



Provincia
di Milano

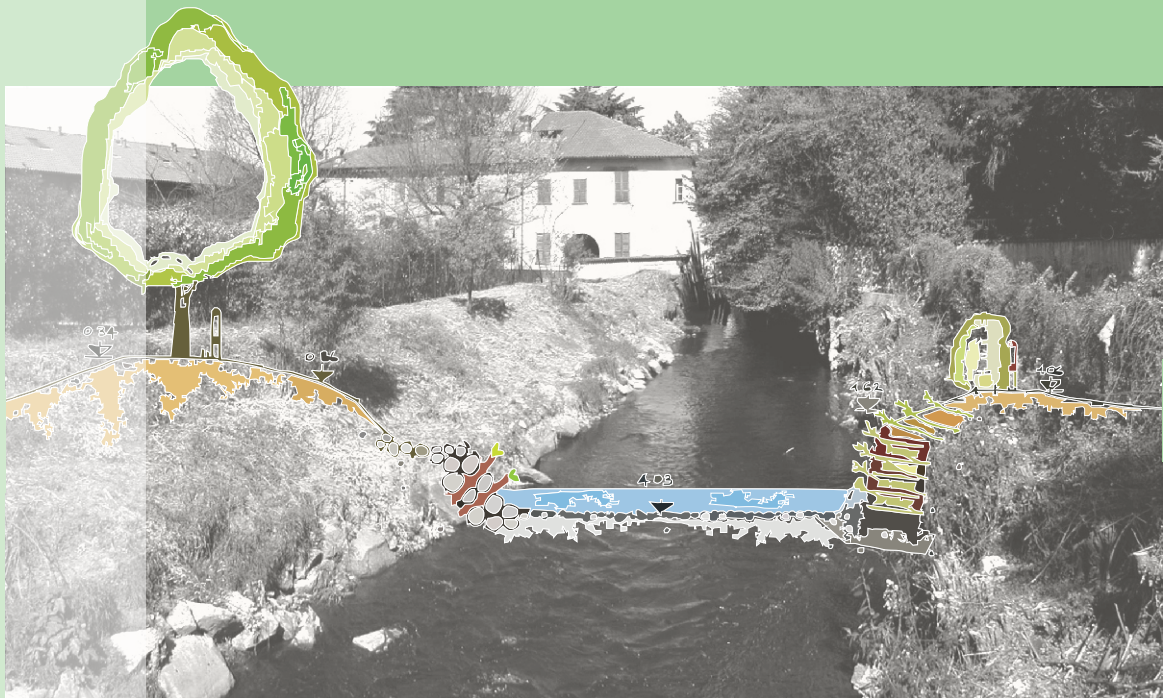


COMUNE DI NERVIANO



Sperimentazione di modelli progettuali-tipo per la riqualificazione fluviale: il caso del F. Olona a Nerviano

Allegato 3 Verifiche di compatibilità idraulica



Dicembre 2008



AGENZIA INTERREGIONALE PER IL FIUME PO

Sede centrale: via Garibaldi 75 – 43100 PARMA – tel. 0521.7971

Ufficio Perif. di Milano

Prot. N.

Milano,

Alla Comune di Nerviano

Uff. Tecnico

p.zza Manzoni, 14 – 20014 Nerviano (MI)

0331 438906

ANTICIPATA VIA FAX:

**Oggetto: Sperimentazione di modelli progettuali-tipo per la riqualificazione
fluviale: Il caso del f. Olona a Nerviano**

In ottemperanza a quanto stabilito nell'Accordo operativo AIPPO/Comune di Nerviano del 31/10/2008, il sottoscritto in qualità di responsabile della consulenza con la presente

TRASMETTE

n.2 copie del documento “Verifica di compatibilità idraulica” relativamente agli interventi di ingegneria naturalistica di cui all'oggetto proposti dall'Amministrazione in indirizzo.

Rimanendo a disposizione per eventuali chiarimenti in merito, l'occasione è gradita per porgere i più Cordiali saluti,

Il Responsabile della consulenza

(Dott. Ing. Gaetano La Montagna)

VERIFICA DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA

1. Premessa: origine dell'impiego di interventi di ingegneria naturalistica in ambito idraulico-forestale e breve *excursus* normativo

Da un punto di vista puramente teorico, l'impiego degli elementi di origine naturale nelle opere civili ha origine molto antica; primi esempi di tali applicazioni risalgono all'antica Roma quando, nell'esercizio dell'ingegneria militare, le legioni realizzavano interventi e utilizzavano tecniche che oggi definiremmo “*a basso impatto ambientale*”. Esempi e riscontri storici si ritrovano negli insediamenti romani in terre di Gallia, di Britannia e di Germania.

Per tornare a tempi molto più recenti, tradizionalmente si fa risalire l'origine dell'ingegneria naturalistica alla tradizione dei lavori idraulico-forestali dei bacini montani.

Il D.M. del 20/08/1912 “Approvazione delle norme per la preparazione dei progetti dei lavori di sistemazione idraulico-forestale bacini montani” imponeva l'uso di materiale di origine naturale, vivo o morto, che rientrano tra le tecniche di Ingegneria Naturalistica, come oggi la si intende.

Tradizionalmente l'ambito prealpino è quello che prima di tutti ha goduto di queste tecniche, sebbene non mancano esempi illustri anche in altre regioni d'Italia (le sistemazioni del Vesuvio dopo le *colate piroclastiche* del 1906).

Ma è intorno agli anni '80/90 che si consolida la sensibilità naturalistica applicata all'ingegneria civile, con qualche decennio di ritardo rispetto ad altri paesi europei, soprattutto quelli di lingua tedesca (Svizzera, Germania e Austria). Sono loro, infatti, che eseguono, dagli anni '50 in poi, una serie di studi di grande rilievo condotti da personalità di grande sensibilità ambientale; in particolare lo Schiechtel, considerato da tutti il *padre* dell'Ingegneria Naturalistica.

In Italia è dal 1988 (a seguito della L. 349/86) che man mano vengono emanati una serie di decreti che prescrivono la valutazione di compatibilità ambientale di alcune tipologie di opere civili. Ma è nel 1990 che l'Ingegneria Naturalistica viene normata in Italia con la L. 102/90, a seguito degli eventi calamitosi in Valtellina.

Alla fine di questo iter, l'ingegneria naturalistica entra nella legislazione in materia di ll.pp., nella L. 109/94 e nel relativo Regolamento DPR 554/99 (mediante l'introduzione di un'apposita categoria, la OG13, nell'elenco delle opere civili).

Gli interventi di ingegneria naturalistici, da quel momento, possono essere eseguiti esclusivamente da esecutori pubblici dotati di certificazione.

Le prime Regioni che adottano l'Ingegneria Naturalistica su scala territoriale sono la Sicilia, la Basilicata e la Prov. Aut. di Bolzano, intorno al 1990. A seguire, l'Emilia-Romagna, le Marche, la Lombardia, ecc.

Dal 1993 vengono pubblicati i primi manuali di Ingegneria naturalistica.

Nel 2000, la Regione Lombardia adotta il "Quaderno di opere tipo di Ingegneria naturalistica", con Delibera di G. R. n. 6/48740 del 29 febbraio.

2. Normativa tecnica di riferimento

Normativa statale

- R.D. 523/04 "Testo unico sulle opere idrauliche"
- D.M. 20/08/16 "Approvazione delle norme per la preparazione dei progetti dei lavori di sistemazione idraulico-forestale bacini montani"
- L. 183/89 "Norme per il riassetto organizzativo e funzionale della difesa del suolo"
- L. 102/90 "Disposizioni per la ricostruzione e la rinascita della Valtellina"
- L. 267/98 (conversione con mod. del D.L. 11/06/1998 n°180) "Misure urgenti per la prevenzione del rischio idrogeologico ed a favore delle zone colpite da disastri franosi nella Regione Campania"
- L. 109/94 "Legge quadro in materia di lavori pubblici"
- D.P.R. 348/99 "Regolamento recante norme tecniche concernenti gli studi di impatto ambientale per alcune categorie di opere"
- D. Lgs. 152/99 "Disposizioni sulla tutela delle acque dall'inquinamento e recepimento della Direttiva 91/271/CEE concernente il trattamento delle acque reflue urbane"
- D.P.R. 554/99 "Regolamento di attuazione della legge quadro in materia di lavori pubblici"
- L. 93/01 "Disposizioni in campo ambientale"
- D.M. 3/09/02, Linee guida per la gestione dei siti Natura 2000
- D. Lgs. 152/06 "Norme in materia ambientale"
- D. Lgs. 163/06 "Codice dei contratti pubblici"

Normativa Regione Lombardia

- D.G.R. 32/1992 “Approvazione dei criteri per l’esercizio della subdelega, da parte dei Comuni, delle funzioni amministrative ex L. 39/1497”
- D.G.R. n. 6/6586 del 19/12/1995 “Direttiva concernente criteri ed indirizzi per l’attuazione degli interventi di I.N. sul territorio della Regione”
- aprile 1996 Programma Regionale di Sviluppo 5.1.5 “Riequilibrio delle condizioni ambientali attraverso la rinaturalizzazione e il recupero ambientale con l’impiego di tecniche di I.N.”
- D.G.R. n°6/29567 del 1/07/97 “Direttiva sull’impiego dei materiali vegetali vivi negli interventi di I.N. in Lombardia”
- D.G.R. n°6/48740 del 29/02/00 Approvazione direttiva “Quaderno opere tipo di ingegneria naturalistica”
- D.G.R. n°7/2571 del 11/12/00 “Approvazione direttiva per il reperimento di materiale vegetale vivo nelle aree demaniali da impiegare negli interventi di ingegneria naturalistica”

3. Piano di Assetto Idrogeologico (P.A.I.)

Il P.A.I., emanato dall’Autorità di Bacino del fiume Po ai sensi dell’art. 17 comma 6-ter della L. 183/89, individua le classi di rischio per tutti i comuni attraversati dai corsi d’acqua afferenti al bacino di Po.

Per il Comune di Nerviano la classe individuata è la 4, ai sensi dell’art. 7 delle Norme di Attuazione (NdA); in particolare, viene definita una scala di valori (da 1 a 4) in relazione alla pericolosità connessa ai fenomeni di dissesto idraulico e idrogeologico, alla vulnerabilità e ai danni attesi.

Dunque, per il nostro Comune la classe è quella più gravosa ovvero il rischio è valutato “*molto elevato*”. La tipologia di dissesto individuata è quella per “*esondazione*” (Allegato 1 – Atlante dei rischi idraulici)

3.1. Aspetti idrologici

Il regime pluviometrico del bacino di Olona è del tipo sub-alpino. Presenta due massimi e due minimi annui, con i massimi primaverile e autunnale praticamente simili. Il totale delle precipitazioni annue è stimato in circa 1220 mm.

Purtroppo l'assenza di stazioni di misura sul fiume Olona a valle di Castellanza non consente di effettuare stime di portata tramite regionalizzazione statistica.

Comunque i principali eventi alluvionali che hanno investito le aree vallive, in particolare quelle a ridosso del capoluogo lombardo, sono quelli del 1993, del 1995 e del 2002; eventi durante i quali si sono verificati allagamenti nei comuni periferici di Milano.

3.2. Aspetto morfologico

L'Olona presenta un alveotipo sinuoso. Purtroppo, a causa dell'attività antropica sviluppatasi durante l'ultimo secolo, il fiume, soprattutto nel tratto a valle di Castellanza, scorre sempre più canalizzato, al punto che esso spesso assume l'aspetto di un corso d'acqua artificiale.

Lungo il corso dell'Olona a valle di Castellanza non si presentano fenomeni erosivi di particolare rilevanza.

