

COMUNE DI FERRARA

PROGRAMMA SPECIALE D'AREA

L.R. n. 30 Agosto 1996

PIANO URBANISTICO ATTUATIVO DI INIZIATIVA PRIVATA

"OFFICINE METALLURGICHE LUX"

Viale Volano n. 69- FERRARA

NUOVE RESIDENZE

PROPRIETA'

IMMOBILIARE ADELE s.r.l.

69,Viale Volano
44121 FERRARA

PROGETTAZIONE URBANISTICA
E PROGETTAZIONE ARCHITETTONICA

GAE AULENTI ARCHITETTI ASSOCIATI

ARCH. GAE AULENTI
ARCH. MARCO BUFFONI
ARCH. FRANCESCA FENAROLI
ARCH. VITTORIA MASSA
4, PIAZZA SAN MARCO
20121 MILANO

PROGETTAZIONE URBANISTICA
E PROJECT MANAGEMENT

ING. FRANCESCO MASCELLANI

6, P.TTA COMBATTENTI
44121 FERRARA

RICERCA STORICA E CONSULENZA

ARCH. BARBARA PAZI

75, Via Palestro
44121 FERRARA

INDAGINI GEOLOGICHE ED AMBIENTALI

DOTT. GEOL. THOMAS VERONESE

10,Via Roma
44021 CODIGORO (FE)

IL PROGETTISTA

IL DIRETTORE DEI LAVORI

LA PROPRIETA'

OGGETTO

VALUTAZIONI COMPATIBILITA' PREVISIONI DI PROTEZIONE CIVILE

scala :

-

cod. file :

PP-J01

data emissione :

09.11.2012

aggiornamento :

-

				rif.	progetto	eseguito da:	
						VERONESE	
				disegno:			agg.
				J06			-



Studio Servizi Tecnici
Settore geologia e ambiente

DOTT. GEOL. THOMAS VERONESE

Via Roma, 10

44021 CODIGORO (Ferrara)

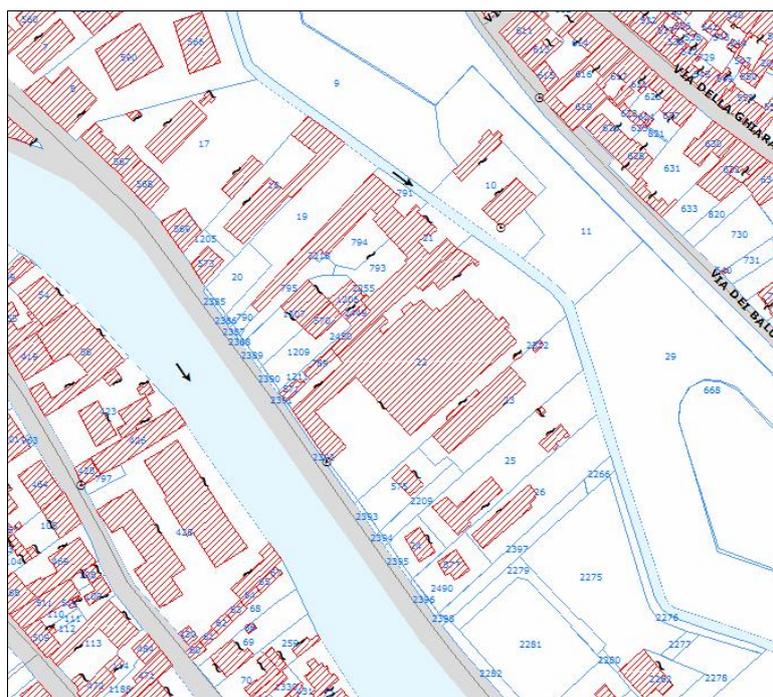
Tel e fax. 0533 / 713798 cell. 335-5240380

E-mail: thomas.veronese@tin.it

VALUTAZIONI COMPATIBILITA' PREVISIONI DI PROTEZIONE CIVILE
(Prot. 110883/2005 Provincia di Ferrara)

Comune Ferrara

Piano Urbanistico Attuativo di iniziativa privata "Officine Metallurgiche LUX"
in viale Volano n. 69 a Ferrara.



COMMITTENTE: Immobiliare Adele s.r.l.

SEDE:
viale Volano n. 69
44121 Ferrara

09 novembre 2012

S.S.T. SETTORE GEOLOGIA E AMBIENTE

Timbro

Geotecnica; Studio terreni di fondazione; Stabilità dei versanti; Rilevamento geologico; Rilievi topografici; Geofisica - Contributi allo Studio di Impatto Ambientale; Assistenza alle pubbliche amministrazioni negli studi di fattibilità e di realizzazione dei P.R.G., cimiteri, discariche, piani attività estrattive, studi di acquiferi per la tutela e per l'utilizzo di risorse idriche sotterranee; subirrigazioni.

INDICE:

1. PREMESSA	2
2. VALUTAZIONI DI COMPATIBILITA' PER IL RISCHIO DI ALLAGAMENTO	3
2.1. ALLAGAMENTO PER ESONDAZIONE FLUVIALE.....	3
2.2. ALLAGAMENTO DA CANALI	5
2.3. MODELLO IDROGEOLOGICO	8
<i>Rete di monitoraggio precedente</i>	9
<i>Nuova rete di monitoraggio</i>	13
<i>Monitoraggio Fiume Po di Volano</i>	20
<i>Rapporto tra scavo di progetto e falda freatica</i>	21
3. VALUTAZIONI DI COMPATIBILITA' PER IL RISCHIO SISMICO.....	23
3.1. GEOLOGIA STRUTTURALE DELL'AREA	23
3.2. CARATTERI STRATIGRAFICI E LITOLOGICI.....	24
3.3. PARAMETRI SISMICI	29
<i>Categoria di suolo</i>	29
<i>Spettro da "Atto di indirizzo, n°112 del 2 maggio 2007"</i>	36
<i>Secondo "D.M. 14 gennaio 2008"</i>	36
<i>Magnitudo di progetto</i>	40
3.4. VERIFICA DELLA RESISTENZA ALLA LIQUEFAZIONE DELLE SABBIE	42
3.5. CALCOLO CEDIMENTI POSTSISMICI IN TERRENI GRANULARI	46
3.6. CALCOLO CEDIMENTI POSTSISMICI IN TERRENI COESIVI	47
4. RISCHIO INDUSTRIALE.....	47
4.1. INDUSTRIE A RISCHIO DI INCIDENTE RILEVANTE	47
4.2. PIPELINES E METANODOTTI.....	50
4.3. INDUSTRIE DENOMINATE "ALTRA TIPOLOGIA"	50
5. RISCHIO INCENDIO	54

1. PREMESSA

Su incarico della soc. Immobiliare Adele s.r.l., con sede in viale Volano n. 69 a Ferrara (FE), si redige lo studio per la Valutazione di Compatibilità sugli aspetti di mitigazione del rischio sismico e delle esigenze della Protezione Civile, conformemente a quanto previsto dalla Circolare Prot. n. 110883/2005 del 29/11/2005 dell'Amministrazione Provinciale di Ferrara, Settore Pianificazione Territoriale e alla Delibera di Giunta Regionale n° 1677/2005, per il progetto di "Piano Urbanistico Attuativo di iniziativa privata Officine Metallurgiche LUX" in via Volano n. 69 a Ferrara.

In FIGURA 1.1 si riporta l'ubicazione dell'area di intervento su stralcio CTR e catastale.

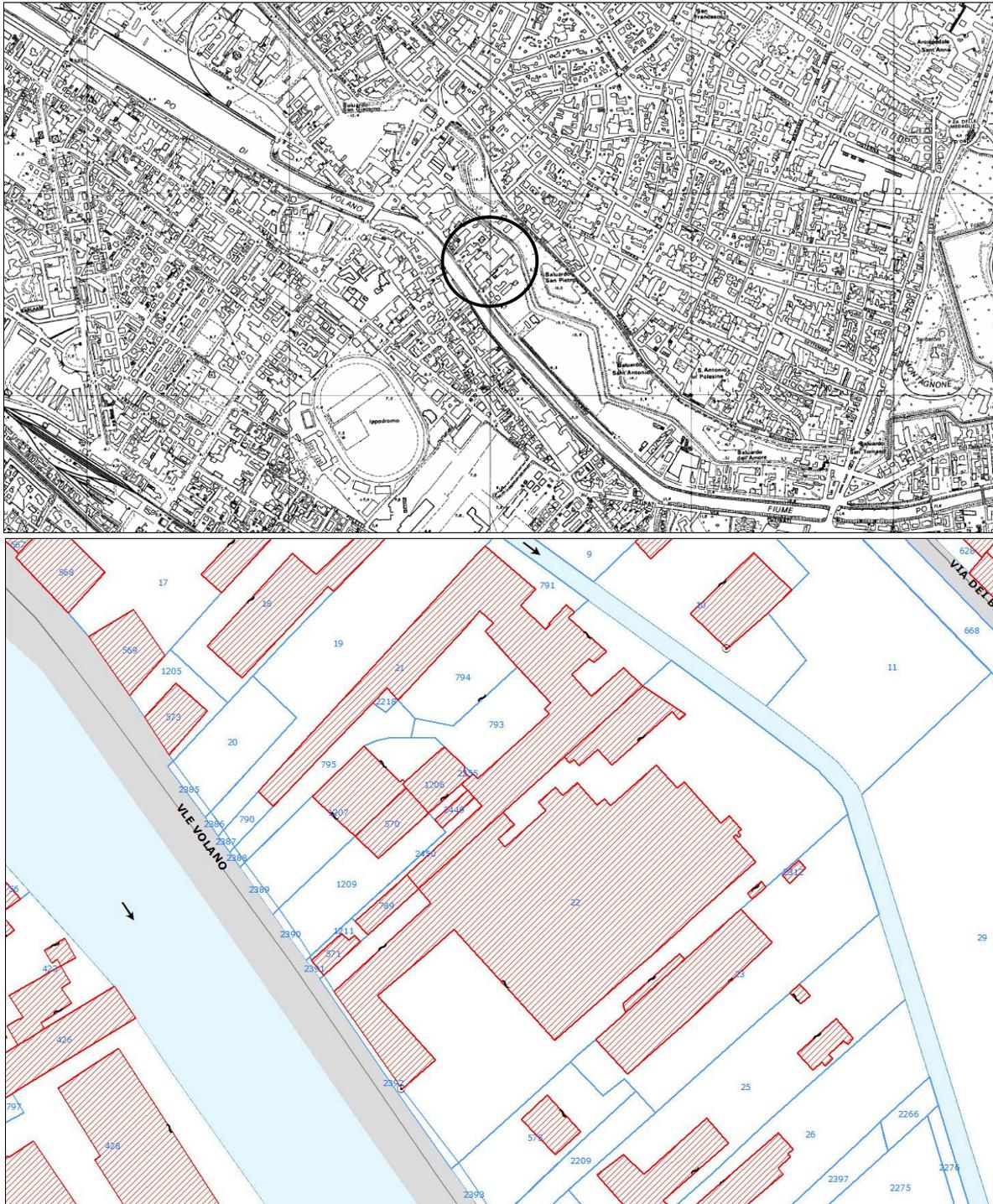


FIGURA 1.1 – Area di intervento a Ferrara con zoomata catastale

2. VALUTAZIONI DI COMPATIBILITA' PER IL RISCHIO DI ALLAGAMENTO

2.1. Allagamento per esondazione fluviale

Il più importante tipo di pericolosità che interessa il territorio ferrarese è la pericolosità da allagamento fluviale, la quale si articola in due aspetti:

- la probabilità che le acque escano dall'alveo
- l'individuazione delle aree esterne all'alveo che verrebbero allagate.

Il rischio idraulico derivante da una esondazione che coinvolga il territorio del Comune di Ferrara è fondamentalmente legato al fiume Po, le cui piene sottopongono gli imponenti argini a notevoli e prolungati carichi idraulici.

In subordine si possono verificare emergenze idrauliche ascrivibili al fiume Reno che, in caso di esondazione sulla sponda sinistra, potrebbe interessare parzialmente alcune aree della zona di S. Bartolomeo. Trascurabile anche la possibilità che acque uscite dal Panaro possano raggiungere il territorio in esame.

Due sono gli eventi principali che in passato hanno caratterizzato fortemente il percorso del fiume Po: nel 1152 quando si verificò la rotta di Ficarolo (il Po, che per millenni era defluito a Sud di Ferrara, con la rotta di Ficarolo si è spostato a nord, assumendo la configurazione attuale); e nel 1604 quando venne ultimato il "Taglio di Porto Viro" che ha dato inizio alla formazione del delta, fino a giungere alla configurazione attuale. In passato, inoltre, si sono verificate molte rotte con conseguente inondazione di vasti territori.

Gli interventi di ripristino sono consistiti nel chiudere le rotte, migliorando la situazione preesistente.

In conseguenza del progressivo ispessimento e rialzo delle arginature, il numero delle rotte nei secoli è andato decrescendo.

Negli ultimi anni si sono verificati due situazioni di piena particolarmente preoccupanti: nel novembre 1994 e nell'ottobre 2000. Quest'ultima piena ha comportato, come misura precauzionale, una operazione di innalzamento del ponte ferroviario poiché la quota del ponte era più bassa rispetto alla quota arginale. Nell'agosto del 2001 sono stati ultimati i lavori di costruzione del nuovo ponte ferroviario, adiacente a quello esistente che è stato poi elevato alla stessa quota del nuovo ponte.

Per comprendere l'entità del rischio a sottoposta l'area in esame per il rischio di esondazione del Po si fa ricorso alla *Relazione Geologica per il PSC del Comune di Ferrara* (prof. Marco Bondesan), nella quale sono presentati degli scenari per il caso di rotte (di gravità maggiore SCENARIO A e media SCENARIO B) nei vari tratti del fiume.

Le probabilità statistiche che si verificano delle piene vedono al primo posto il mese di novembre seguito da giugno e ottobre.

Dal punto di vista del comportamento delle acque uscenti da una eventuale rotta, il Po può essere differenziato in quattro tratti:

- tratto tra foce del Panaro e CER-Cavo Napoleonico (contiguo alla cella Vezzane)
- tratto tra CER-Cavo Napoleonico e canale Boicelli (contiguo alla cella Diamantina)
- tratto tra canale Boicelli e ponte della ferrovia Ferrara-Padova (contiguo alla cella Pontelagoscuro)
- tratto a est del ponte della ferrovia Ferrara-Padova (contiguo alla cella S.Giovanni).

Gli scenari di rischio sono stati sintetizzati in due carte: carta di sintesi degli scenari A, e carta di sintesi degli scenari B.

La carta di sintesi degli scenari A indica come allagabili per rotte del Po (con contributo del Panaro rigurgitato) una vasta porzione del territorio comunale, compreso il centro storico: con particolare gravità le aree comprese tra l'argine del Po e il fronte costituito dall'Argine Ducale e, più a est, dal dosso del Volano; con gravità minore varie aree, anche densamente urbanizzate, a sud di tale fronte. Segnala inoltre, nella fascia sud-occidentale del territorio comunale, vaste aree allagabili da parte del Reno. Una parte della periferia sud della città, in particolare, risulta allagabile sia da una esondazione del Po sia da una esondazione del Reno (in mancanza di interventi tempestivi per quest'ultima).

La carta di sintesi degli scenari B (presentata nella FIGURA 2.1) segnala invece come aree allagabili per rotte del Po (ed eventualmente del Panaro rigurgitato) solo quelle comprese tra l'argine del Po l'Argine Ducale, per la parte a ovest della città. Per la parte a est risulta allagabile per rotte del Po soprattutto il settore compreso tra il Po e il dosso del Volano. Segnala inoltre, nella fascia sud-occidentale del territorio, aree allagabili da parte del Reno, sia pur con minor grado di gravità rispetto a quelle relative al Po.

Entrambe le carte indicano infine come allagabili, oltre al Canale Boicelli, gli alvei di piena del Po di Ferrara (Poatello), del Po di Primaro e del Po di Volano, almeno fino al sostegno di Valpagliaro

In tutti i casi l'area allo studio si trova sempre sul margine esterno della CLASSE I (pericolosità bassa) in condizioni quindi di sicurezza.

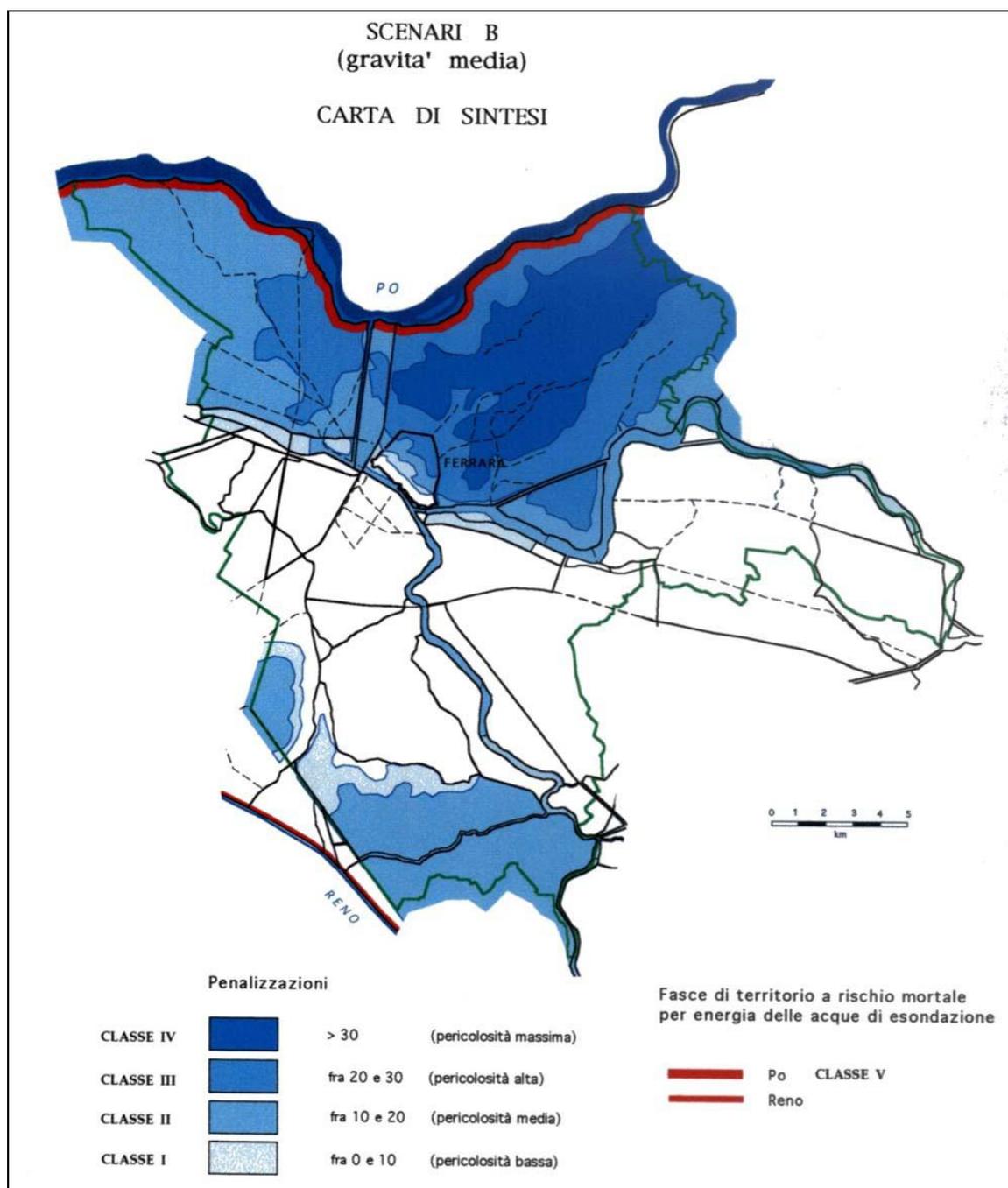


FIGURA 2.1 – Carta di sintesi Scenari B (gravità media)
(fonte: Relazione Geologica per il PSC del Comune di Ferrara (prof. Marco Bondesan))

2.2. Allagamento da canali

Particolare attenzione deve essere rivolta al rischio di esondazione dei corsi d'acqua che fanno parte del reticolo interno della rete consorziale di bonifica.

Nel caso di piogge persistenti possono verificarsi ampi allagamenti sia dei terreni agricoli che delle aree urbanizzate e, poiché il territorio comunale è intersecato da un fitto reticolo di canali, le aree coinvolte possono essere numerose.

Anche per quanto riguarda questo scenario di rischio si fa ricorso alla *Relazione Geologica per il PSC del Comune di Ferrara* (prof. Marco Bondesan).

Il sistema dei canali di scolo e irrigazione del territorio comunale di Ferrara fa parte del cosiddetto Bacino Burana-Volano-Canal Bianco.

Va premesso che, in genere, il concetto di bacino idrografico in pianura è convenzionale in quanto il territorio è caratterizzato da pendenze debolissime e risulta difficile tracciare dei precisi spartiacque, anche in considerazione del fatto che l'assetto idraulico è strettamente controllato da canali artificiali e paratoie (chiaviche); è dunque quasi sempre possibile, con particolari manovre, deviare le acque di scolo in territori adiacenti. Il bacino idrografico viene perciò definito facendo riferimento al sistema di convogliamento delle acque di scolo in condizioni ordinarie, ossia di piovosità normale e con la sistemazione più frequente delle paratoie.

In questo quadro, viene chiamato Bacino Burana-Volano-Canal Bianco l'insieme dei territori le cui acque trovano generalmente recapito a mare nel tratto costiero compreso fra la foce del Po di Goro e la foce del Reno (escluse dette foci).

I principali canali preposti a tale funzione sono, da nord a sud:

- il Canal Bianco, a servizio della fascia settentrionale del territorio ferrarese, che scarica le sue acque nella Sacca di Goro, previo sollevamento all'impianto idrovoro Romanina (ed eventuale presollevamento all'impianto idrovoro Ceccata)
- il sistema Po di Volano-Canale Navigabile, asse principale dell'intero bacino; il primo sbocca nella Sacca di Goro, il secondo direttamente in mare, a Porto Garibaldi.

Il Bacino di Burana-Volano-Canal Bianco è pertanto individuato come bacino di scolo. La maggior parte dei suoi canali sono però anche chiamati a svolgere funzioni irrigue.

L'asse portante del bacino, il Po di Volano, costituisce inoltre dei fondamentali tratti dell'Idrovia Ferrarese. Tale via navigabile è attualmente formata dal Canale Boicelli (km 6 fra la conca di Pontelagoscuro e Ferrara), dal Po di Volano e dai suoi diversivi di Focomorto e di Fossalta (km 33 tra Ferrara e Migliarino) e dal Canale Navigabile (km 30,5 tra Migliarino e Porto Garibaldi).

La navigabilità è garantita da sbarramenti (sostegni di livello), corredati da conche di navigazione, che realizzano due salti d'acqua e configurano tre tronchi di canalizzazione a tre diversi livelli.

Attualmente la complessa gestione idraulica delle reti di scolo e irrigazione, con i relativi impianti idrovori compete ai consorzi di bonifica.

Solo l'asta principale del Volano, con le appendici del Canale Boicelli e del Primario, e il Canale Navigabile Migliarino- Ostellato-Portogaribaldi, in funzione della loro valenza plurima di collettori di scolo, di adduttori irrigui e di linee navigabili, sono controllati dal Servizio Tecnico di Bacino Po di Volano e della Costa e dall'A.R.N.I. (Azienda Regionale per la Navigazione Interna).

In FIGURA 2.2 si riporta la rete di scolo del territorio comunale di Ferrara.

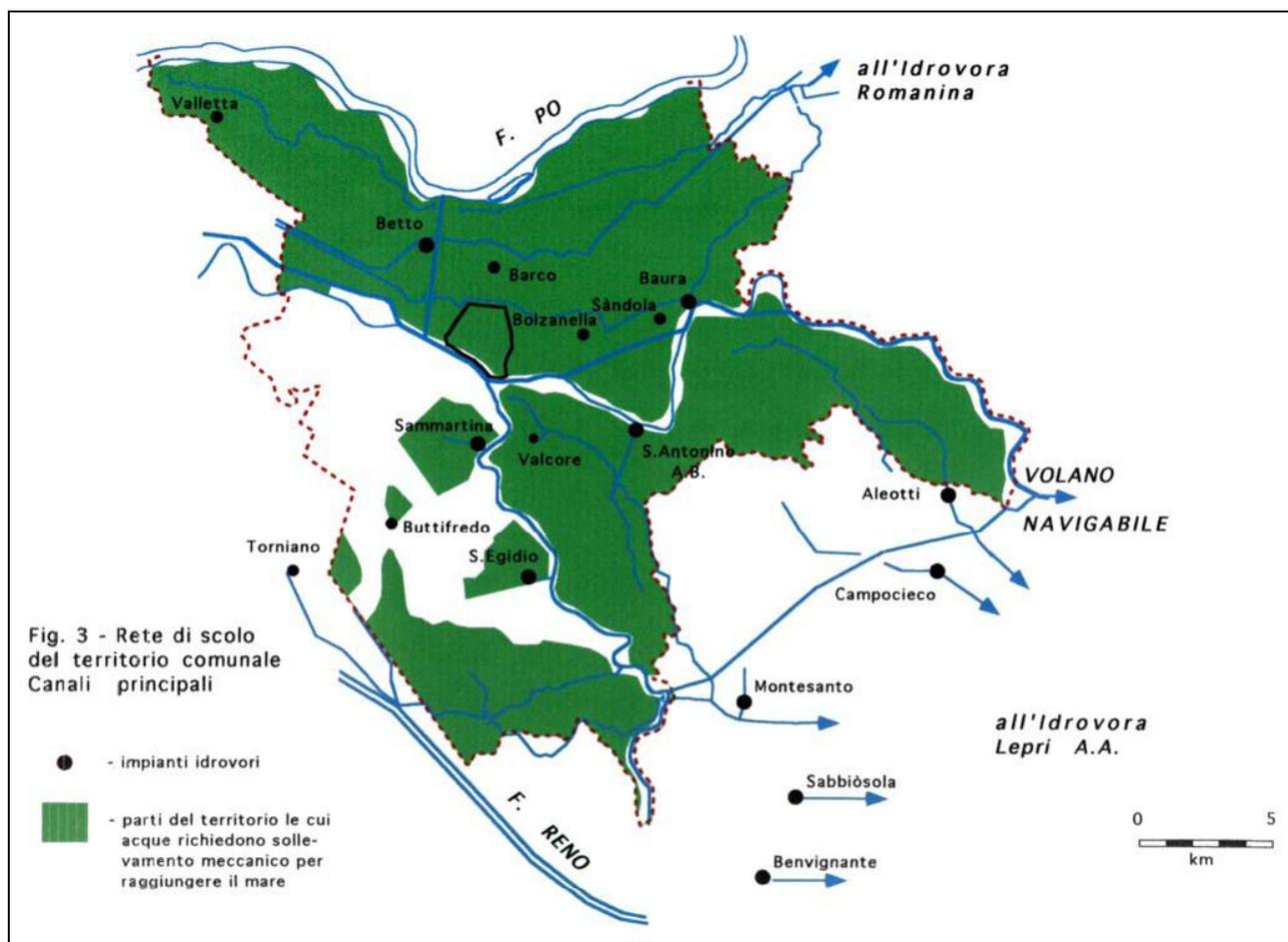


FIGURA 2.2 - Rete di scolo del territorio comunale di Ferrara
(fonte: Relazione Geologica per il PSC del Comune di Ferrara (prof. Marco Bondesan))

Lo sviluppo dell'insediamento nell'area di Ferrara coincide con una lunga storia di sforzi, per contendere i terreni alle acque; ancora nel secolo scorso, prima della costruzione delle pompe idrovore, vaste porzioni del territorio comunale, specie a sud e ad est della città, erano quasi permanentemente coperte dalle acque.

Tale situazione costituisce in effetti uno dei principali fattori di pericolosità da allagamento da canali cui è soggetto il territorio comunale.

Sussiste infatti il pericolo che cessino di funzionare, per varie ore, le pompe di uno o più impianti idrovori, durante un periodo di intense precipitazioni. In particolare la causa può consistere, come è d'altronde già accaduto, in una interruzione dell'energia elettrica di rete dovute allo stesso evento meteorologico (black-out per danneggiamento della linea o di centrali di distribuzione). Per questo motivo 6 dei maggiori impianti idrovori al servizio del territorio comunale sono dotati di "riserva termica"; essi sono cioè dotati, oltreché di pompe elettriche, di pompe a motore diesel o di gruppi elettrogeni da far entrare in funzione in caso di black-out della rete elettrica.

