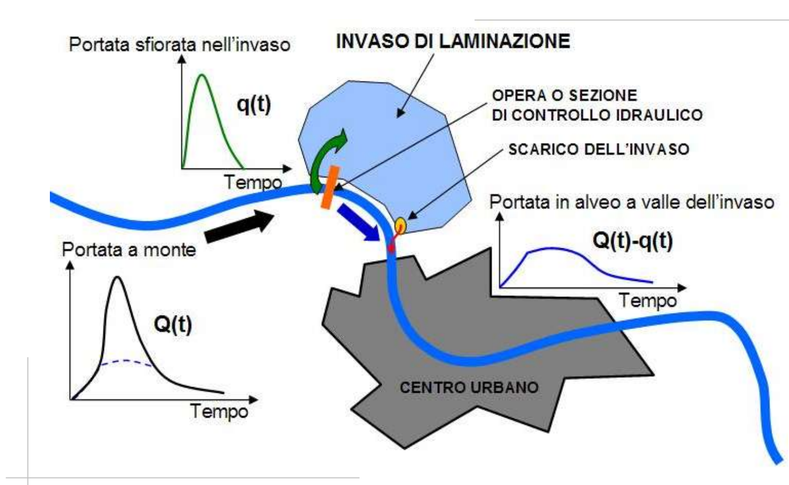
Sostenibilità ambientale degli interventi di protezione idraulica nel torrente LURA: un progetto pilota di gestione integrata e partecipata

Invasi di laminazione

Bando Cariplo 2004

DEFINIZIONE E SCOPO DEGLI INVASI DI LAMINAZIONE



DEFINIZIONE

Gli **invasi di laminazione** sono detti anche:

- *casse di espansione* in ambito fluviale;
- *vasche volano* in ambito urbano.

Sono costituiti da **volumi** ricavati da un'opportuna delimitazione di aree soggette **a inondazione controllata** in occasione delle piene.

SCOPO

Il loro scopo è la **tutela dagli allagamenti** del territorio posto a valle dell'invaso, attraverso la **riduzione delle portate al colmo di piena**: una parte del volume dell'onda in arrivo da monte viene invasato temporaneamente durante la fase di colmo, per essere rilasciato in tempi successivi, compatibilmente con la capacità di valle.

CONFIGURAZIONE MISTA (parte in linea, parte fuori linea): invasi del F. Secchia a Modena.

POSSIBILI MODALITA' DI INSERIMENTO DI VASCHE DI LAMINAZIONE

Le diverse **modalità di inserimento** di infrastrutture idrauliche di laminazione **rispetto al corso d'acqua** possono essere schematizzate in due grandi tipologie: invasi ***in linea*** e invasi ***fuori linea***, con eventuale combinazione dei due tipi a creare una configurazione ***mista*** (ovvero parte in linea e parte fuori linea, si vedano ad esempio le vasche sul Fiume Secchia a Modena di cui nelle figure qui sopra a destra).

