e Valensise 2004).

Per una successiva schematizzazione della macro-sismicità: il territorio nazionale viene suddiviso in 4 differenti zone sismiche, ognuna contrassegnata da un diverso parametro a_g (PGA0), espresso come una frazione dell'accelerazione di gravità. Il territorio comunale di Bologna (BO) è classificato come Zona sismica 3.

Zona	Valore di a_g
1	0,35g
2	0,25g
3	0,15g
4	0,05g

Sulla base dei dati precedentemente presentati: il metodo proposto in "Indirizzi e criteri di microzonazione sismica" (I.C.M.S. 2009) per la stima del valore di Magnitudo di progetto attesa al sito viene di seguito riportato:

Si considera sempre la zonazione sismogenetica (ZS9), Secondo la quale la sismicità può essere distribuita in 36 zone, a ciascuna delle quali è associata una Magnitudo Momento massima M_{wmax} .

Per i siti che ricadono all'interno di una delle 36 zone sismogenetiche predette si assume come M il valore di M_{wmax} .

Ai fini della verifica a liquefazione e per i siti che non ricadono in alcuna zona si determinano le minime distanze (R) dalle zone (j) circostanti e si controlla per ciascuna di esse se la magnitudo M_i della zona è inferiore alla Magnitudo fornita dalla relazione $M_s=1+3\log(R)$. Se ciò accade, la verifica a liquefazione non è necessaria. Se invece è necessaria: si assume il valore di Magnitudo M_i più alto fra quelli per i quali la verifica risulta necessaria.

In alternativa è possibile il processo di disaggregazione della PGA. Questo processo permette di valutare, grazie alla mappatura delle zone sismogenetiche, il contributo di vari scenari Magnitudo-distanza epicentrale ($M-R$) alla determinazione della PGA_0 di sito. In un certo senso si può considerare come il processo inverso a quello probabilistico per la costruzione della mappa di pericolosità sismica del territorio Italiano. Sulla base dei suddetti criteri l'area oggetto di studio rientra entro la zona sismogenetica 913, per tanto la relativa Magnitudo Momento Massima attesa al sito è $M_{wmax}=6.14$. Mentre in *Figura 6-3 e 6-4* sono riportate le carte di disaggregazione delle PGA elaborate da INGV per il Comune di Bologna, la quale evidenzia che i terremoti più probabili attesi nell'area hanno una Magnitudo Momento media $M_{wmedia}=4.910$ e una Magnitudo Momento massima $M_{wmax}=5.774$.

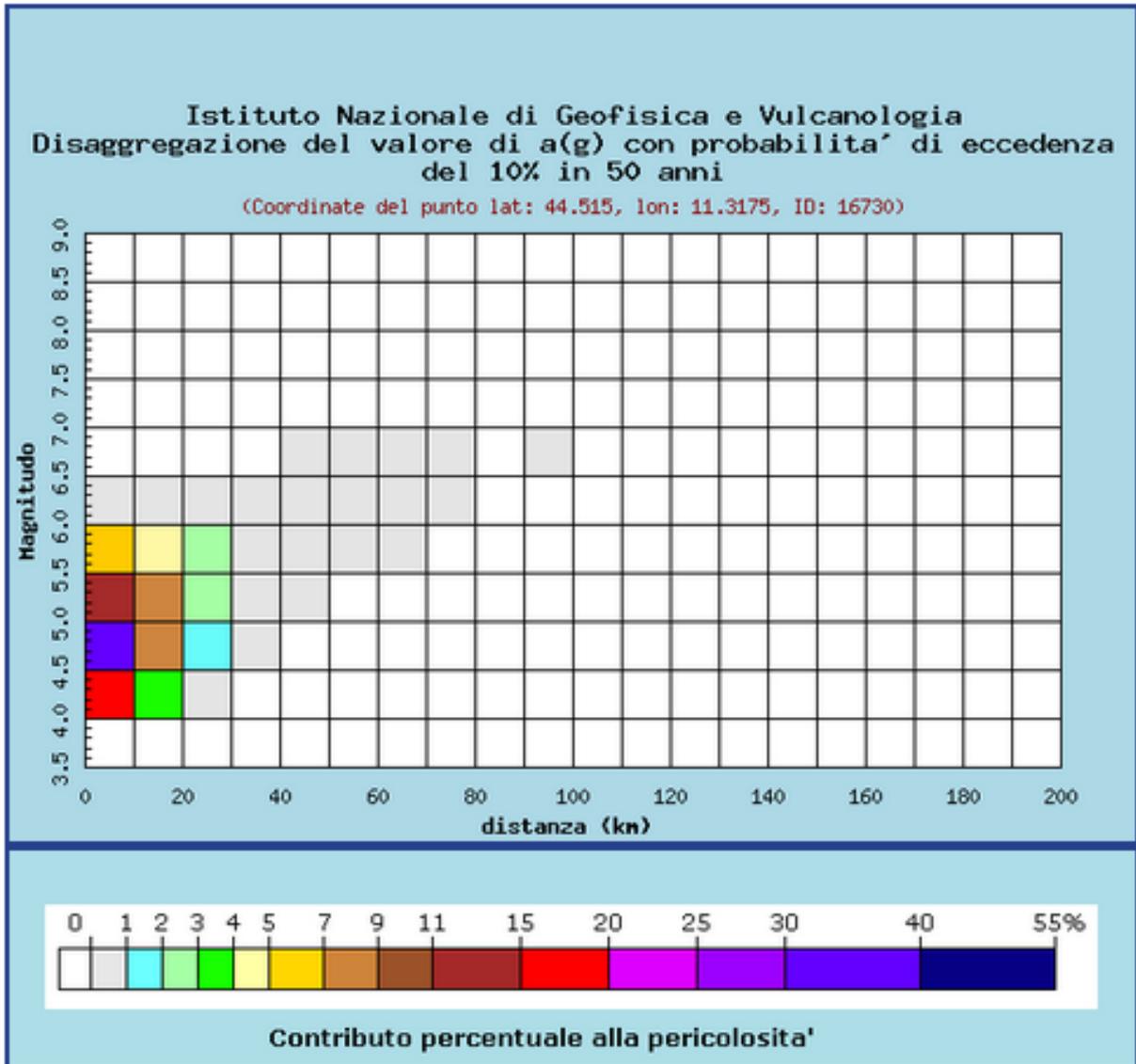


Figura 6-3 - Grafico di disaggregazione delle PGA0 (INGV).



Distanza in km	Disaggregazione del valore di a(g) con probabilita' di eccedenza del 10% in 50 anni (Coordinate del punto lat: 44,515, lon: 11.3175, ID: 16730)										
	Magnitudo										
	3,5-4,0	4,0-4,5	4,5-5,0	5,0-5,5	5,5-6,0	6,0-6,5	6,5-7,0	7,0-7,5	7,5-8,0	8,0-8,5	8,5-9,0
0-10	0.000	18.600	30.200	14.200	5.060	0.240	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10-20	0.000	3.280	8.830	7.550	4.450	0.360	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
20-30	0.000	0.072	1.080	2.220	2.030	0.203	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
30-40	0.000	0.000	0.017	0.398	0.741	0.098	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
40-50	0.000	0.000	0.000	0.023	0.208	0.070	0.008	0.000	0.000	0.000	0.000
50-60	0.000	0.000	0.000	0.000	0.023	0.031	0.008	0.000	0.000	0.000	0.000
60-70	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.006	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000
70-80	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000
80-90	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
90-100	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
100-110	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
110-120	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
120-130	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
130-140	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
140-150	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
150-160	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
160-170	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
170-180	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
180-190	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
190-200	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Valori medi		
Magnitudo	Distanza	Epsilon
4.910	8.800	0.864

Figura 6-4 - Tabella di disaggregazione delle PGA0 (INGV).

6.2 PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE

Con l'entrata in vigore del D.M. 17 gennaio 2018 la stima della pericolosità sismica, intesa come accelerazione massima orizzontale su suolo rigido ($V_{s30} > 800$ m/sec), viene definita mediante un approccio "sito dipendente" e non più tramite un criterio "zona dipendente". Pertanto, la stima dei parametri spettrali necessari per la definizione dell'azione sismica di progetto viene effettuata calcolandoli direttamente per il sito in esame, utilizzando le informazioni disponibili nel reticolo di riferimento (D.M. 17/01/18).

<i>Tipo di opera</i>	2 Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di dimensioni normali
<i>Vita nominale</i> V_N	≥ 50
<i>Classe d'uso</i>	IV Funzioni pubbliche o strategiche importanti
<i>Coefficiente d'uso</i> C_U	2
<i>Vita di riferimento</i> $V_R = V_N \cdot C_U$	100

6.3 AZIONE SISMICA DI PROGETTO

Nei confronti delle azioni sismiche gli stati limite, sia di esercizio che ultimi, sono individuati riferendosi alle prestazioni della costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e gli impianti.

Gli stati limite di esercizio sono:

- Stato Limite di Operatività (SLO): a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, non deve subire danni ed interruzioni d'uso significativi;

- Stato Limite di Danno (SLD): a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, subisce danni tali da non mettere a rischio gli utenti e da non compromettere significativamente la capacità di resistenza e di rigidità nei confronti delle azioni verticali ed orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature.

Gli stati limite ultimi sono:

- Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV): a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidità nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidità per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali;
- Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC): a seguito del terremoto la costruzione subisce gravi rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e danni molto gravi dei componenti strutturali; la costruzione conserva ancora un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni orizzontali.

