



**BrianzAcque S.r.l.**  
Viale E. Fermi 105  
20900 Monza (MB)  
p.IVA 03988240960

tel 039 262.30.1  
fax 039 214.00.74  
cap. soc. € 126.883.498,98 i.v.

[brianzacque@legalmail.it](mailto:brianzacque@legalmail.it)  
[informazioni@brianzacque.it](mailto:informazioni@brianzacque.it)  
[www.brianzacque.it](http://www.brianzacque.it)

## COMUNI VARI

PROVINCIA DI MONZA E DELLA BRIANZA

progetto:

### STUDIO COMUNALE DI GESTIONE DEL RISCHIO IDRAULICO R.R. 23 NOV. 2017 N.7 - art. 14 c.7

titolo elaborato:

#### APPENDICE 1 - MISURE NON STRUTTURALI PER LA MITIGAZIONE DEL RISCHIO



**Settore Progettazione e  
Pianificazione Territoriale**  
via G. Mazzini, 41 - 20871 Vimercate (MB)  
tel. 039.6859680 prog-brianzacque@legalmail.it

timbro:

Dirigente:

**Dott. Ing. Massimiliano Ferazzini**

Documento informatico firmato digitalmente ai sensi del T.U. 445/2000 e del D.Lgs 82/2005 e rispettive norme collegate

cod.commissa:

**FOTC192543**

supporto di

**UNIVERISTA' DEGLI STUDI DI BRESCIA - DICATAM**

Documento informatico firmato digitalmente ai sensi del T.U. 445/2000 e del D.Lgs 82/2005 e rispettive norme

scala:

data:

**Maggio 2020**

tavola n.

4					
3					
2					
1	05-2020	Prima emissione	UNIBS	DB	MFe
0	11-2019	Emissione bozza	UNIBS	DB	MFe
rev.	data	note	redatto	resp. progetto	resp. settore progett.
				controlli/approvazioni	

## **APPENDICE 1**

# **Misure non strutturali per la mitigazione del rischio**

*a cura dell'Università degli Studi di Brescia*

## SOMMARIO

1. PREMESSA.....	3
2. INTERVENTI DI MIGLIORAMENTO DEL DRENAGGIO LOCALE .....	7
3. DIFESE PASSIVE FISSE E/O ATTIVABILI IN TEMPO REALE A DIFESA DI AMBIENTI SOTTERRANEI E/O ALLAGABILI .....	8
4. WET FLOODPROOFING .....	15
5. DRY FLOODPROOFING .....	17
6. SISTEMI DI ALLARME ALLUVIONALE .....	19
7. ACQUISIZIONE E/O RILOCAZIONE .....	20
8. PIANI DI PROTEZIONE CIVILE.....	21
8.1 SISTEMI DI MONITORAGGIO E ALLERTE .....	26
8.2 NORME DI BUONA TECNICA.....	26
9. L'ESEMPIO DEL NATIONAL FLOOD INSURANCE PROGRAM (NFIP) DEGLI STATI UNITI .....	29
10. PAVIMENTAZIONI PERMEABILI CONTINUE .....	31
11. DISCONNESSIONE DEI PLUVIALI DALLA RETE MISTA, RACCOLTA E RIUSO DELLE ACQUE DI PIOGGIA.....	38
12. UN ESEMPIO DI MITIGAZIONE DEL RISCHIO A SCALA LOCALE .....	40
13. BIBLIOGRAFIA.....	43

## **1. PREMESSA**

La definizione di rischio, prodotto della pericolosità, dell'esposizione e della vulnerabilità degli elementi a rischio, evidenzia come si possa agire nel senso della riduzione del rischio diminuendo la vulnerabilità dell'elemento esposto nei confronti di un evento alluvionale. Questa definizione suggerisce quindi l'introduzione di accorgimenti finalizzati non a impedire l'esondazione ma a limitarne a scala locale gli effetti dannosi in occasione di un evento alluvionale. Tali accorgimenti sono in parte tecnico-costruttivi, in parte normativi, e in parte connessi ad interventi da attuarsi a protezione dei beni esposti in corso d'evento.

A tale proposito, nel Regolamento Regionale 23 novembre 2017, n. 7, aggiornato ai sensi dei Regolamenti 29 giugno 2018, n. 7 e 19 aprile 2019 n. 8 si accenna in più punti all'introduzione di misure locali, definite non strutturali, di protezione idraulica dei beni insediati. In maniera esplicita, all'Art. 11, il regolamento precisa in merito alla Metodologia di calcolo delle misure di Invarianza Idraulica ed Idrologica che devono comunque essere valutate le condizioni locali di rischio di allagamento residuo per eventi di tempo di ritorno di  $T = 100$  anni, onde evitare che si determinino esondazioni che arrechino danni a persone o a cose. Sulla base del medesimo tempo di ritorno si devono verificare eventuali ulteriori misure locali anche non strutturali di protezione idraulica dei beni insediati, quali barriere e paratoie fisse o rimovibili a difesa di ambienti sotterranei e cunette di drenaggio verso recapiti non pericolosi. Inoltre, sempre nel medesimo articolo e con riferimento al tempo di svuotamento degli invasi di laminazione, qualora non si riesca a rispettare il termine di 48 ore, per considerare l'eventualità che una seconda precipitazione possa avvenire in condizioni di parziale pre-riempimento degli invasi, si deve valutare il rischio sui beni insediati e prevedere misure locali anche non strutturali di protezione idraulica dei beni stessi.

All'Art. 14, comma 3, il Regolamento precisa inoltre che sia lo Studio comunale di Gestione del Rischio Idraulico che il Documento Semplificato del Rischio Idraulico comunale devono contenere, oltre alla rappresentazione delle condizioni di rischio idraulico presenti nel territorio comunale, le conseguenti misure strutturali e non strutturali atte al controllo e possibilmente alla riduzione delle suddette condizioni di rischio. Queste ultime devono anche essere recepite negli strumenti comunali di competenza, quali i piani di emergenza comunale.

Con il termine di misure di mitigazione si possono intendere misure atte alla riduzione delle condizioni di rischio, quali le difese passive costituite da barriere e paratoie fisse o rimovibili, eventualmente attivabili in tempo reale, a difesa di ambienti sotterranei; si possono però anche intendere misure

normative quali l'incentivazione dell'estensione delle misure di Invarianza Idraulica ed Idrologica anche sul tessuto edilizio esistente o l'imposizione di norme del regolamento edilizio che, ad esempio, impongano la realizzazione di una nuova struttura ad un'elevazione che sia almeno uguale o maggiore dell'elevazione raggiunta da inondazioni a fissato tempo di ritorno (generalmente 100 anni); la definizione di una corretta gestione delle aree agricole per l'ottimizzazione della capacità di trattenuta delle acque da parte del terreno; si può infine intendere le misure operative di protezione civile da mettere in atto in corso d'evento. Oltre ad essere molto efficaci per la riduzione del rischio di alluvione a breve e a lungo termine, le misure di mitigazione possono essere molto convenienti rispetto alle misure strutturali, essendo anche sostenibili nel lungo periodo con costi minimi per funzionamento, manutenzione, riparazione e sostituzione.

Il tema è da diversi anni oggetto di attente analisi nel mondo anglosassone e negli Stati Uniti migliaia di strutture sono soggette a riduzione del rischio e dei danni dovuti all'attuazione per mezzo di misure non strutturali. A titolo di esempio si mostra in Figura 1 la copertina della pubblicazione 551 della FEMA (Federal Emergency Management Agency), l'Ente federale per la gestione delle emergenze degli Stati Uniti d'America, facente parte del Dipartimento della Sicurezza Interna degli Stati Uniti d'America, che svolge funzione di protezione civile. Gli utenti ideali di questa pubblicazione sono funzionari statali e locali con la responsabilità di ridurre o eliminare il rischio dovuto a inondazioni, collaborando con i proprietari degli immobili nella attuazione di "progetti di mitigazione". Le misure di mitigazione esplorate nel manuale riguardano la realizzazione di barriere, il miglioramento del drenaggio locale, il "Wet e il Dry Floodproofing", l'elevazione, la rilocazione e l'acquisizione. In maniera estremamente significativa, in copertina viene mostrato il risultato di un intervento di *floodproofing* condotto nel 2001 in Michigan. In questo caso è stato realizzato un tipo di intervento con riempimento dello spazio seminterrato e, come possibile solo per questa tipologia di edificio, la casa è stata collocata su una nuova fondazione in muratura elevata di circa un metro e mezzo, con un vespaio allagabile e ventilato. Sono stati poi condotti interventi a spese del proprietario per migliorare l'estetica generale del sito. Il progetto è stato completato utilizzando i fondi di assistenza per la mitigazione delle inondazioni per il 75% dei costi del progetto. La comunità ha pagato il 12,5 percento del costo e il proprietario della casa il rimanente 12,5 percento. In aggiunta alla pubblicazione 551 la FEMA ha affrontato il problema anche in altre pubblicazioni rilevanti per il loro argomento, quali FEMA 386-1, 386-2, 386-3, 386-4 e 511, tutte facilmente reperibili in rete



## Selecting Appropriate Mitigation Measures for Floodprone Structures

FEMA 551 / March 2007



**Figura 1:** copertina della pubblicazione 551 della FEMA

Quindi, in senso ampio, sotto la definizione di misura di mitigazione può rientrare il confinamento idraulico dell'area oggetto dell'intervento mediante realizzazione di barriere fisiche per l'inondazione; l'impermeabilizzazione dei manufatti fino a una quota congruamente superiore al livello di piena di riferimento mediante il relativo sovrizzo delle soglie di accesso, delle prese d'aria e, in generale, di qualsiasi apertura; il divieto di destinazioni d'uso che comportino la permanenza nei locali interrati e nei locali in cui il piano di calpestio sia posto a quota inferiore a livello idrico associato ad una piena di assegnato tempo di ritorno (ad esempio, duecentennale); la disposizione del piano terra abitabile dei nuovi fabbricati a una quota superiore a quella del tirante idrico associato alla piena di riferimento; la disposizione degli accessi a eventuali strutture interrate a una quota superiore al tirante di cui al punto precedente, maggiorato di 0,50 m, garantendo la tenuta idraulica delle strutture ed evitando il loro collegamento diretto alle reti di smaltimento bianche e nere; la localizzazione dei nuovi volumi in porzioni delle aree oggetto di intervento poste a quote più elevate e/o dove l'evento atteso si manifesti con minori battenti e velocità di scorrimento; la riorganizzazione della rete di smaltimento delle acque meteoriche nelle aree limitrofe, anche con l'installazione di stazioni di pompaggio; la difesa mediante sistemi passivi dal riflusso nella rete di smaltimento delle acque meteoriche, comprensiva di un adeguato programma di manutenzione.

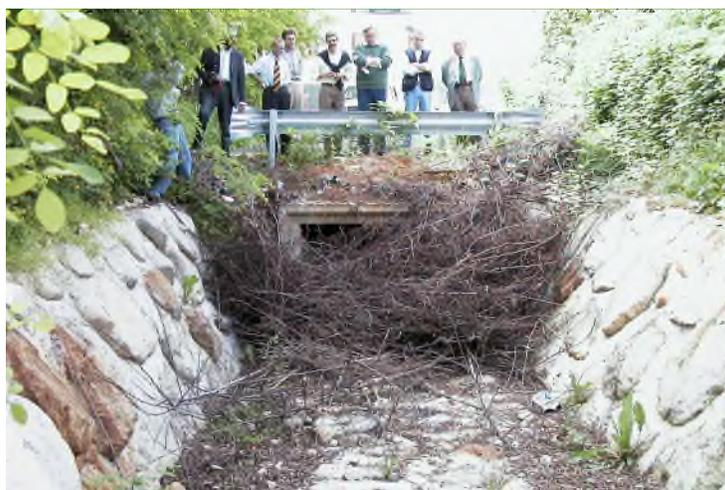
Inoltre, nella definizione di misura di mitigazione non strutturale rientrano generalmente interventi propriamente immateriali di due diverse categorie: quelle che tendono a limitare l'esposizione e quelle mirate alla riduzione della vulnerabilità. Tra le prime vi sono i regolamenti edilizi che normano l'utilizzo del suolo e l'incentivazione dell'estensione delle misure di Invarianza Idraulica ed Idrologica anche sul tessuto edilizio esistente. Nelle seconde rientrano l'installazione di sistemi di allarme in tempo reale, le misure di protezione civile, la pianificazione e le esercitazioni, le attività di sensibilizzazione della popolazione per creare consapevolezza nei confronti del problema degli allagamenti.

Nel seguito si analizzeranno con maggiore dettaglio alcune di queste metodologie.

## **2. INTERVENTI DI MIGLIORAMENTO DEL DRENAGGIO LOCALE**

In diverse situazioni l'allagamento può essere indotto da esondazioni a monte, causate da insufficienza del ricettore locale a ricevere le acque meteoriche di dilavamento. In questa situazione, in assenza di controindicazioni sulla capacità del reticolo ricettore nelle zone di valle, si possono mettere in atto interventi di miglioramento dei sistemi di drenaggio locale. A questo proposito, è tuttavia fondamentale ricordare che i miglioramenti del drenaggio possono aiutare un'area ma creare nuovi problemi in un'altra. Il miglioramento locale del drenaggio può infatti peggiorare i problemi di alluvione a valle perché l'acqua viene trasportata con una portata maggiore, con anche una maggiore capacità di accumulo e trasporto di sedimenti. È quindi sempre necessario considerare gli effetti sia a monte che e a valle dei miglioramenti proposti e procedere solo dopo una attenta analisi idraulica del sito. I metodi di miglioramento del drenaggio che si possono attuare riguardano la realizzazione di nuovi canali di convogliamento delle acque meteoriche, il miglioramento della capacità idraulica di canali esistenti, con interventi sul tracciato, sulla sezione e sulla scabrezza, l'eliminazione di interferenze o di rigurgiti, la realizzazione di volumi di stoccaggio dei deflussi (si veda per una discussione dettagliata di alcuni di questi miglioramenti del drenaggio anche la pubblicazione FEMA 511).