Un aspetto più generale di pericolosità è rappresentato dal fatto che gran parte dei canali della rete di scolo hanno anche funzione di canali di irrigazione (sono cioè canali a funzione promiscua). In occasione di episodi di intense precipitazioni dei mesi estivi, ossia nella stagione di maggior irrigazione, sarebbe necessario disporre dell'invaso vuoto della canalizzazione di scolo, per poter smaltire rapidamente le acque; ma questo è quasi sempre impossibile, appunto, nelle zone ove l'irrigazione viene praticata con sistema promiscuo e i canali stessi sono già colmi di acqua destinata a tale funzione.

Un'altra criticità risiede nel fatto che una delle funzioni dei canali principali del bacino Burana-Volano-Canal Bianco è quella di costituire una importante via navigabile: l'Idrovia Ferrarese. Questa doppia funzione

del Po di Volano, come del Canale Navigabile, comporta sempre più spesso la necessità, all'approssimarsi di eventi meteorici di notevole intensità, di operare frettolose manovre di rimozione dei sostegni di livello, onde permettere un più rapido e sicuro deflusso delle acque interne.

Un'altra criticità importante è rappresentata dalla impossibilità di esercitare l'utilizzo totale degli alvei di piena del Volano e del Primaro a causa dell'avvenuta occupazione delle golene con edifici. Lo sforzo di mantenere l'invaso delle acque limitato al solo alveo inciso è ormai divenuto insostenibile: si può oggi considerare ineluttabile l'allagamento di parte di questi edifici in caso di forte aumento degli afflussi a questi corsi d'acqua.

Ulteriori elementi di criticità fanno in modo che, oggi, tale pericolosità stia assumendo sempre maggiore importanza:

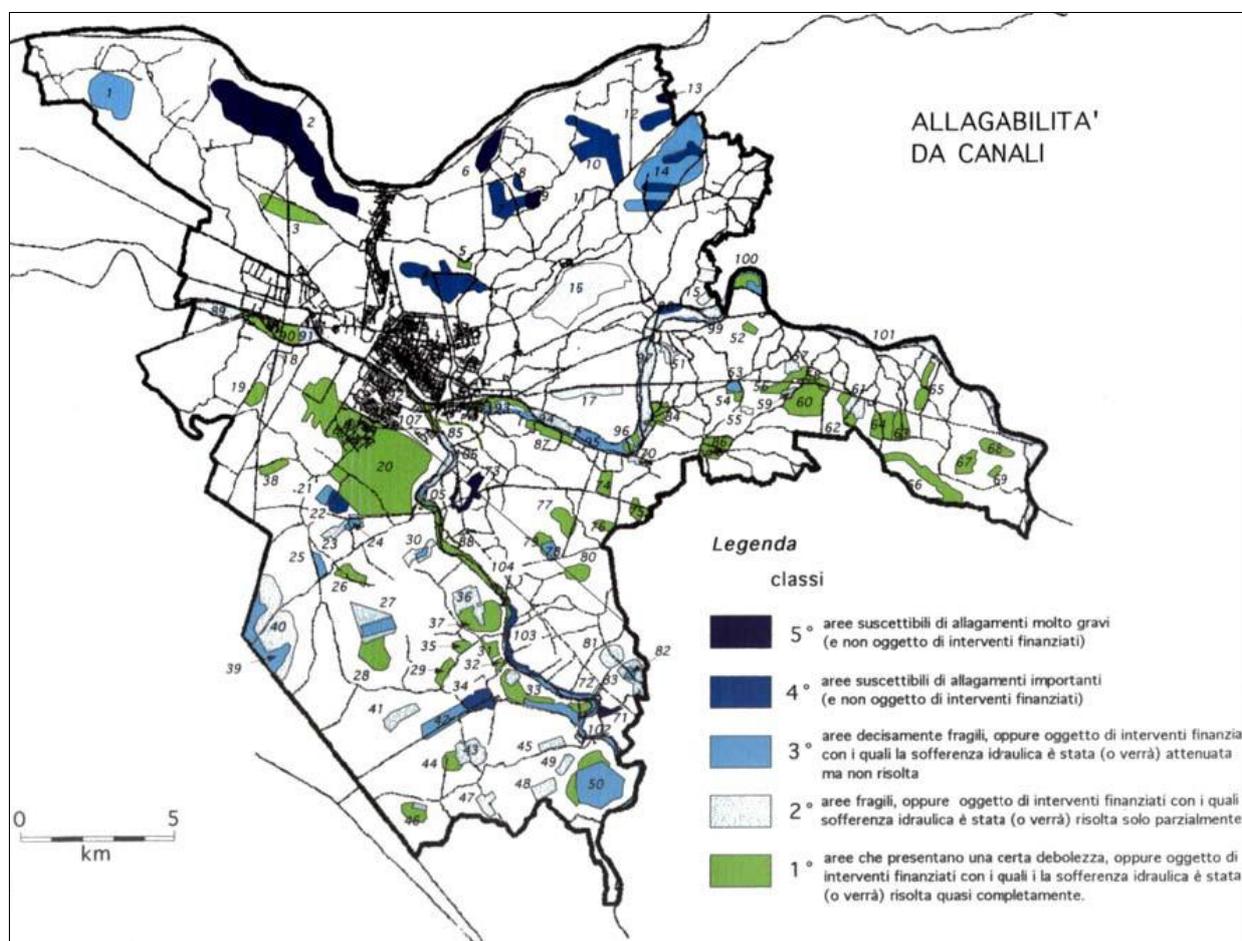
- il mutamento climatico in corso, in direzione di un sensibile aumento della frequenza di eventi estremi (si verificano sempre più spesso episodi che concentrano in poche ore le precipitazioni che in passato erano distribuite su varie settimane o mesi).

- i cambiamenti tuttora in atto nel territorio, che consistono soprattutto negli abbassamenti causati dalla subsidenza artificiale e nella crescente impermeabilizzazione dei suoli legata alla progressiva urbanizzazione di vaste aree

- eventuali insufficienze locali della rete di scolo, che nelle reti consorziali possono essere soprattutto rappresentate da franamenti di sponde dei canali, e in quelle aziendali dalla scarsa manutenzione o nell'eliminazione dei fossi interpoderali.

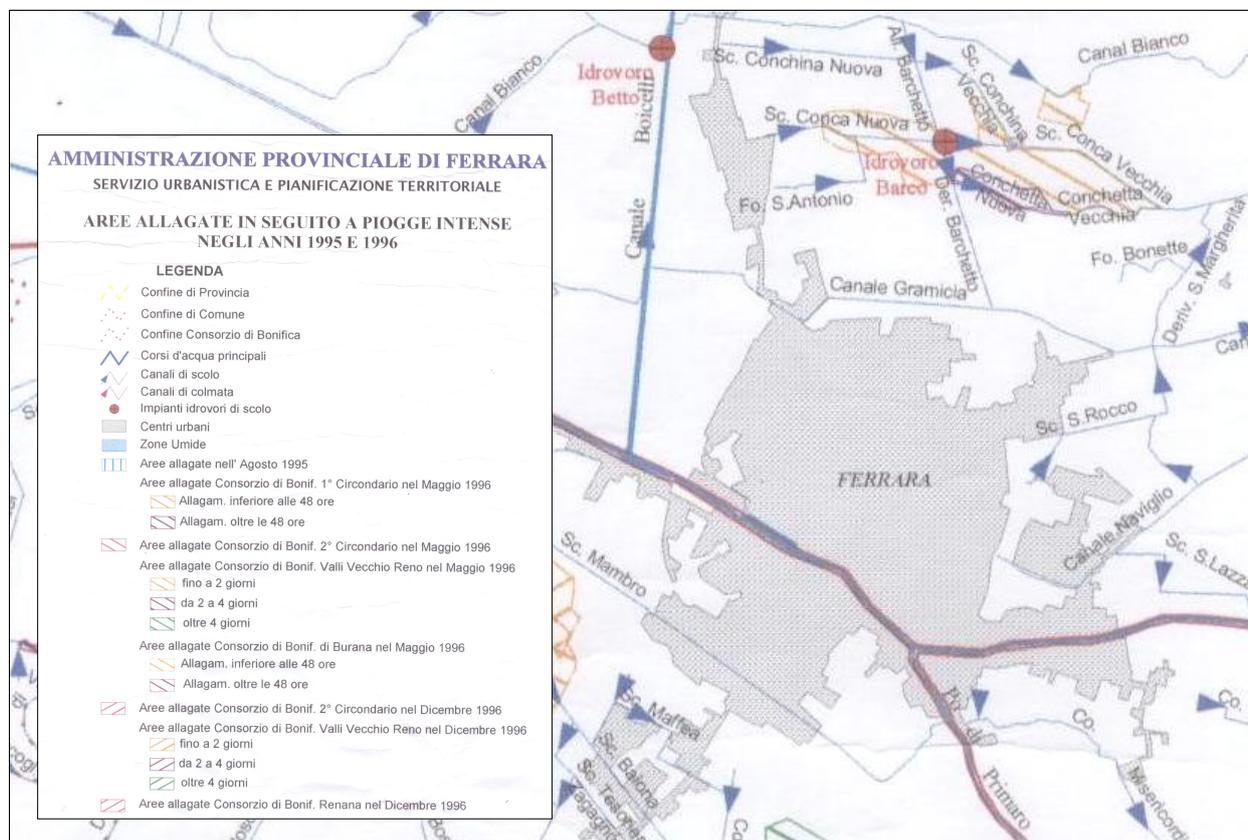
Gli effetti in genere consistono in una generale diminuzione dei tempi di corrivazione e in locali aumenti dei coefficienti di deflusso, che si traducono in insufficienze più o meno gravi di alcune parti della rete.

In FIGURA 2.3 si riporta la carta dell'allagabilità da canali del territorio comunale di Ferrara.



*FIGURA 2.3 - Carta dell'allagabilità da canali del territorio comunale di Ferrara
(fonte: Relazione Geologica per il PSC del Comune di Ferrara (prof. Marco Bondesan))*

In FIGURA 2.4 si riporta invece uno stralcio della *Carta delle aree allagate in seguito a piogge intense negli anni 1995 e 1996* (Amministrazione provinciale di Ferrara), dove vengono evidenziati anche i tracciati dei canali di scolo. Da questa carta si può evincere che l'area in esame non sia stata soggetta ad allagamenti persistenti (aree tratteggiate).



*FIGURA 2.4 - Carta delle aree allagate in seguito a piogge intense negli anni 1995 e 1996
(Fonte: Amministrazione provinciale di Ferrara, Servizio Urbanistica e Pianificazione Territoriale)*

Vari interventi sono stati eseguiti sulla rete di scolo dal 1996 ad oggi, che hanno risolto, o quanto meno alleggerito le condizioni di sofferenza che avevano giocato un ruolo notevole negli allagamenti visti (parte di questi interventi hanno avuto come oggetto strutture esterne al comune di Ferrara, ma è chiaro che migliorie a livello di bacino si traducono anche in miglioramenti sulla rete del territorio comunale).

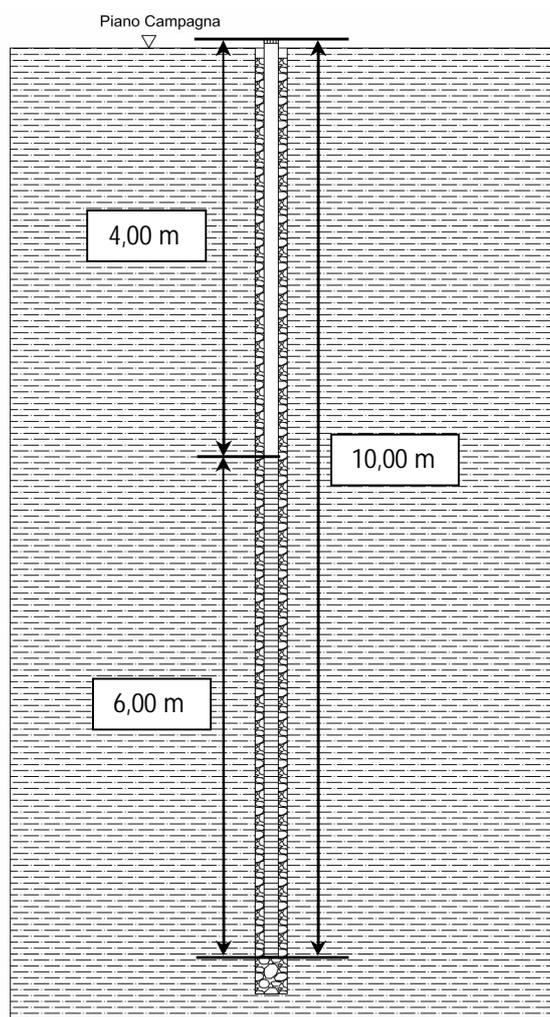
2.3. Modello idrogeologico

Per la validazione del modello idrogeologico si fa riferimento alla rete dei piezometri posizionati secondo il Piano di Caratterizzazione approvato dalla Conferenza dei Servizi svoltasi in data 13/07/2011 e approvata con atto PG 62561/2011 del 02/08/2011.

In data 25/10/2011 è stato realizzato e fornito il nuovo rilievo topografico del sito di intervento in via Volano 60, di proprietà della Soc. Immobiliare Adele s.r.l. e di un suo intorno significativo. Tale rilievo è ancorato a capisaldi di quota ufficialmente riconosciuti ed è stato realizzato anche questa volta dal Geom. Paolo Minghini di Ferrara. La differenza di quota tra il rilievo precedentemente utilizzato dallo scrivente e quest'ultimo è di 0,83 m, ovvero la quota del binario del cancello passa da +9,98 m s.l.m. alla quota definitiva di +9,15 m s.l.m. (ovvero +19,15 m sullo zero di bonifica utilizzato dai consorzi di bonifica, per i quali lo zero corrisponde a -10,00 m sotto il livello medio del mare).

Rete di monitoraggio precedente

Nella precedente relazione si sono utilizzati i 4 piezometri montati in precedenza spinti fino alla profondità di -10,00 m da p.c. con tratto fessurato da -4,00 m da p.c. fino a -10,00 m da p.c..



SCHEMA PIEZOMETRO

Le bocche pozzo dei piezometri sono state rilevate allacciandosi alla quota del ferro della guida del cancello (+19.15m) come riportato nel nuovo rilievo di progetto di FIGURA 2.5.

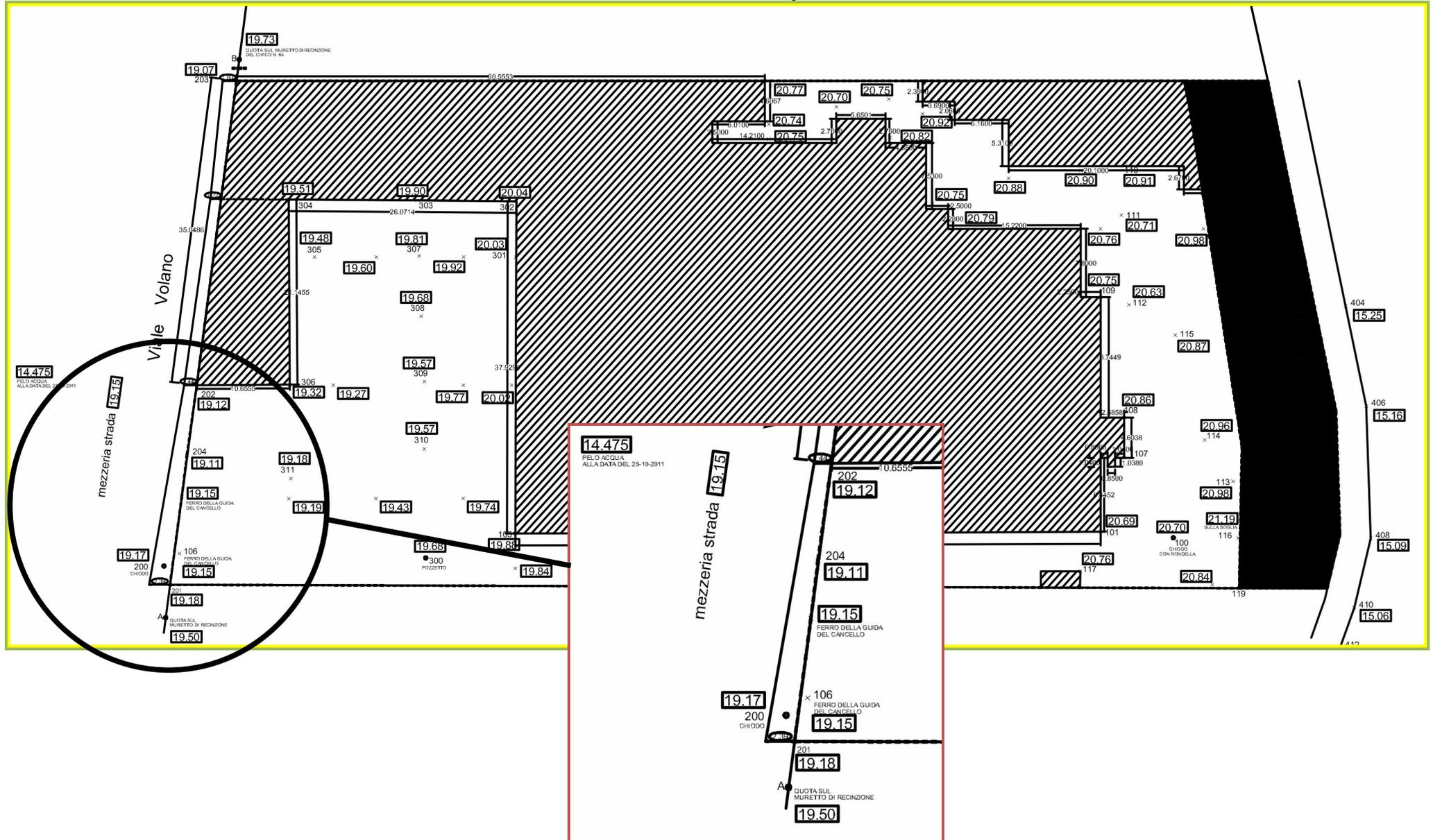


FIGURA 2.5 – Nuovo rilievo di progetto a cui ci si è ancorati per quotare le bocche pozzo piezometri

I dati rilevati sono riportati in Tabella 2.1.

Punto di lettura superficie d'acqua	Piano di campagna da zero bonifica)	Quota bocca pozzo (m da zero bonifica)	Acqua da bocca pozzo (m) 19/05/2011	Quota assoluta acqua 19/05/2011 (m da zero bonifica)
P1	19,266	19,370	5,210	14,160
P2	20,938	21,021	6,930	14,091
P3	21,003	21,098	7,040	14,058
P4	19,329	19,190	5,060	14,130
Po di Volano				14,600

Tabella 2.1 - Letture rilevamento topografico – 19/05/2011

Dalla lettura delle quote d'acqua nei piezometri, effettuate in data 19 maggio 2011, si risale allo schema della circolazione dei flussi di falda.

Si presenta in FIGURA 2.6 una carta delle isofreatiche dell'area con ubicati i 4 piezometri P1, P2, P3 e P4 rilevati in data 19/05/2011, con isolinee distanziate di 0,05 m, le quote sono riferite al caposaldo consortile ufficiale utilizzato dal topografo Geom. Paolo Minghini.

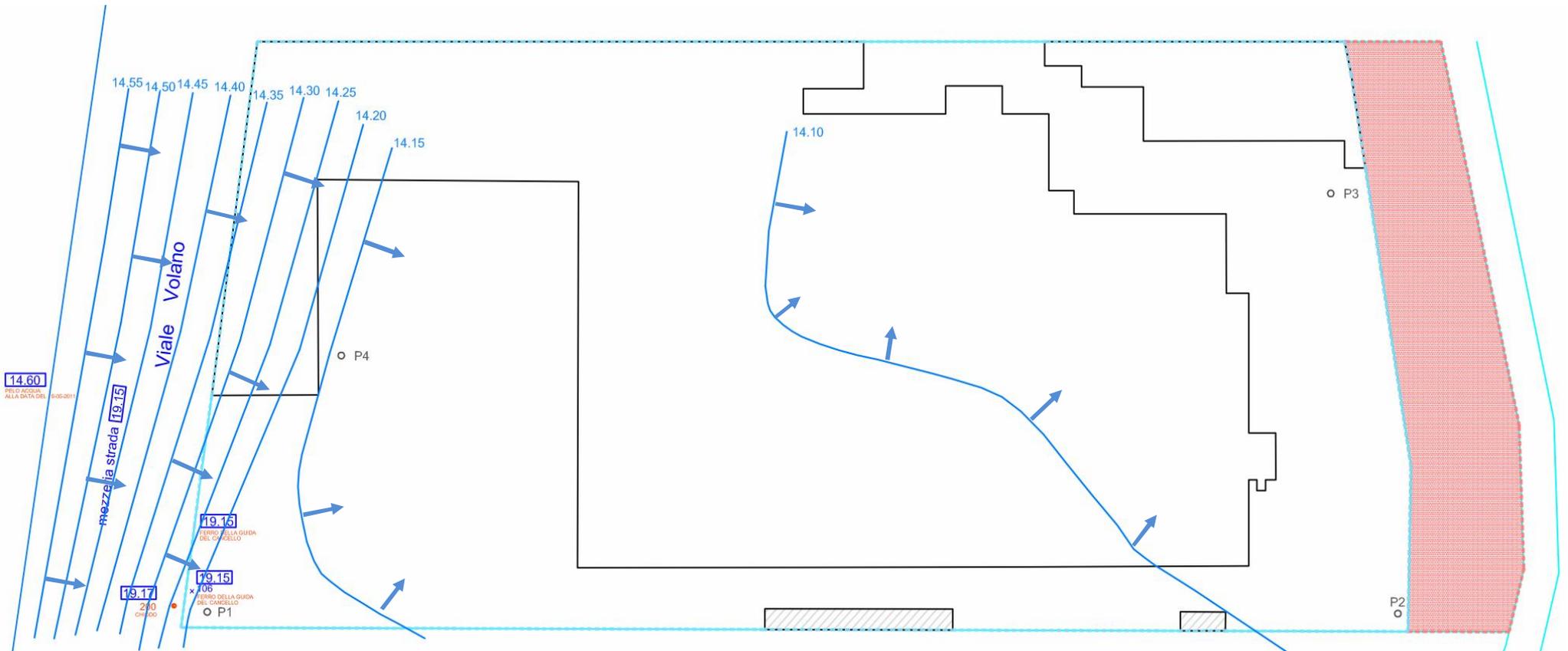


FIGURA 2.6 – Carta delle isofreatiche – 19/05/2011

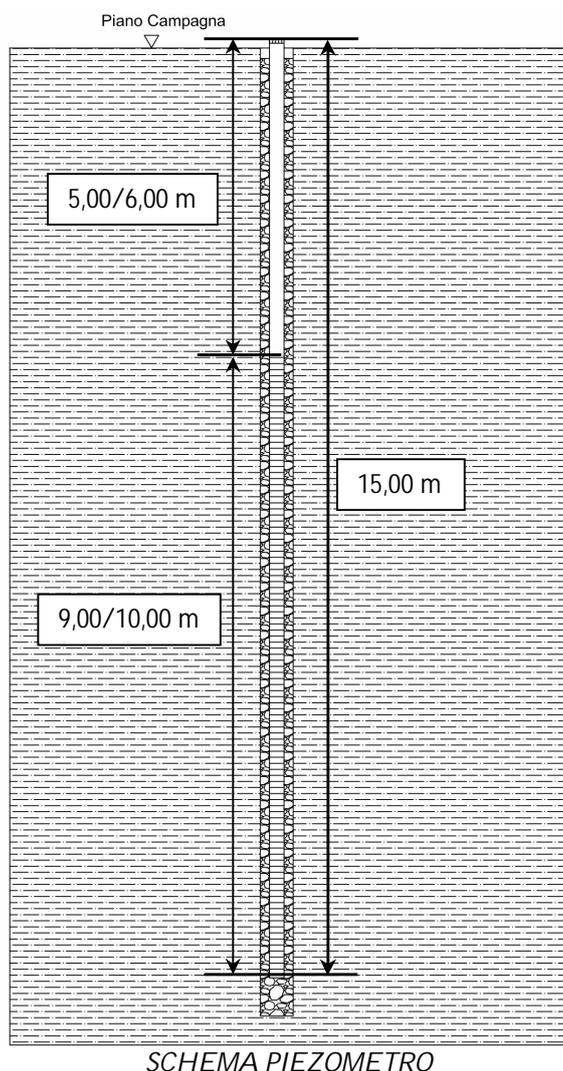
Come possiamo osservare dalla carta delle isofreatiche, con le quote rilevate il 19 maggio 2011, l'andamento dei flussi di falda è orientato dal Po di Volano verso lo stabilimento.

Dunque i flussi di falda al di sotto del sito in esame hanno direzione sud-ovest nord-est attribuendo quindi al fiume Po di Volano un carattere alimentante nei confronti della falda freatica.

Nuova rete di monitoraggio

La rete di monitoraggio precedentemente menzionata è stata ampliata con 11 nuovi piezometri GW1, GW3, GW4, GW5, GW6, GW7, GW8, GW9, GW10, GW11 e GW12 posizionati nell'intorno e dentro lo stabilimento spinti tutti fino a -15,00 m di profondità da p.c..

La nuova rete piezometrica montata nel sito in esame è caratterizzata da piezometri con tratto fessurato che va in alcuni da -5,00 m da p.c. in altri da -6,00 m da p.c. fino a -15,00 m da p.c..



Anche per questi nuovi piezometri si è provveduto ad eseguire una campagna topografica di quotatura delle bocche pozzo sempre riferite alla quota del ferro della guida del cancello come riportato nel rilievo di progetto di FIGURA 2.5.

In Tabella 2.2 si riportano i dati con le quote di falda rilevate in data 03/11/2011.

Piano di riferimento		quota (m sullo zero di bonifica)		Quota da b.p. (m)	Quota assoluta 03/11/2011	Quota falda da p.c. (m)	
19,15	piano St1	2,13	21,280				
		1,847	19,433	GW3	5,72	13,713	5,587
		1,98	19,300	p.c. GW3			
		2,13	19,150				
		1,64	19,640	GW1	6,01	13,630	6,220
		1,43	19,850	p.c. GW1			
		1,345	19,935	GW10	6,25	13,685	6,380
		1,215	20,065	p.c. GW10			
		0,73	20,550	GW8	6,9	13,650	7,095
		0,535	20,745	p.c. GW8			
	piano St2	1,42	22,165				
		1,647	20,518	GW9	6,87	13,648	7,157
		1,36	20,805	p.c. GW9			
		1,6	20,565	GW11	6,95	13,615	7,175
		1,375	20,790	p.c. GW11			
		1,672	20,493	GW6	6,9	13,593	7,229
		1,343	20,822	p.c. GW6			
	piano St3	1,575	22,397				
		1,92	20,477	GW5	6,9	13,577	7,157
		1,663	20,734	p.c. GW5			
	piano St4	1,461	22,195				
		1,667	20,528	GW12	6,95	13,578	7,137
		1,48	20,715	p.c. GW12			
	piano St5	1,862	22,339				
		1,68	20,659	GW7	7,06	13,599	7,188
		1,552	20,787	p.c. GW7			
	piano St6	1,534	22,321				
		1,642	20,679	GW4	7,07	13,609	7,173
		1,539	20,782	p.c. GW4			
Caposaldo 19,140	Ponte S. Giorgio						
		1,727	20,867				
		1,04	19,827	cordolo ponte	5,36	14,467	5,360

Tabella 2.2 - Letture rilevamento topografico – 03/11/2011

In FIGURA 2.7 è riportata la carta delle isofreatiche dell'area con ubicati i nuovi piezometri, situati nell'intorno e dentro lo stabilimento, rilevati in data 03/11/2011, con isolinee distanziate di 0,05 m; le quote sono riferite al caposaldo consortile ufficiale utilizzato dal topografo Geom. Paolo Minghini.