I parametri di interesse necessari per la definizione dell'azione sismica, sono stati determinati per diverse sezioni del tracciato ricadenti nelle rispettive maglie di riferimento.

Nelle tabelle con T_R (in anni) e a_g (in g) si indica rispettivamente il tempo di ritorno e l'accelerazione di picco su suolo di categoria A.

In fase progettuale, fissato il periodo di riferimento V_R e stabilita la probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{VR} (funzione dello stato limite considerato, Tabella 1), è possibile stimare il periodo di ritorno dell'azione sismica T_R attraverso l'espressione:

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

Stati limite di esercizio (PVR)	Stati limite ultimi (PVR)
SLO - Stato limite di operatività (81%)	SLV- Stato limite di salvaguardia (10%)
SLD - Stato limite di danno (63%)	SLD – Stato limite di prevenzione del collasso (5%)

Qualora la pericolosità sismica su reticolo di riferimento non contempli il periodo di ritorno corrispondente al V_R e alla probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{VR} fissate in progetto, il valore del generico parametro p (a_g , F_o , T^*_c) ad esso corrispondente potrà essere ricavato per interpolazione, a partire dai dati relativi ai T_R previsti nella pericolosità sismica, utilizzando l'espressione seguente:

$$\log(p) = \log(p_1) + \log\left(\frac{p_2}{p_1}\right) \times \log\left(\frac{T_R}{T_{R1}}\right) \times \left[\log\left(\frac{T_{R2}}{T_{R1}}\right)\right]^{-1}$$

nella quale:

- p è il valore del parametro di interesse corrispondente al periodo di ritorno T_R desiderato;
- T_{R1} , T_{R2} sono i periodi di ritorno più prossimi a T_R per i quali si dispone dei valori p_1 e p_2 del generico parametro p .

I valori dei parametri a_g , F_o , T^*_c relativi alla pericolosità sismica su reticolo di riferimento sono forniti nelle tabelle riportate in Allegato alle NTC.

Si riportano di seguito le tabelle con i valori dei parametri a_g , F_o e T^*_c , in funzione del periodo di ritorno T_R . I valori dei parametri a_g , F_o , T^*_c sono stimati come media pesata dei valori assunti dai parametri nei 4 vertici della maglia elementare del reticolo di riferimento, utilizzando come pesi gli inversi delle distanze tra il punto in questione e i 4 vertici sopraccitati.

Da pk 0 a pk 2050				
STATI LIMITE	TR [anni]	a_g [g]	F_o	T^*_c [s]
SLO	60	0.069	2.491	0.275
SLD	101	0.086	2.485	0.285
SLV	949	0.210	2.432	0.308
SLC	1950	0.265	2.439	0.314
Periodo di riferimento per l'azione sismica	100			

Da pk 2050 a pk 4700				
STATI LIMITE	TR [anni]	a_g [g]	F_o	T^*_c [s]
SLO	60	0.071	2.487	0.275
SLD	101	0.088	2.476	0.285
SLV	949	0.208	2.428	0.315
SLC	1950	0.259	2.454	0.321
Periodo di riferimento per l'azione sismica	100			

Da pk 4700 a pk 12800				
STATI LIMITE	TR [anni]	a_g [g]	F_o	T^*_c [s]
SLO	60	0.072	2.478	0.275
SLD	101	0.089	2.470	0.286
SLV	949	0.211	2.440	0.314
SLC	1950	0.266	2.447	0.320
Periodo di riferimento per l'azione sismica	100			

Da pk 12800 a pk 14833				
STATI LIMITE	TR [anni]	ag [g]	Fo	T*C [s]
SLO	60	0.073	2.469	0.275
SLD	101	0.091	2.463	0.285
SLV	949	0.216	2.429	0.315
SLC	1950	0.270	2.443	0.322
Periodo di riferimento per l'azione sismica	100			

6.4 CATEGORIE DI SOTTOSUOLO

La normativa in materia di Costruzioni (D.M. 17 gennaio 2018) prevede che *“ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto si rende necessario valutare l'effetto della risposta sismica locale mediante specifiche analisi come indicato al §7.11.3 della medesima normativa”*.

In assenza delle suddette analisi si può fare riferimento a un approccio semplificato, che si basa sull'individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento come riportato nella seguente tabella.

	DESCRIZIONE DEL PROFILO STRATIGRAFICO	Parametri		
		Vs30 (m/s)	NSPT (colpi/30cm)	Cu (kPa)
A	Formazioni litoidi o suoli omogenei molto rigidi, caratterizzati da valori di Vs,30 superiori a 800 m/s comprendenti eventuali strati di alterazione superficiale di spessore massimo pari a 5 m	>800	-	-
B	Depositi di sabbie o ghiaie molto addensate o argille molto consistenti, con spessori di diverse decine di metri caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs,30 compresi tra 360 e 800 m/s ovvero resistenza penetrometrica NSPT>50 e cu>250 kPa	360-800	>50	>250
C	Depositi di sabbie o ghiaie mediamente addensate o argille di media consistenza, con spessori variabili da diverse decine fino a centinaia di metri caratterizzati da valori di Vs,30 compresi tra 180 e 360 m/s (15<NSPT<50 e 70<cu<250 kPa)	180-360	15-50	70-250
D	Depositi di terreni granulari da sciolti a poco addensati oppure coesivi da poco a mediamente consistenti, caratterizzati da valori di Vs,30<180 m/s (NSPT<15, cu<70 kPa)	<180	<15	<70
E	Profili di terreno costituiti da strati superficiali alluvionali, con valori di Vs,30 simili a quelli dei tipi C o D e spessore tra 5 e 20 m giacenti su un substrato di materiale più rigido con Vs,30 >800 m/s			

Fatta salva la necessità della caratterizzazione geotecnica dei terreni nel volume significativo (parte di sottosuolo influenzata, direttamente o indirettamente, dalla costruzione dell'opera e che influenza l'opera stessa) la classificazione si effettua in base ai valori della velocità equivalente Vs30 di propagazione delle onde di taglio entro i primi 30 metri di profondità. Essa viene calcolata con la seguente relazione:

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum h_i / V_{s_i}} \text{ (m / sec)} \quad \text{con } i=1, N$$

Nella tabella che segue sono riassunte le indagini geofisiche di repertorio messe a disposizione della committenza e necessarie alla determinazione delle categorie di sottosuolo in corrispondenza delle aree interessate dal tracciato di progetto.

<i>Prova</i>	<i>Ubicazione</i>	<i>Tipologia prova</i>	<i>Data esecuzione</i>	<i>V_{s30}</i>
COBOMASW0021	San Donato, Via Garavaglia	MASW	2007	259
COBOMASW0027	Navile, Via Della Liberazione	MASW	2008	246
COBOREMI0035	Navile, Via Carracci	REMI	2005	211
COBOREMI0058	Via Emilia Ponente 81	REMI	29/10/2010	410
Poc_Auto	Piazza XX Settembre	Indagine integrata MASW+REMI+HVSr	18/02/2014	233

Sulla base dei dati scaturiti dalle indagini prese in esame, di seguito si riporta il quadro riassuntivo dei risultati conseguiti:

<i>da progressiva</i>	<i>a progressiva</i>	<i>Categoria di suolo</i>
0	2050	B
2500	4700	B
4700	12800	C
12800	14833	C

Nel seguito le definizioni per le categorie riscontrate lungo il tracciato secondo le Norme Tecniche 2018:

Tipo B: - "...depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità" ($360 < V_{s,30} < 800 \text{ m/s}$)

Tipo C - "...depositi a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti" ($180 < V_{s,30} < 360 \text{ m/s}$)

Sarà cura dei progettisti incaricati, sulla base delle indagini geognostiche didettaglio da realizzarsi nelle successive fasi progettuali, attribuire la più consona categoria e valutare se approfondire l'indagine per la definizione dei coefficienti di amplificazione stratigrafica mediante studi specifici sulla risposta sismica locale, come indicato all'art. 7.11.3 del D.M. 17/01/2018.

7. INDAGINI GEOGNOSTICHE DI RIFERIMENTO

La caratterizzazione litologica dei terreni finalizzata a definire il modello geologico di riferimento per l'area oggetto della presente progettazione è stata effettuata sulla base dei dati messi a disposizione della committenza e riferiti a sondaggi a carotaggio continuo disponibili all'interno del database di pubblico accesso del Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia Romagna.

In Allegato alla presente relazione, vengono proposte le stratigrafie concernenti i sondaggi di riferimento, mentre per l'ubicazione delle indagini si rimanda alla planimetria proposta nell'elaborato grafico B381-SF-GEO-PP001A.

