

L'invarianza idraulica delle trasformazioni urbanistiche: il metodo dell'Autorità dei bacini regionali romagnoli

Alberto Pistocchi¹, Oscar Zani¹

¹ *Autorità dei Bacini Regionali Romagnoli*

P.zza Morgagni, 2

47100 Forlì

tel. 0039-0543378517

fax 0039-0543378523

e-mail alberto.pistocchi@gecosistema.it

SOMMARIO. Il contributo esamina le implicazioni delle impermeabilizzazioni del suolo nelle trasformazioni territoriali e discute il concetto ed i metodi dell'invarianza idraulica nella pianificazione e progettazione urbanistica, con particolare riferimento per la pianificazione comunale. Dopo aver individuato i termini del problema, si esaminano le proprietà di un tipo di indice urbanistico (il volume d'invaso da associare alle impermeabilizzazioni) e se ne discute l'applicabilità ai fini dell'autoregolazione della progettazione in base al principio "chi consuma paga". Si conclude fornendo un esempio di progettazione idrologica urbana, in cui si utilizzano i volumi di invaso e sistemi di drenaggio appropriati per perseguire un assetto idrologico sostenibile del lotto di trasformazione.

POSIZIONE DEL PROBLEMA: GLI EFFETTI IDROLOGICI DELL'URBANIZZAZIONE

Semplificando la trattazione per gli scopi di orientamento della pianificazione che qui interessano, si può dire che le piogge di forte intensità che cadono su un bacino idrografico subiscono due tipi di processi che determinano l'entità delle piene nei corsi d'acqua riceventi: l'infiltrazione nei suoli e l'immagazzinamento superficiale. Il primo processo controlla i volumi di acqua restituiti, e viene descritto in via speditiva mediante un "coefficiente di deflusso", che rappresenta la percentuale della pioggia che raggiunge il corpo recettore. Il secondo processo agisce trattenendo i volumi che scorrono in superficie, facendoli transitare attraverso i volumi disponibili e determinandone una restituzione rallentata, che viene definita "laminazione".

Un bacino naturale presenta la caratteristica di lasciare infiltrare una certa quantità di acqua durante gli eventi di piena, e di restituire i volumi che non si infiltrano in modo graduale. L'acqua ristagna nelle depressioni superficiali, segue percorsi tortuosi, si espande in aree normalmente non interessate dal deflusso, ed in questo modo le piene hanno un colmo di portata relativamente modesto ed una durata delle portate più lunga. Quando un bacino subisce una

artificializzazione, i deflussi vengono canalizzati e le superfici vengono regolarizzate, di modo che il deflusso viene accelerato.

Ciò comporta un aumento dei picchi di piena e può portare a situazioni di rischio idraulico. Inoltre, l'impermeabilizzazione dei suoli provoca un aumento dei volumi che scorrono in superficie, aggravando ulteriormente le possibili criticità. Maggiori volumi che scorrono in superficie rappresentano, oltre ad un aggravio dei possibili rischi idraulici, anche un più rapido esaurimento dei deflussi e una riduzione di apporti alla falda, e in definitiva una riduzione delle risorse idriche utilizzabili.

In territori caratterizzati da modeste pendenze e da una certa propensione ai fenomeni di allagamento, quali sono ad esempio i bacini di bonifica della Pianura Padana, certamente l'effetto negativo delle impermeabilizzazioni dei suoli nella riduzione della capacità del territorio di modulare le piene è percepibile ed ha da tempo attirato l'attenzione dei pianificatori. In particolare, in bacini di bonifica i cui canali erano stati dimensionati per drenare un territorio fondamentalmente agricolo, la pesante urbanizzazione degli ultimi decenni ha configurato situazioni di rischio idraulico significative. Un saggio evidente delle condizioni del territorio è stato sperimentato, in anni recenti, durante l'alluvione dell'ot-

Pistocchi, A.

tobre del 1996 che ha colpito diverse parti dell'Emilia Romagna. Riflettendo su un tale episodio, Lamberti e Leoni (1997) hanno indicato fra le cause del fenomeno la perdita di capacità di invaso del territorio connessa alla sensibile riduzione dei volumi del drenaggio minuto (scoline, fossi...).