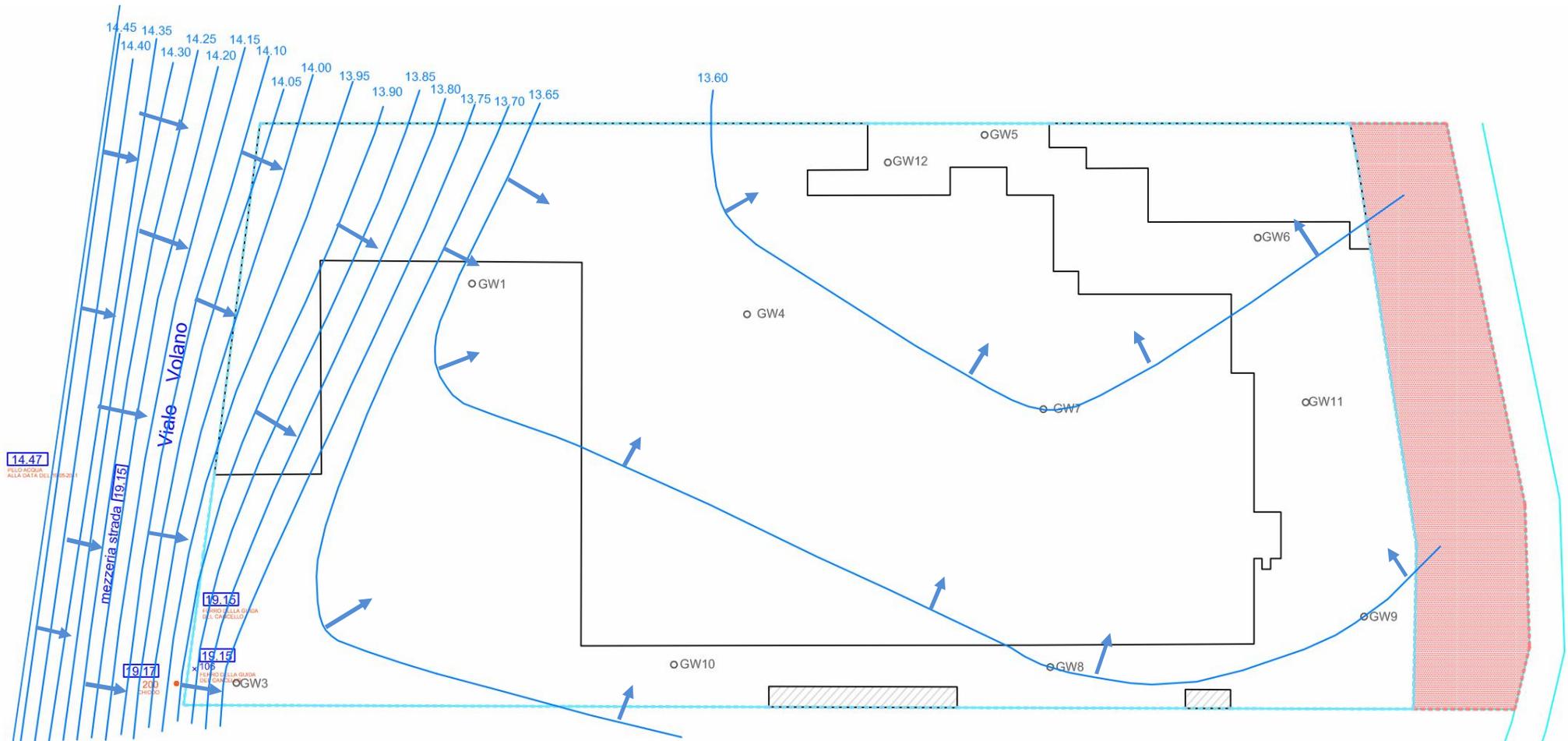


FIGURA 2.7 - Carta delle isofreatiche - 03/11/2011

In Tabella 2.3 si riportano i dati con le quote di falda rilevate in data 17/01/2012.

Piano di riferimento		quota (m sullo zero di bonifica)			Quota da b.p. (m)	Quota assoluta 11/3/2011	Quota falda da p.c. (m)
19.15	piano St1	2.13	21.280				
		1.847	19.433	GW3	5.78	13.653	5.647
		1.98	19.300	p.c. GW3			
		2.13	19.150				
		1.64	19.640	GW1	6.07	13.570	6.280
		1.43	19.850	p.c. GW1			
		1.345	19.935	GW10	6.33	13.605	6.460
		1.215	20.065	p.c. GW10			
		0.73	20.550	GW8	6.97	13.580	7.165
		0.535	20.745	p.c. GW8			
	piano St2	1.42	22.165				
		1.647	20.518	GW9	6.93	13.588	7.217
		1.36	20.805	p.c. GW9			
		1.6	20.565	GW11	7	13.565	7.225
		1.375	20.790	p.c. GW11			
		1.672	20.493	GW6	6.96	13.533	7.289
		1.343	20.822	p.c. GW6			
	piano St3	1.575	22.397				
		1.92	20.477	GW5	6.96	13.517	7.217
		1.663	20.734	p.c. GW5			
	piano St4	1.461	22.195				
		1.667	20.528	GW12	7.01	13.518	7.197
		1.48	20.715	p.c. GW12			
	piano St5	1.862	22.339				
		1.68	20.659	GW7	7.01	13.649	7.138
		1.552	20.787	p.c. GW7			
	piano St6	1.534	22.321				
		1.642	20.679	GW4	7.14	13.539	7.243
		1.539	20.782	p.c. GW4			
Caposaldo 19.140	Ponte S. Giorgio						
		1.727	20.867				
		1.04	19.827	cordolo ponte	5.49	14.337	5.490

Tabella 2.3 - Letture rilevamento topografico – 17/01/2012

In FIGURA 2.8 è riportata la carta delle isofreatiche con i dati rilevati in data 17/01/2012, con isolinee distanziate di 0,05 m; le quote sono riferite al caposaldo consortile ufficiale utilizzato dal topografo Geom. Paolo Minghini.

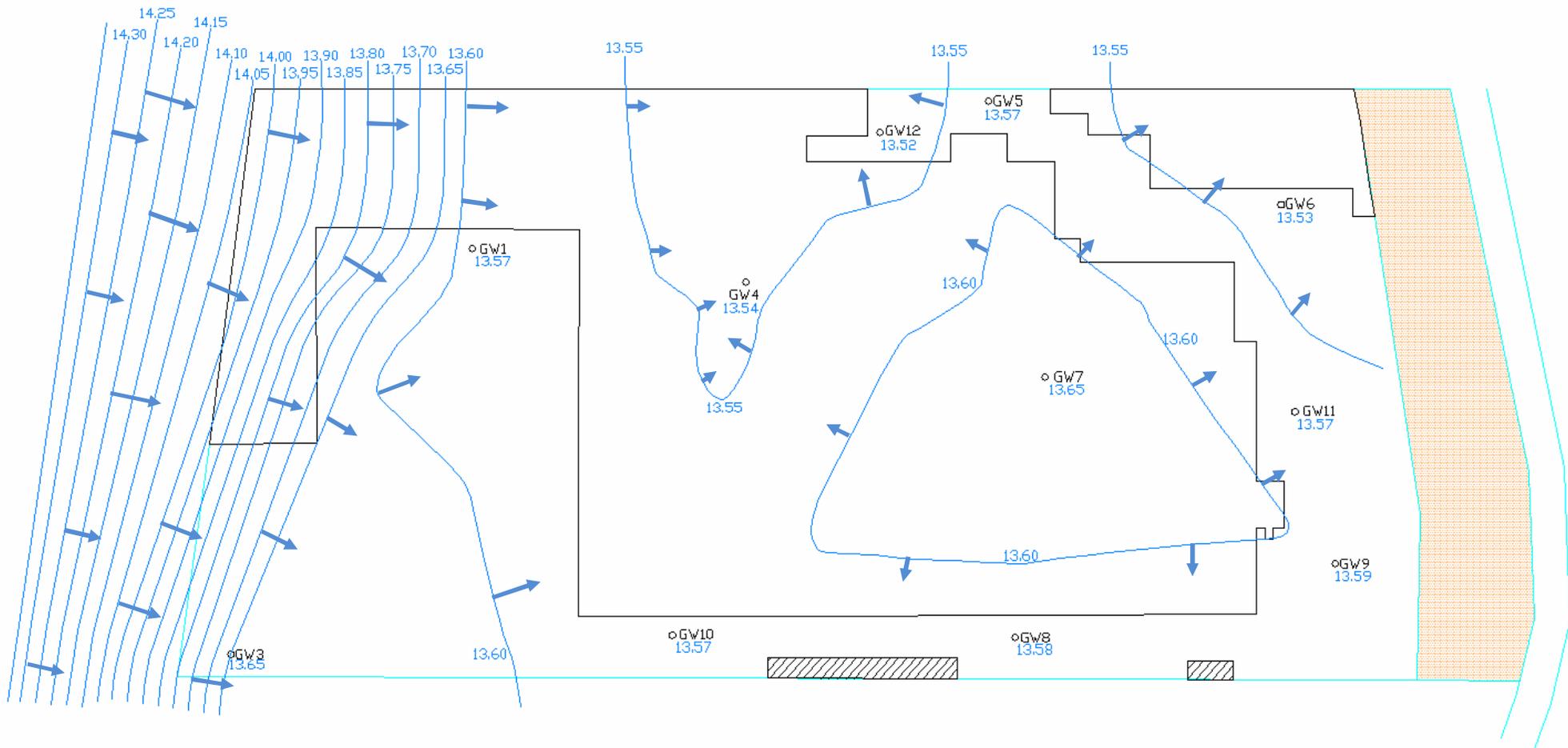


FIGURA 2.8 – Carta delle isofreatiche – 17/01/2012

In Tabella 2.4 si riportano i dati con le quote di falda rilevate in data 29/03/2012.

Piano di riferimento		quota (m sullo zero di bonifica)		Quota da b.p. (m)	Quota assoluta 03/11/2011	Quota falda da p.c. (m)
19,15	piano St1	2,13	21,280			
		1,847	19,433	GW3	5,83	13,603
		1,98	19,300	p.c. GW3		5,697
		2,13	19,150			
		1,64	19,640	GW1	6,12	13,520
		1,43	19,850	p.c. GW1		6,330
		1,345	19,935	GW10	6,39	13,545
		1,215	20,065	p.c. GW10		6,520
		0,73	20,550	GW8	7,02	13,530
		0,535	20,745	p.c. GW8		7,215
	piano St2	1,42	22,165			
		1,647	20,518	GW9	7	13,518
		1,36	20,805	p.c. GW9		7,287
		1,6	20,565	GW11	7,06	13,505
		1,375	20,790	p.c. GW11		7,285
		1,672	20,493	GW6	7,015	13,478
		1,343	20,822	p.c. GW6		7,344
	piano St3	1,575	22,397			
		1,92	20,477	GW5	7,01	13,467
		1,663	20,734	p.c. GW5		7,267
	piano St4	1,461	22,195			
		1,667	20,528	GW12	7,06	13,468
		1,48	20,715	p.c. GW12		7,247
	piano St5	1,862	22,339			
		1,68	20,659	GW7	7,17	13,489
		1,552	20,787	p.c. GW7		7,298
	piano St6	1,534	22,321			
		1,642	20,679	GW4	7,19	13,489
		1,539	20,782	p.c. GW4		7,293
Caposaldo 19,140	Ponte S. Giorgio					
		1,727	20,867			
		1,04	19,827	cordolo ponte	5,38	14,447
						5,380

Tabella 2.4 - Letture rilevamento topografico – 29/03/2012

In FIGURA 2.9 è riportata la carta delle isofreatiche con i dati rilevati in data 29/03/2012, con isolinee distanziate di 0,05 m; le quote sono riferite al caposaldo consortile ufficiale utilizzato dal topografo Geom. Paolo Minghini.

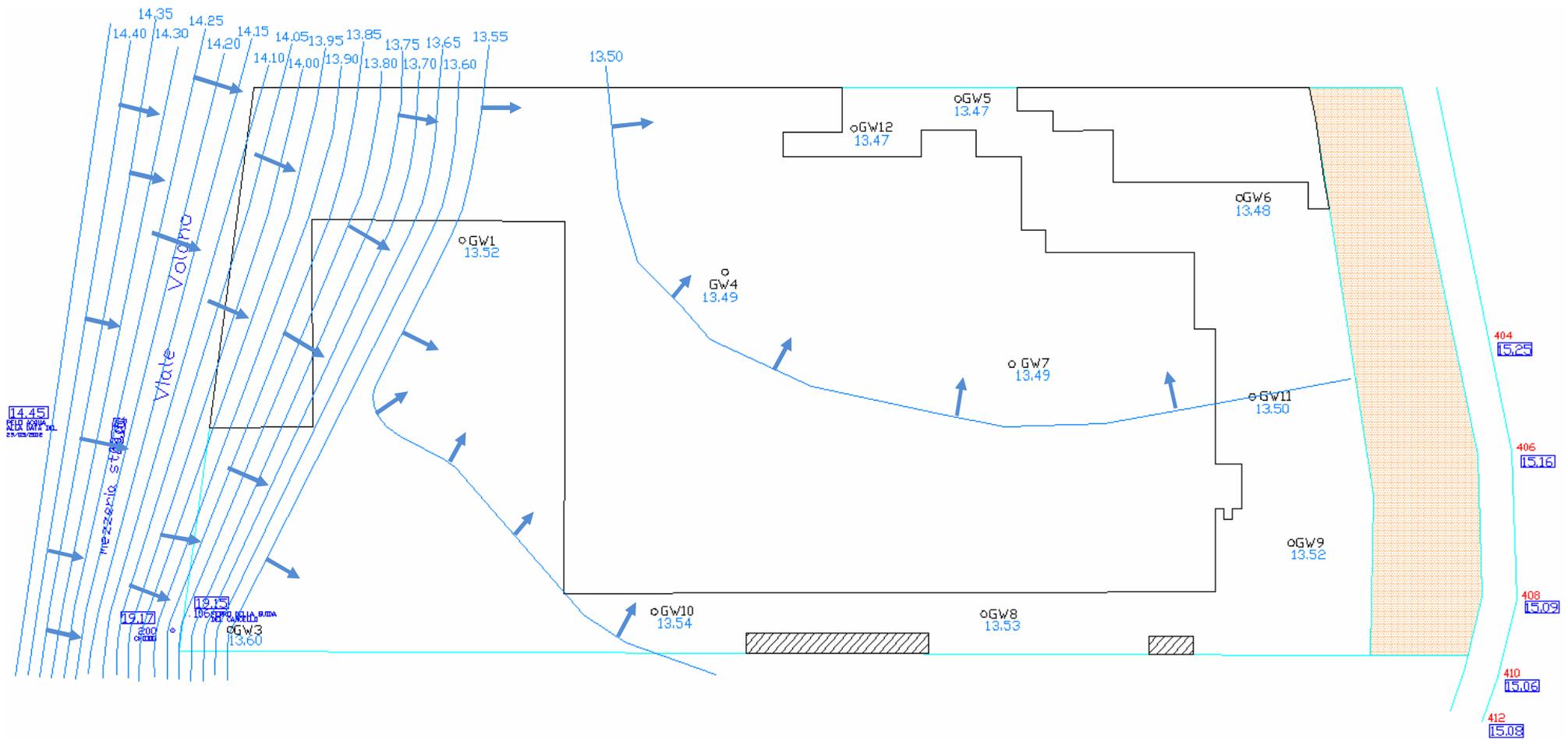


FIGURA 2.9 – Carta delle isofreatiche – 29/03/2012

Le campagne di lettura nei piezometri sono avvenute in un particolare periodo caratterizzato da precipitazioni meteoriche eccezionalmente scarse; il monitoraggio dei livelli di falda verrà continuato con cadenza bimestrale, per verificare che le assunzioni fatte in queste relazioni non subiscano variazioni significative ai fini della realizzazione futura delle opere di progetto. Anche con l'ausilio di una rete di monitoraggio più densa di quella precedente osserviamo come l'andamento freatico sia molto simile, con flussi di falda orientati sud-ovest nord-est; l'andamento freatico descrive il carattere alimentante del Po di Volano che dunque presenta quote superiori rispetto a quelle di falda rilevate all'interno dei piezometri verificando quanto affermato in precedenza con la precedente rete di monitoraggio.

Monitoraggio Fiume Po di Volano

Con i dati acquisiti sin ora si ricava che la quota del fiume Po di Volano risulta oscillare tra +14,34 a +14,47 m rispetto allo zero di bonifica in un intervallo di tempo compreso tra il 03 novembre 2011 e il 29 marzo 2012.

Dalle informazioni ottenute dal Servizio Tecnico di Bacino Po di Volano e della Costa si ricava che la quota media di navigazione del fiume è di +14,60 m rispetto allo zero di bonifica. Essa può subire oscillazioni tra valori minimi di +14,30 m e massimi di +15,00 m rispetto allo zero di bonifica.

In Tabella 2.5 si riportano le quote relative al Po di Volano, rispetto lo zero quotato da ARPA nel 2005:

Fiume Po di Volano	Quota (m)
Quota di Navigazione	+14,60
Quota minima invernale	+14,30
Quota di scolo massima	+15,00
Quota massima piena storica	+15,65
Quota Po di Volano in data 03/11/2011	+14,47
Quota Po di Volano in data 17/01/2012	+14,34
Quota Po di Volano in data 29/03/2012	+14,45

(N.B. il punto di riferimento è lo zero di Arpa del 2005)

Tabella 2.5 - Quote Po di Volano e quote di falda

Da sottolineare un evento storico eccezionale piuttosto recente: nel maggio 1996 il Po di Volano ha raggiunto quota +15,65 m sullo zero di bonifica.

In FIGURA 2.10 è riportato uno schema sintetico delle oscillazioni che caratterizzano il Po di Volano.

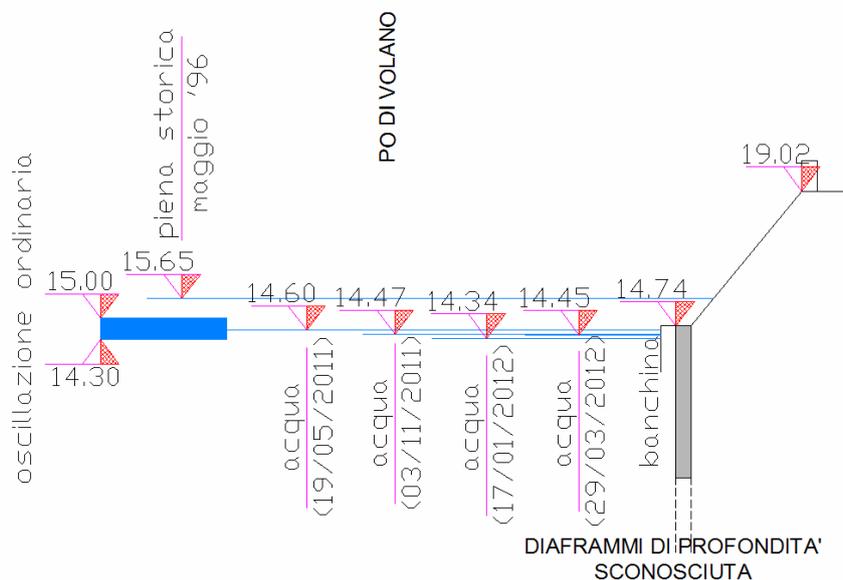


FIGURA 2.10 – Oscillazioni significative del fiume Po di Volano

Rapporto tra scavo di progetto e falda freatica

I rapporti tra lo stato di fatto, lo stato di progetto e gli scavi di cantiere sono riportati in Tabella 2.6 dove vengono menzionate le quote di scavo del piano interrato per il progetto in esame, le escursioni massime tra le quote dei livelli freatici rilevati nel corso del monitoraggio tra il 2011 e il 2012 e le quote del fiume Po di Volano.

	Quota (m) 03/11/2011	Quota (m) 17/01/2012	Quota (m) 29/03/2012
Variazioni delle quote di falda rilevate in sito	+13,577/+13,71	+13,517/+13,65	+13,467/+13,60
Quota Po di Volano	+14,47	+14,47	+14,45
Massima quota di scavo	+15,07		

(N.B. il punto di riferimento è lo zero di Arpa del 2005)

Tabella 2.6 – Quote utili per caratterizzare il progetto in esame

In FIGURA 2.7 si riporta uno stralcio della TAVOLA J05_A “SEZIONE IDRAULICA ED IDROGEOLOGICA” allegata a questa relazione che mostra in dettaglio tutte le quote assolute significative di tale progetto, le oscillazioni dei livelli freatici nei diversi periodi di monitoraggio, la stratigrafia al di sotto del sito e la sezione di progetto.

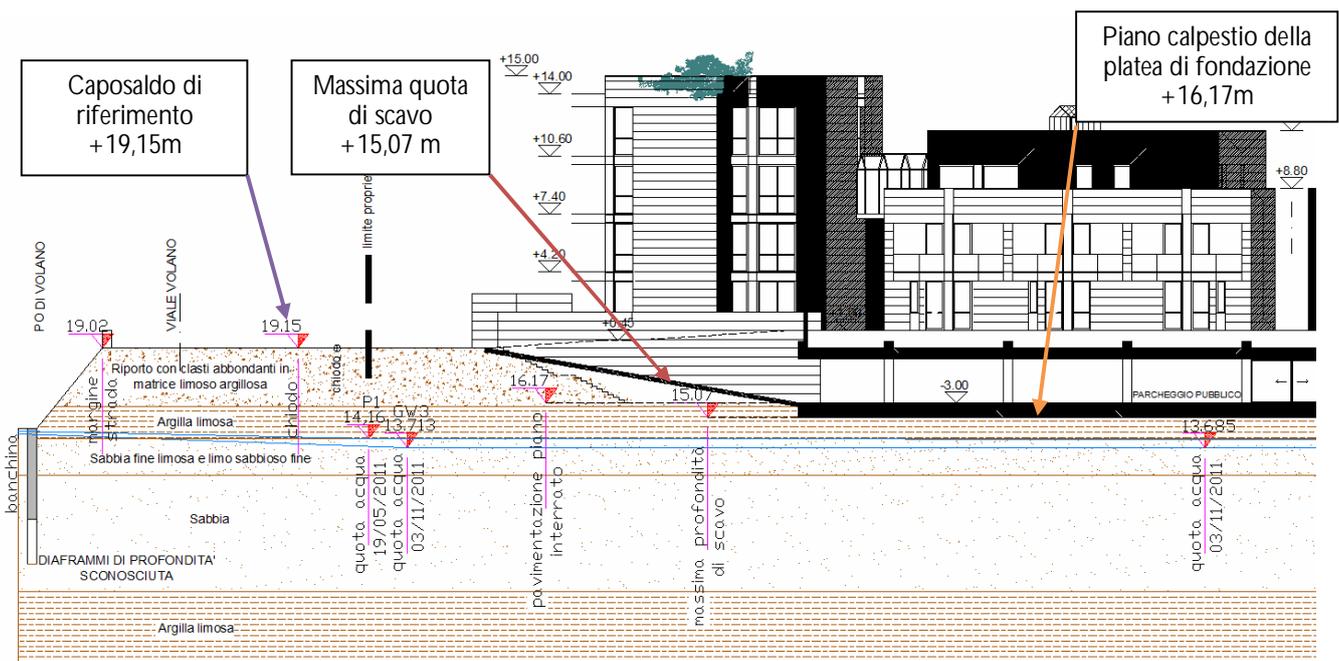


FIGURA 2.7 – Stralcio della sezione idraulica ed idrogeologica sovrapposta alla sezione di progetto

Come si può osservare tutte le quote assolute di questo progetto assumono una diminuzione di 0,83 m rispetto alla precedente relazione, mentre le quote relative rispetto lo zero assunto di cantiere, rimangono ovviamente le stesse, sono cambiate le quote assolute. E' cambiato il caposaldo a cui il topografo lo ha ancorato.

Lo zero di cantiere sarà assunto sul chiodo di quota +19,15 m rispetto allo zero di bonifica, quindi tutte le quote del nuovo progetto saranno riferite a tale punto.

Il piano di calpestio della platea di fondazione è a -3,00 m dallo zero di cantiere e a -16,17 m rispetto allo zero di bonifica.

Come possiamo osservare dalla Tav. J05_A “sezione idraulica ed idrogeologica” realizzata, i livelli monitorati tra il 2011 e il 2012, all'interno dei diversi piezometri presenti in sito e del fiume Po di Volano, sono tutti più

bassi rispetto alla quota di scavo massima del piano interrato di progetto. Quindi non si presenta interazione tra il livello freatico e la quota di scavo massima.

Le campagne di lettura nei piezometri sono avvenute in un particolare periodo caratterizzato da precipitazioni meteoriche eccezionalmente scarse; il monitoraggio dei livelli di falda verrà continuato con cadenza bimestrale, per verificare che le assunzioni fatte in queste relazioni non subiscano variazioni significative ai fini della realizzazione futura delle opere di progetto.

Con i dati ora in possesso si può affermare che il fiume Po di Volano è alimentante la falda freatica che subisce un flusso da sud-ovest verso nord-est, con gradiente idraulico i pari a:

$$i = DH/L$$

Dove:

DH è la differenza di quota tra i due punti considerati

L è la distanza tra i due punti.

$$i_{P1-P2} = (14,160 - 14,091) / 105 = 6,57 \cdot 10^{-4}$$

Questo è il gradiente idraulico riferito al tratto di terreno tra il piezometro P1 e P2 rilevati in data 19 maggio 2011.

Di seguito si riporta il gradiente idraulico i del tratto compreso tra il fiume Po di Volano e il piezometro GW3 e di quello tra il piezometro GW3 e il GW9 con i valori rilevati il 03/11/2011.

$$i_{Po-GW3} = (14,467 - 13,713) / 21 = 3,6 \cdot 10^{-2}$$

$$i_{GW3-GW9} = (13,713 - 13,648) / 114 = 5,7 \cdot 10^{-4}$$

Il gradiente idraulico del tratto compreso tra il fiume Po di Volano e il piezometro GW3 è sfalsato dalla presenza del diaframma presente al di sotto della banchina del fiume; quindi è calcolato come se non ci fosse, ma la lunghezza del percorso di filtrazione abbassa di molto il gradiente reale.

Di seguito è stato di nuovo calcolato il gradiente idraulico i con i valori rilevati il 29/03/2012.

$$i_{Po-GW3} = (14,447 - 13,603) / 21 = 4,0 \cdot 10^{-2}$$

$$i_{GW3-GW9} = (13,603 - 13,518) / 114 = 7,4 \cdot 10^{-4}$$

I valori calcolati per i diversi periodi di monitoraggio presentano lo stesso ordine di grandezza e quindi si possono prendere come rappresentativi del sito allo studio.

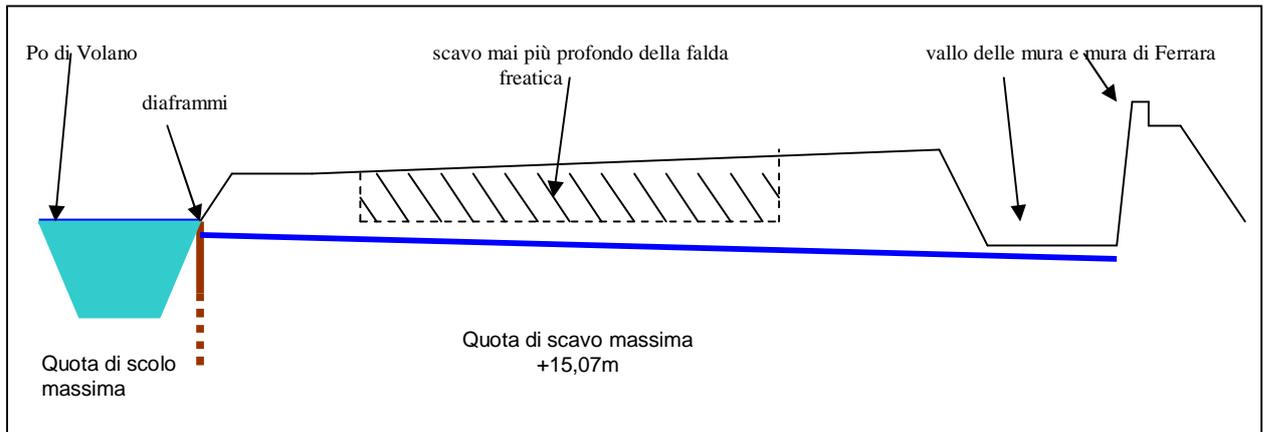
Il massimo funzionale del sistema idraulico va da +14,30 m a +15,00 m rispetto allo zero di bonifica.