L'azione erosiva sul fondo alveo è anch'essa modesta; infatti, il profilo longitudinale risulta piuttosto stabile. Il tratto a valle di Parabiago, dunque anche quello che scorre in Nerviano, presenta delle sinuosità che favoriscono un certo deposito di materiale litoide sul fondo, con conseguente formazione di sporadici accumuli.

3.3. Livello di protezione esistente

Lungo il tratto a valle di Parabiago, sino alle porte di Milano, sono presenti locali arginature in froldo protette da massi ciclopici di varia dimensione. In Comune di Nerviano, in particolare, sono state eseguite una serie di opere di adeguamento e di difesa idraulica, spesso a seguito di eventi alluvionali.

Sporadiche sono le opere di stabilizzazione del fondo alveo.

Le principali fonti di rischio alluvionali sono costituite dagli attraversamenti delle infrastrutture; a Nerviano, in particolare, risulta inadeguato il ponte di via Giovanni XXIII.

3.4. Interventi sull'asta di Olona

Nel tratto che va da Olgiate Olona a Pero, il PAI individua con riferimento al tratto di Olona in Comune di Nerviano i seguenti interventi:

- contenimento dei livelli di piena con tempo di ritorno di 100 anni tramite adeguamento degli argini esistenti ovvero loro completamento;
- incremento della capacità di deflusso dell'alveo attivo tramite interventi di ricalibratura a tratti;
- realizzazione di opere di difesa spondale a carattere puntuale con funzione di contenimento dei fenomeni di divagazione trasversale dell'alveo inciso.

Si tenga presente che lo stesso PAI individua tra gli interventi a più alta priorità la realizzazione di un sistema di casse di laminazione nei territori di S. Vittore Olona, Parabiago e Canegrate, immediatamente a monte di Nerviano.

4. Fenomeni di erosione

I fenomeni naturali legati all'acqua, come le precipitazioni, le infiltrazioni, le percolazioni, i ruscellamenti, ecc. modificano e modellano il territorio a causa della variabilità tanto dei fattori climatici e di natura del suolo quanto per l'uso antropico che viene fatto degli stessi.

Da un punto di vista idraulico, l'acqua è un fluido che dissipa energia per attrito lungo le sponde e il fondo alveo. L'energia si trasforma in forza che può determinare lo spostamento del materiale che costituisce l'alveo fluviale (forza di trascinamento). L'erosione e il conseguente trasporto di materiale dipendono dalle caratteristiche del bacino idrografico e dalle seguenti caratteristiche morfologiche:

- Portata
- Pendenza e altezza delle sponde
- Pendenza e larghezza alveo
- Granulometria materiale litoide di fondo

Il tratto di Olona in oggetto è del tipo "asta di pianura"; esso è caratterizzato da alveo unico (se si escludono le numerose rogge molinare, di tipo antropico), sinuoso (per quanto limitato dall'antropizzazione) con anse e meandri. Le zone di erosione si alternano a quelle di deposito, formando appunto i meandri caratterizzati da erosione esterna alla curva e deposito all'interno.

L'attività erosiva è caratterizzata da un sostanziale equilibrio tra erosione e sedimentazione; tuttavia, in particolari casi l'azione di trascinamento eguaglia quella dei torrenti montani e, quindi, è in grado di innescare fenomeni erosivi intensi.

L'arretramento di una sponda deriva raramente da un singolo processo; esso è il risultato di una complessa interazione tra vari processi e meccanismi che spesso agiscono simultaneamente.

Generalmente si tende a raggrupparli in due categorie: *processi di erosione e movimenti di massa*. Mentre i primi sono il risultato di un aumento delle azioni tangenziali della corrente, i secondi dell'aumento delle forze di taglio o di riduzione della resistenza a taglio.

L'innescò del processo di erosione è schematicamente ricondotto alla condizione in cui le azioni tangenziali esercitate dalla corrente (F_t) superano lo sforzo di taglio critico (T_c) da cui prende inizio, per un dato materiale, il moto della sponda.

Il criterio generalmente utilizzato per la valutazione dei processi erosivi è quello del Fredlund, secondo cui

$$\tau = c' + (u_a - u_w) \text{tang} \Phi^b + (s - u_a) \text{tang} \Phi'$$

dove c' è la *coesione efficace*, $(u_a - u_w)$ è la *suzione*, Φ^b è l'*angolo d'attrito per suzione* e Φ' è l'*angolo d'attrito per sforzi efficaci*.

I processi di sedimentazione si possono distinguere in *laterale* e *verticale*. Alla base delle sponde in arretramento, il materiale derivante dai vari meccanismo di rottura che non viene trasportato direttamente dalla corrente, tende a depositarsi alla base della sponda, almeno per un certo tempo. La rimozione o la stabilizzazione di tale deposito dipende dal bilancio tra tasso di alimentazione e tasso di asportazione, secondo un noto meccanismo di "controllo del punto basale" (Thorne).

5. Il ruolo della vegetazione

Con l'utilizzo di tecniche di Ingegneria Naturalistica si pone il problema di valutare gli effetti che possono aversi in seguito all'impianto di nuova vegetazione su una sponda fluviale.

Infatti, solo di recente è stata messa in discussione la pratica di asportazione, parziale o totale, della vegetazione su un tratto di sponda, comune a tutti gli Enti preposti alla gestione dei corsi d'acqua naturali.

È evidente la necessità di considerare tutti i possibili effetti che la vegetazione può avere nei confronti dei processi fluviali, in modo da poter valutare la sostenibilità di un intervento di impianto di nuova vegetazione o, viceversa, di asportazione di quella esistente.

Alcuni degli effetti debbono essere considerati positivamente, soprattutto nei riguardi della stabilizzazione; anche se gli stessi potrebbero essere, invero, destabilizzanti. Si pone dunque come necessaria una valutazione di tali effetti e del loro bilancio, in termini di stabilità della sponda.

La valutazione degli effetti della vegetazione sulla distribuzione delle azioni tangenziali della corrente è molto complessa e ancora non ben conosciuta. Se da un lato è di notevole complessità la schematizzazione (e l'approssimazione) del problema stesso, dall'altro bisogna considerare la "flessibilità" della vegetazione stessa sottoposta all'azione tangenziale della corrente.

In generale, sono stati individuati i seguenti effetti:

- Aumento della scabrezza
- Riduzione della velocità e dell'azione tangenziale
- Deviazione della corrente dal perimetro bagnato
- Azione di protezione indiretta della sponda

Inoltre sono da tenere in considerazione non solo il tipo di vegetazione (essenze vegetali) ma anche la sua distribuzione spaziale (lungo la scarpata e lungo la sponda).

Nel caso di essenze erbacee e/o arbustive, gli effetti sono significativi soprattutto in regimi di corrente lenta; nel caso di essenze arboree, gli effetti continuano a essere evidenti anche in regimi di corrente veloce, sebbene alcune essenze favoriscano l'innescò di erosioni localizzate (causate da fenomeni di turbolenza).

Una corretta valutazione, comunque, non può prescindere dalla dimensione del corso d'acqua; per un corso d'acqua come l'Olona, sostanzialmente di piccole dimensioni, la presenza di essenze arboree può generare effetti indesiderati, soprattutto in conseguenza della caduta in alveo, che potrebbe generare fenomeni erosivi imprevisti e non governabili. Per cui è sconsigliabile la presenza di alberature, anche di medio fusto, lungo le sponde di Olona a distanze inferiori a quelle prescritte dal T.U.

Altro aspetto da considerare è la limitazione indotta dalla presenza vegetale dell'erodibilità del materiale di sponda. Infatti, rispetto alle sponde non vegetate, quelle vegetate con una buona copertura presentano una maggiore resistenza all'azione diretta della corrente. Gli stessi apparati radicali tendono a conferire al terreno una *coesione* aggiuntiva. In questo caso, il meccanismo di rottura non si innesca per erodibilità dei granuli bensì per l'asportazione o sradicamento della vegetazione stessa.

Per tale motivo, è buona norma che la presenza vegetale erbacea e arbustiva si estenda sino al livello di magra e non oltre.

La vegetazione, inoltre, svolge un ruolo importante anche riguardo alla mitigazione dei processi erosivi superficiali, grazie alla capacità di intercettazione delle gocce di pioggia e al fenomeno della traspirazione che riduce l'entità del ruscellamento, fenomeno al quale è legato il processo di erosione superficiale stesso. Questo aspetto è reso vieppiù efficace grazie alla già citata capacità di protezione indiretta rispetto all'azione tangenziale della corrente fluviale.

Infine, i meccanismi organici legati ai fenomeni di decomposizione favoriscono l'aggregazione dei grani di terreno e riducono ulteriormente il ruscellamento.

6. La vegetazione e la stabilità delle sponde

In prima istanza, ai fini di una verifica preliminare degli interventi previsti, consideriamo significativi i soli effetti della vegetazione sulle variazioni di resistenza al taglio; generalmente si considerano due principali categorie:

- Effetti sui parametri di resistenza al taglio

- Effetto sulle pressioni interstiziali, cioè effetti sulla suzione (*porzione insatura della sponda*) e sulle tensioni efficaci (*porzione satura della sponda*)

Concentriamoci, per il momento, solo sulla prima categoria, rimandando uno studio più esaustivo a un livello di progettazione più raffinato ovvero nel momento in cui saranno noti una serie di parametri che per il momento, stante il livello preliminare della progettazione, non sono stati determinati.

6.1. Effetti della vegetazione sui parametri di resistenza al taglio

La presenza di vegetazione sulla sponda fluviale produce un primo e significativo effetto di miglioramento delle caratteristiche geotecniche del terreno costituente la sponda stessa. Gli apparati radicali, generalmente, presentano un'elevata resistenza a trazione, pertanto la loro combinazione con il terreno produce un sensibile rinforzo del terreno stesso, paragonabile a quello ottenuto con l'impiego di materiali artificiali (geotessuti, ecc.); le radici sono efficaci sia nell'aumentare la resistenza a rottura, sia nella distribuzione delle tensioni nel terreno.

Secondo vari autori (Waldron 1977, Gray 1978), la presenza degli apparati radicali produce incrementi della resistenza al taglio del terreno che vanno da oltre il 100%, soprattutto se le radici sono fini (1-20mm, O'Loughlin 1974), sino a incrementi poco apprezzabili per radici grosse.

In particolare, risulta aumentata la coesione efficace, c' .

