

**Lignatec**

## **Prevenire i pericoli naturali con il legno**

**Erosioni | Scivolamenti | Riali | Valanghe**



## Contenuto

Questa pubblicazione  
è stata sostenuta  
dai seguenti partner:

### Sostegno finanziario principale

Ufficio Federale dell'Ambiente (UFAM),  
Piano d'Azione Legno

### Sostegno finanziario

Fondazione di prevenzione degli istituti  
cantionali di assicurazione sui fabbricati  
FPICA

### Altri sostenitori

ecorisQ  
Specialisti in pericoli naturali FAN  
Imprenditori forestali svizzeri FUS  
Società svizzera degli ingegneri  
e degli architetti SIA  
Associazione specializzata della foresta

### Promotore

Società svizzera degli ingegneri  
e degli architetti SIA

### Partner di progetto

Scuola universitaria professionale  
bernese BFH  
Scuola universitaria di scienze agrarie,  
forestali e alimentari HAFL  
Centro per il genio forestale Fobatec  
Università delle risorse naturali e delle  
scienze della vita di Vienna BOKU  
WSL-Istituto per lo studio della neve  
e delle valanghe SLF

### Partner commerciali

Caprez Ingenieure AG, Silvaplana  
Castagnostyle GmbH, Taverne  
fim – Kompetenz für Forst,  
Landwirtschaft und Garten, Uetendorf  
Forst Aletsch, Fieschertal  
Lindner Suisse GmbH, Wattwil

Pagina		
4		<b>Prefazione</b>
5	1	<b>Introduzione</b>
	1.1	Dalla prevenzione dei pericoli alla gestione integrale dei rischi
	1.2	Misure nell'ambito della GIR
	1.3	Dai tronchi trasversali all'ingegneria naturalistica
9	2	<b>Durabilità del legno quale materiale da costruzione</b>
	2.1	In generale
	2.2	Biodegradazione del legno
	2.3	Classi di utilizzo (CU)
	2.4	Influssi esterni e interni sulla durabilità del legno
	2.5	Specie legnose resistenti e la loro presenza nel bosco svizzero
	2.6	Criteri per l'utilizzo del legno per le opere di protezione
	2.7	Gradinata di briglie lungo un torrente
14	3	<b>Approcci normativi e indicazioni sul dimensionamento delle opere con tonname grezzo</b>
	3.1	In generale
	3.2	Basi normative
	3.3	Norme per la determinazione degli effetti
	3.4	Norme per la verifica degli stati limite di tipo 1 e 3
	3.5	Norme per la verifica dello stato limite di tipo 2
17	4	<b>Il legno quale protezione contro l'erosione</b>
	4.1	Processo ed effetti
	4.2	Panoramica e funzioni delle opere contro l'erosione
	4.3	Costruzione e utilizzo delle opere di protezione in legno contro l'erosione
22	5	<b>Il legno quale protezione contro gli scivolamenti</b>
	5.1	Processi ed effetti
	5.2	Panoramica e funzione delle opere contro gli scivolamenti
	5.3	Costruzione e impiego di opere di stabilizzazione in legno
	5.4	Limiti nell'impiego delle opere in legno
	5.5	Effetti complementari delle misure d'ingegneria naturalistica
33	6	<b>Il legno nelle opere torrentizie</b>
	6.1	Processi ed effetti
	6.2	Panoramica e funzioni delle opere di sbarramento
	6.3	Costruzione e impiego delle opere di sbarramento in legno
	6.4	Costruzione di opere longitudinali in legno
	6.5	Limiti nell'impiego di costruzioni in legno nelle opere torrentizie
43	7	<b>Il legno quale protezione contro le valanghe e i movimenti della neve</b>
	7.1	Processi ed effetti
	7.2	Panoramica e funzioni delle opere di protezione contro le valanghe
	7.3	Costruzione e impiego delle opere di protezione in legno contro le valanghe
	7.4	Rastrelliere contro la neve ventata
	7.5	Limiti nell'impiego di opere in legno

---

**Autori**

Luuk Dorren, Prof. Dr., BFH-HAFL  
(Cap. 1)

Willy Eyer, Dipl.-Ing. ETH (Cap. 9)

Stefan Margreth, Dipl.-Ing. ETH, SLF  
(Cap. 3/7)