Un aspetto importante da sottolineare è che spesso la problematica è indotta semplicemente da una scarsa capacità autopulente del reticolo locale, abbastanza frequente in sistemi dimensionati per convogliare portate elevate ma generalmente interessati da deflussi modesti, dalla mancanza di manutenzione del sistema di drenaggio, dalla mancata rimozione dei detriti, spesso di tipo vegetale (si veda Figura 2), e in definitiva dalla mancanza di ispezioni periodiche.



**Figura 2:** esempio di ostruzione del reticolo di drenaggio indotto dallo scarico di materiale di sfalcio in alveo (T. cannone, Bovezzo, BS)

### **3. DIFESE PASSIVE FISSE E/O ATTIVABILI IN TEMPO REALE A DIFESA DI AMBIENTI SOTTERRANEI E/O ALLAGABILI**

In questa categoria rientrano presidi che vengono disposti a limitare l'accesso dell'acqua a spazi allagabili o a chiudere ermeticamente luci disponibili al flusso dell'acqua, che danno magari accesso a spazi depressi, quali ingressi a scivoli di autorimesse o vani interrati, i quali possono essere pesantemente danneggiati in conseguenza al verificarsi di battenti anche limitati di acqua sul piano campagna. È infatti esperienza comune che a tale fattispecie si debbano ricondurre tra i danni più rilevanti connessi agli allagamenti (si veda Figura 3)



**Figura 3:** esempio di allagamento di spazi depressi, indotti da eventi caratterizzati da battenti modesti sul piano stradale (Bovisio e Longuelo)

Questo tipo di protezione può essere ottenuto sia con barriere di protezione dalle inondazioni permanenti, costituite da arginelli di terra compatta (ad esempio, con scarpa 2:1 o 3:1) o muri in cemento, per proteggere una singola struttura o più strutture (si veda Figura 4). Le acque alluvionali non possono così raggiungere le strutture nell'area protetta, non rendendo quindi necessarie modifiche significative alla struttura. Negli Stati Uniti si fanno rientrare questi interventi nelle misure non strutturali per il loro carattere locale, quando hanno una altezza inferiore a circa 2 metri, e quando la loro presenza non può aumentare l'altezza della superficie dell'acqua dell'inondazione di tempo di ritorno 100 anni. Aumentando ulteriormente l'altezza della barriera aumenta la forza esercitata dall'acqua sulla barriera, lo spazio necessario e, quindi, il costo complessivo dell'opera che diviene ben presto non giustificabile per un intervento locale.

Nel caso di realizzazione di argini è opportuno scavare una trincea centrale che consenta di vedere le condizioni del terreno sotterraneo, in modo da prendere atto della presenza di radici, tane di animali o

cambiamenti nelle condizioni del suolo. La trincea e il nucleo centrale andranno riempite da un nucleo impermeabile, generalmente in argilla, posizionata in strati di circa 10 cm opportunamente compattati. D'altro canto, questo tipo di intervento può indurre una sensazione di sicurezza che porta ad aumentare il valore dei beni esposti all'interno dell'area protetta portando, in occasioni di sempre possibili fallanze dell'opera, ad un aumento del rischio. Si tenga conto che nel caso di un argine in terra il sormonto anche per battenti piccoli può causare l'erosione completa dell'argine. In tale senso, la normativa degli Stati Uniti precisa che questo tipo di intervento non rende la struttura che viene protetta conforme ai regolamenti previsti per le zone concludamamene alluvionali. Inoltre, il costo può essere molto elevato, implicando anche l'occupazione di una vasta area per la sua costruzione. Il reticolo di drenaggio locale può poi essere modificato, eventualmente creando o peggiorando problemi di alluvione per altre proprietà. Specialmente la realizzazione di arginelli in terra richiede infine una manutenzione periodica, talvolta resa problematica dalla presenza di animali in grado di scavare tane all'interno del terreno.

L'attività della fauna selvatica in grado di scavare tane negli argini lungo i sistemi fluviali è in rapido aumento in molte regioni del mondo anche a seguito dell'istituzione di parchi fluviali che agiscono in modo efficiente come corridoi di movimento della fauna selvatica. Tra questi animali vi sono ad esempio i porcospini crestati *Hystrix cristata*, i tasso europei *Meles meles*, le volpi rosse *Vulpes vulpes* e le nutrie *Myocastor coypus*. Per quanto il ruolo della fauna selvatica non sia nemmeno menzionato tra i fattori rilevanti nel collasso di dighe e argini di terra in molti libri di testo classici della ingegneria geotecnica (ad esempio, Terzaghi et al., 1996), è ormai ampiamente riconosciuto (ad es. Orlandini et al., 2015) che questi animali possano avere un impatto negativo sull'integrità di queste strutture. Per tutte queste ragioni, singole proprietà vengono spesso protette mediante un muro in cemento armato, più resistente all'erosione di un argine e che richiede meno spazio di un argine per lo stesso livello di protezione. Si tratta comunque di interventi spesso più costosi, generalmente introdotti quando non vi è spazio sufficiente per un argine o dove si aspetti un elevato potere erosivo del deflusso.

In ogni caso, quando le strutture di contenimento sono costruite per proteggere uno spazio seminterrato, si deve considerare che il terreno sotto gli argini e attorno alla struttura può diventare saturo, specialmente durante inondazioni di lunga durata. La pressione risultante sulle pareti e sui pavimenti del seminterrato può causare gravi danni. Per quanto questo problema possa essere alleviato con la disposizione di un dreno perimetrale con un opportuno sistema di pompaggio dell'acqua filtrante, ancora una volta è necessaria un'analisi condotta da ingegneri specificamente competenti in campo idraulico e geotecnico, che consideri la capacità portante e la permeabilità del terreno che deve sostenere la barriera.

In conclusione queste opere meritano qualche ulteriore considerazione: in primo luogo è opportuno che siano soggette ad una manutenzione annuale, in assenza della quale anche piccoli problemi, come crepe o erosioni localizzate, possono rapidamente diventare grandi problemi durante un evento di alluvione. Per facilitare l'attraversamento degli arginelli un vialetto d'accesso allo spazio intercluso non dovrebbe avere una pendenza maggiore del 30%. Ogni altra apertura deve essere chiusa prima che si verifichi l'evento, cosa che può farsi ad esempio con dispositivi rimovibili o fissi, anche ad attivazione automatica, di cui si parlerà nel seguito. Alberi e arbusti di grandi dimensioni non devono essere posizionati su argini in terra poiché le loro radici, alla morte della pianta, aprono la via al passaggio dell'acqua, causando il collasso della barriera. Inoltre, lo spazio protetto non dovrebbe essere occupato durante un evento alluvionale poiché, in caso di superamento del livello della barriera, l'area protetta si riempirà rapidamente.

Infine, si deve prevedere un sistema di drenaggio interno che faccia capo ad una pompa collocata in un pozzetto poiché la costruzione di una barriera impedirà all'acqua interna, di pioggia, di filtrazione o proveniente dagli scarichi interni, di uscire dal perimetro racchiuso.



**Figura 4:** esempio estremo di protezione di una struttura mediante realizzazione di un argine

Oltre alle difese permanenti, volte a diminuire la probabilità di accadimento di un prefissato evento di piena, è possibile mettere in atto anche difese di tipo temporaneo, per proteggere il territorio per eventi di piena più gravosi o per diminuire i danni che quell'evento può produrre sul territorio. Le difese temporanee possono essere adottate, nelle varie tipologie disponibili, sia dai soggetti istituzionali, sia

dai cittadini per la difesa delle proprie proprietà private. Le difese temporanee possono essere indicativamente raggruppate nelle seguenti classi (secondo lo statunitense US Army Corps of Engineers. National Nonstructural/Flood Proofing Committee - NFPC):

- barriere temporanee;
- dispositivi di chiusura;
- valvole antiriflusso;
- sistemi di pompaggio.

Esistono diversi tipi di barriere temporanee disponibili per affrontare molti dei problemi di allagamento, destinate a prendere il posto tradizionalmente giocato nelle alluvioni dai sacchi di sabbia. Funzionano con gli stessi principi delle barriere permanenti, ma possono essere rimossi, immagazzinati e riutilizzati nei successivi eventi di alluvione, disponendole in posizioni dove una barriera fissa non sarebbe in nessun modo attuabile perché d'intralcio all'utilizzo ordinario del territorio. I sistemi proposti differiscono per l'estensione dei fronti che possono venir protetti e dalle modalità di messa in opera. Mentre alcuni a tenuta stagna richiedono un posizionamento manuale, inserendole in un'apposita guida che deve essere predisposta (per esempio, Figura 5), altri, più costosi, si basano su principi idraulici che permettono agli stessi di entrare automaticamente in funzione in caso di allagamento. Evidentemente, i primi sistemi, più economici, richiedono un congruo preallarme rispetto all'accadimento dell'evento alluvionale, cosa possibile su bacini di non piccola estensione: a titolo di esempio, a Hoboken (New York), dopo l'uragano Sandy si è valutato di proteggere il fronte lungo il fiume Hudson con un sistema di questo tipo, calcolando un tempo di messa in opera di 10 ore per miglio di fronte protetto. Poiché in questo caso la tecnologia di previsione fornisce due o tre giorni di anticipo, la metodologia è attuabile efficacemente.



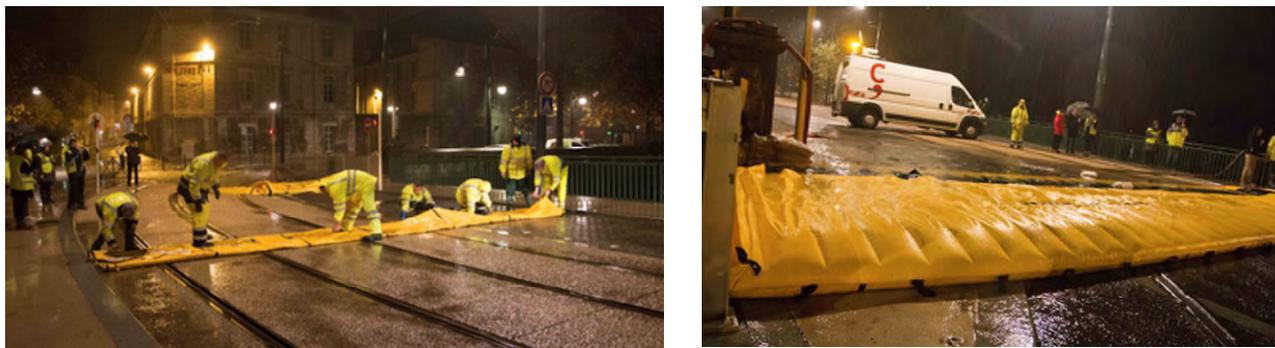
**Figura 5:** esempio di barriera anti-allagamento attuata con paratoie controventate

Alcuni sistemi anti-allagamento del secondo tipo non necessitano di alimentazione esterna, elettrica o ad aria compressa, basandosi esclusivamente sul principio di Archimede e sollevandosi ed abbassandosi autonomamente sfruttando la stessa acqua dell'inondazione. Essi possono essere messi a protezione di ingressi o aree aventi qualsiasi dimensione in larghezza in funzione delle specifiche esigenze, anche se i costi non trascurabili li rendono vantaggiosi su luci di non eccessiva estensione. A titolo di esempio si mostra in Figura 6 un'immagine tratta dall'opuscolo del sistema DIGALL ([www.digall.it](http://www.digall.it)), con la precisazione che sistemi basati su principi analoghi sono forniti anche da diversi altri produttori nazionali (ad esempio, STOPFLOOD srl) ed internazionali. In caso di allagamento, l'acqua defluente sul piano stradale defluisce tramite una griglia all'interno di un profilo interrato sotto il piano di calpestio, profilo all'interno del quale è disposto un cassone stagno rigidamente collegato alla paratoia, la quale quindi si solleva portandosi in posizione di chiusura. In altri sistemi l'innalzamento è invece causato da un sistema pneumatico, attivato da un sensore di livello eventualmente alimentato con un gruppo di continuità.



**Figura 6:** esempio di sistema di paratoia autoposizionante (tratto da sistema DIGALL - [www.digall.it](http://www.digall.it))

Altri sistemi sono costituiti da dighe flessibili che si possono srotolare ed adattare a conformazioni diverse del terreno, in grado di ergersi autonomamente all'arrivo dell'acqua da una direzione prestabilita (si veda Figura 7), ovvero da sistemi analoghi che richiedono tuttavia un riempimento ad aria (si veda Figura 8) e che possono contenere battenti fino ad 1 m; altri sistemi (si veda Figura 9) sono costituiti da elementi componibili che si possono assemblare per l'utilizzo in ambito urbano a comporre barriere di lunghezza variabile, su superfici, lisce ed omogenee come asfalto e cemento. Gli elementi mostrati, di peso contenuto, sono in grado di contenere battenti fino a 50 cm.



**Figura 7:** esempio di sistema di diga flessibile (<https://it.megasecureurope.com/>)



**Figura 8:** esempio di sistema di diga flessibile a riempimento pneumatico (<http://noaq.com/en/products/>)



**Figura 9:** esempio di elementi componibili in grado di contrastare la spinta dell'acqua  
(<http://noaq.com/en/products/>)

Quindi, i dispositivi di chiusura sono costituiti da paratoie e panconi a chiusura delle aperture nei muri o recinzioni, per evitare l'ingresso di acqua e sono solitamente utilizzate a protezione degli edifici. Come

abbiamo visto, possono essere dei cancelli a tenuta stagna, paratoie a sollevamento automatico o paratoie manuali, da montare in previsione di possibili allagamenti. In funzione dell'importanza dell'edificio o attività da proteggere, dell'evento temuto e dell'esistenza di vincoli di budget è possibile scegliere la tipologia più adatta.