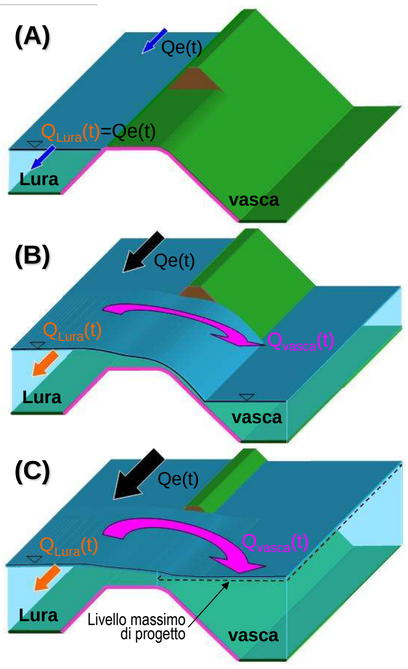
VASCHE DI LAMINAZIONE *FUORI LINEA*

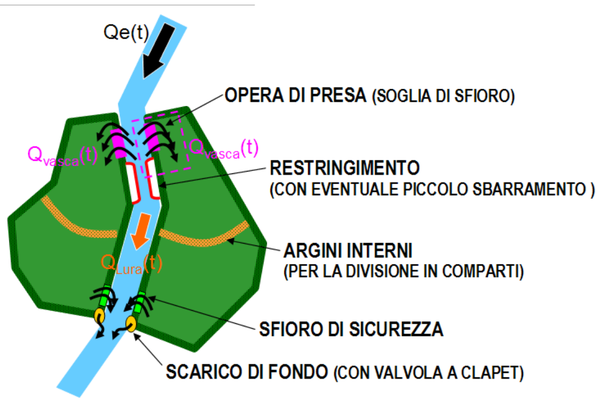
Le vasche di laminazione fuori linea sfruttano porzioni di territorio parallele all'alveo; in generale si tratta di aree di pertinenza fluviale, collocate **solo da un lato** oppure **bilaterali**.

L'**opera di presa**, localizzata nella parte di monte dell'invaso, generalmente è una **soglia di sfioro**, costituita da un ribassamento arginale. Per aumentare l'efficienza del processo di ingresso in vasca, di solito si provoca localmente un innalzamento del livello in alveo attraverso un **restringimento di sezione** subito a valle dello sfioro (eventualmente associato a un piccolo sbarramento).

Gli **scarichi di fondo**, localizzati nella parte di valle della vasca, restano generalmente chiusi durante la piena tramite valvole di ritegno 'a clapet': l'elevata pressione esercitata dalla corrente in alveo mantiene la tenuta del 'tappo'.

In generale, una parte dell'argine in corrispondenza dello scarico, opportunamente sagomata e rinforzata, costituisce lo **sfioro di sicurezza** (stramazzo di troppo pieno), che si attiva in occasione di eventi più gravosi rispetto a quello di progetto quando il volume di progetto disponibile è ormai riempito. Naturalmente, durante questi **eventi di piena eccezionale**, le portate a valle dell'invaso risultano maggiori della capacità di convogliamento dell'alveo, perché alla portata a valle dell'opera di presa $Q_{Lura}(t)$ uscente dagli scarichi di fondo si somma anche la portata $Q_s(t)$ uscente dal troppo pieno.





INVASO FUORI LINEA – Schema planimetrico di una vasca bilaterale (il rettangolo tratteggiato indica l'area cui si riferiscono le immagini a sinistra).

INVASO FUORI LINEA - Fasi di funzionamento idraulico dell'opera di presa:

(A) Livello in alveo minore o uguale alla soglia (ribassamento arginale); vasca vuota.

(B) Livello in alveo sopra soglia e invaso (con innalzamento del livello in vasca) fino a completo riempimento.

(C) Livello in alveo sopra soglia, ulteriore invaso sopra la vasca piena e portate uscenti dallo sfioro di sicurezza (localizzato generalmente più a valle vicino agli scarichi di svuotamento).

VASCHE DI LAMINAZIONE *IN LINEA*

Le vasche di laminazione in linea sono caratterizzate dalla presenza di uno **sbarramento**, che in generale viene collocato in una sezione ristretta del corso d'acqua (già presente nella morfologia naturale del territorio o creata in modo artificiale), localizzata all'estremo di valle dell'area soggetta ad allagamento controllato.

Tale manufatto può essere sormontato da un **ponte di attraversamento**, che permette il collegamento (ciclo-pedonale e/o carrabile) tra le due sponde anche quando il fondo dell'invaso è allagato, ad esempio durante la piena o in svuotamento.

Lo sbarramento ospita gli **scarichi di fondo** (luci a battente), ovvero le tubazioni deputate all'evacuazione delle portate sia durante l'evento di piena sia durante il successivo svuotamento.