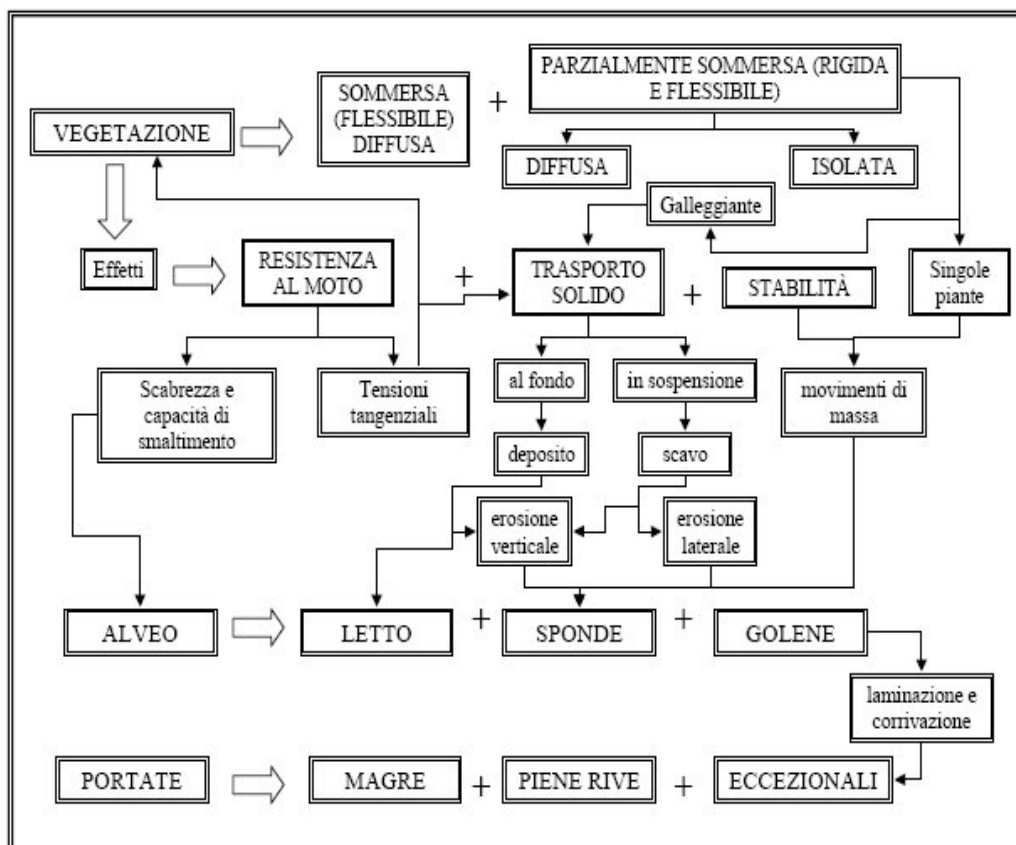
Il modello teorico più utilizzato è quello sviluppato da Wu (1976) e perfezionato da Greenway (1987).

Secondo tale modello, considerando che la radice sia flessibile ed elastica, nonché disposta perpendicolarmente alla zona di taglio, che la resistenza a trazione delle radici sia completamente mobilitata e che, infine, non sia alterato l'angolo di attrito interno del terreno, l'incremento di resistenza al taglio è pari a

$$\Delta S = T_r (A_r/A) * (\sin\theta + \cos\theta * \tan\phi)$$

dove T_r è la *resistenza a trazione media delle radici*, è (A_r/A) la *frazione della sezione di terreno occupata da radici*, è θ l'*angolo di deformazione nella zona di taglio* e ϕ è l'*angolo di attrito interno del terreno*.

Il termine in parentesi, secondo molte esperienze sul campo può essere posto pari a 1,20. Dunque, l'incremento di resistenza al taglio è direttamente e interamente dipendente dalla resistenza a trazione dell'apparato radicale.



7. Limiti biotecnici d'impiego

Le sistemazioni idrauliche pongono alcuni problemi classici di potenziale interferenza tra la presenza di vegetazione sulle sponde e il deflusso fluviale.

Se da una parte la vegetazione migliora la risposta geomeccanica del terreno all'azione tangenziale della corrente, dall'altra la stessa tende a ridurre la sezione di deflusso; effetto assolutamente indesiderato, soprattutto nei corsi d'acqua come l'Olona che presentano, per varie cause naturali ma anche antropiche, sezioni ristrette anche nei tratti di valle.

Ragion per cui non si può non tener conto dei limiti d'impiego dell'Ingegneria Naturalistica e che la scelta e la collocazione degli interventi sia funzione di alcuni parametri, in particolare:

- Velocità di deflusso (correlata alla pendenza dell'alveo)
- Diametro del trasporto solido

Nella tabella che segue, ricavata dal “Manuale di I.N. della Regione Lazio”, viene formulata una proposta di massima per la scelta delle tipologie d'intervento con tecniche di I.N., basata appunto sui due parametri succitati.

11. Tecniche di Ingegneria Naturalistica di uso frequente nella protezione dei corsi d'acqua

Velocità della corrente (v)	Diametro medio del trasporto solido (D _s)	Natura del fondo	Stabilizzazione dei versanti	Rivestimento/consolidamento delle sponde	Modifiche morfologiche del corso d'acqua	Rinaturalizzazione/ricostruzione dei biotopi Lumidi	Provvedimenti uso faunistico
v > 6 m/s	Tutti i diametri	Ghiaia, ciottoli, massi		Opere rigide in calcestruzzo; gabbionata spondale rinverdità; muro a secco rinverdito; muro cellulare rinverdito; blocchi incatenati.			Rampa a blocchi
3 < v < 6 m/s	D _s > 20 cm	Ghiaia e ciottoli	<ul style="list-style-type: none"> • Semine, semine potenziate; • Messa a dimora di talee; • Messa a dimora di arbusti; • Stuoie su versante; • Geocelle a nido d'ape; • Rivestimento in reti metalliche e stuoie; • Viminata; • Fascinata; • Gradonata; • Cordonata; • Palizzata; • Cuneo filtrante; • Grata viva su scarpata; • Palificata viva; • Gabbionata; • Materasso verde; • Muro cellulare rinverdito 	Opere rigide in c/c; gabbionata spondale rinverdità; muro a secco rinverdito; muro cellulare rinverdito; blocchi incatenati;	Ampliamento sezione/casse di espansione		Rampa a blocchi
v < 3 m/s	1 < D _s < 5 cm	Sabbia, ghiaia		Palificate vive spondali; permello vivo; gabbionata spondale; materasso rinverdito; muro cellulare rinverdito; blocchi incatenati.	Ampliamento sezione/casse di espansione	Parziale	Rampa a blocchi/ scale risalita
				Semine, idrosemine, semine a spessore; biostuoie, biotetri; geostuoie tridimensionali sintetiche bituminate; geocomposito in rete metalliche e geostuoia tridimensionale; messa a dimora di talee legnose; piantagione di arbusti; trapianto di cespi e rizomi; copertura diffusa con ramaglia viva; viminata viva; fascinata viva; gradonata viva; graticciata di ramaglia; ribalta viva; grata viva; palificate vive, permello vivo; traversa viva; rulli spondali; gabbionata rinverdità; materasso rinverdito; terre rinforzate verdi; muro a secco rinverdito; muro cellulare rinverdito; rampa a blocchi; blocchi incatenati	Ampliamento sezione/ recupero vecchi meandri	Buona	Rampa a blocchi/ scale di risalita
	D _s < 1 cm	Limo, sabbia			Ampliamento sezione/ espansione/recupero vecchi meandri/impaludamenti aree foce	Ottimale	

Fonte: Chieui, Sauli, Piano stralcio per il bacino del fiume Toce, 1993, modificato.

Come si vedrà in seguito, dai dati forniti a base del P.A.I. e dal rilievo topografico effettuato, si riscontra che il range di velocità è quello $3 < v < 6$ m/s; il trasporto solido è caratterizzato da ghiaia e raramente da ciottoli ($5 < D_s < 20$ cm), per cui gli interventi consigliati sia per la stabilizzazione che per il consolidamento delle sponde comprendono quelle proposte nel presente progetto:

- *Fascinata viva*
- *Copertura diffusa*
- *Gradonata viva*
- *Palificata viva*

8. Verifiche di compatibilità delle principali tipologie di intervento

8.1. Parametri idraulici

Il fiume Olona da sempre è stato utilizzato come una risorsa per attività antropiche, soprattutto come forza generatrice di corrente elettrica mediante la realizzazione di numerose rogge molinare. Inoltre, l'attività edificatoria e quella agricola hanno progressivamente sottratto spazio al fiume, con conseguente impatto ambientale.

Il primo problema idraulico che si pone è quello di permettere il transito della portata di progetto, Q_p , nelle sezioni sottoposte a intervento di sistemazione.

Questa portata è generalmente determinata in base a studi idrologici oppure da dati storici. Per il fiume Olona il P.A.I., secondo la tabella 44 della Direttiva 2 alle Norme di Attuazione, individua la sezione di misura della portata proprio in corrispondenza del Comune di Nerviano; questa sezione, individuata come n. 10 (prog. 42,799 km), presenta una portata di piena di riferimento ($T_r = 100$ anni) pari a:

$$Q_{100} = 59 \text{ mc/s} \quad [\text{tab. 44, Dir. 2, N.d.A. del P.A.I.}]$$

Con un'altezza idrometrica pari a 175,36 m s.l.m.

Questo dato, che va assolutamente verificato con uno studio idrologico e idraulico di dettaglio in un livello di progettazione superiore, può essere assunto a base delle verifiche preliminari degli interventi proposti.

Questi appartengono alla categoria degli *interventi di sistemazione* ovvero di interventi che tendono a modificare e/o consolidare l'alveo per il raggiungimento di uno stabile assetto plano-altimetrico mediante opere di difesa delle sponde, di stabilizzazione del fondo, di risagomatura delle sezioni e, infine, di riprofilatura del tracciato.

In particolare, le opere sulle sponde proposte sono del tipo *longitudinali (o radenti)*.

8.2. Caratteristiche delle grandezze idrauliche

Come si è potuto evincere in precedenza, il parametro principale su cui influisce la vegetazione è la resistenza a taglio. La quantificazione di questo effetto la si riscontra come variazione del coefficiente di scabrezza.

Detta A la porzione di area (riferita alla sezione trasversale retta) attraverso cui fluisce la portata di riferimento, nota come *area bagnata*, e C lo sviluppo della linea di contatto fluido-alveo, noto come *perimetro o contorno bagnato*, il loro rapporto, noto come R *raggio idraulico*, è indice della forma geometrica dell'area bagnata.

Il valore di tale rapporto è indispensabile per conoscere il valore della velocità media della corrente, attraverso la nota relazione di Chezy

$$v_m = C \sqrt{(g \cdot R \cdot i)}$$

dove il parametro "C" è il *coefficiente adimensionale di resistenza (o di Chezy)*.

La valutazione di tale grandezza è un'operazione molto delicata; secondo Manning, essa dipende dalla natura del fondo, dalla presenza di irregolarità che ostacolano il deflusso, dal tipo e sviluppo della vegetazione, secondo la relazione

$$C = n^{-1} \cdot R^{1/6}$$

dove "n" è il *coefficiente di scabrezza o numero di Manning*. Al crescere di n la velocità diminuisce e, pertanto, anche la portata.

L'aumento di resistenza al taglio, prodotto dai vari tipi di copertura vegetale, può tradursi in un aumento significativo della scabrezza complessiva dell'alveo. Tale effetto è tanto più preoccupante quanto più il corso d'acqua

ha una sezione stretta; in particolare, molti studi hanno evidenziato che tali effetti non possono essere trascurati se il rapporto di forma larghezza-altezza, B/Y , risulta inferiore a 15.

Questo è proprio il caso del fiume Olona; infatti, generalmente tale rapporto di forma è circa 5, ben al di sotto della soglia.

Questo giustifica la determinazione dell'effetto della vegetazione, derivante dagli interventi di I.N., sulla scabrezza. In questa fase, ovviamente, tale determinazione è assolutamente di massima, tesa a stabilire l'ordine di grandezza della fenomenologia associata alla tipologia di interventi proposti. Si rimanda a un livello di progettazione successivo la determinazione puntuale di tali effetti.

Il *numero di Manning* viene determinato dalla seguente relazione:

$$n = (n_1 + n_2 + n_3 + n_4) * m$$

dove i vari coefficienti hanno i valori indicati dallo stesso Manning. Nel nostro caso si ottiene:

$$k_s = 1/n \cong 45 \text{ [Gaukler-Strickler]}$$

caratteristico del corso d'acqua meandriforme con portate minori e pendenze minime.

8.3. Effetti della vegetazione sulla scabrezza idraulica

Generalmente si può affermare che la presenza di vegetazione di qualsiasi tipo, sia in alveo che sulle sponde, tende a far aumentare la scabrezza effettiva del contorno, aumentando di conseguenza la resistenza al flusso e riducendo la velocità media nella sezione trasversale retta generica.

