

BOZZA REGOLAMENTO REGIONALE**(art. 7 della L.R. n. 4/2016)****SOMMARIO**

ART. 1	GENERALITÀ.....	1
ART. 2	DEFINIZIONI	2
ART. 3	LA L.R. 4/2016 IN MERITO AI PRINCIPI DI INVARIANZA IDRAULICA E IDROLOGICA.....	3
3.1	Generalità	3
3.2	Contenuti del presente Regolamento regionale in base alla L.R. 4/2016	4
ART. 4	INTERVENTI RICHIEDENTI LE MISURE DI INVARIANZA IDRAULICA E IDROLOGICA	5
4.1	Indicazioni generali.....	5
4.2	Acque meteoriche di riferimento per le misure di invarianza idraulica e idrologica	6
4.3	Sistemi di controllo e gestione delle acque pluviali delle superfici scolanti soggette alle misure di invarianza idraulica e idrologica.....	6
4.4	Regolamento edilizio comunale.....	7
4.4.1	<i>Per interventi soggetti a titolo abilitativo:</i>	7
4.4.2	<i>Per interventi non soggetti a titolo abilitativo (Attività edilizia libera):</i>	8
4.4.3	<i>Per interventi relativi a infrastrutture stradali, autostradali, loro pertinenze e parcheggi che non ricadono nella fattispecie di cui all'art. 3, comma 1, lettera e.3) del d.p.r. 380/2001:</i>	8
4.4.4	<i>Nei casi di impossibilità di realizzazione delle opere di invarianza idraulica o idrologica previsti dall'art. 12:</i>	8
4.4.5	<i>Piattaforma regionale MUTA</i>	9
ART. 5	INDIVIDUAZIONE DEGLI AMBITI TERRITORIALI DI APPLICAZIONE DIFFERENZIATI	10
5.1	Impostazione di principio	10
5.2	Differenziazione in funzione del grado di impermeabilizzazione dei suoli, delle condizioni idrogeologiche delle aree e del livello di criticità idraulica dei bacini dei corsi d'acqua ricettori	10
5.2.1	<i>Differenziazione in funzione del grado di impermeabilizzazione dei suoli</i>	10
5.2.2	<i>Differenziazione in funzione delle condizioni idrogeologiche delle aree</i>	11
5.2.3	<i>Differenziazione in funzione del livello di criticità idraulica dei bacini dei corsi d'acqua ricettori</i>	11
ART. 6	VALORI MASSIMI AMMISSIBILI DELLA PORTATA METEORICA SCARICABILE NEI RICETTORI PER IL RISPETTO DEL PRINCIPIO DELL'INVARIANZA IDRAULICA E IDROLOGICA NEI DIVERSI AMBITI TERRITORIALI INDIVIDUATI	13
6.1	Portate massime in situazioni naturali.....	13
6.2	Portate massime ammissibili.....	13
6.3	Classificazione degli interventi richiedenti misure di invarianza idraulica e idrologica	14
6.4	Progetto di invarianza idraulica e idrologica.....	14
6.4.1	<i>Contenuti del progetto nei casi in cui non si applicano i requisiti</i>	

<i>minimi</i>	14
6.4.2 <i>Contenuti del progetto nei casi in cui si applicano i requisiti minimi</i>	15
ART. 7 METODOLOGIA DI CALCOLO DELLE MISURE DI INVARIANZA IDRAULICA E IDROLOGICA PER IL RISPETTO DEI LIMITI ALLO SCARICO NEL CASO DI INTERVENTI DI IMPERMEABILIZZAZIONE POTENZIALE MEDIA O ALTA RICADENTI NEGLI AMBITI TERRITORIALI DI CRITICITÀ MEDIA O ALTA	16
7.1 Tempo di ritorno di riferimento per il dimensionamento delle opere	16
7.2 Curve di possibilità pluviometrica	16
7.3 Calcolo del processo di infiltrazione.....	17
7.4 Coefficiente di deflusso	18
7.5 Volumi di invaso per la laminazione.....	18
7.5.1 <i>Calcolo dei volumi di invaso per la laminazione</i>	18
7.5.2 <i>Procedura semplificata cosiddetta "Metodo delle sole piogge"</i>	18
7.5.3 <i>Procedura dettagliata</i>	19
7.5.4 <i>Valori minimi dei volumi di laminazione</i>	20
7.5.5 <i>Esempi di applicazione</i>	20
7.6 Calcolo del tempo di svuotamento degli invasi di laminazione	20
7.7 Dimensionamento del sistema di scarico terminale nel ricettore	20
ART. 8 REQUISITI MINIMI DELLE MISURE DI INVARIANZA IDRAULICA E IDROLOGICA	22
8.1 Requisiti minimi delle misure di invarianza idrologica e idraulica per interventi di superficie minore di 100 mq.....	22
8.2 Requisiti minimi delle misure di invarianza idrologica e idraulica di interventi di impermeabilizzazione potenziale bassa o ricadenti negli ambiti territoriali di bassa criticità	22
ART. 9 INDICAZIONI TECNICHE COSTRUTTIVE ED ESEMPI DI BUONE PRATICHE DI GESTIONE DELLE ACQUE METEORICHE IN AMBITO URBANO	24
ART. 10 MODALITÀ DI INTEGRAZIONE TRA PIANIFICAZIONE URBANISTICA COMUNALE E PREVISIONI DEL PIANO D'AMBITO, AL FINE DEL CONSEGUIMENTO DEGLI OBIETTIVI DI INVARIANZA IDRAULICA E IDROLOGICA	25
10.1 Premessa	25
10.2 Contenuti dello Studio comunale di gestione del rischio idraulico	25
10.3 Documento semplificato del rischio idraulico comunale.....	27
10.4 Ripartizione dei costi per la redazione dello studio comunale di gestione del rischio idraulico e del documento semplificato del rischio idraulico comunale	27
ART. 11 MECCANISMI ATTRAVERSO I QUALI I COMUNI POSSONO PROMUOVERE L'APPLICAZIONE DEI PRINCIPI DELL'INVARIANZA IDRAULICA O IDROLOGICA, NONCHÉ DEL DRENAGGIO URBANO SOSTENIBILE	28
ART. 12 POSSIBILITÀ PER I COMUNI DI PREVEDERE LA MONETIZZAZIONE COME ALTERNATIVA ALLA DIRETTA REALIZZAZIONE PER GLI INTERVENTI IN AMBITI URBANI CARATTERIZZATI DA PARTICOLARI CONDIZIONI URBANISTICHE O IDROGEOLOGICHE	29
ALLEGATO A - SCHEMI ESEMPLIFICATIVI DELLE MISURE DI INVARIANZA IDROLOGICA E IDRAULICA	32
ALLEGATO B - CARTOGRAFIA ED ELENCO DEI COMUNI RICADENTI NEGLI AMBITI TERRITORIALI A BASSA, MEDIA E ALTA CRITICITÀ IDRAULICA	36
ALLEGATO C - ELENCO DEI BACINI IDROGRAFICI O DELLE PORZIONI DI BACINO IDROGRAFICO AD ALTA	

CRITICITÀ IDRAULICA E CARTOGRAFIA.....	37
ALLEGATO D - INFORMAZIONI DA COMUNICARE ATTRAVERSO IL SITO MUTA	39
ALLEGATO E - ASSEVERAZIONE DEL PROFESSIONISTA IN MERITO ALLA CONFORMITÀ DEL PROGETTO AI CONTENUTI DEL PRESENTE REGOLAMENTO E DELLA L.R. 4/2016.....	40
ALLEGATO F - POSSIBILI METODI DI CALCOLO DEL PROCESSO DI INFILTRAZIONE.....	41
ALLEGATO G - RICHIAMI TEORICI PER IL CALCOLO DEI VOLUMI DI INVASO PER LA LAMINAZIONE	44
ALLEGATO H - ESEMPI APPLICATIVI DELLE METODOLOGIE DI CALCOLO DEI VOLUMI DI LAMINAZIONE E DEI PROCESSI DI INFILTRAZIONE.	53
ALLEGATO I - ESEMPI DI CONFIGURAZIONI DEL COLLEGAMENTO TRA L'USCITA DI UN INVASO DI LAMINAZIONE E LO SCARICO NEL RICETTORE	59
ALLEGATO L - INDICAZIONI TECNICHE COSTRUTTIVE ED ESEMPI DI BUONE PRATICHE DI GESTIONE DELLE ACQUE METEORICHE IN AMBITO URBANO	60
1. Generalità	60
2. Opere di laminazione	60
3. Opere di infiltrazione.....	65
4. Opere di compensazione idrologica: tetti e pareti verdi	78
5. Opere di scarico e manufatti di controllo	81

Art. 1 Generalità

L'incremento delle portate meteoriche conseguente alla progressiva urbanizzazione ed impermeabilizzazione del territorio esalta i fenomeni di piena di fiumi e torrenti e, in caso di inadeguatezza delle capacità di deflusso, provoca esondazioni diffuse e danni ingenti anche per precipitazioni non particolarmente intense.

L'aumento continuo delle impermeabilizzazioni ha inoltre un impatto rilevante sulla qualità chimico-fisica e biologica delle acque dei corpi ricettori, nonché sul progressivo impoverimento degli ecosistemi, degli habitat e della qualità idromorfologica degli ambienti fluviali.

È quindi necessario adottare nuove politiche di drenaggio sostenibile delle acque meteoriche in ambito urbano per conseguire, tramite la separazione e gestione locale delle acque meteoriche a monte delle reti di fognatura, la riduzione quantitativa dei deflussi meteorici, il progressivo riequilibrio del regime idrologico e idraulico e quindi l'attenuazione del rischio idraulico.

In particolare è indispensabile adottare provvedimenti diffusi sia strutturali (infiltrazioni, invasi temporanei e riusi delle acque meteoriche) che non strutturali per garantire che le portate o i volumi di deflusso meteorico scaricati dalle aree urbanizzate nei ricettori naturali o artificiali di valle non siano maggiori di quelli preesistenti alla trasformazione: perseguire, cioè, l'invarianza idraulica e idrologica delle trasformazioni di uso del suolo.

Un ulteriore obiettivo certamente non secondario delle medesime misure di invarianza idraulica e idrologica è quello della riduzione dell'impatto inquinante sui corpi idrici ricettori. Assume infatti rilevanza la separazione e la gestione locale delle acque meteoriche non esposte ad emissioni e scarichi inquinanti al fine di poterle smaltire senza necessità di trattamento nei ricettori, nel suolo o negli strati superficiali del sottosuolo. Ciò conduce anche ad una maggiore concentrazione dei restanti reflui collettati dalle reti fognarie con conseguente maggiore efficienza dei sistemi di depurazione.

Art. 2 Definizioni

- a. Invarianza idraulica: principio in base al quale le portate massime di deflusso meteorico scaricate dalle aree urbanizzate nei ricettori naturali o artificiali di valle non sono maggiori di quelle preesistenti all'urbanizzazione;
- b. Invarianza idrologica: principio in base al quale sia le portate sia i volumi di deflusso meteorico scaricati dalle aree urbanizzate nei ricettori naturali o artificiali di valle non sono maggiori di quelli preesistenti all'urbanizzazione;
- c. Drenaggio urbano sostenibile: sistema di gestione delle acque meteoriche urbane, costituito da un insieme di strategie, tecnologie e buone pratiche volte a ridurre i fenomeni di allagamento urbano, a contenere gli apporti di acque meteoriche ai corpi idrici ricettori mediante il controllo "alla sorgente" delle acque meteoriche, e a ridurre il degrado qualitativo delle acque;
- d. Evento meteorico: una o più precipitazioni atmosferiche, temporalmente distanziate non più di 6 ore, di altezza complessiva di almeno 5 mm, che si verifichino o che si susseguano a distanza di almeno 48 ore da un analogo evento precedente;
- e. Acque meteoriche di dilavamento: la parte delle acque di una precipitazione atmosferica che, non assorbita o evaporata, dilava le superfici scolanti;
- f. Acque di prima pioggia: quelle corrispondenti, nella prima parte di ogni evento meteorico, ad una precipitazione di 5 mm uniformemente distribuita sull'intera superficie scolante servita dalla rete di raccolta delle acque meteoriche;
- g. Acque di seconda pioggia: la parte delle acque meteoriche di dilavamento eccedente le acque di prima pioggia;
- h. Acque pluviali: le acque meteoriche di dilavamento, escluse le acque di prima pioggia scolanti dalle aree esterne elencate nell'art. 3 del Regolamento regionale n. 4 del 2006, che sono soggette alle norme indicate nel medesimo Regolamento. Rientrano tra le acque pluviali, ad es., le acque scolanti da tetti, pensiline, terrazzi, cortili, coperture di edifici, installazioni, aree pedonali o ciclabili, ecc.;
- i. Superficie scolante totale: la superficie, di qualsiasi tipologia, grado di urbanizzazione e capacità di infiltrazione, inclusa nel bacino afferente al ricettore sottesa dalla sezione presa in considerazione;
- j. Superficie scolante impermeabile: superficie risultante dal prodotto tra la superficie scolante totale per il suo coefficiente di deflusso medio ponderale;
- k. Superficie scolante impermeabile dell'intervento: superficie risultante dal prodotto tra la superficie scolante interessata dall'intervento per il suo coefficiente di deflusso medio ponderale;
- l. Portata specifica massima ammissibile allo scarico, espressa in l/s per ettaro: portata (espressa in litri al secondo) massima ammissibile allo scarico nel ricettore per ogni ettaro di superficie scolante impermeabile dell'intervento;
- m. Ricettore: corpo idrico naturale o artificiale o rete di fognatura, nel quale si immettono le acque meteoriche disciplinate dal presente regolamento.

Art. 3 La L.R. 4/2016 in merito ai principi di invarianza idraulica e idrologica

3.1 GENERALITÀ

La L.R. n. 4/2016 nell'art. 7, comma 2 prevede che: I principi di invarianza idraulica e idrologica siano applicati agli interventi edilizi definiti dall'art. 3, comma 1, lettere d), e), f) del d.p.r. 380/2001 e a tutti gli interventi che comportano una riduzione della permeabilità del suolo rispetto alla sua condizione preesistente all'urbanizzazione, secondo quanto specificato nel regolamento regionale di cui al comma 5. Sono compresi gli interventi relativi a infrastrutture stradali e autostradali e loro pertinenze e i parcheggi.

Gli interventi edilizi richiamati dal suddetto articolo sono:

d) *"interventi di ristrutturazione edilizia, gli interventi rivolti a trasformare gli organismi edilizi mediante un insieme sistematico di opere che possono portare ad un organismo edilizio in tutto o in parte diverso dal precedente. Tali interventi comprendono il ripristino o la sostituzione di alcuni elementi costitutivi dell'edificio, l'eliminazione, la modifica e l'inserimento di nuovi elementi ed impianti. Nell'ambito degli interventi di ristrutturazione edilizia sono ricompresi anche quelli consistenti nella demolizione e ricostruzione con la stessa volumetria di quello preesistente, fatte salve le sole innovazioni necessarie per l'adeguamento alla normativa antisismica nonché quelli volti al ripristino di edifici, o parti di essi, eventualmente crollati o demoliti, attraverso la loro ricostruzione, purché sia possibile accertarne la preesistente consistenza. Rimane fermo che, con riferimento agli immobili sottoposti a vincoli ai sensi del decreto legislativo 22 gennaio 2004, n. 42 e successive modificazioni, gli interventi di demolizione e ricostruzione e gli interventi di ripristino di edifici crollati o demoliti costituiscono interventi di ristrutturazione edilizia soltanto ove sia rispettata la medesima sagoma dell'edificio preesistente."*

e) *"interventi di nuova costruzione, quelli di trasformazione edilizia e urbanistica del territorio non rientranti nelle categorie definite alle lettere precedenti. Sono comunque da considerarsi tali:*

e.1) la costruzione di manufatti edilizi fuori terra o interrati, ovvero l'ampliamento di quelli esistenti all'esterno della sagoma esistente, fermo restando, per gli interventi pertinenziali, quanto previsto alla lettera e.6);

e.2) gli interventi di urbanizzazione primaria e secondaria realizzati da soggetti diversi dal comune;

e.3) la realizzazione di infrastrutture e di impianti, anche per pubblici servizi, che comporti la trasformazione in via permanente di suolo inedificato;

e.4) l'installazione di torri e tralicci per impianti radio-ricetrasmittenti e di ripetitori per i servizi di telecomunicazione;

e.5) l'installazione di manufatti leggeri, anche prefabbricati, e di strutture di qualsiasi genere, quali roulotte, campers, case mobili, imbarcazioni, che siano utilizzati come abitazioni, ambienti di lavoro, oppure come depositi, magazzini e simili, e che non siano diretti a soddisfare esigenze meramente temporanee e salvo che siano installati, con temporaneo ancoraggio al suolo, all'interno di strutture ricettive all'aperto, in conformità alla normativa regionale di settore, per la sosta ed il soggiorno di turisti;

e.6) gli interventi pertinenziali che le norme tecniche degli strumenti urbanistici, in relazione alla zonizzazione e al pregio ambientale e paesaggistico delle aree, qualifichino come interventi di nuova costruzione, ovvero che comportino la

realizzazione di un volume superiore al 20% del volume dell'edificio principale;
e.7) la realizzazione di depositi di merci o di materiali, la realizzazione di impianti per attività produttive all'aperto ove comportino l'esecuzione di lavori cui consegua la trasformazione permanente del suolo inedificato.”

f) gli "interventi di ristrutturazione urbanistica, quelli rivolti a sostituire l'esistente tessuto urbanistico edilizio con altro diverso, mediante un insieme sistematico di interventi edilizi, anche con la modificazione del disegno dei lotti, degli isolati e della rete stradale.”

3.2 CONTENUTI DEL PRESENTE REGOLAMENTO REGIONALE IN BASE ALLA L.R. 4/2016

Con l'art. 7 della L.R. 4/2016 viene introdotto nella L.R. 12/2005 l'art. 58/bis che prevede nel comma 5 l'emanazione del presente Regolamento regionale.

In particolare l'art. 58/bis comma 5 prevede che il Regolamento definisca:

Contenuti del Regolamento previsti dall'art. 58/bis, comma 5	Riferimento nel presente Regolamento
a) ambiti territoriali di applicazione differenziati in funzione del grado di impermeabilizzazione dei suoli, delle condizioni idrogeologiche delle aree e del livello di criticità idraulica dei bacini dei corsi d'acqua ricettori	Art. 5
b) valore massimo della portata meteorica scaricabile nei ricettori per il rispetto del principio dell'invarianza idraulica e idrologica nei diversi ambiti territoriali individuati	Art. 6.2
c) modalità di integrazione tra pianificazione urbanistica comunale e previsioni del piano d'ambito, al fine del conseguimento degli obiettivi di invarianza idraulica e idrologica	Art. 10
d) misure differenziate per aree di nuova edificazione e per quelle già edificate, anche ai fini dell'individuazione delle infrastrutture pubbliche di cui al piano dei servizi	Art. 4.1, Art. 6.3, Art. 10
e) indicazioni tecniche costruttive ed esempi di buone pratiche di gestione delle acque meteoriche in ambito urbano	Art. 9
f) meccanismi di incentivazione edilizia e urbanistica anche ai sensi dell'articolo 4, comma 9, della L.R. 28/11/2014 n. 31, attraverso i quali i comuni possono promuovere l'applicazione dei principi dell'invarianza idraulica o idrologica, nonché del drenaggio urbano sostenibile	Art. 11
g) possibilità per i comuni di prevedere la monetizzazione come alternativa alla diretta realizzazione per gli interventi in ambiti urbani caratterizzati da particolari condizioni urbanistiche o idrogeologiche	Art. Art. 12

Art. 4 Interventi richiedenti le misure di invarianza idraulica e idrologica

4.1 INDICAZIONI GENERALI

L'art. 7 comma 2, della LR 4/2016 indica che sono da ricomprendere, ai fini dell'applicazione di principi di invarianza idraulica e idrologica, solo gli interventi che *"comportano una riduzione della permeabilità del suolo rispetto alla sua condizione preesistente all'urbanizzazione"*. Ne conseguono le seguenti indicazioni (vedi schemi riportati in Allegato A):

- i. le misure di invarianza idraulica e idrologica necessarie per compensare interventi comportanti una riduzione della permeabilità del suolo sono da calcolare in rapporto alle condizioni preesistenti all'urbanizzazione; quindi non alla condizione urbanistica pre-intervento, eventualmente già alterata rispetto alla condizione "zero" preesistente all'urbanizzazione. Ad esempio una ristrutturazione che preveda in qualche sua parte un aumento del grado di impermeabilizzazione rispetto all'esistente già parzialmente impermeabilizzato deve comprendere gli interventi di invarianza idraulica e idrologica calcolati in rapporto alla permeabilità "naturale" originaria del sito. Così una nuova costruzione che riguardi in tutto o in parte un lotto già edificato e quindi avente un esistente grado di impermeabilizzazione deve comprendere gli interventi di invarianza idraulica e idrologica calcolati in rapporto alla permeabilità "naturale" originaria del sito dell'intervento e non rispetto alla situazione già urbanizzata esistente.
- ii. le misure di invarianza idraulica e idrologica sono da calcolare con riferimento alla superficie interessata dall'intervento comportante una riduzione della permeabilità del suolo rispetto alla *sua condizione* preesistente all'urbanizzazione. Dunque una ristrutturazione della superficie parziale di un lotto con aumento del suo grado di impermeabilizzazione rispetto alla condizione preesistente all'urbanizzazione deve esser compensata da misure di invarianza idraulica e idrologica calcolate rispetto alla superficie modificata e non anche rispetto alla restante superficie del lotto che mantiene l'esistente grado di impermeabilizzazione. Così una nuova costruzione in ampliamento di una edificazione già esistente deve esser compensata da misure di invarianza idraulica e idrologica calcolate rispetto alla superficie di nuova costruzione e non anche rispetto alla esistente superficie già edificata.
- iii. Nell'ambito degli interventi edilizi definiti dall'art. 3 del D.P.R.380/2001, lettere d), e), f):
 - iii.a. non sono soggetti ai requisiti di invarianza idraulica e idrologica del presente regolamento gli interventi che comprendono il ripristino o la sostituzione o la modifica o l'inserimento di elementi costitutivi che non comportino una maggiore superficie della proiezione sul suolo del filo esterno dell'edificio;
 - iii.b. sono soggetti ai requisiti di invarianza idraulica e idrologica del presente regolamento gli interventi di:
 - nuova costruzione;
 - demolizione, parziale o totale, e ricostruzione indipendentemente dalla modifica o mantenimento della superficie edificata preesistente;
 - ampliamento;
 - iii.c. sono soggetti ai requisiti di invarianza idraulica e idrologica del presente

regolamento gli interventi che comportano un ampliamento della superficie edificata o una variazione della permeabilità rispetto alla condizione preesistente all'urbanizzazione, comprendente:

- trasformazione edilizia;
- trasformazione urbanistica;
- ristrutturazione urbanistica;

- iv. le misure di invarianza idraulica e idrologica riguardano anche gli interventi relativi a infrastrutture stradali e autostradali e loro pertinenze e i parcheggi che comportano una riduzione della permeabilità del suolo rispetto alla sua condizione preesistente all'impermeabilizzazione. Ne consegue che le misure di invarianza idraulica e idrologica sono da prevedere sia per interventi di riassetto, adeguamento, allargamento di infrastrutture già presenti sul territorio, sia per nuove sedi stradali o di parcheggio, con riferimento alle componenti che comportano una riduzione della permeabilità del suolo rispetto alla sua condizione preesistente all'impermeabilizzazione. Le corrispondenti misure di invarianza idraulica e idrologica sono da calcolare in rapporto alla superficie interessata da tali interventi.

Le misure di invarianza idraulica e idrologica possono essere applicate anche all'edificato e alle infrastrutture esistenti per i quali non sussiste l'obbligo di cui al presente regolamento; in questo caso, qualora si volesse accedere agli incentivi di cui all'art. 11, le misure di invarianza idraulica e idrologica devono rispettare le disposizioni di cui al presente regolamento.

4.2 ACQUE METEORICHE DI RIFERIMENTO PER LE MISURE DI INVARIANZA IDRAULICA E IDROLOGICA

Il presente regolamento disciplina le misure di invarianza idraulica e idrologica ed i vincoli allo scarico da adottare per le superfici interessate da interventi che prevedono una riduzione della permeabilità del suolo rispetto alla condizione preesistente all'urbanizzazione.

Le acque soggette a tali misure sono le acque pluviali, come definite all'art. 2.

4.3 SISTEMI DI CONTROLLO E GESTIONE DELLE ACQUE PLUVIALI DELLE SUPERFICI SCOLANTI SOGGETTE ALLE MISURE DI INVARIANZA IDRAULICA E IDROLOGICA

L'infiltrazione rappresenta, se la situazione idrogeologica locale lo consente (vedi art. 5.2.2), un'utile e opportuna modalità di smaltimento delle acque pluviali. Peraltro, poiché nella generalità dei casi la capacità di infiltrazione dei suoli è inferiore, talora in modo significativo, rispetto all'intensità delle piogge più intense, il contenimento delle portate allo scarico richiede necessariamente la trattenuta temporanea delle acque pluviali in eccesso rispetto all'infiltrazione in invasi di laminazione.

La vasta possibilità di configurare tali invasi con differenti tipologie consente di individuare soluzioni tecnicamente fattibili e di costo percentualmente contenuto, rispetto al costo complessivo dell'intervento, qualora tali capacità di invaso siano attentamente previste in fase di progetto (vedi art. 9).

Lo smaltimento dei volumi invasati, nel rispetto dei valori limite ammissibili di portata più oltre indicati (art. 6.2), deve avvenire secondo il seguente ordine di priorità:

- mediante il riuso dei volumi stoccati, in funzione dei vincoli di qualità e delle effettive possibilità (es. innaffiamento giardini, acque grigie, lavaggio pavimentazioni e auto, ecc.);
- mediante infiltrazione nel suolo o negli strati superficiali del sottosuolo, compatibilmente con le caratteristiche pedologiche del suolo e idrogeologiche del

sottosuolo, con le normative ambientali e sanitarie e con le pertinenti indicazioni contenute nella componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio. L'infiltrazione induce così alla riduzione degli effetti dell'impermeabilizzazione anche in termini di rispetto del principio di invarianza idrologica;

- scarico in corpo idrico superficiale naturale o artificiale, con i limiti di portata più oltre indicati (art. 6.2) e assoggettati al controllo dell'Autorità idraulica competente;
- scarico in fognatura, con i limiti di portata più oltre indicati (art. 6.2) e assoggettati al controllo del Gestore.

4.4 REGOLAMENTO EDILIZIO COMUNALE

Il regolamento edilizio comunale disciplina le modalità per il conseguimento dell'invarianza idraulica e idrologica, secondo i criteri e i metodi stabiliti nel presente regolamento.

In particolare nel regolamento edilizio comunale devono essere esplicitati e dettagliati i seguenti punti.

4.4.1 Per interventi soggetti a titolo abilitativo:

- Nello sviluppo del progetto dell'intervento soggetto a titolo abilitativo è necessario redigere anche un *Progetto di invarianza idraulica e idrologica*, firmato da un ingegnere abilitato o altro tecnico qualificato e di esperienza nell'esecuzione di stime idrologiche e calcoli idraulici, redatto conformemente alle disposizioni del presente regolamento e i cui contenuti sono indicati nell'art. 6.4. Tale Progetto di Invarianza idraulica deve essere allegato alla domanda di rilascio del titolo abilitativo nel caso di Permesso di costruire, o alla segnalazione certificata di inizio attività, o alla comunicazione di inizio lavori asseverata, unitamente:
 - all'istanza di concessione allo scarico presentata all'autorità idraulica competente, se lo scarico stesso avviene in corpo idrico superficiale
 - alla domanda di autorizzazione allo scarico presentata al gestore, nel caso di scarico in fognatura
 - all'accordo tra il richiedente lo scarico e il proprietario, nel caso di scarico in un reticolo privato.
- In caso di variante alle opere soggette a titolo abilitativo che modifichino i parametri funzionali al calcolo dei volumi di invarianza idraulica o idrologica, il *Progetto di invarianza idraulica e idrologica* deve essere adeguato e allegato alla richiesta di variante al titolo abilitativo ovvero alla nuova domanda di rilascio del titolo abilitativo nel caso di Permesso di costruire, o alla nuova segnalazione certificata di inizio attività, o alla nuova comunicazione di inizio lavori asseverata. Qualora la variante comporti anche una modifica dello scarico, dovrà essere ripresentata l'istanza o domanda di cui al punto precedente, che dovrà essere allegata alla richiesta di variante.
- La segnalazione certificata presentata ai fini dell'agibilità deve essere corredata:
 - da una dichiarazione di conformità delle opere realizzate a firma del Direttore dei Lavori (ove previsto) oppure del titolare/proprietario, che documenti la consistenza e congruità delle strutture/opere progettate e realizzate ai fini del rispetto dei limiti ammissibili di portata allo scarico;
 - dal certificato di collaudo, qualora previsto, ovvero dal certificato di conformità alla normativa di settore;
 - dalla concessione allo scarico rilasciata dall'autorità idraulica competente, se lo stesso avviene in corpo idrico superficiale;

- dall'autorizzazione allo scarico rilasciata dal gestore, nel caso di scarico in fognatura;
 - dal modulo di cui all'Allegato D unitamente alla ricevuta di avvenuta compilazione del portale MUTA di cui all'art. 4.4.5.
- Al fine di garantire il rispetto della portata limite ammissibile, lo scarico nel ricettore è attrezzato con gli equipaggiamenti descritti nell'art. 7.7. Tali equipaggiamenti devono essere inseriti in un pozzetto di ispezione a disposizione per il controllo, nel quale sia ispezionabile l'equipaggiamento stesso e siano misurabili le dimensioni del condotto di allacciamento alla pubblica rete fognaria o del condotto di scarico nel ricettore. I controlli della conformità quantitativa dello scarico al progetto sono effettuati dal Gestore del SII se lo scarico è in pubblica fognatura o dall'Autorità idraulica competente se lo scarico è in corpo idrico superficiale.

4.4.2 Per interventi non soggetti a titolo abilitativo (Attività edilizia libera):

- Gli interventi eseguiti senza alcun titolo abilitativo devono comunque rispettare il presente regolamento per quanto riguarda i limiti e le modalità di calcolo dei volumi.
- Prima della realizzazione dell'intervento deve essere rilasciata la concessione allo scarico da parte dall'autorità idraulica competente, se lo scarico stesso avviene in corpo idrico superficiale, o l'autorizzazione allo scarico rilasciata dal gestore, nel caso di scarico in fognatura, o deve essere sottoscritto un accordo tra il richiedente lo scarico e il proprietario, nel caso di scarico in un reticolo privato.

4.4.3 Per interventi relativi a infrastrutture stradali, autostradali, loro pertinenze e parcheggi che non ricadono nella fattispecie di cui all'art. 3, comma 1, lettera e.3) del d.p.r. 380/2001:

- Nello sviluppo del progetto dell'intervento è necessario redigere anche un *Progetto di invarianza idraulica e idrologica*, firmato da un ingegnere abilitato o altro tecnico qualificato e di esperienza nell'esecuzione di stime idrologiche e calcoli idraulici, redatto conformemente alle disposizioni del presente regolamento e i cui contenuti sono indicati nel paragrafo 6.4.
- Prima della realizzazione dell'intervento deve essere rilasciata la concessione allo scarico da parte dall'autorità idraulica competente, se lo scarico stesso avviene in corpo idrico superficiale, o l'autorizzazione allo scarico rilasciata dal gestore, nel caso di scarico in fognatura, o deve essere sottoscritto un accordo tra il richiedente lo scarico e il proprietario, nel caso di scarico in un reticolo privato.

4.4.4 Nei casi di impossibilità di realizzazione delle opere di invarianza idraulica o idrologica previsti dall'art. 12:

- Alla domanda di rilascio del titolo abilitativo nel caso di Permesso di costruire, o alla segnalazione certificata di inizio attività, o alla comunicazione di inizio lavori asseverata, deve essere allegata la dichiarazione motivata di impossibilità a realizzare le misure di invarianza idraulica, firmato da un ingegnere abilitato o altro tecnico qualificato e di esperienza nell'esecuzione di stime idrologiche e calcoli idraulici, e il calcolo della monetizzazione secondo le modalità specificate nell'art. 12 del presente regolamento.
- La segnalazione certificata presentata ai fini dell'agibilità deve essere corredata dalla ricevuta di pagamento al Comune degli importi di cui all'art. 12.

4.4.5 Piattaforma regionale MUTA

Per ogni intervento di cui ai precedenti artt. 4.4.1, 4.4.2, 4.4.3 e 4.4.4 è obbligatoria la compilazione, da parte del progettista delle opere di invarianza idraulica, della apposita scheda presente nella piattaforma regionale MUTA, così come definito all'Allegato D. In attesa dell'adeguamento di tale piattaforma ai fini del presente regolamento, il progettista dell'intervento di invarianza idraulica è tenuto a trasmettere a Regione Lombardia, all'indirizzo specifico XXXX@regione.lombardia.it, il modulo di cui all'Allegato D firmato digitalmente. Tale modulo deve essere compilato a lavori conclusi, così da tener conto di eventuali varianti in corso d'opera.