Le incognite nell'analisi di questa verifica sono:

- non è disponibile il dato sulla profondità delle palancole di sostegno della banchina del fiume Po di Volano, che tra l'altro ha le sponde rivestite in c.a. per cui è difficile che per il tempo di una piena del canale si possano avere significative infiltrazioni di acqua nei terreni circostanti. La stratigrafia ricavata

dalla CPT1, e dai sondaggi eseguiti evidenzia che da -3,00 m dal p.c. fino a -5,00 m dal p.c., ovvero fino a quota +14,17 m rispetto allo zero di bonifica sono presenti terreni poco permeabili con molta matrice argillosa. Anche le sottostanti sabbie sono molto fini e addensate, ed hanno quindi coefficienti di permeabilità relativamente bassi. Lo stato di conservazione delle sponde in c.a. del fiume Po di Volano è buono. Non è noto lo stato di conservazione dei diaframmi che sostengono tali sponde. Non ci sono evidenze che possano dare indizi a favore o a sfavore.

- Lo schema concettuale semplificato è riportato di seguito:



Schema concettuale semplificato

In condizioni ordinarie non vi è interazione tra lo scavo e la falda freatica alimentata dal fiume Po di Volano, per cui lo scavo avviene in sicurezza rispetto al rischio di infiltrazione di acque e rispetto al rischio di sifonamento.

In ogni caso, valutate le circostanze al contorno, i modesti dislivelli che si verrebbero a creare in caso di piena del fiume Po di Volano, considerate le palancole che sostengono le sponde in c.a. impermeabili del fiume, si può constatare la sicurezza idraulica dell'intervento di progetto, anche nelle condizioni eccezionali di quota del canale a +15,65 m rispetto allo zero di bonifica; negli scavi non sarà comunque prevista la presenza di acqua di infiltrazione.

La quota della falda freatica sino ad ora monitorata è inferiore alla massima quota di scavo in corrispondenza delle travi rovesce che costituiscono la nervature della platea al di sotto dei muri di sostegno. Gli scavi si manterranno a circa 90 cm al di sopra della massima quota di falda registrata.

3. VALUTAZIONI DI COMPATIBILITA' PER IL RISCHIO SISMICO

3.1. GEOLOGIA STRUTTURALE DELL'AREA

Nella FIGURA 3.1 si riporta la sezione geologica passante per Monestirolo, Ferrara e Villadose, in cui si possono apprezzare gli spessori dei sedimenti del Quaternario sopra i pliocenici, che coincide con il passaggio dai sedimenti sciolti a quelli litificati o pseudolitificati.

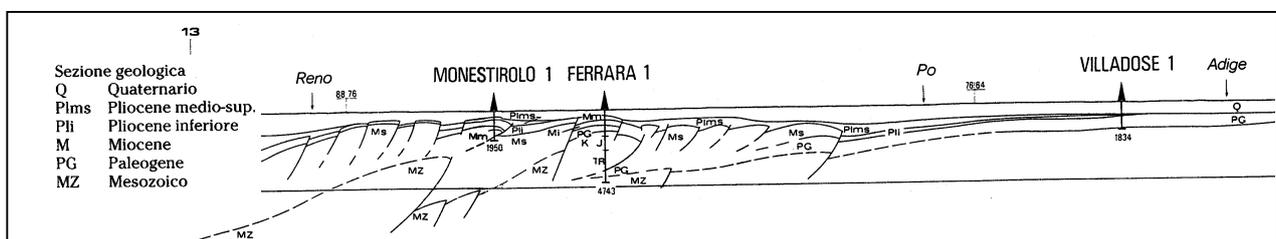


FIGURA 3.1 – Principali strutture del substrato della Padania; ben visibile in sezione la Dorsale Ferrarese.

Nella FIGURA 3.2 si riporta uno stralcio della Carta strutturale della Pianura Padana orientale (Pieri e Groppi, 1981, CNR, 1992) con visibili le varie strutture sepolte e le faglie e sistemi trascorrenti attivi e non attivi, che sono all'origine della nuova attribuzione alla Zona sismica 3, in cui Ferrara è stata inserita nella OPCM 3274/2003.

Come si può notare a Ferrara, nel substrato roccioso, posto a profondità compresa tra 1000 e 2000 m, sono presenti sistemi di faglie dovute a sovrascorrimenti e a fronti di accavallamento, classificate come riattivate e come soggette a possibili riattivazioni.

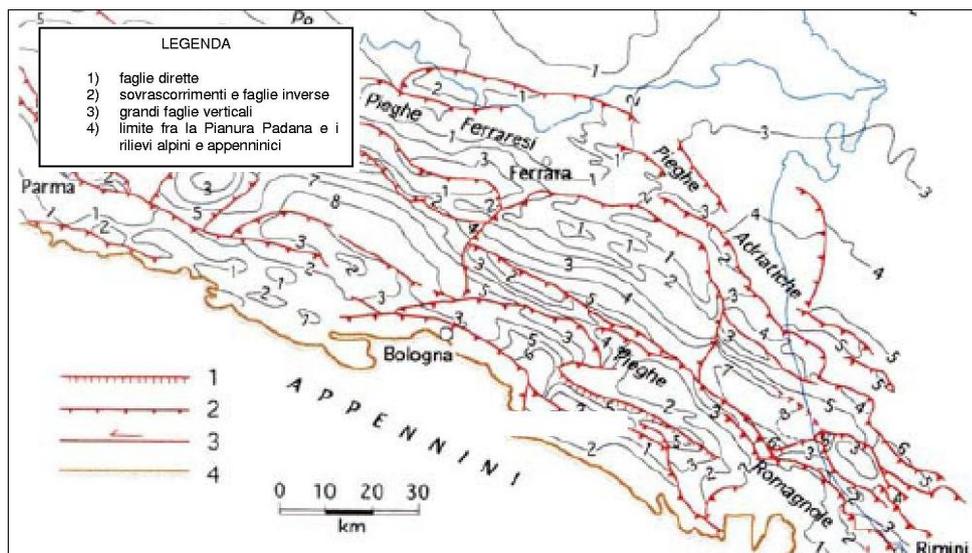


FIGURA 3.2 - Carta strutturale della Pianura Padana (Pieri e Groppi, 1992)

3.2. CARATTERI STRATIGRAFICI E LITOLOGICI

Per la validazione del modello geologico è stata realizzata una indagine specifica, consistente in tre prove penetrometriche statiche CPT1, CPT2 e CPT3, con rif.85-11, spinte rispettivamente fino alla profondità di -20,00 m da p.c., -15,00 m da p.c. e -30,00 m da p.c..

Sul sito in esame, inoltre, sono stati realizzati due sondaggi a coclea S1 ed S2 in corrispondenza rispettivamente della CPT1 e della CPT3 per la caratterizzazione dei terreni superficiali fuori falda, spinti rispettivamente fino alla profondità di -4,00 m da p.c. e -5,00 m da p.c.

In FIGURA 3.3 si riporta l'inquadramento catastale dell'area in esame con l'ubicazione della prove svolte.

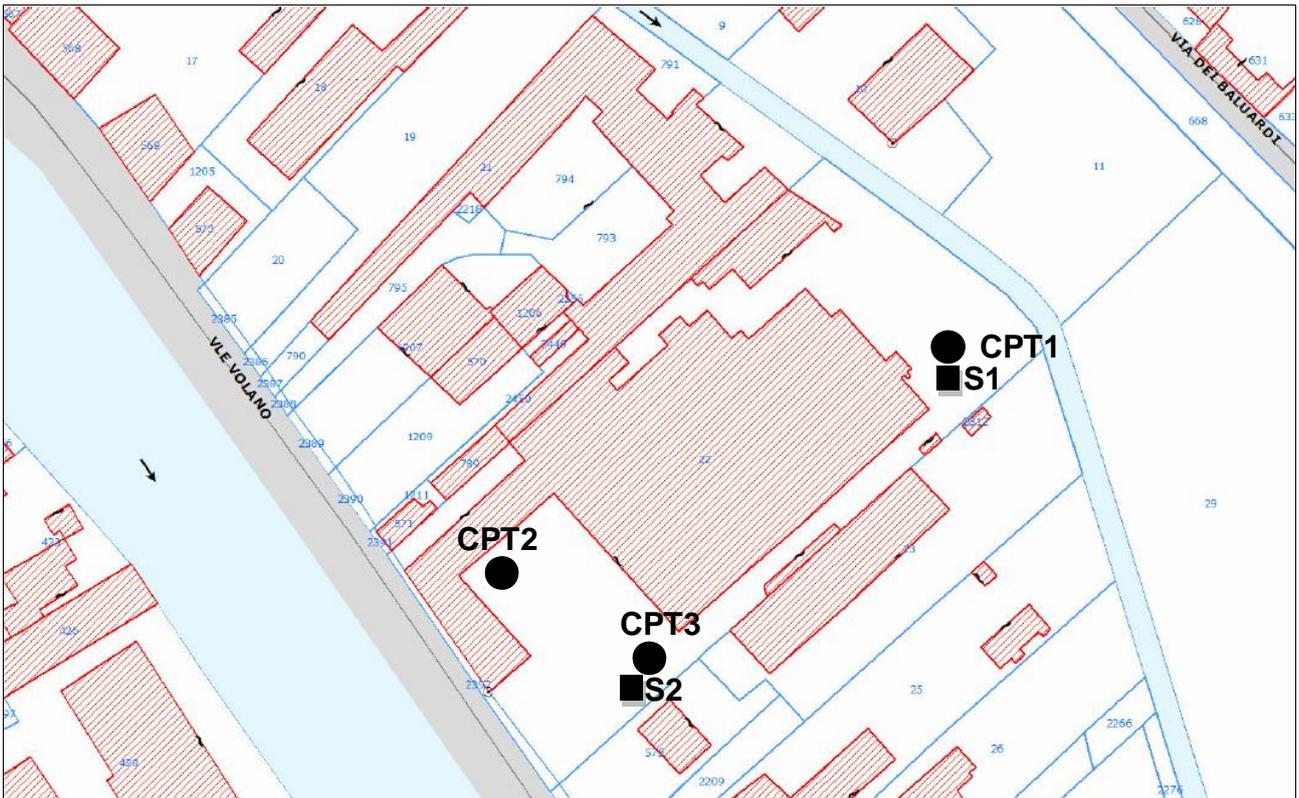


FIGURA 3.3 – Ubicazione prove

Nell'area di intervento per la CPT1 si rileva da -0,40 m fino a circa -2,60 m da p.c. uno strato di terreni di riporto granulari poco addensati con valore di resistenza alla punta medio di 27 kg/cm²; poi da -2,60 m fino a circa -6,20 m uno strato di terreni di riporto prevalentemente granulari moderatamente addensati con valore di resistenza alla punta medio di 61 kg/cm²; da -6,20 m fino a -7,20 m da p.c. uno strato di terreni prevalentemente coesivi consistenti con un valore di resistenza alla punta medio di 14 kg/cm²; poi da -7,20 m fino a circa -15,60 m uno strato di terreni prevalentemente granulari addensati con valore di resistenza alla punta medio di 123 kg/cm², infine da -15,60 m fino a -20,00 m da p.c., massima profondità di investigazione, uno strato di terreni prevalentemente granulari moderatamente addensati con un valore di resistenza alla punta medio di 75 kg/cm².

Nell'area di intervento per la CPT2 si rileva da -0,40 m fino a circa -4,20 m da p.c. uno strato di terreni di riporto coesivi moderatamente consistenti, alternati a sottili lenti sabbiose, con valore di resistenza alla punta medio di 14 kg/cm²; poi da -4,20 m fino a circa -7,60 m uno strato di terreni di riporto prevalentemente granulari poco addensati con valore di resistenza alla punta medio di 33 kg/cm²; infine da -7,60 m fino a -15,00 m da p.c., massima profondità di investigazione, uno strato di terreni prevalentemente granulari moderatamente addensati con un valore di resistenza alla punta medio di 91 kg/cm².

Nell'area di intervento per la CPT3 si rileva da -0,20 m fino a circa -1,20 m da p.c. uno strato di terreni di riporto granulari poco addensati con valore di resistenza alla punta medio di 33 kg/cm²; poi da -1,20 m fino a circa -4,80 m uno strato di terreni di riporto prevalentemente coesivi consistenti con valore di resistenza alla punta medio di 13 kg/cm²; da -4,80 m fino a -13,40 m da p.c. uno strato di terreni prevalentemente granulari moderatamente addensati con un valore di resistenza alla punta medio di 77 kg/cm²; poi da -13,40 m fino a circa -17,40 m uno strato di terreni prevalentemente coesivi consistenti con valore di resistenza alla punta medio di 18 kg/cm², da -17,40 m fino a -19,40 m da p.c. uno strato di terreni prevalentemente granulari moderatamente addensati con un valore di resistenza alla punta medio di 80 kg/cm², da -19,40 m fino a -23,40 m da p.c. uno strato di terreni prevalentemente granulari poco addensati con un valore di resistenza alla punta medio di 30 kg/cm², da -23,40 m fino a -24,80 m da p.c. uno strato di terreni prevalentemente granulari moderatamente addensati con un valore di resistenza alla punta medio di 84 kg/cm², poi da -24,80 m fino a circa -26,80m uno strato di terreni prevalentemente coesivi consistenti con valore di resistenza alla punta medio di 16 kg/cm², infine da -26,80 m fino a -30,00 m da p.c., massima profondità di investigazione, uno strato di terreni prevalentemente granulari addensati con un valore di resistenza alla punta medio di 125 kg/cm².

La stratigrafia del sondaggio S1 realizzato in corrispondenza della CPT1, spinto fino a -4,00 m da p.c., (visibile nella SCHEDA ALLEGATA S1) rileva:

Dott. Geol. Thomas Veronese Via Romea, 80 44023 Vaccolino (FE)			Inizio Esecuzione 06/06/2011		Fine Esecuzione //		Metodo Perfor. Sondaggio a coclea		Sondaggio S1					
			Quota p.c.				Attrezzo Sonda oleodinamica							
Committente Immobiliare Adele							Località Ferrara							
Campioni Carotiere Semplice [T1] Carotiere Doppio [T2] Rimaneggiati [R1] Denison [D] Osterberg [OS] Shelby [SH] Indisturbati [IN]					Foto		Livello Acqua		Prof. Foro	Prof. Riv.	Assistente T. Veronese			
							Data	Mt. p.c.		Operatore L. Lunghi				
4														
MT.	QUOTA DA P.C.	SIMBO LOGIA	CAMPIONI			DESCRIZIONE STRATIGRAFICA	%	P.P.	T.V.	S.P.T.			Liv. acqua	Piezometro
			tipo	num	PROF					R.Q.D.	kg/cm2	kg/cm2		
1						Sabbia limosa marrone nocciola addensata ricca di clasti di laterizio di dimensioni millimetriche								
2	2,20					Limo molto addensato grigio chiaro ricco di clasti di laterizio di dimensioni millimetriche								
3	2,90					Limo molto addensato grigio chiaro pseudocementato ricco di clasti di laterizio di dimensioni millimetriche								
	3,20					Limo molto addensato grigio chiaro ricco di clasti di laterizio di dimensioni millimetriche								
	3,80					Limo molto addensato grigio chiaro ricco di clasti di laterizio di dimensioni millimetriche								
4	4,00					Calcinacci e laterizi								

dott. Geologo Thomas Veronese - tel. 335/5240380
via Roma 10 - 44021 Codigoro FE

La stratigrafia del sondaggio S2 realizzato in corrispondenza della CPT3, spinto fino a -5,00 m da p.c.,
(visibile nella SCHEDA ALLEGATA S2) rileva:

Software - Geo-Strat 1.00 -

PAGINA 1 / 1

Dott. Geol. Thomas Veronese Via Romea, 80 44023 Vaccolino (FE)		Inizio Esecuzione 06/06/2011	Fine Esecuzione //	Metodo Perfor. Sondaggio a coclea	Sondaggio S2									
Committente Immobiliare Adele		Quota p.c.		Attrezzo Sonda oleodinamica										
Campioni Carotiere Semplice [T1] Carotiere Doppio [T2] Rimaneggiati [RI] Denison [D] Osterberg [OS] Shelby [SH] Indisturbati [IN]		Foto		Livello Acqua	Prof. Foro	Prof. Riv.	Assistente T. Veronese							
				Data	Mt. p.c.	4	Operatore L. Lunghi							
MT.	QUOTA DA P.C.	SIMBO LOGIA	CAMPIONI			DESCRIZIONE STRATIGRAFICA	%	P.P.	T.V.	S.P.T.			Liv. acqua	Piezometro
			tipo	num	PROF					R.Q.D.	kg/cm2	kg/cm2		
1	1,20	[Pattern]				Limo argilloso sabbioso marrone con rari clasti di laterizio								
2	2,80	[Pattern]				Limo argilloso sabbioso marrone scuro con piccoli frammenti mill. di laterizio e calcinacci sedimento clasto sosten								
3	3,10	[Pattern]				Sabbia limosa grigio chiara con clasti carbonatici abbondanti								
	3,25	[Pattern]				Limo argilloso sabbioso marrone scuro con clasti di laterizio								
4	5,00	[Pattern]				Argilla limosa grigio-nocciola chiara moderatamente consistente con rarissimi clasti millimetrici di laterizio								

3.3. PARAMETRI SISMICI

“La Regione Emilia Romagna non è esente da attività sismo-tettonica. La sua sismicità può però essere definita media relativamente alla sismicità nazionale, poiché i terremoti storici hanno avuto magnitudo massima compresa tra 5,5 e 6 della scala Richter e intensità del IX-X grado della scala MCS. I maggiori terremoti (Magnitudo > 5,5) si sono verificati nel settore sud-orientale, in particolare nell'Appennino Romagnolo e lungo la costa riminese. Altri settori interessati da sismicità frequente ma generalmente di minore energia (Magnitudo < 5,5) sono il margine appenninico-padano tra la Val d'Arda e Bologna, l'arco della dorsale ferrarese e il crinale appenninico” (Note illustrative, Carta Sismotettonica della Regione Emilia Romagna, 2004).

Categoria di suolo

La categoria di suolo dipende dal valore di V_{s30} . Il parametro V_{s30} rappresenta la media ponderata dei valori delle velocità dell'onda di taglio “S” nei primi 30 m di sottosuolo indagato, matematicamente espressa da (eq. 1):

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum \frac{h_i}{v_i}} \quad (\text{eq. 1})$$

Dove:

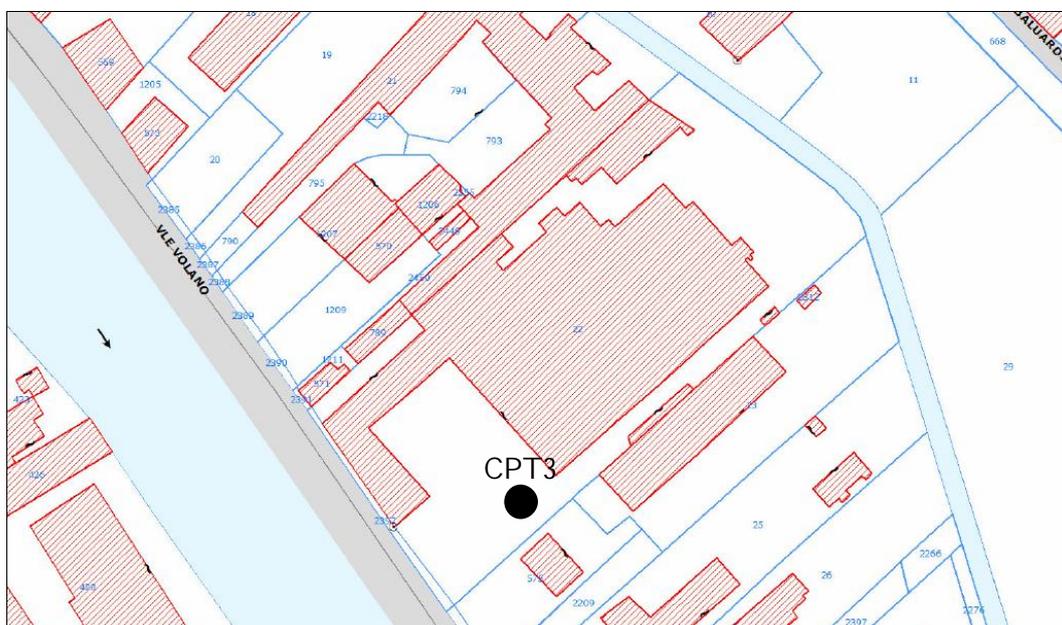
V_{s30} : velocità media ponderata delle onde di taglio “S”,

h_i : spessore dello strato i -esimo,

v_i : velocità delle onde di taglio “S” nello strato i -esimo.

Il valore di V_{s30} viene di seguito calcolato attraverso una correlazione con la prova penetrometrica statica CPT3 con *rif. 85-11*, che raggiunge la profondità di -30,00 m da p.c. Si ricorda che la V_{s30} va calcolata dal piano di posa della fondazione.

In FIGURA 3.4 è riportata una zoomata catastale con l'ubicazione della prova penetrometrica CPT3.



dott. Geologo Thomas Veronese - tel. 335/5240380
via Roma 10 - 44021 Codigoro FE

FIGURA 3.4 – Stralcio della CTR della provincia di Ferrara e zoomata catastale con ubicazione prova penetrometrica

In letteratura esistono numerose correlazioni empiriche tra le misure di q_c e di V_{S30} anche se il livello deformativo indotto nel terreno dalla penetrazione della punta penetrometrica provoca la rottura del materiale mentre le onde di taglio si propagano senza intaccare la struttura del terreno in condizioni di deformazioni praticamente elastiche.

La correlazione utilizzata è stata proposta da *Andrus et al. (2001)* ed utilizza valori di q_c e di V_{S30} normalizzati rispetto allo stato tensionale, in questa formula non viene tenuto conto dell'attrito laterale f_s e viene introdotto un coefficiente correttivo per l'età del deposito che viene indicato con ASF. Questo coefficiente viene utilizzato per tenere conto delle diverse caratteristiche di deformabilità e tessitura dei terreni risalenti al periodo Pleistocenico rispetto ai più recenti depositi Olocenici.

La correlazione è la seguente:

$$V_{S1} = ASF \cdot A \cdot (q_{c1N})^\alpha$$

dove:

$$q_{c1N} = \left(\frac{q_c}{p_a} \right) \left(\frac{p_a}{\sigma_v} \right)^{0.5}$$

resistenza alla punta normalizzata alla tensione verticale;

$$V_{S1} = V_s \left(\frac{p_a}{\sigma_v} \right)^{0.25}$$

velocità corretta per tenere in conto lo stato tensionale verticale;

ASF per depositi Olocenici = 1 (quali sono i depositi presenti nella pianura ferrarese alle profondità indagate) come suggerito da ANDRUS et al.;

A e α sono coefficienti empirici da calibrare sulla base delle misure di q_c e di V_s disponibili;

p_a = pressione atmosferica.

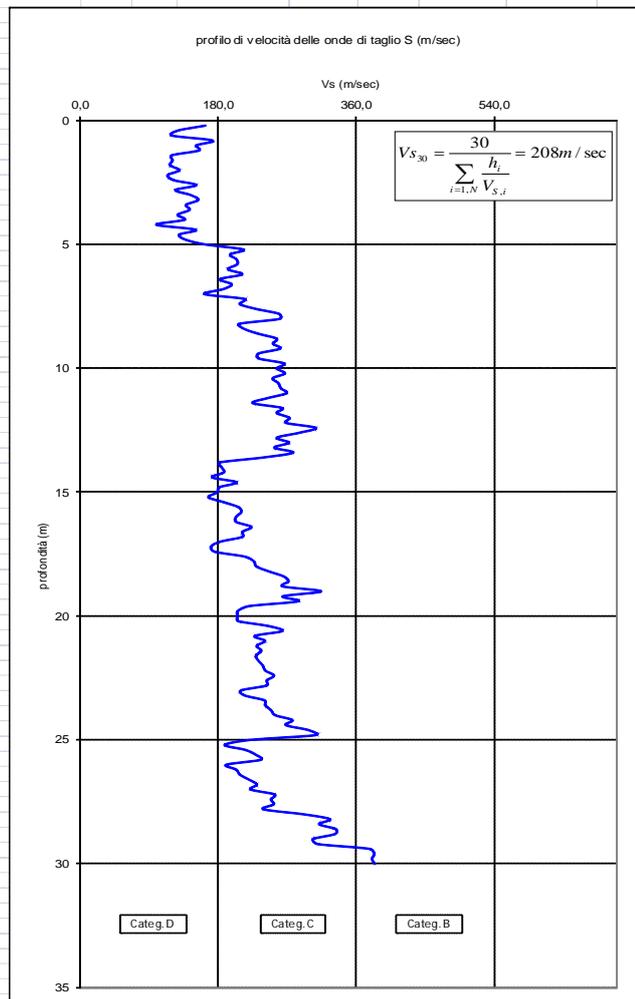
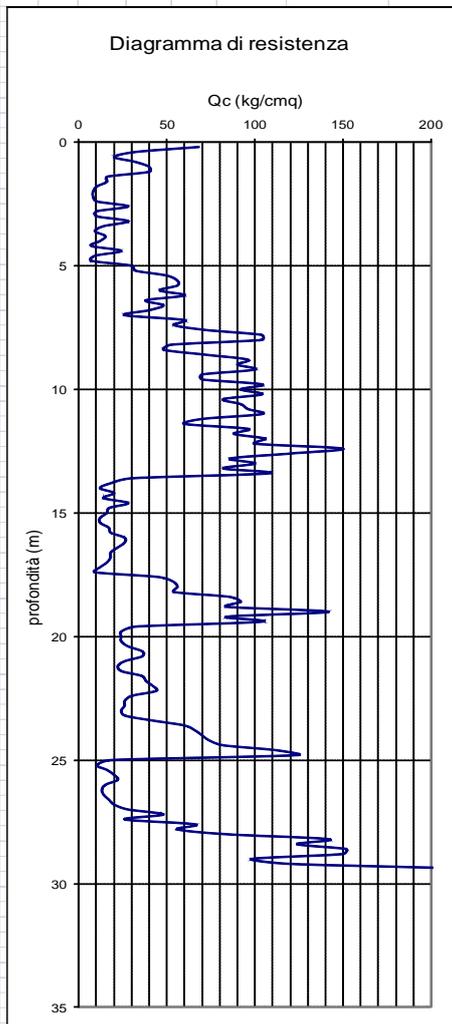
Nella Tabella 3.1 sono riportati i coefficienti A e α .