11ISTANZE PER LA PIANIFICAZIONE. LA METODOLOGIA DELL'INVARIANZA IDRAULICA DEL PIANO DEI BACINI ROMAGNOLI

La progressiva impermeabilizzazione dei suoli e il sacrificio delle reti di drenaggio minute rappresentano dunque in molti contesti una minaccia per la sicurezza idraulica del territorio, che già oggi richiede ingenti interventi sull'assetto idrografico per consentire la riduzione dei rischi a livelli socialmente accettabili. Si pone perciò il problema, nella pianificazione di bacino, di adottare strumenti che garantiscano la sostenibilità di lungo periodo di un assetto idrografico. In particolare, è necessario limitare in futuro possibili effetti di aggravio delle piene legati alla progressiva urbanizzazione e all'impermeabilizzazione dei suoli conseguente alle trasformazioni di uso del suolo. Una prima iniziativa in tal senso è stata introdotta nel 1994 dal Piano Regolatore di Reggio Emilia, che prevede l'adozione di indici di permeabilità minima delle superfici. Tale approccio è senz'altro utile a limitare le impermeabilizzazioni, ma non è sufficiente a garantirsi contro gli effetti dell'impermeabilizzazione che comunque viene consentita. Ogni intervento che provoca impermeabilizzazione dei suoli ed aumento delle velocità di corrivazione deve invece prevedere azioni correttive volte a mitigarne gli effetti, e tali azioni sono da rilevare essenzialmente nella realizzazione di volumi di invaso finalizzati alla laminazione; se la laminazione è attuata in modo da mantenere i colmi di piena prima e dopo la trasformazione inalterati, si parla di "invarianza idraulica" delle trasformazioni di uso del suolo (Pistocchi, 2001). In tal senso, verso la metà degli anni '90 in Emilia Romagna l'Autorità di Bacino del Reno e il Comune di Faenza hanno introdotto nei rispettivi strumenti di pianificazione misure volte a garantire l'invarianza idraulica della trasformazione degli usi del suolo. Queste misure si concretizzano nella prescrizione di volumi di invaso da collocare a monte del recapito delle acque superficiali, che servano alla laminazione delle piene. I volumi d'invaso richiesti venivano fissati tuttavia in termini del tutto

arbitrari, e risultavano spesso eccessivi e -altrettanto spesso- insufficienti.

Nel corso dello sviluppo del Piano Regolatore di Cesena-Variante Generale 2000 (si veda ad es. Biscaglia e Brighi, 2002; Dall'Ara e Pistocchi, 2002 a, c) è stata proposta per la prima volta una metodologia operativa di calcolo dei volumi di invaso richiesti per garantire l'invarianza idraulica (Pistocchi, 2001); il metodo proposto, a differenza dei precedenti approcci empirici, consente fra l'altro di mettere in relazione l'entità del volume di invaso richiesto con il tasso di impermeabilizzazione dei suoli previsto dall'intervento. Si può così associare agli indici di fabbricazione previsti dal piano comunale i volumi di invaso necessari per annullare gli effetti idrologici negativi dovuti all'impermeabilizzazione, ricorrendo alla laminazione delle piene. La proposta è stata successivamente affinata ed estesa a tutto il territorio attraverso il piano stralcio per il rischio idrogeologico da parte dell'Autorità dei Bacini Romagnoli. La novità principale rispetto alle proposte precedenti è nell'inquadramento del volume di invaso richiesto per la compensazione delle impermeabilizzazioni (invarianza idraulica delle trasformazioni d'uso del suolo) alla stregua di un indice urbanistico (si veda p.es. Galuzzi e Vitillo, 2002).

Inoltre, il metodo consente di applicare il principio "chi consuma paga", trasferendo ad ogni intervento sul territorio il costo dell'effetto idrologico che esso potrà comportare: chi attua grandi impermeabilizzazioni si dovrà accollare l'onere di volumi consistenti per la laminazione delle piene, mentre chi impermeabilizza il suolo in misura più modesta dovrà realizzare volumi più contenuti.