Tale effetto comporta un innalzamento del pelo libero dell'acqua; eventualità che va ben calibrata, stante il potenziale aumento del rischio di esondazione in considerazione della forma geometrica dell'Olona.

Una particolare difficoltà deriva anche dal fatto che l'aumento di scabrezza indotta dalla vegetazione è variabile nel tempo, in relazione ai periodi vegetativi.

Data la capacità flettente della vegetazione, secondo gli studi in materia più accreditati, la distribuzione delle velocità della corrente è

approssimativamente logaritmica, poiché la flessione dei fusti comporta una traslazione del livello di velocità nulla verso il contorno.



Inoltre lo studio della resistenza al flusso deve tener conto, separatamente, della vegetazione sommersa e di quella non sommersa.

Nel caso del nostro corso d'acqua e del tipo di interventi proposti, ci troviamo in un caso intermedio ovvero di *vegetazione parzialmente sommersa*.

La resistenza al flusso attraverso una data area vegetata è funzione di molte variabili, le cui principali sono: la velocità del flusso, la distribuzione spaziale della vegetazione, la scabrezza del contorno e le proprietà strutturali e idrodinamiche delle essenze.

L'assunzione di una scabrezza rigida può comportare errori rilevanti nella stima dell'interazione tra velocità e forza di trascinamento; infatti l'aumento di scabrezza, detta *flessibile*, risulta significativo in concomitanza degli eventi di piena ovvero quando il regime delle velocità aumenta. Infatti, nota la correlazione di Manning ($n = V \cdot R$), risulta evidente che la scabrezza dipenda in maniera diretta dalla velocità media della corrente idrica.

8.4. Verifica della protezione spondale con tecniche di Ingegneria Naturalistica

Per tale verifica la situazione più critica è certamente quella a vegetazione avvenuta, poiché la scabrezza di Manning risulta più grande. Dal Manuale di I.N. dell'Prov. di Terni si evincono, per ogni tipologia di intervento, i valori della scabrezza (k_s di Gauckler-Strickler) a seconda che ci si riferisca alla fine dei lavori (k_s minima) ovvero ai primi tre periodi vegetativi (k_s massima). Nel nostro caso:

Tipologia	τ (N/m ²)	v (m/s)	Fine lavori	k_s I p.	k_s II p.	k_s III p.
Fascinata viva	100-150	3,0-3,5	20	50	60	60
Copertura diffusa	100	-	(50)	(150)	(300)	(300)
Gradonata viva	-	-	20	100	120	140
Palificata viva	-	-	500	600	600	600

Nel calcolo di una protezione spondale ci si riferisce sostanzialmente a due metodi basati sull'ammissibilità: per un dato materiale, il primo con riferimento alla velocità della corrente e il secondo alle tensioni di trascinamento.

Ai fini della valutazione dell'efficacia antierosiva di una protezione spondale è necessario considerare tutti i parametri idraulici e geometrici:

- Altezza d'acqua
- Pendenza della sponda
- Andamento planimetrico del corso d'acqua (sponde rettilinee o in curva)
- Durata dell'evento di piena (dato non significativo se la protezione spondale è garantita dal peso del materiale costituente la protezione stessa)

8.5. Calcolo delle tensioni di trascinamento

Questo calcolo si basa sul confronto tra le tensioni tangenziali massime, τ_b sul fondo e τ_m sulla sponda (rettilinea o in curva), che nascono nel punto di verifica prescelto e quelle massime ammissibili per il materiale, rispettivamente τ_c al fondo e τ_s sulla sponda.

Tensioni tangenziali agenti

La formula per calcolare la tensione tangenziale massima al fondo, considerando valida l'approssimazione (a vantaggio di sicurezza) che il raggio idraulico è pressoché coincidente con il tirante idrico nella generica sezione di verifica, è:

$$\tau_b = \gamma_w H i_f \quad (\text{al fondo})$$

dove i_f è la pendenza del fondo alveo.

Se il punto è invece situato sulla sponda, lungo un'asta fluviale rettilinea:

$$\tau_m = 0.75 \gamma_w H i_f \quad (\text{sulla sponda rettilinea})$$

mentre lungo un'asta in curva vi è un aumento della tensione:

$$\tau_m = K 0.75 \gamma_w H i_f \quad (\text{sulla sponda in curva})$$

dove il coefficiente K dipende dal rapporto tra raggio di curvatura e larghezza del pelo libero, tabellato da più autori.

Tensioni resistenti

Per quanto riguarda la tensione di resistenza al trascinarsi al fondo, essa costituisce il limite oltre il quale vi è un atto di moto del materiale. Da varie sperimentazioni si è rilevato che, per materiali non coesivi, essa è:

$$\tau_c = 80 d_{75}$$

dove d_{75} è il diametro del vaglio che consente il passaggio del 75% del materiale. Per cui la verifica è soddisfatta se

$$\tau_b \leq \tau_c \quad (\text{al fondo})$$

A sua volta, per un punto situato sulla sponda, definita la tensione tangenziale di sponda come una frazione di quella agente sul fondo, essa è determinata da:

$$\tau_s = \tau_c \sqrt{(1 - \sin^2 \theta / \sin^2 \phi)}$$

dove ϕ è l'angolo d'attrito del materiale di sponda e θ è l'inclinazione della sponda rispetto all'orizzontale. Anche in questo caso la verifica è soddisfatta se

$$\tau_m \leq \tau_s \quad (\text{sulla sponda})$$

9. Tecniche di Ingegneria Naturalistica impiegate

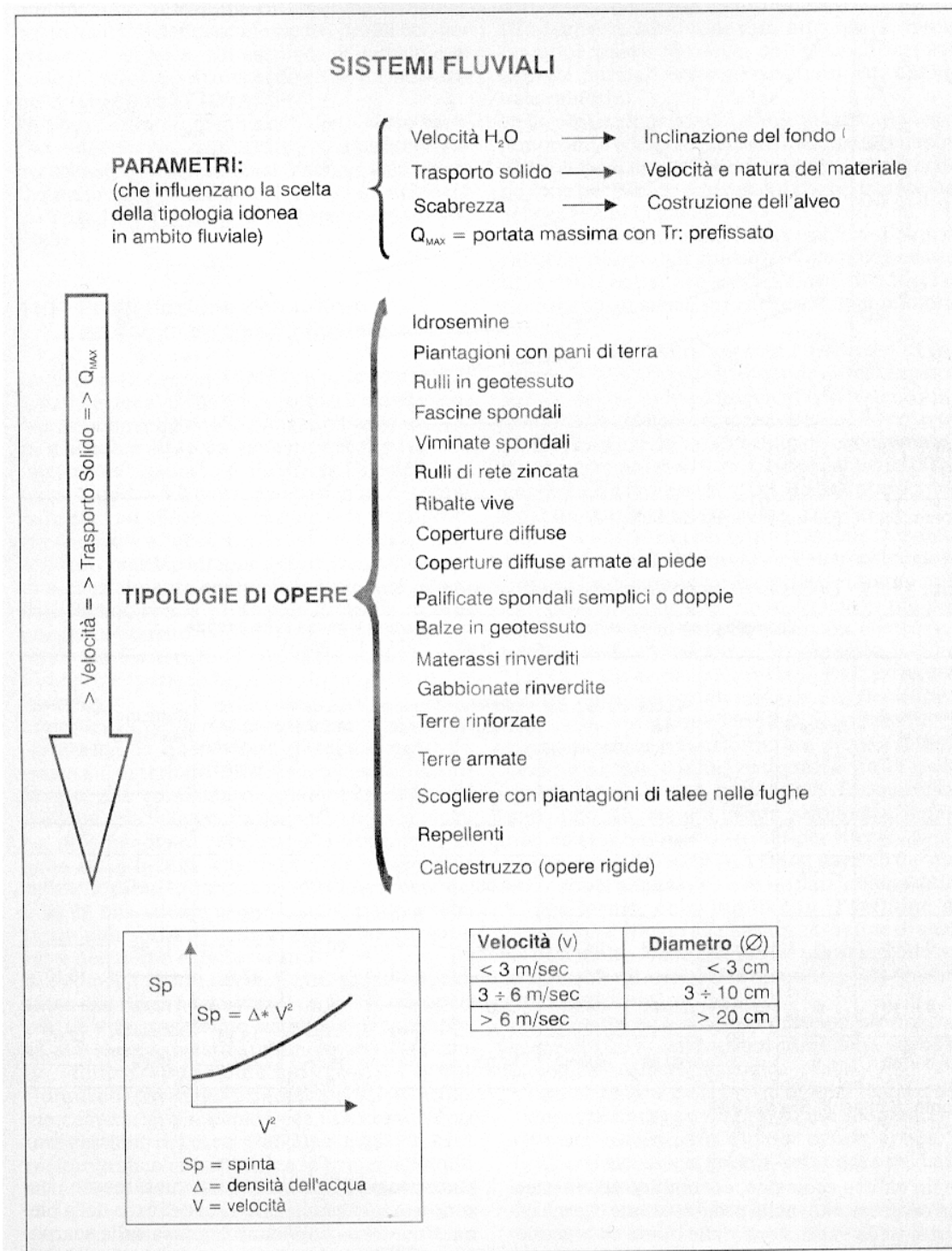
In linea di massima tutte le tipologie costruttive dell'I.N. possono essere impiegate in ambito idraulico-fluviale. Come è stato descritto precedentemente, oltre agli effetti di stabilità delle terre, si deve tener conto della velocità della corrente e della conseguente azione di trascinamento. Ancora oggi ha valore la schematizzazione dello Schiechl nella suddivisione delle tipologie di intervento: rivestimento, stabilizzanti, combinati e complementari.

Gli interventi proposti appartengono essenzialmente alle prime tre categorie: la “copertura diffusa” è un intervento di rivestimento, la “fascinata viva” è un intervento di stabilizzazione della sponda mentre la “gradonata” e la “palificata” sono interventi che combinano materiali vegetali vivi con inerti.

L'impiego di tali tecniche, che oggi si propongono in via sperimentale sul fiume Olona, dovrà trovare in futuro giustificazione anche da un punto di vista ambientale nonché socio-economico, oltre che confrontato con diverse alternative, tra cui quelle che fanno riferimento a tecniche d'intervento spondale consolidate.

Infatti, come si evince dalla bibliografia specializzata, tali tecniche trovano generalmente impiego in ambito fluviale solo per aste con pendenze non eccedenti il 5%, meglio se 3÷4%.

Altro aspetto da valutare molto attentamente è quello del regime idraulico, soprattutto con riferimento al trasporto solido, sebbene nel nostro caso il fiume Olona non trasporti materiale lapideo di medie o grosse dimensioni. Un aiuto significativo nella valutazione preliminare delle tipologie costruttive da adottare è data dal quadro sinottico sotto riportato:



Fascinata viva (tratto C2: sponda idrografica sinistra – a valle della passerella / tratto E)

Bollettino Ufficiale della Regione Lombardia

1° Suppl. Straordinario al n. 19 - 9 maggio 2000

FASCINATA VIVA

FASCINE MATTRESS WORK – FASCHINENWAND – OUVRAGE EN FASCINES

1 Descrizione dell'opera e funzioni principali

L'opera è costituita da fascine formate da verghe o ramaglia, aventi capacità vegetative, poste e fissate all'interno di un solco scavato nel pendio.

L'opera ha la funzione di stabilizzare superficialmente e drenare versanti molto umidi tramite la raccolta e deflusso delle acque superficiali lungo un percorso definito.

2 Campi di applicazione

L'intervento è adatto su scarpate in terra con inclinazione fino a 35°.