Infine, come già accennato, l'insufficienza della rete e l'impossibilità da parte del sistema fognario a scaricare le acque raccolte può far sì che le acque in eccesso nella rete fognaria possano trovare improprio sfogo nei terminali installati nelle abitazioni e quindi possano esserci allagamenti dovuti al rigurgito delle acque negli impianti. Per evitare il verificarsi di tali situazioni e diminuire quindi il danno che le alluvioni possono produrre è consigliato installare dei dispositivi anti-riflusso tra le tubazioni private e la rete pubblica di raccolta delle acque.

## **4. WET FLOODPROOFING**

Questo termine, di ardua traduzione, indica una tecnica non strutturale per cui tutti i materiali da costruzione e materiali di finitura devono essere resistenti all'acqua (eliminazione del cartongesso e di materiali lignei, adozione di vernici impermeabili per i pavimenti e le pareti...) e tutte le utenze devono essere elevate al di sopra della quota di alluvione di riferimento. Eventuali prese elettriche, il riscaldamento, la ventilazione e l'aria condizionata devono essere trasferite o elevate in punti più alti sul muro, al di sopra del livello di inondazione, prevedendo che le condotte dell'areazione non si allaghino, cosa che potrebbe causarne il distacco per superamento del peso massimo sostenibile e che, comunque, al ritiro delle acque lascerebbe limo e contaminanti nelle condotte. Inoltre, qualora la tipologia di edificio possa essere staticamente danneggiato dall'acqua, le porzioni disabitate dell'edificio (come un vespaio o un seminterrato) devono venir modificate per consentire alle acque alluvionali di entrare e uscire, eventualmente anche dalla falda, senza creare sollecitazione idrostatiche differenziali tra interno e esterno della struttura e dei suoi supporti. Questa tecnica non riduce invece il danno che ad una struttura può derivare da velocità di piena elevate.

Poiché la Wet floodproofing consente alle acque alluvionali di entrare nella struttura, tutta la costruzione e i materiali che possono essere sott'acqua devono essere resistenti ai danni da alluvione. Per questo motivo, l'impermeabilizzazione a umido è pratica solo per spazi non a destinazione d'abitazione e per durate di allagamento contenute, e tipicamente pensata per strutture industriali o commerciali, specialmente se combinata con un preallerta di alluvione e ad un piano di preparazione alluvione. E' infatti opportuno che tutti i contenuti con valore economico possano essere facilmente trasferiti in uno spazio al di sopra del livello di protezione dalle inondazioni o in uno spazio a tenuta stagna. Il trasferimento del macchinario può essere semplificato se le macchine dispongono di raccordi a sgancio rapido e sono montate in modo tale da facilitare il sollevamento con i carrelli elevatori. Se il trasferimento fisico non è possibile, la loro disposizione in punti elevati è l'opzione migliore. Ad esempio, motori elettrici, generatori, unità di riscaldamento/condizionamento e pannelli di servizio elettrici potrebbero essere sopraelevati.

Pur tuttavia, l'implementazione di questa tecnica non elimina la necessità di una pulizia completa se la struttura si bagna all'interno e può essere contaminata da liquami o sostanze chimiche presenti nelle acque alluvionali. In aggiunta a ciò, qualora si debba procedere allo svuotamento di un seminterrato allagato si deve porre attenzione che durante lo svuotamento non si creino differenziali di livello svantaggiosi (livello dell'acqua esterna maggiore di quello interno). Ciò potrebbe causare un differenziale di pressione sulle pareti e sulla platea calpestabile che potrebbe provocare danni strutturali.

Infine, si noti che negli Stati Uniti, dove è presente un ampio piano assicurativo nei confronti dei danni da alluvione, il Wet Floodproofing non riduce i tassi di premio dell'assicurazione contro le inondazioni sulle strutture residenziali, cosa che invece si ottiene ad esempio attraverso l'elevazione della struttura residenziale al di sopra di un livello di riferimento per gli allagamenti.

## **5. DRY FLOODPROOFING**

Questa tecnica non strutturale consiste nell'impermeabilizzazione dell'involucro della struttura, che può essere una casa residenziale e/o una struttura commerciale o industriale. Sulla base di test di laboratorio relativi alle abitazioni tipiche degli Stati Uniti, una abitazione "convenzionale" può generalmente essere efficacemente protetta da inondazioni fino a 1 metro di altezza e quindi, presumibilmente, questo è il livello minimo di isolamento che si potrebbe ottenere per le abitazioni italiane in muratura. Il dry floodproofing è spesso più adatto ad eventi di durata relativamente breve.

Per rendere la struttura a tenuta stagna è necessario fare utilizzo di membrane impermeabili o altri sigillanti per impedire all'acqua di entrare nella struttura attraverso le pareti. Inoltre l'impermeabilizzazione a secco di una struttura richiede l'installazione di schermi a tenuta stagna su porte e finestre e l'installazione di valvole di non ritorno per prevenire effetti di rigurgito sui condotti di scarico con la eventuale realizzazione di un sistema di raccolta dell'acqua interna, con un pozzetto e una pompa. L'impermeabilizzazione a secco è tuttavia meno costosa rispetto ad altri metodi di mitigazione e non richiede lo spazio aggiuntivo che potrebbe essere necessario per realizzare degli argini.

Negli Stati Uniti in alcuni casi si procede all'installazione di teli di plastica pesante o di una membrana impermeabile lungo la superficie esterna di una parete, che agisce come efficace mezzo di impermeabilizzazione (Figura 10). La membrana impermeabile può essere installata in modo relativamente rapido; tuttavia, è antiestetica e non può rimanere in posizione indefinitamente, deteriorandosi con la continua esposizione alle radiazioni solari.



**Figura 10:** esempio di impermeabilizzazione con applicazione di una membrana di plastica

In combinazione con l'impermeabilizzazione, si devono chiudere le aperture nelle pareti, in modo temporaneo o permanente. Le aperture per finestre poste a livello del suolo possono essere messe in sicurezza con uno schermo montato sulla loro superficie, in modo permanente o temporaneo, o mediante una parete bassa costruita attorno all'apertura ad un'altezza superiore all'altezza della inondazione di riferimento (Figura 11).

Uno degli interventi più importanti riguarda infine il rigurgito dalle fognature, per gli evidenti rischi per la salute. Si deve infatti considerare che gli oggetti esposti alle acque reflue sono gravemente contaminati e possono essere quasi impossibili da pulire. Per questa ragione si deve prestare la massima attenzione a questo problema che può essere affrontato disponendo una valvola di non ritorno sulla condotta di scarico.



**Figura 11:** esempio di realizzazione di un muretto protettivo per una apertura di uno spazio seminterrato

## **6. SISTEMI DI ALLARME ALLUVIONALE**

Questa tecnica non strutturale si basa sull'accoppiamento tra previsioni meteorologiche, effettuazione di misure in tempo reale (livello, pioggia, portata), modellistica idrologica della trasformazione degli afflussi meteorici in deflussi e sulla modellistica idraulica di allagamento. È in questo modo possibile prevedere il verificarsi di eventi estremi e seguirne gli impatti sulle aree a rischio di alluvione. Un sistema di allarme alluvionale, correttamente installato e calibrato e i cui risultati siano opportunamente comunicati alla popolazione, sarebbe in grado di fornire, in bacini idrografici di medio-grandi dimensioni, il tempo necessario ai residenti per implementare le misure di emergenza opportunamente previste nei piani di protezione civile per proteggere i beni esposti o per evacuare l'area. Tuttavia, in presenza di bacini di piccole dimensioni, con tempi di corrivazione fino a qualche ora, pare difficile riuscire a ottenere lo stesso tipo di beneficio.

## **7. ACQUISIZIONE E/O RILOCAZIONE**

Qualora il livello di pericolosità cui è sottoposta una struttura sia molto elevato e il costo degli eventuali interventi statali necessari a ridurlo non sia giustificato dal valore complessivo della stessa, si dovrebbe prendere in considerazione l'ipotesi nell'acquisto a valore di mercato della struttura e del terreno, evidentemente ridotti dalla collocazione in zona ad elevata pericolosità, con successiva demolizione e trasferimento del titolo insediativo in un sito esterno alla zona a rischio di allagamento. Il trasferimento del titolo insediativo, o altri incentivi simili, dovrebbero in qualche modo essere previsti anche qualora sia un privato a volere effettuare la demolizione e riedificazione dell'edificio. Negli Stati Uniti viene anche praticata la rilocazione, che richiede lo spostamento fisico della struttura a rischio ed è possibile solo in quel contesto, laddove la tipologia di abitazione lo consenta (si veda Figura 12).



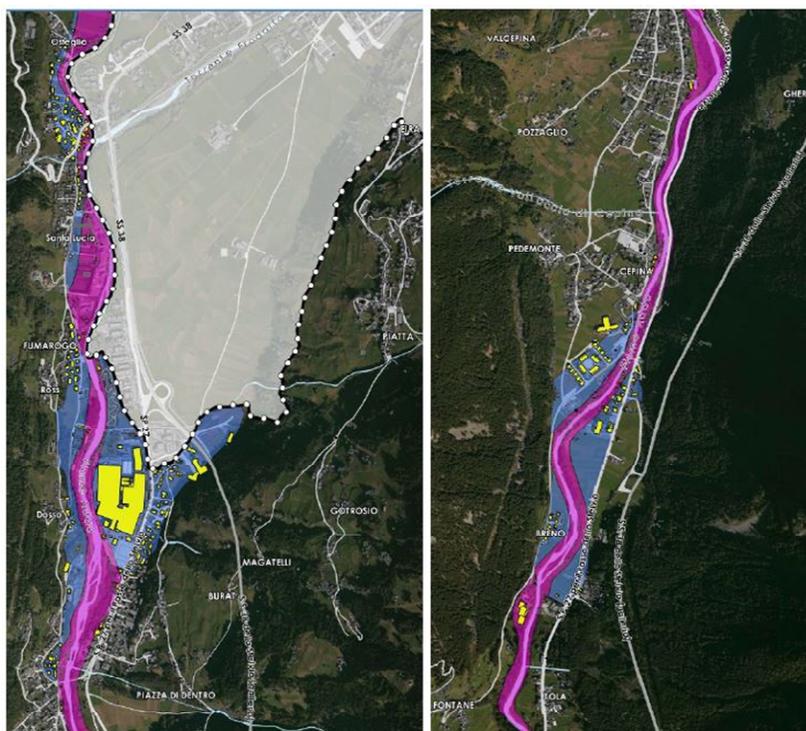
**Figura 12:** esempio di rilocazione di una abitazione di medie dimensioni negli Stati Uniti

## 8. PIANI DI PROTEZIONE CIVILE

I Comuni, attraverso la collaborazione con gli enti statali e regionali preposti, adottano un piano di gestione delle emergenze in grado di identificare e mitigare i rischi di alluvione e le vulnerabilità, mediante l'ausilio di apposite mappe di allagamento che costituiscono la base sulla quale definire specifiche procedure di intervento che tengano conto di:

- tiranti e velocità;
- direzione di flusso;
- valore esposto.

Questi piani definiscono, tra le altre cose, la risposta della comunità alle inondazioni, l'ubicazione di centri di evacuazione con i percorsi di evacuazione primari e la gestione della fase di post-alluvione. Nelle figure seguenti si riportano alcune tavole esemplificative tratte dallo scenario di rischio d'allagamento e procedura di intervento per il Comune di Valdisotto, SO, F. Adda.



**Figura 13:** scenario per il Fiume Adda: zone a rischio di allagamento del tratto del Fiume Adda nel Comune di Valdisotto (SO) con conseguente individuazione degli edifici a rischio

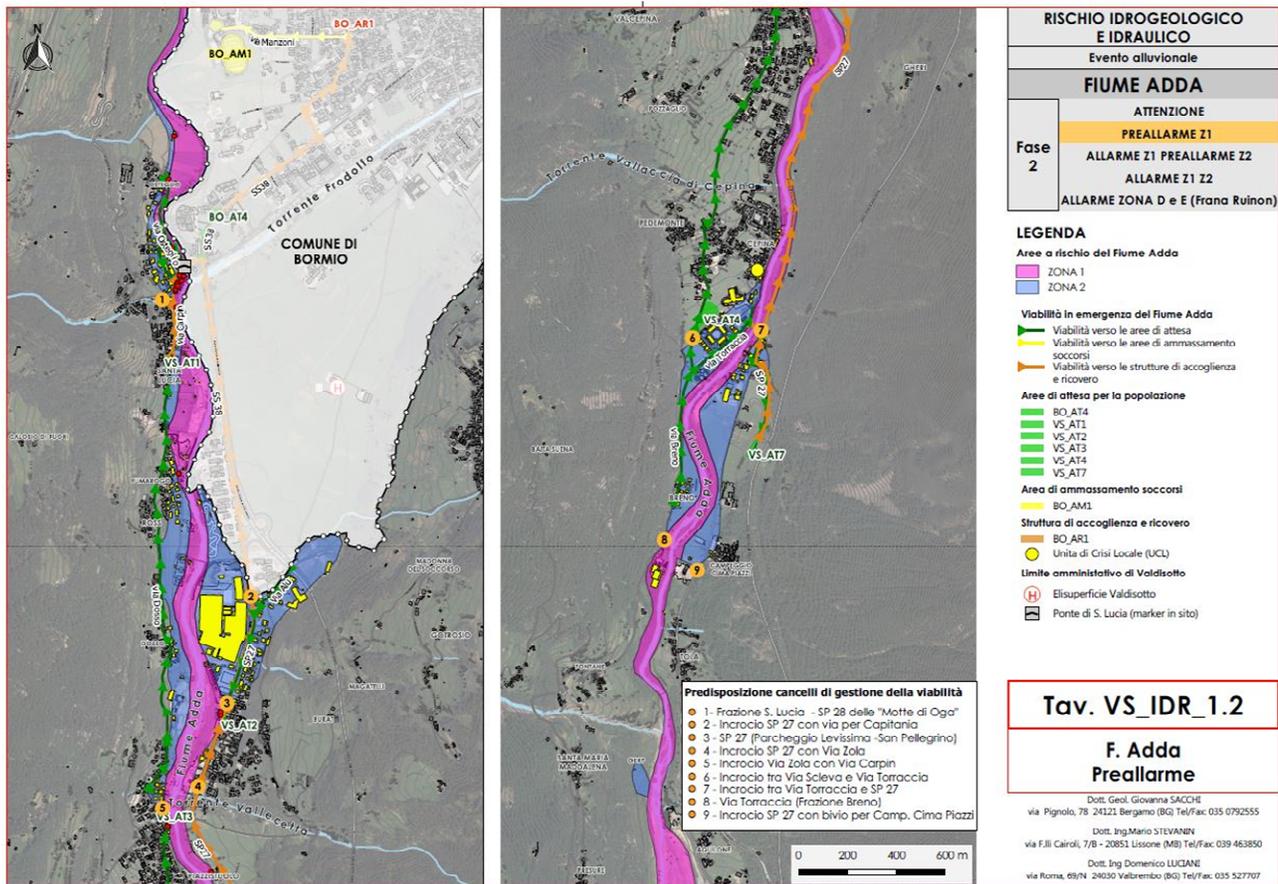


Figura 14: scenario Fiume Adda: individuazione delle aree di attesa, soccorso e ricovero per la popolazione, con i relativi percorsi da seguire durante l'evento calamitoso