2MODALITÀ DI CALCOLO DEI VOLUMI DI INVASO. L'AUTOREGOLAZIONE DELLE SCELTE PROGETTUALI

La trasformazione afflussi-deflussi può essere concettualizzata secondo lo schema del riempimento di un serbatoio, e del suo drenaggio con una portata che dipende dal volume invasato. Come ben noto, le leggi di efflusso da un serbatoio sono generalmente esprimibili nella forma $Q=k'hm$, dove Q è la portata uscente, h il battente idrico nel serbatoio, k' e m parametri. Per un efflusso a stramazzo vale $m=1,5$, mentre per un efflusso in pressione è $m=0,5$. Il modello concettuale dell'invaso lineare ipotizza che l'efflusso avvenga con legge lineare ($m=1$). In tal

caso, vale la relazione $Q=kW$, essendo k una costante e W il volume di invaso, linearmente dipendente da h . Schematizzando un'area di trasformazione urbana come un invaso lineare, si può scrivere l'equazione di continuità della massa nei termini seguenti:

$$\frac{dW(t)}{dt} = P(t) - Q(t) = P(t) + kW(t) \quad (1)$$

essendo $P(t)$ la pioggia all'istante t , depurata delle infiltrazioni nel terreno, dei fenomeni di evapotraspirazione e di tutte le altre "perdite idrologiche" (la cosiddetta "pioggia netta"), e $Q(t)$ la portata uscente, dipendente dal volume invaso $W(t)$.

L'equazione differenziale lineare (1), con termine noto costituito dalla pioggia netta (l'ingresso del sistema), può essere risolta con tecniche standard e rappresenta un semplice modello idrologico, ampiamente utilizzato nella pratica ingegneristica per verificare le reti idrografiche (Supino, 1965). Si possono effettuare alcune elaborazioni che consentono di stimare la portata al colmo, nota la costante d'invaso k , a seguito di un evento di pioggia di intensità costante. Alternativamente, si può simulare la risposta del sistema ad un segnale in ingresso qualunque, $P(t)$, sempre ammesso che sia nota la costante k . Quest'ultima non ha un significato fisico definito, ma solo un valore concettuale, e risulta pertanto un parametro di taratura del modello (Paoletti, 1996).

Nell'ipotesi di invaso lineare (relazione lineare fra portata uscente e volume invaso), il parametro k può essere stimato con la relazione:

$$k=W/Q \quad (2)$$

essendo W il volume invaso (Supino, 1965), oppure con formule empiriche (Paoletti, 1996). Si può dimostrare che la portata massima attesa, per assegnati a , n , f e k , è ben rappresentata dalla relazione:

$$Q_m=0,65 f a S k^{n-1} \quad (3)$$

Nel caso si decida di operare la stima di k secondo la (2), si pone il problema di valutare il volume W in corrispondenza del quale si ha la portata Q . Si tratta di due incognite, che richiedono di impostare un procedimento iterativo basato su ipotesi semplificative. In genere, nel dimensionamento delle reti idrografiche si suppone che il funzionamento dei tronchi sia di tipo autonomo (si trascurano gli effetti di moto permanente) e sincrono (tutti i tronchi raggiungono lo stesso grado di riempimento con-

temporaneamente). E' ormai condiviso che queste ipotesi non sono praticamente mai valide, e conducono alla sottostima sistematica delle portate al colmo. Tuttavia sono stati proposti alcuni correttivi che consentono di continuare ad utilizzare la relazione (3) con la stima della costante effettuata con la (2) (Paoletti, 1996). Tali correttivi consistono essenzialmente nel valutare i volumi W invasati nella rete non in corrispondenza del massimo riempimento, come era uso fare secondo Supino (cit.), ma in corrispondenza del riempimento dell'80%. Inoltre, possono essere valutati opportuni correttivi per il caso in cui l'ipotesi di sincronismo sia pesantemente disattesa, cosa che si verifica man mano che ci si avvicina alla chiusura di bacini con una rete di drenaggio complessa. Un metodo molto usato in passato, e che alla luce di quanto detto può essere usato ancora oggi, è il "metodo diretto", o "metodo italiano" (Supino, 1965).

Con opportune ulteriori considerazioni, si può pervenire alla seguente espressione del coefficiente udometrico ($u=Q_m/S$):

$$u = \frac{p_0 * n (f a)^{1/n}}{w^{n-1}} \quad (4)$$

in cui w è il volume di invaso specifico (per unità di superficie), e p_0 è un parametro che dipende dalle unità di misura richieste e dal tipo di bacino, e che per i piccoli bacini vale 2530, esprimendo u in l/s ha (Datei e Natale, 1996).

