



S.G.P.

- una imponente piena di rigurgito da Po (1994);
- una piena “sinergica” nel 2000 (concomitanza di eccezionale piena propria del Ticino ed elevatissimi livelli idrometrici alla confluenza con il Po).

Nel successivo par. 3.11, in Tab. 5 e Graf. 6, 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 e, in subordine, tardo-primaverile (16 eventi nei mesi di settembre, ottobre, novembre e dicembre; 5 a maggio).

3.6 Le piene storiche del F. Ticino a Pavia

All'idrometro del Ponte Coperto medioevale di Pavia erano segnati i livelli delle piene storiche, senza indicazioni né distinzioni inerenti la loro natura. Questa serie idrometrica, scolpita su pietra, costituiva la memoria storica degli eventi di piena che hanno investito Pavia. Essa andò distrutta con le strutture del ponte e ora è conservata solo per la parte riportata sulla facciata della chiesa di Borgo Ticino. Nella TAV. 5 è riportata una sezione trasversale del F. Ticino (ubicata 90 m a valle del Ponte Coperto) con evidenziati i colmi delle piene storiche sopra menzionate (elaborazione di dati gentilmente forniti dall'allora Servizio Provinciale del Genio Civile di Pavia della Regione Lombardia), integrati da altri dati bibliografici e informazioni sulle piene più recenti.

La piena del 1857 è considerata la maggior piena di rigurgito del Po osservata a Pavia. Essa si è formata per una piena del Po che alla Becca raggiungeva una portata valutata in circa 10.000 m³/sec a cui si aggiunse un contributo del Ticino di circa 1.500 m³/sec al colmo della piena. La seconda piena in elenco è quella del 1868; fu una piena propria del Ticino la cui portata fu valutata in 5.000 m³/sec e che indusse una quota idrometrica inferiore di soli 2 cm rispetto alla precedente, provocando i disastri accennati nel paragrafo precedente. La terza piena (1705) fu ancora una piena propria del Ticino, anch'essa caratterizzata da portate straordinarie con massimo valutato in 4.000 m³/sec.

Quella serie non riportava la piena del 17 maggio 1907 che, con un'altezza idrometrica di + 5,09 e una portata di 2.500 m³/sec, provocò la rottura dell'argine. Al contrario, era segnata la piena del 28 ottobre successivo, che, con un'altezza di +5,24 m sullo zero idrometrico, costituisce una massima storica con contributo proprio del Ticino stimato di 1.600 m³/sec. In quell'occasione, nel Po si verificò una delle piene massime, con altezza idrometrica di + 7,56 all'idrometro della "Becca". Si deve ritenere che nel punto dove avvenne la rotta, due chilometri circa più a monte del Ponte Coperto, l'altezza della precedente piena, propria del Ticino, fosse molto superiore, sia per effetto della



forte pendenza che per i rigurgiti provocati dai ponti, per quanto dell'andamento di tale colmo non esistano notizie sicure.

Quanto sopra, può dare un'idea dei tipi di eventi di piena debbano essere attesi a Pavia, e come la discriminazione tra piene proprie del Ticino e piene di rigurgito del Po, possa essere fatta correttamente, sulla base delle osservazioni idrometriche, solo agli idrometri di Roverini o di Sesto Calende.

Nell'ultimo decennio si sono potute osservare tutte le tipologie delle piene, che si sono verificate con caratteri eccezionali e con frequenza elevata. Si fa riferimento a:

- la piena propria del Ticino del 1993 che è stata la seconda più grande del XX secolo, con portate al colmo dell'ordine di 2.500 m³/s. La piena è iniziata verso la metà di settembre, e culminata tra la fine di settembre e la metà di ottobre. Il periodo di piena con portate superiori alla piena ordinaria (900 m³/s) è stato dal 24 settembre al 26 ottobre. Le portate massime, superiori ai 2.000 m³/s, si sono verificate i giorni:

9 ottobre	2.360 m ³ /s
10 ottobre	2.275 m ³ /s
11 ottobre	2.058 m ³ /s
13 ottobre	2.325 m ³ /s
14 ottobre	2.304 m ³ /s
15 ottobre	2.381 m ³ /s
16 ottobre	2.241 m ³ /s
17 ottobre	2.052 m ³ /s

Le misure sono effettuate alle 9:00 a.m., alla diga della Miorina. Il massimo assoluto di poco inferiore a circa 2.500 m³/s è stato raggiunto nel corso della giornata del 15.10.93.

Uno specifico studio di questo evento è riportato nei lavori 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”*, ai quali si rimanda per i dettagli e ove sono ampiamente descritti gli effetti della piena sull’intera valle fluviale;

- la piena da rigurgito del Ticino del novembre 1994 che, con una altezza idrometrica di +5,67 (63,35 m s.l.m. al Ponte Coperto, superiore di 60 cm rispetto al concomitante colmo di Po alla Becca) ha rappresentato una tra le massime piene da rigurgito ed è stata la seconda per altezza idrometrica raggiunta a partire dal 1868, superata solo da quella del 2000. Estesero furono gli allagamenti nel Borgo Basso ed i danni causati, con la perdita accidentale anche di due vite umane;



- la piena del Ticino con rigurgito di piena contemporanea del Po del 2000, la più grande dal 1868, con portata al colmo di 2.646 m³/s e concomitante piena eccezionale di Po. Il livello idrometrico massimo di Ticino al Ponte Coperto è stato osservato il 17/10/2000 (+ 6,1 m sullo zero idrometrico, pari a 63,71 m s.l.m.) mentre il colmo alla Becca è stato di + 7,84 m sullo zero idrometrico (62,94 m s.l.m.). Nella TAV. 5 sono riportate anche alcune foto che illustrano il transito del colmo di tale piena in alcune situazioni particolari, quali:
 - il colmo della piena all'idrometro a lettura del ponte Coperto;
 - il passaggio del colmo al Ponte dell'Impero e in corrispondenza di Lungo Ticino Sforza;
 - il sormonto di Via Milazzo in Borgo Ticino;
 - gli allagamenti per rigurgito della falda e degli scarichi nella zona di Porta Calcinara, Porta Damiani e Viale della Libertà – Ticinello.

Nella TAV. 5 è inoltre riportato l'idrogramma della piena.

Occorre ricordare che l'ottobre 2000 vide il verificarsi di un evento alluvionale di carattere eccezionale non solo per il Ticino ma per buona parte del bacino padano, in particolar modo nel settore nord-occidentale. Si verificarono record di precipitazioni cadute in pochi giorni, di portata dei fiumi e di livello nel lago Maggiore. Nel periodo di continua pioggia, durato da mercoledì 11 ottobre fino al lunedì successivo, si registrarono nel bacino del Ticino mediamente 200 mm di precipitazioni, con punte di 500 mm in Val Formazza e 600 mm in 48 ore a Ceresole. Se confrontati agli 8-900 mm di precipitazioni medie annue nelle province di Novara e Pavia, i dati testimoniano la proporzione dell'evento che, dal punto di vista meteorologico, fu causato dalla perturbazione denominata ciclone Josefina, caratterizzata dal continuo e massiccio apporto di umidità dal Nord Africa e Mediterraneo al pendio subalpino, con conseguenti forti piogge tanto sulla pianura che sui rilievi. In particolare vi fu, venerdì 13, una grande precipitazione colorata, segno della presenza di polvere sahariana nella pioggia. Le masse d'aria che incontrarono le Alpi, per effetto della loro temperatura mite, innalzarono notevolmente lo zero termico, causando lo scioglimento di neve che contribuì ulteriormente al deflusso superficiale. Il ciclone Josefina portò quindi a fare defluire nel Ticino, sabato 14, 1.115 m³/s, saliti a 2.200 m³/s il giorno successivo, quando l'altezza idrometrica del lago Maggiore era di +3,48 m sullo zero idrometrico. Nessuna tregua nei giorni successivi: lunedì 16 veniva superato il livello del 1993, mentre il picco di +4,6 all'idrometro di Sesto Calende fu toccato alle 5 del mattino di martedì 17: il colmo della piena transitò quindi a Pavia lo stesso giorno, alle ore 09:30.

Studi approfonditi sull'evento alluvionale dell'ottobre 2000, ai quali si rimanda, sono riportati in: LABORATORIO DI IDROLOGIA E LABORATORIO DI



S.G.P.

FISICA TERRESTRE, ISTITUTO DI SCIENZE DELLA TERRA DELLA SCUOLA UNIVERSITARIA PROFESSIONALE DELLA SVIZZERA ITALIANA (novembre 2000) “L’alluvione del 12-17 ottobre 2000 in Ticino”, e REGIONE PIEMONTE (2000) “*Rapporto sull’evento alluvionale del 13-16 ottobre 2000: l’attività di previsione e monitoraggio meteo-idrometrica e gli effetti sulle aree antropizzate*”.

E’ importante evidenziare che tale evento ha fatto registrare la massima altezza idrometrica raggiunta a Pavia (sezione al Ponte Coperto) dal 1868, a partire dalla regolazione del Lago Maggiore e dal conseguimento dell’attuale assetto idraulico del Ticino; é quindi significativa per la definizione della pericolosità e rischio idraulico, anche perché ha causato allagamenti per rigurgito dei corsi d’acqua minori (Ticinello e Vernavola), della falda e delle fognature, non considerati nelle simulazioni idrauliche del PAI. L’altezza idrometrica raggiunta in questo evento è inoltre perfettamente confrontabile con quella definita dal PAI per la piena di riferimento (63,71 m s.l.m. effettivamente verificatasi rispetto a 63,70 m s.l.m. calcolata dal PAI⁵). Alla luce di tali considerazioni, in concomitanza del transito del colmo della piena del 17 ottobre 2000 sono quindi stati eseguiti rilievi in campo di dettaglio per cartografare le aree direttamente inondate, esondate, allagate o comunque interessate da anomali innalzamenti del livello idrometrico e/o piezometrico, utilizzando come base cartografica l’aerofotogrammetrico comunale in scala 1/2000. Tale base cartografica si è rilevata di estremo dettaglio e precisione sia per quanto riguarda l’assetto morfologico e l’andamento delle rotture di pendenza, sia per le quote assolute del piano campagna. Tali rilievi sono stati quindi assunti come riferimento sia per la locale ridelimitazione a scala comunale delle Fasce Fluviali ai sensi del comma 3, art. 27 delle N.d.A. del PAI, riportata in TAV. 5 (vedi successivo par. 3.8), sia per la perimetrazione delle classi di fattibilità delle azioni di piano e la conseguente verifica della compatibilità delle azioni del PRG in adeguamento al PAI e in ottemperanza alla D.G.R. 28 maggio 2008, n. VIII/7374. Per tali aspetti si rimanda comunque al successivo par. 3.8.

⁵ AUTORITÀ DI BACINO DEL FIUME PO (2001) “*Direttiva sulla piena di progetto da assumere per le progettazioni e le verifiche di compatibilità idraulica*” in “Piano stralcio per l’Assetto Idrogeologico (PAI)”



3.7 Le magre del F. Ticino a Pavia

Un fenomeno idrometrico di particolare rilievo osservato a Pavia negli ultimi anni, a prescindere la maggiore frequenza delle massime piene trattata al paragrafo precedente, è lo straordinario abbassamento dei livelli di magra del fiume Ticino.

In assenza di variazioni significative del regime climatico nel bacino tributario e di conseguenti riduzioni delle portate minime, questo fatto sembra riconducibile a quel più ampio processo di abbassamento dei fondi d'alveo, in atto dalla seconda metà del XX secolo su quasi tutto il sistema idrografico del bacino del Po.

Il fenomeno, a Pavia, ha assunto valori e velocità evolutiva tali da indurre le preoccupazioni di cui si è fatto cenno.

Natura e origini del fenomeno sono stati oggetto di indagini impegnative e studi complessi soprattutto sull'asta del Po; tuttavia si ritiene di poter riferire un cospicuo contributo a tale fenomeno osservato a Pavia, all'assetto del "Basso Ticino" ed in particolare alla concentrazione di tutte le portate del fiume nell'unico ramo conservato attivo e per di più fortemente strozzato in corrispondenza dell'abitato di Pavia.

Lo sviluppo dinamico molto accelerato del fenomeno nell'ultimo cinquantennio può essere stimato in circa 2,5-3 m, sia mediante l'esame delle osservazioni idrometriche, sia osservando vari manufatti a fiume (soglia di accesso al canale navigabile "Naviglio di Pavia"; opere di fondazione di manufatti storici vari: muraglioni, attracchi, rivestimenti di sponda ecc.) un tempo costantemente sommersi e ora sempre più spesso in emersione.

Nello schema riportato nella TAV. 5 è evidenziato in grafico l'andamento dei livelli di massima magra all'idrometro del Ponte Coperto di Pavia dal 1929 al 1983 (elaborazione di dati gentilmente forniti dall'allora Servizio Provinciale del Genio Civile di Pavia della Regione Lombardia), integrati dai valori di massima magra registratesi nella primavera del 1997 e nel febbraio 2002 rilevati direttamente dallo scrivente sempre all'idrometro del Ponte Coperto.

Nelle foto 10 e 11 in TAV. 5 sono in particolare evidenziate le situazioni di massima magra del febbraio 2002, da confrontare con la massima piena dell'ottobre 2000 (escursione idrometrica di 10,6 m), in corrispondenza di Via Milazzo (Borgo Basso in destra orografica Ticino) e del Ponte Coperto.



S.G.P.

Sono emblematici gli affioramenti, immediatamente a monte del Ponte Coperto, delle fondazioni in blocchi di trachite dei Colli Euganei del ponte romano di probabile età augustea.

Una ulteriore magra eccezionale, connessa al grave periodo siccitoso della primavera-estate 2003, che ha fatto registrare la massima magra, non evidenziata nel grafico riportato in TAV. 5, di $-4,57$ m (rispetto ai $-4,50$ m del gennaio 2002) m sullo zero idrometrico del Ponte Coperto, con un concomitante $-3,23$ alla confluenza Po - Ticino alla Becca.

3.8 Le condizioni di inondabilità del territorio comunale e delimitazione delle Fasce Fluviali

Le tematiche relative alle condizioni di inondabilità del territorio comunale ed al rischio idraulico sono compiutamente illustrate nella TAV. 5, allestita sulla base delle informazioni sopra riportate e integrate da considerazioni di ordine sia idraulico (desunte dal PAI), sia morfologico (in particolar modo l'analisi dell'andamento plano-altimetrico dei ripiani alluvionali e delle scarpate, la posizione ed il dimensionamento degli argini di difesa idraulica e delle opere in rilevato, ecc.), sia sulla base dei rilievi diretti effettuati durante i colmi delle piene del 1991, 1993, 1994 e, in particolar modo, del 2000 (poi assunta come piena di riferimento in relazione della sua eccezionalità; vedi successivo sotto-paragrafo 3.9.3).

Si è altresì consultata la “*Cartografia planimetrica delle zone in territorio comunale di Pavia a rischio di esondazione del F. Ticino*” redatta nel 1996 da Pro-Geo su incarico del Dipartimento di Protezione Civile Comunale di Pavia⁶, i lavori dell'AUTORITÀ DI BACINO DEL FIUME PO (2001) “*Direttiva sulla piena di progetto da assumere per le progettazioni e le verifiche di compatibilità idraulica*” in “Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI)” e del DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA IDRAULICA E AMBIENTALE - UNIVERSITÀ DI PAVIA (1998) “*Studio idraulico per la delimitazione delle fasce fluviali del Ticino tra il lago Maggiore e il Po*” per conto di Consorzio Parco Lombardo della Valle del Ticino.

Dal profilo della piena di riferimento del PAI e quella desunta dallo studio appena citato sono stati ricostruiti i profili riportati in TAV. 5 (vedi tab. 1 e 2 e graf. 3, riportati anche in par. 3.11).

⁶ In tale studio sono riportate le planimetrie con i livelli di esondazione alle quote $+1,90$, $+2,90$ e $+3,90$ sullo zero idrometrico del Ponte Coperto. Nella definizione delle aree inondabili nei diversi stati idrometrici presi in esame si è tuttavia solo considerato il modello plano-altimetrico del terreno desumibile esclusivamente dalle quote del piano campagna riportate nell'aerofotogrammetrico in scala $1/2.000$, trascurando sia la morfologia (andamento delle scarpate, ecc.) che la pendenza, seppur modesta, del pelo libero delle acque.



Come è evidente, il profilo di piena del PAI presenta altezze idrometriche superiori rispetto a quelle dello studio dell'Università di Pavia variabili da circa 40 ad 80 cm procedendo verso valle, in quanto, al contrario di quest'ultimo, è considerato l'effetto combinato delle piene di riferimento calcolate per il Ticino (TR 200 anni; $Q = 2.300 \text{ m}^3/\text{s}$) e per il Po, che causa rigurgiti consistenti nel tratto del territorio comunale di Pavia. Lo studio dell'Università di Pavia trascura quindi il rigurgito di Po, pur assumendo una piena di riferimento di portata superiore (TR 200 anni; $Q = 2.514 \text{ m}^3/\text{s}$).

Come già anticipato, l'evento alluvionale dell'ottobre 2000 (con portata al colmo di $2.646 \text{ m}^3/\text{s}$ e concomitante piena eccezionale di Po) ha fatto registrare la massima altezza idrometrica raggiunta a Pavia (sezione al Ponte Coperto) dal 1868, a partire dalla regolazione del Lago Maggiore e dal conseguimento dell'attuale assetto idraulico del Ticino; è quindi significativa per la definizione della pericolosità e rischio idraulico, anche perché ha causato allagamenti per rigurgito dei corsi d'acqua minori (Ticinello e Vernavola), della falda e delle fognature, non considerati nelle simulazioni idrauliche del PAI. L'altezza idrometrica raggiunta in questo evento è inoltre perfettamente confrontabile con quella definita dal PAI per la piena di riferimento (63,71 m s.l.m. effettivamente verificatasi rispetto a 63,70 m s.l.m. calcolata dal PAI), pur avendo registrato una portata ($2.646 \text{ m}^3/\text{s}$) sensibilmente superiore (+15%) rispetto a quella di riferimento del PAI ($2.300 \text{ m}^3/\text{s}$). Alla luce di tali considerazioni, in concomitanza del transito del colmo della piena del 17 ottobre 2000 sono quindi stati eseguiti rilievi in campo di dettaglio per cartografare le aree direttamente inondate, esondate, allagate o comunque interessate da anomali innalzamenti del livello idrometrico e/o piezometrico, utilizzando come base cartografica l'aerofotogrammetrico comunale in scala 1/2000. Tale base cartografica si è rilevata di estremo dettaglio e precisione sia per quanto riguarda l'assetto morfologico e l'andamento delle rotture di pendenza, sia per le quote assolute del piano campagna. Tali rilievi sono stati quindi assunti come riferimento sia per la locale ridelimitazione a scala comunale delle Fasce Fluviali, riportata in TAV. 5, ai sensi del comma 3, art. 27 delle N.d.A. del PAI e in conformità alla lettera b), par. 5.1.1.1 in Parte 2 dell'All. A alla D.G.R. n. 7374/2008. Le successive verifiche idrauliche (vedi successivo par. 3.9) hanno fornito un'ulteriore conferma alle delimitazioni effettuate.

Oltre a documentazioni fotografiche inerenti la massima piena dell'ottobre 2000 e la magra eccezionale del febbraio 2002 (superata di 7 cm da quella del luglio 2003), sempre in TAV. 5 sono inoltre riportate alcune foto che evidenziano l'allagamento delle zone golenali in sponda sinistra Ticino, nelle zone di C.na Francana e loc. Carolina durante l'evento di piena del 20/03/1991: è evidente, in tali situazioni, che gli allagamenti interessano vecchi tracciati abbandonati del F. Ticino, ora occupati dalla Vernavola.



3.8.1 Valutazione del rischio idraulico nelle aree edificate in Fasce A e B

3.8.2 Introduzione

Come richiesto dall'allegato 4 alla D.G.R. 28 maggio 2008, n. VIII/7374, la valutazione di compatibilità idraulica delle previsioni urbanistiche e delle proposte di uso del suolo nelle aree a rischio idraulico, deve comportare, in particolare per il caso in esame, la valutazione delle condizioni di rischio nei territori classificati in Fascia A e B ricadenti all'interno dei centri edificati, ai sensi dell'art. 39, comma 2, delle NdA del PAI.

Come richiesto dalla D.G.R. sopra richiamata, si sono definite le aree allagate in occasione di un evento di piena caratterizzato dal tempo di ritorno pari o superiore a 200 anni (come si vedrà nel seguito l'analisi è stata eseguita utilizzando il valore di portata della piena dell'anno 2000 che risulta avere un tempo di ritorno superiore, seppur di poco, alla piena duecentennale).

La valutazione del livello di rischio nelle aree interne alle fasce A e B e ricadenti all'interno del centro edificato è stata effettuata in funzione delle combinazioni della velocità U della corrente (m/s) e del tirante idraulico h (m) all'interno delle zone di interesse, secondo il grafico riportato nella Fig. 4 dell'allegato 4 dei Criteri attuativi della L.R. 12/05 di cui alla D.G.R. 28 maggio 2008, n. VIII/7374 (vedi successivo paragrafo 3.9.4.4).

3.8.3 Dati plano-altimetrici di riferimento

La base cartografica adottata dal PAI per l'area di interesse è la più recente CTR della Regione Lombardia in scala 1:10.000 aggiornata al 1994.

Per l'analisi idraulica è stato utilizzato il rilievo aerofotogrammetrico in scala 1:2.000 del comune di Pavia che ha il pregio di essere ben più dettagliato per densità di punti quotati, più aggiornato, ecc..

La carta aerofotogrammetrica comunale è stata utilizzata sia per estendere le sezioni trasversali al di fuori dell'alveo inciso, sia per delimitare le aree allagabili per la piena di riferimento.

Le sezioni trasversali d'alveo utilizzate per la costruzione del modello geometrico del fiume Ticino sono state desunte dallo studio idraulico eseguito dal Dipartimento di Ingegneria Idraulica e Ambientale dell'Università di Pavia per conto del Parco del Ticino.



S.G.P.

Le sezioni topografiche sono state rilevate, per lo più, tra sponda e sponda dell'alveo e forniscono, quindi, la geometria dell'alveo necessaria per la simulazione idraulica.

Tuttavia, per la valutazione degli effetti indotti sul territorio circostante dal passaggio della piena è necessario avere a disposizione una migliore definizione delle zone esterne all'alveo inciso; per questa ragione le sezioni rilevate sono state estese al di fuori dell'alveo utilizzando le informazioni plano-altimetriche desunte dalla cartografia aerofotogrammetrica comunale.

Questa operazione è stata preceduta dalla valutazione di congruenza tra il rilievo topografico delle sezioni e l'aerofotogrammetria comunale: sono, cioè, stati confrontati punti comuni per verificare l'esistenza di eventuali differenze di quote e adattate le quote delle sezioni topografica dove queste differenze sono emerse (le differenze sono comunque di ordine ridotto, al massimo di qualche decimetro).

3.8.4 Piena di riferimento

Delle piene storicamente registrate nel Ticino si prende in esame la piena dell'ottobre 2000, che è stata adottata quale valore di riferimento per la verifica delle condizioni di rischio.

Come già anticipato, la piena dell'ottobre 2000 è stata caratterizzata dal massimo della portata in arrivo pari a 2.646 m³/s registrata nel secolo scorso e nello scorcio di questo (misurata alla diga della Miorina) e contemporaneamente da uno dei massimi valori di altezza idrica alla confluenza con il Po al ponte della Becca dal 1926, pari a 62,91 m s.l.m. (+7.81 m sullo zero idrometrico uguale a 55,10 m s.l.m.).

Al ponte coperto è stata misurata un'altezza massima di 63,71 m s.l.m. (+6.1 m sullo zero idrometrico), di 1 cm superiore rispetto al profilo della piena di riferimento del PAI, quindi perfettamente paragonabile altimetricamente per la perimetrazione delle aree esondate, peraltro rilevate direttamente sul terreno in concomitanza del transito del colmo della piena (vedi TAV. 5 e precedente par. 3.8).

L'effetto combinato della piena propria di Ticino e del notevole rigurgito provocato dal Po ha prodotto esondazioni e allagamenti diffusi e anche di notevole entità in diverse zone della città (vedi TAV. 5).

La portata massima per il tempo di ritorno 200 anni riportato nella tabella 8 della "Direttiva sulla piena di progetto da assumere per le progettazioni e le verifiche di compatibilità idraulica" è uguale a 2.300 m³/s.



S.G.P.

Come si vedrà successivamente, alla portata registrata nel corso della piena del 2000 può essere associato un tempo di ritorno di poco superiore a 200 anni.

Si è quindi scelto di adottare la portata della piena del 2000 per eseguire la verifica del rischio idraulico nelle aree ricomprese nelle Fasce A e B del PAI come definite al precedente paragrafo 3.8 e riportate in TAV. 5.

Alla portata al colmo registrata nel 2000 è stato associato una probabilità di non superamento (e quindi un tempo di ritorno) mediante l'analisi statistica dei massimi annuali misurati.

Nella tabella A della pagina seguente sono riportate le osservazioni di portata utilizzate per l'analisi statistica dei massimi.

Il calcolo del tempo di ritorno della portata di piena dell'anno 2000 e della portata con assegnato tempo di ritorno (200 anni) è stato eseguito utilizzando tre distribuzioni di probabilità a due parametri: la legge Log-normale, la legge di Gumbel e la legge Gamma.

La scelta della distribuzione di probabilità è stata fatta mediante il test statistico di Pearson (o del χ^2).

Il test è stato qui utilizzato per determinare tra diverse distribuzioni di probabilità quale sia quella che si adatta meglio al campione di osservazioni disponibile.

La distribuzione di probabilità che si adatta meglio al campione è quella per la quale risulta più basso il valore del parametro c_2 ; nel nostro caso è risultata la legge Gamma a due parametri (vedi Fig. 1 di seguito riportata).

Da tale grafico si può evincere il buon grado di adattamento della funzione di probabilità scelta alle osservazioni di portata.