Gunther Ratsch, MSc Ing. BFH, Lignum  
(Cap. 3)

Christian Rickli, Dipl.-Ing. ETH, WSL  
(Cap. 2)

Massimiliano Schwarz, Dr., BFH-HAFL  
(Cap. 4/5)

Jürgen Suda, Dipl. Ing. Dr. rer. nat.,  
BOKU (Cap. 3/6)

Magdalena Von Der Thannen,  
Dipl.-Ing. Dr. techn., BOKU (Cap. 8)

---

**Lettorato**

Willy Eyer, Dipl.-Ing. ETH

Franz Thalmann, Förster HF

---

**Coordinamento**

Gunther Ratsch, MSc Ing. BFH,  
Lignum, Zürich (Caporedattore)

Hervé Bader, Dipl.-Ing. ETH, Fobatec

Walter Krättli, Bsc Forstwirtschaft BFH,  
Fobatec

---

**Traduzione federlegno.ch**

Davide Schaer, Dipl.-Ing. ETH

Schaer ingegneria e consulenze Sagl

Danilo Piccioli, Betr. Oec.

---

**Immagine di copertina**

Rastrelliera quale opera di premunizione  
contro le valanghe provvisoria,

Forst Aletsch (C. Pfammatter, Visp)

---

**52 8 Opere di protezione e sostenibilità**

8.1 Introduzione

8.2 Norme e dati generali

8.3 L'ecobilancio delle briglie torrentizie

8.4 Risultati

8.5 Conclusioni

---

**60 9 Riassunto**

9.1 Vantaggi nell'impiego del legno per le opere di protezione

9.2 Svantaggi nell'impiego del legno per le opere di protezione

9.3 Valutazione generale sull'impiego del legno

---

**64 10 Partner**

---

**65 11 Bibliografia**

## Prefazione

---

In Svizzera i pericoli naturali rappresentano una minaccia per le persone, i beni materiali e l'ambiente. Nell'ambito di questa pubblicazione, sono particolarmente significativi i pericoli gravitazionali (ad es. inondazioni, frane, valanghe) e indirettamente gli eventi meteorologici (ad es. tempeste e grandine). La minaccia diretta derivante da pericoli naturali meteorologici e gravitazionali aumenterà a causa dei cambiamenti climatici, della costante crescita della superficie d'insediamento e della maggiore densità edificatoria. Si prevedono sempre più spesso eventi con forti precipitazioni e periodi piovosi più intensi, che provocheranno inondazioni locali, frane e fenomeni erosivi, così come valanghe con colate causate dai cambiamenti di temperatura.

La Svizzera vanta una lunga tradizione nella costruzione di opere di protezione; non sorprende quindi che la gestione del pericolo di valanghe e le vaste conoscenze nell'impiego del legno figurino nel Patrimonio mondiale culturale dell'UNESCO. L'inserimento nella lista, avvenuto nel 2018, evidenzia l'interazione tra conoscenze tradizionali, tecnologia e cultura popolare.

La costruzione di opere di protezione in legno è stata perfezionata nel corso dei secoli e realizzata con le specie arboree presenti in loco. Oltre al legno d'abete rosso e abete bianco, nel bosco svizzero si trova anche il legno proveniente da specie come il larice e il castagno, particolarmente adatte per costruire opere di protezione grazie alla loro durabilità naturale. Il Legno Svizzero include una serie di pro-

dotti innovativi come la stuoia di lana di legno che può essere usata per la protezione contro l'erosione.

Negli ultimi decenni, oltre al legno, per le opere di protezione sono stati utilizzati anche materiali da costruzione quali l'acciaio, il calcestruzzo e i materiali sintetici. Per merito delle loro proprietà specifiche l'utilizzo di questi materiali per le opere di protezione è giustificato. A dipendenza dell'applicazione, dell'evento previsto e della durata d'impiego, è consigliabile scegliere un materiale da costruzione che soddisfi in modo ottimale tutti i requisiti tecnici. Le opere di protezione realizzate con tondame sono sempre convincenti in termini di sostenibilità, soprattutto quando si utilizzano risorse locali in combinazione con misure d'ingegneria naturalistica.