3 Fattibilità

L'effetto stabilizzante e consolidante del terreno avviene solo dopo la radicazione del materiale vegetale. Opera sensibile alla caduta di massi e all'abrasione.

4 Materiali impiegati

- verghe più lunghe possibili ($l > 1$ ml) e $d < 10$ cm, specie legnose dotate di capacità vegetativa (salici, pioppi, ecc.)
- filo di ferro zincato con $d = 2 \text{ [] } 3$ mm
- picchetti scorciati di larice o castagno o robinia o rovere $l = 60 \text{ [] } 100$ cm $d = 6 \text{ [] } 10$ cm
- fondini in ferro $d = 12 \text{ [] } 16$ mm

5 Modalità di esecuzione

- scavo di un solco lungo la curva di livello (per l'immagazzinamento dell'acqua) o con leggera pendenza (per aumentare il deflusso laterale) di larghezza di 30-60 cm ed uguale profondità
- realizzazione di fascine di circa 20-50 cm di diametro, della lunghezza di 2,5 [] 4 m legate insieme ogni 30-70 cm, in modo che le parti terminali grosse stiano sempre nella stessa direzione. La legatura con fili di ferro può non essere stretta
- posizionamento delle fascine nel fosso scavato e loro fissaggio nel terreno con picchetti di legno (vivi o morti), oppure con fondini di ferro infilati in mezzo ai rami (sec. Kraebel) o a valle della fascina (sec. Hofmann). I paletti vengono posti ad una distanza tra 50-100 cm e conficcati in direzione perpendicolare al piano del versante
- riempimento del fosso con il materiale proveniente dallo scavo, lasciando sporgere dalla terra solo piccoli tratti di verghe
- possono essere messe a dimora piantine immediatamente a monte della fascinata (vedi fig. 1)

Disposizione planimetrica delle fascinate:

- 1) ad elementi continui: gli elementi sono disposti a file parallele che attraversano la zona interessata con angolo di inclinazione variabile tra 0°-20° – quando le fascinate hanno funzione di drenaggio dell'acqua;
- 2) a lisca di pesce: gli elementi vengono disposti secondo la tipica forma della lisca di pesce. Si deve realizzare una sovrapposizione, di almeno 50 cm, dei tratti interni dei singoli elementi che costituiscono la lisca della fascinata. Si usa questa disposizione quando si deve aumentare la funzione di deflusso laterale (vedi fig. 2).

L'interasse dei vari elementi dovrà essere definito in base alla pendenza del versante. Ad esempio per le fascine disposte lungo le linee di livello (ad elementi continui), indicativamente la distanza sarà:

Pendenza h : l	Distanza
1 : 1,5 [] 1 : 2	120 [] 150 cm
1 : 2 [] 1 : 2,5	150 [] 180 cm
1 : 2,5 [] 1 : 3	180 [] 240 cm

(Secondo D.H. Gray e R.B. Bottr, 1995)

6 Interventi collegati

Diversi interventi di stabilizzazione dei versanti

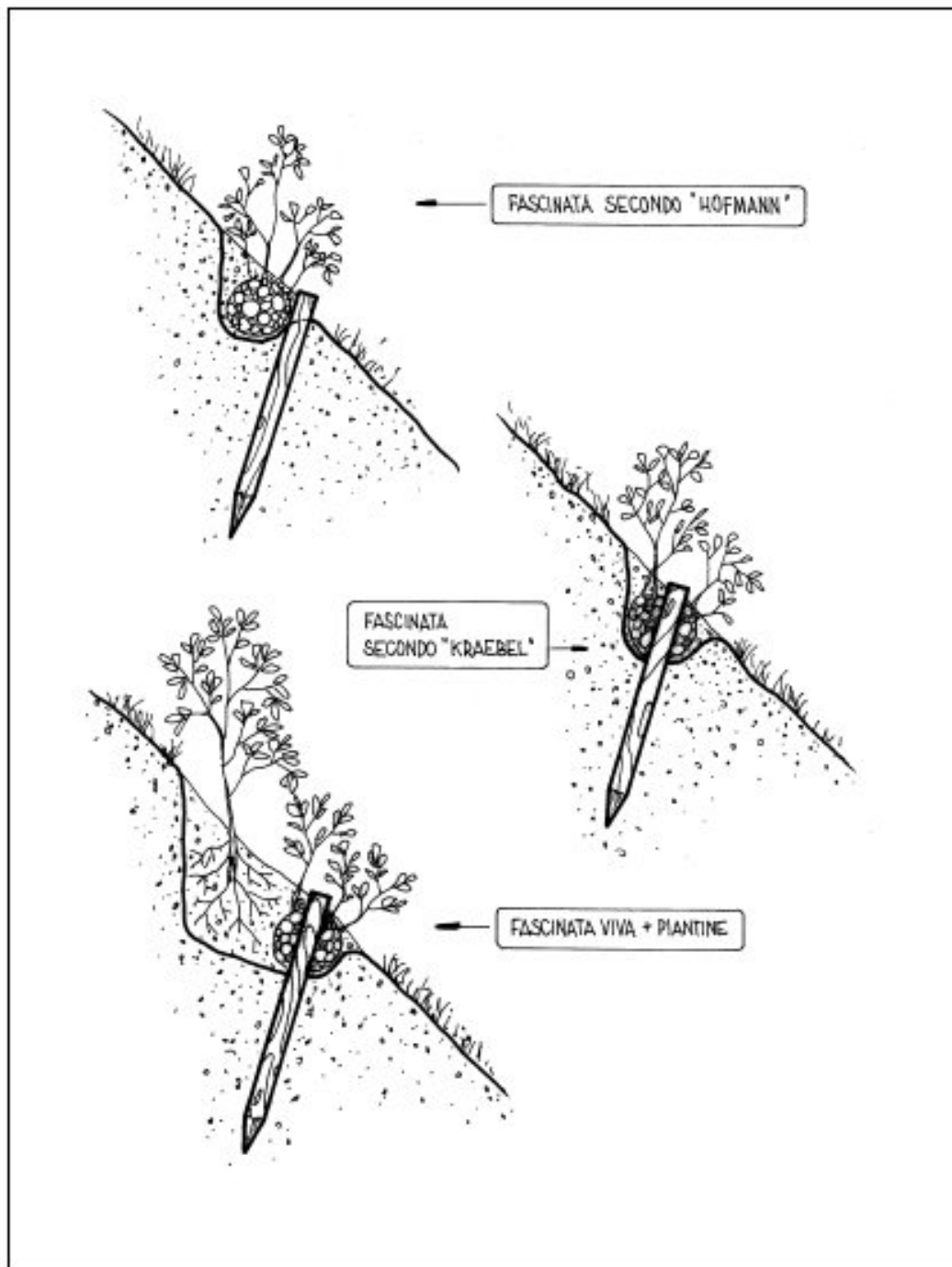
7 Periodo di intervento

Periodo di riposo vegetativo (da tardo autunno a fine inverno)

8 Manutenzione e durata dell'opera

- eventuali risarcimenti per falanze
- ceduzioni ogni 5 [] 7 anni

Fig. 1 - FASCINATA VIVA



Copertura diffusa (tratto C2: sponda idrografica sinistra – a valle della passerella)

Bollettino Ufficiale della Regione Lombardia

1° Suppl. Straordinario al n. 19 - 9 maggio 2000

COPERTURA DIFFUSA CON ASTONI BRUSH MATTRESS – SPREITLAGE – TAPIS DE BRANCHES A' REJETS

1 Descrizione dell'opera e funzioni principali

L'opera consiste nella realizzazione di un rivestimento di sponda, precedentemente rimodellata, mediante la messa a dimora di astoni con capacità di propagazione vegetativa. Con tale intervento si protegge la superficie del terreno dall'azione delle forze meccaniche (piogge, erosione fluviale, ecc.). Viene inoltre migliorato il bilancio idrico e termico e viene favorito lo sviluppo della vita vegetale nel terreno e nello strato aereo vicino al terreno (vedi fig. 1).

2 Campi di applicazione

È una protezione particolarmente efficace della superficie delle scarpate spondali minacciate dall'acqua corrente e dal moto ondoso. Si può intervenire sia nel caso di nuove costruzioni sia per risanamento di rotture spondali.

Allo scopo di fornire maggiore protezione del piede della scarpata si può eventualmente realizzare una copertura diffusa con astoni del tipo «armata»: confronta specifica descrizione.

3 Fattibilità

Intervento di tipo intensivo che richiede un notevole impiego di materiale.

L'azione in profondità esercitata dall'apparato radicale fa sì che sin dalla prima stagione vegetativa si abbia un considerevole consolidamento del terreno. La grande proliferazione del materiale vegetale crea una densa fascia elastica durevole nel tempo.

La protezione data dalla parte aerea può favorire il rapido insediarsi di vegetazione ripariale integrativa in carattere con la stazione.

La radicazione degli astoni nel terreno tende a svilupparsi in profondità in caso di aridità del materiale.

4 Materiali impiegati

A – semplice:

- paleria di larice o di castagno: $l = 80 \text{ cm}$
 $\phi = 5 \text{ } \overline{\text{II}} 7 \text{ cm}$
- astoni di salice e altre essenze con capacità di propagazione vegetativa: $l = 300 \text{ } \overline{\text{II}} 400 \text{ cm}$
 $\phi = 3 \text{ } \overline{\text{II}} 10 \text{ cm}$
- pietrame: pezzatura $> 0.20 \text{ mc}$
- ghiaia: pezzatura $= 30 \text{ } \overline{\text{II}} 160 \text{ mm}$
- filo di ferro zincato: $\phi = 3 \text{ mm}$
- terreno vegetale

B – armata (in aggiunta):

- paleria di larice o di castagno: $l = 150 \text{ } \overline{\text{II}} 200 \text{ cm}$
 $\phi = 20 \text{ cm}$
- fune di acciaio: $\phi = 16 \text{ mm}$
- fondini di ferro: $l > 60 \text{ cm}$
 $\phi = 16 \text{ } \overline{\text{II}} 20 \text{ mm}$
- morsetto serrafune: $\phi = 16 \text{ } \overline{\text{II}} 22 \text{ mm}$
- malta cementizia antiritiro

5 Modalità di esecuzione

A – copertura diffusa con astoni di salice su sponda. Si deve procedere come di seguito:

- modellamento della sponda del fiume con l'ausilio di un escavatore;
- eventuale realizzazione di un fosso al piede della sponda (larghezza: 40 cm, profondità: 30 cm);
- messa in opera di 3 o più file di paletti di castagno o di larice, infissi nel terreno non riportato per 60 cm sporgenti per 20 cm; le file di paletti vanno poste nel senso della corrente del fiume con un intervallo di 1 m; la distanza fra i paletti può variare da 1 a 3 m max. a seconda della pressione idraulica;
- posa di uno strato continuo di astoni di salice in senso trasversale alla direzione della corrente e con il diametro maggiore conficcato nel terreno o nel fosso a contatto con l'acqua. In caso di messa a dimora di due ordini di astoni, la parte superiore dell'ordine più basso dovrà sorreggere di almeno 30 cm l'ordine più alto;
- ancoraggio degli astoni ai paletti mediante fissaggio con il filo di ferro zincato e copertura degli astoni con un sottile strato di terreno vegetale (spessore $\geq 3 \text{ cm}$);
- copertura della base del fosso con uno strato di ciottoli di piccola dimensione o ghiaia in modo da favorire l'afflusso di acqua agli astoni;
- per una protezione al piede della scarpata viene realizzata una difesa in pietrame (pezzatura $> 0.2 \text{ mc}$) in uno o due ordini (vedi figure 2 e 3) sopra i ciottoli. Per garantire una maggiore stabilità della difesa è possibile procedere alla messa in opera di pali di larice o di castagno (scortecciati) infissi alla base del pietrame. Il pietrame può essere eventualmente sostituito con tronchi longitudinali scortecciati e trattenuti da pilotti in ferro infissi in alveo (vedi fig. 4).