La portata registrata in occasione della piena del 2000, il cui valore è $2.646 \text{ m}^3/\text{s}$, ha un tempo di ritorno di pochissimo superiore a 200 anni (pari a circa 206 anni); la portata duecentennale è risultata uguale a $2.639,1 \text{ m}^3/\text{s}$.



S.G.P.

anno	Q (m ³ /s)	anno	Q (m ³ /s)	anno	Q (m ³ /s)
1921	775.2	1947	758.0	1973	1261.2
1922	770.1	1948	1320.0	1974	628.9
1923	1235.7	1949	804.0	1975	1330.1
1924	1369.6	1950	826.0	1976	1555.4
1925	1174.0	1951	1900.0	1977	1902.0
1926	1948.5	1952	864.0	1978	1163.1
1927	1112.3	1953	1370.0	1979	1984.5
1928	2176.7	1954	1260.0	1980	723.5
1929	613.1	1955	1120.0	1981	2115.8
1930	1061.0	1956	1210.0	1982	1047.4
1931	703.8	1957	1330.0	1983	1802.9
1932	1194.5	1958	985.0	1984	934.2
1933	1246.0	1959	830.0	1985	989.6
1934	977.0	1960	1530.0	1986	1692.2
1935	1510.0	1961	809.0	1987	1458.9
1936	1180.0	1962	644.0	1988	1467.0
1937	1220.0	1963	1690.0	1989	855.0
1938	911.0	1964	862.0	1990	756.0
1939	1700.0	1965	1480.0	1991	1582.0
1940	1350.0	1966	1110.0	1992	960.0
1941	1150.0	1967	946.0	1993	2416.0
1942	1500.0	1968	1870.0	1994	1161.0
1943	770.0	1969	1010.0	1995	710.0
1944	935.0	1970	733.0	1996	1527.0
1945	1050.0	1971	758.7	1997	1172.0
1946	997.0	1972	1028.8	2000	2646.0

Tab. A. Massimi annuali della portata al colmo misurati alla sezione della Miorina.

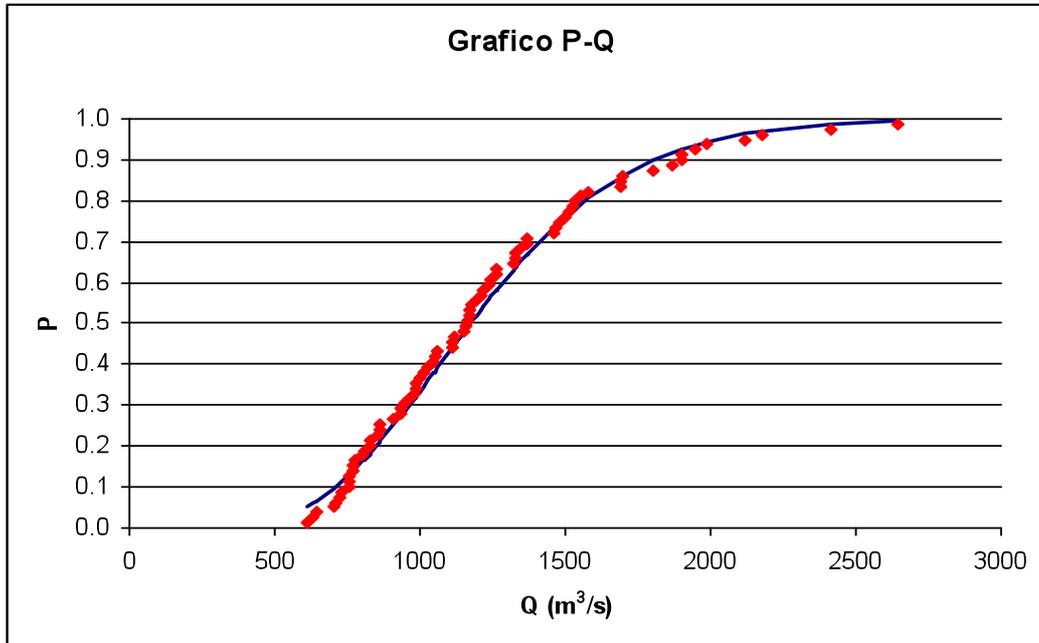


Fig. 1. Distribuzione dei massimi annuali della portata al colmo misurati alla sezione della Miorina: funzione di probabilità Gamma a due parametri.

Legenda

linea continua blu: funzione di probabilità calcolata

punti in rosso: valori misurati dei massimi annuali della portata al colmo

Nella tabella B sono riassunti i risultati del calcolo probabilistico. Sono riportati sia i valori delle portate con assegnato tempo di ritorno calcolati non inserendo tra le misure registrate dei massimi annuali il valore del 2000 (condizione 1) che quelli ottenuti inserendo tra le osservazioni la portata registrata nel 2000 (condizione 2).

Si nota che il valore della portata aggiunto nella condizione 2, fa aumentare in modo consistente la portata relativa al tempo di ritorno di 200 anni.

La simulazione idraulica così come la verifica del rischio sono state effettuate utilizzando la portata al colmo della piena del 2000.



Senza il 2000					
Gumbel		Lognormale		Gamma	
X^2	Q(200)	X^2	Q(200)	X^2	Q(200)
14.753	2707.8	14.753	2669.2	12.026	2513.6
Con il 2000					
Gumbel		Lognormale		Gamma	
X^2	Q(200)	X^2	Q(200)	X^2	Q(200)
13.154	2832.5	9.308	2814.9	8.154	2639.1

Tab. B. Risultati del calcolo probabilistico per la stima delle portate di piena duecentennale e per la stima del tempo di ritorno della portata della piena 2000. Le portate sono in m³/s.

3.8.5 Simulazione idraulica

3.8.5.1 *Generalità*

La simulazione idraulica è stata eseguita definendo il profilo di moto permanente tramite il quale si ricava il livello del pelo libero dell'acqua e tutte le altre grandezze idrauliche (velocità media della corrente, energia specifica rispetto al fondo, numero di Froude, ecc.).

In particolare, la conoscenza del livello del pelo libero permette di calcolare le aree allagabili per quella data portata.

La simulazione è stata limitata al tratto compreso tra il ponte della Becca e il ponte Coperto in corrispondenza del quale si ha la misura registrata del livello della piena del 2000.

In relazione alle situazioni al contorno evidenziate in precedenza in merito alle caratteristiche delle piene fluviali a Pavia (vedi precedenti paragrafi da 3.3 a 3.6), i risultati ottenuti, tutti confrontabili soprattutto per ciò che riguarda le velocità della corrente nelle zone allagate, sono da ritenere estendibili anche alle sezioni di monte del ponte Coperto, ancora comprese all'interno del territorio comunale, senza discrepanze apprezzabili e tali da non invalidare il criterio morfologico adottato per la delimitazione delle Fasce fluviali di cui alla TAV. 5 e precedente par. 3.9, peraltro suffragate da riscontri diretti sul terreno durante il colmo della piena di riferimento e quindi particolarmente affidabili.



S.G.P.

La simulazione idraulica è stata condotta utilizzando un modello numerico alle differenze finite, che è stato implementato attraverso il codice di calcolo HEC-RAS versione 3.1.3 dello U.S. Army Corps of Engineers.

Le operazioni sono state svolte descrivendo lo sviluppo longitudinale dell'alveo con le dovute informazioni topografiche (cfr. par. 3.9.2) e idrologiche (cfr. par. 3.9.3) e caratterizzando le sezioni con i necessari parametri fisici (scabrezza delle sponde, coefficienti di contrazione ed espansione della corrente, ecc.).

Il calcolo è stato eseguito e controllato sulla base dei sopralluoghi eseguiti che hanno permesso di valutare in modo più accurato le caratteristiche plano-altimetriche della zona d'indagine, altresì confermando quanto direttamente osservato sul terreno durante il colmo della piena del 2000.

Infatti, tale calcolo, pur non essendo stato assunto come riferimento nel tracciamento dei limiti delle Fasce fluviali di cui alla TAV. 5 e precedente par. 3.8, di fatto porta a risultati coincidenti, a ulteriore conferma della validità di entrambi i metodi adottati (morfologico e modellistico), pur ritenendo maggiormente attendibile la verifica diretta sul terreno di cui al criterio morfologico effettuata durante il colmo della piena di riferimento, comunque congruente con i risultati della simulazione modellistica, soprattutto grazie al dettaglio delle informazioni topografiche disponibili.

3.8.5.2 Condizioni al contorno

Per eseguire il calcolo idraulico è risultato necessario schematizzare il comportamento dell'alveo nel tratto in esame, classificandolo come alveo a debole oppure a forte pendenza. Si ricorda a questo proposito che si è soliti considerare con certezza un alveo a forte pendenza quando la pendenza del fondo è maggiore o uguale al 10% e a debole pendenza quando la pendenza del fondo è minore od uguale all'0,1 %.

Il fiume Ticino nel tratto esaminato ha una pendenza media inferiore allo 0,2 ‰ (com'è del tutto normale e ovvio che sia per alvei di pianura) e quindi rientra nel campo degli alvei a debole pendenza.

Di conseguenza, è stato possibile svolgere i calcoli considerando un'unica sezione di controllo che, in questo caso, va cercata a valle.



S.G.P.

Nella sezione di valle (sezione S1), posta in corrispondenza della confluenza tra il fiume Ticino e il fiume Po al ponte della Becca, è stata imposta l'altezza d'acqua relativa alla condizione di piena che si sta esaminando.

Le altezze d'acqua riferite all'idrometro della Becca sono state adeguate in quota alla cartografia aerofotogrammetrica di Pavia.

Il valore dell'altezza assoluta del pelo libero per la portata al colmo dell'evento di piena del 2000 è stato tratto dalla relazione preliminare sull'andamento di questo evento a cura dell'Ufficio di Piena dell'AIPO; in questa relazione sono riportate le altezze relative alle maggiori piene dal 1926 al 2002.

Durante la piena del 2000 è stato misurato il livello massimo di 7,81 m rispetto allo zero idrometrico (52,10 m s.l.m.) e, quindi, una quota assoluta uguale a 62,91 m s.l.m.; Tale valore è risultato tra i massimi registrati nel periodo come si può desumere dalla tabella C seguente.

STAZIONE	ANNO					LIVELLO DI GUARDIA
	1926	1951	1994	2000	2002	
BECCA	7.88	7.85	7.60	7.81	4.96	4.50

Tab. C. Livello idrometrici misurati alla stazione del Ponte della Becca nel periodo 1926-2002. Lo zero idrometrico è uguale a 52,10 m s.l.m. (Fonte: Ufficio Coordinamento Servizio di Piena dell'AIPO).

La condizione al contorno di monte è data dalla portata immessa nella sezione di monte variabile solo in funzione del tempo di ritorno o della situazione analizzata.

Come visto, la portata misurata nel corso della piena del 2000 è di 2.646 m³/s.

La piena del 2000 risulta, quindi, essere quella con la massima portata in arrivo e uno tra i valori massimi del livello nella sezione di valle.

La simulazione di questa condizione è sicuramente rappresentativa delle condizioni più gravose per l'area in esame.



3.8.5.3 Scabrezza

La scabrezza dell'alveo, come viene fatto usualmente, è stata definita attraverso il coefficiente di resistenza di Manning n . Il valore del coefficiente di scabrezza è stato imposto variabile lungo la sezione trasversale. Per la parte incisa della sezione (alveo vero e proprio) è stato imposto il valore del coefficiente di Manning uguale a $0,08 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$; nelle aree esterne golenali è stato assunto il valore di $0,1 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$. Questi valori del coefficiente di Manning sono stati ricavati in seguito di un processo di taratura volto all'ottenimento di tiranti idrici calcolati con HEC-RAS il più vicino possibile alle osservazioni effettuate durante l'evento di piena di ottobre 2000. Risulta evidente come il coefficiente di scabrezza assuma un valore anche finalizzato all'ottenimento di risultati in linea con la situazione osservata nel 2000 senza, tuttavia, perder di validità fisica.

3.8.5.4 Risultati delle simulazioni

Si riportano i risultati delle simulazioni di moto permanente monodimensionale effettuate lungo il tratto di Ticino compreso tra il ponte della Becca (sezione S1) e la sezione poco a monte della confluenza del Naviglio Pavese (sezione S9). Le simulazioni hanno fornito, tra le altre grandezze, le altezze d'acqua e le velocità nelle diverse sezioni trasversali, sia in alveo, sia fuori alveo.

Nella seguente tabella D sono riportati i risultati del modello di calcolo per la piena del 2000 (si ricorda che a questa piena si può associare il tempo di ritorno di poco superiore ai 200 anni).

SEZ.	Z_f (m s.l.m.)	L (m)	Z_w (m s.l.m.)	h (m)	H (m s.l.m.)	V (m/s)	A (m ²)	B (m)	Fr
9	49.54	6840	62.00	12.46	62.01	0.61	5204	1189	0.06
8	44.85	6215	61.94	17.09	61.95	0.59	6033	1734	0.06
7	50.31	5555	61.89	11.58	61.90	0.45	8673	2175	0.04
6	50.84	4720	61.86	11.02	61.86	0.31	11496	2566	0.03
5	50.15	3485	61.78	11.63	61.80	0.59	4175	851	0.06
4	45.63	2550	61.55	15.92	61.61	1.11	2341	563	0.11
3	48.06	1695	61.34	13.28	61.37	0.81	2501	255	0.08
2	49.30	860	61.22	11.92	61.23	0.62	4080	679	0.06
1	49.95	0	61.13	11.18	61.14	0.50	4586	692	0.05

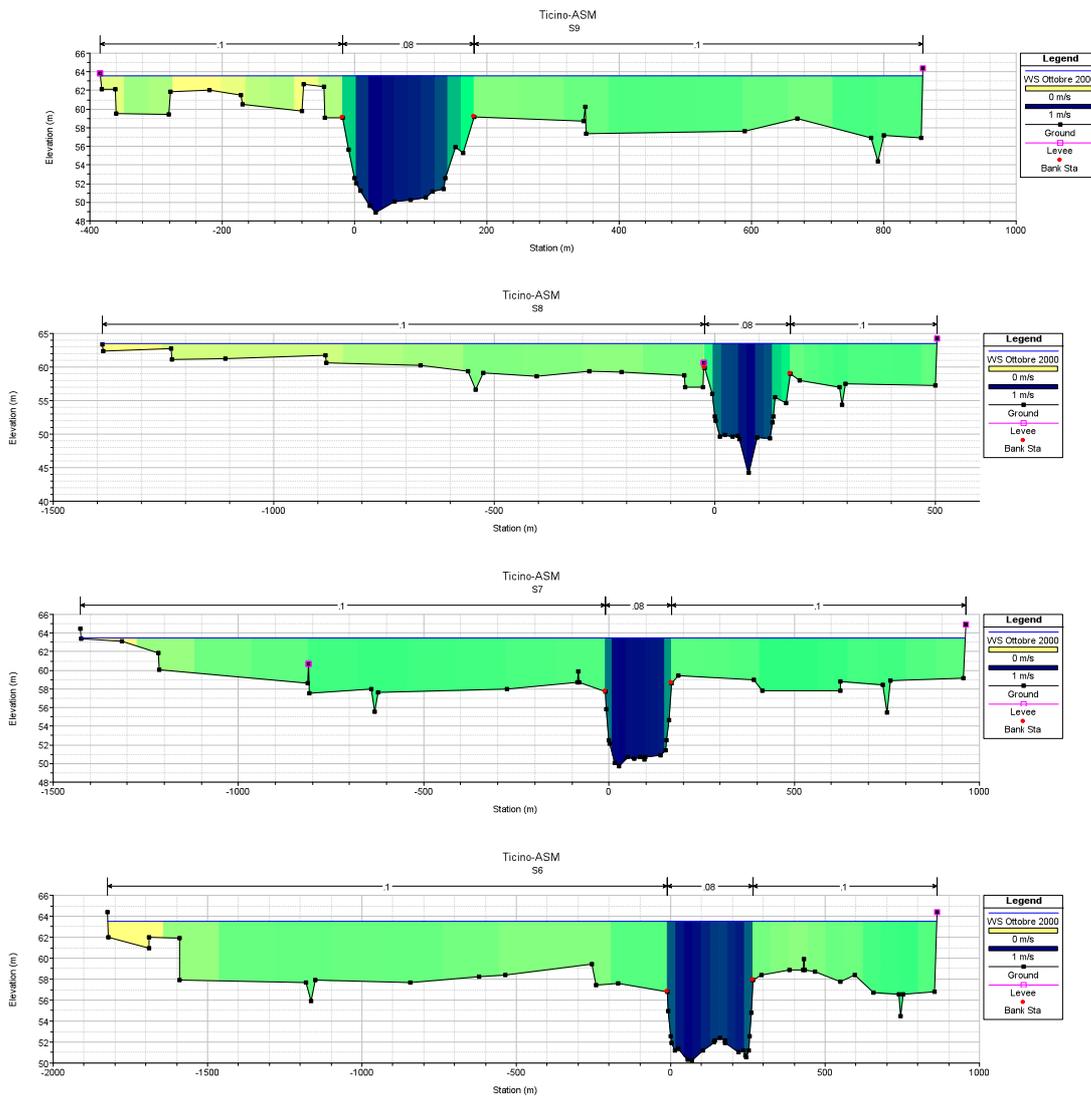
Tab. D. Risultati della simulazione idraulica di moto stazionario per la piena registrata nel 2000. Portata al colmo = $2.646 \text{ m}^3/\text{s}$. **Legenda:** Z_f : quota di fondo; L : distanza progressiva; Z_w : quota del pelo libero; h : tirante idrico è uguale a $Z_w - Z_f$; H : carico assoluto; A : area bagnata; B : larghezza superficiale; Fr : numero di Froude.

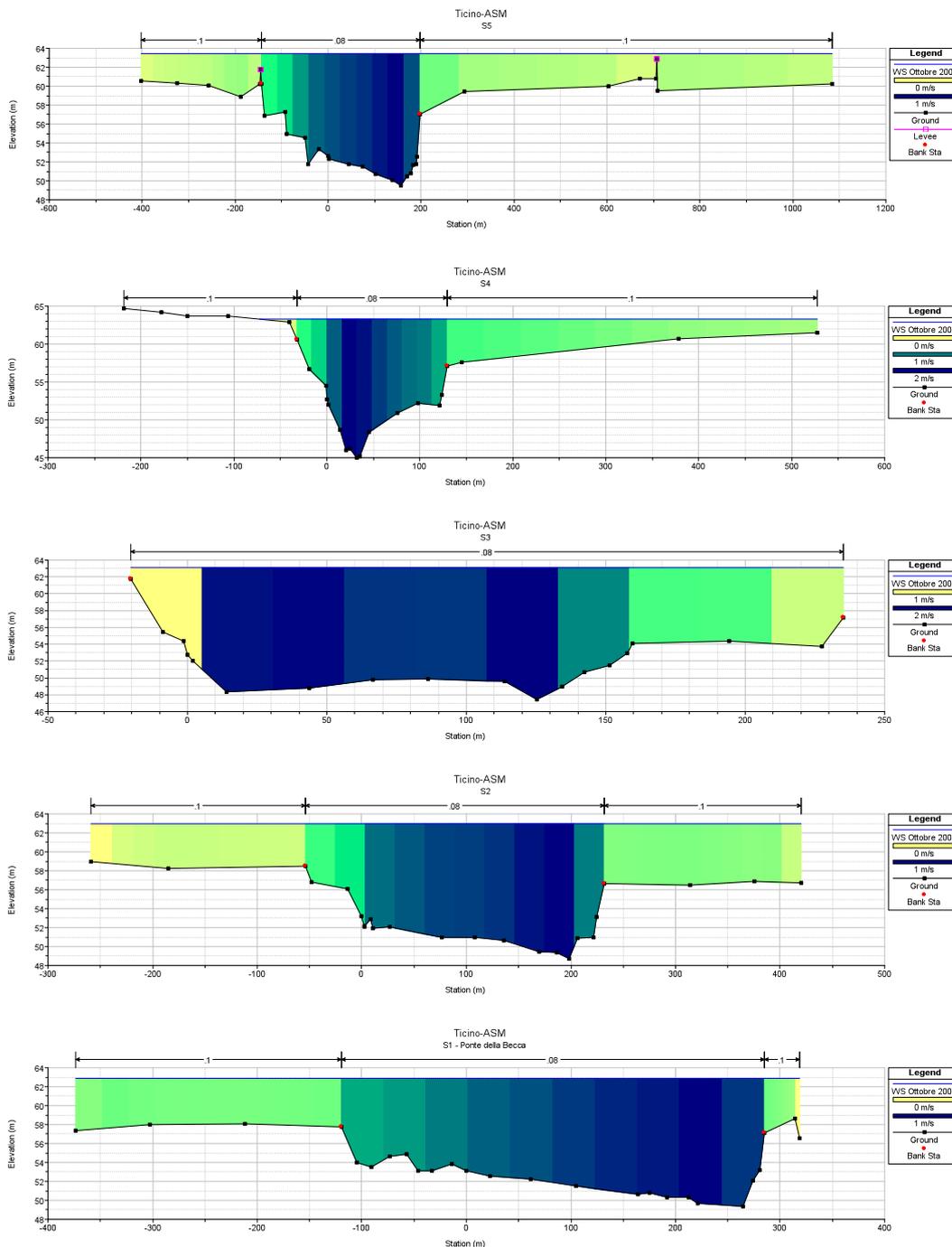


S.G.P.

Di seguito sono riportate le sezioni di calcolo con i rispettivi livelli del pelo libero e la distribuzione trasversale della velocità per la piena del 2000, che raggiunge i valori massimi di 1 m/s solo circa a cavallo del talweg, in pieno alveo attivo di magra.

Le velocità della corrente fuori alveo è infatti risultata sempre inferiore a 1 m/s, come si evince dalle figure esemplificative di seguito riportate, anche se il tirante raggiunge valori superiori ai 2 metri.



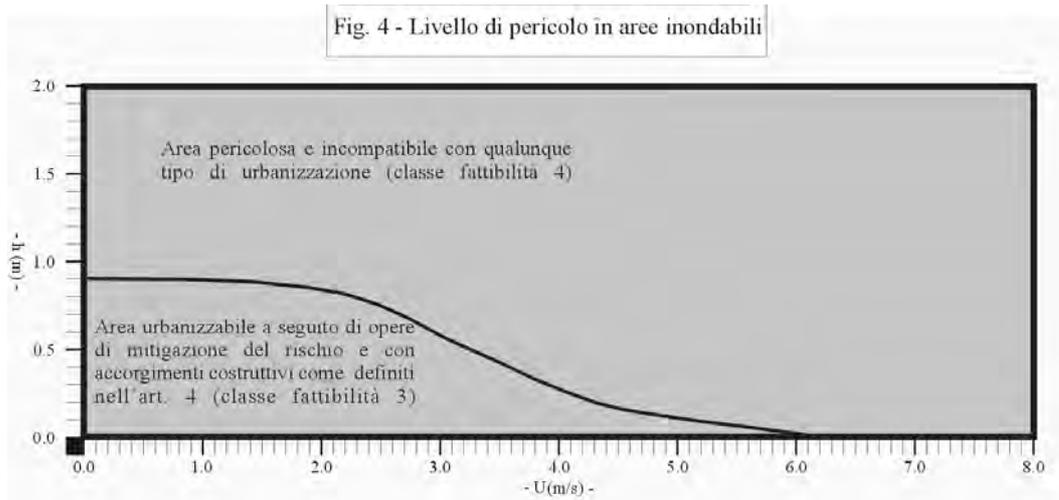


Le classi di rischio idraulico da assegnare ai territori interni alle fasce A e B e ricompresi nel centro edificato risultano in conclusione definiti dal solo valore del tirante idrico. Il valore delle velocità media della corrente esterna all'alveo attivo del



S.G.P.

fiume è tale che la distinzione tra le classi di rischi R4 e R3 (rispettivamente da inserire in classi di fattibilità 4 e 3) risulta indipendente dalla velocità della corrente all'interno delle predette aree interne alle fasce PAI, come si evince dalla seguente Fig. 4 dell'allegato 4 dei Criteri attuativi della L.R. 12/05 di cui alla D.G.R. 28 maggio 2008, n. VIII/7374.



3.8.5.5 *Attribuzione delle classi di rischio*

In funzione di quanto esposto in precedenza, per le aree edificate con continuità, compresi i lotti interclusi ed escluse le aree libere di frangia (perimetro fornito dal Comune di Pavia) ricadenti all'interno delle Fasce A e B come definite al precedente par. 3.8 e cartograficamente riportate in TAV. 5, si è provveduto, sottraendo al DTM del profilo di piena quello del terreno, calcolare per ogni zona esaminata il tirante idrico e classificando il rischio in R3 (in classe di fattibilità 3) o R4 (in classe di fattibilità 4) rispettivamente le aree esondabili dalla piena di riferimento (di fatto coincidenti con il caso effettivamente verificatosi durante il colmo della piena del 2000) in cui il tirante idrico è risultato inferiore o superiore a 0,9 m, essendo la velocità della corrente fuori alveo risultata inferiore sempre inferiore a 1 m/s (vedi Fig. 4 dell'allegato 4 dei Criteri attuativi della L.R. 12/05 di cui alla D.G.R. 28 maggio 2008, n. VIII/7374, riportata in precedenza).

Le verifiche e i sopralluoghi in campo durante l'evento eccezionale del 2000 hanno perfettamente confermato le simulazioni effettuate.

La classificazione adottata per il rischio (R3 o R4) e la conseguente attribuzione della classe di fattibilità geologica (3 o 4) in ottemperanza a quanto definito in merito dalla



S.G.P.

citata D.G.R. e cartograficamente riportate negli elaborati cartografici specifici allegati è la seguente:

Classe di rischio idraulico R3 (elevato, per il quale sono possibili problemi per l'incolumità delle persone, danni funzionali agli edifici e alle infrastrutture con conseguente inagibilità degli stessi e l'interruzione delle attività socio economiche, danni al patrimonio culturale), con tirante idrico per la piena di riferimento inferiore a 0,9 m e velocità della corrente inferiore a 1 m/s; classe di fattibilità 3.

