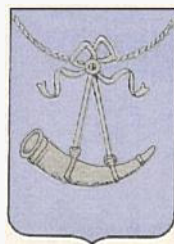


COMUNE DI CORNO GIOVINE

(Provincia di Lodi)

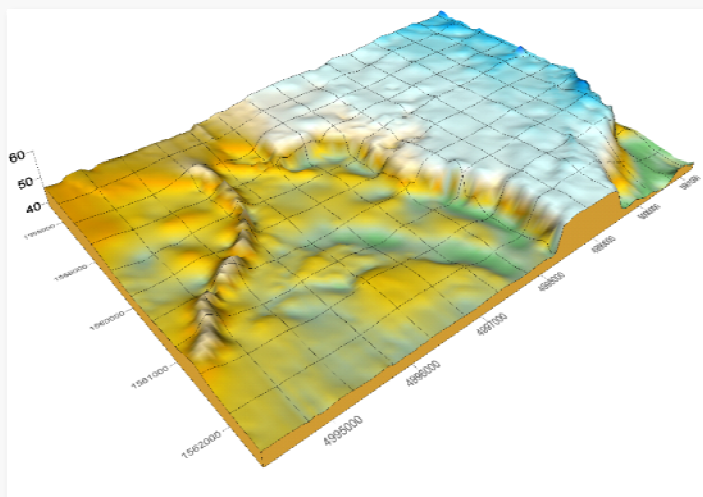
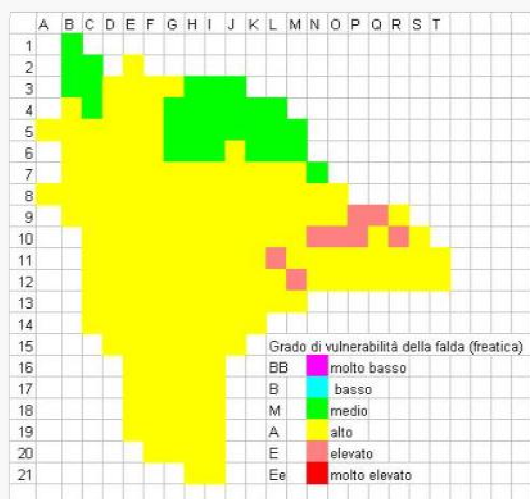


studio della componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio

ai sensi della L.R. 11 marzo 2005, n.12 "Legge per il governo del territorio", con le modalità indicate nella deliberazione di Giunta Regionale n° 8/7374 del 28 maggio 2008.

Relazione geologica

2009



GEOLOGO

Dott. Angelo Scotti
via Lungo Adda 24 Pizzighettone (Cr)
n° 763 Ordine dei Geologi della Lombardia

Sommario

1	Premessa e risultati essenziali	3
2	Inquadramento geografico e principali lineamenti fisiografici	4
3	Aspetti climatici	8
3.1	QUADRO DINAMICO	8
3.2	PARAMETRI CLIMATICI	10
3.2.1	temperature	10
3.2.2	precipitazioni	13
3.3	EVAPOTRASPIRAZIONE E BILANCIO IDRICO DEL SUOLO	18
4	Lineamenti strutturali	20
5	Geomorfologia ed elementi di pedologia	23
5.1	PROCESSI GENETICI DEI DEPOSITI SUPERFICIALI	23
5.2	EVOLUZIONE RECENTE DEL TERRITORIO DESCRITTA SUI DOCUMENTI STORICI	28
5.3	ELEMENTI DI PEDOLOGIA	32
5.3.1	sintesi delle caratteristiche	32
5.3.2	Aspetti applicativi delle caratteristiche pedologiche	34
6	Idrografia e idrologia	37
6.1	ASPETTI GENERALI.....	37
6.2	ELEMENTI DELL'IDROGRAFIA E IDROLOGIA DEL PO	42
6.2.1	Premessa	42
6.2.2	Caratteristiche generali	43
6.2.3	Sintesi delle analisi del "programma generale di gestione dei sedimenti"	45
6.2.1	Sintesi del progetto strategico per il miglioramento delle condizioni di sicurezza idraulica	53
6.2.2	Lineamenti idrologici	66
6.3	ELEMENTI CONOSCITIVI SUL PERICOLO DI SIFONAMENTO DELL'ARGINE A CORNO G.	71
7	Aspetti idrogeologici	78
7.1	CARATTERISTICHE GENERALI E STRATIGRAFIA DEI POZZI	78
7.1	STRATIGRAFIA LOCALE DELINEATA NELLA RECENTE LETTERATURA	82
7.2	PARAMETRI IDROGEOLOGICI LOCALI E CONFIGURAZIONE DEL FLUSSO.....	90
7.3	SOGGIACENZA DELLA FALDA FREATICA	97
7.4	CONSIDERAZIONI SULLA VULNERABILITÀ DELLA FALDA FREATICA ALL'INQUINAMENTO	99
7.4.1	premessa	99
7.4.2	generalità' sul metodo SINTACS	99
7.4.3	i fattori della vulnerabilità	101
7.4.4	valori dell'indice di vulnerabilità e relativa rappresentazione	104
8	Aspetti geotecnici	108
8.1	DATI DISPONIBILI E DESCRIZIONE GENERALE	108
8.2	STIMA DEL CARICO LIMITE, DEI CEDIMENTI E DELLE VS DAI DATI CPT	110
8.2.1	Criteri di valutazione	110
8.2.2	Risultati delle elaborazioni e relativi commenti	113
9	Aspetti sismologici	117
10	Rischio sismico	121
10.1	RIFERIMENTI NORMATIVI REGIONALI E DEFINIZIONI	121
10.2	IL DECRETO MINISTERIALE 14 GENNAIO 2008 E I RELATIVI PARAMETRI SISMICI.....	124
11	Stima del rischio di liquefazione	127
12	Classi di fattibilità	133
13	Indici dei grafici e delle figure	136

1 Premessa e risultati essenziali

La presente relazione illustra l'esito dei rilievi e delle elaborazioni condotte in esecuzione alla deliberazione di G.C. n° 43 del 28/04/2008, per la definizione degli aspetti geologici, idrogeologici e sismici del territorio comunale del Piano di Governo del Territorio ai sensi della L.R. 11 marzo 2005 n.12 "*Legge per il governo del territorio*", con le modalità indicate nella deliberazione di Giunta Regionale n° 8/7374 del 28 maggio 2008.

L'indagine sul terreno è stata svolta tra gennaio 2008 e ottobre 2009, tenendo conto dei dati e delle elaborazioni già sviluppate nello studio geologico per la variante generale del PRG eseguito nel 2002 ai sensi della L.R. n. 41/1997.

Rispetto a tale documento il presente costituisce un complessivo aggiornamento sia di rilievi diretti che di elaborazioni bibliografiche, e un'integrazione ai sensi della nuova normativa.

L'esito delle indagini in sito, la raccolta della documentazione e le elaborazioni hanno consentito di confermare il quadro emerso nello studio precedente, ed in particolare si è rilevata **l'assenza di importanti problematiche di carattere geotecnico per la realizzazione d'interventi ordinari in particolare nell'area urbana e nelle zone di espansione**, con una media uniformità oltre la profondità di 2-3 m, dove sono nettamente prevalenti sabbie limose di media densità almeno per una decina di metri.

Tale valutazione, per praticità e sintesi, è espressa nelle Figura 57 e Figura 58 dai valori di carico limite e dei cedimenti calcolati per fondazioni superficiali di 0,6 m di larghezza posate a -0,8 m dalla superficie che trasmettono al terreno carichi di 160 kPa.

Le prove penetrometriche statiche già disponibili e quelle espressamente eseguite per la presente indagine, per un totale di **18 prove statiche CPT (v. Tabella 5)**, hanno consentito inoltre di **escludere** la presenza in tutta l'area urbana e nella sua periferia (dove sono stata eseguite 11 CPT) di **strutture sepolte superficiali** in grado di determinare significative amplificazioni dello scuotimento sismico.

La medesima considerazione non può essere estesa alla piana olocenica del Po, sia per l'assenza di dati stratigrafici sia per la maggiore eterogeneità sia verticale che orizzontale che tali depositi in genere manifestano.

Vista la presenza di sabbie con falda talora a pochi metri dalla superficie (in particolare a valle della scarpata principale), particolare attenzione è stata posta nella valutazione del rischio di liquefazione dei terreni sotto le fondazioni in caso di eventi sismici. L'elaborazione dei dati delle prove CPT (v. § 11) ha evidenziando, anche per quest'aspetto, il basso o nullo grado di pericolosità del territorio.

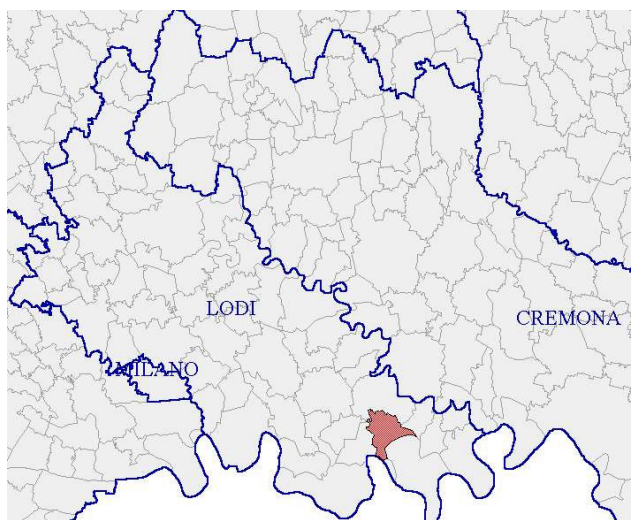
Considerando che nell'ambito del territorio comunale l'aspetto più temuto (di maggiore pericolosità e rischio) è costituito dalla presenza dell'alveo attivo del fiume Po e del relativo argine, buona parte degli approfondimenti d'indagine sono stati compiuti in corrispondenza del piede esterno del rilevato arginale, tra l'oratorio dei Morti della Porchera e la località Regona. L'obiettivo è stato quello di individuare la natura dei depositi profondi per valutare almeno

sommariamente la presenza di condizioni favorevoli al sifonamento o all'amplificazione sismica in tale area. Sono state eseguite a tale scopo le prove penetrometriche CPT 3/04 '09 e 4/04 '09 (n. 17 e 18, profonde 10,8 e 9,4 m rispettivamente) posando un micropiezometro nella seconda, e sono state effettuati tre sondaggi elettrici verticali (SEV con stendimento Schlumberger) di 130 m di massima distanza elettrodo AB, che hanno consentito di ottenere informazioni sulla natura dei depositi fino a circa 40 m di profondità.

Anche in questo caso l'indagine non ha evidenziato specifiche condizioni problematiche per gli aspetti sopra considerati, poiché si sono osservate limi argillosi o sabbie limose passanti a sabbie nei primi 10 metri, mentre in profondità i SEV hanno evidenziato valori di resistività piuttosto uniformi (80 – 120 Ohm/m) che sono generalmente riferibili a sabbie o sabbie limose. Non sono emerse quindi evidenze di corpi ghiaiosi – ciottolosi, di spessore ed estensione tale da formare un substrato rigido nei confronti del deposito sovrastante, e nel contempo di costituire una via preferenziale di flusso delle acque che transitano sotto l'argine in condizioni di piena idrologica.

2 Inquadramento geografico e principali lineamenti fisiografici

Il territorio comunale è costituito da un tratto di pianura di forma circa triangolare di 9,84 Km², posto nella porzione sud orientale della Provincia di Lodi a quote comprese tra 57 e 42 m s.l.m.



Il territorio è suddiviso longitudinalmente in due ripiani circa di eguale estensione dalla scarpata morfologica principale, formata dall'erosione del Po sui depositi tardo pleistocenici (v. Figura 2).

Le quote del ripiano a monte variano da 56,8 m all'estremità nord, a 50-51 m s.l.m. in prossimità del ciglio della scarpata.

Figura 1: individuazione del territorio comunale entro il perimetro provinciale.

Quelle della piana a valle della scarpata variano da quasi 45 m s.l.m. (in corrispondenza di un debole dosso fluviale a NE di Mezzano Passone di Sotto), ad un minimo di 42,2 m presente di alcune aree a NE di Mezzano Vecchio e lungo il percorso del colatore Seriola al confine con il comune di Caselle Landi.

Il Comune di Corno Giovine confina a nord e nord-est con il quello di Maleo, a est con Corno Vecchio, a sud con Caselle Landi e Piacenza, ad ovest con il Comune di Santo Stefano Lodigiano, per un perimetro complessivo di 21,29 Km.

Sull'I.G.M. in scala 1:25.000 l'area amministrata è individuabile nel solo foglio n° 60 II° N.O. "Codogno", mentre nella Carta Tecnica Regionale in scala 1:10.000 è presente per il 99,4 % nella sezione C7c5, e per il restante 0,6 % nella sezione C7c4.

I dati dei Censimenti Generale dell'Agricoltura indicano per il 1982 una superficie totale destinata all'agricoltura pari a 7,13 Km² (circa il 72% del totale amministrato), che scendono a 6,09 nel 2000 (circa il 62% del totale amministrato), mentre la Superficie Agricola Utilizzata (SAU) è pari a 6,51 Km² nel 1982 e 5,79 Km² nel 2000. Il rapporto SAU/superficie agricola totale è pari a 0,91 nel 1982, ed incrementa a 0,95 nel 2000.

Il territorio urbanizzato, calcolato sulla CTR 1:10.000 (1994), occupa una superficie di 0,44 Km², di cui

0,31 Km², pari al 3,1% del totale amministrato, rappresentati dal centro abitato;

0,13 Km², pari al 1,3% del totale amministrato, interessati dalle quattro frazioni.

Inoltre 0,28 Km², pari al 2,8% del totale, comprendono l'argine maestro del Fiume Po, piccole superfici di golena aperta ed il canale fluviale .

La presenza del fiume Po e della piana delle alluvioni oloceniche nella parte meridionale del territorio amministrato costituisce l'elemento fisiograficamente più importante. Il canale fluviale forma localmente uno stretto meandro (450 m di raggio) migrato nella posizione attuale intono alla seconda metà dell'800, e scorre in direzione NW-SE circa 11 Km a valle della foce del Trebbia, e 20 Km a monte dallo sbarramento di Isola Serafini, formando il confine con la Provincia di Piacenza per una lunghezza di 1 Km circa.

Come detto in precedenza, altimetricamente e morfologicamente il territorio può essere suddiviso in due ripiani, collegati da una chiara scarpata di 6 - 10 m di altezza e pendenza media di 34° ÷ 40° e si sviluppa per 2750 m con direzione WSW-ENE.

Il più settentrionale di tali ripiani è costituito da una superficie largamente uniforme detta "Livello fondamentale della Pianura" o "Piano Generale Terrazzato" che si estende per circa 4,83 Km², pari al 49,1% della superficie amministrata. L'area è solcata da numerosi canali irrigui alimentati dalle acque derivate dal canale Muzza scolanti prevalentemente in direzione NNW-SSE, e talora da debolissime ed ampie depressioni che costituiscono le tracce dell'antica idrografia, ora abbandonata a seguito della dislocazione in epoca olocenica dei fiumi principali in ripiani fortemente ribassati, detti "valli fluviali di pianura".

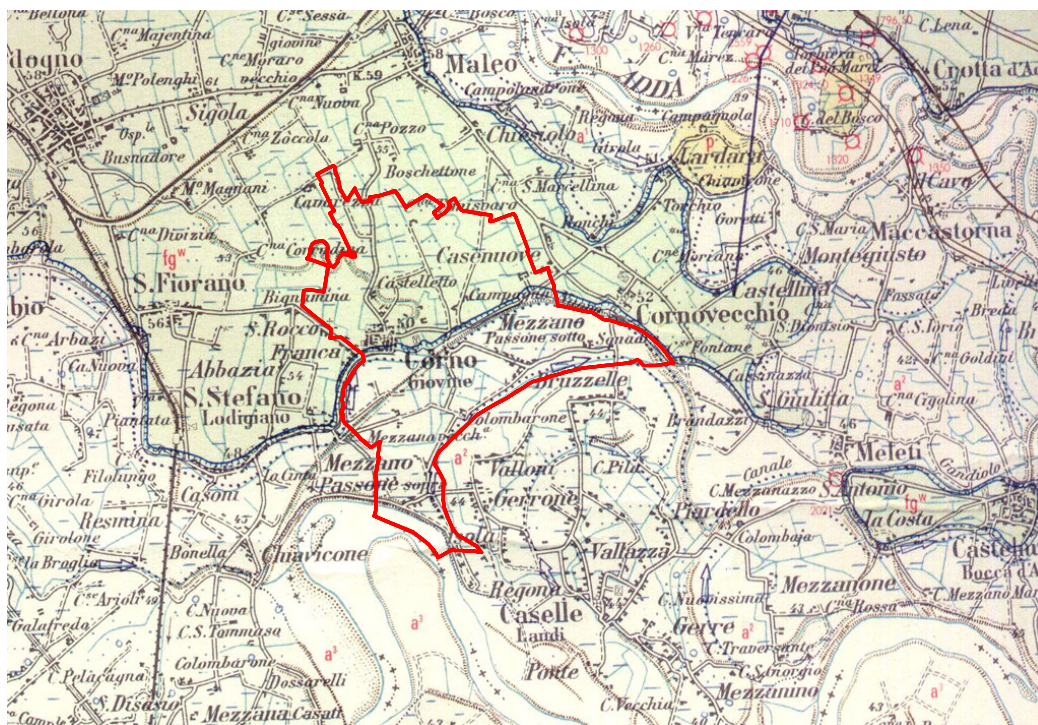


Figura 2 : territorio comunale rappresentato sul foglio geologico 60 – Piacenza scala 1:100.000

. Rilievi degli anni 1962-63. fg^w = alluvioni fluvio-glaciali tardo pleistoceniche sabbiose del "livello fondamentale della pianura"; a¹ = alluvioni sabbiose ghiaiose e argillose limose postglaciali antiche; a² = alluvioni oloceniche recenti, ancora esondabili durante le piene più accentuate, formate da sedimenti da limo argillosi a sabbioso limosi con ghiaia fine, in parte depositatisi dopo una fase di erosione, ma che talora rappresentano semplici superfici di erosione; p = depositi dei bacini palustri prevalentemente argillosi e torbosi neri; a³ = alluvioni attuali: ghiaie e sabbie fresche delle fasce golenali e delle lanche che bordano i corsi d'acqua.

<||> anticlinale ; >||< sinclinale ;  faglia inversa

Nella tavola 1 sono riportate le tracce non delimitate da scarpate della paleo idrografia indicate in letteratura¹, individuate mediante l'osservazione delle variazioni di tessitura dei terreni per mezzo di fotografie aeree. Le tracce centrale ed orientale trovano buona corrispondenza con la conformazione delle isoipse (inflessione verso monte), mentre quella orientale pare collocata circa 500 m ad est dell'analoga conformazione delle isoipse in corrispondenza dell'ampio meandro della Roggia Guardalobbia. La depressione che ospita il tratto terminale di tale colo rappresenta la più marcata discontinuità della regolare morfologia del "Livello fondamentale della Pianura" con formazione di una traccia sinuosa di paleo idrografia incisa nella topografia circostante a partire circa dal confine comunale. L'ampiezza della fascia ribassata è circa di 300 m e presenta profilo generalmente convesso, spesso modellato artificialmente con formazione di scarpate di circa 1 m di altezza nel tratto in corrispondenza dell'attraversamento della S.P.193, e più a valle fino alla C.na campagna, dove il canale si approfondisce rapidamente fino a formare una vera forra, con scarpate fino a 3-4 m di altezza, che scarica nella piana olocenica del Po.

Le quote presenti in questo settore sono comprese tra un massimo di 56,8 m s.l.m. nei terreni presso la C.na Cavarezza Giovine al confine nord, ed i 51,0 m s.l.m. circa in corrispondenza del ciglio della scarpata presso la strada al margine meridionale del capoluogo. Il gradiente topografico medio risulta dell'1,75 % in direzione NNW-SSE, con un attenuazione

¹ Riccardo Bersezio: (1986) – Prima ricostruzione dei paleoalvei nella pianura tra Adda e Ticino.

del gradiente fino a valori minimi dell'1‰ in corrispondenza di una fascia di 600÷900 m di ampiezza disposta in direzione W-E immediatamente a nord dell'abitato. In prossimità del ciglio della scarpata principale, per una distanza di circa 100 m, il gradiente topografico incrementa fino a circa il 10 ‰, probabilmente a causa di passate erosioni di acque non incanalate.

Il ripiano a valle della scarpata si estende per circa 5,01 Km², pari al 50,9 % del totale amministrato, a sud del precedente. La parte superficiale è formata da terreni di recente deposizione del fiume Po (certamente in epoca storica), che presentano una superficie topografica ancora fortemente improntata dagli eventi dinamici del fiume (deposizionali ed erosivi), con deboli depressioni ed elevazioni di forma allungata.

Le quote variano da un massimo di circa 44,5 m s.l.m. a est della frazione Mezzano Vecchio, ad un minimo di circa 41,5 m s.l.m. lungo il Cavo Morta, ai piedi dell'argine che delimita a sud il Canale Gandiolo ad est di ponte del Fornasotto. Altre zone depresse si riscontrano ai piedi della scarpata a est della SP 116 e a sud della scarpata in corrispondenza dell'abitato, e in corrispondenza del paleoalveo del Po abbandonato poco prima del XVI secolo (indicato nella cartografia storica), attualmente percorso in posizione assiale dalla **colatore Serio**.

Lungo la congiungente delle tre frazioni Mezzano le quote risultano prevalentemente comprese tra i 43,5 ed i 44,5 m s.l.m., individuando un "dosso" di 100÷200 m di ampiezza interpretabile come relitto di un antico argine naturale.

L'arginatura maestra del Po è presente in località Mezzano Passone di Sotto e si eleva per 6,2÷7,1 m sulla campagna circostante fino a quote di 50,8÷51,7 m s.l.m., estendendosi per una 1240 m in territorio comunale. Nella porzione più settentrionale l'argine delimita una strettissima area golenale di ampiezza variabile da pochi metri ad un massimo di 50 m (estensione 0,022 Km²), mentre nella porzione meridionale è in frodo. Si denota che l'argine si trova nella zona di battuta della corrente fluviale e quasi in corrispondenza dei paleoalvei segnalati nella tavola 1.

Il canale fluviale, che in questo tratto si presenta strettamente unicursale, percorre in territorio comunale circa 1 Km dei circa 676 di lunghezza complessiva². L'alveo ordinario presenta una larghezza misurata al ciglio assai variabile, da un massimo di 380 m poco a monte dell'asse del meandro, ad un minimo di 120 m poco a valle, mentre in condizioni di piena le acque occupano la vasta golena aperta a sud (circa 1,9 Km²) e ad ovest (circa 3,7 Km²).

La quota idrometrica locale risente del rigurgito prodotto dallo sbarramento di Isola Serafini ed è mantenuta pressoché costante a 41,0 m s.l.m. mediante le 11 paratie della centrale, formando un invaso di 30x10⁶ m³ (³). Il fiume quindi nel suo percorso in comune di Corno Giovine scorre ad una profondità di 0 ÷ 4 m rispetto alla circostante piana della alluvioni oloceniche (posta, come detto, a 41,3 ÷ 45,3 m s.l.m.), assumendo una prevalente funzione di drenaggio della falda freatica soprattutto in prossimità del canale, dove il deflusso delle acque sotterranee si adatta alla quota di scorrimento del fiume.

² Lino Cati (1981) – Idrografia e Idrologia del Po . Ministero LL.PP. – Pubblicazione n° 19 dell'Ufficio idrografico del Po.

³ ENEL (1978) – Direzione studi e ricerche centro di ricerca idraulica e strutturale – relazione 15/29 r

3 Aspetti climatici

3.1 quadro dinamico

La quasi totale assenza di rilievi che caratterizza la pianura padana, e la sua collocazione tra giovani (in senso geologico) catene montuose che la delimitano a nord e ad ovest (altezza media 2400 m), e a sud (altezza media 1400 m), costituiscono la principale causa della complessiva **omogeneità del clima** che caratterizza soprattutto la sua parte assiale. Nondimeno alla scala di maggiore dettaglio s'individuano differenze apprezzabili nei valori medi dei parametri che indicano variazioni spaziali difficilmente percepibili nell'osservazione diretta, ma che possono avere una concreta influenza economica e sociale, come ad esempio nel bilancio idrico dei suoli e nelle conseguenti esigenze irrigue.

Il **tipo di tempo** presente in un luogo, ossia la combinazione dei valori di temperatura, umidità, grandezza e intensità delle precipitazioni e del vento che caratterizza un periodo dell'anno varia ovviamente nel tempo (in senso cronologico). Lo studio delle cause di tali modificazioni costituisce l'oggetto della climatologia dinamica, che analizza le variazioni stagionali delle configurazioni bariche delle masse d'aria ed i fenomeni meteorologici connessi, e quindi nel loro complesso il clima.

Secondo quanto illustrato da vari Autori ⁴, si possono così riassumere i fenomeni che interessano stagionalmente l'Italia Settentrionale nel suo complesso, e nello specifico il tratto mediano del Po:

In **inverno** l'arrivo di masse d'aria fredda continentale da nord-est (anticiclone russo-sarmatico), provoca temperature basse ed anche gelate, ma scarse precipitazioni e calma di vento con formazioni di nebbie. A Piacenza, 10 Km a SSW di Corno Giovine, si hanno in media 53 giorni di nebbia all'anno, convenzionalmente considerando come tali le giornate con visibilità orizzontale di meno di 1 km. La formazione di queste "nubi al suolo" è dovuta, durante i mesi da novembre a febbraio, ad un forte irraggiamento notturno, ossia alla rapida perdita di calore, a partire dal tramonto, dello strato di aria a contatto con il suolo che si raffredda più degli strati d'aria superiori. Tale fenomeno determina un'inversione del gradiente termico verticale negli strati bassi dell'atmosfera (circa 100 m)⁵ e la formazione di una stratificazione che diminuisce la dinamica delle masse d'aria (assenza di vento) divenendo stabile per parecchi giorni. Quando la diminuzione della temperatura raggiunge il punto di rugiada si ha la condensazione del vapore acqueo e la formazione della nebbia. Il raffreddamento avviene principalmente quando non vi è copertura di nubi, che diversamente rifletterebero al suolo parte del calore rilasciato per irraggiamento.

⁴ Quanto riportato è essenzialmente tratto dalle seguenti pubblicazioni:

Bernacca E. (1971) - *Che tempo farà. Manuale di meteorologia pratica*. Ed. Mondadori. C.Ottone, R.Rossetti (1980): *Condizioni termo-pluviometriche della Lombardia* Atti dell'Istituto di Geologia dell'Università di Pavia. Vol. XXIX, Pavia. Cati L. (1981) - *Idrografia e Idrologia del Po* - Pubblicazione n°19 dell'Ufficio Idrografico del Po. Ed. Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato, Roma. Ghezzi A., Riva I. (1990) - *Il clima del territorio delle province di Cremona e Mantova - Pianura*. n° 3/1989, supplemento della "Provincia Nuova" - Ed. Provincia di Cremona.

⁵ In pianura il gradiente è mediamente di -0,56 °C/100 m., mentre in caso di inversione termica i valori diventano positivi.

Il fenomeno, come noto, oltre a diminuire la visibilità, produce i gravi inconvenienti connessi alla stagnazione delle sostanze inquinanti a bassa quota, sostanzialmente prodotti dal traffico veicolare.

Secondo quanto riferito da Ghezzi (v. nota ⁴), in inverno *"I possibili mutamenti sono determinati dal sopravvento di circolazioni dinamiche attive. Tra queste risultano in genere più efficaci quelle caratterizzate da apporto di aria dai settori orientali (bora, generalmente associata a scarsa nuvolosità, e scirocco [vento da S-E] normalmente accompagnato da precipitazioni), fenomeno peraltro non molto frequente. Di minore efficacia risultano le circolazioni a componente occidentale: da nord-ovest il foehn⁶ riesce a distruggere l'inversione dissipando la nebbia, ma raramente è in grado di dare venti di intensità apprezzabile; da sud-ovest le condizioni di libeccio danno annuvolamenti, difficilmente accompagnati da precipitazioni, a causa dell'azione di schermo del sistema appenninico..."*.

In **primavera** sul Golfo Ligure si forma frequentemente un minimo depressionario, che determina afflussi da S-W di aria umida proveniente dall'Atlantico e dal Mediterraneo che costituisce la principale causa di precipitazioni.

Occorre rilevare che lo schermo costituito dal sistema appenninico determina l'attenuazione in pianura per tutte le perturbazioni provenienti dal quadrante di SW (in qualunque stagione dell'anno), **fenomeni che poi si distribuiscono con intensità decrescente da Ovest verso Est**, secondo la direzione di moto. Questo aspetto è osservabile nei valori medi stagionali e totali annui a distanze di pochi chilometri.

Le curve di uguale precipitazione media annua (isoiete) relative al periodo 1921 - 1970 (Cati L., cit.) mostrano il territorio di Corno Giovine è compreso tra il valore massimo di 800 mm, che si raggiunge lungo l'allineamento Turano - S. Angelo Lodigiano, ed il minimo rappresentato dall'isoieta 700 mm posta poco ad ovest della congiungente Mantova - Reggio Emilia. A sud questa vasta area risulta delimitata dall'isoieta 800 mm, collocata in gran parte in corrispondenza delle propaggini più avanzate degli Appennini.

La rappresentazione fornita da Ghezzi (cit.) per le provincie di Cremona e Mantova, esaminando dati dal 1960 al 1974, indica un chiaro gradiente in diminuzione da Ovest verso Est, pari a circa 30 mm/anno di pioggia ogni 10 Km. Si osservano infatti oltre 800 mm nella zona occidentale della provincia di Cremona e meno di 650 mm/anno per la città di Mantova.

In primavera inoltre il maggiore riscaldamento al suolo provoca fenomeni convettivi (movimenti d'aria ascendenti e discendenti che trasportano in quota pulviscolo e vapore d'acqua) con formazione di cumuli (nubi isolate e basse a base piatta e forte sviluppo verticale, che si formano e dissolvono nel corso della giornata), che possono dare luogo a **precipitazione intensa** ma di breve durata e temporali, seguite da rapide schiarite.

In **estate** predomina l'alta pressione o campi di pressione livellata (valori uniformi per vaste aree), che causano deboli circolazioni di masse d'aria. La stagnazione di aria calda è rotta

⁶ Secondo il Cati (1981) "il vento è particolarmente presente da dicembre a marzo... si riscalda adiabaticamente provocando aumenti rapidi di temperatura e quindi fusione di neve e ghiacciai. La risultante di tale azione si concreta spesso in piene improvvise dei corsi d'acqua".

solo dall'infiltrazione di aria fresca dalle vallate alpine, favorita dalla formazione di deboli aree di depressione, che può dare luogo a violenti temporali, talora accompagnati da grandine. Localmente, soprattutto in prossimità di bacini idrici, possono aversi delle trombe d'aria.

In **autunno** torna ad instaurarsi un minimo depressionario nell'alto mediterraneo, ed analogamente alla primavera, l'apporto delle precipitazioni avviene con circolazione di aria umida da sud-ovest. Con il progredire della stagione arrivano a prevalere gli apporti di aria fredda stratificata che caratterizzano il tempo nebbioso invernale.

In conclusione si propone l'elaborazione dei dati termo-pluviometrici della Stazione di Corno Vecchio (C.na Lardara, v. nota ⁷) secondo il climatogramma di Peguy, che ha il vantaggio di una facile lettura e consente un giudizio sintetico sulle caratteristiche climatiche dell'area.

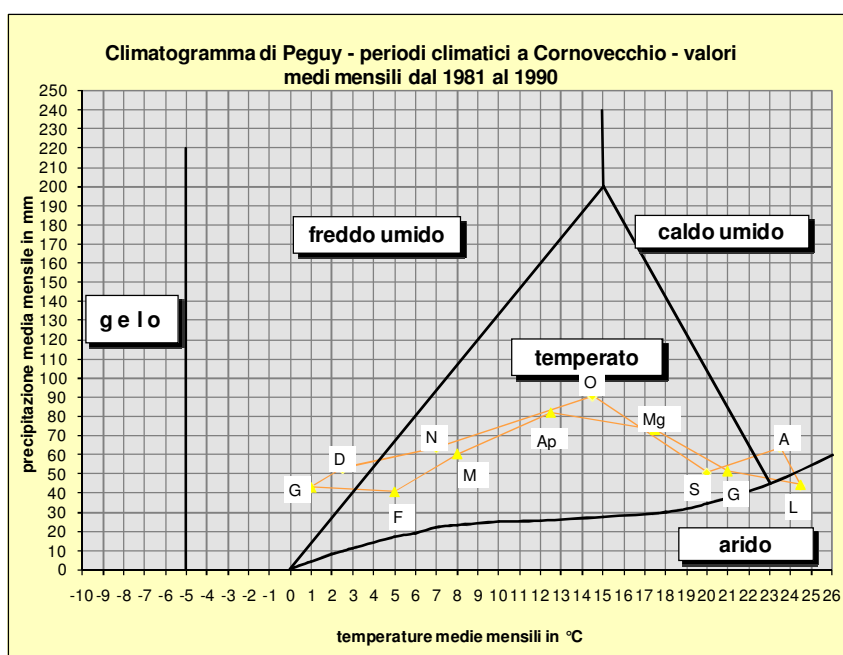


Grafico 1 :diagramma climatico di Peguy

3.2 parametri climatici

3.2.1 TEMPERATURE

Le caratteristiche termometriche nella pianura sono particolarmente omogenee per vaste aree, variando principalmente in funzione dell'orografia, ossia del gradiente verticale (vedi nota ⁵), e non della latitudine.

Temperature medie annue comprese tra i 12 °C ed i 13 °C delimitano la fascia Lombarda estesa dal Po ai piedi della Prealpi; lungo un allineamento passante tra Milano e Como e diretto verso ESE si distinguono valori massimi, ed in corrispondenza di Chiari (BS) si registrano infatti i valori medi annui più elevati (14,3 °C) (C.Ottone , R.Rossetti, cit.).

Di seguito sono illustrati i valori medi mensili del periodo 1981-1989 in due stazioni simmetricamente disposte rispetto a Corno Giovine, ed i valori rilevati a Corno Vecchio ⁷.

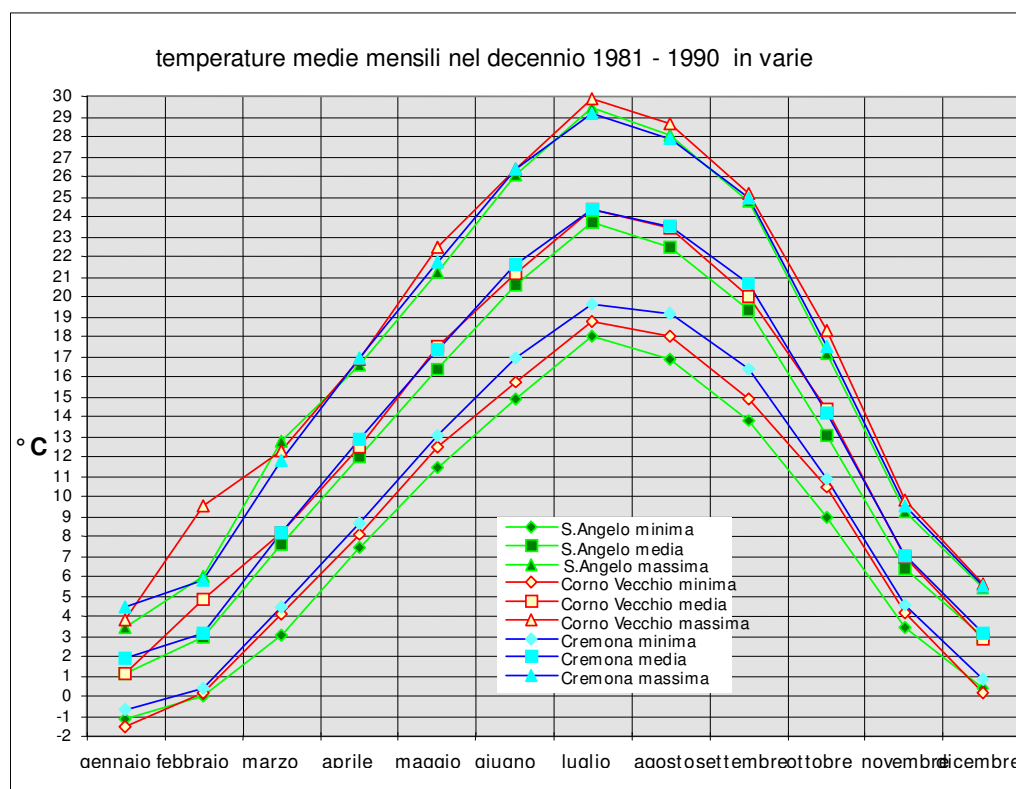


Grafico 2: temperature in varie stazioni

Si rileva una grande similitudine tra le stazioni, riscontrabile sia per i valori medi sia per i valori massimi e minimi (medi mensili). Le temperature più elevate si registrano nel mese di luglio con circa 24 °C, mentre le minime si hanno a gennaio con circa 1,5 °C, in ritardo di circa un mese rispetto al solstizio d'estate e d'inverno (21 giugno e 21 dicembre), quando l'insolazione assume i valori estremi. Le temperature crescono linearmente da febbraio a giugno, incrementando di circa 4,5 °C/mese e dopo un trimestre mediamente superiore ai 20°C, calano rapidamente nei mesi di ottobre e novembre perdendo quasi 6,5°C/mese, per poi attenuare il raffreddamento tra dicembre e gennaio (differenze di meno di 3 °C). Solo saltuariamente il mese di gennaio presenta valori medi inferiori allo zero.

Le fluttuazioni intorno al valore medio mensile paiono più accentuate nei mesi caldi, che possono presentarsi con temperature medie prossime a quelli primaverili, rispetto in particolare al periodo autunnale-invernale quando gli scarti rispetto al valore medio sono circa di $\pm 2,5^\circ$.

L'escursione termica annua è quindi in media di 22,5 °C, valore piuttosto elevato che delinea le condizioni tipiche del clima continentale. L'escursione giornaliera media è maggiore nella stagione estiva, con circa 12 °C, ed ha valore minimo a gennaio con circa 7°C (C.Ottone, R.Rossetti, cit.).

⁷ Dati desunti da: AA.VV. - Parco Adda Sud (1995) - Progetto per la definizione delle acque sorgive, fluenti e sotterranee necessarie alla conservazione degli ecosistemi nel Parco Adda Sud - Relazione generale - Istituto di Chimica Agraria e Ambientale - Facoltà di Agraria di Piacenza.

Secondo la pubblicazione n° 21 del servizio idrografico italiano (fascicolo 1, Italia settentrionale 1960 e fascicolo 4°, Monografia 1969, in Cati L., cit.), i valori di temperatura estremi giornalieri del trentennio 1926 -1955 sono di 39,2 °C e -15,7 °C a Pavia (rispettivamente giugno 1935 e febbraio 1929), 37,8 °C e -15,4 °C a Cremona (rispettivamente a luglio 1950 e gennaio 1954), delineando una escursione di quasi 55 °C, doppia rispetto a quella media annua. Altri valori estremi a Cremona relativi al periodo 1974 - 1993 sono contenuti nella pubblicazione della provincia (1996): i valori massimi assoluti sono inferiori ai 35 °C, ed valori minimi generalmente non sono inferiori a -10 °C, ad eccezione del 1985 che è indicato con il valore di -16 °C.

Considerando le analogie riscontrate tra le stazioni di Corno Vecchio e Cremona, si possono aggiungere alcune considerazioni relativamente alla distribuzione dei giorni corrispondenti a significative soglie termiche e ad eventuali variazioni nel tempo dei valori, illustrando le elaborazioni disponibili per quest'ultima stazione, i cui dati sono stati più estesamente esaminati.

Occorre solo rimarcare che alcune deviazioni potrebbero derivare da "un debole effetto di clima urbano che invece non influisce in modo apprezzabile sulle precipitazioni" (Ghezzi A, Riva I, cit.).

Secondo quanto esposto dall'autore appena citato, alcuni valori di soglia risultano particolarmente significativi per gli effetti che rivestono sull'attività biotica:

- valori inferiori allo zero indicano nessuna attività biologica delle piante, ed è la temperatura intorno alla quale si attivano i cicli di gelo e disgelo;
- i 5 °C indicano una ridotta attività vegetale, ma ancora di gelo per la vita animale;
- temperature di 10 °C sono considerati come minima temperatura di gemmazione e l'inizio del comfort umano;
- infine i giorni con temperatura superiore ai 25 °C possono rappresentare alle nostre latitudini, il valore significativo dei giorni caldi.

Pare intuitivo valutare l'effetto che tali soglie esercitano nei confronti delle attività sociali ed economiche e quindi la rilevanza che tali considerazioni hanno nella materiale gestione di un territorio. Il quadro definito dall'autore con dati relativi al periodo 1964 - 1974 per la stazione di Cremona, e quindi da ritenere approssimativamente valido anche per il territorio di Corno Giovine, è il seguente:

temperature in °C	fino a 0	da 0 a 5	da 5 a 10	da 10 a 25	oltre i 25
n° giorni/anno	18	60	59	198	28

L'andamento delle temperature nel corso della seconda metà del secolo, individuato dai valori medi annui a Cremona dal 1945 al 1993 (da Provincia di Cremona, 1996, cit.), sottolinea la sostanziale assenza di mutazioni del parametro, che si caratterizza per una quasi costante oscillazione di ± 1 °C intorno al valore medio di 13 °C.

In sintesi il **regime termico di Corno Giovine** può essere classificato "**Temperato sub-continentale**", definito dai seguenti limiti (da Pinna, pubblicazione n°21 (1969) del Servizio Idrografico, Monografia, in Cati L., cit.):

media annua fra 10° e 14,4 °C;

media del mese più freddo fra -1° e $3,9^{\circ}\text{C}$;
da 1 a 3 mesi con temperatura media $>20^{\circ}\text{C}$;
escursione termica superiore a 19°C .

3.2.2 PRECIPITAZIONI

La distribuzione del fenomeno nello spazio è già stata esaminata in precedenza nell'ambito della descrizione della climatologia dinamica. Di seguito sono illustrati e commentati i dati della stazione pluviometrica di Codogno, sia per l'intervallo 1961 - 1997 che più in dettaglio dal 1987 al 1997.

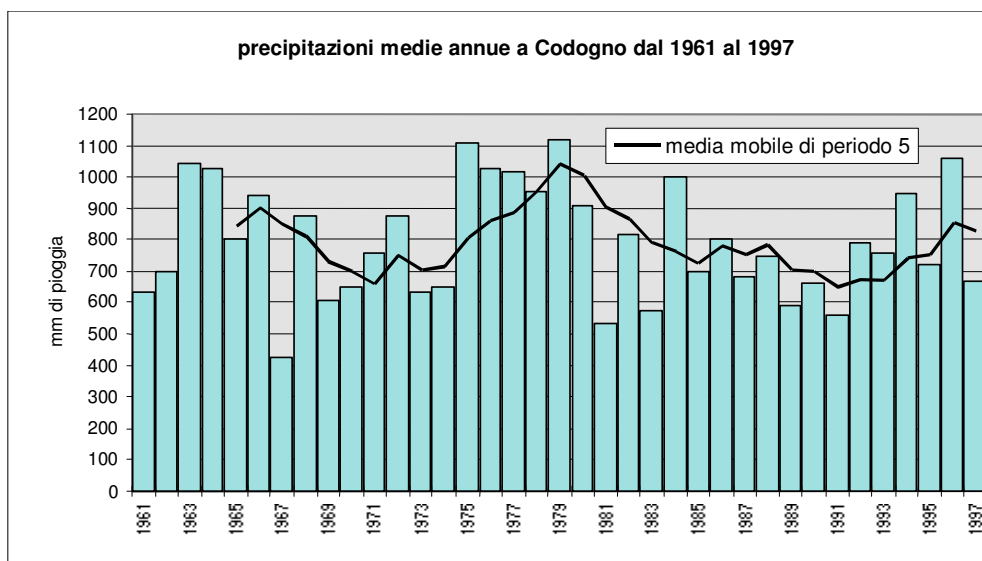


Grafico 3: precipitazioni medie annue a Codogno 1961-1997

Il valore **totale medio annuo è di 794 mm**, con una deviazione standard di 182 mm. Si può quindi sommariamente ritenere che con una probabilità del 95% le piogge annue saranno comprese tra i 1160 mm e i 430 mm. La linea scura indica la media mobile di ordine 5: il grafico pare individuare una certa ciclicità dei periodi di maggiore precipitazione, ma il solo dato esaminato non consente di trarre in merito alcuna conclusione.

Si rileva che la citata pubblicazione della Provincia di Cremona, sulla base dei dati dal 1974 al 1993, accenna a una possibile ciclicità con periodo dell'ordine dei 10 - 12 anni del numero dei giorni piovosi (in media 74 all'anno a Cremona), "abbastanza sovrapponibile al ciclo solare", nonché ad una ciclicità dell'abbondanza delle precipitazioni nevose di 5 - 6 anni, "che dovrebbe essere verificata lavorando su tempi lunghi".

Per il periodo 1987 - 1997 è stato possibile acquisire dal Servizio Idrografico, ufficio di Milano, i dati giornalieri sintetizzati nel grafico seguente:

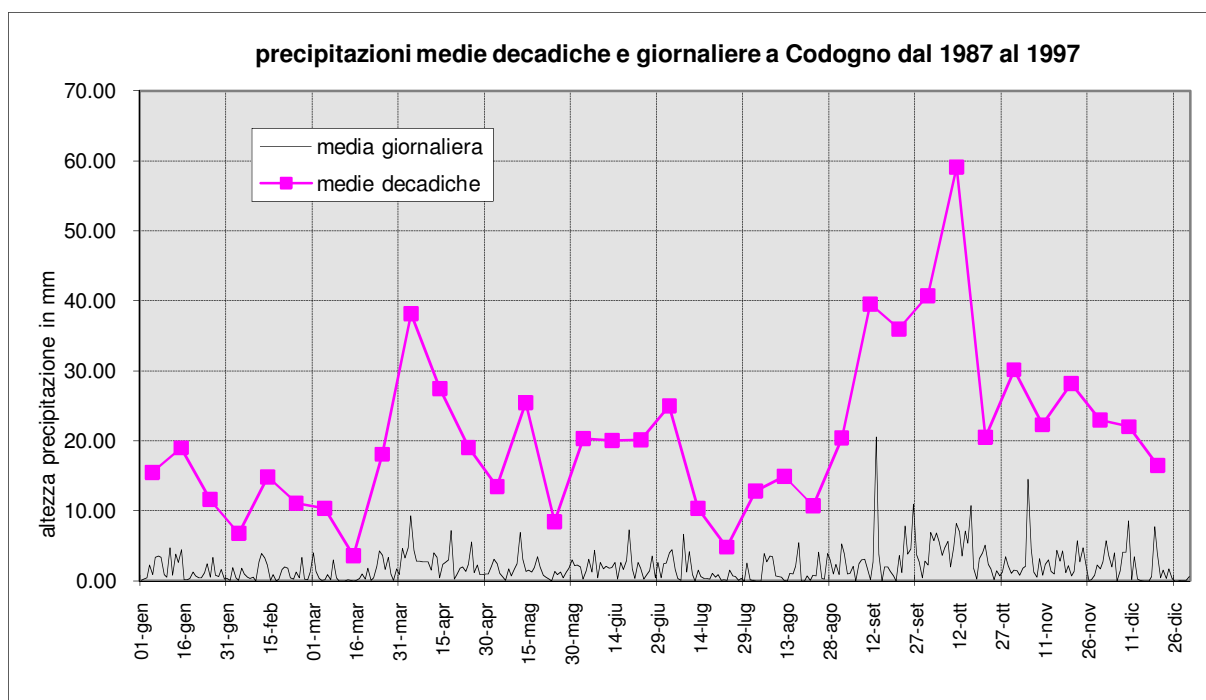


Grafico 4: precipitazioni medie decadiche a Codogno 1987 - 1997

Nell'andamento medio annuale si notano **due periodi** di più **abbondante precipitazione**, alla prima **metà di aprile** e dalla **fine di settembre alla prima metà di ottobre**. Nel resto dell'anno le piogge si distribuiscono abbastanza omogeneamente, risultando **molto scarse nella prima metà di marzo e nella seconda metà di luglio - prima settimana di agosto**.

Il valore totale medio annuo è di 741 mm, inferiore di circa il 7% rispetto al periodo precedentemente considerato.

Si segnala che secondo Ottone e Rossetti (1980, cit.), il tipo pluviometrico che caratterizza l'area può essere definito come fascia di transizione tra il "*sublitoraneo padano*", caratterizzato da due massimi tra loro equivalenti ed il "*sublitoraneo appenninico*", nel quale il massimo autunnale è superiore a quello primaverile, e il minimo estivo è più profondo dell'invernale.

Ulteriori e più aggiornati dati derivano da un'analisi delle stazioni meteorologiche dell'ARPA Lombardia, completate e validate secondo la metodologia descritta in Gandolfi et al (2008)⁸. I dati sono stati resi disponibili durante un corso professionale dal prof. Gandolfi.

Non sono presenti stazioni prossime a Corno Giovine, ma mediando i valori disponibili di Sant'angelo Lodigiano (30 Km a WNW) e Persico Dosimo (Cr, 25 Km a ENE), per quanto detto in precedenza, è possibile ottenere una discreta stima delle precipitazioni a Corno Giovine.

⁸ Gandolfi C., Sali G., Facchi A., Ortuni B., Bulgheroni C., Rienzner M., Tediosi A., Casati D., Ferrari D. (2007) Governo dell'acqua in Lombardia verso gli standard europei: definizione e validazione tecnico scientifica delle azioni prioritarie previste dal Piano di Bacino Idrografico. Progetto IReR 2006B040.

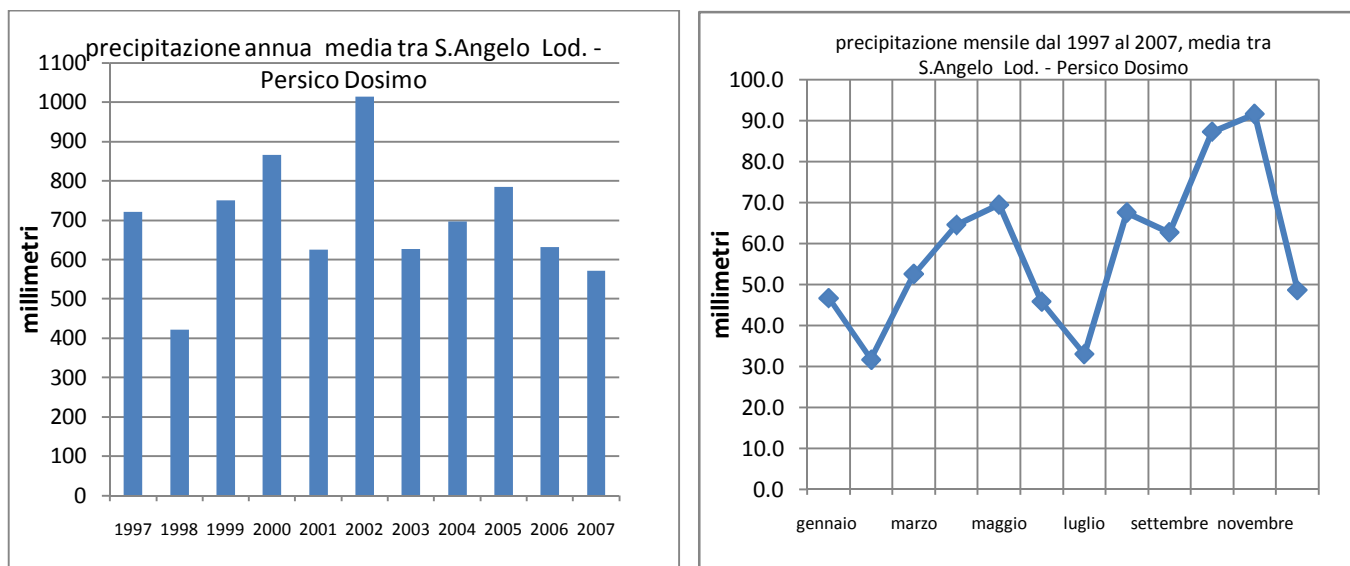


Grafico 5: precipitazioni totali annue e medie mensili dal 1997 al 2007 ottenute mediando due stazioni.

I valori medi annui oscillano tra 420 e 1015 mm con media di 700 mm, risultando in linea con i valori di Codogno dal 1961 al 1997. Anche l'andamento medio mensile riflette da vicino quello descritto in precedenza con i valori decadici, con due massimi relativi, il primo primaverile ed il secondo autunnale di valore più accentuato.

Elaborando ulteriormente i dati è stato possibile evidenziare la distribuzione dell'**intensità media giornaliera** durante l'anno.

In sintesi l'elaborazione, qui non riferita estesamente, evidenzia che mentre le piogge di debole intensità mostrano un andamento stagionale simile a quello della precipitazione totale, le piogge con intensità superiore a 25 mm/giorno risultano sporadiche ed egualmente distribuite durante l'anno, **e le piogge di maggiore intensità (> 40 mm/giorno) risultano invece concentrate del periodo dalla seconda decade di settembre alla fine di ottobre.**

Il successivo grafico illustra il rapporto medio calcolato sugli 11 anni tra intensità giornaliera di pioggia e numero di giorni all'anno di intensità pari o superiore.

In sintesi si rileva che l'intensità media è di 9,4 mm/giorno di pioggia, mentre l'intensità massima assoluta si è registrata il 10 dicembre 1996 con 85 mm.

Nei dati più recenti sopra citati l'intensità media dei giorni piovosi è 6,5 mm a Sant'Angelo Lodigiano (109 giorni all'anno con precipitazioni > 0,2 mm) e di 5,4 mm a Persico Dosimo (123 giorni all'anno).

Le intensità massime nel periodo 1997-2007 sono di 162 mm il 19 gennaio 2003 a Persico Dosimo, e di 80 mm a Sant'Angelo Lodigiano il 20.10.1999.

I dati individuati sono pienamente in accordo con quanto riferito da C.Ottone ed R Rossetti (1980, cit.), i quali sottolineano la riduzione generalizzata di tale parametro procedendo da ovest verso est, per le ragioni dette nel paragrafo relativo agli aspetti dinamici, e l'importanza del parametro stesso nel definire le caratteristiche pluviometriche di un territorio.

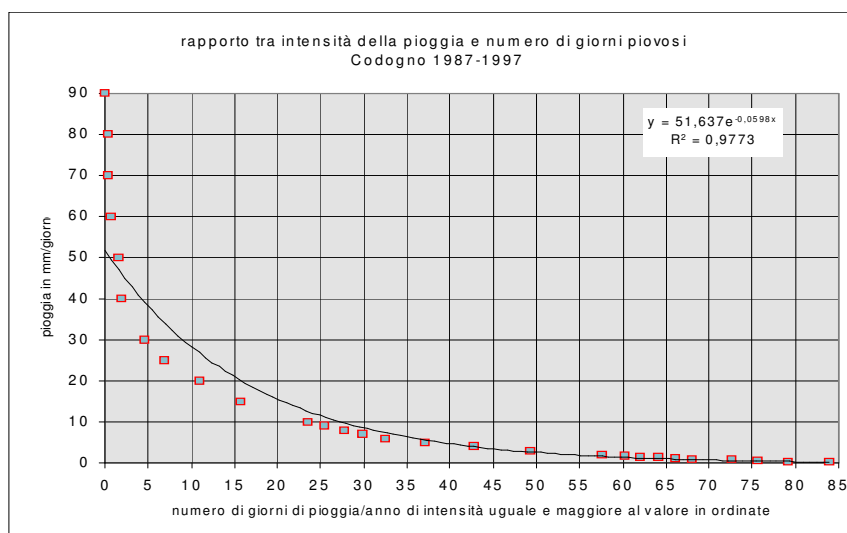


Grafico 6 : intensità giornaliera delle precipitazioni a Codogno

Inoltre gli autori, riprendendo quanto elaborato da Pinna (1973) in merito al **rapporto tra l'intensità media giornaliera e le intensità massime orarie e giornaliere** (che meglio descrivono i fenomeni più intensi, che hanno durate di anche di pochi minuti), osservano che **"per l'Italia settentrionale non esistono significative differenze nella distribuzione tanto dei valori elevati che quelli bassi dei vari parametri."**

Le **precipitazioni di massima intensità** costituiscono gli **eventi di maggiore pericolosità** e determinano gli episodi alluvionali che pongono a rischio il territorio anche in ambito locale, in relazione al dimensionamento e stabilità delle opere di drenaggio e smaltimento delle acque.

In argomento il Cati (1980, cit.) riferisce quanto illustrato in una precedente pubblicazione del Servizio Idrografico relativa alle precipitazioni massime per periodi da 1 a 5 giorni consecutivi dal 1921 al 1950. Il territorio di Corno Giovine si colloca nell'ambito di una zona omogenea estesa tra il fiume Lambro ed il fiume Mincio (zona E), per la quale è proposta la seguente relazione:

$$H = 309,3 T^{0,115}$$

con H = precipitazione in mm e T = numero di giorni consecutivi di pioggia, da 1 a 5.
Quindi i valori previsti sono :

n° giorni consecutivi	1	2	3	4	5
quantità di pioggia in mm	309	335	351	363	372

Nella Pubblicazione "Progetto Lambro" della Provincia di Milano⁹ sono descritti **gli eventi intensi di durata inferiore alle 24 ore**, ottenuti esaminando dati pubblicati dal Servizio Idrografico fino al 1976, e successivamente quelli giacenti presso il Magistrato per il Po fino al 1986 incluso. Utilizzando la distribuzione probabilistica dei massimi valori secondo Gumbel, gli Autori propongono per la stazione di Lodi (28 Km a NE di Corno Giovine) i seguenti parametri della classica funzione esponenziale $H = a t^n$:

⁹ AA.VV.(1989) : Progetto Lambro - piano di bacino - proposte per la sistemazione idraulica del Lambro e per il riassetto paesaggistico della sua valle - Ed. Provincia di Milano.

T	a	n
100	50	0,3
50	45,8	0,3
30	42,6	0,29
10	35,6	0,29

con T = tempo di ritorno in anni, t = tempo della precipitazione in ore, "a" ed "n" parametri della curva compensatrice dei dati sperimentali.

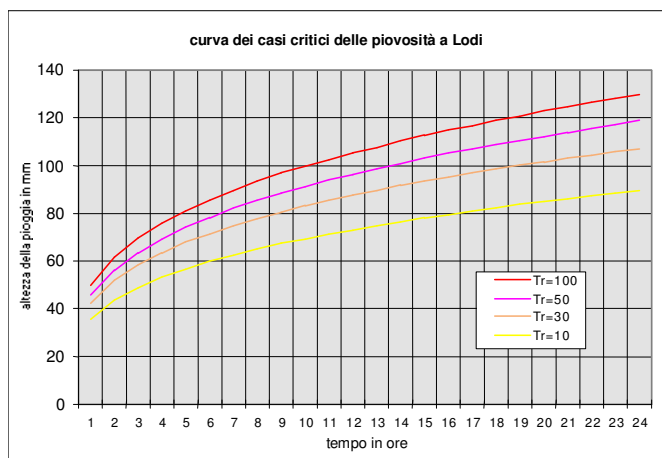


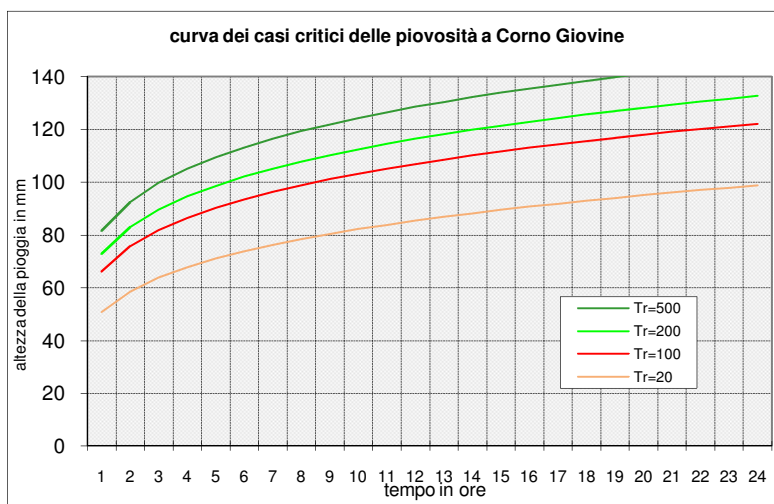
Grafico 7: precipitazioni critiche a Lodi

Una analoga analisi è contenuta nel documento "Distribuzione spaziale delle precipitazioni intense - Allegato 3" della "Direttiva sulla piena di progetto da assumere per le progettazioni e le verifiche di compatibilità idraulica" del PAI, che fornisce i parametri delle linee segnalatrici di probabilità pluviometrica per tempi di ritorno di 20, 100, 200 e 500 anni per tutto il bacino del Po, ottenuta mediante un'interpolazione spaziale con il metodo di kriging dei parametri a e n delle linee segnalatrici, discretizzate in base a un reticolo di 2 km di lato. Le stazioni più prossime a Corno Giovine utilizzate, sono quelle di Codogno (dati dal 1951 al 1985), Cremona (dal 1951 al 1986), Orzinuovi (dal 1952 al 1972) e Fiorenzuola d'Arda (dal 1959 al 1982). La cella EA102, circa coincidente con il territorio di Corno Giovine, riporta i seguenti parametri:

Grafico 8 : precipitazioni critiche a Corno Giovine secondo il PAI

T	a	n
500	81,6	0,183
200	72,8	0,189
100	66,2	0,193
20	50,7	0,21

Le differenze tra le due elaborazioni paiono relativamente contenute, rientrando nelle approssimazioni usuali per questo tipo di indagine.



I valori relativi alle 24 ore risultano però sensibilmente inferiori a quanto indicato dal Cati per piogge di un solo giorno. Tale scostamento, oltre che al differente intervallo temporale esaminato, è motivata dal fatto che l'analisi del Cati si riferisce ai valori massimi assoluti

registrati in una vasta area compresa tra le cerchie moreniche ed il Po (285 mm il 23/10/1925) mentre le curve delle intensità orarie risultano attenuate del coefficiente di ragguglio (0,88 per l'elaborazione del "Progetto Lambro") utilizzato per passare dai dati puntuali a quelli medi del territorio.

Il quadro fornito con il presente paragrafo è utilizzabile sia per gli aspetti connessi all'attività edilizia, sia per le questioni concernenti attività sociali, per le quali si può operare una previsione almeno di massima del rischio meteorologico.

3.3 evapotraspirazione e bilancio idrico del suolo

Per l'analisi di questi fattori, particolarmente utili per le conseguenze sul piano agronomico e dell'irrigazione, si può fare riferimento all'approfondito studio condotto per il parco Adda Sud da un gruppo di lavoro facente capo all'Istituto di Chimica Agraria e Ambientale dell'Università Cattolica di Piacenza, già citato in nota (⁷).

Gli autori, a seguito di rilievi compiuti anche nei terreni posti lungo l'allineamento Corno Vecchio - Crotta d'Adda, individuano l'andamento annuo medio dell'evapotraspirazione reale¹⁰ in differenti condizioni di copertura vegetale prevalente e di tessitura dei suoli. In particolare, secondo quanto esposto nella ricerca, è stato utilizzata una versione aggiornata di un recente modello di calcolo elaborato dagli stessi autori¹¹, *"che opera su scala giornaliera e tiene conto di:*

- fabbisogno idrico della copertura vegetale;
- la profondità dello strato;
- le proprietà idriche della tessitura dominante (capacità di campo, il punto di appassimento, la distribuzione dei macropori e la conduttività satura [Rawls et al. 1992];
- le variazioni della quota di falda.

Calcolando: l'infiltrazione, il drenaggio, la conduttività laterale, dello strato insaturo e saturo, il ruscellamento superficiale."

I dati tabellari forniti dagli autori relativi alla sezione "F" precedentemente citata sono di seguito mostrati con il relativo diagramma.

Il valore annuo varia da 179 a 425 mm , con valore medio di 295 mm, ed ovviamente i valori maggiori si raggiungono da giugno a settembre, in relazione principalmente alle elevate temperature dell'aria.

Infine sono stati calcolati, in relazione alle precipitazioni ed alla capacità di campo del terreno (AWC, quantità di acqua ritenuta dal terreno in buone condizioni di drenaggio), i giorni di possibile deficit idrico per la vegetazione.

¹⁰ Definizione fornita dagli stessi autori: La stima dell'evapotraspirazione reale si effettua in base a questi principi: quando le precipitazioni sono maggiori dell'evapotraspirazione potenziale (perdita di acqua da parte del terreno con copertura vegetale, attraverso processi contemporanei di evaporazione della superficie del suolo e di traspirazione da parte delle piante), e la riserva del suolo rimane integra, l'evaporazione reale è uguale a quella potenziale; invece, nei mesi in cui le precipitazioni sono minori della evapotraspirazione e le piante attingono al suolo, l'evapotraspirazione potenziale uguaglia le precipitazioni più l'ammontare dell'acqua uscita dalla riserva del suolo.

¹¹ Evans S.P., Trevisan M. (1995): *A soil water balance 'bucket' model for paleoclimatic purposes*. In Ecological Modelling, n° 82, vol II.

Le conclusioni degli Autori sono che per le aree più a settentrione di Bertonico, si registrano periodi critici in particolare nei mesi di agosto e settembre, mentre per il transetto "F", passante per Corno Vecchio, " *si può affermare che in linea di massima non si verificano particolari condizioni di stress idrico per la vegetazione, essendo la media mensile (dei giorni critici) sempre*

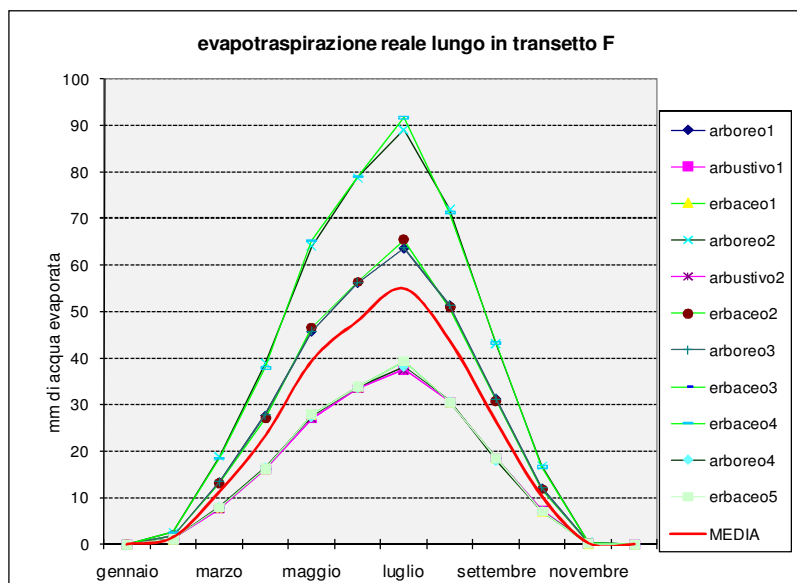


Grafico 9: evapotraspirazione reale a Corno Vecchio

inferiore ad 1,7"... si tratta infatti... "dell'unico settore in cui il numero dei giorni critici per mese non supera mai il valore di 7,4.".