Nel caso inoltre si supponga che il coefficiente di afflusso dipenda dalla radice cubica dell'altezza di pioggia, secondo l'ipotesi di Fantoli (Paoletti, 1996; Maione, 1995), si devono considerare valori di n maggiorati di 1/3 (Datei e Natale, cit.). Dal momento che questa ipotesi è cautelativa, si supponrà che sia sempre verificata nel seguito.

Occorre ricordare che il metodo dell'invaso presenta alcuni problemi modellistici riconducibili alla sua scarsa robustezza rispetto alla scelta dei parametri: al variare dei volumi di invaso, in particolare, varia di molto il coefficiente udometrico, e di conseguenza la portata. E' quindi necessario che la valutazione dei volumi di invaso, in sede di verifica, sia fatta con notevole accuratezza.

La (4) viene usata frequentemente nella pratica ingegneristica, e costituisce la base del notissimo metodo diretto per il calcolo delle reti idrauliche. Le conoscenze disponibili consentono di affermare che si tratta di un modello di buona affidabilità, con le opportune cautele, per la verifica di drenaggi al servizio di urbanizzazioni dalle caratteristiche idrolo-

giche note, e quindi a posteriori per consentire il deflusso regolare di portate già di per sé incrementate rispetto alla situazione ante operam.

Nel presente lavoro, viene invece fatto uso della (4) per la valutazione dei volumi di invaso richiesti per mantenere il coefficiente udometrico costante al variare del coefficiente di afflusso f .

Si assume che la presenza di invasi nell'area in trasformazione consenta di laminare le piene in eccesso che si generano a seguito della trasformazione. A tal fine, operano attivamente come invaso utile tutti i volumi a monte del recapito, compreso l'invaso proprio dei collettori della rete di drenaggio. Si opera quindi nello spirito della valutazione delle opere necessarie a mitigare l'impatto ambientale delle trasformazioni, e si vuole che l'invaso consentito dai collettori fognari o da altri dispositivi garantisca di non superare dopo la trasformazione urbanistica il picco di piena della situazione ante operam. E' immediato dimostrare che, nel caso di trasformazione integrale di un'area, se si indicano con f° e w° il coefficiente di afflusso e il volume specifico di invaso prima della trasformazione dell'uso del suolo, e con f e w quelli successivi alla trasformazione, per non far variare il coefficiente udometrico deve essere soddisfatta la relazione:

$$w = w^\circ (f/f^\circ)^{1/1-n} \quad (5)$$

che esprime la legge di incremento del volume di invaso richiesto all'aumentare del coefficiente di afflusso da f° a f . Nel caso delle nuove urbanizzazioni, il valore w° corrisponde terreno non urbanizzato, e quindi tiene conto dei volumi invasati come lama idrica sulla superficie, nel reticolo di drenaggio ante operam, e nelle depressioni e rugosità superficiali. Secondo Datei et al. (1997), nel caso delle zone di bonifica questo valore è dell'ordine dei 100-150 mc/ha (10-15 mm di velo idrico), comprendendo l'intero volume dei canali di drenaggio. Per gli stessi Autori, nel caso delle fognature in ambito urbano si può assumere un valore di 40-50 mc/ha, comprendente gli invasi di superficie e quelli corrispondenti a caditoie e similari. La stessa indicazione viene riportata da Datei e Natale (1996) ed è considerata un riferimento classico nella pratica ingegneristica.

Recentemente, il Centro di Studi sui Deflussi Urbani (Paoletti, 1996) ha suggerito di calcolare il volume dei piccoli invasi in ragione di 10-15 mc/ha di area impermeabilizzata. In pratica, quindi, si vede come esista una notevole incertezza circa la scelta del parametro w° . Occorre sottolineare che i valori proposti di w° si riferiscono a comparti urbanizzati,