EVENTO ALLUVIONALE FIUME ADDA		Modello di intervento																																												
<p><b>PREALLARME ZONA 1</b></p> <p>La fase 2 di Preallarme per la zona 1, per i residenti della frazione Breno, della frazione Capitanìa e per il sito industriale della Levissima – San Pellegrino S.p.A. scatta in caso di raggiungimento di un livello idrometrico di 1,30 m in corrispondenza del Ponte S. Lucia (marker in sito), stabilita come soglia di passaggio da normalità a criticità ordinaria.</p> <p><b>Personale coinvolto e principali enti interessati:</b>                      Sindaco/Delegato del sindaco                      Referente Operativo Comunale (R.O.C.)                      Referente Ufficio Tecnico Comunale (U.T.C.)                      Referente Ufficio Amministrativo Comunale (U.A.C.)                      Referente Volontariato Protezione Civile (P.C.)                      Referente Forze dell'Ordine (P.L.)                      1 Pattuglia di Forze dell'ordine coadiuvata da volontari</p> <p><b>Edifici a rischio</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Zona</th> <th>Via</th> <th>Civico</th> <th>Resid.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>ZONA 1</td> <td>LOC.TA PIAZZESTOLO</td> <td>3</td> <td>6</td> </tr> <tr> <td>ZONA 1</td> <td>VIA NAZIONALE - FRAZ. PIAZZA</td> <td>12</td> <td>10</td> </tr> <tr> <td>ZONA 1</td> <td>VIA FUMAROGO</td> <td>2</td> <td>42</td> </tr> <tr> <td>ZONA 1</td> <td>VIA OSTEGLIO</td> <td>9</td> <td>6</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;">● ZONA 1 - Residenti da Preallarme 64</p>		Zona	Via	Civico	Resid.	ZONA 1	LOC.TA PIAZZESTOLO	3	6	ZONA 1	VIA NAZIONALE - FRAZ. PIAZZA	12	10	ZONA 1	VIA FUMAROGO	2	42	ZONA 1	VIA OSTEGLIO	9	6	<p><b>Sindaco/Delegato del sindaco:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- dirige l'U.C.L. attivando eventuali funzioni non ancora operative</li> <li>- mantiene i contatti con gli Enti sovraordinati</li> <li>- emette l'ordinanza del Preallarme della Zona 1</li> </ul> <p><b>R.O.C.:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- in orari prestabiliti, verifica l'eventuale ricezione di comunicati di preallerta e/o allerta dagli Enti superiori</li> <li>- coordina il monitoraggio dei parametri di interesse (pluviometri e livello idrometrico locale in corrispondenza del ponte di S. Lucia)</li> <li>- coordina le attività di controllo della situazione sul territorio e comunica tempestivamente eventuali previsioni di peggioramento del rischio o l'eventuale rientro di preallarme con ritorno alla normalità al Sindaco e ai Referenti U.C.L.</li> <li>- coordina l'attività di ricognizione del territorio ricadente all'interno delle zone a rischio</li> <li>- trasmette alla popolazione comunicazione riguardante i comportamenti da adottare (Rif. Scheda 2 "Comunicazioni in Emergenza")</li> </ul> <p><b>Referente struttura tecnica comunale:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- mantiene i contatti con gli enti gestori delle reti di monitoraggio e ne valuta le informazioni, di concerto con il R.O.C.</li> <li>- provvede all'aggiornamento dello scenario sulla base dei dati acquisiti</li> <li>- verifica il monitoraggio a vista nei punti critici attraverso l'invio di squadre di tecnici (VV.UU, tecnici comunali, volontari) e informa il R.O.C. sugli esiti del monitoraggio</li> <li>- verifica di concerto con le funzioni 2,3, 4 e 5, la disponibilità di uomini e mezzi, comunicando al sindaco l'eventuale necessità di risorse non disponibili</li> <li>- provvede all'aggiornamento dello scenario sulla base dei dati acquisiti</li> <li>- predispone le attivazioni necessarie alle verifiche dei danni che potranno essere determinati dall'evento previsto</li> <li>- predispone una rete di telecomunicazioni alternativa affidabile anche in caso di evento in collaborazione con il responsabile territoriale della linea telefonica, il responsabile provinciale Poste e Telecomunicazioni e con le associazioni di radioamatori presenti sul territorio</li> <li>- predispone l'attuazione delle procedure per l'eventuale comunicazione dell'Allarme alla popolazione</li> </ul> <p><b>Referente struttura amministrativa comunale:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- predispone l'eventuale attivazione delle operazioni di soccorso dal punto di vista sanitario, veterinario qualora vi fosse un peggioramento dello scenario</li> <li>- verifica e assicura la funzionalità dei centri di accoglienza</li> <li>- si attiva per un'eventuale comunicazione con gli enti gestori delle reti idriche, fognarie, elettriche e/o energetiche in caso di eventuali guasti delle stesse</li> <li>- effettua una ricognizione delle strutture di accoglienza per accertarne l'impiego in caso di peggioramento dello scenario</li> <li>- predispone le attivazioni necessarie per un'eventuale assistenza alla popolazione</li> </ul> <p><b>Responsabile Protezione Civile:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- verifica la disponibilità di squadre operative da inviare nei punti di intervento, qualora vi fosse un peggioramento dello scenario</li> <li>- verifica la disponibilità completa delle risorse necessarie ad una eventuale assistenza ai cittadini e non a disagio con generi di conforto e prima necessità</li> <li>- si attiva per l'eventuale impiego di materiali, dei mezzi e delle attrezzature censiti, anche presso imprese private, nel caso di peggioramento dello scenario (motopompe, autobotti e autopurgo, ruspe, autocarri, lame spartifango, attrezzature manuali)</li> </ul> <p><b>Forze dell'ordine:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- mantengono i contatti con gli enti preposti all'intervento (V.V.F., Polizia, Carabinieri)</li> <li>- intensificano le normali procedure di controllo e gestione della viabilità, segnalando al R.O.C. eventuali situazioni critiche</li> <li>- partecipano alle operazioni di controllo sul territorio e predispongono sopralluoghi regolari nella zona interessata dal pericolo</li> <li>- predispongono gli uomini e i mezzi da inviare presso i cancelli per vigilare sul corretto deflusso del traffico e gli uomini per l'assistenza alle operazioni in caso in un eventuale peggioramento dello scenario</li> </ul>																								
Zona	Via	Civico	Resid.																																											
ZONA 1	LOC.TA PIAZZESTOLO	3	6																																											
ZONA 1	VIA NAZIONALE - FRAZ. PIAZZA	12	10																																											
ZONA 1	VIA FUMAROGO	2	42																																											
ZONA 1	VIA OSTEGLIO	9	6																																											
<p><b>Area di attesa</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Codice</th> <th>id</th> <th>Comune</th> <th>Nome</th> <th>Indirizzo</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>BO_AT4</td> <td>4</td> <td>Bormio</td> <td>Piazzale distretto sanitario</td> <td>Via Agoi</td> </tr> <tr> <td>VD_AT1</td> <td>30</td> <td>Valdidentro</td> <td>Centro sportivo Presura</td> <td>Via Presura</td> </tr> <tr> <td>VD_AT2</td> <td>31</td> <td>Valdidentro</td> <td>Spazio antistante il municipio</td> <td>Piazza Chiesa S.M. Nascente</td> </tr> <tr> <td>VD_AT3</td> <td>32</td> <td>Valdidentro</td> <td>Parcheeggio</td> <td>Via dei Prati 2</td> </tr> <tr> <td>VD_AT4</td> <td>33</td> <td>Valdidentro</td> <td>Spazio adiacente alla SP 28</td> <td>Via alla Corva</td> </tr> <tr> <td>VD_AT7</td> <td>36</td> <td>Valdidentro</td> <td>Spazio aperto adiacente la chiesa di San Gallo</td> <td>Via per Premadio</td> </tr> </tbody> </table>	Codice	id	Comune	Nome	Indirizzo	BO_AT4	4	Bormio	Piazzale distretto sanitario	Via Agoi	VD_AT1	30	Valdidentro	Centro sportivo Presura	Via Presura	VD_AT2	31	Valdidentro	Spazio antistante il municipio	Piazza Chiesa S.M. Nascente	VD_AT3	32	Valdidentro	Parcheeggio	Via dei Prati 2	VD_AT4	33	Valdidentro	Spazio adiacente alla SP 28	Via alla Corva	VD_AT7	36	Valdidentro	Spazio aperto adiacente la chiesa di San Gallo	Via per Premadio	<p><b>Area ammassamento soccorsi</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Codice</th> <th>id</th> <th>Comune</th> <th>Nome</th> <th>Indirizzo</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>BO_AM1</td> <td>1</td> <td>Bormio</td> <td>Centro sportivo Pentagono</td> <td>Via Manzoni 22</td> </tr> </tbody> </table>	Codice	id	Comune	Nome	Indirizzo	BO_AM1	1	Bormio	Centro sportivo Pentagono	Via Manzoni 22
Codice	id	Comune	Nome	Indirizzo																																										
BO_AT4	4	Bormio	Piazzale distretto sanitario	Via Agoi																																										
VD_AT1	30	Valdidentro	Centro sportivo Presura	Via Presura																																										
VD_AT2	31	Valdidentro	Spazio antistante il municipio	Piazza Chiesa S.M. Nascente																																										
VD_AT3	32	Valdidentro	Parcheeggio	Via dei Prati 2																																										
VD_AT4	33	Valdidentro	Spazio adiacente alla SP 28	Via alla Corva																																										
VD_AT7	36	Valdidentro	Spazio aperto adiacente la chiesa di San Gallo	Via per Premadio																																										
Codice	id	Comune	Nome	Indirizzo																																										
BO_AM1	1	Bormio	Centro sportivo Pentagono	Via Manzoni 22																																										
<p><b>Strutture di accoglienza e ricovero</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Codice</th> <th>id</th> <th>Comune</th> <th>Nome</th> <th>Indirizzo</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>BO_AR1</td> <td>1</td> <td>Bormio</td> <td>Scuola media "M.Anzi"</td> <td>Piazza Fogaroli, 1</td> </tr> </tbody> </table>	Codice	id	Comune	Nome	Indirizzo	BO_AR1	1	Bormio	Scuola media "M.Anzi"	Piazza Fogaroli, 1																																				
Codice	id	Comune	Nome	Indirizzo																																										
BO_AR1	1	Bormio	Scuola media "M.Anzi"	Piazza Fogaroli, 1																																										

Figura 15: scenario Fiume Adda: esempio di modello di intervento

Un' importante misura non strutturale riguarda la comunicazione, alle comunità interessate, del rischio, delle procedure di emergenza definite e delle misure di autoprotezione e prevenzione da adottare. A tal fine, possono essere organizzati specifici incontri di comunicazione e formazione alla cittadinanza, da parte di operatori specializzati e/o volontari. Gli incontri possono essere effettuati per gruppi omogenei di cittadini, che vivono le stesse situazioni di rischio o sono portatori di interessi analoghi (ad. es. commercianti, residenti, industrie) e altresì coinvolgendo le scuole. Un aspetto di assoluto rilievo riguarda l'effettiva taratura degli incontri sul territorio specifico, informando sia su concetti generali ma soprattutto sulla reale situazione in essere nei comuni coinvolti. Gli strumenti informativi e di formazione di base da utilizzare possono essere audiovisivi e materiale divulgativo cartaceo messo a disposizione dalle istituzioni, quali ad esempio la Protezione Civile Nazionale o l'Istituto di Ricerca per la Protezione Idrogeologica (CNR – IRPI).

