

# EDIFICI IN AREE A RISCHIO DI ALLUVIONE

## COME RIDURNE LA VULNERABILITÀ



AUTORITÀ DI BACINO DEL FIUME PO

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PAVIA



## EDIFICI IN AREE A RISCHIO DI ALLUVIONE COME RIDURNE LA VULNERABILITÀ

Indice : pag.

|                                                                                                             |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Alcuni concetti chiave: rischio, pericolosità e vulnerabilità.....                                          | 1  |
| <b>Effetti di piena sugli edifici</b> .....                                                                 | 2  |
| 1.Spinta idrostatica orizzontale.....                                                                       | 2  |
| 2.Spinta di galleggiamento.....                                                                             | 3  |
| 3.Immersione prolungata.....                                                                                | 3  |
| 4.Spinta idrodinamica.....                                                                                  | 4  |
| 5.Impatto dei detriti.....                                                                                  | 4  |
| 6.Erosione e scalzamento.....                                                                               | 5  |
| <b>Ridurre l'attuale vulnerabilità: misure attive e misure passive.</b> .....                               | 7  |
| (A) Elevare.....                                                                                            | 8  |
| (B) Delocalizzare.....                                                                                      | 9  |
| (C) Impermeabilizzare.....                                                                                  | 10 |
| (D) Allagamento guidato.....                                                                                | 10 |
| (E) Barriere.....                                                                                           | 10 |
| <b>Consigli per la riduzione della vulnerabilità degli edifici<br/>in aree a rischio di alluvione</b> ..... | 11 |
| 1. Tipologia strutturale e materiali.....                                                                   | 11 |
| 2. Fondazioni.....                                                                                          | 12 |
| 3. Vani interrati.....                                                                                      | 12 |
| 4. Murature.....                                                                                            | 12 |
| 5. Solette.....                                                                                             | 13 |
| 6. Rivestimenti.....                                                                                        | 14 |
| 7. Porte e serramenti.....                                                                                  | 14 |
| 8. Impianti.....                                                                                            | 14 |
| 9. Zona rifugio.....                                                                                        | 15 |

Il *Piano di bacino* è lo strumento di pianificazione territoriale, introdotto dalla legge 183/89, che ha lo scopo di assicurare la difesa del suolo, il risanamento delle acque, la fruizione e la gestione del patrimonio idrico per gli usi di razionale sviluppo economico e sociale, la tutela degli aspetti ambientali ad essi connessi.

Vista la complessità del Piano, L'Autorità di bacino del fiume Po ha proceduto all'elaborazione per *stralci funzionali*.

Tra essi assume un rilievo primario il *Piano stralcio per Assetto Idrogeologico* (PAI), il cui scopo fondamentale è quello di “*garantire al territorio del bacino del fiume Po un livello di sicurezza adeguato rispetto ai fenomeni di dissesto idraulico e idrogeologico*” (art. 1, comma 3 delle Norme di Attuazione del PAI).

Le misure principali individuate dal PAI sono la realizzazione di interventi di difesa e l'apposizione di vincoli su porzioni di territorio particolarmente esposte ai fenomeni di dissesto idraulico ed idrogeologico.

Per il fiume Po e i suoi principali affluenti, il PAI mira a raggiungere un *assetto di progetto* della regione fluviale, raggiungendo un equilibrio tra le componenti naturali e quelle antropiche, tra loro tendenzialmente conflittuali.

Per ottenere tali risultati, il PAI ha introdotto un particolare strumento, finalizzato a classificare (in virtù del diverso livello di rischio presente) le aree prossime ai corsi d'acqua esposte al deflusso delle piene ed a fenomeni di esondazione: si tratta delle *Fasce fluviali A, B e C* (definite e disciplinate specificamente dagli articoli 28 ss. delle NA del PAI).

Per i territori inclusi in tali Fasce fluviali, il PAI stabilisce numerose disposizioni di *vincolo*, volte a limitare quei particolari usi del suolo che possono incrementare il rischio.



Nel perseguimento dell'assetto di progetto ottimale, i vincoli del PAI si rendono senz'altro necessari e sono, per così dire, gli ideali "paletti" con cui si vuole evitare un ulteriore incremento di criticità nelle aree a rischio.

Così molte delle disposizioni di vincolo relative alle Fasce A e B dettano norme in materia urbanistica ed edilizia. Da una loro lettura complessiva, si può rilevare che il PAI è orientato, in generale, a favorire la *delocalizzazione* degli edifici al di fuori delle fasce fluviali ed a limitare il più possibile gli interventi di nuova edificazione e di ampliamento degli edifici preesistenti; inoltre gli interventi di natura conservativa ammessi devono essere sempre accompagnati da adeguate misure di mitigazione del rischio.

Tuttavia la tutela delle fasce fluviali costituisce solo un punto di partenza, ma non può esaurire la *"mission"* della pianificazione di bacino. Lo stesso art. 1 comma 3 delle NA del PAI, richiamato in precedenza, stabilisce infatti che il Piano persegue gli obiettivi di sicurezza *anche* per il tramite del *"recupero delle aree fluviali, con particolare attenzione a quelle degradate, anche attraverso usi ricreativi"* e, specificamente, con l'individuazione di interventi finalizzati *"alla tutela ed al recupero dei valori monumentali, paesaggistici ed ambientali presenti e/o la riqualificazione delle aree degradate"*.

Fissati i "paletti", l'Autorità di bacino del fiume Po si è dunque orientata verso la *valorizzazione* di ciò che questi paletti sono rivolti a difendere.

Come si è visto, il PAI favorisce la delocalizzazione degli *insediamenti* al di fuori delle Fasce fluviali A e B.

Tuttavia, non sempre è possibile procedere in tale

direzione e spesso per ragioni non solo economiche. Ma vi è di più: vi sono ipotesi in cui, per il conseguimento delle finalità del PAI, non è neppure opportuno utilizzare lo strumento della delocalizzazione. Si pensi al caso degli immobili adibiti ad attività turistico - ricreative rispetto alle quali il corso d'acqua costituisce un elemento imprescindibile. Possiamo citare, ad esempio, gli impianti sportivi delle associazioni di canottaggio, che sono una realtà da tempo diffusa lungo gran parte dell'asta del Po e non solo; oppure gli importanti reperti di archeologia industriale costituiti dalle opere idrauliche storiche e dagli edifici annessi.

Ebbene, è proprio con riferimento a casi come questi che si può notare il limite di una disciplina solo vincolistica.

E' pertanto necessario fornire, oltre ai divieti, anche idonei strumenti per la *conservazione* e la *tutela* di particolari categorie di insediamenti presenti nelle Fasce A e B, allorché il loro mantenimento sia complessivamente preferibile rispetto alla dismissione o alla delocalizzazione.

Questo documento costituisce quindi un contributo tecnico-scientifico per approfondire la conoscenza sulla vulnerabilità degli edifici esposti ai rischi derivanti dalle piene nelle Fasce fluviali "A" e "B" definite dal PAI, con particolare riguardo a quelli che, per loro peculiari caratteristiche (storiche, sociali, sportive ecc.), possono assumere un rilievo significativo per la conservazione e la valorizzazione del territorio fluviale.



## ALCUNI CONCETTI CHIAVE: Rischio, Pericolosità e Vulnerabilità

Affrontare il tema della riduzione della vulnerabilità delle strutture realizzate in aree esondabili ci obbliga innanzitutto a richiamare alcuni concetti generali che riguardano il rischio da alluvione.

La vulnerabilità è infatti una delle componenti del rischio, che può essere rappresentato dalla formula:

**Rischio =**

**Pericolosità x Valore bene esposto x Vulnerabilità**

La pericolosità esprime l'entità del fenomeno (alluvione/ sisma/frana/ ecc) e la probabilità che si manifesti in un arco temporale più o meno ampio.

La vulnerabilità può esprimersi come il danno atteso, ovvero la percentuale di riduzione del valore che il fenomeno calamitoso produce sul bene; si definisce atteso perchè riferito ad un fenomeno la cui intensità e la cui frequenza non è certa ma legata ad una curva di probabilità.

La vulnerabilità è normalmente proporzionale alla intensità del fenomeno.

Per ridurre il rischio possiamo quindi agire sui tre fattori (pericolosità, valore e vulnerabilità), ricercando, ove possibile, la miglior combinazione in termini di costi/ benefici.

La recente direttiva europea sulle alluvioni (Direttiva 2007/60/CE) prevede proprio una stretta correlazione tra gli interventi per la difesa del suolo e il beneficio economico che ne può derivare.

Il Piano per l'assetto idrogeologico (PAI) dell'Autorità di bacino del fiume Po affronta il tema della mitigazione del

rischio mediante interventi strutturali e non che ottengano una riduzione delle sue singole componenti.

In particolare per la diminuzione della pericolosità il PAI ha disegnato un assetto delle difese idrauliche del fiume Po e del reticolo idrografico dimensionato per fenomeni di piena con tempi di ritorno di 200 anni.

La riduzione del valore dei beni esposti si attua invece con quegli articoli normativi del PAI che governano l'uso del suolo nelle aree soggette ad esondazione, così da limitare la presenza di edifici, impianti e attività altrimenti localizzabili.

Per quanto riguarda il danno da alluvione, l'Autorità di bacino ha già emanato due importanti direttive relative alla riduzione della vulnerabilità per i manufatti di attraversamento dei corsi d'acqua e per gli impianti di trattamento dei rifiuti.

Esplorare in modo esteso questo campo però non è cosa semplice, perché si intuisce che la vulnerabilità di un edificio o di un impianto o di una sua specifica componente dipende non solo dall'intensità dell'evento, ma dalle tipologie e dalle caratteristiche costruttive del bene stesso, innumerevoli e non sempre note.