La positività di tale circostanza deriva secondo gli autori principalmente dal fatto che "si ha un rapido decremento della prima falda al piede dei due terrazzi simmetrici principali. Infatti, in corrispondenza dei rilievi botanici eseguiti in questo transetto, il tetto della prima falda si

trova sempre a circa 1 metro di profondità".

Occorre segnalare che tale valutazione non trova riscontro con quanto rilevato dallo scrivente in territorio di Maleo, dove la soggiacenza è risultata frequentemente maggiore, mentre sembra coerente con le condizioni presenti nella pianura olocenica del Po a Corno Giovine, almeno nella porzione a ridosso della scarpata principale.

L'argomento è trattato nella pubblicazione SSR36 ERSAL ¹², dove con riferimento ad un suolo con AWC 150 mm, che rappresenta un valore di riserva idrica utile superata da tutti i suoli nell'area di Corno Giovine ad eccezione delle Unità Cartografiche 5 (AWC 134) e 29 (AWC 84) [v. capitolo 4], gli Autori mediante elaborazione dei dati climatici di Codogno dal 1958 al 1982 con il metodo di Thornthwaite propongono la seguente tabella:

	Precipitazioni.	Temperature.	EvapoTrasPirazione	P-Etp	Stokage	Deflusso	Ruscamento
Gennaio	54,3	1,7	2,8	52	150	0	51
Febbraio	58,9	4,7	9,3	50	150	0	50
Marzo	70,1	8,9	28,8	41	150	0	41
Aprile	69,1	13,1	55,5	14	150	0	14
Maggio	68,4	17,9	98,9	-31	120	0	0
Giugno	67,1	22	133,3	-66	53	0	0
Luglio	52	24,2	155,8	-104	0	50	0
Agosto	69,4	23,1	134,6	-65	0	65	0
Settembre	64,9	19,5	90,8	-26	0	26	0
Ottobre	105,1	13,6	48,6	57	56	0	0
Novembre	105,2	7,8	18,3	87	143	0	0
Dicembre	69,4	2,7	3,9	66	150	0	59
MEDIA	853,9	159,2	780,6	73,3	1122	141	215

Che diversamente dallo studio precedente individua un deficit idrico anche piuttosto pronunciato nei mesi estivi.

¹² ERSAL (2002) : I suoli del Codognese : pubblicazione SSR 36

4 Lineamenti strutturali

Le indagini di carattere geofisico legate innanzitutto alle esplorazioni per idrocarburi e i numerosi pozzi perforati nella pianura padana, hanno consentito di definire con una buona precisione la forma e lo spessore dei depositi profondi.

Il carattere fondamentale dell'asse padano è rappresentato da un sistema di pieghe a vergenza appenninica (provocate da spinte a principale componente Sud-Nord) che interessano le successioni marine del Miocene medio - superiore e del Pliocene, all'interno di un bacino di avanfossa fortemente subsidente.

Le successioni in questione costituiscono il margine NW dell'ampia struttura a festone che, all'incirca da Volpedo (11 Km a sud di Voghera) si protende verso il centro della Pianura padana, fino al Colle di San Colombano, per flettersi, dapprima a ESE verso Cremona, e poi a SE in direzione della zona di Parma - Reggio Emilia.

La struttura, generatasi a seguito di movimenti rotazionali antiorari (Vanfossi et alii, 1994), evidenzia la presenza, al suo margine occidentale di un'area con anomalia magnetica residua, che è stata interpretata come un ostacolo all'avanzamento delle coltri appenniniche, rappresentato dal basamento pre-mesozoico e delle sue coperture triassiche [*rocce di origine marine di età superiore a 200 milioni di anni*] presenti a "ridotta" profondità, nonché da corpi vulcanici, come evidenziato da numerosi autori (Pieri-Groppi, 1981; Castellarin et alii, 1985 e 1992; Cassano et alii, 1986; Castellarin e Vai, 1986; C.N.R., 1991)".

Il fronte delle strutture profonde è interessato da fratture che scompongono le rocce secondo un piano parallelo a quello dello scorrimento (ramp) e da sistemi di faglie trascorrenti, che traslano lateralmente i blocchi.

E' da rilevare che, come evidenziato da Pieri e Groppi (1981), la zona frontale degli Appennini nella fascia tra Cornegliano (presso Lodi) e Bordolano (18 Km a Nord di Cremona), viene a giustapporsi a quella dell'arco del Sudalpino-Orobico che presenta vergenza opposta, giungendo in pratica ad un contatto-scontro.

Inoltre, sempre secondo gli stessi autori i terreni marini più recenti coinvolti sono quelli pliocenici, ma le deformazioni interessano anche la parte basale del quaternario (Pleistocene)

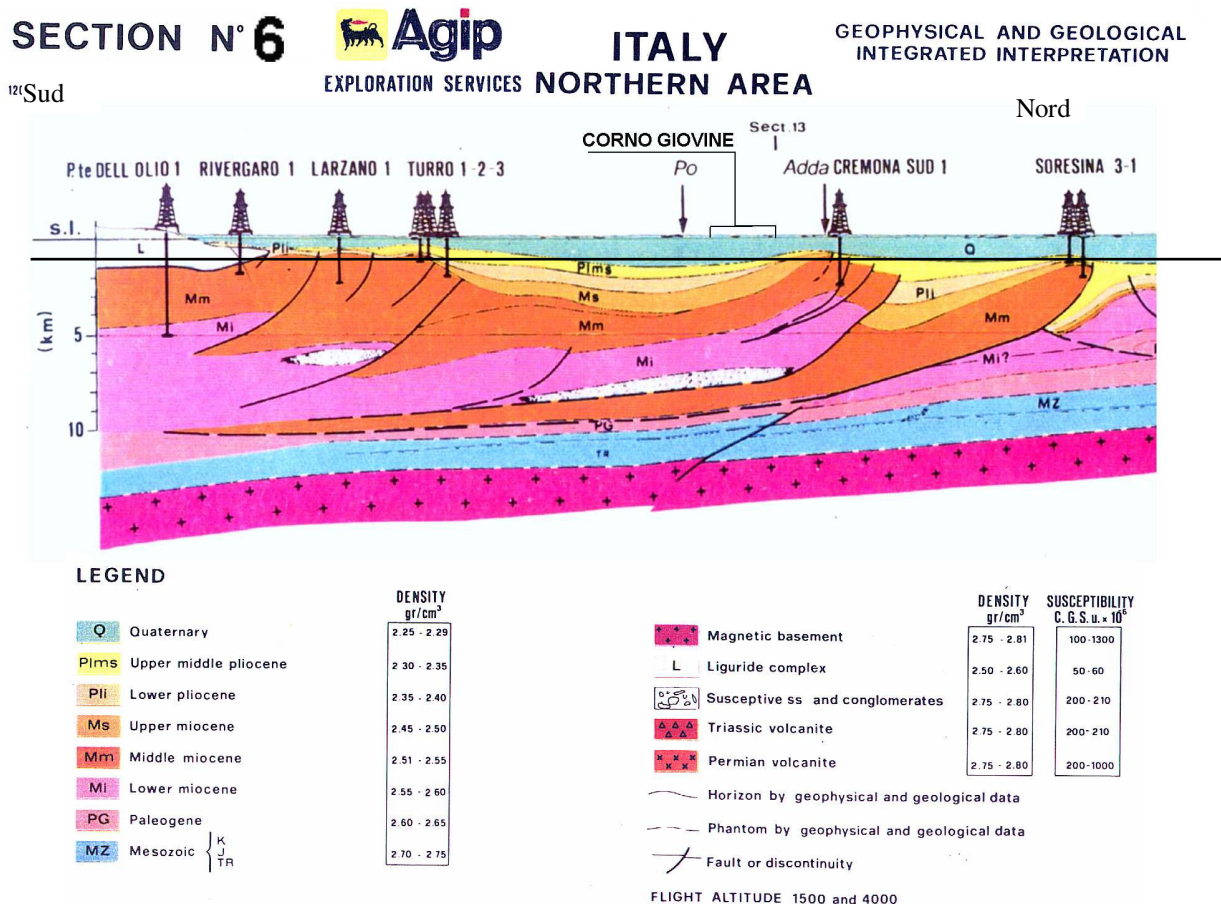


Figura 3: sezione geologica : da A.G.I.P. , 1986 Pianura padana - interpretazione integrata di dati geofisici e geologici, 73° congresso Società Geologica Italiana, Roma.

La sezione sopra riportata illustra lo schema strutturale trasversalmente all'asse padano, e passa nella porzione S e SE del territorio comunale, tra le località Regona e Mezzano Squadre.

Sono ben evidenziati i due infossamenti del substrato (sinclinali di Piacenza e Cremona) che ospitano la serie completa del miocene (indicati come Mi, Mm, Ms, ossia inferiore, medio e superiore) e del pliocene (Pli, Plms), separate da una zona di culminazione in corrispondenza della quale i termini sono mancanti o fortemente ridotti (dorsale di Cremona). Tali strutture si dispongono in direzione prevalentemente W-E attraverso il territorio lodigiano e cremonese, condizionando lo sviluppo della rete idrografica superficiale, la circolazione sotterranea e la morfologia per effetto di un'attività neotettonica ancora in atto.

In corrispondenza delle dorsali si osserva spesso la presenza in superficie di terreni più antichi del quaternario continentale, mantenuti in posizione più elevate durante le più recenti fasi alluvionali seguite alle glaciazioni. Le più evidenti di tali strutture positive sono il colle di San Colombano e i rilievi intorno a Casalpusterlengo, in corrispondenza dei quali affiorano terreni attribuiti alle fasi interglaciali del Mindel, collocabile intorno a 700.000 anni fa.

Il processo generale di subduzione, responsabile della formazione dei sovrastanti depositi quaternari (marini e continentali), è tuttora attivo ed è stimato in talune località possa avvenire con velocità che raggiungono i 5 mm/anno¹³. Nell'area in esame è osservabile anche lo stretto rapporto esistente tra la disposizione dei principali fiumi ed i lineamenti sepolti.

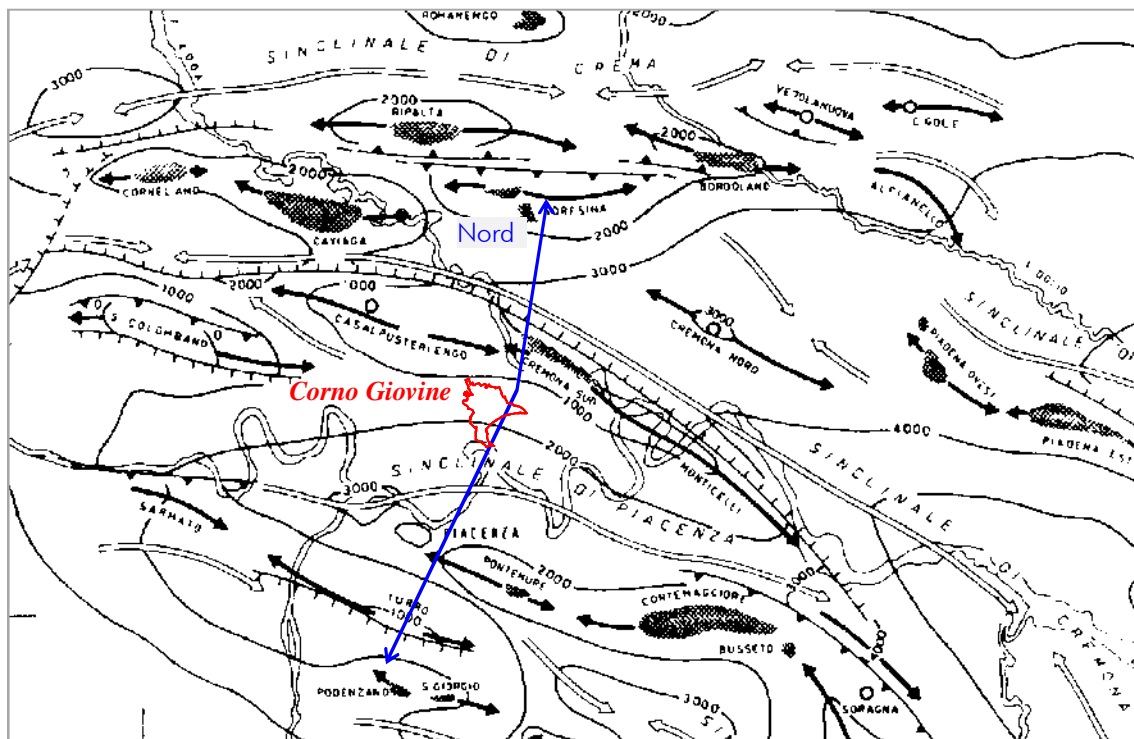


Figura 4 : da schema strutturale della Pianura Padana, da A.G.I.P. , 1957.

Le frecce nere indicano strutture anticlinali (elevazione del substrato miocenico); le frecce chiare indicano strutture sinclinali (piegamento con concavità verso l'alto del substrato); le isobate indicano la profondità della base del pliocene; le chiazze scure i campi produttivi a gas; la linea tratteggiata indica la posizione della sezione precedentemente riportata.

Il territorio di Corno Giovine si colloca quindi sul fianco sud dell'anticlinale di Casalpusterlengo, che prosegue ad est con quella di Cremona, dove la base del pliocene (circa 5,2 milioni di anni) si colloca a circa 1 Km di profondità nell'area a confine con Maleo, e scende fino a oltre 2 Km in prossimità del Po.

Il pliocene è formato da depositi marini in prevalenza sabbiosi passanti alla base ad argille con ghiaie, mentre il sottostante miocene è formato in gran parte da argille sabbiose passanti a marne e marne arenacee di mare profondo.

Le velocità delle onde sismiche di taglio (Vs) sono di circa 1200 m/s per le formazioni plioceniche e circa 2000 m/s per quelle mioceniche¹⁴. Il substrato miocenico è responsabile dell'attività sismica dell'area descritta nel § 9, dove si evidenzia da analisi sismologiche che un'estesa fascia di territorio comprendete Corno Giovine è interessata principalmente da sismi che si provocano a profondità comprese tra 2 e 7 Km.

¹³ AA.W. (1980): carta neotettonica d'Italia - Note illustrative ai fogli 61 (Cremona) , 62 (Mantova) , 72 Fiorenzuola d'Arda, 73 (Parma). In "Contributi alla realizzazione della carta neotettonica d'Italia"- Parte II° Pubblicazione 356 CNR.

¹⁴ Valutazione tratta da : Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale. Progetto DPC- INGV S5 "Definizione dell'input sismico sulla base degli spostamenti attesi" Rel. OGS 2007/56-CRS/14 28giugno, 2007

5 Geomorfologia ed elementi di pedologia

5.1 *Processi genetici dei depositi superficiali*

La pianura attualmente osservabile è essenzialmente prodotta da un processo di riempimento del bacino subsidente da parte di sedimenti di origine marina durante il pliocene (da 4,9 a 1,6 milioni di anni fa), mentre con il primo Pleistocene (da 1,6 a circa 0,75 m.a.), anche a seguito di processi di sollevamento in corrispondenza di "alti strutturali", ha preso inizio la deposizione di ambiente transizionale (al limite tra il marino ed il terrestre, ossia di spiaggia, laguna, delta, piane di marea etc.), caratterizzata da fasi spiccatamente marine e depositi di origine continentale.

I sedimenti formati, costituiti da limi intervallati da sabbie fini e strati torbosi, rappresentano la base sulla quale sono andate a deporsi grandi masse di sabbie e ghiaie di origine continentale, trasportate dalle Alpi e dagli Appennini verso valle dalle notevoli portate dei fiumi durante le glaciazioni, che caratterizzarono il pleistocene superiore.

Le coltri di materiale sabbioso-ghiaioso sono convenzionalmente attribuite a tre diverse glaciazioni del Pleistocene medio e superiore, denominate Mindel (intorno a 0,7 milioni di anni fa), Riss (da 0,3 a 0,13 m.a.) e Wurm (da 70.00 a 12.000 anni fa), anche se le fasi glaciali recentemente riconosciute nell'alta pianura sono più di una decina; tale semplificazione è dovuta alla difficoltà, allo stato attuale delle conoscenze, di distinguere nelle stratigrafie dei pozzi della bassa pianura singole fasi che hanno determinato l'erosione e l'accumulo di materiali assai simili.

I depositi che costituiscono la copertura alluvionale della pianura padana, sono quindi il prodotto del susseguirsi di più cicli erosivi e deposizionali, che hanno portato ciascuna delle colti più giovani ad adagiarsi sulle altre, relativamente più antiche, tramite il parziale riempimento dei solchi vallivi profondamente incisi in queste, determinando frequenti giustapposizioni tra depositi di diversa età.

Al termine dell'ultima fase glaciale la pianura era percorsa da fiumi di portata molto maggiore dell'attuale, di cui si ha chiara testimonianza nelle tracce dei paleoalvei posti all'interno di quell'ampia fascia di pianura compresa tra i bordi superiori delle scarpate principali denominata "*Livello Fondamentale della Pianura*" o "*Piano Generale Terrazzato*".

Tracce continue di questa antica idrografia sono individuabili nell'alveo dell'attuale colo Sillaro, che percorre buona parte della fascia occidentale del territorio lodigiano estendendosi da Mulazzano a Borghetto Lodigiano, e nella "Valle dei navigli"¹⁵ nella pianura cremonese, che si sviluppa da Soncino a Casalmorano - Annico, fino a raggiungere i Po poco ad occidente di Cremona. In prossimità di Corno Giovine sono osservabili tacche meno continue ed evidenti, segnalate nella figura seguente, nella tavola n° 1, e commentate nel capitolo 1, ma che egualmente testimoniano la presenza di corsi d'acqua di notevole entità.

¹⁵ M. Cremonini Bianchi (1989) – *Un antico percorso fluviale della Pianura Cremonese : la "Valle dei Navigli"* – Pianura 3/99 , pagg. 55-68 . Provincia di Cremona.

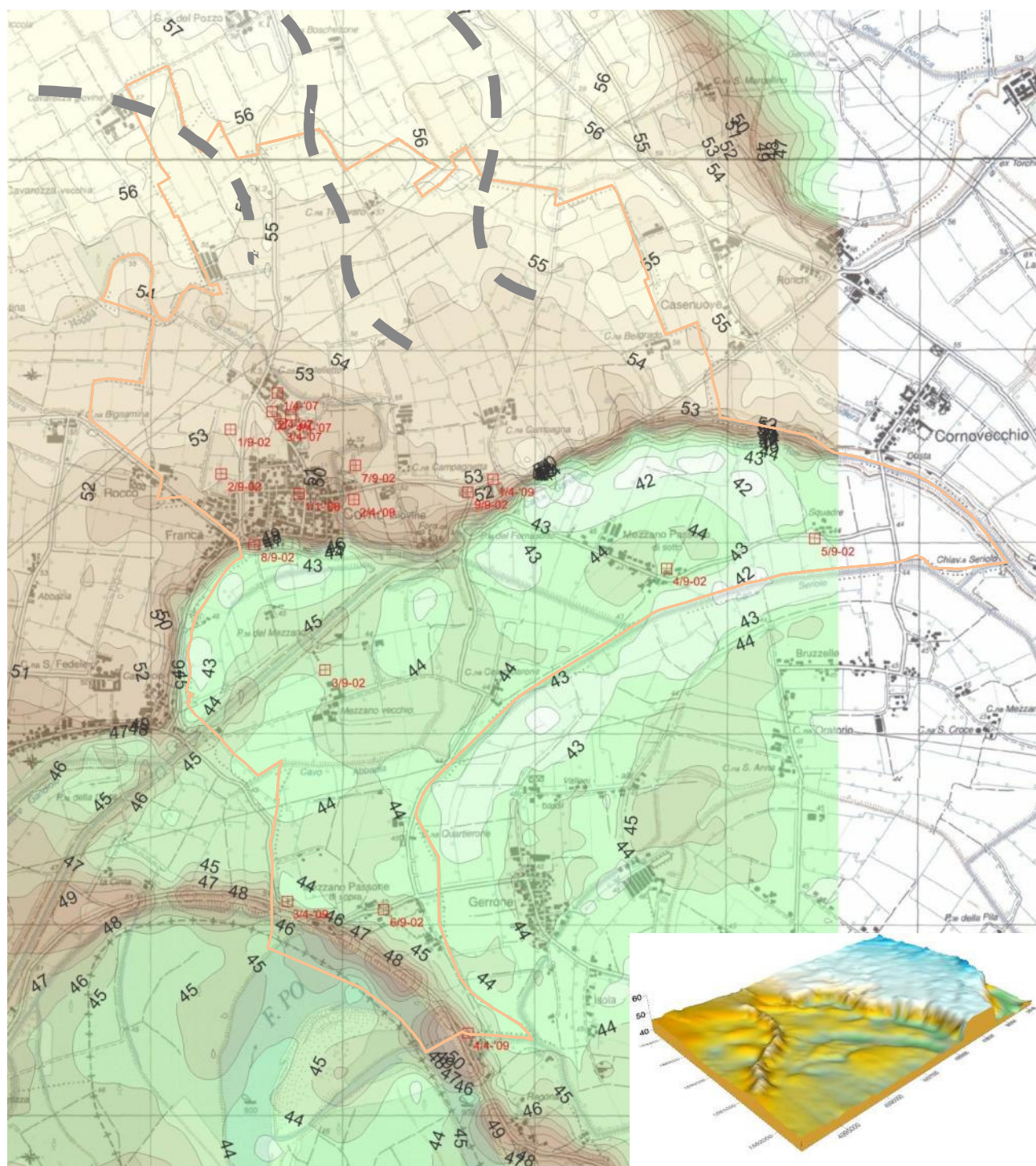


Figura 5: conformazione morfologica delle superfici di pianura con isoipse.

Documento ottenuto impiegando 3192 punti quotati presenti sulla bozza di restituzione fotogrammetrica del Data Base Topografico Provinciale disponibile sul geoportale della Provincia di Lodi. Elaborazione con Surfer © ver. 9.8.669. Base IGM 1997 (rilevi 1992). In basso a destra ricostruzione 3d con vista da SE.

Tracce di paleovalle indicate nello studio di Riccardo Bersezio 1986 (v. nota ¹). Si rileva l'assenza di correlazione tra le tracce indicate e la morfologia elaborata con la Figura 5. Probabilmente le tracce stesse sono state distinte osservando le diverse tonalità di colore o di grigi nelle foto aeree.

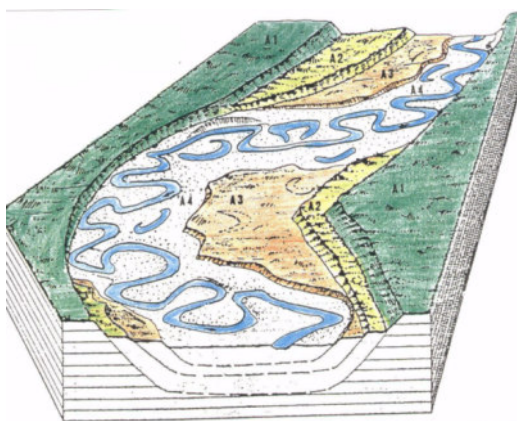
L'analisi dei parametri di tali forme, in particolare l'ampiezza dei meandro ed i raggi di curvatura, ha condotto il Marchetti¹⁶ ad ipotizzare che le portate potessero essere normalmente superiori di 5 - 6 volte rispetto a quelle degli attuali fiumi, raggiungendo il valore di 25, rispetto alle portate dell'Oglio, per il citato paleoalveo nel cremonese.

L'abbondante deflusso è stato attribuito al clima freddo umido che avrebbero caratterizzato le fasi finali della glaciazione e la prima deglaciazione, che produsse grandi apporti di materiale alluvionale verso la pianura, reso disponibile anche dall'accumulo di materiale sciolto da parte dai ghiacciai allo sbocco delle vallate alpine (apparati morenici).

Tali processi, avvenuti in realtà mediante più cicli di avanzamento e ritiro dei ghiacciai, portarono alla formazione della porzione superiore del citato "livello fondamentale della Pianura", mentre una successiva fase caratterizzata sia dalla diminuzione delle precipitazioni sia dall'intrappolamento dei sedimenti nei bacini lacustri formati a monte degli sbarramenti morenici (¹⁴), diede luogo alla migrazione del punto neutro dei fiumi¹⁷ verso valle.

Ebbe così inizio, in un periodo approssimativamente compreso tra i 7.500 ed i 10.000 anni fa, una decisa fase di erosione dei depositi fluvioglaciali dell'età würmiana, che unitamente a fenomeni locali di innalzamento della pianura per cause tettoniche, produsse le profonde incisioni che attualmente ospitano la fascia di divagazione dei meandri dei fiumi di origine alpina, dette pianure oloceniche, ed in particolare l'Adda.

Da segnalare che il deposito torboso posto in località Pra Marci a Crotta d'Adda, sulla base dell'esame radiometrico effettuato ¹⁸, risulta essere di 5540 ± 190 anni, definendo l'età minima della valle dell'Adda a sud di Pizzighettone, e conseguentemente della valle del Po.



Con il succedersi di fasi climatiche a diversa intensità, i fiumi hanno apportato e successivamente rieroso i sedimenti all'interno della valle, producendo un complesso di depositi posti a quote che si differenziano di alcuni metri, che nel loro complesso costituiscono una serie di terrazzi inscatolati nel solco definito dal terrazzamento principale.

Figura 6 : schema di formazione dei depositi olocenici : da "Studi preliminari per il parco Adda Sud"

¹⁶ Marchetti M. (1990) : "Cambiamenti idrologici nella Pianura Padana Centrale a nord del fiume Po: i casi di "Underfit stream" dei fiumi Mincio, Oglio e Adda" . Geografia fisica e dinamica del quaternario , n° 13.

¹⁷ Si intende con tale termine un tratto dell'asta fluviale caratterizzata sostanzialmente dal trasporto di materiale, interposta tra la prevalente erosione che avviene a monte e la deposizione che si manifesta a valle di detto punto. Con un aumento delle precipitazioni, che produce una maggiore frequenza degli episodi di piena, si assiste ad uno spostamento verso monte del punto neutro, mentre in caso inverso si ha la migrazione verso valle. Tale riferimento teorico è però fortemente variato nei singoli corsi d'acqua da aspetti caratteristici, in particolare dalla presenza di tributari e da fenomeni neotettonici.

¹⁸ Marchetti M., Ravazzi C. (1993) Indagine geomorfologiche e polliniche lungo il tratto finale del fiume Adda – La sezione di Prà Marci (Cremona, Italia) – Il Quaternario 6 (1)

La Figura 6, tratta con modifiche dagli studi preliminari per il Parco Adda Sud ¹⁹ illustra il modello di riferimento per la genesi dei depositi fluviali olocenici. A1 rappresenta il "livello fondamentale della pianura" formato dalle alluvioni fluvioglaciali wurmiane (Pleistocene superiore), A2 e A3 le successive alluvioni fluviali prodotte da una primaria erosione seguita da una successiva formazione di deposito alluvionale meno elevato del precedente (alluvioni antiche e recenti, **a¹** e **a²** nella cartografia ufficiale del foglio geologico 60 - Piacenza), ed infine A4 rappresenta i depositi attualmente in corso di formazione o erosione (alluvioni attuali, **a³**).

Quest'ultima unità risulta ora assai ristretta rispetto al potenziale sviluppo trasversale per la presenza di opere di stabilizzazione dell'alveo e arginature artificiali realizzate in varie epoche storiche, e con una struttura continua a partire dalla fine del XIX secolo.

Si rileva inoltre che nel territorio di Corno Giovine, ed in genere in tutta la valle fluviale olocenica del Po, alluvioni antiche (A2 nel precedente schema) non paiono osservabili o quantomeno non distinguibili dai depositi della successiva unità delle alluvioni recenti (A3). Tutti i terreni al piede della scarpata principale sono a quote paragonabili tra loro, ed in caso di piena sarebbero esondabili se non protetti dalle arginature maestre.

Nel complesso la valle fluviale del Po a valle di Pavia conserva un'ampiezza costante di 7 ÷ 10 Km, interamente interessata dalla divagazione dei meandri in epoca storica, ma i bordi della depressione mostrano un'interessante e marcata asimmetria.

Infatti le scarpate del terrazzo principale in sponda lodigiana sono continue, con altezza decrescente da 13 m a Senna lodigiana a 10 m (complessivi) a Corno Vecchio (terrazzi convergenti), mentre quella corrispondente in sponda destra è evidente solo nel settore occidentale, ma svanisce progressivamente ad est di Sarmato (16 km ad ovest di Piacenza)²⁰.

La ragione di tale asimmetria è da ricercarsi sia in differenti aspetti dinamici del substrato, rappresentati da una più accentuata attività tettonica dell'Appennino Settentrionale associata a subsidenza della pianura al margine appenninico, sia nelle diverse condizioni climatiche delle valli alpine (glaciali con formazioni di laghi che hanno funzionato da trappole per i sedimenti fini) rispetto a quelle appenniniche (periglaciali) durante la fine del pleistocene e l'inizio dell'olocene, associata alla presenza di bacini appenninici (formati da argille, marne e arenarie) di gran lunga più erodibili di quelli alpini con conseguenze sulle portate solide, maggiori per gli affluenti in sponda destra.

L'insieme di queste circostanze ha determinato la formazione di ampie conoidi dei fiumi appenninici con apporto di materiale fine nella porzione distale e seppellimento delle forme di aggradazione fluviale, testimoniato anche da numerosi ritrovamenti archeologici²¹.

¹⁹ Redatto dalla soc. Geotecnica, pubblicato in "Lodi, la storia dalle origini al 1945", Banca Popolare di Lodi.

²⁰ Braga G., Gervasoni S. (1993) *Evoluzione storica dell'alveo del fiume Po nel territorio lodigiano-Piacentino : rischi idrogeologici connessi* – Atti del Convegno Nazionale "Il suolo come Risorsa" – Università cattolica del S.Cuore – Piacenza

²¹ Marchetti M. (1996). Variazioni idrodinamiche dei corsi d'acqua nella pianura padana centrale connesse con la deglaciazione – Il Quaternario , 9 (2) , pagg. 465-472.

Secondo gli Autori dell'articolo citato in nota ⁽²⁰⁾, il sollevamento dell'anticlinale di Cremona può rappresentare la causa della formazione e del mantenimento dell'ostacolo idraulico che ha dato luogo all'estesa fascia meandrica del fiume Po a monte di Cremona, mentre la subsidenza presso la sinclinale di Piacenza può rappresentare una causa concomitante della grande mobilità dei meandri del Po nel territorio Lodigiano-Piacentino.

La figura sotto riportata, tratta dalle elaborazioni fornite dalla Regione Lombardia, illustra l'andamento planimetrico dalle scarpate principali e la parte settentrionale dell'ampia fascia a meandri ora abbandonati che caratterizza i terreni in sponda sinistra.

La cartografia non segnala elementi morfologici di rilievo sulla superficie del "Livello fondamentale della Pianura", individuati e discussi nel capitolo 1 della presente relazione.

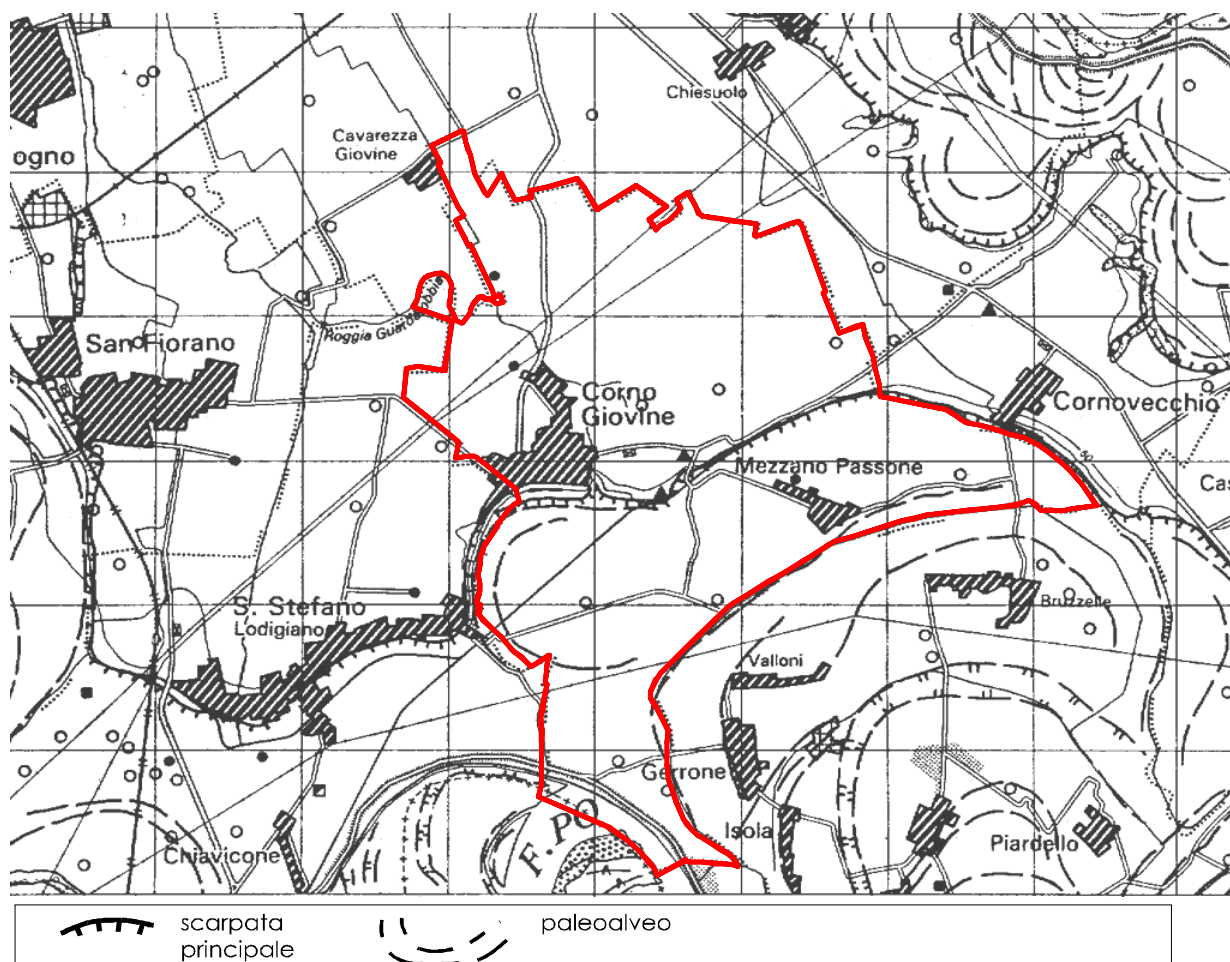


Figura 7 : Carta morfologica in scala 1: 50.000 , Regione Lombardia, foglio C7

Il margine del terrazzo principale si presenta con forme di erosione planimetricamente assai nette, con tracce di antichi lobi di meandro che presentano raggi di curvatura di 500 - 1000 m, comparabili con le dimensioni dei meandri attuali e con quelli rappresentati nella documentazione storica. Ciò testimonia ulteriormente la recente età di formazione di tutta la superficie olocenica del Po.

5.2 Evoluzione recente del territorio descritta sui documenti storici

Un'interessante sintesi della documentazione storica cartografica relativa alla piana olocenica del Po si trova riassunta nell'articolo di Braga e Gervasoni citato nella precedente nota ⁽²⁰⁾, qui parzialmente riprodotta:

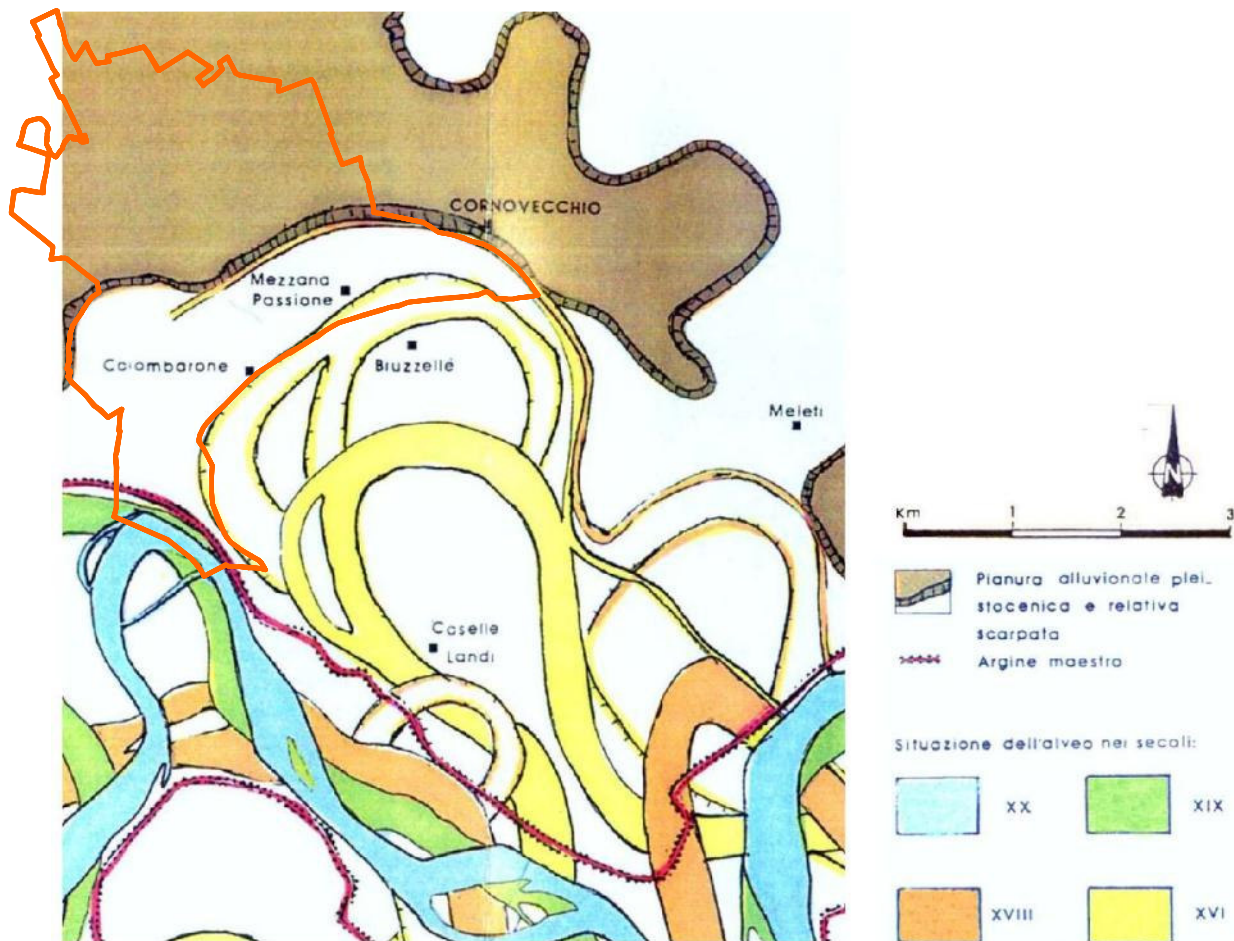


Figura 8: ricostruzione degli alvei del Po secondo la documentazione storico-cartografica.

la documentazione utilizzata dagli Autori è la seguente:

- Bolzoni P. (1588) - *Nova, vera et integra descriptio totius fluminis Padi, incipiendo...* Tav. 3, volume 46 dell'Archivio di Stato di Parma.
- M. Morelli (1762) - Continuazione del corso presentaneo del Po da Piacenza, sino allo sbocco dell'Adda, nello stesso fiume, rilevato... Tav. 42, volume 50 dell'Archivio di Stato di Parma.
- G. Porcelli - Corso del Po, dal colo della Raganella al di sotto di Piacenza (XVIII secolo) - Tav. 25, volume 50 dell'Archivio di Stato di Parma.
- Cartografia IGM alla scala 1:25.000 nelle due edizioni del 1889 e 1974.

Si osserva che il paleoalveo più settentrionale indicato, passante immediatamente a sud di Colombarone e Mezzano Passone ed attualmente percorso in posizione assiale dalla roggia Seriole che delimita il confine amministrativo di Corno Giovine, si è formato in un'epoca precedente il rilievo del 1588, e conseguentemente l'incisione del margine terrazzato ed i paleoalvei individuabili ai piedi dello stesso, ora percorsi dal colatore Gandiolo, risultano ancora più antichi.

Gli Autori ritengono che lo spostamento a sud del meandro di Colombarone e Mezzano Passone nella posizione indicata in cartografia (XVI secolo, meandro di Caselle Landi) sia

dovuto ad un taglio naturale del collo del meandro. L'abbandono dell'area da parte del fiume, nella pubblicazione dell'ERSAL²², è attribuito ad un taglio artificiale realizzato nel 1593 dai Conti Landi in località Roncorolo (Pc), 5,5 Km a SE di Caselle Landi, per eliminare i danni provocati dalle piene fluviali nelle loro terre. Il testo dell'ERSAL non chiarisce la fonte storica di tale informazione.

La successiva cartografia illustra l'intero territorio comunale rappresentato nel **1848** dalla **"Carta Topografica della Provincia di Lodi e Crema"** reperita presso l'Archivio Storico di Lodi.



Figura 9 : Carta Topografica della Provincia di Lodi e Crema - 1848

L'alveo del Po si trova circa 2 Km a sud della situazione presente, e nell'area ai piedi del terrazzo principale si osservano estese arginature a protezione delle località Mezzano Vecchio, Passone e Colomberone a nord, Case Basse, Mezzano di Sotto e Villa Franca a sud, di cui attualmente non si rinviene traccia. In località Baraccone, poco s SW dell'attuale ponte del Fornasotto, sono segnalati terreni coltivati a risaie per un'estensione di circa 11 ha, e tale indicazione può probabilmente giustificare la presenza di irregolari depressioni e canalizzazioni in disuso presenti nell'area.

Nel territorio a monte della scarpata morfologica principale le differenze maggiori sono date dal percorso inverso della roggia Guardalobbia, che non si sviluppa verso est passando a nord dell'abitato, ma scola verso SW circa come l'attuale Roggia Abbadesse, recapitando nel colatore Gandiolo nella parte occidentale dell'abitato di santo Stefano lodigiano (fuori dalla carta riportata). Inoltre due rogge quasi parallele scorrono da NW verso SE nei terreni tra "Bonpensiere" e l'abitato, raccogliendo le acque della roggia Molina, e vi sono percorsi sinuosi di rogge presso la C.na Timisvaro. Infine il percorso

²² ERSAL (2002) : I suoli del Codognese : pubblicazione SSR 36

stradale tra Mezzano Passone a Corno G. è rettilineo e non esiste il ponte del Fornasotto, mentre sono segnalate le C.ne Almavilla e Bertola assenti già dalla cartografia successiva.

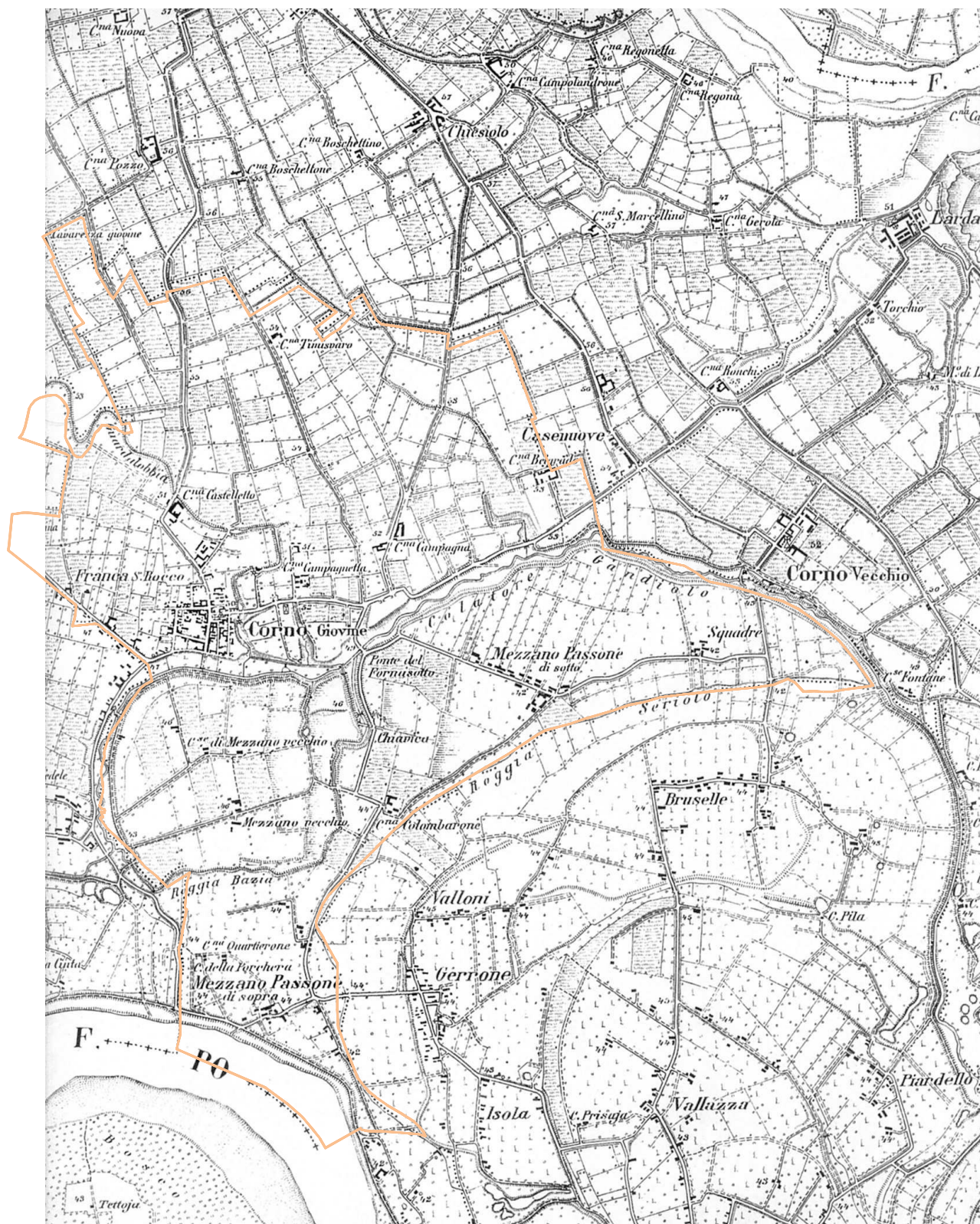


Figura 10 : IGM 1889

La cartografia **IGM del 1889** mostra il canale fluviale del Po in posizione sostanzialmente coincidente con l'attuale, almeno nel percorso all'interno del territorio

comunale, la riduzione degli argini golenali precedentemente descritti al solo tratto a sud del colatore Gandiolo, e la presenza di coltivo vitato nell'area intorno a Mezzano Passone di Sotto e Mezzano Squadre. Il drenaggio della piana olocenica è assicurata dal colatore Gandiolo ai piedi della scarpata principale, e dalla roggia Bazia (più recentemente denominata Abbazia) che percorre il territorio a sud e ad est di Mezzano Vecchio, per confluire nel Gandiolo in località Ponte del Fornasotto.

Attualmente tale roggia scarica le acque nella roggia Seriole poco a sud della località Colombarone, ed il percorso verso il Fornasotto è dismesso.

La roggia Guardalobbia scaricava direttamente nel colatore Gandiolo poche decine di metri ad est dell'attuale laghetto di pesca sportiva, mentre lo scarico

La cartografia mostra la presenza di bodri e stagni circolari di dimensioni fino ad alcune migliaia di m², uno circa 400 m ad est della attuale Cascina Inomata, numerosi nei territori di Caselle Landi e di S. Stefano Lodigiano in prossimità del confine amministrativo.

La scarpata principale è incisa in prossimità del cimitero e a sud della C.na Belgrado da forre formate dall'erosione regressiva delle acque provenienti dal terrazzo pleistocenico, attualmente ancora riconoscibili ma parzialmente colmati nelle parti più elevate.

L'**I.G.M** del **1927** mostra la realizzazione del "Canale Allacciante" in direzione SW-NE attraverso i terreni di Mezzano Vecchio e la rettifica del corso del Gandiolo e delle relative arginature ad Est del ponte del Fornasotto, mentre gli altri aspetti del paesaggio risultano sostanzialmente immutati.

Nell'**I.G.M** del **1954** si osservano modificazioni ancora meno rilevanti, consistenti nello sviluppo della barra sabbiosa nella sponda convessa del Po, con conseguente riduzione della larghezza del canale fluviale, e nella scomparsa dei bodri presenti in territorio di S. Stefano Lodigiano.

L'**I.G.M** del **1974** mostra l'ulteriore accrescimento della barra di meandro del Po, con formazione di un piccolo lembo di territorio in sponda destra, ed una lieve rettifica dell'argine maestro del Po. La roggia Abbazia viene denominata Abbadia e collegata con la roggia Seriole, mentre a nord del Canale Allacciante viene realizzato il Colatore Fontana che drena in direzione della roggia Seriole sottopassando lo stesso Allacciante.

Nei terreni tra Mezzano Passone e Squadre non è più indicata la presenza di coltivi vitati e le forre della scarpata principale sono parzialmente colmate nella zona di testata, mentre nessuna modifica sostanziale si osserva nel terrazzo pleistocenico.

La **CTR** del **1994** che mostra solo lievi modificazioni nella conformazione dei depositi in sponda destra del Po, mentre non paiono osservabili significative modificazioni nell'uso del territorio.

Analogamente l'**IGM** del **1997**, impiegata come base nella Figura 5, riferisce esclusivamente lievi modifiche nell'edificato.

5.3 elementi di pedologia

5.3.1 SINTESI DELLE CARATTERISTICHE

Le caratteristiche pedologiche del territorio sono rilevanti sia per gli aspetti geotecnici che coinvolgono le fondazioni superficiali, spesso posate entro il primo metro, sia per valutare la funzione protettiva esercitata dai suoli nei confronti delle acque sotterranee. Lo studio pedologico è sicuramente importante per individuare le potenziali capacità agronomiche dei terreni, ma tale aspetto esula dai fini della presente relazione.

Quanto riferito nel presente capitolo non è frutto di rilievi appositamente condotti dallo scrivente, ma rappresenta una sintesi, riferita al territorio di Corno Giovine, dello studio pedologico pubblicato dell'ERSAL (giugno 2002) per l'area intono a Codogno, precedentemente citato nella nota (²²).

Il contenuto specialistico di tali indagini è supportata da analisi del paesaggio condotte mediante la cartografia storica e le foto aeree, la realizzazione di **numerosi osservazioni puntuali** (in media 1 profilo ogni 4 Km² e 4 trivellate al Km², pari a circa n. 36 nel solo territorio di Corno Giovine) ed **analisi chimiche e tessiturali sui campioni**.

Si premette che nei territori di pianura l'attività agricola si sovrappone in modo determinante ai fattori naturali di pedogenesi (tempo, clima, substrato e morfologia delle superfici), producendo il **rimescolamento dell'orizzonte superficiale** e di parte degli orizzonti diagnostici, ed in numerosi casi realizzando la decapitazione o la sepoltura del profilo originario con lavori di livellamento.

I **suoli sono stati classificati** adottando il sistema elaborato dal Dipartimento dell'Agricoltura degli Stati Uniti (USDA) chiamato Soil Taxonomy, per il quale è di primaria importanza l'individuazione del regime di umidità prevalente. Per ragioni connesse ad esigenze di continuità nella cartografia regionale, l'ERSAL ha classificato tutti i suoli dell'area ammettendo la prevalenza di un **regime di umidità ustico** (suolo è secco, cioè l'acqua è trattenuta dal suolo con una tensione > 15 atm, totalmente o parzialmente per almeno 90 giorni cumulativi e per meno di 45 giorni consecutivi in estate, almeno 6 anni su 10), benché tale regime rappresenti solo il 16% dei casi ottenuti nell'elaborazione dei dati climatici con suoli che presentano una AWC (quantità d'acqua in un suolo che può essere estratta dalle radici delle piante) pari a =170 mm, e sia invece prevalente nell'area (52%), il **regime di umidità udico** (vi è umidità, cioè l'acqua è trattenuta dal suolo con una tensione < 15 atm, in qualche parte della sezione di controllo, per 90 o più giorni cumulativi e per almeno 6 anni su 10).

I **suoli presenti sul terrazzo pleistocenico** (Livello fondamentale della Pianura) hanno normalmente subito processi pedogenici per tempi significativamente più lunghi rispetto a quelli della piana olocenica del Po, e ciò ha consentito la lisciviazione delle basi di scambio (soprattutto Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, K⁺, Na⁺) dagli orizzonti superficiali e la formazione di un accumulo di argille sotto l'orizzonte arato, tipico dei suoli appartenenti all'Ordine *Alfisol*s. Il ferro liberato dall'alterazione del sedimento di origine si trova per lo più legato al complesso argillo-umico e conferisce all'orizzonte argillico caratteristiche colorazioni

bruno rossastri, mentre i carbonati sono stati rimossi dall'orizzonte superficiale e talora si accumulano in profondità con formazione dell'orizzonte calcico.

Le differenze individuate negli alfisuoli presenti nel territorio di Corno Giovine riguardano il vario grado di saturazione del complesso di scambio (bassa per le Unità Cartografiche 15 e 3), di condizioni di saturazione idrica (presenza di variegature cromatiche che indicano condizioni *aquiche* osservate nei suoli delle U.C. 15 e 6) e di tessitura, quest'ultima compresa tra argillosa (U.C. 6 e 7) e franco grossolana (U.C. 15 e 5).

I suoli di quest'area sono **totalmente privi di calcare in tutto il profilo** per effetto dei prolungati processi di lisciviazione delle basi, con l'unica eccezione rappresentata dalla presenza di abbondanti concrezioni di carbonato di calcio nella U.C. 7, in un orizzonte B3 a profondità superiori i 145 cm. Nella U.C. n. 5 è presente un sedimento calcareo in un orizzonte C3 posto sotto i 160 cm.

Suoli molto meno evoluti sono invece presenti in tutta la **piana olocenica** del Po, dove a causa della recente deposizione dei terreni superficiali la pedogenesi ha prodotto, talora, solo una modesta alterazione del sedimento originario e una parziale decarbonatazione del profilo. Nel territorio di Corno Giovine i suoli di tale area appartengono tutti all'Ordine **Entisols**, che per definizione non manifestano segni di alterazione pedogenica. L'aspetto comune di tali suoli è la presenza di idromorfia persistente causata dal lento drenaggio interno o dalla falda prossima alla superficie, mentre le differenze riportate in cartografia riguardano principalmente la tessitura (sabbiosa nell'Unità Cartografica 29), e l'irregolare decremento del carbonio organico con la profondità ereditata dal sedimento originario che caratterizza il grande gruppo *Fluvaquents* cui appartengono le U.C. 27 e 41. Un'altra caratteristica peculiare di questi terreni è la **diffusa presenza di calcare** dovuta agli apporti sedimentari di provenienza appenninica, dove prevalgono bacini formati da litotipi marnosi e calcari, che non si rinviene a ovest della foce del Trebbia dove affluiscono le acque del Lambro e dei colli che solcano il terrazzo pleistocenico (Guardalobbia e Brembiolo).

SINTESI DELLE CARATTERISTICHE PEDOLOGICHE DEL TERRITORIO DI CORNO GIOVINE TRATTE DA: "ISuoli del Codognese" ERSAL SSR 36 - anno 2002

Caratteristiche comuni dei suoli individuati in territorio di Corno Giovine

Alfisuoli : (UC 3,5,6,7, 15) suoli caratterizzati, principalmente, dalla presenza di un orizzonte profondo di accumulo di argilla illuviale (argillico).

Entisuoli : (UC 27,29,31, 41, 46) suoli privi di orizzonte diagnostico, su substrati di recente deposizione o erosione o con intenso disturbo antropico

Assenza di orizzonti o proprietà diagnostiche legate ad antiche fasi pedogeniche (es fragipan).

Regime idrico ustico : il suolo è secco, totalmente o parzialmente, per almeno 90 giorni cumulativi e per meno di 45 giorni consecutivi in estate, almeno 6 anni su 10.

Regime termico mesico: temperatura media annua compresa tra 8 e 14 °C, ma con differenza di almeno 5 °C tra la media estiva e la media invernale.

Classe mineralogica **mixed**: tutti i minerali diversi dal quarzo e dai feldspati sono presenti in misura minore del 40%.

Note: le caratteristiche indicate con due termini separate da sbarretta (es. subacida/ neutra), indicano rispettivamente il valore del parametro nella parte superficiale del suolo ed in quella profonda. Il preciso significato dei termini utilizzati, in particolare di espressioni quali: buono, permanente, temporaneo ecc, è riportato nel GLOSSARIO PEDOLOGICO e, in parte, nella pubblicazione SSR 36 dell' ERSAL qui sintetizzata .

SOTTOSISTEMA DI PAESAGGIO	Unità Cartografica	UNITÀ DI PAESAGGIO (codice ERSAL: LF2) Superfici modali stabili del L.F. della Pianura nella posizione distale a valle della fascia delle risorgive (bassa pianura sabbiosa)	UNITÀ TASSONOMIC A ERSAL	FAMGLIA GRANULOM ETRICA	PROFONDITÀ SUOLO in cm	SUBSTRATO	REAZIONE	TSB	DRENAGGIO	classificazione Soil Taxonomy USDA	NOTE: carbonati totali - capacità d'uso - capacità protettive per le acque profonde	SUPERFICIE TERRITORIO COMUNALE 9,839,000 m ²		
												superfici parziali dell'Unità cartografica	% sul totale	% per unità di paesaggio
SOTTOSISTEMA DI PAESAGGIO (codice ERSAL: LF) - Porzione meridionale della pianura costituita esclusivamente da sedimenti fluviali fini, privi di porosità superficiale e di sciolimento in loco - Bassa pianura sabbiosa - Nel territorio di Corno Giovine, la bassa pianura sabbiosa è caratterizzata da una sommissione derivata dal canale Mezza. In funzione di questa tecnica si pratica generalmente il livellamento dei campi agricoli.	3	SOTTOUNITÀ DI PAESAGGIO (cod. LF2.1) Superfici pianeggianti o lievemente ondulate, ben drenate ed a substrato sabbioso . Prevalle il seminativo irriguo.	LOD1	limosa-fine	100 -150	franco-sabbiosa / sabbiosa	neutra	media	buono	Ultic Haplustalfs	non calcarei - II % (TSB medio) - MODERATA	1,050,000	10.7%	39.4%
	5		SVN1	franco-grossol.	50-100	franco-sabbiosa / sabbiosa	neutra/subalcalina	alto	buono	Typic Haplustalfs	non calcarei - II % (profondità limitata) - MODERATA	1,052,000	10.7%	
	6	SOTTOUNITÀ DI PAESAGGIO (cod. LF2.2) Superfici pianeggianti o lievemente ondulate, talora attribuibili ad età prewurmiiana, a substrato talora costipato , con presenza di lievi manifestazioni di idromorfia legate alla bassa permeabilità degli orizzonti profondi. Prevalle il seminativo irriguo.	LRD1	franco-argillosa	>200		subacida/su balcalina	medio/ alto	mediocre	Aquic Haplustalfs	non calcarei - II %s (scarso drenaggio) - ELEVATA	1,322,000	13.4%	
	7		RAN3	franco-argillosa	145	argillo-limoso	neutra	alto	mediocre	Aquic Haplustalfs	non calcarei - III %s (tessitura fine) - ELEVATA	453,000	4.6%	
		UNITÀ DI PAESAGGIO (codice ERSAL: LF4) Paleovalle della bassa pianura sabbiosa, fossili o comunque sovradimensionati rispetto ai flussi idrici attuali.	UNITÀ TASSONOMIC A ERSAL	FAMGLIA GRANULOM ETRICA	PROFONDITÀ SUOLO in cm	SUBSTRATO	REAZIONE	TSB	DRENAGGIO	classificazione Soil Taxonomy USDA	NOTE: carbonati totali - capacità d'uso - capacità protettive per le acque profonde			
	15	SOTTOUNITÀ DI PAESAGGIO (cod. LF4.2) Depressioni evidenti , collegate ad attuali linee di flusso testimoni di antichi, più consistenti, corpi idrici .	MMG1 - RAN4 (complesso di suoli)	franco-grossolana	da 50 a >150	franco-limoso	acida/ neutra - neutra	basso/ medio- alto	mediocre	Aquic Haplustalfs - Aquic Haplustalfs	non calcarei - II %s (drenaggio mediocre e limitata profondità) - MODERATA-ELEVATA	593,000	6.0%	6.0%
SOTTOSISTEMA DI PAESAGGIO (codice ERSAL: VA) - Piane alluvionali inondabili con dinamica prevalentemente deposizionale costituita da sedimenti recenti o attuali (Olocene recente ed attuale)		UNITÀ DI PAESAGGIO (codice ERSAL: VA3) Superfici modali delle piane alluvionali e recenti o attuali, facenti transizione tra le aree più rilevate (dossi) e quelle depresse,	UNITÀ TASSONOMIC A ERSAL	FAMGLIA GRANULOM ETRICA	PROFONDITÀ SUOLO in cm	SUBSTRATO	REAZIONE	TSB	DRENAGGIO	classificazione Soil Taxonomy USDA	NOTE: carbonati totali - capacità d'uso - capacità protettive per le acque profonde			
	27	SOTTOUNITÀ DI PAESAGGIO (cod. VA 3.2) Superfici pianeggianti appartenenti alla porzione orientale della piana del Po, di maggiore stabilità e poste a maggiore quota altimetrica rispetto all'asta fluviale. I depositi sono generalmente sabbioso-limosi o limoso-argillosi e ricchi di calcare . Prevalle il seminativo.	ZAM2	limosa-fine	25-50	idromorfia	alcalina	alto	molto lento	Typic Fluvaquents	calcarei - IV %w (limitata profondità e drenaggio molto lento) - BASSA	3,025,000	30.7%	39.2%
	29	SOTTOUNITÀ DI PAESAGGIO (cod. VA 3.3) Superfici ondulate o subpianeggianti appartenenti alle piane fluviali Po, talora lievemente concave , caratterizzate da idromorfia per falda permanente ubicata alla base della scarpata principale. I depositi sono per lo più sabbiosi . Prevalle il seminativo.	BAE2	franco grossolana - sabbiosa	>150	idromorfia in sabbia o limo	alcalina	medio/ alto	buono	Aquic Ustifluvents	moderatamente calcarei - II %w (limitata profondità e falda superficiale) ; BASSA	645,000	6.6%	
	31	SOTTOUNITÀ DI PAESAGGIO (cod. VA 3.4). Superfici pianeggianti appartenenti alle piane fluviali Po, poste alla minore quota altimetrica in prossimità dell'asta fluviale o delle maggiori depressioni di paleomeandro; I depositi sono di varia granulometria e ricchi in calcare ; prevale il seminativo.	CAD 1	franco sabbiosa	120	sabbia grossolana	alcalina	alto	buono	Typic Ustifluvents	moderatamente calcarei - II %s (CSC medio-bassa) ; BASSA	186,360	1.9%	
		UNITÀ DI PAESAGGIO (codice ERSAL: VA7) Tratti di alveo e meandri abbandonati	UNITÀ TASSONOMIC A ERSAL	FAMGLIA GRANULOM ETRICA	PROFONDITÀ SUOLO in cm	SUBSTRATO	REAZIONE	TSB	DRENAGGIO	classificazione Soil Taxonomy USDA	NOTE: carbonati totali - capacità d'uso - capacità protettive per le acque profonde			
	41	SOTTOUNITÀ DI PAESAGGIO (cod. VA 7.1) Superfici corrispondenti ai grandi meandri abbandonati del Po, lievemente depressi rispetto alle aree circostanti costituite da depositi di varia granulometria e caratterizzate da condizioni di idromorfia per falda permanente profonda; Prevalle il seminativo.	ZAM1	limoso fine	40	idromorfia in sabbia grossolana da 160 cm	subalcalina- alcalina	alto	lento-molto lento	Typic Fluvaquents	calcarei - III %s (limitato AWC) ; BASSA	657,000	6.7%	8.5%
	46	SOTTOUNITÀ DI PAESAGGIO (cod. VA 5.2) Superfici delle piane alluvionali protette da arginature, inondabili durante le piene straordinarie (golene protette) ; area coincidente con il tratto terminale del canale Tosi; prevale il pioppeto.	CGP1	limoso grossolano	130	limo	alcalina	alto	lento	Oxyaquic Ustifluvents	calcarei - IV %w (inondabilità) ; ELEVATA	183,000	1.9%	

Tabella 1: sintesi delle caratteristiche pedologiche

5.3.2 ASPETTI APPLICATIVI DELLE CARATTERISTICHE PEDOLOGICHE

L'analisi consente agli Autori di formulare alcune **valutazioni di utilità pratica mediante l'utilizzo di procedure codificate**. In particolare costituiscono strumenti utili ai fini della pianificazione comunale sia l'identificazione della classe di qualità agronomica dei suoli (capacità d'uso), sia il giudizio sulla capacità protettiva dei suoli nei confronti delle acque profonde (acque sotterranee di prima falda).

La **capacità d'uso** viene individuata in un sistema ripartito in 8 classi, numerate da I a VIII in funzione della gravità e del numero delle limitazioni difficilmente correggibili che restringono il campo delle possibili pratiche colturali. Solo le prime 4 classi individuano suoli adatti all'agricoltura, mentre le classi dalla V alla VII sono riferite a suoli adatti solo al pascolo ed alla forestazione, mentre la classe VIII individua suoli non utilizzabili ai fini agro-silvo-pastorali.

Nel territorio di Corno Giovine in 6 casi (U.C. 3,5,6,15,29,31) sono individuati suoli appartenenti alla classe II, in 2 casi (U.C. 7 e 41) suoli appartenenti alla classe III, e due casi (U.C. 27 e 46) alla classe IV.