Art. 5 Individuazione degli ambiti territoriali di applicazione differenziati

5.1 IMPOSTAZIONE DI PRINCIPIO

La progressiva impermeabilizzazione dei suoli produce penalizzazioni degli equilibri idrologici, idraulici e ambientali comunque presenti anche se variabili in funzione della differente natura orografica, idrografica, idrogeologica, ecosistemica dei siti. Infatti ogni intervento di trasformazione dell'uso del suolo comporta una penalizzazione in uno o più dei suddetti aspetti che rende in ogni caso doverosa l'adozione di adeguate misure compensative a carico del proponente.

Nei riguardi degli equilibri idrologici naturali di un bacino è doverosa l'adozione di misure compensative di "Invarianza idrologica". Con riferimento invece all'aspetto inerente le modalità naturali di regolazione delle piene in un bacino, è doverosa l'adozione di misure compensative di "Invarianza idraulica".

Pertanto, in linea di principio, le misure compensative devono applicarsi, per equità, a tutto il territorio regionale, senza distinzione fra pianura e collina-montagna, onde promuovere la partecipazione di ogni proponente agli oneri connessi all'impatto idrico e ambientale e all'incremento del rischio idraulico conseguenti alla trasformazione dell'uso del suolo.

Conseguentemente il presente regolamento prevede misure compensative che, pur differenziate per le diverse classi di intervento e per diversi ambiti territoriali, sono a carico di ogni intervento di trasformazione dell'uso del suolo.

5.2 DIFFERENZIAZIONE IN FUNZIONE DEL GRADO DI IMPERMEABILIZZAZIONE DEI SUOLI, DELLE CONDIZIONI IDROGEOLOGICHE DELLE AREE E DEL LIVELLO DI CRITICITÀ IDRAULICA DEI BACINI DEI CORSI D'ACQUA RICETTORI

5.2.1 Differenziazione in funzione del grado di impermeabilizzazione dei suoli

L'impatto sulla permeabilità del suolo di un intervento che riduce la permeabilità stessa è maggiore se l'intervento insiste su suolo permeabile e minore se insiste su suolo di bassa permeabilità. Nel caso limite di un suolo già naturalmente impermeabile, un nuovo intervento non comporterebbe alcuna riduzione di permeabilità e non dovrebbe quindi prevedere misure compensative di invarianza idraulica.

Dunque tale considerazione porterebbe alla conclusione che la differenziazione delle misure di invarianza idraulica dovrebbe prevedere, a parità di tipologia dell'intervento, misure più pesanti per i suoli più permeabili e misure meno pesanti, o addirittura nulle, per i suoli meno permeabili, o pressoché impermeabili.

Ma di fatto ciò assume importanza quasi trascurabile se si considera che:

- anche nei suoli permeabili la capacità di infiltrazione è comunque molto limitata rispetto all'intensità massima delle precipitazioni di riferimento per la valutazione del rischio idraulico. Pertanto, ai fini dell'invarianza idraulica è necessario accumulare l'eccedenza delle acque meteoriche rispetto a quelle di infiltrazione attraverso l'adozione di invasi di laminazione. Le misure compensative devono quindi essere comunque previste, e dovranno essere dimensionate in funzione dell'eventuale ricettività del suolo (vedi per maggiori dettagli l'art. Art. 7);
- l'urbanizzazione del suolo produce comunque, anche su suoli naturalmente poco permeabili, importanti effetti idraulici sulla formazione dei deflussi di piena (minori tempi di corrivazione, minori possibilità di accumuli superficiali, minori infiltrazioni,

differente dinamica dei deflussi superficiali, ecc.); gli interventi compensativi di invarianza idraulica sono quindi comunque doverosi.

Dunque il presente regolamento prevede misure compensative dell'urbanizzazione atte all'applicazione dei principi di invarianza idraulica e idrologica per tutti i tipi di permeabilità del suolo, pur con calcoli differenziati in relazione alla natura del suolo e all'importanza degli interventi (vedi art. Art. 7).

5.2.2 Differenziazione in funzione delle condizioni idrogeologiche delle aree

Le condizioni idrogeologiche delle aree condizionano i processi di interscambio che intervengono durante i fenomeni piovosi intensi tra la superficie del suolo (accumuli idrici, infiltrazione, formazione dei deflussi superficiali) e il sistema idrico sotterraneo (falda).

Tali processi devono essere quindi attentamente analizzati per valutare se la superficie freatica della falda più superficiale sia situata a quota sicuramente e convenientemente inferiore al piano campagna; nel qual caso sussiste la possibilità di lasciare infiltrare una parte dell'afflusso meteorico, che è funzione della capacità di infiltrazione del suolo, o se invece la superficie piezometrica sia prossima o addirittura uguale o superiore al piano campagna, nel qual caso non sussiste alcuna possibilità di infiltrazione dell'afflusso meteorico ed anzi occorre anche provvedere al controllo delle eventuali riemersioni delle acque di falda.

Inoltre l'analisi deve anche includere l'aspetto ambientale legato alla qualità delle acque meteoriche di cui si prevede l'infiltrazione in relazione alla loro compatibilità con la tutela delle falde.

Ne consegue la necessità che le suddette analisi siano sempre effettuate nel progetto degli interventi di invarianza idraulica e idrologica, pur con calcoli differenziati in relazione all'importanza degli interventi (vedi Art. 7).

La possibilità di infiltrazione deve anche essere valutata non solo rispetto alla capacità di infiltrazione del suolo ma anche in relazione ai possibili fenomeni dannosi innescati dalle acque infiltrate, come ad esempio laddove le infiltrazioni contribuiscano all'instabilità di versanti franosi o al collasso di cavità sotterranee ("occhi pollini" o "sinkholes") presenti in alcuni territori lombardi.

Conseguentemente l'analisi dell'infiltrabilità dei deflussi superficiali deve basarsi sulle conoscenze e su quanto previsto dagli strumenti di pianificazione regionali e provinciali di settore, nonché nel PGT del Comune.

5.2.3 Differenziazione in funzione del livello di criticità idraulica dei bacini dei corsi d'acqua ricettori

Gli effetti dell'apporto di nuove acque meteoriche nei sistemi di drenaggio sono differenti nelle aree urbane o extraurbane, di pianura o di collina, e dipendono fortemente dalle caratteristiche del ricettore finale, in termini di capacità idraulica dei tratti soggetti ad incremento di portata e dei tratti a valle.

Pertanto i limiti allo scarico devono essere diversificati in funzione delle caratteristiche delle aree di formazione e di possibile scarico delle acque meteoriche.

Sulla base di quanto sopra il territorio regionale viene suddiviso in tre tipologie di aree, in funzione del livello di criticità idraulica dei bacini dei corsi d'acqua ricettori:

Aree A: aree ad alta criticità idraulica:

Comprendono i territori dei Comuni, elencati nell'Allegato B, ricadenti, anche parzialmente, nei bacini idrografici elencati nell'Allegato C.

Aree B: aree a media criticità idraulica:

Comprendono i territori dei Comuni, elencati nell'Allegato B, non rientranti nelle aree A

e ricadenti, anche parzialmente, all'interno dei Comprensori di Bonifica e Irrigazione.

Aree C: aree a bassa criticità idraulica:

Comprendono i territori dei Comuni, elencati nell'Allegato B, non rientranti nelle aree A e B.

In 0 è riportata anche una cartografia a scala regionale con la rappresentazione della suddivisione del territorio nelle tre tipologie di aree.

Indipendentemente dall'ubicazione territoriale sono inoltre assoggettate ai limiti più oltre indicati per le aree A tutte le aree lombarde inserite nei PGT comunali come ambiti di trasformazione e/o come piani attuativi previsti nel piano delle regole.

La suddivisione nelle tre tipologie di aree vale anche ai fini dell'attuazione del PTUA.

Art. 6 Valori massimi ammissibili della portata meteorica scaricabile nei ricettori per il rispetto del principio dell'invarianza idraulica e idrologica nei diversi ambiti territoriali individuati

6.1 PORTATE MASSIME IN SITUAZIONI NATURALI

L'art. 7 della L.R. 4/2016 richiede di commisurare le misure di invarianza idraulica e idrologica alle condizioni preesistenti all'urbanizzazione. La definizione regolamentare dei valori massimi ammissibili delle portate scaricabili deve quindi riferirsi alle stime documentate in proposito dalla letteratura tecnica idrologica ed idraulica, alle quali si rimanda per ogni maggior dettaglio, che portano a valutare nei bacini rurali, caratterizzati da coefficienti di deflusso anche molto ridotti in relazione al tipo di suolo, alla sua pendenza e all'intensità di picco della pioggia, portate di picco commisurate a coefficienti udometrici normalmente dell'ordine di $10 \div 20$ l/s per ettaro (valori maggiori per i bacini acclivi) in presenza di piogge di elevato tempo di ritorno.

Ciò posto e tenendo presente che i principi di invarianza idraulica e idrologica devono ispirarsi a stime cautelative delle portate massime ammissibili e anche a criteri di prudenza nei riguardi dell'effettivo comportamento idraulico che potrà realmente manifestarsi, il presente regolamento prescrive per il dimensionamento delle misure di invarianza idraulica e idrologica il valore della portata massima ammissibile indicato nell'art. 6.2.

6.2 PORTATE MASSIME AMMISSIBILI

Gli scarichi nel ricettore sono limitati mediante l'adozione di interventi atti a contenere l'entità delle portate scaricate entro valori compatibili con la capacità idraulica del ricettore e comunque entro i valori massimi ammissibili di cui alla successiva Tabella 1.

Tali portate massimi ammissibili allo scarico nel ricettore sono differenziate come di seguito per le aree di tipo A, B e C individuate nell'art. 5.2.3.

Tabella 1 - Definizione delle portate massime ammissibili nel ricettore

–	per le aree A ad alta criticità idraulica:	$u_{lim} = 10$ l/s per ettaro di superficie scolante impermeabile dell'intervento
–	per le aree B a media criticità idraulica:	$u_{lim} = 20$ l/s per ettaro di superficie scolante impermeabile dell'intervento
–	per le aree C a bassa criticità idraulica	$u_{lim} = 20$ l/s per ettaro di superficie scolante impermeabile dell'intervento

I limiti alle portate di scarico sono ottenuti mediante l'adozione di sistemi finalizzati prioritariamente a favorire l'attenuazione della generazione dei deflussi meteorici a monte del loro scarico nel ricettore, mediante misure locali incentivanti l'evapotraspirazione, il riuso, l'infiltrazione, la laminazione diffusa e/o centralizzata.

Nel caso in cui, nonostante il ricorso ai sistemi precedentemente richiamati, sia comunque necessario realizzare lo scarico delle acque meteoriche nel ricettore, il medesimo scarico deve avvenire a valle di invasi di laminazione dimensionati per rispettare i suddetti limiti alle portate. Per tenere conto di possibili eventi meteorici ravvicinati, lo svuotamento degli invasi deve avvenire secondo quanto indicato nei successivi articoli 7.6 e 7.7.

Relativamente alle superfici scolanti, ricadenti nelle aree A e B di cui all'art. 5.2.3, già edificate o urbanizzate e già dotate di reti fognarie, le portate degli scarichi nel ricettore, provenienti da sfioratori di piena delle reti fognarie unitarie o da reti pubbliche di raccolta delle acque meteoriche di dilavamento, sono limitate, ove possibile, mediante l'adozione di interventi atti a contenerne l'entità entro valori compatibili con la capacità idraulica del ricettore e comunque entro il valore massimo ammissibile di 40 l/s per ettaro di superficie scolante impermeabile, così come previsto dalle norme tecniche di attuazione del Programma di Tutela e Uso delle Acque.

6.3 CLASSIFICAZIONE DEGLI INTERVENTI RICHIEDENTI MISURE DI INVARIANZA IDRAULICA E IDROLOGICA

La classificazione degli interventi richiedenti misure di invarianza idraulica e idrologica è indicata dalla seguente Tabella 2 Tabella 3 in funzione del loro livello di importanza.

La tabella definisce quattro classi di intervento in funzione dell'impermeabilizzazione potenziale bassa, media o alta prodotta dall'intervento stesso e della superficie interessata dall'intervento.

La medesima tabella definisce inoltre, corrispondentemente alle quattro suddette classi di intervento, le modalità di calcolo da utilizzare in relazione alla classificazione di criticità dell'ambito territoriale ove è ubicato l'intervento (vedi art. 5.2.3). Come si rileva dalla Tabella 2, se si escludono i soli interventi che interessano una superficie ridotta (caso 0), le modalità di calcolo hanno livello di complessità crescente in funzione sia della classe di importanza dell'intervento sia della classe di criticità dell'ambito territoriale.

Tabella 2 - Definizione delle classi di importanza dell'intervento e delle corrispondenti modalità di calcolo in relazione all'effetto potenziale dell'intervento e alla criticità dell'ambito territoriale.

CLASSE DI INTERVENTO		SUPERFICIE INTERESSATA DALL'INTERVENTO	COEFFICIENTE DEFLUSSO MEDIO PONDERALE (calcolato come da art. 7.4)	MODALITÀ DI CALCOLO	
				AMBITI TERRITORIALI (art. 5.2.3)	
				Aree A, B	Aree C
0	Impermeabilizzazione potenziale qualsiasi	≤ 0,01 ha (≤ 100 mq)	qualsiasi	Requisiti minimi art. 8.1	
1	Impermeabilizzazione potenziale bassa	≤ 0,1 ha (≤ 1.000 mq)	≤ 0,4	Requisiti minimi art. 8.2	
2	Impermeabilizzazione potenziale media	≤ 0,1 ha (≤ 1.000 mq)	> 0,4	Metodo delle sole piogge (vedi art. 7.5.2)	Requisiti minimi art. 8.2
		da > 0,1 a ≤ 1 ha (da > 1.000 a ≤ 10.000 mq)	qualsiasi		
		da > 1 a ≤ 10 ha (da > 10.000 a ≤ 100.000 mq)	≤ 0,4		
3	Impermeabilizzazione potenziale alta	da > 1 a ≤ 10 ha (da > 10.000 a ≤100.000 mq)	> 0,4	Procedura dettagliata (vedi art. 7.5.3)	
		> 10 ha (> 100.000 mq)	qualsiasi		

6.4 PROGETTO DI INVARIANZA IDRAULICA E IDROLOGICA

6.4.1 Contenuti del progetto nei casi in cui non si applicano i requisiti minimi

Nei casi di impermeabilizzazione potenziale alta e media (casi 2 e 3 della Tabella 2)

ricadenti nelle aree assoggettate ai limiti indicati per gli ambiti territoriali A e B, il *Progetto di invarianza idraulica e idrologica* dovrà contenere i seguenti elementi ed essere corredato con i calcoli, le valutazioni, i grafici e i disegni effettuati a livello di dettaglio corrispondente ad un progetto almeno definitivo, osservando le procedure e metodologie più oltre esposte:

- a) Relazione tecnica comprendente:
 - a.1. Descrizione della soluzione progettuale di invarianza idraulica e idrologica e delle corrispondenti opere di raccolta, convogliamento, invaso, infiltrazione e scarico costituenti il sistema di drenaggio delle acque pluviali fino al punto terminale di scarico nel ricettore o di disperdimento nel suolo o negli strati superficiali del sottosuolo;
 - a.2. Calcolo delle precipitazioni di progetto;
 - a.3. Calcoli del processo di infiltrazione nelle aree e strutture a ciò destinate e relativi dimensionamenti;
 - a.4. Calcoli del processo di laminazione negli invasi a ciò destinati e relativi dimensionamenti;
 - a.5. Calcolo del tempo di svuotamento degli invasi di laminazione;
 - a.6. Calcoli e relativi dimensionamenti di tutte le componenti del sistema di drenaggio delle acque pluviali fino al punto terminale di scarico;
 - a.7. Dimensionamento del sistema di scarico terminale (qualora necessario) nel ricettore, nel rispetto dei requisiti ammissibili del presente regolamento;
- b) Documentazione progettuale completa di planimetrie e profili in scala adeguata, sezioni, particolari costruttivi;
- c) Piano di manutenzione ordinaria e straordinaria dell'intero sistema di opere di invarianza idraulica e idrologica e di recapito nei ricettori;
- d) Asseverazione del professionista in merito alla conformità del progetto ai contenuti del presente regolamento e della l.r. 4/2016 (0);

6.4.2 Contenuti del progetto nei casi in cui si applicano i requisiti minimi

Nel caso di impermeabilizzazione potenziale bassa, ovunque collocata nelle aree territoriali A, B, C, e nel caso di impermeabilizzazioni potenziali media e alta ricadenti nell'area territoriale C, il *Progetto di invarianza idraulica e idrologica* potrà limitarsi a contenere gli elementi a.1), a.5), a.6), a.7), b), c), d) di cui all'art. 6.4.1.

Tali contenuti minimi del Progetto si applicano anche nel caso di interventi di superficie complessiva minore di 100 mq, ovunque ubicati nel territorio regionale ed indipendentemente dal grado di impermeabilizzazione potenziale, per i quali sia adottato il requisito minimo indicato nell'Art. 8.2 per le aree C a bassa criticità idraulica. Se, invece, viene adottato il requisito minimo indicato al primo alinea dell'art. 8.1 (scarico su suolo o negli strati superficiali del sottosuolo ecc.), non è necessaria la redazione del Progetto di invarianza idraulica e idrologica.

Art. 7 Metodologia di calcolo delle misure di invarianza idraulica e idrologica per il rispetto dei limiti allo scarico nel caso di interventi di impermeabilizzazione potenziale media o alta ricadenti negli ambiti territoriali di criticità media o alta

Le metodologie di calcolo contenute nel presente capitolo si applicano per il rispetto dei limiti di cui all'art. 6.2.

7.1 TEMPO DI RITORNO DI RIFERIMENTO PER IL DIMENSIONAMENTO DELLE OPERE

In conformità al Piano distrettuale di Gestione del Rischio Alluvionale adottato dall'Autorità di Bacino del Po e allo Studio comunale di Gestione del Rischio Idraulico di cui al successivo Art. 10, è necessario che le misure di invarianza idraulica e idrologica per l'attenuazione del rischio di allagamento siano commisurate ad alti tempi di ritorno, tenendo presente che il presidio offerto dalle strutture fognarie è comunque contenuto essendo queste normalmente calcolate per eventi di tempo di ritorno non maggiore di 10 anni e trattandosi in ogni caso di strutture chiuse e idraulicamente limitate. Il presente Regolamento è proiettato quindi verso una valutazione delle locali condizioni di rischio di allagamento residuo per eventi di tempo di ritorno alti, quelli cioè che determinano un superamento anche rilevante delle capacità di controllo assicurate dalle strutture fognarie.

Le misure strutturali locali di contenimento e controllo delle acque meteoriche interne alle superfici scolanti impermeabili dell'intervento sono calcolate in modo da rispettare i valori limite di emissione sopra richiamati, assumendo quali tempi di ritorno i valori di seguito riportati:

- T = 50 anni: tempo di ritorno da adottare per il dimensionamento delle opere di invarianza e idrologica per un accettabile grado di sicurezza delle stesse, in considerazione dell'importanza ambientale ed economica degli insediamenti urbani;
- T = 100 anni: tempo di ritorno da adottare per la verifica dei franchi di sicurezza delle opere come sopra dimensionate. Il medesimo tempo di ritorno è adottato anche per il dimensionamento e la verifica delle eventuali ulteriori misure locali anche non strutturali di protezione idraulica dei beni insediati (barriere e paratoie fisse o rimovibili a difesa di ambienti sotterranei, cunette di drenaggio verso recapiti non pericolosi, ecc.).

7.2 CURVE DI POSSIBILITÀ PLUVIOMETRICA

I parametri caratteristici delle curve di possibilità pluviometrica per la determinazione delle precipitazioni di progetto da assumere sono quelli riportati da ARPA Lombardia per tutte le località del territorio regionale; possono essere assunti valori diversi solo nel caso si disponga di dati ufficiali più specifici per la località oggetto dell'intervento, dichiarandone l'origine e la validità.

Precisamente il sito di ARPA Lombardia <http://idro.arpalombardia.it/pmapper4.0/map.phtml> fornisce i parametri della curva di possibilità pluviometrica valida per ogni località della Lombardia espressa nella forma:

$$h = a_1 \cdot w_T \cdot D^n$$

$$w_T = \varepsilon + \frac{\alpha}{k} \left\langle 1 - \left[\ln \left(\frac{T}{T-1} \right) \right]^k \right\rangle$$

in cui h è l'altezza di pioggia, D è la durata, a_1 è il coefficiente pluviometrico orario, w_T è il coefficiente probabilistico legato al tempo di ritorno T , n è l'esponente della curva (parametro di scala), α , ε , k sono i parametri delle leggi probabilistiche GEV adottate.

Poiché tali parametri caratteristici delle curve di possibilità pluviometrica riportati da ARPA Lombardia si riferiscono generalmente a durate di pioggia maggiori dell'ora, per le durate inferiori all'ora si possono utilizzare, in carenza di dati specifici, tutti i parametri indicati da ARPA tranne il parametro n per il quale si indica il valore $n = 0,5$, in aderenza agli standard suggeriti dalla letteratura tecnica idrologica.

7.3 CALCOLO DEL PROCESSO DI INFILTRAZIONE

Il processo di infiltrazione da progettare nelle strutture a ciò destinate è legato a molteplici variabili pedologiche, morfologiche e vegetazionali.

Il progetto deve in primo luogo valutare se, nel sito di interesse, l'infiltrazione sia a priori da escludere per problemi o di tutela qualitativa delle falde o di stabilità dei versanti o del sottosuolo, basandosi su quanto previsto dagli strumenti di pianificazione regionali e provinciali di settore, nonché nel PGT del Comune.

Salvo i casi suddetti, il principio dell'invarianza idraulica e idrologica, richiede che il progetto consideri ogni possibilità di incentivare l'infiltrazione delle acque meteoriche afferenti da superfici non suscettibili di inquinamento allo scopo di tendere alla restituzione delle stesse ai naturali processi di infiltrazione preesistenti all'intervento (invarianza idrologica).

Il progetto dovrà, quindi, valutare la realizzazione di strutture di infiltrazione (aree verdi di infiltrazione, trincee drenanti, pozzi drenanti, cunette verdi, pavimentazioni permeabili, ecc.) adeguate a tale obiettivo, adottando valori cautelativi dei coefficienti di permeabilità che tengano conto della progressiva tendenza all'intasamento dei materassi permeabili e conseguente riduzione dei coefficienti di permeabilità. Per tale coefficiente quindi devono assumersi nel progetto valori idonei a rappresentare condizioni di permeabilità a lungo termine.

Il calcolo dovrà distinguere nettamente due distinte finalità:

- a) quella di calcolo dei volumi di laminazione necessari durante i transitori di pioggia intensa, in cui occorre determinare cautelativamente la portata possibile di infiltrazione durante il breve termine dell'evento meteorico;
- b) quella di calcolo della portata possibile di infiltrazione al di fuori dei transitori di pioggia, per valutare il tempo di svuotamento nel sottosuolo delle strutture di infiltrazione.

Possibili metodologie di calcolo dell'infiltrazione sono contenute nell'OF.

Il dimensionamento delle strutture di infiltrazione deve discendere da un progetto idraulico dettagliato e specifico basato sui dati effettivi del sito di interesse e comprendere anche un piano di gestione e manutenzione, nonché l'indicazione degli interventi atti al mantenimento delle caratteristiche di progetto dell'opera (es: ai fini del mantenimento della capacità di infiltrazione della struttura filtrante è possibile prevedere il rinnovo periodico dello strato filtrante della struttura adibita all'infiltrazione e/o dello strato superficiale di terreno in caso di aree verdi filtranti, la realizzazione di pretrattamenti per il controllo del materiale fine trasportato che potrebbe intasare il dreno, ecc.).

7.4 COEFFICIENTE DI DEFLUSSO

Per il calcolo dell'idrogramma netto di piena in arrivo nell'opera di laminazione (o nell'insieme delle opere di laminazione), la valutazione delle perdite idrologiche può anche effettuarsi in via semplificata adottando i seguenti valori standard del coefficiente di deflusso, in luogo del calcolo dell'infiltrazione come da art. 7.3:

- pari a 1 per tutte le sotto-aree interessate da tetti, coperture, pavimentazioni continue (strade, vialetti, parcheggi, ecc.) e da tetti verdi e giardini pensili sovrapposti a solette comunque costituite¹;
- pari a 0,7 per le pavimentazioni drenanti o semipermeabili (strade, vialetti, parcheggi, ecc.);
- pari a 0,3 per le sotto-aree permeabili di qualsiasi tipo, escludendo dal computo le superfici incolte e quelle di uso agricolo.

7.5 VOLUMI DI INVASO PER LA LAMINAZIONE

7.5.1 Calcolo dei volumi di invaso per la laminazione

I diversi fattori che influiscono sull'effetto di laminazione operato da un invaso di tipo statico sono il volume massimo in esso contenibile, la sua geometria e le caratteristiche delle opere di scarico.

La letteratura tecnica fornisce tutti i dettagli delle procedure corrette di scrittura delle equazioni che descrivono matematicamente il processo di laminazione nel tempo (equazione differenziale di continuità, legge di efflusso che governa le opere preposte allo scarico dall'invaso o in generale allo svuotamento dell'invaso, curva d'invaso esprime il legame geometrico tra il volume invasato ed il battente idrico H nell'invaso), atte a rappresentare ogni specifico caso reale, nonché le metodologie idonee per la loro integrazione numerica.

Per i richiami teorici si rimanda all'Allegato G.

Ai fini della presente regolamentazione e richiamando la classificazione di importanza degli interventi esposta nell'art. 6.3 i calcoli devono essere sviluppati:

- nel caso di "Impermeabilizzazione potenziale media", con la procedura semplificata cosiddetta "Metodo delle sole piogge" ovvero con la procedura dettagliata;
- nel caso di "Impermeabilizzazione potenziale alta", con la procedura dettagliata.

In ogni caso i calcoli sono riportati estensivamente nella Relazione del Progetto di invarianza idraulica di cui all'art. 6.4.

Il volume di laminazione da adottare per la progettazione degli interventi di invarianza idraulica è pari a quello risultante dai calcoli se maggiore di quello valutato in termini parametrici come Requisito minimo (art. 8); in caso contrario si adotta questo ultimo.

Di seguito le diverse metodologie di calcolo.

7.5.2 Procedura semplificata cosiddetta "Metodo delle sole piogge"

Nel caso di "Impermeabilizzazione potenziale media" in ambiti territoriali a criticità alta

¹ Anche se è indubbia l'influenza positiva dei tetti verdi nei riguardi della formazione dei deflussi, nel breve transitorio di una pioggia eccezionale il tetto verde non determina perdite idrologiche apprezzabili. Qualora, peraltro, il tetto verde sia costruito con le dovute tecnologie, esso svolge un'azione di ritenzione idrica che può essere tenuta in conto come componente dei necessari volumi di laminazione.

o media si può adottare il metodo delle sole piogge, ferma restando la facoltà dell'operatore di adottare la procedura di calcolo dettagliata esposta nell'art. 7.5.3.

Il “Metodo delle sole piogge” si basa sulle seguenti assunzioni:

- si ammette che, data la limitata estensione del bacino scolante, sia trascurabile l'effetto della trasformazione afflussi-deflussi operata dal bacino e dalla rete drenante afferente all'invaso di laminazione; conseguentemente l'onda entrante nell'invaso coincide con la precipitazione piovosa sulla superficie scolante impermeabile dell'intervento;
- tale onda entrante dovuta alla precipitazione piovosa sia rappresentabile con un'onda rettangolare avente portata costante pari al prodotto dell'intensità media di pioggia, fornita dalla curva di possibilità pluviometrica valida per l'area oggetto di calcolo, in funzione della durata di pioggia, per la superficie scolante impermeabile dell'intervento;
- l'onda uscente sia anch'essa un'onda rettangolare caratterizzata da una portata costante (soluzione di laminazione ottimale) pari al valore limite prefissato in aderenza alle indicazioni sulle portate massime ammissibili di cui all'art. 6.2;

Sulla base di tali ipotesi semplificative il volume di laminazione è dato, per ogni durata di pioggia considerata, dalla differenza tra i volumi dell'onda entrante e dell'onda uscente calcolati al termine della durata di pioggia. Conseguentemente il volume di dimensionamento della vasca è pari al volume critico di laminazione cioè quello calcolato per l'evento di durata critica che rende massimo il volume di laminazione.

In Allegato G viene riportata in dettaglio tale procedura di calcolo.

7.5.3 Procedura dettagliata

Nel caso di “Impermeabilizzazione potenziale alta” in ambiti territoriali a criticità alta o media si deve computare in dettaglio la trasformazione afflussi - deflussi del bacino fino alla sezione di ingresso nell'invaso (o nel complesso degli invasi) di laminazione in progetto, in particolare adottando idonei criteri di scelta:

- dello ietogramma di progetto e della sua durata complessiva a partire dalla curva di possibilità valida per l'area in esame;
- della procedura di calcolo dello ietogramma netto in funzione delle perdite idrologiche per accumuli iniziali e per infiltrazione, in relazione alle tipologie del suolo e della urbanizzazione in progetto;
- del modello di trasformazione afflussi netti-deflussi idoneo a rappresentare sia la formazione degli idrogrammi di piena nelle diverse sotto-aree sia la loro propagazione e formazione dell'idrogramma complessivo $Q_e(t)$ in corrispondenza della sezione di ingresso nell'invaso (o nel complesso degli invasi) di laminazione in progetto.

Il dimensionamento dell'invaso (o degli invasi) di laminazione avviene poi applicando le equazioni citate nell'Allegato G al fine di computare l'idrogramma uscente $Q_u(t)$ dalla bocca (o dall'insieme delle bocche) di scarico dell'invaso (o degli invasi) e quindi verificare il rispetto del valore della massima portata ammissibile nel caso in esame.

A titolo solo indicativo, si utilizza sovente:

- uno ietogramma di progetto tipo Chicago avente una durata poco superiore al tempo di corrivazione del bacino sotteso dall'invaso;
- la stima del processo di infiltrazione indicato nell'art. 7.3 o adottando i coefficienti di deflusso indicati nell'art. 7.4;
- il modello di trasformazione aree – tempi (metodo di corrivazione) del bacino

affidente all'invaso di laminazione;

- il sistema delle equazioni (1), (2), (3) esposto nell'Allegato G per la simulazione del processo di laminazione avendo definito l'equazione caratteristica della bocca (o dell'insieme delle bocche) di scarico dell'invaso di laminazione con la corretta rappresentazione matematica delle leggi di efflusso.

7.5.4 Valori minimi dei volumi di laminazione

Il volume di laminazione da adottare per la progettazione degli interventi di invarianza idraulica è pari a quello risultante dai calcoli se maggiore di quello valutato in termini parametrici come Requisito minimo (art. 8); in caso contrario si adotta questo ultimo.

7.5.5 Esempi di applicazione

Esempi di applicazione del metodo delle sole piogge e della procedura dettagliata sono esposti in Allegato H.

7.6 CALCOLO DEL TEMPO DI SVUOTAMENTO DEGLI INVASI DI LAMINAZIONE

In funzione delle portate uscenti dall'invaso di laminazione Q_u (nel rispetto della portata limite ammissibile di cui all'art. 6.2) e Q_{inf} (portata di infiltrazione calcolata con i criteri prima esposti), il tempo di svuotamento dopo il termine dell'evento, a partire dal massimo invasore W_{lam} , è pari a:

$$t_{svuot} = \frac{W_{lam}}{Q_u + q_{inf}}$$

In base alla valutazione di tale tempo e considerando l'eventualità che la precipitazione di progetto avvenga in condizioni di parziale pre-riempimento degli invasi e quindi con minore capacità utile per la laminazione, il progetto entrerà nel merito delle misure locali anche non strutturali di protezione idraulica dei beni insediati in funzione della tipologia degli stessi invasi e della locale situazione morfologica e insediativa.

Il tempo di svuotamento dei volumi calcolati secondo quanto indicato nell'art. 7.5 non deve superare le 48 ore, in modo da ripristinare la capacità d'invaso quanto prima possibile.

Qualora non si riesca a rispettare il termine di 48 ore (ad es. per opere che prevedono l'infiltrazione delle acque trattate), ovvero qualora il volume calcolato sia realizzato all'interno di aree che prevedono anche volumi aventi altre finalità (ad es. laghetto ai fini paesistico/ambientali, oppure per destinazione parziale delle acque per riuso), il volume complessivo deve essere calcolato tenendo conto che dopo 48 ore deve comunque essere disponibile il volume minimo calcolato secondo quanto indicato nell'art. 7.5.

Il volume di laminazione calcolato secondo quanto indicato nell'art. 7.5 deve quindi essere incrementato della quota parte che è ancora presente all'interno dell'opera una volta trascorse 48 ore.