Questa pubblicazione Lignatec intende descrivere sinteticamente l'impiego del legno nelle opere di protezione contro l'erosione, gli scivolamenti, nella correzione torrentizia e nella protezione contro le valanghe e far conoscere le costruzioni collaudate e la loro applicazione. Questa pubblicazione è rivolta agli esperti del genio forestale e ai progettisti nell'ambito della prevenzione dei pericoli naturali così come alle persone interessate a costruire con il legno. Lignum desidera ringraziare tutti gli autori ed i partner che hanno contribuito alla riuscita di questo numero della Lignatec.

*Gunther Ratsch, Lignum Technik*  
Caporedattore

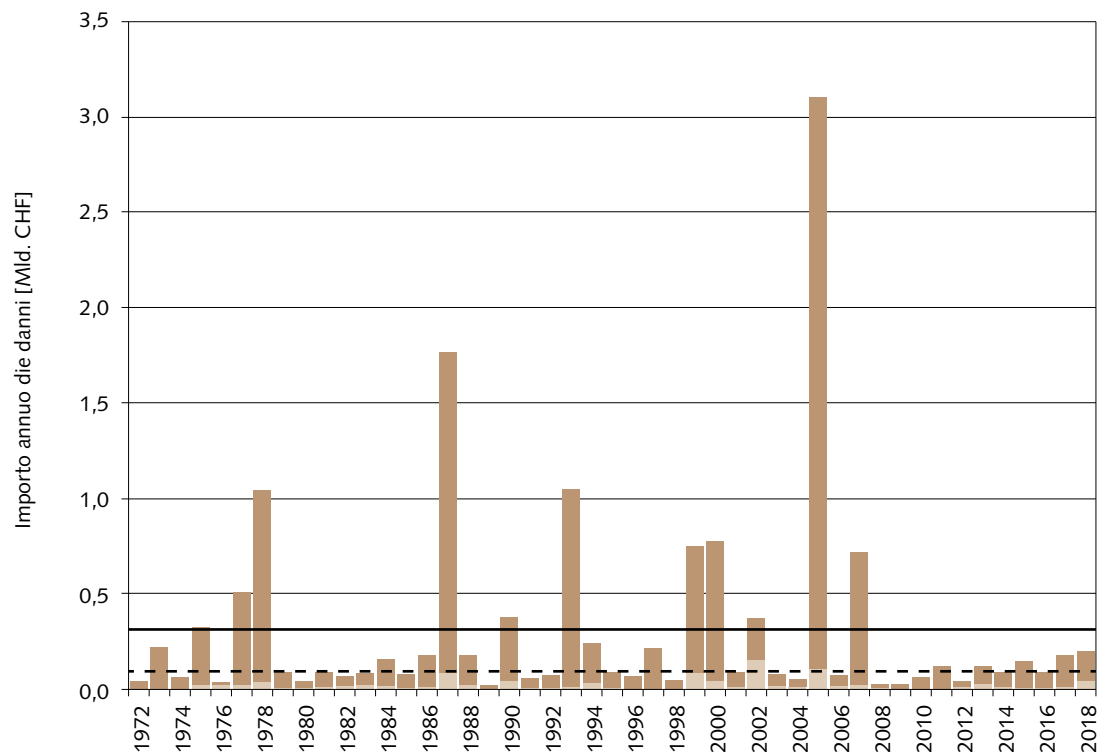
# 1 Einleitung

In Svizzera, i pericoli naturali gravitazionali (ad es. scivolamenti, colate detritiche, alluvioni, caduta di massi e valanghe) causano in media costi annui di ca. 100–300 mio. CHF (cfr. Immagine 1). [1] A ciò vanno aggiunti i danni provocati dai pericoli naturali meteorologici/climatici (ad es. grandine e tempeste) e tettonici (ad es. terremoti).

Con l'utilizzo sempre più intensivo delle aree insediative e l'aumento dei beni materiali, tra il 1972 e il 2007 i danni dovuti ai pericoli naturali gravitazionali hanno subito un notevole incremento. Da circa una ventina d'anni si cerca di contrastare gli effetti dei pericoli naturali con l'ausilio di una gestione integrale dei rischi. [2]

Immagine 1  
Evoluzione dell'importo annuo dal 1972 al 2018 dei danni causati da alluvioni, colate detritiche, scivolamenti e processi di crollo (al netto dell'inflazione; base 2018). La media aritmetica (linea nera, 306 mio. CHF) e la mediana (linea tratteggiata, 96 mio. CHF), calcolate sul periodo indicato, sono contrassegnate da linee orizzontali.

