



COMUNE DI PAVIA

STUDIO PER LA DEFINIZIONE DELLA COMPONENTE
GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA
DEL PIANO DI GOVERNO DEL TERRITORIO
(L.R. 11/03/2005, N.12; D.G.R. 28/05/2008, N.8/7374)



RELAZIONE E
NORME DI CARATTERE GEOLOGICO

committente:

Amministrazione Comunale di
PAVIA

a cura di:

 S.G.P.
SERVIZI DI GEO-INGEGNERIA E PROGETTAZIONE s.r.l.
Via Bona di Savoia 10 - 27100 Pavia
Tel. 0382-466111 / 463385 / 571865 (fax) - e-mail: sggp@iol.it
Dr. Geol. Fabrizio Finotelli
Ordine dei Geologi della Lombardia n. 861
Dott. Ing. Giuseppe Barbero
Ordine Ingegneri di Pavia n. 1340



S.G.P.

SERVIZI DI GEO-INGEGNERIA E PROGETTAZIONE s.r.l.

COMUNE DI PAVIA

PIANO DI GOVERNO DEL TERRITORIO (P.G.T.)

COMPONENTE GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA

(L.R. 11 marzo 2005, n. 12 e s.m.i.; D.G.R. 28 maggio 2008, n. VIII/7374)

RELAZIONE E NORME DI CARATTERE GEOLOGICO

INDICE

1	PREMESSA, FINALITA' DELL'INDAGINE, STRUTTURAZIONE E MODALITA' DI CONSULTAZIONE	4
1.1	Le fasi di predisposizione dello studio geologico a supporto del P.G.T. Comunale	6
2	ASPETTI GEOLOGICI, GEOMORFOLOGICI E IDROGEOLOGICI	10
2.1	Inquadramento geologico	10
2.2	Inquadramento geomorfologico	13
2.3	Inquadramento idrogeologico	19
3	ASPETTI IDRAULICI, CONDIZIONI DI INONDABILITA' E DI RISCHIO IDRAULICO	26
3.1	Introduzione	26
3.2	Le acque superficiali e il reticolo idrico	27
3.3	Aspetti idraulici del F. Ticino	31
3.4	Cenni storici sulle sistemazioni idrauliche nel territorio pavese	34
3.5	Caratteri generali delle piene del F. Ticino	40
3.6	Le piene storiche del F. Ticino a Pavia	42
3.7	Le magre del F. Ticino a Pavia	46
3.8	Le condizioni di inondabilità del territorio comunale e delimitazione delle Fasce Fluviali	47
3.8.1	Valutazione del rischio idraulico nelle aree edificate in Fasce A e B	49
3.8.2	Introduzione	49
3.8.3	Dati plano-altimetrici di riferimento	49



3.8.4	Piena di riferimento.....	50
3.8.5	Simulazione idraulica.....	54
3.8.5.1	Generalità	54
3.8.5.2	Condizioni al contorno	55
3.8.5.3	Scabrezza.....	57
3.8.5.4	Risultati delle simulazioni.....	57
3.8.5.5	Attribuzione delle classi di rischio	60
3.8.5.6	Contenuti della TAV. 5.....	63
3.9	Il vigente “Piano speditivo comunale per il rischio di allagamenti determinati dalla piena del Ticino”, lo sperimentale “Sistema di preannuncio dei livelli del Ticino” e i programmi a breve termine dell’A.C. di Pavia in tema di Protezione Civile.....	66
3.9.1	Il “Piano speditivo comunale per il rischio di allagamenti determinati dalla piena del Ticino”	66
3.9.2	I programmi a breve termine dell’A.C. di Pavia in tema di Protezione Civile.....	67
3.9.3	Lo sperimentale “Sistema di preannuncio dei livelli del Ticino a Pavia”	68
3.10	Grafici e tabelle con dati idrologici e idraulici	71
3.11	Bibliografia essenziale	72
4	ANALISI DELLA PERICOLOSITA’ SISMICA	73
4.1	Attività sismica ed elementi neotettonici e strutturali, con cenni sulla simicità del territorio comunale	73
4.2	Carta (TAV. 7) della pericolosità sismica locale (1° livello di approfondimento per tutto il territorio comunale e 2° livello di approfondimento per le zone di nuova potenziale previsione di edifici strategici e rilevanti)	78
4.3	Il 2° livello di approfondimento per le zone di nuova potenziale previsione di edifici strategici e rilevanti.....	85
4.3.1	Le indagini sismiche di dettaglio	87
4.3.2	Metodologia d’indagine geofisica: Microtremore Sismico Ambientale [REMI]	88
4.3.3	Analisi sismica di 2° livello e interpretazione dei profili geofisici	93
4.3.4	Sintesi dei risultati dell’analisi sismica di dettaglio.....	95
5	LA “BANCA DATI GEOLOGICA COMUNALE” (BDGC)	97
6	SITI CONTAMINATI O POTENZIALMENTE TALI.....	99
7	I GEOSITI	100
8	LA CARTA DEI VINCOLI (TAV. 8)	103
9	LA CARTA DI SINTESI E DELLE UNITA’ IDRO-GEO-MORFOLOGICHE, GEOTECNICHE E IDRAULICHE (TAV. 9).....	104



S.G.P.

10 LA CARTA DELLA FATTIBILITA' GEOLOGICA PER LE AZIONI DI PIANO (TAV. 10) E NORME DI CARATTERE GEOLOGICO	110
10.1 Considerazioni e prescrizioni di carattere generale	110
10.2 Classe 1 – Fattibilità senza particolari limitazioni.....	111
10.3 Classe 2 – Fattibilità con modeste limitazioni	111
Classe 3 – Fattibilità con consistenti limitazioni	113
10.4 Classe 4 – Fattibilità con gravi limitazioni	116
10.5 Prescrizioni per le aree soggette ad amplificazione sismica locale	117
10.6 Prescrizioni particolari per le aree dismesse e per le zone ove si abbia fondata ragione di ritenere che vi sia un'alterazione della qualità delle matrici ambientali	117
10.7 Prescrizioni particolari per la realizzazione di infrastrutture pubbliche e di interesse pubblico all'interno delle Fasce Fluviali A e B	118
10.8 Segnalazione delle situazioni di potenziale dissesto	118
10.9 Interventi edilizi compatibili nelle diverse classi di fattibilità geologica e sotto-unità idro-geo-morfologiche, idrauliche e geotecniche.....	120
10.10 Indirizzi per le aree di interesse geomorfologico e paesaggistico e/o le situazioni suscettibili di tutela o riqualificazione e valorizzazione ambientale	125

APPENDICE

- A Cartografie storiche e documentazione iconografica**
- B Grafici e tabelle con dati idrologici e idraulici**
- C Cartografie di inquadramento strutturale, neotettonico e sismico**



S.G.P.

1 PREMESSA, FINALITA' DELL'INDAGINE, STRUTTURAZIONE E MODALITA' DI CONSULTAZIONE

Nella presente relazione sono commentati i risultati dello studio riguardante la componente geologica, idrogeologica e sismica a supporto del Piano di Governo del Territorio (PGT) del Comune di Pavia in ottemperanza a quanto richiesto dalla L.R. 11 marzo 2005, n. 12 e s.m.i. e dalla D.G.R. 28 maggio 2008, n. VIII/7374.

Il Comune di Pavia è già dotato di uno Studio geologico generale redatto nel 1997 e riguardante l'intero territorio comunale a supporto dell'allora redigendo PRG con riferimento al D.M. 11/03/1988 (punto H - "*Fattibilità geotecnica di opere su grandi aree*", ove erano definiti i criteri di carattere geotecnico da adottare nell'elaborazione di piani urbanistici) e le relative norme tecniche (Circ. LL.PP. 24 settembre 1988 n. 30483) e alla D.G.R. 18/05/1993 n. V/36147, concernente i "*Criteri ed indirizzi relativi alla componente geologica nella pianificazione comunale*". Tale studio è stato aggiornato nel 2003 in adeguamento alle norme nel frattempo intervenute (in particolare: il "*Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico*" - PAI - approvato con D.P.C.M. 24/05/2001; la L.R. 24 novembre 1997, n. 41 "*Prevenzione del rischio geologico, idrogeologico e sismico mediante strumenti urbanistici generali e loro varianti*"; la D.G.R. 29 ottobre 2001, n. VII/6645 "*Approvazione direttive per la redazione dello studio geologico ai sensi dell'art. 3 della L.R. 41/97*"; la D.G.R. 11 dicembre 2001, n. VII/7365 "*Attuazione del Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico del bacino del fiume Po (PAI) in campo urbanistico. Art. 17, comma 5, della legge 18 maggio 1989, n. 183*"). Lo studio geologico del 2003 è stato approvato con prescrizioni con D.G.R. 9 maggio 2003, n. VII/12961, recepite integralmente dal Comune di Pavia con D.C.C. 21 luglio 2003, n. 51; la sua efficacia è intervenuta dal 19 novembre 2003.

Il presente studio quindi aggiorna quello precedente del 2003 a supporto del nuovo P.G.T. comunale in conformità agli aggiornamenti normativi nel frattempo intervenuti, con particolare riferimento ai criteri regionali per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica emanati con la D.G.R. 28 maggio 2008, n. VIII/7374. Si è inoltre approfittato di questo aggiornamento per recepire anche le nuove norme e disposizioni, soprattutto in campo ambientale, nel frattempo emanate.

Il presente studio è costituito, oltre che dalla presente relazione e relative norme di carattere geologico, parte integrante del "Piano delle Regole", dalle seguenti tavole ed allegati:

TAV. 1 Inquadramento geologico e geomorfologico (scala 1:10.000).



S.G.P.

- TAV. 2 Inquadramento idrogeologico con ubicazione dei pozzi censiti (scala 1:10.000).
- TAV. 3 Carta delle isofreatiche (scala 1:25.000):
a) andamento indicativo della prima falda libera (sospesa);
b) andamento indicativo della seconda falda libera nell'area cittadina.
- TAV. 4 Sezioni litostratigrafiche (scale grafiche).
- TAV. 5 Carta dell'inondabilità, delle Fasce Fluviali e del rischio idraulico (scala 1:10.000).
- TAV. 6 Localizzazione di punti di indagine geognostica disponibili: Banca Dati Geologica Comunale (BDGC) (scala 1:10.000).
- TAV. 7 Carta della pericolosità sismica locale (1° livello di approfondimento per tutto il territorio comunale e 2° livello di approfondimento per le zone di nuova potenziale previsione di edifici strategici e rilevanti) (scala 1:10.000).
- TAV. 8 Carta dei vincoli (scala 1:10.000).
- TAV. 9 Carta di sintesi (e delle unità idro-geo-morfologiche, geotecniche e idrauliche) (scala 1:10.000).
- TAV. 10.1 Carta della fattibilità geologica per le azioni di piano su base aerofotogrammetrica comunale 2007 (scala 1:10.000).
- TAV. 10.2 Carta della fattibilità geologica per le azioni di piano su base CTR 1994 (scala 1:10.000).
- ALL. 1 Banca Dati Geologica Comunale (BDGC): litostratigrafie dei pozzi.
- ALL. 2 Banca Dati Geologica Comunale (BDGC): litostratigrafie dei sondaggi.
- ALL. 3 Banca Dati Geologica Comunale (BDGC): prove penetrometriche.



S.G.P.

- ALL. 4 Banca Dati Geologica Comunale (BDGC): analisi geotecniche di laboratorio.
- ALL. 5 Banca Dati Geologica Comunale (BDGC): indagini a supporto del 2° livello di approfondimento sismico per le zone di nuova potenziale ubicazione di edifici strategici e rilevanti di nuova previsione.
- ALL. 6 Banca Dati Geologica Comunale (BDGC): indagini Georadar.
- ALL. 7 Descrizione del reticolo idrico con caratteristiche tali da poter essere incluso nel reticolo idrico minore di competenza comunale.

Il presente studio è consultabile sia su forma cartacea, sia in formato informatizzato (files .pdf); la cartografia allegata, sempre riguardante l'intero territorio comunale, è inoltre disponibile in formato shape da cui è possibile accedere e visualizzare gli allegati mediante appositi link. La base cartografica è costituita dal più recente rilievo aerofotogrammetrico comunale; come richiesto, la Carta della fattibilità geologica per le azioni di piano è stata predisposta anche su base CTR.

Nelle pagine che seguono sono quindi sinteticamente descritte le tavole e i relativi allegati allo studio, oltre che commentati i contenuti dello studio geologico nel suo complesso.

Per evitare inutili ripetizioni, ove in diverse tavole sono evidenziati elementi comuni, nelle descrizioni di seguito riportate si rimanderà ai contenuti già espressi in precedenza.