7.7 DIMENSIONAMENTO DEL SISTEMA DI SCARICO TERMINALE NEL RICETTORE

Il manufatto idraulico per la regolazione e restituzione alla fognatura o al corpo idrico ricevente della portata di acque meteoriche ammessa al recapito deve essere costituito da un pozzetto a doppia camera, tale da consentire l'ispezionabilità dello scarico e la misura delle portate scaricate e delle tubazioni di collegamento con il ricettore.

In ogni caso, il sistema di smaltimento delle acque delle opere d'invarianza idraulica deve essere predisposto in modo autonomo rispetto a quello dello scarico eventualmente esistente in modo che ne sia possibile il controllo separato.

Sono riportate in Allegato I alcune possibili configurazioni tipo, a gravità o per sollevamento, del collegamento tra l'uscita di un invaso di laminazione e uno scarico nella rete di valle o nel ricettore superficiale.

Per gli scarichi a gravità, il diametro del tubo di collegamento tra la vasca di laminazione e il pozzetto di ispezione deve essere calcolato in funzione della portata massima ammissibile allo scarico. Poiché tale diametro può risultare ridotto, il pericolo di occlusione deve essere tenuto presente nel piano di manutenzione che deve prevedere:

- un periodico controllo del tubo di collegamento, oltre che delle altre strutture, con frequenza tanto maggiore quanto minore è il suo diametro;
- la possibilità che il tubo sia occluso, o che si possa anche occludere nel corso dell'evento, impedendo quindi lo scarico della vasca successivo all'evento, restando in ogni caso a carico del titolare dell'insediamento il conseguente rischio idraulico residuo e l'onere di garantire lo svuotamento della vasca entro il termine indicato nell'art. 7.6.

Gli scarichi a gravità devono inoltre essere equipaggiati con dispositivi atti ad impedire che gli eventuali stati di piena o sovraccarico del ricettore possano determinare rigurgiti nella rete di drenaggio e nelle strutture di infiltrazione e laminazione preposte all'invarianza idraulica e idrologica.

In ogni caso, sia con scarichi a gravità che per sollevamento, restano a carico del titolare dell'insediamento i danni di qualsiasi tipo conseguenti a disfunzioni dello scarico dell'invaso di laminazione, con conseguenti prolungamenti dei tempi di svuotamento e quindi con la possibilità di stati di pre-riempimento dell'invaso in un evento successivo tali da non rendere disponibile il volume minimo calcolato come da art. 7.5.

Art. 8 Requisiti minimi delle misure di invarianza idraulica e idrologica

8.1 REQUISITI MINIMI DELLE MISURE DI INVARIANZA IDROLOGICA E IDRAULICA PER INTERVENTI DI SUPERFICIE MINORE DI 100 MQ

Nel caso in cui l'intervento di ristrutturazione edilizia riguardi aree di superficie scolante impermeabile dell'intervento minore di 100 mq ovunque ubicate nel territorio regionale il requisito minimo richiesto consiste in alternativa:

- nell'adozione di un sistema di scarico sul suolo o negli strati superficiali del sottosuolo e non in un ricettore, salvo il caso in cui questo sia costituito da laghi o dai fiumi Po, Ticino, Adda, Brembo, Serio, Oglio, Chiese e Mincio;
- nell'adozione del requisito minimo indicato nell'Art. 8.2 per le aree C a bassa criticità idraulica.

8.2 REQUISITI MINIMI DELLE MISURE DI INVARIANZA IDROLOGICA E IDRAULICA DI INTERVENTI DI IMPERMEABILIZZAZIONE POTENZIALE BASSA O RICADENTI NEGLI AMBITI TERRITORIALI DI BASSA CRITICITÀ

Salvo i casi di cui all'art. 8.1, nel caso di impermeabilizzazione potenziale bassa e di interventi ricadenti negli ambiti territoriali di bassa criticità, ferma restando la facoltà dell'operatore di adottare la procedura di calcolo delle sole piogge o dettagliata esposte negli artt. 7.5.4 e 7.5.5, il requisito minimo da soddisfare consiste in uno o più invasi di laminazione, comunque configurati, dimensionati adottando i valori parametrici standard del volume specifico dell'invaso (o del complesso degli invasi) di laminazione indicati nella seguente tabella:

Tabella 3 - Requisiti minimi dei volumi di laminazione nel caso di "Impermeabilizzazione potenziale bassa" o nell'ambito territoriale di bassa criticità.

Criticità dell'area (art. 5.2.3)	Volume specifico standard di laminazione
aree A ad alta criticità idraulica	800 mc per ettaro di superficie scolante impermeabile dell'intervento
aree B a media criticità idraulica	600 mc per ettaro di superficie scolante impermeabile dell'intervento
aree C a bassa criticità idraulica	400 mc per ettaro di superficie scolante impermeabile dell'intervento

A valle di tali invasi di laminazione le rete di drenaggio confluisce nello scarico terminale al ricettore, ma sempre con interposizione del pozzetto di ispezione indicato nell'art. 7.7 atto a consentire l'ispezionabilità dello scarico e la misura delle tubazioni di collegamento con il ricettore.

Lo scarico nel ricettore deve comunque rispettare la portata massima ammissibile di cui all'art. 6.2.

Pertanto:

- nel caso in cui lo scarico avvenga per sollevamento la portata da sollevare è pari al massimo a quella massima ammissibile di cui all'art. 6.2;

- nel caso in cui lo scarico avvenga a gravità il diametro della tubazione di scarico dell'invaso di laminazione è calcolato verificando che in condizioni di invaso massimo la portata scaricata non sia maggiore della portata massima ammissibile di cui all'art. 6.2. Nel caso in cui tale diametro risulti eccessivamente ridotto è consigliabile optare per uno scarico per sollevamento.

Restano in ogni caso a carico del titolare dell'insediamento le responsabilità indicate nell'art. 7.7 inerenti i danni di qualsiasi tipo conseguenti a disfunzioni dello scarico dell'invaso di laminazione, con conseguenti prolungamenti dei tempi di svuotamento e quindi con la possibilità di stati di pre-riempimento dell'invaso in un evento successivo tali da non rendere disponibile il volume minimo calcolato come da art. 7.5.

Art. 9 Indicazioni tecniche costruttive ed esempi di buone pratiche di gestione delle acque meteoriche in ambito urbano

Alcune indicazioni tecniche per la realizzazione delle infrastrutture finalizzate al rispetto degli obiettivi e dei limiti indicati nei precedenti capitoli sono sinteticamente esposte nell'Allegato L.

Si tratta di indicazioni di primo orientamento in merito alle strutture, alle caratteristiche e alle dimensioni necessarie per il conseguimento degli obiettivi richiesti. Per le determinazioni e le progettazioni di dettaglio è necessario riferirsi alla vasta letteratura tecnica dell'ingegneria idraulica del settore di cui si riportano alcuni riferimenti nella bibliografia.

Art. 10 Modalità di integrazione tra pianificazione urbanistica comunale e previsioni del piano d'ambito, al fine del conseguimento degli obiettivi di invarianza idraulica e idrologica

10.1 PREMESSA

Al fine del conseguimento degli obiettivi di invarianza idraulica e idrologica, i Comuni ricadenti nelle aree ad alta e media criticità idraulica di cui all'art. 5.2.3 sono tenuti a redigere lo *Studio comunale di gestione del rischio idraulico* di cui al successivo art. 10.2. Tali Comuni, nelle more della redazione dello *Studio comunale di gestione del rischio idraulico*, redigono il *Documento semplificato del rischio idraulico comunale*, con i contenuti di cui al successivo art. 10.3.

I Comuni non ricadenti nelle aree ad alta e media criticità idraulica di cui all'art. 5.2.3 sono tenuti a redigere il *Documento semplificato del rischio idraulico comunale* di cui al successivo art. 10.3. Tali Comuni hanno comunque facoltà di redigere lo *Studio comunale di gestione del rischio idraulico* di cui al successivo art. 10.2, soprattutto qualora vi sia evidenza di allagamenti all'interno del territorio comunale.

Sia lo *Studio comunale di gestione del rischio idraulico* che il *Documento semplificato del rischio idraulico comunale* contengono la rappresentazione delle attuali condizioni di rischio idraulico presenti nel territorio comunale e delle conseguenti misure strutturali e non strutturali atte al controllo e possibilmente alla riduzione delle suddette condizioni di rischio.

Il *Documento semplificato del rischio idraulico comunale* deve essere redatto da tutti i Comuni entro 6 mesi dalla data di approvazione del presente regolamento.

Gli esiti dello *Studio comunale di gestione del rischio idraulico* e, per i Comuni non ricadenti nelle aree ad alta e media criticità idraulica di cui all'art. 5.2.3, gli esiti del *Documento semplificato del rischio idraulico comunale* devono essere recepiti nel Piano di Governo del Territorio (PGT) approvato ai sensi dell'art. 5 comma 3 della l.r. 31/2014.

A tal fine, il comune:

- Inserisce la delimitazione delle aree soggette ad allagamento, di cui ai successivi articoli 10.2 lettera b) e art. 10.3 lettera a) nella Componente geologica, idrogeologica e sismica del PGT;
- Inserisce le misure strutturali di cui ai successivi articoli 10.2 lettera e) e 10.3 lettera b) nel Piano dei Servizi.

10.2 CONTENUTI DELLO STUDIO COMUNALE DI GESTIONE DEL RISCHIO IDRAULICO

Lo Studio comunale di gestione del rischio idraulico contiene:

- a) la definizione dell'evento meteorico di riferimento per tempi di ritorno di 10, 50 e 100 anni;

- b) l'individuazione dei ricettori che ricevono e smaltiscono le acque meteoriche di dilavamento, siano essi corpi idrici superficiali naturali o artificiali (es: laghi e corsi d'acqua naturali o artificiali) o reti fognarie, indicandone i rispettivi gestori;
- c) la delimitazione delle aree soggette ad allagamento per effetto della conformazione morfologica del territorio e/o per insufficienza delle rete fognaria. A tal fine, il Comune redige uno studio idraulico relativo all'intero territorio comunale che:
 - effettua la modellazione idrodinamica del territorio comunale per il calcolo dei corrispondenti deflussi meteorici (volumi e portate) per gli eventi meteorici di riferimento di cui alla lettera a)
 - si basa sul Database Topografico Comunale (DBT) e, se disponibile all'interno del territorio comunale, sul rilievo Lidar; qualora gli stessi non siano di adeguato dettaglio, il Comune elabora un adeguato modello digitale del terreno
 - valuta la capacità di smaltimento dei reticoli fognari presenti sul territorio. A tal fine, il gestore della rete fognaria fornisce il rilievo di dettaglio della rete stessa. Fornisce anche lo studio idraulico dettagliato della rete fognaria, se disponibile
 - valuta la capacità di smaltimento dei reticoli ricettori di cui alla lettera b) diversi dalla rete fognaria, qualora siano disponibili studi o rilievi di dettaglio degli stessi
 - individua le aree in cui si accumulano le acque, provocando quindi allagamenti

Per lo sviluppo del modello idraulico di cui sopra, il Comune può avvalersi del Gestore del Servizio Idrico Integrato.
- d) la mappatura delle aree vulnerabili dal punto di vista idraulico come indicate nella componente geologica, idrogeologica e sismica dei Piani di Governo del territorio e nelle mappe del Piano di Gestione del rischio di alluvioni.
- e) l'indicazione (ubicazione e dimensioni di massima) delle misure strutturali (vasche di laminazione con o senza disperdimento in falda, vie d'acqua superficiali per il drenaggio delle acque meteoriche eccezionali, ecc.), e non strutturali (incentivazione dell'estensione delle misure di invarianza idraulica e idrologica anche sul tessuto edilizio esistente, ecc.) ai fini dell'attuazione delle politiche di invarianza idraulica e idrologica a scala comunale, nonché delle altre misure non strutturali (piani di protezione civile, difese passive attivabili in tempo reale, ecc.) atte al controllo e possibilmente alla riduzione delle condizioni di rischio.
- f) l'individuazione delle aree da riservare per l'attuazione delle misure strutturali di invarianza idraulica e idrologica, sia per la parte già urbanizzata del territorio, sia per gli ambiti di nuova trasformazione, con l'indicazione delle caratteristiche tipologiche di tali misure.

Le misure strutturali di cui alla lettera e) sono individuate dal Comune con la collaborazione del Gestore della rete fognaria.

Gli esiti della modellazione di cui alla lettera c) vengono inviati dal Comune o dal Gestore della rete fognaria all'Autorità d'Ambito per le azioni di competenza.

Le misure non strutturali di cui alla lettera e) sono individuate dal Comune e devono essere recepite negli strumenti comunali di competenza (es: piani di emergenza comunale, ecc.).

10.3 DOCUMENTO SEMPLIFICATO DEL RISCHIO IDRAULICO COMUNALE

Il Documento semplificato del rischio idraulico comunale contiene:

- a) la delimitazione delle aree a rischio idraulico del territorio comunale, di cui ai punti c) e d) dell'art. 10.2, definibili in base agli atti pianificatori esistenti, alle documentazioni storiche e alle conoscenze locali anche del Gestore della rete fognaria;
- b) l'indicazione (ubicazione e dimensioni di massima) delle misure strutturali di invarianza idraulica e idrologica, sia per la parte già urbanizzata del territorio che per gli ambiti di nuova trasformazione, e l'individuazione delle aree da riservare per le stesse;
- c) l'indicazione delle misure non strutturali (incentivazione dell'estensione delle misure di invarianza idraulica e idrologica anche sul tessuto edilizio esistente, ecc.) ai fini dell'attuazione delle politiche di invarianza idraulica e idrologica a scala comunale, nonché delle misure non strutturali (piani di protezione civile, difese passive attivabili in tempo reale, ecc.) atte al controllo e possibilmente alla riduzione delle condizioni di rischio.

10.4 RIPARTIZIONE DEI COSTI PER LA REDAZIONE DELLO STUDIO COMUNALE DI GESTIONE DEL RISCHIO IDRAULICO E DEL DOCUMENTO SEMPLIFICATO DEL RISCHIO IDRAULICO COMUNALE

I costi di redazione dello studio di cui all'art. 10.2 sono sostenuti dal Comune e possono essere sostenuti anche dal Gestore della rete fognaria.

I costi di redazione del documento di cui all'art. 10.3 sono sostenuti dal Comune.

Art. 11 Meccanismi attraverso i quali i comuni possono promuovere l'applicazione dei principi dell'invarianza idraulica o idrologica, nonché del drenaggio urbano sostenibile

I Comuni possono promuovere l'applicazione dei principi dell'invarianza idraulica o idrologica, nonché del drenaggio urbano sostenibile, per interventi che non ricadono nell'ambito di applicazione del presente regolamento, e quindi non ricadenti nelle fattispecie di cui all'art. 3, lettere d), e) del d.p.r. 380/2001 e art. 4.1 lettere iii.b e iii.c del presente regolamento.

Nel caso di edificio soggetto a trasformazione urbanistica per solo una quota parte della superficie complessiva (es: demolizione con ricostruzione parziale, ampliamento, ecc.), ricadono in questa casistica gli interventi di invarianza idraulica e idrologica realizzati sulla quota parte di edificio non soggetto a trasformazione.

I Comuni possono promuovere l'applicazione dei principi dell'invarianza idraulica o idrologica, nonché del drenaggio urbano sostenibile, attraverso i seguenti meccanismi.

- a) Incentivazione urbanistica:
 - a.1) il Comune può prevedere nel documento di piano gli incentivi di cui all'art. 11, comma 5, della legge regionale 11 marzo 2005, n. 12, come modificato dalla legge regionale 15 marzo 2016, n. 4. Tali incentivi:
 - a.1.1) possono essere riconosciuti come diritti edificatori utilizzabili in opportuni ambiti individuati dal PGT, qualora espressamente previsto dal Documento di Piano del PGT;
 - a.1.2) possono essere utilizzati sull'edificio da cui si crea l'incentivo volumetrico, purché l'ampliamento non alteri la proiezione al suolo della sagoma dell'edificio originale.
 - a.2) Ulteriori misure di incentivazione e/o semplificazione procedurale potranno essere definite dalla Giunta Regionale nell'attuazione dei disposti dell'articolo 4, comma 2, della legge regionale 28 novembre 2014, n° 31
- b) Riduzione degli oneri di urbanizzazione e/o del contributo di costruzione.
- c) Attraverso l'uso degli introiti derivanti della monetizzazione di cui all'art. 12: i Comuni, in subordine alla realizzazione degli interventi pubblici necessari per soddisfare il principio dell'invarianza idraulica e idrologica inseriti nel Piano dei Servizi, possono prevedere l'emanazione di bandi per il cofinanziamento, in misura non superiore al 70% e comunque nel rispetto della normativa relativa agli Aiuti di Stato ("De Minimis"), di interventi di invarianza idraulica e idrologica.

Art. 12 Possibilità per i comuni di prevedere la monetizzazione come alternativa alla diretta realizzazione per gli interventi in ambiti urbani caratterizzati da particolari condizioni urbanistiche o idrogeologiche

Ai fini dell'applicazione del comma 5, lettera g) dell'art. 58/bis (di cui all'art. 7 della L.R. 4/2016) è opportuno premettere che ogni deroga alla realizzazione diretta dell'invarianza idraulica e idrologica all'interno di un intervento soggetto al presente regolamento comporta che il corrispondente deflusso sia immesso tal quale nel ricettore, con ciò penalizzando il principio della riduzione dei deflussi meteorici *a monte* del ricettore stesso. Infatti, il successivo intervento del comune, a compenso del principio di invarianza idraulica, avviene inevitabilmente *a valle* dell'intervento, e precisamente laddove lungo il reticolo del ricettore, anche molto a valle dell'intervento, sia stata prevista la realizzazione della struttura centralizzata di controllo dei deflussi nello Studio comunale di gestione del rischio idraulico o nel Documento semplificato del rischio idraulico comunale. Ne consegue la necessità di delimitare rigorosamente i casi in cui sia ammissibile l'impossibilità a ottemperare direttamente ai principi di invarianza idraulica e idrologica.

La suddetta delimitazione dei casi ammissibili è anche necessaria per consentire ai comuni di tenerne conto ai fini di una corretta predisposizione del suddetto Studio comunale di gestione del rischio idraulico o del Documento semplificato del rischio idraulico comunale nel quale sono previsti gli interventi pubblici necessari per soddisfare i principi di invarianza idraulica e idrologica.

Ciò premesso il presente regolamento disciplina:

- i casi in cui sia ammissibile l'impossibilità a ottemperare ai principi di invarianza idraulica e idrologica;
- i costi unitari medi di vasche di laminazione e/o disperdimento;
- il valore della monetizzazione per le aree regionali a diversa criticità.

12.1 CASI IN CUI È AMMISSIBILE LA MONETIZZAZIONE

Le superfici necessarie per la realizzazione dei volumi di laminazione per l'invarianza idraulica e idrologica risultano contenute in una frazione ridotta della superficie complessiva dell'intervento anche nei casi in cui il volume di laminazione raggiunga i valori specifici massimi, (volumi ad esempio dell'ordine di 1.000 mc per ettaro di superficie scolante impermeabile dell'intervento, ovvero di 0,1 mc per mq di superficie scolante impermeabile dell'intervento).

Ne consegue che gli interventi edilizi definiti dall'art. 3, lettere d), e) del d.p.r. 380/2001 e soggetti alle misure di invarianza idraulica e idrologica ai sensi dell'art. 4.1 lettere iii.b e iii.c in cui può sussistere l'impossibilità a ottemperare ai principi di invarianza sono gli interventi edilizi che prevedano un rapporto tra la superficie occupata dall'edificazione e la superficie totale dell'intervento maggiore o uguale al 90%, nei quali pertanto la superficie dell'area esterna all'edificazione sia minore del 10%, e nei quali si verifichino contemporaneamente le seguenti circostanze:

- sia dimostrata l'impossibilità a realizzare i volumi di laminazione nell'area dell'intervento esterna all'edificazione;
- sia dimostrata l'impossibilità a realizzare i volumi di laminazione in altre aree esterne poste nelle vicinanze di quelle dell'intervento, per loro indisponibilità o condizioni di vincolo;

- la realizzazione dei volumi di invaso sulle coperture dell'edificio dello stesso sia impedita in quanto l'intervento edilizio è previsto esclusivamente in demolizione parziale fino al piano terra senza modifiche delle sue strutture portanti;
- la realizzazione dei volumi di invaso nel sottosuolo dello stesso sia impedita in quanto l'intervento edilizio è previsto senza modifiche delle sue strutture di fondazione.

Non sono ammissibili casi di impossibilità per gli interventi di ristrutturazione urbanistica definiti dall'art. 27, comma 1, lettera f) della L.R. 12/2005 e per gli interventi relativi a infrastrutture stradali e autostradali e loro pertinenze e parcheggi.

12.2 COSTI UNITARI MEDI DI COSTRUZIONE DELLE VASCHE DI LAMINAZIONE E/O DISPERDIMENTO

Gli invasi di laminazione hanno costo di costruzione molto variabile in funzione della loro tipologia e configurazione adottata dal progetto. In particolare le "infrastrutture verdi", oltre a soddisfare il generale interesse ambientale, urbanistico e paesistico di riqualificazione dei territori urbani, presentano un costo di costruzione e manutenzione molto contenuto rispetto agli invasi realizzati in strutture murarie o in calcestruzzo aperte o chiuse.

Infatti, un invaso realizzato modellando opportunamente un'area verde (Figura 42 a) presenta un costo di costruzione dell'ordine massimo di 50 – 100 euro/mc, ma in molti casi anche sensibilmente inferiore e al limite nullo, qualora esso sia attentamente considerato nell'insieme della progettazione multidisciplinare dell'intervento. Per contro un invaso realizzato con una vasca chiusa in calcestruzzo (Figura 42 b) presenta un costo medio di costruzione dell'ordine di 500 – 800 euro/mc in funzione anche della complessità del suo equipaggiamento elettromeccanico e di controllo.



a)



b)

Figura 42. Invasi di laminazione realizzati con interventi "verdi" (a) o con vasche chiuse in calcestruzzo (b).

In ogni caso il costo di costruzione dei volumi di laminazione è percentualmente modesto, anche nei casi di vasche chiuse, rispetto al costo globale di un intervento edilizio.

Infatti ricordando che i volumi di invaso derivanti dalle modalità di calcolo previste nel presente regolamento possono avere valori da 400 a circa 1.000 mc per ettaro di superficie scolante impermeabile dell'intervento, ovvero di $0,04 \div 0,1$ mc per mq di superficie scolante impermeabile dell'intervento, il loro costo di costruzione è pari a:

- costo vasca = $50 \div 800$ euro/mc $\times 0,04 \div 0,1$ mc/mq = $2 \div 80$ euro per mq di superficie scolante impermeabile dell'intervento.

Per contro il costo medio unitario di costruzione di un intervento edilizio è maggiore del precedente di uno - due ordini di grandezza per edificazioni di un solo piano o di due - tre ordini di grandezza e anche più nel caso di edificazioni che prevedano più piani

sovrapposti.

Essendo dunque molto ridotto il peso economico delle misure di invarianza idraulica poste a carico del soggetto attuatore dell'intervento ed essendo per contro usualmente rilevante il costo di costruzione delle infrastrutture pubbliche di laminazione poste a carico dei comuni o dei Gestori d'ambito del servizio idrico integrato, è opportuno che la monetizzazione a favore dei comuni per i casi di impossibilità di cui all'art. 12.1 sia commisurata al costo unitario di costruzione delle vasche strutturalmente e tecnologicamente costose.

Occorre inoltre tener conto della capitalizzazione dei costi di esercizio e manutenzione trasferiti al comune che nel lungo arco di vita dell'opera può commisurarsi almeno al 30% del costo di costruzione.

Ciò premesso il costo unitario di costruzione di una vasca di volanizzazione o laminazione o di trattenimento/disperdimento da assumere in caso di monetizzazione è definito in 1000 euro per mc di invaso.

12.3 MONETIZZAZIONE A FAVORE DEI COMUNI

La monetizzazione a favore dei comuni, nei casi di impossibilità di cui all'art. 12.1, è commisurata ai volumi delle vasche definiti nei requisiti minimi di cui all'art. 8 per le aree a diversa criticità idraulica.

Ne conseguono i valori indicati nella Tabella 4.

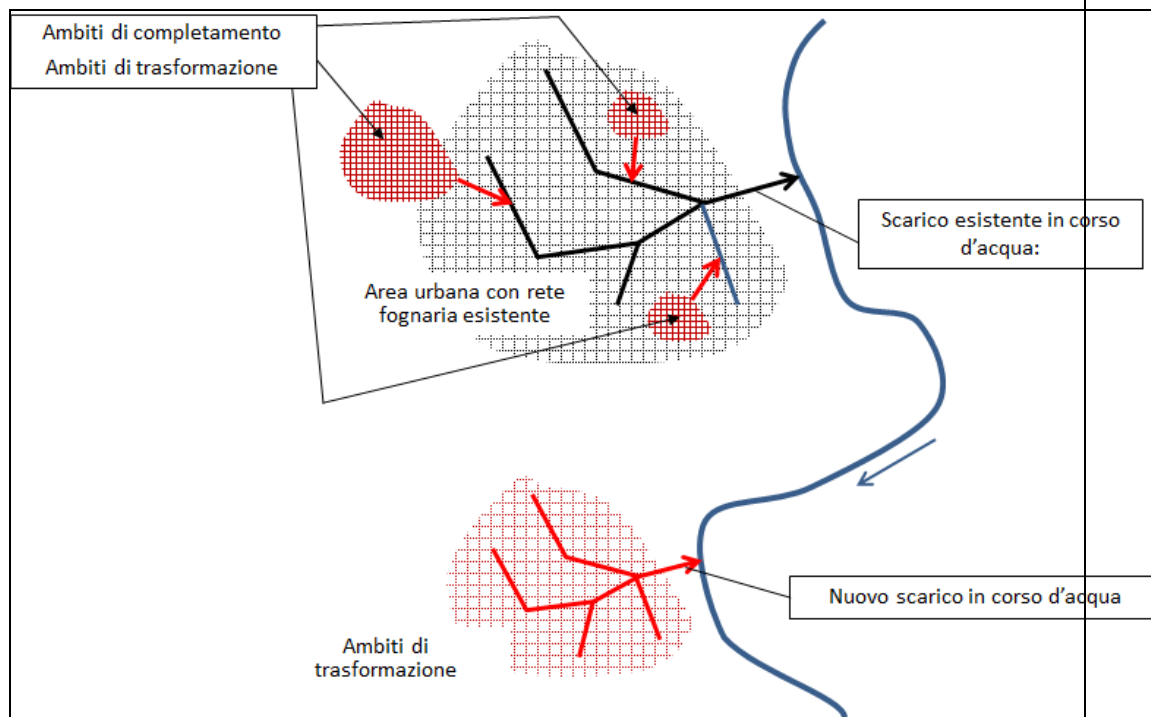
Tabella 4 - Monetizzazione a favore dei comuni nei casi di impossibilità di cui all'art. 12.1 in funzione delle aree a diversa criticità.

Criticità dell'area (art. 5.2.3)	Volume specifico standard di laminazione (art. 8)	Monetizzazione a favore dei comuni
aree A ad alta criticità idraulica	800 mc/ha _{imp} = 0,08 mc per mq di superficie scolante impermeabile dell'intervento	800.000 euro/ha _{imp} = 80 euro per mq di superficie scolante impermeabile dell'intervento
aree B a media criticità idraulica	600 mc/ha _{imp} = 0,06 mc per mq di superficie scolante impermeabile dell'intervento	600.000 euro/ha _{imp} = 60 euro per mq di superficie scolante impermeabile dell'intervento
aree C a bassa criticità idraulica	400 mc/ha _{imp} = 0,04 mc per mq di superficie scolante impermeabile dell'intervento	400.000 euro/ha _{imp} = 40 euro per mq di superficie scolante impermeabile dell'intervento

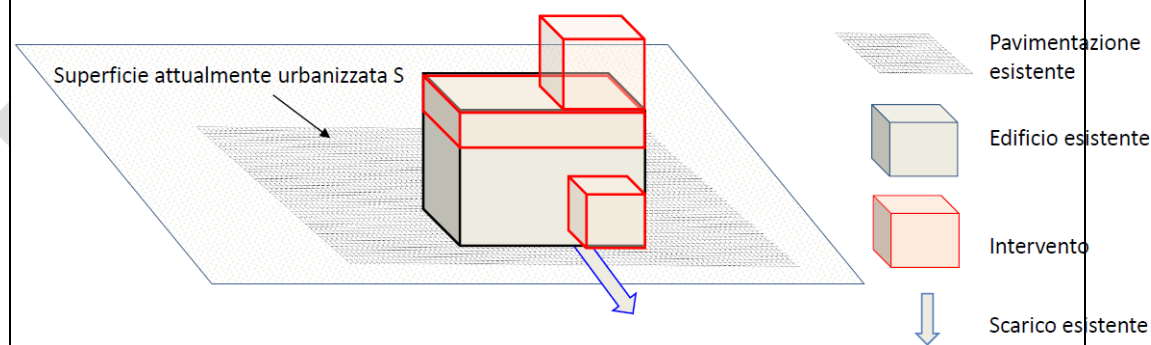
I comuni utilizzano le somme derivanti dalla monetizzazione prioritariamente per la redazione dello Studio comunale di gestione del rischio idraulico e del Documento semplificato del rischio idraulico comunale, di cui agli artt. 10.2 e 10.3, e successivamente per la progettazione, realizzazione e gestione delle misure strutturali di cui all'art. 10.2 lettera e) e all'art. 10.3 lettera b), eventualmente avvalendosi del Gestore del Servizio Idrico Integrato.

Le somme derivanti dalla monetizzazione possono inoltre essere usate dai Comuni così come disposto dall'art. 11 comma c).