Il lavoro che viene presentato in questo opuscolo è frutto di uno studio condotto per tipologie edilizie che potremmo definire minori in termini di impatto, ma nondimeno significative in termini di valore sociale.

La ricerca è partita dagli impianti sportivi e turistico-ricreativi, che rappresentano una presenza storica e consolidata sul fiume e sono ritenuti una componente importante in una ottica di valorizzazione del territorio fluviale.

I risultati dello studio sono poi estensibili alle altre tipologie edilizie analoghe a quelle esaminate.



# EFFETTI DI PIENA SUGLI EDIFICI

Le azioni della piena contro gli edifici si possono riassumere in due categorie:

-quelle indotte dalla presenza dell'acqua:  
**la spinta idrostatica orizzontale (1)**,  
**la spinta di galleggiamento (2)**, e  
**la contaminazione** dovuta all'immersione (3)



Nei punti che seguono tali azioni vengono descritte e vengono proposti metodi per quantificarle, in modo da poterle prendere in considerazione nel calcolo strutturale e nella progettazione di ristrutturazioni o adeguamenti

-quelle in funzione della velocità della corrente, cioè la **spinta idrodinamica (4)**,  
**l'impatto** degli oggetti portati dalla piena (5) e  
**lo scalzamento** delle fondazioni (6).



## 1. SPINTA IDROSTATICA ORIZZONTALE

La spinta idrostatica è la forza che l'acqua esercita su ogni oggetto sommerso. Il valore della spinta orizzontale dipende dal livello raggiunto dall'acqua.



$$F_h = \frac{1}{2} \gamma H^2$$

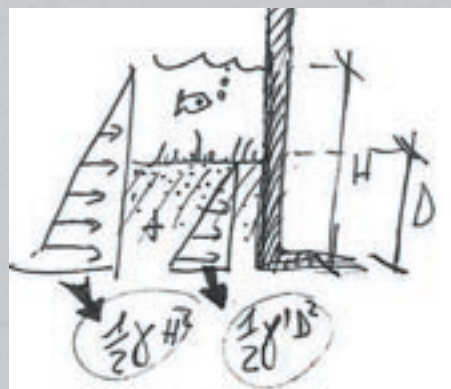
$F_h$  = spinta dovuta all'acqua per unità di larghezza della parete

$\gamma$  = peso specifico dell'acqua

$H$  = altezza della parte sommersa della parete

### COME PROTEGGERSI

*Un metodo semplice ed efficace per ridurre la spinta sulle pareti consiste nel predisporre la struttura per l'ingresso controllato dell'acqua, in modo da creare una contropressione interna che contrasti quella esterna.*



Se una parte è interrata:

$$F_h = \frac{1}{2} K_0 \gamma^1 D^2 + \frac{1}{2} \gamma H^2$$

$F_h$  = risultante delle spinte dovute all'acqua e al suolo saturo

$\gamma^1$  =  $(\gamma_s - \gamma)$

$\gamma_s$  = peso specifico del suolo saturo

$K_0$  = coefficiente di spinta a riposo(\*)

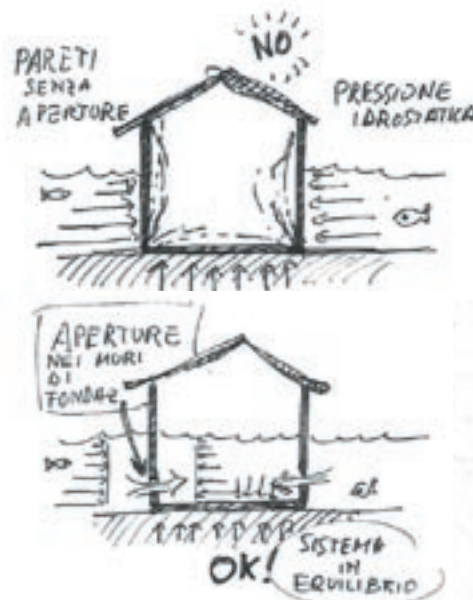
$D$  = altezza della parete interrata

(\*) V.ad es. Colombo P. Colleselli F. "Elementi di Geotecnica" Ed.Zanichelli 2004

## DIMENSIONAMENTO DELLE APERTURE

- Per ottenere spinte trascurabili si devono dimensionare le aperture in modo che la differenza tra il pelo libero dell'acqua tra ambiente interno ed esterno non superi i 30 cm nelle peggiori condizioni di piena. Differenze maggiori possono provocare danni strutturali alle mura perimetrali
- Le aperture devono essere equipaggiate con griglie per evitare ingresso di animali, per le norme di igiene.
- Le aperture possono essere ostruite dai detriti trasportati dalla piena, perciò devono essere previste almeno due aperture. La sicurezza migliora quando le aperture sono situate in almeno due lati differenti dell'area chiusa.
- Le aperture sul lato dove agisce la principale direzione della corrente di piena sono più esposte al rischio di otturazione perciò dovranno avere la superficie moltiplicata per un coefficiente di sicurezza pari a 5.
- La dimensione deve essere almeno 50 cm<sup>2</sup> di

apertura per ogni m<sup>2</sup> di superficie orizzontale allagata.  
N.B.:Le aperture contrastano la spinta idrostatica ma non quella idrodinamica



## 2. SPINTA DI GALLEGGIAMENTO

Nel caso di un oggetto sommerso le forze idrostatiche agiranno in due diverse direzioni.

Oltre alle forze orizzontali, già analizzate nel paragrafo precedente, agiranno anche forze verticali, altrimenti dette spinte di galleggiamento, che inducono il sollevamento della costruzione dal suo sistema di fondazione o di pavimentazione, ad esempio sollevando una piscina vuota.

$$F_v = \gamma A H$$

$F_v$  = forza verticale

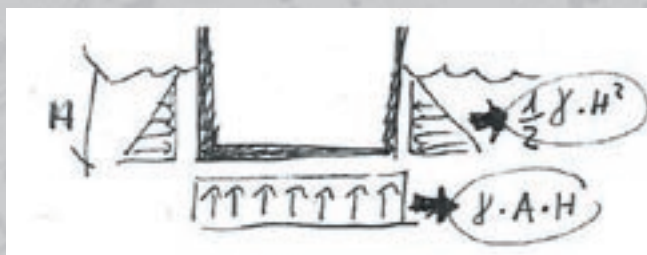
$\gamma$  = peso specifico dell'acqua

$A$  = area della superficie orizzontale a contatto con l'acqua

$H$  = affondamento della superficie orizzontale rispetto al livello di piena (pelo libero)

### COME PROTEGGERSI

Permettendo all'acqua di entrare nell'edificio le spinte di galleggiamento verranno bilanciate. Nel caso in cui non venga permesso all'acqua di entrare, l'edificio dovrà avere un peso tale da contrastare la spinta di galleggiamento e la soletta dovrà essere progettata e armata in modo da tenere conto del momento negativo che avrà il suo massimo al centro della soletta.



## 3. IMMERSIONE PROLUNGATA

L'immersione prolungata in acqua può arrecare danni alle finiture, agli oggetti contenuti, all'arredo, alla struttura e provocare contaminazione da agenti inquinanti.

### COME PROTEGGERSI

Tutte le parti della costruzione al di sotto del livello di massima piena sono passibili di essere inondate e devono essere fatte di materiali resistenti alla piena.

Un "materiale resistente alla piena" è definito come qualsiasi materiale da costruzione capace di resistere ad un contatto prolungato con le acque senza riportare un danno significativo.

Per la scelta del materiale occorre far riferimento a elenchi che quantificano l'idoneità e la classe di resistenza del materiale, e compatibilmente ad altre norme vigenti p.es. in materia di sicurezza.

Attenzione anche a adesivi e collanti: non devono essere solubili in acqua.

Oltre alla scelta dei materiali, una particolare attenzione deve essere posta alla tipologia costruttiva.

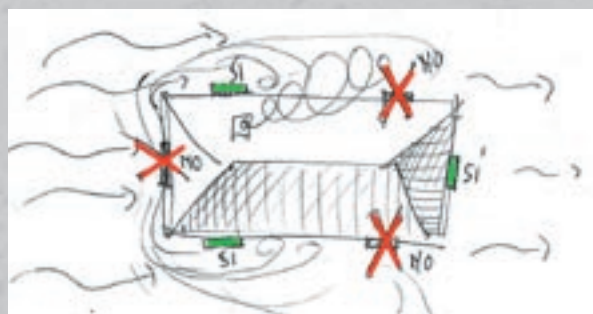
Per evitare il ristagno dell'acqua di piena, vanno evitate nella costruzione **intercapedini non accessibili**, vespai areati non visitabili e deve essere curata la rete di drenaggio esterna all'edificio.

Il livello del pavimento deve essere più alto di quello del terreno, e sono da evitare barriere sulle soglie che ostacolano il defluire dell'acqua.

L'uso di aree chiuse al di sotto del piano più basso negli edifici residenziali deve essere limitato a ciò che in caso di piena non comporti danno strutturale all'edificio: parcheggio, accesso all'edificio, area di deposito...

Si consiglia di posizionare gli accessi e le aperture per l'ingresso dell'acqua lungo pareti non direttamente investite dall'acqua di piena, in questo modo si riduce di molto l'ingresso e l'accumulo del fango e di detriti all'interno dell'edificio.

Quando l'entrata dell'acqua nell'edificio non può essere impedita, è possibile ridurre significativamente i danni grazie all'uso degli ambienti in previsione dell'inondazione, con il trattamento degli interni e con il posizionare in salvo gli impianti.