Comportamento da tenere in caso di ALLUVIONE	
<b>COMPORAMENTO DA TENERE IN CASO DI ALLUVIONE</b>	
<p>Ricordare che durante e dopo le alluvioni, l'acqua dei fiumi è fortemente inquinata e trasporta detriti galleggianti che possono ferire o stordire. Macchine e materiali possono ostruire temporaneamente vie o passaggi che cedono all'improvviso: se non si è in fase di preallarme e non piove, porre al sicuro la propria automobile in zone non raggiungibili dall'allagamento; le strade spesso diventano dei veri e propri fiumi in piena. Ascoltare la radio o guardare la televisione per apprendere eventuali avvisi di condizioni meteorologiche avverse".</p>	
<p><b>Prima (preallarme)</b> È utile avere sempre a disposizione una torcia elettrica e una radio a batterie, per sintonizzarsi sulle stazioni locali e ascoltare eventuali segnalazioni utili. Mettere in salvo i beni situati nei locali allagabili, solo se si è in condizioni di massima sicurezza. Assicurarsi che tutte le persone potenzialmente a rischio siano al corrente della situazione. Se si è proprietari di un alloggio a un piano alto, offrire ospitalità a chi abita ai piani sottostanti e viceversa se si risiede ai piani bassi, chiedere ospitalità. Porre delle paratie a protezione dei locali situati al piano strada e chiudere o bloccare le porte di cantine o seminterrati. Se non si corre il rischio di allagamento, rimanere preferibilmente in casa. Insegnare ai bambini il comportamento da adottare in caso di emergenza, come chiudere il gas o telefonare ai numeri di soccorso.</p>	
<p><b>Durante (allarme o evento in corso)</b> È preferibile concentrare nel momento del preallarme anche le operazioni previste nella fase di allarme o di evento in corso. È fondamentale ricordare che la differenza tra il preallarme e l'allarme o evento in corso, può essere minima e di difficile previsione: è sufficiente che la pioggia si concentri in una zona ristretta per dar luogo a fenomeni improvvisi di inondazione.</p>	
<p><b>In casa</b> Chiudere il gas, l'impianto di riscaldamento e quello elettrico. Prestare attenzione a non venire a contatto con la corrente elettrica con mani e piedi bagnati. Salire ai piani superiori senza usare l'ascensore. Non scendere assolutamente nelle cantine e nei garage per salvare oggetti o scorte. Non cercare di mettere in salvo la tua auto o i mezzi agricoli: c'è pericolo di rimanere bloccati dai detriti e di essere travolti da correnti. Evitare la confusione e mantenere la calma. Aiutare i disabili e gli anziani del proprio edificio a mettersi al sicuro. Non bere acqua dal rubinetto di casa: potrebbe essere inquinata.</p>	
<p><b>Da tenere a portata di mano</b> È utile inoltre avere sempre in casa, riuniti in un punto noto a tutti i componenti della famiglia, oggetti di fondamentale importanza in caso di emergenza quali:</p>	
<p><b>Kit di pronto soccorso + medicinali</b> Fotocopia documenti di identità Valori (contanti, preziosi) Vestiaro pesante di ricambio Torcia elettrica con pila di riserva Coltello multiuso</p>	<p>Chiavi di casa Scarpe pesanti Impermeabili leggeri o cerate Bastone</p>

Figura 16: scenario Fiume Adda: comportamento da tenere in caso di alluvione (P.E.C. – Comune di Valdisotto, SO)

## 8.1 Sistemi di monitoraggio e allerte

Tra le misure non strutturali rivestono particolare importanza i sistemi di monitoraggio e allerta, che consentono di conoscere il livello e/o la portata del corso d'acqua strumentato e anche altri parametri ambientali (quali ad esempio temperatura, velocità e direzione del vento e precipitazione) in funzione dei sensori installati.

La conoscenza dei livelli del corso d'acqua permette infatti di attivare, in relazione al raggiungimento di alcune soglie prefissate (attenzione, preallerta, allerta), procedure di emergenza per la gestione di eventuali alluvioni e quindi per la riduzione del danno.

Per rendere ancora più efficace l'impiego dei dati misurati è inoltre possibile implementare e tarare specifici modelli previsionali di piena in tempo reale, in grado di prevedere un evento pericoloso con un tempo sufficiente per mettere in sicurezza persone e beni.

I sistemi di monitoraggio possono essere inoltre collegati a dispositivi in grado di attuare delle misure di protezione, ad esempio semafori o barriere a funzionamento automatico per impedire l'accesso ad aree soggette ad allagamenti.

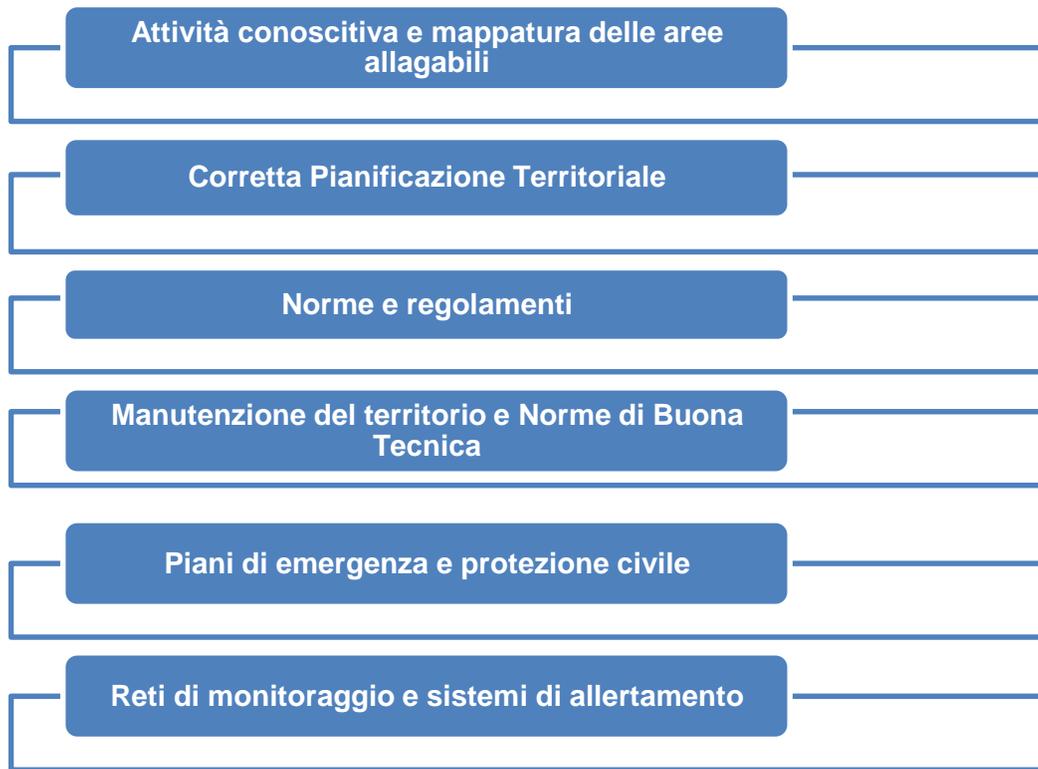
## 8.2 Norme di Buona Tecnica

Eventuali proposte di uso delle aree interessate da fenomeni di inondazione, devono tenere conto del quadro del dissesto descritto ed essere compatibili con il rischio idraulico sussistente; a tale proposito si ritiene inoltre utile che, per gli interventi di trasformazione territoriale, vengano adottate delle *Norme di Buona Tecnica*, necessarie a ridurre il grado di rischio e di seguito elencate e sintetizzate nella figura seguente.

### A. Misure per evitare il danneggiamento dei beni e delle strutture

1. Realizzare le superfici abitabili, le aree sede dei processi industriali, degli impianti tecnologici e degli eventuali depositi di materiale, sopraelevate rispetto ai valori della piena di riferimento, evitando la realizzazione di piani interrati;
2. Realizzare le aperture degli edifici situate al di sotto del livello di piena a tenuta stagna; disporre gli ingressi in modo che non siano perpendicolari al flusso principale della corrente;
3. Progettare la viabilità minore interna e la disposizione dei fabbricati così da limitare allineamenti di grande lunghezza nel senso dello scorrimento delle acque, che potrebbero indurre la creazione di canali di scorrimento a forte velocità;

4. Progettare la disposizione dei fabbricati in modo da limitare la presenza di lunghe strutture trasversali alla corrente;
  5. Agevolare il deflusso/assorbimento delle acque di esondazione, evitando interventi che ne comportino l'accumulo.
- B. Misure atte a garantire la stabilità delle fondazioni**
6. Adottare misure atte a garantire la stabilità delle fondazioni rispetto a fenomeni di erosione e scalzamento;
  7. Prevedere drenaggi atti a ridurre l'insorgere di sovrappressioni interstiziali;
  8. Prevedere opere di difesa per evitare fenomeni di erosione delle fondazioni superficiali;
  9. In presenza di suoli coesivi, adottare fondazioni profonde per limitare i fenomeni di cedimento o di rigonfiamento.
- C. Misure per facilitare l'evacuazione di persone e beni in caso di inondazione**
10. Ubicare le uscite di sicurezza e le vie di evacuazione sopra il livello della piena e aventi dimensioni sufficienti per l'evacuazione di persone e beni verso l'esterno o verso i piani superiori.
- D. Utilizzo di materiali e tecnologie costruttive che permettano alle strutture di resistere alle pressioni idrodinamiche**
- E. Utilizzo di materiali per costruzione poco danneggiabili al contatto con l'acqua**



## **9. L'ESEMPIO DEL NATIONAL FLOOD INSURANCE PROGRAM (NFIP) DEGLI STATI UNITI**

Evidentemente gli strumenti di governo del territorio, individuando dove l'edificazione può e non può avvenire o quali norme tecniche vadano attuate in territori soggetti ad allagamento, sono lo strumento principe per limitare l'esposizione dei beni sul territorio e, quindi, per ridurre il rischio di allagamento. A fianco di questi strumenti sarebbe tuttavia importante affiancare strumenti assicurativi che consentano di gestire le conseguenze degli eventi. Da questo punto di vista è molto interessante l'esempio degli Stati Uniti dove i principi di base della normativa sull'uso del suolo all'interno di una pianura alluvionale sono forniti a livello nazionale nel National Flood Insurance Program (NFIP). Da oltre 50 anni il programma nazionale di assicurazione contro le alluvioni (NFIP) degli Stati Uniti mira a ridurre l'impatto delle alluvioni sulle strutture pubbliche e private. Lo fa fornendo un'assicurazione economica per proprietari di immobili, affittuari e aziende e incoraggiando le comunità ad adottare e applicare le norme e le *best practices* sulla gestione delle pianure alluvionali. Questi sforzi aiutano a mitigare gli effetti delle alluvioni sui centri abitati. Nel complesso, il programma riduce l'impatto socioeconomico delle catastrofi, promuovendo l'adozione dell'assicurazione generale contro i rischi e, nello specifico, dell'assicurazione contro le alluvioni.

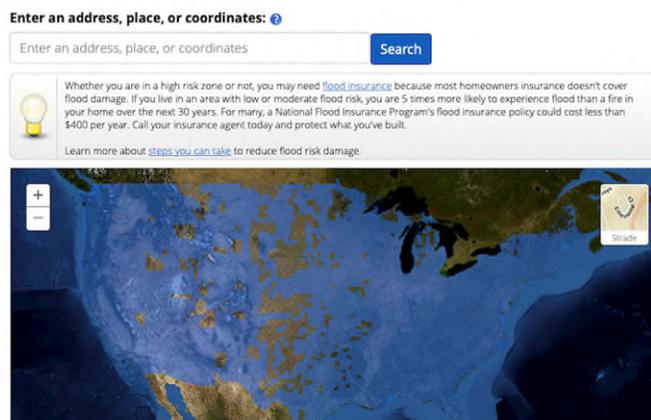
Il programma parte dalla considerazione che in molte zone quasi nessuna casa è completamente al sicuro da potenziali alluvioni: di fatto in USA oltre il 20 per cento delle richieste di danno da alluvione proviene da proprietà al di fuori delle zone classificate ad alto rischio; nel contempo le normali assicurazioni per le abitazioni non coprono in genere i danni causati dalle inondazioni e anche pochi centimetri d'acqua possono indurre un danno di decine di migliaia di euro (si veda la curva mostrata al capitolo Funzioni di Vulnerabilità Economica). L'assicurazione nazionale interviene indipendentemente dal fatto che venga o meno dichiarato lo stato di calamità naturale, con un rimborso medio delle richieste di risarcimento durante gli ultimi 5 anni di circa \$ 69.000: in assenza di questa copertura, lo stato fornisce un'assistenza in caso di catastrofe in due forme: un prestito che deve essere rimborsato con gli interessi, o un sussidio che è in media di circa \$ 5.000 per famiglia. Quindi l'assicurazione contro le alluvioni può fare la differenza tra possibilità di recupero e un disastro finanziario. Senza l'assicurazione contro le alluvioni, la maggior parte dei residenti deve pagare di tasca propria o stipulare prestiti per riparare e sostituire gli oggetti danneggiati.

Al fine di rendere maggiormente apprezzabili questi aspetti, la FEMA, oltre a collaborare con le comunità di tutto il paese per identificare i rischi di alluvione e promuovere modi per ridurre l'impatto, mette a

disposizione alcuni agili strumenti interattivi che consentono di constatare rapidamente il livello di pericolosità e quanto potrebbero costare i danni causati dalle alluvioni. Dal primo punto di vista la FEMA fornisce un servizio basato sull'indirizzo dell'edificio, inserendo il quale è possibile visualizzare, stampare e scaricare mappe di alluvione interattive (si veda Figura 17). In aggiunta a ciò, la FEMA fornisce specifico materiale tecnico che può essere utile per le attività di mitigazione del rischio. Infine, fornisce una chiara procedura sui passi da seguire nel processo di ricostruzione, di documentazione dei danni e di sottomissione di una richiesta di rimborso per danni alluvionali che prevede anche dei pagamenti anticipati sulle spese. Le tariffe dell'assicurazione nazionale NFIP sono poi gestite dalle singole agenzie assicurative ma non differiscono da società a società o da agente a agente. L'importo pagato per la polizza viene calcolato in base a fattori quali: anno di costruzione, superficie dell'edificio, numero di piani, contenuto, rischio di alluvione, posizione del piano più basso in relazione all'elevazione dell'inondazione di base sulle mappe di inondazione attesa. Per case e appartamenti in aree a rischio di alluvione da basso a moderato, specificatamente mostrate nelle mappe di allagamento, la Preferred Risk Policy (PRP) della NFIP offre una protezione a costi inferiori.