1.1 Le fasi di predisposizione dello studio geologico a supporto del P.G.T. Comunale

Lo studio geologico nel suo complesso, che ha preso in esame gli aspetti riguardanti la geologia, litologia, stratigrafia, geomorfologia, pedologia, idrografia, idrogeologia, sismica, geotecnica e geologia ambientale, ha avuto come principale finalità quella di offrire al processo progettuale di pianificazione urbanistica del territorio comunale gli elementi conoscitivi indispensabili per l'individuazione delle potenzialità, vocazioni e vulnerabilità del territorio sotto il punto di vista geologico s.l., con specifico riferimento alla prevenzione del rischio e alla mitigazione del dissesto geologico e ambientale.



S.G.P.

Il presente studio è stato articolato nelle seguenti tre distinte fasi di lavoro definite dalla D.G.R. 28 maggio 2008, n. VIII/7374:

1 - Fase di analisi: è stata inizialmente basata sulla raccolta, analisi, interpretazione critica ed omogeneizzazione dei dati esistenti, integrata da analisi foto-interpretativa, verifica sulla base delle più recenti ortofoto disponibili e controlli sul terreno. L'indagine bibliografica preliminare ha consentito la raccolta dei dati geologici, geognostici e geotecnici puntuali reperiti presso archivi sia pubblici che privati. Tutti i dati acquisiti sono stati localizzati in apposita cartografia (vedi TAV. 6) e raccolti nei seguenti allegati tematici:

- ALL. 1 Banca Dati Geologica Comunale (BDGC): litostratigrafie dei pozzi.
- ALL. 2 Banca Dati Geologica Comunale (BDGC): litostratigrafie dei sondaggi.
- ALL. 3 Banca Dati Geologica Comunale (BDGC): prove penetrometriche.
- ALL. 4 Banca Dati Geologica Comunale (BDGC): analisi geotecniche di laboratorio.
- ALL. 5 Banca Dati Geologica Comunale (BDGC): indagini a supporto del 2° livello di approfondimento sismico per le zone di nuova potenziale ubicazione di edifici strategici e rilevanti di nuova previsione.
- ALL. 6 Banca Dati Geologica Comunale (BDGC): indagini Georadar.

L'indagine bibliografica preliminare è stata impostata e predisposta in modo tale da poter essere integrabile nel tempo sulla base di nuovi dati, al fine di implementare l'attuale Banca Dati Geologica Comunale (BDGC), da rendere disponibile all'utenza sia pubblica che privata affinché informazioni ed indagini già svolte, non più disperse negli archivi all'interno delle singole pratiche ma raccolte ed omogeneamente organizzate, rappresentate e localizzate, possano essere direttamente riutilizzate in futuro o costituire la premessa per ulteriori approfondimenti specifici. In funzione di ciò, è stato previsto che i risultati delle prove geognostiche e geotecniche che saranno eseguite in futuro a supporto della progettazione degli interventi edilizi previsti dal Piano, localizzate su adeguata cartografia, debbano essere allegati in un apposito elaborato al fine dell'integrazione della Banca Dati Geologica Comunale. In questa fase sono state



S.G.P.

infine prodotte le seguenti cartografie tematiche in merito ai singoli aspetti presi in esame:

- TAV. 1 Inquadramento geologico e geomorfologico (scala 1:10.000).
- TAV. 2 Inquadramento idrogeologico con ubicazione dei pozzi censiti (scala 1:10.000).
- TAV. 3 Carta delle isofreatiche (scala 1:25.000):
 - a) andamento indicativo della prima falda libera (sospesa);
 - b) andamento indicativo della seconda falda libera nell'area cittadina.
- TAV. 4 Sezioni litostratigrafiche (scale grafiche).
- TAV. 5 Carta dell'inondabilità, delle Fasce Fluviali e del rischio idraulico (scala 1:10.000).
- TAV. 6 Localizzazione di punti di indagine geognostica disponibili: Banca Dati Geologica Comunale (BDGC) (scala 1:10.000).
- TAV. 7 Carta della pericolosità sismica locale (1° livello di approfondimento per tutto il territorio comunale e 2° livello di approfondimento per le zone di nuova potenziale previsione di edifici strategici e rilevanti (scala 1:10.000).

2 - Fase di sintesi/valutazione: in questa fase, attraverso una valutazione incrociata degli elementi analitici raccolti, il territorio è stato interpretato in funzione degli attuali e prevedibili livelli di integrità, valore, rischio, vulnerabilità, degrado e assetto vincolistico; in funzione di ciò il territorio comunale è stato infine suddiviso in unità contraddistinte da confrontabili condizioni idro-geomorfologiche, geotecniche e idrauliche. Tali informazioni sono riportate cartograficamente nei seguenti elaborati cartografici:

- TAV. 8 Carta dei vincoli (scala 1:10.000).
- TAV. 9 Carta di sintesi (e delle unità idro-geo-morfologiche, geotecniche e idrauliche) (scala 1:10.000).

Queste informazioni, in quanto fornite preliminarmente alla definizione del progetto urbanistico, hanno costituito *inputs* e limitazioni alla formulazione delle proposte di pianificazione urbanistica del PGT. Le previsioni urbanistiche hanno



S.G.P.

quindi tenuto conto di quanto qui indicato, escludendo la localizzazione di azioni di piano in aree giudicate inidonee sotto il punto di vista geologico s.l..

- 3 - Fase di proposta: in questa sede, le unità idro-geo-morfologiche, geotecniche e idrauliche individuate nella fase precedente sono state raggruppate in classi omogenee di fattibilità geologica delle azioni di piano in conformità alle disposizioni regionali vigenti, a cui fanno riferimento, in funzione delle singole problematiche locali, le specifiche norme di carattere geologico riportate nella presente relazione. In caso di eventuale discrepanza con altre norme, ecc., si applicano le norme più restrittive e/o cautelative. Sono state quindi prodotte le definitive:

TAV. 10.1 Carta della fattibilità geologica per le azioni di piano su base aerofotogrammetrica comunale 2007 (scala 1:10.000).

TAV. 10.2 Carta della fattibilità geologica per le azioni di piano su base CTR 1994 (scala 1:10.000).



2 ASPETTI GEOLOGICI, GEOMORFOLOGICI E IDROGEOLOGICI

2.1 Inquadramento geologico

L'area oggetto dello studio è geograficamente e fisicamente parte della Pianura Padana, della quale ripropone alcune delle caratteristiche più rimarchevoli.

E' soprattutto a nord della città di Pavia (dove il territorio si presenta piatto e monotono) che, come meglio sarà precisato più avanti, avviene il vero raccordo con il resto della pianura, mentre a sud, ossia verso il Ticino, la morfologia diventa più articolata e topograficamente mossa.

Tale variazione dei tratti del paesaggio (vedi Fig. A, riportata in appendice A alla presente relazione, quanto evidenziato in TAV. 1), è da ricollegare alla presenza in loco di numerose scarpate di terrazzo, incise dai locali corsi d'acqua (F. Ticino in particolare) e successivamente spesso modificate dagli interventi antropici, finalizzati prevalentemente per i previsti utilizzi urbanistici, agricoli ed estrattivi.

L'insieme di tali scarpate viene, in pratica, a delimitare, verso settentrione, la "Valle del Ticino", modellata (per erosione) in tempi geologicamente recenti all'interno dei depositi alluvionali da esso stesso (e dai suoi affluenti) depositati in precedenza.

Verso meridione (ossia in destra Ticino), la "Valle" risulta delimitata da un'analogha scarpata (sulla quale sorgono, all'esterno del territorio comunale di Pavia, gli abitati di Cava Manara, Cava Carbonara, S. Biagio ecc.), più "compatta" e ben delineata, non essendo suddivisa in distinti elementi come avviene invece in sinistra del F. Ticino.

In altre parole, il Ticino scorre oggi, nell'area pavese, sul fondo di una tipica "valle a cassetta", ovvero di una depressione a fondo piatto, lateralmente delimitata dalle citate scarpate, che, spesso, presentano andamento planimetrico "falcato", conseguenza del tracciato meandriforme che caratterizzava il Ticino nel momento in cui, abbassando il proprio alveo, le incideva.

Sull'ampio e piatto fondo della "valle a cassetta" sono ben visibili le tracce dei più recenti fenomeni di divagazione del fiume, che ancora nell'andamento meandreggiante trovano il loro più diretto riscontro.

Proprio poco a sud di Pavia, la "valle" si connette con quella, analoga, scavata dal F. Po, che funge anche da recapito per le acque convogliate dal Ticino.



S.G.P.

Nell'area di indagine ricade il solo versante settentrionale (ovvero quello sinistro) della "valle" in parola: al ciglio superiore di questo "versante" è sorta la città di Pavia, successivamente estesasi anche al fondovalle (Figg. A e B riportate in appendice A).

In realtà, questo "versante" presenta una morfologia relativamente complessa; esso risulta infatti caratterizzato dalla presenza di un ripiano intermedio, localizzato tra quello, superiore, che costituisce il "livello fondamentale della pianura lombarda" (o "Piano Generale Terrazzato" - P.G.T., precedentemente descritto come "piatto e monotono" e che si estende, praticamente senza soluzione di continuità, da Pavia a Milano) e quello che coincide con il vero e proprio "fondovalle" (questo ospita, in destra Ticino, di fronte a Pavia, Borgo Ticino e S. Martino Siccomario). In altre parole, questi tre ripiani risultano separati (in sinistra Ticino) da due nette ed alte scarpate, generate, come detto, dalla naturale azione morfogenetica connessa alla dinamica fluviale ticinese.

Queste scarpate (e i tratti di ripiani immediatamente retrostanti) risultano a loro volta interessate dalla presenza di vallecole minori, scavate dagli affluenti del Ticino nel corso dei secoli: le più significative tra tali vallecole sono sicuramente quelle che, come verrà meglio precisato, fanno capo alla Roggia Vernavola e al Navigliaccio (vedi Fig. B in appendice A).

A sud dell'alveo attivo del F. Ticino, l'area di indagine non comprende la scarpata opposta (Cava Manara), ma si limita al fondo della "valle a cassetta", per buona parte protetto dalle piene del Ticino mediante un relativamente imponente sistema di arginature artificiali.

Numerosi affioramenti areali della locale falda idrica sotterranea, sia naturali (lanche), sia artificiali (vecchie fosse di cava), caratterizzano il ripiano inferiore della "valle", dove la falda stessa è idrogeologicamente e direttamente collegata alle acque di alveo e di subalveo del fiume. Vere e proprie sorgenti, relativamente numerose, sono dislocate lungo le scarpate delimitanti la "valle" stessa; queste, di cui meglio si dirà più avanti, risultano alimentate da falde idriche "sospese" rispetto al fondovalle e collocate all'interno di acquiferi contenuti nei ripiani superiori (vedi TAV. 3).

Sia i ripiani superiori che quello inferiore, a prescindere dalle aree urbanizzate, sono intensamente coltivati a seminativi irrigui (riso, mais, ecc.) e pioppeti; il ripiano intermedio vedeva nel recente passato la presenza di alcune marcite, oramai residue.



Dal punto di vista geologico, l'intero ambito comunale è impostato su depositi alluvionali sciolti, a dominante sabbiosa e sabbioso-ghiaiosa, di età pleistocenica e olocenica¹.

Lo spessore complessivo di questi depositi è notevole (dell'ordine delle centinaia di metri), come rilevabile dalle stratigrafie desunte da perforazioni di pozzi idrici nell'area cittadina (vedi TAV. 4 e ALL. 1).

Nella sezione esemplificativa riportata in TAV. 4 sono schematicamente forniti, accanto agli elementi geomorfologici di spicco, i dati litostratigrafici relativi al sistema terrazzato dell'intero ambito pavese.

La presenza di orizzonti limoso-argillosi (a varie profondità e ad andamento e spessore discontinui) all'interno della successione litologica del "Piano Generale Terrazzato" (ultimo dei raggruppamenti riportati in nota 1) e, in parte, nell'*Alluvium antico o Diluvium tardivo* (penultimo dei raggruppamenti in parola) costituisce il presupposto di base cui è legata l'esistenza, nel sottosuolo, di falde idriche in pressione (in profondità; vedi ALL. 1) e libere verso la superficie (falda freatica e falde "sospese"; vedi TAV. 3).