Classe di rischio idraulico R4 (molto elevato, per il quale sono possibili la perdita di vite umane e lesioni gravi alle persone, danni gravi agli edifici e alle infrastrutture, danni al patrimonio culturale, la distruzione di attività socio economiche), con tirante idrico per la piena di riferimento superiore a 0,9 m e velocità della corrente inferiore a 1 m/s; classe di fattibilità 4.

Occorre precisare che la valutazione eseguita ha considerato, nel suo calcolo, le quote del piano campagna e non di quelle eventualmente libere al deflusso della piena nel caso di manufatti presenti su pilotis⁷; questa situazione, insieme a quelle relative alle zone ove i rilievi durante il colmo della piena del 2000 avevano evidenziato allagamenti indiretti (rigurgiti, ecc.), sono state considerate nell'attribuzione delle classi di fattibilità e nella definizione delle relative norme specifiche per tali particolari situazioni.

⁷ Un caso particolare è costituito dall'Idroscalo, edificio su pilotis ora abbandonato e fatiscente, che rappresenta uno tra i primi e più importanti esempi a Pavia di architettura razionalista. Fu costruito in sponda idrografica sinistra del Ticino lungo il Lungo Ticino Sforza nel 1925-26 e inaugurato da Benito Mussolini il 1° aprile 1926, per costituire un punto di rifornimento per gli idrovolanti lungo la tratta Torino-Venezia. Fu progettato da Giuseppe Pagano Pogatschnig per conto della Società Italiana Servizi Aerei di Trieste e poi funzionò anche come smistamento per posta e merci da e per Milano. Pur insistendo planimetricamente su pilotis in Fascia Fluviale A, ha la superficie inferiore della soletta poggiate sui pilotis e piano di calpestio già superiori alla quota di sicurezza di 63,80 m s.l.m., che durante eventi di piena confrontabili con quella di riferimento non hanno interferito negativamente sulla dinamica e deflusso del corso d'acqua (vedi foto di pagina successiva).



S.G.P.



Foto panoramica aerea storica dell'Idroscalo (fonte sito web Wikipedia)



Dettaglio dell'Idroscalo (fonte sito web Wikipedia). Costruito su pilotis negli anno '20, insiste planimetricamente in Fascia fluviale A del Pai, ma sia la basse della soletta su pilotis che il piano capestabile, risultano, come evidenziato in foto, ad un quota ben superiore del piano stradale di Lungo Ticino Visconti, non inondabile e superiore all'altezza idrometrica della piena di riferimento.



3.8.5.6 *Contenuti della TAV. 5*

Si ritiene opportuno riportare quanto evidenziato in merito a questi aspetti nella TAV. 5 (fase di analisi), i cui contenuti sono stati ripresi nelle fasi di sintesi/valutazione e di proposta.

FASCE FLUVIALI (desunte dal Piano per l'Assetto Idrogeologico - PAI approvato con D.P.C.M. 24/05/2001, localmente ridefinite ai sensi del comma 3, art. 27 delle N.d.A. del PAI e in conformità alla lettera b), par. 5.1.1.1 in Parte 2 dell'All. A alla D.G.R. n. 7374/2008):

Limite della Fascia A, corrispondente a quella di deflusso della piena, che è costituita dalla porzione di alveo che è sede prevalente del deflusso della corrente per la piena di riferimento (tempo di ritorno di 200 anni), ovvero dall'insieme delle forme fluviali riattivabili durante gli stati di piena.

Limite della Fascia B, corrispondente a quella di esondazione ed esterna alla precedente o coincidente (in questo caso è riportato il solo limite della Fascia B), che è costituita dalla porzione di territorio interessata da inondazione al verificarsi della piena di riferimento; il limite di tale fascia si estende fino al punto in cui le quote naturali del terreno sono superiori ai livelli idrici corrispondenti alla piena di riferimento, ovvero sino alle opere idrauliche esistenti o programmate di controllo delle inondazioni.

Ubicazione delle sezioni di calcolo idraulico del PAI e relativa quota idrometrica in m s.l.m. della piena di riferimento (TR = 200 anni). La piena dell'ottobre 2000 ha raggiunto livelli idrometrici superiori, di ordine centimetrico, rispetto a tale piena di riferimento. I rilievi sul terreno durante il colmo della piena dell'ottobre 2000, effettuati su base aerofotogrammetrica in scala 1/2.000, hanno consentito le zonizzazioni sopra riportate.

UNITA' MORFOLOGICO-IDRAULICHE

- 1 Alveo inciso del F. Ticino, comprensivo di isole fluviali e barre laterali (alluvioni attuali a prevalenza ghiaiosa, in Fascia A).
- 2 Aree golenali inondabili in caso di piena ordinaria o leggermente superiore (in Fascia A).
- 3 Aree inondabili anche in caso di piene non del tutto eccezionali, con raggiungimento dei tiranti idrici massimi in concomitanza del colmo della piena di riferimento (in Fascia A o B).



- 4 Aree inondabili o allagabili nel caso di piene del tutto eccezionali o per rotture/sormonti arginali:
 - a golene chiuse, con argini sormontabili, e ripiani golenali debolmente sopraelevati rispetto alla unità precedente, entrambi in condizioni morfologico-idrauliche di Fascia A o B;
 - b aree ex golenali protette dall'argine maestro (Siccomario): B = in Fascia B; C = in Fascia C (di inondazione per piena catastrofica).
- 5 Aree esterne alle Fasce Fluviali A e B, comunque allagabili nel caso di piene del tutto eccezionali per rigurgito dei corsi d'acqua minori o per cause indirette con modesti valori di velocità e tiranti idrici (condizioni morfologico-idrauliche confrontabili con quelle definite per la Fascia C):
 - a ripiani localmente allagabili per rigurgito dei corsi d'acqua minori (zona dello sbocco delle valli della Vernavola e del Navigliaccio in quella del Ticino) e aree allagabili per rigurgiti di scarichi o del reticolo idrico minore e/o per anomali innalzamenti della falda. Sono comprese in questa unità anche le aree soggette a saturazioni prossime al piano campagna e/o ad allagamenti di cantine e seminterrati in concomitanza di piene rilevanti o comunque allagabili o allagate durante la piena dell'ottobre 2000;
 - b golene dei corsi d'acqua minori (Vernavola e Navigliaccio).

VALUTAZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO ALL'INTERNO DELLE AREE EDIFICATE OVE RICADENTI NELLE FASCE FLUVIALI A E B

Aree edificate con continuità, compresi i lotti interclusi ed escluse le aree libere di frangia.

Classe di rischio idraulico R3 (elevato, per il quale sono possibili problemi per l'incolumità delle persone, danni funzionali agli edifici e alle infrastrutture con conseguente inagibilità degli stessi e l'interruzione delle attività socio economiche, danni al patrimonio culturale), con tirante idrico per la piena di riferimento inferiore a 0,9 m e velocità della corrente inferiore a 1 m/s; classe di fattibilità 3.

Classe di rischio idraulico R4 (molto elevato, per il quale sono possibili la perdita di vite umane e lesioni gravi alle persone, danni gravi agli edifici e alle infrastrutture, danni al patrimonio culturale, la distruzione di attività socio economiche), con tirante idrico per la piena di riferimento superiore a 0,9 m e velocità della corrente inferiore a 1 m/s; classe di fattibilità 4.



S.G.P.

ULTERIORI ELEMENTI DI INTERESSE IDRAULICO

Situazioni puntuali (a), lineari (b) o areali diffusi (c) ove possono verificarsi locali allagamenti connessi a rigurgiti di scarichi, anomali innalzamenti della falda, ecc. (in carta sono evidenziati alcuni dei più evidenti fenomeni verificatisi a tergo dei Viali Lungo Ticino Visconti e Sforza nel corso delle piene del novembre 1994 e ottobre 2000, alcune situazioni puntuali in corrispondenza delle quali saltuariamente si verificano allagamenti in concomitanza di eventi meteorici particolarmente intensi). Sono inoltre cartografate le principali situazioni segnalate da ASM Pavia ove sono note criticità analoghe connesse a: forti temporali; presenza di bocche di lupo inadeguate o temporaneamente rese tali (otturabili a seguito di pulizia strade, foglie caduche, sovra-asfaltature, ecc.), allagamenti in zone non esondabili direttamente durante piene del Ticino ma allagabili in concomitanza di queste; rigurgiti da fognature per sottodimensionamento reti.

Strettoia artificiale dell'alveo del F. Ticino.

Reticolo idrico superficiale.

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

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.

Punti di ripresa fotografica.

Come anticipato, la TAV. 5 é inoltre corredata da riprese fotografiche significative di situazioni idrologiche eccezionali (piena dell'ottobre 2000 e magra del febbraio 2002), nonché da grafici e tabelle con dati sulle piene storiche e sulle simulazioni idrauliche.



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

3.9.1 Il “Piano speditivo comunale per il rischio di allagamenti determinati dalla piena del Ticino”

In funzione della relativamente elevata frequenza di esondazioni che interessano ampie zone del territorio comunale di Pavia, anche densamente abitate (zona del Borgo Basso, inondata mediamente con frequenza decennale, 2 volte negli ultimi 8 anni, nel 1994 e nel 2000), il Comune di Pavia si è dotato di uno specifico “Piano speditivo comunale per il rischio di allagamenti determinati dalla piena del Ticino”, approvato con provvedimento deliberativo n. 508 del 21/12/1995 e di un apposito Servizio di Protezione Civile Comunale.

Il “Piano speditivo comunale per il rischio di allagamenti determinati dalla piena del Ticino” individua, per le zone esondabili, le località interessabili, il numero di nuclei abitativi e di abitanti, gli edifici a ricettività intensiva, le abitazioni con persone non autosufficienti, i complessi produttivi ad alto rischio, gli allevamenti di bestiame. Inoltre, individua gli interventi operativi di allertamento o allarme e definisce i compiti operativi delle strutture comunali di Protezione Civile in Emergenza, secondo il "Piano di Intervento in caso di esondazione del F. Ticino" in vigore presso il Comune di Pavia, integrato con le "Modalità di utilizzo dei mezzi di Protezione Civile" di cui alla Delibera di G.M. 2175/95 alla luce della L. 225 del 24/02/1992.

Il “Piano speditivo comunale per il rischio di allagamenti determinati dalla piena del Ticino” definisce le seguenti situazioni meteorologiche o idrometriche (vedi Graf. 2 in TAV. 5 e in appendice B), per le quali attivare procedure operative specifiche:

- allertamento, in caso di notizie dalla Prefettura di Pavia di possibilità o eventualità di situazioni critiche dal punto di vista meteorologico e, conseguentemente, idrometrico;
- preallarme: livello idrometrico al Ponte Coperto +2,2 sullo zero idrometrico del Ponte Coperto (59,81 m s.l.m., circa -1,4 metri rispetto alla quota di Via Milazzo all'imbocco da Piazzale Ghinaglia, la strada che delimita il Borgo Basso verso Ticino);



S.G.P.

- allarme: livello idrometrico al Ponte Coperto +3,6 sullo zero idrometrico del Ponte Coperto (61,21 m s.l.m., circa pari alla quota di Via Milazzo);
- emergenza: livello idrometrico al Ponte Coperto +4,0 sullo zero idrometrico del Ponte Coperto (61,61 m s.l.m., circa +0,4÷0,5 metri rispetto alla quota di Via Milazzo);
- emergenza per calamità: livello idrometrico al Ponte Coperto +4,5 sullo zero idrometrico del Ponte Coperto (62,11 m s.l.m., circa +1 metro rispetto alla quota di Via Milazzo).

Sulla base della disponibile serie storica delle piene del Ticino (vedi Graf. 1, Graf. 6 e Tab. 4 in Tav. 5 e appendice B):

- negli ultimi due secoli il livello idrometrico corrispondente alla situazione di allarme è stato superato 21 volte, quello di emergenza 20 volte e quello di emergenza per calamità 17 volte;
- nell'ultimo secolo il livello idrometrico corrispondente alla situazione di allarme è stato superato 9 volte, quello di emergenza e di emergenza per calamità 8 volte, di cui ben 2 volte negli ultimi 7 anni (novembre 1994 e ottobre 2000).

3.9.2 I programmi a breve termine dell'A.C. di Pavia in tema di Protezione Civile

Nei programmi a breve termine dell'Amministrazione Comunale di Pavia rientra la rivisitazione e l'aggiornamento dell'appena descritto "Piano speditivo comunale per il rischio di allagamenti determinati dalla piena del Ticino", alla luce delle esperienze maturate durante la piena dell'ottobre 2000 e sulla base delle risultanze del presente studio.

Essendo inoltre il territorio comunale interessato dalla delimitazione delle Fasce Fluviali del PAI, è obbligo del Comune predisporre specifici piani comunali di Emergenza e di Protezione Civile (art. 23 e comma 2, art. 31 delle NtA del PAI), anche in funzione delle disposizioni regionali in materia.

Nell'ambito di tali aggiornamenti, il Servizio di Protezione Civile Comunale é dotato, a livello sperimentale, di un sistema di preannuncio dei livelli del Ticino a Pavia messo a punto dal Dipartimento di Ingegneria Idraulica e Ambientale dell'Università di Pavia.



Le caratteristiche di tale sistema sono illustrate nel lavoro di Natale L. & Saltalippi C. (1998) (“*Sistema di preannuncio dei livelli del Ticino a Pavia*” in “La prevenzione delle catastrofi idrogeologiche: il contributo della ricerca scientifica”, Atti del Convegno - Alba, 5/7 Novembre 1996 - vol. 2, pagg. 501-510), al quale si rimanda e di cui si riprendono, nel paragrafo seguente, i contenuti essenziali.

Il modello a supporto del sistema di preannuncio dei livelli del Ticino a Pavia ha l'obiettivo di fornire agli enti decisori in tempo reale e con un debito preannuncio (6 ore), idoneo ad attivare le necessarie procedure di emergenza e le conseguenti attività di protezione civile, l'estensione e la localizzazione delle aree inondabili corrispondenti al superamento di preassegnati livelli idrometrici del fiume.

3.9.3 Lo sperimentale “Sistema di preannuncio dei livelli del Ticino a Pavia”

Come anticipato, ampie zone del territorio comunale di Pavia, anche densamente abitate (zona del Borgo Basso), posso essere inondate per una piena del Ticino o, più spesso, a causa di un elevato livello idrometrico del Po alla Becca, essendo Pavia soggetta al rigurgito del Po.

Al fine di prevedere con ragionevole anticipo una eventuale inondazione è stato realizzato un sistema di preannuncio in tempo reale dei livelli del Ticino al Ponte Coperto di Pavia, che elabora con diversi modelli di previsione dati acquisiti da più reti di rilevamento.

I modelli di previsione sono di tipo statistico; i parametri del modello di trasferimento dei livelli idrici sono stimati con procedura ricorsiva su una finestra temporale di ampiezza fissata, e la predizione viene ripetuta aggiornandola di ora in ora.

L'algoritmo prevede i livelli del Ticino a Pavia con un anticipo pari al tempo di trasferimento delle onde di piena, che è stimabile in non meno di 6 ore. Con la rete di rilevamento appena completata per tarare il modello sono stati utilizzati dati storici.

Tra l'uscita del Lago Maggiore e Pavia, per un tronco di circa 80 km, il Ticino non ha affluenti importanti: quindi il livello dello specchio lacustre misurato a Sesto Calende costituisce un buon precursore della piena del Ticino a Pavia.

Analogamente, il Po non ha affluenti importanti tra l'immissione del Tanaro e quella del Ticino, quindi i livelli idrometrici nei corsi d'acqua del Po e del Tanaro a monte della loro confluenza, o del Po a valle della stessa, costituiscono un buon precursore della piena dovuta al fenomeno del rigurgito.



S.G.P.

Il sistema di preannuncio predisposto per la città di Pavia tiene conto, nelle due componenti sistema di rilevamento e modello di previsione, di queste evidenze geografiche e idrauliche.

Al centro del sistema si trova la Prefettura di Pavia, promotrice del progetto e responsabile della attivazione del piano di emergenza e delle conseguenti azioni di protezione civile.

Le altezze idrometriche sono acquisite da più reti di misura: una Rete Esterna, che trasmette informazioni dagli strumenti gestiti da Enti che collaborano con la Prefettura (Magistrato per il Po, Consorzio del Ticino, Servizio Geologico Regione Piemonte, Associazione Irrigazione Est Sesia), e una Rete Interna, costituita da strumenti installati appositamente per lo scopo.

Gli strumenti della Rete Esterna sono situati a: Palestro, Casale Monferrato, Valenza, Montecastello, Sesto Calende, Becca; quelli della Rete Interna si trovano a Vigevano, Bereguardo, Ponte Coperto di Pavia, Pieve del Cairo, Spessa.

Gli idrometri adottano il sistema di misura telemetrico compensato in temperatura che sfrutta il principio della riflessione di impulsi di onde ultrasoniche.

Le informazioni della Rete Esterna giungono alla Prefettura di Pavia tramite collegamento telefonico in rete commutata. I dati della Rete Interna sono trasmessi via radio, con scadenza temporale preassegnata, ma modificabile, di 1 ora, su una frequenza di lavoro di 445.125 Mhz alla Sala Monitoraggio Torri e Duomo di Pavia nel Dipartimento di Meccanica Strutturale dell'Università degli Studi di Pavia; da qui vengono trasferiti alla Prefettura via modem e al Dipartimento di Ingegneria Idraulica e Ambientale con un cavo Ethernet.

Il sistema di preannuncio è strutturato in modo tale da avere modelli di previsione che utilizzano un numero variabile di misure idrometriche fornite dalla Rete Esterna e/o da quella Interna.

Questa diversificazione garantisce la possibilità di ottenere una previsione anche con il mancato funzionamento di alcuni strumenti.

Tuttavia le misure di Sesto Calende e del Ponte Coperto di Pavia (o della Becca se si vuol dare il preannuncio in questa sezione fluviale) sono indispensabili per ogni modello di previsione; quindi, in caso di guasto degli strumenti, gli stati idrometrici devono essere rilevati a vista.



S.G.P.

Alcuni degli strumenti secondari, situati a Bereguardo, Vigevano, Spessa, potranno essere utilizzati in futuro per la messa in opera di un modello di preannuncio della piena in altre aree del pavese.

Dopo la disastrosa piena del 1994 l'Associazione degli Industriali della Provincia di Pavia ha organizzato una sottoscrizione di fondi con cui è stato possibile acquistare 59 PC da installare nei Comuni a rischio di esondazione e il server UNIX da posizionare in Prefettura.

I Comuni possono collegarsi alla Prefettura direttamente via modem o indirettamente via Internet (<http://prefettura.pavia.it/>) per importare i risultati grafici o numerici del modello di previsione ed avere così una chiara indicazione sull'evoluzione del fenomeno.

Per ciò che riguarda l'applicazione del modello di previsione si rimanda a Natale L. & Saltalippi C. (1998), op. cit..

La piena straordinaria del 2000 ha fornito dati per lo sviluppo del modello sia importanti per la sua taratura in campo sia incoraggianti per le buone previsioni ottenute.

Il modello a supporto del sistema di preannuncio dei livelli del Ticino a Pavia ha quindi l'obiettivo di fornire agli enti decisori in tempo reale e con un debito preannuncio (6 ore), idoneo ad attivare le necessarie procedure di emergenza e le conseguenti attività di protezione civile, l'estensione e la localizzazione delle aree inondabili corrispondenti al superamento di preassegnati livelli idrometrici del fiume.

Tale modello sarà a breve adottato presso il Servizio di Protezione Civile Comunale a livello sperimentale, e costituirà un elemento, insieme alle risultanze del presente studio ed alle esperienze maturate durante la piena dell'ottobre 2000, per l'aggiornamento del vigente "Piano speditivo comunale per il rischio di allagamenti determinati dalla piena del Ticino", commentato al precedente paragrafo 3.10.1.



S.G.P.

3.10 Grafici e tabelle con dati idrologici e idraulici

Per comodità di consultazione, negli allegati riportati in appendice B alla presente relazione si riportano i seguenti grafici e tabelle, già evidenziati in TAV. 5, integrati da ulteriori informazioni di natura idrologica ed idraulica.

TABELLE

- TAB. 1 Altezze idrometriche della piena di riferimento dal PAI.
- TAB. 2 Altezze idrometriche della piena di riferimento dallo studio del Parco Lombardo della Valle del Ticino.
- TAB. 3 Ticino e Po: confronto tra i colmi delle principali piene.
- TAB. 4 Colmi delle principali piene del Ticino a Pavia (Ponte Coperto) del XIX e XX sec.
- TAB. 5 Eventi di piena distinti per mese di accadimento (sec. XIX e XX).

GRAFICI

- GRAF. 1 I colmi delle piene storiche del F. Ticino a Pavia. Sezione ubicata 90 m a valle del Ponte Coperto (dati desunti dall'idrometro a lettura del Ponte Coperto, gentilmente messi a disposizione dal Servizio Provinciale del Genio Civile di Pavia, integrati da dati bibliografici e originali).
- GRAF. 2 Idrogramma della piena del Ticino a Pavia (Ponte dell'Impero) dell'ottobre 2000.
- GRAF. 3 Profilo di piena del Ticino a Pavia.
- GRAF. 4 Andamento dei livelli idrometrici minimi all'idrometro del Ponte Coperto di Pavia dal 1929 al 1997 (dati gentilmente messi a disposizione dal Servizio Provinciale del Genio Civile di Pavia).
- GRAF. 5 Ticino e Po: confronto tra i colmi delle principali piene.
- GRAF. 6 Colmi delle principali piene del Ticino a Pavia (Ponte Coperto) del XIX e XX sec.
- GRAF. 7 Eventi di piena distinti per mese di accadimento (sec. XIX e XX).



3.11 Bibliografia essenziale

Oltre a quanto già richiamato nel testo, si riportano di seguito i principali riferimenti bibliografici in merito alle problematiche in esame.

AUTORITÀ DI BACINO DEL FIUME PO (2001) *“Direttiva sulla piena di progetto da assumere per le progettazioni e le verifiche di compatibilità idraulica”* in *“Piano stralcio per l’Assetto Idrogeologico (PAI)”*.

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA IDRAULICA E AMBIENTALE - UNIVERSITÀ DI PAVIA (1998) *“Studio idraulico per la delimitazione delle fasce fluviali del Ticino tra il lago Maggiore e il Po”* per conto di Consorzio Parco Lombardo della Valle del Ticino.

LABORATORIO DI IDROLOGIA E LABORATORIO DI FISICA TERRESTRE, ISTITUTO DI SCIENZE DELLA TERRA DELLA SCUOLA UNIVERSITARIA PROFESSIONALE DELLA SVIZZERA ITALIANA (novembre 2000) *“L’alluvione del 12-17 ottobre 2000 in Ticino”*.

MORTONI *“Morfologia del Basso Ticino e problemi idraulici del Ticino a Pavia”*, documento inedito interno dell’ex Servizio Provinciale del Genio Civile di Pavia.

NATALE L. & SALTALIPPI C. (1998) *“Sistema di preannuncio dei livelli del Ticino a Pavia”* in *“La prevenzione delle catastrofi idrogeologiche: il contributo della ricerca scientifica”* Atti del Convegno - Alba, 5/7 Novembre 1996 - vol. 2 pagg. 501-510.

PARCO TICINO (1994) *“Il Ticino: studi e proposte sull’assetto idrogeologico e sull’uso del territorio della valle fluviale”*.

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”*.

REGIONE PIEMONTE (2000) *“Rapporto sull’evento alluvionale del 13-16 ottobre 2000: l’attività di previsione e monitoraggio meteo-idrometrica e gli effetti sulle aree antropizzate”*.



4 ANALISI DELLA PERICOLOSITA' SISMICA

4.1 Attività sismica ed elementi neotettonici e strutturali, con cenni sulla simicità del territorio comunale

Per quel che attiene all'aspetto sismotettonico, la zona in studio ricade in un ambito caratterizzato (M.S. Barbano et al., 1982) da uno spessore crostale dell'ordine dei 25-30 km e da una simicità bassa. Infatti, in tale porzione della Lombardia l'attività sismica è da considerarsi ovunque scarsa.

Tutto ciò trova giustificazione, dal punto di vista geologico, nella collocazione del territorio in esame all'interno di una vasta area caratterizzata da un notevole spessore di depositi alluvionali, che è stata interessata in passato da fenomeni di sollevamento modesti e pressoché continui nel Pliocene e in parte nel Pleistocene inferiore, a cui sono succeduti deboli sollevamenti (vedi figura S.2. Carta neotettonica d'Italia - 1:500.000, tratto da: C.N.R. "Progetto finalizzato geodinamica", Dir. Barberi F., "Sottoprogetto Neotettonica", Coord. Bosi C.).