In generale, la sommità dello sbarramento, opportunamente sagomata e rinforzata, costituisce lo **sfioro di sicurezza** (stramazzo di troppo pieno), che si attiva in occasione di eventi più gravosi rispetto a quello di progetto quando il volume di progetto disponibile è ormai riempito. Naturalmente, durante questi **eventi di piena eccezionale**, le portate a valle dell'invaso risultano maggiori della capacità di convogliamento dell'alveo, perché alla portata a battente $Q_b(t)$ uscente dagli scarichi di fondo si somma anche la portata $Q_s(t)$ uscente dal troppo pieno superficiale.

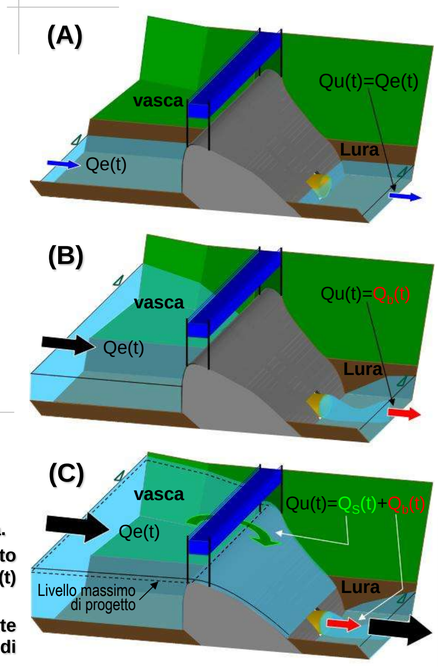
INVASO IN LINEA – Schema planimetrico (il rettangolo tratteggiato indica l'area cui si riferiscono le immagini a destra).

INVASO IN LINEA – Fasi di funzionamento idraulico delle opere di scarico:

(A) Funzionamento a superficie libera nel condotto di scarico e vasca vuota.

(B) Invaso (con innalzamento del livello in vasca) fino a completo riempimento e portate uscenti solo a battente dagli scarichi di fondo $Q_b(t)$ in pressione.

(C) Ulteriore invaso sopra la vasca piena e portate uscenti sia a battente dagli scarichi di fondo $Q_b(t)$ in pressione, sia a stramazzo dallo sfioro di sicurezza $Q_s(t)$ posto sulla sommità dello sbarramento.



FUNZIONAMENTO IDRAULICO SEMPLIFICATO (LAMINAZIONE OTTIMALE) E REALE (SCARICHI NON REGOLATI)

DEFINIZIONE DI LAMINAZIONE OTTIMALE

Tra le varie tipologie di regolazione possibile, ne esiste una che si può ritenere *migliore*, la laminazione ottimale, ottenuta imponendo che, **durante il colmo di piena**, la **portata uscente** $Qu(t)$ sia **costante** e pari alla capacità di convogliamento di valle Qv_{max}. Data un'onda di piena in ingresso, essa garantisce:

- il **minimo volume W_{ott}** necessario per una portata uscente minore di un **prefissato valore Qv_{max}**;
- la **minima portata uscente $Qu_{max,ott}$** ottenibile per un **prefissato volume disponibile W_{disp}**.

DIFFICOLTA' PRATICHE DI REALIZZAZIONE DELLA LAMINAZIONE OTTIMALE

Per poter realizzare una laminazione ottimale occorre considerare alcune evidenti difficoltà pratiche che consistono, logicamente, proprio nell'ottenere il **mantenimento della portata uscente costante**. Ciò può essere assicurato in diversi modi a seconda della modalità di svuotamento, come ad esempio:

- nel caso di un ***INVASO IN LINEA*** con efflusso a gravità, **regolando** opportunamente **in tempo reale** gli **scarichi di fondo**, ovvero chiudendo via via attraverso una paratoia la luce di passaggio dell'acqua in modo da compensare le variazioni del livello idrico in vasca;
- nel caso un ***INVASO FUORI LINEA*** (con scarichi di fondo piccoli o chiusi durante l'evento), **dimensionando** e/o **regolando** opportunamente **la soglia di sfioro** dell'opera di presa.