Di seguito si riporta in forma tabellare un quadro riassuntivo delle indagini di riferimento, con indicazione delle profondità investigate e data di esecuzione:

<i>Prova</i>	<i>Ubicazione</i>	<i>Profondità [m da p.c.]</i>	<i>Data esecuzione</i>	<i>Livello idrico [m da p.c.]</i>
5422P	Via Lepido 201/2	-27,00	09/2003	n.r.
220080P458	Tangenziale via Lepido	-15,00	04/12/1984	-5,20
5791P	Via Emilia Ponente 207	-37,00	20/02/2006	-30,52
220080P4178	Via Emilia Ponente 81	-5,00	12/11/2002	n.r.
4985P	Via Emilia Ponente 1	-25,00	22/05/2001	-21,00
220080P085	P.zza Porta San Felice	-11,00	01/1966	n.r.
5706P	P.zza Nettuno	-34,00	01/02/2002	n.r.
5707P	P.zza VIII Agosto	-32,00	18/03/2002	n.r.
5708P	P.zza Pincio	-35,00	20/03/2002	n.r.
6794P	Stazione AV	-32,00	24/02/2005	n.r.
221050P429	P.zza dell'Unità	-30,00	n.d.	-10,00
221050P413	Via Ferrarese 12	-20,00	21/01/1988	-9,00

5711P	Via della Liberazione 15	-34,00	08/03/2002	-9,00
221050P411	Via della Liberazione 5	-21,00	19/01/1988	-6,60
5713P	Fiera via Aldo Moro	-35,00	05/03/2002	n.r.
5714P	Fiera via Aldo Moro 68	-33,00	01/03/2002	n.r.
221050P041D	Via F. Benini 18	-9,00	03/1975	n.r.
221050P465	Tangenziale via San Donato	-50,00	22/11/1984	n.r.
221050P4193	Via San Donato angolo via Pirandello	-5,00	25/05/2004	n.r.
221050P126	Villaggio Pilastro	-16,00	08/09/1966	n.r.
221050P469	Scalo San Donato	-20,00	--	-4,30

7.1 PROVE GEOTECNICHE IN SITO

Per le indagini geognostiche di riferimento sono disponibili i risultati di prove Standard Penetration Test (SPT) realizzate in foro di sondaggio ed utili a ricavare e studiare le caratteristiche di un terreno.

La prova consiste nell'infiggere nel terreno alla base del sondaggio un campionatore, per 3 tratti consecutivi, ciascuno di 15 cm, rilevando il numero di colpi (N) necessario per la penetrazione di ciascun tratto di 15 cm. Il valore di NSPT è dato dalla somma dei colpi ottenuti per il 2° e 3° tratto.

Di seguito vengono riportati in forma tabellare i risultati delle prove SPT eseguite nel corso dei sondaggi di riferimento.



Prova	Profondità da p.c. [m]	Prova SPT (n. colpi/15 cm)	Nspt	Litologia prevalente
220080P458	3,00	6-10-13	23	Argilla debolmente Sabbiosa
	6,00	21-33-48	81	Ghiaia eterometrica
	9,00	50 – R/9cm	R	Ghiaia eterometrica
221050P429	4,00	9-12-18	30	Sabbia fine Limosa
	6,00	14-16-15	31	Sabbia Media
	9,50	9-12-18	30	Limo Sabbioso
	11,00	5-8-12	20	Limo Sabbioso
	18,00	12-11-11	22	Sabbia Media
	22,00	32 - R	R	Ghiaie e Sabbie Grosse
	23,50	25-38-48	86	Ghiaie e Sabbie Grosse
	25,00	26-38-R	R	Ghiaie e Sabbie Grosse
	26,90	15-21-30	51	Sabbia Media e Fine Argillosa
28,60	15-23-27	50	Sabbia Media e Fine Argillosa	
221050P413	3,00	10-12-16	28	Sabbia Fine
	5,00	3-4-5	9	Sabbia Fine Limosa
	9,00	4-6-5	11	Sabbia Fine Limosa
	11,00	4-3-5	8	Limo Argilloso
	14,50	3-4-3	7	Limo Argilloso
	16,50	6-9-10	19	Sabbia Fine Limosa
	18,00	7-8-11	19	Sabbia Fine Limosa
	19,5	44 - R	R	Ghiaia Sabbiosa
5711P	17,40	21-28-19	47	Ghiaia Sabbiosa
221050P411	2,50	5-5-4	9	Terreno di Riporto
	4,00	2-2-2	4	Limo Argilloso
	5,50	1-1-3	4	Sabbia Media e Fine
	7,50	5-5-9	14	Sabbia Media
	8,50	1-1-1	2	Argilla
	11,00	2-3-5	8	Sabbia Fine
	14,00	1-1-2	3	Argilla
	16,00	1-2-4	6	Sabbia Fine Limosa
	18,00	19-23-30	53	Ghiaia Sabbiosa
19,50	20-22-29	51	Ghiaia Sabbiosa	
5713P	24,60	13-17-18	35	Sabbia Limosa

	31,00	16-20-23	43	Sabbia Limosa
5714P	5,80	11-22-28	50	Ghiaia Sabbiosa
221050P465	4,50	2-2-3	5	Sabbia Limosa
	7,50	3-3-4	7	Argilla Sabbiosa
	10,50	28-34-42	76	Ghiaia sabbiosa
	13,50	26-31-39	70	Ghiaia sabbiosa
	16,50	22-28-34	62	Ghiaia sabbiosa
	21,00	5-5-7	12	Argilla Sabbiosa
	23,50	4-6-6	12	Argilla Sabbiosa
	26,00	28-34-41	75	Ghia Sabbiosa
	29,00	4-5-6	11	Sabbia Media e fine
	33	5-7-8	15	Sabbia Media e Fine
	37,5	6-6-7	13	Sabbia Media e Fine
	40,5	8-9-10	19	Argilla Limosa
	43,5	7-8-9	17	Argilla Limosa
	46,5	7-9-10	19	Argilla Limosa
49,5	12-14-17	31	Argilla limosa	

8. MODELLO GEOLOGICO E CARATTERIZZAZIONE MECCANICA DEI TERRENI

La ricostruzione litostratigrafica del sottosuolo indagato scaturisce dall'analisi dei risultati conseguiti a seguito della realizzazione delle indagini in sito di riferimento.

Da un punto di vista stratigrafico, tenendo conto della inevitabile eterogeneità delle caratteristiche litologiche dei terreni presenti nell'intera area è possibile distinguere diverse facies che si succedono in modo non sequenziale nel sottosuolo, con rapporti stratigrafici fortemente eteropici e conseguenti repentine variazioni e cambi di facies sia in senso orizzontale che verticale.

Tale assetto stratigrafico con l'indicazione della distribuzione delle diverse unità geologiche in profondità è rappresentato nella sezione litostratigrafica B381-SF-GEO-PF001A. La reale geometria delle diverse unità è accertata solo in corrispondenza delle verticali d'indagine prese

in esame, mentre per le altre distribuzioni, trattandosi di estrapolazioni su base sedimentologica in funzione delle indagini, sono da tener conto possibili variazioni locali.

Le facies individuate sono:

- **RIPORTO**

Depositi antropici di natura limoso-sabbiosa che presentano localmente inclusi di varia natura, caratterizzati da eterogeneità degli spessori e delle caratteristiche di consistenza.

- **UNITÁ A –Facies limoso-argillosa**

Limo argilloso e argilla limosa di colore grigio verdastro con presenza di calcinelli e bioclasti. Localmente si rinvencono corpi lenticolari costituenti la Facies B e C.

- **UNITÁ B – Facies sabbiosa-limosa**

Sabbia fine e media talvolta debolmente limosa di color marrone. Questa unità si rinviene in corpi lenticolari distribuiti nelle Facies A e C .

- **UNITÁ C – Facies ghiaiosa**

Ghiaia da fine a medio-grossolana in matrice sabbioso limosa. Localmente si rinvencono corpi lenticolari costituenti la Facies A e B.

Sulla base delle prove in sito realizzate (SPT) è possibile fornire un'indicazione dei parametri geotecnici caratteristici delle suddette facies e di seguito riportati in forma tabellare. I valori adottati come rappresentativi delle caratteristiche geotecniche dei terreni investigati, assunti in modo moderatamente cautelativo, sono quelli estrapolati attraverso correlazioni ricavate da letteratura tecnica la cui validità è confermata a livello internazionale o estrapolati da vari abachi di correlazione consigliati da diversi autori (Meyerhof 1956, Skempton 1986, Schmertmann 1997).

RIPORTO	
Terreni limoso-sabbiosi con inclusi	
Grado di addensamento	Da poco a moderatamente addensato
Peso di volume secco (γ_d)	16-18 kN/m ³
Angolo di attrito mobilizzabile (ϕ)	28°-30°
Coesione mobilizzabile (c)	0 kPa

UNITÁ A	
Limi Argillosi	
Grado di addensamento	-
Peso di volume secco (γ_d)	19-20 kN/m ³
Angolo di attrito mobilizzabile (ϕ)	24°-27°
Coesione mobilizzabile (c)	5-10 kPa

UNITÁ B	
Terreni sabbioso-limosi	
Grado di addensamento	Medio-elevato
Peso di volume secco (γ_d)	18-20 kN/m ³
Angolo di attrito mobilizzabile (ϕ)	27°-30°
Coesione mobilizzabile (c)	0-5 kPa

UNITÁ C	
Terreni ghiaiosi in matrice sabbiosa	
Grado di addensamento	elevato
Peso di volume secco (γ_d)	19-21 kN/m ³
Angolo di attrito mobilizzabile (ϕ)	35°-32°
Coesione mobilizzabile (c)	0 kPa

Tali caratteristiche geologiche e geotecniche saranno oggetto di validazione a seguito delle indagini integrative da effettuarsi nelle successive fasi progettuali.

8.1 VERIFICA SUSCETTIBILITÀ ALLA LIQUEFAZIONE

Le NTC richiedono una verifica alla suscettibilità di liquefazione dei terreni del sito sul quale insiste la progettazione di un'opera. Se il terreno risulta suscettibile di liquefazione e gli effetti conseguenti appaiono tali da influire sulle condizioni di stabilità di pendii o manufatti, occorre procedere ad interventi di consolidamento del terreno e/o trasferire il carico a strati di terreno non suscettibili di liquefazione. Prima della vera e propria verifica della suscettibilità di liquefazione, le NTC propongono una griglia di casi per i quali il sito non presenta possibilità di liquefazione dei terreni.