Negli allegati riportati in appendice C alla presente relazione sono riportati i seguenti stralci cartografici dalla letteratura scientifica per l'inquadramento del territorio comunale a scala territoriale in merito agli aspetti strutturali, neotettonici e sismici:

- S.1 - Modello strutturale d'Italia - 1:500.000 (tratto da: C.N.R. "Progetto finalizzato geodinamica", Dir. Barberi F., "Sottoprogetto Modello strutturale tridimensionale", Resp. Scandone P.);
- S.2 - Carta neotettonica d'Italia - 1:500.000 (tratto da: C.N.R. "Progetto finalizzato geodinamica", Dir. Barberi F., "Sottoprogetto Neotettonica", Coord. Bosi C.);
- S.3 - Eventi sismici verificatisi in Lombardia nel periodo 1000-1984 (tratto da: Guide geologiche regionali; Alpi e Prealpi lombarde – a cura della Società Geologica Italiana)
- S.4 - Carta sismica d'Italia per il periodo 1893-1965 con aree di massima intensità - 1:1.000.000 (tratto da: Comitato Nazionale Energia Nucleare, Gruppo Attività Minerarie – a cura di E. Iaccarino)
- S.5 - Massima intensità sismica risentita in Italia -1:1.500.000 (tratto da C.N.R. Istituto Nazionale di Geofisica);
- S.6 - Massime intensità macrosismiche osservate nei Comuni della Regione Lombardia, valutate a partire dalla banca dati macrosismici del GNDT e dai dati del Catalogo dei Forti Terremoti in Italia di ING/SGA (elaborato per il Dipartimento della protezione Civile a cura di Molin, Stucchi e Valensise);
- S.7 - Catalogo parametrico di terremoti di area italiana al di sopra della soglia del danno (tratto da: Gruppo Nazionale per la Difesa del Terremoti);



- S.8 - Massime intensità macrosismiche osservate nella provincia di Pavia (fonte dei dati: banca dati macrosismici del GNDT e dai dati del Catalogo dei Forti Terremoti in Italia di ING/SGA);
- S.9 - Classificazione sismica 2004 (tratto da: Presidenza del Consiglio dei Ministri – Dipartimento della Protezione Civile – Ufficio Sismico Nazionale);
- S.10 - Classificazione sismica dei comuni della provincia di Pavia (fonte dei dati: OPCM n.3274 del 20 marzo 2003, DGR n.14964 del 7 novembre 2003);

L'area rappresentata in tali stralci è più ampia di quella di specifico interesse e consente di avere un quadro sufficientemente ampio della situazione geologica generale che interessa il territorio in esame.

Di seguono sono descritti gli aspetti evidenziati dalla singole figure in esame.

S.1 Modello strutturale d'Italia (stralcio)

Lo stralcio (tratto dal “Progetto finalizzato geodinamica” del C.N.R., in particolare dal “Modello Strutturale d'Italia”) rappresenta l'assetto geologico-strutturale del territorio provinciale: le unità sono rappresentate in funzione della loro evoluzione tettonica.

S.2 Carta neotettonica d'Italia (stralcio)

Nello stralcio (tratto da “Carta Neotettonica d'Italia”, a cura di C.N.R. “Progetto finalizzato geodinamica”), è rappresentata l'evoluzione, nel Pliocene e Quaternario, del sistema orogenico della porzione di appennino e di Pianura Padana compresi entro il territorio provinciale.

S.3 Eventi sismici verificatisi in Lombardia nel periodo 1000-1984

La Tavola (tratta dalle “Guide geologiche regionali”, volume “Alpi e Prealpi lombarde” della Società Geologica Italiana), riporta gli eventi sismici che si sono verificati in Lombardia suddivisi nei due periodi 1000-1974 e 1975-1984 con simboli la cui dimensione è proporzionale al grado di intensità registrata.

Si osserva come i maggiori terremoti lombardi si siano sviluppati nella zona bresciana, mentre nell'area pavese gli eventi tellurici hanno sviluppato una magnitudo poco rilevante ed hanno risentito indirettamente dell'attività sismica dei comparti sismogenetici confinanti (area dell'Oltrepo).

S.4 Carta sismica d'Italia per il periodo 1893-1965 con aree di massima intensità (stralcio)

Lo stralcio (tratto dalla “Carta sismica d'Italia per il periodo 1893-1965 con aree di massima intensità”) suddivide il territorio in funzione dell'intensità sismica massima rilevata nel periodo sopra indicato. La Provincia di Pavia è interessata, nella porzione nord-orientale, compreso il Comune di Pavia, e sud-occidentale, dall'area che



comprende eventi sismici con intensità massima rilevata pari al VI grado della scala Mercalli.

S.5 Massima intensità risentita in Italia (stralcio)

In questa Tavola, come in quella precedentemente descritta, il territorio è suddiviso in funzione dell'intensità massima effettivamente risentita e con dati aggiornati all'anno 1995. Lo stralcio è tratto da: "Massima intensità risentita in Italia" a cura dell'Istituto Nazionale di Geofisica. Nel Comune di Pavia la massima intensità risentita risulta del VI grado della scala M.C.S..

S.6 Massime intensità macrosismiche osservate nei Comuni della Regione Lombardia valutate a partire dalla banca dei dati macrosismici del GNDT e dai dati del Catalogo dei Forti Terremoti in Italia di ING/SGA

Questa Tavola, redatta dal Dipartimento della Protezione Civile, suddivide i territori comunali in funzione dell'intensità macrosismica realmente osservata. Nel Comune di Pavia la massima intensità risentita risulta del VII grado della scala M.C.S..

S.7 Catalogo parametrico di terremoti di area italiana al di sopra della soglia del danno (stralcio dati dei Comuni della Provincia di Pavia)

Si tratta di un catalogo di dati riguardanti i parametri dei terremoti al di sopra della soglia del danno e, in particolare, delle massime intensità macrosismiche osservate nei comuni della Provincia di Pavia, comune per comune. I dati sono stati raccolti dal Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti ed elaborati per il Dipartimento della Protezione Civile.

Ulteriori recenti annotazioni sui sismi dell'area vasta considerata sono riportate nelle tabelle allegate, desunte da:

- CATALOGO DEI TERREMOTI AL DI SOPRA DELLA SOGLIA DEL DANNO DELLA ZONA DI BACKGROUND
estratta da «NT4.1, un catalogo parametrico di terremoti di area italiana al di sopra della soglia del danno» - versione NT4.1.1 luglio 1997 (aggiornamenti 1981-1992 del marzo 1998) - Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti (Camassi e Stucchi) (con descrizione sintetica delle modalità di determinazione dei parametri).
- Osservazioni sismiche disponibili per il Comune di PAVIA
estratta da «DOM4.1, un database di osservazioni macrosismiche di terremoti di area italiana al di sopra della soglia del danno» - aggiornamento luglio 1997 - Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti (Monachesi e Stucchi). Nel Comune di Pavia la massima intensità risentita risulta del VI-VII grado della scala M.C.S. riscontrata in occasione del terremoto del 09/10/1828 con area epicentrale in Val Staffora, dove il terremoto ebbe una intensità massima



osservata dell'VIII grado della scala M.C.S., con una magnitudo calcolata sulle onde superficiali pari a 5,2.

- Osservazioni sismiche disponibili per la Provincia di PAVIA estratta da «DOM4.1, un database di osservazioni macrosismiche di terremoti di area italiana al di sopra della soglia del danno» - aggiornamento luglio 1997 - Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti (Monachesi e Stucchi). Nel Comune di Pavia la massima intensità risentita risulta del VII grado della scala M.C.S..

S.8 Massime intensità macrosismiche osservate nella Provincia di Pavia

Nella Tavola è rappresentato in cartografia e riportato in forma tabellare, per ogni comune della provincia, il valore della massima intensità macrosismica riscontrata. I comuni per i quali si riscontra un valore pari a 8 MCS sono solo 7, quelli con valore pari a 7, sono 33 tutti compresi nell'Oltrepo più il Comune di Pavia; i restanti comuni presentano un valore pari o inferiore a 6. La fonte dei dati è la banca dati macrosismici del Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti e dai dati del Catalogo dei Forti Terremoti in Italia di ING/SGA.

S.9 Classificazione sismica dei comuni 2004 (stralcio Regione Lombardia)

Si tratta di uno stralcio che comprende il territorio della Regione Lombardia della carta che riporta la "Classificazione sismica al 2004" elaborato da Presidenza del consiglio dei Ministri – Dipartimento di Protezione Civile – Ufficio prevenzione, valutazione e mitigazione del rischio sismico e attività e opere post-emergenza. Il Comune di Pavia rientra nella zona sismica 4 (in una scala da 1 a 4), con livello di pericolosità minimo.

S.10 Classificazione sismica dei comuni della Provincia di Pavia

Nella Tavola è rappresentata in cartografia e riportata in forma tabellare la classificazione sismica dei comuni della Provincia di Pavia, secondo quanto definito dall'OPCM n. 3274 del 20 marzo 2003 e recepito con DGR n. 14964 del 7 novembre 2003. Su tutto il territorio provinciale il solo comune di Varzi è classificato in zona 2; i comuni classificati in zona 3 sono 16 e sono quelli appenninici; i restati comuni nella zona di pianura sono classificati in zona 4.

In sintesi, il territorio comunale di Pavia ricade in Zona Sismica 4 (a bassa sismicità, quella a minor pericolosità sismica del territorio nazionale in una scala da 1 a 4 dove l'accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni è inferiore a 0,05, rispetto a $0,05 \div 0,15$, $0,15 \div 0,25$ e $>0,25$ rispettivamente per le Zone 3, 2 e 1, e l'accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico è fissato pari a 0,05, rispetto a 0,15, 0,25 e 0,35 rispettivamente per le Zone 3, 2 e 1;



OPCM 20 marzo 2003, n. 3274 e DGR 7 novembre 2003, n. 14964), ove la Massima Intensità Macrosismica risentita è pari al 7° grado della scala MCS (Banca dati macrosismici del GNDT e dai dati del Catalogo dei Forti Terremoti in Italia di ING/SGA, elaborato per il Dipartimento della Protezione Civile a cura di D. Molin, M. Stucchi e G. Valensise, con la collaborazione di C. Meletti, S. Mirena, G. Monachesi, G. Morelli, L. Peruzza, A. Zerga; aprile 1996) e dove gli effetti massimi attesi possono consistere in danni, anche gravi, di tipo non strutturale e possibilità di crolli di edifici in muratura particolarmente vulnerabili (Massimi effetti sismici attesi nei comuni italiani, elaborato per il Dipartimento della Protezione Civile a cura di D. Molin, M. Stucchi e G. Valensise, Sicurezza – 96, Milano Fiera, novembre 1996).

Le nuove Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 14 gennaio 2008, che sono entrate in vigore dal 1° luglio 2009, prevedono che l'azione sismica di riferimento sia definita per ogni sito sulla base delle sue coordinate; le zone sismiche (ai sensi dell'O.P.C.M. 3274/03) hanno quindi significato solo da un punto di vista amministrativo, in quanto individuano unicamente l'ambito di applicazione dei vari livelli di approfondimento in fase pianificatoria, previsti dalla D.G.R. 8/7374/08 (v. paragrafo seguente).

L'azione sismica sulle costruzioni è valutata a partire da una "pericolosità sismica di base", in condizioni ideali di sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale.

Le azioni di progetto si ricavano dalle accelerazioni a_g e dalle relative forme spettrali. Le forme spettrali previste dalle N.T.C. di cui al D.M. 14 gennaio 2008, sono definite, su sito di riferimento rigido orizzontale, in funzione dei tre parametri:

- a_g accelerazione orizzontale massima del terreno;
- F_0 valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- T_C^* periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Le N.T.C. di cui al D.M. 14 gennaio 2008 forniscono, nell'Allegato B, le tabelle con i valori dei tre parametri per 10751 nodi di un reticolo di riferimento, riferiti a 9 valori del periodo di ritorno T_R (30 anni, 50 anni, 72 anni, 101 anni, 140 anni, 201 anni, 475 anni, 975 anni, 2475 anni).



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)

Gli strumenti di pianificazione territoriale e urbanistica concorrono alla riduzione del rischio sismico attraverso analisi di pericolosità, vulnerabilità ed esposizione urbanistica, e orientano le proprie scelte localizzative, i possibili processi di trasformazione urbana e la realizzazione delle opere di pubblico interesse verso scenari di prevenzione e mitigazione del rischio sismico.

La pericolosità sismica di un'area dipende dalle caratteristiche sismiche e dalle condizioni geologiche e morfologiche locali.

Le caratteristiche sismiche di un'area sono definite dalle sorgenti sismogenetiche, dall'energia, dal tipo e dalla frequenza dei terremoti. Questi aspetti sono comunemente indicati come “pericolosità sismica di base” e sono quelli considerati per la classificazione sismica. Da queste caratteristiche deriva il moto di input atteso, per il calcolo del quale non vengono considerate le caratteristiche locali e il territorio è trattato come se fosse uniforme e omogeneo cioè pianeggiante e costituito da suolo rigido in cui la velocità di propagazione delle onde S (V_s) è maggiore di 800 m/s (suolo A dell'Eurocodice 8 - parte 1, EN 1998-1, 2003, dell'O.P.C.M. 3274/2003 e del D.M. 14/01/2008).

Il moto sismico può essere però modificato dalle condizioni geologiche e morfologiche locali. Alcuni depositi e forme del paesaggio possono amplificare il moto sismico in superficie e favorire fenomeni di instabilità dei terreni quali cedimenti, frane o fenomeni di liquefazione. Queste modificazioni dovute alle caratteristiche locali sono comunemente definite “effetti locali”.

La zonazione del territorio sulla base della risposta sismica del terreno è perciò uno dei più efficaci strumenti di definizione e rappresentazione della pericolosità sismica e quindi di prevenzione e riduzione del rischio sismico, poiché fornisce un contributo essenziale per l'individuazione delle aree a maggiore pericolosità sismica e agevola la scelta delle aree urbanizzabili con minor rischio e la definizione degli interventi ammissibili.

La Regione Lombardia con la D.G.R. n. 8/1566 del 22 dicembre 2005 ripresa e integrata dalla successiva D.G.R. 8/7374 del 28 maggio 2008, ha definito la metodologia per la valutazione dell'amplificazione sismica locale, in adempimento a



quanto previsto dal D.M. 14 gennaio 2008 «Norme tecniche per le costruzioni», dalla D.G.R. n. 14964 del 7 novembre 2003 e dal d.d.u.o. n. 19904 del 21 novembre 2003.

La metodologia utilizzata si fonda sull'analisi di indagini dirette e prove sperimentali effettuate su alcune aree campione della Regione Lombardia, i cui risultati sono contenuti in uno «Studio-Pilota» redatto dal Politecnico di Milano – Dip. di Ingegneria Strutturale, reso disponibile sul SIT regionale.

Tale metodologia prevede tre livelli di approfondimento, in funzione della zona sismica di appartenenza e degli scenari di pericolosità sismica locale definiti nell'Allegato 5 della D.G.R. 8/7374 del 28 maggio 2008.

Si ricorda a questo proposito, che, ai sensi del D.M. 14 gennaio 2008, la determinazione delle azioni sismiche in fase di progettazione non è più valutata riferendosi a una zona sismica territorialmente definita, bensì sito per sito, secondo i valori riportati nell'Allegato B al citato D.M.; la suddivisione del territorio in zone sismiche (ai sensi dell'O.P.C.M. 3274/03) individua unicamente l'ambito di applicazione dei vari livelli di approfondimento.

I livelli di approfondimento sono di seguito richiamati:

- 1° livello: riconoscimento delle aree passibili di amplificazione sismica sulla base sia di osservazioni geologiche (cartografia di inquadramento), sia di dati esistenti. Questo livello, obbligatorio per tutti i Comuni, prevede la redazione della Carta della pericolosità sismica locale, nella quale deve essere riportata la perimetrazione areale (e lineare per gli scenari Z3a, Z3b e Z5) delle diverse situazioni tipo, riportate nella Tabella 1 dell'Allegato 5 della D.G.R. 8/7374 del 28 maggio 2008, in grado di determinare gli effetti sismici locali (aree a Pericolosità Sismica Locale – PSL);
- 2° livello: caratterizzazione semi-quantitativa degli effetti di amplificazione attesi negli scenari perimetrati nella carta di pericolosità sismica locale, che fornisce la stima della risposta sismica dei terreni in termini di valore di Fattore di Amplificazione (Fa).
L'applicazione del 2° livello consente l'individuazione delle aree in cui la normativa nazionale risulta insufficiente a salvaguardare dagli effetti di amplificazione sismica locale (Fa calcolato superiore a Fa di soglia comunali forniti dal Politecnico di Milano). Per queste aree si dovrà procedere alle indagini e agli approfondimenti di 3° livello o, in alternativa, utilizzare lo spettro di norma caratteristico della categoria di suolo superiore, con il seguente schema:
 - anziché lo spettro della categoria di suolo B si utilizzerà quello della categoria di suolo C; nel caso in cui la soglia non fosse ancora sufficiente si utilizzerà lo spettro della categoria di suolo D;



- anziché lo spettro della categoria di suolo C si utilizzerà quello della categoria di suolo D;
- anziché lo spettro della categoria di suolo D si utilizzerà quello della categoria di suolo E.

Il secondo livello è obbligatorio, per i Comuni ricadenti nelle zone sismiche 2 e 3, negli scenari PSL, individuati attraverso il 1° livello, suscettibili di amplificazioni sismiche morfologiche e litologiche (zone Z3 e Z4 della Tabella 1 dell'Allegato 5 della D.G.R. 8/7374 del 28 maggio 2008) interferenti con l'urbanizzato e/o con le aree di espansione urbanistica.

Per i Comuni ricadenti in zona sismica 4 (come il Comune di Pavia) tale livello deve essere applicato, negli scenari PSL Z3 e Z4, nel caso di costruzioni di nuovi edifici strategici e rilevanti di cui al d.d.u.o. n. 19904 del 21 novembre 2003 ferma restando la facoltà dei Comuni di estenderlo anche alle altre categorie di edifici;

- 3° livello: definizione degli effetti di amplificazioni tramite indagini e analisi più approfondite. Al fine di poter effettuare le analisi di 3° livello, la Regione Lombardia ha predisposto due banche dati, rese disponibili sul SIT regionale, il cui utilizzo è dettagliato nell'Allegato 5 della D.G.R. 8/7374 del 28 maggio 2008.

Tale livello si applica in fase progettuale nei seguenti casi:

- quando, a seguito dell'applicazione del 2° livello, è dimostrata l'inadeguatezza della normativa sismica nazionale all'interno degli scenari PSL caratterizzati da effetti di amplificazioni morfologiche e litologiche (zone Z3 e Z4 della Tabella 1 dell'Allegato 5 della D.G.R. 8/7374 del 28 maggio 2008);
- in presenza di aree caratterizzate da effetti di instabilità, cedimenti e/o liquefazione (zone Z1 e Z2), nelle zone sismiche 2 e 3 per tutte le tipologie di edifici, mentre in zona sismica 4 nel caso di costruzioni di nuovi edifici strategici e rilevanti di cui al d.d.u.o. n. 19904 del 21 novembre 2003, ferma restando la facoltà dei Comuni di estenderlo anche alle altre categorie di edifici.

Pertanto, come richiesto dalle Direttive regionali, è stata redatta la Carta della pericolosità sismica locale (TAV. 7), i cui contenuti sono di seguito descritti.

ANALISI SISMICA DI 1° LIVELLO DI APPROFONDIMENTO, ESTESA A TUTTO IL TERRITORIO COMUNALE (RICADENTE IN ZONA SISMICA 4)

Il territorio comunale di Pavia ricade in Zona Sismica 4 (a bassa sismicità, quella a minor pericolosità sismica del territorio nazionale in una scala da 1 a 4 - OPCM 20 marzo 2003, n. 3274 e D.G.R. 7 novembre 2003, n. 14964), ove la Massima Intensità Macrosismica risentita è pari al 7° grado della scala MCS (Banca dati macrosismici del GNDT e dai dati del Catalogo dei Forti Terremoti in Italia di ING/SGA, elaborato per il



Dipartimento della Protezione Civile a cura di D. Molin, M. Stucchi e G. Valensise, con la collaborazione di C. Meletti, S. Mirena, G. Monachesi, G. Morelli, L. Peruzza, A. Zerga; aprile 1996) e dove gli effetti massimi attesi possono consistere in danni, anche gravi, di tipo non strutturale e possibilità di crolli di edifici in muratura particolarmente vulnerabili (Massimi effetti sismici attesi nei comuni italiani, elaborato per il Dipartimento della Protezione Civile a cura di D. Molin, M. Stucchi e G. Valensise, Sicurezza – 96, Milano Fiera, novembre 1996).

In TAV. 7 sono evidenziate le seguenti situazioni.

Z2. Zone con terreni di fondazione con caratteristiche geotecniche potenzialmente scadenti nei primi metri di profondità (riporti poco addensati, depositi altamente compressibili, ecc.) o con depositi granulari fini saturi, ove gli effetti da sisma possono originare cedimenti e/o liquefazioni. Sono state inserite in questa classe le seguenti unità idro-geo-morfologiche, geotecniche e idrauliche (vedi TAV. 9): aree interessate da riporti di varia entità, costituiti da prevalenti sabbie limose, ciottoli, frammenti di laterizi, scorie di fonderia, ecc. (perimetrazione indicativa); $A^1_{(a)}$; $A^2_{(a)}$; $B^1_{(a)}$; $B^1_{(b)}$; C; C^1 ; D_B ; D_C ; D^1_C ; D^2 ; D^3 ; E^1_B .

Z3a. Ciglio di scarpata di terrazzo, naturale o localmente artificializzata, di altezza superiore ai 10, ove gli effetti da sisma possono originare amplificazioni topografiche.

Z4a. Zona di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi, ove gli effetti da sisma possono originare amplificazioni litologiche e geometriche (tutto il territorio comunale ricade in questa zona).

Zona contraddistinta dalla locale presenza di cavità nel sottosuolo (collettori fognari di epoca romana e medioevale) in genere a quote sottostanti le fondazioni dell'edificato, i cui eventuali crolli possono indurre cedimenti e/o danni strutturali al patrimonio edilizio esistente.

Per quanto concerne lo scenario Z2, la normativa prevede il passaggio diretto al 3° livello di approfondimento, da effettuarsi in fase progettuale. In tale caso, l'analisi prevede la valutazione quantitativa delle aree soggette a fenomeni di cedimento e di liquefazione.

Con il termine liquefazione si indica la situazione nella quale in un terreno saturo non coesivo si possono avere deformazioni permanenti significative o l'annullamento degli sforzi efficaci a causa dell'aumento della pressione interstiziale.



S.G.P.

Per il calcolo del potenziale di liquefazione si fa riferimento ai risultati di prove in situ, utilizzando procedure note in letteratura.

Anche per il calcolo di possibili cedimenti che possono verificarsi sia in presenza di sabbie sature sia in presenza di sabbie asciutte, si fa riferimento ai risultati di prove in situ, utilizzando procedure note in letteratura.

Occorre tuttavia rilevare che ai sensi del paragrafo 7.11.3.4.2. delle N.T.C., la verifica alla liquefazione può essere omessa in caso di eventi sismici attesi di magnitudo M inferiore a 5.

A tal proposito si è ritenuto opportuno effettuare il calcolo del terremoto di progetto atteso per il comune di Pavia, per stimare la massima intensità sismica prevedibile nel sito in corrispondenza di un determinato tempo di ritorno.

La valutazione del terremoto di progetto, cioè dell'evento sismico di riferimento rispetto al quale effettuare il dimensionamento dei futuri interventi edificativi, è stata condotta mediante un approccio storico-statistico (Gumbel).

Sono stati considerati i terremoti che ricadono nella zona sismogenetica di competenza (v. tabulato S7 in appendice C), quella cioè all'interno della quale ricade il sito in esame. Calcolata la distanza di ogni singolo epicentro dal sito, è stato stimato il moto sismico nel sito per ognuno degli eventi applicando due differenti leggi di attenuazione sismica (Pugliese e Sabetta, per siti con copertura profonda, e Kawashima, per depositi soffici-sciolti). Come tempo di ritorno è stato scelto a titolo cautelativo il valore di 975 anni.

Come si desume dai tabulati allegati nelle pagine seguenti, la magnitudine del sisma di riferimento con TR 975 anni è pari a circa 3,55 applicando la legge di attenuazione di Pugliese e Sabetta e pari a circa 4,29 applicando la legge di attenuazione di Kawashima.

In funzione di tali risultati si può concludere che per il comune di Pavia potrà essere omessa la verifica alla liquefazione poiché gli eventi sismici attesi risultano di magnitudo M inferiore a 5.



S.G.P.

		S.G.P. S.G.P. s.r.l. via Bona di Savoia 10-Pavia-				
SERVIZIO DI GEOINGEGNERIA E PROGETTAZIONE s.r.l. Via Bona di Savoia 10 - 27100 Pavia Tel. 0382-466111 / 463385 / 571865 (fax) - e-mail: sgp@sv.it						
Committente: Amm. Com. di PAVIA						
Località: PAVIA		Descrizione: PGT di PAVIA				
Note:		Sigla:				
Stima del sisma di progetto con metodi statistici (Gumbel)						
Anno	Magnitudo	Distanza epicentro (km)	Località epicentro	Probabilità superamento	Tempo superamento(anni)	Accelerazione sismica (g)
1976	4	74,4	MAGGIORASCA	0,07143	1,08	0,0054
1965	4	65,5	CAPRIATA	0,14286	1,17	0,0062
1910	4	49,3	PONTE DELL'OLIO	0,21429	1,27	0,0082
1913	4,14	54,9	NOVI LIGURE	0,28571	1,4	0,0082
1882	4,3	60	APPENNINO LIGURE	0,35714	1,56	0,0086
1303	4	44,6	PIACENZA	0,42857	1,75	0,009
1759	4,3	44,2	PAVIA	0,5	2	0,0117
1945	4,23	40,1	VARZI	0,57143	2,33	0,0121
1680	4,8	62,6	GAVI	0,64286	2,8	0,0126
1945	4,78	40,1	Valle dello Staffora	0,71429	3,5	0,0192
1276	4,71	33	Italia settent.	0,78571	4,67	0,0219
1541	5,27	51,7	VALLE SCRIVIA	0,85714	7	0,0225
1828	5,55	42,1	Valle dello Staffora	0,92857	14	0,0349
<i>Legge di attenuazione:</i> Pugliese e Sabetta - siti con copertura profonda o su roccia						
<i>Latitudine del sito(°):</i> 45,18929		<i>Longitudine del sito(°):</i> 9,16005				
<i>Tempo di ritorno (anni):</i> 975			<i>Magnitudo del sisma di riferimento:</i> 3,55			



S.G.P.