B - copertura armata: l'armatura consiste nel legare il pietrame con una fune d'acciaio. Si procede come nel caso precedente e poi si provvede a:

- forare i massi per consentire l'inserimento di una barra di acciaio ad aderenza migliorata (o con tassello ad espansione) munita di un'asola e fissare con malta cementizia antrinitro;
- fissare la fune ai pali di legno, o in alternativa alle travi di acciaio infisse nell'alveo per 150 \square 200 cm e ad una distanza variabile da 2 a 5 m a seconda delle esigenze al fine di rendere piú stabile la difesa spondale pur mantenendo una certa elasticità (vedi figure 5 e 6).

6 Interventi collegati

Diverse opere di difesa spondale. La copertura diffusa con astoni può essere anche elemento integrativo di una scogliera in pietrame.

7 Periodo di intervento

Questo tipo di intervento è da effettuarsi solo durante il periodo del riposo vegetativo. Il periodo migliore è il tardo autunno.

8 Manutenzione e durata dell'opera

La manutenzione dei rivestimenti con astoni si limita alla potatura selettiva per mantenere l'elasticità ed è finalizzata anche all'ottenimento di nuovo materiale di propagazione (astoni) da utilizzare per la realizzazione di altre opere.

Modalità:

- fra novembre e marzo si effettua un taglio degli astoni al di sopra del livello del suolo;
- si può fare un taglio dell'intero soprassuolo ogni 2 \square 4 anni oppure a strisce annuali (larghe 3 \square 5 metri) per ottenere una stratificazione;
- ove la crescita dei salici non impedisca il deflusso si può trattare a ceduo con tagli ogni 7 \square 10 anni.

Fig. 1 - COPERTURA DIFFUSA CON ASTONI

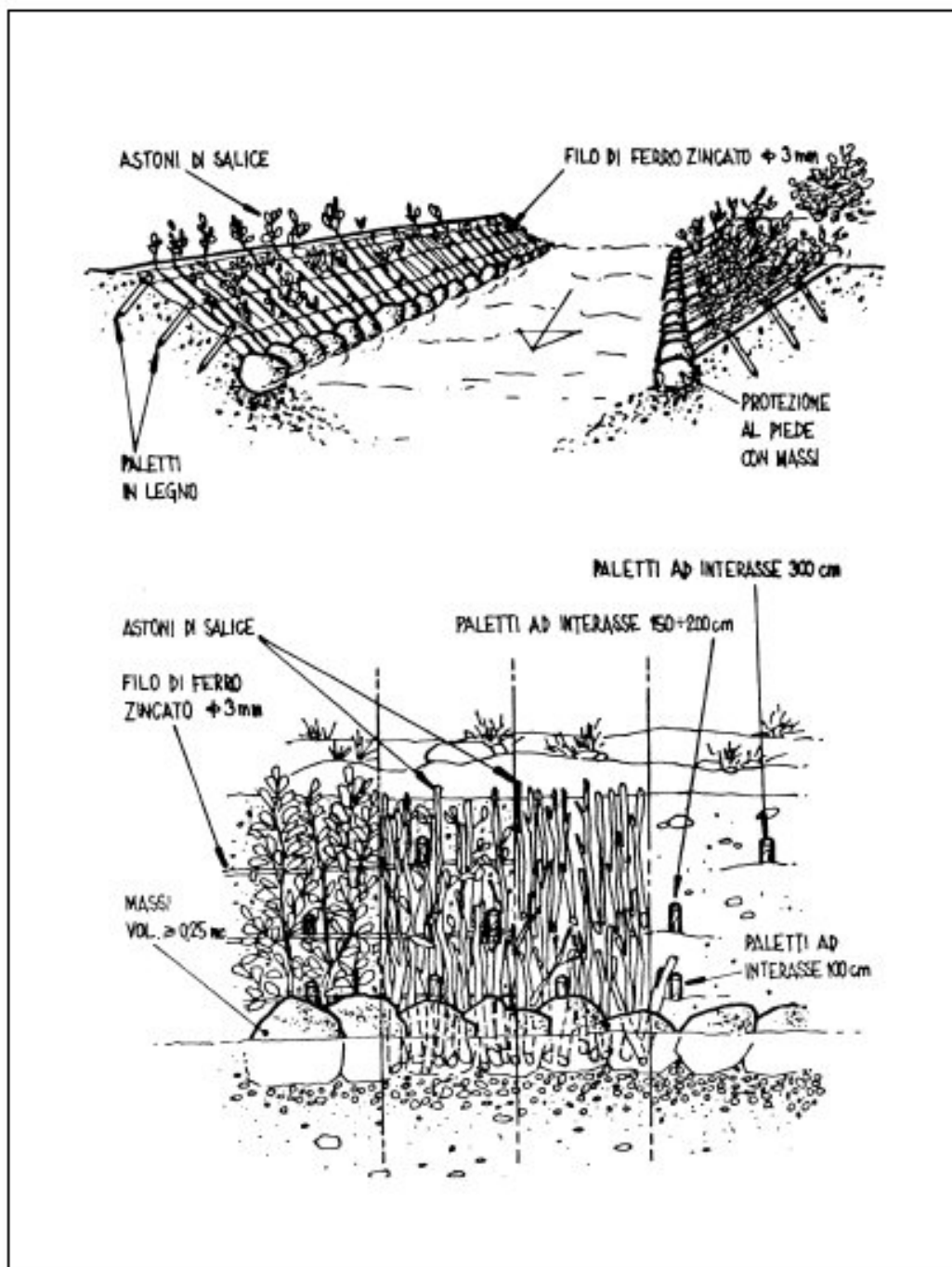
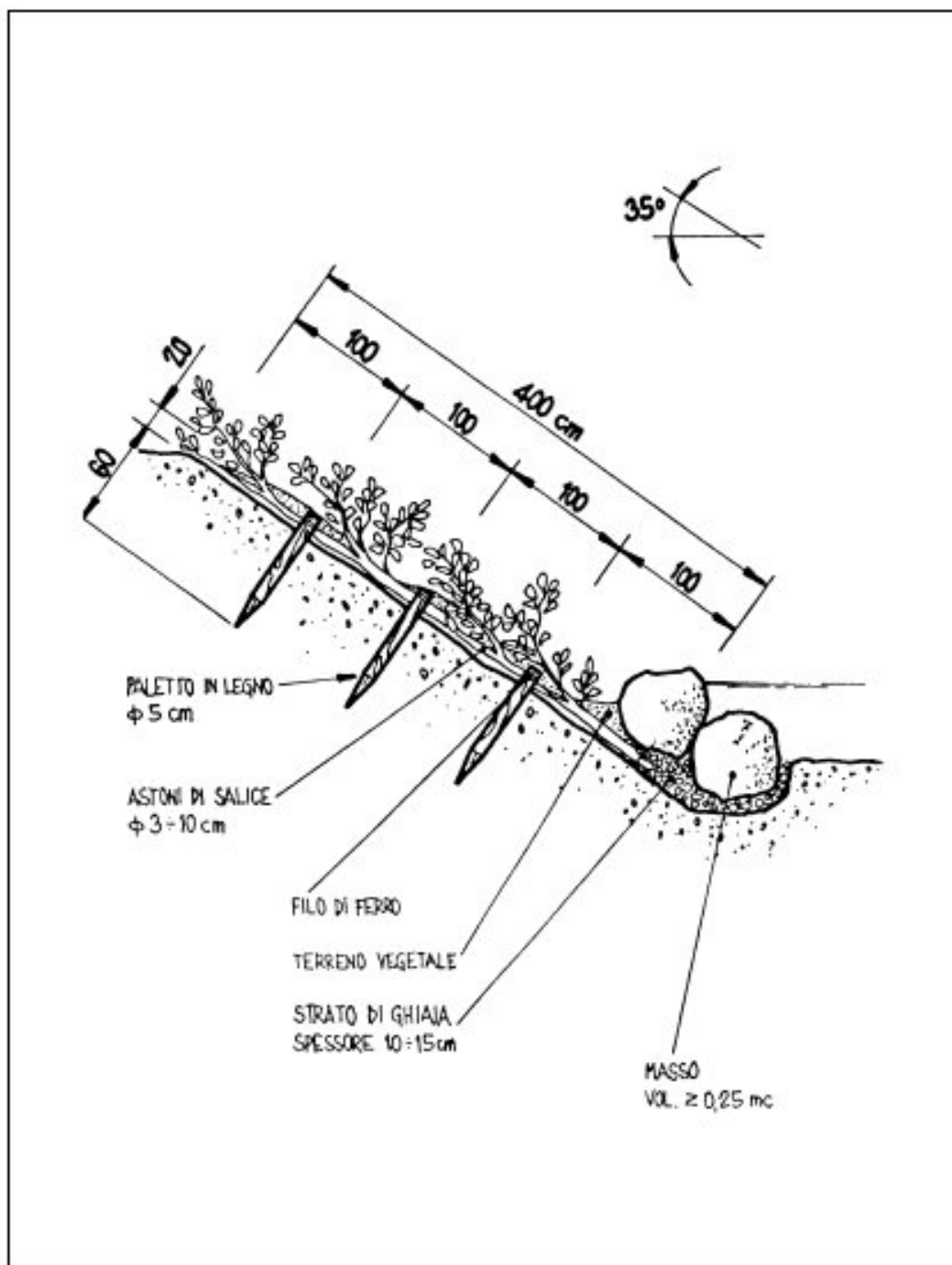


Fig. 2 - COPERTURA DIFFUSA CON ASTONI



Gradonata viva (tratto C2: sponda idrografica sinistra – a monte della passerella / tratto C3)

Bollettino Ufficiale della Regione Lombardia

1° Suppl. Straordinario al n. 19 - 9 maggio 2000

GRADONATA VIVA**HEDGE BRUSH LAYER – HECKENBUSCHLAGE – LIT DE PLANTS****1** Descrizione dell'opera e funzioni principali

È un'opera che prevede la realizzazione di banchine orizzontali o suborizzontali, costituite da uno scavo inclinato a reggioppio di circa $5^\circ \text{ } \overline{10^\circ}$, nel quale viene posto a dimora materiale vegetale vivo.

Ha una funzione di stabilizzazione di tipo meccanico del pendio ed inoltre interrompe il deflusso superficiale delle acque meteoriche. L'impiego di alcune specie vegetali (salici, frassini ecc.) favorisce la diminuzione del contenuto d'acqua nel terreno rendendolo più stabile.

Normalmente vengono realizzate tre diverse tipologie di gradonate:

- la gradonata con talee (sistemazione a cespuglio secondo Schiechtl);
- la gradonata con piantine (sistemazione a siepe secondo Schiechtl);
- la gradonata mista con talee e piantine (sistemazione a siepe – cespuglio secondo Schiechtl).

2 Campi di applicazione

Utile per la stabilizzazione superficiale di scarpate naturali e artificiali, di rilevati e accumuli di materiale sciolto, di zone in erosione e frane.