Ai sensi delle NTC-2018, la verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

- eventi sismici attesi di magnitudo M inferiore a 5;
- accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di $0,1g$;
- profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna suborizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
- depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N1)_{60} > 30$ oppure $qc_{1N} > 180$ dove $(N1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e qc_{1N} è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
- distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella *Figura 8-1* nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3,5$ e nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3,5$ (*Figura 8-1*).

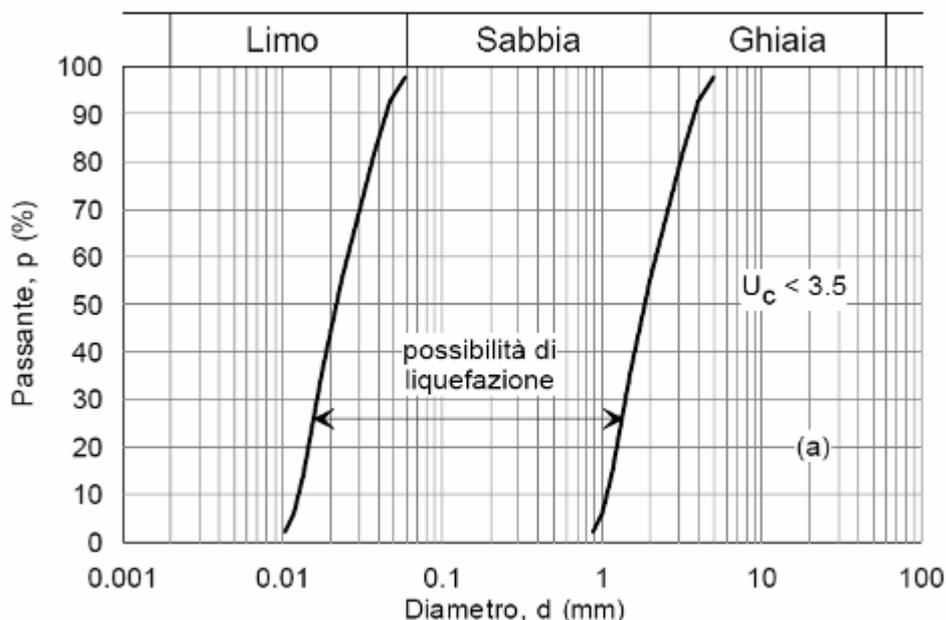


Figura 8-1 - Fuso di terreno suscettibile di liquefazione ($U_c < 3.5$)

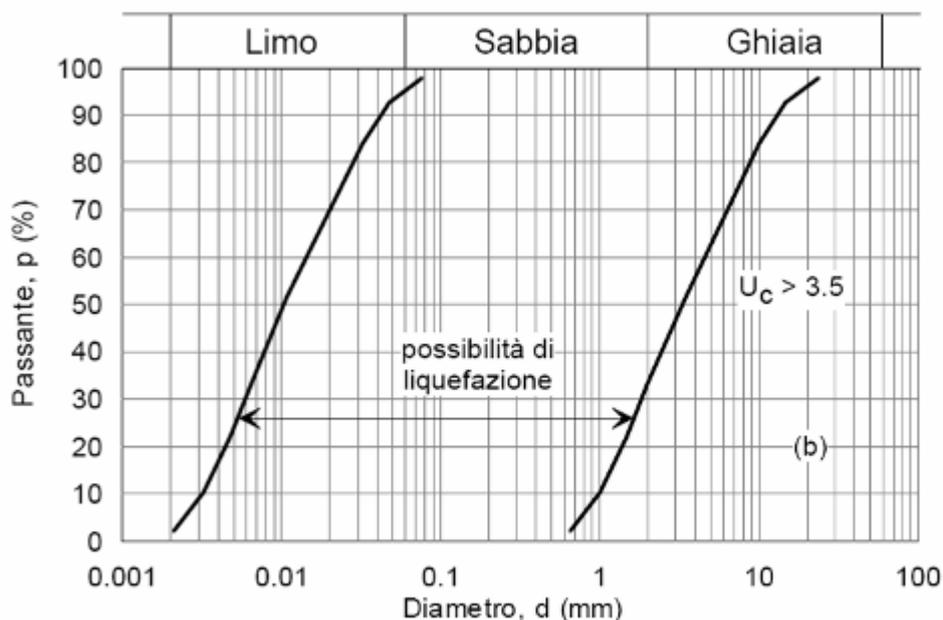


Figura 8-2 - Fuso di terreno suscettibile di liquefazione ($U_c > 3.5$)

La sismicità di base del sito non consente l'omissione della verifica al fenomeno di liquefazione, in quanto, in base alla zona sismogenetica e alla disaggregazione della PGA0 di sito, è possibile

discriminare una Magnitudo Momento attesa di $M_w=6.14$ e una accelerazione attesa di $a_g=0.15$ g. Inoltre, sulla base dei log stratigrafici presi in esame per la definizione del modello geologico del sito, è emersa la presenza di livelli di terreno con discreta componente sabbiosa.

Per tali motivi, nelle successive fasi progettuali, sarà necessario verificare puntualmente con indagini mirate la suscettibilità al fenomeno di liquefazione sismica dei terreni interessati dall'opera.

9. NOTE CONCLUSIVE E GIUDIZIO DI FATTIBILITÀ

Nel presente rapporto viene presentato un inquadramento geologico, idrogeologico e sismico generale delle aree oggetto di studio e sulla base delle indagini di repertorio messe a disposizione dalla committenza è stato desunto il modello geologico del sottosuolo di interesse.

Alla luce dello studio condotto, della natura e delle caratteristiche dell'intervento, i lavori in progetto risultano compatibili con la situazione geologica e morfologica dei luoghi e tali da non influire negativamente sulla stabilità delle aree.

Si rimanda alle successive fasi progettuali per approfondimenti di indagine atti alla definizione del modello geologico/geotecnico e sismico di dettaglio.

10. BIBLIOGRAFIA

- *Agip (1972) Acque dolci sotterranee*
- *Artioli, G.P., U. Baldini et al., (1997) Area metropolitana di Bologna: stato di avanzamento delle ricerche. Progetto strategico del CNR - Geologia delle grandi aree - Atti del Convegno, Bologna (Italy) 4-5 novembre, 1997.*
- *Barbarella M., Pieri L., Russo P., 1990 – Studio dell’abbassamento del suolo nel territorio bolognese mediante livellazioni ripetute: analisi dei movimenti e condizioni statistiche (INARCOS N. 506 Bologna 1990);*
- *Bergonzoni A., Elmi C., 1999 - “Geologia del territorio urbano di Bologna”; Atti del Convegno “Geologia delle grandi aree urbane” (1999), PP. 265-271.;*
- *Castellarin A., Eva C., Giglia G. e Vai G. B., 1985. Analisi strutturale del Fronte Appenninico Padano. Giornale di Geologia, 47, 47-76.*
- *Elmi C., Bergonzoni A., Massa T. & Montaletti V., 1984 - con contributi di Baratella P.L. e Ronchi A., 1984 - “Il territorio di pianura del Comune di Bologna: aspetti geologici e geotecnici”. Giornale di Geologia, sr. 3°, 46/2, (1984), pp. 127-152.;*
- *Farina, M., Simoni, M.& Passuti, I. (1998) Il complesso idrogeologico superficiale nel contesto della città di Bologna. Il Geologo dell’Emilia Romagna, 11, 4-14.*
- *Farina, M., Simoni, M., Frontini, S., Toffaletti, N., Anzalone, C., Bergonzoni, A., Bottarelli, M. & Guadagnini L., (2001a) W-Sahara European Project – Annual Report.*
- *Farina, M. et al., (2001b) Progetto di metro leggero automatico per la città di Bologna – Progetto Definitivo – Relazione Geologica. Comune di Bologna - Unità Ambiente Settore Territorio e Riqualificazione Urbana*
- *Regione Emilia Romagna - Agip (1998) Riserve idriche sotterranee della Regione Emilia Romagna, Technical Report. Regione Emilia Romagna, Firenze.*