 SERVIZIO DI GEOINGEGNERIA E PROGETTAZIONE s.r.l. Via Bona di Savoia 10 - 27100 Pavia Tel. 0382-466111 / 463385 / 571865 (fax) - e-mail: sgp@sv.it	S.G.P. S.G.P. s.r.l. via Bona di Savoia 10-Pavia-					
Committente: Amm. Com. di PAVIA						
Località: PAVIA	Descrizione: PGT di PAVIA					
Note:	Sigla:					
Stima del sisma di progetto con metodi statistici (Gumbel)						
Anno	Magnitudo	Distanza epicentro (km)	Località epicentro	Probabilità superamento	Tempo superamento(anni)	Accelerazione sismica (g)
1976	4	74,4	MAGGIORASCA	0,07143	1,08	0,0164
1965	4	65,5	CAPRIATA	0,14286	1,17	0,0183
1910	4	49,3	PONTE DELL'OLIO	0,21429	1,27	0,0229
1913	4,14	54,9	NOVI LIGURE	0,28571	1,4	0,023
1882	4,3	60	APPENNINO LIGURE	0,35714	1,56	0,0236
1303	4	44,6	PIACENZA	0,42857	1,75	0,0247
1759	4,3	44,2	PAVIA	0,5	2	0,0298
1945	4,23	40,1	VARZI	0,57143	2,33	0,0306
1680	4,8	62,6	GAVI	0,64286	2,8	0,0309
1945	4,78	40,1	Valle dello Staffora	0,71429	3,5	0,0429
1276	4,71	33	Italia settent.	0,78571	4,67	0,0468
1541	5,27	51,7	VALLE SCRIVIA	0,85714	7	0,048
1828	5,55	42,1	Valle dello Staffora	0,92857	14	0,0663
<i>Legge di attenuazione:</i> Kawashima - depositi soffici/sciolti						
<i>Latitudine del sito(°):</i> 45,18929		<i>Longitudine del sito(°):</i> 9,16005				
<i>Tempo di ritorno (anni):</i> 975			<i>Magnitudo del sisma di riferimento:</i> 4,29			



ANALISI SISMICA DI 2° LIVELLO DI APPROFONDIMENTO

In TAV. 7 sono cartograficamente evidenziate le aree segnalate dall'Amministrazione comunale come potenziali siti ove prevedere edifici strategici e rilevanti di nuova previsione di cui all'elenco tipologico di cui al D.D.U.O. 21 novembre 2003, n. 19904 e la localizzazione degli stendimenti sismici effettuati per le analisi di 2° livello (vedi ALL. 5). In sintesi, i risultati di tali analisi (descritte in dettaglio nel paragrafo seguente) hanno portato ai seguenti esiti:

Aree (n. 2, 9, 13 e 14) in scenario di pericolosità sismica locale Z4a, suscettibili di amplificazioni sismiche, con valore di F_a superiore al valore soglia per il territorio comunale di Pavia per la categoria di suolo B (per l'intervallo di periodo 0,1 – 0,5 s nelle aree n. 2, 9 e 14; per l'intervallo di periodo 0,5 – 1,5 s nell'area n. 13), ove la normativa (D.M. 14 gennaio 2008) è insufficiente a tenere in considerazione i possibili effetti di amplificazione litologica e quindi è necessario, in fase di progettazione edilizia di edifici strategici e rilevanti di nuova previsione, procedere agli approfondimenti di cui al punto 2.2.2, All. 5 alla D.G.R. 28 maggio 2008, n. VIII/7374 o, in alternativa, utilizzare lo spettro di norma caratteristico della categoria di suolo superiore.

Aree (le rimanenti) in scenario di pericolosità sismica locale Z4a, suscettibili di amplificazioni sismiche, con valore di F_a inferiore al valore soglia per il territorio comunale di Pavia per la categoria di suolo B, ove la normativa (D.M. 14 gennaio 2008) è da considerarsi sufficiente a tenere in considerazione anche i possibili effetti di amplificazione litologica e quindi si applica lo spettro previsto dalla normativa.

Sempre nel caso di edifici strategici e rilevanti, il 3° livello di fase progettuale deve essere applicato per le zone ricadenti in scenario di pericolosità sismica locale Z2.

4.3 Il 2° livello di approfondimento per le zone di nuova potenziale previsione di edifici strategici e rilevanti

Come anticipato in precedenza, in TAV. 7 sono cartograficamente evidenziate le aree segnalate dall'Amministrazione comunale come potenziali siti ove prevedere edifici strategici e rilevanti di nuova previsione di cui all'elenco tipologico di cui al D.D.U.O. 21 novembre 2003, n. 19904.



Essendo tutto il territorio comunale di Pavia inserito in Zona sismica 4 e in scenario di pericolosità sismica locale Z4a, con zone in scenario Z2, nella presente fase di pianificazione, oltre all'analisi di 1° livello estesa a tutto il territorio comunale, è stata pertanto eseguita anche l'analisi di 2° livello in corrispondenza dei siti segnalati dall'amministrazione ove potrà essere prevista la localizzazione di edifici strategici e rilevanti di nuova previsione.

L'analisi di secondo livello prevede una caratterizzazione semi-quantitativa degli effetti di amplificazione attesi nelle aree perimetrate in base ad uno specifico scenario di "pericolosità sismica locale", e fornisce la stima della risposta sismica dei terreni in termini di valore del Fattore di Amplificazione (Fa). Come detto, l'intero territorio comunale risulta suscettibile di amplificazione sismica litologica (scenario Z4a di cui all'Allegato 5 della D.G.R. 8/7374 del 28 maggio 2008).

Gli studi sono stati condotti utilizzando i metodi semi-quantitativi semplificati per la valutazione delle amplificazioni litologiche e morfologiche, in funzione del Fa, che sono stati proposti dalla Regione Lombardia con i "Criteri attuativi l.r. 12/05 per il governo del territorio" e in particolare nell'Allegato 5 della D.G.R. 8/7374 del 28 maggio 2008.

L'applicazione di analisi di 2° livello ha lo scopo di individuare le aree in cui la normativa nazionale risulta insufficiente a salvaguardare le strutture sia esistenti sia future dagli effetti di amplificazione sismica locale; per queste aree si dovrà procedere alle indagini di 3° livello o, in alternativa, utilizzare lo spettro di norma caratteristico della categoria di suolo superiore.

La Regione Lombardia ha fissato i valori soglia dei Fa per ogni Comune; questi valori sono stati calcolati dal Politecnico di Milano in base alle diverse categorie di suolo e in funzione di due intervalli di periodo.

I due intervalli di periodo nei quali viene calcolato il Fa sono stati scelti in funzione del periodo proprio delle tipologie edilizie più frequenti sul territorio regionale; in particolare l'intervallo tra 0,1 – 0,5 s si riferisce a strutture relativamente basse, regolari, piuttosto rigide, mentre l'intervallo tra 0,5 – 1,5 s si riferisce a strutture più alte e flessibili.

Nei sottoparagrafi seguenti sono illustrate le indagini sismiche eseguite e i risultati conseguiti, le elaborazioni effettuate nell'ambito delle analisi di 2° livello di approfondimento.



4.3.1 Le indagini sismiche di dettaglio

Gli approfondimenti richiesti dall'analisi sismica di 2° livello comportano in primo luogo la definizione delle V_s con la profondità nelle zone oggetto di indagini sismiche di dettaglio, al fine di ricostruire per ciascuna zona il profilo V_{s30} , cioè sino alla profondità indicativa di 30 m dal piano campagna, e quindi il valore caratteristico V_{s30} , in funzione del quale si determina la categoria di sottosuolo ai sensi della Tab. 3.2.II delle N.T.C..

In tre località del territorio comunale si è proceduto alla predisposizione di più ampi stendimenti sismici per permettere l'investigazione del substrato sino a profondità di 100-150 m, nell'ottica di individuare la profondità di riscontro dei valori di velocità delle onde di taglio che identificano, secondo la letteratura geofisica, il cosiddetto "substrato sismico" (ovvero valori di $V_s > 800$ m/s).

Successivamente, il profilo sismico di ciascuna area d'indagine è stato rielaborato secondo le metodologie previste dalla normativa regionale per la determinazione del Fa.

L'Allegato 5 della D.G.R. 8/7374 del 28 maggio 2008 propone una serie di schede di valutazione che correlano il fattore di amplificazione con il periodo proprio del sito T.

I valori di Fa ottenuti sono stati utilizzati per valutare il grado di protezione raggiunto per il sito dall'applicazione della normativa vigente; tale valutazione è stata fatta confrontando questi ultimi con i parametri di analogo significato definiti per il comune di Pavia (zona sismica 4), per le categorie di suolo B e C, categorie che sono risultate essere quelle caratteristiche del sottosuolo comunale in base agli esiti delle indagini sismiche di dettaglio.

La procedura seguita, pertanto, ha consentito di valutare, per ciascuna area, il valore di Fa e di confrontarlo con il corrispondente valore di soglia, sempre considerando una variabilità di $\pm 0,1$, per tenere in conto (come suggerisce la metodologia regionale) della variabilità del valore di Fa ottenuto dalla procedura semplificata.



4.3.2 Metodologia d'indagine geofisica: Microtremore Sismico Ambientale [REMI]⁸

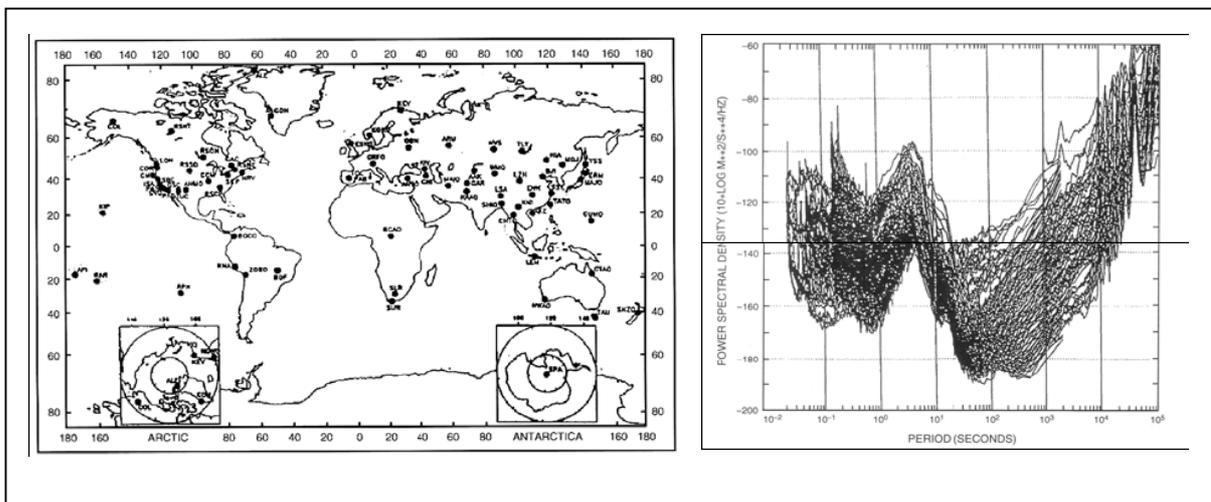
L'indagine è avvenuta con misura diretta dei parametri geofisici per la definizione del profilo delle *ONDE DI TAGLIO ORIZZONTALI* attraverso la tecnica della misura dei *MICROTREMORI SISMICI AMBIENTALI* [ReMi – REFRACTION MICROTREMOR].

L'indagine geofisica è stata sviluppata attraverso l'acquisizione dei dati di campagna direttamente misurati in ciascuna area oggetto di analisi sismica di dettaglio.

Ciò al fine di esplorare il sottosuolo attraverso un insieme di misure statisticamente significative.

E' seguita l'elaborazione, l'interpretazione dei dati con illustrazione dei risultati conclusivi.

Il rumore sismico ambientale, presente ovunque sulla superficie terrestre, è generato, oltre che dall'attività dinamica terrestre e dai fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento), dall'attività antropica. Si chiama anche microtremore poiché riguarda oscillazioni molto più piccole di quelle indotte dai terremoti nel campo vicino (10^{-15} $[m/s^2]^2$ in termini di accelerazione).



Potenze spettrali di accelerazione della componente verticale dei microtremori (a destra) registrate in 75 osservatori sismici distribuiti su tutto il globo terrestre (Peterson, 1993)

I metodi che si basano sull'acquisizione naturale di questo tipo di vibrazioni si inquadrano tra i metodi d'indagine della sismica passiva, in quanto il rumore non è

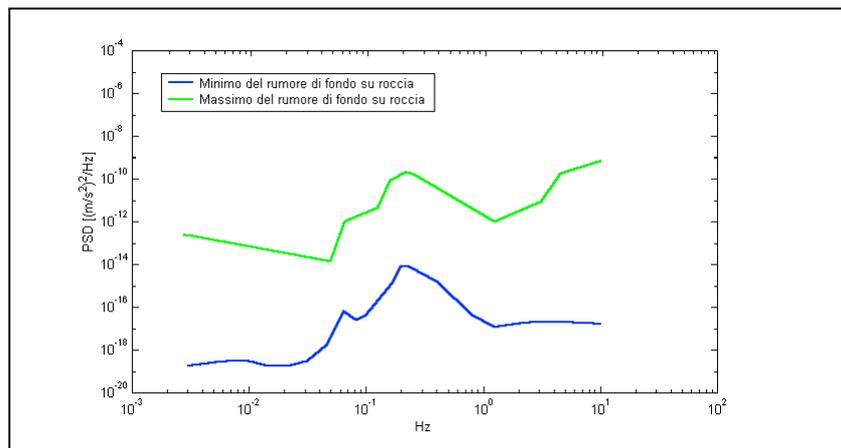
⁸ Indagini di campagna eseguite con la collaborazione del Dott. Alberto Pagano - Geofisico



S.G.P.

generato artificialmente, come ad esempio avviene per la sismica attiva attraverso l'uso di esplosivi o urti di masse in moto trasmesse al mezzo d'indagine.

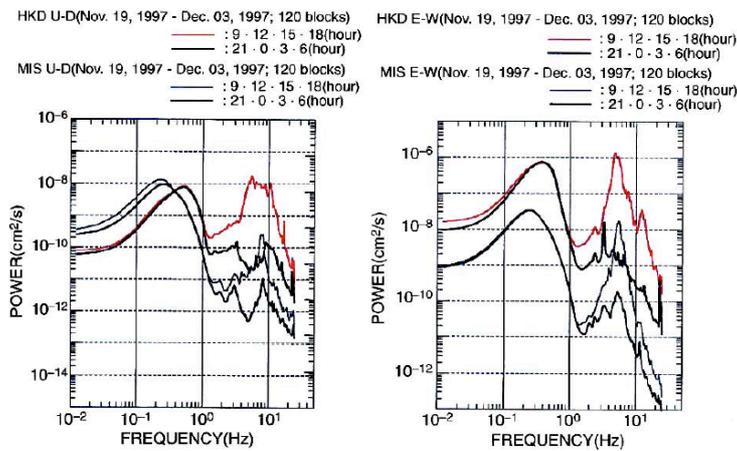
Nelle zone del globo terrestre in cui non è presente alcuna sorgente di rumore locale e in assenza di vento, lo spettro in frequenza del rumore di fondo, in un terreno roccioso e pianeggiante, presenta la morfologia illustrata nella figura seguente. La linea blu rappresenta il rumore di fondo minimo di riferimento, secondo il servizio geologico statunitense (USGS), mentre la linea verde rappresenta il massimo dello stesso rumore. I picchi a 0.14 [Hz] e 0.07 [Hz] sono comunemente interpretati come originati dalle onde oceaniche. Queste componenti spettrali vengono attenuate molto poco anche dopo avere percorso migliaia di chilometri, per effetto della propagazione in guida d'onda. A questo fenomeno generale, che è sempre presente sul globo terrestre, si sovrappongono le sorgenti locali, antropiche (traffico, industrie o anche il semplice passeggiare di una persona) e naturali, che però si attenuano fortemente a frequenze superiori ai 20 [Hz] a causa dell'assorbimento anelastico originato dall'attrito interno delle rocce.



Modelli standard del rumore sismico ambientale: massimo (in verde) e minimo (in blu) per la Terra. Gli spettri di potenza sono espressi in termini di accelerazione e sono relativi alla componente verticale del moto.



S.G.P.



Medie diurne e medie notturne degli spettri di potenza delle componenti verticale (U-D) e orizzontale (E-W) dei microtremori registrati nel periodo di 15 giorni, dal 19 novembre al 3 dicembre 1997, in due stazioni sismiche [HKD] e [MIS] di Sapporo (da Okada, 2003).

Il tipo di stratigrafia che le tecniche di sismica passiva possono restituire si basa sul concetto di contrasto di impedenza tra gli strati del sottosuolo. Per strato si intende cioè un'unità distinta da quelle sopra e sottostanti per la presenza di una variazione di impedenza, ossia per il rapporto tra i prodotti di velocità delle onde sismiche nel mezzo e la densità del mezzo stesso.

	0			0.5		1		1.5		2	Hz
Douze				R1/P		R1/P				R3/P	
Toksoz	R0	R+	P/R+	P							
Li 1984							R+	and/or	P		>= 20Hz
Horike 1985					R0			R0 /	R+		>= 3 Hz
Yamanaka 1994			R0								

P = Body waves
Rn = Rayleigh waves
n=0 : fundamental mode
n=1,2 ... : n higher mode
n=+ : higher modes (no order precision)

Origine della natura del campo d'onda secondo vari Autori (Sesame WP8, 2004).

Tutte le misure di microtremore ambientale sono state effettuate con un sismografo digitale impostato specificamente per l'acquisizione del rumore sismico. Lo strumento è dotato di sensori elettrodinamici (velocimetri). I dati di rumore sono preamplificati e digitalizzati a 24 bit equivalenti.



S.G.P.

L'analisi strumentale è stata realizzata predisponendo il dispositivo di misura direttamente in corrispondenza dell'area di indagine.

Per la misura dei microtremori è stato predisposto un *array* (profilo in microtremore sismico) che è stato acquisito in modalità digitale a 24 canali, collegato a geofoni verticali con frequenza propria di 4.5 [Hz].

Le acquisizioni sono state condotte per parecchi minuti, alla frequenza di campionamento di 500 [Hz].

Tutte le misure sono state realizzate in condizioni ambientali idonee.

Il tipo di stratigrafia che le tecniche di sismica passiva consentono di valutare si basa sul concetto di contrasto di *impedenza* esistente nella successione delle unità "fisiche" stratigrafiche costituite dai depositi naturali del sottosuolo.

Per strato si intende cioè un'unità distinta, da quelle sopra e sottostanti, da un contrasto di *impedenza*; ossia la distinzione avviene per il rapporto tra i prodotti di velocità delle onde sismiche nel mezzo e densità del mezzo stesso.

La curva di dispersione delle *onde di Rayleigh* è strettamente correlata al profilo di velocità delle onde di taglio S orizzontali. Poiché inoltre $0.87 < V_R / V_S < 0.96$ (Aki e Richards, 1980), al fine di ottenere l'andamento delle V_s con la profondità, la curva di dispersione sperimentale viene analizzata con una procedura di inversione.

La frequenza minima cui la curva di dispersione risulta riconoscibile vincola la profondità d'indagine.

La procedura richiede che: il microtremore sismico sia relativamente omogeneo intorno al sito di misura; il modello di sottosuolo sia assimilabile al caso di strati piani e paralleli; alla base del modello sia posto un semispazio a spessore infinito.

Se i requisiti geometrici non sono soddisfatti, i risultati forniti dall'*array* vanno interpretati come valori medi nell'intorno investigato.

Si fa notare che in relazione a questo modello le V_p e la densità ρ dei mezzi sono quasi ininfluenti.

Allo scopo di ottenere la curva di dispersione delle *onde di Rayleigh* (relazione tra la velocità di propagazione e le frequenze), le componenti verticali del moto del suolo registrate vengono elaborate attraverso:



1. analisi tipo ReMi (REFRACTION MICROTREMOR, Louie, 2001). Le tracce vengono segmentate in finestre temporali nel dominio frequenza-velocità di fase (*trasformata ω -V*, o *slant-stack*, *trasformata di Fourier*) al fine di discriminare l'energia associata alle *onde di Rayleigh*, secondo il metodo *Refraction Microtremor*. Viene analizzato l'esito dell'elaborazione in ciascuna finestra e vengono quindi selezionate quelle informative. Il risultato è ottenuto dalla media delle analisi delle finestre selezionate;
2. il risultato dell'analisi tipo ReMi è rappresentato mediante grafici ad isolinee ed illustrato graficamente nel paragrafo successivo. E' rappresentato il contenuto energetico delle *onde di Rayleigh* presente nel rumore sismico ambientale, in funzione della frequenza e della velocità di fase di propagazione dell'onda di superficie. Si stima, secondo la letteratura scientifica in relazione alla strumentazione utilizzata di ottimo livello tecnologico e ai parametri ambientali variabili che ne influenzano la risoluzione, generalmente una tolleranza nella valutazione della velocità delle velocità V_s pari a circa il 5% nei primi strati del sottosuolo e fino a circa il 15% per gli strati più profondi.

Nell'Allegato 5, per ogni località di indagine, viene illustrato il profilo di velocità delle onde S associato alla curva sperimentale di dispersione energetica, mentre nelle Tabelle sono riportati i valori del miglior modello di adattamento interpretato dall'inversione dei dati.

Il computo del parametro V_{s30} , secondo le Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M.14/01/2008), è calcolato utilizzando la formula:

$$V_{s30} = 30 / \sum \frac{h_i}{V_{si}}$$

in cui h_i e V_{si} sono spessori e velocità dei singoli strati.

Si sottolinea che la valutazione svolta nel territorio comunale, in relazione alla metodologia di analisi geofisica strumentale realizzata specificatamente per la presente ricerca, presenta un grado di attendibilità medio-alta, secondo le indicazioni per la valutazione del grado di giudizio previste dalla normativa ex L.R. 12/2005.



4.3.3 Analisi sismica di 2° livello e interpretazione dei profili geofisici

Come già richiamato, la Regione Lombardia propone una procedura semplificata per la valutazione dei fattori di amplificazione per lo scenario Z4a; in particolare, la procedura richiede una caratterizzazione del sito dal punto di vista stratigrafico, geotecnico e geofisico.

Con l'analisi di 1° livello si è proceduto ad una valutazione qualitativa delle litologie presenti, mentre con l'analisi di 2° livello si è provveduto ad analizzare nel dettaglio lo scenario Z4a attraverso lo studio dei profili geofisici ricostruiti per ciascuna area di indagine, sulla base delle metodologie d'indagine descritte nel sottoparagrafo precedente.

La normativa, infatti, propone una serie di schede di valutazione che correlano il fattore di amplificazione con il periodo proprio del sito T, calcolato utilizzando la seguente equazione:

$$T = \frac{4 \times \sum h_i}{\sum V_{s_i} \times h_i / \sum h_i}$$

dove h_i e V_{s_i} sono lo spessore e la velocità dello strato i-esimo del profilo geofisico.

Il periodo proprio del sito T è stato calcolato sulla base dei dati geofisici ottenuti dalle analisi sismiche di dettaglio di tipo ReMi.

La procedura proposta dalla Regione Lombardia richiede la conoscenza dei seguenti parametri:

- litologia prevalente dei materiali presenti nel sito;
- stratigrafia del sito;
- andamento delle Vs con la profondità fino a valori pari o superiori a 800 m/s;
- spessore e velocità di ciascun strato.

La metodologia di analisi si basa quindi sull'utilizzo di schede di valutazione di riferimento per le seguenti litologie:

- una per litologie prevalentemente ghiaiose;
- due per litologie prevalentemente limoso-sabbiose;



- due per le litologie limoso-argillose;
- una per le litologie sabbiose.

La scelta della scheda litologica di riferimento (“scheda litologia sabbiosa”) è stata effettuata a partire dalle conoscenze generali acquisite sul territorio comunale (litostratigrafie, indagini geotecniche in sito e di laboratorio, raccolte nella Banca Dati Geologica Comunale), supportate dai tre profili geofisici profondi (aree 4, 7 e 13) appositamente realizzati al fine di raggiungere il substrato simico ($V_s > 800$ m/s), che hanno permesso il confronto tra l'andamento delle V_s proposto dalla Regione nelle varie schede litologiche e quello reale ricavato dai suddetti tre profili geofisici analizzati.

La validità della “scheda litologia sabbiosa” prescelta è stata quindi verificata per tutti i siti d’indagine sempre in funzione dei profili geofisici ricostruiti sulla base delle misure dirette delle V_s , eventualmente integrate in profondità con la definizione di un opportuno gradiente (sulla base dei risultati ottenuti dall’indagine, come suggerito dalla metodologia di analisi regionale) sino al raggiungimento del *bedrock* sismico ($V_s \geq 800$ m/s).

Per ciascun sito oggetto di analisi di dettaglio in Allegato 5 è stata predisposta un’apposita scheda concernente l’analisi sismica di 2° livello, in cui sono stati riassunti i dati geofisici del terreno, l’andamento delle V_s con la profondità, la correlazione con la curva proposta per la litologia di riferimento, il valore numerico del periodo proprio del sito T , la scheda litologica regionale di riferimento e la curva adottata e, infine, il valore di F_a (Fattore di Amplificazione) ricavato.

All’interno della scheda di riferimento, in funzione della profondità e della velocità V_s dello strato superficiale, è stata scelta, per ogni sito analizzato e per il profilo geofisico associato, la curva più appropriata per la valutazione del valore di F_a nell’intervallo 0,1-0,5 s; quindi sono stati ricavati i valori del fattore di amplificazione, in relazione a T , periodo proprio del sito, per gli intervalli 0,1-0,5 s e 0,5-1,5 s.

I fattori di amplificazione così ottenuti sono stati confrontati con i parametri di analogo significato definiti per il comune di Pavia (zona sismica 4), per la categoria di suolo oggetto di indagine al fine di valutare il grado di protezione raggiunto per il sito dall’applicazione della normativa vigente.



4.3.4 Sintesi dei risultati dell'analisi sismica di dettaglio

Nell'ALLEGATO 5 sono riportate le schede appositamente redatte per ciascuna area analizzata, con l'ubicazione degli stendimenti sismici e i risultati dell'indagine geofisica e delle successive elaborazioni.