¹ Il foglio 59 - PAVIA della C.G.I. (1965) distingue, in queste zone, tre formazioni di età progressivamente più antica:

- *Alluvioni (Alluvium recente o Alluvium s.l.) sul fondo delle incisioni fluviali* (età: Olocene superiore): si tratta dei depositi che caratterizzano i ripiani dei fondi delle valli attualmente attive e che risultano litologicamente costituiti da ghiaie prevalenti e sabbie, con locale presenza di lenti torbose (a questi depositi alluvionali appartiene il ripiano di Borgo Ticino - S. Martino Siccomario - Travacò Siccomario ecc.).
- *Alluvioni (oloceniche) dei terrazzi compresi tra la superficie dell'Alluvium recente e la superficie principale della pianura*: corrispondono per lo più ad alluvioni (*Alluvium antico o Diluvium tardivo*) deposte nel corso di una temporanea fase di interruzione del processo prevalentemente erosivo che ha generato la "Valle del Ticino"; dal punto di vista litologico sono classificate come prevalenti ghiaie e sabbie (nell'area investigata, questi depositi alluvionali affiorano esclusivamente in sinistra del Ticino, dove vengono a costituire il ripiano di S. Lanfranco).
- *Alluvioni della superficie principale della Pianura (Diluvium recente - di età pleistocenica superiore)*: si tratta dei depositi alluvionali nei quali è modellato il cosiddetto "Piano Generale Terrazzato" (P.G.T.) della pianura lombarda; la loro sedimentazione è ricollegabile alla fase anaglaciale dell'ultima grande glaciazione pleistocenica (Würm); sono litologicamente costituiti da sabbie e sabbie a matrice limosa, alternate a sottili livelli di ghiaietto, con intercalazioni di banchi di limi e argille (nell'area interessata dal passaggio della tangenziale, anche questi depositi sono presenti esclusivamente in sinistra del Ticino, dove costituiscono l'ossatura del ripiano che dal Policlinico si estende verso C.na Campeggi e, da qui, verso Milano).



2.2 Inquadramento geomorfologico

L'assetto geomorfologico della fascia di territorio oggetto della presente indagine è compiutamente illustrato nell'allegata TAV. 1 e schematizzato nella già richiamata Fig. A riportata in appendice A.

Come risulta dalla legenda esplicativa della tavola, all'interno del territorio comunale di Pavia sono state individuate, come in parte già accennato nel paragrafo precedente, le seguenti unità geomorfologiche:

- 1 Ripiani impostati su depositi alluvionali recenti, sopraelevati di alcuni metri rispetto agli alvei attivi. Litologia prevalente: sabbie e ghiaie. Sono ricoperti da suoli alluvionali limosi e limoso - sabbiosi, idromorfi, di spessore generalmente ridotto (50 cm ca.);
- 2 Ripiani impostati su depositi alluvionali antichi (A = ripiano inferiore o delle "Alluvioni Antiche", sopraelevato di 8 - 16 m rispetto all'alveo attivo del F. Ticino (ivi comprese le zone attualmente con quote confrontabili a tale ripiano in quanto interessate da riporti antropici effettuati su ex ripiani delle alluvioni recenti); B = ripiano superiore o del "Fluviale Recente", sopraelevato da 2 a 8 m rispetto al ripiano A). Litologia prevalente: sabbie, con sporadiche intercalazioni di ghiaietto e con orizzonti limoso - argillosi. La successione risulta parzialmente alterata (ferrettizzata) nella porzione superiore. Sono ricoperti da suoli alluvionali limosi e limoso - sabbiosi, localmente dotati di abbondante scheletro sabbioso e talora ghiaioso, generalmente superiori ai 50 cm.

Per gli aspetti pedologici di dettaglio si rimanda a "I suoli del Parco Ticino settore meridionale", pubblicato dall'E.R.S.A.L., Ente Regionale di Sviluppo Agricolo della Lombardia, nel Progetto "Carta Pedologica" (SSR 19; Milano, 1996).

Fra gli altri elementi significativi, sempre in TAV. 1, sono stati evidenziati:

ACQUE SUPERFICIALI

Alveo inciso del F. Ticino, comprensivo di isole fluviali e barre laterali (alluvioni attuali a prevalenza ghiaiosa).

Reticolo idrico superficiale.

Specchi d'acqua, naturali e/o artificiali, e relative fasce in scarpata.



S.G.P.

ULTERIORI ELEMENTI GEOMORFOLOGICI

Orlo delle principali scarpate di terrazzo, localmente ad andamento più o meno artificializzato e/o rotture di pendenza, naturali o artificiali (fronti di scavo o di riporto) che in genere delimitano differenti unità idro-geo-morfologiche, geotecniche e idrauliche (vedi TAV. 9).

Traccia di alveo abbandonato, paleomeandro.

Tratto di sponda fluviale in erosione attiva o potenziale.

Difesa spondale.

Argine di difesa idraulica (a = maestro; b = golenale).

Rilevato (stradale, ferroviario) in zone golenali.

Assumendo come riferimento lo sviluppo delle scarpate che delimitano le principali unità geomorfologiche, va sottolineato il loro andamento ripetutamente arcuato e sinuoso, che simula quello delle attuali anse meandriche del F. Ticino (in effetti, come già ricordato, il F. Ticino meandreggiava anche in occasione della incisione delle scarpate stesse).

Sempre in tema di scarpate, va altresì sottolineato che esse, come per buona parte graficamente evidenziato nella TAV. 1, sono state spesso rimodellate nel corso dei secoli dall'intervento umano, cosicché non è sempre facile distinguere le forme di origine prettamente naturale da quelle prevalentemente artificiali.

Si richiama, altresì, l'attenzione sul fatto che le scarpate in parola presentano locali squarci dovuti, come già precisato, all'azione erosiva esercitata dagli affluenti di sinistra del Ticino (Roggia Vernavola e Navigliaccio).

Questi, muovendosi quasi ortogonalmente a esse e dovendo raccordare il proprio profilo al livello di base (F. Ticino) posto ai loro piedi, sono stati costretti non solo ad aprire un varco all'interno delle scarpate stesse, ma anche ad incidere veri e propri solchi vallivi all'interno dei ripiani più alti (vedi Fig. B).

Il solco aperto dalla Roggia Vernavola ha la testata collocata a Nord della città di Pavia, quasi al confine con il territorio del Comune di S. Genesisio; qui il suo alveo, che più a Nord scorre al livello del piano - campagna, inizia ad infossarsi progressivamente rispetto al Piano Generale Terrazzato; la depressione acquisisce una larghezza crescente verso sud, giungendo alle decine di metri.



Sul fondo (piatto, per successivi fenomeni di deposizione) della vallecola di sua appartenenza e nella zona di attraversamento del ripiano delle alluvioni recenti, la Roggia Vernavola meandreggia, con caratteristiche anse che costituiscono uno degli aspetti paesaggistici più interessanti di questa zona.

Lungo i fianchi (scarpate) della vallecola, modificati dall'uomo nel corso dei secoli, sono tra l'altro ancora visibili tracce di marcite "di scarpata", oggi oramai abbandonate².

Dopo aver inciso il ripiano superiore e parte di quello intermedio, la Roggia Vernavola si getta nel Ticino poco a monte della confluenza di quest'ultimo nel Po, originando orli di terrazzo divergenti assai peculiari e tali da essere la zona segnalata come "Geosito".

La vallecola del Navigliaccio è sicuramente meno significativa di quella incisa dalla Roggia Vernavola, in quanto non gode di tali e tanti elementi di interesse naturalistico e paesaggistico. Essa ha inizio nella zona di Cassinino, lungo la ex S.S. 35 dei Giovi, al confine settentrionale del Comune di Pavia; l'alveo del Navigliaccio si infossa progressivamente fino ad individuare una vera e propria vallecola nei pressi C.na Campeggi, dove il corso d'acqua assume aspetti assai significativi. Nei pressi di questa Cascina esso compie infatti una cascata e crea un piccolo lago nel quale confluiscono anche le acque del Naviglietto, provenienti da Ovest, che entrano nel laghetto dopo essere state sfruttate da un caratteristico mulino. La valle del Navigliaccio prosegue poi verso Sud, attraversando la città di Pavia, per gettarsi successivamente nel Ticino, poco a monte del ponte della ferrovia.

Tenendo conto anche di quanto già esposto nel paragrafo precedente, i principali elementi geomorfologici di pregio ambientale (meritevoli di tutela e/o di recupero, rinaturalizzazione e valorizzazione) che caratterizzano tale territorio sono pertanto i seguenti:

- l'alveo e le fasce golenali del F. Ticino;
- le scarpate naturali ad andamento "falciforme" che delimitano i ripiani alluvionali superiori;
- i vecchi meandri ora abbandonati del F. Ticino e, in particolar modo, le lanche e le zone umide presenti sui ripiani alluvionali inferiori (Lanca Rottone; Lanca Rottino; Lanca di S. Lanfranco; Lanca Cannobbio; Lanca dell'Isola Caroliana);

² E' noto come gli aspetti naturalistici e ambientali dell'area posta a cavallo del percorso del T. Vernavola abbiano indotto l'Amministrazione Comunale pavese all'istituzione del "Parco del Vernavola".



- la valle incisa dalla Roggia Vernavola all'interno del Piano Generale Terrazzato ed il suo tipico tratto meandriforme finale in zona golenale, che occupa un vecchio tracciato del F. Ticino;
- le ultime sporadiche testimonianze di marcite.

In appendice A alla presente relazione sono riportate alcune figure, in gran parte relative a cartografie storiche, che evidenziano l'evoluzione geomorfologica del territorio in esame negli ultimi secoli.

Nella Fig. A è riportato lo schema geomorfologico generale della pianura pavese, mentre nella Fig. B sono evidenziati gli aspetti geomorfologici di dettaglio della zona di Pavia. I contenuti di tali figure sono già stati ampiamente commentati in precedenza.

Dalla Fig. C (*“Plan de la ville et des environs de Pavie”* di P. Mortier, raffigurante l'assedio del 1655) si possono evidenziare alcuni particolari elementi del paesaggio geomorfologico seicentesco. Procedendo da Ovest verso Est è possibile osservare che:

- risultava attivo, per lo meno come canale secondario del F. Ticino, l'attuale traccia di meandro presente immediatamente a meridione del Chiozzo, che confluiva nell'attuale lanca di S. Lanfranco, allora canale principale;
- tutta la zona a Sud del Ticino risultava occupata da boschi golenali e acquitrini; tale area corrispondeva ad un insieme di isole fluviali, delimitate a meridione dal Gravellone, che risultava un canale secondario del Ticino. Il Gravellone si dipartiva dal Ticino nella zona immediatamente a meridione del Chiozzo, in corrispondenza dell'attuale argine maestro nel suo tratto più prossimo all'alveo. Risultavano attivi come canali secondari le attuali lanche della zona del Rottino;
- sono evidenti le valli a cassetta incise dagli affluenti di sinistra del Ticino (Navigliaccio e Vernavola);
- il Navigliaccio sfociava nel Ticino nella sua attuale posizione; un suo ramo secondario confluiva invece nella allora area golenale del Ticinello; tale situazione è rimasta pressoché invariata per tre secoli circa fino a circa 30 anni fa (vedi Figg. R, S e T), quando tale zona golenale è stata per la quasi totalità artificialmente rialzata di parecchi metri con riporti vari (macerie, terre di fonderia e, localmente, anche rifiuti urbani; vedi TAV. 1);
- il fondovalle della Vernavola risultava completamente occupato da vegetazione naturale; la Vernavola confluiva nel Ticino molto più a monte della sua attuale



posizione, in quanto il canale attivo del Ticino risultava l'attuale imponente traccia di meandro (concava verso Sud) presente immediatamente a meridione di S. Lazzaro. Attualmente il tratto finale della Vernavola ricalca perfettamente tale traccia.

Nelle Figg. da D a N sono riportate alcune raffigurazioni cartografiche del sec. XVIII, da cui è possibile osservare i seguenti elementi:

- il ramo attivo nel secolo precedente corrispondente all'attuale lanca di S. Lanfranco viene abbandonato probabilmente bruscamente per un taglio del collo di meandro (vedi Fig. E) e si evolve da ramo abbandonato a lanca terminale (Figg. G, H e L);
- le attuali lanche del Rottone e del Rottino coincidevano con il ramo principale del Ticino (vedi Figg. da F a L); un ramo secondario attivo era presente ai piedi dell'attuale argine maestro nella zona dove è intersecato dalla ex S.S. dei Giovi; l'abbandono di tali canali e l'evoluzione da canale sinuoso a rettificato nella zona direttamente antistante il nucleo abitato è senz'altro anche imputabile ad interventi di regimazione idraulica allora eseguiti (vedi Figg. F e I);
- tutta la zona compresa tra il Ticino ed il Gravellone risultava pertanto ancora caratterizzata, come nel secolo precedente, dalla presenza di più canali attivi che delimitavano isole fluviali. Il paesaggio peri-fluviale era contraddistinto dalla presenza di boschi golenali (si vedano, per esempio, la *Piarda boscata* presente nell'attuale golena tra la lanca del Rottino - *Lanca lasciata dal Ticino* - ed il Ticino della Fig. M), prati e orti (vedi Figg. G e M) e prevalenti zone paludose, oggetto di opere di bonifica (vedi Fig. M).