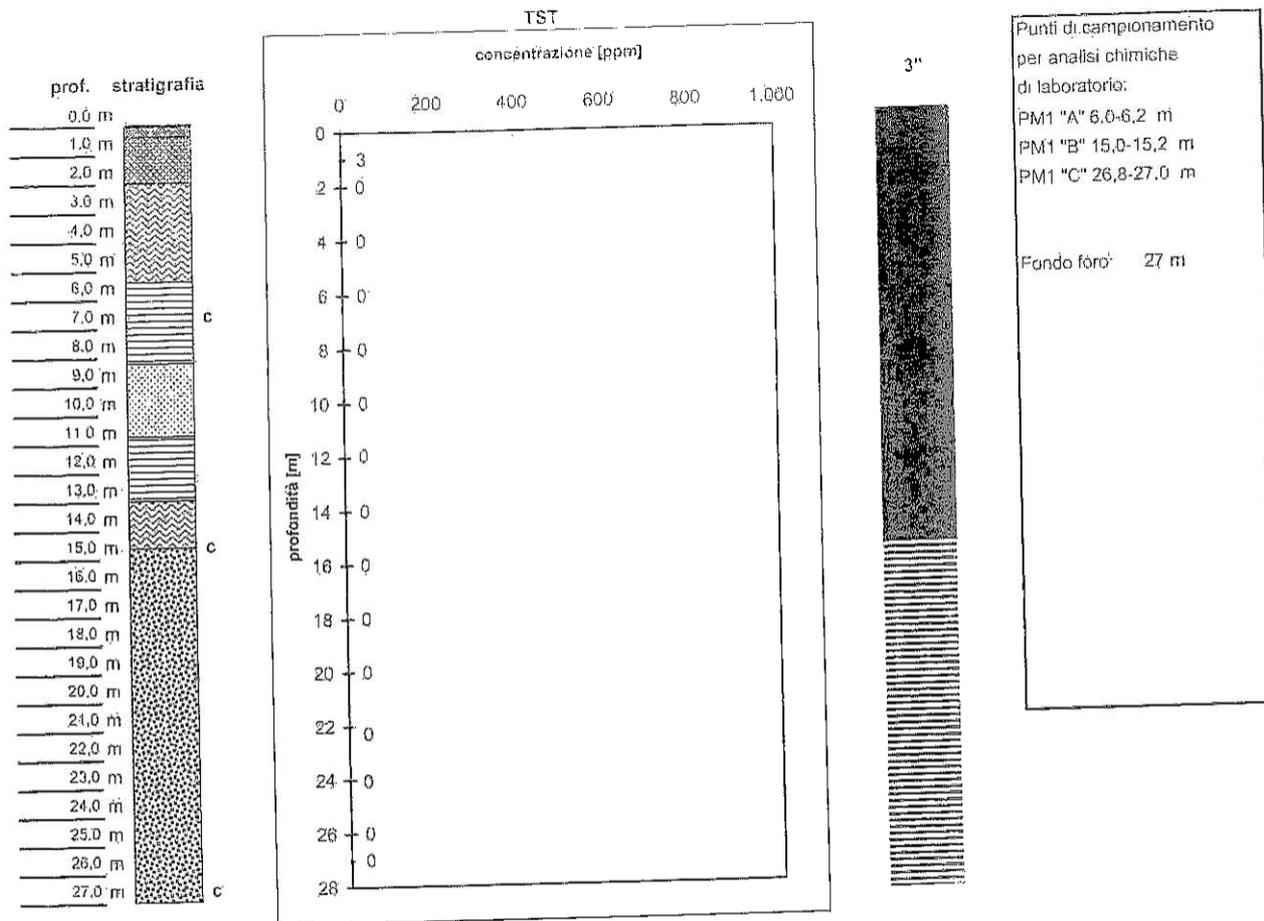
11. ELENCO DEGLI ALLEGATI A FINE TESTO

Allegato 1 – STRATIGRAFIE SONDAGGI MECCANICI DI RIFERIMENTO.....	59
--	----

Allegato 1 – STRATIGRAFIE SONDAGGI MECCANICI DI RIFERIMENTO

Scheda 1
SONDAGGIO E POZZO DI MONITORAGGIO
PM1
(28-29/07/03)

OSSERVAZIONI



LEGENDA

Stratigrafia

-  Asfalto
-  Limo sabbioso (localmente a legante argilloso)
-  Argilla da limosa a debolmente limosa
-  Sabbia limosa
-  Sabbia debolmente limosa con ghiaia grossolana
-  Terreno di riporto costituito da ghiaia grossolana e limo sabbioso

Schema piezometro 3''

-  Tratto cieco
-  Tratto fenestrato
-  Campione per analisi chimiche

Committente AUTOSTRADE Sp.A.

Data dal 4/12/1984 al

Quota 45.0

Cantiere TANGENZIALE BOLOGNA

Lavoro INDAGINI GEOGNOSTICHE

Tipo di attrezzatura WIRE LINE Ø 146

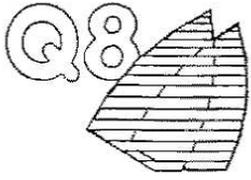
Diametro del foro in mm.	Quota assoluta	Profondità dal p.c.	Spessore strati	Campioni	Quota campioni	CAROTAGGIO				DISTRUZIONE	TUBAGGIO	Scala riferimento	STRATIGRAFIA	R. Q. D.	Falda Acquifera	Piezometro	DESCRIZIONE DEI TERRENI ATTRAVERSATI	Torvane Kg/cm ²	Pocket penetrometer Kg/cm ²	S. P. T.		Vane tes	
						% recupero	10	30	50											70	90		Profondità
Ø 146	42,90	2,10	2,10		4,20						Ø 146	1											
														2									
	40,20	4,80	2,70		4,80							3						1,0	2,0	2,5	6-10-13		
														4									
	39,30	5,70	0,90	D								5											
													6										
												7											
												8											
												9											
												10											
												11											
												12											
												13											
												14											
	29,90	15,10										15											
										16													
										17													
										18													
										19													
										20													
										21													
										22													
										23													
										24													
										25													
										26													
										27													
										28													
										29													
										30													

CAMPIONI INDISTURBATI:
 S=Shelby D=Denison
 O=Osterberg P=Percussione
 M=Mazier
 CAMPIONI RIMANEGGIATI: = R
 CAMPIONI RIMANEGGIATI DA SPT: = RS

Note:
 2 CASSE

MISURA FALDA ACQUIFERA

	Data	Prof. foro	Quota rivest.	Livello acqua		Data	Prof. foro	Quota rivest.	Livello acqua
S	4/12	15.1	15.1	5.2	S				
M					M				
S					S				
M					M				



KUWAIT PETROLEUM ITALIA S.p.A.

Cantiere: Via Emilia Ponente 207 - Bologna (BO) PV numero: PV 3215

Sondaggio: PM3 Data: 20/02/06 Responsabile di sito: Ing. Andrea Stieven Commessa: Scheda 1/d di 7

Impresa: Eurogeo S.r.l. Metodo e diametro di perf.: Carotaggio continuo 127 mm Diametro rivestimenti: 152 mm Percentuale carotaggio: _____

Scala 1 : 50	Profondità dal p.c. (m)	Potenza dello strato (m)	Sezione geologica	Descrizione litologica	Livello statico della falda (m)	Valori di VOC al Test dello Spazio di Testa (ppm x 10)	Piezometro
31		32,5		Ghiaia limosa sabbiosa a tratti argilloso	30,52	0,0	Tubo fessurato diametro 4"
32	0,0						
33	0,0						
34	0,0						
35	0,0						
36	0,0						
37	1,0	1,0		Argilla di colore marrone	0,0	0,0	
38							
39							
40							

Approvato da _____
Rev. 0/c

ware - Geo-Strat 1 00 -



A. MOLINO ROSSO 3-3/A
026 IMOLA (BO)
TEL. 0542/621430
FAX 0542/621439



Inizio Esecuzione
12/11/2002

Fine Esecuzione
//

Metodo Perfor.

Sondaggio
S1

Quota

Attrezzatura

Committente
Fonderie Sabiem S.p.A.

Località
Stabilimento Sabiem Bologna

Campioni
Impure: Semplice [T1] Carriere Doppio [T2] Romaneggiati [R1]

Foto

Livello Acqua

Prof. Foro

Prof. Riv.

Assistente

Strumenti: [D] Osterberg [OS] Shelby [SH] Indisturba [IN]

Data

M. p.c.

6 m

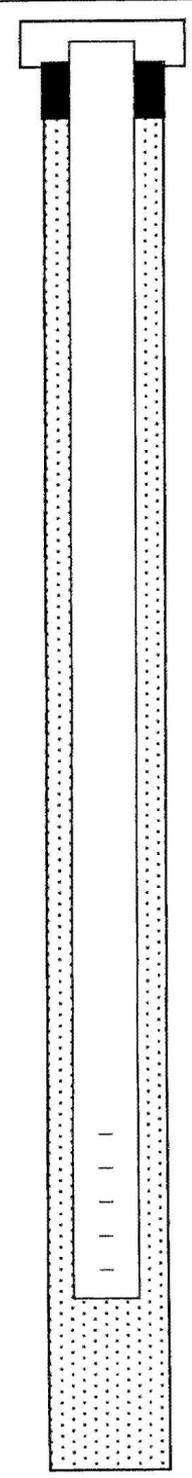
Operatore
SOGEO srl

MT.	QUOTA DA P.C.	SIMBOLOGIA	CAMPIONI		DESCRIZIONE STRATIGRAFICA	% R.Q.D.	P.P. Arg. arg.	T.V. Arg. arg.	S.P.T.			Liv. acqua	Piezometro
			tipo	num.					PROF.	N1	N2		
1	40	[Symbol]			stabilizzato								
	50	[Symbol]			argilla grigia								
	55	[Symbol]			macerie di mattone miste a sabbietta								
	1.00	[Symbol]	IN	S3C1	argilla grigia								
	1.10	[Symbol]			macerie di mattone								
2	1.80	[Symbol]			argilla grigia con macerie di mattone								
	2.00	[Symbol]	IN	S3C2	argilla grigia con calcinelli rossi								
	2.20	[Symbol]			macerie								
3	3.00	[Symbol]	IN	S3C3	argilla grigio marrone molto umida								
	3.80	[Symbol]			argilla beige compatta e asciutta								
4		[Symbol]	IN	S3C4	argilla grigia compatta								
5	5.00	[Symbol]	IN	S3C5									
6		[Symbol]											

15
25

Cliente ESSO ITALIANA S.r.l. Località Bologna - Via Emilia Ponente, 1 Progetto n° B3 - 000169
 Data perfor. 22/05/01 Quota s.l.m. - Profondità foro 25 m Diametro 101/127 mm
 Boccapozzo - Liv. Iniziale - Liv. Statico 21 m
 T.Fines.diam. 2.5" Lungh. 3.0 m Slot 0.4 mm Filter Pack 3 - 5 mm
 T.Cieco diam. 2.5" Lungh. 19.0 m Tipo PVC HD Chiusino Si+Lucc.
 Soc. perforatrice GEOEMME 2 Macch. perf. -
 Perforatore - Sistema Carotaggio continuo a secco
 Controllato Rev. 0 del 30/07/01 Compilatore Dott. Luca Lancellotti

NOTE: Prelievo dei campioni per analisi granulometrica a -9.5 m e a -24 m dal p.c.