INVASI SUL LURA: VERIFICA DI FATTIBILITA' CON LAMINAZIONE OTTIMALE

I **vincoli del Piano dell'Autorità di Bacino** per le vasche di Bregnano-Lomazzo-Rovellasca sono:

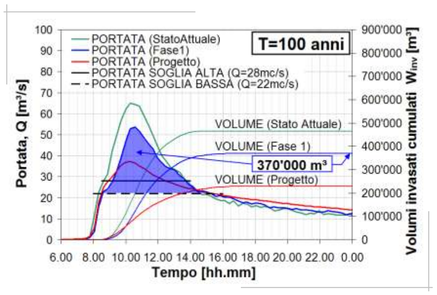
- **piena di riferimento** causata da una pioggia di **tempo di ritorno T=100 anni** in **PROGETTO-FASE 1**;
- **massima portata a valle** delle vasche per evitare esondazioni a Saronno (**Qv_{max}=22 m³/s**).

Si è scelto di eseguire la **verifica di fattibilità idraulica degli scenari** sotto l'ipotesi di **laminazione ottimale** per valutare più speditamente la compatibilità dell'efficienza idraulica con l'idropaesaggio relativo alle diverse soluzioni alternative e **rimandare** il **dimensionamento degli organi di scarico** (tipologia e dimensioni) alle fasi di progetto più avanzate.

I risultati dei calcoli idraulici in ipotesi di laminazione ottimale sono stati ottenuti considerando **organi di scarico *regolati in tempo reale*** e la **volumetria W_{AdB}=370'000 m³**, definita dall'Autorità di Bacino come quella minima necessaria per l'evento di riferimento di T_{FASE1} = 100 anni.

Al fine di definire i volumi invasati per ciascun tempo di ritorno e in relazione alle possibili modalità di inserimento (fuori linea, in linea e mista) delle vasche, sono stati definiti due valori di soglia: una soglia bassa **Q_{bassa}=22 m³/s** (portata di attivazione dei **comparti soggetti agli allagamenti frequenti**) e una soglia alta **Q_{alta}=28 m³/s** (portata di attivazione dei **comparti** che vengono **impegnati per più eventi rari**).

In generale, in presenza di scarichi regolati in tempo reale, le **tre configurazioni risultano praticamente equivalenti**, in quanto richiedono gli stessi volumi d'invaso totale, ma una sua **diversa ripartizione nei comparti** eventualmente previsti di volta in volta dai diversi scenari di idropaesaggio.



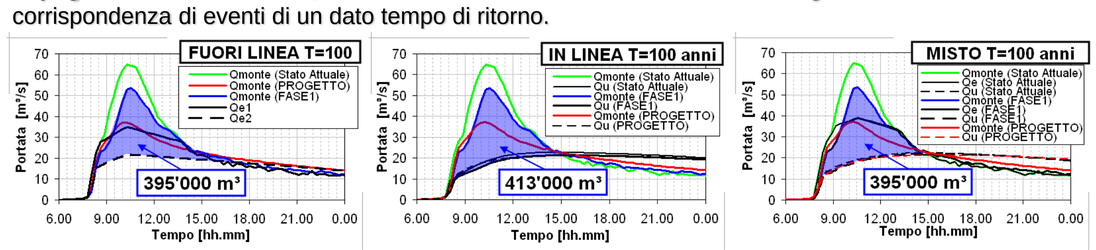
Idrogrammi per l'evento di T = 100 anni nei tre stadi di avanzamento dell'AdB e portate delle due soglie di laminazione ottimale.

INVASI SUL LURA: DIMENSIONAMENTO IDRAULICO CON SCARICHI NON REGOLATI

E' stato oggetto delle successive fasi di progettazione di massima la verifica di un **funzionamento idraulico realistico degli invasi** per ciascuno dei sei scenari finali proposti, con la definizione della geometria degli **organi di scarico *non regolati***.