	Argilla	Limo	Sabbia
A	80.64	77.83	53.64
α	0.28	0.24	0.33

Tabella 3.1 – Coefficienti A (m/s) e α

		Località: Ferrara		CPT di riferimento: 85-11		Data esecuzione CPT: #####											
		profondità prova: 30m															
Falda:	5 m			$T1 = \frac{4H}{\left(\sum_{i=1}^n V_{Si} \cdot Hi \right) / H}$		ANDRUS	V _{S30}										
		periodo fondamentale T1 = 0,54 sec				207,59	m/sec										
		media pesata delle velocità delle onde di taglio															
		Dobry et al. 1976 modificato in Linee Guida AGI 2005		$T1 = \frac{\sum_{i=1}^n 4 \cdot Hi}{V_{si}}$													
		periodo fondamentale T1 = 0,58 sec															
Somma dei periodi naturali di ciascuno strato																	
prf.	RP	RP/RL	Z1	Z2	DH	mezzo strat	litologia	qc(kg/cm2)	σ'n(kg/cm2)	A	a	VS30 normalizzata	VS30	DH/V _s i	σ'n(kg/cm2)	σ'n(kg/cm2)	Hi * V _s i
0.2	68	85	0	0.2	0.2	0.1	SABBIA	68	0.037	53.64	0.33	371.9	163.1	0.0	0.037	-0.371	32.6
0.4	32	20	0.2	0.4	0.2	0.3	LIMO	32	0.074	77.83	0.24	244.4	127.5	0.0	0.074	-0.317	25.5
0.6	20	75	0.4	0.6	0.2	0.5	SABBIA	20	0.111	53.64	0.33	207.2	119.6	0.0	0.111	-0.263	23.9
0.8	32	9	0.6	0.8	0.2	0.7	ARGILLA	32	0.148	80.64	0.28	278.1	172.5	0.0	0.148	-0.209	34.5
1	40	23	0.8	1	0.2	0.9	LIMO	40	0.185	77.83	0.24	231.0	151.5	0.0	0.185	-0.155	30.3
1.2	40	33	1	1.2	0.2	1.1	LIMO	40	0.222	77.83	0.24	226.0	155.1	0.0	0.222	-0.101	31.0
1.4	16	60	1.2	1.4	0.2	1.3	SABBIA	16	0.259	53.64	0.33	167.4	119.4	0.0	0.259	-0.047	23.9
1.6	16	40	1.4	1.6	0.2	1.5	SABBIA	16	0.296	53.64	0.33	163.7	120.8	0.0	0.296	0.007	24.2
1.8	10	25	1.6	1.8	0.2	1.7	LIMO	10	0.333	77.83	0.24	154.3	117.2	0.0	0.333	0.061	23.4
2	8	13	1.8	2	0.2	1.9	ARGILLA	8	0.37	80.64	0.28	165.9	129.4	0.0	0.37	0.115	25.9
2.2	8	24	2	2.2	0.2	2.1	LIMO	8	0.407	77.83	0.24	142.8	114.1	0.0	0.407	0.169	22.8
2.4	10	37	2.2	2.4	0.2	2.3	LIMO	10	0.444	77.83	0.24	149.1	121.7	0.0	0.444	0.223	24.3
2.6	28	42	2.4	2.6	0.2	2.5	SABBIA	28	0.481	53.64	0.33	181.8	151.4	0.0	0.481	0.277	30.3
2.8	10	25	2.6	2.8	0.2	2.7	LIMO	10	0.518	77.83	0.24	146.4	124.2	0.0	0.518	0.331	24.8
3	10	19	2.8	3	0.2	2.9	ARGILLA	10	0.555	80.64	0.28	166.9	144.0	0.0	0.555	0.385	28.8
3.2	28	52	3	3.2	0.2	3.1	SABBIA	28	0.592	53.64	0.33	175.6	154.1	0.0	0.592	0.439	30.8
3.4	14	23	3.2	3.4	0.2	3.3	LIMO	14	0.629	77.83	0.24	155.0	138.1	0.0	0.629	0.493	27.6
3.6	9	19	3.4	3.6	0.2	3.5	ARGILLA	9	0.666	80.64	0.28	157.9	142.7	0.0	0.666	0.547	28.5
3.8	15	112	3.6	3.8	0.2	3.7	SABBIA	15	0.703	53.64	0.33	138.9	127.2	0.0	0.703	0.601	25.4
4	12	36	3.8	4	0.2	3.9	LIMO	12	0.74	77.83	0.24	146.5	135.9	0.0	0.74	0.655	27.2
4.2	7	52	4	4.2	0.2	4.1	SABBIA	7	0.777	53.64	0.33	106.3	99.8	0.0	0.777	0.709	20.0
4.4	24	51	4.2	4.4	0.2	4.3	SABBIA	24	0.814	53.64	0.33	158.4	150.4	0.0	0.814	0.763	30.1
4.6	9	27	4.4	4.6	0.2	4.5	LIMO	9	0.851	77.83	0.24	134.5	129.1	0.0	0.851	0.817	25.8
4.8	7	18	4.6	4.8	0.2	4.7	ARGILLA	7	0.888	80.64	0.28	141.4	137.2	0.0	0.888	0.871	27.4
5	30	56	4.8	5	0.2	4.9	SABBIA	30	0.925	53.64	0.33	166.9	163.7	0.0	0.925	0.925	32.7
5.2	32	17	5	5.2	0.2	5.1	ARGILLA	32	0.979	80.64	0.28	213.4	212.3	0.0	0.962	0.979	42.5
5.4	50	125	5.2	5.4	0.2	5.3	SABBIA	50	1.033	53.64	0.33	194.0	195.6	0.0	0.999	1.033	39.1
5.6	56	140	5.4	5.6	0.2	5.5	SABBIA	56	1.087	53.64	0.33	199.7	203.9	0.0	1.036	1.087	40.8
5.8	56	70	5.6	5.8	0.2	5.7	SABBIA	56	1.141	53.64	0.33	198.1	204.8	0.0	1.073	1.141	41.0
6	46	86	5.8	6	0.2	5.9	SABBIA	46	1.195	53.64	0.33	184.3	192.7	0.0	1.111	1.195	38.5
6.2	60	64	6	6.2	0.2	6.1	SABBIA	60	1.249	53.64	0.33	199.7	211.1	0.0	1.147	1.249	42.2
6.4	38	285	6.2	6.4	0.2	6.3	SABBIA	38	1.303	53.64	0.33	170.5	182.2	0.0	1.184	1.303	36.4
6.6	48	120	6.4	6.6	0.2	6.5	SABBIA	48	1.357	53.64	0.33	183.0	197.5	0.0	1.221	1.357	39.5
6.8	40	60	6.6	6.8	0.2	6.7	SABBIA	40	1.411	53.64	0.33	171.2	186.6	0.0	1.258	1.411	37.3
7	26	49	6.8	7	0.2	6.9	SABBIA	26	1.465	53.64	0.33	147.6	162.4	0.0	1.295	1.465	32.5
7.2	60	64	7	7.2	0.2	7.1	SABBIA	60	1.519	53.64	0.33	193.3	214.6	0.0	1.332	1.519	42.9
7.4	54	45	7.2	7.4	0.2	7.3	SABBIA	54	1.573	53.64	0.33	185.7	207.9	0.0	1.369	1.573	41.6
7.6	72	60	7.4	7.6	0.2	7.5	SABBIA	72	1.627	53.64	0.33	203.0	229.3	0.0	1.406	1.627	45.9
7.8	104	97	7.6	7.8	0.2	7.7	SABBIA	104	1.681	53.64	0.33	228.0	259.6	0.0	1.443	1.681	51.9
8	104	71	7.8	8	0.2	7.9	SABBIA	104	1.735	53.64	0.33	226.8	260.3	0.0	1.48	1.735	52.1
8.2	52	49	8	8.2	0.2	8.1	SABBIA	52	1.789	53.64	0.33	179.5	207.6	0.0	1.517	1.789	41.5
8.4	48	36	8.2	8.4	0.2	8.3	LIMO	48	1.843	77.83	0.24	183.1	213.4	0.0	1.554	1.843	42.7
8.6	72	49	8.4	8.6	0.2	8.5	SABBIA	72	1.897	53.64	0.33	197.9	232.3	0.0	1.591	1.897	46.5
8.8	96	72	8.6	8.8	0.2	8.7	SABBIA	96	1.951	53.64	0.33	216.6	256.0	0.0	1.628	1.951	51.2
9	90	75	8.8	9	0.2	8.9	SABBIA	90	2.005	53.64	0.33	211.1	251.2	0.0	1.665	2.005	50.2
9.2	100	107	9	9.2	0.2	9.1	SABBIA	100	2.059	53.64	0.33	217.6	260.7	0.0	1.702	2.059	52.1
9.4	70	48	9.2	9.4	0.2	9.3	SABBIA	70	2.113	53.64	0.33	192.6	232.3	0.0	1.739	2.113	46.5
9.6	70	48	9.4	9.6	0.2	9.5	SABBIA	70	2.167	53.64	0.33	191.8	232.8	0.0	1.776	2.167	46.6
9.8	104	71	9.6	9.8	0.2	9.7	SABBIA	104	2.221	53.64	0.33	217.7	265.8	0.0	1.813	2.221	53.2
10	92	29	9.8	10	0.2	9.9	LIMO	92	2.275	77.83	0.24	208.7	256.4	0.0	1.85	2.275	51.3
10.2	104	60	10	10.2	0.2	10.1	SABBIA	104	2.329	53.64	0.33	216.0	266.9	0.0	1.887	2.329	53.4
10.4	82	31	10.2	10.4	0.2	10.3	LIMO	82	2.383	77.83	0.24	201.9	250.9	0.0	1.924	2.383	50.2
10.6	92	35	10.4	10.6	0.2	10.5	LIMO	92	2.437	77.83	0.24	207.0	258.7	0.0	1.961	2.437	51.7
10.8	96	40	10.6	10.8	0.2	10.7	SABBIA	96	2.491	53.64	0.33	208.1	261.4	0.0	1.998	2.491	52.3
11	104	52	10.8	11	0.2	10.9	SABBIA	104	2.545	53.64	0.33	212.9	268.9	0.0	2.035	2.545	53.8
11.2	70	33	11	11.2	0.2	11.1	LIMO	70	2.599	77.83	0.24	192.4	244.3	0.0	2.072	2.599	48.9
11.4	60	41	11.2	11.4	0.2	11.3	SABBIA	60	2.653	53.64	0.33	176.3	225.1	0.0	2.109	2.653	45.0
11.6	96	45	11.4	11.6	0.2	11.5	SABBIA	96	2.707	53.64	0.33	205.2	263.3	0.0	2.146	2.707	52.7
11.8	88	55	11.6	11.8	0.2	11.7	SABBIA	88	2.761	53.64	0.33	198.8	256.2	0.0	2.183	2.761	51.2
12	106	44	11.8	12	0.2	11.9	SABBIA	106	2.815	53.64	0.33	210.7	272.9	0.0	2.22	2.815	54.6
12.2	100	63	12	12.2	0.2	12.1	SABBIA	100	2.869	53.64	0.33	206.0	268.2	0.0	2.257	2.869	53.6
12.4	150	62	12.2	12.4	0.2	12.3	SABBIA	150	2.923	53.64	0.33	234.8	307.0	0.0	2.294	2.923	61.4
12.6	120	69	12.4	12.6	0.2	12.5	SABBIA	120	2.977	53.64	0.33	217.5	285.7	0.0	2.331	2.977	57.1
12.8	86	129	12.6	12.8	0.2	12.7	SABBIA	86	3.031	53.64	0.33	194.3	256.3	0.0	2.368	3.031	51.3
13	100	39	12.8	13	0.2	12.9	LIMO	100	3.085	77.83	0.24	205.3	272.1	0.0	2.405	3.085	54.4
13.2	82	68	13	13.2	0.2	13.1	SABBIA	82	3.139	53.64	0.33	190.1	253.1	0.0	2.442	3.139	50.6
13.4	108	68	13.2	13.4	0.2	13.3	SABBIA	108	3.193	53.64	0.33	207.6	277.6	0.0	2.479	3.193	55.5
13.6	30	19	13.4	13.6	0.2	13.5	ARGILLA	30	3.247	80.64	0.28	177.2	237.9	0.0	2.516	3.247	47.6
13.8	18	27	13.6	13.8	0.2	13.7	LIMO	18	3.301	77.83	0.24	135.0	181.9	0.0	2.553	3.301	36.4
14	12	15	13.8	14	0.2	13.9	ARGILLA	12	3.355	80.64	0.28	136.5	184.7	0.0	2.59	3.355	36.9
14.2	20	36	14	14.2	0.2	14.1	LIMO	20	3.409	77.83	0.24	137.9	187.3	0.0	2.627	3.409	37.5
14.4	14	24	14.2	14.4	0.2	14.3	LIMO	14	3.463	77.83	0.24	126.3	172.3	0.0	2.664	3.463	34.5
14.6	28	32	14.4	14.6	0.2	14.5	LIMO	28	3.517	77.83	0.24	148.9	203.9	0.0	2.7		

20,2	24	20	20,2	0,2	20,1	LIMO	24	5,029	77,83	0,24	137,5	205,9	0,0	3,737	5,029	41,2	
20,4	28	19	20,2	20,4	0,2	20,3	ARGILLA	28	5,083	80,64	0,28	163,3	245,1	0,0	3,774	5,083	49,0
20,6	36	19	20,4	20,6	0,2	20,5	ARGILLA	36	5,137	80,64	0,28	174,9	263,3	0,0	3,811	5,137	52,7
20,8	36	21	20,6	20,8	0,2	20,7	LIMO	36	5,191	77,83	0,24	150,9	227,8	0,0	3,848	5,191	45,6
21	26	16	20,8	21	0,2	20,9	ARGILLA	26	5,245	80,64	0,28	159,2	240,9	0,0	3,885	5,245	48,2
21,2	22	17	21	21,2	0,2	21,1	ARGILLA	22	5,299	80,64	0,28	151,7	230,2	0,0	3,922	5,299	46,0
21,4	24	15	21,2	21,4	0,2	21,3	ARGILLA	24	5,353	80,64	0,28	155,2	236,1	0,0	3,959	5,353	47,2
21,6	36	25	21,4	21,6	0,2	21,5	LIMO	36	5,407	77,83	0,24	150,2	229,1	0,0	3,996	5,407	45,8
21,8	38	29	21,6	21,8	0,2	21,7	LIMO	38	5,461	77,83	0,24	152,0	232,3	0,0	4,033	5,461	46,5
22	42	32	21,8	22	0,2	21,9	LIMO	42	5,515	77,83	0,24	155,5	238,3	0,0	4,07	5,515	47,7
22,2	44	22	22	22,2	0,2	22,1	LIMO	44	5,569	77,83	0,24	157,1	241,3	0,0	4,107	5,569	48,3
22,4	30	17	22,2	22,4	0,2	22,3	ARGILLA	30	5,623	80,64	0,28	164,1	252,7	0,0	4,144	5,623	50,5
22,6	26	18	22,4	22,6	0,2	22,5	ARGILLA	26	5,677	80,64	0,28	157,5	243,1	0,0	4,181	5,677	48,6
22,8	26	18	22,6	22,8	0,2	22,7	ARGILLA	26	5,731	80,64	0,28	157,3	243,3	0,0	4,218	5,731	48,7
23	24	30	22,8	23	0,2	22,9	LIMO	24	5,785	77,83	0,24	135,2	209,7	0,0	4,255	5,785	41,9
23,2	26	22	23	23,2	0,2	23,1	LIMO	26	5,839	77,83	0,24	137,7	214,0	0,0	4,292	5,839	42,8
23,4	42	26	23,2	23,4	0,2	23,3	LIMO	42	5,893	77,83	0,24	154,3	240,4	0,0	4,329	5,893	48,1
23,6	60	45	23,4	23,6	0,2	23,5	SABBIA	60	5,947	53,64	0,33	154,4	241,0	0,0	4,366	5,947	48,2
23,8	66	55	23,6	23,8	0,2	23,7	SABBIA	66	6,001	53,64	0,33	159,0	248,9	0,0	4,403	6,001	49,8
24	70	75	23,8	24	0,2	23,9	SABBIA	70	6,055	53,64	0,33	161,9	254,0	0,0	4,44	6,055	50,8
24,2	74	37	24	24,2	0,2	24,1	LIMO	74	6,109	77,83	0,24	176,0	276,7	0,0	4,477	6,109	55,3
24,4	82	88	24,2	24,4	0,2	24,3	SABBIA	82	6,163	53,64	0,33	170,1	268,0	0,0	4,514	6,163	53,6
24,6	112	70	24,4	24,6	0,2	24,5	SABBIA	112	6,217	53,64	0,33	188,3	297,3	0,0	4,551	6,217	59,5
24,8	124	103	24,6	24,8	0,2	24,7	SABBIA	124	6,271	53,64	0,33	194,4	307,7	0,0	4,588	6,271	61,5
25	18	14	24,8	25	0,2	24,9	ARGILLA	18	6,325	80,64	0,28	139,9	221,9	0,0	4,625	6,325	44,4
25,2	10	9	25	25,2	0,2	25,1	ARGILLA	10	6,379	80,64	0,28	118,5	188,4	0,0	4,662	6,379	37,7
25,4	16	9	25,2	25,4	0,2	25,3	ARGILLA	16	6,433	80,64	0,28	135,1	215,1	0,0	4,699	6,433	43,0
25,6	20	14	25,4	25,6	0,2	25,5	ARGILLA	20	6,487	80,64	0,28	143,6	229,2	0,0	4,736	6,487	45,8
25,8	22	19	25,6	25,8	0,2	25,7	ARGILLA	22	6,541	80,64	0,28	147,3	235,6	0,0	4,773	6,541	47,1
26	15	20	25,8	26	0,2	25,9	LIMO	15	6,595	77,83	0,24	118,9	190,5	0,0	4,81	6,595	38,1
26,2	13	14	26	26,2	0,2	26,1	ARGILLA	13	6,649	80,64	0,28	126,8	203,7	0,0	4,847	6,649	40,7
26,4	14	19	26,2	26,4	0,2	26,3	ARGILLA	14	6,703	80,64	0,28	129,4	208,1	0,0	4,884	6,703	41,6
26,6	17	13	26,4	26,6	0,2	26,5	ARGILLA	17	6,757	80,64	0,28	136,4	220,0	0,0	4,921	6,757	44,0
26,8	20	17	26,6	26,8	0,2	26,7	ARGILLA	20	6,811	80,64	0,28	142,6	230,4	0,0	4,958	6,811	46,1
27	28	23	26,8	27	0,2	26,9	LIMO	28	6,865	77,83	0,24	137,4	222,4	0,0	4,995	6,865	44,5
27,2	48	28	27	27,2	0,2	27,1	LIMO	48	6,919	77,83	0,24	156,3	253,4	0,0	5,032	6,919	50,7
27,4	26	12	27,2	27,4	0,2	27,3	ARGILLA	26	6,973	80,64	0,28	153,0	248,6	0,0	5,069	6,973	49,7
27,6	66	50	27,4	27,6	0,2	27,5	SABBIA	66	7,027	53,64	0,33	155,0	252,3	0,0	5,106	7,027	50,5
27,8	56	47	27,6	27,8	0,2	27,7	SABBIA	56	7,081	53,64	0,33	146,6	239,1	0,0	5,143	7,081	47,8
28	84	33	27,8	28	0,2	27,9	LIMO	84	7,135	77,83	0,24	178,1	291,0	0,0	5,18	7,135	58,2
28,2	142	133	28	28,2	0,2	28,1	SABBIA	142	7,189	53,64	0,33	198,8	325,5	0,0	5,217	7,189	65,1
28,4	124	93	28,2	28,4	0,2	28,3	SABBIA	124	7,243	53,64	0,33	189,9	311,5	0,0	5,254	7,243	62,3
28,6	152	228	28,4	28,6	0,2	28,5	SABBIA	152	7,297	53,64	0,33	202,8	333,3	0,0	5,291	7,297	66,7
28,8	150	161	28,6	28,8	0,2	28,7	SABBIA	150	7,351	53,64	0,33	201,7	332,1	0,0	5,328	7,351	66,4
29	98	33	28,8	29	0,2	28,9	LIMO	98	7,405	77,83	0,24	183,9	303,4	0,0	5,365	7,405	60,7
29,2	120	450	29	29,2	0,2	29,1	SABBIA	120	7,459	53,64	0,33	186,9	308,9	0,0	5,402	7,459	61,8
29,4	220	103	29,2	29,4	0,2	29,3	SABBIA	220	7,513	53,64	0,33	228,0	377,5	0,0	5,439	7,513	75,5
29,6	230	288	29,4	29,6	0,2	29,5	SABBIA	230	7,567	53,64	0,33	231,1	383,3	0,0	5,476	7,567	76,7
29,8	224	112	29,6	29,8	0,2	29,7	SABBIA	224	7,621	53,64	0,33	228,8	380,2	0,0	5,513	7,621	76,0
30	230	112	29,8	30	0,2	29,9	SABBIA	230	7,675	53,64	0,33	230,6	383,8	0,0	5,55	7,675	76,8



Il valore di Vs30 calcolato risulta: Vs30 = 208 m/s e quindi la Categoria di suolo è C.

Tale valore va assunto con uno scarto di $\pm 10\%$, come per tutti i metodi di acquisizione di tale parametro.

$V_{s30} = 208 \text{ m/s}$ Categoria di suolo C
--

Con il foglio di calcolo redatto dallo scrivente, è stato stimato anche il periodo fondamentale T1 del deposito stratificato orizzontalmente, utilizzando le due correlazioni proposte da Dobry et alii, 1976, modificato in Linee Guida AGI "Aspetti geotecnici della progettazione in zona sismica" 2005.

I due metodi utilizzano le seguenti espressioni:

media pesata delle velocità delle onde di taglio:

$$T_1 = 4H / \bar{V}_s = 0,54 \text{ sec}$$

$$\bar{V}_s = \frac{\sum_{i=1}^n V_{si} \cdot H_i}{H}$$

somma dei periodi naturali di ciascuno strato

$$T_1 = 2\pi / \omega_4 = 0,58 \text{ sec}$$

$$\omega_4^2 = \frac{\left(3 \cdot \sum_{i=1}^n V_{si} \cdot H_i \right)}{H^3}$$

Lo scrivente ha inoltre effettuato una prova penetrometrica statica con punta elettrica e sismocono SCPTU1 spinta alla profondità di 30,96 m da p.c., con *rif.U 04-12* per la validazione del modello geologico-sismico del sito allo studio. L'indagine è stata eseguita in corrispondenza della prova penetrometrica statica CPT3 e quindi mostra la medesima situazione stratigrafica.

La prova consiste nell'inserire sulla punta elettrica della prova penetrometrica elettrica dei ricevitori (geofoni) che con opportuna strumentazione e una sorgente di onde in superficie possono essere misurati, a profondità diverse, in questo caso ogni metro, i tempi di arrivo delle onde sismiche fra la superficie (sorgente) ed i ricevitori (in profondità), analogamente a quanto avviene con il metodo geofisico cosiddetto "downhole".

La punta utilizzata prende il nome di Piezocono G1-CPL2IN.

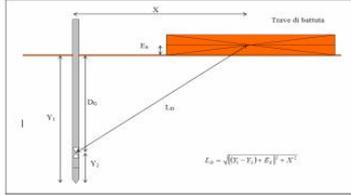
In base ai tempi di arrivo conoscendo la distanza tra la sorgente ed il ricevitore si può calcolare la velocità delle onde sismiche ed in particolare delle onde di taglio (Vs).

Di seguito si riporta l'elaborazione della prova SCPTU1 realizzata in sito con riportato il profilo verticale delle velocità delle onde di taglio alle diverse profondità rilevate ogni metro.

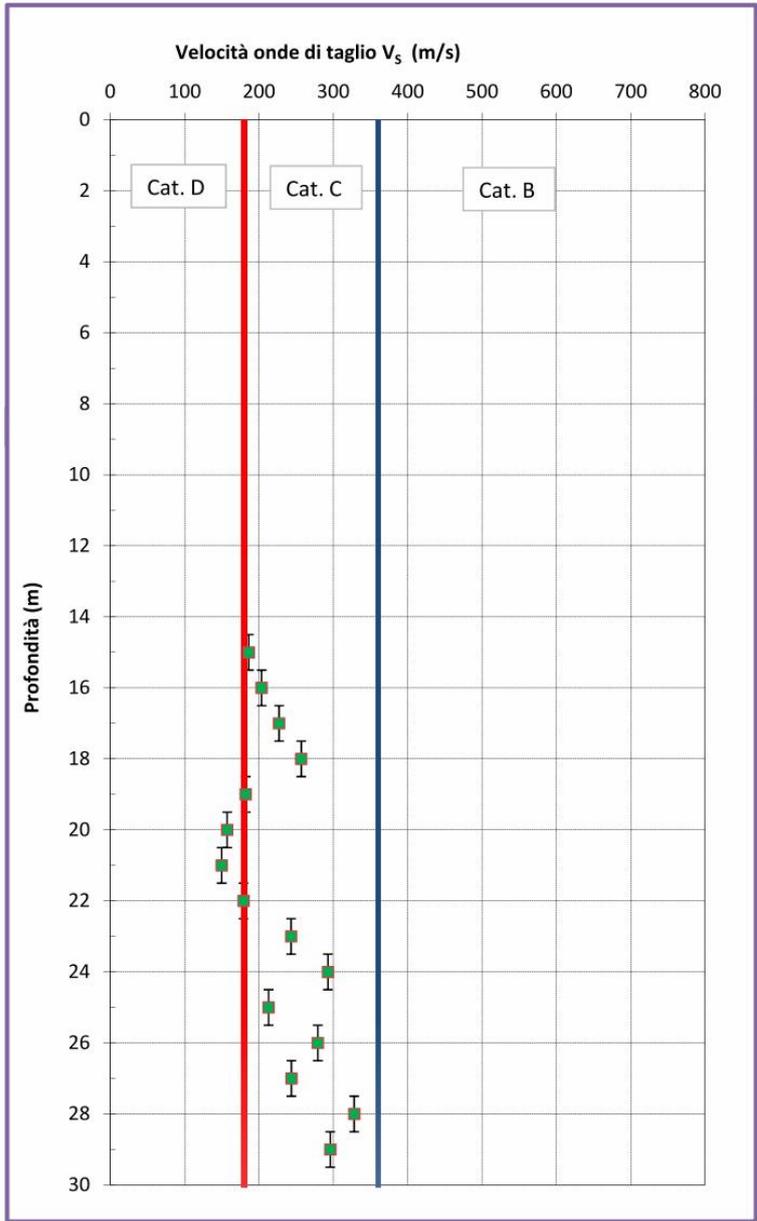
PROVA PENETROMETRICA STATICA CON PUNTA ELETTRICA PROVA DOWN HOLE SCPTU	RIF. PROVA:	CPTU n°:
	U 04-12	SCPTU1

COMMITTENTE: Imm. ADELE CANTIERE: Ferrara DATA: 13/09/2012	PROFONDITA' MASSIMA DELLA PROVA (m da p.c.): 30.96 PROFONDITA' FALDA (m da p.c.): 5.00 PREFORO (m da p.c.): 3.00
--	--

Peso mazza battente: 5kg Ricevitore Down Hole: G1-cpl2IN Equipaggiamento di registrazione: D1-SISMI USB Distanza centro sorgente-verticale X: 1.7 m Distanza punta-accelerometro Y ₂ : 0.2 m	Vs₃₀ = 207 m/sec Categoria suolo di fondazione = C
---	--



Profondità punta elettrica Y ₁ (m)	Tempo di arrivo onda S (millisecondi)	Velocità onde S dello strato (m/sec)
0		
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		
12		
13		
14		
15	75.017	186
16	80.356	203
17	85.246	227
18	89.632	257
19	93.511	182
20	98.985	157
21	105.325	150
22	111.986	179
23	117.555	243
24	121.658	293
25	125.068	213
26	129.756	279
27	133.333	244
28	137.432	328
29	140.476	296
30	143.852	



Il valore di Vs₃₀ calcolato risulta: Vs₃₀ = 207 m/s e quindi conferma la Categoria di suolo della precedente relazione cioè C.

Vs₃₀ = 207 m/s Categoria di suolo C

Questo è un valore puntuale misurato attraverso una prova diretta SCPTU (che è una prova downhole) ed è quindi di elevata qualità ed affidabilità; comparando tale dato, ottenuto in sito, con le correlazioni fatte attraverso la prova CPT precedentemente esposte è possibile osservare che portano al medesimo risultato.

- V_{S30} ottenuta mediante la realizzazione della prova penetrometrica statica con punta elettrica e sismocono CPT3 \longrightarrow 207 m/s.
- V_{S30} ottenuta mediante correlazione di Andrus attraverso la prova penetrometrica statica con punta meccanica CPT3 \longrightarrow 208 m/s.

Spettro da "Atto di indirizzo, n°112 del 2 maggio 2007"

La nuova classificazione sismica introdotta con l'Atto di Indirizzo e coordinamento tecnico" per la microzonizzazione sismica della regione Emilia Romagna, prevede per il comune di Ferrara la seguente accelerazione massima orizzontale di picco al suolo, cioè per $T=0$, espressa in frazione dell'accelerazione di gravità g ($a_{\text{ref}g}$):

Accelerazione PGA ($V_{S30}<350\text{m/sec}$) = 0,132 g suolo rigido ($V_{S30}>800\text{ m/sec}$)

Per un valore della V_{S30} inferiore 300 m/sec, il fattore di amplificazione è pari a F.A.=1,5.

In FIGURA 3.5, si riporta lo spettro di risposta calcolato per il Comune di Ferrara, con un valore di $a_{\text{ref}g}$ pari a 0,132 g ed un fattore di amplificazione pari a 1.5.