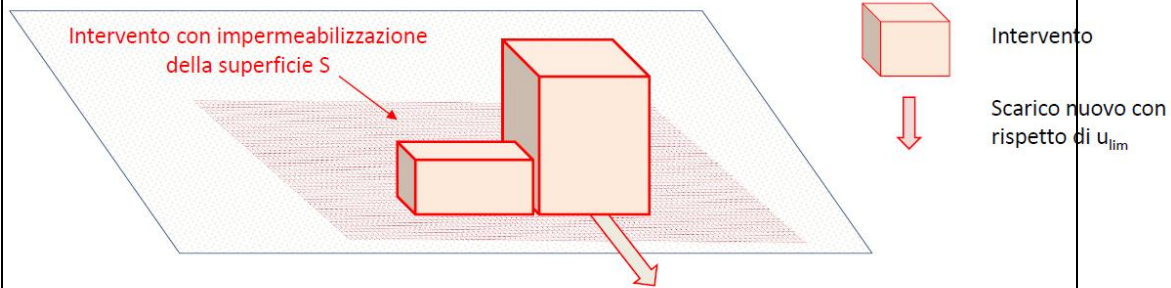
Allegato A - Schemi esemplificativi delle misure di Invarianza idrologica e idraulica



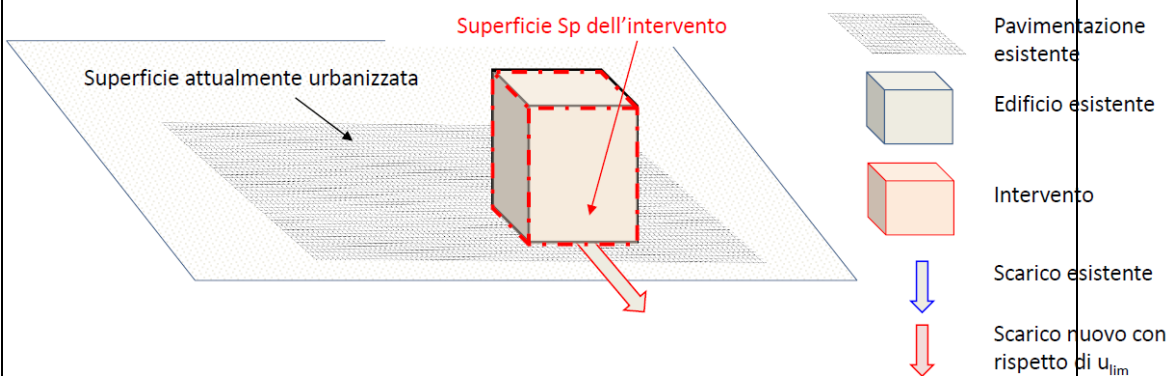
1. RISTRUTTURAZIONE PARZIALE SENZA MODIFICA DELLA SUPERFICIE INSEDIATA



1. Non sono richieste misure di invarianza idraulica o idrologica.
2. La portata di scarico resta quella esistente

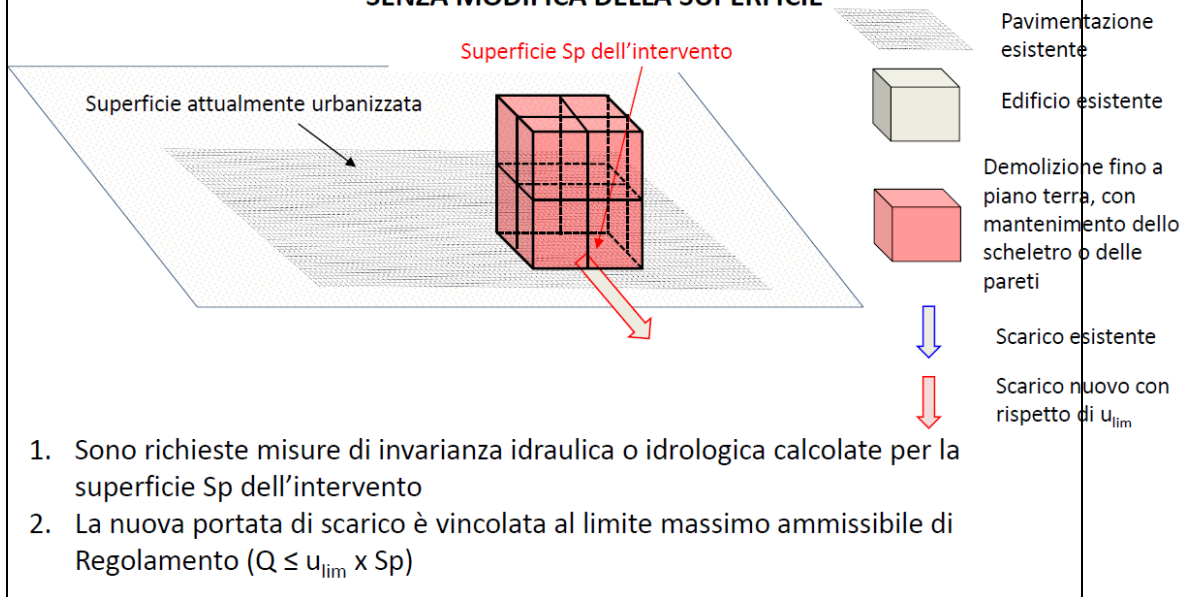
2. NUOVA COSTRUZIONE

1. Sono richieste misure di invarianza idraulica o idrologica calcolate per la superficie S dell'intervento
2. La portata di scarico è vincolata al limite massimo ammissibile di Regolamento ($Q \leq u_{lim} \times S$)

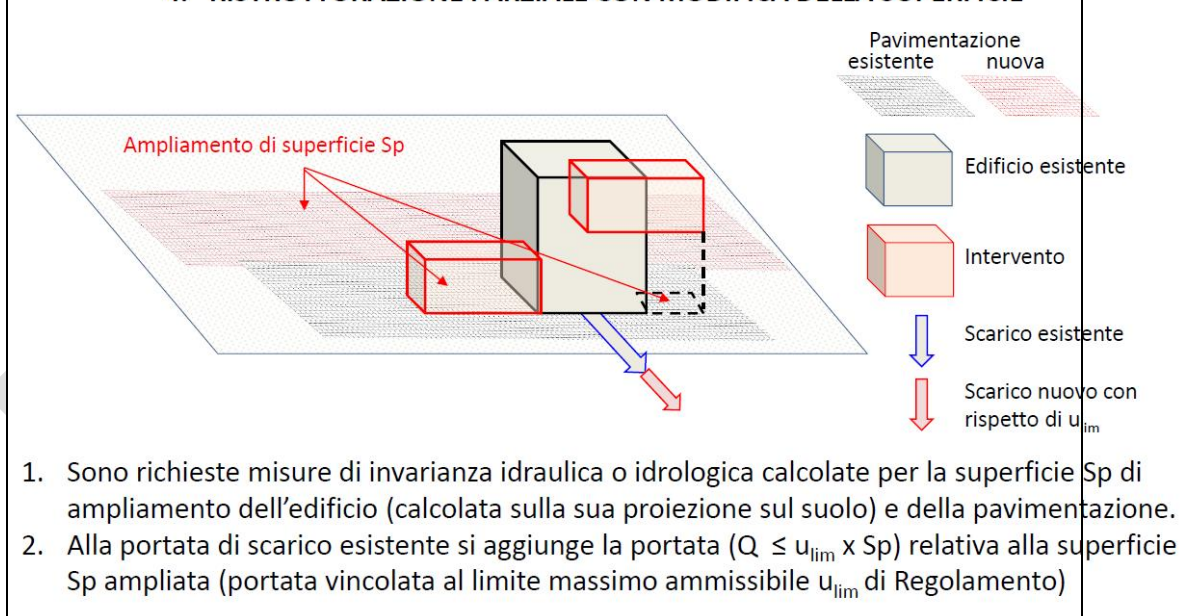
3. DEMOLIZIONE E RICOSTRUZIONE TOTALE FINO AL PIANO TERRA SENZA MODIFICA DELLA SUPERFICIE

1. Sono richieste misure di invarianza idraulica o idrologica calcolate per la superficie S_p dell'intervento
2. La nuova portata di scarico è vincolata al limite massimo ammissibile di Regolamento ($Q \leq u_{lim} \times S_p$)

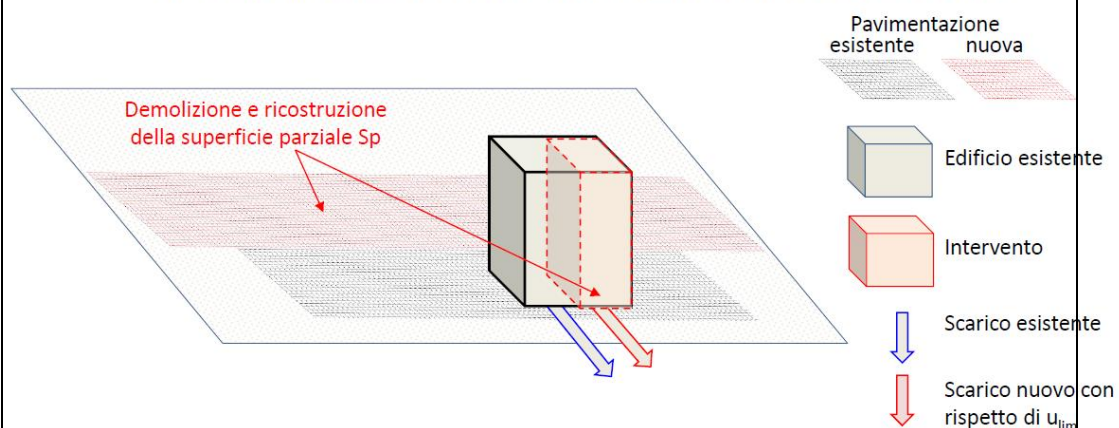
3b. DEMOLIZIONE E RICOSTRUZIONE TOTALE FINO AL PIANO TERRA SENZA MODIFICA DELLA SUPERFICIE



4. RISTRUTTURAZIONE PARZIALE CON MODIFICA DELLA SUPERFICIE



5. DEMOLIZIONE E RICOSTRUZIONE PARZIALE FINO AL PIANO TERRA



1. Sono richieste misure di invarianza idraulica o idrologica calcolate per la superficie S_p ricostruita
2. La portata di scarico della nuova ricostruzione è vincolata al limite massimo ammissibile di Regolamento ($Q \leq u_{lim} \times S_p$)

Allegato B - Cartografia ed elenco dei Comuni ricadenti negli ambiti territoriali a bassa, media e alta criticità idraulica

Criteri di definizione dei comuni ricadenti all'interno dei bacini critici AGGIUNGERE

Comuni ricadenti nelle aree ad alta criticità idraulica

Elenco

Mappa

Criteri di definizione dei comuni ricadenti all'interno dei fondovalle AGGIUNGERE

Comuni ricadenti nelle aree a media criticità idraulica

Elenco

Mappa

Comuni ricadenti nelle aree a bassa criticità idraulica

Elenco

Mappa

Elenchi dei comuni in corso di elaborazione

Allegato C - Elenco dei bacini idrografici o delle porzioni di bacino idrografico ad alta criticità idraulica e cartografia

Elenco dei bacini idrografici o delle porzioni di bacino idrografico ad alta criticità idraulica

- Arno-Rile-Tenore
- Lambro (escluso il bacino a nord del lago di Pusiano), fino alla sezione ubicata al confine sud del comune di
- Seveso, fino alla sezione del canale Redefossi ubicata al confine sud del comune di
- Garbogera
- Pudiga
- Nirone
- Guisa
- Lura
- Bozzente
- Fontanile di Tradate
- Gradaluso
- Olona, fino alla sezione ubicata al confine sud del comune di
- Lambro meridionale, fino alla sezione ubicata al confine sud del comune di
- Molgora
- Trobbie
- Lesina
- Mella
- Garza
- Morletta
- Morla
- Zerra
- Laorna o Livorna, Gandovere, Vaila, Mandolossa, La Canale, Solda
- Longherone
- Miola
- Garzetta
- Naviglio Grande Bresciano, torrenti Rino o Musia, Rudone, Giava
- Reticolo bassa bresciana-cremonese (da verificare:) Vasi Savarona e Strone (BS)
- Rio Torto, torrente Toscio, Lago di Annone
- Fossa Spagnola e Borgofrancone
- Adda Sopralacuale per quanto riguarda le sole aree del fondovalle della Valtellina
- Oglio Sopralacuale per quanto riguarda le sole aree del fondovalle della Val Camonica, fino al Comune di Ponte di Legno compreso
- Cherio
- Boesio

- Gandaloglio
- Bolletta (Porto Ceresio, Besano)
- Rio Torto (Valmadrera, Civate)
- Toscio (Valmadrera, Civate)
- Dordo
- Quisa
- Aree di pianura dei bacini dell'Oltrepò pavese

Cartografia

Cartografia in corso di elaborazione

BOZZA

Allegato D - Informazioni da comunicare attraverso il sito MUTA

Per ogni intervento di cui ai precedenti artt. 4.4.1, 4.4.2, 4.4.3 e 4.4.4 è obbligatoria la compilazione, da parte del progettista delle opere di invarianza idraulica, della apposita scheda presente nella piattaforma regionale MUTA. La compilazione delle informazioni contenute nel portale dovrà avvenire a lavori conclusi, così da tener conto di eventuali varianti in corso d'opera.

Il report che viene prodotto dal sistema una volta conclusa la compilazione, dovrà essere firmato digitalmente e caricato come allegato sul portale.

L'inserimento nel portale MUTA delle informazioni richieste e del report firmato digitalmente consente l'emissione, da parte del portale stesso, di una ricevuta di avvenuta completa compilazione.

Nelle more della predisposizione di apposita sezione all'interno del portale MUTA, dovrà essere compilato il seguente modulo, che dovrà inoltre essere firmato digitalmente e inviato alla casella di posta certificata XXX@...

MODULO:

- mappale oggetto d'intervento
- coordinate del baricentro delle opere d'invarianza idraulica e idrologica;
- dati caratteristici degli interventi (superficie lotto???, superficie d'intervento, portata di scarico calcolata, volume di laminazione, tempo di svuotamento ...)
- ecc..

Allegato E - Asseverazione del professionista in merito alla conformità del progetto ai contenuti del presente regolamento e della L.R. 4/2016

Da predisporre

BOZZA

Allegato F - Possibili metodi di calcolo del processo di infiltrazione

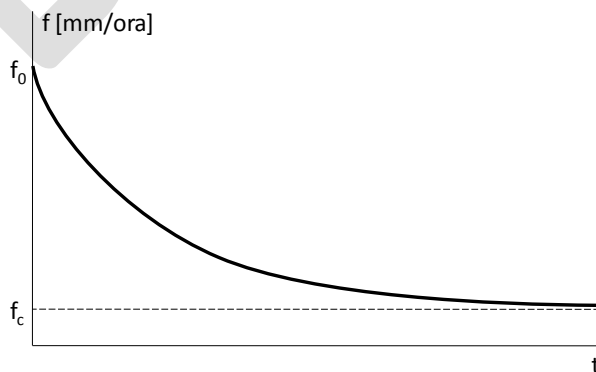
L'infiltrazione $f(t)$ è definita come la portata per unità di superficie che all'istante t si infila nel sottosuolo ed è misurata, generalmente, in mm/ora in analogia all'intensità di pioggia.

Ferma restando la possibilità di adottare i metodi di calcolo indicati nella letteratura tecnica che si ritengono adeguati, una classe di modelli di infiltrazione particolarmente importante è quella dei cosiddetti modelli di Horton che, in base a numerose risultanze sperimentali, individua una legge decrescente di tipo esponenziale per rappresentare l'andamento nel tempo dell'infiltrazione $f(t)$ (Figura 1)². Tale legge esponenziale indica che l'infiltrazione decresce da un valore massimo iniziale f_0 , che è legato al tipo di suolo ed al suo stato di imbibizione all'inizio dell'evento, ad un valore minimo asintotico f_c , che eguaglia la conducibilità idraulica a saturazione K_s , la quale è legata alle caratteristiche di porosità del terreno, alla stratigrafia del sottosuolo, alla presenza e distanza dalla falda. La rapidità dell'esponenziale con cui l'infiltrazione tende al valore asintotico è anch'essa legata al tipo di suolo. L'andamento esponenziale risponde bene all'osservazione sperimentale che mostra come durante il processo di infiltrazione il suolo sia soggetto ad un progressivo fenomeno di saturazione che limita progressivamente il valore dell'infiltrazione.

È da sottolineare che l'infiltrazione segue tale andamento esponenziale quando la superficie di infiltrazione è alimentata da acqua in misura sovrabbondante rispetto all'infiltrazione stessa; in tal caso essa rappresenta propriamente la "capacità di infiltrazione" essendo commisurata al valore massimo a cui può arrivare l'infiltrazione istante per istante. Se, invece, l'adacquamento è minore della capacità di infiltrazione, cioè il suolo presenta nell'istante considerato una capacità di infiltrazione maggiore della portata idrica in arrivo sulla superficie, l'infiltrazione non può che assorbire la portata d'acqua disponibile mantenendosi quindi ad un valore minore della capacità di infiltrazione.

Prudenzialmente, quindi, nei calcoli di dimensionamento delle opere di infiltrazione è opportuno riferirsi al valore minimo asintotico f_c che residua dopo che sia sostanzialmente terminato il processo di saturazione del suolo. Tanto più che l'evento meteorico intenso può avvenire dopo piogge che hanno già contribuito a saturare il suolo.

Figura 1 - Legge di Horton. Andamenti della capacità di infiltrazione in presenza di sovrabbondanza di acqua sulla superficie disperdente



² L'idrologia propone anche altri modelli di infiltrazione molto noti ed utilizzati, ad esempio il modello CN del Soil Conservation Service (ora Natural Resources Conservation Service) degli USA. Tuttavia, tenendo conto del carattere indicativo delle presenti note, si ritiene sufficiente il riferimento al modello di Horton.

Per quanto riguarda i valori da attribuire ai parametri della legge di Horton, lo statunitense Soil Conservation Service (SCS) [1956], ora Natural Resources Conservation Service, propone le seguenti quattro classi (A, B, C e D) di suoli con copertura erbosa:

- Classe A Scarsa potenzialità di deflusso: comprende sabbie profonde con scarsissimo limo e argilla; anche ghiaie profonde, molto permeabili.
- Classe B Potenzialità di deflusso moderatamente bassa: comprende la maggior parte dei suoli sabbiosi meno profondi che nel gruppo A, ma il gruppo nel suo insieme mantiene alte capacità di infiltrazione anche a saturazione.
- Classe C Potenzialità di deflusso moderatamente alta: comprende suoli sottili e suoli contenenti considerevoli quantità di argilla e colloidali, anche se meno che nel gruppo D; il gruppo ha scarsa capacità di infiltrazione a saturazione.
- Classe D Potenzialità di deflusso molto alta: comprende la maggior parte delle argille con alta capacità di rigonfiamento, ma anche suoli sottili con orizzonti pressoché impermeabili in vicinanza della superficie.

Tabella 4 - Parametri delle curve di Horton proposti dal SCS [1956]

Classe suolo	f_0 [mm/ora]	f_c [mm/ora]	k [ore ⁻¹]
A	250	25.4	2
B	200	12.7	2
C	125	6.3	2
D	76	2.5	2

Come si vede la capacità di infiltrazione a lungo termine f_c varia per i diversi tipi di suolo tra circa 20 mm/ora e circa 2 mm/ora, valori che, cambiando unità di misura (1,0 mm/ora = 2,778 l/(s·ha)), corrispondono rispettivamente a portate di infiltrazione di circa 55 l/(s·ha) e circa 5,5 l/(s·ha).

Se, quindi, sulla base dei dati sopra riportati, si considera che una pioggia intensa di elevato tempo di ritorno può raggiungere durante la fase di picco intensità anche maggiori di 200 mm/ora, si può subito comprendere come l'infiltrazione, a parità di superficie investita dalla pioggia e di infiltrazione, sia atta ad disperdere al più 1/10 della punta di portata di pioggia in arrivo, per i suoli più permeabili di classe A, e al più 1/100 della punta di portata di pioggia in arrivo, per i suoli meno permeabili di classe D.

Pertanto, come ordine di grandezza, data una determinata superficie impermeabile Simp, per disperdere con l'infiltrazione l'intera portata di pioggia di arrivo, occorre convogliare la pioggia raccolta su una superficie disperdente pari al minimo a 10 volte la superficie Simp, per i suoli più permeabili di classe A, e al minimo 100 volte la superficie Simp, per i suoli meno permeabili di classe D.

Da ciò emerge come le prestazioni dei terreni di origine naturale siano, generalmente, inadeguate in termini di capacità di infiltrazione delle punte massime di pioggia. Pertanto, tutti i sistemi di infiltrazione (cunette, aree di laminazione/infiltrazione, pozzi perdenti, ecc.) devono essere adeguatamente e attentamente progettati, in funzione delle caratteristiche proprie dei suoli esistenti (alle diverse profondità di progetto) e secondo le indicazioni di letteratura, in termini di progettazione degli opportuni strati filtranti. Nel successivo art. 9 vengono fornite alcune indicazioni tecniche a riguardo.

Tutto ciò implica che l'infiltrazione, che, come più volte affermato, è comunque sempre

auspicabile in relazione alle finalità di riequilibrio idrologico dei bacini urbanizzati, sempre che non sussistano le prima citate cause di esclusione, debba essere accompagnata nella maggioranza dei casi da opere di laminazione che consentano di accumulare temporaneamente le portate pluviali degli eventi intensi che non riescono ad essere scaricate per infiltrazione.

Naturalmente il dimensionamento delle strutture di infiltrazione deve discendere da un progetto idraulico dettagliato e specifico basato sui dati effettivi del sito di interesse.

È necessario tener conto che, oltre alla natura del suolo e degli eventuali dreni artificiali, ulteriori fatti possono limitare anche notevolmente, o addirittura azzerare nel tempo, la capacità limite di infiltrazione f_c :

- presenza di una falda o di strati impermeabili a debole profondità;
- progressiva riduzione della capacità di infiltrazione causata dall'occlusione indotta dalle sostanze solide trasportate dalle acque meteoriche e dallo sviluppo di biomasse adese alle particelle del terreno.

La riduzione della capacità di infiltrazione può infatti giungere a limitare o vanificare rapidamente gli effetti favorevoli riscontrati nelle prime fasi di vita delle strutture di infiltrazione. Inoltre il ripristino della primitiva capacità di infiltrazione può risultare molto difficile, soprattutto se le strutture di infiltrazione sono a carico del singolo lotto e quindi molto diffuse, di piccola dimensione e di gestione caratterizzata da scarsa affidabilità.

È inoltre da aggiungere che l'infiltrazione di acque meteoriche contenenti carichi inquinanti è da considerarsi inaccettabile. Infatti l'inquinamento del sottosuolo o di un acquifero sotterraneo può costituire un danno ambientale definitivo o che comunque si ripercuote per molti decenni in futuro, data la grande durata richiesta dai fenomeni idrogeologici di ricambio. Se quindi il territorio oggetto di possibile infiltrazione è caratterizzato da attività in grado di produrre rilasci sulle superfici pavimentate di sostanze tossiche bioaccumulanti, l'infiltrazione non dovrebbe essere adottata, a meno di installare anche sistemi fisici o biochimici di depurazione a monte dell'ingresso nelle strutture di infiltrazione. Ma ciò ovviamente moltiplica i costi di infrastrutturazione e gestione.

È bene osservare che lo strato filtrante della struttura adibita all'infiltrazione, così come anche lo strato superficiale di terreno in caso di aree verdi filtranti, è in grado di trattenere una quantità significativa di inquinanti per adsorbimento. E' quindi importante che da un lato si esalti al massimo questo fenomeno modificando opportunamente le caratteristiche dello strato filtrante, dall'altro si deve rinnovare periodicamente (indicativamente almeno una volta ogni 10 anni) lo strato filtrante per minimizzare il rischio che gli inquinanti trattenuti siano rimobilizzati e quindi rilasciati in falda.

Evidentemente l'analisi economica deve essere condotta caso per caso in funzione delle caratteristiche idrogeologiche e idrauliche locali per valutare sia l'effettivo beneficio conseguibile con l'infiltrazione sia l'affidabilità nel tempo.

Il Piano di manutenzione ordinaria e straordinaria costituisce lo strumento operativo fondamentale per consentire al titolare dell'insediamento o al suo gestore di programmare l'esercizio e gestione delle strutture di infiltrazione e della loro durabilità ed efficacia nel tempo.

Allegato G - Richiami teorici per il calcolo dei volumi di invaso per la laminazione

1. RICHIAMI TEORICI

Sono qui esposti alcuni richiami teorici inerenti il processo di laminazione. Per ogni maggior dettaglio si rimanda ai numerosi testi e manuali della letteratura tecnica di costruzioni idrauliche.

I fattori che influiscono sull'effetto di laminazione operato da un invaso di tipo statico sono il volume massimo in esso contenibile, la sua geometria e le caratteristiche delle opere di scarico.

Il processo di laminazione nel tempo t è descritto matematicamente dal seguente sistema di equazioni:

- equazione differenziale di continuità:

$$Q_e(t) - Q_u(t) = \frac{dW(t)}{dt} \quad (1)$$

- legge di efflusso che governa le opere preposte allo scarico dall'invaso o in generale allo svuotamento dell'invaso:

$$Q_u = Q_u[H(t)] \quad (2)$$

- curva d'invaso, esprime il legame geometrico tra il volume invaso ed il battente idrico H nell'invaso:

$$W = W[H(t)] \quad (3)$$

dove $Q_e(t)$ rappresenta la portata entrante, $Q_u(t)$ quella complessivamente uscente dall'insieme delle opere di scarico e/o di infiltrazione e/o di riuso, $W(t)$ il volume invaso, $H(t)$ il battente idrico nell'invaso.

Nota l'onda di piena entrante $Q_e(t)$ e note le funzioni (2) e (3) riferite alle effettive caratteristiche geometriche ed idrauliche della bocca o delle bocche di scarico (eq. 2) ed all'effettiva geometria dell'invaso (eq. 3), l'integrazione del sistema (1) (2) (3) consente di calcolare le tre funzioni incognite $Q_u(t)$, $H(t)$ e $W(t)$.

Il calcolo viene riferito ad un evento di piena entrante $e(t)$ selezionato come "evento di progetto" e cercando le soluzioni dimensionali affinché la portata uscente $u(t)$ sia sempre inferiore o al massimo uguale al preassegnato limite massimo $Q_{u\max}$ indicato nell'art. 6.2.

Il sistema composto dalle tre equazioni è integrabile in forma chiusa solo quando le relazioni (2) e (3) e l'onda di piena in ingresso all'invaso siano rappresentabili mediante funzioni analitiche. Più frequentemente, la portata in ingresso all'invaso è una funzione non esprimibile analiticamente, come nel caso di un'onda di piena conseguente ad una pioggia reale; oppure il legame volume invaso battente idrico (3) può essere notevolmente complicato a causa della geometria dell'invaso. Infine, anche la legge di efflusso può essere non facilmente rappresentabile, come ad esempio si verifica nel caso in cui si hanno diversi dispositivi in uscita, di caratteristiche differenti e predisposti per entrare in funzione a diverse quote idriche. In tutti questi casi il sistema delle equazioni (1), (2), (3) deve essere integrato numericamente alle differenze finite.

Una volta risolto il sistema di equazioni e quindi calcolate le funzioni incognite $Q_u(t)$, $H(t)$ e $W(t)$, se ne possono individuare i rispettivi valori massimi $Q_{u\max}$, $H_{\max}$ e $W_{\max}$, verificando che essi siano compatibili con i vincoli assegnati.

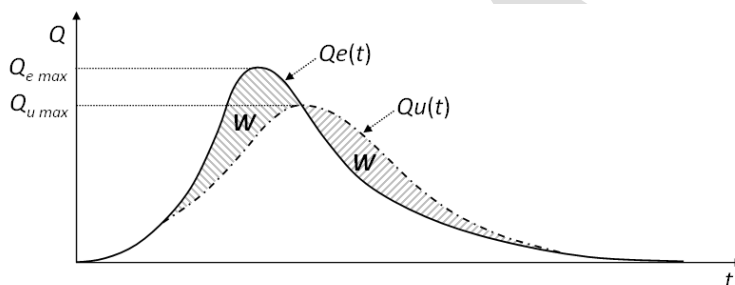
Tali valori massimi si verificano nella fase di decrescita della piena entrante e in

particolare nell'istante in cui la portata in uscita Q_u diventa pari alla portata entrante Q_e ; infatti quando tali due portate coincidono, l'equazione di continuità (1) mostra che nello stesso istante vale $dW/dt = 0$, che indica la condizione di massimo W_{max} della funzione $W(t)$, con conseguente condizione di massimo anche delle funzioni $Q_u(t)$ e $H(t)$ dati i legami biunivoci (2) e (3) che legano tali funzioni al volume di invaso W .

Riportando in un grafico le onde entranti e uscenti da un invaso generico, il massimo volume d'invaso W_{max} è dato dall'area compresa tra le due curve fino al raggiungimento della portata uscente massima $Q_{u max}$ (Figura 2).

Si osserva che l'effetto di laminazione consiste sia nella riduzione della portata al colmo uscente $Q_{u max}$ rispetto alla portata al colmo entrante $Q_{e max}$, sia nello sfasamento temporale tra i due colmi con un benefico rallentamento complessivo della piena uscente rispetto a quella entrante.

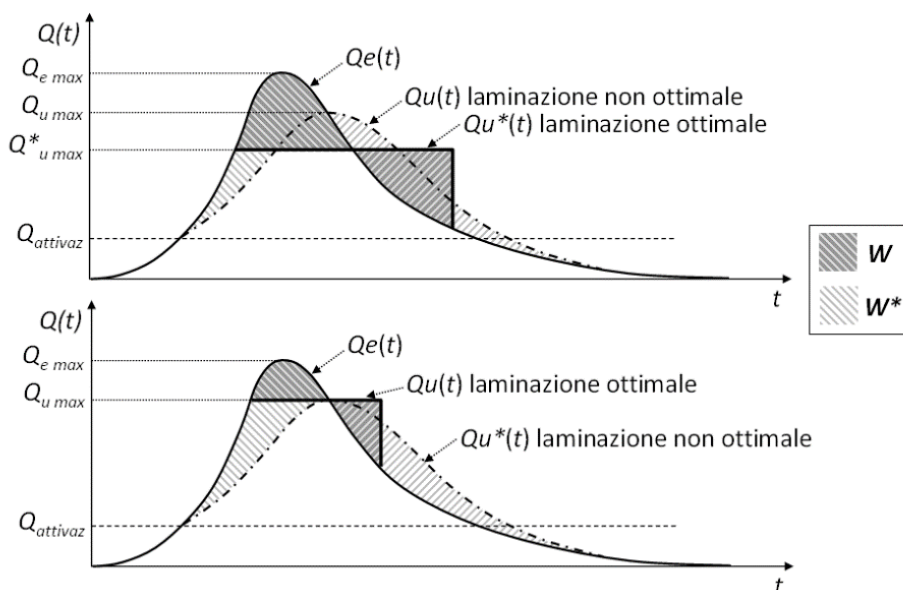
Figura 2 - Rappresentazione schematica del processo di laminazione di un invaso in linea



2. LAMINAZIONE OTTIMALE

Particolarmente significativo è il caso semplificato di "laminazione ottimale", intesa come la laminazione che si ottiene quando la portata uscente è costante durante la fase di colmo (Figura 3). È immediato osservare che, preassegnato il valore $Q_{u max}$ e mantenendo costantemente pari ad esso la portata uscente, è minimo il volume di laminazione W_0 necessario; ovvero, a parità di volume di invaso disponibile W_0 , è minimo il conseguente valore di $Q_{u max}$ ottenendosi così il massimo effetto di laminazione.

Figura 3 - Laminazione ottimale a parità di volume invasato W (sopra) e a parità di portata uscente massima $Q_{u max}$ (sotto)



Questo schema di regolazione teorica è raggiungibile in modo approssimato quando

l'uscita è governata da un impianto di sollevamento avente portata $Q_{u\max}$ o con opportuni automatismi di regolazione degli scarichi, come i regolatori di portata che modificano la luce d'efflusso in funzione del battente in modo da mantenere costante la portata uscente $Q_{u\max}$.

3. IL METODO DELLE SOLE PIOGGE

Nel caso di "Impermeabilizzazione potenziale media" in ambiti territoriali a criticità alta o media si può adottare il metodo delle sole piogge, ferma restando la facoltà dell'operatore di adottare la procedura di calcolo dettagliata esposta nell'art. 7.5.31.

Il "Metodo delle sole piogge" si basa sulle seguenti assunzioni:

- l'onda entrante $Q_e(t)$ nell'invaso di laminazione è un'onda rettangolare avente durata D e portata costante Q_e pari al prodotto dell'intensità media di pioggia, dedotta dalla curva di possibilità pluviometrica valida per l'area oggetto di calcolo, per la superficie scolante impermeabile dell'intervento afferente all'invaso; con questa assunzione si ammette che, data la limitata estensione del bacino scolante, sia trascurabile l'effetto della trasformazione afflussi-deflussi operata dal bacino e dalla rete drenante afferente all'invaso. La portata costante entrante è quindi pari a:

$$Q_e = S \cdot \varphi \cdot a \cdot D^{n-1}$$

e il volume di pioggia complessivamente entrante è pari a:

$$W_e = S \cdot \varphi \cdot a \cdot D^n$$

in cui S è la superficie scolante del bacino complessivamente afferente all'invaso, φ è il coefficiente di deflusso medio ponderale del bacino medesimo calcolabile con i valori standard esposti nell'art. 7.4 (quindi $S \cdot \varphi$ è la superficie scolante impermeabile dell'intervento), D è la durata di pioggia, $a = a_1 w_T$ e n sono i parametri della curva di possibilità pluviometrica (desunti da ARPA Lombardia come esposto all'art. 7.2) espressa nella forma:

$$h = a \cdot D^n = a_1 \cdot w_T \cdot D^n$$

- l'onda uscente $Q_u(t)$ è anch'essa un'onda rettangolare caratterizzata da una portata costante $Q_{u,lim}$ (laminazione ottimale) e commisurata al limite prefissato in aderenza alle indicazioni sulle portate massime ammissibili di cui all'art. 6.2. La portata costante uscente è quindi pari a:

$$Q_{u,lim} = S \cdot u_{lim}$$

e il volume complessivamente uscito nel corso della durata D dell'evento è pari a:

$$W_u = S \cdot u_{lim} \cdot D$$

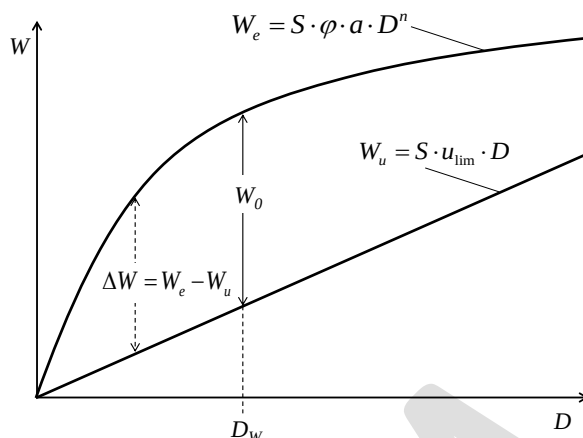
in cui u_{lim} è la portata specifica limite ammissibile allo scarico.

Con tali assunzioni il volume massimo ΔW che deve essere trattenuto nell'invaso di laminazione al termine dell'evento di durata generica D (invaso di laminazione) è pari a:

$$\Delta W = W_e - W_u = S \cdot \varphi \cdot a \cdot D^n - S \cdot u_{lim} \cdot D$$

La figura seguente mostra graficamente la curva $W_e(D)$, concava verso l'asse delle ascisse, in aderenza alla curva di possibilità pluviometrica, e la retta $W_u(D)$ e indica come la distanza verticale ΔW tra tali due curve ammetta una condizione di massimo che individua così l'evento di durata D_w critica per la laminazione.

Figura 4 – Individuazione con il metodo delle sole piogge dell'evento critico D_w e del corrispondente volume critico W_0 di laminazione, ovvero quello che massimizza il volume invasato.



