

## Generalità

I repellenti o pennelli hanno la funzione di favorire la sedimentazione del materiale a ridosso della sponda e mantenere la corrente al centro della sezione. Sono strutture trasversali all'asse del corso d'acqua che, adeguatamente immorsate nella sponda, si protendono verso il centro dell'alveo interferendo con la corrente.

L'origine del termine pennello sembra essere tipicamente padana secondo quanto Petrolini (1998) riferisce: "La parola pennello, nella sua accezione più tipicamente padana, quella di «cordonatura di massi disposti lungo le sponde del fiume o ad esso trasversali, usati a riparo della sponda» è già documentata nel latino medievale veronese (a. 1450), poi in italiano dal Grandi (a. 1742) e dal Lecchi (a. 1776).

I pennelli che possono essere realizzati in pietrame da scogliera, in gabbioni, in opere miste di sasso e vegetali, sono delle strutture prismatiche poste trasversalmente alla sponda con l'asse maggiore inclinato nella direzione della corrente, ortogonale alla sponda o inclinato controcorrente.

Queste opere vengono impiegate nei corsi d'acqua nei quali è necessario deviare il flusso della corrente o modificare la sezione dell'alveo al fine di:

- allontanare la corrente da sponde in erosione;
- stabilizzare la morfologia fluviale evitando divagazioni;
- rendere stabili le zone di confluenza dei corsi d'acqua.

I pennelli producono una riduzione della velocità dell'acqua ed un rimescolamento che consentono la deposizione di materiale solido; per tale ragione un'altra applicazione diffusa consiste nella ricostruzione di linee di sponda di fiumi e ruscelli.

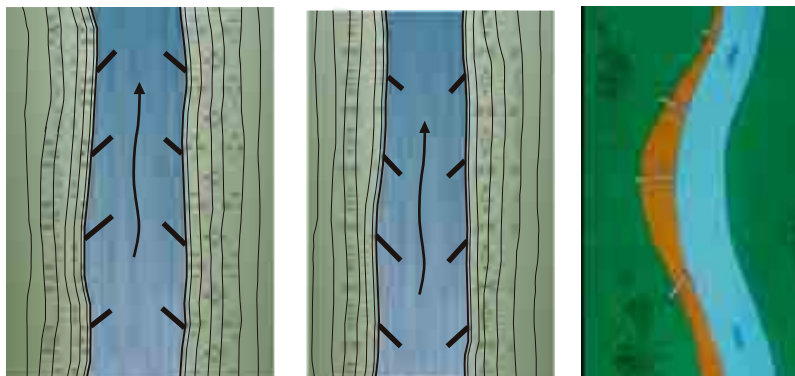
Un esempio tipico di tale applicazione è quello in corrispondenza delle cosiddette "lunate", le ricorrenti erosioni a forma di falce di luna, come quelle riprodotte nella fotografia aerea del tratto di Sangone a Rivalta di Torino dopo la piena dell'ottobre 2000.

**Figura 6.2.1:** Le "lunate", erosioni a forma di falce di luna, in una fotografia aerea del tratto di Sangone a Rivalta di Torino dopo la piena dell'ottobre 2000. La corrente proviene dall'alto verso il basso della fotografia e si vede chiaramente l'erosione prima della sponda destra, poi della sinistra con la tipica forma a falce di luna. Si osservino anche, le tracce di precedenti erosioni di sponda, ricolonizzate dalla vegetazione, di cui quella in sponda sinistra (sulla destra della foto) di nuovo a chiara forma di lunata. Sulla sponda destra (a sinistra della foto) la profonda erosione, ormai colonizzata da vegetazione d'alto fusto, aperta nella piena del settembre 1981.