L'evoluzione del paesaggio peri-fluviale nel secolo XIX e nei primi anni del XX risulta generalmente caratterizzato dalla graduale occlusione dei rami secondari e lanche attivi nei periodi precedenti. Da metà ottocento ai primi del novecento risultavano ancora collegate all'alveo attivo le lanche del Rottino, del Rottone e di S. Lanfranco (tutte lanche terminali, cioè comunicanti solo a valle con l'alveo; vedi Fig. O); quest'ultima è stata caratterizzata anche da un periodo di attività (vedi Fig. R) come ramo secondario.

Il meandro di S. Lazzaro, che confluiva a valle direttamente nel Po (vedi Figg. O e P) coincideva con quello descritto nei secoli precedenti fino alla metà dell'ottocento; alla fine dell'ottocento e ai primi del novecento (vedi Figg. Q e R) tale meandro lascia posto ad una lanca terminale, successivamente occlusa ed occupata dalla Vernavola. In questo periodo il ramo attivo del Ticino migrava gradualmente verso sud, transitando dalla attuale lanca che taglia in due l'Isola Caroliana fino alla sua attuale posizione.

Negli ultimi decenni si è assistito ad una ulteriore diminuzione delle zone umide golenali, connessa sia al sensibile abbassamento d'alveo (che ha reso pensili i sistemi



idrici golenali), sia alla realizzazione di opere di difesa idraulica (che hanno ridotto la capacità di divagazione naturale del Ticino e, conseguentemente, la possibilità di creare ed abbandonare nuovi rami).

Per ciò che riguarda in specifico l'evoluzione delle principali attuali lanche e tracce di meandri abbandonati è possibile, dal confronto tra le figure riportate in appendice A, evidenziare quanto segue:

- l'evoluzione nel tempo dell'attuale lanca di S. Lanfranco è ben documentata confrontando la Fig. C (sec. XVII) con le Figg. E, G, H, L: da principale ramo attivo nel seicento si è progressivamente trasformata nel settecento in un meandro abbandonato occupato da un ramo secondario (per un probabile taglio del collo di meandro) evolutosi gradualmente in lanca terminale; il ramo veniva attivato come canale secondario ancora nei primi del 900, che si disattivava gradualmente per arrivare alla situazione di lanca relitta dei giorni nostri;
- il sistema di lanche del Rottino e del Rottone risultavano attivi come canali secondari nel seicento (Fig. C), per assumere nel settecento il ruolo di rami principali (Figg. da F a L). Probabilmente anche a causa della realizzazione di interventi di regimazione idraulica (Figg. F e I), tali rami si sono evoluti da rami attivi a lanche terminali, che si sono mantenute comunicanti a valle con l'alveo attivo fino ai primi del novecento (Figg. O e R) per poi successivamente evolversi verso le lanche relitte dei giorni nostri, oramai quasi completamente occluse;
- l'attuale imponente traccia di meandro (concava verso Sud) presente immediatamente a meridione di S. Lazzaro coincideva con il canale principale del Ticino senz'altro dal sec. XVII alla metà del sec. XIX (Figg. C, N, O e P); la terminazione di valle di tale meandro corrispondeva alla confluenza del Ticino con il Po (l'attuale "Becca"). Il meandro veniva abbandonato nella seconda metà del sec. XIX (Fig. Q) per trasformarsi progressivamente in lanca da terminale nei primi del '900 (Fig. R) a relitta. La zona compresa tra lanca e Ticino, denominata Isola Caroliana, risultava completamente occupata da vegetazione naturale ancora verso la fine dell'800 (vedi Fig. P). Nell'attuale situazione la lanca è completamente occlusa ed occupata dal tratto terminale della Vernavola. Questa traccia di meandro abbandonato si attiva ancora saltuariamente nel caso di piene del fiume Ticino, quando si identifica ancora chiaramente l'Isola Caroliana (vedi foto 9 in TAV. 5).



2.3 Inquadramento idrogeologico

E' innanzitutto opportuno far rilevare che l'area di indagine è caratterizzata, come già richiamato, da una situazione idrogeologica diffusa in altre parti della Pianura Padana: il notevole spessore dei depositi alluvionali sciolti a granulometria prevalentemente sabbiosa e/o ghiaioso-sabbiosa (e quindi permeabili), intercalati da numerose lenti limoso-argillose (a comportamento semi-permeabile o impermeabile) porta alla formazione, nel sottosuolo, di numerose falde idriche sovrapposte, generalmente caratterizzate da un alto grado di isolamento reciproco e da pressione crescente con la profondità.

Le caratteristiche idrogeologiche di quest'area sono adeguatamente note; si vedano in particolare i seguenti lavori, da cui, oltre che dallo studio geologico a supporto del P.R.G. del 1997, sono state desunte numerose informazioni di seguito riportate:

I.R.S.A. - C.N.R. (1981) - *Indagine sulle falde acquifere profonde della Pianura Padana*, Quaderni I.R.S.A., 51/2, Roma.

Mondini S. (1985) - *Studio idrogeologico del sottosuolo del territorio comunale di Pavia*, Tesi di Laurea inedita, Dipartimento di Scienze della Terra, Università degli Studi di Pavia.

Peloso G. F. (2006) - *La struttura idrogeologica delle aree di pianura*, Lo stato delle acque in Provincia di Pavia; criticità, necessità e corretta gestione della risorsa idrica, Provincia di Pavia, Divisione Ambiente, Settore Risorse Naturali, e ARPA Dipartimento Provinciale di Pavia, Nuova Tipografia Popolare, Pavia.

Pilla G. (1998) - *Caratterizzazione idrochimica e geochimica isotopica delle falde idriche nel sottosuolo della città di Pavia*, Atti Ticinensi di Scienze della Terra, vol. 40, pp. 185-201, Ed. New Press, Como.

Pilla G. e Savarino R. (1998) - *Le risorse idriche nel sottosuolo della città di Pavia*, Atti Ticinensi di Scienze della Terra, vol. 40, pp. 121-137, Ed. New Press, Como.

Regione Lombardia & ENI Divisione AGIP (2002) - *Geologia degli acquiferi padani della Regione Lombardia*, a cura di Carcano C. e Piccin A., S.E.L.C.A., Firenze.

Nel sottosuolo della Pianura pavese s.s. sono presenti sedimenti di varia età e natura, appartenenti al sistema deposizionale che ha dato origine alla Pianura Padana. I livelli basali, la cui età è riferibile al Pliocene - Pleistocene inferiore, sono di origine marina e costituiti, nella quasi totalità, da marne argilloso-limose e da argille variamente limose.



Al di sopra del substrato marino si sviluppa una sequenza di depositi continentali (Pleistocene medio/superiore - Olocene) la cui base è caratterizzata da sedimenti di origine palustre-lacustre, costituiti da un complesso limoso-argilloso e al cui interno si rinvengono frequenti livelli sabbiosi, verosimilmente attribuibili al "*Villafranchiano Auctorum*". A tetto del complesso villafranchiano sono presenti depositi, tipici di un ambiente fluviale, costituiti prevalentemente da ghiaie e sabbie, alle quali si intercalano livelli limosi ed argillosi. Su tali depositi è impostato il "Livello Principale della Pianura" o "Piano Generale Terrazzato (P.G.T.)".

Infine, sul fondo delle incisioni fluviali scolpite all'interno del P.G.T. (terrazzi incatolati) sono presenti ghiaie, sabbie e limi (depositi alluvionali attuali e recenti olocenici).

Dal punto di vista idrogeologico, all'interno della sequenza sopra descritta si possono individuare, dall'alto verso il basso, tre distinte unità: i depositi alluvionali di età olopleistocenica, la successione "villafranchiana", il basamento marino (vedi figura di seguito riportata).

La prima delle suddette unità assume particolare interesse per quanto attiene alle risorse idriche sotterranee in quanto sede di vari acquiferi di notevole importanza.

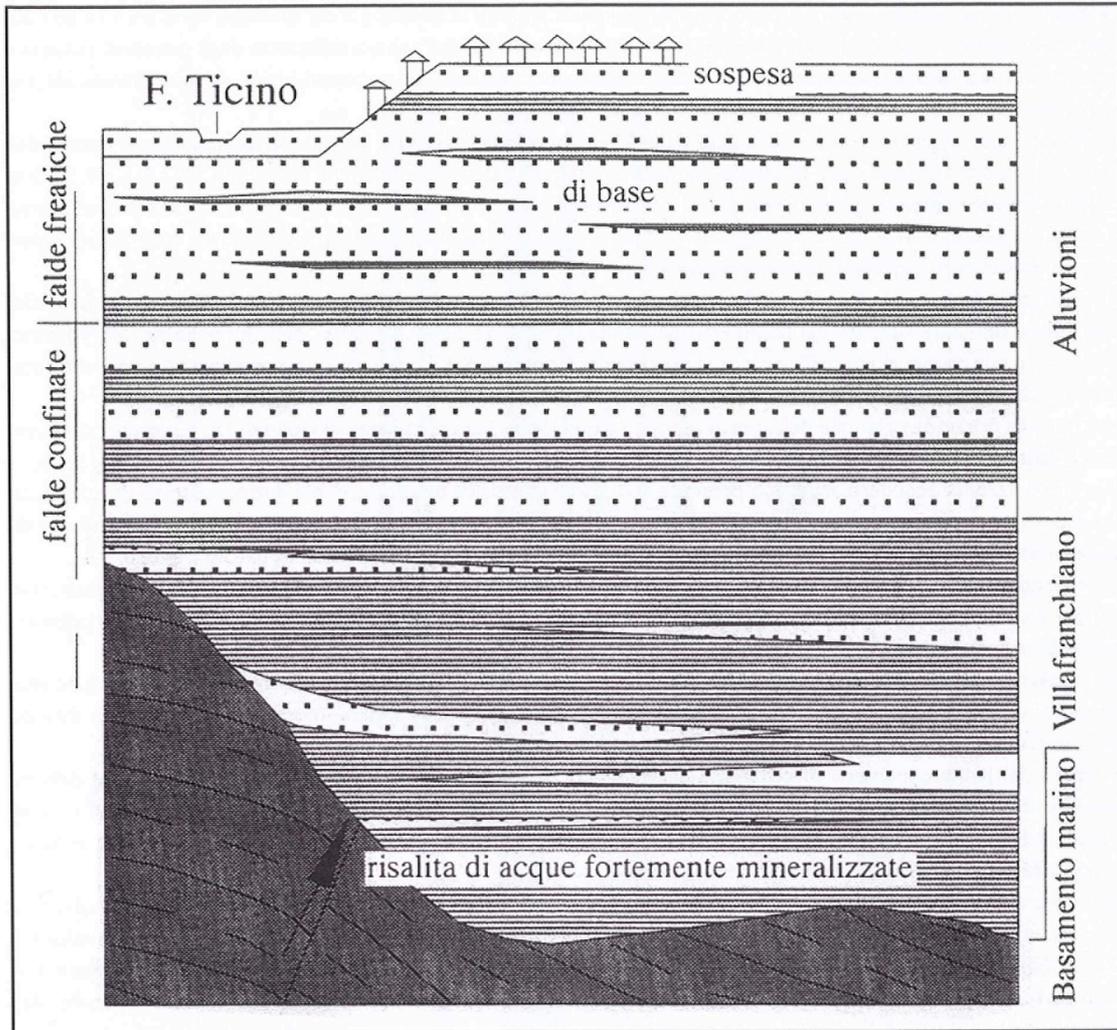
In linea generale, all'interno dei depositi alluvionali è possibile distinguere una falda freatica, caratterizzata da un livello piezometrico soggetto a sensibili variazioni stagionali, e diversi acquiferi a comportamento francamente artesiani.

Scendendo nel dettaglio, si osserva che la porzione più superficiale del materasso alluvionale è caratterizzata dalla netta prevalenza di litotipi sabbiosi, non di rado miscelati in varia percentuale a ghiaietto, talora con intercalazioni di lenti argilloso-limose.