## 4. SPINTA IDRODINAMICA

E' la forza che agisce sulle superfici non orizzontali esposte al movimento della piena. La stima a priori della forza idrodinamica è basata sulla velocità attesa della piena di riferimento.



$$F_d = \frac{1}{2} C_d \rho V^2 A$$

dove

$F_d$  = spinta dinamica esercitata dalla corrente (N)

$C_d$  = coefficiente di drag

$\rho$  = densità dell'acqua (1000 kg/m<sup>3</sup>)

$V$  = velocità della corrente (m/s)

$A$  = area della proiezione dell'edificio in direzione perpendicolare alla corrente (m<sup>2</sup>).

Il coefficiente di drag  $C_d$  dipende dalla forma dell'edificio e da altri fattori. Per un normale edificio isolato,  $C_d$  può variare fra 0.8 e 2 a seconda della profondità e della direzione della corrente che lo investe, ma può assumere valori molto più alti (anche 5 o 6 volte superiori) in condizioni di vicinanza ad altri oggetti interferenti, quali altri edifici, argini, ostacoli vari.

### COME PROTEGGERSI

*Se la velocità della corrente è alta (più di 1,5 metri al secondo) si dovrebbe prendere in considerazione una struttura diversa dai muri pieni, e/o sopraelevare l'edificio in modo da minimizzare le superfici contrapposte alla corrente.*



*Piloni, colonne e pali permettono in genere di realizzare fondazioni sicure. Questi tipi di fondazione funzionano bene sia in zona costiera soggetta a onde e correnti, sia in zone fluviali soggette a piena.*

*Nel caso di costruzioni in fascia B, con una velocità che non supera 0,4 m/s, la spinta idrodinamica di norma non desta preoccupazioni, ma con velocità di piena superiori l'importanza della spinta idrodinamica aumenta.*

*Sarebbe bene in ogni caso controventare la struttura delle costruzioni esposte a piena per limitare le deformazioni, e costruire pilastri tozzi che non entrino in crisi nel rispondere a momenti del second'ordine.*

## 5. IMPATTO DEI DETRITI

Il danno è provocato dalla forza dovuta all'impatto degli oggetti portati dalla piena contro le superfici verticali investite. Tali forze rappresentano la più grande incognita per il progettista, ma per sviluppare un progetto si deve farne una valutazione. Gli oggetti portati dalla piena esercitano la massima forza se orientati secondo corrente, con il lato minore che colpisce l'ostacolo e il lato più lungo parallelo alla corrente.

E' comune il ricorso alternativo a tre metodi di stima:

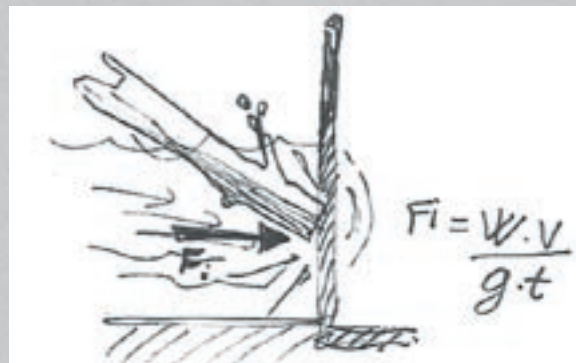
**Spinta-momento**(FEMA1995),

**Lavoro-energia**(NAASRA 1990),

**Rigidezza di impatto**(AASHTO 1998).

La FEDERAL EMERGENCY MANAGEMENT AGENCY (FEMA) americana ha confrontato i tre metodi dimostrando che sono sostanzialmente equivalenti nel caso di impatto di tronchi sulle strutture.(\*)

I tre metodi si basano sulla velocità a cui viaggiano gli oggetti contundenti (qui chiamati per brevità "detriti") e la massa di questi. Ciascuno però richiede un parametro aggiuntivo che va determinato: il primo metodo chiede la durata di arresto dell'oggetto, il secondo la distanza di arresto, e l'ultimo chiede l'effettiva rigidezza



dell'impatto.

• L'approccio Spinta-momento (FEMA1995)

assume che la durata dell'impatto sia pari a 1.0 s. La massa dell'oggetto è stimata in 453 kg (1000 pounds), ma può essere ridotta a 227 kg (500 pounds) nelle aree soggette a un minor flusso di detriti. Tutte le aree soggette a forte flusso di detriti, (come le regioni montane o aree soggette a valanghe o smottamenti) non sono siti appropriati per costruzioni, se nel progetto e nell'armare l'edificio non è stato tenuto conto di queste forze. Spesso l'armatura risultante dai calcoli non è economicamente proponibile.

$$F_i = WV/gt = mV/t$$

dove

$F_i$  = forza d'urto (N)

$W$  = peso dell'oggetto impattante (N)

$m$  = massa dell'oggetto impattante (kg)

$V$  = velocità dell'oggetto (m/s)

$g$  = accelerazione di gravità (9,806 m/s<sup>2</sup>)

$t$  = durata dell'impatto (s)

Considerando come oggetto galleggiante un'auto dal peso di 1.5 ton che urti la parete di un edificio posto in fascia B con la velocità di 0,4 m/s, ipotizzando un tempo di durata dell'impatto di 1 s, la forza d'urto trasmessa è pari a 600 N (circa 60 kgf).

Un tronco di 500 kg a parità di condizioni trasmette una forza d'urto di 200 N (20 kgf).

Il problema non è però l'entità del carico, ma la concentrazione di questo su una piccola superficie di impatto. Il problema dell'impatto dei detriti diventa invece grave all'aumentare della velocità e al diminuire della durata di impatto, come succede nelle piene a carattere torrentizio, oppure in fascia A.

#### •L'approccio Lavoro-energia (NAASRA 1990)

$$F_{i,max} = mu^2/S = Wu^2/gS$$

dove:

$F_{i,max}$  = forza d'urto (N)

$W$  = peso dell'oggetto (N)

$m$  = massa (kg)

$u$  = velocità dell'oggetto (m/s)

$g$  = accelerazione dovuta alla gravità (9,806 m/s<sup>2</sup>)

$S$  = distanza di arresto (m)

La distanza di arresto varia a seconda del materiale della parete: ecco alcuni valori proposti nella letteratura tecnica:

distanza di arresto contro parete in legno  $S = 300$  mm

distanza di arresto contro parete in blocchi di calcestruzzo con intercapedine  $S = 150$  mm

distanza di arresto contro parete in calcestruzzo armato  $S = 75$  mm

Alcune norme forniscono direttamente il valore dell'energia del detrito impattante, pari a  $0.5 mu^2$ .

#### •L'approccio Rigidezza di impatto(AASHTO 1998)

$$F_{i,max} = u (Km)^{1/2}$$

dove:

$F_{i,max}$  = forza d'urto (N)

$m$  = massa (kg)

$u$  = velocità dell'oggetto (m/s)

$K$  = effettiva rigidezza di impatto (N/m)

Nel caso di tronchi contro una struttura rigida, i test di laboratorio condotti hanno identificato una rigidezza costante di impatto pari a 2,4 MN/m.

#### COME PROTEGGERSI

*Per strutture a telaio portante e tamponamenti:*

*al di sotto della quota di massima piena, occorre costruire mura di tamponamento armate in modo da scaricare il carico sulla struttura verticale portante (meglio se controventata e comunque dimensionata in modo da assorbire i carichi). Strutture a muratura portante come quelle dell'architettura tradizionale resistono bene se la sezione del muro è sufficiente ad assorbire l'impatto.*

## 6. EROSIONE E SCALZAMENTO

Gli edifici solitamente non sono progettati per resistere alle azioni di un'alluvione, si rischia quindi di non conoscere le conseguenze che l'erosione comporta. La crisi delle fondazioni nelle strutture soggette all'inondazione è una causa importante di danno strutturale.

Il processo di erosione è favorito dai seguenti fattori: terreno non coesivo, assenza di copertura vegetale o artificiale, alta velocità dell'acqua.

Per calcolare la **velocità critica** oltre la quale si innesca il movimento di materiale solido sul fondo si possono utilizzare varie formule che solitamente mettono in relazione la dimensione dell'inerte in questione, il tirante medio a monte dell'ostacolo, e opportuni coefficienti sperimentali.

**Nella fascia B** la velocità della corrente in piena non dovrebbe superare i 0,4 m/s, quindi parrebbe che il problema dell'erosione non sia neanche da prendere in considerazione.

Però in prossimità dello spigolo della parete che ostacola la corrente, la velocità può aumentare del 70% e arrivare a 0,68 m/s, quadruplicando il potenziale erosivo della corrente.

Di norma però la possibilità che si inneschi il fenomeno dell'erosione in fascia B è da prendere in considerazione



Vista dall'alto di un ostacolo rettangolare posto su fondo sabbioso in seguito a simulazione di piena: si vede l'erosione del suolo in prossimità degli angoli, le frecce blu indicano la direzione della corrente.

Immagine di laboratorio, Dipartimento di Idraulica, università degli Studi di Pavia

nei casi di costruzione su terreni sabbiosi o in zone in cui la velocità in piena possa superare quella attesa per qualche particolare ragione (rottura argini, strozzamento dell'alveo, formazione di corridoi d'acqua tra ostacoli..).