Esprimendo matematicamente la condizione di massimo, ossia derivando rispetto alla durata D la differenza $\Delta W = W_e - W_u$, si ricava la durata critica D_w per l'invaso di laminazione e di conseguenza il volume di laminazione W_0 :

$$D_w = \left(\frac{Q_{u,lim}}{S \cdot \varphi \cdot a \cdot n} \right)^{\frac{1}{n-1}} \quad (4)$$

$$W_0 = S \cdot \varphi \cdot a \cdot D_w^n - Q_{u,max} \cdot D_w \quad (5)$$

Se si considerano per le varie grandezze le unità di misura solitamente utilizzate nella pratica:

W_0	in [m ³]
S	in [ha]
a	in [mm/ora ⁿ]
θ	in [ore]
D_w	in [ore]
$Q_{u,lim}$	in [l/s]

le equazioni (4) e (5) diventano:

$$D_w = \left(\frac{Q_{u,lim}}{2.78 \cdot S \cdot \varphi \cdot a \cdot n} \right)^{\frac{1}{n-1}} \quad (4')$$

$$W_0 = 10 \cdot S \cdot \varphi \cdot a \cdot D_w^n - 3.6 \cdot Q_{u,lim} \cdot D_w \quad (5')$$

Introducendo in esse la portata specifica di scarico $u_{lim} = Q_{u,lim}/S$ (in l/s per ettaro) e il volume specifico di invasato $w_0 = W_0/S$ (in m³/ha) si ha:

$$D_w = \left(\frac{u_{lim}}{2.78 \cdot \varphi \cdot a \cdot n} \right)^{\frac{1}{n-1}} \quad (4'')$$

$$w_0 = 10 \cdot \varphi \cdot a \cdot D_w^n - 3.6 \cdot u_{lim} \cdot D_w \quad (5'')$$

Si osservi che il parametro n (esponente della curva di possibilità pluviometrica) da utilizzare nelle equazioni precedenti deve essere congruente con la durata D_w risultante dal calcolo, tenendo conto che il valore di n è generalmente diverso per le durate inferiori all'ora, per le durate tra 1 e 24 ore e per le durate maggiori di 24 ore (vedi esempi di calcolo nell'art. 7.5.3.3).

4. DIAGRAMMI ESEMPLIFICATIVI

Nei diagrammi seguenti (Figura 5÷Figura 12) sono riportate le funzioni (4'') e (5'') con riferimento a:

- valori del parametro $a = 40, 60, 80, 100$ mm/oraⁿ (salvo ubicazioni particolari, tali valori coprono l'intervallo delle altezze di pioggia orarie per tempi di ritorno fino a 100 anni per una larga parte della Lombardia);
- valori del parametro $n = 0,15 \div 0,5$;
- valori della portata limite specifica uscente $u_{lim} = 10, 20$ l/s per ettaro
- valori del coefficiente di deflusso $\phi = 0,1, 0,3, 0,5, 0,7, 1,0$.

Tali diagrammi, nei quali sono oscurati i campi pluviometricamente inusuali (nei quali si ha contemporaneamente una durata $D_w < 24$ ore e $n > 0,30$ oppure una durata $D_w > 1$ ora e $n > 0,4$), indicano che:

- sia la durata critica D_w che il volume specifico w_o sono crescenti in funzione sia di n sia del coefficiente di deflusso ϕ .
- la durata critica D_w è generalmente maggiore dell'ora;
- il volume specifico di invaso per $\phi = 1$ (aree totalmente impermeabili) raggiunge valori che variano da circa 600 mc/ha a circa 1.800 mc/ha al variare di a da 40 mm/oraⁿ a 100 mm/oraⁿ.

Figura 5 – Grafici della durata D_w (eq. 4'') e del volume specifico critico di invaso w_o (eq. 5'') in funzione di n , per $a=40$ mm/ora e per $u = 10$ l/s per ettaro

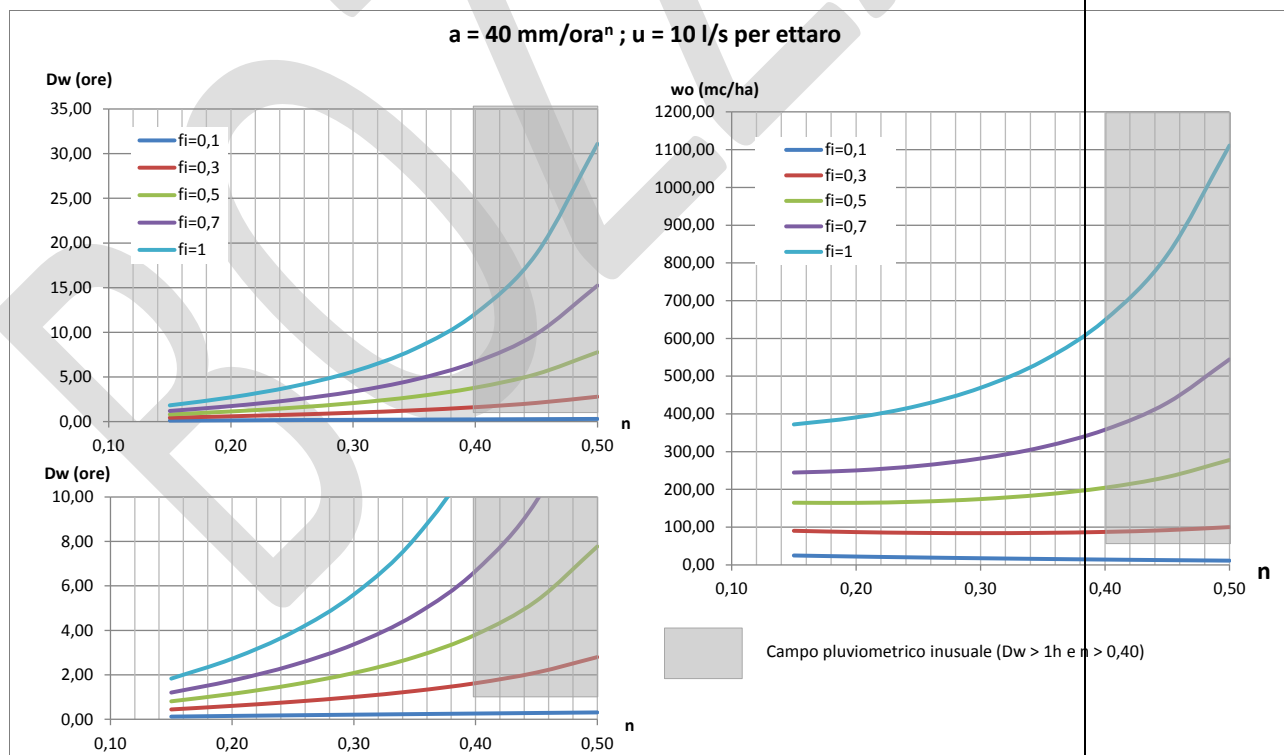


Figura 6 – Grafici della durata D_w (eq. 4'') e del volume specifico critico di invaso w_o (eq. 5'') in funzione di n , per $a=60$ mm/ora e per $u = 10$ l/s per ettaro

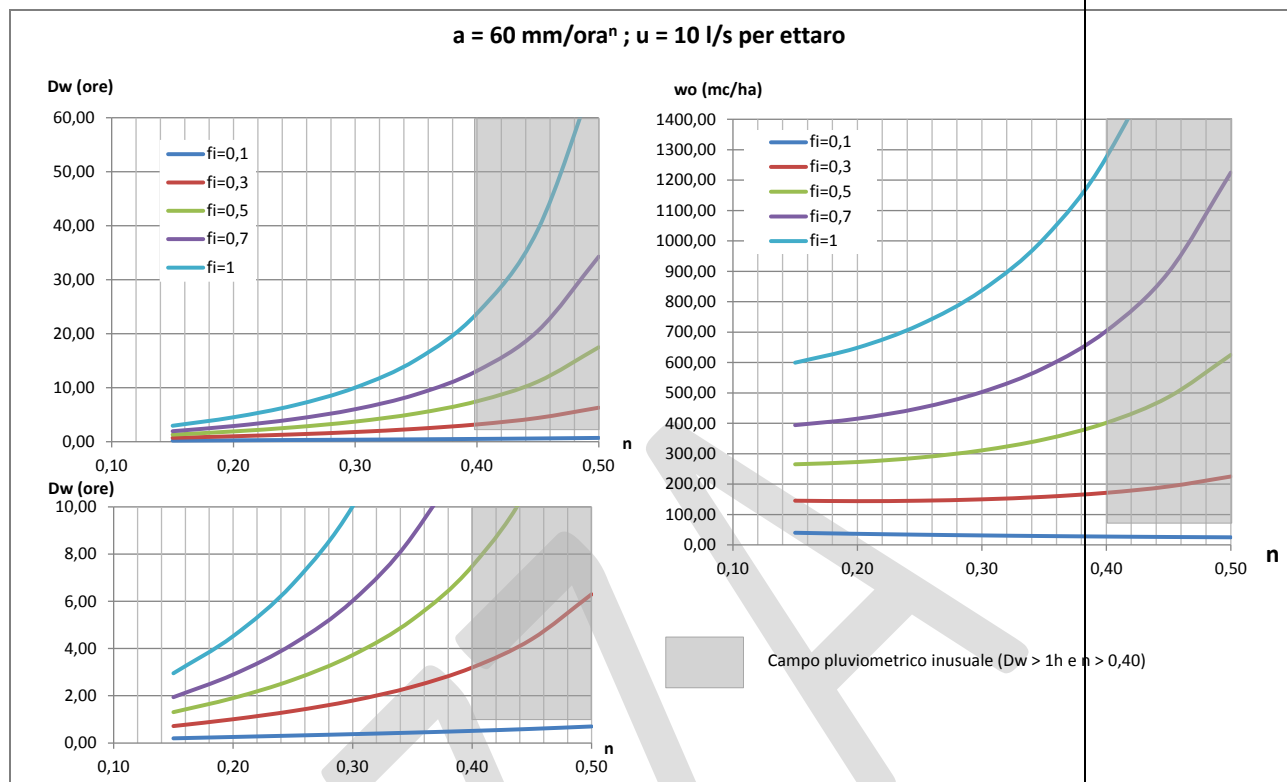


Figura 7 – Grafici della durata D_w (eq. 4'') e del volume specifico critico di invaso w_o (eq. 5'') in funzione di n , per $a=80$ mm/ora e per $u = 10$ l/s per ettaro

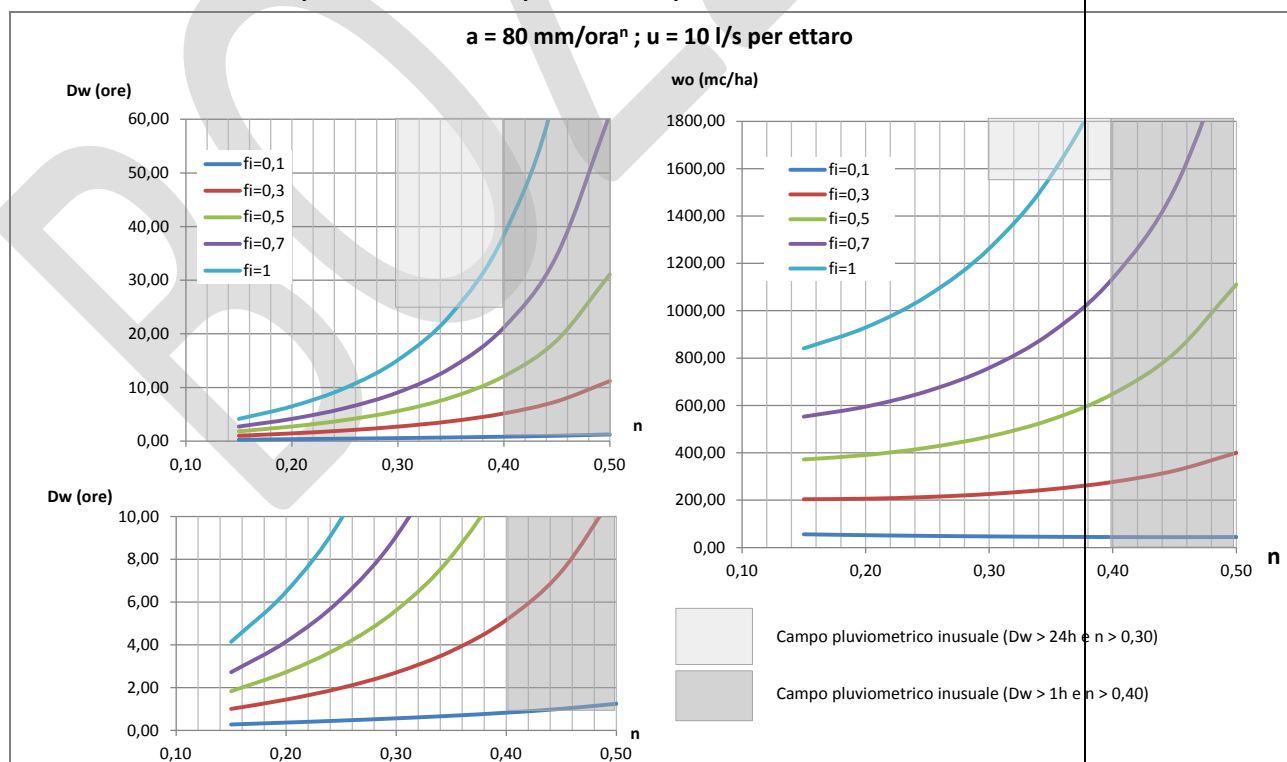


Figura 8 – Grafici della durata D_w (eq. 4'') e del volume specifico critico di invaso w_o (eq. 5'') in funzione di n , per $a=100$ mm/ora e per $u = 10$ l/s per ettaro

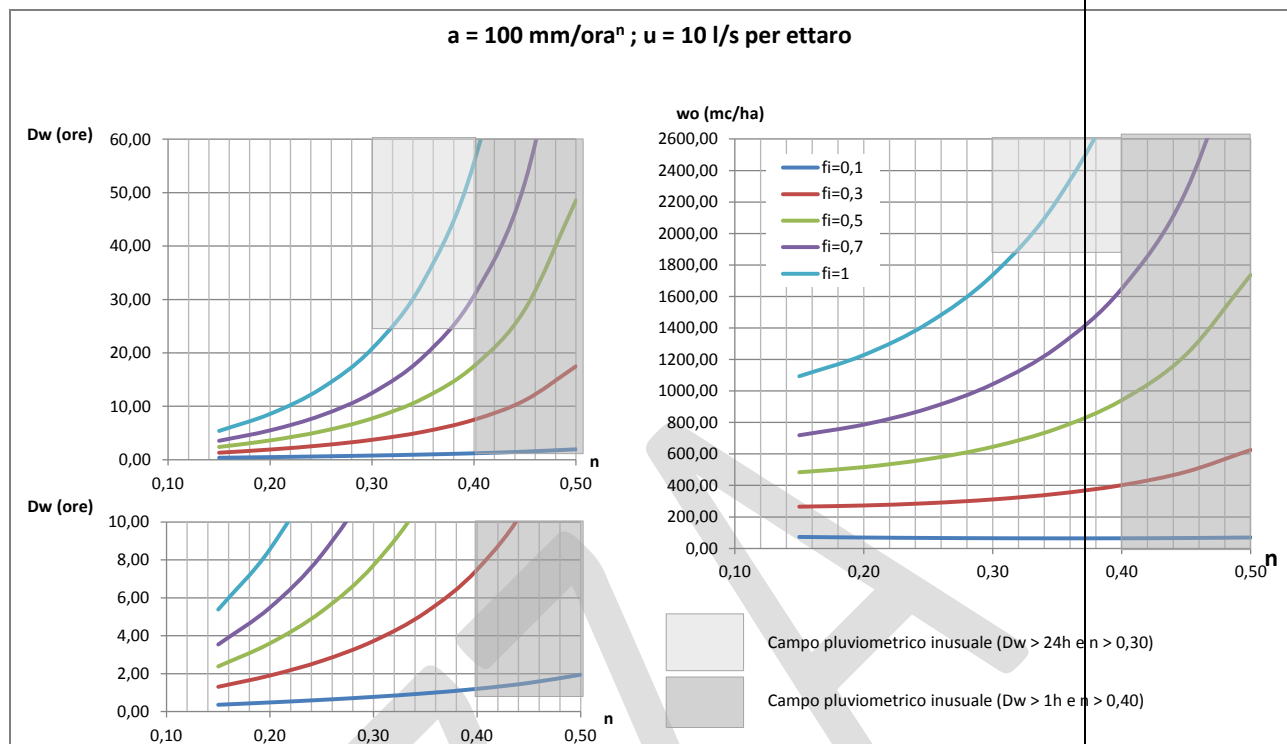


Figura 9 – Grafici della durata D_w (eq. 4'') e del volume specifico critico di invaso w_o (eq. 5'') in funzione di n , per $a=40$ mm/ora e per $u = 20$ l/s per ettaro

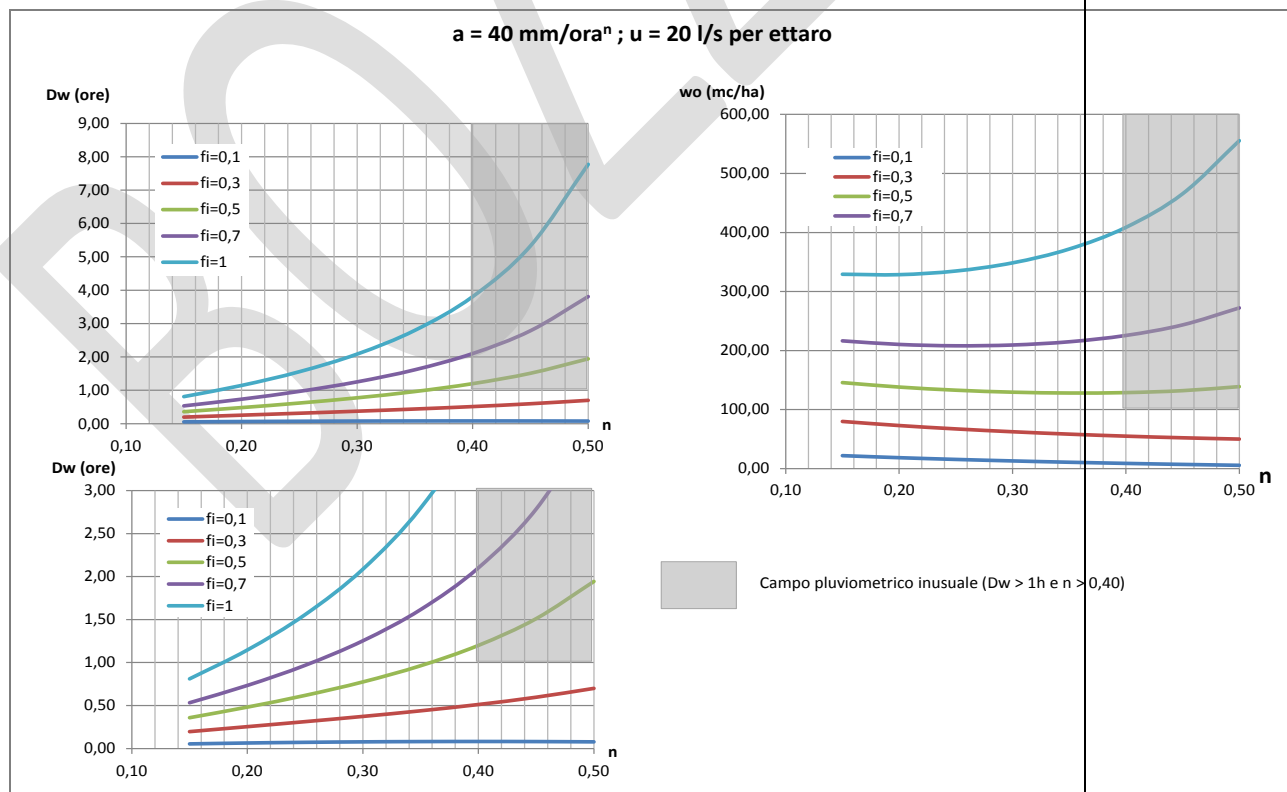


Figura 10 – Grafici della durata D_w (eq. 4'') e del volume specifico critico di invaso w_o (eq. 5'') in funzione di n , per $a=60$ mm/ora e per $u = 20$ l/s per ettaro

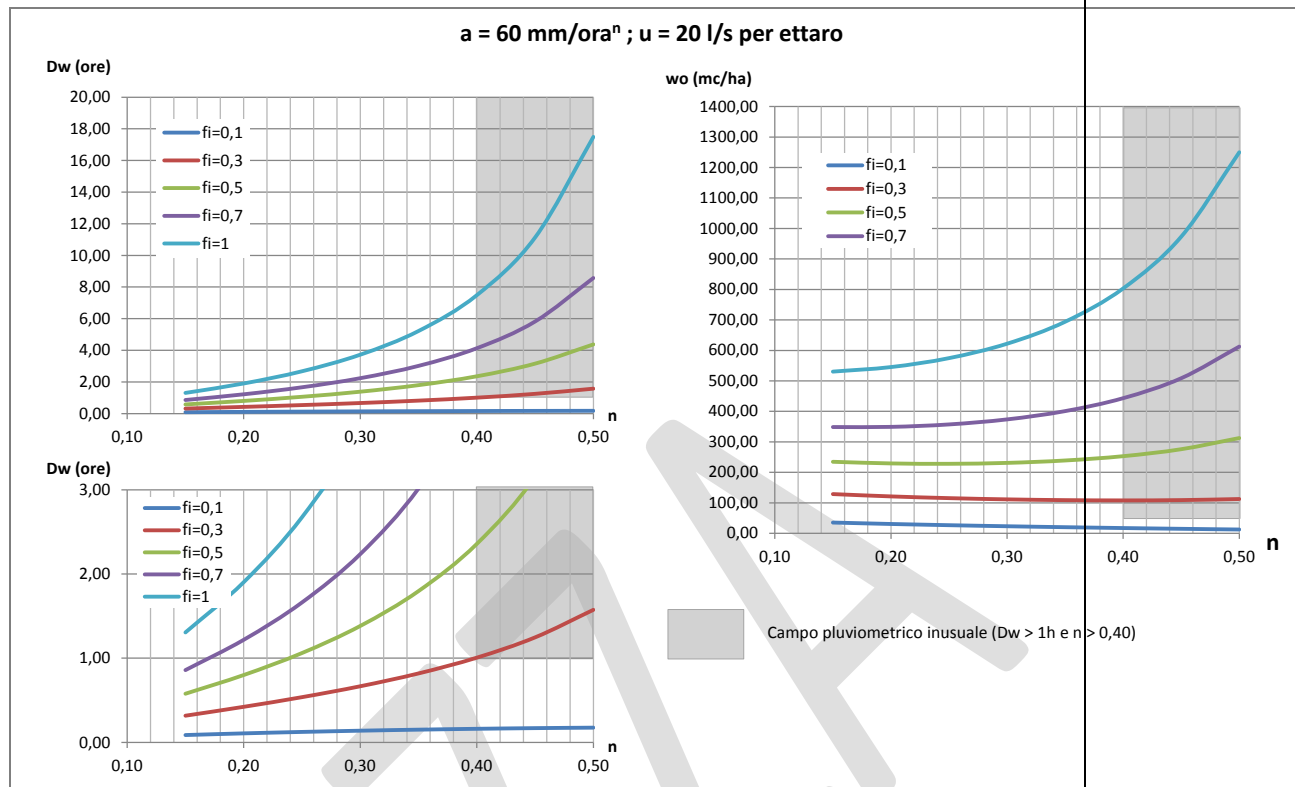


Figura 11 – Grafici della durata D_w (eq. 4'') e del volume specifico critico di invaso w_o (eq. 5'') in funzione di n , per $a=80$ mm/ora e per $u = 20$ l/s per ettaro

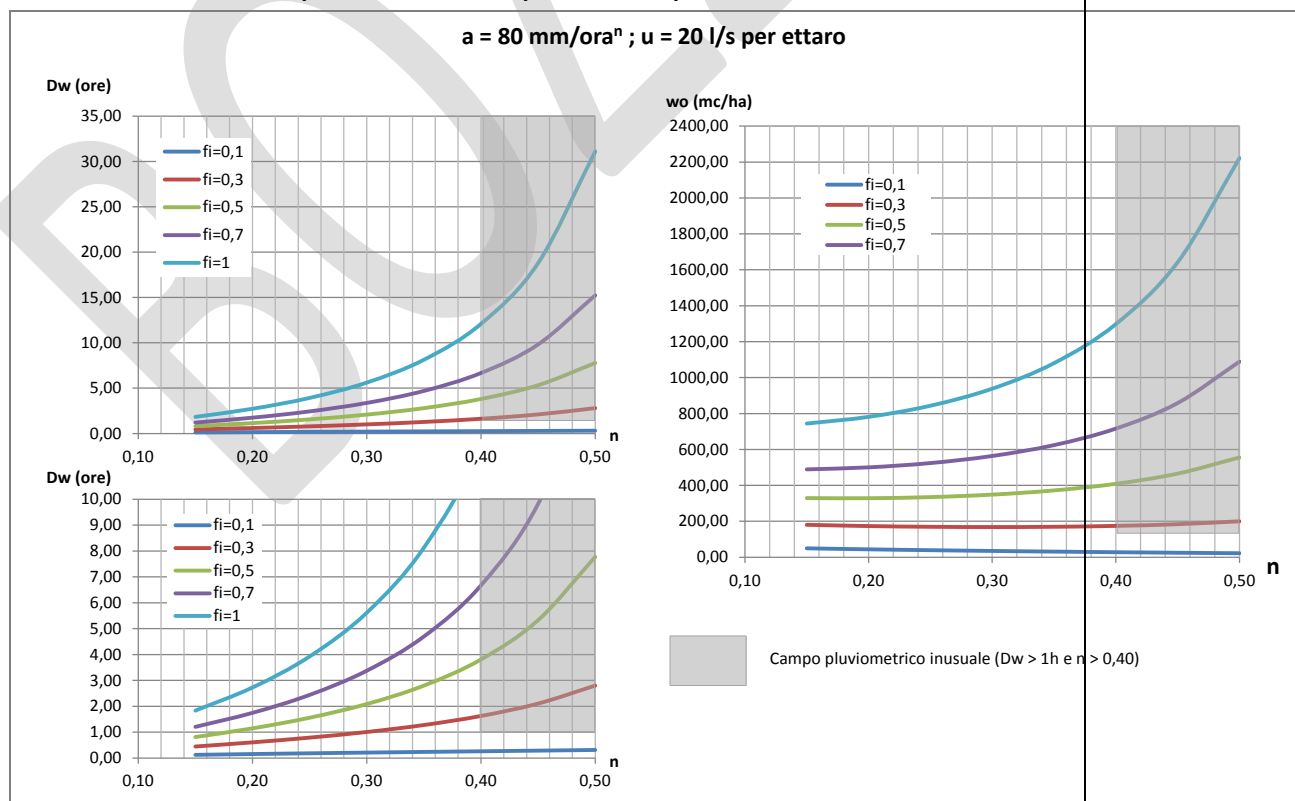
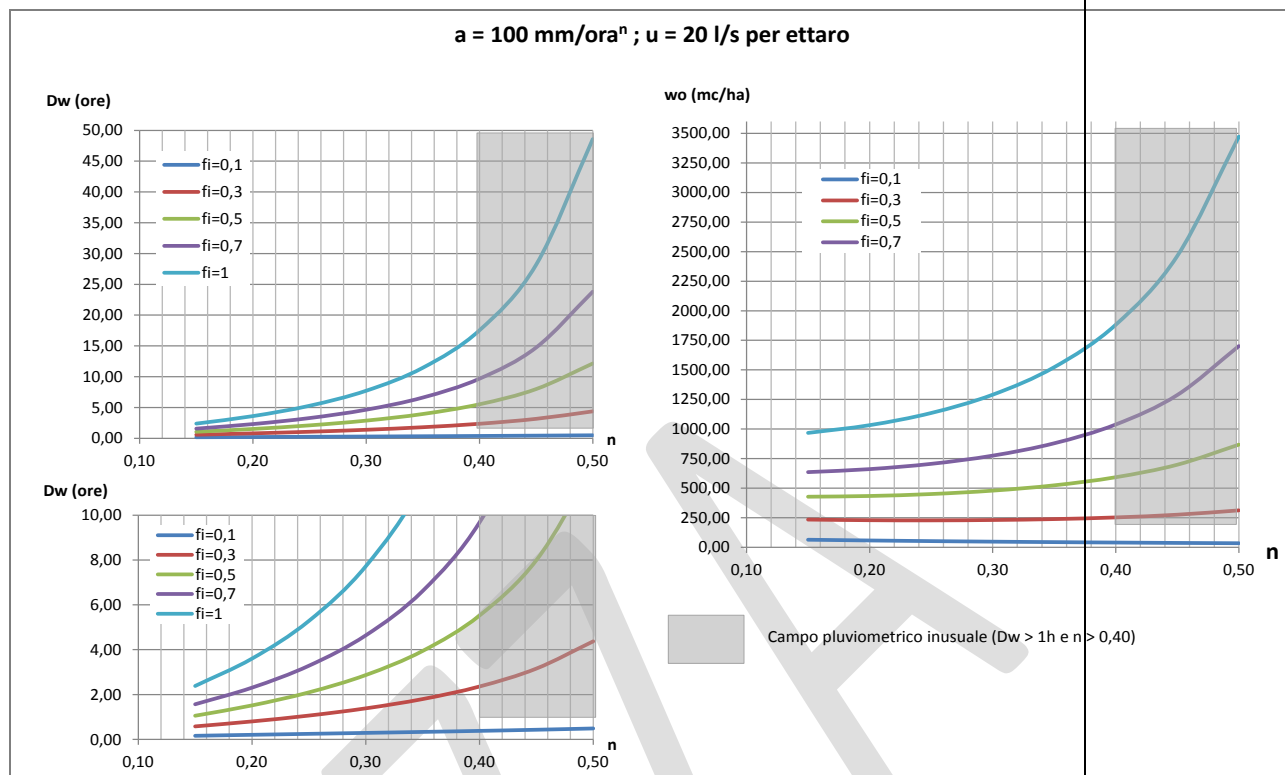


Figura 12 – Grafici della durata D_w (eq. 4'') e del volume specifico critico di invaso w_o (eq. 5'') in funzione di n , per $a=100$ mm/ora e per $u = 20$ l/s per ettaro



L'operatore può quindi ricavare dalle curve sopra riportate la durata critica D_w (ore) e il volume specifico di invaso di laminazione w_o (m^3/ha) caratterizzanti il caso di interesse. Per valori dei parametri intermedi tra quelli dei grafici tali grandezze possono essere dedotte per interpolazione lineare o, meglio, utilizzando direttamente le formule (4'') e (5'').

Allegato H - Esempi applicativi delle metodologie di calcolo dei volumi di laminazione e dei processi di infiltrazione.

1. ESEMPI APPLICATIVI DEL METODO DELLE SOLE PIOGGE

L'applicazione delle formule (4') e (5') richiede che l'operatore abbia predeterminato, in riferimento allo specifico caso reale, la superficie scolante S afferente all'invaso e il suo coefficiente d'afflusso medio ponderale ϕ , i parametri a e n della curva di possibilità pluviometrica valida localmente per il tempo di ritorno 50 o 100 anni indicati nell'art. 7.2, ed infine la portata limite di scarico u_{lim} pari (o inferiore, se necessario) al valore limite ammissibile fissato nell'art. 6.2 per l'area oggetto del calcolo.

ESEMPIO 1

Un nuovo comprensorio di lottizzazione residenziale di 2,5 ettari di superficie territoriale integralmente scolante verso un vaso di laminazione è ubicato in area ad alta criticità ($u_{lim} = 10$ l/s per ettaro di superficie scolante impermeabile dell'intervento).

La curva di possibilità pluviometrica valida localmente per il tempo di ritorno 50 anni è caratterizzata dai parametri:

$$a = 70 \text{ mm/ora}^n$$

$$n = 0,5 \text{ per durate } D < 1 \text{ ora e } 0,28 \text{ per durate } D \geq 1 \text{ ora.}$$

Il progetto della lottizzazione prevede una superficie coperta complessiva di 2000 mq (8 % della superficie totale) per tetti, terrazzi, cortili e pavimentazioni ad uso pedonale e ciclabile, pertanto l'intervento presenta classe di importanza (Art. 6.3) "Impermeabilizzazione potenziale media" ed è applicabile la procedura di calcolo del metodo delle sole piogge.

Assumendo un coefficiente di deflusso (Art. 7.4) pari all'unità per le parti coperte (8 % del totale) e pari a 0,3 per le aree verdi (92 % del totale), il coefficiente di deflusso medio ponderale è pari a 0,356, che per sicurezza si arrotonda a 0,4.