Prof. (m)	Completamento POZZO	HSA (ppm)	N° CAMP.	PROD. ODORI	DESCRIZIONE	
- 0 -						
- 1 -						
- 2 -						Pavimentazione in asfalto e terreno di riporto con inclusi lateritici in matrice sabbiosa, sciolto, asciutto.
- 3 -						
- 4 -			● 0	<input type="checkbox"/> 4.5		4.0 Limo argilloso di colore nocciola, molto consistente, asciutto.
- 5 -						5.0
- 6 -			● 0	<input type="checkbox"/> 6.0		Limo argilloso con tracce di sabbia e ciottoli, plastico, umido
- 7 -			● 0	<input type="checkbox"/> *7.0		7.0
- 8 -						Limo argilloso-sabbioso, consistente, asciutto.
- 9 -			● 0	<input type="checkbox"/> 8.6		9.0
- 10 -			● 0	<input type="checkbox"/> 10.0		Argilla limosa di colore grigio scuro, molto consistente, asciutta.
- 11 -			● 0	<input type="checkbox"/> 10.5		10.5
- 12 -			● 0	<input type="checkbox"/> *12.0		Ghiaia in matrice sabbiosa, sciolta e polverulenta, asciutta.
- 13 -						13.5
- 14 -						Ghiaia in matrice limosa, sciolta e polverulenta, asciutta.
- 15 -						16.5
- 16 -						Sabbia limosa con ciottoli, sciolta e polverulenta, asciutta.
- 17 -						18.5
- 18 -			● 0	<input type="checkbox"/> 18.5		
- 19 -						21.0
- 20 -						Ghiaia grossa in matrice sabbiosa grossolana, sciolta, satura
- 21 -						23.5
- 22 -			● 0	<input type="checkbox"/> 23.0		Argilla di colore grigio scuro, molto consistente, asciutta.
- 23 -			● 0	<input type="checkbox"/> 24.0		25.0
- 24 -						FINE SONDAGGIO
- 25 -						

LEGENDA

- Head Space Analysis
- Campione di terreno
- *Campione di terreno in contraddittorio con ARPA
-  Terreno pulito
-  Terreno con odori
-  Terreno con prodotto

EDILPALI
BOLOGNA

Quota iniziale: m. s. l. m.
Scala lunghezza:
Tipo avanzamento:
Data:

SONDAGGIO N.

I:50
Trivellazione
Gennaio 1966

8 ET

n.p. 024

Quote m.s.l.m.	Profon. parziali (m.)	Profon. progress. (m.)	γ, P, Kg/cm ³	litologia	Colonna stratigrafica	DESCRIZIONE TERRENI	OSSERVAZIONI
	2.00	2.00				Argille grigio brunastre, associate a sabbie dello stesso colore ed inglobanti frammenti di varia origine e natura. ES	Terreno di riporto e di razione superficiale, permeabile e poco compattizzato
	1.00	3.00	1.00	ES		Argille grigio scure e grigio brunastre, inizialmente appena sabbiose, fossilifere. CS	Terreno pseudocoerente, abbastanza compatto, appena umido. CONSISTENZA: plastica.
			1.50	ES		Argilla grigio cenere, a volte con toni giallo verdastri, interessate da sottili veli di limo sabbioso giallo rossastro e da incrostazioni calcaree di neoformazione.	Terreno pseudocoerente, inizialmente a buona coesione granulare, quindi con coesione in diminuzione per aumento umidità con la profondità. CONSISTENZA: da plastico a plastica, fino a plastico tenera.
			0.60	ES			
			0.50	ES		Argille + limo CM 10	
	3.00	6.00				Argille + sabbie e nodole micacee	198/2 130/2 CSG 20/6g 2
			0.4	ES			
			0.60	ES		Argille grigio giallastre associate a sabbie fini, micacee, dello stesso colore ed a ricchissime quantità di breccie poligeniche che, a 7 m. di profondità, assumono le dimensioni di piccoli ciottoli. Le porzioni sabbiose variano in quantità irregolarmente alle diverse profondità.	Terreno da pseudocoerente pressochè incoerente, a seconda delle quantità di sabbie presenti; permeabilità ed umidità molto elevate, fatta eccezione per un sottile sasso ad 8 m. di profondità. CONSISTENZA: plastico tenace nelle porzioni più nettamente argillose.
			1.00	ES			
			0.30	OT			
	5.00	11.00					220AP85

IL GEOLOGO
(dott. Antonio Nanni)
A. Nanni

Località: BOLOGNA
Viale Silvani

COMMITTENTE:
COSTRUZIONI GENERALI - BOLOGNA

COMMITTENTE:

COMUNE DI BOLOGNA

LOCALITÀ:

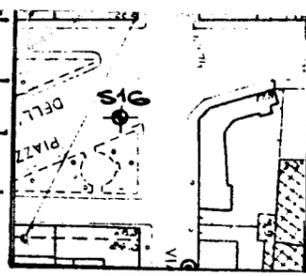
Bologna Piazza VIII Agosto

Profondità (m)	Colonna stratigrafica	DESCRIZIONE TERRENI	PRELIEVO CAMPIONI						S. P. T.			PP Kg/cmq	Tor.vang Kg/cmq				
			Semidisturbati			Indisturbati			n.	da ml.	a ml.			n. 1	n. 2	n. 3	
			n.	da ml.	a ml.	n.	da ml.	a ml.									
0.00		Conglomerato bituminoso.															
0.08		Calcestruzzo con inerti di grosse dimensioni.															
0.40		Materiale di riporto limo argilloso con pietrisco e frammenti di laterizio.															
2.80		Argilla limosa a tratti argilla con limo grigio garrone con piccoli frammenti di laterizio e frustoli carboniosi.														1.2	0.2
3.80		Argilla da limosa a limo con argilla debolmente sabbiosa nocciola con calcinelli molto consistente.														1.4	0.4
															2.8	1.0	
															3.0	1.2	
															2.0	0.5	
															1.8	0.6	
															2.2	0.6	
5.90		Argilla limosa bruna molto consistente con calcinelli.													2.0	0.6	
6.95		Argilla con limo a tratti limo argilloso debolmente sabbioso nocciola con calcinelli.													2.8	1.3	
															3.0	1.5	
															1.8	0.6	
															1.9	0.7	
															7.5	1.2	
															1.8	0.7	
															1.5	0.5	
															1.7	0.6	
9.90		Limo da sabbioso a debolmente ghiaioso nocciola.															
11.40		Alternanze di limo argilloso e argilla debolmente limosa nocciola.															
																1.4	0.3
																1.5	0.3
																1.9	0.8
																2.0	1.0
																1.5	0.6
																2.5	1.2
																3.0	1.4
																2.9	1.4
																3.5	1.7
16.20		Limo da sabbioso a debolmente argilloso con ghiaia.															
16.90		Argilla debolmente limosa nocciola.															
17.30		Argilla debolmente limosa grigio con calcinelli.														3.0	1.4
																3.0	1.5
																3.2	1.5
																2.8	1.4
18.90		Argilla da limosa ad argilla con limo grigio verde con calcinelli. Presente una banda bruna scura da 21.40 a 21.60.															
																1.8	0.6
																2.5	1.1
																3.0	1.3
																3.0	1.3
																3.2	1.5
																2.8	1.2
																1.8	0.7
																1.7	0.5
																3.5	1.6
																4.0	1.9
24.35		Argilla debolmente limosa grigio azzurra con calcinelli rari.														4.5	2.0
25.30		Argilla da limosa ad argilla con limo grigio verde con frequenti calcinelli.														4.8	-
																4.0	1.5
																3.8	1.5
																4.0	1.9
																4.0	2.0
																3.8	1.5
																3.8	1.7
																3.0	1.4
																3.5	1.7
																3.0	1.4
																2.5	1.0
30.60		Sabbia fine con limo grigio nocciola.															
31.60		Argilla limosa grigio azzurra con calcinelli e livelletti debolmente sabbiosi.															
																3.0	1.4
																2.8	1.2
																2.5	1.0
																3.2	1.4
																2.5	1.0
																2.8	1.3



SOCIETA' GENERALE FONDAZIONI

SONDAGGIO N°: 515 DATA: 1-2-21-80
SISTEMA DI FORO: A ROTAZIONE CON C.C.
LOCALITA': PIAZZA DELL'UNITA'
COMMITTENTE: SISPLAN S.p.A.