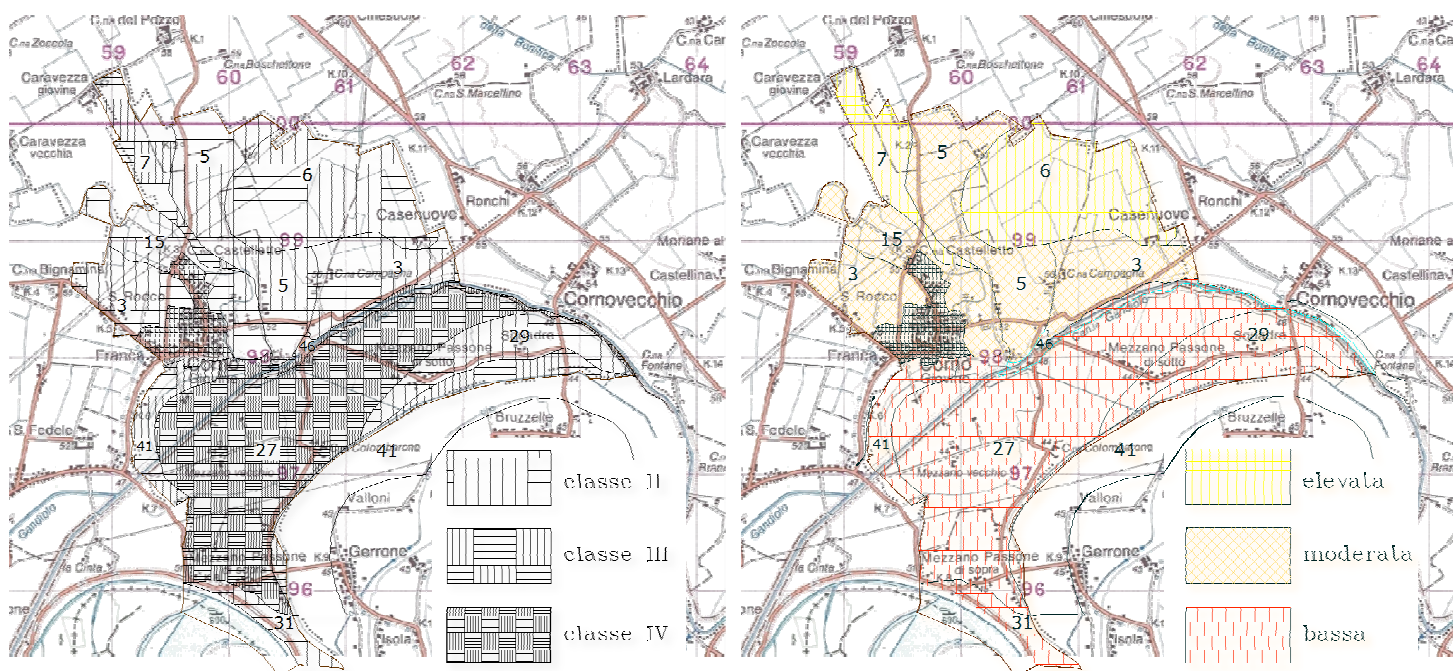


Figura 11: a sinistra classi di capacità d'uso dei suoli, a destra capacità protettiva dei suoli nei confronti delle acque sotterranee.

I giudizi elevata e moderata riguardano tutta l'area del terrazzo pleistocenico per la presenza di sabbie limose nel profilo e della profondità di almeno 5 metri. Nella piana olocenica la falda è a profondità comprese tra 1 e 3,5 m ed i suoli sono molto recenti, e nel profilo è assente l'orizzonte di accumulo delle argille liscivate.

Di seguito si forniscono le definizioni delle classi citate:

CLASSE II: suoli con alcune limitazioni facilmente controllabili, che riducono la scelta delle colture e richiedono moderati interventi di conservazione.

CLASSE III: suoli con severe limitazioni, che riducono la scelta delle colture e/o richiedono precise pratiche di conservazione.

CLASSE IV: suoli con limitazioni molto severe, che restringono ulteriormente la scelta delle colture e/o richiedono importanti ed accurate pratiche di conduzione.

I suffissi 's' e 'w', riportati nella tabella di sintesi accanto alla classe, si riferiscono rispettivamente alla sussistenza di limitazioni di tipo pedologico, quali scarsa profondità del suolo, bassa saturazione del complesso di scambio (TBS) o altro, specificato tra parentesi a fianco della classe, o alla presenza di eccesso idrico nel profilo.

La **capacità protettiva dei suoli nei confronti delle acque sotterranee** esprime l'attitudine dei suoli a funzionare da barriera naturale nei confronti della propagazione di inquinanti idrosolubili. Tale capacità protettiva costituisce un elemento fondamentale nella valutazione della vulnerabilità delle acque sotterranee all'inquinamento, la cui determinazione contempla però la valutazione di numerosi altri parametri, quali la topografia, le caratteristiche di dispersività dell'inquinante nell'insaturo (sotto il suolo) e nel saturo (falda), e le caratteristiche dinamiche della falda stessa.

Si riporta di seguito lo **schema di analisi applicato dall'ERSAL**, con alcune semplificazioni relative alla classe granulometriche e con la traduzione dei termini originariamente in inglese. Lo scopo attuale è di rendere comprensibile al lettore la procedura seguita, mentre per una precisa individuazione della metodologia occorre riferirsi al *"manuale per la compilazione delle schede delle unità cartografiche"* dell'ERSAL.

La definizione della permeabilità in particolare rappresenta un parametro di complessa definizione che deve essere valutato in campagna osservando le principali caratteristiche del suolo che influenzano la velocità di infiltrazione dell'acqua (tessitura, porosità, struttura etc.), e non pare necessario riportare per esteso le categorie occorrenti a tale determinazione. Il valore indicato assieme al giudizio qualitativo rappresenta la stima della velocità di infiltrazione che gli Autori del metodo (USDA) ritengono di poter associare alle caratteristiche pedologiche individuate, e non il risultato di misure appositamente eseguite.

I valori di pH e C.S.C. che vengono utilizzati nella procedura sono i più alti tra quelli riscontrati entro i 100 cm.

Classi di capacità protettiva	PARAMETRI			
	PERMEABILITÀ (vel.in m/sec)	profondità della falda	classi granulometriche	pH e C.S.C. (in meq/100 gr)
ELEVATA	Bassa $10^{-6} \div 10^{-8}$	>100 cm	Argillosa, argillosa limosa, argilloso-franca, limoso grossolana, franca, argilloso scheletrica, più tutte le classi fortemente contrastanti in cui il primo termine sia argillosa o argilloso limosa	>5 >10
MODERATA	Moderata $10^{-5} \div 10^{-6}$	50-100 cm con permeabilità bassa > 100 cm con permeabilità moderata	Franca grossolana e franco scheletrica, più tutte le classi fortemente contrastanti in cui il primo termine non sia argillosa o argilloso limosa	4,5-5,5 5-10
BASSA	Elevata $10^{-4} \div 10^{-5}$	<50 cm con permeabilità bassa < 100 cm con permeabilità moderata	Sabbiosa, sabbioso scheletrica, frammentale più tutte le classi fortemente contrastanti in cui il primo termine sia sabbiosa, sabbioso scheletrica o frammentale	< 4,5 <5

Nell'analisi realizzata dall'ERSAL i suoli presenti sul "Livello fondamentale della Pianura" presentano una capacità protettiva da MODERATA ad ELEVATA in funzione dell'abbondanza della frazione fine (argillosa) nel profilo, e del correlato valore di C.S.C. I suoli della piana olocenica sono tutti collocati nella classe di BASSA capacità protettiva a causa principalmente del limitato spessore del suolo e della limitata profondità della falda.

6 Idrografia e idrologia

6.1 Aspetti generali

L'elemento principale dell'idrografia è rappresentato dal fiume Po, che come detto percorre in territorio comunale circa 1 Km lungo il confine sud occidentale, ma tutta la struttura idrografia è costituita in stretta relazione con la morfologia del territorio descritta nei capitoli 1 e 4.

Lo schema funzionale è costituito da un **sistema irriguo disposto in direzione NNW-SSE**, che in buona parte raccoglie acque di colatura provenienti dai territori più settentrionali e serve i terreni del "Livello fondamentale della Pianura" (acque alte, per un'estensione di circa **4,25 Km²**), mentre a valle della scarpata morfologica principale (acque basse) trova posto un **articolato sistema di drenaggio** incentrato sul Collettore Generale di Bonifica (composto dal canale che prende denominazioni di Ancona, Mortizza, Allacciante, Gandiolo e Tosi lungo il suo percorso), completato nella forma attuale nel 1925, e che consente l'allontanamento delle acque meteoriche e di quelle scolanti dal terrazzo con scarico nel Po all'altezza dell'abitato di Castelnuovo Bocca d'Adda.

I terreni a sud del canale Gandiolo, per circa **3,86 Km²** in territorio comunale, sono serviti da una rete di **distribuzione in pressione**, alimentata da un impianto di sollevamento posto in prossimità del Ponte di Mezzano sul Canale Allacciante.

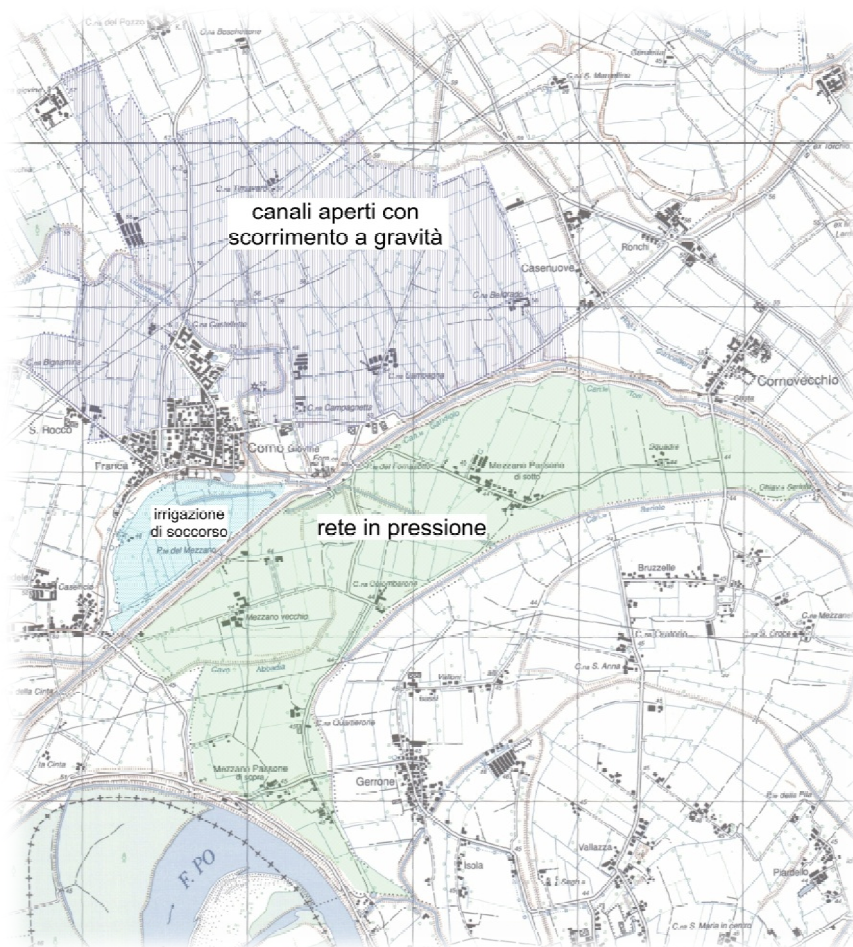


Figura 12: suddivisione del territorio comunale in aree irrigue



Figura 13 impianto di sollevamento e manufatto di irrigazione alimentato dalla rete in pressione. A destra colatore Gandiolo a valle della Cascina Mizzi.

L'area posta tra il canale Gandiolo e il piede della scarpata principale (**0,45 Km²**) è servita da irrigazione di soccorso, ossia dalle colature provenienti dai canali di drenaggio posti parallelamente alla scarpata principale e drenanti verso est (Fornasotto (detto anche cavo Fontana) e colatore Gandiolo).

Tutte le acque che irrigano il terrazzo pleistocenico sono convogliate in un'antica e ben tenuta rete di rogge e di derivatori secondari e terziari della Muzza, e localmente provengono da **derivazioni delle rogge Regina Codogno** in località Cà dell'Acqua (al confine settentrionale del territorio di Codogno, presso la SS 591) e **Morara**.

Dalla regina Codogna deriva in particolare il sistema di colatori Trecco – Molina che in prossimità del confine NW di Maleo si divide nei rami Sigola, Pozzo e Maleo che attraversano rispettivamente le porzioni più occidentali ed orientali del territorio di Corno Giovine, mentre la roggia Morara, che attinge le acque dalla roggia Cotta Baggia presso la C.na Rovedaro (poco a sud di Castiglione d’Adda), serve la fascia centrale.

Di seguito si riportano i dati parziali che è stato possibile acquisire sulle rogge

<i>nome</i>	<i>portata concessa estiva in l/s</i>	<i>portata concessa invernale in l/s</i>
Morara	2000 ?	?
Trecco ramo Sigola	169,26	260,53
Trecco ramo Maleo	350,95	-
Molina Zoccola	67,89	88,94
Molina Pozzo	229,98	60,68

La Roggia Guardalobbia costituisce un asse di drenaggio trasversale disposto in direzione NW-SE, che raccoglie le acque dell’area occidentale ed in particolare della **Molina Pozzo**, e percorre il perimetro nord e est dell’abitato di Corno Giovine per scaricare le acque nel colatore Gandiolo in prossimità della località Fornace, e successivamente nel canale Gandiolo.



Figura 14: scarico della roggia Molina nella Roggia Guardalobbia



Figura 15 Scarico della Roggia Guardalobbia nel colo Gandiolo e a destra del colo stesso nel canale Gandiolo

Nel medesimo punto di scarico confluiscono anche le acque di colatura delle aree a nord della Cascine Campagna e Campagnetta, che percorrono nell'ultimo tratto la forra



Figura 16 Scarico del colo Trecco nel canale Gandiolo

presente in prossimità del cimitero. Le acque dal ramo Maleo del colatore Trecco scaricano direttamente nel canale Gandiolo circa 1,4 Km più ad est, in prossimità del confine con il comune di Corno Vecchio.

massime di 60 m³/sec. Localmente il canale è denominato Allacciante (derivando da opere di collegamento tra il canale Mortizza e Gandiolo).

Lungo il Canale Allacciante è presente una protezione spondale fatta di lastre di calcestruzzo, generalmente in cattivo stato di conservazione, ad eccezione dei primi 80 m in territorio comunale per recente rifacimento. Poco a valle delle confluenza della Roggia Guardalobbia il canale (che nel catastale assume la denominazione di colatore Gandiolo, e nell'IGM di Canale Gandiolo e Canale Tosi), è rivestito con pietrame sciolto ed è interessato da numerose soglie. Sono presenti diffusi fenomeni erosivi, in particolare nel tratto compreso tra le longitudini di Mezzano Passone e Squadre



Figura 17 Canale Allacciante nel tratto SW, a monte del ponte del Mezzano



Figura 18 Canale Gandiolo a valle del ponte del Fornasotto



Figura 19 Colatore o Canale Seriole

La porzione di territorio collocata ai piedi della scarpata morfologica principale in prossimità dell'abitato è solcata da due colatori che drenano i terreni interessati da falda subaffiorante (risorgenze di terrazzo) in direzione est verso il Canale Gandiolo (congiungendosi con il colatore Guardalobbia), e verso sud (Fornasotto), sottopassando il Canale Allacciante, verso il Colatore Seriole.

Quest'ultimo costituisce l'asse meridionale di drenaggio del territorio comunale, e scorre in direzione W-E raccogliendo le acque della porzione meridionale del territorio (il citato Fornasotto, il Colatore Mezzano Passone (detto anche Abbadia), lo scarico fognario di Mezzano Passone, e quello dei campi fino a Squadre), scorrendo al centro di una depressione naturale rappresentata da un antico alveo abbandonato prima del XV secolo.

Il colatore Seriole percorre tutto lo sviluppo del paleoalveo fino a confluire a sud nel canale Risaia in territorio di Caselle Landi, le cui acque sono successivamente convogliate mediante un impianto di sollevamento nel Canale Gandiolo in località Piardello.

6.2 Elementi dell'idrografia e idrologia del Po

6.2.1 PREMESSA

La conformazione del territorio consente di individuare chiaramente che l'area ai piedi della scarpata principale forma la superficie di maggiore rischio geologico e idrogeologico del territorio comunale, e che in particolare *"lo scenario di tracimazione e rottura degli argini maestri del fiume Po costituisca uno scenario di catastrofe nazionale che per intensità ed estensione deve essere fronteggiato con mezzi e poteri straordinari di protezione civile (lettera c, art. 2 L.225/1992 e D.M. 650/1995)"* (da: Progetto strategico per il miglioramento delle condizioni di sicurezza idraulica ... Luglio 2005).

Per tale ragione buona parte delle indagini dirette, delle raccolte dati e delle elaborazioni contenute nella presente aggiornamento della relazione geologica sono riferite a questo aspetto.

Le informazioni relative all'idrografia ed all'idrologia del Po nel tratto di interesse, sono in parte riprese dai documenti contenuti nel Progetto di Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico, ed in particolare nelle *"Linee generali di assetto idraulico e idrogeologico"* disponibile sul sito <http://www.adbpo.it>, adottato senza modifiche con deliberazione del Comitato Istituzionale n. 18/2001 nella seduta del 26 aprile 2001, e denominato brevemente PAI.

Sul sito sopra indicato dell'autorità di bacino sono presenti numerosi documenti che integrano e aggiornano gli elaborati del PAI. Con riferimento al presente tratto fluviale sono stati consultati e riassunti i seguenti documenti:

Analisi morfologica – Tendenza evolutiva del fondo alveo (2002)

e

Profili di fondo alveo medio delle sezioni di rilievo nel periodo 1954-2000 (2002)

Programma generale di gestione dei sedimenti alluvionali dell'alveo del fiume Po stralcio confluenza Tanaro - confluenza Arda (ott. 2005)

RELAZIONE TECNICA

ALLEGATO 1 cartogramma di sintesi delle caratteristiche granulometriche e litologiche dei sedimenti dell'alveo

ALLEGATO 2 Cartografia geomorfologica e tendenze evolutive in atto

ALLEGATO 3 Cartogramma di sintesi dell'assetto attuale del corso d'acqua

ALLEGATO 4 Cartografia dell'assetto attuale del corso d'acqua

ALLEGATO 6. Cartografia degli interventi sul corso d'acqua

Aggiornamento catasto arginature maestre del fiume Po da foce Tanaro al Po di Goro - Riepilogo dati principali nov. 2004;

Progetto strategico per il miglioramento delle condizioni di sicurezza idraulica dei territori di pianura lungo l'asta medio - inferiore del fiume Po - Luglio 2005: Relazione Tecnica di sintesi delle attività di studio condotte dall'Autorità di bacino del fiume Po in seguito all'evento alluvionale dell'ottobre 2000 e di definizione delle linee progettuali strategiche da attivare per il miglioramento delle condizioni di sicurezza idraulica dei territori di pianura lungo l'asta medio-inferiore del fiume Po

Il recupero morfologico ed ambientale del fiume Po. Il contributo del Programma generale di gestione dei sedimenti del fiume Po (2006)

Cartografia delle variazioni planimetriche dell'alveo del fiume Po (2008)

e

Cartografia delle caratteristiche geomorfologiche dell'alveo e delle aree inondabili del fiume Po (2008)

Edifici in aree a rischio di alluvione - come ridurre la vulnerabilità. Autorità di Bacino del fiume Po e Università degli studi di Pavia (febbraio 2009).

Dal sito : <http://www.arpa.emr.it/sim/> :

Agenzia Regionale Prevenzione e Ambiente Regione Emilia Romagna Servizio Idrometeorologico -Area Idrologia- Annali Idrologici parte seconda (dal 1994 al 2008)

6.2.2 CARATTERISTICHE GENERALI

Il bacino sotteso all'idrometro di Piacenza presso il ponte della SS N.9, 8,5 km a monte del confine SW del Comune di Corno Giovine, è di 42.030 Km² ed è ritenuto dal Servizio Idrografico prevalentemente impermeabile²³. Nel tratto tra Piacenza e Corno Giovine l'unico rilevante contributo è dato dalle acque di scolo della bonifica della Bassa Lodigina mediante la chiavica Mortizza, e quindi le valutazioni idrologiche svolte per la stazione di Piacenza possono essere correttamente estese all'ansa di Mezzano Passone.

Nel tratto confluenza Trebbia - confluenza Adda l'alveo presenta un andamento prevalentemente sinuoso, a ridosso delle arginature maestre in tutti i tratti in curva; la larghezza tra le sponde è continuamente variabile e si hanno isole stabili di dimensioni rilevanti in fase di ricollegamento con una delle due sponde.

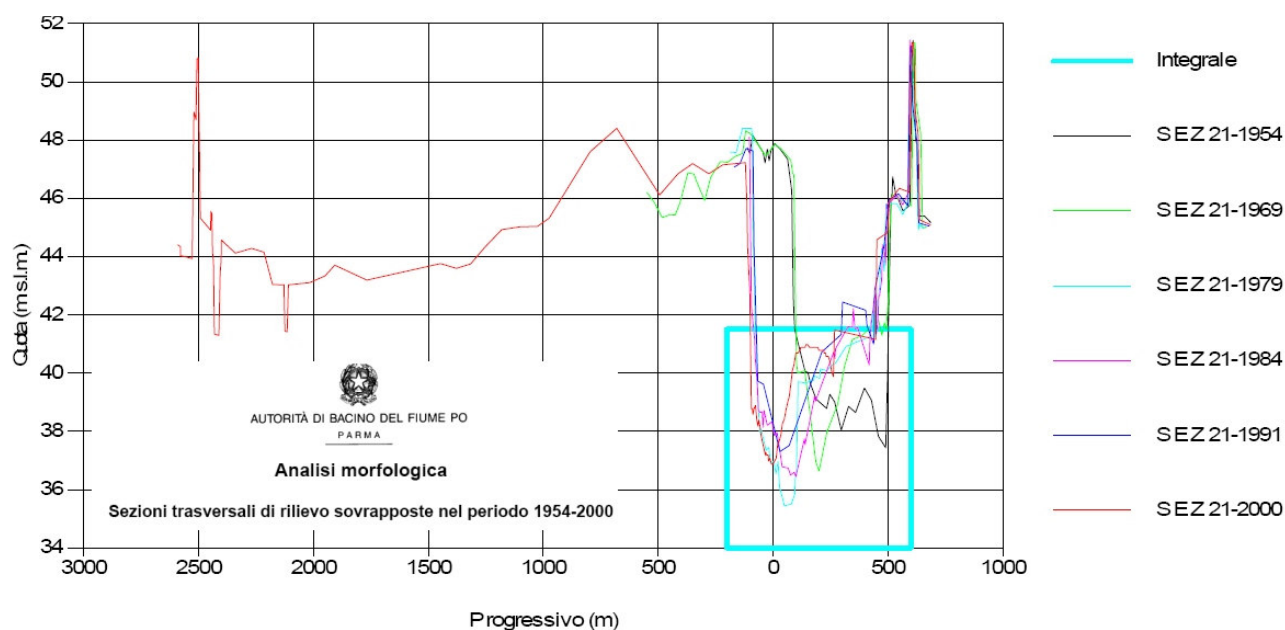
Vi è la quasi generalizzata assenza di fenomeni erosivi rilevanti a carico delle sponde, mentre si osserva invece una **lieve ma generalizzata tendenza al deposito**, a cui è corrisposto un modesto innalzamento del fondo alveo nell'ultimo decennio. Tale tendenza si manifesta **presumibilmente per effetto del rigurgito dello sbarramento idroelettrico di Isola Serafini**. (si veda a proposito anche quanto riferito nel capitolo 1).

La costruzione dell'opera, entrata in esercizio nel 1963, ha comportato due effetti che si sono sommati:

- ha impedito lo svilupparsi, a seguito del taglio di meandro, della naturale tendenza all'erosione del tratto a monte e di deposito a valle; il tronco a valle della traversa ha di conseguenza sviluppato una forte erosione di fondo e una elevata instabilità morfologica dell'alveo;
- ha ridotto il trasferimento a valle del trasporto solido di monte, in relazione sia alle modifiche strutturali dell'alveo sia alle modalità di gestione della regolazione della traversa (a quota idrica di monte invariata); il bilancio del trasporto solido riferito al periodo 1954-63, anteriore all'entrata in esercizio dell'opera, e 1963-70, posteriore, porta a stimare in **circa 2 milioni di m³/anno il volume di trasporto solido trattenuto dallo sbarramento**.

Si riporta in Figura 20 le raffigurazioni dell'evoluzione delle quote dell'alveo in prossimità ed in corrispondenza del tratto di Corno Giovine.

²³ Cati L. (1981) - *Idrografia e Idrologia del Po* - Pubblicazione n°19 dell'Ufficio Idrografico del Po. Ed. Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato, Roma. Negli annali idrologici il deflusso medio annuo alla stazione di Piacenza è di 844 mm per il periodo 1991-1999 e di 718 mm per il periodo 2000-2007. In nessuno degli anni idrologici consultati, dal 1994 al 2008 è indicato il coefficiente di deflusso.



Sezione	Corso d'acqua	Rilievo	Progressiva longitudinale	Quota idrometrica	Area Deflusso
Denominazione	Denominazione	Anno	km	m s.m.	m²
SEZ 21-1954	PO	1954	329,275	41,50	1273
SEZ 21-1969	PO	1969	329,275	41,50	973
SEZ 21-1979	PO	1979	329,275	41,50	1380
SEZ 21-1984	PO	1984	329,275	41,50	1485
SEZ 21-1991	PO	1991	329,275	41,50	1504
SEZ 21-2000	PO	2000	329,275	41,50	938

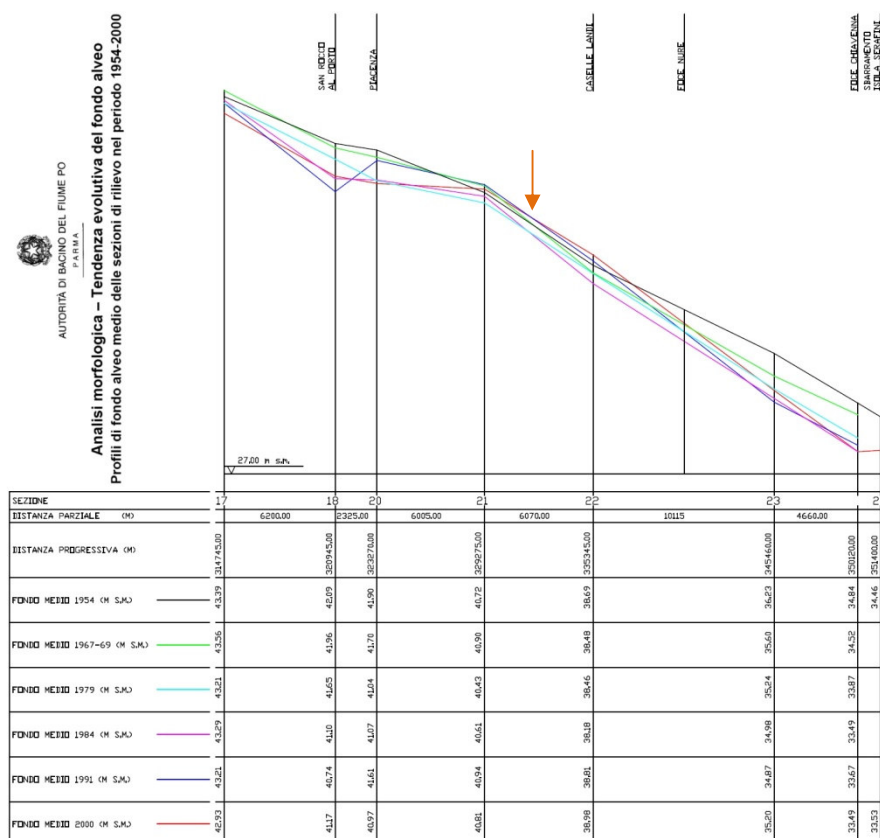


Figura 20: sezione 21 (2,6 km a monte dell'ansa di Mezzano Passone) e profilo medio del fondo in varie date.

La necessità di una corretta gestione dei sedimenti alluvionali dell'alveo ha condotto a stipulate tra Autorità di bacino, AIPO, Regione Lombardia, Regione Emilia Romagna e

Regione Veneto, , *“l’Accordo per la gestione dei sedimenti del fiume Po da confluenza Tanaro al mare”* (ottobre 2004) nell’ambito del quale sono previsti studi sulle dinamiche di trasporto solido propedeutiche al *“Programma generale di gestione dei sedimenti”*.

In particolare sono stati previsti

1. aggiornamento delle conoscenze in relazione alle dinamiche morfologiche in atto e al bilancio del trasporto solido;
2. definizione dello **stato attuale** e delle **criticità presenti** lungo l’asta fluviale;
3. definizione degli obiettivi di manutenzione;
4. definizione di regole, criteri e linee di intervento per la corretta gestione dei sedimenti;
5. programmazione e progettazione a livello di fattibilità degli interventi rilevanti a livello di intera asta fluviale;
6. definizione e programmazione delle attività di monitoraggio delle caratteristiche morfologiche dell’alveo.

Considerando la rilevanza pratica delle valutazioni e delle previsioni d’intervento contenute nei documenti, riguardanti anche in particolare il tratto in territorio di Corno Giovine, si è ritenuto opportuno elaborare una sintesi unendo, dove ritenuto opportuno, informazioni provenienti anche da altre fonti.

6.2.3 SINTESI DELLE ANALISI DEL “PROGRAMMA GENERALE DI GESTIONE DEI SEDIMENTI”

6.2.3.1 Lo stato attuale

Come sopra accennato il tratto fluviale compreso tra “Pieve Porto Morone”, circa 48 km a monte di Corno Giovine, e la confluenza con il F. Adda, circa 28 km a valle, è caratterizzato da un alveo meandriforme, la cui evoluzione naturale appare “congelata” dalla presenza di arginature e difese spondali che seguono lo sviluppo planimetrico dei meandri stessi.

In funzione della granulometria prevalente (criterio sedimentologico), della configurazione morfologica delle barre e della relativa “sensibilità idraulica” (intesa come sensibilità al regime ordinario o straordinario), sono stati differenziati cinque “tratti omogenei”.

Nel “tratto omogeneo 3”, dalla progressiva km 286 (Pieve Porto Morone) alla progressiva km 356 circa (sbarramento centrale Isola Serafini) cui appartiene Corno Giovine, il fiume Po è decisamente monocursale, fortemente canalizzato e meandriforme, di bassa energia. Si riscontra la presenza di isole fluviali di apprezzabili dimensioni.

I depositi sono costituiti essenzialmente da **sabbie e ghiaietto**. Le ghiaie sono presenti localmente nel thalweg (linea ideale congiungente i punti di massima profondità dell’alveo) e, più diffusamente, alla base dei depositi sabbiosi costituenti le barre sia laterali, sia longitudinali.

Per quanto riguarda tali forme di fondo, ad eccezione delle barre di confluenza con Tidone e Trebbia (depositi ghiaiosi grossolani), esse sono costituite da depositi sabbiosi medi con ghiaietto.

Si ha una **sensibile impronta appenninica** (calcari a scapito delle quarziti e delle rocce metamorfiche), soprattutto **nei ciottoli**. La **matrice sabbiosa, invece, conserva anche una forte impronta alpina**.

Nel tratto si ha un **substrato molto grossolano, corazzato** e relativamente più antico (ad affinità appenninica), **sul quale risulta ancorato il fondo alveo**.

Il volume di materiale complessivamente eroso dalle sponde e attraverso la rimobilizzazione delle barre, nel ventennio esaminato (1982-2002), è pari a circa 5.000.000 di m³, di cui 3.000.000 circa dalle sponde e 2.000.000 circa dalle barre; il volume complessivamente depositato ammonta a 10.700.000 m³ circa, evidenziando una **tendenza all'incremento volumetrico delle forme di fondo**.

Infatti, è stata riscontrata una generale chiusura di gran parte dei canali laterali delimitanti alcune isole fluviali, con tendenza al collegamento fisico tra sponda e isola stessa; il 45% - 50% circa del materiale complessivamente eroso dalle sponde e dalle barre risulta essere stato mobilizzato in condizioni di regime ordinario.

Le modificazioni delle forme di fondo appaiono pertanto condizionate in eguale misura dall'attività ordinaria e da quella straordinaria, verosimilmente anche a causa della presenza diffusa di opere di difesa spondale, che limitano i fenomeni erosivi durante la vita ordinaria del corso d'acqua.

Questa dinamica trova riscontro anche nella morfologia delle barre stesse, evidenziando una sensibilità idraulica ancora più elevata (altezza media delle barre per l'intero tratto pari a 1,7 metri con punte massime di 3,0 metri circa) e fronti delle barre in continuità morfologica con l'alveo sommerso.

L'indice di "sensibilità idraulica" (H_{sponda}/H_{barra}), per l'intero tratto, risulta pari a 4,65.

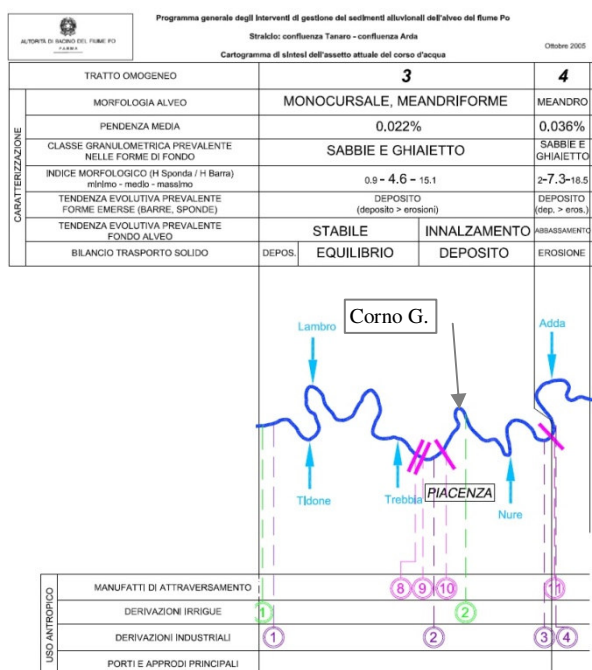


Figura 21 : sintesi dell'assetto attuale

proseguire nell'area extra golenale in corrispondenza dei paleoalvei, chiaramente individuati nella cartografie storica in corrispondenza della roggia Seriole e del colatore Gandiolo ai piedi della scarpata principale.

Si espongono di seguito nelle rappresentazioni planimetriche e nella tabella le principali caratteristiche sopra accennate.

Le raffigurazioni sono uno stralcio degli allegati alla relazione citata nell'intestazione del presente paragrafo.

Le informazioni possono consentire un'analisi comparata delle caratteristiche litologiche dei depositi della piana olocenica, ovvero di interpretare sotto il profilo sedimentologico la successione nei primi 10 - 20 metri. In particolare si sottolinea la presenza nell'alveo del substrato ghiaioso ciottoloso, che almeno ipoteticamente dovrebbe

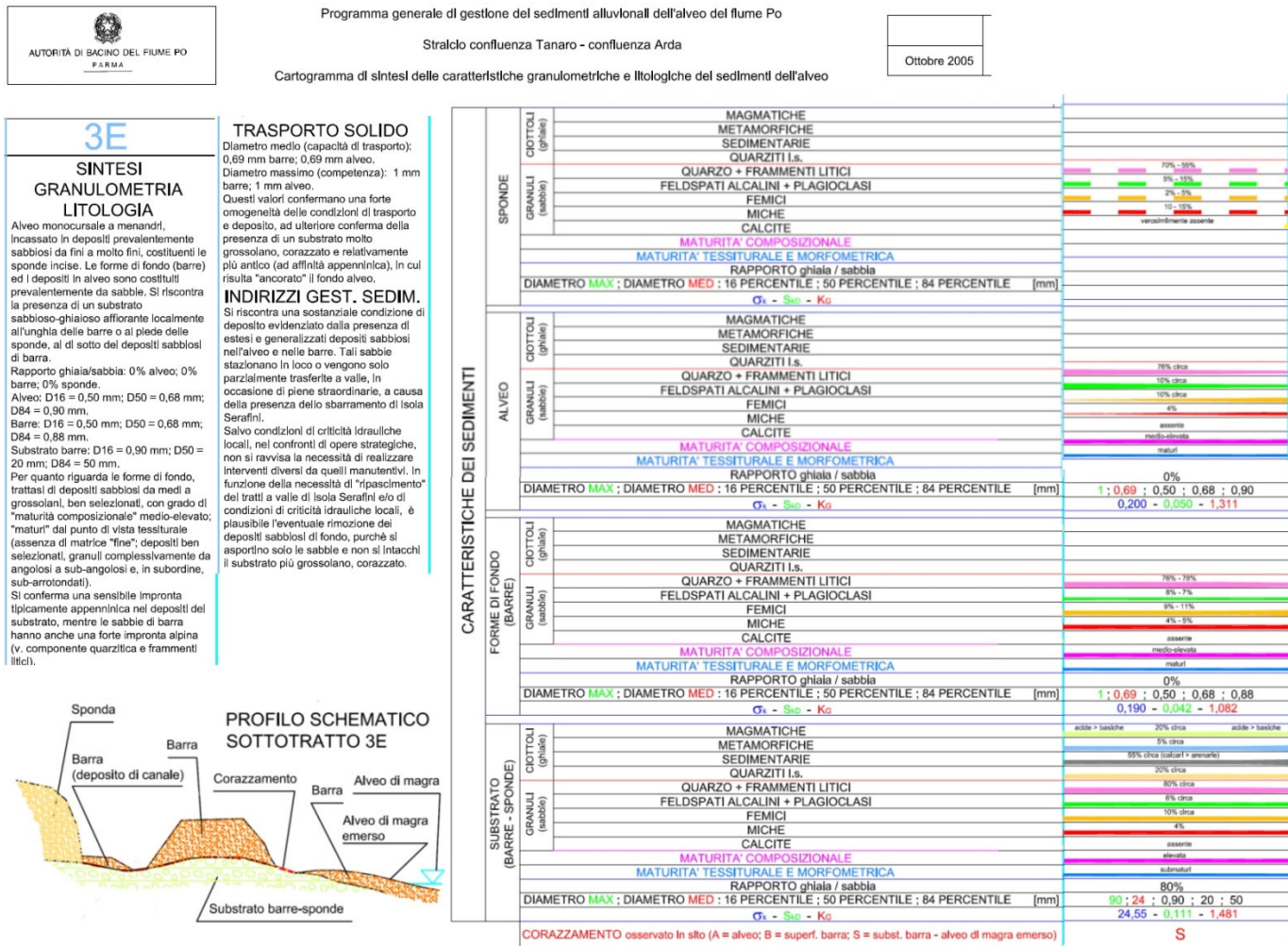


Figura 22: sintesi delle caratteristiche mineralogiche e tessiturali dei depositi del tratto 3E da Piacenza a Isola Serafini.

Tale condizione è ritenuta generalmente responsabile delle generazione delle condizioni di maggiore rischio di sifonamento degli argini.



A tale proposito si riporta una planimetria che riferisce l'andamento dei paleoalvei e l'entità in metri del dislivello rispetto alla sponda del fiume Po²⁴. Tale cartografia rappresenta indirettamente anche le aree di maggior rischio di allagamento in caso di rottura arginale (escludendo dubitativamente la superficie a NW del canale Gandiolo, protetta dagli argini dello stesso).

Figura 23: paleoalvei e profondità in metri dalla quota della sponda del Po

²⁴ Govi M., Maraga F., Masino A., Turitto O. "Proposta di mappatura di alvei abbandonati in relazione al rischio d'inondazione in Pianura Padana" 1° Convegno Nazionale AIGA Chieti, 19-20 febbraio 2003.

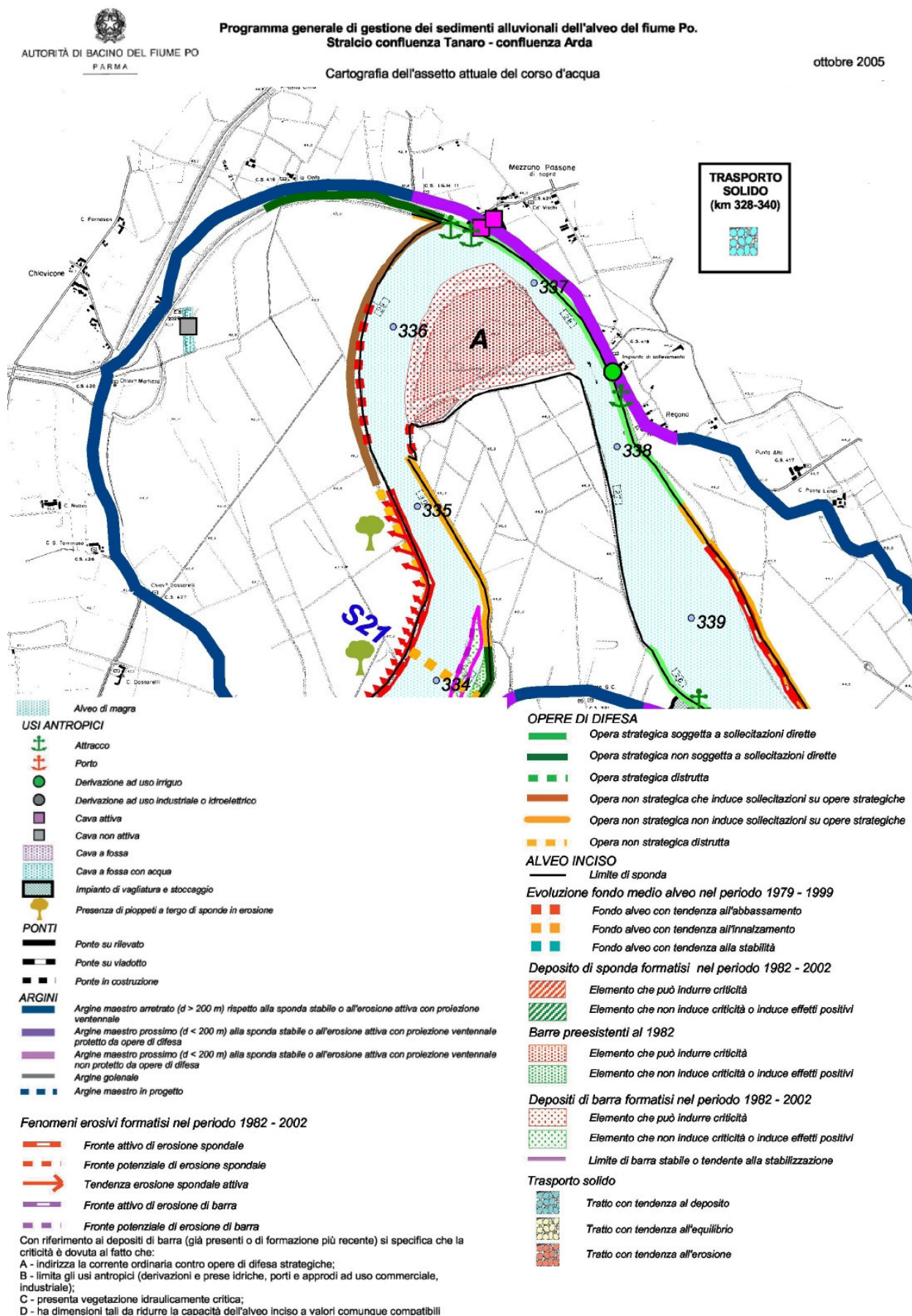


Figura 24: stralcio della cartografia - stato attuale del "Programma di gestione dei sedimenti dell'alveo del Po"

Il tratto in argomento è interessato dalla presenza di numerose forme di fondo, tra cui alcune isole che durante il ventennio si sono unite alla sponda più vicina. Alcune forme di fondo sono in grado di indurre criticità, soprattutto legate all'**azione di indirizzamento della corrente ordinaria contro opere di difesa strategiche. Il meandro di Mezzano Passone ed il sistema di protezione arginale in particolare sono interessati dagli effetti dalla barra in accrescimento indicata con "A" nella figura precedente.**

L'analisi ha consentito inoltre agli autori di valutare che in questo tratto i fenomeni di erosione spondale, pur presenti, sono sostanzialmente compatibili con la stabilità delle strutture di protezione.

Il sistema difensivo mostra la presenza di alcune opere non strategiche in grado di indurre sollecitazioni critiche su opere strategiche. Tra questi rientra quella posta nei pressi della località Chiavicone, in corrispondenza dell'area golenale denominata l'Isolone e in località Cascina La Baracca (v. Figura 24).

6.2.3.2 Obiettivi del programma

La cartografia riporta gli obiettivi a cui è necessario fare riferimento per la successiva definizione degli interventi nel tratto fluviale a monte di Isola Serafini.

In tale tratto occorre **aumentare la capacità di trasporto dei depositi** che concorrono ad indurre marcate erosioni del fondo alveo a valle.

Occorre inoltre favorire l'abbassamento delle quote di fondo medio dell'alveo perché innesca fenomeni non compatibili con l'assetto fluviale complessivo (es. innalzamento fondo a monte di Isola Serafini).

La **navigazione prevista è di tipo turistico permanente**. Tale obiettivo presuppone la presenza in alveo di tiranti di almeno 0,5 m. La navigazione di tipo commerciale rappresenta un solo a valle di Cremona.

Per quanto concerne gli obiettivi locali, le **opere da salvaguardare sono il sistema arginale e le diverse opere di derivazione** (come la presa per irrigazione a Mezzanone del Consorzio di Bonifica Muzza – Bassa Lodigiana).

L'assetto di progetto dell'alveo è rappresentato **dalla fascia di rispetto all'interno della quale l'alveo inciso non può scorrere**, al fine di salvaguardare gli argini maestri. Tale fascia è prossima alla sponda dell'alveo inciso per lunghi tratti, come in corrispondenza di Mezzano Passone.

L'alveo di magra assume a Mezzano Passone, come in diversi altri punti del tratto in esame, una configurazione tale da indurre consistenti azioni idrodinamiche durante condizioni di deflusso ordinarie contro opere di difesa strategiche. Nei confronti di tali criticità sono stati individuati gli obiettivi di **correzione della configurazione planimetrica riportati nella cartografia**.

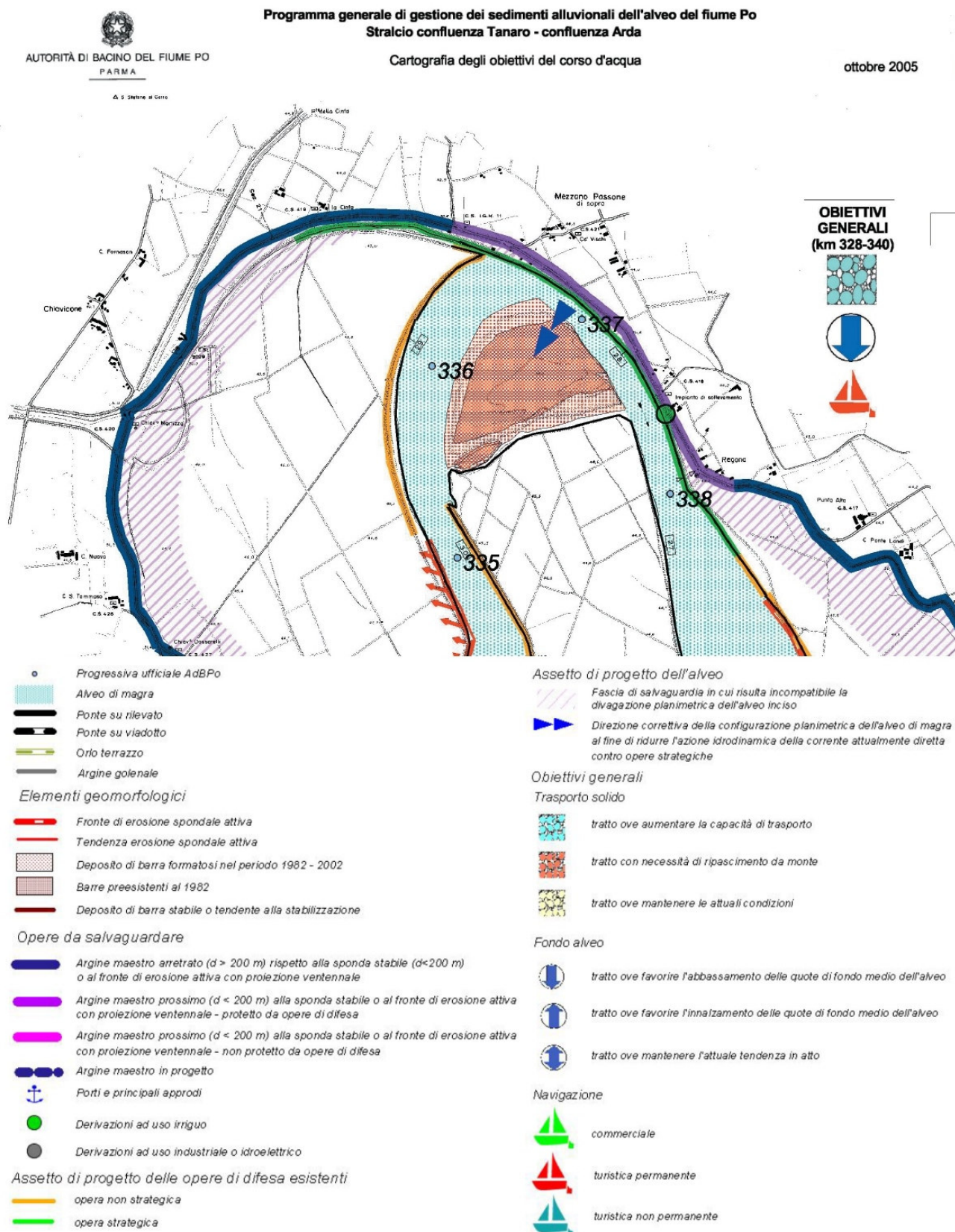


Figura 25 : stralcio della cartografia – obiettivi - del “Programma di gestione dei sedimenti dell'alveo del Po

6.2.3.3 Gli interventi

Le attività svolte hanno permesso di raggruppare i **singoli interventi strutturali strategici** finalizzati alla gestione dei sedimenti, in 18 macro interventi rilevanti a scala di asta fluviale. In particolare per il tratto di Corno Giovine sono rilevanti i seguenti:

Intervento 13 - Mortizza: si prevede la realizzazione di opere di difese longitudinali che permettono di rendere continua la difesa degli argini in froldo posti al km 332 in sponda sinistra e al km 333 in sponda destra. Si prevede inoltre la **dismissione di alcuni tratti di opera di difesa longitudinale** che hanno indotto l'attuale configurazione planimetrica del meandro (lunghezza complessiva pari a circa 2'200 m, altezza pari a circa 10 m, inclinazione del paramento di 30° sull'orizzontale e spessore pari a 1.5 m) e **la realizzazione di un ramo di Po all'interno dell'attuale area golenale posta in sinistra**, in modo da ridare al meandro una curvatura meno accentuata rispetto all'attuale e di conseguenza ridurre l'azione della corrente contro gli argini in froldo posti in sponda sinistra. La lunghezza complessiva del nuovo ramo di Po è pari a circa 3'200 m, a cui corrisponde una volumetria pari a circa 6 – 8 milioni di metri cubi (esterni all'attuale alveo inciso). Parte di tale volumetria potrebbe essere prelevata, secondo alcune fasi da definire nella fase di progettazione, in modo da favorire la formazione del nuovo ramo fluviale.

EFFETTI ATTESI: aumento della mobilità fluviale verso le aree golenali e modifica della configurazione planimetrica dell'alveo con conseguente salvaguardia delle arginature presenti.

Intervento 16: Fondo alveo Piacenza – Isola Serafini. Mediante l'uso di una draga natante si prevede di **prelevare il materiale depositatosi sul fondo nel tratto tra Piacenza ed Isola Serafini e di depositarlo a valle della centrale**, indicativamente nel tratto che comprende il canale di scarico della centrale, fino a Cremona. L'ostacolo della centrale e della traversa può essere superato mediante l'utilizzo della nuova conca di navigazione che è in fase avanzata di progettazione. Il volume che è necessario prelevare è dell'ordine di 500'000 m³/anno, pari alla capacità di trasporto di equilibrio del Po nel tratto analizzato.

EFFETTI ATTESI: riduzione dei fenomeni di deposizione nel tratto tra Piacenza e Isola Serafini e ripascimento del tratto di Po a valle del canale di scarico della centrale di Isola Serafini.

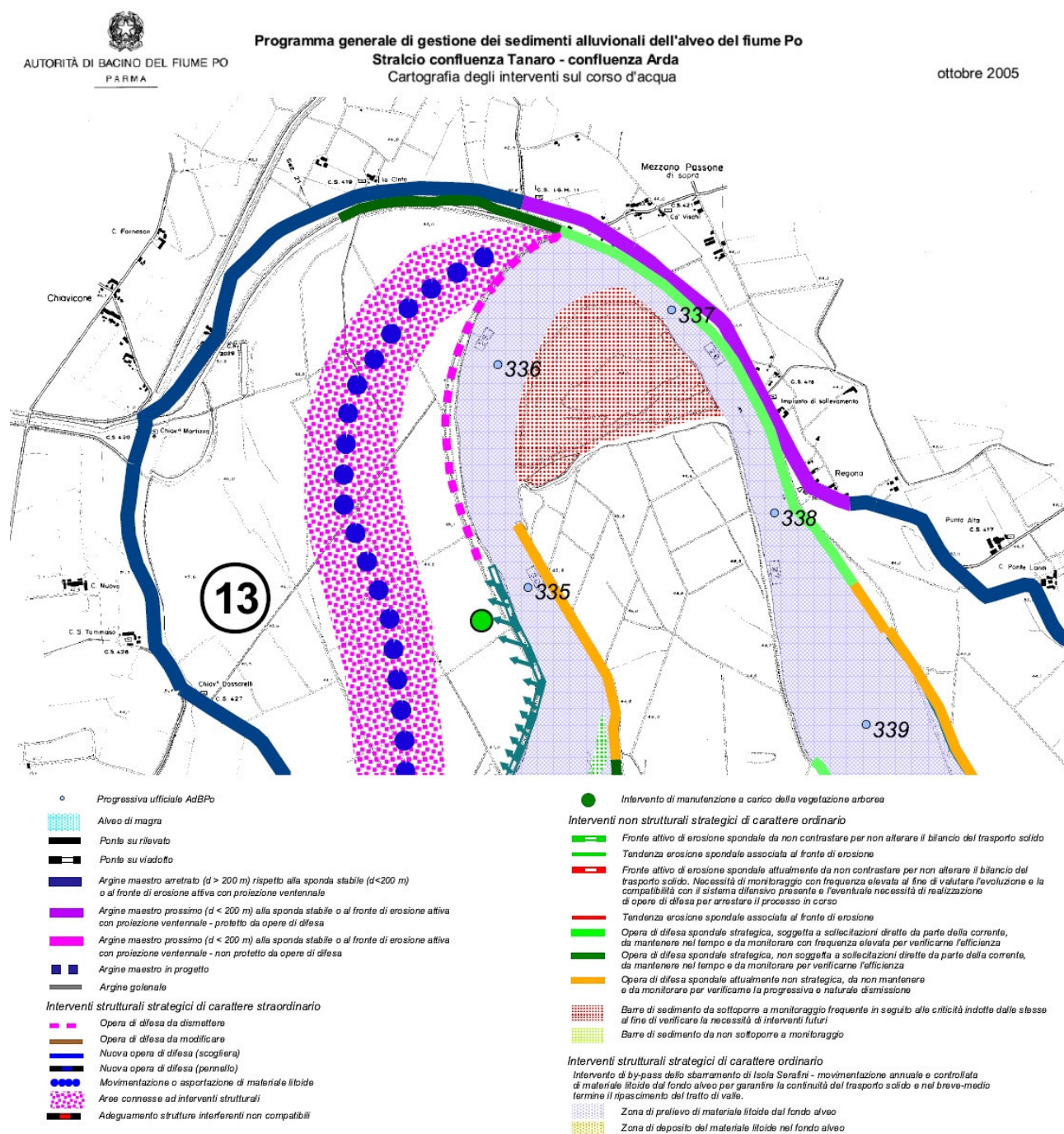


Figura 26 : stralcio della cartografia – interventi - del “Programma di gestione dei sedimenti dell'alveo del Po.

A seguito all'evento alluvionale dell'ottobre 2000, che ha sottoposto le arginature ad un elevatissimo “collaudo”, l'AdBPo ha avviato studi per il miglioramento delle condizioni di sicurezza idraulica dei territori di pianura lungo l'asta medio-inferiore del fiume Po.

Di seguito si propone una sintesi che riferisce le problematiche generali e quelle specifiche del tratto in territorio di Corno Giovine, che saranno successivamente confrontate con l'esito delle indagini direttamente eseguite per il presente PGT.

6.2.1 SINTESI DEL PROGETTO STRATEGICO PER IL MIGLIORAMENTO DELLE CONDIZIONI DI SICUREZZA IDRAULICA

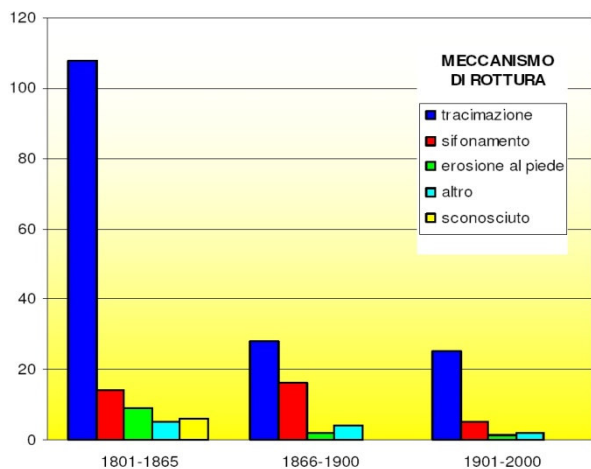


Figura 27 Rotte arginali, su diverse finestre temporali, suddivise per meccanismo che le ha prodotte.

dalla Becca al mare risalendo, per rigurgito, gli affluenti, sono trascorsi infatti migliaia di anni di storia.

Solo però dalla seconda metà del XIX secolo, le piene di Po si possono considerare contenute in un sistema regolare e pressoché continuo che, con argini maestri, chiaviche di interclusione dei colatori, argini di rigurgito degli affluenti, delimita le zone lasciate all'espansione delle acque da quelle definitivamente estromesse.

Tale sistema ha avuto nel XX secolo fasi significative di rialzo e ringrosso oltreché di estensione verso monte in corrispondenza degli affluenti principali, fasi che si sono in particolare intensificate in seguito agli eventi di piena più rilevanti del 1929, 1951, 1994 e 2000. La sagoma tipo degli argini antecedente il nov. 1951 era nella maggior parte di tipo semplice; successivamente al nov. 1951 gli argini vennero in più riprese rinforzati in modo rilevante.

Gli interventi attuati e quelli in corso di attuazione in seguito agli eventi di piena del 1994 e del 2000 hanno rispettato le seguenti prescrizioni tecniche per la costruzione e l'adeguamento degli argini maestri:

1. sagoma definitiva con linea piezometrica teorica (linea di imbibizione) contenuta entro un metro dal paramento esterno ed in ogni caso non inferiore a m. 0.50;
2. larghezza in sommità m. 7.00 da Piacenza a foce Oglio, m. 8 e più da foce Oglio a valle;
3. scarpate degli argini con pendenze non maggiori di m. 1,00 su 1,50 a fiume e m. 1,00 su 2,00 a campagna;
4. larghezza delle banche variabile da un minimo di m. 3,00 ad un massimo di m. 6,00 con qualche eccezione di larghezze superiori dovute a particolari condizioni locali.

6.2.1.2 Analisi statistica delle piene storiche

La direttiva del PAI "Piena di progetto" e all'aggiornamento effettuato nel 2002 (ST1.19), consentono di riassumere le portate storiche massime al colmo alle sezioni di misura nella seguente tabella.

Stazione	Bacino	Portata massima al colmo (m³/s)				Anni di osservazione
		Piene storiche				
	km²	2000	1994	1968	1951	
ISOLA SANT'ANTONIO	25.320	10.500	10.500			
BECCA	37.770		11.500	9.060	11.250	1948-71
SPESSA		11.200				
PIACENZA	42.030	12.240**	11.055	9.500	12.800	1924-95
CREMONA	50.726	11.850	11.300	10.600		1972-95

** Il valore del colmo di Piacenza è stato desunto dalla scala di deflusso resa disponibile dagli uffici dello sbarramento Enel di Isola Serafini.

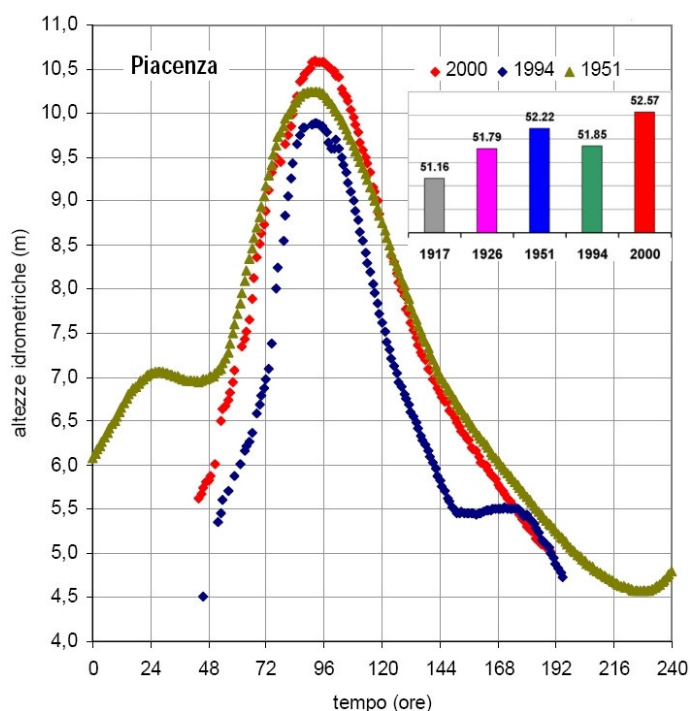


Figura 28: variazioni livelli idrometrici durante le maggiori piene a Piacenza

Le variazioni nel tempo delle quote idrometriche a Piacenza durante le maggiori piene sono illustrate nella figura a fianco, tratta da atti del Convegno nazionale: "fiume Po - messa in sicurezza e sviluppo del territorio"- Gli eventi di piena dell'asta del Po di Andrea Colombo, Lecco, 24 giugno 2004.

Si sottolinea la velocità di crescita dei livelli idrometrici pari mediamente a 5 m in 48 ore con valori massimi di 3 metri nelle 24 ore (12,5 cm/ora) negli episodi del 1994 e del 2000.

Per l'analisi statistica per la **stima delle portate di progetto** per i tempi di ritorno di 20, 100, 200 e 500 anni l'AdBPo ha utilizzato la legge di Gumbel che, da un confronto su tutte le serie analizzate, è risultata essere quella che fornisce il migliore riscontro con i test statistici di adattamento. I risultati sono riassunti nella seguente tabella.

Bacino	Corso d'acqua	Progr. (Km)	Sezione Cod.	Denomin.	Superficie (km ²)	Q20 (m ³ /s)	Q100 (m ³ /s)	Q200 (m ³ /s)	Q500 (m ³ /s)	Idrometro (denomin.)
Asta Po	Po	264.855	82	Becca	36770	9290	12190	13600	15050	Po a Becca
Asta Po	Po	322.250	67	Piacenza	42030	8970	11550	13000	14100	Po a Piacenza
Asta Po	Po	367.640	57	Cremona	50726	10090	13000	14300	15870	Po a Cremona

A Piacenza la piena del 1994 è di poco inferiore alla portata di progetto con Tr 100 anni, mentre le piene del 1951 e del 2000 sono lievemente inferiori a quella di progetto con Tr di 200 anni.

Inoltre rispetto alle piene di progetto previste dal PAI del 2001 vi è un modesto aumento del valore di progetto per Tr 200 anni a Piacenza, passato da 12.650 m³/s a 13.000 m³/s, ed un modestissimo aumento a Cremona, mentre restano invariati i restanti valori.

Le portate al colmo per assegnati tempi di ritorno in alcune sezioni fluviali non danno informazioni esaustive sull'intero evento di piena, che è invece sintetizzabile con l'intero idrogramma.

Per tale scopo il DIIAR del Politecnico di Milano (Dipartimento di Ingegneria Idraulica, Ambientale e del Rilevamento) è stato incaricato di redigere una "Caratterizzazione idrologica dell'asta principale del fiume Po nel tratto che va dalla confluenza della Dora Baltea all'incile del Po di Goro, 2001" (ST1.11), per consentire di ricavare idrogrammi di progetto di assegnato tempo di ritorno.

Il documento dell'AdBPo qui sintetizzato riporta l'idrogramma relativo alla stazione di Cremona, mentre quello di Piacenza è ricavato da una recente pubblicazione degli stessi autori dello studio. Poiché vi è la presenza di un idrometro, i valori da considerare sono quelli indicati dalla stima locale (linea nera).

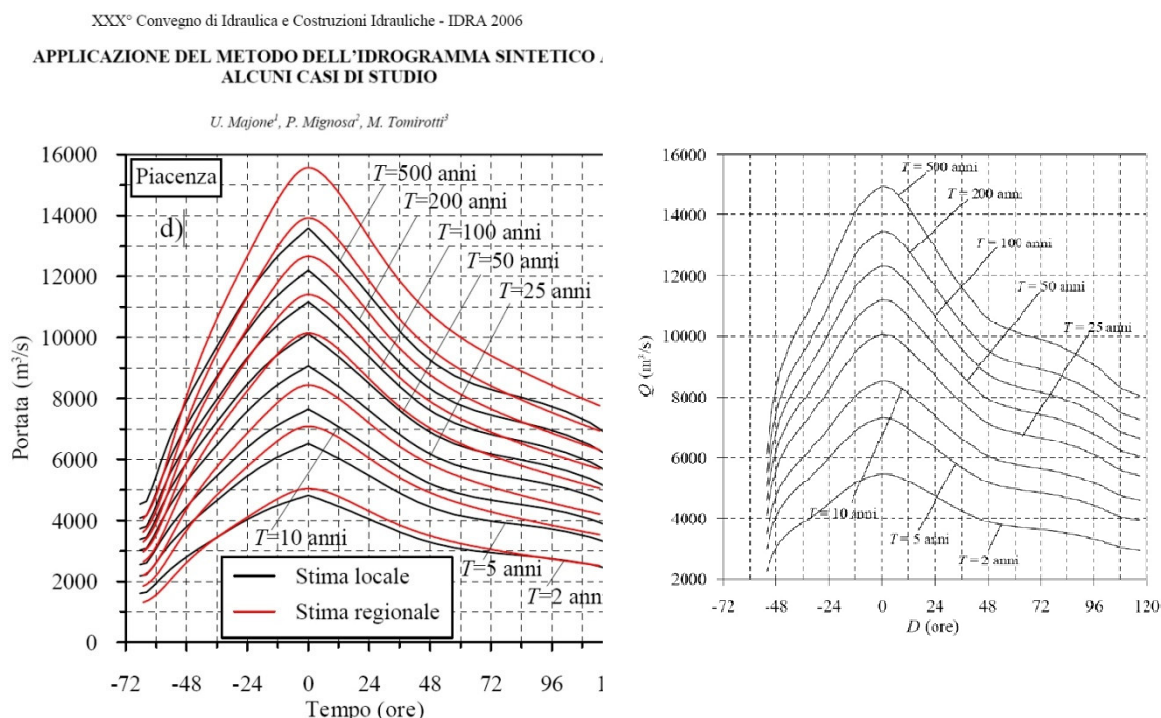


Figura 29 : idrogrammi sintetici a Piacenza derivato da una pubblicazione IDRA e a Cremona dal documento AdBPo.