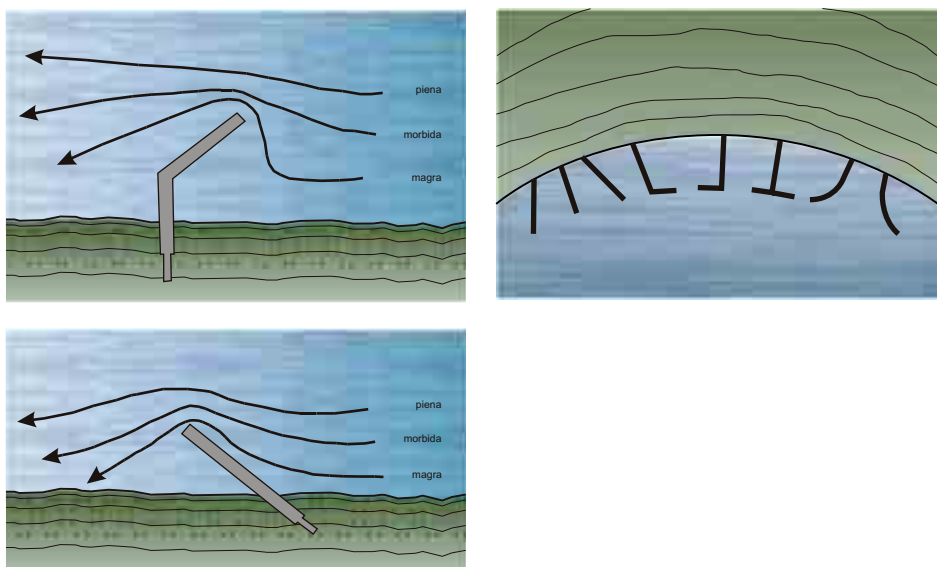
La costruzione di queste strutture deve essere, per quanto possibile, realizzata su entrambe le sponde per evitare dissimmetrie nella corrente con danni alla sponda non protetta eccetto nei casi ove la costruzione di uno o più pennelli ha lo scopo di favorire il deposito di materiali per richiudere una erosione di sponda.

**Figura 6.2.2:** Schema di disposizione di pennelli su entrambe le sponde (da Jaeggi, 1994). Le teste dei pennelli (ossia la parte più avanzata) invece devono essere allineate lungo una linea immaginaria regolare, pertanto i pennelli possono risultare tutti della stessa lunghezza, nel caso di sponde rettilinee. Avranno invece lunghezze diverse nel caso di sponde irregolari o di lunate conseguenti all'erosione.



I pennelli possono avere forme diverse a seconda delle esigenze: rettilinei, ad L, con la testa a T, con la parte terminale curvilinea (a forma di mazza da hockey).

**Figura 6.2.3:** I pennelli possono avere forme diverse a seconda delle esigenze. La forma e l'angolatura rispetto alla sponda influenza le linee di flusso della corrente e di conseguenza le modalità della deposizione.



La forma dei repellenti influenza le modalità di deposizione del materiale solido e la distribuzione ed entità dell'erosione in prossimità dell'opera. La scelta della sagoma dei repellenti dipende anche dalle dimensioni caratteristiche del trasporto solido: nei fiumi ampi e caratterizzati da trasporto solido fine, si preferiscono i pennelli del tipo ad hockey, mentre nei corsi d'acqua con trasporto solido grossolano, sono più adatti pennelli rettilinei, corti ed inclinati nel senso della corrente.

I repellenti causano la formazione delle turbolenze e delle correnti trasversali che, se le opere non sono correttamente dimensionate e posizionate, possono provocare erosioni intense in testa e alla radice delle strutture, nonché sulla sponda opposta.