- gradonate con talee: sono la tipologia di gradonate più adatte a terreni ripidi, poveri e caratterizzati da movimenti superficiali, perché consentono un rapido consolidamento del terreno
- gradonate con piantine: generalmente utilizzate su terreni buoni, ricchi di sostanze nutritive, in località climatiche favorevoli. Sono inoltre utili su terreni dove non è necessaria una notevole stabilizzazione del pendio, quanto piuttosto la realizzazione di un soprassuolo arboreo definitivo, senza fasi intermedie con vegetazione pioniera
- gradonata mista con talee e piantine: è la tipologia di gradonate più sicura per la sistemazione di modeste frane superficiali

3 Fattibilità

- gradonate con talee: è una sistemazione stabilizzante con un ottimo effetto in profondità; non è adatta a trattenere il terreno vegetale (vedi figure 1A e 2)
- gradonate con piantine: forniscono un consolidamento mediocre del terreno, efficace, però, immediatamente dopo la messa a dimora; grazie alla radicazione lungo tutto il fusto interrato si ottiene una coesione del terreno più profonda ed intensiva. È fattibile solo su stazioni favorevoli; richiede una notevole quantità di materiale (vedi figure 1B e 2)
- gradonata mista con talee e piantine: ha costi più elevati rispetto agli altri tipi di gradonate, ma presenta il vantaggio di un rapido raggiungimento di un'associazione vegetale stabile, costituita sia da specie preparatrici (salici) che da specie definitive (ontani) (vedi fig. 3C)
- non possono essere utilizzate per scarpate in roccia o con roccia subaffiorante

4 Materiali impiegati

- talee o ramaglia di salice con $l > 100 \text{ cm}$ ($10 \overline{20} \text{ cm}$ > della profondità dello scavo) e $\phi = 1 \overline{1.7} \text{ cm}$
- piantine radicate di latifoglie resistenti (spesso ontano) di $h = 100 \text{ cm}$ ($10 \overline{20} \text{ cm}$ > della profondità dello scavo) e $\phi = 1 \overline{1.3} \text{ cm}$

5 Modalità di esecuzione

Lungo le curve di livello vengono scavate delle banchine di profondità compresa tra 50 e 100 cm, con una contropendenza di circa 10° . Alla base della trincea viene disposto un letto di talee a pettine (gradonate con talee), che vengono interrate per V_s della loro lunghezza; in alternativa si possono mettere a dimora piantine di 2 $\overline{3}$ anni (gradonata con piantine) oppure talee e piantine contemporaneamente (gradonata mista con talee e piantine).

I gradoni vengono scavati partendo dal basso in modo che lo scavo della banchina soprastante possa venire utilizzato come ripieno della precedente. Per inclinazioni del pendio di $25^\circ \overline{30^\circ}$ si consiglia una distanza tra gradoni successivi compresa tra 1 $\overline{1.5}$ m, mentre per inclinazioni inferiori a 20° si consiglia una distanza tra i gradoni pari a 2 $\overline{3}$ m. La distanza reciproca tra i gradoni è inoltre funzione del grado di umidità del terreno: quanto maggiore è il tasso di umidità, tanto minore sarà l'interasse.

I gradoni possono venire realizzati secondo le curve di livello o leggermente inclinati a valle in modo da favorire il drenaggio.

È possibile utilizzare rinforzi longitudinali (carta catramata, biostuoie o materiale sintetico) come previsto dalla variante delle gradonate con talee secondo Rainier: la parte esterna di una trincea artificiale gradonata viene rivestita con carta catramata o altro al fine di ridurre l'erosione superficiale e favorire l'atteccchimento delle specie vegetali grazie ad una maggiore ritenuta idrica (vedi fig. 3D).

6 Interventi collegati

Rimodellamenti delle scarpate, controllo dell'erosione con biostuoie, bioreti o geostuoie o altre strutture.

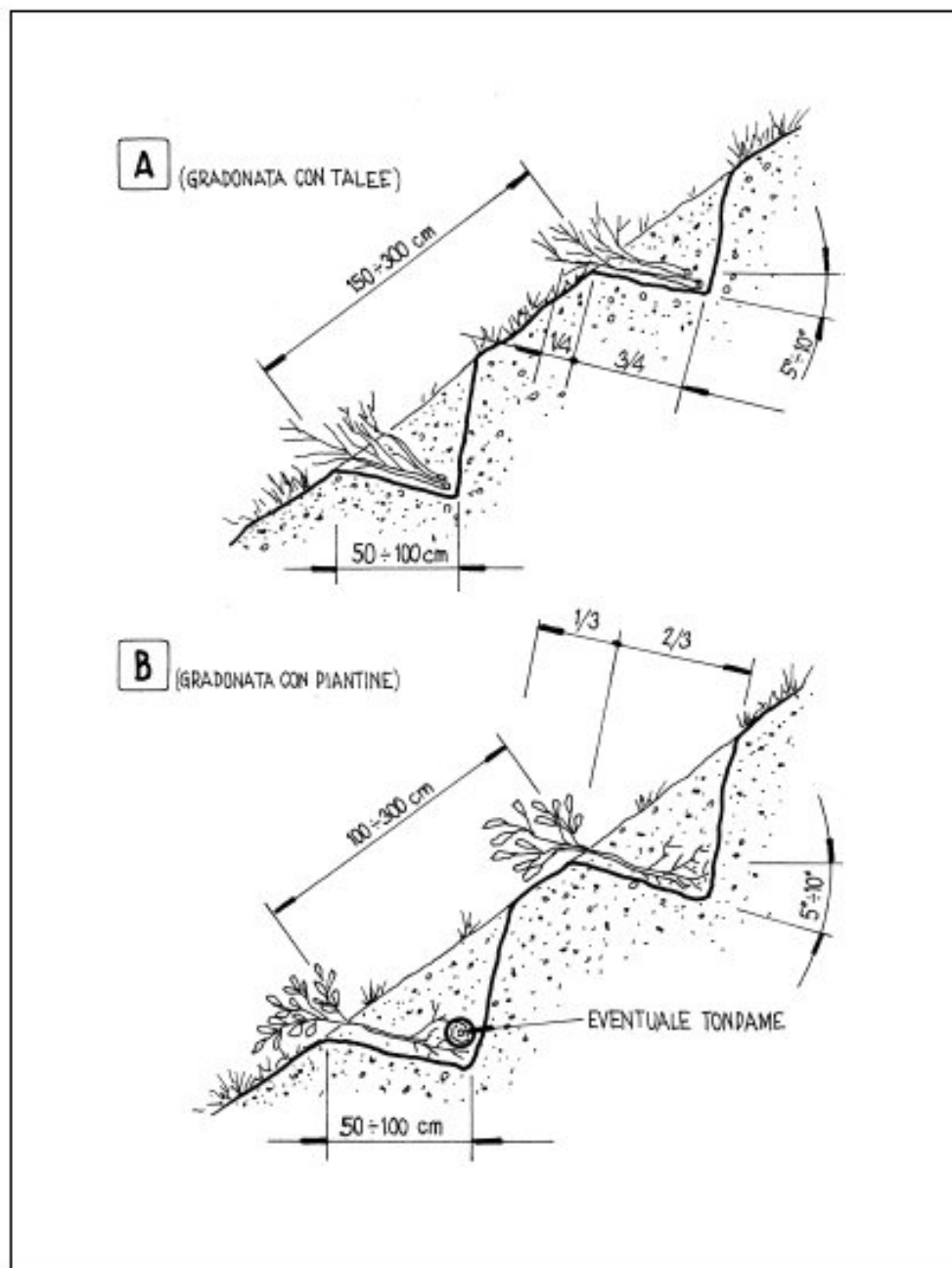
7 Periodo di intervento

Esclusivamente durante il periodo di riposo vegetativo (novembre – marzo).

8 Manutenzione e durata dell'opera

- * gradonate con talee: taglio dei cespugli eseguito a livello del terreno ogni 3-5 anni
- * gradonate con piantine: sono utili sfoltito e taglio
- * gradonate miste con talee e piantine: possono venire utilizzate per ricavare delle talee di salice per ulteriori interventi. Anche se i salici non vengono riutilizzati, è conveniente tagliarli fino a livello del terreno al fine di favorire la crescita delle essenze legnose più pregiate.

Fig. 1 - GRADONATA VIVA



Palificata viva (tratto C2: sponda idrografica sinistra – a monte della passerella)

PALIFICATA VIVA DI SOSTEGNO LOG CRIBWALL – KRAINERWAND – PAROI EN CAISSON

1 Descrizione dell'opera e funzioni principali

Manufatto in legname costituito da una struttura a celle, formate da pali di legno disposti perpendicolarmente, con posa di piante o talee (vedi fig. 1).

In pochi anni lo sviluppo dell'apparato radicale della vegetazione crea un'armatura nel terreno, con effetto stabilizzante.

Si realizzano palificate a parete semplice, a parete doppia e spondali.

2 Campi di applicazione

Stabilizzazione di parti di versante, piede di pendio e difesa spondale.

Si tratta di opere deformabili e permeabili, che si adattano bene ad interventi su pendii instabili.

3 Fattibilità

Semplice realizzazione e rapido consolidamento dell'area interessata. L'effetto stabilizzante della struttura in legno, una volta marcita, sarà sostituito dallo sviluppo dell'apparato radicale. L'altezza di una palificata a parete semplice è in genere modesta (1 [1]1,5 m); per altezze maggiori si usano palificate a parete doppia. Queste ultime, se costituiscono opere con funzione permanente, non devono superare i 2 [2]2,5 m di altezza, poiché la capacità consolidante delle piante si limita a 2 [3]3 m di profondità.

Nei calcoli di stabilità la palificata deve essere considerata come manufatto a gravità, costituito per il 15-20% del volume da legname.

4 Materiali impiegati

- fondame scortecciato, avente $\phi = 20$ [30] cm e lunghezza $> 1,5$ [2] m
- chiodi in ferro o tondini in ferro con $\phi = 10$ [14] mm
- talee e/o piantine di specie legnose, dotate di buona capacità vegetativa, con lunghezza di 25 cm maggiore rispetto alla profondità della palificata fino ad arrivare al terreno naturale
- stuoie e geotèti in materiale biodegradabile (paglia-legno, juta, fibra di cocco ecc.)

5 Modalità di esecuzione

Si realizza dapprima il piano di posa, a reggipoggio con inclinazione di circa 10° verso monte. Si posa quindi la prima fila di legname parallelamente al pendio (corrente), controllandone il posizionamento in bolle e realizzando gli appoggi e i fissaggi con tondini in ferro tra legni successivi. Si posa in seguito la seconda fila di fondame in senso ortogonale alla prima (traverso), fissandola alla sottostante tramite tondini in ferro. Nel caso della palificata a parete semplice si mette in opera una sola fila orizzontale esterna di «correnti» ed i «traversi» sono appuntiti ed infissi nel pendio; nel caso della palificata a parete doppia si posano due file di «correnti», all'interno ed all'esterno dello scavo, mentre i «traversi» sono privi di punta.

Va sottolineato che per operare un fissaggio corretto con i tondini in ferro bisogna perforare completamente i due tronchi da fissare; la foratura parziale può infatti provocare rotture o fessurazioni del legno stesso.

Gli strati successivi di legname vengono messi in posto ripetendo lo schema su descritto, posizionando però i diversi ordini di correnti in posizione più arretrata rispetto al sottostante, in modo da conferire al fronte una inclinazione di 20° [30°] per garantire la migliore crescita delle piante.

I diversi ordini di legname traverso devono essere collocati in posizione sfalsata tra di loro. Il posizionamento sfalsato dei traversi è a favore della stabilità. Una volta messi in opera 2 o 4 ordini di legname si procede al riempimento della struttura con inerti, provenienti dallo scavo, e terreno vegetale, opportunamente compattato. Le talee vengono messe in posto negli interstizi tra i fondami orizzontali, generalmente in posizione coricata; esse devono sporgere di ca. 25 cm dal fronte della palificata e raggiungere il terreno naturale nella parte posteriore della struttura (vedi fig. 2). Nel caso in cui quest'opera venga utilizzata come difesa spondale, è opportuno porre una fila di massi al piede della palificata, al contatto con l'acqua ed ulteriormente fissati con piloti in legno o in profilato metallico di lunghezza di 2 m, infissi nel fondo per almeno 2/3 della lunghezza. Gli interstizi tra i fondami vengono riempiti con sassi e terreno vegetale (vedi figure 3 e 4).