221DP429

QUOTE				LITOLOGIA	SONDAGGIO				ACQUA		PROVE			VARIE			
progetto	profondità	potenza	quota assoluta	stratigrafia	descrizione	% perforazione				piezometro	livello H ₂ O	lefranc	vane test	pocket	s.p.t	campioni	
m	m	mslm	1.100			mm	20	40	60	80	m	data	kg/cm ²	kg/cm ²	cm		
			42.26		MATERIALE AUTOPULVIZATO LINOZO-SAB- BIOZO	101											
	3.00																
	7.00				SABBIE FINE LINOZO-ARGILLOSE GRIGIO AZZURRO CON STRIATURE MARRONE												3.00 I
	3.00																3.50 R
	6.00				SABBIE MEDIE FINA VERDASTRE												4.00 R
	7.00	1.00															4.50 R
	2.30				ARGILLA LINOZA GRIGIO AZZURRO CON FRAMMENTI ORGANICI; I PRIMI 30 CM SABBIOSI; AL LETTO CALCIARELLI; LOCAL- MENTE SABBIA MEDIA GIALLASTRA.								0.7	1.4			6.00 R
	9.30													0.4	1.0		6.70 I
	2.20				LIMO SABBIOZO GRIGIO VERDASTRO CON STRIATURE MARRONE ED INCLUSI GHIAIOSI								0.32	1.1			8.00 I
	11.50													0.3	1.1		9.50 R
	12.00	0.50			LIMO C.S. GRIGIO - MARRONE									2	2.1		10.00 R
	2.30				LIMO SABBIOZO ARGILLOSO GRIGIO AZZURRO CON STRIATURE MARRONE FINO A m. 13.00; AL LETTO AUMENTA LA COMPONENTE ARGILLOSA									0.3	0.9		11.00 R
	4.30													0.38	1.0		11.00 R
	2.80				ARGILLA LINOZA GRIGIO-AZZURRO DEBOLIA; LOCALMENTE SABBIOZO (SABBIA VERDASTRA) E MERA									0.4	1.0		12.00 R
	7.10													0.63	1.0		14.00 I
	4.80				SABBIA FINE ARGILLOSA GRIGIO-AZZURRO									0.35	1.0		15.00 I
	1.00				SABBIA MEDIA E GROSSA DA GRIGIO VERDASTRA A GIALLASTRA									0.4	1.2		16.00 I
	2.60				LIMO SABBIOZO ARGILLOSO GRIGIO AZZURRO; LOCALMENTE LEGGERI DEBOLIA TRACCE DI SABBIA MEDIA GIALLASTRA									0.46	0.8		17.00 I
	2.40													0.28	0.9		18.00 R
	4.00				SABBIE GROSSE E GHIAIE GIALLA- STRE									0.22	0.6		19.00 I
	2.40													0.45	0.7		20.00 I
	1.30				LIMO ARGILLOSO SABBIOZO GRIGIO AZZURRO CON FRAMMENTI ORGANICI; LOCALMENTE SABBIA GIALLA									0.21	0.5		21.00 I
	0.70				SABBIA MEDIA E FINE ARGILLOSA GRIGIO AZZURRO									0.21	0.5		22.00 I
	1.10				ARGILLA GRIGIO-AZZURRO									0.2	0.4		23.00 R
	1.50				SABBIA MEDIA E FINE ARGILLOSA GRIGIO-AZZURRO									0.2	0.4		24.00 R
	30.00													0.32	1.2		25.00 R
														0.18	0.9		25.50 R
														0.25	0.9		26.00 R
														0.6	1.1		26.30 R
														0.45	1.0		27.00 R
														0.3	0.9		28.00 R
														0.27	1.0		28.50 R
														0.22	1.0		29.00 R
														0.35	0.8		30.00 R



SOCIETA' GENERALE FONDAZIONI

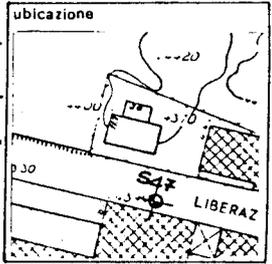
221DP411

SONDAGGIO N°: S 47 DATA: 19.1.88

SISTEMA DI FORO: A ROTAZIONE COUCE.

LOCALITA': VIA DELLA LIBERAZIONE

COMMITTENTE: SISPLAN



QUOTE				LITOLOGIA	SONDAGGIO				ACQUA		PROVE			VARIE			
opere progetto	profondità	potenza	quota assoluta	stratigrafia	descrizione	di perforazione	% carotaggio			piezometro	livello H ₂ O	iefranc	vane test	pocket	s.p.t.	campioni	
m	m	mslm	100			mm	20	40	80	m	data	kg/cm	kg/cm				
			41.97		MATERIALE ANTROPICOZZATO GROSSOLANO												
	3.80																
	3.20												0.35	1.2	2.70		R
	1.30				LIMO ARGILLOSO GRIGIO AZZURRO CON STRUTTURE MARCONI E FRAMMENTI ORGANICI								0.45	1.3	3.00		R
	1.10				SABBIA FINESSIMA ARGILLOSA STRIATA LIMO ARGILLOSO GRIGIO AZZURRO								0.45	1.3	4.00		R
	1.40				SABBIA MEDIA E FINE ARGILLOSA AVANA										4.90		R
	1.20				LIMO GRIGIO AZZURRO STRIATO LIMO GRIGIO AZZURRO						19.1.88		0.22	0.3	6.00		R
	1.60				SABBIA MEDIA AVANA										7.90		R
	0.80				ARGILLA GRIGIO AZZURRO CON STRA TURE MARCONI ORGANICHE								0.65	1.6	8.70		I
	2.00				SABBIA MEDIA E FINE ARGILLOSA AVA NA										9.50		R
	0.40				SABBIA FINE LUNGO ARGILLOSA AVANA							14.50			11.00		R
	0.20				SABBIA MEDIA AVANA								0.12	0.2	11.90		R
	0.20												0.16	0.2			
	0.20												0.45	0.6			
	0.90				ARGILLA GRIGIO AZZURRO ORGANICA VENA AL LETTO CON CALCIUMI; LOCAL NELLE SABBIE								0.1	0.3	14.00		I
	1.10				LIMO ARGILLOSO SABBIOSO GRIGIO AZ ZURRO; STRIATO AL LETTO										14.90		R
	1.20				ALTERANZE DI SABBIA FINE ARGILLO SA E ARGILLA ORGANICA GRIGIO AZ ZURRO								0.4	0.9	15.00		R
	0.40				SABBIA MEDIA GRIGIO AZZURRO CON STRUTTURE MARCONI								0.37	0.8	16.90		R
	3.80				SABBIA GROSSOLANA CHIARISSIMA GIALLA STRA								0.46	1.1	18.00		R
															18.50		R
															19.70		R
															20.00		R

20
30
40
50

TUBO APERTO

COMMITTENTE:

COMUNE DI BOLOGNA

LOCALITÀ:

BOLOGNA Via Aldo Moro

Profondità (m)	Colonna stratigrafica	DESCRIZIONE TERRENI	PRELIEVO CAMPIONI						S. P. T.					P.P. Kg/cmq	Tor.vane Kg/cmq	
			Semidisturbati			Indisturbati			n.	da ml.	e ml.	n.1	n.2			n.3
			n.	da ml.	e ml.	n.	da ml.	e ml.								
0.00		terreno vegetale														
0.10		Argilla limosa marrone molto consistente.														
0.40		limo sabbioso marrone a tratti sabbia fine con con limo marrone con frammenti di laterizio fino a 1.80m.													1.5	0.6
5.50		Ghiaia con sabbia limosa eterometrica Ø max 8cm Ø med 2/3 cm.	C1	5.80	6.75				1	5.80	6.25	11	22	28		
8.40		Sabbia medio fine limosa nocciola.														
8.90		Sabbia con ghiaia grigia Ø Max 6 cm Ø Med 1/2cm.														
9.55		Sabbia limosa grigia a tratti limo sabbioso debolmente argilloso.														
10.20		Argilla limosa da consistente a molto consistente grigio azzurro con bande scure presenza di calcinelli.													1.5	0.1
11.95		Ghiaia eterometrica con sabbia limosa Ø max 6cm Ø med 1cm.													2.0	0.9
16.25		Alternanze di argilla limosa grigia azzurra e limo da argilloso a sabbioso grigio.				SH1	16.20	16.80							2.2	1.0
19.70		Sabbia fine con limo grigio.													1.5	0.6
20.80		Argilla debolmente limosa grigio molto consistente con calcinelli.													2.2	0.9
22.50		Limo da argilloso a sabbioso grigio con livellati di sabbia fine limosa.													2.0	0.8
27.40		Sabbia fine limosa nocciola.				SH2	26.80	27.40							2.0	0.9
32.85		Ghiaia sabbiosa eterometrica Ø Max 10 cm Ø med 2/3 cm.													1.8	0.7



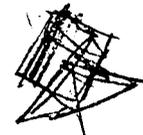
EDILPALI
40127 BOLOGNA
Viale della Repubblica 25
Tel. 51.63.52

Quota iniziale :
Tipo avanzamento : Aste Cave ϕ 220 mm.
Data : Marzo 1975

SONDAGGIO N. 2 .A.
192
P

SEZIONE GEOTEC

Profondità (m)	COMMITTENTE : FERROVIE DELLO STATO		LOCALITA' : Bologna - S. Donato	
	Idrologia	Colonna stratigrafica	DESCRIZIONE TERRENI	OSSERVAZIONI
1.00			Limo argilloso marrone o marrone nocciola.	Terreno lievemente imbibito, consistenza plastico tenera.
3.00			Limo sabbioso leggermente argilloso grigio nocciola.	Terreno mediamente imbibito a consistenza tenera.
9.00			Limo sabbioso leggermente argilloso grigiastro, sottili e rare intercalazioni nocciola nei primi due metri, la percentuale in sabbia varia notevolmente lungo tutto l'intervallo, talvolta fino a capovolgere il rapporto - ciottoli da m.8,50.	Terreno variamente imbibito, consistenza da tenera a molle.
			▶ Campioni indisturbati tipo Shelby.	