6.2.1.3 La vulnerabilità delle arginature in relazione a fenomeni di tracimazione

Le registrazioni disponibili dei livelli idrici in occasione degli eventi di piena più significativi sono di seguito riferiti.

Il confronto fra tali livelli e le ore di registrazione del colmo consente, oltre che di evidenziare i valori idrometrici massimi raggiunti (in rosso), di confrontare i tempi e le velocità di propagazione del colmo.

Tabella 7.1: Dati relativi alle piene del 1951, 1994 e 2000 (ST.1.2).

Idrometro di	quota dello ZERO idrometrico s.l.m.m.	livello di GUARDIA	PIENA NOV. 1951	PIENA NOV. 1994	PIENA OTT. 2000	colmo piena ott. 2000	distanze parziali Km.	Propag. colmo ott. 2000 ore	quota s.l.m.m. pelo acqua al colmo	velocità propagazione colmo Km/h	dislivello in mt. con il colmo dell'idr. precedente	Pend. in m x 1000
PONTE VALENZA	84,65	3,50	6,74	5,90	5,56	ore 12 del 16/10			90,21			
PONTE BECCA	55,10	4,50	7,85	7,60	7,81	ore 6 del 17/10	53	18 (12)	62,98	2,94 (4.42)	27,23	0,51
PIACENZA	42,16	6,00	10,25	9,88	10,50	ore 16 del 17/10	60	11 (8)	52,66	5,45 (7.50)	10,32	0,17
CREMONA	34,34	4,00	5,96	5,94	6,15	ore 2 del 18/10	49	9 (7)	40,49	5,44 (7.00)	12,17	0,25

Tabella 2 Nelle colonne relative alla propagazione del colmo ed alla sua velocità i numeri tra parentesi rappresentano i tempi medi e le velocità medie osservati nel corso delle piene di maggiore frequenza.

Se si impiega il gradiente di 0,25 m/km tra Piacenza e Cremona (analogo a quello stimato per le piene del 1926 e del 1951, rispettivamente 0,252 e 0,238 m/Km)²⁵, le quote assolute dell'acqua nel tratto passante in territorio di Corno Giovine saranno mediamente inferiori a quelle registrate a Piacenza di **2,12 m** nel punto più a monte (8,58 Km a valle del ponte della SS n.9 dove è posto l'idrometro), e di **2,35 m** in uscita a valle (9,43 Km dal ponte). Ciò a prescindere da effetti locali dovuti all'innalzamento dell'acqua per effetto dell'inerzia che interessa la sponda esterna del meandro.

L'evento di piena dell'ottobre 2000 è stato superiore a quello del 1951 fino a Borgoforte mentre è stato inferiore a valle, a causa del mancato apporto degli affluenti appenninici emiliani, all'effetto di laminazione per rigurgito del Po all'interno degli affluenti ed alle favorevoli condizioni di deflusso in mare.

L'attuale sistema arginale di Po è riferito a un profilo di piena teorico (denominato "piena massima di riferimento") costruito nell'ambito dello "Studio e progettazione di massima delle sistemazioni idrauliche dell'asta principale del Po, dalle sorgenti alla foce, finalizzate alla difesa e alla conservazione del suolo e alla utilizzazione delle risorse idriche", redatto nel 1982 dal Magistrato per il Po per mezzo della società SIMPO. La piena SIMPO '82 è costituita da un profilo ricavato dall'applicazione di un modello numerico di simulazione idraulica (in moto non stazionario), in cui per diversi tronchi fluviali è applicata un'onda di piena con portata al colmo mediamente superiore del 10% rispetto alla massima storica del '51.

²⁵ Da "La piena del Po del novembre 1951" estratto dal Giornale del genio Civile, gennaio 1952.

Successivamente con il PAI è stato aggiornato il profilo di piena SIMPO '82 mediante una modellazione numerica tarata sull'evento del 1994 (scenario "94_51"), mentre nel 2003, l'Autorità di bacino con il supporto tecnico di Italcopo (ST1.19), ha aggiornato la modellazione della piena impiegando la nuova geometria derivante dai rilievi topografici dell'AIPO del 2000 ed utilizzando come nuova taratura l'evento osservato del 2000.

Il nuovo modello aggiornato in geometria e taratura, è stato utilizzato per simulare diversi scenari idrologici di piena: 94_51, 2000_51.

Le risultanze delle simulazioni consentono un ulteriore affinamento dei profili di piena contenuti nel PAI. Nell'ambito dell'attività di aggiornamento del catasto delle arginature maestre (ST1.2) è stato effettuato un confronto fra le attuali quote arginali, i due profili PAI e SIMPO e il profilo picchettato durante l'evento del 2000 (insieme di punti realmente osservati lungo l'argine al colmo della piena). La tabella di sintesi contenuta nel citato Studio ST1.2 è stralciata per quanto concerne il tratto di interesse nella figura seguente.

Aggiornamento catasto arginature maestre del fiume Po da foce Tanaro al Po di Goro - Riepilogo dati principali nov. 2004

ARGINATURA SINISTRA										distanze progressive alveo
franco piena simpo82	franco piena Tr=200	franco piena 2000	n. sezione	foto e/o note	somm. arg. rilievo 1999	quota arg. Sin	livello piena ott. 2000	livello piena Tr=200 anni	località	
2.35	2.15	0.64	22B		48.99	49.89	49.25	47.74	C.N.A S.MARIA MAGGIORE	347983.00
1.56	1.23	0.42	22A		49.67	49.67	49.25	48.44		345810.00
1.10	0.59	0.45	22TER		49.93	49.93	49.48	49.34		342952.00
1.41	0.83	1.08	22BIS		50.58	50.58	49.50	49.75	C.N.A RONCHI	341515.00
0.50	-0.15	0.26	22		49.95	49.95	49.69	50.10	PONTE CASATI	340482.00
0.61	-0.01	0.19	21B		50.20	50.20	50.01	50.21	CASELLE LANDI	339665.00
1.12	0.56	0.27	21A		50.40	50.94	50.67	50.38	REGONA	338619.00
0.59	0.18	0.26	21		50.83	51.06	50.80	50.88	COLATORE MORTIZZA	334446.00
0.73	0.10	0.70	20C		51.40	51.40	50.70	51.30		333392.00
1.26	0.47	0.89	20B		52.08	52.08	51.19	51.61		332608.00
0.96	0.20	0.85	20A		51.85	51.85	51.00	51.65	PONTE A1	330930.00

SIMBOLI DELLE CRITICITA' PER SORMONTO

	franco minore di m. 0,30
	franco compreso tra m. 0,30 e 0,70
	franco compreso tra m. 0,70 e 1,00
	franco maggiore di m. 1,00

SIMBOLI DEL PROFILO DI PIENA

	xx,xx	profilo piena OTT. 2000 rilevato
	xx,xx	profilo piena OTT. 2000 ricostruito
	xx,xx	piena OTT. 2000 - colmo rilevato all'idrometro
	xx,xx	(rif. Piena simpo 82 e Tr=200 anni) quote ricavate per interpolazione

Figura 30: sintesi dei livelli di piena derivanti da modelli ed osservati e relative criticità sulla base di rilievi topografici eseguiti localmente, e del rilievo realizzato nel 1999 dall'AIPO sull'intera asta fluviale (celle con fondo giallo).

Nel tratto evidenziato tra le sezioni 21 e 21A, poco più ampio di quello corrispondente al territorio di Corno Giovine, sia la piena PAI (Tr 200) sia quella del 2000 individuano condizioni di **elevata criticità** con **franchi arginali per lo più inferiori a 30 cm**.

Nuovi rilievi topografici effettuati nel 2004/2005 da AIPO in aggiornamento dei sopra citati rilievi del 1999 individuano una **condizione ancora più gravosa** con franchi di piena irrilevanti o addirittura negativi, ovvero condizioni di probabile sormonto.

Per ridurre tale rischio l'AdBPo ha previsto l'adozione degli interventi precedentemente illustrati nel § 6.2.3.3 e nella Figura 26.

Aggiornamento catasto arginature maestre del fiume Po da foce Tanaro al Po di Goro - Riepilogo dati principali - Aggiornamento rilievi 2004 - 2005

ARGINATURA SINISTRA									distanze progressive alveo
franco piena simpo82	franco piena PAI Tr=200	franco piena 2000	n. sezione rilievo 1999	n. sezione rilievo AIPO 2004 - 2005	somm. arg. rilievo AIPO 2004-2005	livello piena ottobre 2000	livello piena PAI Tr=200 anni	località	
1.49	1.29	-0.22	22B	S22B	49.030	49.25	47.74	C.NA S.MARIA MAGGIORE	347983.00
1.64	1.31	0.50	22A	S22A	49.750	49.25	48.44		345810.00
1.09	0.58	0.44	22TER	S22TER	49.920	49.48	49.34		342952.00
0.71	0.13	0.38	22BIS	S22BIS	49.880	49.50	49.75	C.NA RONCHI	341515.00
0.44	-0.21	0.20	22	S22	49.890	49.69	50.10	PONTE CASATI	340482.00
0.56	-0.06	0.14	21B	S21B	50.150	50.01	50.21	CASELLE LANDI	339665.00
0.57	0.01	-0.28	21A	S21A	50.390	50.67	50.38	REGONA	338619.00
0.43	0.02	0.10	21	S21	50.900	50.80	50.88	COLATORE MORTIZZA	334446.00
0.66	0.03	0.63	20C	S20C	51.330	50.70	51.30		333392.00
1.22	0.43	0.85	20B	S20B	52.040	51.19	51.61		332608.00
1.03	0.27	0.92	20A	S20A	51.920	51.00	51.65	PONTE A1	330930.00

CRITICITA'

ASSENTE

Franco $\geq 1,00$ m

MEDIA

Franco tra 0,30 m e 0,70 m

BASSA

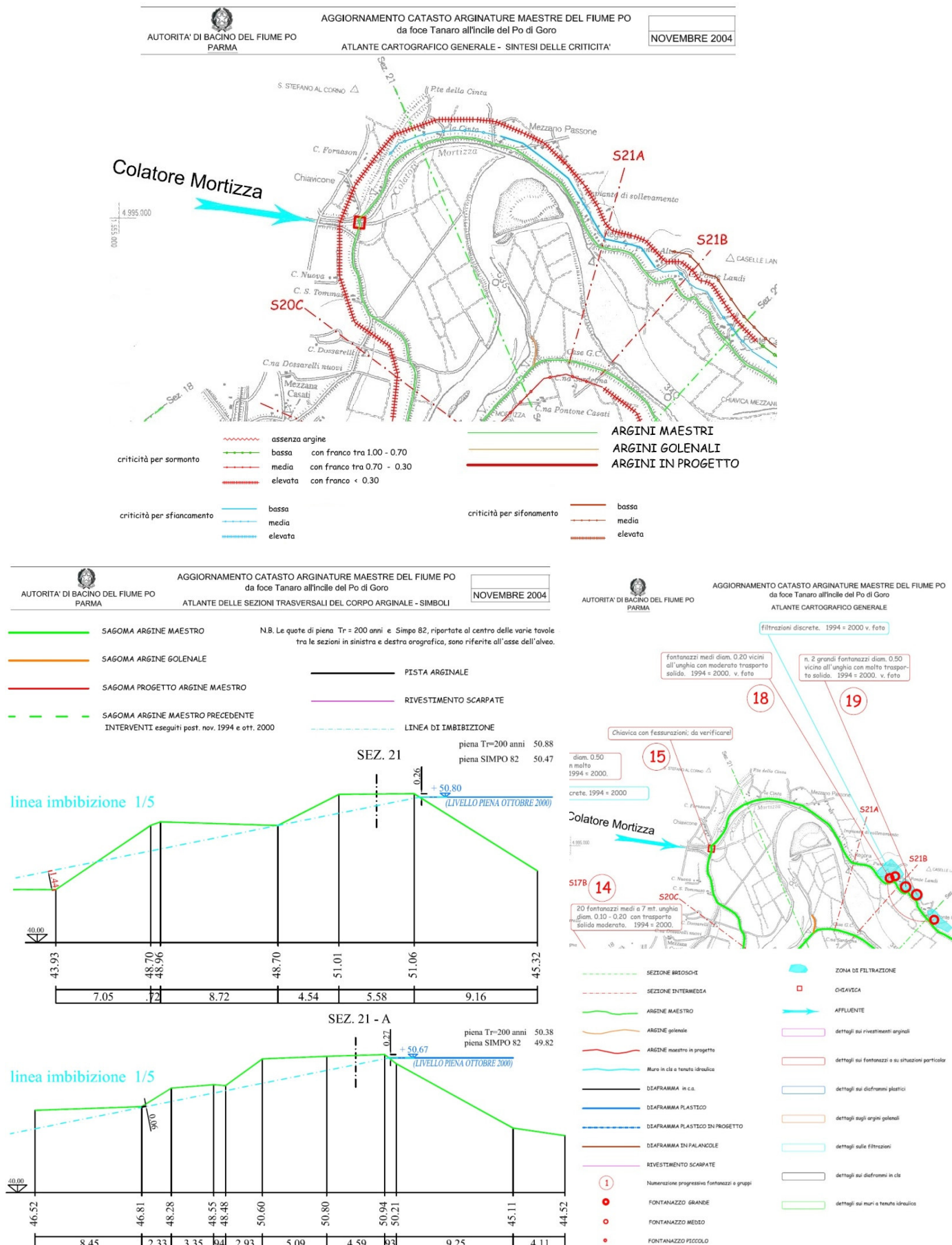
Franco tra 0,70 m e 1,00 m

ELEVATA

Franco $\leq 0,30$ m

Figura 31: sintesi dei livelli di piena derivanti da modelli ed osservati e relative criticità sulla base del rilievo realizzato nel 2004-2005 dall'AIPO sull'intera asta fluviale.

Quanto riferito nelle tabelle precedenti è ulteriormente esplicitato nelle sezioni e nella planimetria che seguono, elaborati con i dati della tabella di Novembre 2004.



Il fattore più temuto nel tratto di Corno Giovine è quindi costituito dal **sormonto dell'argine** (superamento del coronamento arginale con dispersione delle acque lungo il paramanto esterno e rischio di erosione), ma nella cartografia è anche indicato un **medio e basso rischio di sfiancamento** (cedimenti parziali e progressivi dell'argine completamente saturo, connessi principalmente ad episodi di piena di lunga durata).

Il rischio di sifonamento²⁶, ovvero di filtrazione lungo depositi molto permeabili sotto o entro il corpo arginale (trapelazione), è indicato assente a Corno Giovine, ma è presente poco a sud della località Regona, come illustrato nella figura a destra.

Nondimeno secondo quanto indicato nelle sezioni 21 e 21A la linea teorica di imbibizione interseca al piede o è superiore al piano campagna, e la segnalazione di ristagni d'acqua ai piedi dell'argine tra l'oratorio dei Morti della Porchera e Mezzano Passone, già riferita nello studio geologico di PRG del 2002, poteva costituire un rilevante indizio di fenomeni diffusi. Per tali ragioni è parso utile approfondire, pur con limitati mezzi (due prove CPT e tre SEV), se nel tratto di Corno Giovine vi fossero situazioni predisponenti il fenomeno di sifonamento.

Un utile traccia delle problematiche locali da individuare è fornita nel capitolo 9 del documento AdbPo qui sintetizzato in relazione al tratto di Corno Giovine.

6.2.1.4 La vulnerabilità delle arginature in relazione ai fenomeni di filtrazione nel corpo arginale e nelle fondazioni dello stesso

Il fenomeno di filtrazione può riguardare un canale di flusso ben delimitato e confinato che confluisce a lato campagna in un fontanazzo, oppure può non essere confinato e riguardare in modo più distribuito una più ampia superficie sia dello stesso terreno di fondazione che del corpo arginale.

In linea di massima si ritiene che il maggiore pericolo di crollo dell'arginatura possa individuarsi in quei tratti ove unitamente all'attivazione dei fontanazzi si siano verificati diffusi fenomeni di filtrazione con emersione della linea d'imbibizione al piede dell'argine o sopra di esso. Inoltre il fontanazzo è tanto più pericoloso quanto maggiore è il carico solido trasportato dalle acque di filtrazione all'esterno del piede arginale.

Per garantire la maggiore possibilità di individuare per tempo i fenomeni di filtrazione è importante la costante **manutenzione del cotico erboso che ricopre i paramenti arginali**, effettuando almeno due sfalci annuali (a maggio, prima delle piene primaverili, e a settembre prima delle piene autunnali), **evitando la reiterata triturazione della vegetazione con abbandono dei residui in sito**.

Il recente lavoro dell'Autorità di bacino, oltre che aggiornare il catasto delle opere presenti, ha consentito di georeferenziare i fenomeni di filtrazione più rilevanti verificatisi durante gli eventi del 1994 e del 2000, distinguendo in particolare fra i fenomeni di fontanazzi piccoli, medi e grandi e i fenomeni di filtrazione diffusa (v. Figura 32).

²⁶ Il fontanazzo si manifesta al piede dell'argine verso campagna, anche a notevole distanza dall'unghia e nel fondo dei fossi (difficilmente individuabile e perciò pericolosissimi).

In sponda sinistra, da foce Lambro fino al confine territoriale di Castelnuovo Bocca d'Adda, sono stati rilevati numerosi fontanazzi piccoli, medi e grandi neutralizzati con sacchetti di terra in zone con frequenti infiltrazioni d'acqua.

Per tentare di comprendere i meccanismi che governano la formazione dei fontanazzi e di individuare metodologie d'indagine capaci di definire la vulnerabilità degli argini maestri, nel tratto tra Regona, circa 600 m a sud del confine comunale di Corno Giovine, e Ponte di Caselle Landi 2 Km più a sud, è stata effettuata una campagna sperimentale di indagini dirette ed indirette. Queste hanno compreso sondaggi meccanici con prove di laboratorio, prove penetrometriche (CPTe, CPTU), tomografia geoelettrica, sondaggi elettrici verticali (SEV), sondaggi elettrici orizzontali (Profili di resistività, PRES).

Sintetizzando le conoscenze acquisite si rileva che in generale **le aree soggette al fenomeno** sono formate da una successione caratterizzata da **alluvioni molto permeabili** e acquifere (sabbie grossolane e sabbie-ghiaiose talvolta persino minimamente ciottolose) a quote prossime al piano campagna, **estese in profondità fino ad 8-10 metri e "sostenute" da depositi decisamente meno permeabili** (limi-argillosi, talvolta sabbiosi).

Nelle aree esenti dal fenomeno sembra mancare l'acquifero grossolano abbastanza prossimo al p.c., oppure questo è confinato dalla presenza sovrapposta di un livello a permeabilità decisamente più bassa.

In prossimità del fontanazzo si segnala la presenza, in superficie, di sabbie fini con variabilissima percentuale di frazioni fini, ed è possibile che alcune carote che hanno riscontrato analoghi depositi superficiali, particolarmente "puliti", ossia poveri di frazione finissima, abbiano attraversato contesti già interessati da antichi episodi di fontanazzo. L'azione di filtrazione sottrae al terreno soprattutto frazioni fini e finissime (fontanazzi di fango), e infatti le aree che risultano storicamente esenti dal fenomeno di risorgenza mancano del livello di sabbie fini con o senza limi.

Seppure a seguito di dati oggettivamente scarsi, allo stato si registra un significativo grado di addensamento dei sedimenti al di sotto dell'edificio arginale e con effetti con ogni probabilità incidenti sulla particolare e puntuale localizzazione dei fontanazzi.

Infine si conferma una diretta correlazione tra suscettività al fenomeno e presunta o accertata presenza di alvei abbandonati.

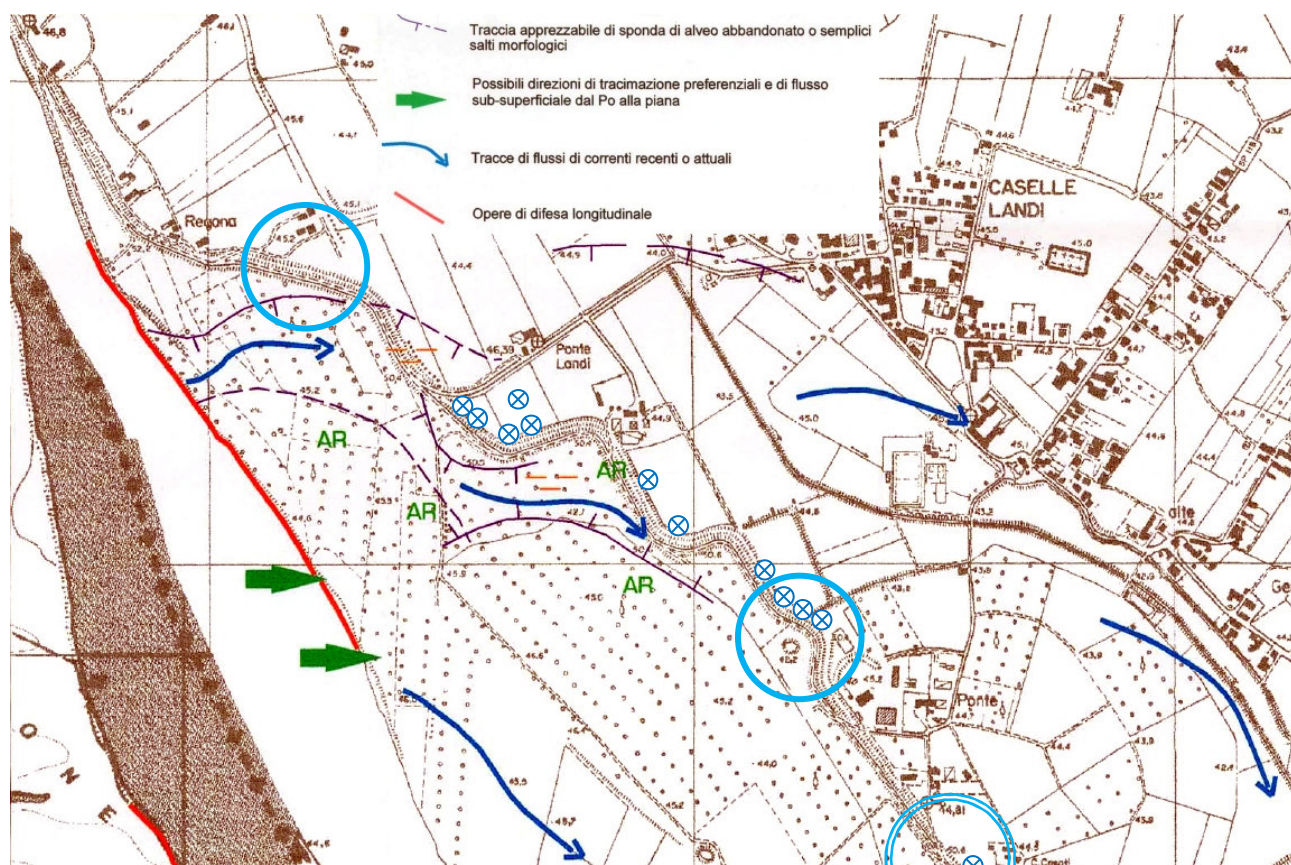


Figura 33: area dello studio di caratterizzazione della vulnerabilità delle arginature di Po, con fotointerpretazione e ubicazione degli elementi principali

○ Rotture storiche per sormonto, ○ rottura storica per fontanazzo, ⊗ Fontanazzi recenti

Durante le maggiori piene l'allagamento golenale e il rapido aumento dell'altezza dell'acqua a ridosso dell'argine, determina un carico idraulico che sollecita il materasso alluvionale interno all'argine, mentre al di fuori dell'argine il terreno è "sovraccaricato" da lame d'acqua - sempre modestissime - connesse a presumibili e assai probabili difficoltà di smaltimento delle acque di precipitazione diretta.

La pressione va a trasmettersi in sotterraneo e, in corrispondenza dei "canali" caratterizzati dalla successione sopra descritta subirà limitate perdite di carico, per andarsi poi a trasmettere, "nel medesimo acquifero", in tutte le direzioni dello spazio.

La falda ospitata nel livello sabbioso - ghiaioso entra in pressione con spiccata tendenza a scorrere verso la piana esterna, ma anche verso l'alto appena favorita dalla presenza di una copertura particolarmente permeabile (le sabbie fini superficiali sopra citate).

Nei casi in cui la "copertura" di questo pseudo-canale è costituita da sedimenti puliti, permeabili, grossolani si può arrivare a fenomeni di allagamento dell'area esterna all'argine, senza tuttavia la fuoriuscita di materiale.

Nei casi in cui, infine, la "copertura" è costituita **da sedimenti sabbiosi fini**, anche per la loro classica concentrazione in forme limitate lenticolari e non troppo estese, oppure

nel caso di coperture sabbiose estese ma a luoghi molto sottili, si potrà avere lo sviluppo di un **fontanazzo, o di una collana di fontanazzi**.

Inoltre se il sedimento superficiale è costituito da sabbie fini con significativi contenuti in limi e limi argillosi, potranno verificarsi uno o più fontanazzi fangosi con fuoruscita appunto di sedimenti fini e finissimi e conseguente sottrazione di materiale dal sottosuolo.

Il deflusso sotterraneo dal fiume verso l'area extra-arginale può subire l'ostacolo dovuto all'incremento del flusso idrico naturale diretto nella direzione opposta (dalla piana verso il Po), conseguente al contestuale eccezionale ravvenamento delle falde anche all'esterno degli argini (in caso frequente di precipitazioni locali contestuali al passaggio dell'onda di piena).

Le indagini come detto eseguite nel tratto di Corno giovine , come illustrate **nel § 6.3** portano ad escludere la presenza di condizioni predisponenti il rischio di sifonamento , mentre.

6.2.1.5 Il rischio residuale all'interno della fascia C del fiume Po,

L'area delimitata nel Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) come fascia "C" è quella porzione di pianura potenzialmente inondabile in seguito a fenomeni di tracimazione e rotta arginale.

Le attività condotte nell'ambito del Piano di bacino e degli approfondimenti conoscitivi condotti successivamente all'evento di piena del 2000 (tra i quali quello citato di Caselle Landi), hanno evidenziato le notevoli carenze conoscitive relative alle caratteristiche stratigrafiche e geotecniche dei terreni costituenti il rilevato arginale e le fondazioni dello stesso, in particolare per quanto concerne la permeabilità degli strati, tali da non consentire ad oggi una completa valutazione delle condizioni di vulnerabilità in relazione al fenomeno di sifonamento e sfiancamento.

L'attuale sistema arginato del fiume Po, per quanto ben realizzato, monitorato e mantenuto nel tempo **non può garantire un livello di sicurezza assoluto** per il territorio circostante, sia in relazione a scenari di rottura arginale sia in relazione a scenari di tracimazione.

Nonostante la probabilità di accadimento di uno scenario di **rotta arginale sia abbastanza ridotta** in quanto connessa al verificarsi di un evento superiore alla piena di riferimento, oppure al verificarsi di un evento di piena significativo connesso al contemporaneo collasso strutturale del rilevato arginale (**probabilità congiunta**), **l'entità del rischio conseguente a tale scenario può essere estremamente elevata** alla luce della forte antropizzazione che caratterizza i territori adiacenti l'asta del Po e di una **scarsa percezione da parte della popolazione**²⁷.

²⁷ Tale ultimo ma significativo aspetto è precisato nello "schema SWOT per le terre del Po" che conclude il "documento di analisi di contesto" che forma l'allegato 2 al "progetto valle del fiume Po" .- AdBPo marzo 2008.

L'entità di tale rischio deve essere valutata secondo i parametri e la metodologia messa a punto in alcuni comparti campione, definendo specifici indicatori di pericolosità e di vulnerabilità che permettano la messa a punto di adeguate misure di protezione civile.

Nei casi pilota analizzati (Secchia-Panaro, Parma-Enza, Lambro-Adda) è stato preso in considerazione, ad esempio, il **tempo di arrivo dell'onda di piena e quello di permanenza, i tiranti massimi attesi**, la valutazione dell'**influenza dei rilevati principali sui fenomeni di convogliamento delle acque esondate** e di come la stessa influenza possa essere migliorata procedendo con opportuni interventi di taglio dei rilevati.

Tale **valutazione del rischio residuale**, e la definizione di modalità di gestione dell'evento temuto, comporta l'avvio di specifiche attività (definizione della topografia di base, implementazione di modelli idraulici bidimensionali, ricerca di notizie di dettaglio in relazione all'estensione delle aree inondate a seguito di rotture arginali, valutazioni socioeconomiche, predisposizione degli strumenti di previsione, prevenzione del rischio idraulico e di gestione dell'emergenza). Il tutto deve essere coordinato e condiviso tra l'Autorità di bacino del fiume Po, il Dipartimento di Protezione Civile, le Regioni e le loro Agenzie, le Prefetture, le Province, i Comuni e gli altri centri di competenza istituiti ai sensi del Decreto della Presidenza del Consiglio dei Ministri- Dipartimento della Protezione Civile n. 252 del 26.01.2005 (?).

Tale "progetto finalizzato" costituisce anche completamento delle attività di previsione della piena recentemente organizzate e sistematizzate, anche in seguito alla costituzione dei Centri funzionali e dei Centri di competenza (Dir.P.C.M. 27.02.2004 – pubblicato sulla G.U. n.59 del 11.03.2004), nell'ambito di una specifica convenzione (rep. AdbPo n° 271 del 27/04/2005) stipulata fra il Dipartimento della Protezione Civile, l'Autorità di bacino del fiume Po, l'AIPO, l'ARPA della Regione Emilia Romagna, la Regione Lombardia, l'ARPA della Regione Piemonte, la Regione Valle d'Aosta e la Regione Veneto *"per la realizzazione di un sistema di modellistica idraulica per la previsione ed il controllo delle piene fluviali dell'asta principale del fiume Po"*.

Per la valutazione del rischio idraulico e idrogeologico è possibile fare riferimento a una versione semplificata della definizione di rischio proposta nel PAI:

$$R = S \times E \times V \text{ dove}$$

S = indicatore di pericolosità, ovvero la probabilità di accadimento dell'evento in uno specifico intervallo di tempo (t);

E = valore economico medio degli insediamenti, delle infrastrutture e delle attività produttive presenti nell'unità territoriale di riferimento;

V= vulnerabilità, definita come attitudine dell'elemento a rischio a subire danni per effetto dell'evento (aliquota dell'elemento che viene danneggiata), compresa tra 0 e 1.

La rottura arginale ha luogo in tempi non istantanei, dell'ordine mediamente delle 3 ore, per una larghezza complessiva della breccia mediamente pari a 100 metri, e coerentemente con la definizione di rischio idraulico precedentemente richiamata, è possibile definire:

pericolosità idraulica residuale di inondazione per tracimazione: probabilità che si verifichino eventi di entità superiore alla piena di progetto assunta per il dimensionamento in quota del sistema arginale.

pericolosità idraulica residuale di inondazione per rotta arginale: probabilità congiunta di accadimento di un evento di piena che determini livelli idrometrici elevati e del cedimento strutturale del rilevato;

rischio residuale di inondazione: prodotto della pericolosità residuale per il danno sociale ed economico potenziale, rappresentato dal valore degli elementi a rischio e della loro vulnerabilità.

Come detto in precedenza, la definizione quantitativa dei parametri sopra definiti **difficilmente può essere applicata per la valutazione del rischio residuale all'interno della fascia C del Po**, principalmente per le problematiche nella valutazione della probabilità di collasso del sistema arginale.

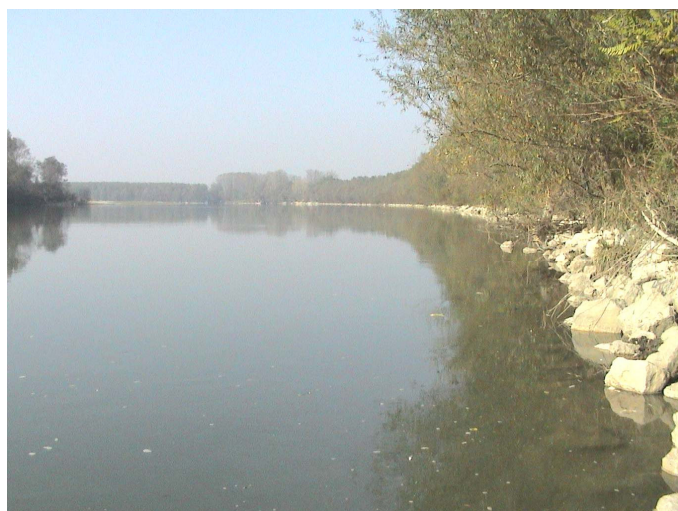


Figura 34 Argine maestro del Po in località Morti della Porchera e protezione di sponda dell'alveo inciso del Po

6.2.2 LINEAMENTI IDROLOGICI

Un sintetico quadro del regime idrologico del Po a Piacenza, definito sulla base dei valori medi mensili di portata dal 1924 al 1980 è fornito dal seguente grafico proposto in un'elaborazione statistica effettuata dall'ENEL²⁸ :

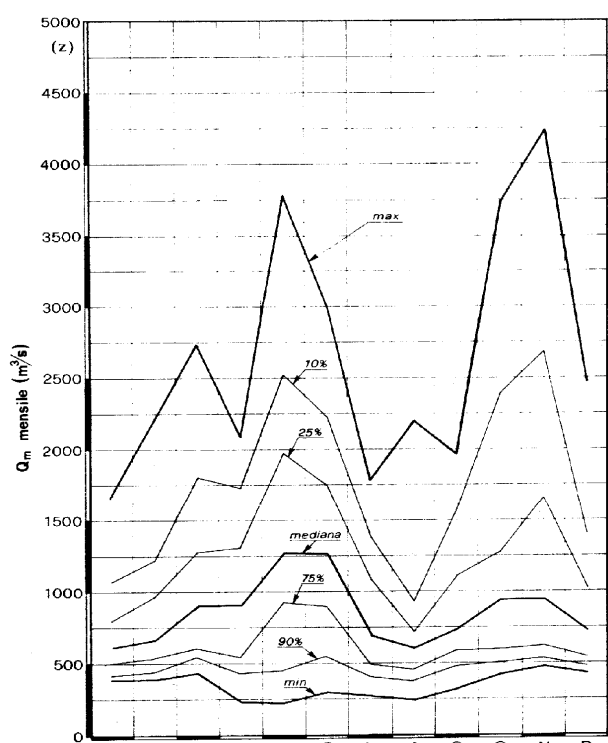
In base ai valori della portata media mensile (Q_m) e del coefficiente di variazione (C_v) gli Autori classificano i mesi con i seguenti caratteri:

gennaio-agosto : mesi molto magri e variabili (C_v 0.39÷0.48);

febbraio-luglio-settembre-dicembre : mesi magri e variabili (C_v 0.45÷0.50);

marzo-aprile : mesi con portata media e variabili (C_v 0.49÷0.50);

maggio e giugno: mesi molto ricchi e variabili (C_v 0.46÷0.52);



ottobre e novembre: mesi ricchi e molto variabili (C_v 0.63÷0.70).

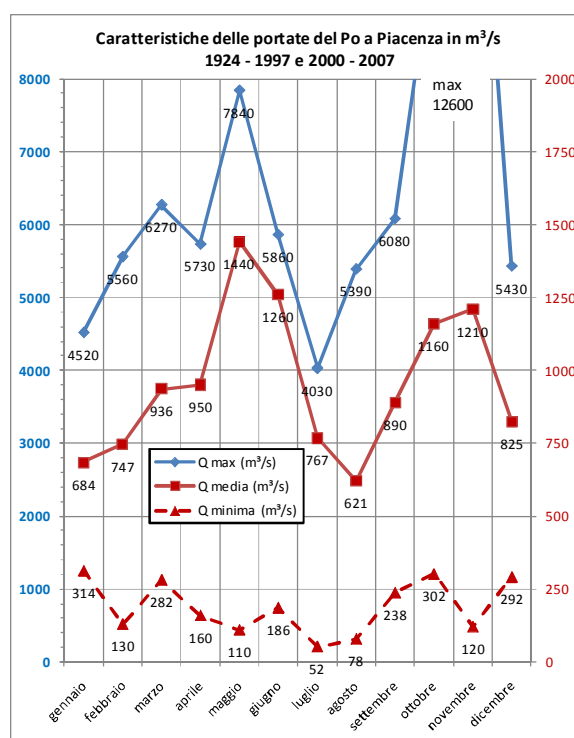


Grafico 10: Portate mensili del fiume Po a Piacenza dal 1924 al 1980 e elaborazioni ENEL, e a destra dati più recenti derivati dagli Annali Idrologici pubblicati da Servizio Idrometeorologico dell'ARPA dell'Emilia Romagna.

L'andamento descritto con i dati ENEL è confermato nelle caratteristiche generali confrontando i valori mediani con quelli medi del grafico a destra derivato dai dati ARPA estesi fino al 2007.

Con riferimento a questi ultimi si osserva che la media annua è di poco inferiore a 1000 m³/s, e le variazioni stagionali individuano due minimi circa uguali a gennaio e ad agosto con portate intorno a 650 m³/s, e due massimi, il primo a maggio con portate di circa 1500 m³/s, il secondo a novembre con portate inferiori del 15 %.

²⁸ ENEL (1981) – Portate mensili del fiume Po a Piacenza . Analisi statistica dei principali fattori che caratterizzano il deflusso. (report SI-562/81)

Le portate minime e massime riportate nel grafico dei dati ARPA sono valori assoluti della serie considerata, e quindi non sono rappresentativi dell'andamento medio che è più correttamente sintetizzato dalle portate mensili del grafico dell'ENEL.

La curva della durata delle portate sintetizza la frequenza delle portate nell'anno medio, ed è riferita nella Figura 35.

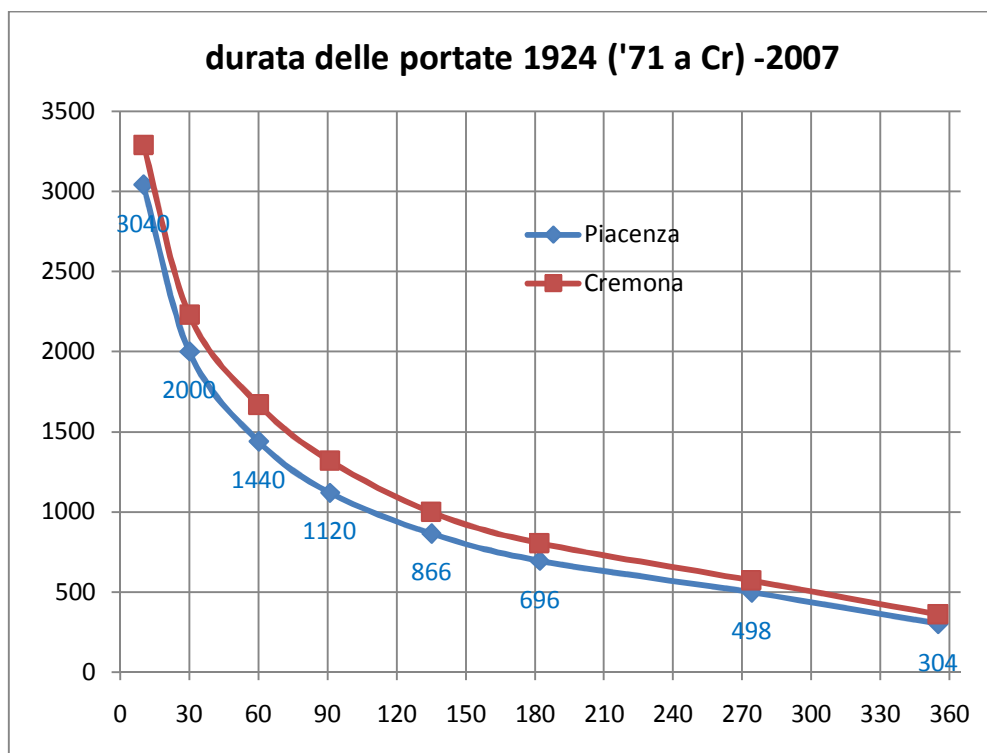


Figura 35: elaborazione da dati pubblicati sugli Annali Idrologici ARPA dell'Emilia Romagna. In ascissa i giorni, in ordinata le portate in m³/s.

Come si vede il 50 percentile a Piacenza (182 giorni) corrisponde a portate di circa 700 m³/s, ovvero la mediana è sensibilmente inferiore alla media, mentre portate superiori ai 3000 m³/s si verificano mediamente solo in 10 giorni all'anno, ovvero nel 2,7 % dei giorni.

I dati idrologici ARPA riferiscono la scala delle portate dell'idrometro di Piacenza del 2000, che comprende la piena di ottobre.

L'elaborazione grafica di tali dati è riferita in Figura 36, dai quali emerge che con portate di circa 3000 m³/s le quote idrometriche a Piacenza sono di circa 46 m s.l.m.

Se si considera un gradiente del pelo libero di circa lo 0,25 m/km (v. Tabella 2 e relativi commenti) si ottengono quote di circa 43,7 m s.l.m. a Corno Giovine, ovvero la sommersione di parte delle barre di sabbia in sponda destra del Po, mentre in sponda sinistra gli effetti sono del tutto irrilevanti. La quota raggiunta è però circa pari a quelli minimi della piana esterna all'argine, e ciò comporta un'inversione di flusso della falda. Il Po quindi da drenante diviene disperdente ed alimenta la falda in direzione della scarpata del terrazzo.

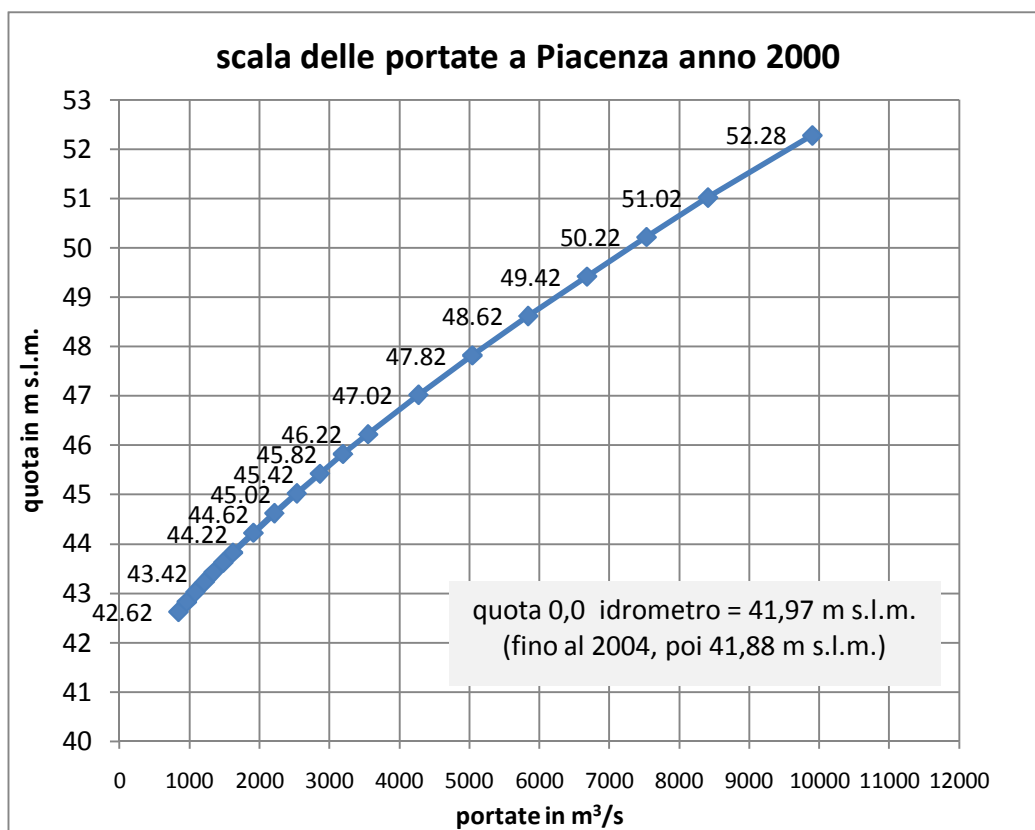


Figura 36: scala delle portate a Piacenza nel 2000 da Annali Idrologici ARPA dell'Emilia Romagna

Ragionando analogamente si considera che la piena in grado di sommergere il ciglio inferiore della stretta golena che ospita il locale bar e l'impianto di lavaggio inerti posti a quota 46,5 -47,0 m s.l.m.²⁹ deve raggiungere a Piacenza il livello di circa 49,0 m s.l.m. , ovvero una portata di circa 6500 m³/s.

Estrapolando verso i valori superiori la curva della durata delle portate considerata per portate > 1500 m³/s si ottiene per portate di 6500 m³/s una frequenza di circa 2 giorni/anno.

L'ipotesi di completa sommersione della golena sopra indicata comporta il raggiungimento di quote idrometriche a Corno Giovine di 48,0 m s.l.m., corrispondenti a 50,2 m s.l.m. a Piacenza, ovvero ad una portata di 7500 m³/s che nella estrapolazione sopra indicata corrisponde alla frequenza di circa 1 giorno/anno.

Il procedimento di stima diviene assai approssimativo per durate di portata sensibilmente inferiori a 10 giorni, e le testimonianze degli operatori locali concordano nel riferire che gli eventi di piena che hanno comportato l'allagamento totale della golena sono solo quattro negli ultimi 41 anni (1968, 1977, 1994 e 2000), ovvero uno ogni 10 anni.

Per ottenere una stima più ragionevole del rischio di allagamento per quell'area si può considerare la successione di delle massime portate annuali al colmo delle piene. Questo

²⁹ Valori rilevati nella restituzione aerofotogrammetria del Data Base Topografico Provinciale disponibile sul geoportale della Provincia di Lodi.

metodo non è cautelativo perché così sono trascurati i casi nei quali si manifesta più di una piena all'anno.

Le misure di portata pubblicate con il PAI (7. *Norme di attuazione - Direttiva sulla piena di progetto da assumere per le progettazioni e le verifiche di compatibilità idraulica*) sono state integrate con i dati pubblicati negli annali idrologici dal 1996 al 2008, che però riferiscono i valori medi giornalieri e non al colmo della piena³⁰, ottenendo il grafico di Figura 37.

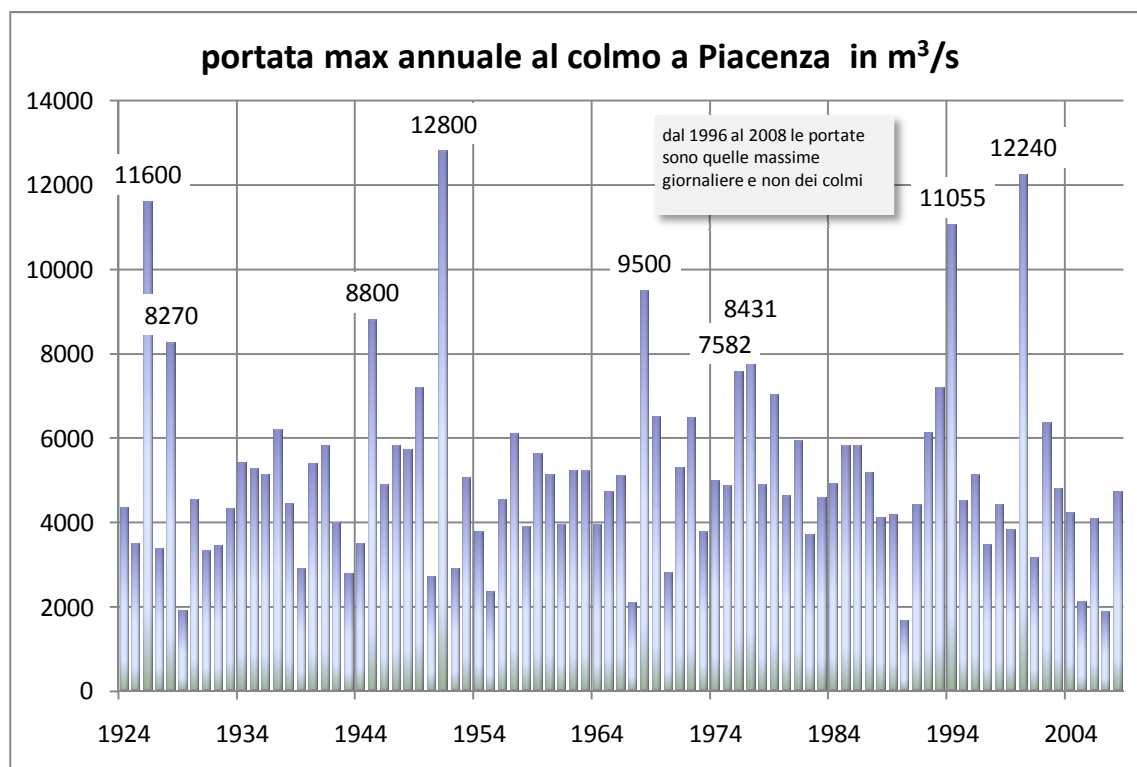


Figura 37: portate massime al colmo delle piene

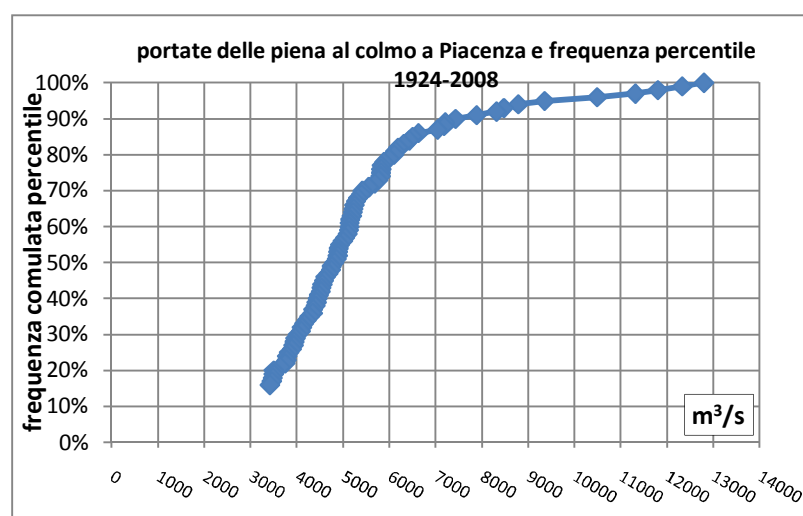


Figura 38: frequenza percentile delle portate considerate nel grafico di Figura 37

³⁰ Nel caso della piena di ottobre 2000 il valore medio giornaliero è inferiore di quasi il 20% (12240 la portata al colmo, 9900 m³/s la portata media giornaliera).

Elaborando tali dati in termini di frequenza percentile si ottiene il grafico di Figura 38, che individua che nell'85 % degli anni considerati (84 anni in totale) le portate di massima piena annua sono inferiori a 6500 m³/s e quindi arrivano al massimo a lambire il ciglio della golena. Con probabilità complementare del 15% (ovvero in media una volta ogni 7 anni) la golena viene invasa dalle acque.

Infine confidando nella relazione tra portate massime al colmo della piena a Piacenza, scala delle portate e sostanziale costanza dei gradienti del pelo libero, si può definire una ipotetica relazione diretta tra frequenza di non superamento e quote assolute, che in modo diretto esprime il rischio di allagamento alle varie quote.

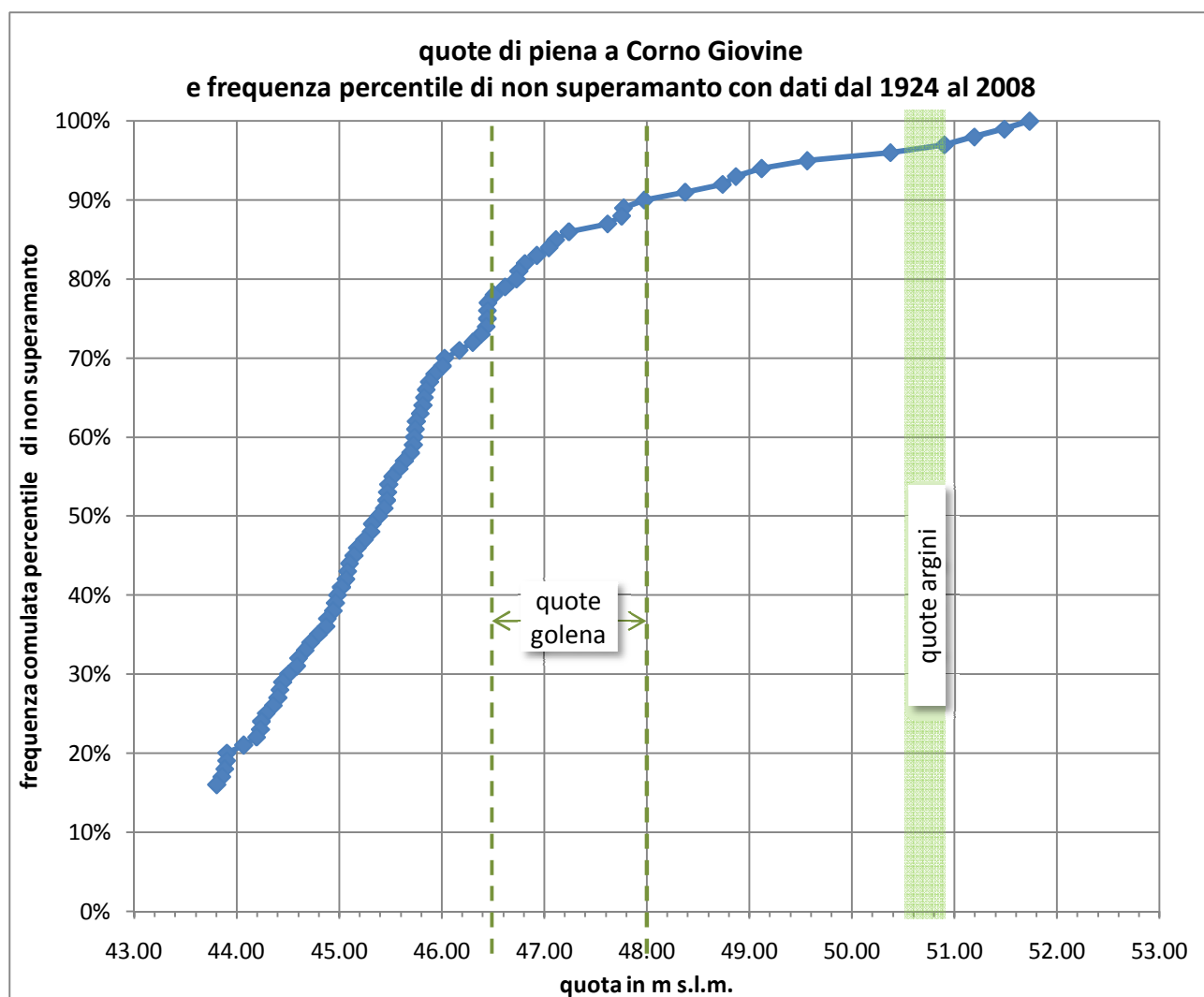


Figura 39: ipotesi di frequenza di livelli durante i colmi delle piene massime annuali a Corno Giovine. In tratteggio sono indicate le quote minime e massime della golena a Mezzano Passone.

Nell'ambito dei valori estremi le approssimazioni applicate portano a errori di alcune decine di centimetri, evidenziati dal superamento delle quote degli argini nelle massime piene, ma dove i dati sono più frequenti la previsione pare accettabile.

6.3 Elementi conoscitivi sul pericolo di sifonamento dell'argine a Corno G.

L'indagine, come sopra accennato, è consistita nell'esecuzione di 3 sondaggi elettrici verticali (SEV) con configurazione Schlumberger e due prove penetrometriche statiche, tutti realizzati ai piedi del rilevato arginale o sulla sottobanca come indicato in Figura 40.

L'esito dei SEV ha consentito di rilevare la presenza di un substrato discretamente omogeneo, attribuibile a sabbie e sabbie limose anche con varia percentuale di ghiaia, mentre **paiono assenti gli elevati valori di resistività attribuibili a substrati ghiaiosi ciottolosi, o i bassi valori che connotano gli strati limo argillosi.**

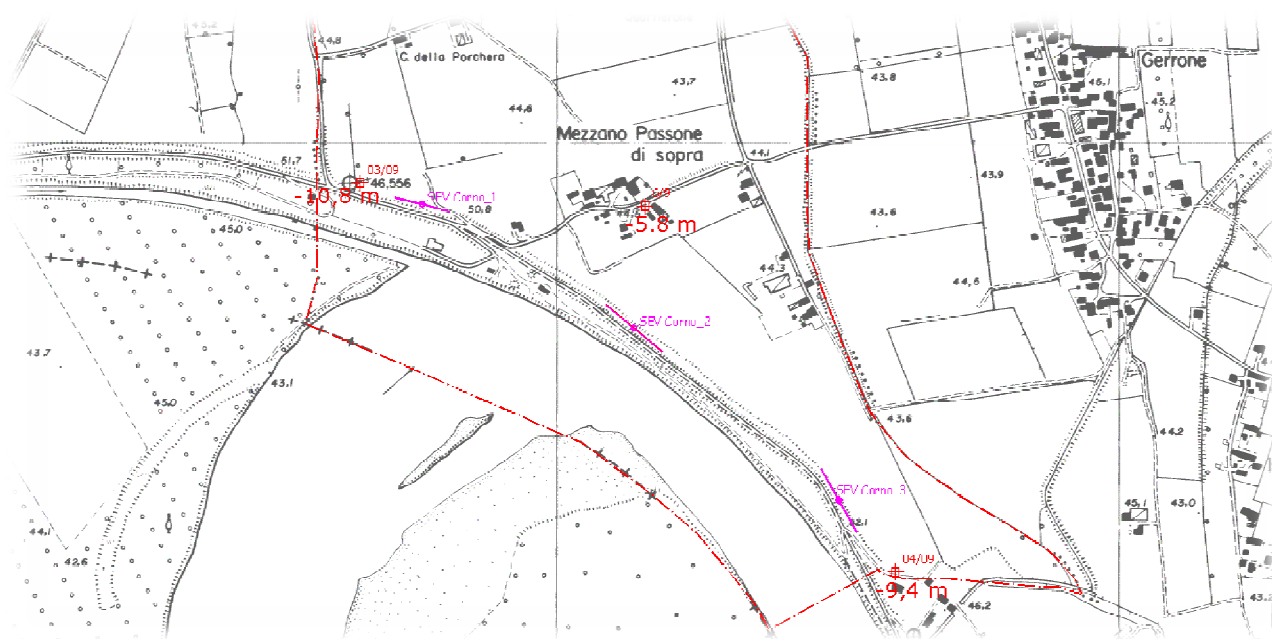


Figura 40 : ubicazione e direzione di sviluppo dei SEV Corno 1, 2, 3 e ubicazione delle CPT 03/09 e 04/09

S.E.V. Schlumberger Corno_1 azimut 284
 Località **Morti Porchera** quota 44.16 m s.l.m.
 Posizione Centro 1559760 E 4995892 N

geometria		misura	corrente impiegata	coeff. geom.	resistività apparente
AB/2 (m)	MN/2 (m)	V (mV)	A (mA)	K	ρ_a (Ohm*m)
2	0.5	367	140.0	12.6	33
3	0.5	107	86.0	28.3	35
4	0.5	70	104.2	50.3	34
6	0.5	26.8	86.3	113.1	35
10	0.5	10.3	83.9	314.2	39
16	0.5	20.9	401.0	804.2	42
20	0.5	15.5	450.4	1256.6	43
25	0.5	12.8	530.4	1963.5	47
32	0.5	8.5	530.4	3217.0	52
40	0.5	5.1	466.0	5026.5	55
50	0.5	4.1	530.5	7854.0	61
65	0.5	2.6	520	13273.2	66

S.E.V. Schlumberger Corno_2 azimuth 310
 Località **Passone - argine Po** quota 48.6 m s.l.m.
 Posizione Centro 1560137 E 4995671 N

geometria		misura	corrente impiegata	coeff. geom.	resistività apparente
AB/2 (m)	MN/2 (m)	V (mV)	A (mA)	K	ρ_a (Ohm*m)
3	0.5	383	208.3	28.3	52
4	0.5	341	306.1	50.3	56
6	0.5	212	413.4	113.1	58
8	0.5	143	479.2	201.1	60
10	0.5	88	445.9	314.2	62
16	0.5	39.3	479.3	804.2	66
20	0.5	22.3	389.2	1256.6	72
25	0.5	18.5	496.5	1963.5	73
32	0.5	11.9	504.0	3217.0	76
40	0.5	8.5	530.4	5026.5	81
50	0.5	5.2	498.1	7854.0	82
65	0.5	3.3	526.0	13273.2	84

S.E.V. Schlumberger Corno_3 azimuth 330.5
 Località **Regona - argine Po** quota 49.6 m s.l.m.
 Posizione Centro 1560501 E 4995365 N

geometria		misura	corrente impiegata	coeff. geom.	resistività apparente
AB/2 (m)	MN/2 (m)	V (mV)	A (mA)	K	ρ_a (Ohm*m)
3	0.5	360	181.8	28.3	56
4	0.5	419	350.5	50.3	60
6	0.5	260	459.5	113.1	64
8	0.5	148.7	451.7	201.1	66
10	0.5	65	302.0	314.2	68
16	0.5	32.9	383.2	804.2	69
20	0.5	23	410.0	1256.6	70
25	0.5	16	438.4	1963.5	72
32	0.5	10.1	433.0	3217.0	75
40	0.5	8.1	530.4	5026.5	77
50	0.5	3.6	365.1	7854.0	77
65	0.5	3.1	494.5	13273.2	83

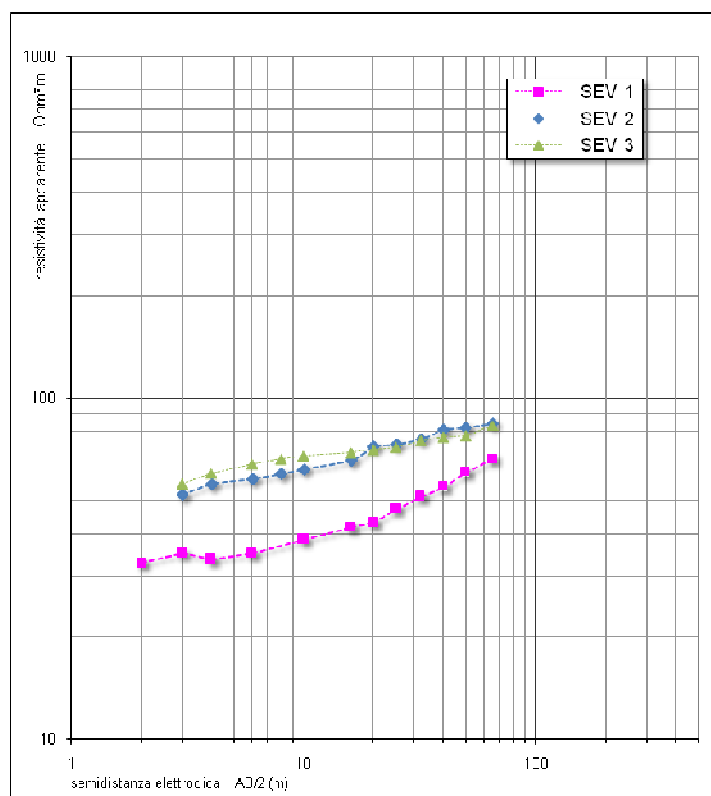
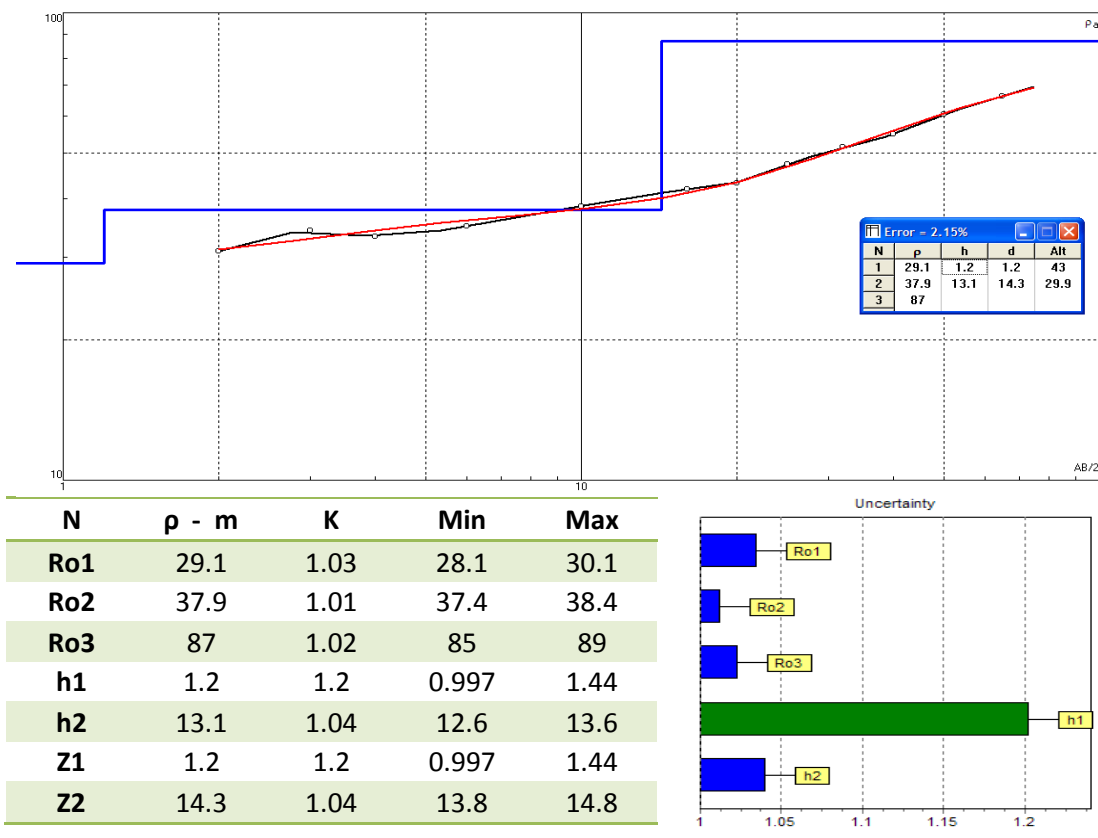
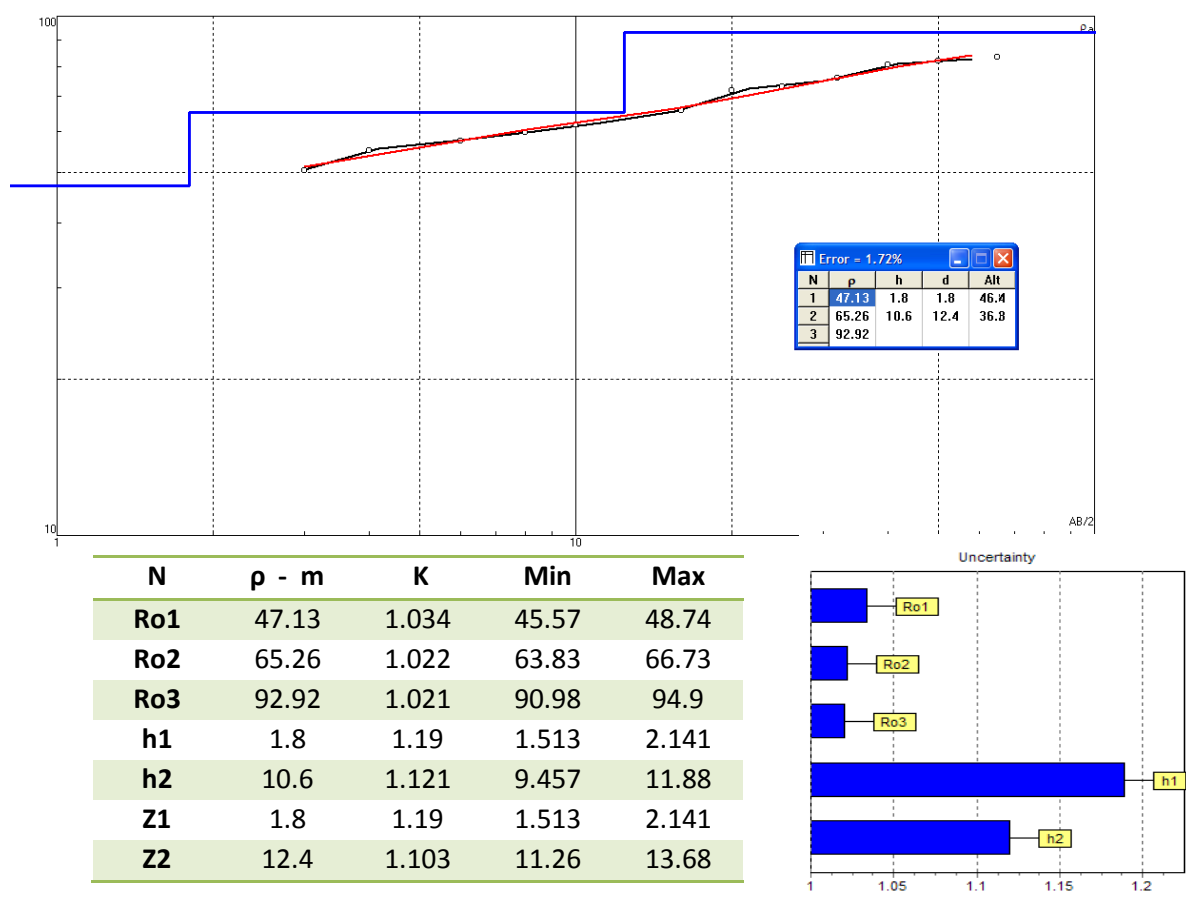


Figura 41: rappresentazione dei valori di resistività apparente dei 3 SEV

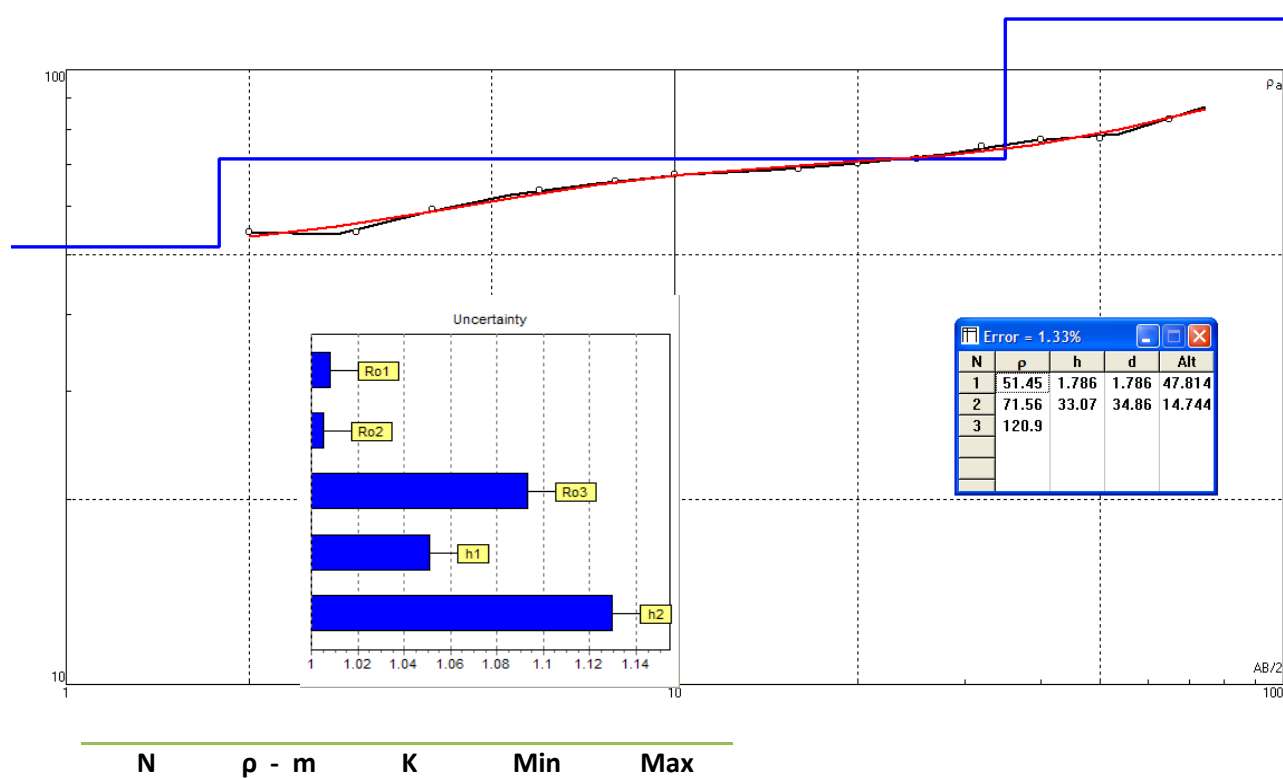
Elaborazione SEV Corno_1



Elaborazione SEV Corno_2



Elaborazione SEV Corno_3



Ro1	51.45	1.009	50.99	51.91
Ro2	71.56	1.006	71.16	71.96
Ro3	120.9	1.094	110.6	132.2
h1	1.786	1.052	1.698	1.878
h2	33.07	1.13	29.26	37.38
Z1	1.786	1.052	1.698	1.878
Z2				



Lo strumento impiegato è il georesistivimetro 16GL della Pasi s.r.l. di Torino.