Drenaggio: poiché il piano di posa viene fatto a reggipoggio, in alcuni casi è opportuno evitare che le acque si accumulino lungo di esso, appesantendo il terreno sottostante. In tal caso si consigliano elementi drenanti longitudinali, posti alla quota più bassa sul retro del piano di posa, collegati con elementi ortogonali con pendenza verso valle. Generalmente non si usano filtri in geotessili; qualora fosse strettamente necessario bisogna perforarli, infiggendo le talee nel terreno retrostante al fine di consentire lo sviluppo dell'apparato radicale.

Posa di stuoie o geotèti sul paramento esterno (eventuale): prevengono l'asportazione parziale del terreno di riempimento da parte delle acque di ruscellamento superficiale nel primo periodo; possono essere messe in opera contemporaneamente alle operazioni di riempimento realizzando sul fronte a vista delle sacche terrose, ricoperte dalle stuoie o geotèti, oppure successivamente, coprendo tutto il paramento esterno ad eccezione della parte terminale dei traversi.

6 Interventi collegati

Altre opere di stabilizzazione dei versanti. Può servire d'appoggio per grate vive.

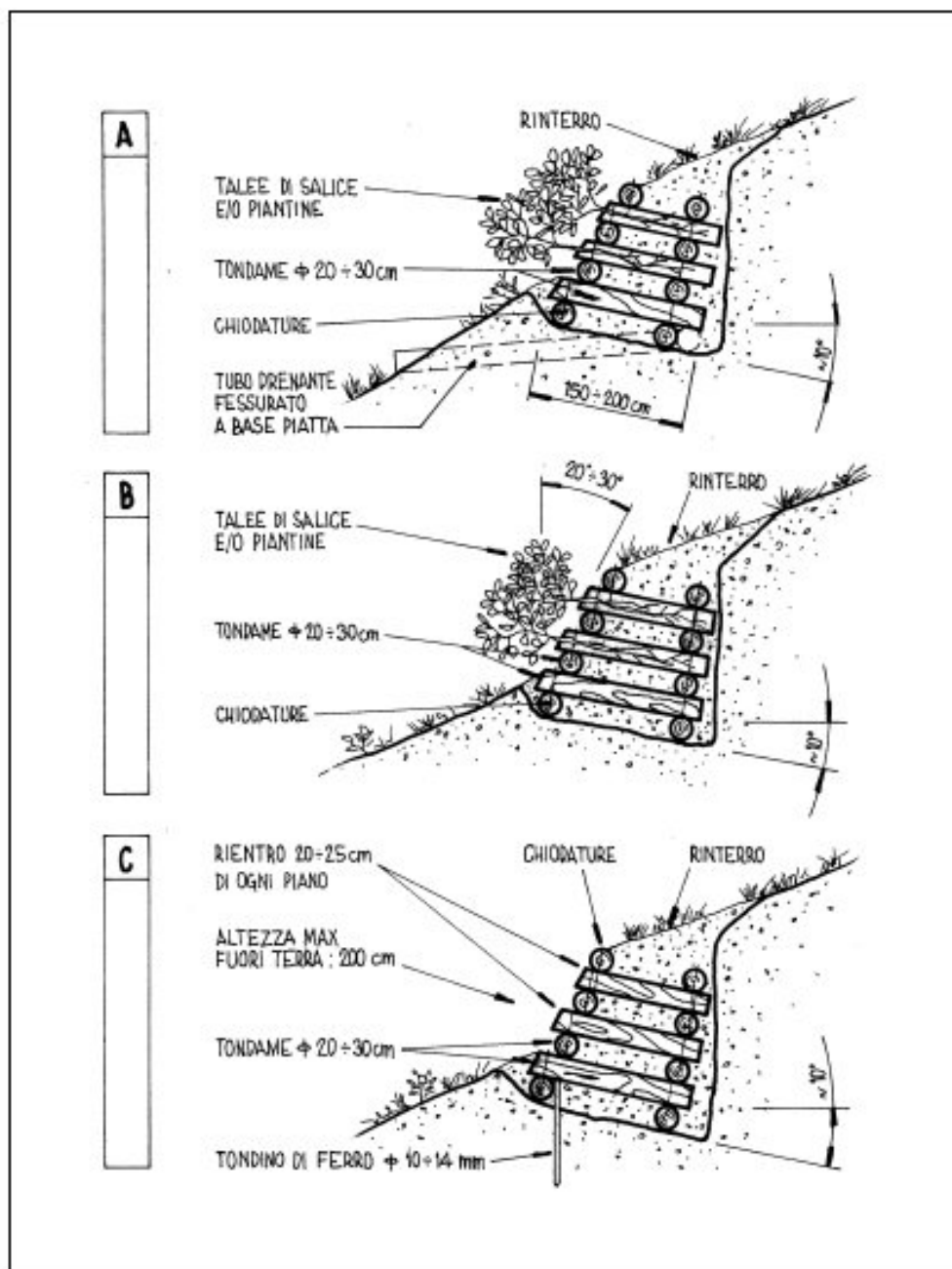
7 Periodo di intervento

Durante il periodo di riposo vegetativo delle piante, in condizioni climatiche favorevoli le piante radicate possono essere trapiantate anche durante l'estate, purché non vengano danneggiate durante la costruzione.

8 Manutenzione e durata dell'opera

Nel corso del primo anno si consiglia una sorveglianza costante per evitare lo scalzamento dell'opera. Se si verifica una forte crescita è utile eseguire il taglio delle piante a livello del terreno, in modo da favorire la formazione delle radici. La durata dell'opera dipende dal tipo di legname utilizzato per realizzare la struttura: se si usa legname di larice la durata è di 20-30 anni, mentre è maggiore per legname di castagno.

Fig. 1 - PALIFICATA VIVA DI SOSTEGNO



Con i dati disponibili in questa prima fase di progettazione, che permettono determinazioni esclusivamente dell'ordine di grandezza della fenomenologia associata al regime idraulico e alle resistenze degli elementi costituenti gli interventi proposti, è possibile affermare che il fiume Olona è caratterizzato da una corrente che, in regime di moto uniforme, nelle sezioni del tratto investigato e con una portata di riferimento pari a 59 mc/s, presenta un intervallo di velocità pari a

$$v = 3,30 \div 3,50 \text{ m/s}$$

per un'altezza che mediamente è di circa 1,90 m.

In tali condizioni di regime, la tensione tangenziale che s'istaura sulla sponda è pari a

$$\tau_m \cong 75 \text{ N/m}^2$$

che risulta sempre inferiore a quella caratteristica degli elementi vegetali costituenti gli interventi proposti.

10. Conclusioni

Come già riportato precedentemente, nel caso d'impiego di tecniche di I.N. alla valutazione dell'effetto tecnico se ne aggiungono necessariamente altri, quali quello ecologico, economico, paesaggistico, nonché tenere in debita considerazione quelle che sono le problematiche connesse alla manutenzione ordinaria e/o straordinaria dell'opera. Infatti, proprio come nel caso dell'Olona, spesso svolgere una corretta manutenzione sulle sponde protette è un'operazione tutt'altro che agevole e che pone una serie di problematiche (e non solo di tipo operativo) che sono difficili da gestire; se solo si considera il problema dell'accessibilità alle sponde (e i suoi risvolti normativi, R.D. 523/1904), considerando la feroce antropizzazione che caratterizza le sponde di Olona nei territori a ridosso dell'area urbana milanese, ci si rende conto quanto sia complicato per chi gestisce il corso d'acqua porre in essere interventi anche solo di routine.

Ragion per cui i metodi dell'I.N. devono necessariamente integrare le tipologie classiche. Infatti, il rischio di una progettazione non accurata delle formazioni legnose (e soprattutto della loro non corretta manutenzione) può essere rilevante e con effetti negativi sul libero deflusso delle acque, soprattutto nei corsi d'acqua come l'Olona che presentano sezioni trasversali di ridotta capacità, viepiù se l'asta è del tipo meandriforme.

Del resto è pur vero che l'importanza che in passato ha avuto la tutela di attività legate all'economia di un paese in via di sviluppo ha fatto sì che anche un corso d'acqua naturale fosse visto essenzialmente come un collettore di acque superficiali, con funzione di drenaggio del territorio e/o come fonte di energia per forze motrici (e l'Olona stesso ne è un esempio rilevante).

Dunque, ben venga la proposta progettuale portata avanti dal comune di Nerviano e dalla Provincia di Milano, visto che, a causa del forte impatto ambientale determinato da quel tipo di approccio e dal generale deterioramento del territorio, da un po' di tempo a questa parte si è cominciato ad attribuire (anzi, a riattribuire) al corso d'acqua naturale una valenza paesaggistica e ambientale.

Nella valutazione degli interventi, da un punto di vista idraulico, gioca un ruolo determinante la capacità di un corpo idrico di “smaltire” la piena di riferimento; le costruzioni idrauliche realizzate con tecniche naturalistiche hanno però bisogno di spazi adeguati. Questa è una ragione in più per valutare positivamente questi interventi, in quanto vanno nella direzione del “riguadagnar” spazio, sia a favore del corso d’acqua quanto a favore della sostenibile fruizione del territorio rivierasco.

Dal preliminare esame idraulico contenuto in questa relazione, si evince la compatibilità degli interventi proposti con il regime ordinario del fiume Olona, così come definito dal Piano di Assetto Idrogeologico. Ciò però non è sufficiente, in quanto c’è bisogno di meglio definire puntualmente tutti gli aspetti, visto che potrebbero evidenziarsi problematiche localizzate di complessa soluzione.

Infine, allo scrivente preme sottolineare l’importanza fondamentale della manutenzione di tali opere, anche in virtù dei richiami normativi vigenti. Infatti, il Quaderno Opere Tipo di I.N. approvato da Regione Lombardia con Delibera G.R. 6/48740 del 29/02/00 prevede all’Allegato II una Lista di Controllo relativamente alla documentazione richiesta per il progetto esecutivo dell’intervento, all’Allegato III una Scheda di Sintesi del progetto esecutivo e, infine, all’Allegato IV una Scheda per il Monitoraggio.

La definizione di queste schede è di capitale importanza e dovrà necessariamente essere presa in considerazione per la redazione del progetto esecutivo e per i successivi adempimenti manutentivi.

Il Responsabile della consulenza
(Dott. Ing. Gaetano La Montagna – A.I.P.O. Milano)

INDICE

<i>Premessa: origine dell'impiego di interventi di ingegneria naturalistica in ambito idraulico-forestale e breve excursus normativo</i>	Pag. 1
<i>2 Normativa tecnica di riferimento</i>	Pag. 2
<i>3 Piano di Assetto Idrogeologico (P.A.I.)</i>	Pag. 3
<i>4 Fenomeni di erosione</i>	Pag. 4
<i>5 Il ruolo della vegetazione</i>	Pag. 6
<i>6 La vegetazione e la stabilità delle sponde</i>	Pag. 7
<i>7 Limiti biotecnici d'impiego</i>	Pag. 9
<i>8 Verifiche di compatibilità delle principali tipologie di intervento</i>	Pag. 11
<i>9 Tecniche di Ingegneria Naturalistica impiegate</i>	Pag. 16
<i>10 Conclusioni</i>	Pag. 31