La presenza di tali lenti permette la locale formazione di orizzonti freatici sospesi che, in funzione dei locali assetti litostratigrafici, si posizionano a profondità varie; non di rado anche a pochi metri dal piano di campagna. Tali orizzonti, che traggono la propria alimentazione unicamente dalla locale infiltrazione superficiale (acque di precipitazione meteorica e, nel periodo tarda primavera - metà estate, acque irrigue), sono caratterizzati da un flusso idrico complessivamente diretto verso meridione, ma che, localmente, risulta condizionato dalla presenza delle principali incisioni fluviali che svolgono una sensibile azione drenante.



S.G.P.



Schema idrogeologico delle unità presenti nel sottosuolo di Pavia; tratto da Pilla G. e Savarino R. (1998), op. cit..



S.G.P.

A profondità variabili è presente una sequenza, particolarmente potente (50-60 metri), costituita da sabbie di varia granulometria, ma con prevalenza di quella media, con locali livelli di ghiaie medio-fini. Tale sequenza poggia su un orizzonte impermeabile continuo, costituito da sedimenti argillosi compatti e il cui spessore varia tra i 10 ed i 20 metri circa e ospita un corpo idrico a pelo libero (falda freatica di "fondo") che, a differenza degli orizzonti sospesi, i quali hanno una rilevanza esclusivamente locale, rappresenta un cospicuo serbatoio idrico a livello provinciale, sia per il suo spessore che per la sua estensione areale.

Tale acquifero, come evidenziato da profili idrogeologici relativi al sottosuolo del comune di Pavia (vedi TAV. 4) e del territorio posto a settentrione di esso, presenta un elevato grado di vulnerabilità intrinseca in quanto, generalmente, mancano, al suo tetto, orizzonti a bassa permeabilità in grado di proteggere le acque in esso immagazzinate dal rischio di essere facilmente contaminate da sostanze inquinanti provenienti dalla superficie del suolo.

Il primo orizzonte acquifero artesiano presente al di sotto della falda freatica è, come detto, separato da questa da un diaframma a bassissima conducibilità idraulica, generalmente di potenza plurimetrica, fino a decametrica, e di buona continuità laterale, che impedisce significativi scambi idrici con il sovrastante serbatoio freatico. A profondità comprese tra 80 metri circa e 200 metri circa, si rinvengono almeno quattro acquiferi artesiani, con carichi piezometrici differenziati in funzione delle corrispondenti quote delle aree di alimentazione, di potenza anche pluridecаметrica e caratterizzati da una buona continuità laterale.

Il sottostante Villafranchiano è sede, come detto, di un secondo serbatoio idrico, nettamente separato da quello ospitato nel materasso alluvionale da una potente sequenza argillosa ed argillo-limosa, arealmente meno esteso, ma caratterizzato da un notevole sviluppo verticale.

A causa del limitato numero di pozzi che raggiungono profondità superiori ai 200 metri, risulta assai difficile stabilire il numero di orizzonti acquiferi, indipendenti tra loro, qui ospitati. Da segnalare, peraltro, che i livelli acquiferi finora intercettati sono caratterizzati da un elevato regime artesiano, ma non sempre l'acqua sembra avere caratteristiche favorevoli all'uso idropotabile.

La terza unità idrogeologica, costituita dai sopra citati terreni del basamento marino, risulta essere complessivamente formata da litotipi impermeabili (marne argilloso-limose e argille variamente limose).



S.G.P.

Ai fini del presente studio risulta comunque importante la conoscenza dell'assetto idrogeologico riferito alla porzione più superficiale della successione dei depositi alluvionali presenti nell'area comunale.

Queste tematiche sono infatti l'oggetto delle TAVV. 2, 3 e 4.

Nel territorio comunale di Pavia sono riconoscibili due principali unità idrogeologiche (vedi TAV. 2):

- 1 Unità delle "Alluvioni recenti". Depositi poroso - permeabili contraddistinti da una permeabilità da alta a medio - alta, che localmente, in superficie, diventa bassa per la presenza di coperture di natura limosa. E' sede di una attiva circolazione idrica sotterranea a carattere freatico (falda libera principale), con superficie libera stagionalmente assai prossima al piano campagna e in diretta connessione con le acque di alveo e di subalveo del F. Ticino. In profondità, si ha la presenza di più falde sovrapposte confinate e talora anche artesiane per la presenza di orizzonti semi-permeabili e impermeabili continui arealmente;
- 2 Unità delle "Alluvioni antiche" (ivi comprese le zone interessate da riporti antropici con quote confrontabili a tale ripiano) e del "Fluviale recente". Rispetto alla precedente, questa unità è generalmente caratterizzata dalla presenza di una ulteriore falda libera, sospesa rispetto alla falda libera principale, con superficie (vedi TAV. 3) localizzata a pochi metri dal piano campagna e, comunque, con profondità variabile in funzione dell'andamento morfologico (sia topografico, sia dell'orizzonte semipermeabile che la sostiene), della stagione e dei "richiami" esercitati dalle scarpate di terrazzo (vedi TAVV. 3 e 9). L'alimentazione della falda sospesa avviene sostanzialmente per infiltrazione diretta di acque irrigue e/o di precipitazione meteorica. La sottostante falda libera principale, la cui superficie si trova a parecchi metri dal piano campagna (vedi TAV. 3 e 9), corrisponde a quella caratterizzante l'unità precedentemente descritta. In profondità, come nel caso precedente, per la presenza di orizzonti semi-permeabili ed impermeabili, si ha la presenza di più falde sovrapposte confinate e talora anche artesiane.

Sempre in TAV. 2 sono inoltre riportati i seguenti elementi di importanza idrogeologica:

Pozzo profondo pubblico allacciato alla rete acquedottistica e relativo n. d'ordine della stratigrafia (vedi l'ALL. 1). A = attivo; B = dismesso (dati forniti dall'ente gestore, ASM Pavia, aggiornati all'aprile 2010).

Pozzo profondo privato e relativo n. d'ordine (per la stratigrafia si veda l'ALL. 1).



S.G.P.

Senso di flusso prevalente della falda libera (vedi TAV. 3).

Traccia di sezione litostratigrafica (vedi TAV. 4).

In TAV. 2 sono inoltre riportate anche le seguenti informazioni, comuni ad altre tavole allegate:

Siti contaminati o potenzialmente tali (procedure ex D.M. 471/1999, D. Lgs. 152/2006 e s.m.i. e situazioni confrontabili pre D.M. 471/1999).

Alveo inciso del F. Ticino, comprensivo di isole fluviali e barre laterali (alluvioni attuali a prevalenza ghiaiosa).

Reticolo idrico superficiale.

Specchi d'acqua, naturali e/o artificiali, e relative fasce in scarpata (a).

Orlo delle principali scarpate di terrazzo, localmente ad andamento più o meno artificializzato e/o rotture di pendenza, naturali o artificiali (fronti di scavo o di riporto) che in genere delimitano differenti unità idro-geo-morfologiche, geotecniche e idrauliche (vedi TAV. 9).

Traccia di alveo abbandonato, paleomeandro.

Tratto di sponda fluviale in erosione attiva o potenziale.

Difesa spondale.

Argine di difesa idraulica (a = maestro; b = golenale).

Rilevato (stradale, ferroviario) in zone golenali.

Nella TAV. 3, ove è anche riportato un sintetico schema idrogeologico della pianura pavese, sono stati ricostruiti, sulla base delle misure freaticometriche raccolte, gli andamenti indicativi della prima falda libera sospesa³ e della seconda falda libera (falda libera principale).

³ La locale presenza di discontinui livelli semipermeabili soprastanti l'orizzonte sostenente la falda sospesa può provocare la stagionale formazione di ulteriori falde sospese a quote topografiche superiori rispetto a quelle riportate in carta. D'altra parte, la locale assenza dell'orizzonte sostenente la falda sospesa può portare alla scomparsa della falda sospesa stessa, che viene in questo caso a trovarsi in diretta connessione con la seconda falda libera (falda libera principale).



S.G.P.

Le informazioni contenute nelle TAVV. 2 e 3 necessitano comunque di ulteriori commenti.

Come già accennato nei paragrafi precedenti, nell'immediato sottosuolo del Piano Generale Terrazzato è presente uno strato di materiale limoso-argilloso, che, sia pure (presumibilmente) discontinuo, impedisce o limita fortemente l'infiltrazione dell'acqua in profondità; ciò crea la locale saturazione del sovrastante acquifero, che risulta alimentato sostanzialmente dalle infiltrazioni locali (acque irrigue e/o di precipitazione meteorica).

Il tutto si traduce nella formazione di una falda idrica "sospesa" (l'aggettivo sta ad indicare il fatto che essa non è collegata, in profondità, con la vera e propria falda freatica - la principale - idrogeologicamente connessa con le acque di alveo e di subalveo del F. Ticino).

Caratteristica di tale falda è la sua esiguità, con spessore variabile nel corso dell'anno (esso segue generalmente l'andamento stagionale delle piogge e dell'irrigazione).

Le acque di detta falda superficiale scorrono sostanzialmente verso Sud; ciò porta alla loro emersione lungo la scarpata principale (ove avviene la troncatura delle lenti limose che sostengono la "falda sospesa") e alla genesi delle caratteristiche sorgenti di terrazzo.

La falda freatica presente sul fondo della "Valle del Ticino" (e, quindi, anche in tutta l'area del ripiano di Borgo Ticino - S. Martino Siccomario), corrisponde a quella principale, che, come più volte ripetuto, è idrogeologicamente collegata alle acque di alveo e di subalveo del Ticino stesso.



3 ASPETTI IDRAULICI, CONDIZIONI DI INONDABILITA' E DI RISCHIO IDRAULICO

3.1 Introduzione

Nel presente capitolo sono descritte le caratteristiche idrologiche ed idrauliche del territorio comunale, che sono cartograficamente illustrate nell'allegata TAV. 5, in cui sono inoltre riportate alcune significative riprese fotografiche della piena eccezionale dell'ottobre 2000, della massima magra del gennaio 2002 (poi superata dalla magra dell'estate 2003), tabelle e grafici illustranti le principali caratteristiche delle piene storiche e delle magre del Ticino a Pavia.

Per motivi di organicità, il presente capitolo è strutturato come segue:

- par. 3.2: è descritta l'idrografia del territorio comunale, analizzati gli aspetti riguardanti il reticolo idrico;
- par. 3.3: sono sinteticamente descritti gli aspetti idraulici del Ticino;
- par. 3.4: vengono riportati i cenni storici sulle sistemazioni idrauliche nel territorio pavese;
- par. 3.5: sono illustrati i caratteri generali delle piene del F. Ticino;
- par. 3.6: vengono descritte le piene storiche del F. Ticino a Pavia;
- par. 3.7: sono illustrate le caratteristiche delle magre del F. Ticino a Pavia;
- par. 3.8: sono definite le condizioni di inondabilità del territorio comunale, definite le fasce fluviali;
- par. 3.9: è effettuata la caratterizzazione del rischio idraulico;
- par. 3.10: si illustra il vigente "Piano speditivo comunale per il rischio di allagamenti determinati dalla piena del Ticino" e lo sperimentale "Sistema di preannuncio dei livelli del Ticino a Pavia", i programmi a breve termine dell'A.C. di Pavia in tema di Protezione Civile;
- par. 3.11: sono riportati i grafici e le tabelle con i dati di natura idraulica citati nei paragrafi precedenti;
- par. 3.12: è riportata la bibliografia essenziale inerente gli aspetti in esame.



3.2 Le acque superficiali e il reticolo idrico

Ruolo determinante sull'aspetto idrografico ed idrogeologico è giocato, su tutta l'area esaminata, dall'alveo del F. Ticino, che scorre da NW verso SE ai piedi dei terrazzi sui quali sorge la città di Pavia.

Sia l'idrografia secondaria che le falde acquifere più superficiali esistenti in loco sono infatti più o meno direttamente controllati da questa presenza, sia per quanto riguarda le direzioni di flusso che per il regime che le caratterizza.

Il P.G.T. ("Piano Generale Terrazzato") è solcato, come più volte ricordato, da alcuni corsi d'acqua di origine naturale (Navigliaccio e Roggia Vernavola), solo in parte artificializzati, oltre che da numerosi canali, rogge e fossi (Naviglio Pavese, Naviglietto, Roggia Marzo ecc.), che formano un fitto reticolo che la mano dell'uomo, nel corso dei secoli, ha provveduto, con varie opere, a razionalizzare, regimando afflussi e deflussi secondo i bisogni contingenti.