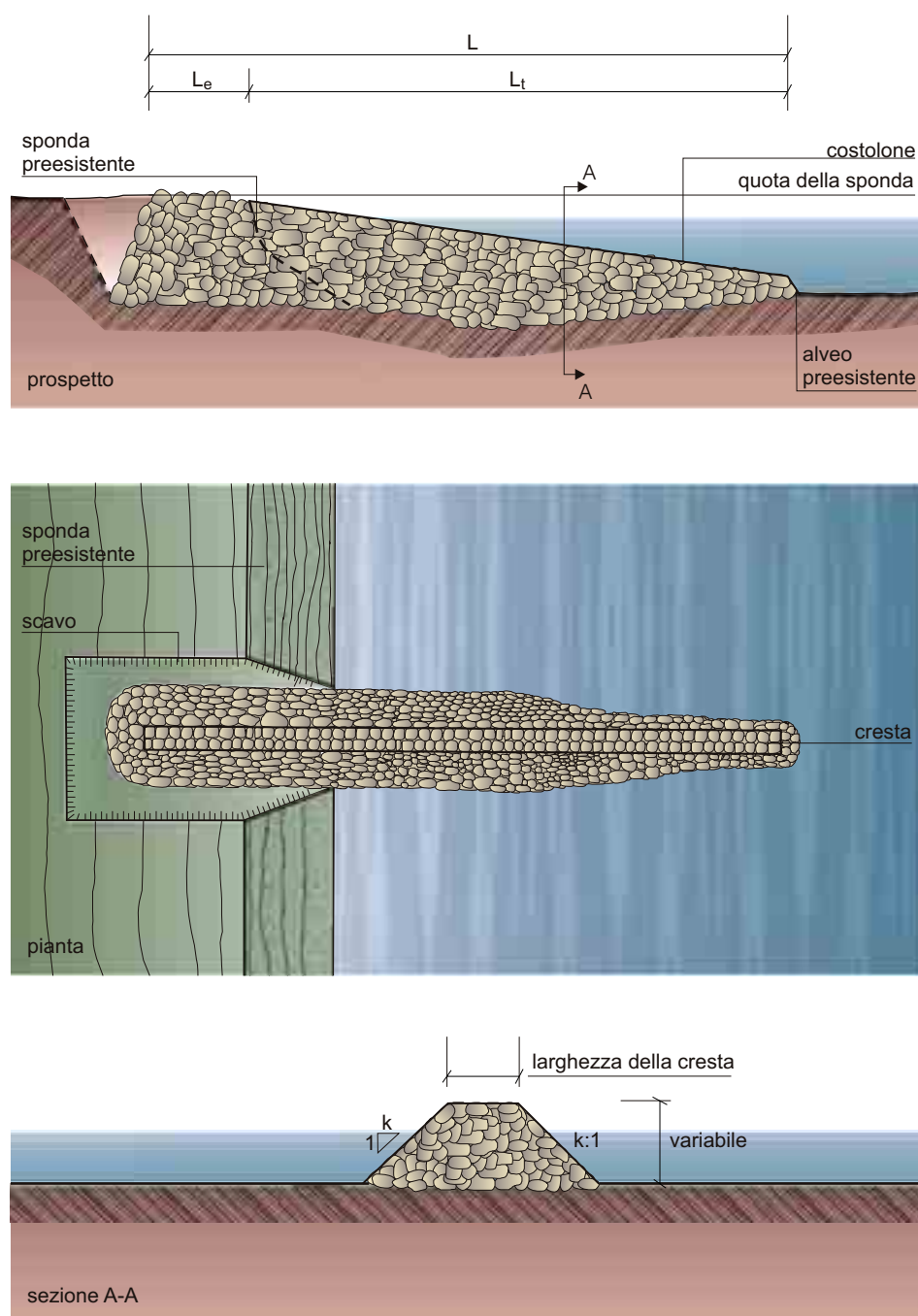
Per evitare i suddetti problemi e controllarne gli effetti sono necessari un corretto immersionamento dell'opera nella sponda ed una lunghezza in alveo funzione delle caratteristiche della corrente e della sezione di deflusso.

Le teste dei pennelli (ossia la parte più avanzata) invece devono essere allineate lungo una linea immaginaria regolare, pertanto i pennelli possono risultare tutti della stessa lunghezza, nel caso di sponde rettilinee, oppure avere lunghezze diverse nel caso di sponde irregolari o di lunate conseguenti all'erosione.

La struttura del repellente ha una forma sostanzialmente prismatica, digradante dalla radice alla testa; la quota della radice viene posta al di sopra della quota del pelo libero della portata "dominante" per evitare fenomeni di aggiramento, mentre la quota della testa è posta poco al di sopra del livello di magra per far sì che in occasione delle piene l'interferenza con la corrente non sia eccessiva e di conseguenza non si producano fenomeni erosivi pericolosi. Il dorso del repellente pertanto è di solito inclinato verso la corrente (pendenza tipiche, 0.1 o 0.25). Risulta opportuno che la testa del repellente resti comunque alta circa 0,5 m sul fondo del corso d'acqua.