Infine, per le comunità che aderiscono al piano di assicurazione NFIP, accettando gli standard minimi di regolamentazione richiesti, la FEMA prevede anche la concessione di finanziamenti specifici per ridurre la vulnerabilità mediante interventi di mitigazione. Ad esempio, nel distretto di Hoboken, pesantemente impattato dall'uragano Sandy che ha investito New York, la proposta di realizzazione di barriere mobili lungo diversi km del fronte con il fiume Hudson sarebbe stata cofinanziata dalla FEMA al 75 limitando l'onere sulle finanze locali degli interventi previsti.

#### FEMA Flood Map Service Center: Search By Address

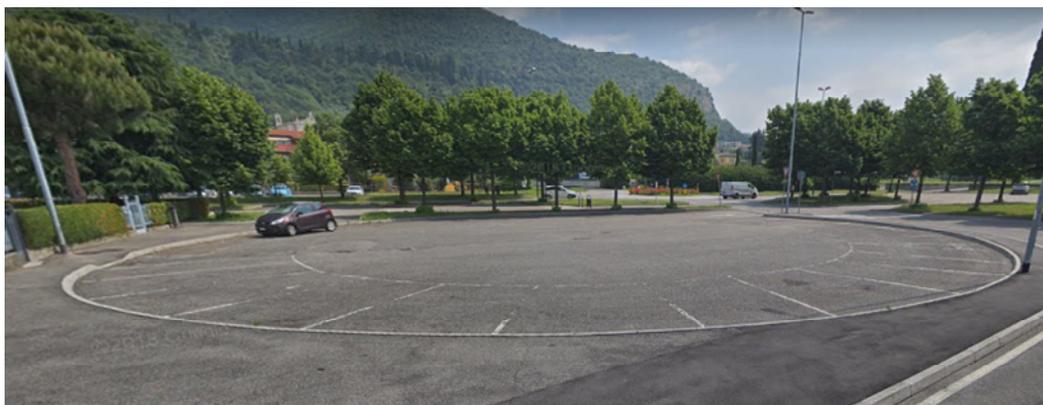


**Figura 17:** il sito della FEMA che consente di conoscere il livello di pericolosità rispetto alle alluvioni del luogo in cui si vive.

## **10. PAVIMENTAZIONI PERMEABILI CONTINUE**

Le pavimentazioni permeabili sono una valida alternativa alle tradizionali pavimentazioni in asfalto per aumentare la permeabilità delle superfici urbane e, di conseguenza, minimizzare il deflusso superficiale. Esistono due tipi di pavimentazioni permeabili: discontinue e continue. Mentre le prime, ottenute accostando elementi prefabbricati in CLS, perforati e autobloccanti, sono tradizionalmente utilizzate per quanto riguarda le zone pedonali, i marciapiedi o le zone non soggette a traffico intenso e sono diffusamente trattate in altra relazione, le seconde sono realizzate in modo apparentemente simile alle pavimentazioni stradali normali, ma con conglomerati bituminosi o calcestruzzi permeabili, ottenuti eliminando dalla miscela gli inerti di granulometria fine e posando preferenzialmente al di sotto della pavimentazione un sottofondo filtrante, composto da strati di granulometria crescente, eventualmente isolato con una guaina impermeabile a costituire una specie di volume di laminazione. I risultati delle analisi (Terhell et al., 2015) mostrano che i vari tipi di pavimentazione permeabile riducono il ruscellamento superficiale presente dopo un evento di pioggia circa del 98%, mentre il tradizionale asfalto solo del 32%.

Nel progettare questo tipo di strutture è necessario considerare l'impatto inquinante sull'acquifero sottostante e certamente esse non sono adatte a zone dove vi siano significativi episodi di contaminazione delle acque superficiali, come piazzali di siti industriali o vie di elevato traffico (per quanto non si possa non osservare che la loro utilizzazione in ambito autostradale è sempre più diffusa), come pure dove vi siano apporti di materiale fino che possano rapidamente occludere la porosità che costituisce elemento funzionale fondamentale di questo tipo di pavimentazione. In molte zone urbane non mancano tuttavia ampie aree a modesto carico veicolare e di elevata estensione, come il parcheggio mostrato nella figura 18, che potrebbero certamente trarre beneficio dall'utilizzo di questi materiali.



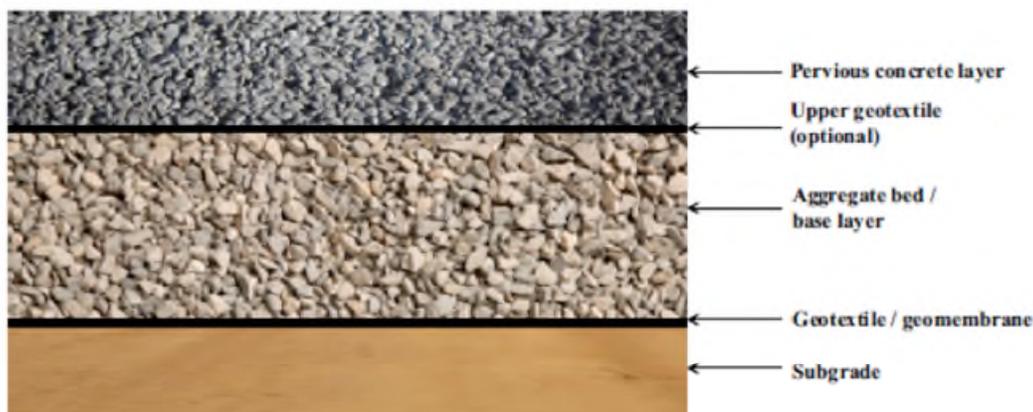
**Figura 18:** esempio di ampio parcheggio rivestito in asfalto tradizionale

L'efficienza di questo tipo di pavimentazioni dipende, oltre che dalla tempestiva e adeguata manutenzione, dalla tipologia degli strati sottostanti e del sottosuolo: nel momento in cui quest'ultimo non possiede caratteristiche drenanti, l'intera pavimentazione assume meramente un ruolo di accumulo temporaneo delle acque infiltrate, che vengono gradualmente restituite al sistema drenante di cui la pavimentazione può essere dotata e che è direttamente collegato al ricettore.

Contrariamente alle tradizionali pavimentazioni impermeabili, le pavimentazioni permeabili minimizzano gli effetti ecologici negativi del ruscellamento superficiale, riducendo l'inquinamento acustico (McCain e Dewoolkar, 2009) e anche l'effetto isola di calore (Kovac e Sicakova, 2017) che sempre più costituisce un problema in ambito urbano. Infatti i sistemi di pavimentazione impermeabile accrescono le temperature locali, sia per la loro minore albedo connessa alla colorazione scura (albedo stimabile pari al 7 % per l'asfalto, da confrontarsi ad esempio con un 22 % per una superficie in calcestruzzo permeabile chiara) che determina una minore riflessione di radiazione incidente e il conseguente assorbimento di energia, ma anche a causa della loro incapacità di trattenere all'interno l'umidità che, per evaporazione, può assorbire durante l'evaporazione calore latente. Inoltre, grazie alla loro natura porosa, le pavimentazioni drenanti agiscono anche da filtro (Chandrappa e Biligiri, 2016), migliorando la qualità dell'acqua infiltrata, che può essere inquinata da metalli pesanti, oli, etc, agendo con una pluralità di meccanismi che vanno dalla riduzione delle particelle solide sospese, ad effetti chimici (il calcestruzzo drenante, essendo di natura alcalina, nel contatto con l'acqua inquinata rilascia ioni di idrossido e di carbonato, che reagiscono con gli inquinanti e li fanno precipitare) o biologici (i pori presenti nel calcestruzzo permeabile forniscono una dimora per una serie di attività microbiche). Infine, le pavimentazioni permeabili hanno importanti vantaggi anche a livello di sicurezza, lasciando una pavimentazione asciutta, più sicura per i guidatori.

È tuttavia necessario evidenziare che queste pavimentazioni presentano ancora delle criticità, quali la possibile occlusione dei pori da parte dei materiali contenuti nell'acqua che si infiltra, che richiede costi di manutenzione più elevati onde scongiurare una riduzione della capacità drenante. Infatti l'acqua che si infiltra può trasportare argilla e sabbia, che riduce la capacità drenante della pavimentazione, portandola poi ad essere più soggetta agli allagamenti e più sensibile ai danni del gelo, con riduzione della vita utile della pavimentazione. Inoltre, queste pavimentazioni richiedono una corretta preparazione del sottofondo stradale, che deve avere una sufficiente permeabilità (Kovac e Sicakova, 2017) e hanno una tendenziale minore resistenza a compressione e a flessione, tale da rendere più problematica la gestione di veicoli pesanti e di traffico intenso.

Considerando il calcestruzzo drenante, esistono ormai numerose applicazioni soprattutto all'estero, ampiamente descritte in letteratura. Il calcestruzzo drenante è un materiale caratterizzato da una struttura porosa che consente all'acqua di infiltrarsi, con permeabilità superiore a 200 l/m<sup>2</sup>/minuto. Esso può essere realizzato con additivi coloranti che ben si possono adattare ad ogni centro storico. La tipica sezione trasversale di una pavimentazione di questo tipo è costituita da uno strato di cemento permeabile, un tessuto non tessuto (opzionale), un letto di aggregati, un tessuto non tessuto e il sottofondo.



**Figura 19:** esempio di sequenza di posa di un calcestruzzo permeabile

Tuttavia ci possono essere strati intermedi di aggregati, coperti e legati tra loro con del cemento, con funzione di drenaggio (Chandrappa e Biligiri, 2016). Tipicamente un'ottima capacità di carico si raggiunge con 40 cm di sottofondo e 20 cm di drenante superiore.

In una pavimentazione in calcestruzzo drenante il contenuto di vuoti varia tipicamente dal 15 al 35%; un calcestruzzo con porosità inferiore al 15% tende a causare una lenta infiltrazione dell'acqua a causa dell'insufficienza di pori interconnessi, mentre una pavimentazione con porosità maggiore del 35% risulta molto permeabile ma più debole (Kia et al., 2017), diminuendo la resistenza a compressione e a flessione di un calcestruzzo all'aumentare del contenuto di vuoti. Una variabile molto importante è il rapporto acqua-cemento che varia tipicamente in un range da 0.28 a 0.40 ed è inferiore rispetto ai tradizionali calcestruzzi; inoltre il rapporto aggregati-cemento è solitamente compreso in un intervallo da 4:1 a 6:1, tipicamente il volume di aggregati è approssimativamente del 50-65%, molto inferiore rispetto ai calcestruzzi tradizionali, in cui raggiunge anche il 75% (Chandrappa e Biligiri, 2016).

Come sopra ricordato, la capacità di un calcestruzzo permeabile di drenare l'acqua si riduce gradualmente nel momento in cui la struttura porosa viene ostruita dall'ingresso di particelle fini; l'impatto della deposizione delle particelle dipende da una serie di parametri, tra cui le caratteristiche della struttura porosa e la distribuzione granulometrica del materiale di ostruzione; quindi per progettare pavimentazioni che siano meno suscettibili all'ostruzione, è importante capire l'influenza delle caratteristiche della struttura porosa sulla resistenza all'intasamento (Deo et al., 2010).

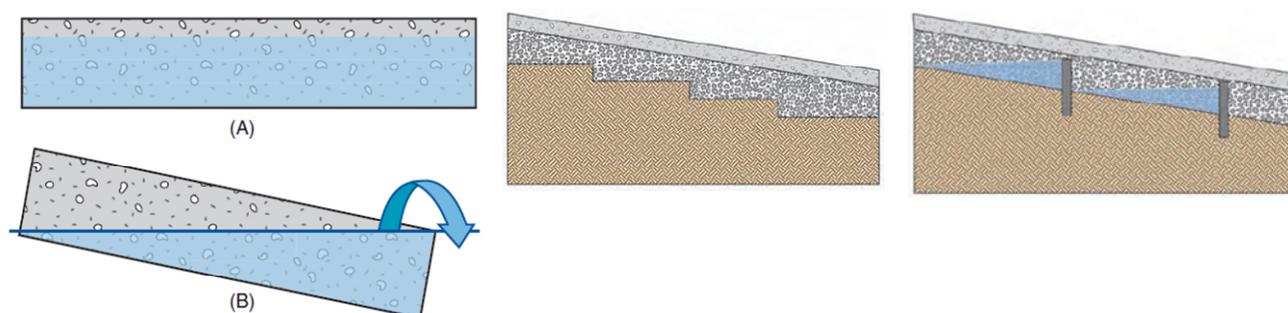
All'elevata capacità drenante non corrisponde generalmente un'elevata resistenza a compressione e a flessione, quindi le applicazioni sono generalmente limitate alle aree pedonali o con traffico poco intenso (Bonicelli et al., 2016). In generale, per la loro rigidità possono sostenere anche traffico pesante ma è importante che le velocità (idealmente < 30-40 km/ora) e le accelerazioni siano limitate. Sono quindi ideali per parcheggi o zone a traffico controllato. La loro forte capacità drenante va attentamente considerata rispetto alla presenza degli edifici circostanti.