per i quali si debbano dimensionare le fognature pluviali (da qui il riferimento al volume per unità di superficie impermeabilizzata), mentre l'incertezza cresce nel considerare superfici precedentemente non urbanizzate, caratterizzate da superfici irregolari e da importante presenza di piccole pozze, fossetti, solchi ecc. Dal momento che il modello dell'invaso è un modello concettuale, e che le sue risposte sono tanto meno attendibili quanto più ci si discosta dalle ipotesi sotto le quali è stato definito, pare difficile attribuire al volume dei piccoli invasi un significato strettamente fisico. In pratica, si tratta di un parametro del modello, da stimare caso per caso (p.es. Paoletti, 1996; Centro Studi Deflussi Urbani, 1998). Occorre verificare nelle diverse situazioni se sia possibile stimare il parametro w con il valore del volume disponibile, oppure con quello corrispondente ad un assegnato grado di riempimento dello stesso.

Mentre nel dimensionamento delle fognature si è giunti a linee guida relativamente condivise, come sopra riportato, quando si voglia operare la valutazione dei volumi richiesti per l'invarianza idraulica secondo la (5) non è affatto certo quale sia il modo corretto di assegnare il parametro w_0 degli invasi specifici ante operam, che in generale dipenderà dalle modalità di gestione della superficie (aratura, terreno incolto, bosco...) e dalle caratteristiche topografiche e morfologiche del sito (a titolo di esempio si consideri la legge di potenza negativa con cui varia, a parità di portata, il tirante idrico con l'acclività, a norma p.es. della legge di Manning).

La misura del volume minimo d'invaso da prescrivere in aree sottoposte a trasformazione, detta I la quota dell'area che viene trasformata, e P la quota che viene lasciata inalterata (tale che $I+P=1$, ovvero il 100% dell'area) può essere espressa, per le considerazioni precedenti, come:

$$w = w^\circ (f/f^\circ)^{1/(1-n)} - 15 I - w^\circ P \quad (6)$$

essendo $w^\circ = 50$ mc/ha, f = coefficiente di deflusso dopo la trasformazione, f° = coefficiente di deflusso prima della trasformazione, n un parametro noto in idrologia come esponente della curva di possibilità climatica che, per i casi di maggiore interesse, vale 0.48 (Pistocchi, 2001).

Il volume così ricavato è espresso in mc/ha e deve essere moltiplicato per la superficie territoriale dell'intervento, a prescindere dalla quota P che viene lasciata inalterata.

Per la stima dei coefficienti di deflusso f e f° si fa riferimento alla relazione convenzionale (studiata in modo da penalizzare le impermeabilizzazioni sovra-

stimandone i coefficienti di deflusso, al contempo sottostimando i coefficienti di deflusso delle parti permeabili):

$$f^{\circ}=0.9\text{Imp}^{\circ}+ 0.2 \text{Per}^{\circ} \quad (7 \text{ a})$$

$$f=0.9\text{Imp}+ 0.2 \text{Per} \quad (7 \text{ b})$$

in cui Imp e Per sono rispettivamente le quote dell'area totale da ritenersi impermeabile e permeabile, prima della trasformazione (se connotati dall'apice^o) o dopo (se non c'è l'apice^o).

Circa il metodo sopra esposto è attualmente in corso una sperimentazione presso il Consorzio di Bonifica Savio/Rubicone di Cesena (Giorgi e Pistocchi, 2002), per la taratura del parametro w° , il cui valore è posto provvisoriamente a 50 mc/ha in linea con indicazioni di letteratura, ma dovrà essere meglio valutato a seguito degli approfondimenti sperimentali.

In termini operativi, i Comuni possono definire gli indici di fabbricazioni inserendo sistematicamente, attraverso metodi semplici e facilmente generalizzabili, nelle valutazioni tecnico-economiche ed ambientali anche la necessità di mantenere invariati i colmi di piena proveniente dai lotti di trasformazione e in particolare di nuova edificazione.

In questo modo, è possibile lasciare al singolo progettista la scelta del tasso di impermeabilizzazione connessa ad una trasformazione di uso del suolo, associandovi in maniera diretta un intervento mitigativo proporzionato, e si può consentire l'applicazione del criterio dell'invarianza idraulica delle trasformazioni urbane non solo a grandi interventi (come ad esempio le aree produttive) ma a tutte le trasformazioni d'uso del suolo, in modo certamente più equo ed efficace. Per una discussione di questi aspetti si rinvia a Dall'Ara e Pistocchi, 2002 c.