Il reticolo naturale presente prima della massiccia antropizzazione attuata è stato largamente modificato e in parte sostituito da una rete di canali artificiali che si ramificano in fossi, fossetti, capifosso e canalette terminali interne ad appezzamenti agricoli; essi fanno giungere l'acqua ad ogni appezzamento di terreno coltivabile, per poi riunirla di nuovo in colatori che, a loro volta, raccolgono e smaltiscono le irrigue acque eccedenti e quelle di precipitazione meteorica.

Tale reticolo, accresciutosi e modificatosi nel tempo a seconda delle necessità agricole, è stato anche recentemente in fase di continua evoluzione, sia per esigenze urbanistiche (deviazioni e tombature), sia per le diverse esigenze agricole; ciò ha portato, per esempio, alla sparizione pressoché totale delle marcite, sostituite da seminativi irrigui nel frattempo divenuti più redditizi (riso, mais, ecc.) e all'accorpamento degli appezzamenti minori in unità di dimensioni più consistenti.

Negli ultimi anni, i progressi tecnici hanno inoltre messo a disposizione dell'agricoltura nuovi mezzi per il livellamento e la lavorazione dei campi, che hanno portato alla obliterazione e al rifacimento di parte del reticolato secondario, al fine di adeguare estensioni e forme dei campi alle esigenze operative delle nuove macchine agricole.

Sui lembi del terrazzo intermedio siti ad Est e ad Ovest (ripiano di S. Lanfranco) dell'abitato di Pavia, è presente una rete idrica superficiale simile a quella del ripiano superiore, alimentata dalle varie rogge e dagli scarichi naturali che scendono dal P.G.T. verso il F. Ticino (nella zona di S. Lanfranco sono ancora presenti alcune testimonianze



tipiche marcite, di cui si è conservato il reticolato irriguo, anche se attualmente esse sono abbandonate e normalmente coltivate a foraggio).

Sempre sul ripiano di S. Lanfranco sono presenti anche alcune "zone umide" piuttosto significative: esse sono localizzate dove si verifica l'emersione perenne e/o stagionale di acque sotterranee (in genere ai piedi della scarpata superiore); danno origine a peculiari aspetti paesaggistici.

Il fondo della "Valle del Ticino" è meno articolato delle aree precedenti e presenta caratteristiche sostanzialmente uniformi.

Nelle immediate vicinanze del fiume e all'interno degli argini artificiali (aree golenali), l'idrografia mantiene localmente ancora spiccati caratteri di naturalità.

Assai evidenti sono invece gli effetti delle operazioni di asportazione di materiali inerti effettuate fino a pochi anni fa: nella zona di Cascina Rottone e C.na Vittoria è facilmente rilevabile la presenza di estese fosse ("laghetti di cava"), residui di tali operazioni; attualmente sono in parte recuperate oppure in via o in attesa di sistemazione.

Nelle aree esterne agli argini, in destra Ticino, la sistemazione del reticolato idraulico superficiale è più appariscente e raggiunge la complessità di quella realizzata sul P.G.T.; qui sono tuttavia ancora ben chiari i segni delle divagazioni, in epoca recente ed anche storica, del F. Ticino e dei più importanti tra i corsi d'acqua secondari (Colatore Gravellone, ecc.). Questi seguono in genere le tracce di antichi alvei o meandri del fiume, oggi abbandonati (per i dettagli si veda il paragrafo precedente).

Il reticolato dei fossi e dei canali di bonifica è molto complesso e ramificato per consentire, oltre all'irrigazione, un buon drenaggio delle acque durante la stagione invernale.

All'interno dell'area golenale (esondabile in caso di piena) è anche possibile distinguere due zone: quella più prossima al corso d'acqua, che viene allagata dalle acque del Ticino in caso di piena ordinaria, e quella più vicina al sistema artificiale di contenimento, inondabile solo in caso di piene progressivamente più gravose.

Gli eventi ordinari hanno ricorrenza generalmente annuale e in alcuni casi semestrale: si hanno piene in concomitanza delle piogge autunnali e dello scioglimento primaverile delle nevi; talora l'evento può verificarsi anche nei mesi estivi, in seguito a prolungati periodi di pioggia o di temporali nelle zone alpine. Gli eventi straordinari hanno un periodo di ritorno dell'ordine della decina d'anni, anche se nell'ultimo decennio si sono osservati almeno 3 eventi eccezionali, di cui 1 relativo ad una piena propria del Ticino



(1993), 1 relativo ad una imponente piena di rigurgito da Po (1994) ed 1 piena “sinergica” nel 2000 (concomitanza di eccezionale piena propria del Ticino ed elevatissimi livelli idrometrici alla confluenza con il Po). Nel successivo paragrafo dedicato alle piene del Ticino ed al quale si rimanda per i dettagli, si evidenzia che le principali 21 piene che hanno causato significativi allagamenti nel Borgo Ticino negli ultimi 2 secoli si sono prevalentemente verificate nel periodo autunnale (16 eventi nei mesi di settembre, ottobre, novembre e dicembre; 5 a maggio).

La presenza del sistema di argini costituisce, in ogni caso, una valida difesa dalle esondazioni delle aree retrostanti (abitati di S. Martino Siccomario, Travacò, Mezzano e relative frazioni), caratterizzate da una notevole fragilità idraulica; in assenza di tali opere è infatti avvenuto che il livello delle acque, in caso di eventi eccezionali, abbia raggiunto altezze notevoli rispetto al piano - campagna, come testimoniano le lapidi poste in S. Martino Siccomario al bivio per Travacò.

Il Comune non è attualmente dotato di studio finalizzato all'individuazione del reticolo idrico minore di competenza comunale che abbia ricevuto parere positivo da parte della Sede territoriale regionale competente ai sensi della D.G.R. 7868/2002 e s.m.i. (TAV. 8); ha tuttavia fatto predisporre tale studio allo Studio Tecnico Associato Cassani - Grassi, con sede in Grassi di Via Volta 22, Pavia (redatto su base aerofotogrammetrica comunale del 2006 non georeferenziata), in questa sede assunto come riferimento ed opportunamente integrato e ridelimitato, ove possibile, assumendo come base il rilievo aerofotogrammetrico derivato dalla vettorializzazione dell'ortofoto comunale del 2007 (avvalendosi, nei casi dubbi e/o nel caso di dettagli non cartografati nel rilievo aerofotogrammetrico comunale del 2007 ma evidenziabili dall'analisi dell'ortofoto comunale del 2007, anche di quest'ultima, di quanto desumibile dal rilievo aerofotogrammetrico comunale aggiornato al 25/07/2006 e dalla CTR 1994), evidenziando anche i principali tratti tombinati e attraversamenti, ulteriori discrepanze riscontrate.

Si ritiene pertanto che tale studio (attualmente disponibile ma non vigente) finalizzato all'individuazione del reticolo idrico minore di competenza comunale ai sensi della DGR 7868/2002 e s.m.i. debba essere ridefinito per ottemperare ai requisiti richiesti da tale DGR.

Nell'ALL. 7 è inoltre riportata la descrizione del reticolo idrico con caratteristiche tali da poter essere incluso nel reticolo idrico minore di competenza comunale (desunto dall'apposito studio sopra citato).

Fino all'espressione del parere positivo da parte della Sede territoriale regionale competente e al recepimento di tale studio mediante variante urbanistica, sulle acque pubbliche, così come definite dalla L. 5 gennaio 1994, n. 36 e relativo regolamento,



valgono i vincoli disposti dal R.D. 25 luglio 1904, n. 523 (in particolare artt. 59, 96, 97 e 98).

E' in ogni caso vietata la tombinatura come contemplato dall'art. 115 del D. Lgs. 152/2006 e s.m.i., mentre per gli attraversamenti e i tratti già tombinati valgono rispettivamente le disposizioni di cui agli artt. 19 e 21 delle Norme di Attuazione del PAI. In cartografia sono distinte le seguenti categorie del reticolo idrico censito (per i tratti contraddistinti dall'asterisco * vale nel frattempo quanto specificato in merito in fondo al presente paragrafo):

- a corsi d'acqua (*) appartenenti al reticolo idrico principale di competenza regionale ai sensi della D.G.R. 7868/2002 e s.m.i.; sono distinti i principali tratti tombinati e gli attraversamenti;
- b canali (*) di competenza del Consorzio Est Ticino Villoresi (ai sensi della D.G.R. 11 febbraio 2005, n. 20552); sono distinti i principali tratti tombinati e gli attraversamenti;
- c canali (*) gestiti da consorzi irrigui minori o da singoli agricoltori; trattasi di derivazioni da acque pubbliche o da canali di competenza del Consorzio Est Ticino Villoresi dotati di regolare concessione in essere, o in attesa di rinnovo, o di domanda di concessione ex art. 34, L. 5 gennaio 1994, n. 36 (rif. Sentenza del Tribunale Superiore delle Acque Pubbliche di Roma n. 91/2004 del 23 giugno 2004), con caratteristiche tali da poter essere esclusi dal reticolo idrico minore di competenza comunale ai sensi della D.G.R. 7868/2002 e s.m.i.; o distinti i tratti principali tratti tombinati e attraversamenti e quelli non riconoscibili dal rilievo aerofotogrammetrico e dall'ortofoto comunali del 2007 (ma segnalati nel sopra citato studio redatto dallo Studio Tecnico Associato Cassani - Grassi);
- d corsi d'acqua (*) con caratteristiche tali da poter essere inclusi nel reticolo idrico minore di competenza comunale ai sensi della D.G.R. 7868/2002 e s.m.i. (con integrazioni rispetto a quelli già segnalati nel sopra citato studio redatto dallo Studio Tecnico Associato Cassani - Grassi);
- e reticolo secondario (non segnalato nel sopra citato studio redatto dallo Studio Tecnico Associato Cassani - Grassi), con caratteristiche tali da poter essere escluso, ove supportato da adeguate motivazioni, dal reticolo idrico principale di competenza comunale ai sensi della D.G.R. 7868/2002 e s.m.i. (trattasi prevalentemente di scoline, capifosso, cavi aziendali, canalette irrigue o di scolo terminali, ecc.);
- f specchi d'acqua, naturali e/o artificiali, e relative fasce in scarpata (*).



- (*) Con fascia di rispetto, valida anche per i tratti tombinati e gli attraversamenti, di ampiezza di 10 m (calcolata dal ciglio di sponda dell'alveo inciso come da rilievo aerofotogrammetrico comunale del 2007 o dal bordo lato Ticino dall'alzaia del Borgo Basso, Via Milazzo, ove in froldo), in ogni caso da verificare sul posto puntualmente caso per caso, ove valgono i vincoli disposti dal R.D. n. 523/1904 (in particolare artt. 59, 96, 97 e 98) e dall'art. 115 del D. Lgs. 152/2006 e s.m.i.. Per la classificazione dei corsi d'acqua di cui sopra, la definizione delle relative fasce di rispetto e relative norme, si rimanda allo studio da redigere ex D.G.R. 7868/2002 e s.m.i., da sottoporre a parere vincolante da parte della Sede territoriale regionale competente e relativa specifica variante urbanistica conseguente.

3.3 Aspetti idraulici del F. Ticino

Per ciò che riguarda gli aspetti idraulici del F. Ticino, si reputa opportuno in prima analisi riprendere le esaurienti informazioni contenute nel lavoro "*Morfologia del Basso Ticino e problemi idraulici del Ticino a Pavia*" redatto nella fine degli anni '80 dal Dott. Mortoni, a suo tempo funzionario del Servizio Provinciale del Genio Civile di Pavia, gentilmente messoci a disposizione dall'Autore, a cui vanno i nostri più sentiti ringraziamenti.

Tale lavoro sarà ripreso in più parti nella presente relazione per il suo grande valore scientifico e sinteticità; verrà integrato per gli aspetti inerenti gli aspetti idraulici ed idrologici dell'ultimo ventennio, che hanno visto il territorio pavese interessato da eventi alluvionali (piene e magre) di carattere eccezionale.

Il F. Ticino, emissario del Lago Maggiore, scorre in un alveo costituito da più canali anomostosi, attivi a seconda delle condizioni idrauliche prevalenti.

Il tratto terminale del fiume denominato "Basso Ticino", compreso approssimativamente tra il ponte in chiatte di Bereguardo e lo sbocco nel F. Po, è delimitato dalla scarpata del Piano Generale Terrazzato della pianura lombarda, molto prossima ed a volte coincidente con la sponda naturale sinistra del fiume, ma molto distante dalla sua sponda destra, da cui è separato da un'estesa piana alluvionale.

A protezione delle attività antropiche e degli insediamenti costituiti sulla detta pianura, ricorrentemente vanificati e travolti in passato dalle piene stagionali del fiume, fu realizzata una delimitazione artificiale dell'alveo di piena, con la costruzione di un'arginatura continua adiacente alla sponda destra.