Lo scarico dell'invaso di laminazione è addotto alla rete fognaria pubblica nel rispetto della portata limite ammissibile complessiva che, essendo $u_{lim} = 10$ l/s per ettaro di superficie scolante impermeabile dell'intervento è pari a:

$$2,5 \text{ ettari} \times 0,4 \times 10 = 10 \text{ l/s}$$

Applicando le formule (4') e (5') si ottengono i seguenti risultati:

$$\text{durata critica } D_w = 10,58 \text{ ore (utilizzando l'esponente } n = 0,28 \text{ valido per } D \geq 1 \text{ ora)}$$

$$\text{volume di laminazione } W_o = 974 \text{ m}^3 \text{ (volume specifico di } 974/(2,5 \times 0,4) = 974 \text{ m}^3/\text{ha}_{imp}\text{).}$$

Il volume così calcolato è maggiore del volume derivante dal parametro di requisito minimo (art. 8) pari a $800 \text{ m}^3/\text{ha}_{imp}$ per aree di alta criticità ed è quindi adottabile per il progetto della vasca di laminazione.

ESEMPIO 2

Si ripete l'esempio 1 (nuovo comprensorio di lottizzazione residenziale di 2,5 ettari di superficie territoriale integralmente scolante verso un vaso di laminazione) ma ipotizzandone l'ubicazione in area a media criticità ($u_{lim} = 20$ l/s per ettaro di superficie scolante impermeabile dell'intervento) e quindi avendo portata limite ammissibile pari a 20 l/s.

In questo caso le formule (23') e (24') forniscono i seguenti risultati:

durata critica $D_w = 4,04$ ore (utilizzando l'esponente $n = 0,28$ valido per $D \geq 1$ ora)

volume di laminazione $W_o = 744 \text{ m}^3$ (volume specifico di $744/(2,5 \times 0,4) = 744 \text{ m}^3/\text{ha}_{\text{imp}}$).

Il volume così calcolato è maggiore del volume derivante dal parametro di requisito minimo (art. 8) pari a $600 \text{ m}^3/\text{ha}_{\text{imp}}$ per aree di media criticità ed è quindi adottabile per il progetto della vasca di laminazione.

ESEMPIO 3

Una ristrutturazione edilizia di una superficie territoriale di 1 ettaro prevede un ampliamento della superficie coperta di 0,2 ettari (20 % della superficie totale) ed è ubicata in area ad alta criticità ($u_{\text{lim}} = 10 \text{ l/s}$ per ettaro di superficie scolante impermeabile dell'intervento; portata limite ammissibile per lo scarico dell'ampliamento pari a 2 l/s). Poiché l'invarianza idraulica è da commisurare al solo ampliamento di 0,2 ettari, l'intervento presenta classe di importanza (Art. 6.3) "Impermeabilizzazione potenziale media" ed è quindi adottabile la procedura di calcolo del metodo delle solo piogge da applicare al solo ampliamento.

La curva di possibilità pluviometrica valida localmente per il tempo di ritorno 50 anni è caratterizzata dai parametri:

$a = 80 \text{ mm/ora}^n$

$n = 0,5$ per durate $D < 1$ ora e $0,25$ per durate $D \geq 1$ ora.

Ipotizzando che il progetto dell'ampliamento preveda coperture impermeabili comportanti un coefficiente d'afflusso medio ponderale pari a 1, le formule (4') e (5') forniscono i seguenti risultati:

durata critica $D_w = 9,29$ ore (utilizzando l'esponente $n = 0,25$ valido per $D \geq 1$ ora)

volume di laminazione $W_o = 212 \text{ m}^3$ (volume specifico di $212/(0,2 \times 1) = 1060 \text{ m}^3/\text{ha}_{\text{imp}}$).

Il volume così calcolato è maggiore del volume derivante dal parametro di requisito minimo (art. 8) pari a $800 \text{ m}^3/\text{ha}_{\text{imp}}$ per aree di alta criticità ed è quindi adottabile per il progetto della vasca di laminazione.

ESEMPIO 4

Una ristrutturazione edilizia di un lotto avente superficie territoriale di 1,5 ettari prevede un ampliamento della superficie coperta di 400 mq (2,7 % della superficie totale) ed è ubicata in area a media criticità ($u_{\text{lim}} = 20 \text{ l/s}$ per ettaro di superficie scolante impermeabile dell'intervento; portata limite ammissibile per lo scarico dell'ampliamento pari a $0,80 \text{ l/s}$). Poiché l'invarianza idraulica è da commisurare al solo ampliamento di 400 mq, l'intervento presenta classe di importanza (Art. 6.3) "Impermeabilizzazione potenziale media" ed è quindi adottabile la procedura di calcolo del metodo delle solo piogge da applicare al solo ampliamento.

La curva di possibilità pluviometrica valida localmente per il tempo di ritorno 50 anni è caratterizzata dai parametri:

$a = 70 \text{ mm/ora}^n$

$n = 0,5$ per durate $D < 1$ ora e $0,35$ per durate $D \geq 1$ ora.

Ipotizzando che il progetto della lottizzazione preveda coperture impermeabili comportanti un coefficiente d'afflusso medio ponderale pari a 1, le formule (4') e (5') forniscono i seguenti risultati:

durata critica $D_w = 6,62$ ore (utilizzando l'esponente $n = 0,35$ valido per $D \geq 1$ ora)

volume di laminazione $W_o = 35,2 \text{ m}^3$ (volume specifico di $35,2/(0,04 \times 1) = 880 \text{ m}^3/\text{ha}_{\text{imp}}$).

Il volume così calcolato è maggiore del volume derivante dal parametro di requisito minimo (art. 8) pari a $600 \text{ m}^3/\text{ha}_{\text{imp}}$ per aree di media criticità ed è quindi adottabile per il progetto della vasca di laminazione.

2. ESEMPIO APPLICATIVO DELLA METODOLOGIA DI CALCOLO DETTAGLIATA

Un nuovo comprensorio di lottizzazione residenziale di 2,5 ettari di superficie territoriale integralmente scolante verso l'invaso di laminazione è ubicato in area ad alta criticità ($u_{\text{lim}} = 10 \text{ l/s}$ per ettaro di superficie scolante impermeabile dell'intervento).

Il progetto della lottizzazione prevede le seguenti percentuali di copertura dell'area:

- 30 % della superficie totale per tetti e terrazzi con copertura impermeabile non soggetti a presenza di veicoli a motore (superficie $2,5 \times 0,30 = 0,75$ ettari);
- 20 % della superficie totale per pavimentazioni semipermeabili di viabilità interna pedonale o ciclabile (superficie $2,5 \times 0,20 = 0,50$ ettari);
- 15 % della superficie totale per pavimentazioni semipermeabili di viabilità e parcheggi per autoveicoli (superficie $2,5 \times 0,15 = 0,375$ ettari);
- 35 % della superficie totale di aree a verde (superficie $2,5 \times 0,35 = 0,875$ ettari).

I coefficienti di deflusso delle suddette aree valgono (art. 7.4) rispettivamente: $\phi = 1$ per l'area a); $\phi = 0,7$ per l'area b); $\phi = 0,7$ per l'area c); $\phi = 0,3$ per l'area d). Il coefficiente di deflusso medio ponderale dell'intera area è pertanto pari a 0,65.

La curva di possibilità pluviometrica valida localmente per il tempo di ritorno 50 anni è caratterizzata dai parametri:

$$a = 70 \text{ mm/ora}^n$$

$$n = 0,5 \text{ per durate } D < 1 \text{ ora e } 0,28 \text{ per durate } D \geq 1 \text{ ora.}$$

Il suolo è di natura sabbioso argilloso assimilabile al tipo C della classificazione SCS (art. 7.3) senza interferenza con la falda freatica.

Il recapito finale delle acque reflue e meteoriche è in pubblica fognatura, salvo la quota parte smaltita per infiltrazione.

Il progetto prevede di separare le acque pluviali relative alle parti a), b) e di addurre le medesime ad un vaso di laminazione e infiltrazione ubicato nell'area verde d). Nei riguardi invece delle acque meteoriche relative alla parte c), soggetta a presenza di autoveicoli, il progetto prevede di collettarle con apposita rete di drenaggio in una separata vasca di laminazione.

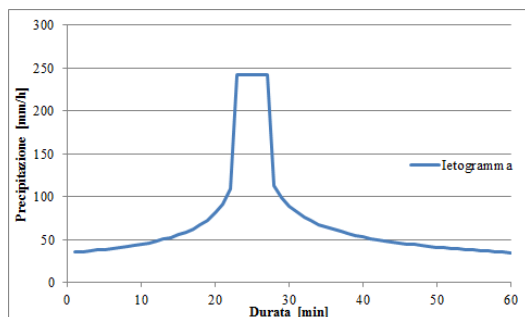
Lo scarico dell'invaso di laminazione asservito alle aree a), b), d), e quello della vasca di laminazione asservita all'area c) sono addotti alla rete fognaria pubblica nel rispetto della portata limite ammissibile complessiva che, essendo $u_{\text{lim}} = 10 \text{ l/s}$ per ettaro di superficie scolante impermeabile dell'intervento, è pari a:

$$2,5 \text{ ettari} \times 0,65 \times 10 = 16,25 \text{ l/s}$$

A. Calcolo dell'invaso di laminazione ubicato nell'area verde e asservito alle aree a), b), d).

A.1. Ietogramma di progetto

In base ai parametri prima citati della curva di possibilità pluviometrica, assumendo lo ietogramma tipo Chicago con posizione del picco 0,4 e durata $D = 1$ ora, sicuramente maggiore del tempo di corrivazione della rete drenante, si ottiene lo ietogramma distribuito nell'arco della durata di 1 ora come da figura:



A.1. Idrogramma di piena recapitato dall'area a) nell'invaso "verde"

Assumendo che l'area a), di superficie pari al 30 % di 2,5 ettari e quindi pari a 0,75 ettari, sia totalmente impermeabile, applicando il modello afflussi - deflussi di corrivazione avendo assunto il tempo di corrivazione di 15 minuti, si ottiene l'idrogramma indicato nella Figura 46

A.2. Idrogramma di piena recapitato dall'area b) nell'invaso "verde"

Assumendo che l'area b), di superficie pari al 20 % di 2,5 ettari e quindi pari a 0,50 ettari, sia parzialmente impermeabile con coefficiente di deflusso 0,7 (Art. 7.4), applicando il modello afflussi - deflussi di corrivazione avendo assunto il tempo di corrivazione di 10 minuti, si ottiene l'idrogramma indicato nella Figura 46

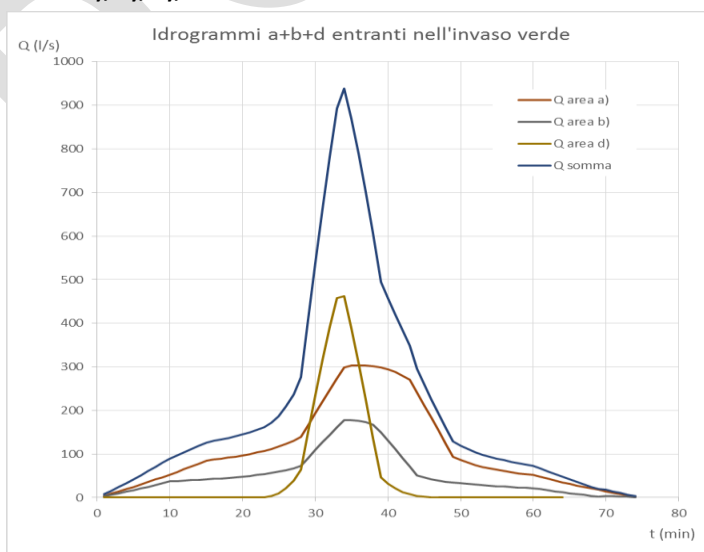
A.3. Idrogramma di piena recapitato dall'area d) nell'invaso "verde"

Assumendo che l'area d), di superficie pari al 35 % di 2,5 ettari e quindi pari a 0,875 ettari, sia permeabile di suolo tipo C (classificazione SCS), applicando il modello di Horton avente parametri $f_o = 125 \text{ mm/h}$, $f_c = 6,3 \text{ mm/h}$, $k = 2 \text{ ore}^{-1}$, ed essendo lo ietogramma di pioggia direttamente incidente l'area verde senza rete di drenaggio e quindi senza necessità di applicare un modello afflussi - deflussi, si ottiene l'idrogramma indicato nella Figura 46

A.4. Idrogramma di piena recapitato dalle aree a), b), d) nell'invaso "verde"

Sommando i contributi di portata recapitati dalle aree a), b), d) si ottiene l'idrogramma complessivo $Q_e(t)$ entrante nell'invaso indicato nella seguente Figura 13

Figura 13 – Esempio di applicazione della metodologia di calcolo dettagliata: idrogrammi afferenti all'invaso di laminazione ubicato nell'area verde: idrogrammi provenienti dalle aree a), b), d), e totale.



Risulta che l'idrogramma complessivo $Q_e(t)$ presenta una portata al colmo pari a 940 l/s circa (quindi assolutamente inaccettabile rispetto alla portata limite ammissibile di 16,25

l/s). Il volume complessivo di tale onda entrante nell'invaso è pari a circa 920 mc.

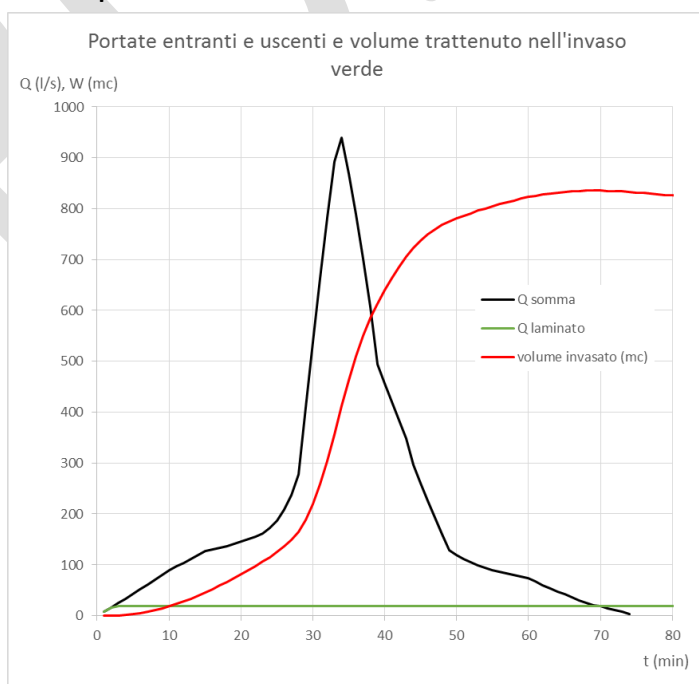
A.5. Infiltrazione e laminazione dell'invaso verde

Configurando l'invaso all'interno delle aree verdi con un'area verde ribassata di profondità 1,5 m e di superficie 600 mq, considerando la capacità di infiltrazione del suolo di classe C (classificazione SCS) pari cautelativamente al suo valore asintotico di 6,3 mm/h e quindi pari a 17,5 l/s per ettaro, l'infiltrazione dell'area verde di invaso verso il sottosuolo è pari a $17,5 \times 0,06 = 1,05$ l/s. Se quindi fosse solo questa la via di scarico dell'invaso dei 920 mc prima calcolati, il tempo di svuotamento sarebbe troppo lungo rispetto al limite di 48 ore (art. 7.6) essendo pari a circa 10 giorni.

Una seconda alternativa potrebbe consistere nel configurare il fondo dell'invaso con un letto abbondante di ghiaia grossolana disperdente (o anche attrezzato con trincee o pozzi filtranti) in modo da garantire una capacità di infiltrazione almeno dell'ordine di 70-100 mm/h (in media 200 l/s per ettaro) e quindi di $200 \times 0,06 = 12$ l/s circa. Ne deriverebbe un tempo di svuotamento di $920.000/12 = 76.670$ sec = circa 21 ore e quindi pienamente accettabile.

Se invece si ipotizzasse una terza soluzione configurata con un letto di fondo meno disperdente avente una capacità di infiltrazione pari a circa la metà di quella ipotizzata nella seconda alternativa (circa 100 l/s per ettaro, corrispondente a $100 \times 0,06 = 6$ l/s), occorrerebbe dotare l'invaso anche di una bocca di scarico verso la rete pubblica fognaria. Data la portata limite massima ammissibile allo scarico pari a 16,25 l/s, si assume che la bocca di scarico derivi una frazione pari a circa 13 l/s. In tal caso lo scarico dall'invaso è duplice: infiltrazione nel sottosuolo (6 l/s) e bocca di scarico (13 l/s). Calcolando quindi il processo di laminazione con le equazioni (1), (2), (3), in funzione di un idrogramma uscente dall'invaso con portata pari a $13 + 6 = 19$ l/s, si ottiene che nell'istante di massimo invaso il volume raggiunge il valore di 835 mc (Figura 47) con un tirante massimo rispetto all'area dell'invaso di 600 mq di circa 1,40 m, quindi pienamente accettabile. Il tempo di svuotamento dell'invaso è pari a $835.000/19 = 43.947$ sec = circa 12,2 ore, anch'esso accettabile.

Figura 14 – Esempio di applicazione della metodologia di calcolo dettagliata: risultato dei calcoli esemplificativi



B. Calcolo della vasca di laminazione asservita all'area c

B.1. Idrogramma di piena recapitato dall'area c) nella vasca

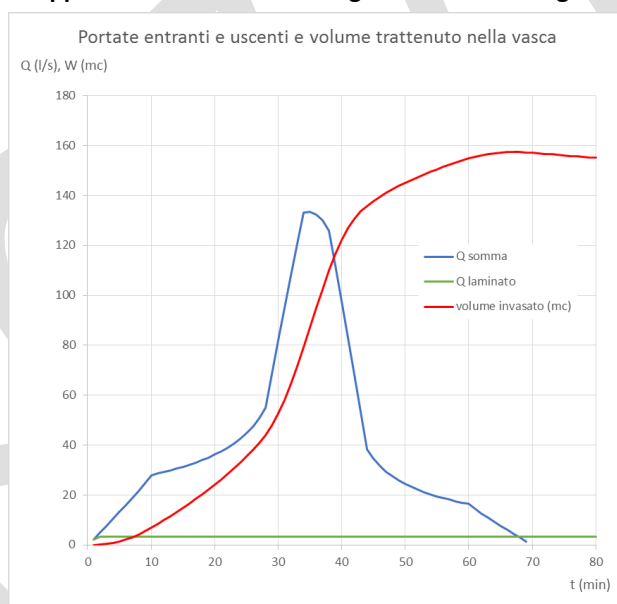
Assumendo per l'area c), di superficie pari al 15 % di 2,5 ettari e quindi pari a 0,375 ettari, il coefficiente di deflusso 0,7 (Art. 7.4) e applicando il modello afflussi - deflussi di corrivazione avendo assunto il tempo di corrivazione di 10 minuti, si ottiene l'idrogramma indicato nella Figura 48 che presenta una portata al colmo pari a circa 130 l/s circa ed un volume complessivo pari a circa 170 mc.

B.2. Laminazione nella vasca

Ammettendo che non sia accettabile l'infiltrazione nel sottosuolo delle acque meteoriche drenate dall'area pavimentata carrabile c), tali acque devono essere addotte ad una vasca impermeabile di laminazione avente scarico nella rete fognaria compatibile con il prima citato limite massimo ammissibile di 16,25 l/s. Poiché tale portata limite è già impegnata per 13 l/s dallo scarico dell'invaso ubicato nell'area verde, la portata massima compatibile per lo scarico della vasca di cui trattasi è pari a 3,25 l/s.

Calcolando quindi il processo di laminazione della vasca con le equazioni (1), (2), (3), in funzione di un idrogramma uscente dall'invaso con portata pari a 3,25 l/s, si ottiene che nell'istante di massimo invaso il volume raggiunge il valore di 157 mc (Figura 48). Il suo tempo di svuotamento è pari a $157.000/3,25 = 48307 \text{ sec} = \text{circa } 13,4 \text{ ore}$. Per la tipologia costruttiva della vasca potrebbe essere adottata una delle differenti tipologie indicate nell'art. 9 o similari.

Figura 15 - Esempio di applicazione della metodologia di calcolo dettagliata: risultati



Il volume totale dei due invasi, pari a $835 + 157 = 992 \text{ mc}$ (volume specifico di $992/(2,5 \times 0,65) = 610 \text{ m}^3/\text{ha}_{\text{imp}}$), è inferiore al volume derivante dal parametro di requisito minimo (art. 8) pari a $800 \text{ m}^3/\text{ha}_{\text{imp}}$ per aree di alta criticità; è quindi necessario adottare per il progetto della vasca di laminazione il valore di:

$800 \times 2,5 \times 0,65 = 1.200 \text{ mc}$ da suddividere tra le due vasche.

Allegato I - Esempi di configurazioni del collegamento tra l'uscita di un invaso di laminazione e lo scarico nel ricettore

Nelle figure seguenti sono riportati alcuni esempi di configurazioni del collegamento tra l'uscita di un invaso di laminazione e lo scarico nel ricettore, sia per scarichi a gravità che per sollevamento.

Figura 16 – Particolari vasca di laminazione con scarico a gravità, con e senza deposito ad uso irriguo (da: Comune di Trento)

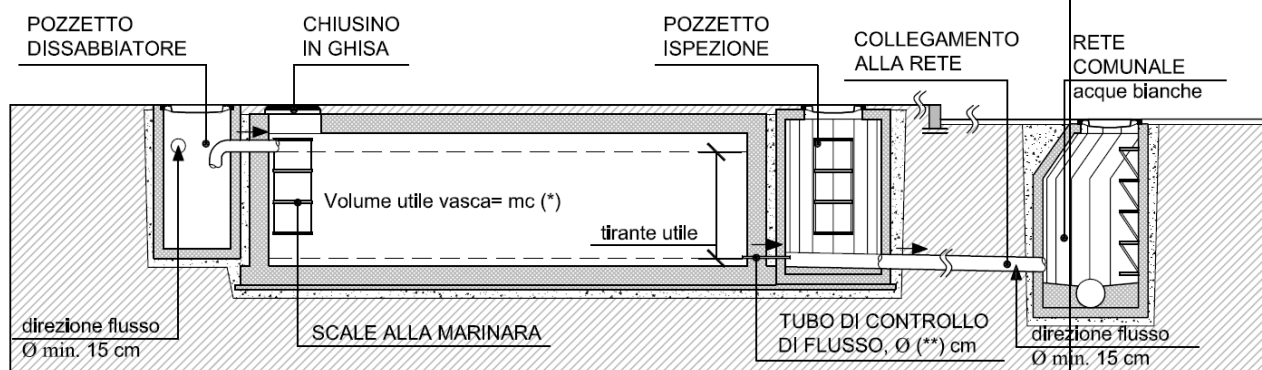
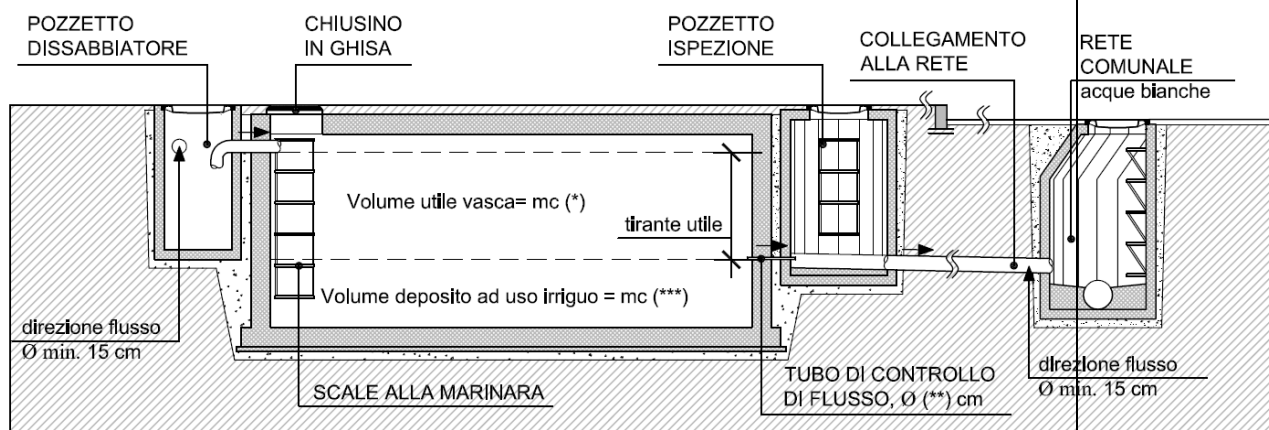
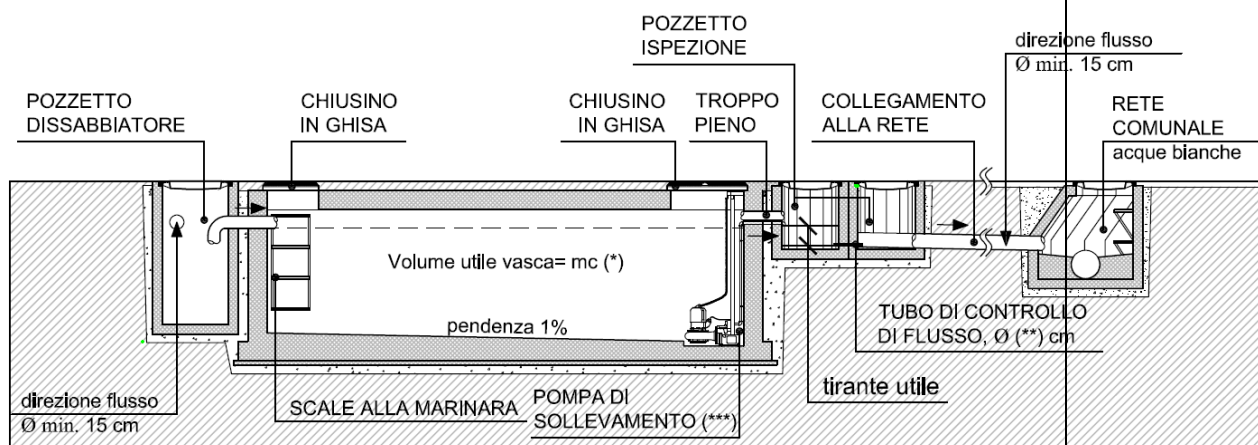


Figura 17 - Particolari vasca di laminazione con scarico mediante pompaggio, senza deposito ad uso irriguo (da: Comune di Trento)



Allegato L - Indicazioni tecniche costruttive ed esempi di buone pratiche di gestione delle acque meteoriche in ambito urbano

1. GENERALITÀ

Nel presente capitolo sono sinteticamente esposte alcune indicazioni tecniche per la realizzazione delle infrastrutture finalizzate al rispetto degli obiettivi e dei limiti indicati nei precedenti capitoli.

Si tratta di indicazioni di primo orientamento in merito alle strutture, alle caratteristiche e alle dimensioni necessarie per il conseguimento degli obiettivi richiesti. Per le determinazioni e le progettazioni di dettaglio è necessario riferirsi alla vasta letteratura tecnica dell'ingegneria idraulica del settore di cui si riportano alcuni riferimenti nella bibliografia.

2. OPERE DI LAMINAZIONE

Generalità

Le strutture di laminazione atte all'abbattimento delle portate pluviali e meteoriche nei limiti indicati all'art. 6.2 rappresentano la famiglia più numerosa di tecniche di mitigazione degli allagamenti. Questi manufatti hanno la funzione di invasare provvisoriamente una parte, anche notevole, dei volumi idrici derivanti dagli eventi meteorici, per inviarli successivamente alla depurazione o per restituirli al ricettore finale, con portata ridotta e con essi compatibile. Sono classificabili tra le strutture di immagazzinamento anche quelle che non contemplano uno scarico verso valle ma lo svuotamento attraverso l'infiltrazione.

In generale la classificazione delle opere di laminazione viene effettuata sulla base di differenti criteri, di seguito brevemente descritti:

- funzione assoluta: DETENZIONE o RITENZIONE
- posizione rispetto alla rete drenante: TRANSITO (in linea) o CATTURA (fuori linea)
- posizione rispetto al piano campagna: SUPERFICIALE o SOTTERRANEA

Detenzione: tutti i deflussi o parte di essi vengono temporaneamente invasati e contemporaneamente rilasciati attraverso gli scarichi nel sistema di drenaggio di valle, con portata limitata nei limiti prescritti al punto 1. In questo caso il volume invasato è trattenuto solo temporaneamente nell'invaso e l'onda laminata uscente da esso si sviluppa nel corso dello stesso evento meteorico.

Ritenzione: tutti i deflussi o parte di essi vengono invasati, generalmente per un lungo periodo, e non vengono rilasciati durante l'evento meteorico nel ricettore in quanto le acque accumulate vengono smaltite mediante infiltrazione, evaporazione o riuso. In questo caso quindi il volume invasato è trattenuto a lungo o permanentemente nell'invaso e l'eventuale scarico si sviluppa dopo l'evento meteorico, senza contribuire alla formazione della piena a valle. Possono venire progettati per mantenere all'interno un certo volume di acque (bacini umidi, wetland) con una vasca permanente che consente lunghi tempi di residenza idraulica, permettendo così di raggiungere elevati rendimenti di rimozione degli inquinanti, oppure possono essere disegnati in maniera da svuotarsi completamente (bacini asciutti).

Invasi di transito (in linea): tutti i deflussi derivanti dall'area scolante entrano direttamente nell'invaso e contemporaneamente escono dallo stesso passando

attraverso una o più bocche di scarico limitanti la portata consegnata a valle.

Invasi di cattura (fuori linea): l'invaso è posto in derivazione rispetto al condotto o canale convogliante i deflussi derivanti dall'area scolante e viene interessato solo per portate in arrivo maggiori di un valore di soglia prefissato.

Sotterraneo: serbatoi chiusi costruiti in situ o prefabbricati, al di sotto del piano campagna e non visibili dall'esterno. La funzione da essi assolta è quella di laminazione (detenzione o ritenzione), a volte può essere previsto il trattamento delle acque.

Superficiale: aree aperte già esistenti o adattate o appositamente sbancate per la laminazione, visibili dall'esterno e almeno in parte destinabili ad altre finalità (agricoltura, fruizione pubblica, paesaggio, ecc.) nei periodi di asciutta. Possono essere aree naturali o artificiali o miste e possono anche integrare la funzione idraulica con la depurazione delle acque invase mediante sistemi vegetati (wetlands, cunette vegetate, filter strips). Scarico anche per infiltrazione.

Strutture superficiali di laminazione

Questo tipo di strutture può essere costituito da aree depresse naturali o appositamente costruite, di estensione e forma tale da garantire un volume di ritenzione pari a quello di progetto. Esse possono essere dotate di scarico di fondo, di scarico di emergenza di superficie, di fondo impermeabile (per particolari condizioni di vulnerabilità dell'acquifero sotterraneo o per altre particolari esigenze o rischio di inquinamento delle acque di drenaggio) o di fondo drenante.

Figura 18 - Schemi di aree di ritenzione/laminazione proposte nei sistemi LID ecc.