Fisicamente, questi volumi potranno essere ricavati con il sovradimensionamento dei collettori fognari dotati di opportuni dispositivi di efflusso, oppure realizzando vere e proprie vasche che, se ben progettate, assumono anche valenze paesaggistiche. È, per inciso, da rimarcare che l'efficacia degli invasi di laminazione delle piene di cui si sta parlando è esclusivamente locale, per cui invasi sovradimensionati in un lotto non servono, in generale, a compensare effetti negativi prodotti altrove. Nella tabella seguente, tratta da Pistocchi, 2001, sono riportati alcuni esempi di calcolo.

3LA PROGETTAZIONE IDROLOGICA DELLE TRASFORMAZIONI URBANE. UN ESEMPIO

L'impermeabilizzazione dei suoli opera anche, come accennato, su un altro aspetto fondamentale, cioè sulla durata dei deflussi superficiali e sulla ricarica delle falde. Innanzitutto, i deflussi superficiali sono restituiti in modo più rapido al recettore e quindi si esauriscono più rapidamente. Inoltre, una quota di precipitazione tendenzialmente minore giunge al recettore attraverso la filtrazione nel terreno. Questi fenomeni provocano una riduzione complessiva di disponibilità della risorsa idrica per i vari scopi, in quanto riducono i periodi in cui si sviluppa lo scorrimento e aumentano le portate oltre valori utili ad essere impiegati produttivamente. Una conseguenza di questo è la necessità di approvvigionarsi di risorsa idrica mediante a fonti diverse dalla pioggia diretta, ad esempio per irrigare i giardini e per lavare le automobili. Quasi sempre si utilizzano a tale scopo le acque potabili fornite dall'acquedotto, che evidentemente risultano sprecate in quanto sottoposte a trattamenti di potabilizzazione che sono inutili per lo scopo per cui le acque vengono impiegate.

La tematica è già stata affrontata in sede progettuale (p.es. Abram e Sauli, 2002; Scarperi, 2002; Volterrani *et al.*, 2002). Tuttavia, l'azione progettuale è oggi prevalentemente orientata a "contenere i danni", più che a prendersi carico dei problemi in termini positivi, reperendo dalle indicazioni dell'idrologia spunti e materiale progettuale.

Un controesempio che illustra il possibile ruolo del sistema di drenaggio e dell'organizzazione del ciclo dell'acqua all'interno di un lotto in trasformazione, ai fini della sostenibilità idrologica, è proposto nelle figure seguenti, ricavata da elaborati progettuali di Dall'Ara e Pistocchi (2002b), che mostra fra l'altro una possibile soluzione costruttiva per i volumi di invaso richiesti ai fini dell'invarianza idraulica.

Nell'esempio, il drenaggio è organizzato mediante un sistema di trincee in ghiaia sovrastate da canalette di ampie dimensioni, che consentono ai deflussi più modesti di scorrere per filtrazione attraverso la ghiaia e di essere restituiti gradualmente a valle, mentre nel caso di precipitazioni brevi ed intense la pioggia viene drenata direttamente in superficie. Questo simula il comportamento "naturale" di un bacino idrografico, dove i deflussi ordinari filtrano attraverso i versanti e il subalveo, mentre le piene si concentrano sul reticolo idrografico. La modesta pendenza delle sponde delle canalette rende possibi-

Pistocchi, A.

le il loro utilizzo in superficie e non problematico il fatto di destinare una superficie ampia a occasionali allagamenti.

In un simile schema di drenaggio, l'invaso di laminazione posto a valle serve sia per i fini dell'in-

varianza idraulica, sia come possibile volume di regolazione dei deflussi ordinari che possono essere temporaneamente immagazzinati per il loro utilizzo a fini non pregiati (irrigazione, lavaggio auto...).

Tabella 1. Esempio di calcolo per diverse tipologie insediative previste da un piano regolatore.