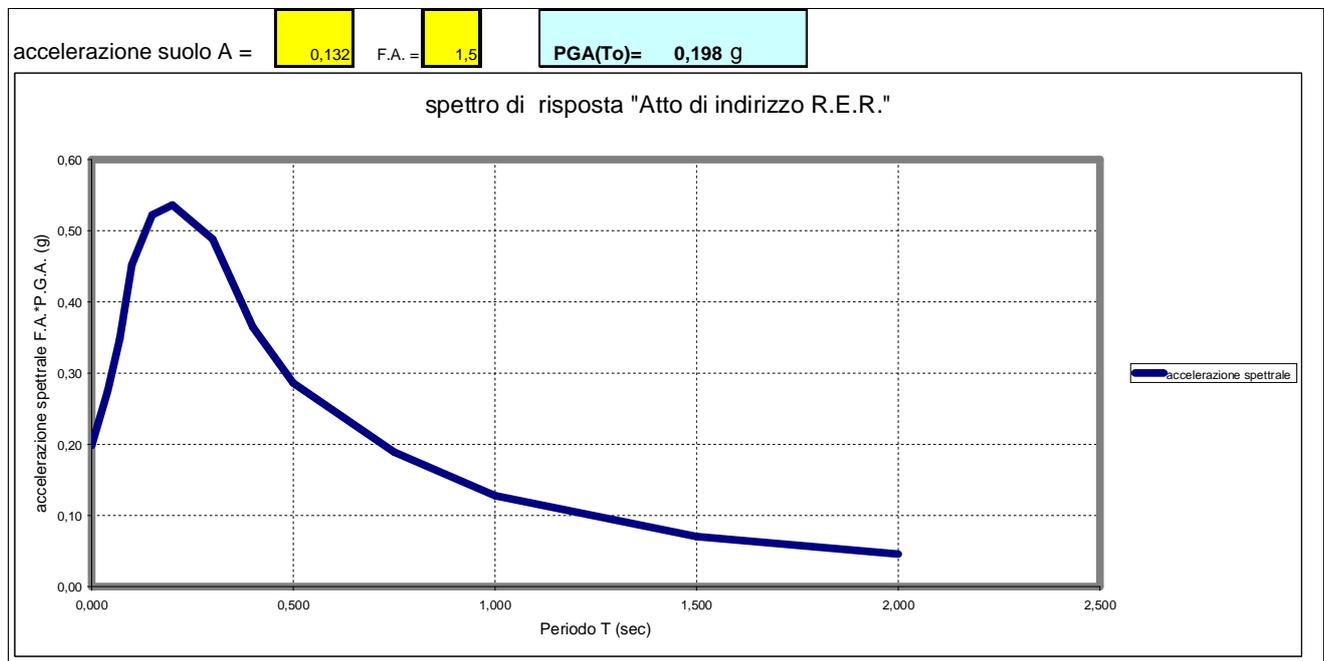


FIGURA 3.5 – Spettro di risposta per il suolo rilevato a Ferrara.

Secondo "D.M. 14 gennaio 2008"

La classificazione sismica introdotta dall'OPCM 3519/2006, recepita dal D.M. 14/01/2008, attribuisce al comune di Ferrara un valore di accelerazione massima orizzontale di picco al suolo appartenente agli intervalli 0,125g – 0,150g, con $T=0$, su suolo rigido ($V_{S30}>800\text{m/sec}$) e con una probabilità di superamento del 10% in 50 anni. Secondo il vigente D.M., gli spettri di risposta rappresentano delle componenti (orizzontale e verticale) delle azioni sismiche di progetto di un generico sito del territorio nazionale.

In FIGURA 3.6, si riporta un particolare della mappa di pericolosità sismica redatta dall'INGV, secondo la Tabella 1, allegata alle nuove Norme Tecniche per le Costruzioni.

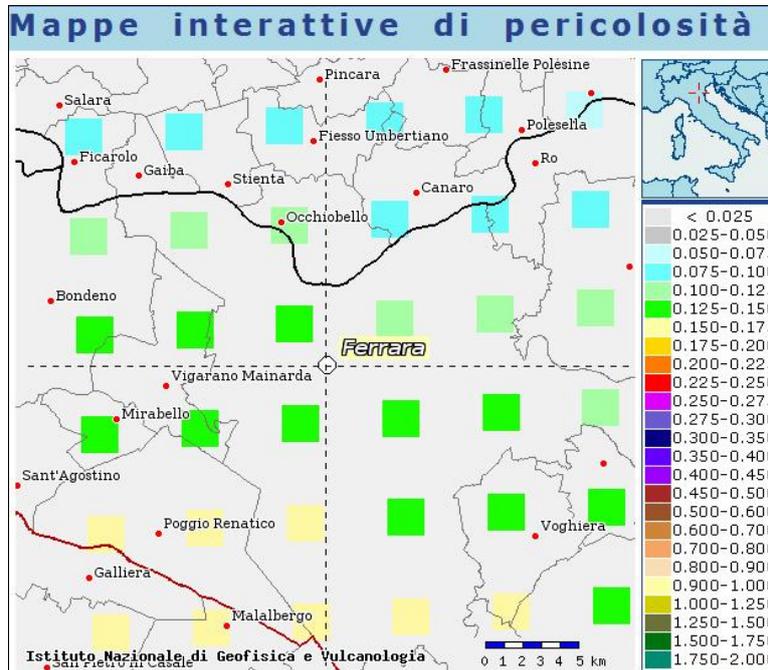


FIGURA 3.6 – Carta pericolosità sismica, da progetto DCP – INGV – S1. fonte: <http://esse1-gis.mi.ingv.it>

Successivamente il progettista procede in funzione delle caratteristiche dell'opera progettata e definisce lo spettro di risposta. Ai fini della normativa, *le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{VR} , a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:*

a_g accelerazione orizzontale massima al sito;

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

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

In allegato alla norma per tutti i siti italiani, sono forniti i valori di a_g , F_0 e T^*c necessari per la determinazione delle azioni sismiche.

Nella Tabella 3.2 tratta dalla normativa si riportano i valori di probabilità di superamento per i diversi stati limite a cui si può spingere la progettazione.

Stati Limite		P_{VR} : Probabilità di superamento nel periodo di riferimento V_R
Stati limite di esercizio	SLO	81%
	SLD	63%
Stati limite ultimi	SLV	10%
	SLC	5%

Tabella 3.2. D.M. 14-01-2008 Probabilità di superamento P_{VR} al variare dello stato limite considerato

Di seguito si riportano i parametri sismici calcolati secondo un approccio "sito dipendente". Come indicato nell'Allegato A del D.M. 14 gennaio 2008, si possono ottenere i valori dei suddetti parametri spettrali (a_g , F_0 e T^*c) del sito in esame utilizzando come riferimento le informazioni disponibili nel reticolo di riferimento (FIGURA 3.7).

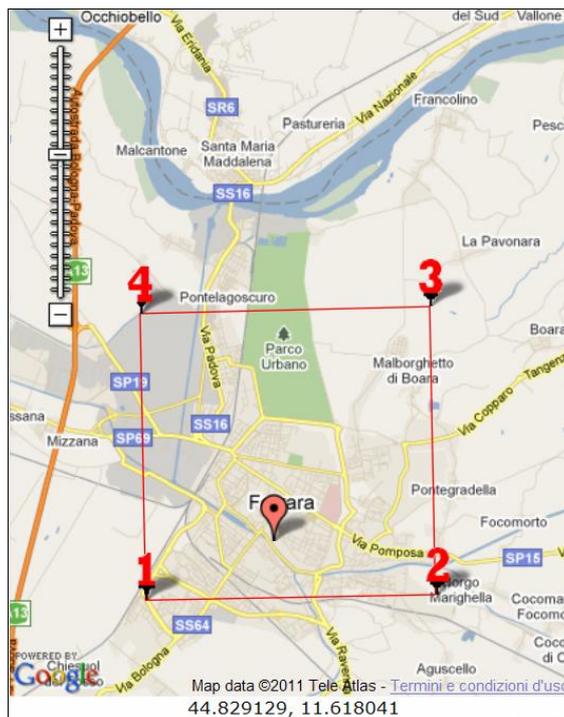


FIGURA 3.7 – vertici della griglia di riferimento.

Si valutano i parametri spettrali ag , $F0$ e T^*c per il sito di progetto (approccio "sito-dipendente") considerando l'amplificazione stratigrafica e topografica ($T1$) (Cap. 3.2 del D.M.2008) la categoria del sottosuolo (C) e la classe d'uso della costruzione ($I1$) (Cap. 2.4 del D.M.2008).

Sarà poi il progettista a definire lo spettro di risposta in funzione delle caratteristiche dell'opera progettata e alla strategia di progettazione. Quello che si riporta di seguito deriva solo da considerazioni su ipotesi di massima.

Parametri sismici

Tipo di elaborazione: Fondazioni

Sito in esame.

latitudine: 44,8300575086238

longitudine: 11,6190332954539

Classe: 2

Vita nominale: 50

Siti di riferimento

Sito 1 ID: 15402 Lat: 44,8197Lon: 11,5883 Distanza: 2685,911

Sito 2 ID: 15403 Lat: 44,8208Lon: 11,6586 Distanza: 3284,423

Sito 3 ID: 15181 Lat: 44,8708Lon: 11,6571 Distanza: 5434,580

Sito 4 ID: 15180 Lat: 44,8697Lon: 11,5867 Distanza: 5093,909

Parametri sismici

Categoria sottosuolo: C

Categoria topografica: T1

Periodo di riferimento: 50anni

Coefficiente c_u : 1

Operatività (SLO):

Probabilità di superamento: 81 %
Tr: 30 [anni]
ag: 0,037 g
Fo: 2,548
Tc*: 0,252 [s]

Danno (SLD):

Probabilità di superamento: 63 %
Tr: 50 [anni]
ag: 0,047 g
Fo: 2,504
Tc*: 0,275 [s]

Salvaguardia della vita (SLV):

Probabilità di superamento: 10 %
Tr: 475 [anni]
ag: 0,136 g
Fo: 2,595
Tc*: 0,274 [s]

Prevenzione dal collasso (SLC):

Probabilità di superamento: 5 %
Tr: 975 [anni]
ag: 0,182 g
Fo: 2,552
Tc*: 0,280 [s]

Coefficienti Sismici

SLO:

Ss: 1,500
Cc: 1,650
St: 1,000
Kh: 0,011
Kv: 0,006
Amax: 0,551
Beta: 0,200

SLD:

Ss: 1,500
Cc: 1,610
St: 1,000
Kh: 0,014
Kv: 0,007
Amax: 0,690
Beta: 0,200

SLV:

Ss: 1,490
Cc: 1,610
St: 1,000

Kh: 0,049
Kv: 0,024
Amax: 1,983 (Amax/g= 0,202)
Beta: 0,240

SLC:

Ss: 1,420
Cc: 1,600
St: 1,000
Kh: 0,062
Kv: 0,031
Amax: 2,541
Beta: 0,240

Geostru software - www.geostru.com

Magnitudo di progetto

Nella FIGURA 3.8 sono riportati i sismi che hanno colpito in un raggio di 30 km attorno al sito di intervento, tra la provincia di Ferrara e quella di Modena in tempi storici.

CPTI04 - Risultato dell'interrogazione per parametri

Interrogazione effettuata sui seguenti parametri:

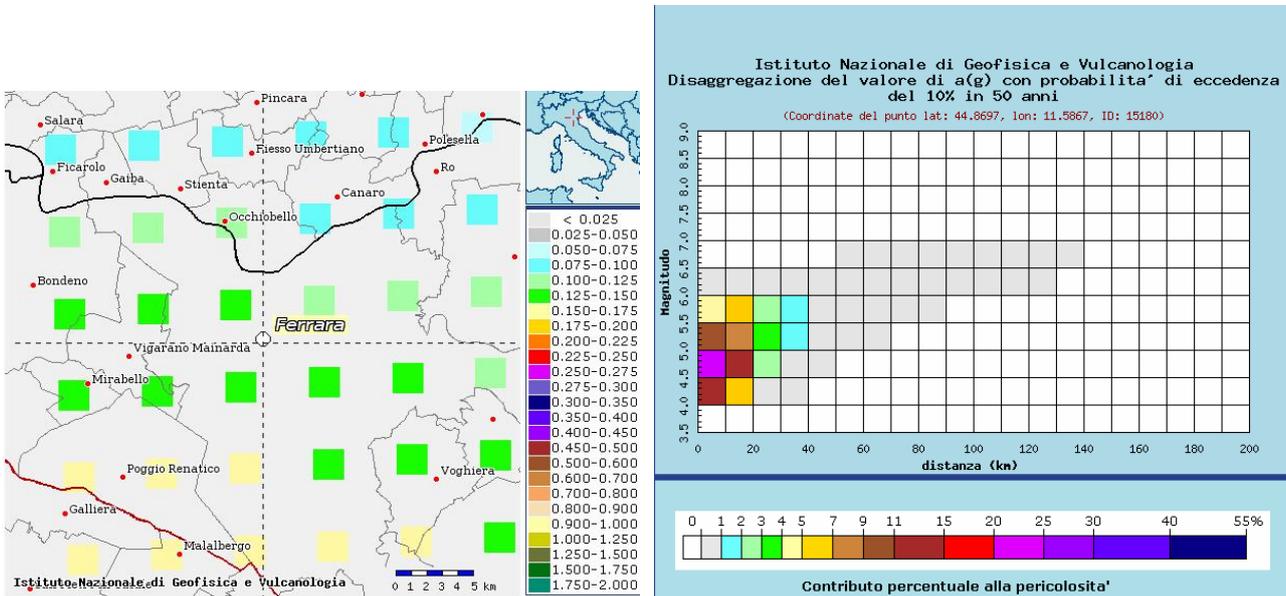
Area circolare con centro C (44.82, 11.61) e raggio 30 km

N	Tr	Anno	Me	Gi	Or	Mi	Se	AE	Rt	Np	Imx	Io	TI	Lat	Lon	TL	Maw	Daw	TW	Mas	Das	TS	Msp	Dsp	ZS9	TZ	Ncft	Nnt	Ncpt
51	DI	1234	3	20				FERRARA	DOM	5	70	70		44.836	11.618	A	5.17	0.30		4.80	0.45		4.99	0.42	912	G	860	51	
66	DI	1285	12	13				FERRARA	DOM	2	70	65		44.836	11.618	A	5.03	0.33		4.60	0.49		4.80	0.45	912	G	861	66	
131	DI	1410	5	9	22	30		FERRARA	DOM	3	65	65		44.836	11.618	A	5.03	0.33		4.60	0.49		4.80	0.45	912	G	863	131	
139	CP	1425	8	10	19			FERRARA SUD	POS85			60		44.833	11.667		4.83	0.26		4.30	0.39		4.53	0.36	912	G	864	139	
178	DI	1483	3	3	22			FERRARA	DOM	1	55	55		44.836	11.618	A	4.63	0.13		4.00	0.20		4.25	0.19	912	G	865	178	
207	CP	1508	10	18	15			FERRARA SUD	POS85			60		44.833	11.667		4.83	0.26		4.30	0.39		4.53	0.36	912	G	866	207	
257	DI	1561	11	24	1	25		Ferrara	CFTI	5	65	55	M	44.78	11.45	A	4.63	0.13		4.00	0.20		4.25	0.19	912	G	229	867	257
262	DI	1570	11	17	19	10		Ferrara	CFTI	60	80	75		44.82	11.63	A	5.48	0.11		5.27	0.17		5.43	0.16	912	G	231	868	262
266	DI	1574	3	17	3	40		FINALE EMILIA	DOM	4	70	70		44.833	11.294	A	5.12	0.22		4.73	0.33		4.92	0.31	912	G	869	266	
323	DI	1624	3	18	19	45		Argenta	CFTI	17	85	75		44.65	11.85	A	5.43	0.22		5.19	0.32		5.35	0.30	912	G	243	870	323
416	DI	1695	2	28				FERRARA	DOM	1	55	55		44.836	11.618	A	4.63	0.13		4.00	0.20		4.25	0.19	912	G	871	416	
521	DI	1743	5	29				FERRARA	DOM	1	65	65		44.836	11.618	A	5.03	0.33		4.60	0.49		4.80	0.45	912	G	872	521	
684	DI	1787	7	16	10			Ferrara	CFTI	3	65	55	M	44.83	11.62	A	4.63	0.13		4.00	0.20		4.25	0.19	912	G	339	873	684
683	DI	1796	10	22	4			Emilia orientale	CFTI	26	70	70		44.62	11.67	A	5.63	0.15		5.48	0.23		5.62	0.23	912	G	352	874	683
1287	DI	1898	1	16	12	10	5	Romagna settent.	CFTI	73	70	65		44.65	11.77	A	5.03	0.33		4.60	0.49		4.80	0.45	912	G	452	879	1287
1482	CP	1908	6	28	3	19	58	FINALE EMILIA SUD	POS85			60		44.8	11.3		4.83	0.26		4.30	0.39		4.53	0.36	912	G	881	1482	
1499	DI	1909	1	13	45			BASSA PADANA	DOM	799	65	65		44.579	11.688	A	5.53	0.05		5.33	0.08		5.48	0.07	912	G	882	1499	
1729	DI	1922	5	24	21	17		CENTO	DOM	6	45	35		44.862	11.517	A	4.50	0.14		3.81	0.21		4.07	0.19	912	G	883	1729	
2094	DI	1966	2	20	1	29		ARGENTA	DOM	32	55	55		44.919	11.899	A	4.98	0.07		4.52	0.10		4.73	0.09			885	2094	
2455	DI	1986	12	6	17	7	19	BONDENO	DOM	604	60	60		44.879	11.334	A	4.56	0.09		4.30	0.13		4.53	0.12	912	G	9019	2456	

Maw	Magnitudo momento		--	
Daw	Errore associato alla stima di Maw		--	
TW	codice di determinazione di Maw	O valore osservato	--	
Mas	Magnitudo calcolata sulle onde di superficie	fino al 1980 coincide con Ma di CPTI99	Ma	Magnitudo media (calibrata a Ms)
Das	Errore associato alla stima di Mas	fino al 1980 coincide con Da di CPTI99	Da	Errore associato alla stima di Ma
TS	Codice di determinazione delle magnitudo per la zona etnea	En: valore per il calcolo del quale è stata usata la relazione Io/Mm di Azzaro e Barbano (1997)	--	
Msp	Magnitudo da utilizzare in combinazione con la relazione di attenuazione di Sabetta e Pugliese (1996)	per Ms>5.5: Msp=Ms per Ms<=5.5: Msp=(Ms+0.584)/1.079	--	
Dsp	Errore associato alla stima di Msp		--	
ZS9	Zona sorgente di ZS9 cui l'evento è assegnato		--	

FIGURA 3.8: Sismi che hanno colpito l'area in esame in un raggio di 30 km (Fonte: <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI04/ricerca04.php>)

In FIGURA 3.9 è visibile il grafico di disaggregazione, in cui si riporta il contributo percentuale alla pericolosità delle diverse coppie di magnitudo e distanza, con cui si individua la coppia di valori che domina lo scenario sismico.



Distanza in km	Disaggregazione del valore di a(g) con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni (Coordinate del punto lat: 44.8697, lon: 11.5867, ID: 15180)										
	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	14.300	22.800	10.500	4.280	0.455	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10-20	0.000	5.170	11.900	8.750	5.250	0.696	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
20-30	0.000	0.821	2.970	3.390	2.900	0.471	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
30-40	0.000	0.021	0.568	1.240	1.440	0.274	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
40-50	0.000	0.000	0.027	0.360	0.627	0.118	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
50-60	0.000	0.000	0.000	0.050	0.244	0.050	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000
60-70	0.000	0.000	0.000	0.002	0.090	0.063	0.010	0.000	0.000	0.000	0.000
70-80	0.000	0.000	0.000	0.000	0.022	0.051	0.011	0.000	0.000	0.000	0.000
80-90	0.000	0.000	0.000	0.000	0.004	0.035	0.010	0.000	0.000	0.000	0.000
90-100	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.023	0.010	0.000	0.000	0.000	0.000
100-110	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.012	0.007	0.000	0.000	0.000	0.000
110-120	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.004	0.004	0.000	0.000	0.000	0.000
120-130	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.002	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
4.960	12.100	0.584

FIGURA 3.9 - Grafico di disaggregazione <http://esse1-gis.mi.ingv.it/>

Dunque la magnitudo massima attesa nei tempi di ritorno adottati è di 4,96 Mw, ovvero 5,00 Mw, con una distanza epicentrale di 12,100 km circa. Conservativamente si utilizza una magnitudo di 5,5 per effettuare le analisi della liquefazione delle sabbie.

3.4. VERIFICA DELLA RESISTENZA ALLA LIQUEFAZIONE DELLE SABBIE

L'obiettivo della riduzione del rischio sismico passa anche per l'analisi delle componenti territoriali che possono innescare fenomeni negativamente impattanti con le strutture antropiche e la loro sicurezza. Vale comunque la pena evidenziare che laddove sono presenti i caratteri predisponenti, non è detto che si possano realizzare le condizioni di cause scatenanti; ovvero un terreno sabbioso può avere tutti i requisiti granulometrici e di addensamento per liquefarsi, ma nell'area non si verificherà un sisma con energia sufficiente ad indurre liquefazione.

In particolare vengono ritenuti motivi di esclusione dalla verifica a liquefazione, la verifica di almeno una di queste circostanze:

1. Eventi sismici attesi di magnitudo di momento M_w inferiore a 6 e durata inferiore a 15 sec. ("La Liquefazione del terreno in condizioni sismiche" – Crespellani, Nardi, Simoncini – Zanichelli 1988).

2. Accelerazioni massime attese al piano campagna in condizioni *free-field* minori di 0,1g;

3. Accelerazioni massime al piano campagna in condizioni *free-field* minori di 0,15g e terreni con caratteristiche ricadenti in una delle tre seguenti categorie:

- frazione di fine, FC, superiore al 20% (FC = frazione passante al setaccio ASTM 200, 0,074mm), con indice di plasticità $PI > 10$;

- $FC \geq 35\%$ e resistenza $(N_1)_{60} > 20$;

- $FC \leq 5\%$ e resistenza $(N_1)_{60} > 25$

Dove $(N_1)_{60}$ è il valore normalizzato della resistenza penetrometrica della prova SPT.

4. Distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella FIGURA 3.10 da distinguere i materiali in funzione del coefficiente di uniformità $U_c < 3,5$ o $U_c > 3,5$.

5. Profondità media stagionale della falda superiore ai 15m dal piano campagna.

6. Copertura di strati superficiali non liquefacibili con spessore maggiore di 3m, oppure con spessore maggiore di 5m per magnitudo maggiori di $M > 7$.

7. Un ulteriore motivo di esclusione dalla verifica di liquefazione è dato dal valore della densità relativa D_r del deposito. Gibbs ha eseguito diversi studi su risultati di vari autori stabilendo che una densità relativa pari a 70% è valore limite tra terreni liquefacibili e non liquefacibili (*Manuale di geotecnica per l'ingegneria civile* di Nunziante Marino, Maggioli Editore, 2006), di conseguenza tutti i terreni con $D_r > 70\%$ vengono automaticamente esclusi dalla verifica alla liquefazione.

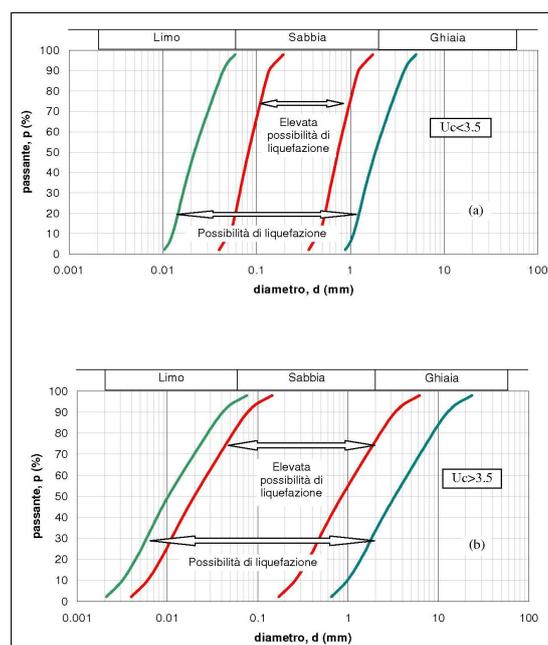


FIGURA 3.10 : Fusi granulometrici liquefacibili

Per la verifica della liquefazione delle sabbie è stato utilizzato un software di calcolo che analizzando ogni strato da 20 cm individuato dalla prova CPT, ne verifica la potenzialità di liquefazione.

Ai fini del calcolo sono state considerate tutte e tre le prove penetrometriche CPT1, CPT2 e CPT3 con Rifer. 85-11.

Trattandosi di piano urbanistico attuativo i dati di input vengono estrapolati da "Atto di Indirizzo e coordinamento tecnico" per gli studi di microzonizzazione sismica. Accelerazione PGA = 0,132 g, F.A.= 1,5, Magnitudo conservativamente pari a 5,5, Fattore di sicurezza F=1,00. (FIGURA 3.11)

Nell'area di studio il fenomeno della liquefazione non è un effetto di sito atteso.

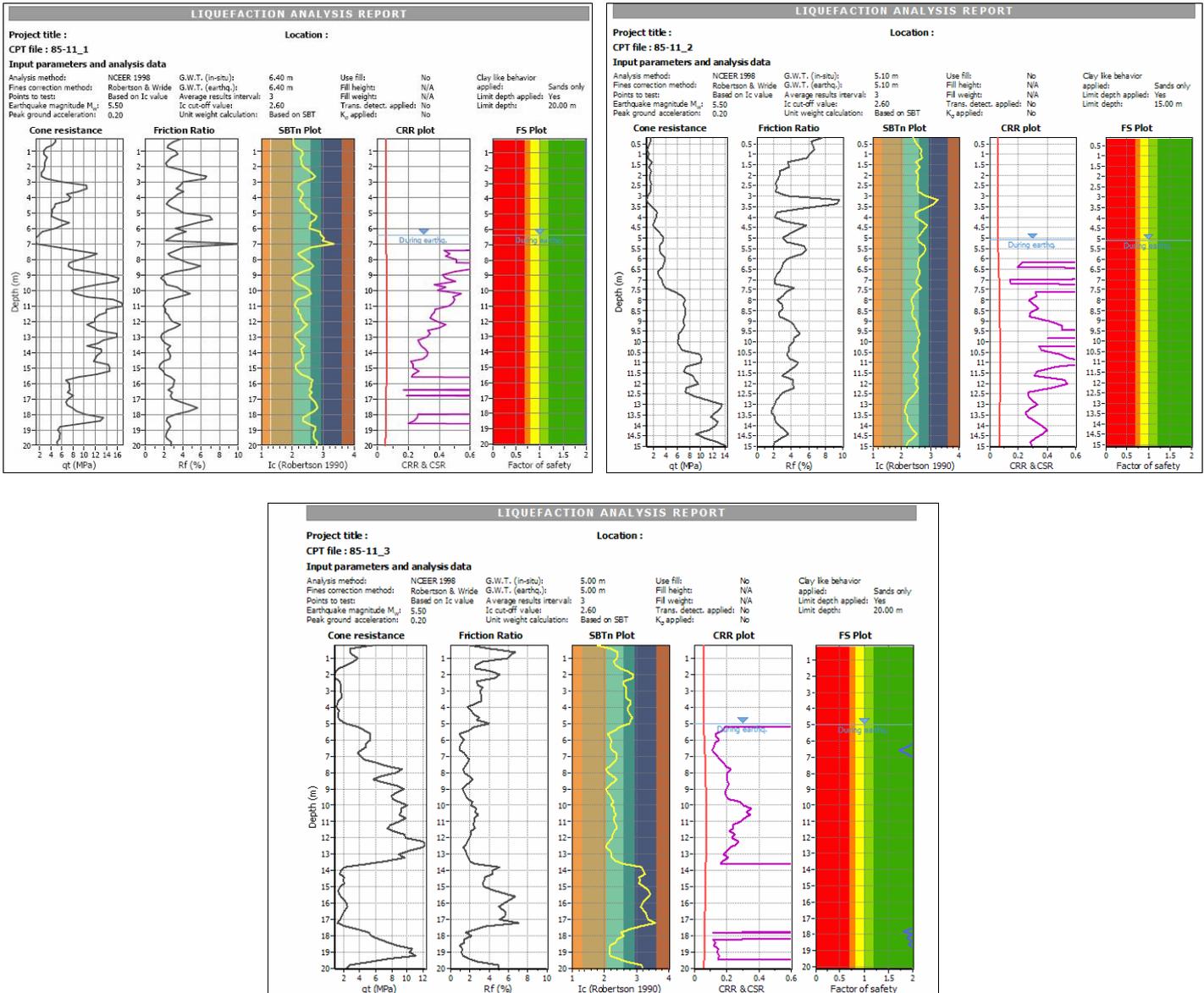


FIGURA 3.11 – Dati di input

In FIGURA 3.12, si riporta un diagramma CSR, qc_1N_{cs} , in cui si schematizzano i comportamenti di non liquefazione degli strati esaminati.