**Figura 6.2.4:** Esempio di sistemazione a repellenti circa ortogonali alla corrente realizzata lungo il Rio Ram a Tubre (Alto Adige) dall'Azienda Speciale per la Regolazione dei Corsi d'Acqua e la Difesa del Suolo.

Per evitare problemi di aggiramento e scalzamento dei repellenti è necessario rispettare alcune regole nel loro dimensionamento: a sporgenza  $L_t$  del repellente dalla linea di sponda generalmente deve rientrare nei limiti  $Y < L_t < T/4$  (essendo  $Y$  la profondità media della corrente corrispondente alla portata formativa e  $T$  la larghezza media della sezione). I pennelli inoltre devono essere opportunamente immorsati nella sponda per una lunghezza  $L_e$  raccomandata pari a  $L_t/4$  (radice).



La spaziatura fra repellente e repellente deve essere tale da contenere gli effetti dell'espansione teorica della corrente oltre la testa del repellente di monte. Tale espansione avviene entro un angolo  $9^{\circ}$ - $14^{\circ}$  a partire dalla testa del repellente di monte, pertanto la distanza fra i pennelli allineati lungo una sponda rettilinea è dell'ordine di grandezza di  $5 \cdot L_t$  (ma può scendere a vantaggio della sicurezza anche a  $2.5 L_t$ ); in curva, la distanza si abbrevia sempre a  $2.5 \div 4 \cdot L$ .

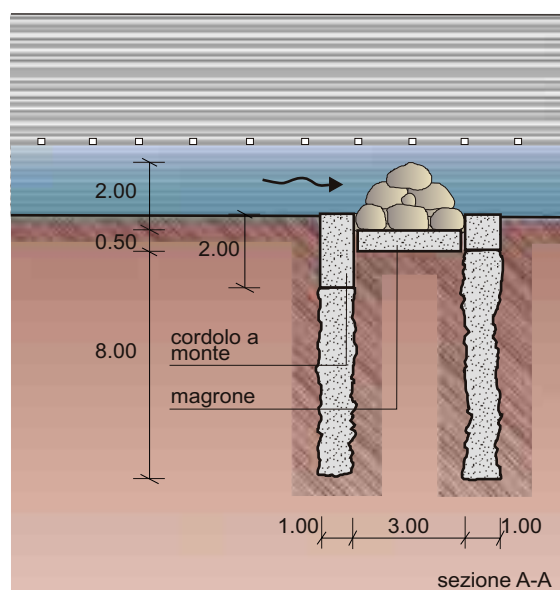
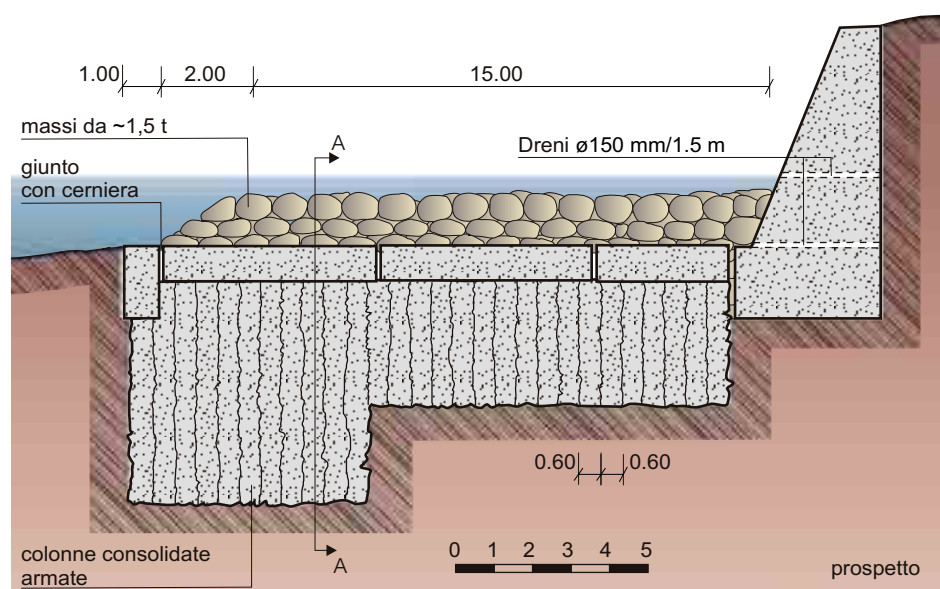
L'inconveniente più grave che può interessare un repellente è l'erosione localizzata alla testa dello stesso. La profondità dell'erosione può essere stimata con alcune relazioni matematiche che devono pertanto essere utilizzate con estrema attenzione in attesa di conferme sperimentali attendibili. Generalmente esse derivano da esperienze e osservazioni in alvei con sedimenti a granulometria fine e non se ne conosce l'applicabilità in alvei con materiali grossolani.