Un metodo semplice (Liu, et al., 1961 e Grill, 1972)\* per calcolare la profondità di scalzamento viene proposto dalla FEMA (Federal Emergency Management Agency)

(\*) Engineering Principles and Practices of Retrofitting Flood-Prone Residential Structures January 1995)

Per gli edifici soggetti a piena:

$$S_{max} = d[1,1(a/d)^{0,4} (V/gd)^{0,5})^{0,33}]$$

Dove:

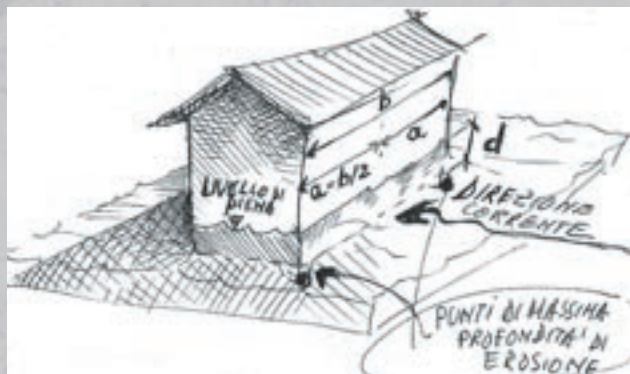
$S_{max}$  = massima profondità di erosione (m)

$d$  = tirante a monte della parete (m)

$a$  = semi-lunghezza della parete opposta alla corrente (m)

$v$  = velocità della corrente (m/s)

$g$  = accelerazione di gravità (9,806 m/s<sup>2</sup>)



Il livello di profondità di scalzamento è funzione anche del tipo di suolo su cui l'edificio insiste, perché la velocità critica capace di smuovere il terreno dipende anche dalla granulometria. Se la velocità di piena

non supera la velocità critica, non si avrà erosione, in caso contrario si potrà stimare l'entità dell'erosione con la formula citata o con altri metodi.

### COME PROTEGGERSI

*Da evitare in zone soggette a piena fondazioni superficiali, a platea, mura portanti costituite da materiale disagregato (mattoni + pietre), fondazioni continue poco profonde. Il sistema a mura portanti in pietre o mattoni, così diffuso in passato, nel momento in cui entra in crisi un angolo (in seguito all'erosione localizzata), tende a cedere e a far crollare parti di facciata.*

*Quindi si suggerisce per le nuove costruzioni o le ristrutturazioni di preferire le palificate a sostegno delle travi di fondazione, con profondità sufficiente ad impedire movimenti nella struttura dovuti allo scalzamento.*

*Per gli edifici esistenti, sarebbe opportuno proteggere l'intorno con pavimentazione da esterni, in modo che non si inneschi il fenomeno erosivo localizzato, soprattutto in prossimità dello spigolo.*



# RIDURRE L'ATTUALE VULNERABILITÀ: MISURE ATTIVE E MISURE PASSIVE

Per ridurre la vulnerabilità degli edifici già realizzati all'interno delle aree di pertinenza fluviale si possono attuare misure passive o attive: misure di emergenza sono possibili soltanto in caso di sufficiente tempo di allerta, che permetta di porre in essere le azioni e gli strumenti necessari a rendere efficienti le misure di sicurezza.

Tuttavia, è preferibile sforzarsi con ogni mezzo di progettare misure di prevenzione passive che non richiedano l'intervento umano.

**Le misure attive** si possono riassumere in azioni volte a impedire l'ingresso dell'acqua, quali il posizionamento di barriere in apposite guide sulle soglie e davanti alle finestre, sacchi di sabbia, barriere gonfiabili, la movimentazione manuale di valvole per evitare l'ingresso delle acque di piena dai sanitari o dagli impianti, lo spostamento di beni deteriorabili ai piani alti.

Sondaggi effettuati dopo eventi di inondazione hanno riportato testimonianza della scarsa efficacia dei tentativi di tenere l'acqua all'esterno. Le misure attive hanno infatti bisogno di manutenzione e esercitazioni per addestrare le persone addette: per rendere inutile lo sforzo basta infatti che un solo accesso venga dimenticato o che una guarnizione sia rovinata. A volte non c'è sufficiente tempo di allerta o chi dovrebbe agire non si trova sul posto. Vengono qui riportate le **misure passive** proposte:

**A Elevare:** sollevare le strutture esistenti sopra terrapieni o elementi di fondazione quali muri perimetrali, colonne, piloni.

**B Delocalizzare:** spostare la struttura esistente al di fuori delle aree a rischio.

**C Impermeabilizzare:** trasformare le strutture di fondazione esistenti, pavimenti e pareti in modo da contrastare le forze di piena rendendo la struttura impermeabile.

**D Allagamento guidato:** permettere all'acqua di entrare in modo da evitare danni strutturali.

**E Barriera:** costruire mura di contenimento alla piena intorno alla struttura.



## (A) ELEVARE

La struttura esistente viene sollevata dal suolo grazie a sistemi di sollevamento idraulici e a travi inserite al di sotto della struttura orizzontale più bassa. In seguito si procede alla costruzione di nuove fondazioni o al completamento di quelle esistenti, scegliendo la struttura più appropriata fra colonne, mura continue, fondazione aperte o in alcuni casi un terrapieno.



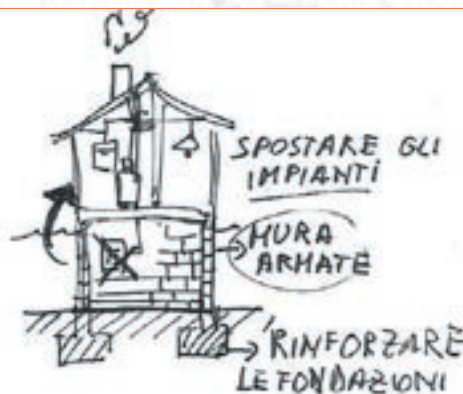
Anche se l'elevazione aumenta la protezione delle strutture dalla piena, vanno considerate le altre azioni prima di scegliere questa strategia: elevare la struttura può portare ad avere forze di vento maggiori, sulle pareti e sulla copertura, inoltre le fondazioni esistenti devono portare carichi maggiori. Scegliere una fondazione aperta può comportare cedimenti, movimenti e danni causati dalle attività sismica, erosioni, galleggiamento dei detriti, dal fango, e forze alluvionali più degli altri tipi di fondazione.

### ELEVAZIONE SU MURO PERIMETRALE DI FONDAZIONE

Sopraelevare l'edificio su di un perimetro di fondazione grazie ad un muro è un'operazione normalmente usata nelle aree a moderata velocità di allagamento.

Dopo che la struttura viene distaccata dalle sue fondazioni, le mura di supporto possono essere costruite in verticale usando materiali tipo blocchi in calcestruzzo o gettate in opera. Considerando la struttura e i potenziali carichi (ad esempio vento, carico sismico e neve), può essere necessario costruire nuove e più larghe fondazioni.

Può essere anche utile rinforzare le fondazioni esistenti e la muratura utilizzando barre d'acciaio per garantire la stabilità strutturale. Le piene possono generare carichi che portano al collasso la struttura anche senza considerare i tipi di materiali utilizzati. Costruire mura di fondazione attrezzate con aperture o valvole aiuta a ridurre la vulnerabilità da spinte idrostatiche. Caldaie e circuiti elettrici devono essere posizionati al di sopra del livello di massima piena.



### ELEVAZIONE SU SISTEMI DI FONDAZIONE APERTA

I sistemi di fondazione aperta sono componenti strutturali che sostengono la struttura in punti chiave senza supporto di muri di fondazione continui.

#### ELEVAZIONE SU PILASTRI

L'esempio più comune di fondazioni aperte sono i pilastri che appoggiano su fondazioni a plinto.

A dispetto del loro frequente utilizzo nelle costruzioni, i pilastri sono spesso le tecniche di elevazione meno appropriata per contrastare significative forze orizzontali di piena. Convenzionalmente, i pilastri vengono progettati considerando carichi verticali, mentre esposti alla piena sono sollecitati da forze orizzontali dovute alla velocità dell'acqua o all'impatto dei detriti.

Altri tipi di carichi orizzontali sono quelli sismici, e per questa ragione devono essere progettati pilastri adeguati a resistere al massimo carico orizzontale che può investirli. I pilastri andrebbero utilizzati in condizioni di flusso lento di acqua, detriti o ghiaccio, e realizzati in blocchi di calcestruzzo o in cemento gettati in opera. In entrambe i casi barre di acciaio devono essere utilizzate per ancorare i pilastri alle fondazioni su cui questi poggiano. E' inoltre preferibile che i giunti tra la struttura dell'edificio e i pilastri siano progettati per resistere ad azioni sismiche, vento, e forze di piena.



## ELEVAZIONE SU COLONNE

Questo tipo di soluzione viene adottata in condizioni di piena a bassa velocità. Costruite in legno, acciaio o in cemento armato prefabbricato, presentano generalmente una forma tale da potere facilmente essere ancorati alla struttura della casa. Poste in appositi fori, le colonne sono normalmente ancorate o annegate in pasta di cemento per avere una corretta resistenza ai carichi.

Cemento, ghiaia o roccia sgretolata, vengono normalmente inseriti all'interno della fossa ed intorno alla base della colonna.

Mentre i pilastri vengono progettati come elementi di supporto completo, in grado di resistere a flessione e compressione, le colonne normalmente devono essere controventate: vi è una grande varietà di tecniche per ottenere ciò, ad esempio colonne di legno unite con barre d'acciaio agli estremi opposti.



## ELEVAZIONE SU PALI

I pali, a differenza delle colonne, vengono generalmente inseriti nel terreno; in questo modo sono meno suscettibili agli effetti dell'alta velocità della piena, delle scorie e dell'impatto dei detriti.

I pali possono essere infissi fino a incontrare uno strato solido di terreno, oppure penetrare nel terreno abbastanza da trasmettere i carichi al sottosuolo grazie all'attrito laterale. I pali vengono spesso realizzati in legno, oppure in acciaio e cemento precompresso. Come i pilastri, spesso possono richiedere controventi.

Poiché la battitura dei pali richiede generalmente costose attrezzature, una costruzione esistente normalmente viene sopraelevata con altri metodi, visti i costi addizionali e le necessità di spazi che questa tecnica prevede.



## (B) DELOCALIZZARE

Un altro metodo di proteggere la struttura dalla piena è quello di spostare l'edificio di una zona meno soggetta ai danni di piena.

L'edificio può essere demolito e ricostruito altrove, o se il sistema costruttivo e le dimensioni lo permettono, venire svincolato dalle fondazioni, spostato e sistemato in luogo sicuro.