Per energizzare il terreno si sono impiegati accumulatori ricaricabili P 100-2 in grado di erogare tensioni fino a 200 V a 500 mA in C.C.

Figura 42 : esecuzione SEV 1 e SEV 3. In evidenza a sinistra la strumentazione e i picchetti di registrazione M-N.

L'elaborazione è stata eseguita con IPI2Win della Moscow State University, programma progettato per l'interpretazione delle curve dei SEV e della polarizzazione indotta con criterio monodimensionale, lungo un singolo profilo.

L'interpretazione è attuata mediante un procedimento semi-interattivo e non con un modello automatizzato d'interpretazione, risolvendo i problemi 1D in avanti e inverso della verticale. Il problema inverso è risolto con una variante dell'algoritmo di Newton-Raphson minimizzando il numero di strati o regolarizzato l'algoritmo di adattamento utilizzando l'approccio Tikhonov.

I valori di resistività ottenuti ($\text{ohm} \cdot \text{m}$ (ρ)) sono rappresentati graficamente e nelle tabelle esposte alle pagine precedenti. Le tabelle contengono inoltre il valore minimo e massimo di ρ derivante dall'adattamento (fitting) impiegato.

Il risultato dell'indagine è sintetizzato nella Figura 43.

Il SEV 1 è stato eseguito ai piedi del rilevato arginale e mostra nella parte superficiale depositi di medio bassa resistività (valori di 29-38 $\text{ohm} \cdot \text{m}$) attribuibili a limi argillosi superficiali passanti a sabbie molto limose per uno spessore complessivo di 12-14 m. Il risultato è ben correlabile con i dati della prova CPT 3/4 - '09 dove si individua un substrato chiarmente sabbioso-ghiaioso a circa 10 metri dalla superficie. A maggiore profondità il SEV 1 presenta valori di resistività medi (85 – 90 $\text{ohm} \cdot \text{m}$) attribuibili a sabbie con ghiaie in condizioni di saturazione.

Il SEV 2 e 3 sono stati eseguiti a partire dalla sottobanca esterna e quindi sono assenti i valori medio bassi dei terreni superficiali. I due SEV sono praticamente identici e configurano, sotto una coltre superficiale (1,5 - 2,0 m) lievemente più conduttiva attribuibile agli orizzonti agrari, uno strato di spessore compreso tra 9 e oltre 30 metri che presenta valori medi di resistività (65 - 70 ohm*m), attribuibile a sabbie limose sature.

A maggiore profondità, come nel caso del SEV 1, compaiono valori superiori (93 - 120 ohm*m), attribuibili sempre a sabbie, probabilmente contenenti una minore percentuale di frazione fine e/o ghiaiose.

La profondità d'interpretazione fornita con le sezioni è da ritenersi eccessiva, ed il profilo è affidabile fino a circa 40 metri dalla superficie.

In relazione a quanto detto al § 6.2.1.4 l'aspetto più rilevante ai fini pratici è dato dalla assenza di un substrato ghiaioso ciottoloso sotto l'argine (che avrebbe dovuto manifestarsi con valori di resistività > 150 ohm*m) e soprattutto dalla assenza di un sottostante strato limo argilloso di molti metri di spessore che si sarebbe manifestato con valori di resistività bassi, ovvero da una inflessione verso il basso delle curve di resistività.

L'assenza di questo confine inferiore al flusso consente di concludere che le condizioni osservate, pur nei limiti di risoluzione del metodo, sono differenti da quelle evidenziate come favorevoli al sifonamento nel citato studio sulla sicurezza degli argini eseguito poco a sud in località Ponte Landi (v. Figura 33).

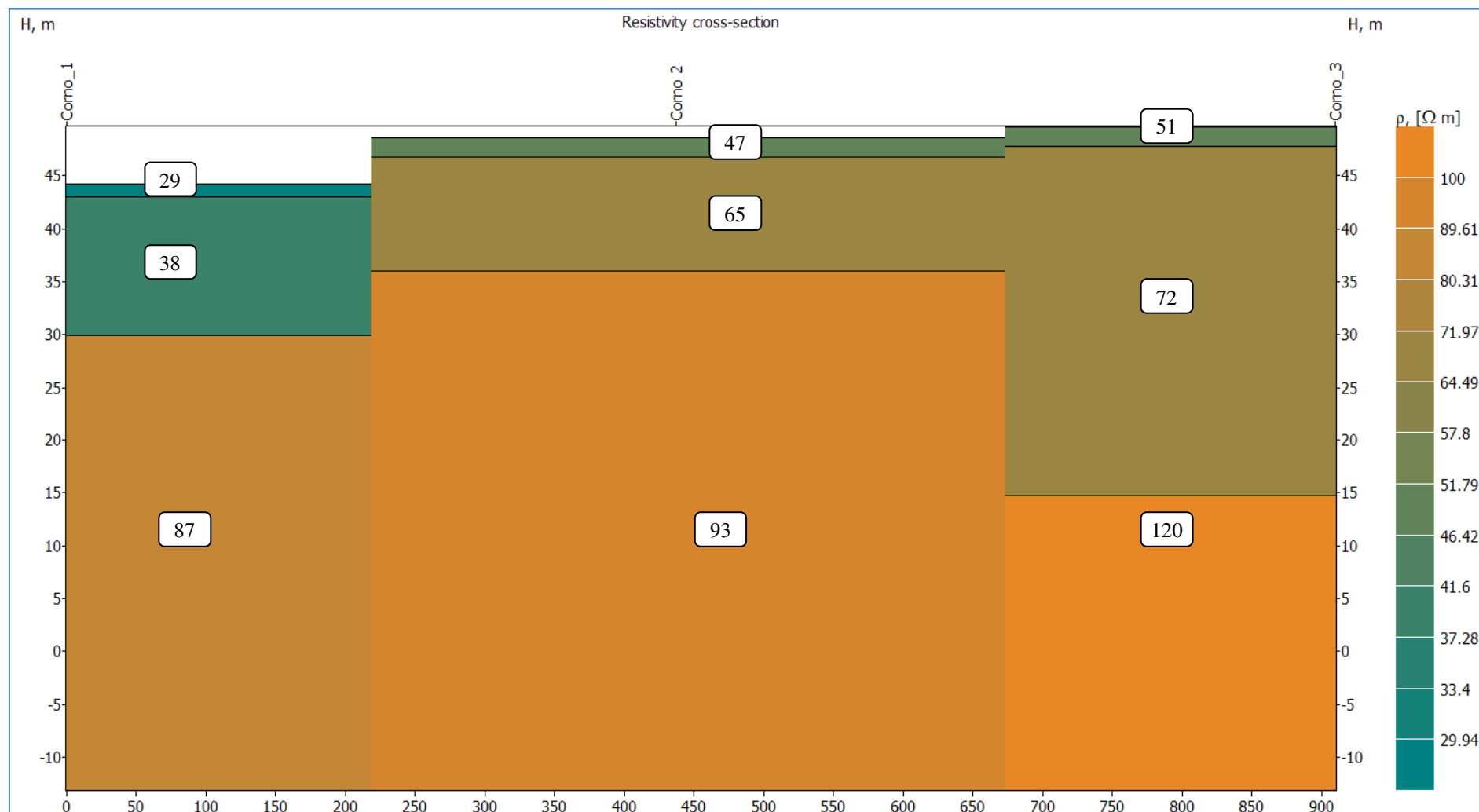


Figura 43: sezione elettrostratigrafica dei tre SEV eseguiti lungo l'argine del Po

7 Aspetti idrogeologici

7.1 Caratteristiche generali e stratigrafia dei pozzi

Gli elementi descritti nel capitolo dedicato agli aspetti strutturali, delineano la cornice nella quale si individua la presenza ed il moto delle acque sotterranee.

La successione di terreni prevalentemente sabbiosi attribuiti alle fasi glaciali giacciono, come detto, su sedimenti più fini formati in ambienti di transizione (litoranei e deltizi), e presentano una porosità primaria (spazio tra i granuli, il cui valore è mediamente di circa il 25%), che viene saturata dall'acqua proveniente dalle piogge e dall'irrigazione, infiltratasi attraverso gli strati più superficiali.

La massa d'acqua ospitata nei sedimenti è chiamata "falda", mentre i sedimenti che costituiscono il serbatoio (condotta dell'acqua), sono denominati "acquiferi".

Quest'ultimo può essere suddiviso in compartimenti da strati anche molto estesi di materiali limo argillosi a giacitura pressoché orizzontale, che essendo quasi impermeabili isolano porzioni di acquifero nelle quali la falda può assumere pressioni differenti rispetto al normale carico idrostatico. In tali circostanze, che si manifestano soprattutto nei terreni appartenenti alla facies di transizione o nei sottostanti terreni del Pliocene marino, le falde sono definite artesiane.

L'acquifero che caratterizza la Pianura Padana, è sostanzialmente costituito da un monostrato di sabbie e ghiaie, localmente compartimentato da livelli lentiformi semipermeabili detti anche "aquitards". In corrispondenza di tali livelli possono avvenire scambi idrici verticali tra acquiferi sovrapposti dotati di differenti carichi idraulici (fenomeno della drenanza), che si manifestano con movimenti d'acqua ascendenti o discendenti.

Lo spessore di questo complesso di corpi acquiferi, dal quale si emunge l'acqua per i vari usi, è condizionata dalle strutture del substrato marino in precedenza descritte.

Secondo quanto esposto dall'IRSA ³¹, " *...la coltre alluvionale assume potenze di poche decine di metri lungo gli assi degli alti strutturali (Villanterio, Chignolo Po), mentre raggiunge i 70 - 80 m in corrispondenza degli interposti bassi strutturali (Villanova Sillaro, Ossago). Per quanto attenuate, le predette deformazioni del substrato si ripetono negli strati basali della sequenza continentale.* In tutto il sottosuolo della Bassa Lodigiana la litologia dominante delle alluvioni è caratterizzata da ripetute ed irregolari alternanze di strati sabbiosi ed argillosi. A questa regola fanno però eccezione, anche in questo caso, le fasce sviluppatesi ai lati delle aste fluviali attuali e antiche (fiumi Po, Adda, Serio e subordinatamente Lambro)

Gli acquiferi sotterranei racchiusi in seno ad orizzonti sabbioso-grossolani sono piuttosto modesti - sia come numero che come consistenza - in corrispondenza delle dorsali

³¹ I.R.S.A. - C.N.R.: (1981) : *Indagine sulle falde acquifere profonde della Pianura padana*. Quaderni dell'Istituto di Ricerca sulle Acque, 28 (II), Roma.

sepolte di Villanterio-Codogno e di Bascapè-Caviaga. Divengono invece relativamente più cospicui in prossimità dell'Adda."

La figura seguente mostra la sezione elaborata dall'IRSA (1981,cit.) lungo un allineamento SW - NE passante per i pozzi degli acquedotti di San Fiorano e di Maleo, e che lambisce la pozione settentrionale di Corno Giovine. Si osserva in particolare un intervallo costituito da ghiaie predominanti sulla matrice sabbiosa posto tra i 20 ed i 35 m di profondità, riscontrato in numerosi pozzi della zona, a partire da una profondità variabile dai 15 ai 25 metri (Codogno, Casalpusterlengo, Cavacurta, Camairago, Castiglione d'Adda etc.), e che presenta uno spessore quasi costante di 10 -13 m.

Al disotto si rinvenivano talora sabbie medie e fini (Codogno, Maleo, Castiglione d'Adda) ed in altri casi banchi di argilla o intervalli torbosi (Cavacurta, Camairago, Bertonico).

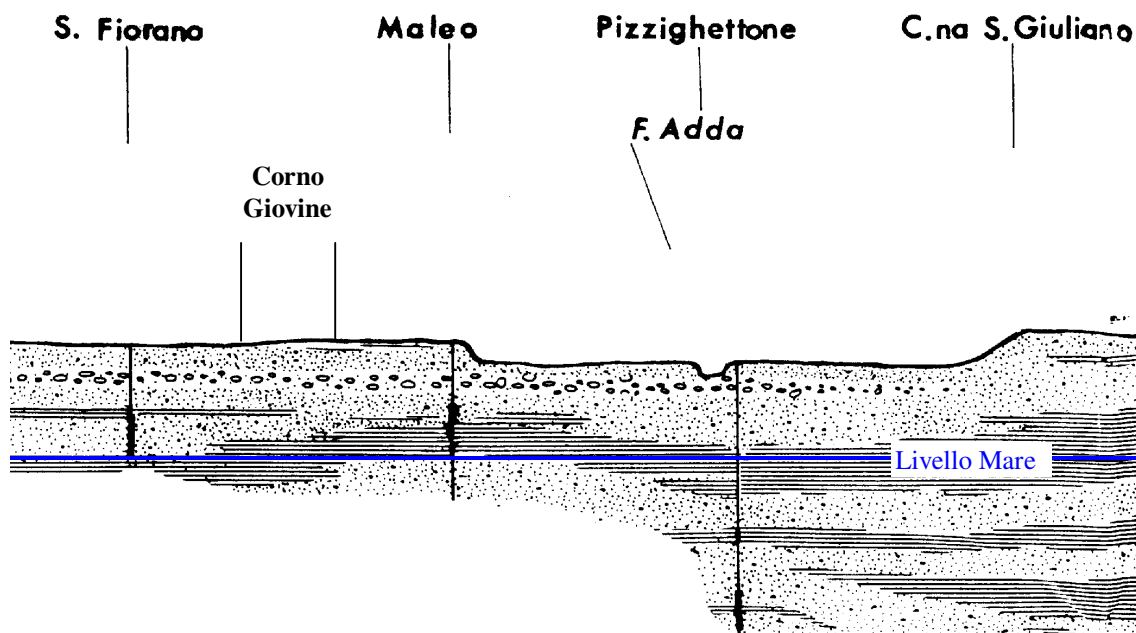


Figura 44 sezione idrogeologica IRSA

La **successione stratigrafica locale** d'interesse idrogeologico può essere definita solo disponendo di adeguate informazioni provenienti dalla perforazione di pozzi per acqua o di indagine geognostiche non superficiali. A tale proposito si precisa che ha avuto esito negativo la ricerca di stratigrafie relative ai pozzi privati condotta presso l'Ufficio Ecologia della Provincia di Lodi, gli Uffici Provinciali del Genio Civile e l'ARPA, mentre non risultano disponibili presso l'U.T. comunale documenti relativi ad indagini geotecniche eseguite territorio.

Le informazioni relative ai pozzi privati fornite dall'ARPA con documento dell'08/11/02 sono contenute nella seguente tabella, dove Cod.Pozzo è il numero univoco attribuito al singolo pozzo dal Sistema Informativo Falda di Milano, cui l'Arpa di Lodi aderisce, e l'uso risulta dal seguente codice: p= potabile; z= zootecnico; d = domestico; i = industriale; ir= irriguo. Tutti i pozzi attivi sono riportati nella tavola 2.

Ad agosto 2009 è stata verificata l'assenza di dati più aggiornati presso l'Ufficio Acqua, Aria ed Energia Pozzi della provincia di Lodi e presso l'ARPA.

Tabella 3: elenco e principali caratteristiche dei pozzi presenti a Corno Giovine

COD_POZZO	UTILIZZATORE	LON	LAT	STATO	USO	PROFONDITÀ'	INDIRIZZO
980220004	PRIVATO	1560228	4998408	Attivo	p-z	32	C.NA CAMPAGNETTA
980220005	PRIVATO	1560265	4998225	Attivo	p	16	C.NA CAMPAGNETTA
980220006	PRIVATO	1559606	4998451	Attivo	p-z	20	C.NA BUONPENSIERO
980220007	PRIVATO	1562418	4997898	Attivo	p	16	C.NA SQUADRE
980220008	PRIVATO	1562449	4997928	Attivo	p	18	C.NA SQUADRE
980220009	PRIVATO	1562419	4997883	Disuso		10	C.NA SQUADRE
980220010	PRIVATO	1561575	4997614	Attivo	p-z	20	C.NA MEZZANO SQUADRE
980220011	PRIVATO	1560387	4997789	Attivo	p-z	24	C.NA FORNACE
980220014	PRIVATO	1561592	4998858	Attivo	p	18	C.NA BELGRADO
980220015	PRIVATO	1559265	4998019	Attivo	z	20	C.NA CA' VECCHIA
980220016	PRIVATO	1561307	4997833	Attivo	p-z	16	C.NA MEZZANO DI SOTTO
980220017	PRIVATO	1559283	4999303	Attivo	p-z	25	LOC.CASTELLETTO
980220018	PRIVATO	1559387	4998695	Attivo	z	24	C.NA CASTELLETTO
980220019	PRIVATO	1559518	4998616	Attivo	p-z	18	C.NA CASTELLETTO
980220020	PRIVATO			Attivo			DANTE
980220021	PRIVATO			Attivo			TURBIGACCIO
980220022	PRIVATO	1561538	4997689	Attivo	p-z	18	PODERE MEZZANO
980220023	PRIVATO	1561475	4997708	Attivo	p-z	16	PODERE MEZZANO
980220024	PRIVATO	1559945	4995741	Attivo	i	25 (56)*	LOC.PASSONE
980220025	PRIVATO	1559905	4997318	Attivo	p	18	C.NA INOMA ATTILIO
980220026	PRIVATO	1560145	4995921	Attivo	p	20	VIA MEZZANE PASSONE 6
980220027	PRIVATO	1559556	4998069	Attivo	d	14	VIA BELTRAMI
980220028	PRIVATO	1561623	4997619	Disuso		11	FR.MEZZANO
980220029	PRIVATO	1559045	4998153	Attivo	p	30	VIA San ROCCO,14
980220030	PRIVATO	1559074	4998184	Attivo	p	30	VIA San ROCCO,15
980220031	PRIVATO	1559031	4998203	Attivo	p	30	VIA San ROCCO,16
980220032	PRIVATO	1559539	4998662	Disuso		14	C.NA CASTELLETTO
980220033	PRIVATO	1559576	4998457	Attivo	p-z	15	C.NA VIDORE O BIANCA
980220034	PRIVATO	1559823	4998012	Attivo	p-z	25	C.NA CA' VECCHIA
980220035	PRIVATO	1561683	4997649	Attivo	p-z	20	C.NA CA' VECCHIA
980220036	PRIVATO	1561322	4997762	Attivo	p-z	18	C.NA CA' VECCHIA
980220037	PRIVATO	1559238	4997416	Attivo	p	16	C.NA VERANI
980220038	PRIVATO	1560065	4997288	Attivo	p	15	C.NA MEZZANO NUOVO
980220039	PRIVATO	1562459	4997874	Disuso		11	MEZZANO SQUADRE
980220040	PRIVATO	1562523	4997935	Disuso		12	MEZZANO SQUADRE
980220041	PRIVATO	1559278	4999327	Attivo	p-z	90	LOC.CASTELLETTO
980220042	PRIVATO	1560738	4998448	Attivo	p-z	26	C.NA CAMPAGNETTA
980220043	PRIVATO	1559618	4998038	Attivo	d	16	VIA Roma 18
980220044	PRIVATO	1559282	4996811	Attivo	p-z	20	C.NA MEZZANO
980220045	PRIVATO	1562429	4997921	Disuso		11	C.NA SQUADRE
980220046	PRIVATO	1562435	4997879	Disuso		12	C.NA SQUADRE
980220047	PRIVATO	1561614	4997665	Attivo	p	12	FR.MEZZANO
980220048	PRIVATO	1560752	4997062	Attivo	p-z	18	C.NA COLOMBARONE
980220049	PRIVATO	1559881	4995769	Disuso		12	LOC.PASSONE
980220050	PRIVATO	1559893	4996971	Disuso		13	C.NA MEZZANO VECCHIO
980220051	PRIVATO	1559611	4998428	Attivo	ir-z	55	VIA KENNEDY
980220052	PRIVATO	1559611	4998428	Attivo	p-z	26	C.NA BUONPENSIERO
9802200xx**	Comunale	1559772	4997769	Attivo	Z	55	Via della Costa

* pozzo approfondito per carenza di portata. Dato fornito dalla proprietà, con pratica in corso di istruttoria.

** pozzo di proprietà comunale realizzato nel 1988 per alimentare il laghetto di pesca sportiva. Diametro 500 mm con tubi in lamiera zincata, finestrato -25/-35 m e -44/-46.5 m con dreno siliceo a protezione. Pompa

sommersa da 15 HP e portata nominale di 20 l/s con prev. 60 m. Il pozzo non è inserito nell'elenco ARPA e non è stata reperita né la stratigrafia, che pure forma è indicata tra gli allegati alla documentazione, né il codice SIF.

All'elenco originario è stato aggiunto il pozzo di proprietà comunale privo di codice SIF, riferendo nella nota in calce alla tabella le informazioni reperite presso l'U.T.

I pozzi privati in territorio comunale sono in totale 45, di cui 36 attivi: la profondità media è di 21 m, compresa tra un minimo di 10 ed un massimo di 90 m, ed il valore mediano è di 18 m. Solo 3 pozzi presentano profondità > 30 m, e da ciò si può dedurre che la porzione superficiale dell'acquifero freatico presenta condizioni di produttività e di qualità sufficienti per il soddisfacimento della maggior parte delle esigenze espresse dal territorio.

Le uniche informazioni stratigrafiche disponibili provengono dai due pozzi pubblici al servizio dell'acquedotto di Corno Giovine, posti in località C.na Bignamina in territorio di Santo Stefano Lodigiano, poco a NW del confine comunale, nel pozzo pubblico di Cornovecchio e in due pozzi privati, il primo circa 600 m a nord della cascina Belgrado in territorio di Maleo, e l'altro in area golenale in loc. Mezzano Passone (cod 0024), che come detto è stato recentemente approfondito.

Le stratigrafie dei pozzi di cascina Bignamina individuano terreni esclusivamente sabbiosi fino alla profondità di 52÷53 m (pari al livello mare), che presentano una frazione lievemente più grossolana (sabbia grossolana con ghiaietto) a partire da -32 m, e che termina con un intervallo argilloso torboso di alcuni metri di spessore. La quota e lo spessore di tale intervallo non pare direttamente correlabile con gli analoghi intervalli presenti nei pozzi di San Fiorano (torba e argilla plastica da 31 a 45 m dal p.c.) e Corno Vecchio (argilla compatta da 38 a 42 m), ma in tutti i casi gli strati coesivi risultano soggiacenti ai depositi più grossolani della successione litostratigrafica.

Il tratto inferiore, attraversato con il solo pozzo 2 fino alla profondità di 102 m, risulta costituita per il 62 % da sabbia e per il 38% da argilla grigia, sabbia argillosa e limo argilloso, denotando una sensibile variazione dell'ambiente di sedimentazione.

Il pozzo 1 risulta finestrato esclusivamente nella successione più superficiale (tra 30,75 e 53 m), mentre nel pozzo 2 gli intervalli finestrati sono presenti solo nel tratto inferiore (tra 59,14 e 62,28 e tra 85,03 e 98,7). I livelli piezometrici rilevati in fase di collaudo (-6,55 m nel pozzo 1 e -7,7 m nel pozzo 2), sono entrambi superiori ma complessivamente compatibili con i livelli locali dalla prima falda (circa -10 m), e quindi non indicano un rilevante isolamento idraulico della porzione più profonda captata.

Il pozzo privato a nord della cascina Belgrado attraversa solo la successione sabbiosa e termina con ghiaie e sabbie nel tratto da 24 a 37 m, mentre il profilo del pozzo in loc. Mezzano Passone (cod. 0024) comprende un banco argilloso da -16 a -32.4 m, la cui presenza appare in contraddizione con quanto rilevato con le indagini geoelettriche.

Per completare la descrizione degli aspetti idrogeologici del territorio è opportuno fare riferimento ad informazioni bibliografiche recentemente ampliate con un importante studio di ricerca applicata di carattere regionale

7.1 Stratigrafia locale delineata nella recente letteratura

Nel documento citato in nota ³², la serie idrogeologica della Pianura Lombarda è stata descritta nel utilizzando *“l'enorme mole di dati ed informazioni sul sottosuolo della pianura, raccolti nel corso degli anni dagli enti citati e opportunamente integrati, ha permesso di aggiornare in modo significativo le conoscenze sulla struttura e sull'evoluzione sedimentaria del bacino alluvionale Padano.”*.

La base dei dati utilizzata, consistente in 20.000 Km di linee sismiche a riflessione, 250 pozzi di esplorazione petrolifera, 596 pozzi per acqua e 4 specifici sondaggi a carotaggio continuo spinti alla profondità di circa 200 m sui quali sono state condotte analisi sedimentologiche, geotecniche, petrografiche paleontologiche, palinologiche e datazioni radiometriche, ha consentito agli Autori di elaborare un modello tridimensionale della struttura interna e dei limiti fisici degli acquiferi Padani della Lombardia, di delimitare gli acquiferi più profondi e maggiormente protetti, di mappare le aree di ricarica diretta degli acquiferi, fornendo uno strumento utilizzabile per il calcolo dei bilanci delle risorse idriche sotterranee al quale è possibile fare riferimento per la descrizione dei caratteri strutturali degli acquiferi nel territorio comunale.

Gli Autori hanno ritenuto di individuare nella successione sedimentaria lombarda plio-pleistocenica alcune **unità idrostratigrafiche di rango superiore** denominandole GRUPPI ACQUIFERI A, B, C, D, costituiti da complessi di strati con geometrie e caratteri petrofisici variabili, ma depositi in ambienti sedimentari contigui ed in continuità di sedimentazione, **definiti a tetto e a letto da barriere impermeabili o semipermeabili di estensione regionale**. Conseguentemente i flussi idrici risultano prevalentemente paralleli ai limiti dell'unità (ad eccezione delle aree di ricarica diretta), ed il livello piezometrico misurabile negli acquiferi presenti in ogni Gruppo è distinto e indipendente da quello degli acquiferi contenuti in altri gruppi in corrispondenza di una medesima verticale. All'interno dei gruppi è possibile distinguere localmente “complessi acquiferi” formati da Sistemi Acquiferi (corpi geologici formati da prevalenti depositi poroso-permeabili), separati da barriere di permeabilità locali e da Sistemi Acquitardi (corpi geologici formati da prevalenti depositi fini).

In estrema sintesi, dal punto di vista stratigrafico i gruppi rappresentano uno o più cicli sedimentari compresi tra due fasi trasgressive principali (avanzamento del mare sul continente) che apportano argille marine e sedimenti continentali fini di chiusura del ciclo, mentre per effetto di oscillazioni climatico-eustatiche si producono Sequenze Deposizionali Elementari che costituiscono cicliche alternanze di corpi sedimentari a granulometria prevalentemente grossolana con corpi sedimentari a granulometria prevalentemente fine.

Le relazioni stratigrafiche dei Gruppi con le altre unità stabilite in letteratura è riassunto nel seguente schema:

³² Regione Lombardia, ENI Divisione Agip, 2002. Geologia degli acquiferi padani della Regione Lombardia a cura di Cipriano Carcano e Andrea Piccin. S.EL.CA.(Firenze). Scala originale 1:250.000.

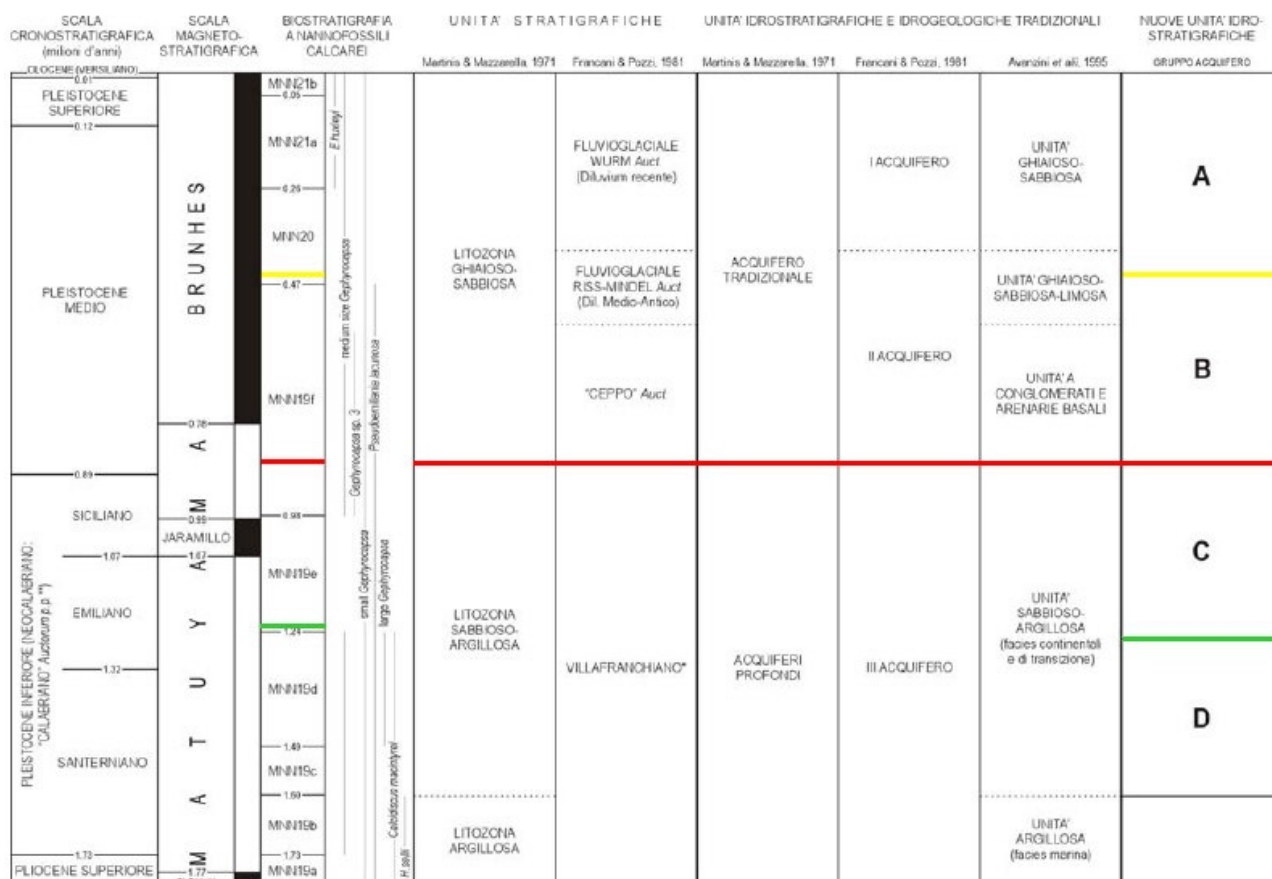


Figura 45 Schema dei rapporti stratigrafici dei depositi quaternari – versione 2005

Di seguito si fornisce una sintetica descrizione della sedimentologia dei gruppi acquiferi a partire dalla superficie topografica, che descrive principalmente l'andamento delle **isobate** del limite inferiore di ogni gruppo (profondità riferita al livello mare) alle quali è sovrapposto il confine comunale.

Gruppo acquifero A: Il gruppo occupa la posizione stratigrafica più elevata e comprende le litologie più grossolane presenti nelle successioni considerate. I caratteri sedimentologici dei depositi paiono connessi a sistemi fluviali ad alta energia conseguenti al deterioramento climatico dei cicli glaciali pleistocenici. Si denota una chiara variazione graduale di facies da nord verso sud, con aumento delle litologie sabbiose a scapito di quelle ghiaiose, e la comparsa nelle posizioni più distali di intercalazioni decimetriche di argilla ed argilla siltosa che determinano confinamenti locali della falda.

La **profondità del limite basale** di tale gruppo è collocato dagli Autori a **circa -150 m dal l.m. in tutto il territorio comunale**, all'interno di una depressione che si individua a partire dall'area a SE del colle di San Colombano e che si estende ampliandosi in direzione di Cremona lungo l'asse del fiume Po. Con riferimento a tale schema si deve osservare che **i tutti i pozzi noti risultano interamente perforati nel solo gruppo A**, e conseguentemente il grado di separazione della porzione di acquifero captato con i filtri del pozzo 2 può definirsi di carattere locale.

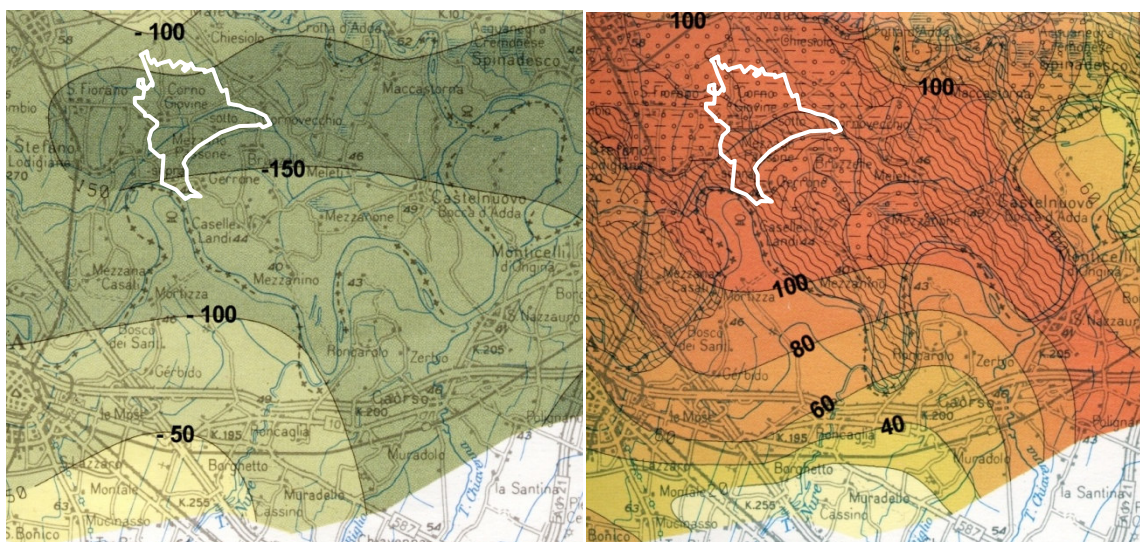


Figura 46: Gruppo A - a sinistra profondità del limite basale dal livello mare; a destra spessore cumulativo dei depositi poroso-permeabili in metri. Il retino sovrapposto indica la capacità protettiva dei suoli nei confronti della falda freatica tratta dai documenti ERSAL: ■ bassa ; ■ moderata; ■ elevata

Lo spessore totale del gruppo A è compreso tra un minimo di circa 180 m e un massimo di 220 m, di cui circa il 50% (100 m) formato da sabbie. Il retino sovrapposto deriva dalle già esaminate valutazioni ERSAL relative alla capacità protettive dei suoli nei confronti della falda freatica.

Gruppo acquifero B: Il gruppo presenta forti analogie con il sovrastante gruppo A. L'ambiente di sedimentazione è esclusivamente continentale, con sistemi di deposizione di piana alluvionale dominata da sistemi fluviali a canali intrecciati (braided) ad alta energia. Si ritiene che l'instaurarsi di tale ambiente vada posto in relazione con il rapido deterioramento del clima connesso alle fasi glaciali pleistoceniche. La successione sedimentaria mostra un generale aumento verso l'alto della granulometria dei sedimenti ed è suddivisibile in due cicli di circa 20 m di spessore a gradazione normale (diminuzione della granulometria verso l'alto). Il ciclo inferiore è rappresentato in prevalenza da sabbie da fini a grossolane grigie e grigio giallastre, in strati da sottili a molto spessi (da 3-10 a > 100 cm), con intercalazioni subordinate di argilla siltosa verde e presenza di frustoli e tronchi. Il ciclo superiore è caratterizzato da granulometrie più grossolane, con chiara prevalenza delle ghiaie nelle aree più prossime a quelle alpine di alimentazione, e di sabbie in quelle più meridionali.

Nel territorio di Corno Giovine il Gruppo è individuato a profondità di -150 m sul livello mare nella zona settentrionale e di -200 s.l.m. in quella meridionale. Lo **spessore è pari a 0 a nord**, dove l'unità risulta assente per erosione o mancata deposizione, ed **assume il valore di circa 50 m a sud**.

Lo spessore della parte sabbiosa è nulla a nord, di circa 20 metri nella porzione centrale, e raggiunge quasi i 40 m all'estremità meridionale in loc. Regona. In sostanza gran parte di quest'unità è ritenuta sabbiosa.

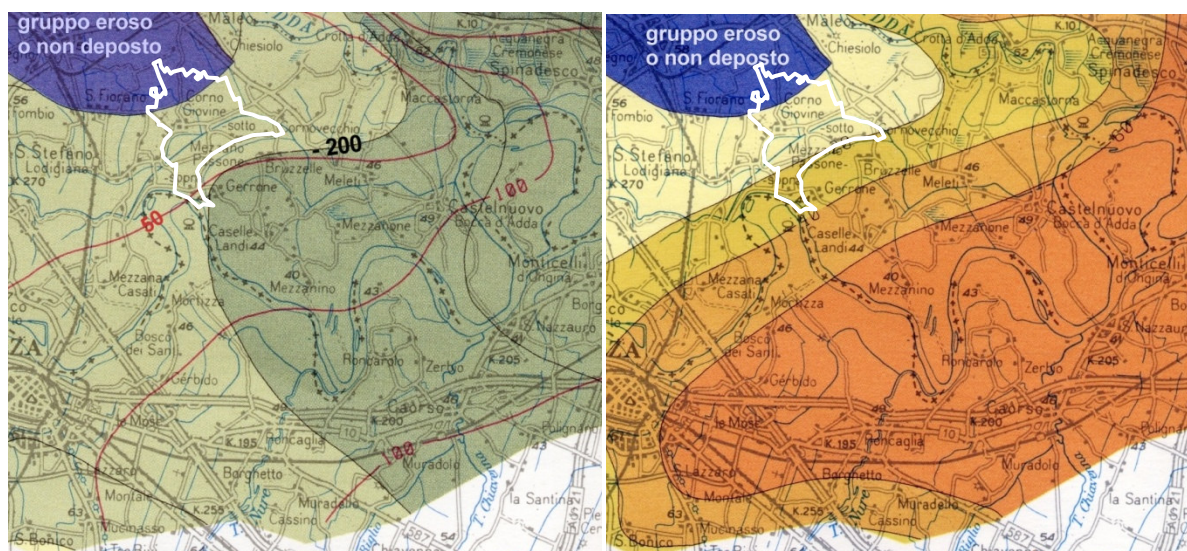


Figura 47: Gruppo B - a sinistra profondità del limite basale dal livello mare. le linee rosse individuano lo spessore del gruppo acquifero saturato con acque dolci; a destra spessore cumulativo dei depositi poroso-permeabili in metri (isopache).

Gruppo acquifero C : notevole varietà sedimentaria rappresentata da alternanze di depositi marini di piattaforma silicoclastica, depositi di transizione deltizi e litorali, depositi continentali di pianura alluvionale con sistemi fluviali a meandri. Gli intervalli sabbiosi dei sistemi deltizi e litorali rappresentano dei serbatoi caratterizzati da significativo spessore (10-30 m), buona continuità laterale e buone caratteristiche di permeabilità e porosità (sabbie fini e medie, classate, prive di intercalazioni argillose). I depositi di piana alluvionale sono rappresentati da alternanze di sabbie grigie di buone caratteristiche idrogeologiche e argille verdi che localmente determinano condizioni di confinamento. Un importante fase trasgressiva, con deposizione di argille marine, suddivide il gruppo in due distinti acquiferi su ampio settore della pianura lombarda.

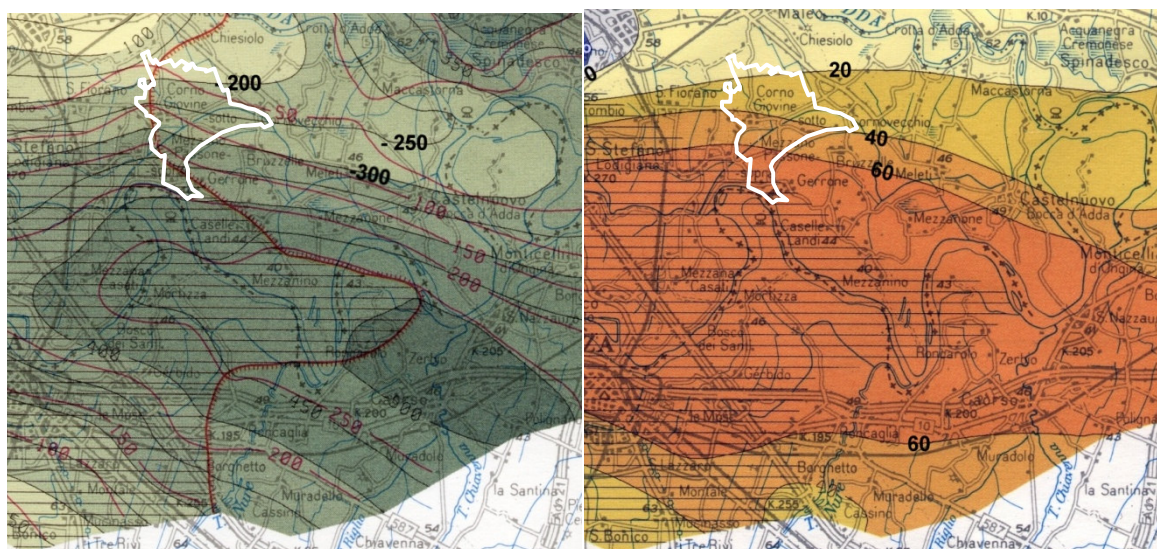


Figura 48: Gruppo C - a sinistra profondità del limite basale dal livello mare. Le linee rosse individuano lo spessore del gruppo acquifero saturato con acque dolci; nella parte ad est della linea rossa con tratteggio, quindi in quasi tutto il territorio comunale, tali spessori indicano solo la parte del gruppo C saturato con acque dolci. Dalla grafica emerge che una piccola porzione inferiore del gruppo è saturata con acque salmastre. A destra spessore cumulativo dei depositi poroso-permeabili in metri (isopache).

Nel **territorio di Corno Giovine** il Gruppo C è individuato a profondità di -180 m sul livello mare nell'area settentrionale, e di -400 s.l.m. in quella meridionale. Lo **spessore è di circa 30 m a nord**, e di **200 m a sud**. Si denota che ad est di un asse ad andamento meridiano passante circa dal centro abitato, la parte inferiore del gruppo risulta interessata da sole acque salmastre, per uno spessore non definito nella documentazione in esame.

Lo spessore della porzione sabbiosa del gruppo varia da poco meno di 20 m a nord, ad oltre 60 m a sud. Si può quindi stimare che circa un terzo dell'unità è localmente rappresentata da depositi permeabili.

Gruppo acquifero D : argilla siltosa e silt con intercalazioni di sabbia fine alla base, sabbia fine e media bioturbata nella parte intermedia e ghiaia alternata a sabbia nella parte alta; sistema deposizionale di delta-conoide progradante da nord verso sud. Nel territorio comunale tutto il gruppo D è **totalmente saturato da acque salmastre** o mostra uno spessore di pochi metri in acqua dolce nella porzione più occidentale.

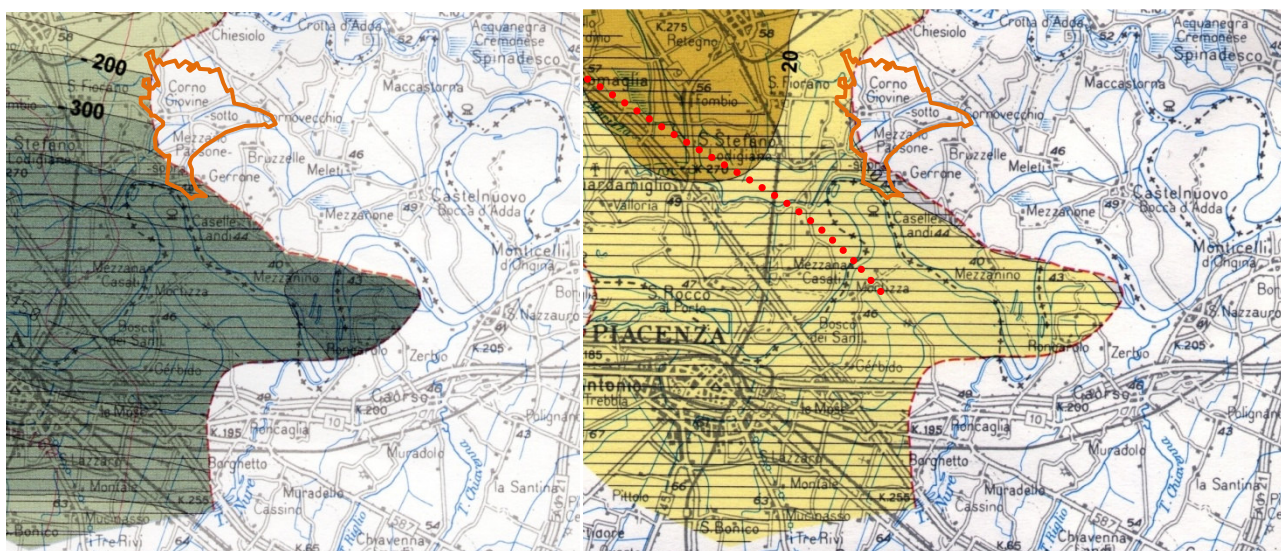


Figura 49: Gruppo D - a sinistra profondità del limite basale dal livello mare saturato con acque dolci. La linea rossa a tratteggio identifica il limite oltre il quale il gruppo è totalmente saturato da acque salmastre. A destra spessore cumulativo dei depositi poroso-permeabili in metri (isopache). Il retino orizzontale presente in entrambe le figure individua l'area entro la quale non vi è concordanza del presente documento con quello analogo prodotto per il territorio della Regione Emilia Romagna (1998). Traccia della sezione di Figura 50.

La configurazione idrogeologica delineata dalla documentazione in esame, consente di precisare alcuni aspetti di immediato interesse pratico per la ricerca di acque da destinare ad uso potabile:

Nei primi 250 m dal piano campagna è possibile il **reperimento di acqua dolce in tutto il territorio comunale**; sotto i 200 m dal p.c. , all'interno del gruppo B, gli acquiferi risultano separati dai sovrastanti da una barriera di importanza regionale.

A profondità **superiori i 250 m dal p.c.** è presente **acqua salmastra** nella porzione settentrionale del territorio, e la superficie d'interfaccia si **approfondisce in direzione sud fino a 450 m** all'altezza del Po, all'interno della porzione inferiore del gruppo C.

In parziale discordanza con quanto sopra riferito si rileva che nel pozzo pubblico n. 3 di Maleo è stata riscontrata la presenza di cloruri in eccesso (1 gr./l) a partire dalla profondità di 75 m, e tale circostanza potrebbe indicare la risalita di un cuneo salino per eccessivo o inadeguato emungimento. Inoltre acque salmastre sono segnalate alla profondità di 150 m dal piano campagna nel pozzo Cremona 1 dell'AGIP, perforato a poco a sud di Pizzighettone.

La circostanza meriterebbe adeguati approfondimenti, in particolare per evitare che la concessione di autorizzazioni al prelievo di acque da parte degli uffici provinciali avvenga senza un'adeguata verifica dell'entità e della cause del fenomeno, che potrebbe rapidamente aggravarsi con ulteriori emungimenti.

La giacitura e la genesi dei depositi che formano l'unità idrostratigrafica sopra descritta (GRUPPO A), è stata delineata in un articolo pubblicato su "Il Quaternario"³³, che fornisce una sezione geologica interpretativa riportata in stralcio in Figura 50 (ridisegnata).

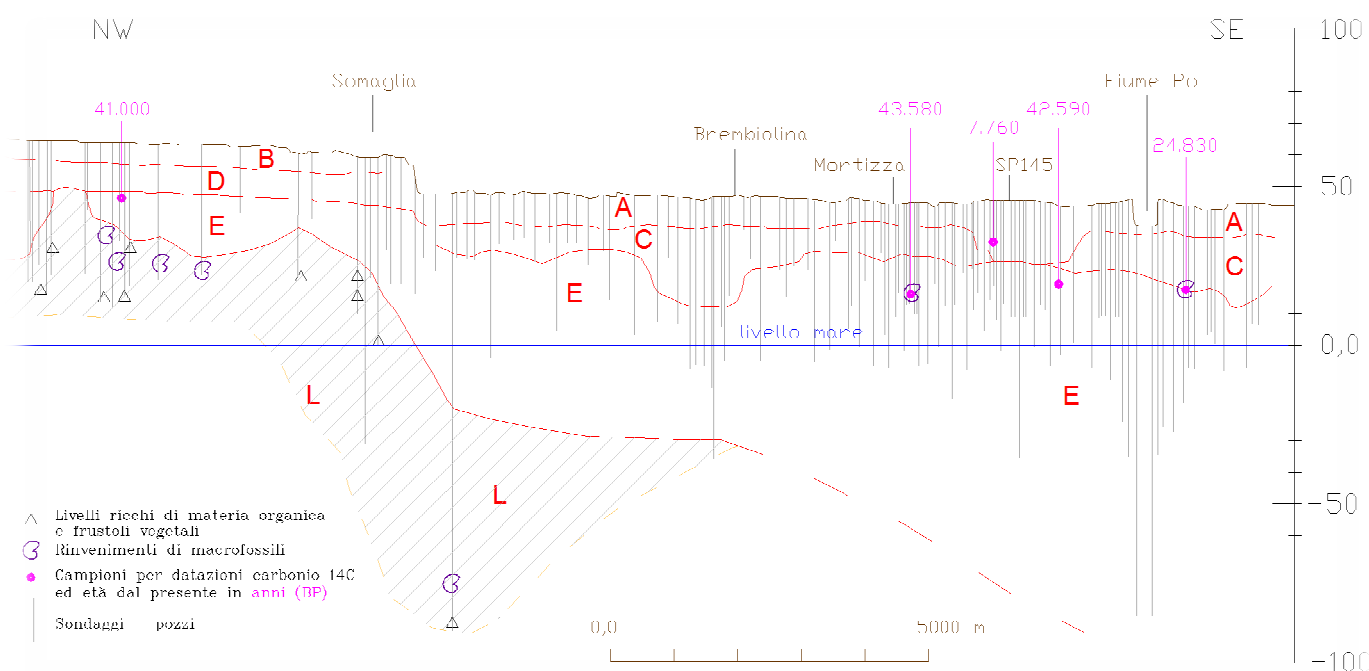


Figura 50: stralcio ridisegnato della sezione geologica NW-SE del territorio basso lodigiano riferita in Baio M, Bersezio M, Bini A. (2004). La sezione è stata realizzata principalmente con i sondaggi effettuati per la realizzazione della T.A.V., che sono graficamente indicati con le linee grigie verticali. Scala orizzontale 1: 120.000; scala verticale 1: 2.400. Il rapporto di scala (verticale /orizzontale) è 50 : 1.

La sezione è parallela al lato est dell'autostrada e rappresenta un tracciato che nella porzione a monte, dove interseca la scarpata principale (a Somaglia), è distante circa 9 Km da Corno Giovine, mentre è a circa 3 Km dal confine occidentale in prossimità del Po. Nonostante la distanza relativamente elevata, la successione stratigrafica individuata può essere ritenuta rappresentativa del territorio di Corno Giovine, primariamente perché le

³³ Baio M, Bersezio R., Bini A. (2004) "Assetto della successione quaternaria nel sottosuolo tra Melegnano e Piacenza". Il quaternario 17(2/1) pag. 355-359

unità riconosciute presentano continuità da nord verso sud per molte decine di chilometri, e non vi sono discontinuità tettoniche o morfologiche in direzione est, almeno fino ai terrazzi che delimitano la valle olocenica dell'Adda.

Occorre però osservare che nel caso della sezione la distanza tra la scarpata principale e l'alveo attivo del Po è di circa 11 Km, mentre a Corno Giovine è di 2 Km, sia a causa della posizione attuale dei meandri, sia perché il tracciato dell'alta velocità si estende per un lungo tratto parallelamente all'alveo, entro i depositi olocenici.

Lo studio ha consentito la ricostruzione bidimensionale di un esteso tratto di pianura, che è stato convenzionalmente suddiviso, a partire da nord, in tre settori: "Lodigiano", "San Colombano" e "Po". In quelli centrale e meridionale, che sono di diretto interesse, si sono distinte cinque unità stratigrafiche fluvio-glaciali e fluviali in gran parte di provenienza alpina, di età compresa tra il pleistocene medio (?) e l'Olocene, che poggiano sui sedimenti fini di ambiente marino e transizionale della Formazione di San Colombano (Pliocene-Pleistocene inf.), coinvolta nelle rampe del sollevamento appenninico quaternario.

Nel settore di "San Colombano", che inizia a sud di Borghetto Lodigiano, la formazione omonima giunge fin quasi alla superficie topografica, ed è incisa a tetto da profonde erosioni vallive, successivamente ricoperte dai depositi fluvio-glaciali e fluviali del pleistocene medio e superiore sia sul fianco settentrionale sia su quello meridionale.

Il settore "Po" si sviluppa a sud della scarpata morfologica principale della pianura e contiene depositi del Po e delle parti distali dei conoidi dei fiumi Trebbia e Nure.

Le Unità definite dagli Autori sono le seguenti:

Unità A, sabbiosa ghiaiosa limosa: comprende i sedimenti deposti dal Po in alvei incassati, colmati da tappi di sedimenti fini in seguito all'abbandono dei meandri. A tali depositi si sovrappongono quelli prevalentemente sabbiosi deposti dai corsi d'acqua minori, che incidono o si sovrappongono ai meandri fossili del Po.

L'età olocenica è testimoniata sia dalla posizione stratigrafica sia da un'analisi ^{14}C eseguita su legni prelevati a -12,5 m (2052-2080 B.C., 2134-2296 B.C.), oltre che da frammenti di laterizi romani a profondità di 5 - 7 metri. Lo spessore è compreso in prevalenza tra 8 e 12 metri, ma intorno alla SP 145 è rappresentata un'incisione del substrato dove l'unità presenta uno spessore di circa 20 metri.

Unità B, sabbioso limoso: costituisce la porzione più superficiale dei depositi a monte della scarpata principale, ed è **presente con continuità nella pianura lodigiana**, da Melegnano alla scarpata principale che la delimita a sud. Si tratta in prevalenza di sabbie di colore da bruno a giallo oliva, organizzate in sequenze metriche **coronate da facies fini limoso argillose talora ricche in materia organica**. Localmente sono presenti depositi più grossolani in corrispondenza di paleoalvei. **Lo spessore massimo è dell'ordine di 10 metri**. Nella composizione petrografica prevalgono elementi litici sedimentari su quelli metamorfici e magmatici. Un campione prelevato alla base dell'unità ha fornito un'età di 19.909-20785 anni B.C. (21.917-22.793 B.P.).

Gli autori rilevano l'attuale difficoltà a fornire una chiara attribuzione cronostratigrafica dell'intero deposito, poiché l'età rilevata alla sua base corrisponde con il periodo di massima espansione dell'ultima glaciazione (Last Glacial Maximum – LGM), mentre le parti sommitali non sono state datate e mal si prestano ad essere interpretate come depositi fluvioglaciali distali. Per questo gli autori ipotizzano che gli stessi possano essere attribuiti alle fasi di ritiro dell'ultima glaciazione, o ad una fase postglaciale.

Unità C, ghiaiosa : presente unicamente nel settore del Po, è costituita da spessi ed estesi corpi sedimentari formati principalmente da ghiaie di provenienza appenninica, e delimitati a tetto e inferiormente da superfici di erosione molto incise. Alla base di questa unità è stata ottenuta un'età ^{14}C di 24.633-25.033 anni B.P.

Unità D, sabbioso ghiaiosa: è presente nella pianura lodigiana fino alla scarpata principale che la interrompe. Si tratta di sequenze positive di **ghiaie passanti a sabbie** di colore grigio, **coronate da sedimenti limo argillosi**. La composizione petrografica delle ghiaie mostra una marcata differenza rispetto a quelle dell'Unità B, per la **prevalenza di litici magmatici e metamorfici** su quelli sedimentari.

Due campioni prelevati a tetto e a letto dell'unità hanno fornito una datazione di 22035 ± 300 e 23145 ± 140 anni B.P.

Secondo gli Autori l'unità D è attribuibile fasi fluvioglaciali precedenti l'LGM, probabilmente correlabili per facies ed età all'allogruppo di Besnate. Questi è costituito da varie alloformazioni riconosciute nell'area verbanica e lariana, deposte durante distinte fasi glaciali, e costituite da diamicton³⁴, ghiaie e sabbie, limi e argille in facies di till, fluvioglaciali e lacustri (A. Bini 1997).

La sezione mostra che **lo spessore di quest'unità varia tra 8 e 11 metri circa**, e che sia il tetto sia il letto sono regolarmente paralleli alla superficie topografica.

Unità E, limoso argillosa e ghiaioso sabbiosa: questa unità presenta spessori maggiori di 80 m nel settore del Po dove il substrato non è individuato dai sondaggi, mentre a nord si chiude appoggiandosi alla superficie di erosione incisa nella sottostante unità L.

Le litologie della parte superficiale sono limi, limi sabbiosi e argille localmente ricche di sostanza organica, frustoli vegetali e legni, che formano uno strato di 3 – 10 metri di spessore esteso lateralmente per molti chilometri. Questi depositi sono seguiti, verso il basso, da alternanze sottilmente stratificate di limi sabbiosi e sabbie fini, e successivamente da spessi strati di sabbie ghiaiose la cui provenienza è principalmente appenninica (Trebbia?).

³⁴ Diamicton (o diamict) è un sedimento molto assortito, formato da ghiaia mescolata con matrice fine. Il termine diamicton non è un termine genetico, sebbene la più frequente origine sia l'attività glaciale. I sedimenti direttamente depositati dai ghiacciai nelle morene sono caratterizzati da grande assortimento e mostrano grandi variazioni di spessore, composizione e tessitura.

Datazioni con il ^{14}C su legni hanno fornito età maggiori di 42.590 anni B.P. con un campione a circa 20 m dalla superficie.

Unità L: argilloso limosa. L'unità soggiace la successione fluviale e fluvioglaciale sopra descritta, ed è **profondamente erosa nella porzione sommitale**. E' costituita da sottili alternanze di limi, sabbie fini limose e limi argillosi, associati a limi sabbiosi, sabbie e sabbie fini limose, ed argille di colore nero ricche di sostanze organiche, a limi argillosi con tasche di macrofossili e livelli di torba. I caratteri litologici di questa unità sono del tutto confrontabili con quelle della Formazione di San Colombano (Pleistocene inferiore – Pliocene? Avanfossi et al 1967), e sono parimenti attribuibili ad ambienti marini e di transizione.

La forte risalita di quota osservata nel settore di San Colombano, e la profonda incisione che caratterizza il tetto dell'Unità L, confermano il coinvolgimento della stessa nella struttura tettonica positiva di San Colombano.

La chiusura verso nord dell'unità E avviene a Corno Giovine con minore rapidità perché l'anticlinale responsabile del sollevamento dell'unità L lungo l'allineamento Colle di San Colombano – Casalpusterlengo si attenua verso est, ed a Codogno i primi depositi contenenti fossili, seguiti a breve distanza da acque salmastre, si rinvennero intorno alla profondità di 40 metri.

Le prove penetrometriche realizzate a monte della scarpata principale entro il terrazzo tardo pleistocenico, sono terminate a 6 – 10 metri, ad hanno quindi interessato esclusivamente l'unità B sopra descritta, o al massimo la prima porzione dell'unità D.

La grande estensione delle unità B e D suggerita dalla sezione del 2004 consente di ipotizzarne l'estensione in tutta l'area del terrazzo tardo pleistocenico, e di massima di ritenere che la stessa formi ovunque un substrato di buone caratteristiche meccaniche.