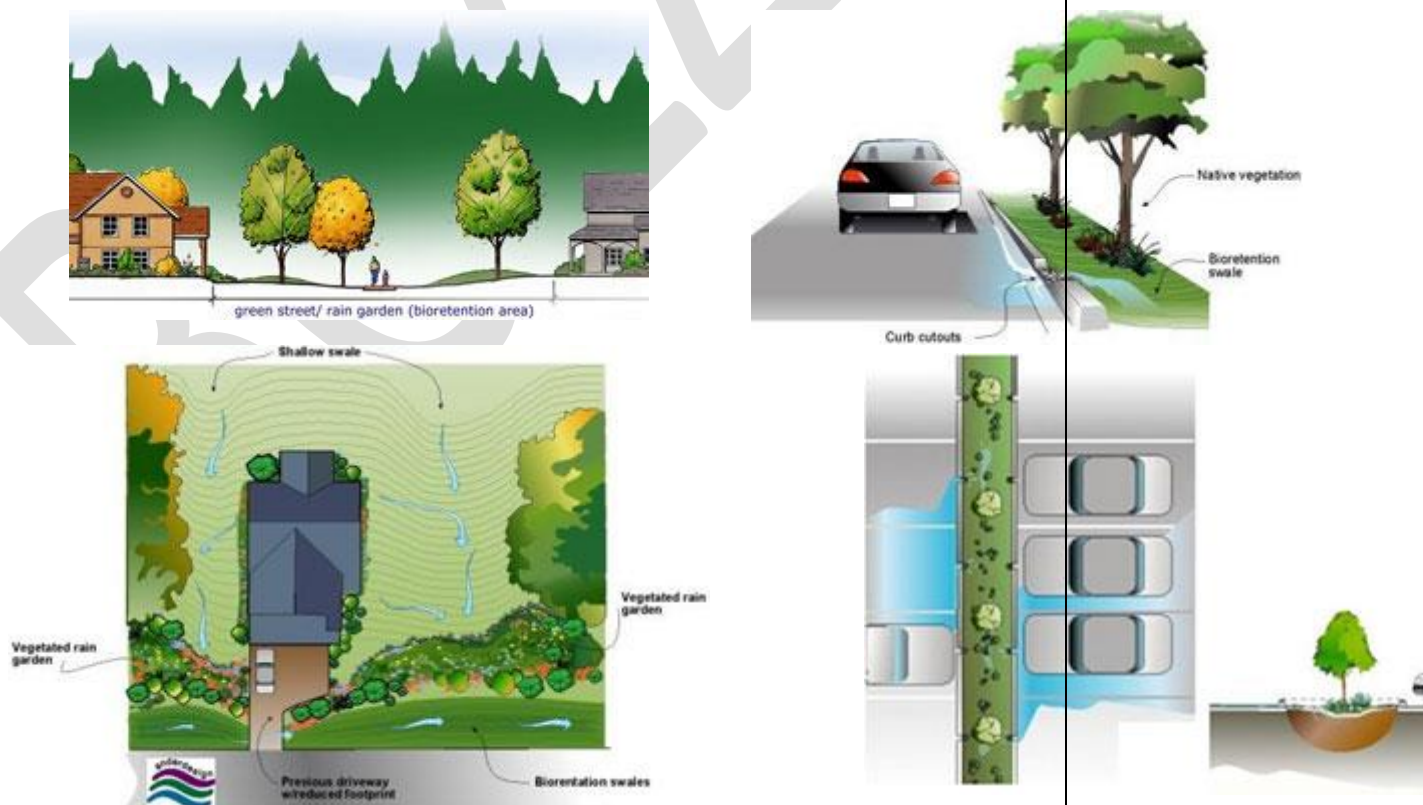
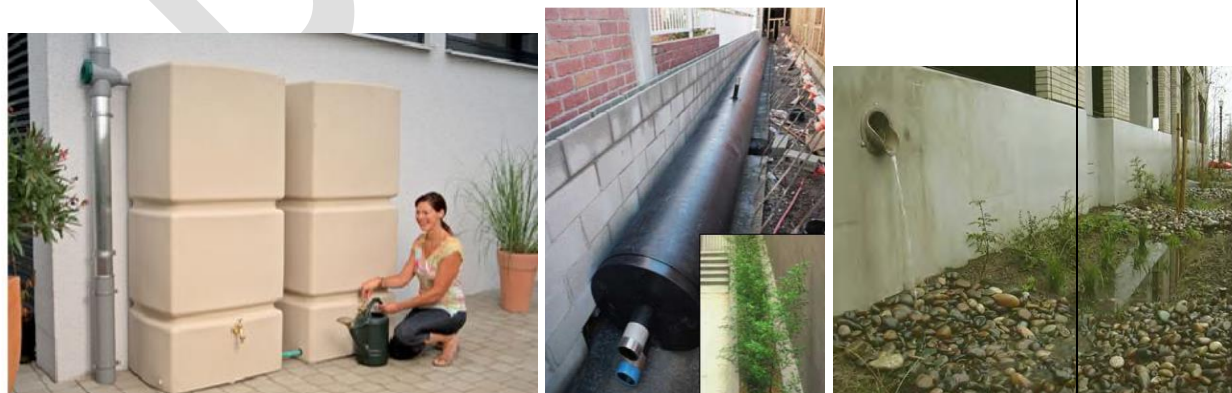


Figura 19 – Esempi di strutture superficiali di laminazione costituite da vasche e canali a cielo aperto



Figura 20 – Esempi di strutture di laminazione fuori terra delle acque dei tetti, strutturabili sia per la sola laminazione sia per il riuso



Strutture sotterranee di laminazione

Questo tipo di strutture può essere costituito da serbatoi o vasche in c.a. o altro materiale, prefabbricate o realizzate in opera, di dimensioni e forme differenti in

funzione del volume, del materiale utilizzato, dell'allocazione, del riutilizzo o meno delle acque.

Nel presente capitolo vengono riportati alcuni schemi applicativi e alcuni esempi relativi a strutture sia "compatte", sia "distribuite" in senso longitudinale. Si configura in questo secondo sistema anche il sovradimensionamento del sistema fognario necessario per il drenaggio di una determinata area, purché fornito da opportuni sistemi per limitare, a valle, la portata scaricata entro i valori massimi imposti.

I componenti di base di una struttura interrata di laminazione sono: una copertura sicura (dimensionata in funzione dei carichi attesi), un sistema di accesso per manutenzione e/o pulizia, un sistema di schermatura per le zanzare e altri animali, un sistema di filtrazione per evitare l'immissione di materiale grossolano (es. foglie o rifiuti), un tubo di troppo pieno (o, comunque, un'uscita controllata), un sistema di gestione delle emergenze (es. alloggiamento pompe). Le caratteristiche supplementari possono includere un indicatore di livello dell'acqua, una trappola di sedimenti, o la possibilità di estendere modularmente il volume di accumulo.

Figura 21 – Esempio di vasca di laminazione sotterranea in c.a.

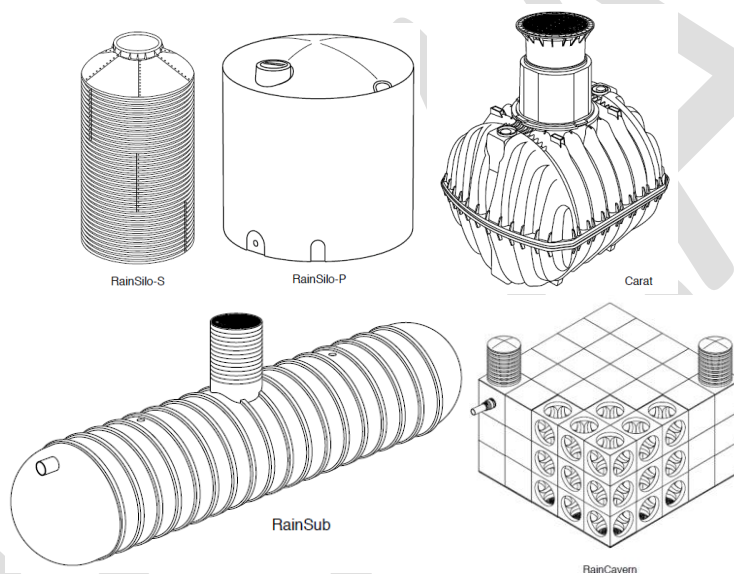


Figura 22 – Esempi di applicazione di vasche di laminazione sotterranee per piccole e medie estensioni, strutturabili sia per la sola laminazione con scarico in sistema di infiltrazione, sia per il riuso (tratte dal sito <http://www.3pttechnik.it/it/home.html>)





Figura 23 – Schemi di serbatoi interrati per piccole, medie e grandi installazioni (dal sito <http://www.conservationtechnology.com>)



Una possibile installazione di strutture sotterranee di infiltrazione/ detenzione prevede l'utilizzo di tubazioni di grande diametro in c.a. o di serbatoi prefabbricati in polietilene. In questo caso la pavimentazione è di tipo tradizionale (impermeabile) e l'alimentazione avviene attraverso caditoie frequentemente corredate da filtri più o meno complessi. Le strutture serbatoio possono essere filtranti ovvero impermeabili garantendo unicamente la detenzione temporanea dei deflussi.

Figura 24 – Esempio di strutture di laminazione costituite da tubazioni sotterranee e sovradimensionamento del sistema di drenaggio delle superfici impermeabili



Gestione e manutenzione delle opere di laminazione

In generale, è fondamentale per il corretto funzionamento degli invasi e per il mantenimento delle caratteristiche iniziali la corretta manutenzione e gestione delle opere strutturali previste. Esse dipenderanno (in termini di cosa fare e quando farlo) dalle caratteristiche proprie delle opere (interrate, superficiali, con infiltrazione, con pompaggio, ecc.).

Per quanto riguarda, in particolare, i sedimenti, occorrerà prevedere adeguati interventi di rimozione dei materiali dal bacino stesso, con modalità differenti in funzione del rischio di inquinamento degli stessi e delle loro caratteristiche.

In generale gli invasi richiedono almeno un'ispezione annuale che ne valuti le condizioni: solitamente un bacino dovrebbe essere ripulito se la profondità dei depositi è maggiore o uguale a un terzo dell'altezza dal fondo del più basso fra le aperture di afflusso e/o afflusso e i condotti presenti. La pulizia può essere effettuata sia manualmente che per mezzo di apparecchiature apposite.

Nel caso di vasche chiuse in calcestruzzo, diversi studi hanno dimostrato che i sistemi più efficaci e meno costosi per la rimozione dei rifiuti sono quelli che sfruttano il flusso dell'acqua ad alta velocità: esistono, a riguardo, differenti tecnologie basate tutte sulla creazione di un getto che dilava i sedimenti dal fondo della vasca, la principale differenza è nella modalità con cui l'acqua necessaria per il lavaggio viene accumulata all'interno della vasca stessa (vedi Figura 21).

3. OPERE DI INFILTRAZIONE

Generalità

Le opere strutturali più diffuse che incentivano lo smaltimento per infiltrazione nel terreno di una parte dei deflussi meteorici sono le seguenti:

- trincee di infiltrazione,
- pozzi drenanti,
- bacini di infiltrazione,
- pavimentazioni permeabili,
- caditoie filtranti

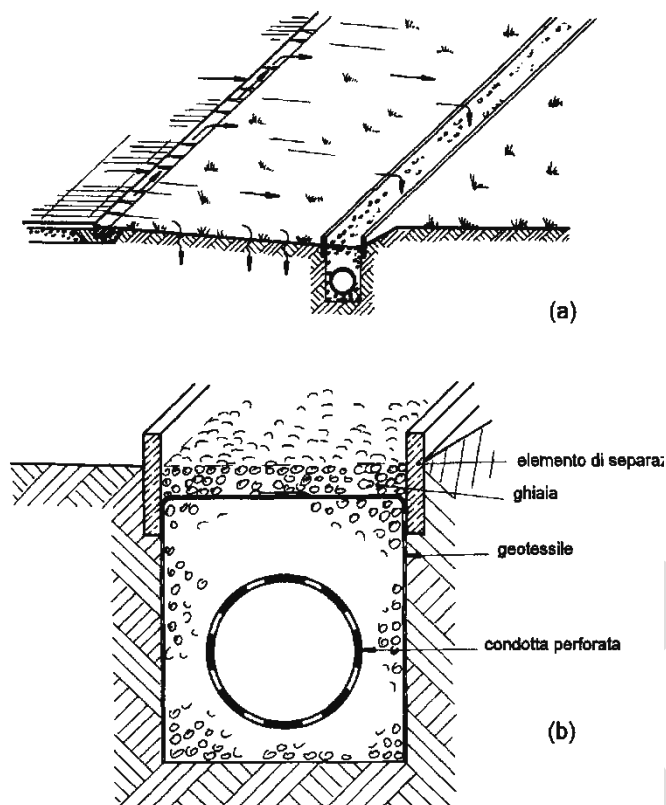
Trincee d'infiltrazione

La trincea d'infiltrazione (Figura 25) può descriversi, schematicamente, come uno scavo lungo e profondo (generalmente la profondità è compresa tra 1 e 3 metri) riempito con materiale ad alta conduttività idraulica, ad esempio ghiaia o ghiaietto. La trincea viene generalmente costruita in corrispondenza di una cunetta ribassata rispetto al terreno da drenare, così che il deflusso superficiale si possa accumulare temporaneamente all'interno della trincea e gradualmente infiltrarsi nel terreno circostante attraverso le superfici laterali e il fondo.

Ogni trincea viene generalmente dotata di una condotta forata centrale, del diametro minimo DN200 mm, che ha la funzione di distribuire omogeneamente le acque lungo tutta la trincea e di condurre le acque non infiltrate alla rete di scarico. Attraverso tale condotta è pure possibile operare interventi di pulizia o manutenzione straordinaria della trincea stessa.

Per mantenere più a lungo possibile le caratteristiche idrauliche della trincea, è sempre opportuno installare a monte delle trincee dei pre-trattamenti per la rimozione del particolato sottile al fine di evitare problemi di ostruzione della struttura.

Figura 25 – Trincea drenante



Le trincee possono essere allocate in superficie o nel sottosuolo: quelle in superficie ricevono il deflusso superficiale direttamente dalle aree adiacenti mentre quelle nel sottosuolo possono ricevere il deflusso da altre reti drenanti, ma richiedono l'utilizzo di ulteriori pre-trattamenti per impedire che particolato grossolano, terreno e foglie occludano la struttura.

In Figura 26 è possibile osservare una tipica trincea d'infiltrazione. Essa è costituita da uno scavo nel quale sono posti tre strati di terreno:

1. il primo, partendo dall'alto, è uno strato che ha buone qualità relativamente alla crescita della vegetazione. Si evidenzia, a proposito, un aspetto molto importante: la vegetazione, nelle trincee e, generalmente, nelle aree di infiltrazione, è fondamentale non solo per garantire l'aspetto estetico, ma anche per la rimozione dei nutrienti e la fitodepurazione delle acque e, non ultimo, perché migliora la permeabilità del suolo;
2. il secondo (opzionale), sabbioso, ha buone caratteristiche filtranti;
3. il terzo è costituito da ghiaia o materiale naturale di elevata permeabilità per l'accumulo temporaneo d'acqua piovana.

I tre strati prima detti sono caratterizzati inoltre dall'aver conduttività idraulica crescente dall'alto verso il basso. Al contorno dello strato di detenzione è, generalmente, collocato un tessuto permeabile (geotessuto) che ostacola l'ingresso delle particelle fini all'interno del sistema.

In superficie si installa uno scarico di troppo pieno munito di pozzo d'osservazione, utile ad allontanare l'acqua in eccesso che provocherebbe inondazione in superficie.

Infine, nella trincea si colloca una condotta verticale forata, avente un diametro di circa 100÷200mm e munita di coperchio in superficie, allo scopo di osservare in ogni momento il livello idrico nello strato di base.

Per quel che riguarda il materiale di riempimento dello strato di base della struttura, può essere convenzionale (es. granito frantumato) ovvero non convenzionale (es. gabbie modulari in materiale plastico che a parità di volume di scavo garantiscono un maggiore volume dei vuoti). Nel primo caso il diametro massimo degli aggregati non deve eccedere i 40÷80 mm, il volume dei vuoti del riempimento deve aggirarsi intorno il 30-40% e l'intero strato di riempimento è circondato da un tessuto filtrante.

La pendenza in superficie della trincea d'infiltrazione deve essere inferiore al 5%, mentre è consigliabile che quella del fondo sia prossima a zero per evitare che il liquido trovi delle traiettorie preferenziali d'infiltrazione.

Tra i vantaggi delle trincee vi sono la possibilità di essere posizionate al di sotto della superficie del terreno (installazione sotto le zone di parcheggio) e la richiesta di spazi ridotti, fatto che le rende idonee alle zone urbane. Tra gli svantaggi vi sono gli elevati costi di costruzione e manutenzione e la possibilità di intasamento.

Figura 26 - Trincea d'infiltrazione (Technical Guidelines for Western Sydney 2004)

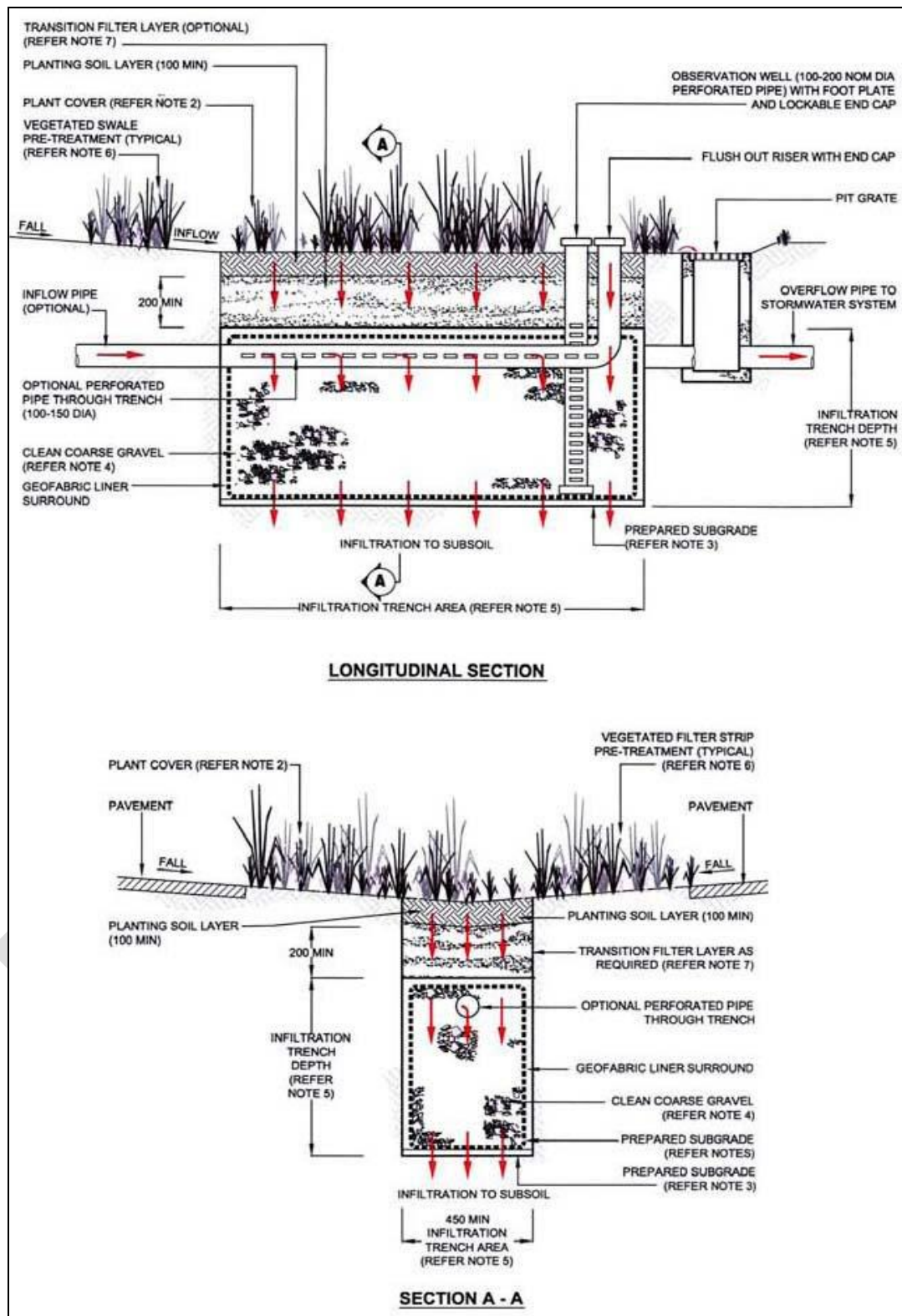


Figura 27 - Opere di infiltrazione [da: Urbonas e Stahre, 1993]

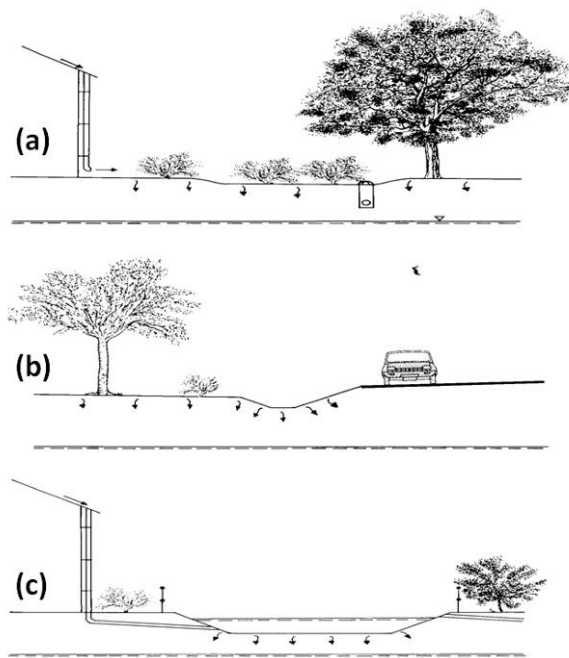


Figura 28 – Esempi di trincee d’infiltrazione



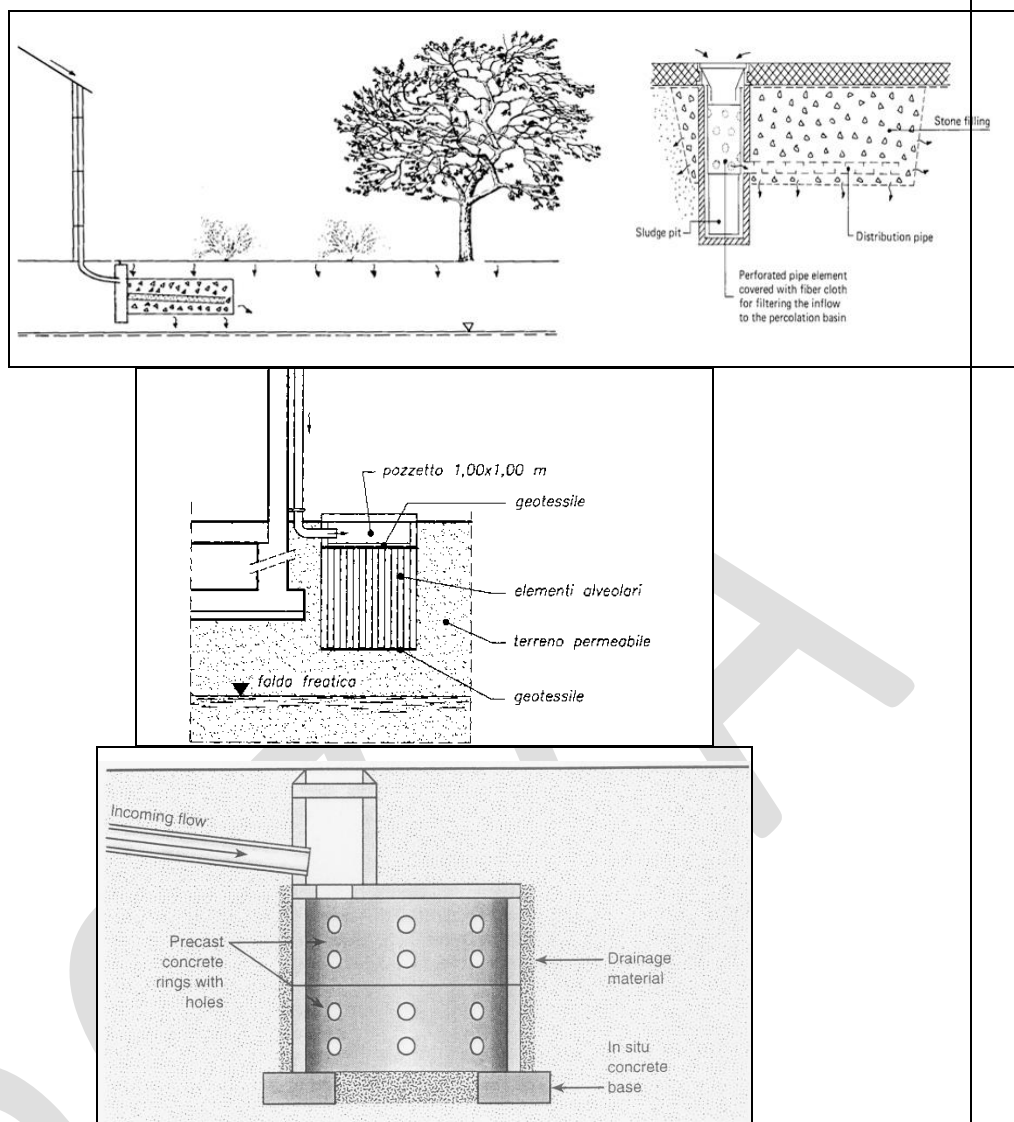
Pozzi d’infiltrazione

I pozzi d’infiltrazione sono strutture sotterranee localizzate, utilizzate principalmente per raccogliere ed infiltrare le acque di pioggia provenienti dai tetti di edifici residenziali e commerciali e/o dai piazzali (mentre, come visto, le trincee di infiltrazione sono preferibilmente utilizzate nelle strutture lineari).

I pluviali, per esempio, possono essere estesi fino al pozzo (Figura 29), che deve essere posizionato a distanza adeguata (almeno 3 metri) dalle fondamenta degli edifici.

La struttura esterna è generalmente prevista in materiale rigido (per esempio in cemento), mentre l’interno viene riempito con materiale inerte (ghiaia) con una porosità di almeno il 30%. I pozzi perdenti sono preferibilmente dotati di ispezione al fine di garantirne la manutenzione e le prestazioni nel tempo.

Figura 29 – Esempi di pozzi d'infiltrazione



Anche per i pozzi d'infiltrazione può essere necessario prevedere l'inserimento di pre-trattamenti per l'intercettazione di sedimenti ed oli che possono ostruire la struttura. È opportuno inserire nelle grondaie dei filtri al fine di intrappolare particelle, foglie ed altri detriti.

Esistono anche in commercio dei piccoli manufatti che si inseriscono nelle grondaie e consentono il transit dell'acqua e l'espulsione delle foglie (Figura 30).

Figura 30 – Esempi di applicazioni per limitare il rischio di intasamento delle strutture di infiltrazione: filtro autopulente, filtro deviatore in linea, griglia per foglie.
(Questi esempi sono tratti, in particolare, dal sito www.3PTechnik.it)



Bacini e vasche d'infiltrazione

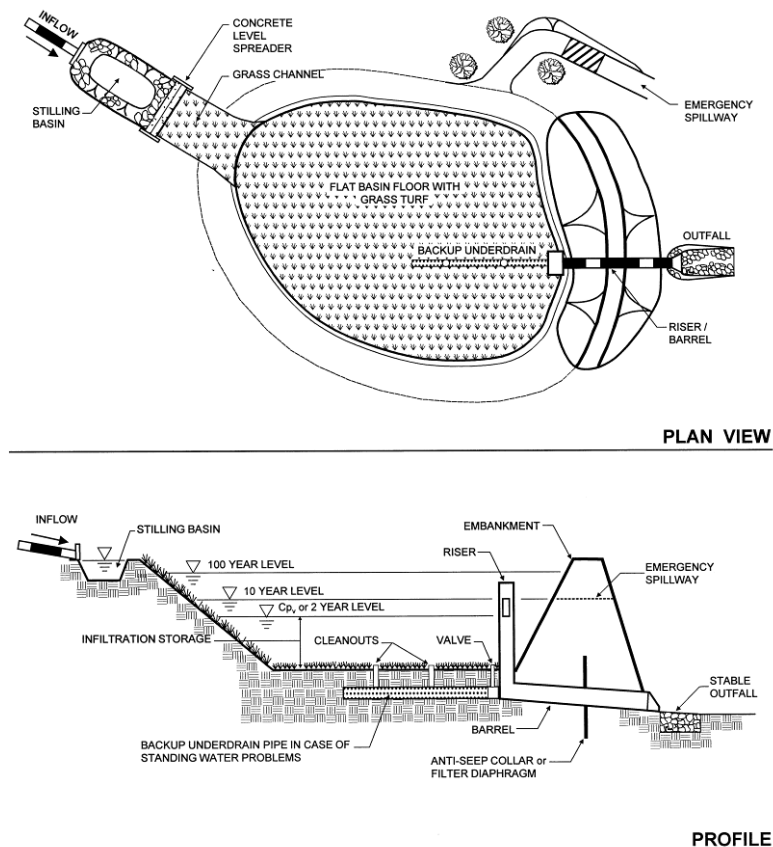
Le vasche e i bacini d'infiltrazione sono invasi a fondo permeabile.

I primi hanno generalmente i muri di contenimento in calcestruzzo e possono essere strutture anche sotterranee, mentre i secondi sono ricavati da depressioni naturali o artificiali nel terreno, quindi sempre a cielo aperto.

In entrambi i casi è indispensabile la formazione di una capacità di accumulo, come volano tra l'idrogramma di piena in arrivo e il regime delle portate infiltrate.

Nei bacini d'infiltrazione, in genere le pareti e il fondo del bacino sono ricoperte da un tappeto erboso, al fine sia di stabilizzare queste aree sia di esercitare un'azione filtrante per rimuovere le sostanze inquinanti presenti nelle acque di pioggia, come nutrienti e metalli disciolti. Inoltre, le radici vegetali possono aumentare la capacità di infiltrazione di un terreno poiché creano nello stesso dei condotti preferenziali in cui l'acqua si infila. Un esempio schematico di un bacino d'infiltrazione è riportato in Figura 31, mentre nella precedente Figura 19 sono riportate alcune immagini di bacini con funzione di laminazione e infiltrazione.

Figura 31 - Schema di un bacino di infiltrazione (Scheuler, 1992)



La profondità del bacino viene calcolata tenendo conto di un tempo massimo di ritenzione dell'acqua nel bacino stesso, usualmente posto inferiore alle 48 ore.

Uno dei problemi principali e delle critiche mosse a queste strutture è il rischio di inquinamento della falda. Se le acque di pioggia contengono elevate quantità di inquinanti, per esempio acque provenienti da siti industriali o da altre superfici suscettibili di inquinamento, i bacini d'infiltrazione non dovrebbero essere utilizzati, oppure dovrebbero essere preceduti da opportuni pre-trattamenti (come filtri o disoleatori). In ogni caso, è opportuno collocare il fondo del bacino a distanza di sicurezza dal livello massimo della falda. Devono, inoltre, essere rispettati i vincoli di rispetto delle aree di salvaguardia (pozzi, aree di ricarica della falda, ecc.) indicati nella normativa.

Anche con riferimento alle strutture (edifici) esistenti o in progetto, è bene collocare il bacino a distanza di sicurezza (indicativamente almeno pari ad un rapporto pari 1:1 tra la distanza dal piano seminterrato o interrato dell'edificio più vicino e il dislivello tra fondo vasca e quota dello stesso piano), per evitare problemi di infiltrazioni e conseguenti danni ai materiali.

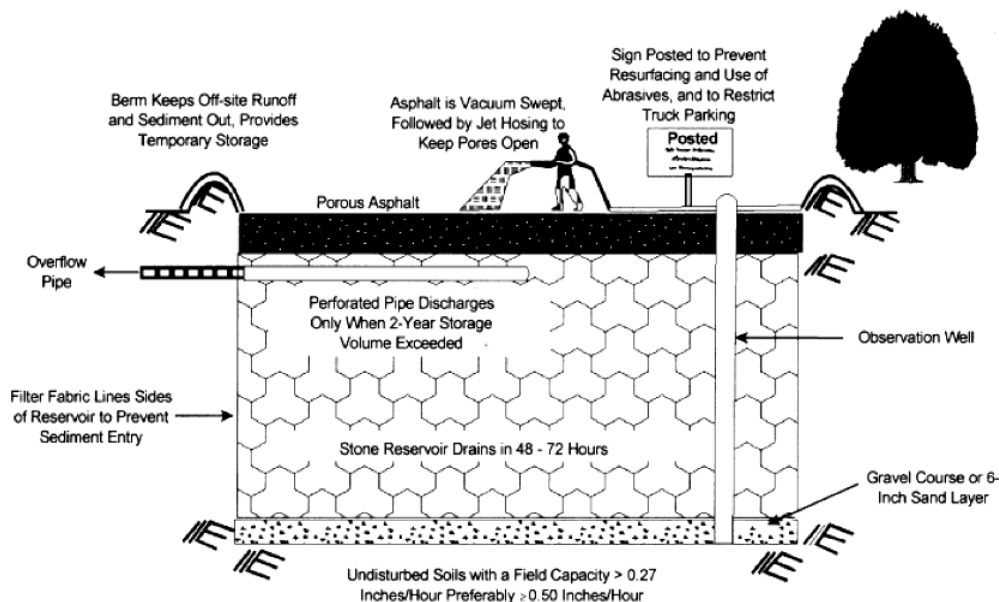
Tra i rischi di errato dimensionamento o mancanza di manutenzione di queste strutture, vi è la possibilità di mal funzionamento dovuto a terreno inadatto o ad intasamento, che possono portare a produzione di cattivi odori e al proliferare di insetti (zanzare, moscerini).

Per quanto riguarda la manutenzione, occorre provvedere alla rimozione regolare di foglie e detriti e nel prevedere una frequente potatura delle piante, degli arbusti e della vegetazione in genere. Occorre inoltre prevedere ogni 5÷10 anni di dissodare il terreno, in modo da rinnovarne lo strato superficiale.

Pavimentazioni permeabili

Le pavimentazioni permeabili sono una valida alternativa ai convenzionali lastricati di marciapiedi o zone pedonali che si propone di aumentare la permeabilità delle superfici e, conseguentemente, di minimizzare il deflusso superficiale (Figura 32).

Figura 32 - Schema di una pavimentazione permeabile (US EPA, 1998)



Esistono due tipi di pavimentazioni permeabili: porose e permeabili.

Figura 33 – Esempi di pavimentazione porosa



I materiali utilizzati per le pavimentazioni porose possono essere: asfalto poroso e calcestruzzo poroso. La pavimentazione in asfalto poroso consiste in materiale inerte grossolano legato con cemento, con un sufficiente grado di vuoti comunicanti, che lo rendono molto permeabile all'acqua. Il calcestruzzo poroso è composto da una miscela costituita da cemento Portland, materiale inerte grossolano e acqua.