La procedura normalmente prevede di porre la struttura su una piattaforma mobile, l'edificio viene poi trasportato nel nuovo sito e collegato alle nuove fondazioni.

Rilocalizzare è una misura appropriata nei casi di aree ad alto rischio di inondazione dove vi sia pericolo per gli abitanti.

È una soluzione inoltre indicata per quelle comunità che vogliono utilizzare i nuovi spazi creati dalla delocalizzazione per altre più appropriate attività.

Come per l'elevazione, la rilocalizzazione richiede procedimenti addizionali che normalmente incrementano i costi: muovere la struttura e preparare il nuovo sito e le nuove fondazioni nonché la sistemazione del sito abbandonato.

Alcuni tipi di struttura possono essere facilmente spostate intere o a pezzi: le case di legno a telaio sono le più facili da muovere soprattutto se posate su solaio areato o su basamento. Invece edifici costruiti in mattoni, cemento o blocchi sono meno facili da muovere ed i costi di spostamento si alzano. Prima di effettuare lo spostamento si consiglia di smontare camini di mattoni e parti della casa che possono essere rimosse.



## (C) IMPERMEABILIZZARE

Un altro approccio contro i danni da piena è quello di proteggere la parte della struttura al di sotto del livello di piena, rendendola impermeabile.

L'obiettivo di questo approccio è di rendere le pareti e le altre parti esterne impermeabili al passaggio dell'acqua di piena.

Viene creata una membrana che include il rivestimento della muratura, con composti impermeabili, guaine bituminose o pareti supplementari impermeabili come ad esempio cemento armato gettato in opera. Porte, pareti al di sotto della linea d'acqua devono essere chiuse con protezioni o valvole permanenti o mobili.



La durata della piena è un aspetto critico se si usa questo sistema, visto che la durata prolungata dell'allagamento può rendere la protezione impermeabile inefficace: materiali impermeabili possono infatti deteriorarsi se esposti all'acqua per periodi prolungati.

Questa tecnica di protezione può essere utilizzata esclusivamente in zone in cui il livello dell'acqua non superi il metro di altezza, dato che le pareti e pavimenti delle strutture residenziali potrebbero collassare se sottoposti a livelli di piena maggiori.

Quando si utilizza questa tecnica, si considera una parete impermeabilizzata solo se costruita in blocchi di cemento o in mattoni. In caso di costruzioni in legno, si consiglia di costruire uno strato di protezione in mattoni o cemento all'esterno della parete in legno. Una parete in legno infatti non offre abbastanza resistenza alle spinte della corrente.

## (D) ALLAGAMENTO GUIDATO

Un altro modo per proteggere la struttura dalle acque di piena è quello di permettere l'entrata dell'acqua nelle zone sottostanti il livello di massima piena, in modo da bilanciare la spinta idrostatica sul pavimento e le pareti.

Questa tecnica è utilizzata quando le altre non sono tecnicamente possibili o troppo costose. È necessario rilocalizzare quelle attrezzature che eventualmente fossero posizionate al di sotto del livello di massima piena, quali i pannelli elettrici e la centrale termica. Richiede inoltre una manutenzione ai locali allagati una volta che la piena retrocede.



## (E) BARRIERE

Un altro metodo per la protezione dalle piene è quello di costruire barriere che allontanino la corrente in piena. Sono possibili due tipi di barriere: rilevati in terra e mura di contenimento.

Possono essere costruiti in varie altezze, in funzione dei costi, dell'estetica, degli accessi, della spinta idraulica e dello spazio occupato. Questo tipo di protezione non è sempre possibile né sempre compatibile.

E' preferibile realizzare rilevati con terreni compattati e solo in zone in cui l'altezza di piena è minore di 1.5 m.

Le mura di contenimento sono di solito costruite in calcestruzzo armato. Particolare cura deve essere posta nel posizionamento dell'armatura di modo che la barriera funzioni come una mensola e resista al carico dell'acqua su di una parete sola. Dato che i costi di un muro di contenimento sono più alti che per un terrapieno, andrebbero preferiti nei casi in cui la velocità della corrente potrebbe facilmente erodere i terrapieni.



# CONSIGLI PER LA RIDUZIONE DELLA VULNERABILITÀ DEGLI EDIFICI IN AREE A RISCHIO DI ALLUVIONE

Vengono di seguito analizzate le problematiche che un evento di piena pone nella realizzazione delle parti di un edificio.

## 1 TIPOLOGIA STRUTTURALE E MATERIALI

Negli interventi di manutenzione straordinaria, oppure in quei casi in cui il PAI consenta la realizzazione di nuove strutture, la massima attenzione è da porre nella forma dell'oggetto che in caso di piena sarà investito dalle acque.

Il lato direttamente investito dalla corrente dovrà essere il più breve possibile, in modo da offrire una piccola superficie all'impatto dei detriti e alla spinta idrodinamica. In questo modo verrebbe limitato anche l'eventuale scalzamento delle fondazioni.

Il livello del pavimento del piano terra dovrà essere rialzato ad una quota superiore al livello della piena di riferimento o delle sommità arginali, e al di sotto di questa quota gli ambienti chiusi o aperti dovranno essere destinati a deposito di materiali non deperibili se bagnati, oppure come accesso all'edificio. Questi ambienti dovranno essere ispezionabili per permettere la pulizia e l'aerazione a fine evento, ed essere provvisti di aperture per permettere l'ingresso dell'acqua in modo da contrastare la pressione idrostatica. Si deve porre attenzione in special modo al drenaggio all'esterno dell'edificio, in modo da favorire un veloce ritiro dell'acqua. Per quanto riguarda i materiali da utilizzare si consiglia di fare riferimento alla tabella di seguito riportata.

Solo i materiali di classe 4 e 5 sono accettabili per le aree sotto livello di piena. In qualche circostanza le classi 1, 2 e 3 dei materiali sono permesse sotto il livello di piena, quando specificatamente richiesto per venire incontro a norme locali concernenti le uscite di sicurezza. Sono comunque privilegiati quei materiali che pur rispettando le leggi

per la sicurezza della vita, abbiano il massimo di resistenza al danno delle acque di piena. Le seguenti tabelle di classificazione dei materiali da costruzione sono state tratte da:

U.S. Army Corps of Engineers (COE) 1992 "Flood Proofing Regulations"

•Classe 5 Alta resistenza ai danni di piena. Materiali di questa classe sono permessi per uso esterno, esposti senza protezione all'acqua

•Classe 4 Resistenza ai danni di piena. Materiali di questa classe possono essere esposti o sommersi in ambienti interni senza ulteriori protezioni

•Classe 3 Resistenza ai danni delle acque di lavaggio. Materiali di questa classe possono essere imbevuti dalle acque di lavaggio per periodi brevi

•Classe 2 Non resistono ai danni dell'acqua. Materiali di questa classe richiedono ambienti essenzialmente asciutti che possono essere soggetti a vapore

•Classe 1 Non resistono ai danni dell'acqua. Materiali di questa classe richiedono ambienti secchi

La classificazione dei materiali per pavimentazione è basata sulla loro vulnerabilità ai danni di inondazione. Le classi 1, 2, 3 non sono accettabili sotto il livello di piena per una o più delle ragioni seguenti:

- Le normali colle adesive dei pavimenti galleggianti sono solubili all'acqua o non sono resistenti agli alcali o acidi presenti nell'acqua.
- Materiali di pavimentazione contenenti legno o suoi derivati.
- Materiali di pavimentazione che non resistono all'attacco di alcali o acidi disciolti in acqua.
- Involucri di rivestimento (linoleum..) limitano l'evaporazione da sotto.
- Materiali di pavimentazione impermeabili ma dimensionalmente instabili.

### MATERIALI PER PAVIMENTAZIONE

### CLASSE

|                                                             |   |
|-------------------------------------------------------------|---|
| PIASTRELLE DI TERRACOTTA                                    | 5 |
| CEMENTO ARMATO, PREFABBRICATO O GETTATO IN OPERA            | 5 |
| AUTOBLOCCANTI IN CEMENTO                                    | 5 |
| RESINE EPOSSICHE GETTATE IN OPERA                           | 5 |
| FINITURA IN MASTICE GETTATO IN OPERA                        | 5 |
| POLIURETANO GETTATO IN OPERA                                | 5 |
| GUAINA CON ADESIVI PREPARATI CHIMICAMENTE                   | 5 |
| PAVIMENTO IN SILICONE GETTATO IN OPERA                      | 5 |
| LASTRE DI VINILE CON ADESIVI PREPARATI CHIMICAMENTE         | 5 |
| LEGNO TRATTATO A PRESSIONE IN AUTOCLAVE                     | 5 |
| LEGNO NATURALMENTE RESISTENTE AL DEPERIMENTO                | 5 |
| CEMENTO BITUMINOSO GETTATO IN OPERA                         | 4 |
| LATTICE GETTATO IN OPERA                                    | 4 |
| PIANELLE IN GOMMA CON ADESIVI PREPARATI CHIMICAMENTE        | 4 |
| TERRAZZO                                                    | 4 |
| PIANELLE DI VINILE CON ADESIVI PREPARATI CHIMICAMENTE       | 4 |
| PIANELLE DI VINILE MISTO AMIANTO CON ADESIVI ASFALTICI      | 4 |
| MATTONELLE DI ASFALTO CON ADESIVI ASFALTICI                 | 3 |
| PIASTRELLE CON LEGANTE RESISTENTE AD ACIDI E ALCALI         | 3 |
| BLOCCHI COMPOSTI IN LEGNO POSATI SU BASE IN CEMENTO         | 2 |
| BLOCCHI DI LEGNO IMPREGNATI E POSATI IN BITUME CALDO O PECE | 2 |
| MATTONELLE DI ASFALTO                                       | 1 |
| MOQUETTES (DEL TIPO INCOLLATE A TERRA)                      | 1 |
| PIASTRELLE IN CERAMICA                                      | 1 |

|                                                                                     |   |
|-------------------------------------------------------------------------------------|---|
| LEGNO RICOSTRUITO                                                                   | 1 |
| SUGHERO                                                                             | 1 |
| FELTRO IMPREGNATO DI SUPPORTO ALLE COPERTURE                                        | 1 |
| LINOLEUM                                                                            | 1 |
| MAGNESITE (MAGNESIUM OXYCHLORIDE)                                                   | 1 |
| MASTICE DI BASE PER LA COPERTURA DEL PAVIMENTO                                      | 1 |
| PVA CEMENTO EMULSIONATO                                                             | 1 |
| GUAINA DI GOMMA                                                                     | 1 |
| PIANELLE IN GOMMA                                                                   | 1 |
| LASTRE DI VINILE (OMOGENEE)                                                         | 1 |
| PIANELLE DI VINILE (OMOGENEE)                                                       | 1 |
| LASTRE DI VINILE O PIANELLE (RIFINITE IN SUGHERO O CON PRODOTTI DERIVATI DAL LEGNO) | 1 |
| PIANELLE DI VINILE MISTO AMIANTO (SEMI-FLESSIBILE)                                  | 1 |
| PAVIMENTI IN LEGNO O FINITI A FELTRO                                                | 1 |