7.2 Parametri idrogeologici locali e configurazione del flusso

Il valore di portata specifica del pozzo per uso pubblico S. Stefano 1, finestrato negli intervalli sabbioso ghiaiosi da 31 a 53 m, è di 15,38 litri/s per metro di abbassamento, in linea con i valori riscontrati a Maleo ($12 \div 14$ l/s*m), ma pari a circa il doppio dei valori riscontrati nel Pozzo di Corno Vecchio ($8,4$ l/s*m) per analoghi intervalli di profondità.

Nel pozzo 2, che presenta intervalli finestrati a profondità $59 \div 62$ e $85 \div 99$, i valori di portata specifica sono di $8,1 \div 8,5$ l/s*m allineandosi con quelli medi della zona (circa 5 - 7 l/s m, IRSA, 1981, cit.).

Si deve sottolineare che nelle aree prossime ai depositi olocenici dei principali fiumi si assiste in genere ad un considerevole incremento di tale parametro, che in territorio cremonese raggiunge valori massimi di 31,3 l/s m nel pozzo Pizzighettone 11 (Studio idrogeologico della Provincia di Cremona, 1992, cit.). La porzione superficiale dell'acquifero pare quindi caratterizzarsi in modo discontinuo da una notevole capacità di ricarica.

Una prima stima della trasmissività (T) è ottenibile mediante il metodo di Cassan³⁵ (1980) impostando la risoluzione dell'equazione

$$\ln s_0/J_0 r_p = s_0 2\pi T/Q + \ln s_0 2\pi T/Q$$

con metodo numerico, analogamente a quanto indicato in una pubblicazione della Provincia di Milano³⁶.

dove: - J_0 rappresenta il gradiente piezometrico: il valore utilizzato è di 0,00125, desunto dalle curve isopiezometriche della prima falda riportata nella tavola 2 sulla base dei rilievi di novembre 2002;

- r_p è il raggio del pozzo in corrispondenza delle finestre: = 0,15 m

- s_p è l'abbassamento in m di livello misurato nel pozzo durante il collaudo per varie portate Q in m³/s.

Il risultato del calcolo conduce a **T = 1,9 × 10⁻² m²/s** per il pozzo 1, mentre nel pozzo 2 **T = 1,06 ÷ 1,09 × 10⁻² m²/s**.

I valori individuati sono costantemente superiori a quello medio (8*10⁻³ m²/s) riferito nella citata pubblicazione della Provincia di Milano (2000) per l'acquifero tradizionale nella porzione meridionale della stessa. In particolare la trasmissività del pozzo 1 è pari al 238% di tale media, e designa la buona produttività della porzione superiore dell'acquifero, peraltro sfruttata in modo esclusivo dai pozzi per uso agricolo e domestico presenti nel territorio comunale.

Il **deflusso locale della falda freatica** nel territorio basso lodigiano è descritto a grandi linee dalla figura seguente, derivata dalla cartografia del Piano Cave del Consorzio del Lodigiano del 1987 perché il documento, benché datato, pare allo scrivente un'elaborazione tuttora affidabile.

³⁵ Cassan M.(1980) : Les essais d'eau dans la reconnaissance des sols – Ed Eyrolles, Paris.

³⁶ SIF- Provincia di Milano (2000) : le risorse idriche sotterranee nella Provincia di Milano. , volume II° - Stato qualitativo delle acque.

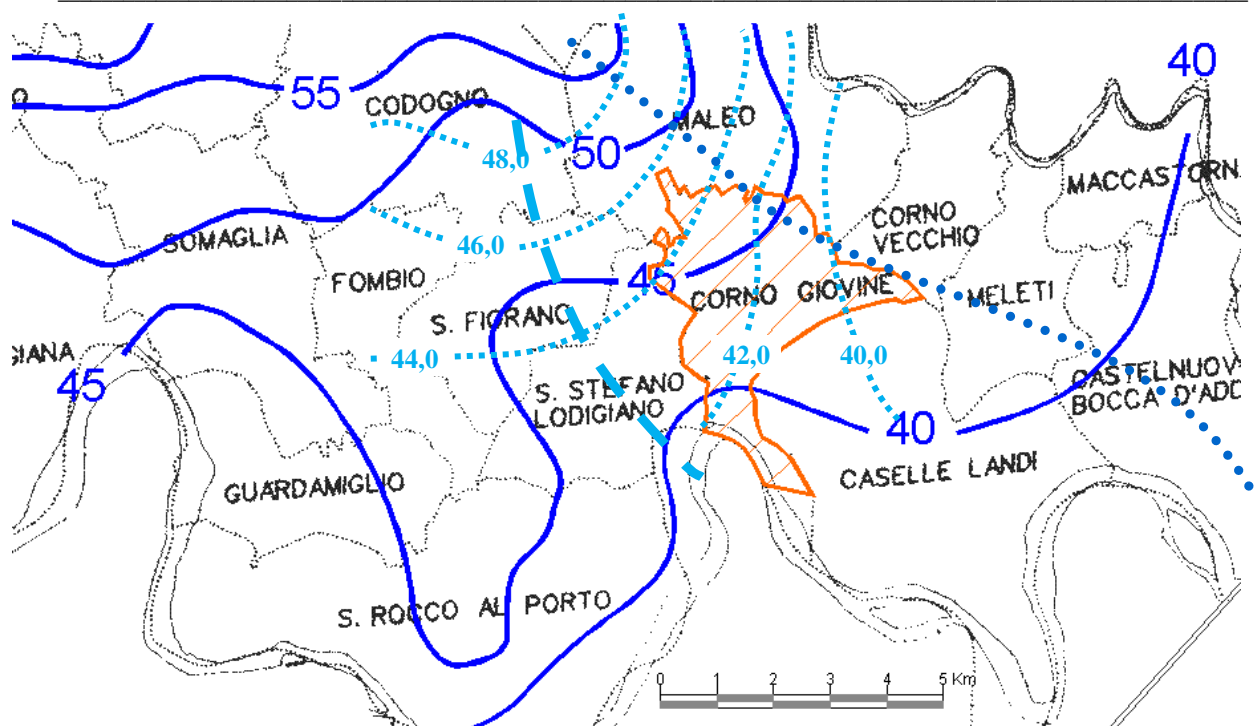


Figura 51 : — isopiezometriche della prima falda tratte dal Piano Cave del Consorzio del Lodigiano del 1987.
 - - - isopiezometriche della prima falda tratte dalla tesi di laurea dott. Saverio Pitaro (rilievi marzo 2005)
 spartiacque della cartografia del 1987, — spartiacque della cartografia 2005.

La figura riporta anche l'andamento della falda definito in una tesi di laurea consultata presso l'ARPA di Lodi ³⁷.

In entrambi i casi è evidente il ruolo drenante esercitato dalle depressioni oloceniche dei fiumi Po e Adda, e la presenza di spartiacque sotterranei disposti nel primo caso in direzione NW-SE, e nel secondo in direzione NNW-SSE, che separano le acque con deflusso verso l'Adda da quelle con movimento verso sud, in direzione della fascia a meandri del Po.

La diversa posizione dello spartiacque fa in modo che nella carta del 1987 il flusso che transita per il territorio di Corno Giovine appaia totalmente drenato in direzione del Po, mentre in quella del 2005 lo stesso sia in gran parte rivolto verso la valle dell'Adda.

Il gradiente idraulico nel primo caso presenta valori del 2,5 ‰ in direzione circa N-S nell'area occidentale del territorio di Corno Giovine, e subisce una rotazione di circa 60° nella porzione orientale del territorio, disponendosi in direzione NW - SE e diminuendo a circa 0,83 ‰. Nell'elaborazione del 2005 il gradiente è del 2,2 ‰ nell'area settentrionale del territorio dove il flusso è quasi da ovest verso est, e progressivamente diminuisce fino a circa lo 0,9 ‰ in prossimità del Po dove il flusso è NW-SE.

L'alimentazione proviene in prevalenza dalla parte centrale della piana irrigua della Muzza (terrazzo Pleistocenico o "Livello fondamentale della Pianura"), dove a causa delle dispersioni in subalveo del canale (mantenuto a quote elevate anche durante l'inverno) e

³⁷ Caratterizzazione geomorfologica, idrogeologica e idrochimica del settore meridionale della Provincia di Lodi, (AA 2004-2005). Tesi di laurea Dott. Saverio Pitaro, relatore Prof. Alberto Clerici. Università Studi di Milano, corso di laurea in Scienze Geologiche.

delle derivazioni irrigue, si riscontrano le minori soggiacenze (distanze della falda dal piano campagna) presenti in territorio lodigiano, con valori spesso inferiori ad 1,5 m.

Localmente la conformazione delle isopiezometriche pare indicare una buona coincidenza dell'alimentazione con i principali canali irrigui (Regina Codogna, colatori Trecco, rogge Cancelliera e Morara) che si sviluppano principalmente intorno all'asse congiungente Corno Giovine con Terranova dei Passerini.

Per l'indagine del 2002 è stato condotto uno **specifico rilievo della soggiacenza della prima falda mediante la posa di 6 micropiezometri** nei fori di altrettante prove penetrometriche, misurando la soggiacenza in data 31/10/2002. I dati hanno consentito di realizzare la carta delle isopiezometriche riportata nella tavola 2 dello studio del 2002.

Nella presente revisione si sono considerati i dati dei rilievi effettuati ad ottobre 2009 e di altre misure eseguite nel 2007, nonché le differenti quote del piano campagna indicate nella bozza di restituzione aerofotogrammetria della provincia di Lodi (v. nota ²⁹).

Tali operazioni hanno consentito di elaborare una carta delle isopiezometriche che presenta solo lievi modifiche rispetto a quella del 2002.

N. prova	nome micropiezometro	ubicazione	longitudine	latitudine	quota falda s.l.m.	soggiacenza dal p.c.
1	P1	350 m SSW Cascina Castelletto	1554661	5008024	43.9	-9.3
2		350 m est Chiesa San Rocco	1554872	5006964	< 44,0	<-7,8
3	P2	Stabilimento AZ costruzioni.	1554201	5006727	41.75	-1.9
4	P3	Mezzano Passone di Sotto	1555033	5007223	40.8	-2.5
5	P4	Squadre	1555037	5007252	41.7	-1.7
6	P5	Mezzano Passone di Sopra	1554834	5007829	41.9	-3.1
7		Strada vicinale del Mulino	1554765	5007928	< 46,5	<-5,8
8	P6	Viale Kennedy	1554749	5008010	42	-2.2
9		Str. Comunale Quartierone	1554773	5007007	< 45,5	<-6,8
10		Cascina Buon Pensiero	1555128	5007247	<43.4	<-9,4
11	P1 '07	Cascina Buon Pensiero	1554749	5007803	47.03	-6.1
12		Cascina Buon Pensiero	1554031	5007430	<43.3	<-9
13	P2 '07	Cascina Buon Pensiero	1553723	5006867	<43.9	<-8,52
14		Via Giuseppe Garibaldi	1554320	5006880	<42.8	<-9,4
15	P1 '09	Viale Luigi Lucchini	1554713	5006802	45.27	-7.5
16	P2 '09	via Vittorio Veneto	1554041	5007691	45.45	-5.2
17		cappella "morti della Porchera"	1554880	5007288	?	?
18	P3 '09	confine presso Regona	1554896	5007294	42.2	-3.7

Tabella 4: misure di soggiacenza disponibili, rilevate a ottobre 2002 (da P1 a P6), a febbraio 2007 (P1 e P2 '07) ed a ottobre 2009.

Dove non è stato collocato un micropiezometro si è indicata la profondità raggiunta dalle prove dove la falda non è stata osservata.

Anche in questo caso la costruzione delle isolinee è fondata non solo sulla soggiacenza misurata nei micropiezometri, ma anche sull'osservazione delle quote dell'acqua all'interno dei colatori Gandiolo e Fontana a sud e sud-est dell'abitato, che testimonia **l'emergenza diffusa della falda ai piedi del terrazzo**, e dell'assenza di acqua nelle prove CPT 2,7, 9,10, 12, 13, 14 fino alla profondità esplorata, come riferito in Tabella 4. Si è inoltre tenuto conto della quota di falda misurata in un pozzo privato in territorio di Maleo (cod. Sif 092), e dall'estesa linea di recapito della falda freatica rappresentata dall'alveo del

fiume Po, ipotizzandone una quota media di pelo libero di 41,0 m s.l.m. in base alle considerazioni di seguito esposte.

I dati forniti dai micropiezometri P1 '07, P1 '09 e P2 '09, mostrano una consistente anomalia rispetto alla configurazione generale (ben individuata dai profili delle restanti prove nell'ambito urbano), con quote più alte rispettivamente di circa 3,5 m, 2,5 m e 2,0 m rispetto quanto atteso. Nel primo e terzo caso la questione può essere spiegata ipotizzando che lo strato limoso o limo argilloso presente tra i -6 e i -8 metri circa in entrambi i profili sia sufficientemente esteso lateralmente da determinare un ristagno di acque di infiltrazione (**falda sospesa**). Nel caso del P1 '09 la presenza dello strato limoso è dubbia, e comunque lo spessore è molto limitato (20-40 cm intorno a -8,8 m), e la questione non appare quindi spiegabile con i dati disponibili. In tutti i casi, la profondità della probabile falda sospesa è tale da **non determinare interferenze con le opere di fondazione ordinarie**, e pare quindi sufficiente segnalare la problematica senza definire specifici interventi di cautela, tali da modificare la classe di fattibilità attribuita.

L'andamento delle isopiezometriche rappresentato nella tavola 2 del 2009 è riferita a dati rilevati in differenti anni, e quindi non è a rigore databile. La limitata escursione annua, di seguito descritta, e la costanza delle componenti di alimentazione (precipitazioni e irrigazione) e deflusso (asse del Po e dell'Adda), la rendono comunque adatta alla rappresentazione alla scala prescelta.

Si conferma la configurazione generale di deflusso precedentemente esposto con riferimento alla carta del piano cave provinciale. Un asse disposto in direzione NW-SE, passante poco a NE dell'abitato, separa il deflusso verso la depressione olocenica del fiume Adda da quello in direzione sud verso il Po. Il gradiente verso l'Adda è mediamente di circa il 2‰ accentuandosi verso est in direzione del margine del terrazzo pleistocenico, mentre nella porzione occidentale del territorio il gradiente verso sud si può stimare pari a 1,3‰ nella porzione settentrionale e compreso tra 0,5‰ e l'1‰ a valle della scarpata principale.

A valle della scarpata il bassissimo gradiente rende probabile che le direzioni di flusso subiscano locali mutamenti soprattutto nella stagione irrigua a causa della ricarica diretta e della dispersione lungo le rogge irrigue. Inoltre nella fascia prossima all'argine, per una profondità di alcune centinaia di metri, **la prima falda è soggetta inversione di flusso conseguenti alle variazioni idrometriche del Po.**

Per individuare **la quota idrometrica locale di maggiore frequenza del fiume Po** è possibile utilizzare i grafici di Figura 35 e Figura 36, dai quali si ottiene una portata mediana di circa 700 m³/s alla quale corrisponde una quota di 42,4 m s.l.m. (42,2 se si utilizza la scala delle portate fornita con la gli annali idrologici ARPA 2008).

Nella pubblicazione del Cati (v. nota ²) si riferisce la *"...pendenza media del pelo liquido del Po nei vari tratti per livelli di maggiore frequenza e come media di lungo periodi di anni..."*, pari allo 0,158‰ tra Piacenza e Cremona, e ciò consente di stimare per il meandro di Corno Giovine, posto a circa 9,0 Km dall'idrometro di Piacenza, una quota media di **40,9 m s.l.m.** ($42,3 - (9000 \cdot 0,000158)$).

Tale valore in sostanza coincide con la quota di 41,0 m s.l.m. indicata dall'ENEL per il bacino di accumulo dello sbarramento Isola Serafini (v. nota³), a sua volta pari alla quota minima indicata sulla C.T.R. poco a monte del meandro. La quota freatica individuata nel micropiezometro P5 posto a circa 200 m dall'argine in località Mezzano Passone di Sopra è di 41,8 m s.l.m. in data 31/10/02, mentre la quota individuata nel micropiezometro P3 '09 posto nella CPT 4/4 '09 è risultato di 42,2 m s.l.m. in data 28/10/2009.

In conclusione la **falda è drenata dal Po per gran parte dell'anno**, mentre quando le portate superano circa i 1500 m³/s, ovvero **per circa 50 giorni all'anno** (v. Figura 35), le quote del pelo libero raggiungono a Corno Giovine la quota di 42 m s.l.m. e la **falda può essere alimentata dalle acque del Po** che si infiltrano sotto l'argine. Perché si manifesti un'effettiva inversione del flusso è però necessario che la piena abbia una durata almeno di alcuni giorni, determinando la saturazione del volume di sabbie sovrastanti il normale livello piezometrico.

Le **oscillazioni freatiche** che riguardano la falda nell'area settentrionale del territorio comunale, a nord della scarpata principale, possono essere descritte dai dati di soggiacenza rilevati presso il pozzo n.1 di Cornovecchio resi disponibili dall'Ufficio Geologico Amiacque srl di Milano ed illustrati nei grafici seguenti.

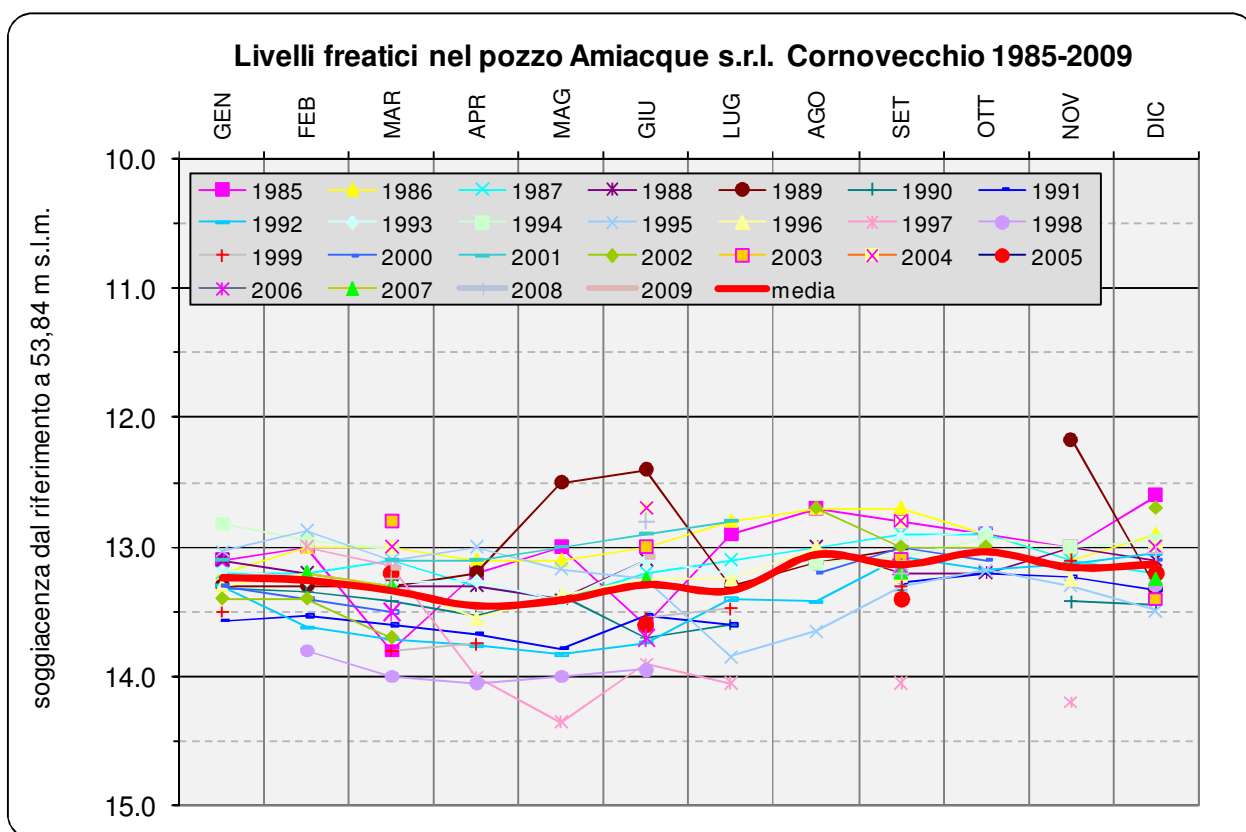


Grafico 11 : livelli piezometrici rilevati nel pozzo Amiacque di Cornovecchio dal 1985 al 2009 (mensilmente fino al 2002 (80% dei mesi), poi trimestralmente)

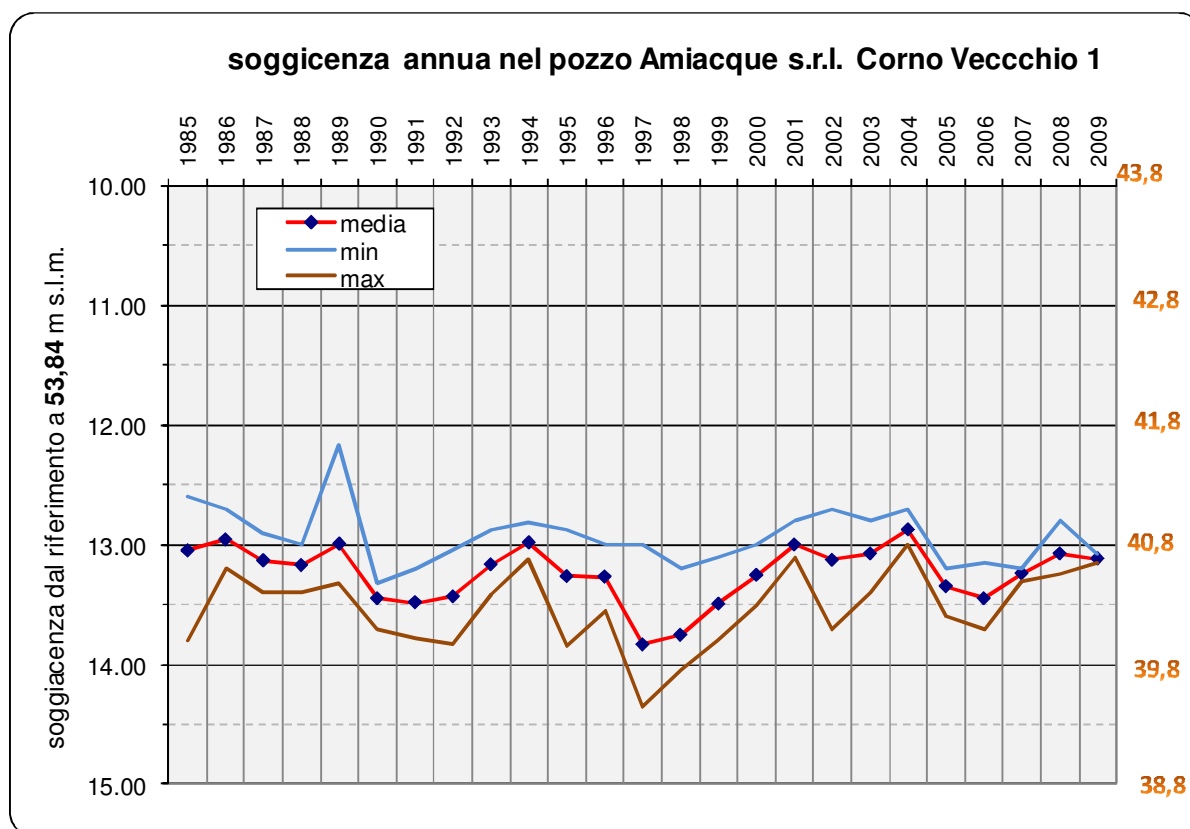


Grafico 12: soggiacenza minima, media e massima annua nel pozzo Amiacque di Cornovecchio dal 1985 al 2009

Il grafico relativo alla successione di valori nel periodo dal 1985 a settembre 2009 individua una variazione del **livello medio annuale** di ± 50 cm intorno alla media dell'intera serie pari a $-13,23$ m dal piano campagna. Negli anni 1997 – 1998 si sono manifestati i livelli medi minimi, mentre altri minimi meno accentuati si sono avuti negli anni 1990-1992 e 2006.

Le oscillazioni annuali dal 1985 al 2002 (periodo per il quale sono disponibili rilievi mensili per l'80 % dei mesi), variano tra 30 cm e 135 cm con media di 70 cm, mentre l'intervallo di variazione massimo nei 25 anni presi in esame è di 2,17 m.

L'andamento mensile medio indica che **la massima elevazione** del livello freatico **si manifesta con incrementi poco accentuati** nel periodo tardo estivo, da agosto ad ottobre, mentre i valori minimi si registrano nel mese di aprile.

Confrontando i dati mensili con quelli delle precipitazioni, tenuto anche conto dell'evapotraspirazione mensile media, è stato possibile definire che il massimo valore del coefficiente di correlazione (0,21), si ottiene nei mesi da ottobre a maggio, ipotizzando un ritardo nella risposta del livello freatico di due mesi.

La mancanza di correlazione tra i livelli freatici e le precipitazioni nel periodo tardo primaverile ed estivo, conferma indirettamente in nesso esistente tra l'irrigazione e l'escursione del livello di falda, che durante i mesi freddi riprende un andamento assai più naturale.

In conclusione, con i dati esaminati, la soggiacenza minima della falda può essere rappresentata facendo scorrere verso sud di circa 500 m la configurazione delle isopiezometriche riportata nella tavola 2.

7.3 Soggiacenza della falda freatica

Utilizzando le elaborazioni esposte nel paragrafo precedente, ed i dati dei punti quotati della bozza di restituzione aerofotogrammetria della provincia di Lodi (v. nota ²⁹), è stato possibile derivare una carta della soggiacenza di tutto il territorio sufficientemente rappresentativa delle condizioni medie. Tale carta ovviamente presenta le approssimazioni relative alla ricostruzione delle isopiezometriche precedentemente descritte.

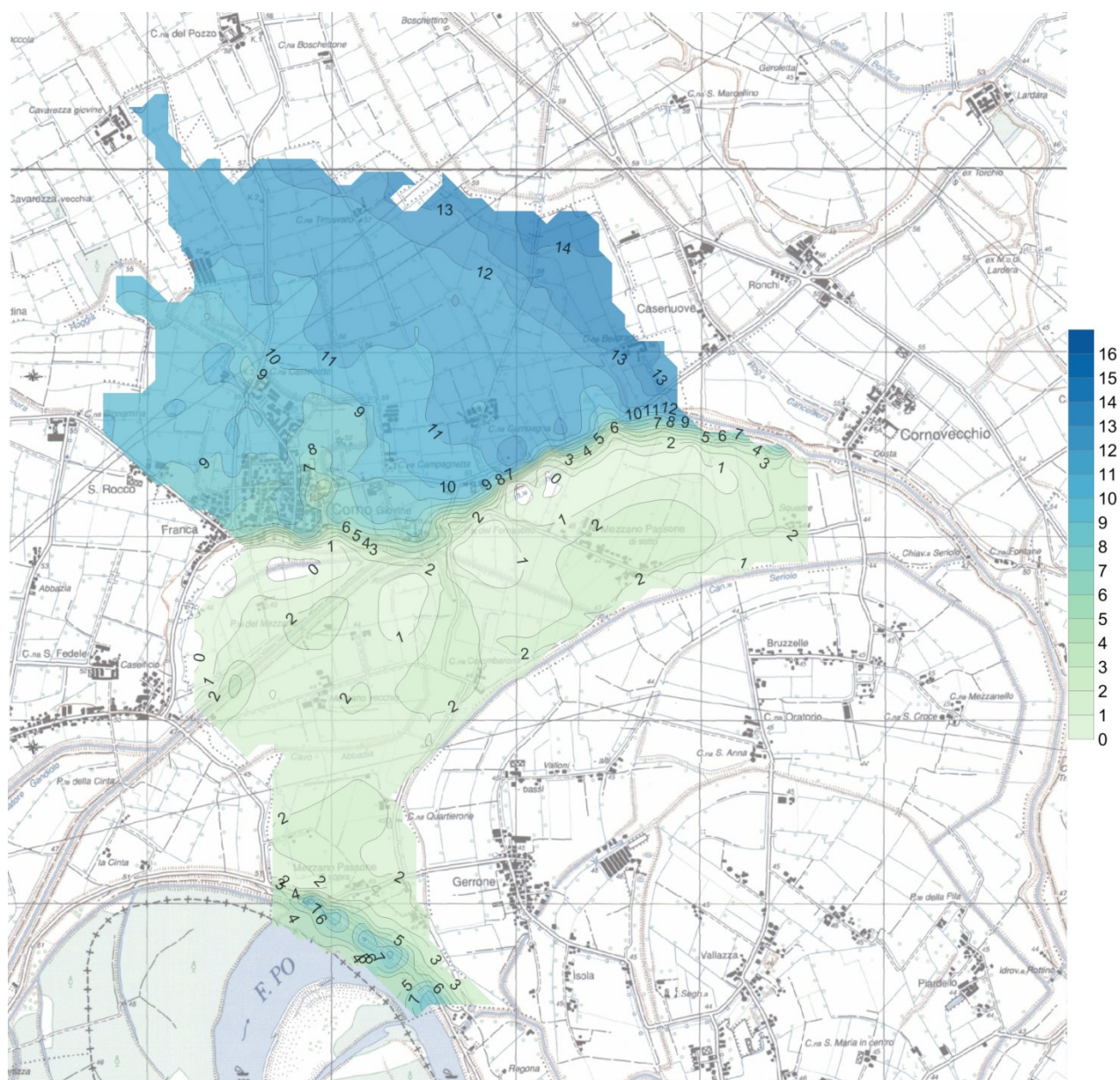


Figura 52: soggiacenza media della falda in metri elaborata con Surfer 9©. Base IGM 25.000, 1997 (rilievi 1992)

Nell'area a nord e NW dell'abitato le **soggiacenze minime** risultano comprese tra **9 e 10 m dal p.c.** ed incrementano progressivamente a valori di 12 m lungo l'allineamento

Cascina Timisvaro - C.na Belgrado. Più a est l'incremento è rapido e si raggiunge la soggiacenza di 14 m all'estremità NE del territorio.

In corrispondenza dell'abitato e lungo una fascia di circa 100 metri a monte della scarpata principale si osservano i valori minimi di circa 8 m, e localmente di 6 in corrispondenza della depressione del colo Guardalobbia. Anche in tale fascia la soggiacenza aumenta progressivamente verso est per effetto della rotazione della direzione di flusso verso la depressione dell'Adda, determinando soggiacenze massime di circa 12 m lungo il confine comunale a sud della C.na Belgrado.

Nell'area della piana olocenica le soggiacenze minime sono di pochi decimetri, principalmente presenti lungo il colo Gandiolo ad est della SP 116 e a sud della scarpata in corrispondenza dell'abitato. Altri valori minimi sono ipotizzabili lungo il Cavo Morta, ai piedi dell'argine che delimita a sud il Canale Gandiolo.

Nella vasta area compresa tra il canale Allacciante – Gandiolo, il colatore Abbadia e la colatore Seriola, i valori sono compresi tra poco meno di 1 metro nelle aree immediatamente a sud del Canale e circa 2,5 m a NW della C.na Colombarone e intorno all'abitato di Mezzano Passone di Sotto. Valori progressivamente crescenti da circa 1,5 m a 3 metri caratterizzano l'area a sud del cavo Abbadia fino al piede del rilevato arginale del Po. Le variazioni di soggiacenza riferiti dalla Figura 52 in corrispondenza dell'argine non sono attendibili, perché le variazioni rapide delle quote non sono adeguatamente rappresentate dai relativamente pochi punti considerati dall'interpolazione.

L'escursione del livello freatico nella piana olocenica non pare associabile alle fluttuazioni nel pozzo di Cornovecchio, ma più propriamente dipendere da fenomeni locali, e principalmente dai deflussi nella rete di drenaggio attivata degli afflussi meteorici ed irrigui. Le misure eseguite mostrano soggiacenze comprese tra 1,7 e 2,5 m, ed **in assenza di valori di riferimento sull'escursione freatica**, sia nell'area specifica sia in quelle limitrofe, pare sufficientemente cautelativo, ai fini dell'elaborazione sulla vulnerabilità della prima falda di seguito esposta, **ipotizzare un'elevazione del livello freatico fino ad 1 m dal locale piano campagna** (ad esclusione delle superficie depresse intorno al colatore Seriola ed al cavo Morta che possono essere allagate per rigurgito).

Anche per la porzione di territorio a sud del colatore Abbadia, dove l'unica misura eseguita in **P5** ha individuato una soggiacenza di 3,1 m, pare adeguato stimare un elevazione massima del livello freatico fino ad 1 m dal piano campagna, ritenendo però che la causa di tali episodi debba essere principalmente attribuita dall'escursione idrometrica del Po, che determina locali afflussi da SW di acque di filtrazione dell'argine durante alcuni giorni o settimane l'anno, come riferito a pagina 95.

Di seguito si riporta l'analisi sulla vulnerabilità della falda, che è invariata rispetto all'edizione 2002 perché non vi sono informazioni di maggior dettaglio sui suoli, e come detto la ricostruzione della piezometria è molto simile a quella presentata nel 2002.

7.4 Considerazioni sulla vulnerabilità della falda freatica all'inquinamento

7.4.1 PREMESSA

Le acque sotterranee non sono direttamente osservabili, e spesso scarsamente tutelate e poco conosciute, pur costituendo una componente quotidiana dell'alimentazione.

Di seguito si descrive la formazione di un elaborato che dà indicazioni sulla vulnerabilità del primo acquifero, con il duplice scopo di introdurre tale parametro tra le questioni da esaminare per valutare gli interventi sul territorio, e di costituire una suddivisione di massima sulla quale incentrare più mirate indagini per progetti specifici.

La **vulnerabilità** all'inquinamento di un acquifero, o meglio, dell'acqua di falda contenuta e fluente entro un acquifero, è generalmente definita come: *la suscettibilità specifica dei sistemi acquiferi, nelle loro diverse parti componenti e nelle diverse situazioni geometriche ed idrodinamiche, ad ingerire e diffondere, anche mitigandone gli effetti, un inquinante fluido o idroveicolato tale da produrre impatto sulla qualità dell'acqua sotterranea, nello spazio e nel tempo* (CIVITA 1994³⁸). Tale definizione esprime la **vulnerabilità intrinseca** del sistema idrogeologico, cioè quella dipendente dalle sole caratteristiche naturali: climatologia, pedologia, geologia, idrogeologia.

La sovrapposizione della vulnerabilità intrinseca con la distribuzione delle infrastrutture, attività o usi del suolo che hanno rapporto con l'utilizzo dell'acqua sotterranea (centri di pericolo, punti di prelievo, preventori e riduttori di inquinamento) e con la mappatura delle aree di falda contaminate, permette di definire la **vulnerabilità integrata** di un'area, che costituisce uno strumento tecnico di supporto alla pianificazione territoriale ed alla gestione delle emergenze idrogeologiche. La redazione di una carta della **vulnerabilità intrinseca** costituisce comunque **il primo e fondamentale passo** per la definizione della vulnerabilità integrata.

7.4.2 GENERALITÀ' SUL METODO SINTACS

Fra i numerosi metodi parametrici esistenti per la determinazione della vulnerabilità intrinseca, in Italia³⁹ si è adottato il sistema parametrico a punteggi e pesi S.I.N.T.A.C.S.⁴⁰ ampiamente conosciuto a livello internazionale; grazie alla strutturazione a parametri e pesi è possibile distinguere diverse situazioni idrologiche e di impatto, e fornire una valutazione indicativa del grado di vulnerabilità di un sito, consentendo comparazioni tra situazioni anche molto diverse fra loro, in modo da offrire indicazioni facilmente interpretabili alle Pubbliche Amministrazioni.

Il metodo adottato consiste essenzialmente nella valutazione quantitativa, trasformata in un punteggio crescente da 1 a 10 in funzione dell'influenza sulla vulnerabilità, di 7 parametri d'ingresso, e in una serie di pesi moltiplicatori, diversi per ogni fattore

³⁸ CIVITA M. (1994) - Le carte della vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento: teoria e pratica. Pitagora Ed. Bologna.

³⁹ D.L. 152/99, allegato 7, parte A: Zone vulnerabili da nitrati :

⁴⁰ Realizzato in Italia nell'ambito del CNR-GNDICI (Consiglio Nazionale delle Ricerche - Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche, CIVITA, 1994).

considerato, che consentono di amplificare l'importanza da dare ai parametri nei vari ambienti. La sommatoria dei prodotti dei punteggi per i pesi determina l'indice di vulnerabilità, variabile da assai elevato (Ee) fino a bassissimo (BB).

I sette fattori considerati da **SINTACS** sono:

Soggiacenza della falda (sia freatica che confinata)

Infiltrazione efficace

Non saturo (effetto di autodepurazione del -)

Tipologia della copertura (presenza di suolo)

Acquifero (caratteristiche idrogeologiche del -)

Conducibilità idraulica dell'acquifero

Superficie topografica (acclività della -)

Si osserva che nel metodo può essere riconosciuta una consistente ridondanza dei parametri considerati, (es. fattori S ed N; I, N e T ; A, C) che sono tra loro fortemente interdipendenti. Tale aspetto è esplicitamente ammesso nel metodo DRASTIC⁴¹, da cui il SINTACS discende, ed è giustificato dalla natura stessa del metodo, che ha lo **scopo di costituire uno strumento di facile utilizzo**, nel quale i parametri introdotti non derivano da specifiche e rigorose indagini (costose), ma da quanto è facilmente disponibile (negli Stati Uniti) e che forma una *"comprensione soggettiva del mondo reale in una specifica area"*.

In pratica si **suddivide il territorio con un immaginario reticolo** e per ogni cella si valuta il valore di ogni singolo parametro trasformandolo in punteggio mediante grafici forniti dal metodo⁴². Successivamente si moltiplica il punteggio per coefficienti (pesi - Wn) il cui valore varia in relazione all'ambiente in cui si opera (rocce fessurate, carsismo, pianura irrigua, aree esondabili, pianure a scarso impatto antropico). Nel nostro caso è stata usata prevalentemente la serie di pesi per la pianura irrigua *"Impatto Normale - IR"*, e limitatamente alle aree di risorgenza della falda, del colo Seriole e della golena di Po, quella per le aree esondabili *"Drenaggio - DR"*.

Le dimensioni delle celle del reticolo sono in funzione della scala alla quale si vuole produrre il risultato finale, ed alla disponibilità di dati significativi: nel nostro caso si è scelta una **maglia di 250 m di lato** che consente di ipotizzare un prodotto in scala 1:25.000.

La valutazione della vulnerabilità all'inquinamento per l'area indagata è relativa al **primo acquifero**, inteso come primo livello incontrato dal piano-campagna (non considerati riporti, suoli o livelli eluviali) di almeno 0,5 m di spessore con conducibilità idraulica alla mesoscala superiore a 1×10^{-6} m/s. Il meccanismo di contaminazione

⁴¹ DRASTIC - United States Environmental Protection Agency, ALLER et al., 1987-: costituisce il metodo principale sul quale è stato sviluppato SINTACS

⁴² Le operazioni di valutazione e calcolo sono state eseguite utilizzando le correlazioni ed il software disponibile nella seguente pubblicazione: *Valutazione e cartografia automatica della vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento con il sistema parametrico SINTACS R5*: Quaderni di tecniche di protezione ambientale n° 72. Massimo Civita & Marina De Maio (2000) – Pitagora Editrice Bologna.

ipotizzato per la valutazione della vulnerabilità è un'infiltrazione verticale e puntuale dell'inquinante dal piano-campagna al tetto del primo acquifero.

Peraltro, in molte aree della pianura alluvionale la vulnerabilità del primo acquifero può essere estesa a tutto il sistema acquifero, date le interconnessioni idrauliche fra il primo ed i livelli sottostanti.

7.4.3 I FATTORI DELLA VULNERABILITÀ

Per ciascuno sono forniti un breve commento su come influenzano la vulnerabilità, le modalità di acquisizione ed il criterio di scelta della scala di punteggi.

Soggiacenza (S)

Rappresenta la profondità della superficie piezometrica della falda libera rispetto al piano campagna. A parità di condizioni idrogeologiche dell'insaturo, da essa dipende il tempo di transito e quindi la durata delle azioni di autodepurazione e attenuazione fra le quali in particolare l'azione ossidante dell'atmosfera.

Per la porzione di Corno Giovine a monte della scarpata principale si è valutata la soggiacenza indicata nella tavola 2 diminuita di 0,5 m per tenere conto delle fluttuazioni stagionali di livello. Per i terreni della piana olocenica si è considerata una soggiacenza costante di 1 m dal p.c. , per tenere conto dei valori rilevati e delle incertezze sulle possibili escursioni stagionali discusse nel § 7.2. Dal valore in metri della soggiacenza si è poi passati ai punteggi di "S" mediante l'apposito grafico.

Infiltrazione efficace (I)

Riguarda il trascinamento in profondità dei contaminanti e la loro diluizione, nell'insaturo e nella zona di saturazione. Il parametro dipende da fattori meteorologici (piovosità e temperatura), antropici (eventuali pratiche irrigue) e da fattori geomorfologici e idrogeologici che sono conglobati nel cosiddetto indice di infiltrazione (χ). Quest'ultimo viene determinato in base alle caratteristiche del suolo oppure, in assenza di un suolo significativo, in base alla litologia superficiale.

Per determinare χ si è utilizzato un apposito diagramma disponibile nel metodo, inserendo i valori di tessitura delle varie Unità Cartografiche dei suoli presenti nella citata pubblicazione dell'ERSAL SSR 36, ed un valore di precipitazione media annua di 850 mm. Dal valore di χ si è poi passati ai punteggi di "I" mediante l'apposito grafico.

Non saturo, effetto di autodepurazione (N)

La zona insatura è quella compresa tra la base del suolo e la zona satura dell'acquifero ed in essa avvengono gli spostamenti prevalentemente verticali dell'acqua. Nel caso di acquiferi artesiani, si prende in considerazione l'intervallo tra la base del suolo e la base del livello confinante superiore. All'interno dello spessore insaturo fattori fisici (filtrazione e dispersione in particolare) e chimici (reattività chimica dei minerali componenti e processi di bio-degradazione e volatilizzazione in particolare) operano in sinergia favorendo processi di attenuazione.

Tale parametro è di incerta determinazione per la carenza di dati stratigrafici che consenta di discriminare all'interno della gamma di punteggi, da 3 a 6, attribuiti dal metodo alla tipologia "alluvioni medio fini" che adeguatamente rappresenta l'insaturo in territorio di Corno Giovine. In base ai dati delle prove penetrometriche si è ritenuto di attribuire il punteggio di 4 alle aree con maggiore componente sabbiosa nel profilo, 3,5 o 3 alle aree con più frequenti intervalli limo argillosi principalmente presenti nella piana olocenica.

Tipologia della copertura, suolo (T)

Il suolo riveste un ruolo importante nella mitigazione dell'impatto, particolarmente nei confronti di un inquinamento di tipo diffuso (agricolo, zootecnico ecc.): al suo interno si esplicano processi di filtrazione, di biodegradazione, assorbimento/adsorbimento e di volatilizzazione. Il fattore prende in esame la porzione superiore della zona vadosa (zona insatura), caratterizzata da significativa attività biologica, in genere estesa entro i primi 100 cm. Molto dipende dal grado di plasticità delle argille, poiché in presenza di argille poco plastiche e di terreni fini si ha il minore potenziale di inquinamento, mentre in presenza di argille plastiche secondo gli Autori del DRASTIC *"sebbene le fessure formate con la siccità si rigonfino appena l'argilla viene idratata, è documentata la capacità degli inquinanti di muoversi rapidamente prima (che si esaurisca) l'iniziale bagnatura."*

Per la valutazione del parametro è stato possibile utilizzare un grafico indicato dal metodo nella versione 5, che fornisce direttamente il punteggio sulla base dei soli parametri Argilla+Limo in % e Sostanza Organica in %. Tali valori sono stati individuati utilizzando le descrizioni di dettaglio della Unità Tassonomiche (pedon di riferimento) dei suoli presenti nella citata pubblicazione dell'ERSAL SSR 36.

Caratteristiche dell'Acquifero (A)

Si considera acquifero la zona di saturazione all'interno di un determinato complesso idrogeologico, e si prendono in considerazione i processi (dispersione, diluizione, assorbimento, reattività chimica) che avvengono al di sotto della superficie piezometrica. Il parametro descrive quindi il comportamento di un contaminante liquido o idroveicolato quando, dopo aver superato le due «linee di difesa» costituite dalla copertura e dall'insaturo, ha raggiunto la zona satura e viene a mescolarsi con l'acqua sotterranea per defluire verso i punti di recapito.

Le caratteristiche che descrivono l'acquifero al fine della valutazione della vulnerabilità sono analoghe a quelle considerate per il parametro N, ed è determinante la lunghezza del percorso che le particelle contaminanti devono seguire, funzione delle porosità, del grado di cementazione e di addensamento dei clasti.

Per le alluvioni medio-fini gli Autori suggeriscono un intervallo di punteggio da 6 ad 8, per cui ritenendo probabile la presenza diffusa di frazione fine, di lieve cementazione e di maggiore addensamento nelle sabbie della pianura pleistocenica, in tutte le celle ricadenti in tale area è stato attribuito il valore di A= 6, mentre ai depositi olocenici è stato attribuito il valore di A= 8.

Conducibilità idraulica (C)

La conducibilità idraulica è la capacità di spostamento attraverso il mezzo saturo dell'acqua di falda e quindi anche di un contaminante che non ne alteri troppo le caratteristiche di densità.

L'unica informazione locale è data dalla stima della trasmissività condotta sulle prove di collaudo del pozzo 1 di S.Stefano: $T = 1,9 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$. (v. § 6.2), che presenta le finestre nella porzione superficiale dell'acquifero.

Il valore del coefficiente di permeabilità è stato ricavato mediando due procedimenti differenti. Nel primo si è calcolato K (m/s) dividendo il valore di T per lo spessore dell'intervallo acquifero, posto pari a 53 m, ed ottenendo **$K = 3,6 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$**

Nel secondo caso si è applicata una relazione riportata in Celico (1986)⁴³, ripresa da Castany (1967), per pozzi incompleti e valida per falde freatiche e confinate.

$$K = Q \log_{10}(\alpha \ell / r_p) / (2,73 \ell S_0);$$

con α = coefficiente che vale 0,66 se il filtro non raggiunge il substrato, e varia tra 1,32 ed 1,60 se il filtro è attestato sul substrato impermeabile: nel nostro caso si è ritenuto che i filtri fossero collocati in prossimità del substrato e si è scelto un valore intermedio di $\alpha = 1,46$; ℓ = lunghezza del tubo filtro che impegna parzialmente l'acquifero (m). Il valore ottenuto è di **$K = 5,97 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$** .

Il valore medio è quindi di **$K = 4,78 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$** , che individua un punteggio SINTACS $C = 8$ usando il grafico indicato dal metodo.

Coerentemente con quanto indicato nel capitolo 6, si è ritenuto adeguato differenziare la piana olocenica da quella pleistocenica, ritenendo che i depositi recenti del Po manifestino una permeabilità maggiore di circa mezzo ordine di grandezza. Ciò comporta per tale area un aumento del punteggio a $C = 9$.

Acclività della Superficie topografica (S)

L'acclività incide sulla vulnerabilità intrinseca perché da essa dipende la velocità di spostamento e la quantità d'acqua piovana che, a parità di precipitazione, è soggetta a ruscellamento. SINTACS attribuisce punteggi elevati alle celle con debole pendenza media, bassi alle aree a forte pendenza. Tutto il territorio di Corno Giovine appartiene alla classe con acclività da 0 a 2% e quindi il punteggio è costantemente 10, poiché alla scala utilizzata le superfici dalla scarpata principale e dalle due incisioni dei colli Guardalobbia e Trecco costituiscono elementi trascurabili.

⁴³ Celico P. (1986) : Prospezioni idrogeologiche, vol 1°, Ed. Liguori, Napoli.

7.4.4 VALORI DELL'INDICE DI VULNERABILITÀ E RELATIVA RAPPRESENTAZIONE

La **vulnerabilità intrinseca** si ottiene determinando per ogni cella la sommatoria dei 7 parametri ciascuno moltiplicato per il proprio peso. $I_{SINTACS} = S W_s + I W_i + N W_n + T W_t + A W_a + C W_c + S W_s$.

L'indice ottenuto viene normalizzato (I_{NO}), così da ottenere una scala di valori da 0 a 100 così definita :

BB	molto basso	0-24
B	basso	25-35
M	medio	36-49
A	alto	50-69
E	elevato	70-79
Ee	molto elevato	80-100

I colori utilizzati sono quelli indicati dal

Il risultato ottenuto è espresso dalla figura seguente e dalla successiva tabella che contiene tutti i dati di ingresso e calcolati.

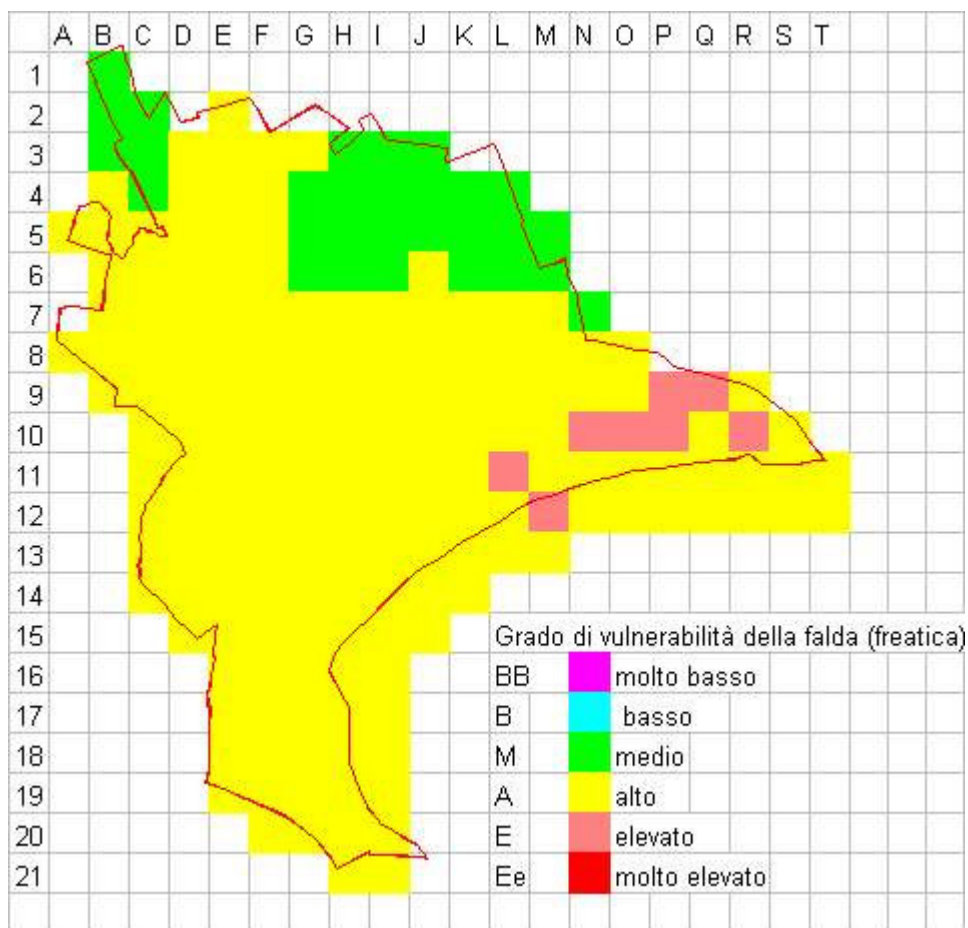


Figura 53 : esito dell'elaborazione con SINTACS in scala 1:40.000 circa

In sintesi quasi tutto il territorio comunale presenta un **alto grado** di vulnerabilità, che diviene "elevato" in corrispondenza delle superficie interessata da suoli fortemente sabbiosi con falda superficiale che interessano l'area tra Squadre e Mezzano Passone di Sotto.

All'estremo opposto, le aree con grado **moderato** sono individuate nella porzione nord del territorio per la combinazione di soggiacenze relativamente elevate e di suoli profondi con tessitura argillosa.

	DATI DI INPUT								VALORI CALCOLATI										
COORD	S	I	N	T	A	C	X	PESI	S1	I1	N1	T1	A1	C1	X1	SOM MA	CLA SSE		
A5	5	7	4	6,8	6	8	10	IR	25	35	16	34	18	16	20	58	A		
A8	5	7	4	7,8	6	8	10	IR	25	35	16	39	18	16	20	61	A		
B1	5,3	3	4	5,7	6	8	10	IR	26,5	15	16	28,5	18	16	20	48	M		
B2	5,3	3	4	5,7	6	8	10	IR	26,5	15	16	28,5	18	16	20	48	M		
B3	5,3	3	4	5,7	6	8	10	IR	26,5	15	16	28,5	18	16	20	48	M		
B4	5,3	3	4	6,8	6	8	10	IR	26,5	15	16	34	18	16	20	51	A		
B5	5,3	4	4	6,8	6	8	10	IR	26,5	20	16	34	18	16	20	53	A		
B6	5,3	7	4	6,8	6	8	10	IR	26,5	35	16	34	18	16	20	59	A		
B7	5,3	7	4	7,8	6	8	10	IR	26,5	35	16	39	18	16	20	61	A		
B8	5,3	7	4	7,8	6	8	10	IR	26,5	35	16	39	18	16	20	61	A		
B9	5,3	7	4	7,8	6	8	10	IR	26,5	35	16	39	18	16	20	61	A		
C2	5,3	3	4	5,7	6	8	10	IR	26,5	15	16	28,5	18	16	20	48	M		
C3	5,3	3	4	5,7	6	8	10	IR	26,5	15	16	28,5	18	16	20	48	M		
C4	5,3	3	4	5,7	6	8	10	IR	26,5	15	16	28,5	18	16	20	48	M		
C5	5,4	4	4	6,8	6	8	10	IR	27	20	16	34	18	16	20	53	A		
C6	5,5	7	4	6,8	6	8	10	IR	27,5	35	16	34	18	16	20	60	A		
C7	5,6	7	4	7	6	8	10	IR	28	35	16	35	18	16	20	60	A		
C8	5,7	7	4	7,3	6	8	10	IR	28,5	35	16	36,5	18	16	20	61	A		
C9	5,8	7	4	7,8	6	8	10	IR	29	35	16	39	18	16	20	62	A		
C10	5,9	7	4	7,8	6	8	10	IR	29,5	35	16	39	18	16	20	63	A		
C11	6	7	3,5	7	8	9	10	IR	30	35	14	35	24	18	20	64	A		
C12	10	3	3	5,5	8	9	10	DR	40	12	12	11	40	45	20	65	A		
C13	10	3	3	5,5	8	9	10	DR	40	12	12	11	40	45	20	65	A		
C14	10	3	3	5,5	8	9	10	DR	40	12	12	11	40	45	20	65	A		
D3	5,3	5	4	7	6	8	10	IR	26,5	25	16	35	18	16	20	55	A		
D4	5,3	5	4	7	6	8	10	IR	26,5	25	16	35	18	16	20	55	A		
D5	5,4	5	4	7	6	8	10	IR	27	25	16	35	18	16	20	55	A		
D6	5,5	5	4	6,8	6	8	10	IR	27,5	25	16	34	18	16	20	55	A		
D7	5,6	6	4	6,8	6	8	10	IR	28	30	16	34	18	16	20	58	A		
D8	5,7	7	4	7,8	6	8	10	IR	28,5	35	16	39	18	16	20	62	A		
D9	5,8	7	4	7,8	6	8	10	IR	29	35	16	39	18	16	20	62	A		
D10	5,9	7	4	7,8	6	8	10	IR	29,5	35	16	39	18	16	20	63	A		
D11	10	3	3	5,5	8	9	10	DR	40	12	12	11	40	45	20	65	A		
D12	10	2	3	5,5	8	9	10	IR	50	10	12	27,5	24	18	20	57	A		
D13	10	2	3	5,5	8	9	10	IR	50	10	12	27,5	24	18	20	57	A		
D14	10	2	3	5,5	8	9	10	IR	50	10	12	27,5	24	18	20	57	A		
D15	10	2	3	5,5	8	9	10	IR	50	10	12	27,5	24	18	20	57	A		
E2	5,3	7	4	8	6	8	10	IR	26,5	35	16	40	18	16	20	62	A		
E3	5,4	7	4	8	6	8	10	IR	27	35	16	40	18	16	20	62	A		
E4	5,5	7	4	8	6	8	10	IR	27,5	35	16	40	18	16	20	62	A		
E5	5,6	7	4	8	6	8	10	IR	28	35	16	40	18	16	20	62	A		
E6	5,7	7	4	7	6	8	10	IR	28,5	35	16	35	18	16	20	60	A		
E7	5,8	7	4	7	6	8	10	IR	29	35	16	35	18	16	20	61	A		
E8	5,9	7	4	7	6	8	10	IR	29,5	35	16	35	18	16	20	61	A		
E9	6	7	4	7,8	6	8	10	IR	30	35	16	39	18	16	20	63	A		
E10	6	7	4	7,8	6	8	10	IR	30	35	16	39	18	16	20	63	A		
E11	10	3	3	5,5	8	9	10	DR	40	12	12	11	40	45	20	65	A		
E12	10	2	3	5,3	8	9	10	IR	50	10	12	26,5	24	18	20	57	A		
E13	10	2	3	5,3	8	9	10	IR	50	10	12	26,5	24	18	20	57	A		
E14	10	2	3	5,3	8	9	10	IR	50	10	12	26,5	24	18	20	57	A		
E15	10	2	3	5,3	8	9	10	IR	50	10	12	26,5	24	18	20	57	A		
E16	10	2	3	5,3	8	9	10	IR	50	10	12	26,5	24	18	20	57	A		
E17	10	2	3	5,3	8	9	10	DR	40	8	12	10,6	40	45	20	63	A		
E18	10	2	3	5,3	8	9	10	DR	40	8	12	10,6	40	45	20	63	A		
E19	10	2	3	5,3	8	9	10	DR	40	8	12	10,6	40	45	20	63	A		
F3	5,3	7	4	8	6	8	10	IR	26,5	35	16	40	18	16	20	62	A		
F4	5,4	3	4	7,2	6	8	10	IR	27	15	16	36	18	16	20	52	A		
F5	5,5	3	4	6,8	6	8	10	IR	27,5	15	16	34	18	16	20	51	A		
F6	5,6	4	4	7	6	8	10	IR	28	20	16	35	18	16	20	54	A		
F7	5,7	6	4	7	6	8	10	IR	28,5	30	16	35	18	16	20	58	A		
F8	5,8	7	4	6,8	6	8	10	IR	29	35	16	34	18	16	20	60	A		
F9	5,9	7	4	6,8	6	8	10	IR	29,5	35	16	34	18	16	20	60	A		
F10	6	7	4	6,8	6	8	10	IR	30	35	16	34	18	16	20	61	A		
F11	10	2	3	5,3	8	9	10	DR	40	8	12	10,6	40	45	20	63	A		
F12	10	2	3	5,3	8	9	10	IR	50	10	12	26,5	24	18	20	57	A		
F13	10	2	3	5,3	8	9	10	IR	50	10	12	26,5	24	18	20	57	A		
F14	10	2	3	5,3	8	9	10	IR	50	10	12	26,5	24	18	20	57	A		
F15	10	2	3	5,3	8	9	10	IR	50	10	12	26,5	24	18	20	57	A		
F16	10	2	3	5,3	8	9	10	IR	50	10	12	26,5	24	18	20	57	A		
F17	10	2	3	5,3	8	9	10	DR	40	8	12	10,6	40	45	20	63	A		

F18	10	2	3	5,3	8	9	10	DR	40	8	12	10,6	40	45	20	63	A
F19	10	2	3	5,3	8	9	10	DR	40	8	12	10,6	40	45	20	63	A
G3	5,3	6	4	7	6	8	10	IR	26,5	30	16	35	18	16	20	57	A
G4	5,4	2	4	6	6	8	10	IR	27	10	16	30	18	16	20	47	M
G5	5,5	2	4	6	6	8	10	IR	27,5	10	16	30	18	16	20	47	M
G6	5,6	2	4	6	6	8	10	IR	28	10	16	30	18	16	20	47	M
G7	5,7	7	4	8	6	8	10	IR	28,5	35	16	40	18	16	20	63	A
G8	5,8	7	4	7,5	6	8	10	IR	29	35	16	37,5	18	16	20	62	A
G9	5,9	7	4	7,5	6	8	10	IR	29,5	35	16	37,5	18	16	20	62	A
G10	6	7	4	7	6	8	10	IR	30	35	16	35	18	16	20	61	A
G11	10	2	3	5,3	8	9	10	DR	40	8	12	10,6	40	45	20	63	A
G12	10	2	3	5,3	8	9	10	IR	50	10	12	26,5	24	18	20	57	A
G13	10	2	3	5,3	8	9	10	IR	50	10	12	26,5	24	18	20	57	A
G14	10	2	3	5,3	8	9	10	IR	50	10	12	26,5	24	18	20	57	A
G15	10	2	3	5,3	8	9	10	IR	50	10	12	26,5	24	18	20	57	A
G16	10	2	3	5,3	8	9	10	IR	50	10	12	26,5	24	18	20	57	A
G17	10	2	3	5,3	8	9	10	DR	40	8	12	10,6	40	45	20	63	A
G18	10	2	3	5,3	8	9	10	DR	40	8	12	10,6	40	45	20	63	A
G19	10	2	3	5,3	8	9	10	DR	40	8	12	10,6	40	45	20	63	A
G20	10	2	3	5,3	8	9	10	DR	40	8	12	10,6	40	45	20	63	A
H3	5,2	2	4	6	6	8	10	IR	26	10	16	30	18	16	20	47	M
H4	5,3	2	4	6	6	8	10	IR	26,5	10	16	30	18	16	20	47	M
H5	5,4	2	4	6	6	8	10	IR	27	10	16	30	18	16	20	47	M
H6	5,5	2	4	6	6	8	10	IR	27,5	10	16	30	18	16	20	47	M
H7	5,6	7	4	8	6	8	10	IR	28	35	16	40	18	16	20	62	A
H8	5,7	7	4	8	6	8	10	IR	28,5	35	16	40	18	16	20	63	A
H9	5,8	7	4	8	6	8	10	IR	29	35	16	40	18	16	20	63	A
H10	5,9	7	4	8	6	8	10	IR	29,5	35	16	40	18	16	20	63	A
H11	10	2	3	5,3	8	9	10	IR	50	10	12	26,5	24	18	20	57	A
H12	10	2	3	5,3	8	9	10	IR	50	10	12	26,5	24	18	20	57	A
H13	10	2	3	5,3	8	9	10	IR	50	10	12	26,5	24	18	20	57	A
H14	10	2	3	5,3	8	9	10	IR	50	10	12	26,5	24	18	20	57	A
H15	10	2	3	5,3	8	9	10	IR	50	10	12	26,5	24	18	20	57	A
H16	10	2	3	5,3	8	9	10	IR	50	10	12	26,5	24	18	20	57	A
H17	10	2	3	5,3	8	9	10	DR	40	8	12	10,6	40	45	20	63	A
H18	10	2	3	5,3	8	9	10	DR	40	8	12	10,6	40	45	20	63	A
H19	10	2	3	5,3	8	9	10	DR	40	8	12	10,6	40	45	20	63	A
H20	10	2	3	5,3	8	9	10	DR	40	8	12	10,6	40	45	20	63	A
I3	5,1	2	4	6	6	8	10	IR	25,5	10	16	30	18	16	20	46	M
I4	5,2	2	4	6	6	8	10	IR	26	10	16	30	18	16	20	47	M
I5	5,3	2	4	6	6	8	10	IR	26,5	10	16	30	18	16	20	47	M
I6	5,4	2	4	6	6	8	10	IR	27	10	16	30	18	16	20	47	M
I7	5,5	7	4	7,9	6	8	10	IR	27,5	35	16	39,5	18	16	20	62	A
I8	5,6	7	4	7,9	6	8	10	IR	28	35	16	39,5	18	16	20	62	A
I9	5,7	7	4	7,9	6	8	10	IR	28,5	35	16	39,5	18	16	20	62	A
I10	7	2	3,5	5,3	8	9	10	IR	35	10	14	26,5	24	18	20	51	A
I11	10	2	3	5,3	8	9	10	IR	50	10	12	26,5	24	18	20	57	A
I12	10	2	3	5,3	8	9	10	IR	50	10	12	26,5	24	18	20	57	A
I13	10	2	3	5,3	8	9	10	IR	50	10	12	26,5	24	18	20	57	A
I14	10	2	3	5,3	8	9	10	IR	50	10	12	26,5	24	18	20	57	A
J3	5,1	2	4	6	6	8	10	IR	25,5	10	16	30	18	16	20	46	M
J4	5,2	2	4	6	6	8	10	IR	26	10	16	30	18	16	20	47	M
J5	5,3	2	4	6	6	8	10	IR	26,5	10	16	30	18	16	20	47	M
J6	5,4	4	4	7	6	8	10	IR	27	20	16	35	18	16	20	53	A
J7	5,5	7	4	7,8	6	8	10	IR	27,5	35	16	39	18	16	20	62	A
J8	5,6	7	4	7,8	6	8	10	IR	28	35	16	39	18	16	20	62	A
J9	5,7	7	4	6,8	6	8	10	IR	28,5	35	16	34	18	16	20	60	A
J10	10	2	3	5,3	8	9	10	IR	50	10	12	26,5	24	18	20	57	A
J11	10	2	3	5,3	8	9	10	IR	50	10	12	26,5	24	18	20	57	A
J12	10	2	3	5,3	8	9	10	IR	50	10	12	26,5	24	18	20	57	A
J13	10	2	3	5,3	8	9	10	IR	50	10	12	26,5	24	18	20	57	A
K4	5,1	2	4	6	6	8	10	IR	25,5	10	16	30	18	16	20	46	M
K5	5,2	2	4	6	6	8	10	IR	26	10	16	30	18	16	20	47	M
K6	5,3	2	4	7	6	8	10	IR	26,5	10	16	35	18	16	20	49	M
K7	5,4	7	4	7,8	6	8	10	IR	27	35	16	39	18	16	20	61	A
K8	5,5	7	4	7,2	6	8	10	IR	27,5	35	16	36	18	16	20	60	A
K9	7	2	3,5	5,3	8	9	10	IR	35	10	14	26,5	24	18	20	51	A
K10	10	2	3	5,3	8	9	10	IR	50	10	12	26,5	24	18	20	57	A
K11	10	2	3,5	5,3	8	9	10	IR	50	10	14	26,5	24	18	20	58	A
K12	10	4	3,5	6,5	8	9	10	IR	50	20	14	32,5	24	18	20	65	A
L4	5,1	2	4	6	6	8	10	IR	25,5	10	16	30	18	16	20	46	M
L5	5,2	2	4	6	6	8	10	IR	26	10	16	30	18	16	20	47	M
L6	5,3	2	4	6	6	8	10	IR	26,5	10	16	30	18	16	20	47	M
L7	5,4	2	4	7,8	6	8	10	IR	27	10	16	39	18	16	20	51	A
L8	5,5	2	4	6,5	8	9	10	IR	27,5	10	16	32,5	24	18	20	52	A
L9	10	2	3	5,3	8	9	10	IR	50	10	12	26,5	24	18	20	57	A
L10	10	2	3	5,3	8	9	10	IR	50	10	12	26,5	24	18	20	57	A
L11	10	7	4	6,5	8	9	10	IR	50	35	16	32,5	24	18	20	72	E
L12	10	3	3	6,5	8	9	10	IR	50	15	12	32,5	24	18	20	62	A
M6	5	2	4	6	6	8	10	IR	25	10	16	30	18	16	20	46	M
M7	5	7	4	7,8	6	8	10	IR	25	35	16	39	18	16	20	61	A
M8	7	2	4	6	8	9	10	IR	35	10	16	30	24	18	20	54	A

M9	10	2	3	5,3	8	9	10	IR	50	10	12	26,5	24	18	20	57	A
M10	10	5	3	6,5	8	9	10	IR	50	25	12	32,5	24	18	20	66	A
M11	10	5	4	6,8	8	9	10	IR	50	25	16	34	24	18	20	68	A
N8	7	2	3	6	8	9	10	IR	35	10	12	30	24	18	20	52	A
N9	10	2	3,5	6,5	8	9	10	IR	50	10	14	32,5	24	18	20	60	A
N10	10	7	4	7,9	8	9	10	IR	50	35	16	39,5	24	18	20	75	E
N11	10	4	3	5,5	8	9	10	DR	40	16	12	11	40	45	20	67	A
O8	7	2	3	6,5	8	9	10	IR	35	10	12	32,5	24	18	20	53	A
O9	10	5	3,5	7,2	8	9	10	IR	50	25	14	36	24	18	20	68	A
O10	10	7	4	7,4	8	9	10	IR	50	35	16	37	24	18	20	74	E
O11	10	2	3	5,5	8	9	10	DR	40	8	12	11	40	45	20	64	A
P9	10	6	3,5	7,7	8	9	10	IR	50	30	14	38,5	24	18	20	72	E
P10	10	7	4	7,7	8	9	10	IR	50	35	16	38,5	24	18	20	75	E
P11	10	2	4	5,5	8	9	10	DR	40	8	16	11	40	45	20	65	A
Q9	8	7	4	7,8	8	9	10	IR	40	35	16	39	24	18	20	70	E
Q10	10	5	4	6,5	8	9	10	IR	50	25	16	32,5	24	18	20	68	A
Q11	10	2	3	5,5	8	9	10	DR	40	8	12	11	40	45	20	64	A
R9	8	5	4	7,7	8	9	10	IR	40	25	16	38,5	24	18	20	66	A
R10	10	6	4	6,5	8	9	10	IR	50	30	16	32,5	24	18	20	70	E
R11	10	2	3	5,5	8	9	10	DR	40	8	12	11	40	45	20	64	A
S10	8	6	4	7,7	8	9	10	IR	40	30	16	38,5	24	18	20	68	A
S11	10	4	3	5,5	8	9	10	DR	40	16	12	11	40	45	20	67	A

Nel complesso comunque il risultato pare fondato su un'**insufficiente caratterizzazione dei parametri** N, A e C che rende l'elaborazione poco adeguata a un utilizzo applicativo.