<i>tipologia area</i>	<i>quota superficie edificab.</i>	<i>quota area pubblica</i>	<i>quota min perm. sup. edif.</i>	<i>quota strade</i>	<i>parcheggi</i>	<i>quota tot imperm</i>	<i>coeff affl dopo trasform</i>	<i>volume d'invaso prescritto (mm)</i>
aree di trasformazione qualitativa	0.3	0.7	0	0.2	0.04	0.34	0.44	2
aree di riqualificazione	1	0		0.2	0.08	0.48	0.54	33
aree di riqualificazione centrali	1	0		0.2	0.12	0.62	0.63	45
aree di cintura con val. ecologica preval resid.	0.4	0.6	0.6	0.2	0.02	0.27	0.39	18
aree di cintura con val. ecologica poli prod. polifunzionali	0.5	0.5	0.2	0.2	0.04	0.44	0.51	29
aree di cintura con val. ecologica poli prod.	0.4	0.6	0.2	0.2	0.084	0.70	0.69	53
aree di connessione dei margini	0.25	0.75	0.4	0.2	0.024	0.28	0.40	18
aree di valorizzazione paesagg. amb.	0.15	0.85	0.6	0.2	0.006	0.22	0.35	15
aree trasf. paesagg.	0.15	0.85	0.6	0.2	0.006	0.22	0.35	15

Figura 1. Schema planimetrico del drenaggio adottato: un reticolo di trincee drenanti e ampie canalette simula il comportamento del reticolo idrografico in un bacino naturale, restituendo i deflussi con un doppio meccanismo di subalveo (per le precipitazioni più distribuite) e di superficie (per le precipitazioni intense). Cortesia arch. E.Dall'Ara

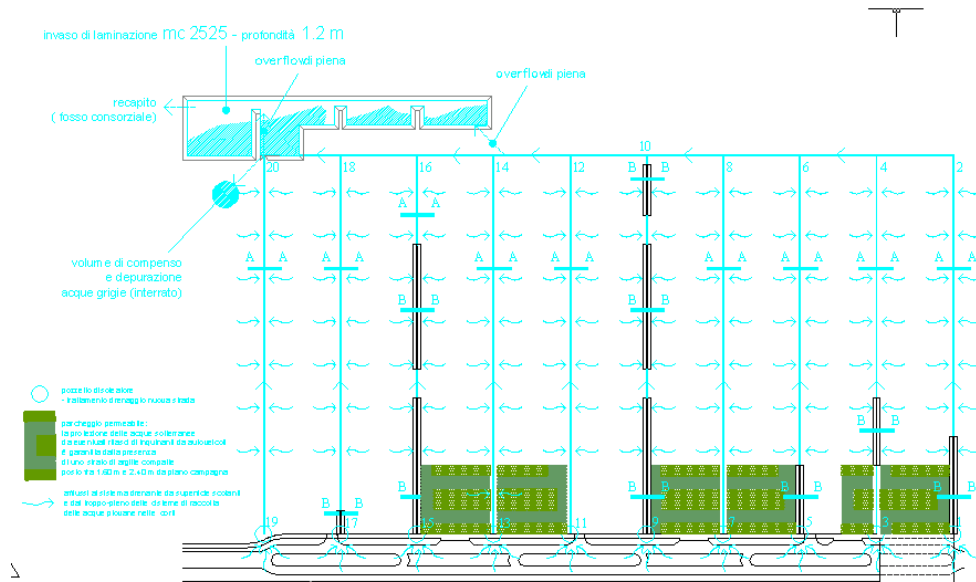
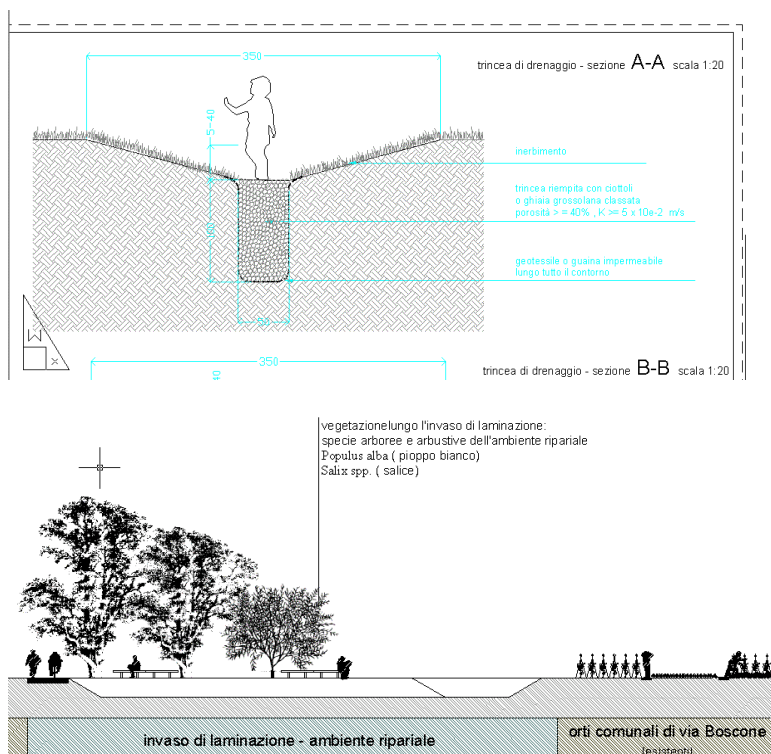