### MATERIALI PER PARETI E SOFFITTI

### CLASSE

|                                         |   |
|-----------------------------------------|---|
| LASTRE DI PASTA D'AMIANTO (E DI STUCCO) | 5 |
| MATTONI PROTETTI O VERNICIATI           | 5 |
| METALLO                                 | 5 |
| PIETRA FISSATA CON MALTA IMPERMEABILE   | 5 |
| LEGNO                                   | 2 |
| MATTONI NORMALI                         | 2 |

|                                                     |   |
|-----------------------------------------------------|---|
| <b>CARTONGESSO</b>                                  |   |
| ARDESIA, VETRO PORCELLANATO                         | 5 |
| CEMENTO CON AMIANTO                                 | 2 |
| PARETI COMPOSTE, DIPINTE                            | 2 |
| PELLICOLA ESTERNA                                   | 2 |
| COMPENSATO                                          | 1 |
| <b>PIASTRELLE</b>                                   |   |
| VETRO STRUTTURALE                                   | 5 |
| CEMENTO                                             | 5 |
| BLOCCHI IN CEMENTO                                  | 5 |
| CERAMICA VERNICIATA, PIASTRELLE IN CERAMICA DA MURO |   |
| STUCCATE CON MALTA                                  | 4 |
| CERAMICA VERNICIATA, MONTATA CON ADESIVI ORGANICI   | 2 |
| SUGHERO                                             | 2 |
| <b>PORTE</b>                                        |   |
| LEGNO FORATO                                        | 2 |
| LEGNO IN PANNELLI DA COSTRUZIONE LEGGERI            | 2 |
| LEGNO MASSELLO                                      | 2 |
| METALLO KALAMEIN                                    | 2 |
| METALLO FORATO                                      | 5 |
| PANNELLI IN FIBRA VEGETALE                          |   |
| DI RIVESTIMENTO (IMPREGNATI O RIVESTITI)            | 2 |
| SENZA PROTEZIONE                                    | 1 |
| <b>PRODOTTI IN GESSO</b>                            |   |
| LASTRE IN GESSO                                     | 2 |
| INTONACO DI CALCE                                   | 2 |
| CONTROSOFFITTI IN GESSO INCLUSI QUELLI ACUSTICI     | 2 |
| PANNELLI DI RIVESTIMENTO PENSATI PER L'ESTERNO      | 2 |
| <b>VETRO</b>                                        |   |
| VETRO IN BLOCCHI                                    | 5 |
| LASTRE, PIASTRELLE COLORATE, PANNELLI               | 4 |
| <b>PANNELLO IN FIBRA DI LEGNO</b>                   |   |
| SUPERFICI SMALTATE E PLASTICHE                      | 2 |
| TUTTI GLI ALTRI TIPI                                | 2 |
| <b>ISOLANTE</b>                                     |   |
| A SCHIUMA O DEL TIPO A CELLE CHIUSE                 | 4 |
| TUTTI GLI ALTRI TIPI                                | 2 |
| DEL TIPO A PANNELLO O A MATERASSINO                 | 1 |
| <b>METALLI</b>                                      |   |
| PANNELLI IN FIBRA MINERALE                          | 1 |
| NON FERROSI (ALLUMINIO, LASTRE IN ZINCO O RAME)     | 3 |
| FERROSI                                             | 5 |

|                                                                  |   |
|------------------------------------------------------------------|---|
| <b>PARETI IN LASTRE PLASTICHE</b>                                |   |
| POSATE CON ADESIVI IMPERMEABILI, GIUNTATE CON MALTA IMP          | 3 |
| POSATE CON ADESIVI SOLUBILI ALL'ACQUA                            | 2 |
| <b>PITTURA</b>                                                   |   |
| DEL TIPO POLIESTERE E POSSILICO E ALTRI TIPI IMPERMEABILI        | 4 |
| TUTTI GLI ALTRI TIPI                                             | 1 |
| CARTA DA PARATI                                                  | 1 |
| <b>PARETI DIVISORIE MOBILI</b>                                   |   |
| LEGNO TRATTATO A PRESSIONE                                       | 5 |
| METALLO                                                          | 4 |
| LEGNO NON TRATTATO                                               | 2 |
| RIVESTIMENTO IN STOFFA                                           | 1 |
| <b>PARETI DIVISORIE FISSE</b>                                    |   |
| LEGNO                                                            | 5 |
| METALLO                                                          | 5 |
| VETRO NON RINFORZATO                                             | 4 |
| VETRO RINFORZATO                                                 | 4 |
| O LEGANTE AL LATTICE IDRAULICO                                   | 4 |
| GESSO SOLIDO O IN BLOCCHI                                        | 1 |
| TUTTE LE ALTRE APPLICAZIONI                                      | 1 |
| GOMMA, STAMPATA O TAGLIATA, CON ADESIVO POLIAMMIDICO E POSSILICO |   |
| ACCIAIO (PANNELLI, LASTRE, PIANELLE)                             |   |
| CON FISSAGGIO IMPERMEABILE                                       | 5 |
| CON FISSAGGIO NON IMPERMEABILE                                   | 2 |
| <b>PIETRA, NATURALE, PIENA O DA RIVESTIMENTO</b>                 |   |
| CON FISSAGGIO IMPERMEABILE                                       | 5 |
| PIETRA ARTIFICIALE CON FISSAGGIO IMPERMEABILE                    | 5 |
| TUTTE LE ALTRE APPLICAZIONI                                      | 2 |
| <b>INCANNICCIATI</b>                                             |   |
| CON FINITURA SUPERFICIALE (CARTA IMPREGNATA DI ASFALTO)          | 2 |
| TUTTI GLI ALTRI TIPI                                             | 2 |
| <b>RIVESTIMENTI DI PARETE</b>                                    |   |
| TIPO CARTA, TELA GREZZA, TESSUTO                                 | 1 |
| <b>LEGNO</b>                                                     |   |
| PIENO, NATURALMENTE RESISTENTE AL DETERIORAMENTO                 | 5 |
| PIENO, TRATTATO IN AUTOCLAVE A PRESSIONE                         | 5 |
| PIENO STANDARD                                                   | 2 |
| <b>COMPENSATO</b>                                                |   |
| MARINO                                                           | 5 |
| TRATTATO A PRESSIONE                                             | 5 |
| TRATTATO PER ESTERNI                                             | 2 |
| ALTRI TRATTAMENTI                                                | 1 |

Nelle costruzioni esistenti: qualora non sia possibile sopraelevare il pavimento al di sopra del livello di piena, conviene comunque spostare a livello del soffitto gli impianti elettrici, le tracce in cui passano le canalette dovrebbero avere una pendenza tale da favorire una veloce asciugatura dell'impianto, e si consiglia di mettere in salvo su rialzi, o meglio ancora ai piani alti, gli elettrodomestici o l'arredo che si può rovinare in caso di piena.

Se il livello di piena non supera il metro e' inoltre possibile pensare di impermeabilizzare il perimetro esterno dell'edificio con guaine impermeabili protette da un rivestimento, e porre barriere con guarnizioni sulle soglie, da montare manualmente in caso di allerta. Questo sistema non garantisce risultati se la piena supera il livello di impermeabilizzazione, o se viene a mancare l'intervento umano, ma può funzionare bene per eventi di piena moderati riducendo di molto i danni.

## 2 FONDAZIONI

Per decidere la tipologia delle fondazioni di un edificio si deve far riferimento al tipo di suolo e alla stratigrafia ottenuta con campionature. In zone soggette ad allagamento è però necessario tener conto dell'effetto dello scalzamento delle fondazioni indotto dall'evento di piena. Il sistema a mura portanti in pietre o mattoni, così diffuso in passato, nel momento in cui entra in crisi un angolo in seguito all'erosione localizzata, tende a cedere e a far crollare parti di facciata. *Quindi si suggerisce per le ristrutturazioni, di preferire le palificate a sostegno delle travi di fondazione, con profondità sufficiente da impedire movimenti nella struttura rispetto alle fondazioni continue non armate o ai plinti di fondazione.*

## 3 VANI INTERRATI

Si suggerisce di non creare cantine oppure spazi completamente interrati in zona allagabile. Se esistono già, è bene verificare la presenza di aperture tipo bocche di lupo o grigie di aerazione in modo da permettere l'ingresso della acqua di piena all'interno dei vani per impedire che la differenza di pressione tra interno ed esterno metta in crisi la struttura portante. Questi luoghi non dovranno essere utilizzati come deposito di beni deteriorabili, ne' come superficie abitabile.