I profili geofisici ricostruiti per ciascuna area d'indagine hanno permesso di determinare il parametro V_{s30} , che secondo le Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M.14/01/2008), è calcolato utilizzando la formula:

$$V_{s30} = 30 / \sum \frac{h_i}{V_{si}}$$

in cui h_i e V_{si} sono spessori e velocità dei singoli strati.

In funzione di tale valore caratteristico V_{s30} , per ogni settore è stata definita la categoria di sottosuolo ai sensi delle N.T.C..

Si ricorda che ai sensi del D.M.14/01/2008, per la definizione dell'azione sismica si può fare riferimento a un approccio semplificato, che si basa sull'individuazione delle categorie di sottosuolo di riferimento di cui alla Tab. 3.2.II delle N.T.C. e sulla definizione delle condizioni topografiche definite dalla classificazione di cui alla Tab. 3.2.IV delle N.T.C.; in funzione delle categorie di sottosuolo e delle condizioni topografiche, le N.T.C. al paragrafo 3.2.3 definiscono specifici coefficienti di amplificazione stratigrafica e topografica da considerare nella definizione dell'azione sismica di progetto.

Per le aree oggetto di indagine di dettaglio, i valori di V_{s30} calcolati hanno permesso di associare la **Categoria B** (*Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti* con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 360 m/s e 800 m/s) alle aree 1, 2, 3, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14; per le restanti aree (4, 5, 6, 7, 15, 17) i valori di V_{s30} calcolati hanno permesso di associare la **Categoria C** (*Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti* con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 180 m/s e 360 m/s).

L'analisi sismica di 2° livello effettuata seguendo la procedura proposta dai criteri regionali nell'Allegato 5 della D.G.R. 8/7374 del 28 maggio 2008, ha permesso di definire per ciascun sito analizzato il valore del fattore di amplificazione F_a per gli intervalli 0,1-0,5 s e 0,5-1,5 s.



I fattori di amplificazione così ottenuti sono stati confrontati con i parametri di analogo significato definiti per il Comune di Pavia (zona sismica 4).

Il valore soglia per l'intervallo 0,1-0,5 s è fissato pari a 1,4 per la categoria di suolo B e pari a 1,9 per la categoria di suolo C, mentre il valore soglia per l'intervallo di periodo 0,1-0,5 s e 0,5-1,5 s è fissato pari a 1,7 per la categoria di suolo B e pari a 2,4 per la categoria di suolo C.

Questi parametri rappresentano i valori di soglia oltre i quali lo spettro proposto dalla normativa risulta insufficiente a tenere in considerazione la reale amplificazione sismica presente nel sito.

La procedura seguita, pertanto, ha consentito di valutare il valore di F_a e di confrontarlo con il corrispondente valore di soglia, sempre considerando una variabilità di $\pm 0,1$ (come suggerisce la metodologia regionale) che tiene in conto della variabilità del valore di F_a ottenuto dalla procedura semplificata.

Sono state riscontrate due situazioni:

- il valore di F_a è superiore al valore di soglia corrispondente; la normativa è insufficiente a tenere in considerazione i possibili effetti di amplificazione litologica. In dettaglio (cfr. anche TAV. 7), le indagini eseguite hanno evidenziato per le Aree n. 2, 9, 13 e 14 un valore di F_a superiore al valore soglia per il territorio comunale di Pavia per la categoria di suolo B (per l'intervallo di periodo 0,1 – 0,5 s nelle aree n. 2, 9 e 14; per l'intervallo di periodo 0,5 – 1,5 s nell'area n. 13); di conseguenza, sarà necessario, in fase di progettazione edilizia di edifici strategici e rilevanti di nuova previsione, procedere agli approfondimenti di cui al punto 2.2.2, All. 5 alla D.G.R. 28 maggio 2008, n. VIII/7374, o, in alternativa, utilizzare lo spettro di norma caratteristico della categoria di suolo superiore;
- il valore di F_a ottenuto è inferiore o uguale al valore soglia corrispondente; pertanto per le restanti aree la normativa (D.M. 14 gennaio 2008) è da considerarsi sufficiente a tenere in considerazione anche i possibili effetti di amplificazione litologica del sito, per cui si applica lo spettro previsto dalla normativa in fase progettuale.

In sintesi e in conformità a quanto definito in merito dalla DGR 7374/2008, il 3° livello di fase progettuale deve essere applicato, nel caso di edifici strategici e rilevanti di nuova previsione per le zone ricadenti in scenario di pericolosità sismica locale Z2 e per quelle Z4a solo ove gli approfondimenti effettuati di 2° livello hanno evidenziato un valore di F_a superiore al valore soglia.



5 LA “BANCA DATI GEOLOGICA COMUNALE” (BDGC)

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.

La Banca Dati Geologica Comunale è consultabile sia su forma cartacea, sia in formato informatizzato (files .pdf); nelle cartografie allegate, ove in formato shape, è possibile accedere e visualizzare gli allegati mediante appositi link.

L'elaborazione dei dati della Banca Dati Geologica Comunale ha contribuito alla suddivisione del territorio comunale nelle unità idro-geo-morfologiche, geotecniche e idrauliche di cui alla TAV. 9.



S.G.P.

In TAV. 6 sono evidenziati:

Pozzi (le litostratigrafie sono riportate nell'ALL. 1). Sono distinti in: A = pubblico attivo; B = pubblico dismesso; C = privato).

Sondaggio geognostico (le litostratigrafie sono riportate nell'ALL. 2; i dati geotecnici eventualmente disponibili relativi a campioni prelevati nei sondaggi sono riportati nell'ALL. 4).

Prova penetrometrica statica (C.P.T.) (i diagrammi di prova sono riportati nell'ALL. 3).

Prova penetrometrica dinamica (i diagrammi di prova sono riportati nell'ALL. 3).

Trincea geognostica (le litostratigrafie sono riportate nell'ALL. 2).

Sondaggio geognostico (le litostratigrafie sono riportate nell'ALL. 2; i dati geotecnici eventualmente disponibili relativi a campioni prelevati nei sondaggi sono riportati nell'ALL. 4) e prova penetrometrica statica (C.P.T.) (i diagrammi di prova sono riportati nell'ALL. 3).

Sondaggio geognostico (le litostratigrafie sono riportate nell'ALL. 2; i dati geotecnici eventualmente disponibili relativi a campioni prelevati nei sondaggi sono riportati nell'ALL. 4) e prova penetrometrica dinamica (S.C.P.T.) (i diagrammi di prova sono riportati nell'ALL. 3).

Indagini Georadar (vedi ALL. 6).

Aree segnalate dall'Amministrazione comunale come potenziali siti ove prevedere edifici strategici e rilevanti di nuova previsione di cui all'elenco tipologico di cui al D.D.U.O. 21 novembre 2003, n. 19904 (a) e localizzazione degli stendimenti sismici effettuati per le analisi di 2° livello (b; vedi ALL. 5).



6 SITI CONTAMINATI O POTENZIALMENTE TALI

In relazione alle problematiche connesse all'utilizzo urbanistico di queste aree, nelle TAVV. 1, 2, 8 e 9 è riportata la localizzazione dei siti contaminati o potenzialmente tali, evidenziando le situazioni interessate da procedure ex D.M. 471/1999, D. Lgs. 152/2006 e s.m.i. e quelle confrontabili pre D.M. 471/1999.

Trattasi di elaborazione e sintesi dei dati, aggiornati al 04/05/2010 (trattasi di situazioni in continua evoluzione), forniti dal Servizio Ecologia, Settore Ambiente e Territorio del Comune di Pavia e dalla U.O.C. V.I.A., Tutela del Paesaggio, Bonifica dei Siti Inquinati del Settore Tutela Ambientale della Provincia di Pavia o desunti dallo studio geologico del 2003 a supporto del PRG comunale.

Non sono segnalate in cartografia situazioni particolarmente datate e risolte, pratiche inerenti rimozione di serbatoi o casi in procedura semplificata.

Sono distinte, con apposita simbologia, le seguenti differenti situazioni:

- 1 - siti con procedure tecnico-amministrative in corso, ancora da certificare o comunque con iter non concluso;
- 2 - siti con interventi di bonifica approvati in corso di esecuzione;
- 3 - siti con bonifica conclusa mediante misure di messa in sicurezza permanente, svincolati ma con limitazioni d'uso, già certificati;
- 4 - perimetrazione indicativa di aree interessate da riporti di varia entità, costituiti da prevalenti sabbie limose, ciottoli, frammenti di laterizi, scorie di fonderia, ecc.;
- 5 - zone ove è nota la presenza di rifiuti di varia natura, già prese in considerazione dall'Amministrazione Provinciale di Pavia per la comunicazione alla Regione ai fini della predisposizione del Piano di aggiornamento delle aree inquinate della Regione Lombardia (la loro perimetrazione è da ritenersi indicativa). Le lettere maiuscole forniscono indicazioni più puntuali sulle singole aree:
 - A = area utilizzata negli anni '60 e '70 come discarica comunale di RSU;
 - B = stoccaggio di prevalenti RSU e RSAU;
 - C = stoccaggio abusivo sul suolo di rifiuti;
 - D = principali aree industriali dimesse da sottoporre ad accertamenti.
- 6 - siti già indagati con verifica di assenza di contaminazioni o già bonificati, con area svincolata e/o con certificato provinciale di avvenuta bonifica già emesso.



7 I GEOSITI

Il Piano Paesaggistico Regionale (Art. 22 delle relative NtA) introduce i geositi come nuova categoria di valorizzazione del territorio, prevedendo che le Province, tramite i propri PTCP, provvedano alla più precisa perimetrazione di quelli di rilevanza regionale; la più volte citata DGR 7374/2008 richiede inoltre la perimetrazione dei Geositi nella Carta dei Vincoli (TAV. 8; vedi capitolo successivo).

Sulla base dell'analisi delle seguenti fonti⁹ nel territorio comunale di Pavia è stato individuato il geosito denominato "Terrazzi divergenti della Roggia Vernavola":

1. allegato 14 della DGR 28 maggio 2008, n. 8/7374;
2. Provincia di Pavia - I GEOSITI DELLA PROVINCIA DI PAVIA - a cura di L. Pellegrini e P.L. Vercesi; Pavia, 2005;
3. allegato 1.4 al Piano Cave della Provincia di Pavia, approvato con D.C.R. 20 febbraio 2007, n. VIII/344 - SCHEDE DEI GEOSITI PROPOSTI- a cura di S. Piccio.

I geositi sono definiti come gli elementi fisici del territorio, o singolarità del paesaggio, che sono peculiare testimonianza dei processi di formazione e modellamento del nostro Pianeta e, quindi, in grado di fornire un contributo indispensabile alla comprensione della storia geologica di una determinata area o regione (Brancucci & Gazzola, 2002).

In altro modo potremmo dire che il concetto astratto di "bene geologico" si concretizza in tutti quei luoghi, definiti "geositi", per i quali si possa indicare un interesse geologico o geomorfologico per la conservazione (Wimbledon et al., 1996) o quantomeno per una non distruzione e/o modificazione antropica e che presentano principalmente un valore storico, scientifico, documentale e operativo-comunicativo (Vai, 1999).

L'aspetto storico (nella stragrande dei casi sarebbe meglio dire pre-storico) è legato al fatto che la geologia permette di comprendere le vicende che hanno interessato la nostra Terra dalla sua costituzione ad oggi ed ogni "oggetto geologico" ne è una testimonianza.

⁹ La fonte 1, disponibile a livello cartografico da shape file, riporta solo dati puntuali, mai perimetrati, con errori anche grossolani di localizzazione (anche fuori dal territorio comunale di pertinenza del geosito). La fonte 2, disponibile su cartaceo, individua i geositi solo puntualmente ma con localizzazione cartografica corretta (tipo centroide). La fonte 3, disponibile su cartaceo e su base informatica non georeferenziata, riporta localizzazioni perimetrata o puntuali precise cartograficamente.



L'aspetto scientifico è in relazione alla capacità di un bene geologico di rappresentare un processo geologico non comune, non ripetitivo, avvenuto nel passato, e di consentirne la comprensione. Per questo la sua eventuale perdita può essere irreparabile, soprattutto se si ragiona in termini di tempi geologici occorsi alla sua formazione; ha quindi un valore intrinseco di rarità.

L'aspetto documentale è applicabile a tutti quei beni geologici che rappresentano un'emergenza fisica, paesaggistica, estetica, o che rivestono una rilevanza per esemplarità di processi ed eventi del passato geologico ma anche recente, spesso ancora in evoluzione (es. italiani: le colate di lava della Valle del Bove in Sicilia, le piste giurassiche dei dinosauri presso i Lavini di Marco in Trentino, i soffioni boraciferi di Lardarello, i vulcani, la frana del Vajont, della Val Pola in Valtellina, ecc.).

L'aspetto operativo-comunicativo è invece legato al fatto che un bene geologico può assumere un valore di riferimento in relazione alla necessità di avere richiami standardizzati ed oggettivi, utilizzati come termini nel linguaggio comune ma anche in quello prettamente scientifico-tecnico. Ne sono un esempio i limiti cronostratigrafici che, attraverso la "Scala Cronostratigrafica Standard Globale", permettono una correlazione cronologica delle rocce della Terra. Infine, le forme del paesaggio vanno viste non solo esteriormente ma di loro si deve fare una sorta di radiografia per poterne conoscere la struttura interna, il loro grado di resistenza agli agenti della degradazione e, in ultima analisi, valutarne la fragilità e, per alcuni di essi, la non rinnovabilità per progettare eventuali interventi di conservazione e tutela (Wimbledon, 1999).

La perimetrazione dei geositi è stata effettuata attraverso il loro riconoscimento, la localizzazione, l'analisi del loro uso e la compatibilità dell'utilizzo, la definizione della riproducibilità e della vulnerabilità anche grazie alla documentazioni prodotte dalle fonti 2 e 3.

I geositi sono stati distinti secondo il loro interesse prevalente in modo coordinato con l'attuazione del progetto "Conservazione del Patrimonio Geologico Italiano" individuando per ogni geosito un "valore" caratteristico (per i geositi di cui alla DGR 28 maggio 2008 n. 8/7374, il valore associato è quello espresso nella tabella stessa, allegato 14), e cioè: geografico; stratigrafico; geologico-strutturale; geominerario; geomorfologico; idrogeologico; mineralogico; naturalistico; paesistico; paleontologico; petrografico; sedimentologico. Come previsto dall'allegato 14 citato, a ogni geosito è stato associato un livello territoriale di interesse secondo la seguente scala: locale, regionale, nazionale.

L'unico geosito segnalato in Comune di Pavia, di importanza regionale e di interesse geomorfologico, è stato perimetrato in dettaglio.



S.G.P.

Riprendendo quindi quanto riportato nella prefazione di 2 dall'allora Assessore alla Tutela Ambientale e Politiche Energetiche Prof. Delio Todeschini: *“La conoscenza ed il censimento puntuale delle emergenze che vengono presentate ... sono quindi elementi importanti per la Pubblica Amministrazione in quanto sono da considerare ... nella pianificazione territoriale, anche se molti di loro non comportano, necessariamente, una specifica tutela, in funzione delle loro caratteristiche. Alcuni, viceversa, devono essere rigorosamente posti sotto tutela in quanto di facile manomissione e la loro alterazione e/o distruzione comporterebbe una perdita di valore inestimabile, in quanto elementi unici o rarissimi esempi di peculiari eventi e momenti della storia geologica”*. Il lavoro svolto si ispira anche a tale concetto, oltre quanto riportato in merito all'art. 2 delle NtA del PTPR.

Il punto di partenza in questa direzione è stato quindi quello di assegnare una definizione spaziale al geosito attraverso la sua ubicazione precisa e perimetrazione. La perimetrazione di dettaglio è stata quindi effettuata mediante l'analisi di fotografie aeree su differenti strisciate e di ortofotografie, l'analisi della cartografia storica e specialistica e mediante sopralluoghi in situ.

In funzione di quanto sopra esposto e assumendo come riferimento le modalità di perimetrazione dei geositi da parte della revisione in corso del PTCP, l'unico caso ricadente nel territorio comunale di Pavia risulta inserito nella casistica definita come CAD, come di seguito specificata.

CAD - CONTESTI AREALI DIFFUSI: si tratta di luoghi di elevato interesse geologico per i quali è stata eseguita una perimetrazione indicativa in quanto si riferiscono ad un contesto areale diffuso, non ad un sito specifico perimetrabile con precisione. Per la definizione di eventuali norme specifiche di tutela ed una perimetrazione di maggior dettaglio, con individuazione delle eventuali situazioni locali di particolare interesse, si rimanda alla pianificazione comunale, che, in ogni caso, deve prevedere specifiche azioni di tutela e valorizzazione del bene in funzione della sua peculiarità.

Per tutti i geositi segnalati, gli strumenti di pianificazione comunale dovrebbero individuare ed incentivare interventi per la loro fruizione didattico-scientifica (ad esempio istituendo idonee fasce di rispetto e/o recinzioni, individuando punti panoramici o piazzuole per la loro osservazione con opportuna cartellonistica illustrativa, ecc.), fissare le regole di compatibilità per le attività in atto o per le strutture preesistenti.

Nel caso in esame si suggerisce che all'interno del geosito perimetrato lo strumento urbanistico individui un settore più interno (la valle a cassetta vera e propria e le relative scarpate che la delimitano) da sottoporre a rigida tutela, rendendo possibili solo interventi atti a conservarne il significato e a consentirne una idonea fruizione, e uno



più esterno, come fascia tampone o di filtro rispetto all'area urbanizzata esterna. Tali forme di tutela si ritiene debbano essere anche estese a tutta la valle a cassetta della Vernavola, dal suo inizio di incisione nel settore settentrionale del territorio comunale fino al suo sbocco nella valle del Ticino (intersezione con Viale Cremona), dove le caratteristiche geomorfologiche e ambientali presenti dovrebbero suggerire per tali aree un non incremento della pressione antropica e la regolamentazione di quelle esistenti.

8 LA CARTA DEI VINCOLI (TAV. 8)

Come richiesto dalle Direttive regionali, è stata redatta la Carta dei vincoli (TAV. 8), i cui contenuti sono di seguito descritti e alla quale si rimanda per i dettagli.

VINCOLI DERIVANTI DALLA PIANIFICAZIONE DI BACINO AI SENSI DELLA L. 183/1989 (PAI); vedi precedente capito 3 e TAV. 5.

VALUTAZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO ALL'INTERNO DELLE AREE EDIFICATE OVE RICADENTI NELLE FASCE FLUVIALI A E B; vedi precedente capito 3 e TAV. 5.

VINCOLI DI POLIZIA IDRAULICA (vedi precedente par. 3.2).

AREE DI SALVAGUARDIA DELLE CAPTAZIONI AD USO IDROPOTABILE; pozzi pubblici ad uso idropotabile e relative zone di rispetto (definite con criterio geometrico pari al cerchio di raggio di 200 m) su cui valgono le norme di cui all'art. 94 del D. Lgs. 152/2006 e s.m.i. nonché le disposizioni della D.G.R. 10/04/2003, n. 12693. n/N: la prima numerazione (n) si riferisce al numero della stratigrafia del pozzo riportata in ALL. 1, mentre la seconda (N) si riferisce a quella adottata dall'ente gestore ASM di Pavia. Poiché i dati litostratigrafici a disposizione indicano che tali pozzi risultano attingere da "acquiferi protetti", le zone di rispetto potrebbero essere soggette a riduzione e coincidere con le aree di tutela assoluta secondo le procedure di cui alla D.G.R. 27/06/1996, n. VI/15137, adottando il criterio idrogeologico, previa richiesta da avanzare da parte dell'ente gestore ai sensi di tale D.G.R. e relativa autorizzazione di deroga da rilasciare da parte dell'ente competente (attualmente la Provincia di Pavia).

SITI CONTAMINATI O POTENZIALMENTE TALI (vedi precedente capitolo 6).

GEOSITI; Beni geologici già soggetti a forme di tutela (ALL. 14 alla D.G.R. 28/05/2008, n. 7374): Terrazzi divergenti della Roggia Vernavola (vedi precedente cap. 7).



S.G.P.

9 LA CARTA DI SINTESI E DELLE UNITA' IDRO-GEO-MORFOLOGICHE, GEOTECNICHE E IDRAULICHE (TAV. 9)

Il territorio comunale è stato suddiviso in distinte unità con caratteristiche idro-geomorfologiche, geotecniche e idrauliche confrontabili, identificate da lettere maiuscole (da A a F). I numeri all'apice e le lettere minuscole tra parentesi al pedice individuano delle sotto-unità. Le lettere maiuscole in corsivo al pedice individuano la fascia fluviale di appartenenza secondo la terminologia adottata dal Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI).

Gli schemi riportati a lato in tavola relativi alle caratteristiche litostratigrafiche, idrogeologiche e geotecniche delle singole unità, derivanti dall'interpretazione integrata delle informazioni costituenti la Banca Dati Geologica comunale (vedi TAV. 6 e ALL. i da 1 a 6) sono da ritenersi indicativi e orientativi per una differenziazione a livello territoriale a scala di pianificazione comunale e non costituiscono in ogni caso deroga alle indagini sito-specifiche di progetto da effettuare ai fini della definizione del modello geologico e geotecnico di cui alle norme tecniche per le costruzioni di cui al D.M. 14/01/2008 (vedi cap. 6, in particolare i punti 6.2.1 e 6.2.2).

UNITA' F

ALVEO INCISO DEL F. TICINO, comprensivo di isole fluviali e barre laterali (alluvioni attuali a prevalenza ghiaiosa), in Fascia A, di deflusso della piena.

MORFOLOGIA: ripiani golenali impostati su depositi alluvionali attuali o recenti.

LITOLOGIA: sono costituiti prevalentemente da sabbie e ghiaie sciolte, con locali e discontinue intercalazioni di limi e limi argilloso-torbosi.

IDROGEOLOGIA: falda freatica prossima al piano campagna, direttamente collegata alla falda d'alveo e di subalveo e potenzialmente soggetta ad escursioni positive anche di notevole entità legate allo stato idrologico del F. Ticino; permeabilità e vulnerabilità elevata.

IDRAULICA: aree inondabili; sono comprese all'interno della fascia di deflusso della piena (F_A in Fascia A) o della fascia di esondazione (F_B in Fascia B).

UNITA' E

MORFOLOGIA: ripiani golenali impostati su depositi alluvionali recenti, relativamente sopraelevati rispetto ai precedenti.

LITOLOGIA: sono costituiti prevalentemente da sabbie e ghiaie sciolte fino alla profondità indicativa di 10 ÷ 12 m circa dal piano campagna (E_A ed E_B); localmente è stata rilevata la presenza di orizzonti coesivo - compressibili superficiali e discontinui (E_B^1).



S.G.P.

IDROGEOLOGIA: falda a pelo libero generalmente prossima al piano campagna, direttamente collegata alla falda d'alveo e di subalveo e potenzialmente soggetta ad escursioni positive anche di notevole entità legate allo stato idrologico del F. Ticino.

IDRAULICA: ripiani golenali inondabili anche in caso di piene non eccezionali, con raggiungimento dei tiranti idrici massimi in concomitanza del colmo della piena di riferimento. E_A = in fascia A, di deflusso delle piene; E_B = in fascia B, di esondazione.

UNITA' D

MORFOLOGIA: aree ex golenali arginate (in sponda destra del Ticino = D_B , D_C e D^1_C); ripiani sopraelevati rispetto all'unità precedente e zone ex-golenali in corrispondenza di paleomeandri del Ticino (in sponda sinistra del Ticino) e fasce in scarpata delle unità **A** e **B** a ridosso delle golene in sponda sinistra del Ticino (D^2); golene dei corsi d'acqua minori (Vernavola e Navigliaccio = D^3).

LITOLOGIA: sono presenti generalmente sabbie fini uniformi, con sporadiche intercalazioni di ghiaia e ghiaietto fino alla profondità indicativa di $13 \div 15$ m dal piano campagna; localmente sono presenti corpi lenticolari e discontinui di limi e limi argillosi, in superficie e/o intercalati nella successione. Questi ultimi litotipi denotano un comportamento non drenato e compressibile (soprattutto in D^1).

IDROGEOLOGIA: falda freatica generalmente prossima al piano campagna, direttamente collegata alla falda d'alveo e di subalveo e soggetta ad escursioni positive anche di notevole entità soprattutto per rigurgito in caso di piene dei rispettivi corsi d'acqua; permeabilità e vulnerabilità elevata.

IDRAULICA: aree in sponda destra Ticino (Siccomario) difese dall'argine maestro ma inserite in fascia B, di esondazione (D_B) o C, di esondazione per piena catastrofica (D_C e D^1_C) del PAI. In D^2 e D_C si possono eccezionalmente verificare allagamenti, specialmente in vani seminterrati o scantinati e in concomitanza di eventi gravosi di piena, per rigurgiti del reticolo idrico, degli scarichi e/o della falda. In D_3 sono presenti condizioni morfologico-idrauliche tipo Fascia C.

UNITA' C

MORFOLOGIA: ripiani, talora artificiali, debolmente ribassati rispetto all'unità A, con rapporti di continuità morfologica con i ripiani immediatamente inferiori. Corrispondono principalmente ai ripiani più elevati compresi all'interno delle valli a cassetta incise nell'unità A dalla Vernavola e, in subordine, dal Ticino. Risultano comunque sopraelevati rispetto alle rispettive golene. Soprattutto in funzione dell'uso attuale del suolo, del grado di artificializzazione e dei rapporti con le aree adiacenti, sono distinguibili le seguenti due sotto-unità: **C** = fasce più prossime alle zone golenali della Vernavola (nella zona a monte dell'abitato), con le quali condividono i principali aspetti morfologici ed ambientali; non sono attualmente urbanizzate e sono contornate dal paesaggio agrario, di cui rappresentano la frangia di transizione con le golene



S.G.P.

adiacenti; C^1 = zone comprese nel tratto urbano o aree libere di frangia, già urbanizzate e/o facenti parte di ambiti territoriali contraddistinti da un grado più o meno spinto di artificialità.