A seconda delle tipologie di pennello si ricorrerà a soluzioni diverse per sottrarre l'opera allo scalzamento ove necessario si potrà anche ricorrere a consolidamenti realizzati ad esempio con colonne di jet grouting.

I pennelli dal punto di vista ambientale offrono vari vantaggi soprattutto se realizzati con sistemi combinati o permeabili alla vegetazione. La presenza di queste strutture consente di creare zone caratterizzate da differenti valori di energia della corrente; in tal modo è possibile creare habitat con caratteristiche diverse e favorire lo sviluppo della biodiversità.

**Figura 6.2.5:** Esempio di sistemazione a repellenti in un corso d'acqua con problemi di erosione sia delle sponde che del fondo.

In questo caso il pennello composto di grossi massi in pietrame è stato sistemato su una fondazione in c.a. ancorata a sua volta su colonne consolidate (jet-grouting).





## Repellenti in blocchi

**S**i tratta di strutture realizzate in blocchi di roccia, tetrapodi o cubi di calcestruzzo. Sono opere molto deformabili che si possono adattare molto bene ai cedimenti conseguenti a fenomeni di escavazione. Economici, da realizzare anche in presenza d'acqua, possono essere soggetti ad erosione se il materiale utilizzato non è di pezzatura idonea; per evitare che ciò accada la progettazione dovrà seguire gli stessi criteri delle scogliere (vedi relativo capitolo), scegliendo le dimensioni dei blocchi in funzione della forza di trascinamento esercitata dalla corrente.

Qualora fosse necessario incrementare la resistenza della struttura è possibile vincolare i blocchi con funi d'acciaio.

Particolare attenzione andrà posta inoltre alla prevenzione di fenomeni di scalzamento: oltre a seguire regole geometriche descritte in precedenza, si dovrà provvedere ad approfondire la fondazione al di sotto della massima profondità di escavazione prevedibile.

**Figura 6.2.6:** Immagine di una sistemazione a pennelli in pietrame, ortogonali alla corrente realizzata sul Rio Ram a Tubre dall'Azienda Speciale per la Regolazione dei Corsi d'Acqua e la Difesa del Suolo. E' scelta una soluzione adatta ad un corso d'acqua con trasporto grossolano adottando repellenti corti e ravvicinati.



## Descrizione e Caratteristiche

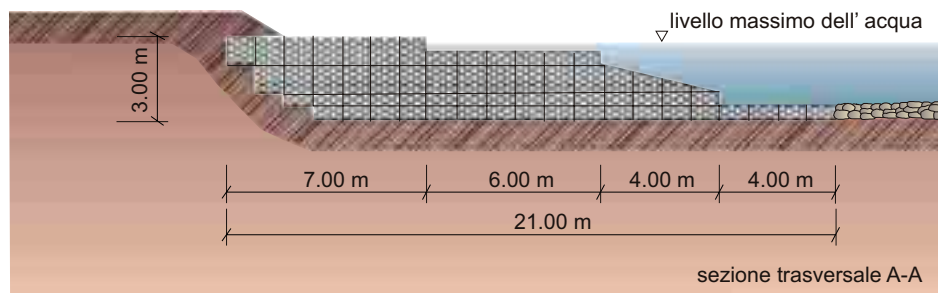
## Repellenti in gabbioni

I repellenti costruiti con gabbioni, sono strutture flessibili adatte ad applicazioni in corsi d'acqua privi di trasporto solido troppo grossolano. I gabbioni si prestano molto bene alla costruzione di questo tipo di opere: grazie ai vari tipi di moduli disponibili ed alla possibilità di sagomare gli elementi con facilità è possibile ottenere le strutture della geometria voluta.