Si consiglia di non prosciugare i suddetti vani se non dopo che il livello dell'acqua contenuta nel terreno non sia sufficientemente basso, se no il divario di pressione tra interno ed esterno potrebbe compromettere la stabilità dell'edificio. Un metodo per sapere se e' possibile prosciugare il locale consiste nel vuotarlo osservando a distanza di qualche giorno se il muro asciugandosi mostri il segno umido del livello dell'acqua nel terreno, e nel caso, aspettando che l'acqua si abbassi ancora prima di procedere oltre.

## 4 MURATURE

Prima di iniziare a progettare ristrutturazioni o ampliamenti in edifici soggetti a piena, e' necessario conoscere il livello a cui l'acqua arriva con elevati tempi di ritorno. In particolare, si deve considerare il livello della piena di riferimento del PAI. Grazie a quest'informazione si potrà valutare il tipo di muratura da costruire e per quale altezza, ponendo attenzione ai materiali da utilizzare. Al di sotto del livello di massima piena si consiglia

di utilizzare pareti che non presentino intercapedine inaccessibile. Il classico tamponamento a pacchetto composto da blocco esterno, isolante e veletta di mattoni comporta seri problemi se l'isolante non è a cellule chiuse. Questo si impregna d'acqua che difficilmente riesce poi ad evaporare. Invece lo stesso sistema con intercapedine riempita con una schiuma in poliuretano funziona meglio. Tuttavia resta preferibile avere lo strato di isolante facilmente ispezionabile e all'occorrenza smontabile, composto da pannelli rigidi sorretti da guide di metallo o materia plastica. Infatti gli interstizi in luoghi non accessibili danno adito ad accumuli di fango e acqua spesso mischiati ad agenti inquinanti chimici od organici che non potendo defluire rischiano di compromettere la salubrità degli ambienti.

#### **Danni**

*I muri devono respirare per poter seccare senza conservare umidità*

*I degradi constatati sono i seguenti:*

- *fessurazione legata ai movimenti della soletta*
- *deterioramento dell'intonaco e dei rivestimenti interni ed esterni*
- *conservazione dell'acqua a livello delle battute*
- *isolamento rovinato*
- *persistenza di umidità nel muro*
- *persistenza di umidità nel rivestimento*
- *risalita capillare*

#### **Raccomandazioni**

*Le parti di muro interrato avranno un rivestimento esterno stagno*

*Installare un drenaggio perimetrale*

*Per muri antichi usare intonaco a base di gesso o di calce, per evitare risalita di umidità iniettare prodotti impermeabili alla base del muro*

*L'impermeabilizzazione di un muro deve avvenire solo su di un lato, nella parte interrata verso l'esterno, in quella fuori terra verso l'interno*

#### **Descrizione tecnica**

Le mura possono essere realizzate: in pietra, in mattoni vuoti o pieni, in cemento prefabbricato o meno.

Se necessario eliminare gli intonaci troppo impermeabili. Due famiglie di prodotti sono utilizzati: prodotti a base acquosa, sovente dei siliconati e loro derivati, e dei prodotti con solventi spesso dei siliconi. L'impresa consiglierà uno di questi prodotti a seconda del muro (molto omogeneo, omogeneo o con molte cavità) e deve proporre una garanzia di risultato.

Per i muri antichi e in pietra, esistono delle tecniche di intonaco che usano gesso e calce col vantaggio di una buona respirazione e con un buon grado di elasticità che permette una più duratura riparazione.

Per ritardare la penetrazione dell'acqua all'interno del muro una soluzione consiste nell'applicare un rivestimento esterno stagno 20 o 30 cm più alto della quota di massima piena. Attenzione particolare all'aggancio del rivestimento con la muratura.

Se appaiono crepe e fessure dovute a movimenti delle fondazioni non esitare a chiamare i tecnici per un controllo strutturale. Dopo eventuale consolidamento procedere alla chiusura delle crepe.

Per proteggere le parti basse della facciata, è consigliato

mettere in opera molti strati fini di intonaco di calce per ritardare la penetrazione dell'acqua e nel contempo lasciare respirare il muro

L'acqua provoca degrado di ogni sorta (fessure, muffe dovute alla presenza prolungata) che appaiono anche molto tempo dopo la piena

#### **Mura**

Più sono spesse e antiche, più a lungo ritengono l'acqua.

#### **Rivestimenti**

Carte da parati hanno il vantaggio di essere più facili da togliere e sostituire rispetto a pittura e a materie plastiche

#### **Isolamento**

Il sistema di pannelli rigidi su supporti metallici ha il vantaggio di essere facilmente smontabile, il sistema di isolamento incollato non è raccomandato

#### **Tramezzi**

Molto fragili in quanto non sono pensati per resistere alla pressione dell'acqua, e generalmente composti da materiali degradabili quali gesso cartone legno e colla. Meglio utilizzare blocchi di gesso idrorepellente

## **5**

### **SOLETTE**

Le sollecitazioni sulle solette poste al di sotto del livello di massima piena sono di due tipi: se la soletta è a contatto col terreno impregnato d'acqua, subisce una spinta di galleggiamento dal basso verso l'alto che rischia di mettere in crisi la stabilità della struttura fino a far inarcare il pavimento o addirittura a farlo saltare. Se il vano sottostante il pavimento non ha aperture di ventilazione, e l'acqua esterna monta al di sopra della soletta, l'aria intrappolata si comprime e può sollecitare nello stesso modo la soletta fino alla rottura. Quindi si suggerisce, nel caso della soletta appoggiata al terreno, di prevedere giunti o intercapedini di scorrimento tra la struttura portante e la soletta. Se invece la soletta è stata creata su di un vespaio areato, assicurarsi che le aperture arrivino fino all'intradosso per evitare che l'aria intrappolata sotto il pavimento non si comprima e si trovi nuove vie di fuga.

Per facilitare l'evacuazione dell'acqua di piena e del fango che inevitabilmente entra nell'edificio, si consiglia di costruire la pavimentazione della soletta al di sotto del livello di massima piena con una pendenza del 2% e di prevedere canali di scolo all'esterno dell'edificio.

#### **Danni**

*I danni in seguito alla piena possono essere i seguenti :*

- *deformazione e fessurazione della soletta in seguito al rigonfiamento e poi asciugamento del suolo*
- *spostamento della soletta per il movimento del suolo*
- *deterioramento dell'isolante posto sotto la soletta*
- *persistenza dell'umidità sul pavimento dei locali*

#### **Raccomandazioni**

*Limitare i danni dell'evacuazione dell'acqua:*

- *assicurare la ventilazione dei vespai, se necessario ingrandire le aperture e fornirle di griglie che permettano il passaggio dell'acqua ma non dei detriti da essa portati.*
- *rendere il vespaio visitabile per poterlo pulire dopo la*

*piena*

*Limitare i rischi per le persone:*

*se si deve rifare la soletta, approfittare per creare un vespaio ben ventilato, nel caso si abbia poco spazio, usare un cassero a perdere tipo di cartone alveolare degradabile che sarà distrutto in seguito alla piena.*

*Se non si può fare un vespaio bisogna fare in modo che la nuova soletta non sia galleggiante sul terreno, che disponga di punti di ancoraggio regolari, e che il livello di pavimentazione sia superiore a quello del suolo.*

### **Descrizione tecnica**

Fondazioni e soletta possono essere:

soletta gettata sul terrapieno, soletta gettata su superficie drenante (letto di pietre, ghiaia), soletta in cemento su vespaio o cantina, soletta su putrelle.

In presenza di suolo argilloso la profondità delle fondazioni non deve essere inferiore al metro. Infatti questo tipo di suolo può sollevarsi o ritirarsi molto e deformare o fessurare la soletta.

Un drenaggio sul perimetro della costruzione permetterà l'evacuazione più rapida dell'acqua piovana e di piena, eviterà il rischio di sacche d'acqua sotto la soletta.

Sostituire rivestimenti impermeabili con permeabili in modo da permettere l'evaporazione dell'acqua. Dopo l'asciugatura i tempi di attesa prima di rifare il rivestimento sono nell'ordine dei 6 mesi. Si potrà per esempio sostituire rivestimenti del pavimento in plastica con delle piastrelle dai giunti non stagni.

In caso di pulizia del vespaio con getto ad alta pressione, fare attenzione a non rovinare l'isolante sotto il pavimento.

## **6**

### **RIVESTIMENTI**

In breve, materiali che possono impregnarsi, deformarsi o scollarsi dal supporto vengono sconsigliati. Non va considerato soltanto il rivestimento in sé, ma anche il collante: materiali perfettamente in grado di resistere all'acqua possono risultare inadeguati se incollati con una sostanza idrosolubile.

Intonaci composti da molti strati sottili di calce permettono un lento assorbimento dell'acqua e al contempo una facile evaporazione una volta passata piena.