Figura 2. (sopra) sezione schematica delle canalette-trincee drenanti; (sotto) vista di ambientazione dei volumi di laminazione, che configurano una zona ripariale. Cortesia arch. E.Dall'Ara



Pistocchi, A.

BIBLIOGRAFIA

- P. Abram, G. Sauli, Soluzioni permeabili, Acer, n. 3/2002
- A. Biscaglia, O. Brighi, Le tutele del piano, in A. Biscaglia, P. Vitillo, Cesena, PRG e tutele ambientali, Urbanistica Quaderni Archivio, Suppl. Urbanistica, n. 117, 2002
- E. Dall'Ara, A. Pistocchi, Georisorse, decisioni, pianificazione, in A. Biscaglia, P. Vitillo, Cesena, PRG e tutele ambientali, Urbanistica Quaderni Archivio, Suppl. Urbanistica, n. 117, 2002 a
- E. Dall'Ara, A. Pistocchi, Progetto degli spazi aperti per il PEEP di Sant'Egidio, Cesena; elaborati per concorso nazionale di progettazione indetto dal Comune di Cesena, coordinatore del progetto Arch. E. Preger, 2002 b
- E. Dall'Ara, A. Pistocchi, Gradienti paesaggistici nel piano ed invarianza idraulica, in A. Biscaglia, P. Vitillo, Cesena, PRG e tutele ambientali, Urbanistica Quaderni Archivio, Suppl. Urbanistica, n. 117, 2002 c
- C. Datei, L. Da Deppo, P. Salandin, Sistemazione dei corsi d'acqua, Cortina, Padova, 1997
- C. Datei, L. Natale, (a cura di) Le reti idrauliche, in Manuale di Ingegneria Civile, Zanichelli-ESAC, Bologna, 1996
- P. Galuzzi, P. Vitillo, Indicatori ecologici e paesaggistici, in A. Biscaglia, P. Vitillo, Cesena, PRG e tutele ambientali, Urbanistica Quaderni Archivio, Suppl. Urbanistica, n. 117, 2002
- L. Giorgi, A. Pistocchi, L'invarianza idraulica delle trasformazioni urbanistiche – il sistema di monitoraggio dei Bacini Romagnoli, Paesaggio Urbano, n. 3/2002
- P. Lamberti, G. Leoni, Problematiche delle reti di bonifica in aree fortemente antropizzate: il caso della bonifica renana nel territorio della bassa bolognese; in Brath, A., Maione, U. (cur.) Atti del Corso di Aggiornamento "Moderne tecniche e criteri per la sistemazione dei corsi d'acqua in territori fortemente antropizzati", Bios ed., 1997
- U. Maione, Le piene fluviali, La Goliardica Pavese, Pavia, 1995
- A. Paoletti, (a cura di) Sistemi di fognatura e di drenaggio urbano, CUSL, Milano, 1996
- A. Pistocchi, La valutazione idrologica dei piani urbanistici – un metodo semplificato per l'invarianza idraulica nei piani regolatori generali, Ingegneria Ambientale, vol. XXX, no. 7/8, luglio/agosto 2001
- E. Scarperi, Le acque e la città, Acer, n. 3/2002
- G. Supino, Le reti idrauliche, Patron, Bologna, 1965
- M. Volterrani, S. Magni, N. Grossi, S. Miele, A. Altissimo, Parcheggi in erba, Acer, n. 2/2002