S.G.P.

La pendenza media del fondo dell'alveo, nel Ticino sublacuale, decresce costantemente da monte a valle, pur mantenendo valori medi elevati per la presenza di due punti pressoché fissi, costituiti dal "Dosso dei Murazzi" nei pressi di Golasecca (+ 192 m s.l.m.) e dalla confluenza con il Po alla "Becca" (+ 50 m s.l.m. circa), ora in ulteriore abbassamento.

Da Sesto Calende alla confluenza con il Po (circa 100 Km), il Ticino riceve affluenze costituite principalmente da: scarichi di centri urbani; acque di piena eccedenti le capacità di deflusso di vari bacini a nord di Milano; restituzioni di acque irrigue; cospicue sorgive da pur modesti bacini scolanti (Canale Venara, Navigliaccio, Vernavola, ecc.).

Secondo le valutazioni concordi di eminenti idraulici (De Marchi, Mariani, Raffa ed altri), la portata complessiva degli apporti suddetti, in media, può essere considerata pressoché equivalente alle portate derivate dai principali canali irrigui; navigabili o industriali. Pertanto le portate in uscita dall'incile del Lago Maggiore devono considerarsi equivalenti a quelle affluenti nel Po alla Becca.

Il Lago Maggiore, dal punto di vista idraulico, svolge una funzione di serbatoio volano, moderatore delle variazioni idrometriche nel Ticino sublacuale, ritardando il rilascio delle portate di piena e integrando le portate di minima. Inoltre, poiché funziona da bacino di calma, esso provoca la decantazione delle torbide provenienti dai bacini alti e ne impedisce il trasferimento all'alveo sublacuale, che pertanto, deve considerarsi carente di apporti solidi da monte ed in fase di costante erosione.

Un'analisi pur superficiale e qualitativa dell'assetto planimetrico dell'alveo, consente di rilevare, a prima vista, alcune situazioni anomale rispetto ai caratteri propri del fiume.

In particolare è da segnalare l'anomalia dell'assetto d'alveo presente in corrispondenza dell'abitato di Pavia dove, alla sezione del Ponte Coperto, giunge a determinare una strozzatura tale da ridurre drasticamente la sezione libera di deflusso.

La condizione idraulica del "Basso Ticino" sembra risentire delle alterazioni morfologiche indotte, manifestando attività erosive laterali e di fondo particolarmente esaltate.

Un semplice esame dell'andamento planimetrico dell'arginatura in sponda destra del Ticino fa inoltre sorgere il dubbio che sia stata realizzata una costrizione dell'alveo ed una riduzione della sezione libera di deflusso a valori incompatibili con il proposito, a suo tempo perseguito, di assicurare un agevole deflusso delle portate di piena, tutte contenute entro questo unico canale.



S.G.P.

Ancor più critica appare la condizione di strozzatura dell'alveo di magra e delle medie morbide, che a valle del Ponte Coperto, alla sezione di Porta Nuova, subisce un'ulteriore cospicua riduzione, passando a una larghezza di circa 75 m.

Le condizioni suddette sembrerebbero costituire un rilevante contributo ai processi di erosione laterale e di fondo, che recenti rilievi e osservazioni dimostrano aver raggiunto valori molto esaltati, accelerati ed evidenti specialmente a Pavia, a valle del Ponte Coperto.

I pavesi, infatti, osservano da tempo le palificate di protezione delle fondazioni sia degli antichi bastioni medioevali sia delle altre numerose strutture a fiume, antiche o più recenti, un tempo prevalentemente sommerse ma ora costantemente emergenti sia dalle acque di magra che da quelle ordinarie. Analogamente, il sempre più problematico esercizio della navigazione, ora rischioso e difficile in alcuni tratti di fiume, anche per piccole imbarcazioni, oltre a confermare i valori cospicui assunti dal fenomeno, consente di apprezzare quali gravi limitazioni subisce l'utilizzazione della risorsa fluviale.

Il ruolo assunto dalle opere di sistemazione idraulica del "Basso Ticino" nel determinare le condizioni che hanno portato alla quasi totale inagibilità della linea di navigazione fluviale può essere chiarito meglio da una breve sintesi dei fatti storici, delle osservazioni, indagini studi e previsioni eseguiti nel tempo, dai tecnici idraulici incaricati di progettare, definire e realizzare il nuovo assetto del "Basso Ticino".



3.4 Cenni storici sulle sistemazioni idrauliche nel territorio pavese

Le condizioni idrauliche ora in atto nel "Basso Ticino", e in particolare nel Ticino a Pavia, sono il risultato di una serie di vicende ed opere eseguite per la maggior parte in tempi relativamente recenti (seconda metà del 1800 e primi decenni del 1900).

I documenti storici di Pavia, quando descrivono i rapporti tra la città e il suo fiume, citano il Ponte Coperto descrivendone le strutture e le caratteristiche.

Il ponte coperto medioevale di Pavia, demolito per i gravi danni subiti in conseguenza degli eventi della seconda guerra mondiale, fu sostituito dal nuovo ponte coperto, costruito nell'immediato dopoguerra poco a valle del preesistente ponte storico.

Il vecchio ponte, secondo la maggior parte degli storici pavesi, fu costruito nel 1351, sull'asse e sui resti del preesistente ponte romano, in proseguimento del cardo massimo (attuale Strada Nuova) di "Ticinum", la Pavia romana (vedi documentazione fotografica in TAV. 5).

Esso attraversava il ramo del F. Ticino, considerato principale ma non unico, quale è invece oggi e, secondo lo storico pavese Siro Comi, equivalente o non maggiore del ramo Gravellone.

Questa valutazione sulla rispettiva importanza dei rami del Ticino a Pavia, espressa dal Comi, non corrisponde alla tradizione locale né alla toponomastica, secondo cui il ramo più importante del Ticino è sempre stato il ramo aderente alla città, ma sembra invece confermata dagli sforzi in cui, nel tempo, i Pavesi hanno dovuto impegnarsi per cercare di impedire la diversione di cospicue portate dal ramo aderente alla città al canale Gravellone, come testimoniano numerosi documenti conservati presso la biblioteca Civica di Pavia (Archivio Storico Cartella Ticino), riguardanti ripetute richieste di finanziamenti rivolte al Signore di Milano per i lavori da eseguire alle bocche del Gravellone.

Ciò concorda inoltre con il carattere del fiume che, osservato a monte di Pavia fino in prossimità del Lago Maggiore, sviluppa un sistematico e dinamico spostamento del suo ramo prevalente nell'ambito del già citato complesso sistema di canali.

Si dimostra così il ruolo importante assolto in passato dal canale Gravellone quale ramo di particolare importanza nel complesso sistema idraulico del "Basso Ticino".

Anche le iconografie pavesi mostrano con suggestiva chiarezza la permanente presenza e officiosità del ramo Gravellone nei secoli XVII e XVIII, confermata dalle carte



S.G.P.

catastali e del territorio di Pavia del 1800, quando il Gravellone e non il Ticino costituiva il confine tra gli Stati Austriaco e Sardo.

Le condizioni ora descritte rimasero pressoché inalterate fino ai primi anni del secolo XIX.

Come riferisce in una sua memoria del 1849, l'Imperial Regio Direttore Delle Opere Pubbliche Elia Lombardini: *"La sponda destra del Ticino era disarginata e nel 1813, sotto il governo italiano, venne chiusa con un argine l'imboccatura del Gravellone e dai vari frontisti si eresse un'arginatura alquanto imperfetta lungo la sponda destra del Ticino, dalle alture di Campomaggiore al Ponte di Pavia, ma nelle piene del Po, dalle acque rigurgitanti il Ticino, quegli argini venivano squarciati per tracimazione e dalle acque inondata la bassa pianura"*.

Questa autorevole valutazione del Lombardini, testimonia che le opere realizzate nel 1813 non avevano indotto che apparenti mutamenti nel sistema idraulico e labili limitazioni alla libera espansione delle acque di piena.

Neppure qualche rialzo delle sommità arginali eseguito nel 1847 ha indotto apprezzabili mutamenti, se nella memoria suddetta, il Lombardini, oltre a menzionare la larghezza del Gravellone (60 metri), accenna alla persistente necessità di eseguire opere alle imboccature del Gravellone stesso, tali da impedire l'irruzione in esso delle acque del Ticino: *"riducendo il Gravellone a semplice canale di scolo dal quale siano affatto escluse le acque del Ticino"*.

Ciò dimostra che la chiusura del Gravellone, inizialmente eseguita con un argine, non impediva l'irruzione in esso delle acque del Ticino al verificarsi di pur modeste piene, mantenendo in atto la funzione idraulica di questo ramo del fiume; pertanto a causa della fragilità degli argini, si verificava la libera espansione delle acque di piena nel territorio del "Siccomario".

Ulteriori rinforzi delle arginature eseguiti nel decennio successivo, non mutarono le condizioni suddette, che si verificavano puntualmente al formarsi di piene significative.

La grande piena del 1868 sopraggiunse a situazione simile a quella descritta dal Lombardini: con argini sommergibili, il Gravellone attivo in caso di piena, ma con l'intervenuta esecuzione della ferrovia Pavia - Torreberetti (che varcava il fiume con un ponte a cinque archi di m 36 ciascuno, con terrapieni insommergibili attraversanti la zona di espansione delle piene del fiume, e con attraversamento del Gravellone con un ponte a luce unica di m 30).



Le acque di quella piena, tra le massime verificatesi a Pavia (vedi Grafico 1 in TAV. 5 ter), sormontarono gli argini di Campomaggiore (a monte di Pavia) in località Canarazzo, travolsero ogni ostacolo compreso il rilevato ferroviario e dilagarono nel consueto territorio di espansione, fino al piede del terrazzo.

Quell'evento, a carattere eccezionale, provocò effetti disastrosi nelle zone alluvionate e produsse una grande commozione pubblica con discussioni sui provvedimenti da adottare per impedire il ripetersi di analoghi disastri.

A Pavia fu istituita una commissione autorizzata dal Ministero dei Lavori Pubblici di cui facevano parte i rappresentanti degli Enti Locali, il Genio Civile e i rappresentanti della Società Ferroviaria.

Quella commissione giunse alle proprie conclusioni dopo una discussione in cui emerse la sensazione dell'errore idraulico commesso con i tentativi di chiusura del Gravellone, ma che portò a riconoscere come prevalenti altre cause:

- la divergenza tra gli assi dei ponti Coperto e Ferroviario, cui fu attribuito l'aver fissato l'andamento sinuoso dell'alveo di magra;
- l'accentuata curvatura di fronte all'abitato di Canarazzo, tuttora esistente;
- la necessità di provvedere sia all'incanalamento del Basso Ticino che al miglioramento delle arginature a monte del Ponte Coperto;
- la troppo limitata luce libera di deflusso al Ponte Coperto di Pavia, costituita da sei arcate difformi tra loro, di superficie complessiva di 950 mq.

A quest'ultima, in quanto ridotta e strozzata, restarono prevalentemente imputati i fatti alluvionali, avendo attribuito alla scarsità di luce del Ponte Coperto ed ai conseguenti rigurgiti la determinazione di salienti idrometrici mai visti prima.

Queste conclusioni riuscirono rafforzate quando, nel 1917, una nuova rotta dell'argine destro del Ticino fu certamente determinata dall'elevazione dei livelli idrometrici, in parte dovuta al rigurgito provocato dal Ponte Coperto.

In quell'occasione, a determinare il cedimento dell'argine, concorsero anche carenze dei terreni di fondazione (suscettibili di fenomeni di sifonamento, in quanto contraddistinti da elevati indici di permeabilità).



S.G.P.

Molti ritennero che l'unico rimedio al rinnovarsi di alluvioni disastrose fosse l'abbattimento delle arcate del Ponte Coperto medioevale e la sostituzione dello stesso con un nuovo ponte a travate metalliche.

Dopo quei fatti, il Ponte Coperto fu conservato integro fino al 1945 quando furono gli eventi bellici a provocarne la distruzione, mentre il ponte ferroviario, riconosciuto assicurato nel suo esercizio dalla commissione, con semplici sopraelevazioni delle sommità arginali, fu subito modificato a cura dell'Amministrazione Ferroviaria non convinta delle affermazioni della commissione, con la costruzione del ponte a 12 archi in muratura, realizzato nel punto della rotta del 1868.

Quel viadotto assicurava il deflusso e quindi lo scarico di eventuali acque riversate per rotta nel comprensorio protetto dalle arginature, senza danneggiare il rilevato ferroviario, il che si dimostrò poi provvidenziale quando, nel 1872 e nel 1907 lo scaricatore funzionò per consentire il deflusso delle acque di piena del Ticino, riversate nel territorio attraverso rotte arginali provocate a monte della ferrovia.