LITOLOGIA: sono costituiti in generale da sabbie prevalenti con subordinate ghiaie, con intercalazioni lenticolari di limi e limi argillosi.

IDROGEOLOGIA: falda freatica generalmente prossima al piano campagna; permeabilità e vulnerabilità elevata.

IDRAULICA: aree non inondabili.

UNITA' B

MORFOLOGIA: ripiani impostati su depositi alluvionali antichi, sopraelevati di almeno 8 ÷ 16 m rispetto agli alvei attivi (ivi comprese le zone attualmente con quote confrontabili a tale ripiano in quanto interessate da riporti antropici effettuati su ex ripiani delle alluvioni recenti).

LITOLOGIA: risultano costituiti prevalentemente da sabbie sciolte in superficie, maggiormente addensate in profondità. Localmente sono presenti intercalazioni limose e argillose, a profondità variabile da 2 a 9 m dal piano campagna (vedi sottounità $B^1_{(a)}$ e $B^1_{(b)}$). Intercalate nella porzione più superficiale della successione sono localmente segnalati orizzonti torbosi. Nel centro storico sono spesso presenti riporti superficiali costituiti da sabbie limose con ciottoli, frammenti di manufatti e, saltuariamente, scorie di fonderia.

IDROGEOLOGIA: nel centro storico il primo livello acquifero saturo è posto normalmente a profondità maggiore di 5 ÷ 6 m dal piano campagna ($B_{(b)}$), mentre nelle aree periferiche e nelle zone agricole intorno all'abitato (o, comunque, meno drenate) può essere situato a profondità minore ($B_{(a)}$). La permeabilità e la vulnerabilità sono in genere elevate. Per ulteriori informazioni si veda la TAV. 3.

IDRAULICA: aree non inondabili.

UNITA' A

MORFOLOGIA: ripiani impostati su depositi alluvionali del "Fluviale recente" (Piano Generale Terrazzato della pianura lombarda), sopraelevati di almeno 10 ÷ 24 m rispetto agli alvei attivi.

LITOLOGIA: sono costituiti prevalentemente da sabbie (spesso alterate in superficie) con sporadici orizzonti a scheletro più grossolano e con intercalazioni a diversa profondità di limi e limi argillosi. Le informazioni geognostiche disponibili consentono la delimitazione sommaria delle zone ove tali intercalazioni sono generalmente presenti: dalla profondità di 2,5 ÷ 5 m alla profondità di 6 ÷ 8 m dal piano campagna ($A^1_{(a)}$); superficialmente, fino a 3,5 ÷ 5,5 m dal piano campagna ($A^2_{(a)}$).

IDROGEOLOGIA: è generalmente presente una prima falda sospesa rispetto alla falda principale, a profondità variabile in funzione delle condizioni morfologiche e



S.G.P.

idrogeologiche locali; la superficie di tale falda sospesa è generalmente ubicata, in condizioni normali, alle seguenti profondità: 2 ÷ 4 m dal piano campagna o stagionalmente prossima alla superficie ($A_{(a)}$); 5 ÷ 6 m dal piano campagna con escursioni stagionali fino a 3 ÷ 4 m dal piano campagna ($A_{(b)}$); maggiore o uguale a 6 m ($A_{(c)}$). La permeabilità e la vulnerabilità della porzione superficiale della successione sono relativamente elevate. Per ulteriori informazioni si rimanda alla TAV. 3.

IDRAULICA: aree non inondabili.

ULTERIORI VINCOLI O LIMITAZIONI

FASCE FLUVIALI (desunte dal Piano per l'Assetto Idrogeologico - PAI approvato con D.P.C.M. 24/05/2001, localmente ridefinite ai sensi del comma 3, art. 27 delle N.d.A. del PAI ed in conformità alla lettera b), par. 5.1.1.1 in Parte 2 dell'All. A alla D.G.R. n. 7374/2008):

Limite della Fascia A.

Limite della Fascia B.

VALUTAZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO ALL'INTERNO DELLE AREE EDIFICATE OVE RICADENTI NELLE FASCE FLUVIALI A E B

Aree edificate con continuità, compresi i lotti interclusi ed escluse le aree libere di frangia.

Classe di rischio idraulico R3 (elevato, per il quale sono possibili problemi per l'incolumità delle persone, danni funzionali agli edifici e alle infrastrutture con conseguente inagibilità degli stessi e l'interruzione delle attività socio economiche, danni al patrimonio culturale), con tirante idrico per la piena di riferimento inferiore a 0,9 m e velocità della corrente inferiore a 1 m/s; classe di fattibilità 3.

Classe di rischio idraulico R4 (molto elevato, per il quale sono possibili la perdita di vite umane e lesioni gravi alle persone, danni gravi agli edifici e alle infrastrutture, danni al patrimonio culturale, la distruzione di attività socio economiche), con tirante idrico per la piena di riferimento superiore a 0,9 m e velocità della corrente inferiore a 1 m/s; classe di fattibilità 4.

SITUAZIONI OVE POSSONO VERIFICARSI LOCALI ALLAGAMENTI connessi a rigurgiti di scarichi o del reticolo idrico, anomali innalzamenti della falda, ecc. in concomitanza di piene gravose e/o di eventi meteorici particolarmente intensi.



ZONE CONTRADDISTINTE DALLA LOCALE PRESENZA DI CAVITÀ NEL SOTTOSUOLO (collettori fognari di epoca romana e medioevale) in genere con sommità a quote debolmente inferiori rispetto alle fondazioni dell'edificato esistente, i cui eventuali crolli potrebbero indurre cedimenti o lesioni strutturali più o meno gravi al patrimonio edilizio esistente.

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):

- 1 - siti con procedure tecnico-amministrative in corso, ancora da certificare o comunque con iter non concluso;
- 2 - siti con interventi di bonifica approvati in corso di esecuzione;
- 3 - siti con bonifica conclusa mediante misure di messa in sicurezza permanente, svincolati ma con limitazioni d'uso, già certificati;
- 4 - perimetrazione indicativa di aree interessate da riporti di varia entità, costituiti da prevalenti sabbie limose, ciottoli, frammenti di laterizi, scorie di fonderia, ecc.;
- 5 - zone ove è nota la presenza di rifiuti di varia natura, già prese in considerazione dall'Amministrazione Provinciale di Pavia per la comunicazione alla Regione ai fini della predisposizione del Piano di aggiornamento delle aree inquinate della Regione Lombardia (la loro perimetrazione è da ritenersi indicativa). Le lettere maiuscole forniscono indicazioni più puntuali sulle singole aree:
A = area utilizzata negli anni '60 e '70 come discarica comunale di RSU;
B = stoccaggio di prevalenti RSU e RSAU;
C = stoccaggio abusivo sul suolo di rifiuti;
D = principali aree industriali dimesse da sottoporre ad accertamenti.
- 6 - siti già indagati con verifica di assenza di contaminazioni o già bonificati, con area svincolata e/o con certificato provinciale di avvenuta bonifica già emesso.

POZZI PUBBLICI AD USO IDROPOTABILE E RELATIVE ZONE DI RISPETTO (definite con criterio geometrico pari al cerchio di raggio di 200 m) su cui valgono le norme di cui all'art. 94 del D. Lgs. 152/2006 e s.m.i. le disposizioni della D.G.R. 10/04/2003, n. 12693. Poiché i dati litostratigrafici a disposizione (vedi ALL. 1 e TAV. 4) indicano che tali pozzi risultano attingere da "acquiferi protetti", le zone di rispetto potrebbero essere soggette a riduzione e coincidere con le aree di tutela assoluta secondo le procedure di cui alla D.G.R. 27/06/1996, n. VI/15137, adottando il criterio idrogeologico, previa richiesta da avanzare da parte dell'ente gestore ai sensi di tale D.G.R. e relativa autorizzazione di deroga da rilasciare da parte dell'ente competente (attualmente la Provincia di Pavia).



S.G.P.

ULTERIORI ELEMENTI EVIDENZIATI IN CARTOGRAFIA

Tratto di sponda fluviale in erosione attiva o potenziale.

Strettoia artificiale dell'alveo del F. Ticino.

Elementi di interesse geomorfologico e paesaggistico e/o situazioni suscettibili di tutela o riqualificazione e valorizzazione ambientale:

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

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

Traccia di alveo abbandonato, paleomeandro.

Beni geologici già soggetti a forme di tutela (Geositi; vedi ALL. 14 alla D.G.R. 28/05/2008, n. 7374): Terrazzi divergenti della Roggia Vernavola.



10 LA CARTA DELLA FATTIBILITA' GEOLOGICA PER LE AZIONI DI PIANO (TAV. 10) E NORME DI CARATTERE GEOLOGICO

10.1 Considerazioni e prescrizioni di carattere generale

L'interpretazione integrata dei dati di analisi acquisiti ha consentito di suddividere l'intero territorio comunale in distinte unità e sotto-unità con confrontabili condizioni idro-geo-morfologiche, geotecniche e idrauliche (vedi TAV. 9).

Le sotto-unità con confrontabili condizioni di pericolosità/vulnerabilità geologica in funzione del loro reale o potenziale utilizzo urbanistico sono state quindi accorpate in gruppi omogenei, corrispondenti alle differenti classi di fattibilità geologica in conformità a quanto definito in merito dalla DGR n. 7374/2008.

Nel caso in cui un'area omogenea per pericolosità/vulnerabilità geologica sia stata verificata la presenza contemporanea di diverse criticità, a tale area è stato attribuito il valore più alto di classe secondo quanto definito in merito dalla sopra citata DGR, esplicitando nelle seguenti Norme di carattere geologico le prescrizioni che considerano la sussistenza di tutte le criticità riscontrate. Tali Norme devono essere recepite nel "Piano delle regole" di PGT.

Le indicazioni fornite nelle Norme in merito all'edificabilità si riferiscono a costruzioni di non particolare mole e complessità strutturale; nelle fasce di transizione tra le varie classi occorrerà tenere in considerazione anche le indicazioni fornite per la classe dotata di caratteristiche più scadenti, valutando i possibili areali di sua influenza.

Alle istanze per l'approvazione da parte dell'autorità comunale dei Piani attuativi (L.R. 12/05, art. 14) o in sede di richiesta del permesso di costruire (L.R. 12/05, art. 38) dovrà essere allegata, congiuntamente alla restante documentazione, apposita relazione geologica, geotecnica e - ove previsto - idraulica, che dovrà presentare analisi originali e critiche dei presenti elaborati geologici e idonea documentazione relativa all'adempimento delle prescrizioni contenute nelle presenti Norme di carattere geologico, verificare la compatibilità dell'intervento con le condizioni di pericolosità/vulnerabilità geologica esistente, sia per quanto riguarda possibili aggravamenti della situazione attualmente esistente, sia in relazione alla sicurezza dell'intervento stesso.

I risultati delle eventuali prove geognostiche e geotecniche eseguite, localizzate su adeguata cartografia, dovranno essere allegati in un apposito elaborato al fine dell'integrazione della Banca Dati Geologica Comunale.



Si specifica che le indagini e gli approfondimenti prescritti per le classi di fattibilità 2, 3 e 4 (per quest'ultima, limitatamente ai casi consentiti) dovranno essere realizzati prima della progettazione degli interventi in quanto propedeutici alla pianificazione dell'intervento e alla progettazione stessa.

Tutti gli elaborati dovranno essere firmati da tecnico abilitato.

Si sottolinea che gli approfondimenti di cui sopra non sostituiscono, anche se possono comprendere, le indagini sito-specifiche di progetto da effettuare ai fini della definizione del modello geologico e geotecnico di cui alle Norme Tecniche per le costruzioni (vedi cap. 6, in particolare i punti 6.2.1 e 6.2.2) di cui al D.M. 14/01/2008.

Sono fatte salve in ogni caso le eventuali disposizioni più restrittive contemplate dalle leggi dello Stato e della Regione, dagli strumenti di pianificazione sovracomunale e da altri piani di tutela del territorio e dell'ambiente; in caso di discrepanze, si applicheranno le norme più restrittive e/o cautelative.

10.2 Classe 1 – Fattibilità senza particolari limitazioni

Nel territorio comunale non sono state riconosciute aree con caratteristiche tali da essere inserite in questa classe.

10.3 Classe 2 – Fattibilità con modeste limitazioni

La classe di fattibilità 2 (retini in colore giallo) comprende le zone nelle quali sono state riscontrate modeste limitazioni all'utilizzo a scopi edificatori e/o alla modifica della destinazione d'uso, che possono essere superate mediante approfondimenti di indagini e accorgimenti tecnico-costruttivi e senza l'esecuzione di opere di difesa. Sono state inserite in questa classe: le unità idro-geo-morfologiche, geotecniche e idrauliche **A** e **B** di cui alla TAV. 9 ove non gravate da altri vincoli o limitazioni.

In questa classe ricadono le aree nelle quali gli studi non hanno individuato specifiche controindicazioni di carattere geologico all'urbanizzazione e alla edificabilità.

Si tratta in particolare di aree (sotto-unità **A_(b)**, **A_(c)** e **B_(b)**) sub-pianeggianti, non inondabili, generalmente contraddistinte da soddisfacenti caratteristiche geotecniche del substrato di fondazione e normalmente con assenza di significative interferenze tra falda e immediato primo sottosuolo, da verificare in ogni caso a livello puntuale in fase



progettuale. L'edificazione risulta pertanto in genere attuabile senza particolari problemi di ordine geologico-tecnico. Solo localmente sono presenti vincoli non severi, essenzialmente dovuti ad eterogeneità latero-verticali delle caratteristiche geomeccaniche del substrato di fondazione con locale presenza nell'immediato sottosuolo di orizzonti dotati di scadenti caratteristiche geotecniche; tali vincoli possono comunque essere individuati con precisione attraverso l'esecuzione di puntuali ed opportune indagini geognostiche e superabili generalmente con l'adozione di normali accorgimenti costruttivi. In queste sotto-unità, le indagini sito-specifiche di progetto da effettuare ai fini della definizione del modello geologico e geotecnico di cui alle Norme Tecniche per le costruzioni (vedi cap. 6, in particolare i punti 6.2.1 e 6.2.2) dovranno essere in particolare finalizzati alla definizione della profondità, morfologia e consistenza del substrato, previa esecuzione di idonee indagini geognostiche (per la buona parte dei casi di interventi di mole non rilevante potrà essere anche sufficiente una caratterizzazione litostratigrafica e geotecnica speditiva mediante l'apertura di trincee esplorative con escavatore meccanico, eventualmente da integrare successivamente con indagini più profonde e/o specifiche, quali sondaggi, prove penetrometriche e prove geotecniche di laboratorio, nel caso in cui le trincee fornissero esiti sfavorevoli o insufficienti). Le indagini geologiche e geotecniche dovranno in ogni caso consentire la definizione della locale situazione idrogeologica (in particolare: posizione e fascia di oscillazione della falda) e dei parametri geomeccanici caratteristici di resistenza e deformazione (anche mediante l'ausilio di prove geotecniche di laboratorio), da utilizzare per il corretto dimensionamento delle strutture fondazionali, con verifiche geotecniche finalizzate al calcolo della capacità portante e dei cedimenti in relazione ai carichi di progetto.

Localmente le informazioni a disposizione indicano la probabile presenza, singola o associata, di un immediato sottosuolo contraddistinto da caratteristiche geotecniche non ottimali ($A^1_{(a)}$, $A^2_{(a)}$, $B^1_{(a)}$, $B^1_{(b)}$) e/o interferenze tra falda e primo sottosuolo ($A_{(a)}$, $A^1_{(a)}$, $B_{(a)}$ e $B^1_{(a)}$). In queste sotto-unità possono essere comprese anche aree che ricadono nelle sotto-unità precedenti, ove l'assenza di una fitta maglia di dati geognostici puntuali non ha consentito la perimetrazione di dettaglio di zone ove possono essere presenti le stesse limitazioni. Per le aree ricadenti in queste sotto-unità, l'edificabilità può comunque essere generalmente attuata con l'adozione di normali accorgimenti costruttivi e/o di preventiva salvaguardia idrogeologica o geotecnica, opportunamente dimensionati sulla base delle risultanze di indagini idrogeologiche e geotecniche puntuali che, oltre quanto già espresso in merito per le sotto-unità precedenti, dovranno considerare le condizioni limitative geotecniche e/o idrogeologiche caratteristiche appena descritte.

Nelle fasce prospicienti gli orli di scarpata che delimitano i ripiani, le verifiche geotecniche, oltre a quanto già specificato in precedenza, dovranno dimostrare che gli interventi previsti non muteranno in senso peggiorativo la situazione geostatica esistente.



Classe 3 – Fattibilità con consistenti limitazioni

La classe di fattibilità 3 (retini in colore arancione) comprende le zone nelle quali sono state riscontrate consistenti limitazioni all'utilizzo a scopi edificatori e/o alla modifica della destinazione d'uso per le condizioni di pericolosità/vulnerabilità individuate, per il superamento delle quali potrebbero rendersi necessari interventi specifici o opere di difesa.

Sono state inserite in questa classe: le unità idro-geo-morfologiche, geotecniche e idrauliche **C** e **D** di cui alla TAV. 9; le sotto-unità idro-geo-morfologiche, geotecniche e idrauliche **E_B**, **E¹_B** e **F_B** di cui alla TAV. 9; le aree edificate ricadenti nelle Fasce fluviali A e B in classe di rischio idraulico R3; le zone contraddistinte dalla locale presenza di cavità nel sottosuolo (collettori fognari di epoca romana e medioevale) in genere con sommità a quote debolmente inferiori rispetto alle fondazioni dell'edificato esistente, i cui eventuali crolli potrebbero indurre cedimenti o lesioni strutturali più o meno gravi al patrimonio edilizio esistente; i 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) ad esclusione dei siti già indagati con verifica di assenza di contaminazioni o già bonificati, con area svincolata e/o con certificato provinciale di avvenuta bonifica già emesso.

Con riferimento alle singole casistiche ricomprese in questa classe, le Norme specifiche sono riferite alle singole o congiunte problematiche evidenziate nell'attribuzione della sotto-unità di cui alla TAV. 9, che devono essere considerate nelle indagini sito-specifiche di progetto da effettuare ai fini della definizione del modello geologico e geotecnico di cui alle Norme Tecniche per le costruzioni (vedi cap. 6, in particolare i punti 6.2.1 e 6.2.2).

In generale, come indagini geologico-tecniche, vale quanto già riportato per la classe di fattibilità precedente; per le aree a potenziale vulnerabilità idraulica diretta o indiretta sono da prevedere specifici approfondimenti topografici, strutturali e idraulici, considerando che i dati a disposizione acquisiti indicano una quota di sicurezza non inferiore a 63,8 m s.l.m. (vedi TAV. 5); tale quota è da considerare idonea per non interferire negativamente con il deflusso delle acque di piena nel caso di strutture su pilotis e situazioni confrontabili.

In specifico, per le singole o congiunte casistiche inserite in questa classe valgono le seguenti disposizioni (nei casi di concomitanza di più problematiche, queste devono essere affrontate congiuntamente).



Per le sotto-unità ricadenti in Fascia Fluviale B (individuate dal suffisso *B* in TAV. 9) valgono le prescrizioni di cui alla “Fascia di esondazione” (Fascia B) del PAI, con specifico riferimento a quanto espresso in merito agli art. 30, 38, 38 bis, 38 ter e 39 delle relative NtA. Per le aree non edificate (e comunque esterne al perimetro di quelle edificate con continuità, compresi i lotti interclusi ed escluse le aree libere di frangia, come riportato nella cartografia allegata) vale il vincolo speciale di tutela idrogeologica ai sensi dell’art. 5, comma 2, lettera a) della L. 17 agosto 1942, n. 1150. Per le aree edificate in classe di rischio R3, ivi compresi i nuclei sparsi, cascine, ecc. in Fascia B esterna all’edificato, si adottano le procedure di allerta, preallarme, allarme, emergenza ed evacuazione di cui al vigente “Piano speditivo comunale per il rischio di allagamenti determinati dalla piena del Ticino” (vedi graf. 1 in TAV. 5), fatti salvi gli adempimenti comunali relativi alla predisposizione dei piani comunali di Emergenza e di Protezione Civile come disposto dall’art. 23 e comma 2, art. 31 delle NtA del PAI e relative disposizioni regionali in materia e che deve anche considerare il rischio residuo delle aree in fascia C (vedi precedente paragrafo 3.10.2); le eventuali opere di mitigazione proposte dovranno essere dimensionate secondo i criteri metodologici di cui all’ALL. 4 alla DGR 7374/2008 assumendone come riferimento gli accorgimenti costruttivi ivi suggeriti, verificando che la realizzazione delle stesse non interferisca negativamente con il deflusso e con la dinamica del corso d’acqua.

Le problematiche di tipo idraulico, anche se temporanee e raramente frequenti, delle aree in classe **D** (ad esclusione di **D³**) fanno sì che queste siano considerate nei piani comunali di Emergenza e di Protezione Civile (art. 23 e comma 2, art. 31 delle NtA del PAI; vedi precedente paragrafo 3.10.2). L’edificabilità, in ogni caso tecnicamente attuabile, dovrà pertanto essere attentamente valutata, tenendo conto delle problematiche specifiche delle singole unità (presenza di valenze ambientali, potenziale inondabilità o allagabilità con modesti tiranti idrici, potenziale pericolo di innalzamenti della superficie freatica fino al piano campagna, scarsa protezione della falda stessa da fenomeni di inquinamento, scadenti caratteristiche geotecniche degli orizzonti limoso - torbosi localmente intercalati, soprattutto in **D^{1C}**, nelle successioni in parola). E’ quindi fortemente sconsigliata la realizzazione di seminterrati e scantinati, mentre le superfici abitabili (quelle sede di processi industriali, impianti tecnologici, eventuali depositi) dovranno essere impostate ad una quota di sicurezza, sulla base di specifiche verifiche da eseguire appositamente in sede di predisposizione della documentazione tecnica da presentare in Comune. Nella sotto-unità **D³** le valenze paesaggistico-ambientali presenti devono fare riflettere e valutare attentamente un loro sfruttamento urbanistico che, ove previsto, deve dovrebbe considerare tali peculiarità prevedendo opportune opere di inserimento e mitigazione paesaggistico-ambientale.

Lo stesso dicasi per le aree in classe **C** ove, rispetto alle precedenti in classe **D**, non sussistono tuttavia problematiche di tipo idraulico. Si è ritenuto infatti di inserire in questa classe anche i ripiani, peraltro non inondabili, debolmente sopraelevati rispetto



S.G.P.

ad aree golenali, corrispondenti principalmente ai terrazzi più elevati ma ancora compresi all'interno della valle a cassetta della Vernavola nel suo tratto a monte dell'abitato e del Ticino all'estremità sud-orientale del territorio comunale. Tali ripiani, che presentano non ottimali condizioni idrogeologiche e geotecniche, rappresentano la frangia di transizione tra il paesaggio agricolo retrostante e le aree golenali immediatamente sottostanti, a cui sono legate da rapporti di continuità morfologica ed ambientale. Queste aree, essenzialmente non urbanizzate ed inserite in un peculiare contesto agricolo ed ambientale, sia per le caratteristiche sopra menzionate, sia per la posizione occupata e la strutturazione morfologica, risultano particolarmente vocate alla realizzazione di interventi di riqualificazione ambientale finalizzati ad una fruizione ricreativa.

Valgono comunque le prescrizioni tecniche già espresse in precedenza per questa classe di fattibilità.

Nelle zone contraddistinte dalla locale presenza di cavità nel sottosuolo (collettori fognari di epoca romana e medioevale) in genere con sommità a quote debolmente inferiori rispetto alle fondazioni dell'edificato esistente, i cui eventuali crolli potrebbero indurre cedimenti o lesioni strutturali più o meno gravi al patrimonio edilizio esistente, negli interventi su quest'ultimo devono essere considerate, tramite le opportune indagini e gli eventuali accorgimenti costruttivi, tali potenziali criticità.

Per i 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) ad esclusione dei siti già indagati con verifica di assenza di contaminazioni o già bonificati, con area svincolata e/o con certificato provinciale di avvenuta bonifica già emesso senza vincoli, ogni intervento è subordinato al recepimento delle risultanze e delle eventuali prescrizioni dell'istruttoria in atto o conclusa; i siti non ancora indagati (in cartografia sono segnalati i casi più emblematici e noti), comprensivi di tutte le ex aree industriali dismesse, gli ex distributori di carburanti, le aree ove sono stati presenti stoccaggi di idrocarburi e comunque in ogni caso in cui la storia del sito e le attività condotte su esso (con riferimento a quelle considerate in Appendice 5 alle "Linee guida per la selezione di analiti da determinare nella caratterizzazione dei siti contaminati" della Provincia di Milano, novembre 2003, disponibile sul sito internet della Provincia di Milano) può far supporre una alterazione delle matrici ambientali, devono essere soggetti a preventiva indagine preliminare con i contenuti richiesti a quest'ultima dall'art. 242 del D. Lgs. 152/2006 e s.m.i..



10.4 Classe 4 – Fattibilità con gravi limitazioni

La classe di fattibilità 4 (retini in colore rosso) comprende le aree ove l'alta pericolosità/vulnerabilità comporta gravi limitazioni all'utilizzo a scopi edificatori e/o alla modifica della destinazione d'uso; trattasi in particolare di zone nelle quali l'alto rischio idraulico limita fortemente la realizzabilità di interventi comportanti programmi di edificazione permanente abitativa e/o produttiva. Sono state inserite in questa classe: le seguenti sotto-unità idro-geo-morfologiche, geotecniche e idrauliche E_A , F_A e G_A di cui alla TAV. 9; le aree edificate ricadenti nelle Fasce fluviali A e B in classe di rischio idraulico R4; gli specchi d'acqua, naturali e/o artificiali e relative fasce in scarpata; le fasce di rispetto dei corpi idrici superficiali ex R.D. n. 523/1904 per le quali valgono i relativi vincoli.