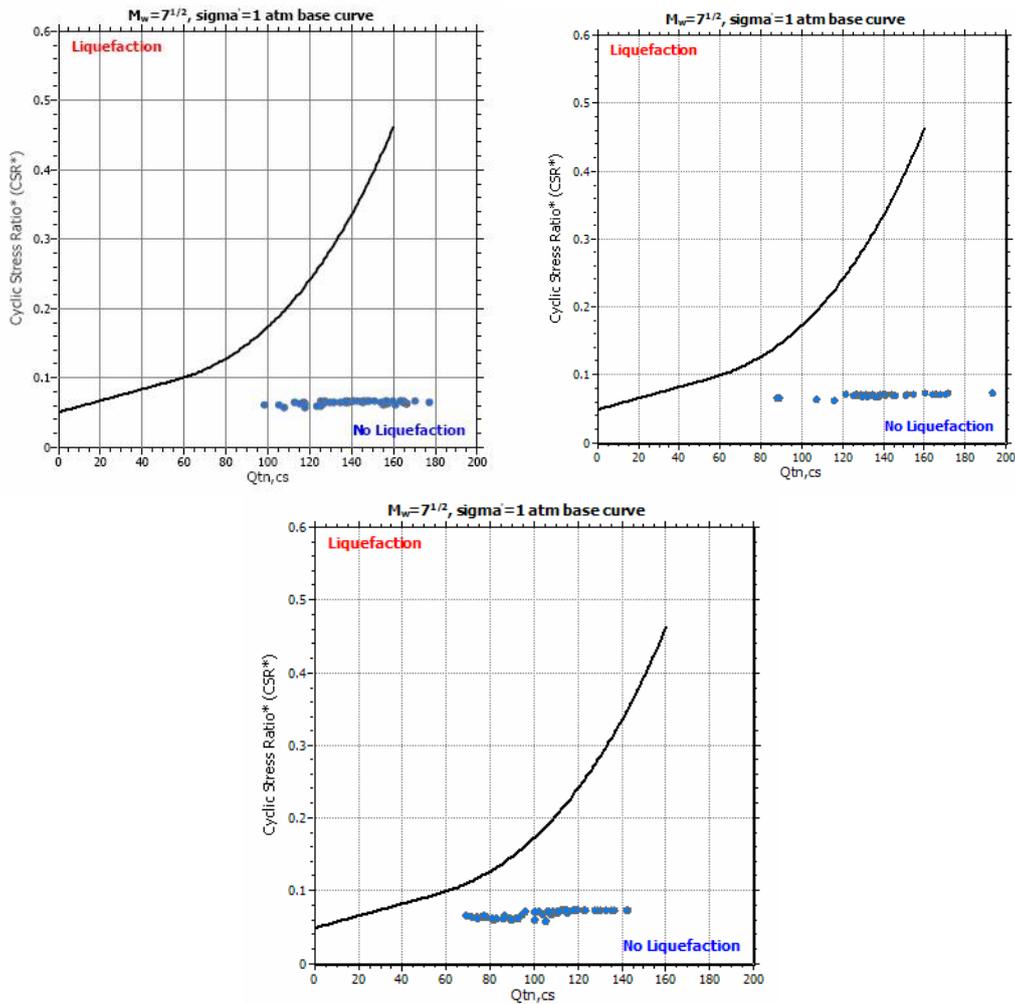


FIGURA 3.12 – Diagramma per la stima della resistenza normalizzata alla liquefazione CRR di un terreno sabbioso saturo in funzione della percentuale di fini FC e sulla base dei valori N_{SPT} , q_c e V_S corretti.

Dei calcoli effettuati si riporta solo la sintesi dei risultati finali.

Inoltre è stato verificato l'indice del potenziale di liquefazione, I_L , definito dalla seguente relazione:

$$I_L = \int_0^{20} F(z)w(z)dz,$$

in cui z è la profondità dal piano di campagna in metri e $w(z)=10-0.5z$

Ad una quota z il fattore $F(z)=F$ vale:

$$F = 1 - F_L \text{ se } F_L \leq 1.0$$

$$F = 0 \text{ se } F_L > 1.0$$

dove F_L è il fattore di sicurezza alla liquefazione alla quota considerata.

Con il software si calcola nei primi 20,00 m, il valore del potenziale di liquefazione per tutti gli strati incoerenti (Metodo Iwasaki) risulta uguale a 0,00.

In base alla Tabella 3.3 i terreni risultano non liquefacibili.

Potenziale Liquefazione I_{PL}	Classificazione
$I_{PL} = 0$	<i>Non liquefacibile</i>
$0 < I_{PL} \leq 2$	<i>Basso</i>
$2 < I_{PL} \leq 5$	<i>Moderato</i>
$2 < I_{PL} \leq 15$	<i>Alto</i>
$I_{PL} \geq 15$	<i>Molto Alto</i>

Tabella 3.3 – Classificazione indice potenziale liquefazione

Per la verifica della liquefazione delle sabbie, inoltre si è fatto riferimento alla prova penetrometrica statica con punta elettrica e sismocono SCPTU1, spinta fino alla profondità di -30,96 m da p.c., con rif.U04-12.

Utilizzando i dati di input (secondo il D.M. 14 gennaio 2008) visualizzati in FIGURA 3.13, se ne deduce che nell'area di studio il fenomeno della liquefazione è un effetto di sito atteso.



Dott. Geol. Thomas Veronese
via Roma 10 - 44021 Codigoro FE
tel/fax: 0533713798
mail: thomas.veronese@tin.it

LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

Project title :

Location :

CPTU file : CPTU_Thomas

Input parameters and analysis data

Analysis method:	NCEER (1998)	G.W.T. (in-situ):	1.00 m	Use fill:	No	Clay like behavior	
Fines correction method:	NCEER (1998)	G.W.T. (earthq.):	5.00 m	Fill height:	N/A	applied:	Sands only
Points to test:	Based on Ic value	Average results interval:	3	Fill weight:	N/A	Limit depth applied:	Yes
Earthquake magnitude M_w :	5.90	Ic cut-off value:	2.60	Trans. detect. applied:	No	Limit depth:	20.00 m
Peak ground acceleration:	0.20	Unit weight calculation:	Based on SBT	K_v applied:	Yes		

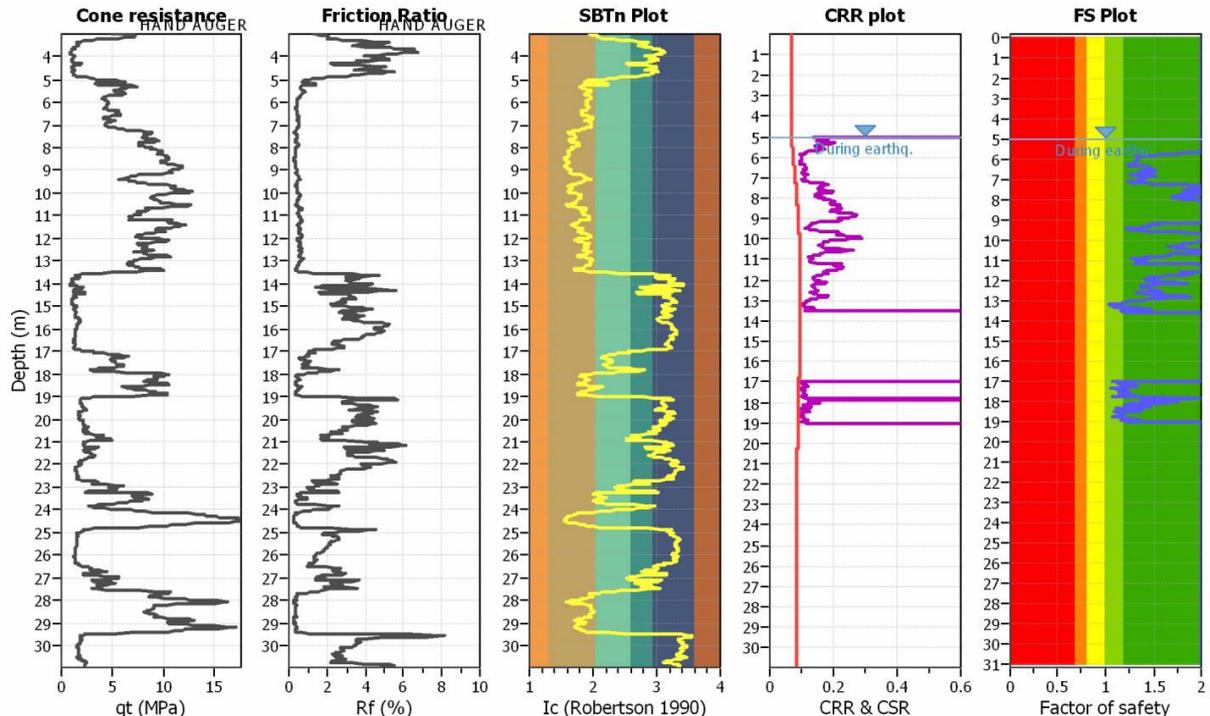


FIGURA 3.13 – Dati input e metodi di calcolo adottati – CPTU

In FIGURA 3.14, si riporta un diagramma CSR, $qc_1 N_{r,cs}$, in cui si schematizzano i comportamenti di liquefazione e non liquefazione degli strati esaminati.

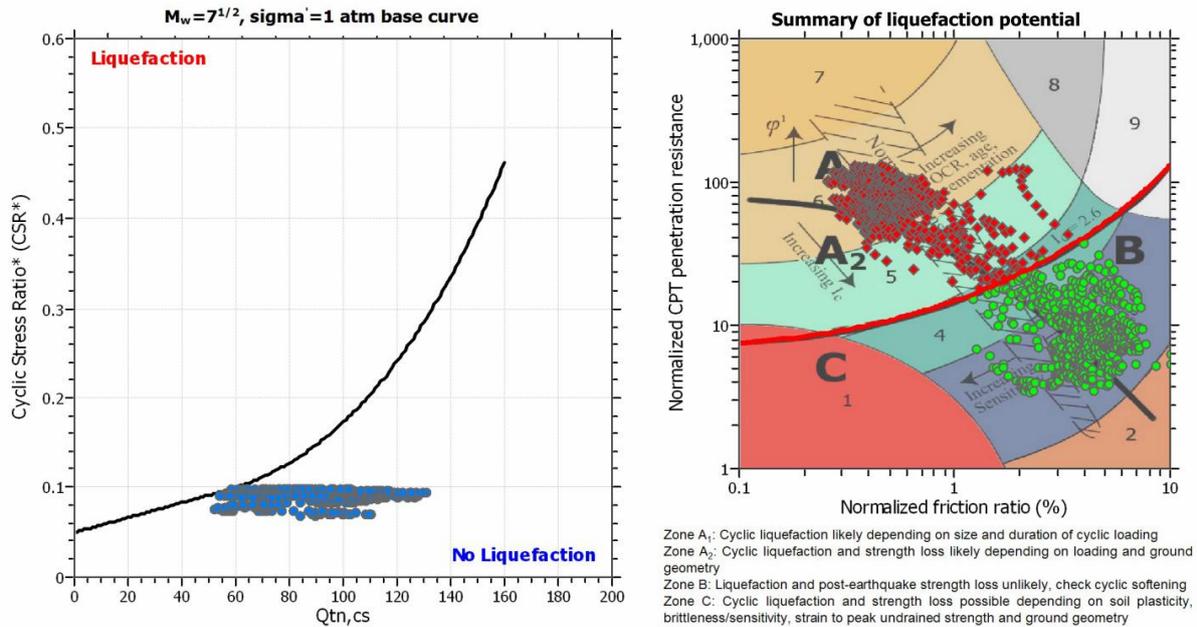


FIGURA 3.14 – Diagramma di liquefazione, da software CLiq, vers. 1.4.1.22

In base alle Tabelle 3.4 l'indice del potenziale di liquefazione risulta nullo, quindi non liquefacibile.

	Potenziale Liquefazione I_{PL}
SCPTU1	0,00

Tabella 3.4 – Indice potenziale liquefazione calcolato per la SCPTU

3.5. CALCOLO CEDIMENTI POSTSISMICI IN TERRENI GRANULARI

Dell'elaborazione completa dei cedimenti post sismici si riporta solo il risultato finale. Sono stati stimati i cedimenti postsismici nei banchi sabbiosi rilevati con la prova CPT di riferimento. E' stato dunque utilizzato lo stesso software di analisi con cui si sono valutati i terreni per strati da 20 cm individuati dalla prova CPT.

Dalle elaborazioni, si ricava che con una Magnitudo di 5.50, non sono presenti livelli con un fattore di resistenza alla liquefazione inferiore a 1,0 (Atto di Indirizzo 112/2007), non determinando dunque cedimenti post sismici (Tabella 3.5).

Inoltre sono stati stimati i cedimenti postsismici nei banchi sabbiosi rilevati con la prova SCPTU1 di riferimento.

Dalle elaborazioni, si ricava che con una Magnitudo di 5.90, non sono presenti livelli con un fattore di resistenza alla liquefazione inferiore a 1,00 (Atto di Indirizzo 112/2007), non determinando dunque cedimenti post sismici (Tabella 3.5).

	Cedimenti (cm) PGA = 0,20
CPT3	0,00
SCPTU1	0,00

Tabella 3.5 – Cedimenti post-sismici

3.6. CALCOLO CEDIMENTI POSTSISMICI IN TERRENI COESIVI

Nei depositi coesivi molto soffici ($c_u \leq 70\text{kPa}$) e plastici ($I_p \geq 30\%$) in cui si prevede un incremento delle pressioni interstiziali $\frac{\Delta u}{\sigma'_0} \geq 0.3$ durante il terremoto di riferimento può verificarsi un cedimento di riconsolidazione conseguente alla dissipazione delle pressioni interstiziali accumulate durante il terremoto.

Le stratigrafie delle prove penetrometriche rilevano la presenza di argille limose e limi argillosi, nei primi 5 metri di terreno. Qui la frazione limosa (e talvolta sabbiosa) riduce il valore dell'indice di plasticità che per questi terreni risulta inferiore al 30%, e non presentano dunque le caratteristiche tali per essere passibili di cedimenti per riconsolidazione.

Inoltre i terreni coesivi rilevati in sito si collocano solo al di sopra del livello di falda freatica, per cui non risentono dei fenomeni di incremento delle sovrappressioni neutre, trattandosi di terreni asciutti.

4. RISCHIO INDUSTRIALE

Le informazioni che seguono e le relative carte tematiche sono state estrapolate dal Piano Provinciale di Protezione Civile – Rischio Industriale della provincia di Ferrara.

Tale documento rappresenta il programma di previsione e prevenzione dei rischi- stralcio industriale, redatto ai sensi della L.225/95, che il Piano Provinciale di Emergenza – Rischio Industriale, predisposto ai sensi del D.Lgs.112/98 e della più recente Legge Regionale n. 1 del 07 febbraio 2005.

Le carte tematiche relative al rischio industriale sono state realizzate secondo le indicazioni delle linee guida predisposte dalla Regione Emilia-Romagna, mentre la pianificazione è stata realizzata secondo le modalità contenute nel Protocollo d'Intesa del 14 Ottobre 2004, siglato da tutti gli Enti aventi competenze in materia di Protezione Civile e dalle successive integrazioni tecniche, "Prototipo di legenda per la predisposizione della Carta del modello d'intervento – Rischio industriale" di cui alla determina del Direttore dell'Agenzia Regionale di Protezione Civile n. 10699 del 23/08/2007. Il presente piano recepisce integralmente il Piano di Emergenza Esterno (PEE) predisposto dalla Prefettura U.T.G. di Ferrara ed approvato con decreto prefettizio n 226 del 11 dicembre 2008 relativo alle industrie a rischio di incidente rilevante presenti sul territorio ferrarese, così come meglio specificato nei paragrafi che seguono.

4.1. Industrie a Rischio di Incidente Rilevante

Per Industrie a Rischio di Incidente Rilevante si intendono quegli stabilimenti che detengono "sostanze pericolose" che per loro natura e per i quantitativi stoccati, potrebbero comportare il verificarsi di un evento quale un'emissione, un incendio o un'esplosione di grande entità, dovuto a sviluppi incontrollati durante l'attività dello stabilimento stesso, e quindi dare luogo ad un pericolo grave, immediato o differito, per la salute umana o per l'ambiente, all'interno o all'esterno dello stabilimento.

Nella Provincia di Ferrara le industrie appartenenti a tale categoria sono n.8, di cui n.5 nel Comune di Ferrara.

Dei 5 stabilimenti presenti nel Comune di Ferrara, 4 (Yara Italia S.p.A. – Basell Poliolefine Italia S.p.A. – VinylLoop S.p.A. – Polimeri Europa S.p.A.) sono ubicati all'interno del Polo Chimico, situato nella periferia Nord-Ovest della città.

Le aziende sopra menzionate, per la tipologia e la quantità delle sostanze stoccate o lavorate, sono soggette all'art. 8 del D.Lgs. 334/99 e s.m.i. e quindi ricomprese nella pianificazione di emergenza esterna redatta dalla Prefettura di Ferrara-UTG. Tale decreto, così come specificato nelle linee guida per la "Pianificazione dell'emergenza esterna degli stabilimenti industriali a rischio d'incidente rilevante" redatte dalla Presidenza del Consiglio dei Ministri, richiede l'attivazione di un insieme di attività da parte dei vari soggetti pubblici e privati – indicati nella norma – al fine di prevenire gli incidenti rilevanti connessi a determinate sostanze pericolose e di ridurre e mitigare le conseguenze di tali incidenti sulla salute umana e sull'ambiente.

Nella Tabella 4.1 vengono elencate tutte le già sopra citate industrie con l'indicazione delle sostanze pericolose detenute, l'attività svolta e l'articolo del D.Lgs.334/99 in cui ricadono (8;7;6;5).

DITTA	INDIRIZZO	SOSTANZE PERICOLOSE	ATTIVITA'	D.Lgs. Art.
YARA ITALIA S.p.a.	P.le Donegani, 12 Ferrara	- Ammoniaca - Gas naturale (metano)	- Produzione di ammoniaca - Stoccaggio criogenico di ammoniaca	6, 7 e 8
BASELL S.p.a.	P.le Donegani, 12 Ferrara	- gas liquefatti estremamente infiammabili - gas naturali - sostanze estremamente infiammabili	- produzione polipropilene, leghe polimeriche e catalizzatori di alta resa	6, 7 e 8
VINILOOP FERRARA S.p.a.	Via Marconi, 73 Ferrara	- miscela esano-metiletilchetone - metiletilchetone - esano	- produzione di PVC riciclato di elevata qualità	6, 7 e 8
POLIMERI EUROPA S.r.l.	P.le Donegani, 12 Ferrara	- gas liquefatti estremamente infiammabili - gas naturali	- produzione e deposito gomme sintetiche - deposito perossidi	6, 7 e 8
ANRIV S.r.l.	Via Monari, 5 Ferrara	- Sostanze molto tossiche (T+, R26, R26/28) - sostanze tossiche (T, R23/24/25, R24/25) - sostanze pericolose per l'ambiente (N) con R50 - Sostanze pericolose per l'ambiente (N) con R51/53	- Stoccaggio e movimentazione di prodotti finiti fitofarmaci e concimi confezionati	6, 7 e 8

Tabella 4.1 - Elenco industrie con l'indicazione delle sostanze pericolose detenute nel comune di Ferrara

In FIGURA 4.1 e 4.2 si riporta il quadro d'unione degli scenari di rischio dei 5 stabilimenti presenti nel comune di Ferrara. Dalla carta emerge come non siano presenti attività industriali i cui areali di danno coinvolgano l'area in esame.

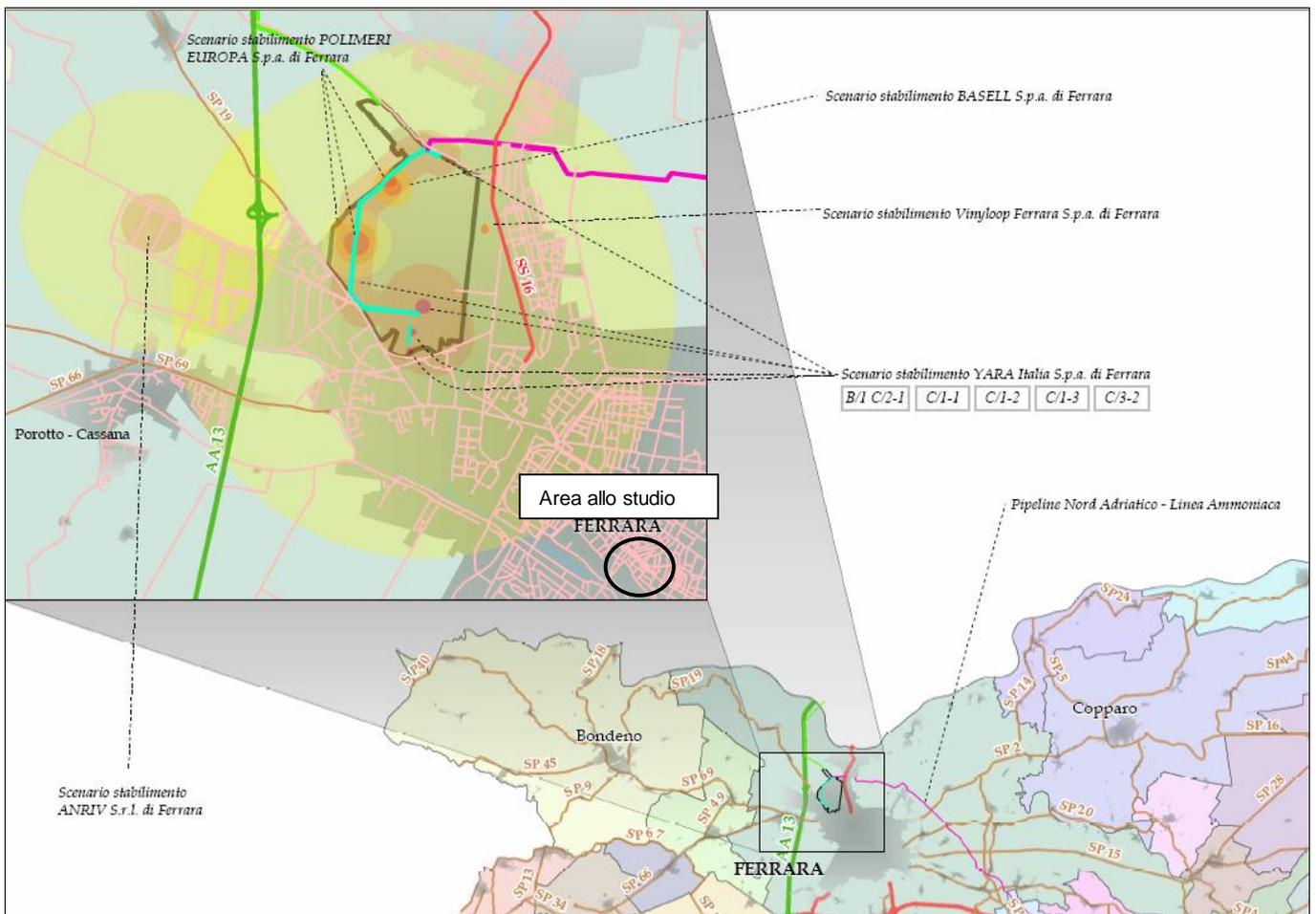


FIGURA 4.1 - Quadro d'unione degli scenari di rischio

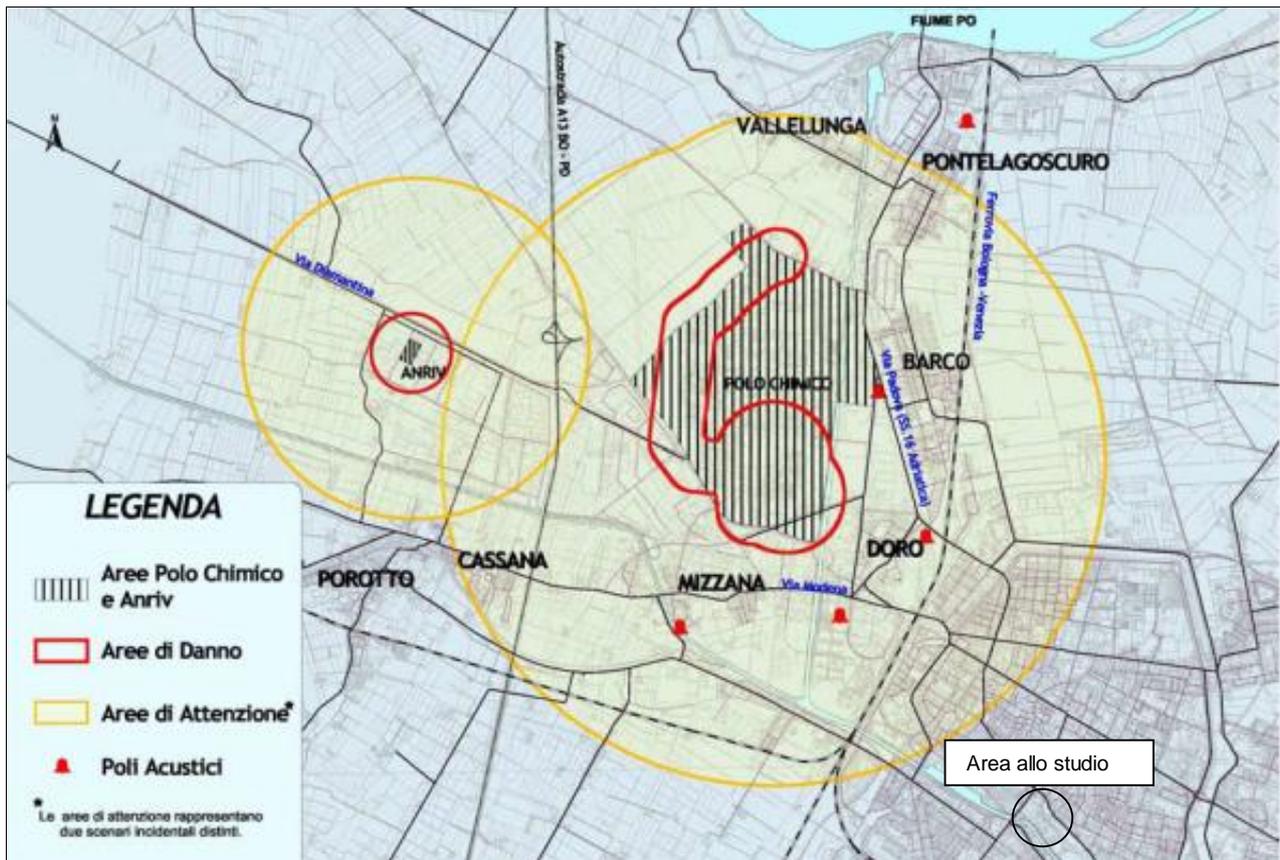


FIGURA 4.2 – Aree di attenzione per il rischio chimico di incidenti rilevanti

E' da tenere in considerazione che, rispetto al passato, nel territorio ferrarese l'esposizione al rischio di incidente rilevante è decisamente diminuita in relazione a due importanti fattori:

- 1- la cessata attività della società Solvay (dal 1998);
- 2- la tumulazione dei nuovi serbatoi GPL , posti all'interno del polo chimico (2002).

Inoltre, la realizzazione della rete di distribuzione attraverso pipe-lines (tubazioni sotterranee per il flusso di ammoniaca, etilene e propilene che collegano Porto Marghera, Ferrara e Ravenna) ha ridotto il trasporto di queste sostanze su strada, su ferrovia e sui canali navigabili e, di conseguenza, tutti i rischi di incidente che ne potevano conseguire. L'attività industriale comporta comunque il movimento di sostanze chimiche, alcune di queste tossiche e nocive per la salute. L'80 % delle sostanze chimiche utilizzate dalle industrie nazionali transitano sulla rete viaria della regione Emilia Romagna.