Dopo il 1868 fu realizzata l'unica opera tra quelle organicamente definite dalla commissione, cioè l'argine cosiddetto "attraversante", che congiungeva il saliente del Ponte Coperto (spalla destra) con l'arginatura esistente "Rottino Rottone" a monte, e "Basso Siccomario" a valle.

Con la successiva costruzione della chiavica del Gravellone, veniva poi completata la chiusura di tale corso d'acqua.

L'argine attraversante fu ultimato nel 1873 mentre la chiavica fu eseguita nel 1876.

La piena del 1907 si formò quando l'alveo del Ticino a Pavia aveva già subito mutamenti rilevanti rispetto al 1868, determinati sia dalla nuova sistemazione arginale, sia dal traforo del rilevato ferroviario. Quando l'argine cedette a monte della ferrovia, le acque del Ticino dilagarono verso l'antica valle di espansione passando per il viadotto ferroviario, fino ad insaccarsi a ridosso dell'argine attraversante, da cui poterono poi defluire attraverso un varco realizzato poi nell'arginatura stessa.

Si rinnovavano quindi i fenomeni caratterizzanti gli eventi di piena del Basso Ticino, ai tempi della libera espansione e si rinnovò la commozione della cittadinanza pavese che diede origine a manifestazioni e auspici per la demolizione del Ponte Coperto medioevale.

I fatti anzidetti si rinnovarono dieci anni dopo, quando il territorio del Siccomario fu nuovamente allagato dalle acque del Ticino fuoriuscite da una rotta arginale originata da un fontanazzo, a monte del Ponte Coperto.



S.G.P.

Quel fatto richiamò l'attenzione su una carenza strutturale delle arginature, fino a quel momento trascurata.

I terreni di fondazione delle arginature si dimostrarono inadeguati, per la loro natura ghiaioso-sabbiosa e per i conseguenti caratteri di elevata permeabilità, al contenimento delle pressioni idrostatiche di pur modeste piene.

Le osservazioni e le indagini, confermate in occasione della successiva piena del 1926, indicarono la necessità di eseguire lavori di impermeabilizzazione che furono poi attuati con la realizzazione di diaframmi pedearginali.

Nel frattempo erano stati realizzati gli assi stradali Lungo - Ticino, con la costruzione di nuove linee di muraglioni e scarpate a fiume.

Con la chiusura delle antiche porte Salara, Nuova e Calcinara, fu definitivamente impedita l'espansione delle acque di piena nella fascia urbana adiacente alla sponda sinistra, mentre la nuova linea di sponda, complessivamente più avanzata verso l'asse del fiume, determinava un'ulteriore, se pur modesta, costrizione dell'alveo in un punto già critico.

La costruzione del nuovo ponte sul Ticino a servizio della strada statale dei Giovi (come la ricostruzione dei ponti Coperto e ferroviario nell'immediato dopoguerra) fu eseguita nel 1936 avendo a disposizione dati, osservazioni ed esperienze acquisite con la costruzione del ponte ferroviario.

Furono quindi realizzate strutture con luci di deflusso più ampie, che nel caso del Ponte Coperto e del ponte della ferrovia ebbero un incremento dell'ordine del 50 %.

Un'altra opera importante per le conseguenze indotte nel grado di sicurezza del Basso Ticino fu realizzata nel 1943 con la regolazione del Lago Maggiore che, mentre consentiva la disponibilità di cospicue riserve idriche per le attività agricole e industriali di un vasto territorio, annullava la funzione di serbatoio volano svolta dal lago, per eventuali piene intervenute a lago invasato.

La grande piena del 1951 a Pavia si formò come piena di rigurgito del Po combinata con una piena del Ticino dell'ordine di 1700 - 1800 m³/sec. Essa quindi, dal punto di vista idraulico, costituì una prova relativamente severa per le opere, le correzioni o gli aggravamenti nel frattempo intervenuti. Essa consentì di apprezzare i miglioramenti ottenuti con l'esecuzione di impermeabilizzazioni, sopralzi arginali, imbancamenti arginali e ampliamento delle luci dei ponti. Le strutture si dimostrarono infatti adeguate



S.G.P.

a contenere senza alcun cedimento, una piena con portata e velocità di deflusso limitate, ma eccezionalmente prolungate nel tempo.

Negli anni sessanta l'alveo del Ticino subì ulteriori riduzioni per l'arginatura e la elevazione di territori sottoposti all'espansione delle acque di piena e successivamente destinati all'espansione urbanistica dell'abitato di Pavia, verso occidente (Zona Ticinello).

Nella primavera del 1981 si verificò a Pavia una piena significativa del Ticino. Si trattò di una piena propria del Ticino con portate dell'ordine di 2.000 m³/sec caratterizzata da elevata velocità di deflusso e livelli idrometrici relativamente contenuti, per le concomitanti modeste portate in atto nel Po. Fu la prima piena propria del Ticino che si verificò da oltre settant'anni e che i pavesi hanno osservato con stupore per l'energia straordinaria sviluppata da una tale massa d'acqua nel suo fluire veloce verso il Po. Fu una prova molto severa per le opere di difesa a fiume del "Basso Ticino", che risultarono tutte gravemente danneggiate. Sembra inoltre possibile far risalire a quell'evento il cospicuo incremento dell'attività erosiva di fondo e il conseguente abbassamento dei profili di fondo dell'alveo, che si osservano così evidenti a Pavia.

Piene con portate superiori ai 2.000 m³/s si verificarono poi nell'ottobre 1993⁴ (piena propria del Ticino con portata al colmo di circa 2.500 m³/s e caratteristiche simili a quella del 1981) e nell'ottobre 2000 (piena propria del Ticino associata a rigurgito da Po, con portata al colmo del Ticino di poco superiore a circa 2.600 m³/s).

Questa rassegna di fatti storici consente di affermare che l'alveo del F. Ticino, come ora si presenta a Pavia, si è venuto a costituire prevalentemente dopo il 1813, quando iniziarono i primi tentativi di realizzare sistemi arginali di contenimento e di chiudere le bocche del ramo Gravellone. Il Gravellone poté tuttavia mantenere la sua funzione di scaricatore al verificarsi di piene di rilievo, fino al 1873-76. Dopo la conclusione delle opere di arginatura e bonifica del Siccomario, nell'ottobre del 1907 giunse la prova di una piena eccezionale del Ticino di cui si è detto.

Quindi, dopo quella grande piena, nessuna piena massima di portata maggiore o uguale a 2.500 m³/sec (piena massima di riferimento per il dimensionamento delle opere idrauliche per piene proprie del Ticino) transitò a Pavia fino agli anni 90 (tale portata fu eguagliata o di poco superata nel 1993 e 2000). Tutte le opere di ripristino, consolidamento e di adeguamento dei ponti realizzate dopo il disastro del 1907 hanno

⁴ Per le caratteristiche della piena del 1993 si rimanda a PARCO TICINO (1994) "Il Ticino: studi e proposte sull'assetto idrogeologico e sull'uso del territorio della valle fluviale" e PARCO TICINO (1998) "Rapporto tra pianificazione e qualità dell'ambiente fluviale: l'esperienza del Parco Ticino - Il Ticino: studi e proposte sull'assetto idrogeologico e sull'uso del territorio della valle fluviale".



S.G.P.

potuto dimostrare la loro idoneità a sostenere la prova di una piena massima propria del Ticino. Per contro, l'aver aggravato il compito dell'unico ramo attivo residuo del Ticino, ulteriormente ristretto e privato di aree di espansione come accennato sopra, concentrando tutte le portate del fiume, sembra costituire un contributo rilevante alla straordinaria accelerazione dell'attività erosiva di fondo, esercitata dal fiume in modo particolare a Pavia.

3.5 Caratteri generali delle piene del F. Ticino

Le piene del F. Ticino nel suo tratto terminale, il "Basso Ticino", possono essere distinte nella loro diversa origine e nei conseguenti diversi effetti. Esse si distinguono di massima in: piene proprie del Ticino (tipo 1993), piene del Ticino con rigurgiti di piene contemporanee del Po (tipo 2000) e piene di solo rigurgito del Po (tipo 1994).

Gli effetti dei rigurgiti del Po sotto il profilo idrometrico, sono: molto rilevanti a Pavia, sensibili a Canarazzo e nulli all'idrometro di Roverini, poco a valle del ponte di Bereguardo.

Le piene proprie del Ticino, quale emissario del Lago Maggiore, giungono all'idrometro di Roverini influenzate esclusivamente dalla morfologia e dalla conformazione fisica dell'alveo, mentre nei pressi di Pavia e più a monte fino all'idrometro di Canarazzo esse risentono dello stato idraulico in atto nel Po.

A Pavia si sono verificate piene di rigurgito con livelli idrometrici molto elevati pur con modesti stati di piena contemporanea del Ticino. Così avvenne nel 1857 e nel 1917, quanto ruppero gli argini di fronte alla città, come pure nel 1926, nel 1951 e nel 1968, quando invece i colmi defluirono senza danni.

Nel successivo par. 3.11, al quale si rimanda, in TAB. 3 e GRAF. 4 sono evidenziati i confronti tra i colmi delle principali piene di Po e Ticino. Dall'analisi di tali elaborati è possibile verificare che la differenza di quota al colmo tra la sezione del Ticino al Ponte Coperto e del Po alla Becca è dell'ordine del decimetro o di pochi decimetri nell'ultimo secolo.

Per l'effetto moderatore esercitato dal Lago Maggiore sui tempi di propagazione dei colmi di piena del fiume, nel suo alveo sublacuale, in assenza di interferenze costituite da stati di invaso in atto nel lago, i colmi stessi subiscono ritardi di circa 20 ore cosicché quelli delle piene contemporanee del Po e del Ticino a Pavia non coincidono mai.



La differente natura delle piene comporta, nel Basso Ticino, differenti caratteri ed effetti.

In questo tratto di fiume l'unico effetto temuto al verificarsi di piene di rigurgito è l'elevazione dei livelli idrometrici, con valori decrescenti da valle a monte, mentre si produce il contemporaneo effetto favorevole del rallentamento delle correnti di deflusso, che comporta l'attenuazione dei rigurgiti a monte dei ponti e dell'azione erosiva in alveo.

Le piene proprie del Ticino invece, oltre all'elevazione dei livelli idrometrici anche se con tiranti sensibilmente inferiori alle altre due tipologie, comportano elevate velocità di deflusso con effetti aggravati da irregolarità, deformazioni, rivestimenti d'alveo, turbolenze e vortici (dovuti all'obliquità delle pile dei ponti rispetto alla direzione del filone della corrente), vegetazione in alveo ed esaltazione dei rigurgiti provocati da riduzioni eccessive delle sezioni di deflusso.

A Pavia, pertanto, al verificarsi di piene con effetti prevalenti dovuti ai rigurgiti del Po, l'unico pericolo è costituito dall'elevazione straordinaria dei livelli idrometrici e da possibili alluvioni per sormonto delle arginature.

Le piene proprie del Ticino comportano invece pericoli maggiori, costituiti essenzialmente da: elevazione dei livelli idrometrici, elevate velocità di corrente e corrispondente maggior efficacia dell'azione erosiva e d'urto contro i manufatti in alveo, incrementi dei livelli idrometrici e delle pressioni idrostatiche sulle arginature. Le piene proprie del Ticino costituiscono quindi le prove più severe per l'intero sistema idraulico (argini e difese in alveo) realizzato nel "Basso Ticino", per il contenimento delle piene e la regolazione dell'alveo di magra.

Prima della realizzazione dell'attuale assetto fluviale del Ticino a Pavia, tanto le piene del Po che quelle del Ticino, si espandevano liberamente sul territorio comune del "Siccomario", originato dagli apporti solidi degli stessi fiumi, confluenti poco a valle, che qui abbandonavano detriti e torbide trascinati dalle acque di piena che espandendosi perdevano energia e rilasciavano parte del proprio carico in sospensione. In quelle condizioni le uniche differenze che si notavano nei caratteri delle piene erano: la maggiore o minore torbidità delle acque, la maggiore o minore velocità della corrente o addirittura l'inversione del senso della corrente, quanto l'effetto prevalente era costituito dal rigurgito del Po.

Gli eventi straordinari hanno un periodo di ritorno dell'ordine della decina d'anni, anche se nell'ultimo decennio del secolo XX appena trascorso si sono osservati almeno 3 eventi eccezionali, di cui:

- una piena propria del Ticino (1993):