La stessa costituisce comunque un'importante primo tentativo di analisi completa del fattore vulnerabilità, che potrà essere adeguatamente perfezionate acquisendo dati significativi sull'acquifero superficie mediante prove di emungimento in pozzi.

8 Aspetti geotecnici

8.1 Dati disponibili e descrizione generale

L'esame delle caratteristiche geotecniche è fondato sui dati di n. 18 prove penetrometriche statiche standard CPT con punta meccanica Begemann.

La denominazione, l'ubicazione e la profondità delle prove sono riassunte nella sottostante tabella:

N. prova	nome prova	ubicazione	longitudine	latitudine	quota p.c. m. s.l.m.	profondità dal p.c.
1	1/9-'02	350 m SSW Cascina Castelletto	1554661	5008024	53.2	9.8
2	2/9-'02	350 m est Chiesa San Rocco	1554872	5006964	51.8	7.8
3	3/9-'02	Stabilimento AZ costruzioni.	1554201	5006727	43.6	5.8
4	4/9-'02	Mezzano Passone di Sotto	1555033	5007223	43.3	5.6
5	5/9-'02	Squadre	1555037	5007252	43.4	5.8
6	6/9-'02	Mezzano Passone di Sopra	1554834	5007829	45	5.8
7	7/9-'02	Strada vicinale del Mulino	1554765	5007928	52.3	5.8
8	8/9-'02	Viale Kennedy	1554749	5008010	44.2	5.8
9	9/9-'02	Str. Comunale Quartierone	1554773	5007007	52.3	6.8
10	1/4-'07	Cascina Buon Pensiero	1555128	5007247	52.8	9.4
11	2/4-'07	Cascina Buon Pensiero	1554749	5007803	53.1	8.8
12	3/4-'07	Cascina Buon Pensiero	1554031	5007430	52.3	9.0
13	4/4-'07	Cascina Buon Pensiero	1553723	5006867	52.4	8.8
14	1/1-'08	Via Giuseppe Garibaldi	1554320	5006880	52.2	9.4
15	1/4-'09	Viale Luigi Lucchini	1554713	5006802	52.8	10.0
16	2/4-'09	via Vittorio Veneto	1554041	5007691	50.6	7.4
17	3/4-'09	cappella "morti della Porchera"	1554880	5007288	44.2	10.8
18	4/4-'09	confine presso Regona	1554896	5007294	45.9	9.4

Tabella 5 : denominazione, ubicazione e profondità delle prove penetrometriche disponibili.

Le quote del p.c. sono ricavate dalla bozza di restituzione fotogrammetrica del Data Base Topografico Provinciale disponibile sul geoportale della Provincia di Lodi. I colori di fondo della colonna delle quote distinguono quelle realizzate a valle della scarpata principale (in verde), da quelle effettuate a monte.

Le singole prove sono riportate e interpretate sotto il profilo litostratigrafico e geotecnico negli allegati, ai quali si fa rimando per gli aspetti di dettaglio, mentre di seguito si descrivono i caratteri comuni che consentono di delineare una grossolana suddivisione in ambiti del territorio.

Nei fori di tutte le prove penetrometriche eseguite nel 2002 dove è stata osservata la presenza di acqua (n.1, 3, 4, 5, 6, 8), sono stati posati micropiezometri aperti costituiti da tubicini in plastica di 2,5 cm di diametro, microfessurati trasversalmente per circa 1 m dalla base, che hanno fornito le principali informazioni per elaborare le curve isopiezometriche illustrate nella tavola 2, ora aggiornata anche in base alla posa di nuovi piezometri (v. Tabella 4).

Le prove sopra indicate con i numeri 16, 17 e 18 sono state eseguite espressamente per il PGT a ottobre 2009, mentre la prova 15 è stata eseguita a marzo 2009 per un'indagine presso un privato. La prova 14 è stata eseguita per la progettazione del centro

civico a luglio 2008, e le prove da 10 a 13 sono una parte delle prove eseguite per il Piano di Recupero della C.na Buonpensiero nel 2007. Le rimanenti prove sono state eseguite nel 2002 per la variante generale del PRG. Per l'utilizzo nel presente documento dei dati di lavori per privati si è richiesto l'assenso dei rispettivi proprietari.

Undici delle prove citate sono state eseguite alla periferia dell'area urbana o entro la stessa, con distanze reciproche comprese tra 150 e 600 m, mentre le prove eseguite a valle della scarpata principale distano reciprocamente dai 500 ai 900 metri.

In pratica le informazioni sull'area urbana sono sufficienti per riconoscere le caratteristiche geotecniche medie, che appaiono da discrete a buone e complessivamente uniformi, mentre a valle della scarpata le distanze sono troppo grandi perché i depositi interposti possano essere ritenuti uniformi, soprattutto nella porzione superficiale dove si registrano le più marcate variazioni, sia tessiturali che di resistenza meccanica. In profondità i caratteri appaiono più regolari, ma raramente è possibile individuare correlazioni attendibili.

Fatta questa doverosa premessa sui limiti delle interpolazioni tra le verticali, è possibile raggruppare i dati in aree che presentano maggiori analogie geotecniche, e quindi definire "zone" grossomodo omogenee, rappresentate nella Figura 54.

La **zona 1** comprende l'abitato e si estende verso est fino al cimitero e all'area degli insediamenti artigianali. In questa superficie il profilo stratigrafico, oltre il primo metro, è formato quasi esclusivamente da sabbie di media ed elevata densità ($31 < \varphi' < 36^\circ$), talora limose o fini nei primi 2 - 3 metri; oltre tale profondità sono frequentemente presenti bancate di elevata resistenza. Una modesta eccezione è rappresentata dalle CPT 2/4 '07 e CPT 4/4 '07, dove compaiono fino a -1,5 / -2,0 m depositi coesivi di media consistenza ($c_u = 90-110$ kPa), e dalla CPT 1/4 '09 dove fino a -2,5 m sono presenti alternanze di limo sabbioso e argilloso sciolti e di bassa consistenza. Il profilo della CPT 2/4 '09 è inoltre piuttosto anomalo perché le resistenze nei primi tre metri sono elevatissime, seguite da un tratto a bassa e bassissima resistenza intorno a -6 metri. Quest'ultimo strato è attribuito a limi argillosi poco sovraconsolidati ($c_u = 30-60$ kPa), ed è presente anche in molte altre verticali, sia pure con caratteri meno accentuati, ovvero con resistenze non drenate di circa 100 kPa. La presenza di uno strato coesivo, o di uno strato incoerente sciolto, tra -6 e -8 m dalla superficie connota la continuità laterale dei depositi in tutta l'area urbana.

La **zona 2** interessa gran parte dei depositi recenti della piana del Po a valle della scarpata principale. Il quest'ambito le verticali CPT 3, 4 e 6 '02 mostrano la presenza di strati limo argillosi di medio-bassa consistenza ($c_u = 50$ kPa) nei primi metri, seguiti da un profilo in sabbie limose di media densità o sciolte almeno fino alla profondità esplorata di -5,8 m. Il profilo della prova CPT 4/4 - '09 si ritiene possa essere assimilato alle precedenti per la presenza di depositi limo argillosi di consistenza media fino a circa -2,5 m, e per la prosecuzione in profondità con sabbie sciolte tra -5,6 m e -8,6 m ($27 < \varphi' < 32^\circ$).

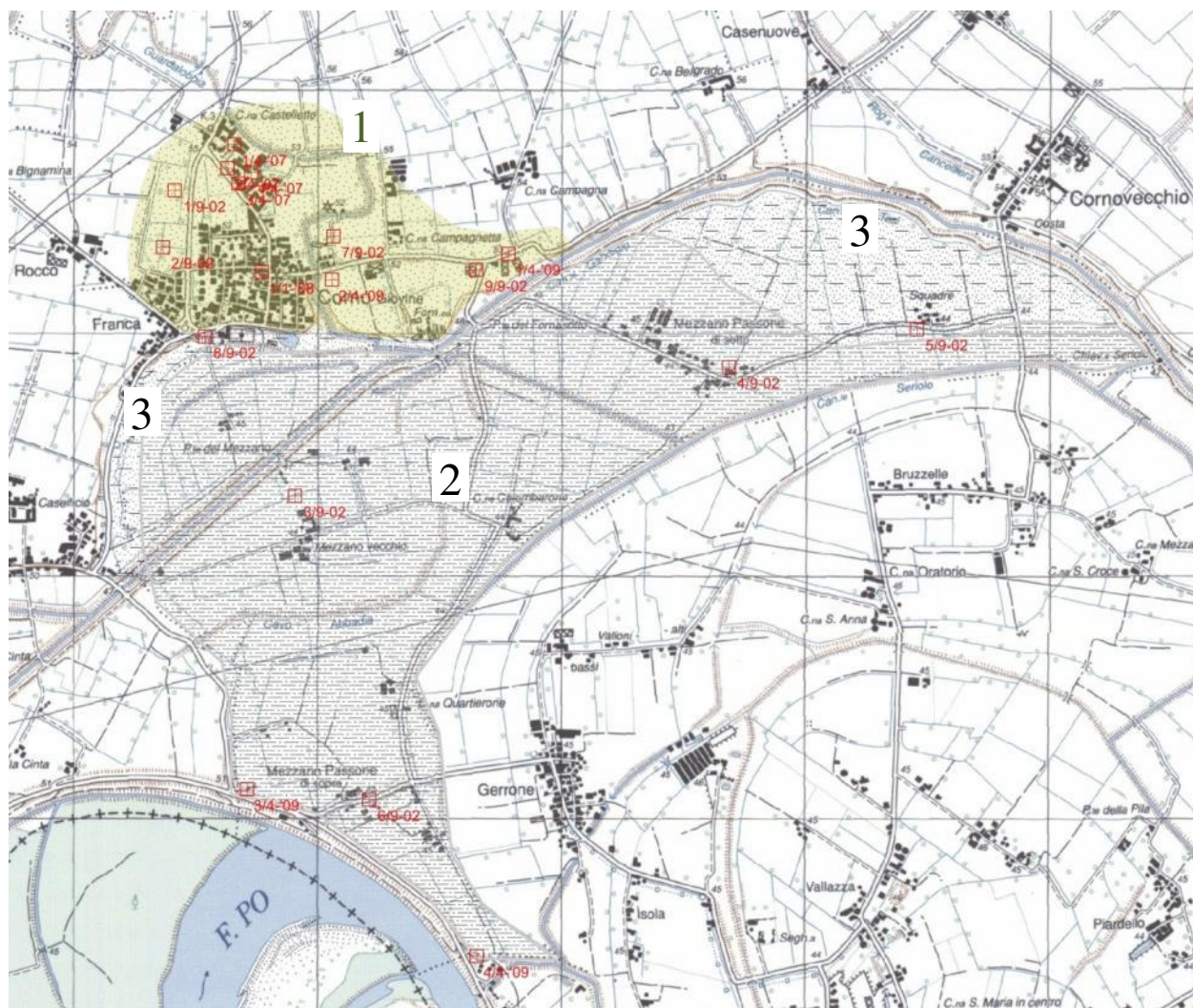


Figura 54: suddivisione grossolana del territorio esaminato con prove penetrometriche in unità che presenta caratteri stratigrafici relativamente uniformi,  prove penetrometriche statiche, numerazione nella Tabella 5.

La **zona 3** è stata distinta dalla precedente per la sostanziale assenza di depositi coesivi nel profilo, che è formato da sabbie di media densità o sciolte. Nell'area di Mezzano Squadre la predominanza di sabbie è inoltre avvalorata da un debole dosso e dalle caratteristiche pedologiche individuate dalla studio ERSAL, mentre nell'area ai piedi della scarpata in località Franca la presenza estesa di sabbie è confermata dal comportamento drenante dei terreni agricoli descritto dai coltivatori.

8.2 Stima del carico limite, dei cedimenti e delle Vs dai dati CPT

8.2.1 CRITERI DI VALUTAZIONE

Per fornire un elemento di distinzione tra le aree basata su aspetti pratici, e una valutazione immediatamente utile per la progettazione, si sono elaborate le prove penetrometriche in modo da ottenere la distribuzione sul territorio di tre "parametri informali".

I **primi due** scaturiscono dall'ipotesi che sul terreno siano posate fondazioni superficiali ordinarie che presentano la seguente geometria:

larghezza **B = 0,6 m** ;
 lunghezza **L = 6,0 m** ;
 profondità posa dal piano campagna **D = 0,8 m**

Utilizzando l'esito delle prove penetrometriche statiche (CPT) si è quindi calcolato il **CARICO LIMITE** (q_{ult} = carico a rottura, quindi privo di coefficiente di sicurezza ai sensi del D.M. 11 marzo 1988).

Per evitare l'uso di parametri geotecnici derivati, che risentono di scelte soggettive, la stima del carico limite è stata eseguita impiegando la relazione riferita nella figura seguente, tratta da una recente pubblicazione di un autorevole studioso delle prove CPT, utilizzando i valori medi di q_c sotto la fondazione ipotizzata fino a profondità $-1,1 B$.

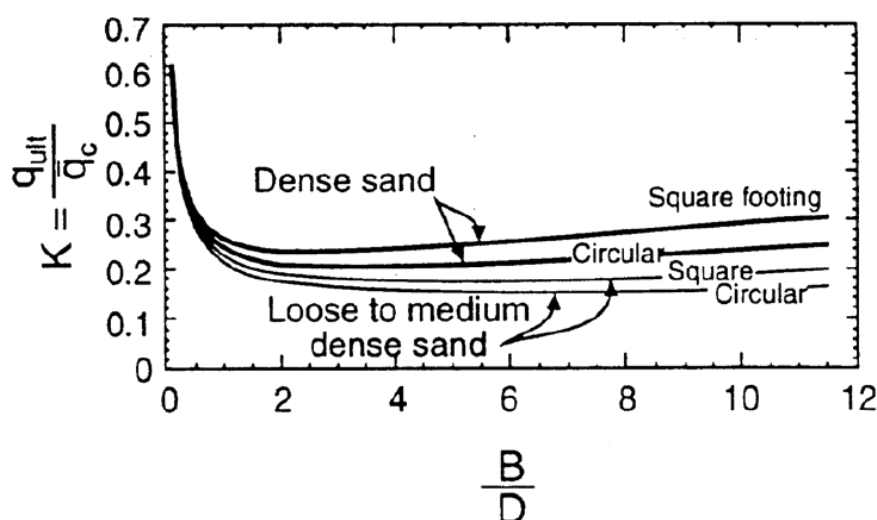


Figura 55 : Correlation between bearing capacity of footing on cohesionless soils and average cone.

Eslaamizaad, S., and Robertson, P. K. "Cone Penetration Test to Evaluate Bearing Capacity of Foundations in Sands." Submitted to 49th Canadian Geotechnical Conference, St. John's, Newfoundland. 122 - 22 – 1996.

Tratto da: Guide to Cone Penetration Testing For Geotechnical Engineering By P. K. Robertson and K.L. Cabal (Robertson). Gregg Drilling & Testing, Inc. 3rd Edition January 2009

Cautelativamente il valore impiegato con substrati prevalentemente sabbiosi è stato di **K = 0,16**.

In presenza di suoli coesivi, come suggerito da P. K. Robertson (2009), $q_{ult} = K_{su} q_c$ $_{(av)} + \gamma D$ con **K_{su} = da 0,30 a 0,60** in funzione del rapporto B/D, della forma e del valore di sovraconsolidazione OCR. In generale si assume $K_{su} = 0,30$ in argille.

I valori di K_{su} usati in terreni in prevalenza coesivi sono stati compresi tra 0,2 e 0,3 in funzione della presenza più o meno abbondante della frazione sabbiosa nel profilo immediatamente sottostante la fondazione.

La seconda elaborazione ha riguardato la **STIMA DEI CEDIMENTI immediati** nell'ipotesi che la fondazione sopra indicata trasmetta ai terreni una pressione di **160 kPa**.

Per i calcoli è stato impiegato unicamente il metodo di Schmertmann (1970 e 1978), facilmente reperibile in letteratura, il cui utilizzo è suggerito in presenza esclusivamente di

terreni sabbiosi. La procedura impiega direttamente i dati delle prove penetrometriche statiche e non vi sono passaggi interpretativi, ovvero non occorre raggruppare il profilo indagato in strati ai quali attribuire parametri geotecnici. Nel calcolo si considerano solo i valori di resistenza alla punta (un valore ogni 20 cm), la geometria della fondazione e la quota della falda, e nel presente caso l'analisi è stata eseguita tramite un procedimento semi automatico su un foglio di calcolo predisposto dallo scrivente.

A rigore dove sono presenti depositi coesivi immediatamente sotto le fondazioni (verticali CPT 6/09 '02, 8/09 '02, 2/04 '07, 4/04 '07, 1, 3 e 4/4 '09), sarebbe stato necessario valutare i moduli di deformabilità dei terreni con criteri più complessi, ma poiché i valori ottenuti sono in genere prossimi a quelli impiegati nel metodo di Schmertmann, in considerazione degli obiettivi generali del lavoro si è ritenuto opportuno evitare anche per tale parametro ogni ricorso a metodi meno rigidamente definiti.

L'ultimo parametro derivato dalle prove CPT riguarda una stima delle **VELOCITÀ DELLE ONDE DI TAGLIO V_s** che consente di valutare la CATEGORIA DI SOTTOSUOLO DI FONDAZIONE definita nella Tabella 3.2.II NTC 2008. L'affidabilità di queste correlazioni è oggetto di numerose critiche, e secondo taluni autori⁴⁴ le stesse sono inesistenti.

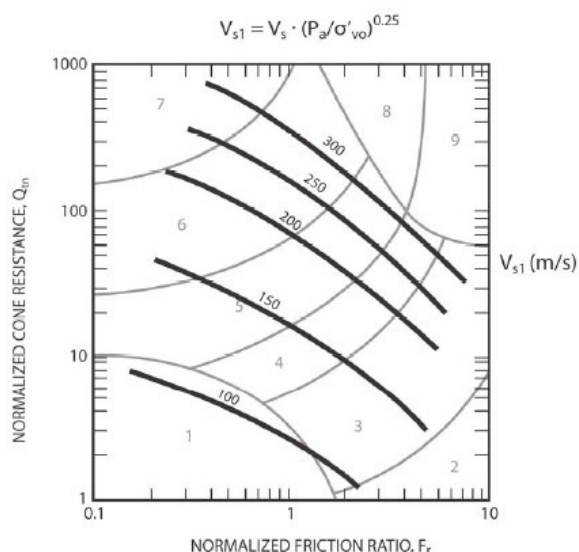
Nondimeno l'autorevolezza nella letteratura internazionale degli autori proponenti rende quantomeno plausibile che le relazioni possano costituire un riferimento generale per studi di carattere territoriale. Inoltre l'esito dell'elaborazione appare in linea con i risultati ottenuti dallo scrivente in indagini su terreni di analoga composizione e profilo penetrometrico, dove i valori di V_s ottenuti sono stati confrontati con quelli ricavati da indagini sismiche superficiali.

Secondo la citata pubblicazione di P. K. Robertson (2009) è possibile correlare la velocità delle onde di taglio V_s alla resistenza alla punta conica CPT in funzione del tipo di terreno e dell'indice I_c del SBT (Soil Behavior Type)⁴⁵. Le V_s sono sensibili all'età dei depositi ed alla cementazione, così che lo stesso tipo di depositi presenta velocità maggiori in terreni più antichi e minori in quelli più recenti.

⁴⁴ Interessanti considerazioni sono riferite in un rapporto redatto dall'Università di Firenze Dipartimento di Ingegneria Civile – Sezione Geotecnica (Prof. Ing. Claudia Madiati, Firenze febbraio 2006) che conclude una convenzione con la Regione Emilia-Romagna in merito allo studio in ambito regionale di **CORRELAZIONI TRA VELOCITÀ DELLE ONDE SISMICHE DI TAGLIO E INDICI DI PROVE GEOTECNICHE IN SITO DI TIPO CORRENTE**. Nelle conclusioni del rapporto si legge che *"per i terreni incoerenti non è stata trovata, sulla base dei dati esaminati, alcuna correlazione tra V_s e q_c in nessuna delle verticali indagate; per i terreni a grana fine è stata proposta una regressione del tipo $V_s = \alpha q_c^\beta$ con coefficienti di determinazione accettabili solo in alcune delle verticali indagate."*

⁴⁵ Il tipo di terreno riconoscibile dai valori di prova è determinato mediante confronto dei valori di misura semplici o normalizzati, in funzione dello stato di sforzo totale verticale dei terreni alla quota della misura (σ_{vo}), con grafici predisposti che individuano vari ambiti di appartenenza dei valori letti, ovvero il tipo di comportamento prevalente del terreno (Soil Behavior Type - SBT). Il valore I_c (detto Indice del SBT) deriva da tali grafici e rappresenta il raggio dei cerchi essenzialmente concentrici che formano i limiti degli ambiti omogenei dei terreni sul grafico. Operando con valori normalizzati : $I_c = ((3.47 - \log Q_t)^2 + (\log F_r + 1.22)^2)^{0.5}$ dove Q_t = resistenza penetrometrica normalizzata (adimensionale), $= (q_t - \sigma_{vo}) / \sigma'_{vo}$ e F_r = rapporto di frizione normalizzato, in % = $(f_s / (q_t - \sigma_{vo})) \times 100$.

La relazione proposta è espressa dal grafico di Figura 56 che mostra la relazione tra i valori normalizzati delle CPT e $(Q_{tn}$ e $F_r)$ ⁴⁶ e valori normalizzati delle velocità delle onde di taglio V_{s1} , dove $V_{s1} = V_s (p_a / \sigma'_{vo})^{0.25}$



Zone	Soil Behavior Type	I_c
1	Sensitive, fine grained	N/A
2	Organic soils – peats	> 3.6
3	Clays – silty clay to clay	2.95 – 3.6
4	Silt mixtures – clayey silt to silty clay	2.60 – 2.95
5	Sand mixtures – silty sand to sandy silt	2.05 – 2.6
6	Sands – clean sand to silty sand	1.31 – 2.05
7	Gravelly sand to dense sand	< 1.31
8	Very stiff sand to clayey sand*	N/A
9	Very stiff, fine grained*	N/A

* Heavily overconsolidated or cemented

Figure 23 Evaluation of normalized shear wave velocity, V_{s1} , from CPT for uncemented Holocene and Pleistocene age soils (1m/s = 3.28 ft/sec)

$$V_s = [\alpha_{12} (q_t - \sigma_v) / p_s]^{0.5} \text{ (m/s); where } \alpha_{12} = 10^{(0.55 I_c + 1.68)}$$

Figura 56: grafico per la stima dei valori di V_s normalizzati partendo da valori q_c di CPT.

La relazione analitica che consente la stima di V_s dai valori di I_c , q_t e σ_{vo} è riferita in calce alla Figura 56. I valori di I_c sono stati elaborati impiegando il software **CPeT- IT** ver 1.6.4.1 della GeoLogismiki Geotechnical Engineers (<http://www.geologismiki.gr/>), e mediante un foglio di calcolo sono stati successivamente ottenuti i relativi valori di V_s delle verticali ritenute più rappresentative.

8.2.2 RISULTATI DELLE ELABORAZIONI E RELATIVI COMMENTI

I parametri determinati come descritto al paragrafo precedente sono riferiti nella Tabella 6, dove sono evidenziati con sfondo rosa alcuni valori che denotano la presenza, con le fondazioni ipotizzate, di cedimenti molto rilevanti o di carichi limite lievemente inferiori a quelli comunemente attesi per opere ordinarie.

Mediante Surfer © 9 si è sono infine realizzate alcune planimetrie che restituiscono a grandi linee la distribuzione sul territorio dei parametri sopra determinati.

Nell'elaborazione non sono stati considerati i valori dei cedimenti della prova 15 (1/4 '09) perché l'elevato valore avrebbe determinato una forte distorsione grafica, probabilmente non rappresentativa del variare medio del "parametro" (è possibile che la parte superficiale del profilo di quella prova sia formato da terreni riportati). Analogamente

⁴⁶ $Q_{tn} = Q_t (p_a / \sigma'_{vo})^n$ dove p_a = pressione atmosferica. L'esponente n varia con il tipo di suolo e lo stato tensionale, ma in prima approssimazione $n = 1$ e quindi $Q_{tn} = Q_t$.

elaborando i valori di Q_{ult} non si è considerato l'esito della prova 16 (CPT 2/04 '09) che come detto in precedenza presenta resistenze superficiali elevate in modo anomalo.

I dati di entrambe le prove non sono considerate nel calcolo del valore medio riferito in Tabella 6.

La ricostruzione fornita si può ritenere sufficientemente attendibile per le aree prossime o interposte a verticali abbastanza prossime (alcune centinaia di metri al massimo), mentre nella vasta area tra Mezzano Vecchio e Mezzano Squadre l'andamento ottenuto è puramente indicativo.

N. prova	cedimenti con 160 kPa (cm)	q_{lim} kPa	Vs (m/s)
1	1.62	482	250
2	2.13	375	
3	3.15	434	
4	1.35	470	158
5	1.32	569	-
6	2.76	274	-
7	1.27	363	-
8	2.73	331	179
9	0.87	430	-
10	1.05	426	-
11	1.77	629	-
12	1.46	351	205
13	1.67	373	-
14	0.95	873	-
15	5.73	184	-
16	0.27	2487	221
17	1.78	531	206
18	2.49	605	203
media	1.7	453	203

Tabella 6: esito sintetico dell'elaborazione dei cedimenti (in cm), del carico limite dalle 18 prove CPT, e delle Vs medie da una selezione di 7 prove CPT.

I **cedimenti immediati calcolati sono medi**, nel **80% dei casi inferiori a 2,4 cm**, mentre solo presso la prova 15 (CPT 1/04 '09) il valore diviene elevato, tale da rendere indispensabile migliorare le caratteristiche meccaniche del terreno prima di realizzare fondazioni ordinarie superficiali. Come evidenziato in precedenza è possibile che i terreni attraversati con tale prova siano in parte artificiali.

Nell'area urbana si osserva un regolare aumento dei cedimenti spostandosi verso ovest, con valori che passano da circa 1 cm a 2 cm.

Il medesimo andamento pare caratterizzare la superficie dei depositi olocenici del Po, con valori che passano da 1,3 cm a Mezzano Squadre, a 3,1 cm presso Mezzano vecchio, mentre in prossimità del Po i valori si collocano su valori intermedi.

Infine, secondo quanto indicato dal metodo di calcolo impiegato, i cedimenti a lungo termine comporteranno un incremento dei valori sopra indicati in Tabella 6 (cedimento immediato) di circa il 40% in 10 anni e del 50% in 30 anni.

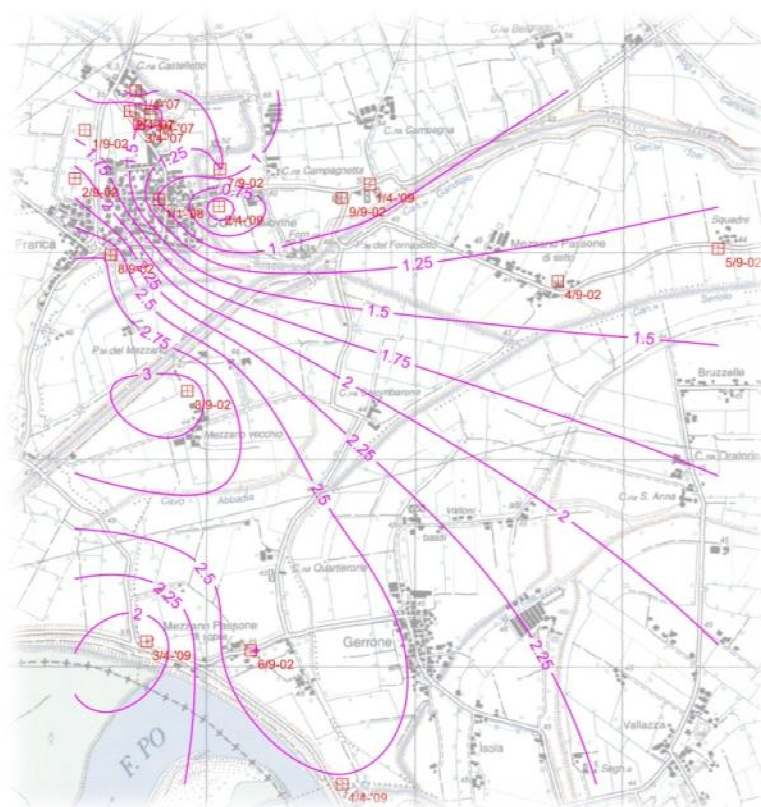


Figura 57: distribuzione dei cedimenti immediati (cm) con carichi di 160 kPa su fondazioni lineari superficiali di larghezza $B=0,6$ m approfondite 0,8 m dal piano campagna.



Figura 58 : distribuzione dei carichi limite (q_{lim} in kPa) per le fondazioni superficiali sopra ipotizzate.

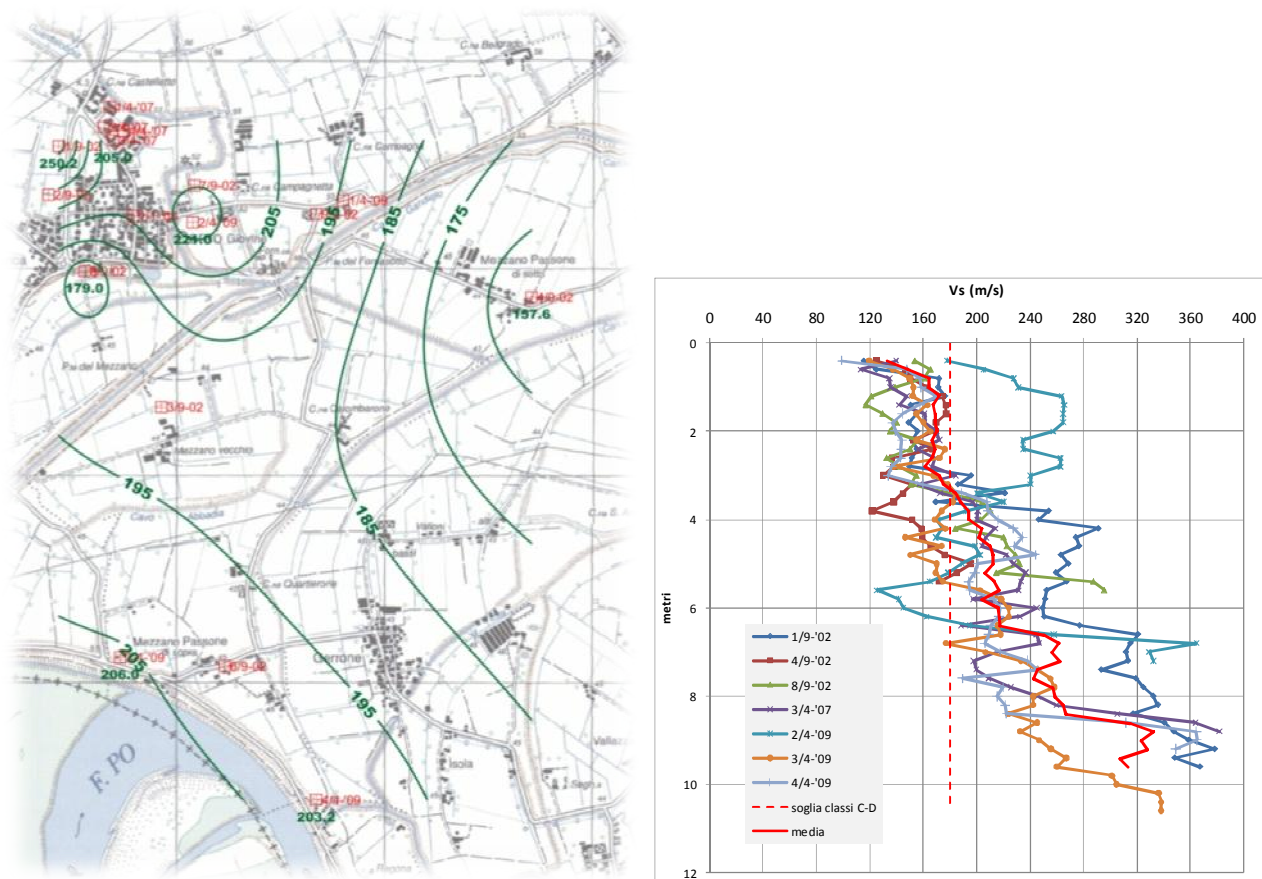


Figura 59: distribuzione delle velocità medie di taglio Vs in m/s ottenute dai profili di 12 verticali CPT indicate in Tabella 6 e grafici ottenute dalle singole verticali.

I **carichi limite** (q_{ult} = carico a rottura, quindi privo di coefficiente di sicurezza ai sensi del D.M. 11 marzo 1988) presentano una distribuzione complessa, con valori molto elevati al centro dell'area urbana che diminuiscono radialmente fino a valori di circa 300 kPa alle estremità est ed ovest, mentre permangono elevati a nord.

Nella piana olocenica del Po i valori sono medi e piuttosto uniformi, oscillando tra i 400 ed i 550 kPa. In quest'area un notevole contributo al carico limite dato dalla resistenza non drenata (c_u), ma occorre sottolineare che in presenza di terreni limo argillosi il carico ammissibile deve essere primariamente definito mediante la **valutazione dei cedimenti indotti**. La limitata profondità della falda, che durante il periodo estivo si ritiene possa collocarsi in buona parte della superficie intono a -1 m dal p.c., comporta specifiche difficoltà per l'esecuzione di opere in sotterraneo.

La distribuzione delle **velocità delle onde di taglio Vs** derivate dai valori medi delle singole verticali considerate (n. 7 in totale, ritenute maggiormente rappresentative) è uniforme, con valori moderatamente più elevati a nord della scarpata (di poco superiori a 200 m/s) ed inferiori a sud (da 160 a 180 m/s).

L'andamento in profondità di questo parametro è illustrato in Figura 59, dove si evidenzia che oltre i -4 m circa tutti i profili considerati mostrano valori superiori a 180 m/s, in aumento con la profondità secondo un gradiente di almeno 100 m/s ogni 10 metri.

Ritenendo valida tale ipotesi di gradiente si otterrebbe una V_{s30} di circa 300 m/s, che colloca il sottosuolo nella **categoria C** della **Tabella 3.2.II NTC 2008** : “*Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità, e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina)*”.

In mancanza di misure fino a profondità prossime a 30 m l'ipotesi sopra delineata è carente di verifica, ma la collocazione nella categoria C, a meno di improbabili inversioni delle velocità, appare ragionevole vista la prevalenza dei depositi sabbiosi e sabbioso ghiaiosi nei primi 30 metri confermata dai dati stratigrafici forniti dai pozzi.

9 Aspetti sismologici

La storia sismica del territorio di Corno Giovine non è direttamente nota per l'assenza di fonti storiche locali, ma è desumibile dalle informazioni disponibili riguardanti Codogno (5 Km a NW), Piacenza (9 km a SW) e Cremona (20 Km ad Est), raccolte nel catalogo “DBMI04 - Stucchi et alii. (2007) il database delle osservazioni macrosismiche dei terremoti italiani utilizzate per la compilazione del catalogo parametrico CPTI04. <http://emidius.mi.ingv.it/DBMI04/> Quaderni di Geofisica, Vol 49, pp.38.”.

Seismic history of Codogno [45.161, 9.705]

Total number of earthquakes: 11

Effects	Earthquake occurred:						
Is	Anno Me Gi Or	Area epicentrale	Studio	nMDP	Io	Mw	
5-6	1802 05 12 09 30	Valle dell'Oglio	CFTI	66	8	5.67	
3	1891 06 07 01 06 14	Valle d'Ilasi	CFTI	403	8-9	5.71	
NF	1909 01 13 00 45	BASSA PADANA	DOM	799	6-7	5.53	
4-5	1920 09 07 05 55 40	Garfagnana	CFTI	638	9-10	6.48	
3	1929 04 20 01 09 46	Bolognese	CFTI	628	7	5.55	
3-4	1936 10 18 03 10	BOSCO CANSIGLIO	DOM	267	9	5.90	
NF	1939 10 15 14 05	GARFAGNANA	DOM	62	6-7	5.20	
6	1951 05 15 22 54	LODIGIANO	DOM	126	6-7	5.24	
3	1971 07 15 01 33 23	Parmense	CFTI	228	7-8	5.61	
3-4	1972 10 25 21 56	PASSO CISA	DOM	198	5	4.95	
4	1983 11 09 16 29 52	Parmense	CFTI	835	6-7	5.10	

this file has been downloaded from INGV - DBMI04

Figura 60: storia sismica di Codogno da Stucchi et alii. (2007).

Is = intensità macrosismica a Codogno in scala MCS:

D = danneggiamento, comunemente > 6 ; *F* = risentito *NC* = non classificato

Io = intensità epicentrale in scala MCS

Mw = magnitudine momento nell'area epicentrale

nMDP = numero di osservazioni macrosismiche del terremoto in DBMI04

Nella tabella precedente sono evidenziati gli eventi sismici di maggior intensità più vicini al territorio di Corno Giovine, quello del 1802 (denominato Valle dell'Oglio, con epicentro poco a nord di Soncino, circa 33 km a NE di Corno Giovine), e del 1951 - Lodigiano (epicentro poco a nord di Ossago Lodigiano, circa 21 km a NW di Corno Giovine, *Latitudine 45.254° Longitudine 9.550° Io* = 6-7, ***Mw* = 5.24.**)

A Piacenza e a Cremona le osservazioni disponibili sono molto più numerose, e gli eventi d'intensità a $I_s \geq 4,5$ sono riassunte nei grafici seguenti

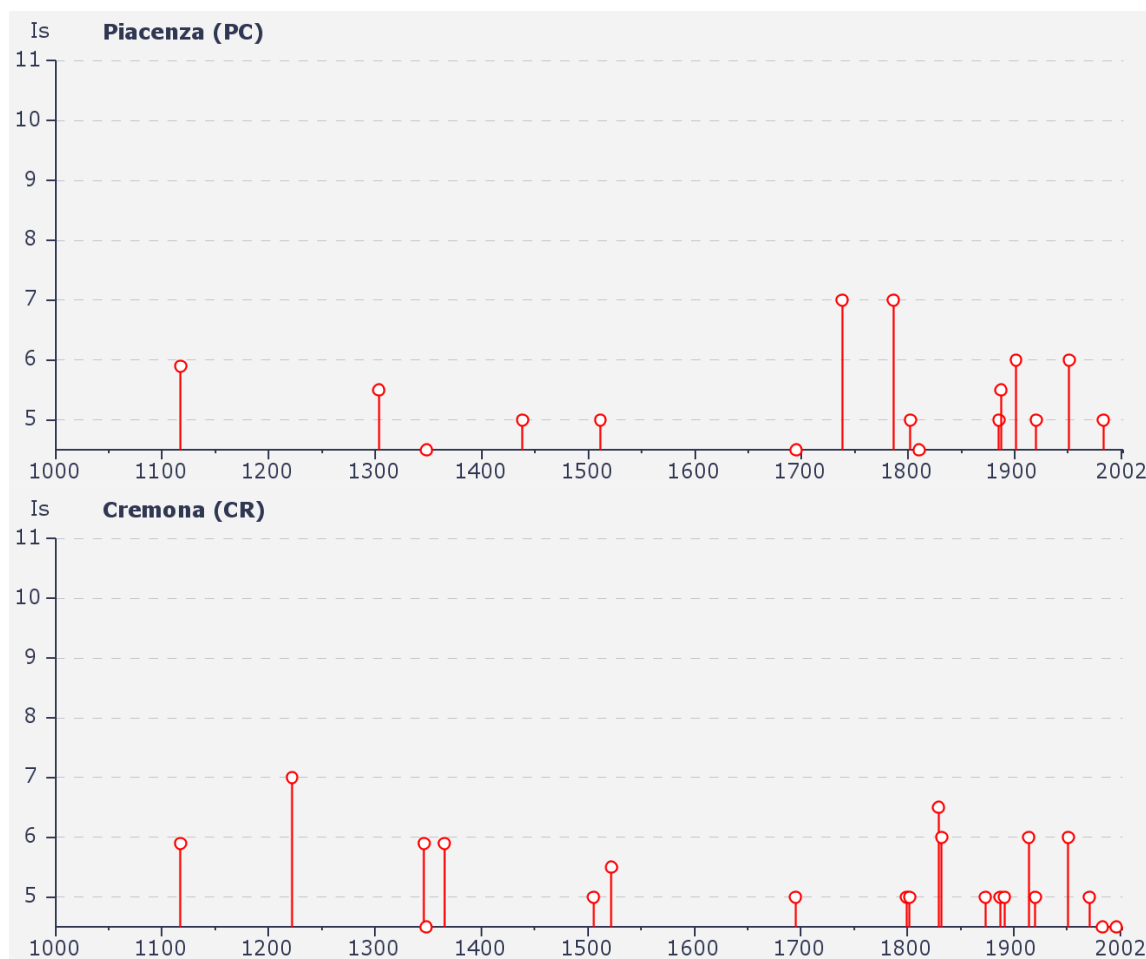


Figura 61 : eventi sismici e relativa intensità riferite nel catalogo DBMI04

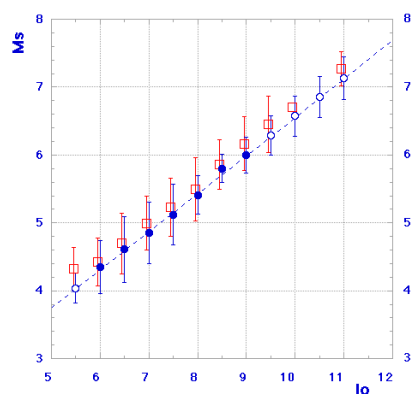


Figura 62: rapporto I_o/M_s da CPTI, 1999 - ING, GNDT, SGA, SSN, Bologna, 1999, 92 pp.

Si osserva che le intensità massime riportate sono 6-7 MCS⁴⁷, che in base alle relazioni impiegate per la compilazione del catalogo (v Figura 62) equivalgono a valori di magnitudo strumentale M_s comprese tra 4 e 5.5.

⁴⁷ Scala MCS (Mercalli, Cancani, Sieberg): **V grado** Abbastanza forte. Scossa percepita da molti, anche all'aperto. Quasi tutti i dormienti si svegliano e qualcuno fugge all'aperto. In casa è avvertita da tutti, gli oggetti pendenti oscillano, porte e finestre sbattono, qualche vetro si rompe, soprammobili possono cadere e piccole quantità di liquido vengono versate da recipienti colmi e aperti. **VI grado** = Forte. Il terremoto viene avvertito da tutti con paura e molti fuggono all'aperto. Liquidi si muovono fortemente; quadri cadono dalle pareti e oggetti dagli scaffali; oggetti assai stabili vengono spostati o rovesciati; Case isolate, solidamente costruite subiscono danni leggeri (spaccature e caduta dell'intonaco di soffitti e di pareti). Qualche tegola e pietra di camino cade. **VII grado**. Molto forte. Grandi campane rintoccano. Corsi d'acqua, stagni e laghi si agitano e s'intorbidiscono. Danni moderati a numerosi edifici costruiti solidamente (piccole spaccature nei muri; caduta di pezzi piuttosto grandi dell'intonaco, a volte anche di mattoni).

L'attività sismica è attribuita alle spinte verso nord degli archi strutturali appenninici sepolti, estesi dalla catena stessa fino a circa 20 km a nord di Corno Giovine, alle quali si oppongono le spinte provenienti dalle strutture sepolte del sud alpino, che si presentano piegate verso sud e che sono estese dalle Prealpi fino al fronte esterno dell'Appennino.

L'assetto strutturale della pianura intorno a Corno Giovine è legato ad eventi tettonici terziari dell'orogenesi alpina ed al manifestarsi del paleoappennino, formatosi durante più fasi deformative durate dall'Oligocene sup. al Pleistocene, prevalentemente in ambiente marino, precedute, accompagnate e seguite da deposizioni di sequenze sedimentarie.

La sezione di Figura 63, passante lungo il confine sud orientale del territorio comunale, mostra i piegamenti e le faglie inverse che coinvolgono le porzioni più esterne dell'Arco Emiliano, in particolare le sequenze mioceniche e plioceniche che presentano tuttora un'apprezzabile attività sismica.

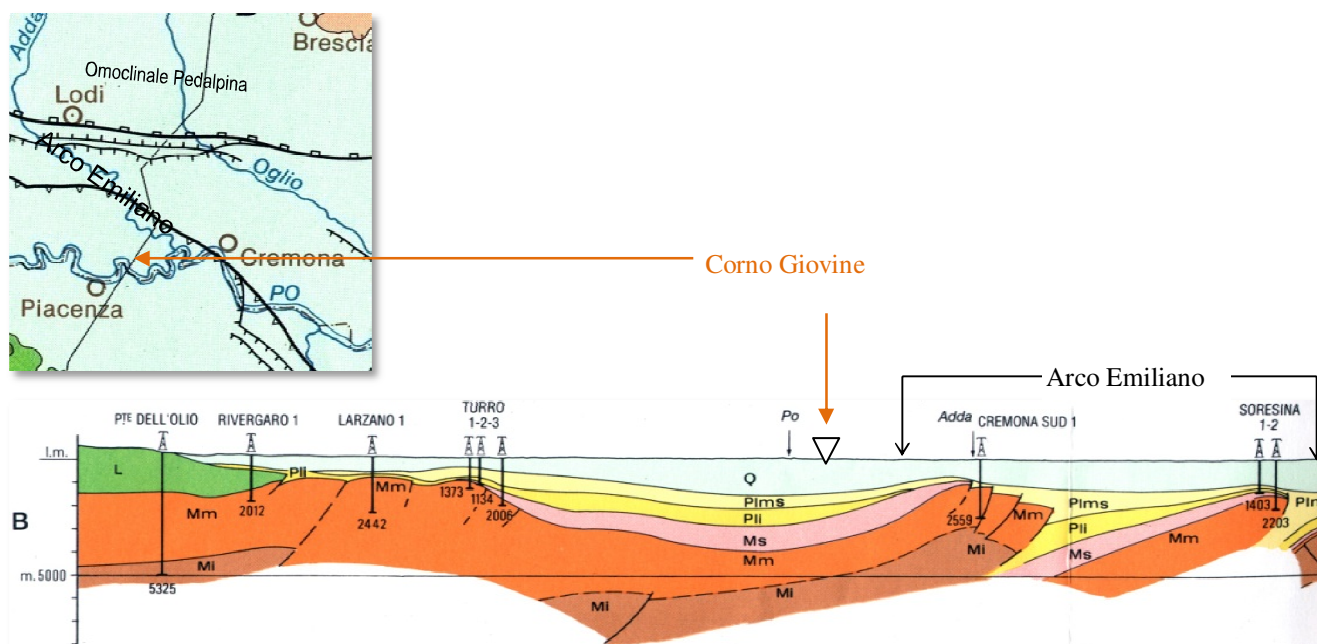


Figura 63: elementi strutturali tratti da Pieri e Groppi, 1981
Subsurface geological structure of the Po Plain, CNR, P.F. Geodin., Publication n.414, 278-286, in "Carta Geomorfologica della Pianura padana", Ministero dell'Università e della ricerca scientifica e tecnologica 1997, Ed. SELCA Firenze. Scala originaria 1:250.000.

Q = quaternario marino e continentale; PliMs = Pliocene medio e superiore; Pli = Pliocene inferiore; Ms, Mm, Mi = Miocene superiore, medio, inferiore.

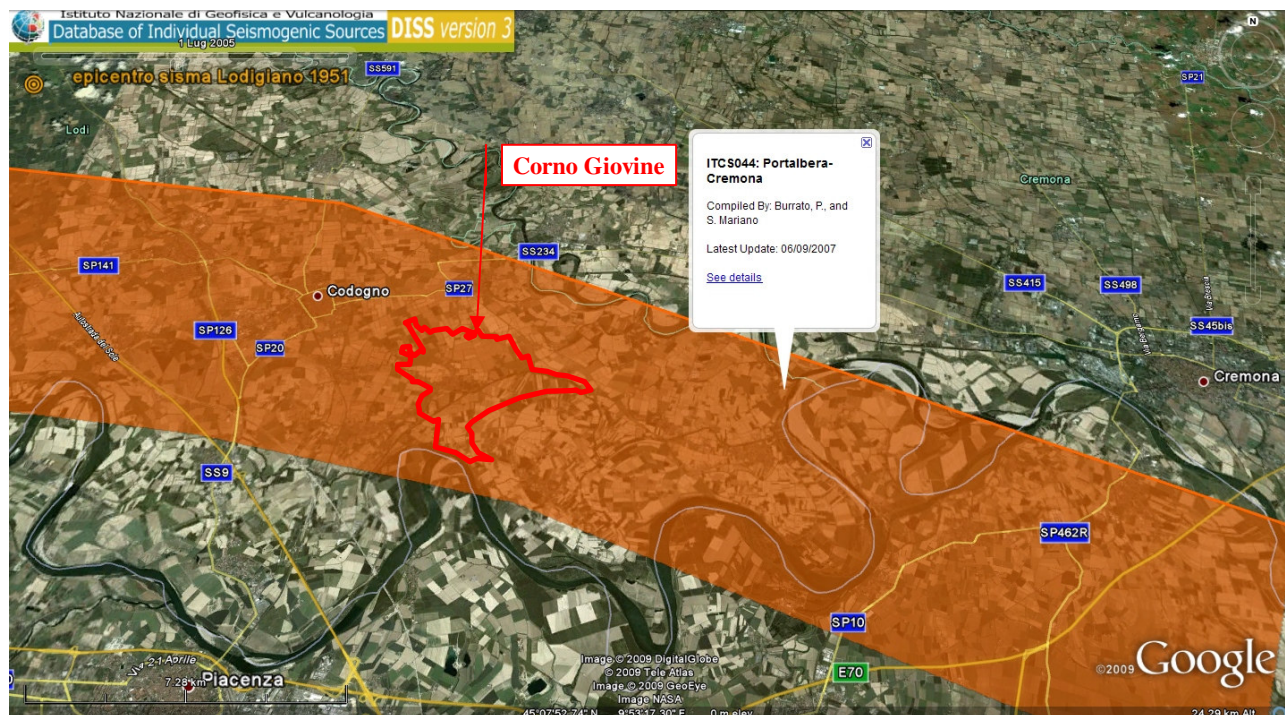
Sull'attività di tali strutture l'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) ha reso disponibile sul web il "**Database of Individual Seismogenic Sources (DISS)**" all'indirizzo <http://diss.rm.ingv.it/diss/KML-HTMLoptions.html>.

Gli autori individuano nell'area lodigiana-cremonese una struttura sismogenetica estesa da Portalbera, vicino a Stradella (Pv), a Cremona, che interessa una fascia di oltre

Caduta di tegole. Molti fumaioles lesionati al punto da cadere sopra il tetto danneggiandolo. Decorazioni mal fissate cadono da torri e costruzioni alte. Possibile distruzione di case mal costruite.

50 km di lunghezza e circa 10 di larghezza, comprendente tutto il fronte avanzato delle strutture appenniniche sepolte che si manifestano in superficie con il colle di San Colombano e i piccoli rilievi di Casalpusterlengo. A tale struttura, denominata **ITSA044**, è attribuita una velocità di scorrimento (slip rate) di 0,1 – 0,5 mm all’anno e la possibilità di generare terremoti di magnitudo **Mw 5,5**.

Si denota che il territorio di Corno Giovine si estende per intero centro della fascia stessa





DISS 3.1.0: Seismogenic Source ITCS044 - Portalbera-Cremona

[Source Info Summary](#)

[Commentary](#)

[References](#)

[Pictures](#)

General information

Code

Name

Compiled By

Latest Update

ITCS044

Portalbera-Cremona

Burrato, P., and S. Mariano

06/09/2007

Parametric information

Parameter

Qual.

Evidence

Min Depth (km)

Max Depth (km)

Strike (deg)

Dip (deg)

Rake (deg)

Slip Rate (mm/y)

Magnitude (Mw)

2

7

30 - 115

20 - 40

80 - 100

0.1 - 0.5

5.5

OD

OD

OD

OD

EJ

EJ

EJ

Based on geological data from various authors.

Based on geological data from various authors.

Based on geological data from various authors.

Based on geological data from various authors.

Inferred from geological data.

Derived from geological data concerning adjacent structures.

Assumed from regional seismological data.

LD = Literature Data; OD = Original Data; ER = Empirical Relationship; AR = Analytical Relationship; EJ = Expert Judgement

Associated Active Faults or Folds

#

Type

Name

Reference

125

Fold

San Colombano

Toscani et al. [2006]

Figura 64: sorgente sismogenetica ITCS044 individuata da dati di sismicità storica e sintesi delle informazioni elaborate.

10 Rischio sismico

10.1 Riferimenti normativi regionali e definizioni

La normativa regionale richiede che tra gli elementi di pericolosità geologica siano valutati i possibili effetti che particolari condizioni geologiche e geomorfologiche (condizioni locali) possono determinare in occasione di eventi sismici.

La **pericolosità sismica di base** è definita da studi sismologici nazionali e regionali, mentre gli effetti locali sono distinti in funzione del comportamento dinamico dei materiali coinvolti, e principalmente dipendono dalla morfologia e dalle caratteristiche meccaniche del terreno presente nelle prime decine di metri.

In funzione di tali caratteristiche, si distinguono **due grandi gruppi di effetti locali**: quelli determinati dall'**amplificazione sismica locale** e quelli dovuti all'**instabilità**.

L'AMPLIFICAZIONE SISMICA LOCALE interessa terreni stabili nei confronti delle sollecitazioni sismiche attese, ma che per effetto della loro disposizione e caratteristiche meccaniche producono modificazioni in ampiezza, durata e contenuto in frequenza del moto sismico (terremoto di riferimento) proveniente da una sottostante formazione rocciosa (bedrock). Nell'ambito dei fenomeni di amplificazione locale si distinguono:

1. effetti di **AMPLIFICAZIONE TOPOGRAFICA**, che si manifestano quando sono presenti morfologie superficiali più o meno articolate che favoriscono la focalizzazione delle onde sismiche in prossimità della cresta del rilievo a seguito di fenomeni di riflessione sulla superficie libera e di interazione fra il campo d'onda incidente e quello diffratto.

Secondo quanto indicato nella **Tabella 3.2.IV** – Categorie topografiche – delle NTC 2008 si distinguono:

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

Le susposte categorie topografiche si riferiscono a configurazioni geometriche prevalentemente bidimensionali, creste o dorsali allungate, e devono essere considerate nella definizione dell'azione sismica se di altezza maggiore di 30 m.

Nel territorio di Corno Giovine le aree della scarpata morfologica principale presentano acclività comprese tra i 15° ed i 30° , ma il dislivello massimo è di 10 metri e quindi non rientrano tra quelle soggette ad amplificazione topografica.

2. effetti di **AMPLIFICAZIONE LITOLOGICA**: si verificano quando le condizioni locali sono rappresentate da morfologie sepolte (bacini sedimentari, chiusure laterali, corpi lenticolari, eteropie ed interdigitazioni, gradini di faglia ecc.), e da particolari profili stratigrafici costituiti da litologie con determinate proprietà meccaniche; tali condizioni possono generare esaltazione locale delle azioni sismiche trasmesse dal terreno, fenomeni di risonanza fra onda sismica incidente e modi di vibrare del terreno e fenomeni di doppia risonanza fra periodo fondamentale del moto sismico incidente e modi di vibrare del terreno e della sovrastruttura. Tale condizione **può essere presente a Corno Giovine in tutta la superficie a valle della scarpata principale**. Le indagini disponibili consentono invece di **escludere la presenza di indizi di strutture sepolte nell'area urbana e periferica in grado di determinare variazioni significative delle onde sismiche**.

Le problematiche relative all'**INSTABILITÀ** interessano i terreni che mostrano un comportamento instabile o potenzialmente instabile nei confronti delle sollecitazioni sismiche attese, e sono rappresentati in generale da collassi e movimenti di grandi masse. Questa condizione **non** è stata rilevata **nel territorio di Corno Giovine**, dove **si segnalano solo** lungo la scarpata principale che delimita a nord il **canale Gandiolo** modesti fenomeni di **scivolamento** dei depositi superficiali in sabbie che coinvolgono volumi di **pochi metri cubi**. Si ha testimonianza di un consistente franamento occorso molte decine di anni fa lungo la SP 194, ma secondo quanto riferito dovrebbe essersi trattato di un episodio connesso ad errori nella regolazione delle acque.



Figura 65: stato della scarpata principale.:

In alto a sinistra scarpate stabili di modesta acclività (circa 15°) lungo il canale Gandiolo 150 m a valle del ponte del Fornasotto. Si segnalano modeste erosioni della sponda sinistra del canale indicate con le frecce rosse. A destra la scarpata circa 700 metri a valle, suddivisa in due gradoni stabili. Si osservano numerose tane di nutrie.

In basso: tratto di canale Gandiolo in prossimità del confine con Conovecchio. A sinistra scarpate di circa 5 metri con fenomeni di instabilità superficiale evidenziata dall'inclinazione o dal rovesciamento degli alberi nell'acqua. A destra, a valle, tratto a modesta acclività quasi privo d'instabilità superficiali.

Nel caso di **TERRENI PARTICOLARMENTE SCADENTI** dal punto di vista delle proprietà fisico-meccaniche si possono verificare deformazioni permanenti del suolo; per terreni granulari sopra falda sono possibili cedimenti a causa di fenomeni di densificazione ed addensamento del materiale, mentre per terreni granulari fini (sabbiosi) saturi di acqua sono possibili fenomeni di liquefazione. Anche tale condizione **può essere presente a**

Corno Giovine, ma le elaborazioni concernenti la stima del rischio di liquefazione effettuate con i dati delle prove penetrometriche disponibili hanno condotto **ad escludere tale rischio nelle aree indagate**.

Con l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003 "*Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica...*" è in vigore la nuova classificazione sismica, che suddivide il territorio nazionale in 4 zone sismiche e colloca **Corno Giovine nella zona 4**, di bassa sismicità, caratterizzata da una accelerazione orizzontale massima su suolo di categoria A ($V_s > 800$ m/s) → **$a_g = 0,05 g$** , con g = accelerazione di gravità = $9,81$ m/s².

La Regione Lombardia, con d.g.r. n. 14964 del 7 novembre 2003, ha preso atto della classificazione imponendo l'obbligo, in zona 4, della progettazione antisismica esclusivamente per gli **edifici strategici** (la cui funzionalità deve permanere dopo gli eventi sismici perché sono fondamentali per gli interventi di protezione civile) **e per gli edifici e le opere infrastrutturali** di competenza regionale **rilevanti** (oggetto di particolare attenzione perché possono ospitare numerose persone, oppure servono alle comunicazioni e alle esigenze di base della collettività (elettricità - gas - acqua) così come individuati dal d.d.u.o. n. 19904 del 21 novembre 2003.

Per **Corno Giovine** gli **EDIFICI STRATEGICI** sono costituiti dalla **sede comunale** e dal **centro civico** quali centri funzionali di protezione civile, dalla **palestra delle scuole medie** perché rientranti nei piani di emergenza di protezione civile.

Gli **EDIFICI RILEVANTI** sono costituiti dalle **scuole**, dalle **strutture ricreative**, sportive e culturali, locali di spettacolo e d'intrattenimento in genere, e dagli edifici di culto. Per quanto concerne le **opere infrastrutturali** rilevanti non di competenza statale si può considerare l'intera **S.P. 193**, e i **tre ponti sul colatore Gandiolo** (Mezzano, Fornasotto e della SP 195).

In adempimento a quanto previsto dalla citata Ordinanza 3274/03 e dal successivo d.m. 14 settembre 2005 la regione Lombardia ha previsto l'analisi dell'amplificazione sismica del territorio e la redazione della carta della pericolosità sismica locale secondo una metodologia che prevede tre livelli di approfondimento:

Primo livello: riconoscimento delle **aree passibili di amplificazione sismica** sulla base sia di osservazioni geologiche (cartografia di inquadramento), sia di dati esistenti.

Tabella 1 – Scenari di pericolosità sismica locale

Sigla	SCENARIO PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE	EFFETTI
Z1a	Zona caratterizzata da movimenti franosi attivi	Instabilità
Z1b	Zona caratterizzata da movimenti franosi quiescenti	
Z1c	Zona potenzialmente franosa o esposta a rischio di frana	
Z2	Zone con terreni di fondazione particolarmente scadenti (riporti poco addensati, terreni granulari fini con falda superficiale)	Cedimenti e/o liquefazioni
Z3a	Zona di ciglio H > 10 m (scarpata con parete subverticale, bordo di cava, nicchia di distacco, orlo di terrazzo fluviale o di natura antropica)	Amplificazioni topografiche
Z3b	Zona di cresta rocciosa e/o cocuzzolo: appuntite - arrotondate	
Z4a	Zona di fondovalle con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi	Amplificazioni litologiche e geometriche
Z4b	Zona pedemontana di falda di detrito, conoide alluvionale e conoide deltizio-lacustre	
Z4c	Zona morenica con presenza di depositi granulari e/o coesivi (compresi le coltri loessiche)	
Z4d	Zone con presenza di argille residuali e terre rosse di origine eluvio-colluviale	
Z5	Zona di contatto stratigrafico e/o tettonico tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche molto diverse	Comportamenti differenziali

Figura 66: scenari di pericolosità sismica locale (PSL) individuati dalla norma regionale (tabella 1 allegato 5 alla norma).

Sono sottolineati con i riquadri a linee continue le zone Z2 e Z4a potenzialmente presenti in territorio di Corno Giovine. Con tratteggio sono indicate le condizioni possibili ma dimensioni molto modeste (movimenti franosi) o che vi rientrano solo estendendo verso il basso il limite della definizione data (scarpate >10 m)

Questo livello, obbligatorio per tutti i Comuni, prevede la redazione della Carta della pericolosità sismica locale, nella quale deve essere riportata la perimetrazione areale delle diverse situazioni tipo, riportate nella Tabella 1 dell'Allegato 5, in grado di determinare gli effetti sismici locali (aree a pericolosità sismica locale - PSL).

Il **secondo livello** consente una caratterizzazione semi-quantitativa degli effetti di amplificazione attesi, ed in zona sismica 4 deve essere applicato, nelle aree PSL **Z3** e **Z4**, nel caso di costruzioni strategiche e rilevanti ai sensi della d.g.r. n. 14964/2003, ferma restando la facoltà dei Comuni di estenderlo anche alle altre categorie di edifici.

Per le aree **Z2** non è prevista l'applicazione degli studi di 2° livello, ma il passaggio diretto a quelli di 3° livello, il quale comporta la definizione degli effetti di amplificazioni tramite indagini e analisi approfondite. Benché la normativa regionale preveda tale esame **solo per la progettazione di edifici strategici e rilevanti**, un'analisi preliminare della **pericolosità** relativa a questo fattore è espressa di seguito mediante l'elaborazione dei dati delle numerose verticali penetrometriche disponibili.

10.2 Il decreto ministeriale 14 gennaio 2008 e i relativi parametri sismici

Il quadro sopra delineato è lievemente mutato con la pubblicazione il 4 febbraio 2008 delle nuove Norme Tecniche per le Costruzioni elaborate dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici (Decreto 14/01/2008 del Ministero delle Infrastrutture). L'allegato A di tali Norme prevede che **l'azione sismica di riferimento** per la progettazione non sia più rappresentata dalle "zone" precedentemente citate, ma sia definita sulla base dei nodi di una rete nazionale di valori di pericolosità sismica, proposti da valori tabellari riferiti nell'allegato stesso.