Le pavimentazioni permeabili sono realizzate usando elementi prefabbricati che permettono l'immediata infiltrazione di acqua di pioggia nella struttura sottostante la superficie. Un esempio sono i blocchi di calcestruzzo ed erba che formano una griglia di vuoti circondati da calcestruzzo compresso e offrono uno spazio di circa l'80% della superficie complessiva per far crescere l'erba e far infiltrare l'acqua.

Il vantaggio che le pavimentazioni permeabili presentano rispetto alle porose è in fase di ricostruzione per perdita di funzionalità. I mattoni o moduli permeabili sono rimossi, puliti e riutilizzati, riducendo così i costi di ricostruzione, invece l'asfalto è rimosso e non

più utilizzabile. Sempre in fase di rifacimento il letto di ghiaia e il tessuto filtrante sono sostituiti, mentre lo strato di base è ripristinato.

Le pavimentazioni permeabili sono collocate sopra una struttura riempita di ghiaia molto permeabile in modo che i vuoti fungano da bacino di accumulo del deflusso. Un filtro in tessuto è posto sotto il riempimento, in modo da evitare che le sottili particelle di terreno entrino nella struttura provocandone l'ostruzione.

In ogni caso le pavimentazioni porose e permeabili possono essere sagomate in modo da consentire la raccolta e laminazione anche parziale delle acque, prima dell'immissione nel sistema di drenaggio.

Figura 34 - Elementi modulari prefabbricati in calcestruzzo per pavimentazioni erbose (ASSOBETON, Associazione Nazionale Industrie Manifatti in Calcestruzzo Sezione Blocchi e Pavimenti)

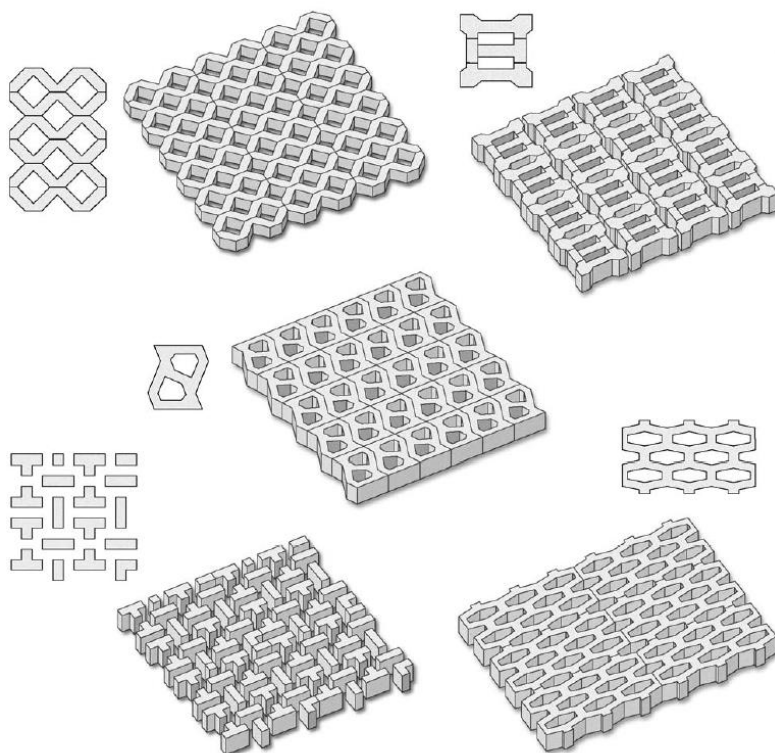


Figura 35 - Esempi di pavimentazioni permeabili

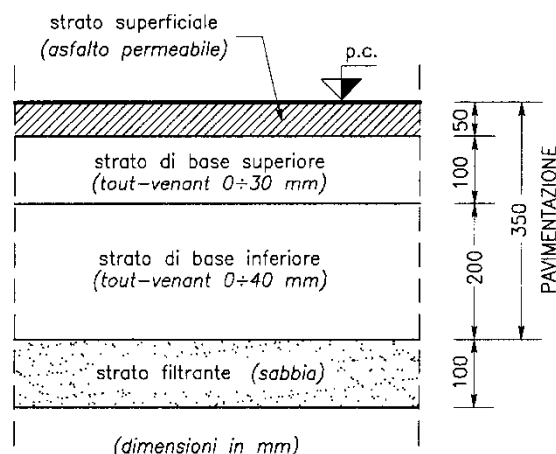


Nel progettare questo tipo di strutture è necessario considerare una serie di fattori come l'efficienza, l'impatto inquinante sul corpo ricettore e la localizzazione di siti adatti.

Bisogna sottolineare che l'efficienza di una pavimentazione permeabile dipende, oltre che dalla corretta esecuzione e manutenzione dello strato più superficiale, dalla tipologia adottata per gli strati sottostanti, posti fra quello più superficiale e il terreno di base. A sua volta, tale tipologia dipende dalla natura del sottosuolo: risulta infatti chiaro che, qualora questo possieda già buone caratteristiche drenanti, tali strati hanno solo la funzione di vettori delle portate infiltrate e di eventuale filtro nei confronti degli inquinanti da queste veicolate; invece, qualora non sussistano le garanzie di permeabilità del sottosuolo, l'intera pavimentazione assume un ruolo di accumulo, anche se temporaneo, delle acque infiltrate, che vengono gradualmente restituite al sistema drenante di cui la pavimentazione deve essere dotata e che è direttamente collegato al ricettore.

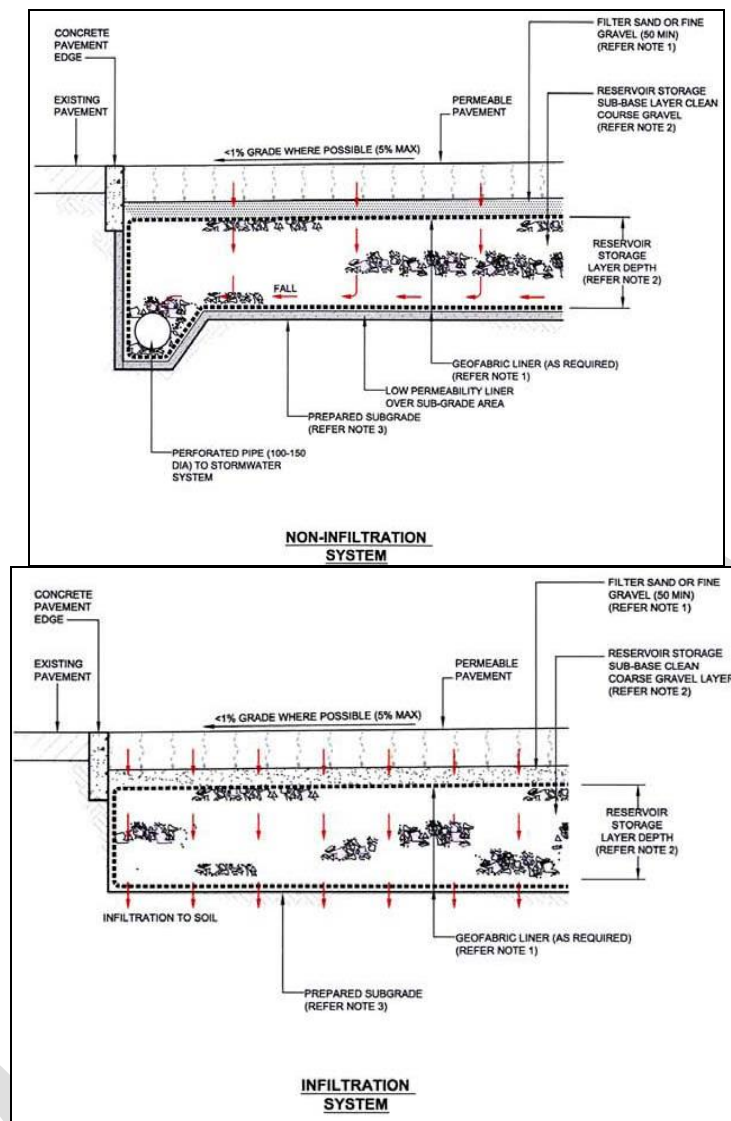
Nella seguente Figura 36, è riportato uno schema di pavimentazione permeabile: da essa si rileva chiaramente l'obiettivo di garantire una sufficiente permeabilità della pavimentazione stessa, grazie a due strati in ghiaia o pietrisco di pezzatura non superiore a 30÷40 mm, oltre che di proteggere il sottosuolo dalla filtrazione di inquinanti, mediante lo strato di sabbia (Watanabe, 1995).

Figura 36 – Esempio di pavimentazione porosa



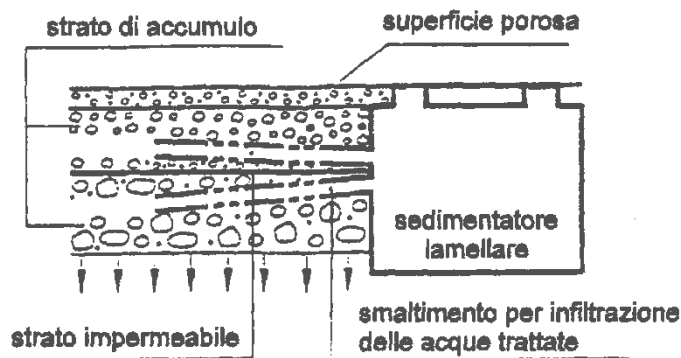
Invece nella seguente Figura 37 vengono riportati due schemi di pavimentazioni drenanti con due differenti "strutture a serbatoio", dimensionate al fine di garantire una prefissata capacità di accumulo. la prima struttura prevede uno scarico solamente mediante la rete di drenaggio, la seconda prevede l'infiltrazione. Oltre ai materiali tradizionali (sabbia, ghiaia), possono essere utilizzati anche quelli sintetici, caratterizzati da una percentuale di vuoti superiore al 90%, grazie alla particolare forma a nido d'ape (Balades e altri, 1995).

Figura 37 – Schema di pavimentazioni drenanti con due diversi tipi di drenaggio (Technical Guidelines for Western Sydney 2004)



Nel caso in cui si voglia proteggere il sottosuolo dalla propagazione di inquinanti, e in particolar modo dai pericoli di occlusione prodotta dalla presenza di eccessive concentrazioni di solidi sospesi nelle acque infiltrate, si può ricorrere alla realizzazione di due strutture serbatoio sovrastanti, in comunicazione mediante due sistemi di dreni collegati da un bacino di sedimentazione, attraverso il quale le acque devono obbligatoriamente passare per raggiungere il serbatoio sottostante (Figura 38) (Balades e altri, 1991).

Figura 38 - Esempio di strutture serbatoio con pretrattamento delle acque a monte dell'infiltrazione nel suolo (Balades e altri, 1991)



Indagini su campo eseguite in Florida hanno evidenziato che le pavimentazioni filtranti utilizzate nelle aree di parcheggio, se correttamente installate e controllate, continuano ad infiltrare le acque piovane anche dopo 15 anni.

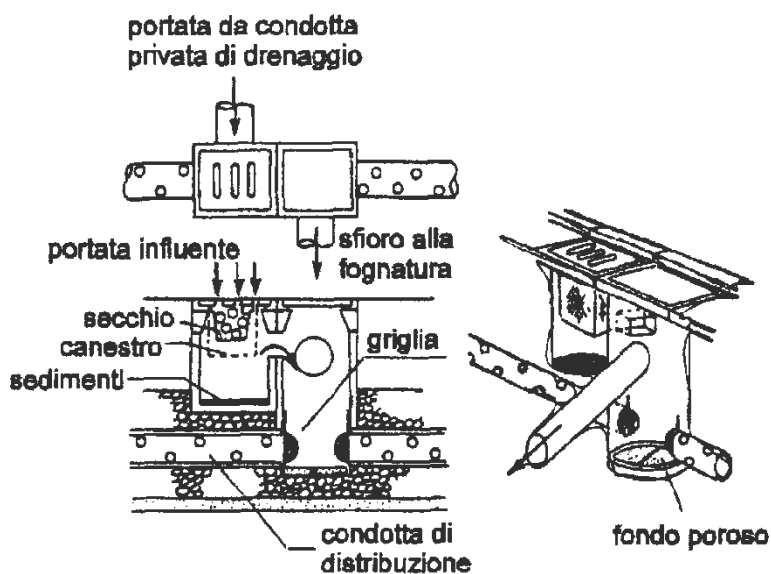
Caditoie filtranti

Attraverso l'utilizzo delle caditoie filtranti si cerca di facilitare l'infiltrazione nel suolo delle acque di origine meteorica che si raccolgono sui tetti o sulle superfici stradali (Figura 39).

Le acque accumulate lungo le cunette stradali sono scaricate in caditoie munite di una prima camera finalizzata alla separazione dei solidi grossolani (foglie e inerti); successivamente, le acque passano in una seconda camera, munita di fondo drenante, da cui si diparte la trincea drenante.

L'ingresso in questa è protetto da una griglia, al fine di evitare pericoli di occlusione; anche in questo caso, un tubo centrale consente l'avvio delle acque in fognatura, qualora venga superata la capacità d'infiltrazione del sistema, evitando così il pericolo di allagamenti superficiali. La manutenzione di tali strutture consiste nella rimozione dei materiali grigliati o sedimentati alcune volte l'anno.

Figura 39 - Esempio di caditoia utilizzata per lo smaltimento delle acque provenienti da superfici stradali (Fujita, 1994)



In relazione al dimensionamento delle caditoie si può fare riferimento agli stessi metodi validi per le trincee drenanti.

4. OPERE DI COMPENSAZIONE IDROLOGICA: TETTI E PARETI VERDI

Il verde pensile e le pareti verdi si inseriscono a pieno titolo tra gli strumenti di mitigazione e compensazione ambientale, presentando le seguenti utilità:

- riduzione e controllo degli afflussi ai sistemi di drenaggio mediante la ritenzione e la detenzione delle acque meteoriche;
- permettono di contenere l'aumento delle temperature, attraverso l'evapotraspirazione e l'assorbimento della radiazione solare incidente
- abbattano considerevolmente il ricircolo delle polveri inquinanti, mediante la capacità di assorbimento e trattenuta delle stesse
- preservano la biodiversità grazie alla creazione di nuovi ambienti di vita per animali e piante;
- mitigano l'inquinamento acustico con la riduzione della riflessione del suono all'esterno e della diffusione all'interno;
- simulano i processi del ciclo dell'acqua, tramite la ritenzione (immagazzinamento e dispersione) del volume di pioggia.

Le diverse tecnologie attualmente impiegate per la realizzazione dei tetti verdi e, in generale, del verde pensile, devono riprodurre, in linea di principio, una stratificazione composta da diversi elementi, oltre all'elemento di supporto strutturale (soletta, copertura) e all'elemento di tenuta (impermeabilizzazione) che rappresentano la superficie di posa per il verde pensile. Vengono, infatti, generalmente impiegati i seguenti elementi:

1. strato antiradice (integrato o meno) e strato d'accumulo e protezione meccanica;
2. strato drenante;
3. strato filtrante;
4. substrato di vegetazione;
5. accessori (per il drenaggio e l'irrigazione);
6. vegetazione.

Figura 40 - Tecniche costruttive convenzionali di tetto verde estensivo (tratti dall'articolo Green Roofs as Urban Ecosystems: Ecological Structures, Functions, and Services, pubblicato sul sito <http://www.bioone.org> dell'American Institute of Biological Sciences). (a) Impianti completi: ogni componente, compresa la membrana del tetto, viene installato come parte integrante del tetto. (b) Impianti modulari: vassoi di vegetazione coltivata ex situ vengono installati al di sopra del sistema di copertura esistente. (c) strati di vegetazione precoltivata: il terreno di coltura, le piante, stuoie di drenaggio, e le barriere vengono srotolate sulla copertura esistente. Grafica: Jeremy Lundholm

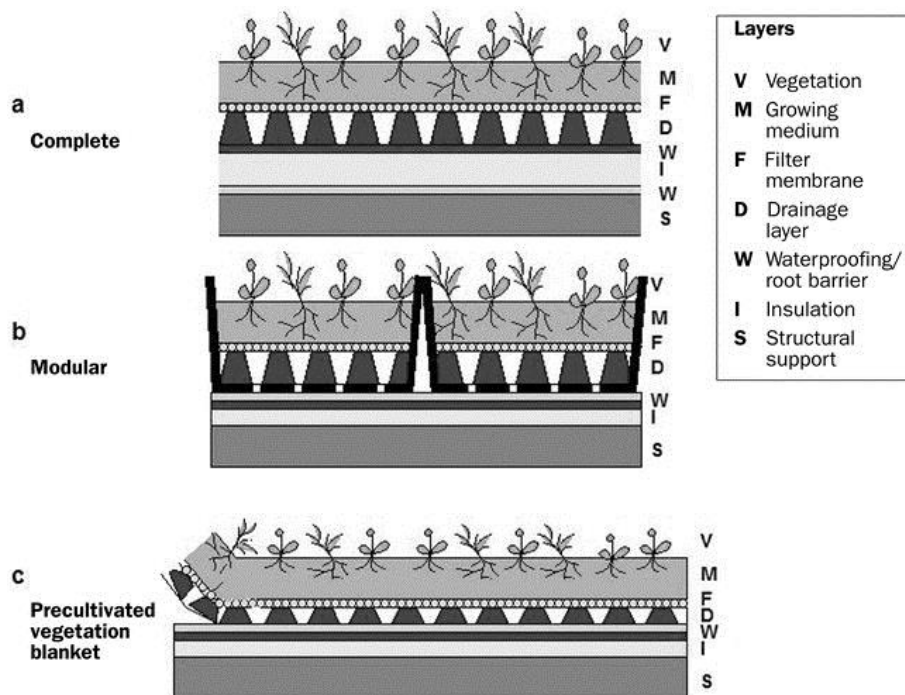


Figura 41 – Schema della composizione di un tetto verde (da Palla et al, Università di Genova, in atti del corso di aggiornamento Stadium tenuto dal Politecnico di Milano – Marzo 2012)

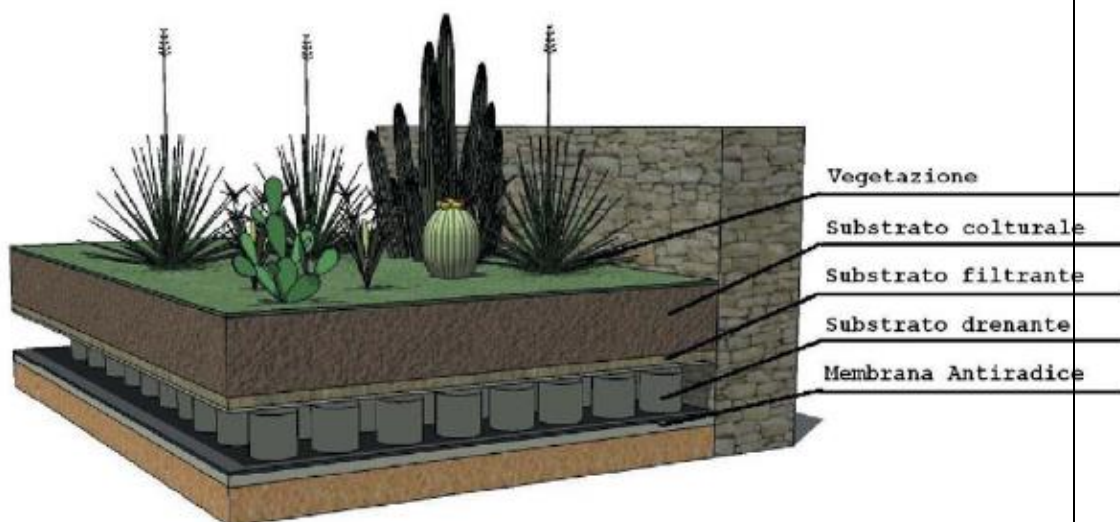


Figura 42 - Esempio pratico di tecnica costruttiva di tetto verde/ verde pensile

Le esperienze effettuate su molteplici siti pilota, ad esempio quelle effettuate presso l'Università di Genova, indicano che le prestazioni idrauliche di una copertura verde sono molto influenzate dalle condizioni meteo climatiche in cui avviene la precipitazione, comportando comunque riduzioni significative sia dei volumi idrici scaricati sia delle portate di picco degli idrogrammi per effetto della volatilizzazione esercitata dal volume idrico contenuto nel substrato dell'apparato sia del consumo per evapotraspirazione dell'acqua di imbibizione del medesimo.

Alcune indicazioni tecniche possono essere ricavate dal sito dell'EPA (United States Environmental Protection Agency), agenzia governativa statunitense per la protezione dell'ambiente, il cui sito internet risulta molto esaustivo e utile (www.epa.gov), anche in base alla lunga esperienza in termini di utilizzo di sistemi LID.

Nel sito sono presenti anche utili riferimenti a studi condotti in merito all'efficienza dei tetti. Si riportano qui, in particolare, le conclusioni del seguente studio pubblicato dall'EPA: EPA/600/R-09/026 February, 2009 (Il lavoro è stato svolto dal Penn State Green Roof Center of The Pennsylvania State University at University Park, PA)

Questo progetto ha valutato i tetti verdi come strumento di gestione delle acque piovane, in termini di riduzione del volume scaricato e del controllo degli inquinanti. In particolare, sono stati confrontati: la quantità e la qualità del deflusso dai tetti verdi e asfaltati pianeggianti; l'evapotraspirazione da tetti verdi piantumati e l'evaporazione da tetti spogli. Sono stati studiati l'influenza del tipo e dello spessore del supporto e l'effetto dei periodi asciutti (e secchi) durante l'impianto del sistema verde, sullo sviluppo delle piante e sulla gestione a lungo termine del pH dei supporti. L'obiettivo del progetto era quello di fornire dati di alta qualità che possano essere utilizzati per fornire indicazioni attendibili di volumi di deflusso e di carichi prevedibili dai tetti verdi, oltre a valutare i fattori di impatto sulla crescita e lo sviluppo delle piante. I risultati indicano che i tetti verdi sono in grado di rimuovere il 50% del volume annuale delle precipitazioni da un tetto attraverso la conservazione e l'evapotraspirazione. La rimanente parte di precipitazione deve essere trattenuta mediante una laminazione. Naturalmente ogni precipitazione reale può generare effetti molto variabili in funzione delle sue caratteristiche in termini di durata, intensità, nonché in funzione dello stato del supporto all'inizio del fenomeno. Si sottolinea anche il fatto che il deflusso dal tetto verde contiene concentrazioni non trascurabili di alcune sostanze nutritive e di altri parametri, ma i valori riscontrati sono in linea con altri sistemi piantumati.

Un'altra fonte (Figura 43) mostra di fatto lo stesso ordine di grandezza di efficacia del verde pensile in termini di laminazione delle acque meteoriche.

Figura 43 - Confronto tra la capacità di regimazione idrica di una copertura con zavorrata in ghiaia e una copertura a verde pensile estensivo con spessore del substrato di 10 cm (Germania)

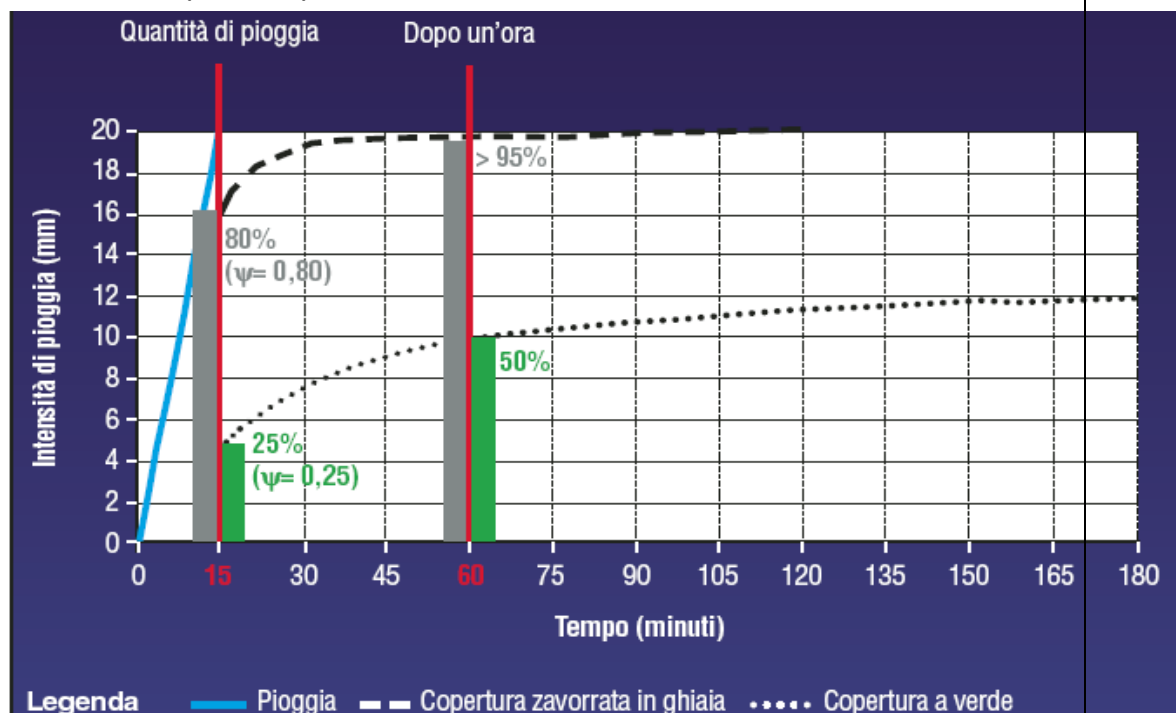


Figura 44 - Esempi di applicazione di verde pensile orizzontale e inclinato



5. OPERE DI SCARICO E MANUFATTI DI CONTROLLO

Il manufatto idraulico per la regolazione e restituzione alla fognatura o al corpo idrico ricevente della portata di acque meteoriche ammessa al recapito dovrà essere costituito da pozzetto a doppia camera, tale da consentire l'ispezionabilità dello scarico e la misura delle portate scaricate e delle tubazioni di collegamento con il ricettore. Gli schemi riportati in Allegato I possono essere un utile riferimento tecnico.

Sarà opportuno, per le installazioni relative a piccole estensioni e per le quali, quindi, risulta più problematico garantire contemporaneamente una ridotta portata di deflusso

e la garanzia di non ostruzione della tubazione di scarico, installare, in corrispondenza dello scarico, opportuni sistemi di regolazione di portata a luce variabile (Figura 45) o i regolatori di portata a vortice (Figura 46).

Il loro scopo è quello di mantenere la portata in uscita il più possibile costante al variare del carico idraulico. Generalmente sono bocche a battente con paratoie regolabili, con imbocco mobile o deformabile.

Figura 45 - Sistemi di regolazione di portata a luce variabile per la gestione delle portate scaricate dalle opere di laminazione

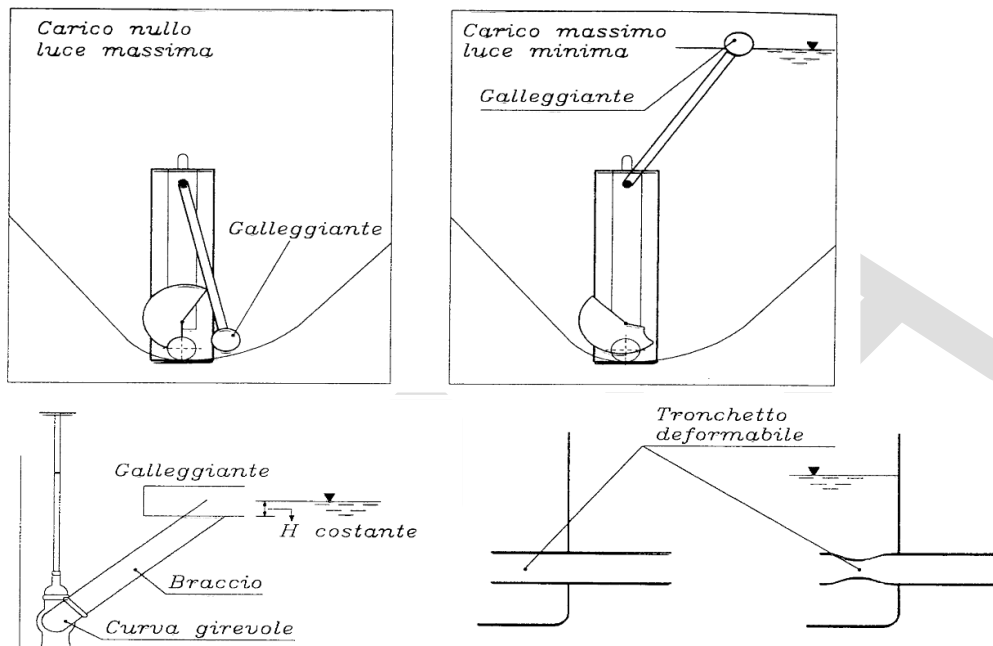
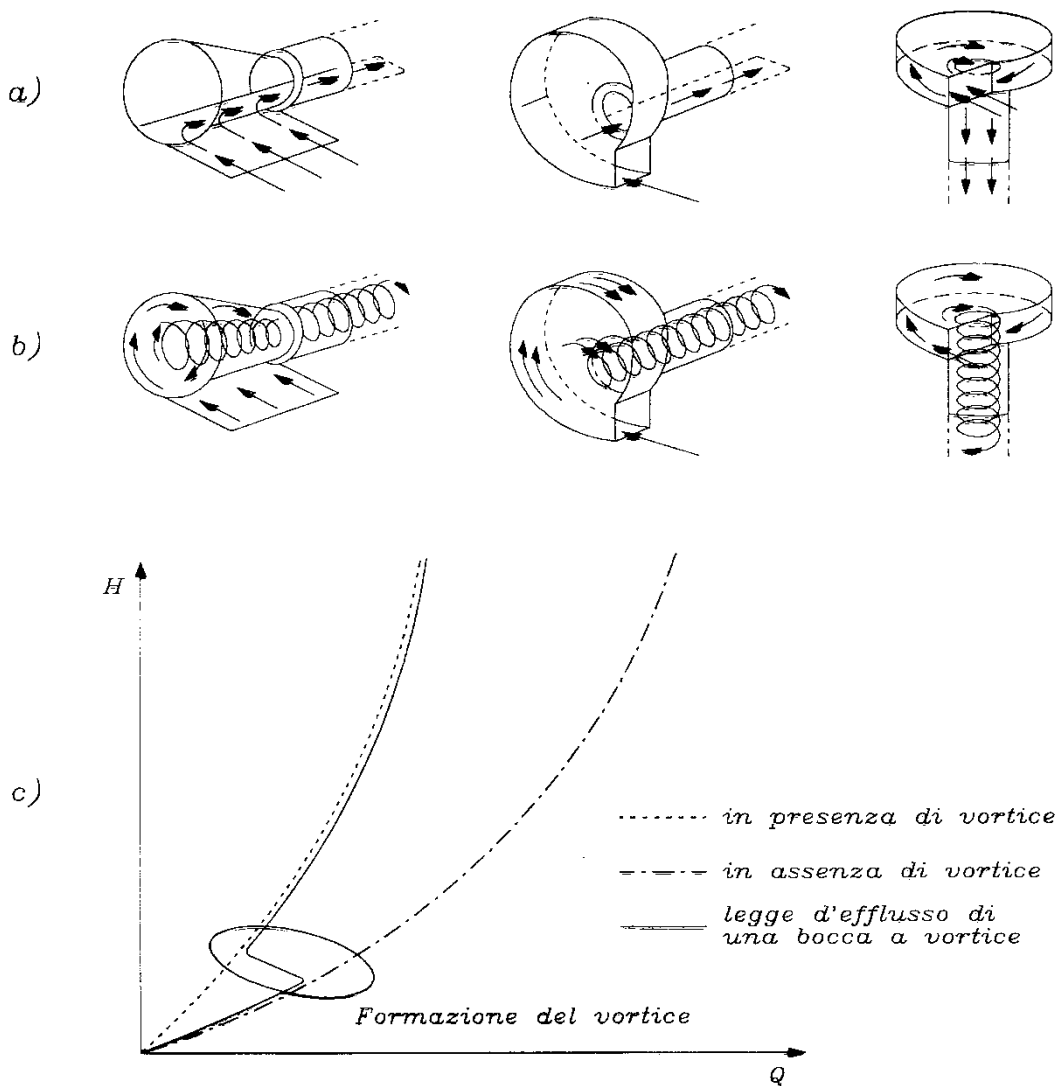


Figura 46 - Regolatori di portata a vortice



Essi vengono chiamati anche hydrobrake o vortex amplifier nella terminologia anglosassone. Possono essere a due o a tre vie. Il moto vorticoso riduce sensibilmente il coefficiente d'efflusso a valori prossimi a $(0.2 \div 0.3)$. La loro installazione consente di mantenere le luci di efflusso più ampie, quindi meno intasabili, e di garantire l'autopulizia dello scarico per effetto del vortice.

Infine, qualora fosse temibile il rigurgito dal ricettore, risulta opportuno installare sull'uscita una valvola di non ritorno o ventilabro, a protezione degli invasi propri, a salvaguardia dalla intromissione di acque parassite per il sistema acque meteoriche.