I risultati evidenziano l'**aumento di volume totale** necessario alla laminazione non ottimale rispetto al valore minimo di **370'000 m³** pianificato dall'Autorità di Bacino (ovvero una riduzione del tempo di ritorno di progetto dell'opera, a parità di volume, rispetto al caso di laminazione ottimale). In generale tale aumento di volume totale necessario è dovuto al fatto che il **reale processo d'invaso** con opere di presa e scarichi non regolati **inizia prima rispetto al caso di laminazione ottimale**. Le volumetrie dipendono inoltre dalla scelta della modalità di inserimento delle vasche (in linea, fuori linea, misto), dal dimensionamento delle opere di presa e dei manufatti di scarico, dall'eventuale controllo in tempo reale di tali manufatti, ecc. La **panoramica delle soluzioni alternative** è molto varia e **si estende oltre ai 6 scenari proposti** (4 fuori linea, 1 in linea e 1 misto), in cui le scelte di dimensionamento sono state effettuate in relazione ai diversi obiettivi di prelievo e uso del territorio associati dagli idropaesaggi, ottimizzando l'occupazione di suolo compatibilmente con i vincoli considerati.

I risultati mostrano che le tre diverse configurazioni portano a evidenziare **volumi totali diversi che devono essere invasati** in corrispondenza degli stessi eventi di piena, a causa del loro diverso funzionamento idraulico **per garantire la stessa portata massima a valle**. Da questo punto di vista gli scenari con configurazione fuori linea o misto si equivalgono, perché hanno lo stesso volume totale per l'evento di riferimento (100 anni in Fase 1), mentre lo scenario in linea necessita di volumi d'invaso maggiori a causa del limitato diametro degli scarichi di fondo necessario per gestire l'evento di progetto. Ciò che differenza gli scenari tra loro, anche quando adottano la stessa modalità di inserimento delle vasche di laminazione rispetto al corso d'acqua, è la **diversa frequenza con cui al loro interno si impegnano i diversi settori**, ovvero come si suddivide in essi la volumetria globalmente da invasare in corrispondenza di eventi di un dato tempo di ritorno.



Idrogrammi per l'evento di T = 100 anni nei tre stadi di avanzamento dell'AdB e portate laminate con scarichi non regolati.

Scenari S1 - FUORI LINEA			
Volume	ATT.	FASE 1	PROG.
65'000	10	16	31
125'000	15	22	55
185'000	20	32	75
275'000	30	48	110
340'000	40	58	155
355'000	50	90	180
440'000	60	115	> 200
475'000	70	130	> 200
550'000	100	160	> 200
395'000	**55**	**100**	**185**

Scenario S2 - IN LINEA			
Volume	ATT.	FASE 1	PROG.
143'000	10	16	40
192'000	15	22	65
241'000	20	30	90
314'000	30	48	165
368'000	40	60	200
379'000	50	70	> 200
448'000	60	200	> 200
480'000	70	> 200	> 200
536'000	100	> 200	> 200
415'000	**55**	**100**	**> 200**

Scenario S3 - MISTO			
Volume	ATT.	FASE 1	PROG.
120'000	10	15	30
170'000	15	24	55
215'000	20	32	75
315'000	30	55	155
360'000	40	70	200
405'000	50	105	> 200
435'000	60	120	> 200
475'000	70	140	> 200
535'000	100	170	> 200
395'000	**50**	**100**	**> 200**

TEMPI DI RITORNO degli eventi di pioggia relativi ai volumi invasati nelle vasche di laminazione con scarichi non regolati nello STATO ATTUALE confrontati con i tempi di ritorno per cui viene invasato lo stesso volume in FASE 1 e in PROGETTO.

PARCO DEL LURA
centro studi DRAULICA urbana
UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI MILANO BICOCCA
ABITALab tecnologie progetto sostenibilità
Lura Ambientespa
Provincia di Como