COMMITTENTE: print Gas S.p.A.		CAMPIONI		SONDAGGIO: 1	
CANTIERE: ologna - Via S. Donato angolo Via Pirandello		Pareti sottili Osterberg Carotiere semplice Carotiere doppio S.P.T. Coclea		Pagina: 1	
INDAGINE:				Quota: p.c.	
Foto:		COORDINATE X = 0,00 m Y = 0,00 m Z = 0,00 m		PIEZOMETRI ATA Tubo aperto CSG Casagrande	
				Data: 25/05/2004	
				Responsabile: Dr. Geol. Emanuele Stevanin	
				Operatore: Dalla Muta - Mangherini	
				Falda: 0,00 m	
				Scala: 1:25	

profondità 1-02010,00	stratigrafia	campioni			Pocket Kg/cm ²	Torvane Kg/cm ²	S.P.T. colpi quota	DESCRIZIONE STRATIGRAFICA	H	Manovre % Recup.	Rivest.	Falda	Piezo. ATA
		tipo	n°	quota									
0,10							Asfalto	0,10					
0,60							Stabilizzato: ciottoli in matrice sabbiosa	0,50					
0,70							Limo argilloso grigio-azzurro a tratti debolmente sabbioso	0,10					
1,70							Limi sabbiosi giallastri-ocra con livelli ossidati	1,00					
3,30							Argilla grigia debolmente limosa, moderatamente plastica, molto consistente, con livelli ossidati, punti carboniosi e calcinelli (diam. max 2 mm). Aumentano la percentuale limosa ed i calcinelli al letto	1,60					
4,00							Limi sabbiosi grigio ocra alternati a sottili livelli di sabbia fine debolmente limosa ocra	0,70					
4,50							Sabbia fine giallo-ocra, con intercalazioni (1-3 mm) di limi sabbiosi grigi	0,50					
4,70							Limo argilloso grigio plastico, moderatamente consistente	0,20					
5,00							Sabbia media ocra rossiccia	0,30					

non rilevata fino a mt 5 da p.c.; piezometro infisso da mt 0.30 a mt 5.20 da p.c.

Carotaggio: Carotaggio continuo^{5,20}
Sonda tipo: Coclea diam. 40 mm

DILPALI
VIA GOITO, 3
BOLOGNA

Quota iniziale: m. s. l. m.
Scala lunghezze:
Tipo avanzamento:
Data:

SONDAGGIO N. 1

1 : 50
trivellazione (252)
8 Settembre 1966

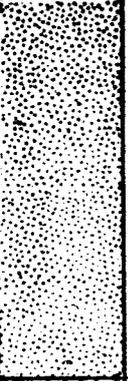
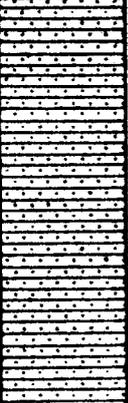
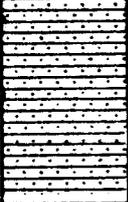
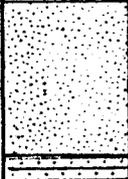
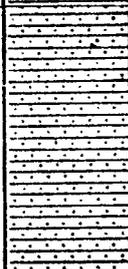
Località:

VILLAGGIO DEL PILASTRO

221050
P126

Committente:

Ente Autonomo Case Popolari - Bologna

Profon. parziale (m.)	Profon. progressiva (m.)	P. P. Kg/cm ²	Idrologia	Colonna stratigrafica	DESCRIZIONE TERRENI	OSSERVAZIONI
1.50	1.50				Sabbie a forte componente argillosa, giallastre, fortemente micacee.	Terreno agrario e di alterazione superficiale. Umidità ridotta.
2.50	4.00				Sabbie giallastre, micacee, leggermente limose. La componente limosa tende ad aumentare alla base.	Terreno incoerente, praticamente sciolto. Umidità ridotta tendente ad aumentare in profondità proporzionalmente allo aumento della componente limosa.
		0.200			Limo, grigio, leggermente argilloso, con forte componente sabbiosa, micacea concentrata specialmente alla base. In profondità tracce sparse di sostanze vegetali allo stato torboso.	Terreno praticamente incoerente, quasi completamente sciolto. Umidità abbondante. Consistenza: plastico-molle.
		0.200				
4.00	8.00				Sabbie, grige, a grana fine, micacee, con molte tracce di sostanze vegetali allo stato torboso.	Terreno incoerente, completamente sciolto; umidità fortissima per falda idrica.
1.00	9.00					
					Limo, grigio, a fortissima componente sabbiosa. Presenza di ciottoli poligenici fra i 9.00 e i 10.00 metri di profondità. Leggera componente argillosa.	Terreno praticamente incoerente, quasi completamente sciolto. Umidità abbondante ed uniformemente diffusa. Consistenza: plastico-molle.
2.00	11.00					
		0.800			Argille grigio verdastre, a leggera componente sab-	Terreno pseudocoerente e a discreto grado di coesione

		0.200	argilloso, con forte componente sabbiosa, micacea concentrata specialmente alla base. In profondità tracce sparse di sostanze vegetali allo stato torboso.	rente, quasi completamente sciolto. Umidità abbondante. Consistenza: plastico-molle.
		0.200		
4.00	8.00			
1.00	9.00		Sabbie, grige, a grana fine, micacee, con molte tracce di sostanze vegetali allo stato torboso.	Terreno incoerente, completamente sciolto; umidità fortissima per falda idrica.
2.00	11.00		Limo, grigio, a fortissima componente sabbiosa. Presenza di ciottoli poligenici fra i 9.00 e i 10.00 metri di profondità. Leggera componente argillosa.	Terreno praticamente incoerente, quasi completamente sciolto. Umidità abbondante ed uniformemente diffusa. Consistenza: plastico-molle.
		0.800		
		0.500		
2.00	13.00		Argille grigio verdastre, a leggera componente sabbiosa tendente ad aumentare con la profondità.	Terreno pseudocoerente e a discreto grado di coesione. Umidità ridotta. Consistenza: plastica.
3.00	16.00		Limo, grigio, molto sabbioso, micaceo con sensibili tracce di sostanze vegetali allo stato torboso a partire dai 14.00 metri di profondità. Aumento della componente sabbiosa alla base.	Terreno incoerente, quasi completamente sciolto. Umidità fortissima per falda idrica e diffusa a causa del forte grado di permeabilità.
			Umidità minima	
			Umidità media	
			Umidità forte	
			Falda idrica	

221050 P469

SUNDA

BOLOGNA 40123
Via Collegio di Spagna 16
tel 051 333802

SITE
INVESTIGATION

COMMITTENTE : S.A.L.P.E.S.A. s.r.l.			CAMPIONI OSTERBERG						
CANTIERE : BOLOGNA - SCALO S.DONATO Cab. D			DENISON						
SONDAGGIO 2			RAYMOND		RIMANEGGIATO		pocket kg/cmq	torvane kg/cmq	PROFONDITA' ACQUA
PROF.	STRATI GRAFIA	CAMPIONI PROF.	DESCRIZIONE LITOLOGICA DEL TERRENO						
0.50			Materiale di riporto: sabbia media limosa e clottoli.						
1.40			Limo argilloso deb. sabbioso marron chiaro, p.ti carboniosi.				2.8	0.8	
2.50			Limo sabbioso marron-chiaro, p.ti carboniosi.						
3.20			Sabbia medio-fine deb. limosa marron-chiaro.						
3.60			Limo argilloso a tratti sabbioso marron-chiaro e noduletti calcarei.				1.0	0.3	
4.00			Argilla grigio scuro.						
4.50		4.50	Argilla limosa grigio marron-chiaro, p.ti carboniosi e noduletti calcarei.				2.0	0.6	4.30
4.90		5.10	Limo sabbioso marron-chiaro e livelli centimetrici di sabbia fine deb. limosa noduletti calcarei.				3.0	0.7	
6.00			Sabbia fine da deb. limosa a limosa marron-chiaro, a tratti sabbia grossa e noduletti calcarei.						
7.50			Limo argilloso grigio-marron, deb. sabbioso e sottili livelli di sabbia fine limosa				1.5	0.4	FINE SONDAGGIO
8.20			Argilla grigio-marron da deb. limosa a limosa.				2.6	0.6	
9.10			Limo argilloso deb. sabbioso grigio-marron chiaro, noduletti calcarei,				2.5	0.5	
10.00		9.70	a tratti sabbia limosa.				1.8	0.5	
11.70		10.20	Sabbia fine limosa grigio-marron chiaro e livelli decimetrici di limo argilloso deb. sabbioso grigio.						
12.10			Argilla grigia deb. limosa e sottili livelli di limo sabbioso.				1.2	0.4	
13.10			Sabbia fine da limosa a deb. limosa grigia, a tratti limo sabbioso.						
13.90			Limo argilloso grigio e livelli decimetrici di argilla grigia deb. limosa.				1.4	0.5	
14.90			Sabbia medio-grossa grigia deb. limosa.						
17.30			Argilla da grigio a grigio scuro, talora deb. limosa e livelli di limo sabbioso grigio, p.ti carboniosi ed elementi torbosi, noduletti calcarei.				2.2	0.6	
18.00			Sabbia medio-fine grigia limosa, elementi torbosi a tratti livelli di sabbia grossolana.				2.1	0.5	
20.00			Sabbia grossa, ghiaia medio-fine deb. limosa grigia.				2.2	0.6	
							2.3	0.6	