*Bisogna assicurarsi che i pavimenti (soletta o tavolato di legno) conservino le loro caratteristiche*

*- essere stabili in seguito a eventuali movimenti del suolo*

*- sopportare i carichi*

*- avere un rivestimento che garantisca l'igiene e resista all'usura.*

*Prima dell'inondazione il pavimento dovrà essere messo a nudo togliendo rivestimenti vulnerabili:*

*- moquette*

*- PVC*

*- Pavimenti galleggianti*

*Per garantire la durata dei lavori bisogna essere sicuri che il supporto sia asciutto*

*Si sconsiglia di posare:*

*- parquet incollati*

*- Moquettes (si sporcano)*

*- Pavimenti galleggianti (si deformano e ritengono l'acqua)*

*- Pavimenti in plastica ( si scollano e gonfiano)*

*Sono da consigliare le piastrelle.*

*Il tavolato in legno sopporta bene il passaggio dell'acqua a condizione che si asciughi bene poi.*

*Il tempo di asciugatura è normalmente dell'ordine di 6 mesi*

## **7**

### **PORTE E SERRAMENTI**

Si sconsiglia di difendere l'edificio dall'ingresso dell'acqua esclusivamente prevedendo sistemi di barriere a ghigliottina da approntarsi in caso di emergenza davanti a finestre e porte. Questo perché si crea una differenza di pressione tra interno ed esterno dovuta alla presenza dell'acqua contro le pareti, che se supera il metro d'altezza può causare gravi danni alla stabilità dell'edificio. Tuttavia se il livello di massima piena non supera il metro, si può pensare a questo sistema come efficace solo se effettivamente stagno, e se esiste la concreta possibilità di sistemare i pannelli in tempo utile prima dell'inondazione. Si consiglia di leggere i documenti francesi in allegato per vedere i sistemi comunemente usati, e anche gli esiti della parte sperimentale realizzata nell'ambito dello studio in cui si inserisce il presente documento, dove si mette un dubbio la validità del sistema se applicato a case con tipologia costruttiva a telaio tipica negli Stati Uniti.

## **8**

### **IMPIANTI**

#### **Impianto igienico sanitario**

Particolare attenzione deve essere posta nella costruzione e nella progettazione dell'impianto igienico sanitario: le pressioni che possono agire a livello di pozzo nero, fognature e canali di scolo, possono derivare non solo dalle azioni dell'acqua intorno all'edificio ma anche da situazioni di sovraccarico che possono verificarsi anche molto lontano dalla struttura in questione. E' sempre bene prevedere valvole che impediscano all'acqua di uscire dai sanitari per evitare disagi che possono prolungarsi ben oltre la fine dell'emergenza.

*La parte di impianto che collega la casa alla rete pubblica può essere parzialmente ostruita o deteriorata. Il materiale trasportato dall'inondazione può intasare le diverse parti del sistema (tubature, canali, filtri, fossa settica...). Occorre installare una valvola antiriflusso ispezionabile all'uscita delle acque luride per evitare il ritorno di queste all'interno dell'edificio.*

#### **Impianto elettrico**

Negli edifici che possono essere allagati è sempre bene prevedere due impianti elettrici separati, uno che serve gli ambienti sommersi, l'altro quelli al sicuro dal contatto con l'acqua. In ogni caso nelle zone più basse dell'edificio si consiglia di far correre le tracce e le canaline elettriche il più in alto possibile dando loro una leggera pendenza in modo da favorire l'evacuazione dell'acqua

ad inondazione conclusa.

L'impianto elettrico è un passaggio per l'acqua durante l'inondazione ma anche un posto dove questa si ferma e ristagna. La difficoltà di accedere alle scatole di derivazione e ai tubi rende problematica l'asciugatura che invece è essenziale per la rimessa in funzione dell'impianto. Non si deve tentare di rimettere l'impianto in funzione prima di aver chiamato un tecnico.

Il contatore e i pannelli elettrici vanno posti fuori portata dell'acqua e i tubi dei fili seguiranno un percorso discendente dal soffitto al pavimento per favorire lo scolo delle acque.

Le prese elettriche potranno essere rimontate a una quota compatibile al loro uso il più possibile in alto, massimo 1,2 m.

Sarebbe opportuno creare due reti indipendenti una per la parte inondabile e una per quella al sicuro.

Attrezzare il sistema elettrico esistente con dispositivi di sicurezza per le persone (Separatori differenziali ad alta sensibilità 30mA)

Un impianto elettrico rimesso in funzione troppo presto può causare incendi.

### **Impianti di riscaldamento, condizionamento e trattamento dell'aria**

Solitamente il locale in cui si trovano bruciatori e impianti si trova in cantina o comunque al piano terra. Se non è possibile delocalizzare gli impianti in luogo sicuro, soluzione preferibile, occorre creare barriere stagne per impedire all'acqua di compromettere definitivamente le macchine in questione. Attenzione a posizionare le valvole per la chiusura del gas in posti accessibili e corredati da istruzioni di facile e immediata comprensione.

Nel caso di bruciatori non collegati alla rete di distribuzione si deve trattare il problema delle bombole e dei contenitori di combustibile che, se interrati, possono essere sollevati a causa delle spinte di galleggiamento, e se esterni possono sganciarsi dalla sede e essere portati via dalla corrente inquinando o travolgendo oggetti interferenti a valle.

Si deve rimettere subito l'impianto di riscaldamento in grado di funzionare, anche per contribuire a asciugare gli ambienti, ma si deve considerare l'insieme che costituisce l'impianto di riscaldamento: i generatori e le riserve individuali che sono da proteggere direttamente dall'acqua, le reti e tubature che possono essere danneggiate e devono essere ispezionate prima di riprendere a funzionare.

Verificare l'ancoraggio delle cisterne suscettibili di essere portate via dall'acqua, spostare definitivamente caldaia e generatori fuori dalla portata dell'acqua

Per loro natura i radiatori elettrici sono vulnerabili all'acqua, anche perché sono posti in basso, quindi saranno quindi da preferire quelli amovibili rispetto a quelli fissi per poterli porre in salvo prima della piena.

### **Contenitori di idrocarburi**

Taniche e bombole non interrate possono essere portate

via dalla piena, possono sfondarsi o essere bucate con conseguente inquinamento, possono essere strappate dai sostegni e diventare oggetti galleggianti pericolosi. Quindi saranno da verificare gli ancoraggi, ponendo quelle troppo esposte fuori dal pericolo.

### **Taniche e cisterne esterne**

È importante calcolare la resistenza degli agganci e farli verificare, e assicurarsi della stabilità dei sostegni.

**taniche e cisterne interne**

vanno sistemate in locali non inondabili con accesso stagno.

**taniche e cisterne interrate**

il pozzetto di accesso non deve lasciar passare l'acqua né essere strappato dalla corrente.



## **ZONA RIFUGIO**

È bene prevedere una zona ai piani alti in cui si possa aspettare i soccorsi in caso di emergenza. Deve essere accessibile sia dall'interno che dall'esterno dell'edificio e deve essere ovviamente al di sopra del livello di massima piena. Se ricavata nel sottotetto deve avere una via di fuga verso l'esterno attraverso un'apertura che non può essere in nessun caso tipo "velux", ma facilmente evacuabile anche da sedie a rotelle. Meglio se sull'esterno viene realizzato un terrazzo provvisto di anello per l'attracco di mezzi di soccorso.

Tutti gli alloggi devono disporre di un luogo dove le persone possono andare per mettersi al sicuro e aspettare l'arrivo dei soccorsi. In edifici collettivi la zona rifugio è destinata soprattutto agli abitanti del piano terra. In ogni caso gli occupanti di un alloggio devono poter segnalare la propria presenza ai soccorritori.

**Raccomandazioni**

Creare una zona rifugio che permetta di mettersi al riparo

Creare una finestra sul tetto o un balcone accessibile dalla zona di rifugio per segnalare la propria presenza e facilitare l'evacuazione

Controllare regolarmente le vie di fuga ed esercitarsi

Fissare un anello di attracco ad altezza sufficiente per facilitare le barche di soccorso

**Descrizione tecnica**

Creata sotto il tetto, una piattaforma rifugio deve essere facilmente accessibile con scalinate o in mancanza di spazio con una scala fissa. La finestra del tetto o lucernaio deve avere dimensione sufficiente per l'evacuazione di una persona disabile in carrozzina. Le finestre tipo vasistas o velux anche di grandi dimensioni non vanno bene.

Negli immobili collettivi la tromba delle scale dovrà disporre di piattaforma che possa accogliere persone, magari dotata di un sistema autonomo di riscaldamento e di un accesso verso l'esterno.



Il presente documento è stato realizzato nell'ambito dello studio "Analisi tecnico-conoscitive e sperimentazioni tecnico-idrauliche riguardanti la vulnerabilità degli *impianti sportivi e turistico-ricreativi nelle fasce fluviali definite dal PAI – progetto CanoaPO*", commissionato dall'Autorità di bacino del fiume Po e condotto dall'Università degli Studi di Pavia, Dipartimento di Ingegneria Idraulica e Ambientale.

Il documento è liberamente accessibile e va citata la fonte in caso di utilizzo.

I contenuti del documento sono conformi agli obiettivi originari dello studio.

Si declina ogni responsabilità per qualunque utilizzo ne venga fatto.

*Coordinamento dello studio:*

Enrico Burani, Marina Monticelli, Alessio Picarelli, Piero Tabellini - Autorità di bacino del fiume Po

*Redazione del documento:*

Paolo Ghilardi e Isabella Corni

*Gruppo di lavoro:* Paolo Ghilardi, Mario Fugazza, Mario Gallati, Giovanni Braschi, Luigi Natale  
Università degli Studi di Pavia, Dipartimento di Ingegneria Idraulica e Ambientale

*Fonti immagini:* disegni di Isabella Corni.

fotografie: Evento di piena del 2000 - Magistrato per il Po

fotografia al fondo delle pagine introduttive tratta dal libro fotografico-letterario "Il Po. Un viaggio con il grande fiume", Autorità di bacino del fiume Po, Fotografie di Beppe Bolchi, Edizioni Diabasis, 2007.

Lo sfondo delle pagine è tratto dalle tavole delle fasce fluviali del Piano stralcio per l'assetto idrogeologico del bacino del Po

*Progetto e realizzazione grafica:* Isabella Corni

*Febbraio 2009*

*Per informazioni:*

Autorità di bacino del fiume Po  
Via Garibaldi, 75 – 43100 Parma

Tel. 0521 276 1

e-mail: [segreteria@adbpo.it](mailto:segreteria@adbpo.it)

sito WEB: [www.adbpo.it](http://www.adbpo.it)