Come nel caso delle "zone" il valore è espresso in termini di accelerazioni previste su suolo rigido di categoria A ($V_s > 800$ m/s) in unità g.

L'accelerazione orizzontale massima del suolo a_g , come definita dall'OPCM 3519/2006, corrispondente a quella che in ambito internazionale è chiamata PGA (Peak Ground Acceleration), è una funzione probabilistica associata a soglie di eccedenza e valori di incertezza, rappresentata quindi non più da un unico numero ma da un'insieme di valori.

I valori di pericolosità sismica sono proposti graficamente al sito <http://esse1.mi.ingv.it/>, ed il valore di riferimento più frequentemente impiegato per le costruzioni ordinarie è quello delle probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni equivalente a un tempo di ritorno di 475 anni.

Tale condizione riferita al territorio in esame mostra $0,075 < a_g < 0,100$ (v. Figura 67), e più specificamente $a_g = 0,081$ per il nodo all'estremità est del territorio (circa tra Squadre e Cornovecchio), e $a_g = 0,082$ per il nodo posto tra l'abitato di Corno Giovine e Santo Stefano Lodigiano.

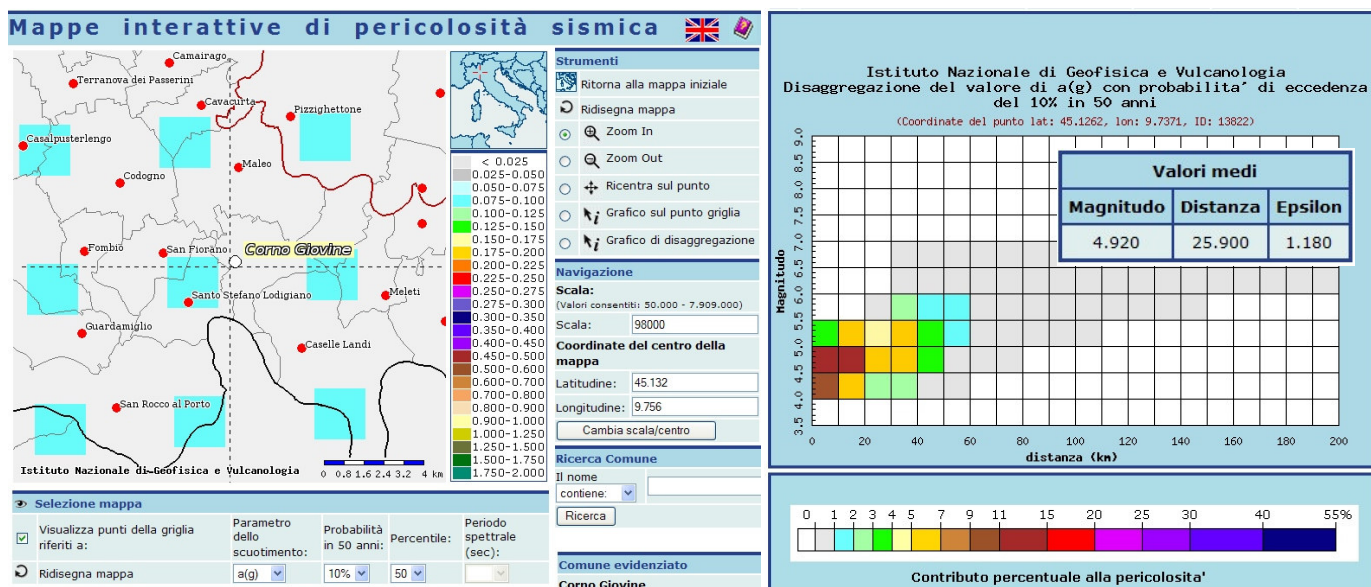


Figura 67: mappa di pericolosità sismica

Distribuzione dei valori di a_g associata alla probabilità di superamento del 10% in 50 anni, equivalente a un tempo di ritorno di 475 anni. A destra è riferito il diagramma di disaggregazione, che esprime il contributo percentuale alla stima di pericolosità fornito da tutte le possibili coppie di valori di magnitudo e distanza. In basso sono riferiti i valori medi per il nodo esaminato.

L'elaborazione proposta, fondata sui cataloghi sismici citati in precedenza, consente di visualizzare l'entità del contributo alla pericolosità sismica da tutte le possibili coppie di valori di magnitudo (M) e distanza (R). Il parametro ϵ rappresenta il numero di deviazioni standard per cui lo scuotimento (logaritmico) devia dal valore mediano predetto da una data legge di attenuazione dati M ed R.

Per l'area in esame prevalgono sismi di magnitudo da 4,0 a 5,5 M e distanze comprese tra pochi Km e circa 40 Km. Le aree coinvolte sono quelle della citata struttura sismogenetica Portalbera – Cremona, l'analoga struttura presente tra Spino d'Adda e Brescia (ITCS002), e quelle del margine appenninico tra Fiorenzuola e Parma (ITCS009 e ITCS045).

Nelle figure seguenti sono riferiti i **principali spettri elastici e di progetto** per costruzioni ordinarie (stato limite di danno - SLD e di vita - SLV per classe d'uso II) ottenuti dal programma "Spettri NTC vers. 1.0.3" per un punto al centro dell'area urbana, nell'ipotesi di sottosuolo di **categoria C⁴⁸** su superficie pianeante.

Nello Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV) di si è considerato un fattore di struttura = 3.

FASE 1. INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DEL SITO

Ricerca per coordinate: LONGITUDINE 9.75762, LATITUDINE 45.13768

Ricerca per comune: REGIONE Lombardia, PROVINCIA Lodi, COMUNE Corno Giovine

Elaborazioni grafiche: Grafico spettri di risposta, Variabilità dei parametri

Elaborazioni numeriche: Tabella parametri

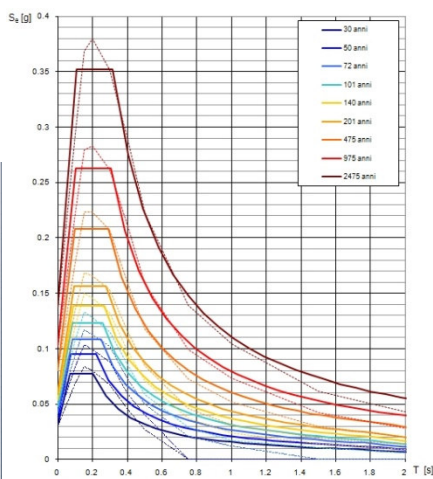
Nodi del reticolo intorno al sito

La "Ricerca per comune" utilizza le coordinate (STAT) del comune per identificare il sito. Si segnalano che, all'interno del territorio comunale, le azioni sismiche possono essere significativamente diverse da quelle così individuate e si consiglia, quindi, la "Ricerca per coordinate".

Controllo sul reticolo: Stato attuale a reticolo, Interpolazione su 1 nodi, Interpolazione costante

Interpolazione: media ponderata

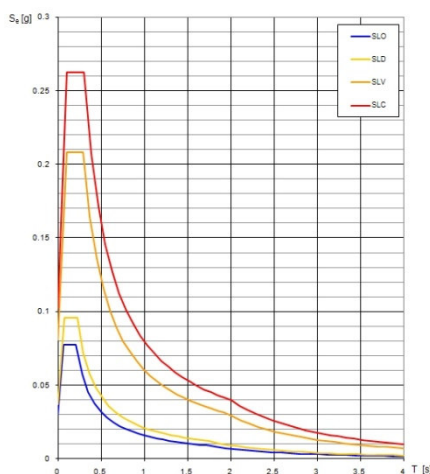
INTRO **FASE 1** FASE 2 FASE 3



Valori dei parametri a_g , F_o , T_C^* per i periodi di ritorno T_R di riferimento

T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_C^* [s]
30	0.031	2.538	0.203
50	0.037	2.577	0.220
72	0.042	2.565	0.247
101	0.048	2.558	0.257
140	0.054	2.580	0.266
201	0.060	2.595	0.279
475	0.081	2.580	0.290
975	0.103	2.560	0.303
2475	0.138	2.553	0.315

Spettri di risposta elastici per i diversi Stati Limite



Valori dei parametri a_g , F_o , T_C^* per i periodi di ritorno T_R associati a ciascuno SL

STATO LIMITE	T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_C^* [s]
SLO	30	0.031	2.538	0.204
SLD	50	0.037	2.576	0.221
SLV	475	0.081	2.580	0.290
SLC	975	0.102	2.560	0.303

⁴⁸ Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).

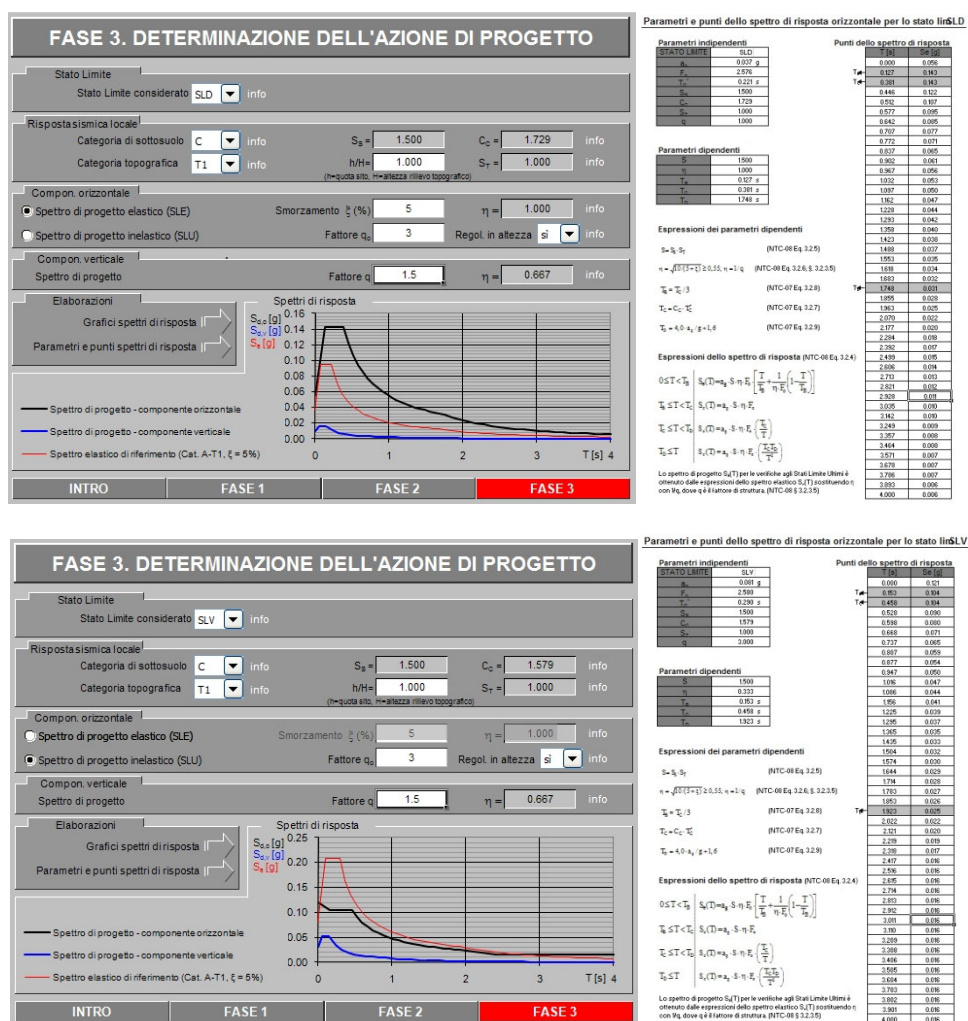


Figura 68: spettri di risposta elastici e di progetto SLD e SLV di un edificio ordinario e sottosuolo di categoria C .
Elaborato da Spettri-NTC vers. 1.0.3.

11 Stima del rischio di liquefazione

La stima del RISCHIO DI LIQUEFAZIONE è stata elaborata mediante il metodo di **Robertson e Wride**⁴⁹ impiegando il software **Cliq** ver.1.3.1.104 della GeoLogismiki Geotechnical Engineers realizzato in collaborazione con l'autore del metodo.

⁴⁹ Robertson, P.K., Wride (Fear), C.E. (1997). "Cyclic liquefaction and its evaluation based on SPT and CPT". Final contribution to the Proc. NCEER Workshop on Liquefaction, salt Lake City, USA.

Robertson, P.K. and Wride, C.E., (1998). *Cyclic Liquefaction and its Evaluation based on the CPT* Canadian Geotechnical Journal, 1998, Vol. 35, August.

Youd, T.L., Idriss, I.M., Andrus, R.D., Arango, I., Castro, G., Christian, J.T., Dobry, R., Finn, W.D.L., Harder, L.F., Hynes, M.E., Ishihara, K., Koester, J., Liao, S., Marcuson III, W.F., Martin, G.R., Mitchell, J.K., Moriwaki, Y., Power, M.S., Robertson, P.K., Seed, R., and Stokoe, K.H., *Liquefaction Resistance of Soils: Summary Report from the 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF Workshop on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils*, ASCE, Journal of Geotechnical & Geoenvironmental Engineering, Vol. 127, October, pp 817-833.

Zhang, G., Robertson, P.K., Brachman, R., 2002, *Estimating Liquefaction Induced Ground Settlements from the CPT*, Canadian Geotechnical Journal, 39: pp 1168-1180

Zhang, G., Robertson, P.K., Brachman, R., 1994, *Estimating Liquefaction Induced Lateral Displacements using the SPT and CPT*, ASCE, Journal of Geotechnical & Geoenvironmental Engineering, Vol. 130, No. 8, 861-871.

Robertson, P.K., 2009, *Performance based earthquake design using the CPT*. Keynote lecture, IS-Tokyo.

Per la verifica sono stati impiegati i profili di minore resistenza penetrometrica presenti sia a monte che a valle della scarpata principale, ossia sia nei depositi sabbiosi pleistocenici sia in quelli più limosi della piana olocenica. Le analisi hanno riguardato le verticali seguenti verticali:

	CPT	x	y	Quota p.c.	località	
	1	1/9-02	1559352	4998416	53.2	350 m SSW Cascina Castelletto
	4	4/9-02	1561647	4997683	43.3	Mezzano Passone di Sotto
	8	8/9-02	1559477	4997809	44.2	Viale Kennedy
	11	3/4-'07	1559616	4998444	52.3	Cascina Buon Pensiero
	12	2/4-'09	1560002	4998046	50.6	via Vittorio Veneto
	17	3/4-'09	1559650	4995930	44.2	cappella "morti della Porchera"
	18	4/4-'09	1560602	4995237	45.9	confine presso Regona

Dove con fondo grigio sono indicate le prove effettuate a monte della scarpata principale.

Per il calcolo si è ipotizzata una magnitudo di **M = 5,5** in base alle considerazioni riferite nel § 9, e per l'accelerazione massima al suolo **a_{max}=0,122 g**, considerando **a_g = 0,082 g** come indicato in Figura 67, e come fattore di amplificazione stratigrafica **Ss = 1,5** ipotizzando un sottosuolo di categoria **C** (tabella 3.2.V NTC 2008).

L'esito dell'elaborazione dimostra **l'assenza di rischio di liquefazione per tutte le verticali indagate**, e in considerazione del criterio cautelativo impiegato tale giudizio può essere ragionevolmente esteso a tutta la superficie comunale.

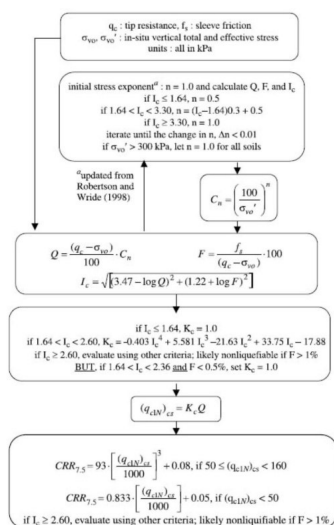
Di seguito si riferiscono le principali elaborazioni ottenute, dove **l'assenza di rischio del fenomeno** è evidenziata graficamente dalla posizione dei punti derivati dalle misure CPT nel diagramma CSR* / QtiN,cs ed in particolare dalla distanza dalla linea di

separazione con l'area di liquefazione.

Si riferisce a fianco una schematica descrizione della procedura di calcolo, ampiamente descritti nella bibliografia citata.

Procedure for the evaluation of soil liquefaction resistance

Calculation of soil resistance against liquefaction is performed according to the Robertson & Wride (1998) procedure. This procedure used in the software, slightly differs from the one originally published in NCEER-97-0022 (Proceedings of the NCEER Workshop on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils). The revised procedure is presented below in the form of a flowchart¹:



¹ "Estimating liquefaction-induced ground settlements from CPT for level ground", G. Zhang, P.K. Robertson, and R.W.L. Bradman

Liquefaction Potential Index (LPI) calculation procedure

Calculation of the Liquefaction Potential Index (LPI) is used to interpret the liquefaction assessment calculations in terms of severity over depth. The calculation procedure is based on the methodology developed by Iwasaki (1982) and is adopted by AFPS.

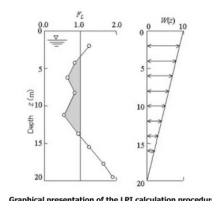
To estimate the severity of liquefaction extent at a given site, LPI is calculated based on the following equation:

$$LPI = \int_0^{20} (10 - 0.5z) \times P_z \times dz$$

where:
F = 1 - F.S. when F.S. less than 1
F = 0 when F.S. greater than 1
z depth of measurement in meters

Values of LPI range between zero (0) when no test point is characterized as liquefiable and 100 when all points are characterized as susceptible to liquefaction. Iwasaki proposed four (4) discrete categories based on the numeric value of LPI:

- LPI = 0 : Liquefaction risk is very low
- 0 < LPI <= 5 : Liquefaction risk is low
- 5 < LPI <= 15 : Liquefaction risk is high
- LPI > 15 : Liquefaction risk is very high



Graphical presentation of the LPI calculation procedure

LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

Project title :
CPT file : CPT-1/09-'02

Location :

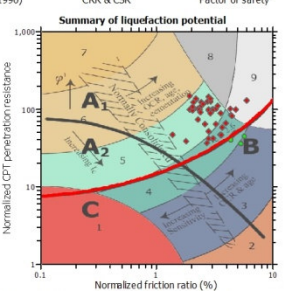
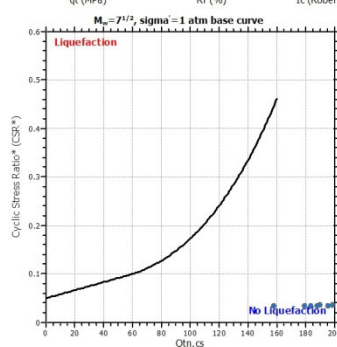
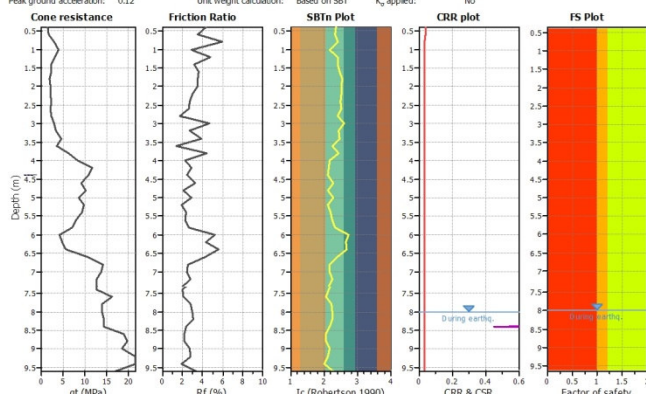
Input parameters and analysis data

Analysis method: NCEER 1998
Fines correction method: Robertson & Wride
Points to test: Based on Ic value
Earthquake magnitude M_w : 5.50
Peak ground acceleration: 0.12

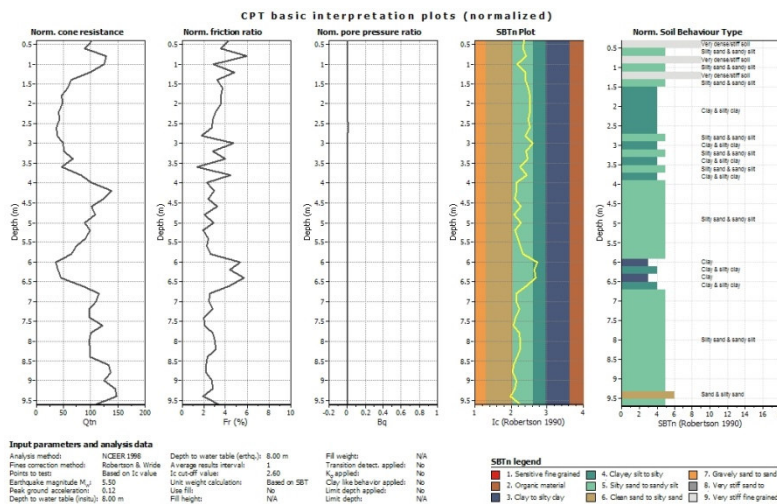
G.W.T. (m-stu): 8.00 m
G.W.T. (earthq.): 8.00 m
Average results interval: 1
Ic cut-off value: 2.60
Unit weight calculation: Based on SBT

Use fill: No
Fill height: N/A
Fill weight: N/A
Trans. detect. applied: No
 K_a applied: No

Clay like behavior applied: No
Limit depth applied: No
Limit depth: N/A



Zone A: Cyclic liquefaction likely depending on size and duration of cyclic loading
Zone B: Liquefaction and post-earthquake strength loss unlikely; check cyclic softening
Zone C: Cyclic liquefaction and strength loss possible depending on soil plasticity, brittleness/sensitivity, strain to peak undrained strength and ground geometry



Input parameters and analysis data
Analysis method: NCEER 1998
Fines correction method: Robertson & Wride
Points to test: Based on Ic value
Earthquake magnitude M_w : 5.50
Peak ground acceleration: 0.12
Depth to water table (m-stu): 8.00 m
Depth to water table (earthq.): 8.00 m
Average results interval: 1
Ic cut-off value: 2.60
Unit weight calculation: Based on SBT
Use fill: No
Fill height: N/A
Fill weight: N/A
Trans. detect. applied: No
 K_a applied: No
Clay like behavior applied: No
Limit depth applied: No
Limit depth: N/A

SBTn legend
1. Silty fine-grained
2. Organic material
3. Clay to silty clay
4. Clayey silt to silty
5. Silty sand to sandy silt
6. Clean sand to silty sand
7. Gravely sand to sand
8. Very stiff sand to sand
9. Very stiff fine-grained

LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

Project title :
CPT file : CPT-4/09-'02

Location :

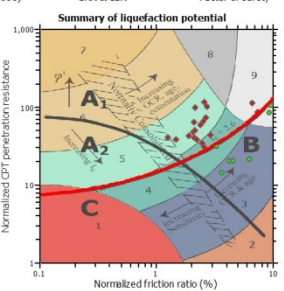
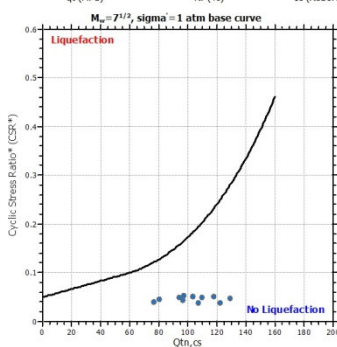
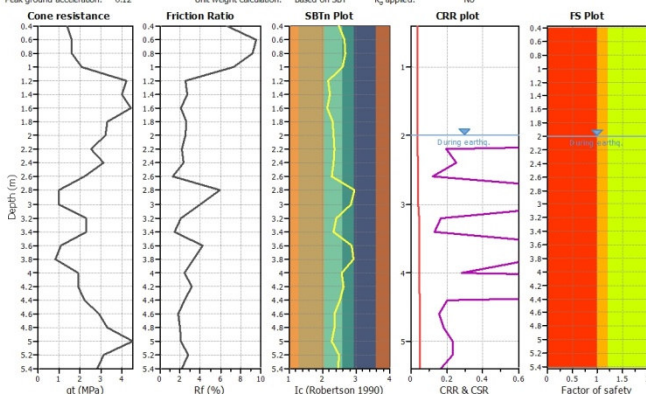
Input parameters and analysis data

Analysis method: NCEER 1998
Fines correction method: Robertson & Wride
Points to test: Based on Ic value
Earthquake magnitude M_w : 5.50
Peak ground acceleration: 0.12

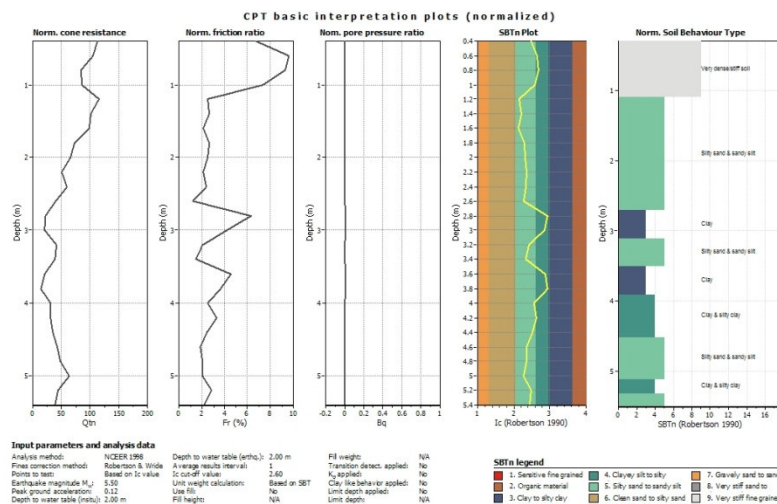
G.W.T. (m-stu): 2.00 m
G.W.T. (earthq.): 2.00 m
Average results interval: 1
Ic cut-off value: 2.60
Unit weight calculation: Based on SBT

Use fill: No
Fill height: N/A
Fill weight: N/A
Trans. detect. applied: No
 K_a applied: No

Clay like behavior applied: No
Limit depth applied: No
Limit depth: N/A



Zone A: Cyclic liquefaction likely depending on size and duration of cyclic loading
Zone B: Liquefaction and post-earthquake strength loss unlikely; check cyclic softening
Zone C: Cyclic liquefaction and strength loss possible depending on soil plasticity, brittleness/sensitivity, strain to peak undrained strength and ground geometry



Input parameters and analysis data
Analysis method: NCEER 1998
Fines correction method: Robertson & Wride
Points to test: Based on Ic value
Earthquake magnitude M_w : 5.50
Peak ground acceleration: 0.12
Depth to water table (m-stu): 2.00 m
Depth to water table (earthq.): 2.00 m
Average results interval: 1
Ic cut-off value: 2.60
Unit weight calculation: Based on SBT
Use fill: No
Fill height: N/A
Fill weight: N/A
Trans. detect. applied: No
 K_a applied: No
Clay like behavior applied: No
Limit depth applied: No
Limit depth: N/A

SBTn legend
1. Silty fine-grained
2. Organic material
3. Clay to silty clay
4. Clayey silt to silty
5. Silty sand to sandy silt
6. Clean sand to silty sand
7. Gravely sand to sand
8. Very stiff sand to sand
9. Very stiff fine-grained

LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

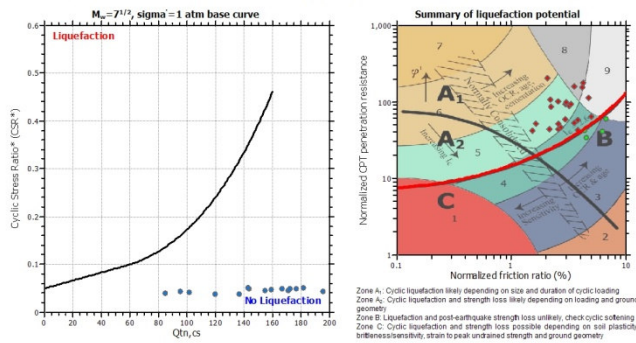
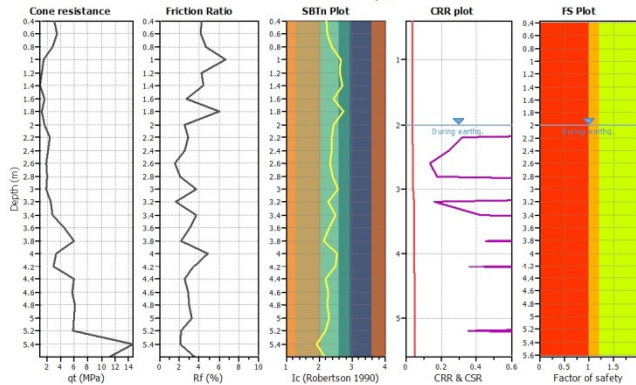
Project title :

CPT file : CPT-8/09/02

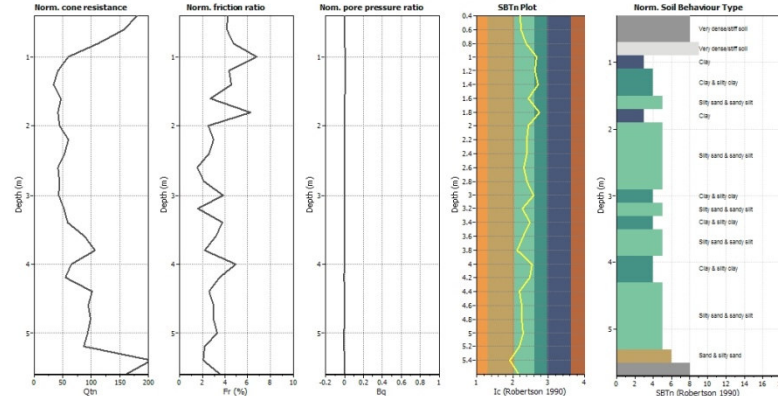
Location :

Input parameters and analysis data

Analysis method: NCEER 1998 G.W.T. (n.situ): 1.00 m Use fill: No Clay like behavior applied: No
 Fines correction method: Robertson & Wride G.W.T. (earthq.): 2.00 m F11 height: N/A Limit depth applied: No
 Points to test: Based on Ic value Average results interval: 1 F11 weight: N/A Limit depth applied: No
 Earthquake magnitude M_w : 5.50 Ic cut-off value: 2.60 Trans. detect. applied: No Limit depth: N/A
 Peak ground acceleration: 0.12 Unit weight calculation: Based on SBT K_s applied: No



CPT basic interpretation plots (normalized)



Input parameters and analysis data
 Analysis method: NCEER 1998 G.W.T. (n.situ): 2.00 m F11 weight: N/A
 Fines correction method: Robertson & Wride G.W.T. (earthq.): 2.00 m F11 height: N/A Limit depth applied: No
 Points to test: Based on Ic value Average results interval: 1 F11 weight: N/A Limit depth applied: No
 Earthquake magnitude M_w : 5.50 Ic cut-off value: 2.60 Trans. detect. applied: No Limit depth: N/A
 Peak ground acceleration: 0.12 Unit weight calculation: Based on SBT K_s applied: No
 Depth to water table (n.situ): 1.00 m F11 height: N/A Limit depth: N/A

LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

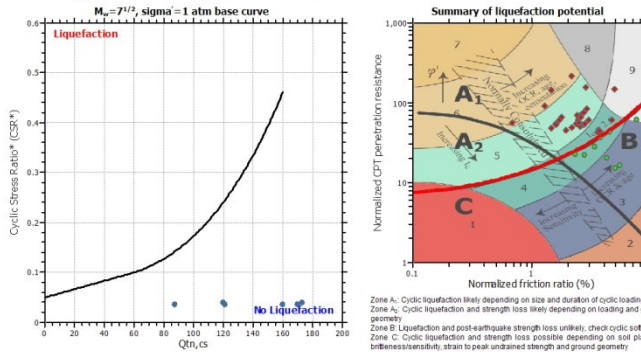
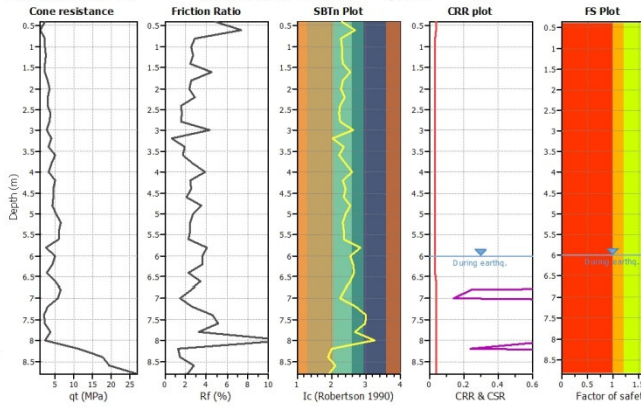
Project title :

CPT file : CPT-3/04/07

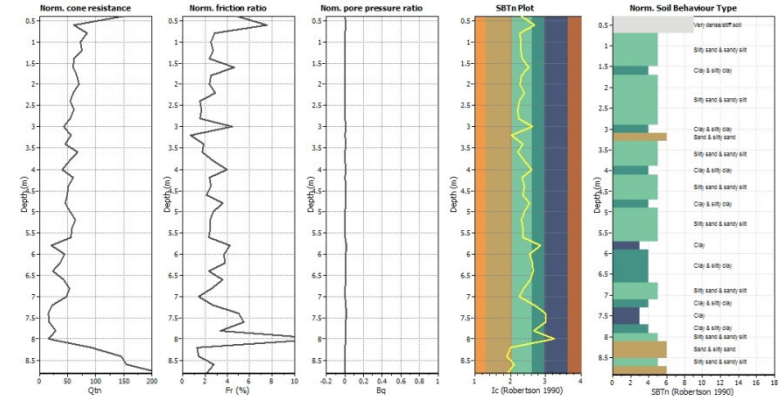
Location :

Input parameters and analysis data

Analysis method: NCEER 1998 G.W.T. (n.situ): 6.00 m Use fill: No Clay like behavior applied: No
 Fines correction method: Robertson & Wride G.W.T. (earthq.): 6.00 m F11 height: N/A Limit depth applied: No
 Points to test: Based on Ic value Average results interval: 1 F11 weight: N/A Limit depth applied: No
 Earthquake magnitude M_w : 5.50 Ic cut-off value: 2.60 Trans. detect. applied: No Limit depth: N/A
 Peak ground acceleration: 0.12 Unit weight calculation: Based on SBT K_s applied: No



CPT basic interpretation plots (normalized)



Input parameters and analysis data
 Analysis method: NCEER 1998 G.W.T. (n.situ): 6.00 m F11 weight: N/A
 Fines correction method: Robertson & Wride G.W.T. (earthq.): 6.00 m F11 height: N/A Limit depth applied: No
 Points to test: Based on Ic value Average results interval: 1 F11 weight: N/A Limit depth applied: No
 Earthquake magnitude M_w : 5.50 Ic cut-off value: 2.60 Trans. detect. applied: No Limit depth: N/A
 Peak ground acceleration: 0.12 Unit weight calculation: Based on SBT K_s applied: No
 Depth to water table (n.situ): 6.00 m F11 height: N/A Limit depth: N/A

LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

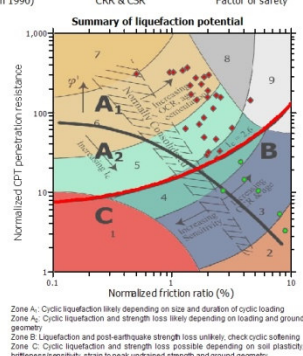
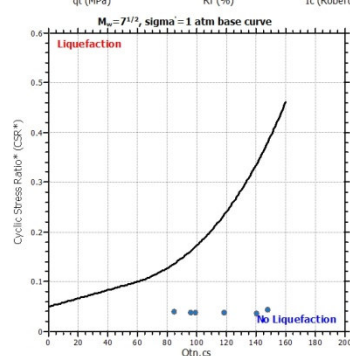
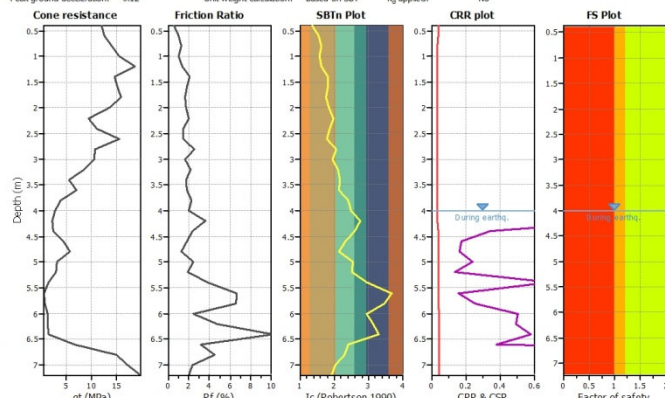
Project title :

CPT file : CPT-2/04 '09

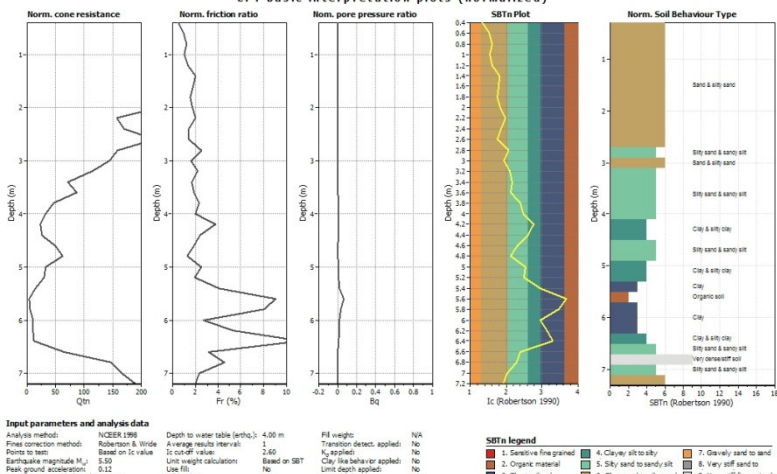
Location :

Input parameters and analysis data

Analysis method: NICEER 1998 G.W.T. (n-situ): 4.00 m Use fill: No Clay like behavior applied: No
 Fines correction method: Robertson & Wride G.W.T. (earthq.): 4.00 m Fill height: N/A Limit depth applied: No
 Points to test: Based on Ic value Average results interval: 1 Unit weight calculation: Based on SBT K_s applied: No
 Earthquake magnitude M_w: 5.50 Ic cut-off value: 2.60 Trans. detect. applied: No Limit depth: N/A
 Peak ground acceleration: 0.12 Unit weight calculation: Based on SBT K_s applied: No



CPT basic interpretation plots (normalized)



LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

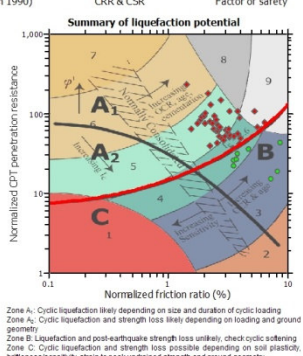
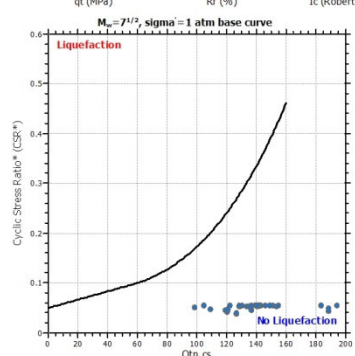
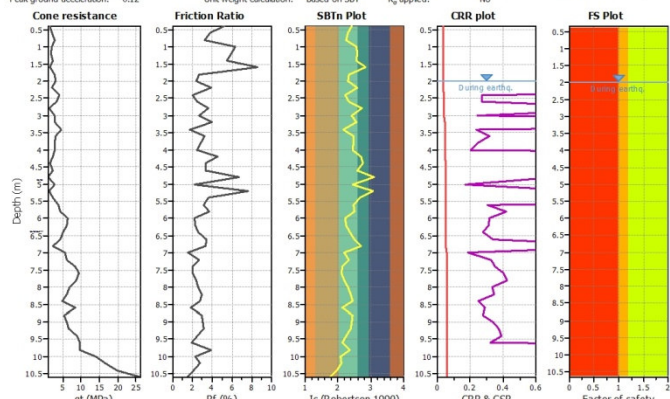
Project title :

CPT file : CPT-3/04 '09

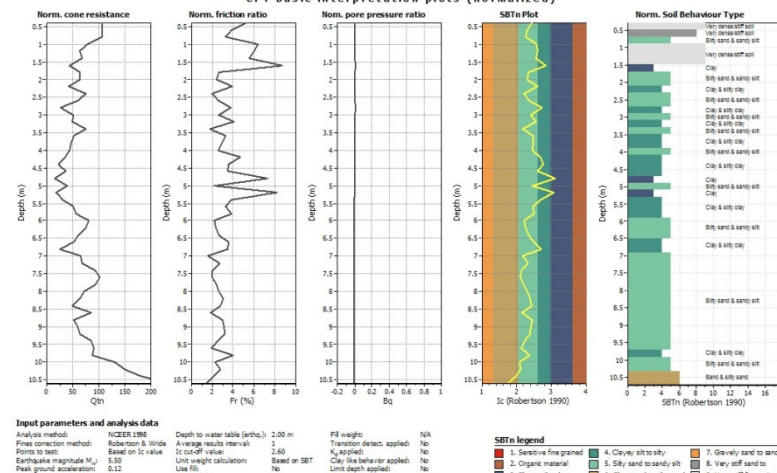
Location :

Input parameters and analysis data

Analysis method: NICEER 1998 G.W.T. (n-situ): 2.00 m Use fill: No Clay like behavior applied: No
 Fines correction method: Robertson & Wride G.W.T. (earthq.): 2.00 m Fill height: N/A Limit depth applied: No
 Points to test: Based on Ic value Average results interval: 1 Unit weight calculation: Based on SBT K_s applied: No
 Earthquake magnitude M_w: 5.50 Ic cut-off value: 2.60 Trans. detect. applied: No Limit depth: N/A
 Peak ground acceleration: 0.12 Unit weight calculation: Based on SBT K_s applied: No



CPT basic interpretation plots (normalized)



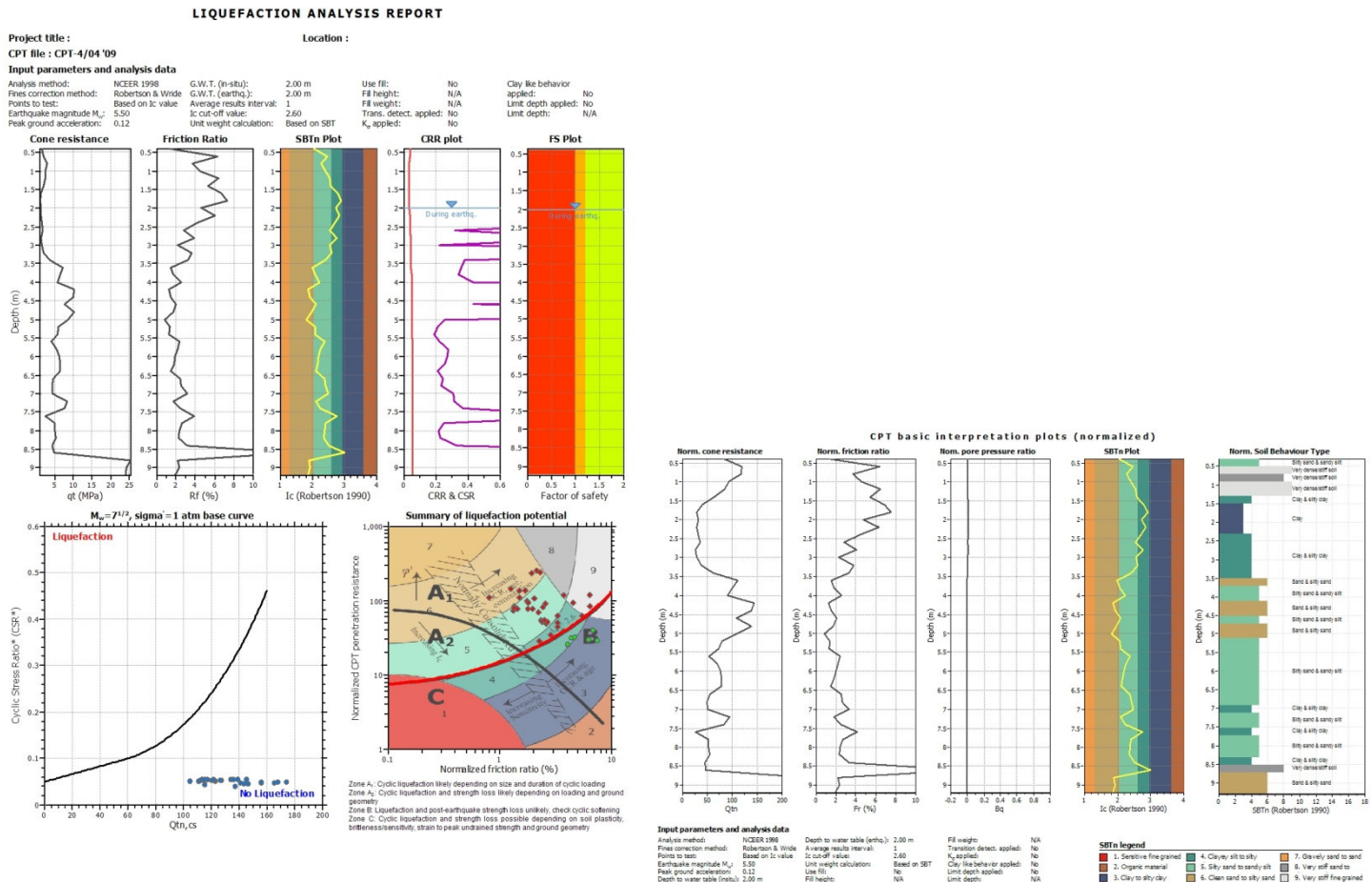


Figura 69: elaborazioni e verifica del rischio di liquefazione delle prove CPT n. 1, 4, 8, 11, 12, 17, 18 di Tabella 5.

12 Classi di fattibilità

Classe 1 : Fattibilità senza particolari limitazioni. La classe comprende l'abitato e la porzione di territorio posto a nord e nord est del medesimo per una estensione totale di circa 4,3 Km², dove non sono presenti particolari limitazioni alle variazioni di destinazione d'uso. In tutto questo territorio, posto sul terrazzo pleistocenico a quote comprese tra 50 e 56 m s.l.m., non si sono evidenziati aspetti tali da rendere problematica l'edificazione, e pertanto si prescrive per gli interventi edilizi e di costruzione di infrastrutture solo l'applicazione di quanto stabilito dal Decreto del Ministero delle Infrastrutture del 14 gennaio 2008 "*Nuove norme tecniche per le costruzioni*" (G. U. 4 febbraio 2008 n. 29 - S. O. n. 30) e dalla Circolare Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti (C.S.LL.PP.) del 2 febbraio 2009 n. 617 "*Istruzioni per l'applicazione delle «Nuove norme tecniche per le costruzioni»*" (G.U. n.47 del 26-2-2009 - S.O. n. 27). Con riferimento a quanto ancora applicabile del precedente D.M. 11 marzo 1988, ai sensi del punto 2.7 del D.M. 2008 nelle zone sismiche 4, si esclude espressamente l'ipotesi semplificativa prevista al punto C3 del citato D.M. 1988 per le "zone già note".

Il giudizio di fattibilità espresso con la carta riflette l'esito della caratterizzazione geotecnica effettuata mediante le prove penetrometriche CPT 1, 2, 7, 9 del 2002, n. 1, 2, 3, 4 del 2007, n. 1 del 2008 e n. 1 e 2 del 2009 (v. Tabella 5). In questa superficie il profilo stratigrafico, oltre il primo metro, è formato quasi esclusivamente da sabbie di media ed elevata densità ($31 < \varphi' < 36^\circ$), talora limose o fini nei primi 2 – 3 metri; oltre tale profondità sono frequentemente presenti bancate di elevata resistenza, con alcune modeste eccezioni rappresentate da depositi coesivi di media consistenza ($c_u = 90-110$ kPa), o da alternanze di limo sabbioso e argilloso sciolti e di bassa consistenza fino a -1,5 / -2,5 m.

La soggiacenza della falda freatica è compresa tra 8 e 14 metri, con variazioni nel territorio indicativamente rappresentate dalla Figura 52 della relazione geologica.

In presenza di opere che comportino scavi o la posa di manufatti a profondità superiori a 3 m dal piano campagna, il rilascio della concessione edilizia dovrà inoltre essere subordinata ad una valutazione di compatibilità che verifichi il rischio di contaminazione della falda freatica.

La profondità e le modalità di indagine dovranno essere stabilite e giustificata caso per caso in base alla forma, alle dimensioni, alle caratteristiche strutturali del manufatto ed al valore dei carichi da trasmettere in fondazione.

Classe 2: fattibilità con modeste controindicazioni. La classe comprende le zone nelle quali sono state riscontrate modeste limitazioni alla modifica delle destinazioni d'uso dei terreni, ed è suddivisa in due sottoclassi in relazione alla sussistenza o meno di aspetti fisici che influenzano l'uso del suolo.

In **classe 2a** è distinta quella porzione di territorio, di circa 0,16 km², che ricade all'interno della fascia C di rispetto del PAI (Piano per l'Assetto Idrogeologico, adottato con deliberazione del Comitato Istituzionale n. 18 in data 26 aprile 2001), normata dall'art. 31 delle N.T.A., che trovandosi però in posizione elevata rispetto alla piana olocenica, soggetta a

possibile esondazione del Po, risulta sottoposta all'articolo sopracitato pur non essendo interessata dal medesimo rischio. In altri termini si tratta di una superficie inserita nella fascia C a causa di approssimazioni grafiche del documento dell'Autorità di Bacino. Nelle aree ricadenti in tale classe devono essere applicate le prescrizioni previste per la classe 1.

In **classe 2b** sono collocati tutti quei terreni, estesi circa 3,4 km², ricadenti nella fascia C del PAI per i quali effettivamente sussiste il rischio di esondazione, e che non ricadono nella classe 3, definita in relazione a più gravose problematiche. I terreni in classe 2b sono stati caratterizzati sotto il profilo geotecnico con le prove CPT 3, 4, 5, 6, 8 del 2002, dalle quali emerge una rilevante variabilità dei depositi superficiali (da argillo-limosi a sabbiosi) e la presenza in tutte le circostanze esaminate di depositi con discrete caratteristiche geotecniche, tali comunque da consentire la realizzazione di edifici con carichi ammissibili su fondazioni superficiali di circa 100 kPa. L'aspetto limitativo degli interventi nell'area è dato dalla presenza della falda freatica a limitata profondità, riscontrata a quote comprese tra -3,1 e -1,7 m dal p.c. in acquifero sabbioso costantemente riscontrato a profondità superiori a -2 m.

In base a tale caratteristica si ritenente necessario prevedere che il rilascio del permesso di costruire, o analogo titolo abilitativo, sia subordinato, oltre che a quanto già indicato per le aree ricadenti in Classe 1, anche alla verifica puntuale del livello freatico, esplicitando in sede progettuale tutti quegli interventi utili a garantire il minore rischio di contaminazione della falda sia in fase di esecuzione che di esercizio delle opere.

Per tenere conto della presenza di un rischio residuo di allagamento a causa di sormonto o cedimento dell'argine maestro, anche a notevole distanza dal territorio di Corno Giovine, si ritiene indispensabile che nella progettazione per nuove edificazioni o ristrutturazioni si valutino gli accorgimenti e i materiali più adatti a limitare gli effetti di questa pur remota evenienza. Il rilascio del permesso di costruire, o analogo titolo abilitativo, è subordinato in questa area alla sottoscrizione, da parte del progettista e del committente delle opere, della dichiarazione di aver esaminato e valutato il documento tecnico "*edifici in aree a rischio di alluvione - come ridurre la vulnerabilità*" - febbraio 2009, predisposto dall'Autorità di bacino del fiume Po e reperibile al seguente sito:

<http://www.adbpo.it/on-multi/ADBPO/Home/Lavoro/ConvegniIncontri/documento12661.html>.

Classe 3: *fattibilità con consistenti limitazioni*. La classe comprende le zone nelle quali sono state riscontrate consistenti limitazioni alla modifica delle destinazioni d'uso dei terreni per condizioni di pericolosità/vulnerabilità individuate.

Classe 3a: è indicativamente delineata in corrispondenza delle aree di ciglio delle scarpate, intese come superfici con acclività superiori a 20° e di altezza (h) superiore ad 2,5 m, per una fascia estesa da 2*h sopra il ciglio fino a 2*h a valle del piede. L'individuazione di tale classe è connessa alla potenziale pericolosità delle scarpate in sabbia che in occasione di precipitazioni intense, di scorrimenti superficiali di acque non canalizzate o di eventi sismici, possono dare luogo a fenomeni franosi intensi a rapida evoluzione. La definizione grafica della fascia inserita nella classe 3a è indicativa, e una precisa delimitazione delle aree interessate è possibile solo a seguito di adeguato rilievo

planialtimetrico in scala non inferiore a 1:200. Per tali fasce, che non superano in genere i 30 m di ampiezza, oltre al rispetto di quanto definito per la classe 1, è prescritta l'esecuzione di una verifica di stabilità della scarpata per l'esecuzione di qualunque intervento di edificazione o di realizzazione di infrastrutture con movimenti di terra complessivamente superiori ad 1 m³. In ogni circostanza dovrà essere garantito l'allontanamento delle acque superficiali in modo da evitare infiltrazioni nel terreno o scorrimenti liberi verso il ciglio della scarpata.

Classe 3b: è indicativamente delineata in corrispondenza delle aree interessate da ristagni di acque superficiali in corrispondenza delle porzioni topograficamente più depresse della piana olocenica, in parte caratterizzate dalla presenza di suoli prevalentemente argillosi. Gli interventi in tali aree dovranno prevedere un'indagine geognostica atta a valutare l'eventuale presenza di depositi di scarsa consistenza (non individuati nel corso della presente indagine) e nella progettazione si dovrà valutare la necessità di eseguire un reticolo di drenaggio superficiale. Nelle aree ricadenti in tale classe devono essere inoltre applicate le prescrizioni previste per la classe 2b.

Classe 3c: in tale classe è collocata una fascia esterna al piede dell'argine maestro, potenzialmente interessata da fenomeni di sifonamento dell'argine. La larghezza della fascia è definita sulla base della relazione di Lane (v. Terzaghi - *Geotecnica*, ed UTET 1979 § 63) con rapporto di scorrimento $C_w = 6$ sulla base delle risultanze della CPT 6/9 -'02, 3/4 - '09 e 4/4 - '09, tenendo conto di un percorso verticale del flusso di 3 m. La larghezza riportata nella tavola è di 90 m a partire dal piede interno dell'argine. Per le aree ricadenti in tale fascia è prescritta, per qualunque intervento edilizio o opera infrastrutturale che comporti scavi a profondità superiore a metri 1,0, l'esecuzione di una verifica al sifonamento dell'argine. Nelle aree ricadenti in tale classe devono essere inoltre applicate le prescrizioni previste per la classe 3b.

Classe 3d - fasce di rispetto dei corsi d'acqua. In attesa di approvazione della proposta di reticolo idrografico minore e delle relative norme di polizia idraulica da parte dello STeR di Lodi, nella carta della fattibilità è stata individuata una preliminare fascia di rispetto dei corsi d'acqua pubblici in applicazione alle norme del R.D 523/1904 (T.U. sulle acque), collocandola nella classe 3 di fattibilità. Tale norma, tra l'altro, all'art. 96 vieta l'edificazione fino alla distanza di 10 m dai corsi d'acqua, mentre ai sensi dell'art. 115 del D.Lgs 152/06 è vietata la tombinatura che non sia imposta da ragioni di tutela della pubblica incolumità. La fascia di rispetto è una porzione di territorio compresa entro 10 m per parte dal ciglio dell'alveo inciso o dal piede esterno degli argini.

Classe 4: l'area corrisponde alla fascia A, coincidente nel caso del territorio di Corno Giovine con la fascia B delle NTA del PAI, e agli argini ed alvei attivi dei corsi d'acqua pubblici. Per l'area all'interno dell'argine maestro sono vigenti in particolare le norme degli articoli 29 , 30 , 32 , 38 , 39 , 41 delle N.T.A., mentre nei corsi d'acqua pubblici sono vigenti le prescrizioni del R.D 523/1904.

13 Indici dei grafici e delle figure

INDICE DEI GRAFICI

<i>Grafico 1 :diagramma climatico di Peguy</i>	<i>10</i>
<i>Grafico 2: temperature in varie stazioni</i>	<i>11</i>
<i>Grafico 3: precipitazioni medie annue a Codogno 1961-1997.....</i>	<i>13</i>
<i>Grafico 4: precipitazioni medie decadiche a Codogno 1987 - 1997.....</i>	<i>14</i>
<i>Grafico 5: precipitazioni totali annue e medie mensili dal 1997 al 2007 ottenute mediando due stazioni.....</i>	<i>15</i>
<i>Grafico 6 : intensità giornaliera delle precipitazioni a Codogno</i>	<i>16</i>
<i>Grafico 7: precipitazioni critiche a Lodi.....</i>	<i>17</i>
<i>Grafico 8 : precipitazioni critiche a Corno Giovine secondo il PAI.....</i>	<i>17</i>
<i>Grafico 9: evapotraspirazione reale a Corno Vecchio.....</i>	<i>19</i>
<i>Grafico 10: Portate mensili del fiume Po a Piacenza dal 1924 al 1980 e elaborazioni ENEL, e a destra dati più recenti derivati dagli Annali Idrologici pubblicati da Servizio Idrometeorologico dell'ARPA dell'Emilia Romagna.</i>	<i>66</i>
<i>Grafico 11 : livelli piezometrici rilevati nel pozzo Amiacque di Cornovecchio dal 1985 al 2009 (mensilmente fino al 2002 (80% dei mesi), poi trimestralmente).....</i>	<i>95</i>
<i>Grafico 12: soggiacenza minima, media e massima annua nel pozzo Amiacque di Cornovecchio dal 1985 al 2009.....</i>	<i>96</i>

INDICE DELLE FIGURE

<i>Figura 1: individuazione del territorio comunale entro il perimetro provinciale.....</i>	<i>4</i>
<i>Figura 2 : territorio comunale rappresentato sul foglio geologico 60 – Piacenza scala 1:100.000.....</i>	<i>6</i>
<i>Figura 3: sezione geologica : da A.G.I.P. ,1986 Pianura padana - interpretazione integrata di dati geofisici e geologici, 73° congresso Società Geologica Italiana, Roma</i>	<i>21</i>
<i>Figura 4 : da schema strutturale della Pianura Padana, da A.G.I.P. , 1957.....</i>	<i>22</i>
<i>Figura 5: conformazione morfologica delle superfici di pianura con isoipse.</i>	<i>24</i>
<i>Figura 6 : schema di formazione dei depositi olocenici : da “Studi preliminari per il parco Adda Sud”</i>	<i>25</i>
<i>Figura 7 : Carta morfologica in scala 1: 50.000 , Regione Lombardia, foglio C7.....</i>	<i>27</i>
<i>Figura 8: ricostruzione degli alvei del Po secondo la documentazione storico-cartografica.....</i>	<i>28</i>
<i>Figura 9 : Carta Topografica della Provincia di Lodi e Crema - 1848.....</i>	<i>29</i>
<i>Figura 10 : IGM 1889.....</i>	<i>30</i>
<i>Figura 11: a sinistra classi di capacità d'uso dei suoli, a destra capacità protettiva dei suoli nei confronti delle acque sotterranee.....</i>	<i>35</i>
<i>Figura 12: suddivisione del territorio comunale in aree irrigue</i>	<i>38</i>
<i>Figura 13 impianto di sollevamento e manufatto di irrigazione alimentato dalla rete in pressione. A destra colatore Gandiolo a valle della Cascina Mizzi.....</i>	<i>38</i>
<i>Figura 14: scarico della roggia Molina nella Roggia Guardalobbia</i>	<i>39</i>
<i>Figura 15 Scarico della Roggia Guardalobbia nel colo Gandiolo e a destra del colo stesso nel canale Gandiolo</i>	<i>39</i>
<i>Figura 18 Canale Gandiolo a valle del ponte del Fornasotto</i>	<i>40</i>
<i>Figura 16 Scarico del colo Trecco nel canale Gandiolo.....</i>	<i>40</i>
<i>Figura 17 Canale Allacciante nel tratto SW, a monte del ponte del Mezzano.....</i>	<i>40</i>
<i>Figura 19 Colatore o Canale Serio.....</i>	<i>41</i>
<i>Figura 20: sezione 21 (2,6 km a monte dell'ansa di Mezzano Passone) e profilo medio del fondo in varie date.....</i>	<i>44</i>
<i>Figura 21 : sintesi dell'assetto attuale</i>	<i>46</i>
<i>Figura 22: sintesi delle caratteristiche mineralogiche e tessiturali dei depositi del tratto 3E da Piacenza a Isola Serafini.....</i>	<i>47</i>
<i>Figura 23: paleoalvei e profondità in metri dalla quota della sponda del Po.....</i>	<i>47</i>
<i>Figura 24: stralcio della cartografia - stato attuale del “Programma di gestione dei sedimenti dell'alveo del Po”</i>	<i>48</i>
<i>Figura 25 : stralcio della cartografia – obiettivi - del “Programma di gestione dei sedimenti dell'alveo del Po.....</i>	<i>50</i>
<i>Figura 26 : stralcio della cartografia – interventi - del “Programma di gestione dei sedimenti dell'alveo del Po.....</i>	<i>52</i>
<i>Figura 27 Rotte arginali, su diverse finestre temporali, suddivise per meccanismo che le ha prodotte.....</i>	<i>53</i>
<i>Figura 28: variazioni livelli idrometrici durante le maggiori piene a Piacenza.....</i>	<i>54</i>
<i>Figura 29 : idrogrammi sintetici a Piacenza derivato da una pubblicazione IDRA e a Cremona dal documento AdBPo.</i>	<i>55</i>
<i>Figura 30: sintesi dei livelli di piena derivanti da modelli ed osservati e relative criticità sulla base di rilievi topografici eseguiti localmente, e del rilievo realizzato nel 1999 dall'AIPO sull'intera asta fluviale (celle con fondo giallo).</i>	<i>57</i>

Figura 31: sintesi dei livelli di piena derivanti da modelli ed osservati e relative criticità sulla base del rilievo realizzato nel 2004-2005 dall'AIPO sull'intera asta fluviale.	58
Figura 32 stralcio della planimetria con indicazione delle sezioni e delle maggiori problematiche individuate.	59
Figura 33: area dello studio di caratterizzazione della vulnerabilità delle arginature di Po, con fotointerpretazione e ubicazione degli elementi principali	62
Figura 34 Argine maestro del Po in località Morti della Porchera e protezione di sponda dell'alveo inciso del Po.....	65
Figura 35: elaborazione da dati pubblicati sugli Annali Idrologici ARPA dell'Emilia Romagna. In ascissa i giorni, in ordinata le portate in m ³ /s.	67
Figura 36: scala delle portate a Piacenza nel 2000 da Annali Idrologici ARPA dell'Emilia Romagna.....	68
Figura 37: portate massime al colmo delle piene	69
Figura 38: frequenza percentile delle portate considerate nel grafico di Figura 37.....	69
Figura 39: ipotesi di frequenza di livelli durante i colmi delle piene massime annuali a Corno Giovine. In tratteggio sono indicate le quote minime e massime della golena a Mezzano Passone.	70
Figura 40 : ubicazione e direzione di sviluppo dei SEV Corno 1, 2, 3 e ubicazione delle CPT 03/09 e 04/09.....	71
Figura 41: rappresentazione dei valori di resistività apparente dei 3 SEV.....	73
Figura 42 : esecuzione SEV 1 e SEV 3. In evidenza a sinistra la strumentazione e i picchetti di registrazione M-N.	75
Figura 43: sezione elettrostratigrafica dei tre SEV eseguiti lungo l'argine del Po	77
Figura 44 sezione idrogeologica IRSA.....	79
Figura 45 Schema dei rapporti stratigrafici dei depositi quaternari – versione 2005.....	83
Figura 46: Gruppo A - a sinistra profondità del limite basale dal livello mare;	84
Figura 47: Gruppo B - a sinistra profondità del limite basale dal livello mare.	85
Figura 48: Gruppo C - a sinistra profondità del limite basale dal livello mare.	85
Figura 49: Gruppo D - a sinistra profondità del limite basale dal livello mare saturato con acque dolci.	86
Figura 50: stralcio ridisegnato della sezione geologica NW-SE del territorio basso lodigiano	87
Figura 51 : isopiezometriche della prima falda tratte dal Piano Cave del Consorzio del Lodigiano del 1987.	92
Figura 52: soggiacenza media della falda in metri elaborata con Surfer 9©. Base IGM 25.000, 1997 (rilievi 1992)....	97
Figura 53 : esito dell'elaborazione con SINTACS in scala 1:40.000 circa.....	104
Figura 54: suddivisione grossolana del territorio esaminato con prove penetrometriche	110
Figura 55 : Correlation between bearing capacity of footing on <u>cohesionless</u> soils and average cone.....	111
Figura 56: grafico per la stima dei valori di Vs normalizzati partendo da valori q _c di CPT.	113
Figura 57: distribuzione dei cedimenti immediati (cm) con carichi di 160 kPa su fondazioni lineari superficiali di larghezza B= 0,6 m approfondite 0,8 m dal piano campagna.	115
Figura 58 : distribuzione dei carichi limite (q _{lim} in kPa) per le fondazioni superficiali sopra ipotizzate.	115
Figura 59: distribuzione delle velocità medie di taglio Vs in m/s ottenute dai profili di 12 verticali CPT indicate in Tabella 6 e grafici ottenute dalle singole verticali.....	116
Figura 60: storia sismica di Codogno da Stucchi et alii. (2007).	117
Figura 61 : eventi sismici e relativa intensità riferite nel catalogo DBMI04	118
Figura 62: rapporto Io/Ms da CPTI, 1999 - ING, GNDT, SGA, SSN, Bologna, 1999, 92 pp.....	118
Figura 63: elementi strutturali tratti da Pieri e Groppi, 1981.....	119
Figura 64: sorgente sismogenetica ITCS044 individuata da dati di sismicità storica e sintesi delle informazioni elaborate.....	120
Figura 65: stato della scarpata principale.:.....	122
Figura 66: scenari di pericolosità sismica locale (PSL) individuati dalla norma regionale (tabella 1 allegato 5 alla norma).....	124
Figura 67: mappa di pericolosità sismica.....	125
Figura 68: spettri di risposta elastici e di progetto SLD e SLV di un edificio ordinario e sottosuolo di categoria C . Elaborato da Spettri-NTC vers. 1.0.3.....	127
Figura 69: elaborazioni e verifica del rischio di liquefazione delle prove CPT n. 1, 4, 8, 11, 12, 17, 18 di Tabella 5..	132