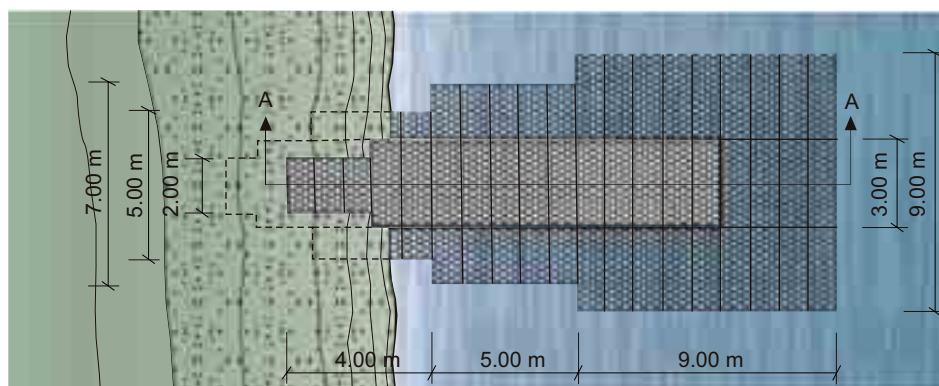
Generalmente oltre ai gabbioni si utilizzano dei materassi ponendoli in fondazione; in tal modo si realizza una platea molto flessibile, più espansa in corrispondenza della testa, che ha l'importante funzione di impedire che lo scalzamento possa pregiudicare la stabilità della struttura. La platea di materassi si flette verso il basso a mano a mano che l'erosione procede, impedendo che possa avvicinarsi troppo al terreno di fondazione del repellente.

Questo tipo di struttura, come le altre in gabbioni, offre il vantaggio di una facile colonizzazione da parte della vegetazione in seguito all'intasamento dei sedimenti; in particolare risulta molto vantaggiosa nella ricostruzione delle sponde erose, dove viene completamente inclusa nei sedimenti e colonizzata alla stessa stregua del terreno in cui è immersa.

**Figura 6.2.7:** Repellente in gabbioni in rete metallica a doppia torsione a maglie esagonali, dotato di platea realizzata con materassi. L'ampia platea impedisce che l'erosione dovuta al disturbo idrodinamico in corrispondenza della testa del repellente possa provocare una pericolosa escavazione. I materassi anche in caso di scalzamento, si flettono verso il basso e proteggono il terreno da ulteriore erosione. Si osservi la sagoma del repellente, caratterizzata da altezza variabile da una estremità all'altra.



**Figura 6.2.8:** Esempi di pennelli in gabbioni.



## Descrizione e Caratteristiche

## Repellenti vivi

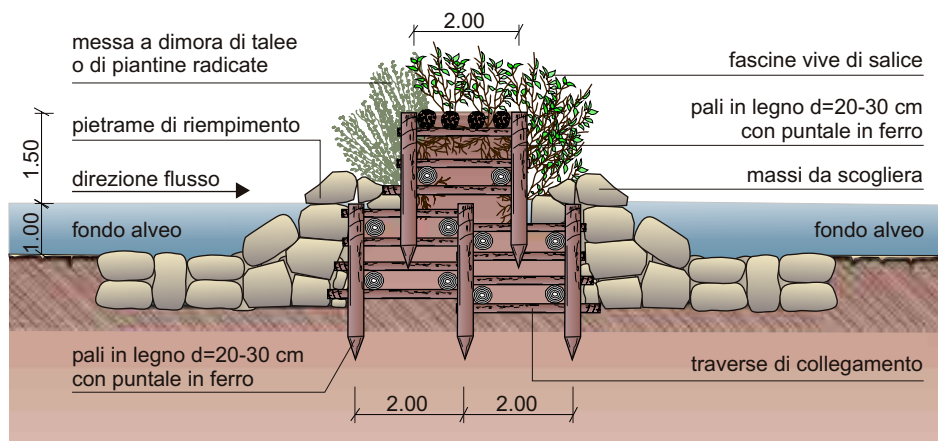
**S**ono costruiti in legname, pietrame e materiale vivo (fascine, ramaglia). Sono strutture utilizzate in corsi d'acqua ad energia non troppo elevata, che diventano parte integrante della sponda, in continuità anche con la vegetazione della sponda stessa. I pennelli realizzati con questa tecnica divengono in breve tempo punti di rifugio per la fauna sia acquatica che terrestre.