La resistenza è determinata principalmente dalla porosità totale, pari circa al 20-25 %, con materiali con granulometria 6-12 mm: è stato osservato che la resistenza diminuisce circa del 3% a fronte di un aumento dell'1% del contenuto di vuoti. La resistenza a compressione di un calcestruzzo drenante a 28 giorni può variare da 1 a 28 MPa, aumentando a 46 MPa con l'aggiunta di microsilice, aggregati fini e super plastificanti. Si consideri che per pavimentazioni e marciapiedi non percorsi da veicoli è richiesta una resistenza di 13,8 MPa mentre pavimentazioni esposte al traffico non intenso richiedono una resistenza di 20,7 MPa. Vi sono tuttavia esempi (Li et al., 2017) di pavimentazioni ad alta resistenza

con un'ottima permeabilità, caratterizzati da una resistenza a flessione di circa 10 MPa e una resistenza a compressione di circa 70 MPa, realizzati mediante utilizzo di specifiche componenti in opportune proporzioni (cemento Portland (P.O 52.5R), cenere volante (FA), microsilice (SF), sabbia, agente espansivo UEA, superfluidificante, fibre di polipropilene (PP), gel di silice, gomma stirene- butadiene e acqua). Si è anche osservato che, nonostante solitamente nel calcestruzzo drenante non siano presenti aggregati con diametro inferiore a 3mm, una piccola aggiunta di sabbia può aumentare significativamente la resistenza e la durabilità. Quindi, aggiungendo le fibre appropriate e i corretti contenuti di sabbia è possibile aumentare le proprietà meccaniche della pavimentazione rendendola certamente adatta a sostenere il traffico delle strade urbane.

Grandissima attenzione andrà posta alla posa, che deve essere effettuata da aziende con esperienza specifica nel settore, senza la quale può accadere che il materiale posato si sfaldi non appena soggetto a cicli di carico e che la vita utile sia molto minore dei 10 anni che dovrebbero essere garantiti per questo genere di materiale.

Un presupposto importante è che il sistema di pavimentazione sia orizzontale; se non lo è e l'intensità della pioggia è maggiore del tasso di infiltrazione del terreno, che è il caso della maggior parte dei terreni, lo strato superiore della pavimentazione non verrà riempito e l'acqua piovana scorrerà velocemente nella parte inferiore. Una volta riempito questo strato, l'acqua si accumulerà rapidamente all'estremità inferiore della pavimentazione a causa dell'elevata permeabilità del calcestruzzo drenante, limitando gli effetti benefici di questo sistema (Figura 20a).



**Figura 20:** da sinistra a destra, (a) conseguenza di una disposizione non orizzontale della copertura permeabile; (b) utilizzo di terrazzamenti o (c) diaframmi per aumentare il volume stoccato.

Quindi, quando la pavimentazione non è orizzontale e il tasso delle precipitazioni è maggiore del tasso di infiltrazione, la profondità del sistema deve essere aumentata per raggiungere gli obiettivi desiderati. Molto significativo è l'effetto di puro accumulo nel pacchetto permeabile che consente quindi di non dover fare affidamento sulla permeabilità del terreno di riempimento. In questo caso la capacità di smaltimento necessaria può anche essere anche fornita da un dreno costituito da un letto relativamente profondo di ghiaia, collocato al di sotto dell'estremità di valle della pavimentazione. Per i sistemi di pavimentazione in calcestruzzo drenante che presentano una notevole lunghezza è stato anche proposto l'utilizzo di terrazzamenti o diaframmi per aumentare il volume stoccato, come mostrato nelle Figura 20 (b) e (c) (Leming et al., 2007).

Per quanto riguarda la manutenzione, si deve considerare che la vita utile di una pavimentazione in calcestruzzo permeabile varia generalmente tra 6 e 20 anni e il "fine vita" è solitamente causato anche dalla degradazione data dai cicli di gelo-disgelo: infatti, il calcestruzzo drenante è costituito da vuoti interconnessi e sufficientemente larghi per consentire il passaggio dell'acqua, ma quando questi pori sono saturi, non resta spazio in cui l'acqua si possa espandere, per cui si generano delle forze tensionali sul calcestruzzo. Il sottile strato di cemento che lega gli aggregati non è sempre sufficientemente resistente a queste forze, per cui si generano frammentazioni o rotture. Queste pavimentazioni sono anche molto sensibili allo sversamento di oli o altre sostanze che possano cambiare la naturale bagnabilità del calcestruzzo.

Le pavimentazioni continue permeabili richiedono una manutenzione mirata a seconda dell'ambiente in cui sono poste (carico di sedimenti delle acque di ruscellamento), ma almeno una o due volte all'anno per limitare l'occlusione dei pori. In aree soggette ad alte concentrazioni di detriti e alla loro sedimentazione, è necessaria una frequenza maggiore di manutenzione. Quale tecnica di pulizia l'ICPI (Interlocking Concrete Pavement Institute) consiglia il "vacuum sweeping", mentre altre suggeriscono il "pressure washing" (Drake e Bradford, 2013).

Il "vacuum sweeping" consiste nell'estrazione delle particelle che occludono i pori ed è un metodo veloce ma si riesce ad estrarre solo le particelle prossime alla superficie, mentre il "pressure washing" consiste nel lavaggio in pressione della pavimentazione per liberarlo delle impurità e consente di ottenere un rinnovamento migliore, ma c'è il rischio che, applicando una pressione eccessiva, le particelle che occludono in pori vengano spinte negli strati più profondi oppure nella falda. Senza adeguata manutenzione o con un carico di materiale fine dall'esterno eccessivo la permeabilità diminuisce fortemente a causa dell'effetto cumulativo dell'ostruzione (Kia et al., 2017).

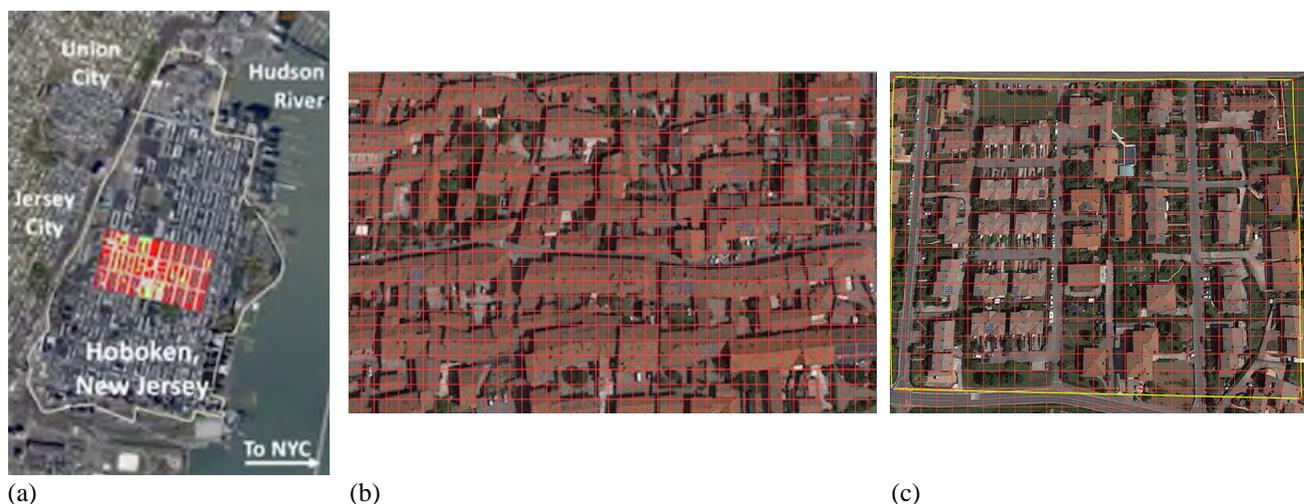
Per quanto riguarda l'asfalto permeabile, la curva granulometrica del materiale utilizzato è identica a quella del calcestruzzo ma cambia il legante, che è bituminoso e quindi non bagnante nei confronti dell'acqua. Viene tipicamente posato con spessori limitati (3 cm di spessore) e la sua capacità filtrante è determinata dalla pressione esercitata dalla ruota del veicolo, che consente di vincere l'effetto antagonista della tensione superficiale del legante bituminoso. È quindi adatto a viabilità di traffico veloce ma può essere invece inefficace in zone con veicoli a bassa velocità ed è anzi rovinato, quando la temperatura del terreno sia elevata in periodo estivo, dall'attrito determinato da veicoli in manovra. Esso presenta quale punto di forza rispetto al calcestruzzo un costo notevolmente inferiore (da 1/3 a 1/5) ma ha, per contro una vita più breve di circa il 30 %. Non ha inoltre altre caratteristiche molto particolari quali l'albedo del calcestruzzo e la possibilità di essere posato in colori differenti.

In generale, le pavimentazioni permeabili richiedono certamente maggiori costi iniziali rispetto a quanto richiesto da coperture tradizionali in asfalto. L'alto costo iniziale è soprattutto legato alla preparazione del sottofondo necessario per consentire la permeazione nel terreno sottostante. D'altro canto, le pavimentazioni permeabili richiedono meno interventi di riparazione durante la durata dell'opera rispetto a quella dell'asfalto normale, la cui superficie si può fratturare o usurare, ed è molto sensibile agli agenti atmosferici e alla temperatura. La sola manutenzione regolare che è necessaria per le pavimentazioni permeabili è l'aspirazione, al fine di mantenere alta la permeabilità.

In conclusione, secondo (Terhell et al., 2015), considerando l'intera vita dell'opera le pavimentazioni permeabili sono più economiche dell'asfalto impermeabile, avendo in aggiunta il vantaggio del minor impatto sull'ambiente, della elevatissima permeabilità che può rendere nulli i costi di realizzazione di eventuali sistemi di raccolta e di collettamento dei deflussi e della riduzione dei costi del trattamento delle acque.

## 11. DISCONNESSIONE DEI PLUVIALI DALLA RETE MISTA, RACCOLTA E RIUSO DELLE ACQUE DI PIOGGIA

In considerazione dell'elevatissima capacità filtrante, l'utilizzo di pavimentazioni permeabili all'interno dei centri abitati permetterebbe di smaltire le acque di pioggia provenienti dai pluviali direttamente sulla superficie stradale, ovvero di disconnettere i pluviali dalla rete mista che generalmente è il loro recapito finale. Eliminando i tetti dal computo delle aree impermeabili, tale intervento abbatterebbe radicalmente il coefficiente di deflusso dei centri urbani. A titolo di esempio, nel centro urbano (b) di Figura 21, rappresentativo di un centro urbano tradizionale, i tetti, per i quali possiamo assumere un coefficiente di deflusso pari a 0.75, rappresentano il 55 % della superficie (non molto inferiore al valore di (a), relativo ad un quartiere di New York), mentre in quello (c) di destra, relativo ad un'area di edilizia residenziale, il 34%. La loro esclusione dal ciclo di collettamento delle acque equivarrebbe a ridurre in maniera consistente la superficie netta impermeabile e l'idea alla base dei tetti verdi, difficilmente applicabile in molte situazioni italiane, risponde a questa logica.



**Figura 21:** diversa copertura dei tetti in (a) un contesto cittadino (Hoboken), (b) in un centro urbano tradizionale e (c) in una zona residenziale di nuova urbanizzazione

Naturalmente la disconnessione potrebbe essere giustificata anche in assenza di pavimentazioni permeabili, sulla base di considerazioni locali sulle direzioni di drenaggio del terreno ovvero qualora vengano realizzate trincee o pozzi drenanti che divengano il nuovo recapito di superfici sufficientemente ampie di tetti. Qualora poi la tipologia di centro urbano sia più prossima al centro urbano mostrato in destra nella Figura sovrastante, è possibile pensare ad uno smaltimento diretto sul terreno e/o alla

raccolta di parte dell'acqua proveniente dai pluviali per usi non idropotabili, quali l'irrigazione di aree a verde, prati, giardini, orti, il lavaggio di aree pavimentate (strade, piazzali, parcheggi) o di autovetture. Interventi più complessi possono poi prevedere l'utilizzo interno all'edificio che tuttavia implicano un intervento sostanziale. Negli Stati Uniti è molto incentivata l'installazione di Rain Barrels, che, ad esempio, con una capacità di 500 litri catturano i primi 5 mm di pioggia da una superficie coperta di 100 m<sup>2</sup>.



**Figura 22:** raccolta dell'acqua dal pluviale all'interno di "rain barrels"

## **12. UN ESEMPIO DI MITIGAZIONE DEL RISCHIO A SCALA LOCALE**

A titolo di esempio di un intervento di mitigazione del rischio condotto a scala locale, si riporta il caso da noi trattato di una casa isolata (indicata con il numero 11 in Figura 24), posta in zona pedecollinare e periodicamente interessata da allagamenti causati dall'accumulo delle acque meteoriche di dilavamento provenienti dall'ampio terreno posto a monte della proprietà. La tipologia degli interventi messi in atto per risolvere il problema locale di allagamenti sporadici ma estremamente impattanti dal punto di vista economico rientra tra quelle prima affrontate e viene dettagliata nel seguito.

In primo luogo, un'analisi del reticolo di drenaggio ricavato dalle pendenze locali estratte da modello di elevazione del terreno (si veda Figura 23), ha evidenziato come la casa fosse posta sul tracciato di deflusso del reticolo efemerico superficiale, reticolo che si manifesta solo in occasione di eventi meteorici di particolare rilevanza. Si è quindi proceduto con una simulazione bidimensionale del processo di deflusso (si veda la campitura in tonalità di azzurro in Figura 24) in corrispondenza di un evento di opportuno tempo di ritorno, evidenziando la dinamica di allagamento: le acque provenienti dal terreno di monte, che si accumulano nella zona 1 e da qua entrano nel fosso 2, verrebbero convogliate in 4 dove la presenza di una condotta circolare tombata le fa quindi fluire al fosso in 5 e da qua in 7 dove è presente il recapito in un altro condotto di grandi dimensioni, condotto anch'esso tombato e a sua volta percorso da acque di un comprensorio di monte e destinato all'allontanamento definitivo delle acque verso valle.