Il territorio del nostro Comune, per la presenza del Polo Chimico, è ovviamente coinvolto da questo continuo andirivieni.

Tutte le reti (strade, autostrade, ferrovie, canali navigabili, pipe-lines) sono utilizzate per trasportare con autocisterne, ferrocisterne, o sottoterra con le pipe-lines, le sostanze chimiche necessarie alla produzione di materie plastiche.

In relazione alle caratteristiche delle sostanze utilizzate nei cicli produttivi o immagazzinate nei depositi degli impianti industriali, possono verificarsi tre tipologie di eventi:

- Incendio (sostanze infiammabili);
- Esplosione (sostanze esplosive);
- Nube tossica (sostanze che si liberano allo stato gassoso).

Le istituzioni locali che operano con finalità di protezione civile sul territorio provvedono costantemente ad assicurare i migliori standard di sicurezza per la salute dei cittadini e la qualità dell'ambiente, in ciò coadiuvati dal gestore degli impianti che deve rispondere ad una serie di requisiti di legge per assicurare il massimo della sicurezza sia all'interno che all'esterno degli stessi.

4.2. Pipelines e Metanodotti

Il territorio provinciale, anche a seguito della presenza di un grosso polo chimico a Ferrara è attraversato da Pipelines e metanodotti, le cui informazioni vengono riassunte nella tabella 4.2 di seguito riportata.

Il tracciato più vicino all'area allo studio è il Pipeline nord-adriatico- linea ammoniacca visibile nella Tabella 4.2 che passa a circa 4 km a nord-est dell'area in esame.

Per quanto riguarda i metanodotti, il territorio provinciale è attraversato da una fitta rete di condotte, destinate al trasporto di gas metano in pressione.

Il tracciato è segnato da cartelli indicatori riportanti il numero di telefono per segnalare 24 ore su 24 eventuali guasti alla direzione dell'ente della condotta, che provvederà per quanto di sua competenza.

PIPELINE NORD ADRIATICO

TRATTI	NUMERO DI CONDOTTE E TIPOLOGIA DELLE SOSTANZE TRASPORTATE	INCIDENTE MASSIMO PREVEDIBILE	GESTORE	TRACCIATO
1. Marghera - Ferrara	1. Etilene gassoso	L'incidente massimo credibile è stato individuato nel rilascio significativo di Etilene, per rottura di tubazione, che può comportare dispersione di gas a livello del suolo ed il successivo innescò con possibilità di danni gravi entro 33 metri dall'origine della perdita.	Polimeri Europa	Ha origine dal petrolchimico di Marghera, entra nel territorio provinciale in Pontelagoscuro, passa per lo stabilimento Polimeri Europa di Ferrara e quindi attraversa il territorio provinciale per circa 45 Km., passando per le zone di Pontegradella, Quartesana, Voghiera, Portoverrara, Bando e Filo.
	2. Propilene liquido	Il propilene, avendo caratteristiche simili si valutano le stesse conseguenze indicate per l'etilene.		
2. Ferrara - Ravenna	1. Gas inerte (azoto)		Yara Italia S.p.a.	Ha origine dallo Stabilimento Yara di Ferrara ed attraversa il territorio provinciale per circa 45 km., passando per le zone di Pontegradella, Quartesana, Voghiera, Portoverrara, Bando e Filo.
	2. Gas inerte (azoto)			
	3. Ammoniaca anidra in fase liquida	Per l'ammoniaca, trattandosi di prodotto tossico, è stato valutato che per concentrazioni di gas significative il rischio massimo individuale si verifica nelle immediate vicinanze della perdita e decresce rapidamente con la distanza.		

Tabella 4.2 – Informazioni relative al pipeline nord-adriatico passante per Ferrara

4.3. Industrie denominate "Altra tipologia"

Gli stabilimenti che sono stati censiti ai fini della realizzazione della cartografia inerente il rischio industriale sono, come già accennato sopra, sia quelli a rischio di incidente rilevante, sia quelli che per tipologia di attività svolta o per sostanze presenti possono generare incidenti con conseguenze all'esterno dello stabilimento che richiedano l'attivazione delle strutture di protezione civile e del presente piano; queste ultime aziende, di seguito elencate, vengono denominate "altra tipologia".

Nello specifico, nel presente piano sono stati censite:

- Aziende che svolgono lavorazione di oli minerali, soggette al DPR 420/94, "Regolamento recante semplificazione delle procedure di concessione per l'installazione di impianti di lavorazione o di deposito di oli minerali" e s.m.i. che svolgono analoghe attività;

- Aziende che stoccano e/o trattano rifiuti pericolosi, soggette al D.Lgs. 22/97 "Attuazione delle direttive europee in materia di rifiuti, rifiuti pericolosi, imballaggi e rifiuti di imballaggio" e s.m.i. che svolgono analoghe attività, in particolare liquidi, che sono comprese fra le fattispecie i cui all'Allegato I punto 5.1 del D.Lgs n.372/99 (con esclusione delle attività di autodemolizione);

- Attività soggette a CPI (Certificato previsione incendi), limitatamente ai settori gomma/plastica e produzione/stoccaggio gas tecnici/speciali, in particolare aziende che rientrano nelle fattispecie previste dall'allegato 1- punti 4.1, 4.2, 6.7 – del D.Lgs 372/99 "Attuazione delle direttive europee sulla prevenzione e riduzione integrate dell'inquinamento";

- Depositi di fitofarmaci e prodotti fitosanitari, limitatamente alle aziende che hanno una pratica di prevenzione incendi presso l'Ufficio Prevenzione del Comando provinciale dei Vigili del Fuoco.

- Aziende che impiegano gas tossici in quantità superiori al 2% del quantitativo indicato in colonna 1, all.1, parte 2 del D.Lgs. 334/99 (1000 Kg), (vedi all.1, comma 4 del D.Lgs.334/99).

Le aziende appartenenti alle categorie sopra elencate presenti sul territorio ferrarese sono circa 200, di cui 8 a "rischio di incidente rilevante", si veda in proposito la FIGURA 4.3 relativa al comune di Ferrara.

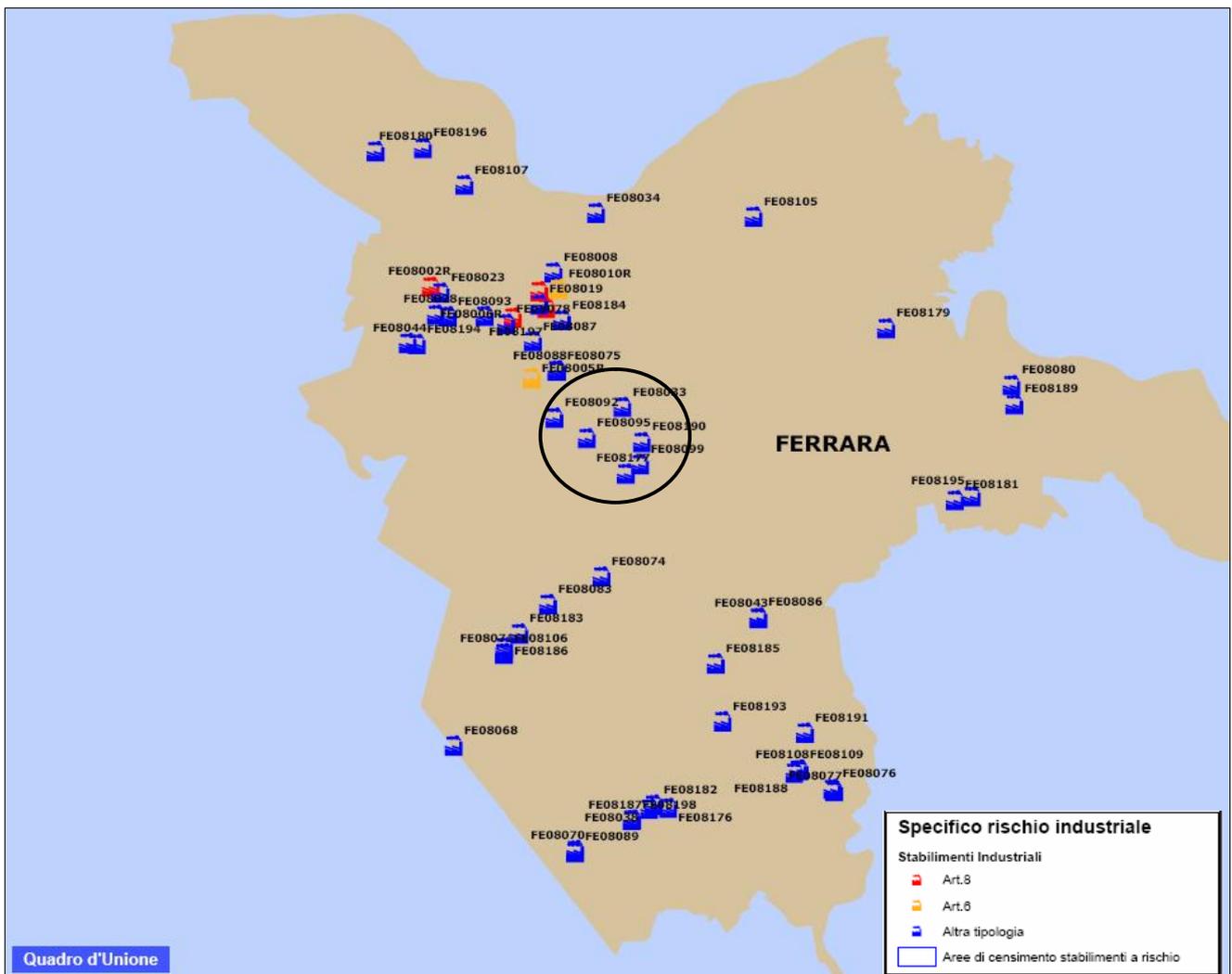


FIGURA 4.3 - Quadro d'unione altra tipologia del Comune di Ferrara

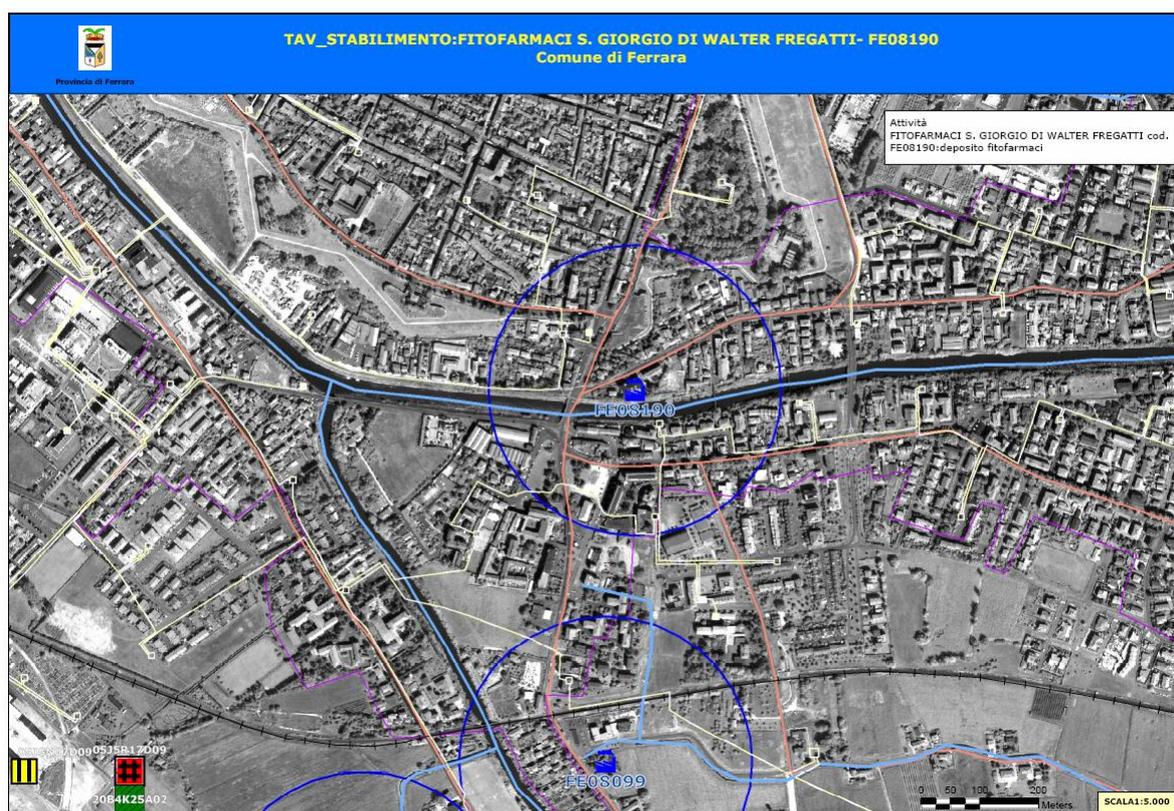
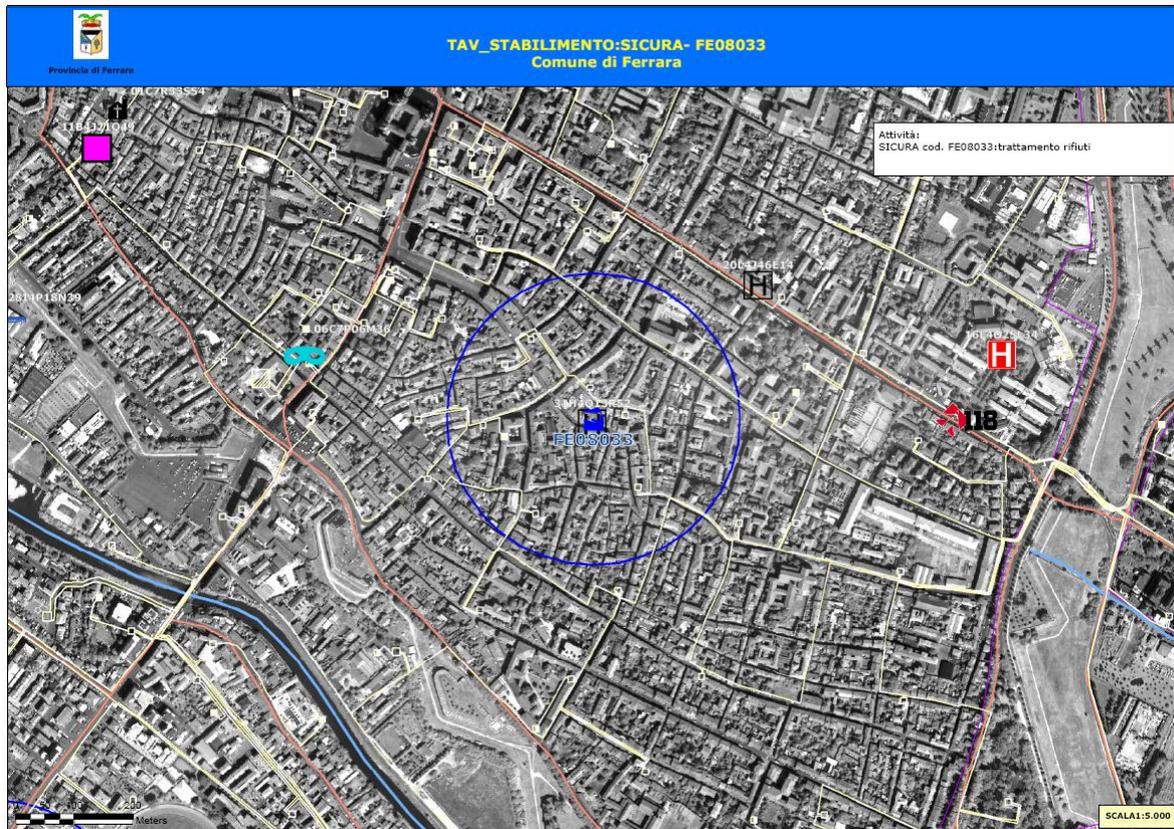
L'area allo studio, indicata dal cerchietto, ricade in prossimità delle seguenti aziende:

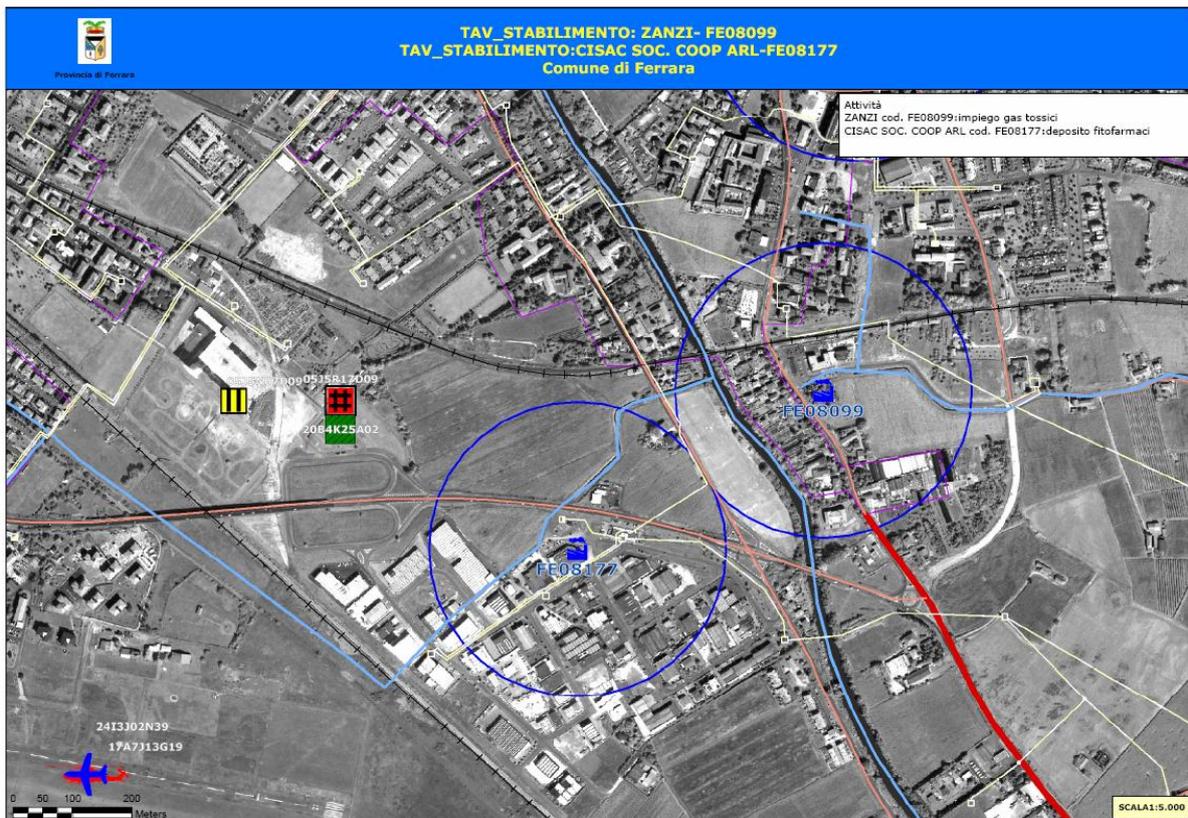
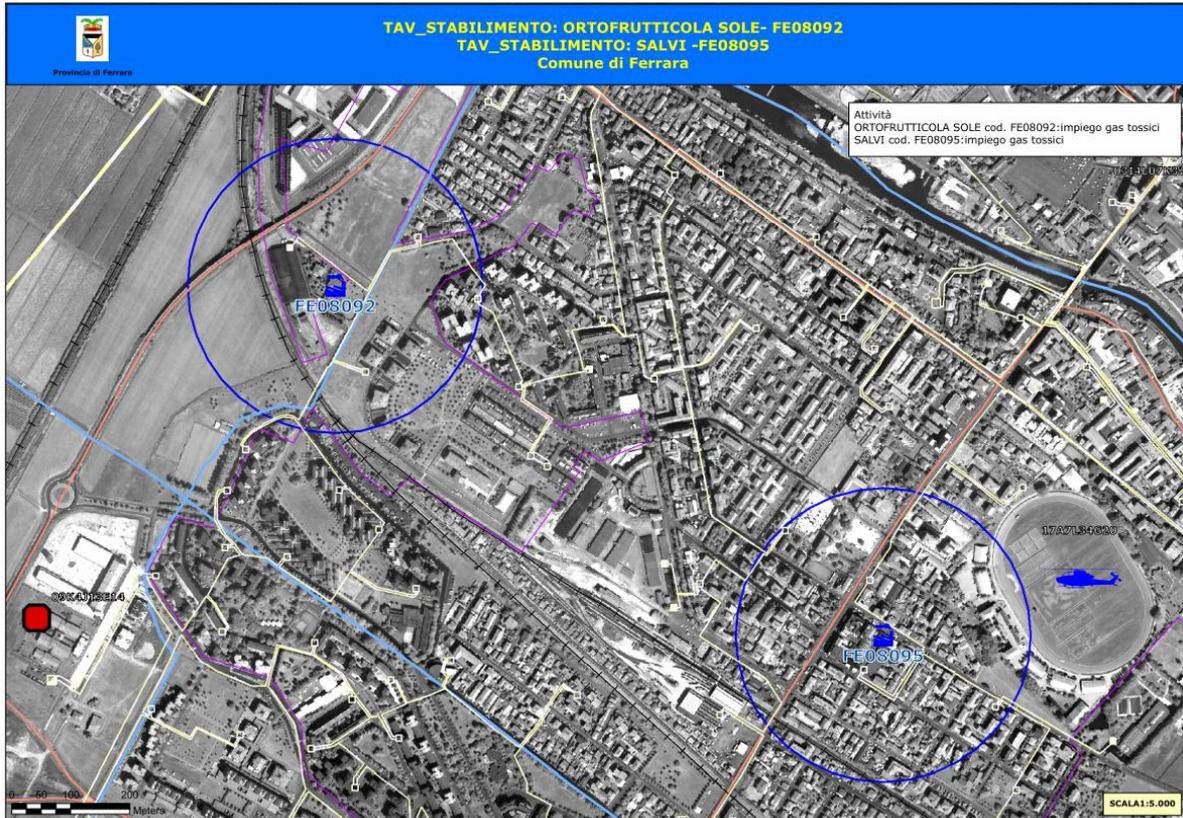
- stabilimento denominato SICURA cod. FE08033 (trattamento rifiuti)
- stabilimento denominato ORTOFRUTTICOLA SOLE cod. FE08092 (impiego gas tossici)
- stabilimento denominato SALVI cod. FE08095 (impiego gas tossici)
- stabilimento denominato ZANZI cod. FE08099 (impiego gas tossici)
- stabilimento denominato FITOFARMACI S. GIORGIO cod. FE08190 (deposito fitofarmaci)

dott. Geologo Thomas Veronese - tel. 335/5240380
via Roma 10 - 44021 Codigoro FE

- stabilimento denominato CISAC SOC COOP A.R.L. cod. FE08190 (deposito fitofarmaci)

Anche in questo caso dalle carte emerge come non siano presenti attività industriali i cui areali di danno coinvolgano l'area in esame. Si vedano in proposito le schede riguardanti ciascun stabilimento proposte qui di seguito.





5. RISCHIO INCENDIO

L'analisi vincolistica ha evidenziato come l'area allo studio non rientri nelle aree designate ai sensi delle direttive 79/409/CEE, 92/43/CEE e nella rete dei Siti di Importanza Comunitaria - (SIC) e Zone di Protezione Speciale (ZPS), previste dalla Direttiva n. 409 del 1979.

L'area allo studio è costituita da fabbricati posti in sequenza, quasi una trincea tra il Po di Volano e le mura Estensi. Di queste ultime non si percepisce nulla, se non la presenza delle cime delle alberature, ormai cresciute disordinate, tra il terrapieno, di proprietà della Società, ed il sottomura.

In FIGURA 5.1 si mostra l'area di studio in cui è prevista la dismissione dell'area produttiva su cui è insediata la Ditta Officine Metallurgica Lux Srl, per la realizzazione di un Piano Urbanistico Attuativo ad uso residenziale.

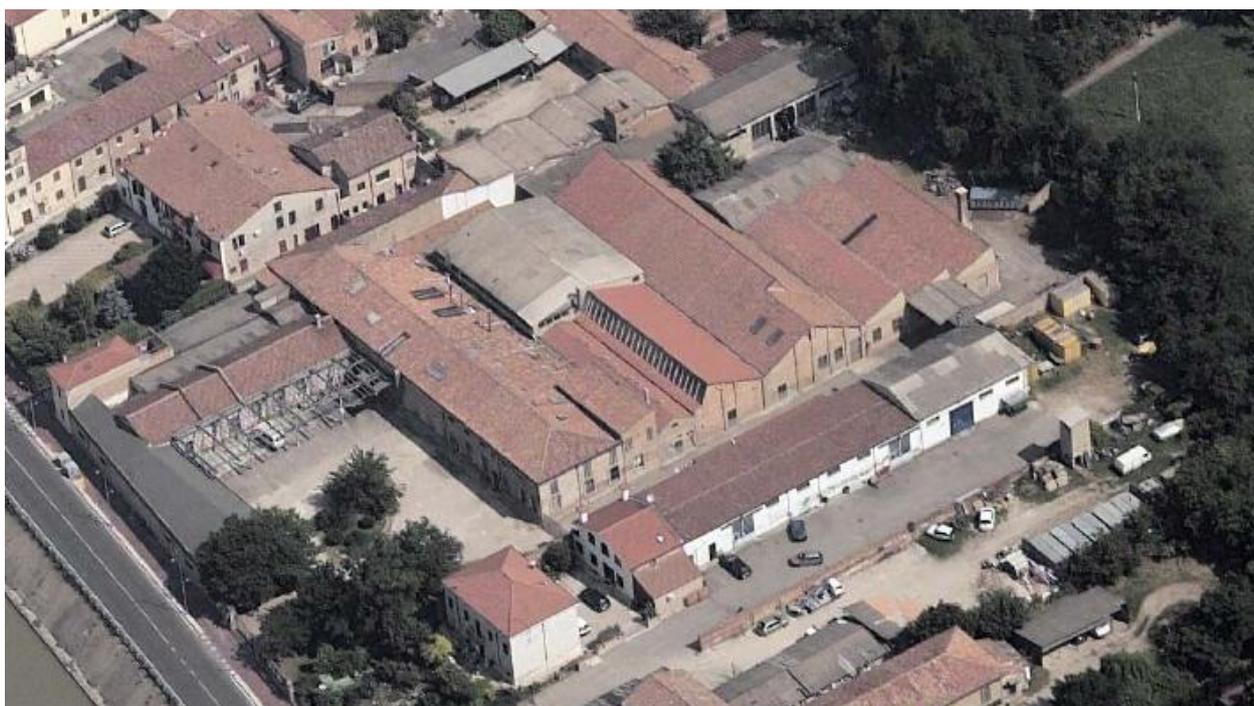


FIGURA 5.1 - Panoramica del sito

Nel sito di progetto non sono presenti elementi di una qualche valenza dal punto di vista della vegetazione, flora, fauna ed ecosistemi. Solo sul lato nord, nella scarpata che prelude al vallo delle mura, è presente una fascia cespugliata ed alberata, con distribuzione abbastanza estesa e continua su questo perimetro sud delle Mura di Ferrara. Sono presenti essenzialmente latifoglie a passo potenziale pirologico.

In considerazione del fatto che, data la vicinanza delle Mura Estensi, si è ritenuto appropriato il mantenimento dell'attuale cortina alberata del Vallo, nel Piano si è previsto per la scarpata del Vallo il mantenimento il più possibile delle essenze esistenti, che verranno naturalmente opportunamente sistemate ed eventualmente sostituite, mentre per il nuovo spazio a verde pubblico posto tra gli edifici e la scarpata, che verrà ceduto al Comune come standard, se ne è prevista la sistemazione a prato, in analogia ed in continuità con gli spazi del sottomura.

Per quanto riguarda il verde privato, collocato sopra l'autorimessa interrata, verrà realizzato un tappeto erboso con la tecnica del giardino pensile, così come per le superfici in copertura. Le delimitazioni tra i cortili privati verranno realizzate con piccole siepi realizzate prevalentemente con una o più delle essenze sopraindicate."