Nelle aree ricadenti in questa classe deve essere esclusa qualsiasi nuova edificazione, se non opere tese al consolidamento o alla sistemazione idrogeologica per la messa in sicurezza dei siti. Per gli edifici esistenti sono consentite esclusivamente le opere relative a interventi di demolizione senza ricostruzione, manutenzione ordinaria e straordinaria, restauro, risanamento conservativo, come definiti dall'art. 27, comma 1, lettere a), b), c) della L.R. 12/2005, senza aumento di superficie o volume e senza aumento del carico insediativo; sono comunque richiesti specifici approfondimenti idraulici, strutturali e topografici, che devono verificare le condizioni di vulnerabilità e rischio. Sono fatti salvi gli interventi consentiti all'interno delle Fascia fluviale A dalle NtA del PAI e sono inoltre consentite le innovazioni necessarie per l'adeguamento alla normativa antisismica. Eventuali infrastrutture pubbliche e di interesse pubblico possono essere realizzate solo se non altrimenti localizzabili; dovranno comunque essere puntualmente e attentamente valutate in funzione della tipologia di dissesto e del grado di rischio che determinano l'ambito di pericolosità/vulnerabilità omogenea. A tal fine, alle istanze per l'approvazione da parte dell'autorità comunale, deve essere allegata apposita relazione geologica, geotecnica, strutturale e idraulica che dimostri la compatibilità degli interventi previsti con la situazione di grave rischio idrogeologico.

Per le sotto-unità E_A , F_A e G_A valgono le norme previste per la "Fascia di deflusso della piena" (fascia A) dal PAI, con particolare riferimento agli art. 29 e 39 (ed a quanto specificato in merito agli art. 38, 38 bis e 38 ter). Per tali aree si adottano le procedure di allerta, preallarme, allarme, emergenza ed evacuazione di cui al vigente "Piano speditivo comunale per il rischio di allagamenti determinati dalla piena del Ticino" (vedi graf. 1 in TAV. 5), fatti salvi gli adempimenti comunali relativi alla predisposizione dei piani comunali di Emergenza e di Protezione Civile (art. 23 e comma 2, art. 31 delle NtA del PAI; vedi precedente paragrafo 3.10.2).



10.5 Prescrizioni per le aree soggette ad amplificazione sismica locale

Come richiesto dalla DGR 7374/2008, nella TAV. 10, in trasparenza sulla delimitazione delle classi di fattibilità geologica sono riportati i risultati dell'analisi della pericolosità sismica (vedi precedente cap. 4 e TAV. 7).

Essendo tutto il territorio comunale di Pavia inserito in Zona sismica 4 e in scenario pericolosità sismica locale Z4a, con zone in scenario Z2, nella presente fase di pianificazione oltre all'analisi di 1° livello estesa a tutto il territorio comunale è stata eseguita anche l'analisi di 2° livello in corrispondenza dei siti segnalati dall'amministrazione ove può essere prevista la localizzazione di edifici strategici e rilevanti di nuova previsione di cui all'elenco tipologico di cui al D.D.U.O. 21 novembre 2003, n. 19904.

L'analisi di 2° livello ha evidenziato aree (n. 2, 9, 13 e 14) in scenario di pericolosità sismica locale Z4a, suscettibili di amplificazioni sismiche, con valore di F_a superiore al valore soglia per il territorio comunale di Pavia per la categoria di suolo B (per l'intervallo di periodo 0,1 – 0,5 s nelle aree n. 2, 9 e 14; per l'intervallo di periodo 0,5 – 1,5 s nell'area n. 13), ove la normativa (D.M. 14 gennaio 2008) è insufficiente a tenere in considerazione i possibili effetti di amplificazione litologica e quindi è necessario, in fase di progettazione edilizia di edifici strategici e rilevanti di nuova previsione, procedere agli approfondimenti di cui al punto 2.2.2, All. 5 alla D.G.R. 28 maggio 2008, n. VIII/7374 (3° livello di fase progettuale) o, in alternativa, utilizzare lo spettro di norma caratteristico della categoria di suolo superiore.

Sempre nel caso di edifici strategici e rilevanti, il 3° livello di fase progettuale deve essere applicato per le zone ricadenti in scenario di pericolosità sismica locale Z2.

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

Anche se già specificato in precedenza, per motivi di organicità e facilità di consultazione delle presenti Norme, di seguito si riportano le 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.

Per i 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) ad esclusione dei siti già indagati con verifica di assenza di contaminazioni o già bonificati, con area



svincolata e/o con certificato provinciale di avvenuta bonifica già emesso senza vincoli, ogni intervento è subordinato al recepimento delle risultanze e delle eventuali prescrizioni dell'istruttoria in atto o conclusa; i siti non ancora indagati (in cartografia sono segnalati i casi più emblematici e noti), comprensivi di tutte le ex aree industriali dismesse, gli ex distributori di carburanti, le aree ove sono stati presenti stoccaggi di idrocarburi e comunque in ogni caso in cui la storia del sito e le attività condotte su esso (con riferimento a quelle considerate in Appendice 5 alle "Linee guida per la selezione di analiti da determinare nella caratterizzazione dei siti contaminati" della Provincia di Milano, novembre 2003, disponibile sul sito internet della Provincia di Milano) può far supporre una alterazione delle matrici ambientali, devono essere soggetti a preventiva indagine preliminare con i contenuti richiesti a quest'ultima dall'art. 242 del D. Lgs. 152/2006 e s.m.i..

10.7 Prescrizioni particolari per la realizzazione di infrastrutture pubbliche e di interesse pubblico all'interno delle Fasce Fluviali A e B

Anche se già specificato in precedenza, per motivi di organicità e facilità di consultazione delle presenti Norme, di seguito si riportano le prescrizioni particolari per la realizzazione di infrastrutture pubbliche e di interesse pubblico all'interno delle Fasce Fluviali A e B.

La realizzazione di infrastrutture pubbliche e di interesse pubblico all'interno delle Fasce Fluviali A e B, ove non altrimenti realizzabili e come definito dalle Norme del PAI, è subordinata all'approvazione della verifica di compatibilità di cui al comma 1, art. 38 delle NTA del PAI, adottando i "Criteri per la valutazione della compatibilità idraulica delle infrastrutture pubbliche e di interesse pubblico all'interno delle Fasce Fluviali A e B" di cui alla Direttiva allegata alla Deliberazione dell'Autorità di Bacino del Fiume Po n. 2/1999 del 11 maggio 1999.

10.8 Segnalazione delle situazioni di potenziale dissesto

Assumendo come riferimento quanto definito al punto 7 dell'art. 18 delle Norme del PAI, il Comune è tenuto a informare i soggetti attuatori delle previsioni dello strumento urbanistico sulle limitazioni derivanti dalle situazioni di reale o potenziale dissesto idrogeologico, con particolare riferimento, per il territorio comunale in esame, essenzialmente di tipo idraulico diretto o indiretto. Tale informazione è insita nelle rituali forme di pubblicizzazione dello strumento urbanistico comunale previsto dalle norme e procedure vigenti.



Il soggetto attuatore è tenuto a sottoscrivere un atto liberatorio che escluda ogni responsabilità dell'amministrazione pubblica in ordine a eventuali futuri danni a cose e a persone comunque derivanti dalle condizioni di dissesto reale o potenziale segnalate nel presente studio. Tale sottoscrizione, richiesta per ogni intervento soggetto a valutazione istruttoria comunale ricadente all'interno delle aree segnalate, è da ritenersi in ogni caso sottintesa all'atto della pubblicizzazione dello strumento urbanistico comunale previsto dalle norme vigenti per tutte le aree comprese all'interno del territorio comunale.

Le aree in condizioni di dissesto reale o potenziale segnalate nel presente studio sono quelle che ricadono all'interno delle classi di fattibilità geologica 3 e 4 di cui alla TAV. 10.

Il Comune provvede altresì a inserire nel certificato di destinazione urbanistica (per queste aree e per tutte quelle ricadenti all'interno della stessa Fascia Fluviale), previsto dalle vigenti disposizioni di legge, la classificazione di seguito riportata.

Nel caso di aree ricadenti all'interno delle Fasce Fluviali, contraddistinte dai suffissi A, B e C nelle sotto-classi di cui alla TAV. 9, nel certificato di destinazione urbanistica è riportato:

“Area classificata in Fascia Fluviale (indicare la Fascia Fluviale di appartenenza, A, B o C), di (indicare di deflusso della piena, di esondazione o di inondazione per piena catastrofica rispettivamente per le Fasce Fluviali A, B e C), classificata nello studio geologico di PGT nella sotto-classe (indicare la sotto-classe di appartenenza di cui alla TAV. 9), inserita nella classe di fattibilità geologica (indicare se in classe 3 o 4 in relazione a quanto riportato in TAV. 10) e considerata nel “Piano speditivo comunale per il rischio di allagamenti determinati dalla piena del Ticino” (oppure nei piani comunali di Emergenza e di Protezione Civile quando saranno redatti). Si segnala la condizione di vulnerabilità/rischio definita nello studio geologico di PGT in relazione alla classe di fattibilità e sotto-unità di appartenenza. Valgono le prescrizioni definite per la classe di fattibilità geologica di appartenenza individuata in TAV. 10. Devono inoltre essere considerati gli ulteriori vincoli o limitazioni riportati in TAV. 8. E' esclusa ogni responsabilità dell'amministrazione pubblica in ordine a eventuali futuri danni a cose e a persone comunque derivanti dalle condizioni di dissesto reale o potenziale segnalate”.

Nel caso di aree ricadenti all'esterno delle Fasce Fluviali, nel certificato di destinazione urbanistica è riportato:

“Area classificata nello studio geologico di PGT nella sotto-classe (indicare la sotto-classe di appartenenza di cui alla TAV. 9), con segnalata altresì la presenza di (indicare



eventuali sovrapposizioni di criticità al retino della sotto-classe riportata in TAV. 9 in funzione dell'attribuzione della classe di fattibilità, segnalando la presenza di situazioni limitrofe puntuali, lineari o non perimetrata), *inserita nella classe di fattibilità geologica 3 e considerata (solo se caso pertinente) nel "Piano speditivo comunale per il rischio di allagamenti determinati dalla piena del Ticino"* (oppure nei piani comunali di Emergenza e di Protezione Civile quando saranno redatti) *per i potenziali dissesti idraulici. Si segnala la condizione di vulnerabilità/rischio definita nello studio geologico di PGT in relazione alla classe di fattibilità e sotto-unità di appartenenza. Valgono le prescrizioni definite per la classe di fattibilità geologica di appartenenza individuata in TAV. 10. Devono inoltre essere considerati gli ulteriori vincoli o limitazioni riportati in TAV. 8. E' esclusa ogni responsabilità dell'amministrazione pubblica in ordine a eventuali futuri danni a cose e a persone comunque derivanti dalle condizioni di dissesto reale o potenziale segnalate".*

10.9 Interventi edilizi compatibili nelle diverse classi di fattibilità geologica e sotto-unità idro-geo-morfologiche, idrauliche e geotecniche

Il Piano delle Regole e le Norme di Attuazione del PGT comunale recepiscono le norme di carattere geologico del presente studio e definiscono come aree non soggette a interventi di trasformazione urbanistica quelle a rischio idrogeologico ricadenti nelle Fasce fluviali A e B del PAI, come individuate nel presente studio, nonché definiscono divieti, vincoli e prescrizioni agli interventi edilizi consentiti in tali aree e all'interno dell'intero territorio comunale, considerando il contesto di vulnerabilità, pericolosità e rischio idrogeologico, in conformità al vigente Piano Stralcio dell'Assetto Idrogeologico (PAI) approvato con D.P.C.M. del 24/03/2001 ai sensi della L. 183/1989, alle vigenti norme tecniche nazionali in tema di costruzioni (D.M. 04/01/2008) e agli indirizzi emanati dalla Regione (D.G.R. 22/28 maggio 2008, n. 8/7374), in attuazione dell'art. 57, comma 1, della L.R. 11/03/2005, n. 12, in tema di prevenzione dei rischi geologici, idrogeologici e sismici.

Nelle aree ricadenti nelle Fasce fluviali A e B, come individuate nel presente studio sono sempre ammessi interventi di mitigazione e compensazione agroforestale e ambientale e, previa valutazione di possibili alternative, opere pubbliche o di interesse pubblico. E' altresì ammesso il mantenimento della attività agricola, in essere alla data di approvazione del PGT. Così come specificato dalle Norme di attuazione del PAI, è ammessa la realizzazione di opere pubbliche o di interesse pubblico, riferite a servizi essenziali non altrimenti localizzabili, a condizione che non modifichino i fenomeni idraulici naturali e le caratteristiche di particolare rilevanza naturale dell'ecosistema fluviale che possono aver luogo in tali ambiti, che non costituiscano significativo ostacolo al deflusso e non limitino in modo significativo la capacità di invaso, e che non



concorrano a incrementare il carico insediativo. A tal fine i progetti di opere pubbliche o di interesse pubblico devono essere corredati da uno studio di compatibilità, che documenti l'assenza dei suddetti fenomeni e delle eventuali modifiche alle suddette caratteristiche, da sottoporre all'Autorità di Bacino del Fiume Po, per l'espressione di parere rispetto la pianificazione di bacino, in conformità alle specifiche direttive emanate dalla stessa.

In particolare, con riferimento agli interventi edilizi:

1. Nei territori inseriti in Fascia fluviale B sono comunque consentiti:
 - a) interventi di adeguamento igienico-funzionale degli edifici esistenti, ove necessario, per il rispetto della legislazione in vigore anche in materia di sicurezza del lavoro connessi ad esigenze delle attività e degli usi in atto;
 - b) innovazioni necessarie per l'adeguamento alla normativa antisismica;
 - c) opere attinenti l'esercizio della navigazione e della portualità, commerciale e da diporto, qualora previsti nell'ambito del piano di settore.
2. A far data all'approvazione del PGT, i titolari di qualsivoglia intervento edilizio legittimamente da realizzare, rinunciano tacitamente al risarcimento del danno direttamente o indirettamente conseguente alle problematiche segnalate dallo Studio di cui all'art. 51 delle presenti norme.
3. Le presenti disposizioni valgono per la situazione esistente alla data dell'approvazione del PGT, fatto salvo quanto già vigente in merito a far data dall'approvazione del PAI e da altre norme sovraordinate.
4. Nei territori inseriti nella Classe di fattibilità 4, aree G_A , F_A , E_A (esterne al centro edificato), e aree R4 (edificate e interne al centro edificato):
 - a) sono consentiti interventi, esclusivamente sugli edifici esistenti, di:
 1. demolizione senza ricostruzione;
 2. manutenzione ordinaria e straordinaria;
 3. restauro, risanamento conservativo, senza aumento di superficie o volume;
 - b) il rilascio o la formazione del titolo abilitativo deve essere preceduto/accompagnato da una rinuncia al risarcimento del danno o da copertura assicurativa specifica;
 - c) sono consentiti cambiamenti di destinazione d'uso, senza aumento di superficie o volume, senza incremento del carico insediativo e con interventi volti a mitigare la vulnerabilità dell'edificio. Obbligo di indagini idrogeologiche, geognostiche e geotecniche limitamente ai nuovi interventi o utilizzi che comportino differenti distribuzioni dei carichi in fondazione, in ogni caso di valutarne l'idoneità strutturale, o nel caso di utilizzi sotto il piano campagna. Le destinazioni d'uso consentite sono quelle degli ambiti e dei tessuti di riferimento;



- d) deroghe specifiche sono consentite all'edificio denominato Idroscalo, presente in sponda idrografica sinistra del Ticino lungo il Lungo Ticino Sforza che, pur insistendo planimetricamente su pilotis in Fascia Fluviale A, ha la superficie inferiore della soletta poggiante sui pilotis e piano di calpestio già superiori alla quota di sicurezza di 63,80 m s.l.m., che durante eventi di piena confrontabili con quella di riferimento non hanno interferito negativamente sulla dinamica e deflusso del corso d'acqua.
5. Nei territori inseriti nella Classe di fattibilità 3, sotto-unità D_B , E_B , E_B^1 , F_B , $R3$:
- a) sono consentiti interventi di:
1. manutenzione ordinaria;
 2. manutenzione straordinaria;
 3. restauro e risanamento conservativo, senza aumenti di superficie e volume;
 4. ristrutturazione edilizia, con obbligo di:
 - indagini idrogeologiche, geognostiche e geotecniche, limitatamente agli interventi edilizi o utilizzi che comportino differenti distribuzioni dei carichi in fondazione, con valutazione dell'idoneità strutturale e nel caso di interventi/utilizzi previsti sotto il piano campagna;
 - esecuzione di indagini topografiche, strutturali e idrauliche per la verifica preliminare del rispetto, per le superfici abitabili, della quota di sicurezza (63,80 m s.l.m.);
 - adozione di accorgimenti costruttivi che impediscano danni a strutture e consentano facile e immediata evacuazione, con quota di sicurezza prescrittiva 63,80 m s.l.m. e/o realizzazione di opere di mitigazione del rischio;
 5. aumenti di superficie e volume, comportanti anche sopraelevazioni, non superiori a quelli potenzialmente allagabili, con contestuale dismissione d'uso di questi ultimi e con quota di sicurezza prescrittiva 63,80 m s.l.m.. Tali interventi sono ammessi purché non peggiorino il livello di rischio e non comportino significativo ostacolo o riduzione apprezzabile della capacità di invaso delle aree stesse;
 6. cambiamenti di destinazione d'uso, senza aumento di superficie e volume e senza incremento del carico insediativo e con interventi volti a mitigare la vulnerabilità dell'edificio, con obbligo di:
 - indagini idrogeologiche, geognostiche e geotecniche limitatamente ai nuovi utilizzi che comportino differenti distribuzioni dei carichi in fondazione, con valutazione dell'idoneità strutturale e nel caso di interventi/utilizzi previsti sotto il piano campagna.Le destinazioni d'uso consentite sono quelle degli ambiti e dei tessuti di riferimento.



- b) Per gli edifici destinati ad attività agricole e per le residenze rurali connesse alla conduzione aziendale e per le aree R3 sono inoltre ammessi interventi di:
1. ristrutturazione edilizia,
 2. nuova costruzione,
- entrambi purché le superfici abitabili siano realizzate con quota di sicurezza prescrittiva 63,80 m s.l.m., con obbligo di:
- indagini idrogeologiche, geognostiche e geotecniche, sempre nel caso di nuove costruzioni, o limitatamente agli interventi edilizi o utilizzi che comportino differenti distribuzioni dei carichi in fondazione, con valutazione dell' idoneità strutturale e nel caso di interventi/utilizzi previsti sotto il piano campagna;
 - esecuzione di indagini topografiche, strutturali e idrauliche per la verifica preliminare del rispetto, per le superfici abitabili, della quota di sicurezza (63,80 m s.l.m.);
 - adozione di accorgimenti costruttivi che impediscano danni a strutture e consentano facile e immediata evacuazione, con quota di sicurezza prescrittiva 63,80 m s.l.m. e/o realizzazione di opere di mitigazione del rischio.
- c) Il rilascio o la formazione del titolo abilitativo deve essere preceduto/accompagnato da una rinuncia al risarcimento del danno o da copertura assicurativa specifica.
6. Nei territori inseriti nella Classe di fattibilità 3 sotto-unità C, C¹, D_C, D¹_C, D², D³ sono consentiti interventi di:
1. manutenzione ordinaria;
 2. manutenzione straordinaria;
 3. restauro e risanamento conservativo;
 4. ristrutturazione edilizia con obbligo di:
 - indagini idrogeologiche, geognostiche e geotecniche, limitatamente agli interventi edilizi o utilizzi che comportino differenti distribuzioni dei carichi in fondazione, con valutazione dell' idoneità strutturale e nel caso di interventi/utilizzi previsti sotto il piano campagna;
 - previsione di opportune opere di inserimento e mitigazione paesaggistico-ambientale esclusivamente per la sotto-unità D³;
 5. nuova costruzione con obbligo di:
 - indagini idrogeologiche, geognostiche e geotecniche;
 - previsione di opportune opere di inserimento e mitigazione paesaggistico-ambientale esclusivamente per la sotto-unità D³;
 6. ristrutturazione urbanistica con obbligo di:
 - indagini idrogeologiche, geognostiche e geotecniche;



- previsione di opportune opere di inserimento e mitigazione paesaggistico-ambientale esclusivamente per la sotto-unità D³;
- 7. cambiamenti di destinazione d'uso con obbligo di:
 - indagini idrogeologiche, geognostiche e geotecniche, limitatamente agli interventi edilizi o utilizzi che comportino differenti distribuzioni dei carichi in fondazione, con valutazione dell'idoneità strutturale e nel caso di interventi/utilizzi previsti sotto il piano campagna;
 - previsione di opportune opere di inserimento e mitigazione paesaggistico-ambientale esclusivamente per la sotto-unità D³;Le destinazioni d'uso consentite sono quelle degli ambiti e dei tessuti di riferimento

- 7. Nei territori inseriti nella Classe di fattibilità 2, unità A e B (e rispettive sotto-unità) sono consentiti interventi di:
 1. manutenzione ordinaria;
 2. manutenzione straordinaria;
 3. restauro e risanamento conservativo;
 4. ristrutturazione edilizia con obbligo di:
 - indagini idrogeologiche, geognostiche e geotecniche, sempre nel caso di nuove costruzioni, o limitatamente agli interventi edilizi o utilizzi che comportino differenti distribuzioni dei carichi in fondazione, con valutazione dell'idoneità strutturale e nel caso di interventi/utilizzi previsti sotto il piano campagna;
 5. nuova costruzione con obbligo di:
 - indagini idrogeologiche, geognostiche e geotecniche;
 6. ristrutturazione urbanistica con obbligo di:
 - indagini idrogeologiche, geognostiche e geotecniche;
 7. cambiamenti di destinazioni d'uso, con obbligo di:
 - indagini idrogeologiche, geognostiche e geotecniche limitatamente ai nuovi utilizzi che comportino differenti distribuzioni dei carichi in fondazione, con valutazione dell'idoneità strutturale e nel caso di interventi/utilizzi previsti sotto il piano campagna.Le destinazioni d'uso consentite sono quelle degli ambiti e dei tessuti di riferimento.



10.10 Indirizzi per le aree di interesse geomorfologico e paesaggistico e/o le situazioni suscettibili di tutela o riqualificazione e valorizzazione ambientale

In TAV. 9 sono evidenziati i seguenti elementi di interesse geomorfologico e paesaggistico e/o le situazioni suscettibili di tutela o riqualificazione e valorizzazione ambientale, da considerare nella pianificazione urbanistica.

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

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

Traccia di alveo abbandonato, paleomeandro.

Beni geologici già soggetti a forme di tutela (Geositi; vedi ALL. 14 alla D.G.R. 28/05/2008, n. 7374): Terrazzi divergenti della Roggia Vernavola.

E' evidente come la totalità degli elementi appena elencati ricada in aree golenali che, come tali, possono rivestire importanti e differenti ruoli in campo ambientale, tra cui:

- un ruolo idraulico: le zone golenali nel loro complesso (ove non artificialmente ristrette) e gli antichi alvei, di cui le lanche e i meandri abbandonati sono l'espressione, possono funzionare come unità di espansione durante le piene, mitigandone le conseguenze;
- un ruolo ecosistemico: gli specchi idrici laterali presenti nelle aree golenali, quali le lanche, costituiscono un elemento fondamentale dell'ecosistema fiume; funzionano come unità privilegiate di produzione primaria, e soprattutto come sito critico (per la riproduzione, lo svezzamento, il rifugio, l'alimentazione) per numerose specie ittiche; hanno inoltre importanza per la fauna migratoria, come sito di rifornimento o di svernamento;
- un ruolo naturalistico-scientifico: le aree golenali e le lanche a esse collegate sono strutturalmente ecosistemi palustri, zone umide che costituiscono habitat per numerose specie di interesse naturalistico-scientifico, sia nelle stagioni estive che in quelle invernali;
- un ruolo nel campo dell'acquacoltura: essendo habitat elettivo per numerose specie ittiche, le lanche possono svolgere un ruolo nell'acquacoltura, sia per la produzione diretta di biomasse, sia ai fini di una gestione corretta dell'attività alieutica (pesca per diletto);



S.G.P.

- un ruolo come filtro naturale: in molti casi le aree golenali ricevono acque più o meno inquinate convogliate attraverso il reticolo idrografico minore; dal momento che in queste stesse aree possono essere presenti o appositamente creati ecosistemi palustri in grado di produrre grandi quantità di biomasse vegetali, possono svolgere un ruolo di fito-depurazione naturale più o meno spinto.

Come evidenziato nelle analisi in precedenza descritte, lo stato in cui attualmente si trovano gli alvei abbandonati e le lanche nella zona di Pavia è abbastanza critico e connesso essenzialmente ad una loro progressiva riduzione, dovuta sia a cause naturali che antropiche. Rientra tra queste cause anche l'abbassamento dell'alveo del Ticino che ha reso ulteriormente più vulnerabili le lanche all'interramento e alla occlusione, determinandone la loro graduale eccessiva pensilità rispetto al fiume. Si ritiene, in definitiva, che le aree golenali del Ticino e dei corsi d'acqua minori (in particolare quelle della Vernavola, all'interno della sua valle a cassetta) possano senz'altro essere oggetto di interventi mirati alla riqualificazione e valorizzazione ambientale attraverso sia la rinaturalizzazione di ambienti esistenti e degradati, sia la creazione ex novo di nuovi ambienti naturali, privilegiando quelli umidi. Si ritiene anzi doveroso suggerire, in merito, la diretta acquisizione e/o la disponibilità da parte dell'Amministrazione Comunale delle aree demaniali residue, utilizzando il diritto di prelazione contemplato all'art. 8 della L. 5 gennaio 1994, n. 37 "Norme per la tutela ambientale delle aree demaniali dei fiumi, dei torrenti, dei laghi e delle altre acque pubbliche".