In corrispondenza della fase parossistica di eventi meteorici estremi, la scarsa pendenza e sezione, l'elevata scabrezza del fosso in 2-4, unita alla scarsa capacità di portata della condotta tombata in 4, determinavano il rigurgito e l'esondazione sia in corrispondenza del fronte 2 che nel punto di imbocco 4. Dalla zona 2 l'acqua invadeva lo spazio interrato in 3 mentre dal punto 4 l'acqua esondante, seguendo la pendenza del terreno, entrava nel cortile 8, allagando l'edificio principale tratteggiato. Inoltre, anche per rigurgito del ricettore finale posto in 7, l'acqua esondava nell'ampio prato in 10, completamente recintato da un muro in pietra, allagandolo ed entrando nel cortile 9 attraverso il varco tra 8 e 9 mostrato in figura.

La simulazione effettuata ha suggerito gli interventi di mitigazione da attuare, fornendo gli elementi idraulici utili al dimensionamento degli stessi. Gli interventi di mitigazione posti in atto sono stati i seguenti: risezionamento trasversale e longitudinale del fosso di drenaggio nel tratto 2-4 con diminuzione della scabrezza; risezionamento del condotto tombato tra 4 e 5; inserimento di una valvola di non ritorno in 7; inserimento di una paratoia verticale autosollevabile in uno dei due varchi tra 8 e 9 e

chiusura dell'altro; lieve risagomatura del terreno nella zona tra 4 e 6 e 6 e 5; realizzazione di una soglia tracimabili a stramazzo lungo il muro perimetrale della zona 10, essendo la zona a valle del prato in 10 ad elevata capacità di smaltimento del deflusso. Le soglie sfioranti sono state dimensionate considerando il riempimento del cortile 10. A tale scopo, determinato l'idrogramma in ingresso da monte per l'evento preso a riferimento, si è risolta la equazione di conservazione della massa della zona 10, dimensionando l'elevazione e la lunghezza della soglia sulla base della massima elevazione accettabile per l'invaso che si viene a formare in 10, alla luce dell'effetto sulla zona 9.

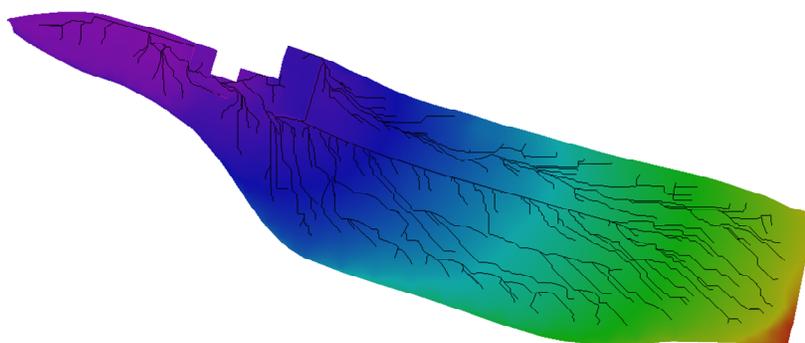


Figura 23: reticolo di drenaggio delle acque meteoriche di dilavamento nell'esempio analizzato

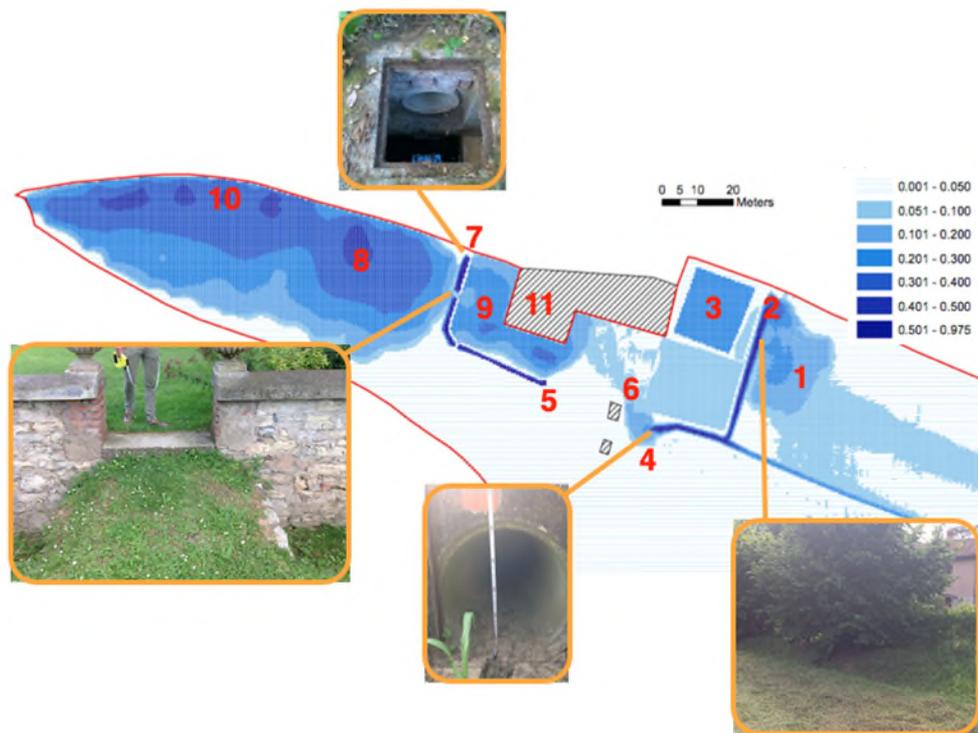
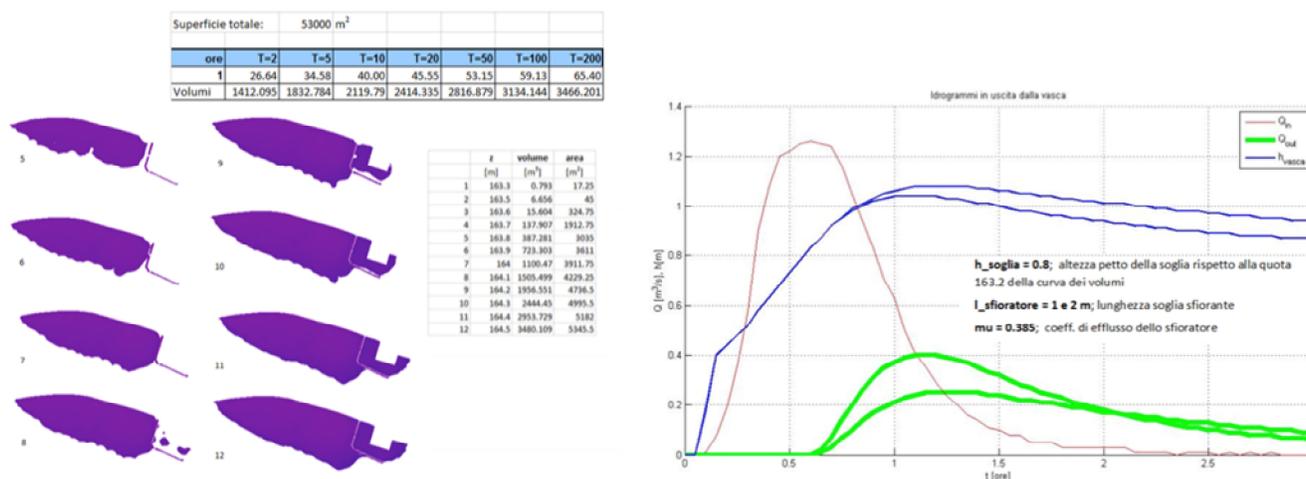
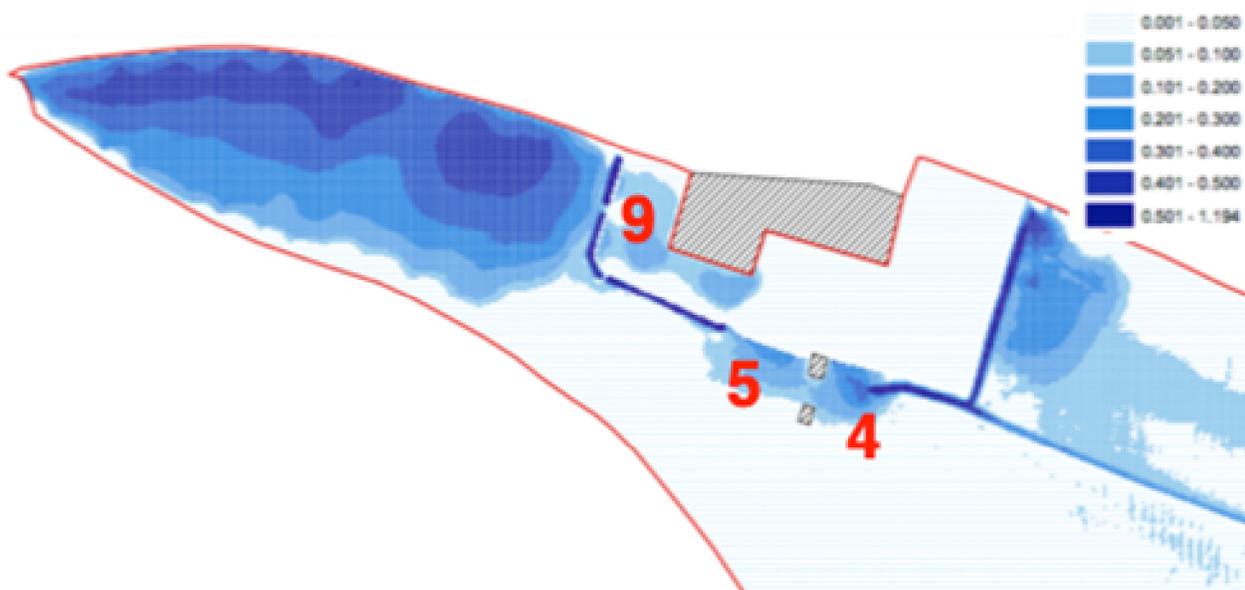


Figura 24: mappa delle profondità di allagamento nel caso analizzato e localizzazione di alcuni degli interventi di miglioramento della capacità di drenaggio



**Figura 25:** a sinistra in violetto, estensione delle aree allagate nella zona 10 e 9 in funzione del volume accumulato e idrogrammi di livello dell'invaso (linea blu a destra) con due idrogrammi in uscita dagli sfioratori (linea verde) in corrispondenza a due diverse dimensioni della soglia sfiorante.



**Figura 26:** mappa delle profondità di allagamento ad interventi realizzati. L'allagamento residuo nel cortile 9 è dovuto alle piogge drenate dai tetti e dall'area interna al cortile, per il cui allontanamento è previsto uno specifico pozzetto di accumulo con impianto di pompaggio. L'accumulo in 4 e 5 è dovuto all'accumulo delle acque di deflusso fluenti sul versante e non alla insufficienza del nuovo condotto tombato in 4.

In definitiva, le acque accumulate nel prato in 10 sono destinate alla lenta filtrazione all'interno del terreno e alla dispersione in falda.

## **13. BIBLIOGRAFIA**

- Bonicelli A., Arguelles G.M., Pumarejo L.G.F., Improving Pervious Concrete Pavement for achieving more sustainable urban roads. *Procedia Engineering*, 2016.
- Chandrappa K., Biligiri K.P., Pervious concrete as a sustainable pavement material – Research findings and future prospects: A state-of-the-art review. *Construction and Building Materials*, 2016.
- Drake J.A.P., Bradford A., Assessing the potential for restoration of surface permeability for permeable pavements through maintenance. *Water Sci. Technol*, 2013.
- FEMA 386-1, Getting Started: Building Support for Mitigation Planning.
- FEMA 386-2, Understanding Your Risks: Identifying Hazards and Estimating Losses.
- FEMA 386-3, Developing the Mitigation Plan: Identifying Mitigation Actions and Implementing Strategies.
- FEMA 386-4, Bringing the Plan to Life: Implementing the Hazard Mitigation Plan.
- FEMA 511, Reducing Damage from Localized Flooding.
- FEMA 551, Selecting Appropriate Mitigation Measures for Floodprone Structures
- Kia A., Wong H.S., Cheeseman C.R., Clogging in permeable concrete: A review. *Journal of Environmental Management*, 2017.
- Kovac M., Sicakova A., Pervious Concrete as a Sustainable Solution for Pavements in Urban Areas. *Environmental Engineering - 10th International Conference*, 2017.
- Leming M.L., Malcom H.R., Tennis P.D., Hydrologic design of pervious concrete. *PCA*, 2007.
- Li J., Zhang Y., Liu G., Peng X, Preparation and performance evaluation of innovative pervious concrete pavement. *Construction and Building Materials*, 2017.
- McCain G., Dewoolkar M., Strength and Permeability Characteristics of porous concrete pavements. *Transportation Research Board 88th Annual Meeting*, 2009.
- McGrath, H., Abo El Ezz, A. & Nastev, M. (2019). Probabilistic depth–damage curves for assessment of flood-induced building losses, *Nat. Hazards*, <https://doi.org/10.1007/s11069-019-03622-3>
- Nash, J. E., and Sutcliffe, J. V. (1970). "River flow forecasting through conceptual models part I — A discussion of principles." *J. Hydrol.*, 10(3), 282–290.
- Orlandini, S., G. Moretti, and J. D. Albertson (2015), Evidence of an emerging levee failure mechanism causing disastrous floods in Italy, *Water Resour. Res.*, 51, 7995–8011, doi:10.1002/2015WR017426.
- Terhell S., Cai K., Chiu D., Murphy J., Cost and Benefit Analysis of Permeable Pavements in water Sustainability. *ESM 121 Final Paper*, 2015.
- Terzaghi, K., R. B. Peck, and G. Mesri (1996), *Soil Mechanics in Engineering Practice*, 3rd ed., 592 pp., John Wiley, N. Y.

US EPA (1993). Handbook urban runoff pollution prevention and control planning (EPA/625/R-93/004), USEPA, Washington, DC.

Varnes, D. J. (1984), Landslide Hazard Zonation: A Review of Principles and Practices. UNESCO Natural Hazard Series, No.3, UNESCO, Paris, 63pp.