La disposizione dei pennelli sarà diversa a seconda degli effetti che si vogliono ottenere: per il restringimento di sezione i repellenti andranno posizionati contrapposti sulle due sponde, per l'effetto meandreggiante i repellenti andranno posizionati sfalsati, con una distanza che rispetti la cadenza naturale del meandreggio.

La tipologia era molto utilizzata un tempo. Con riferimento al Fiume Po a monte di Torino, Demorra (1883) riferisce la presenza di “due letti ben distinti. Cioè il letto delle piene e il letto ordinario; questo è incassato nelle alluvioni depositate nel letto delle piene. L'altezza delle sponde del letto ordinario varia fra due e tre metri, quella delle sponde che limitano le piene varia da quattro a sei metri. [...] Come sono divisi i due letti, [...] così dovremmo trovare due qualità di difesa. Per conservare le sponde al letto ordinario si fa uso di palafitte, a cui si dà nel territorio di Casalgrasso, specialmente, la forma di Pennelletti. Questi son della lunghezza di otto metri, e il loro complesso forma un addentellato di sega. Lo spazio fra i pali vien riempito da ramaglie, salsiccioni, fascine, ghiaia e blocchi, talvolta il riempimento si fa con blocchi soltanto. Questo sistema ultimo di riempimento non dà i buoni risultati del primo”.

La citazione ci ricorda come l'ingegneria naturalistica fosse un insieme di tecniche di largo uso nella pratica delle sistemazioni fluviali e montane le cui origini si perdono nel tempo. La stessa citazione dimostra anche che l'impiego di materiali vivi non dipende da esigenze estetiche, ma ha un obiettivo funzionale e strutturale.

**Figura 6.2.9:** Repellente vivo realizzato con legname, tout-venant e fascine. Il nucleo di materiale arido è contenuto dai pali di legno e dalle fascine vive. In caso di trasporto solido grossolano il repellente può essere protetto mediante una scogliera posta alla base. A seconda delle altezze che si debbono raggiungere si può utilizzare un'unica struttura o sovrapporre due ordini di pennelli.



**Figura 6.2.10:** L'immagine ritrae un repellente vivo, realizzato con pali di legno e fascine vive di salice. Nel giro di un anno i salici hanno ricacciato e la struttura viene consolidata ed inserita ambientalmente. Il materiale di riempimento non deve essere di dimensioni troppo piccole per impedire che possa venire asportato dalla corrente. D'altro canto il riempimento non dovrà essere troppo grossolano per consentire lo sviluppo delle piante. In certi casi un compromesso tra le due esigenze si può ottenere differenziando granulometricamente il materiale più esterno da quello del nucleo.



## Descrizione e Caratteristiche

### Repellente di ramaglia a strati

Si tratta di un repellente di ramaglia a strati costituito da un corpo di strati di fascine o di ramaglia alternati con tout-venant ghiaioso in genere prelevato dall'alveo.

Gli strati sono contenuti e protetti da file di pali di dimensione e passo funzione del tipo di fondo e del livello dell'acqua.

Nel caso di ricostruzione della linea spondale le punte dei rami dovranno terminare in corrispondenza della linea di sponda progettata. Il piede della costruzione a strati verrà ulteriormente consolidato con pietrame nel tratto di oscillazione del livello dell'acqua.

**Figura 6.2.11:** Schema di un repellente di ramaglia.