■ Alluvioni/  
colate detritiche  
■ Scivolamenti  
e processi di crollo

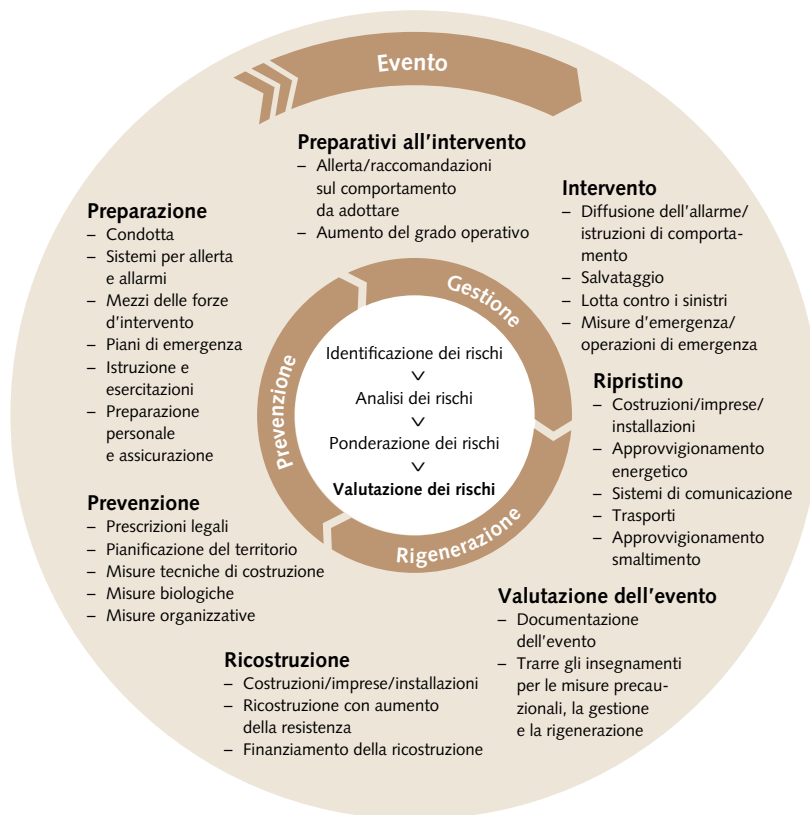


## 1.1 Dalla prevenzione dei pericoli alla gestione integrale dei rischi

Sebbene le basi per il catasto e la cartografia dei pericoli naturali esistano da molto tempo [3], fino agli anni '80 del secolo scorso molti pensavano che i pericoli naturali gravitazionali fossero controllabili mediante la costruzione di premunizioni. Di regola le opere di protezione sono in grado di ridurre il rischio dei pericoli naturali, malgrado ciò è stato dimostrato che le medesime non offrono una protezione assoluta. In casi eccezionali possono avere conseguenze negative soprattutto quando le opere di protezione non sono dimensionabili per eventi estremi o processi di pericolo naturale interagenti. Questo può portare a una concatenazione di eventi, ad es. quando forti piogge e frane superficiali trasportano negli alvei una grande quantità di materiale solido e legname che può causare ostruzioni e inondazioni impreviste.

In passato, un evento era seguito da un'immediata prevenzione dei danni, dal ripristino e da nuove costruzioni; oggi, invece, tramite una gestione integrale dei rischi (GIR) è necessario un approccio d'insieme (cfr. Immagine 2). La GIR considera tutti i processi di pericolo naturale, affronta i rischi in modo comparabile e integra la pianificazione di tutte le misure. Il punto focale della GIR è il ciclo della gestione dei rischi, che comprende la prevenzione, l'evento vero e proprio, la gestione e il ripristino. Sulla base di un'analisi e valutazione dei pericoli e dei rischi, le misure di prevenzione hanno lo scopo di evitare decessi e danni materiali dovuti a eventi naturali. La prevenzione permette l'anticipo di eventi particolari, laddove le misure attuate non garantiscono un livello di sicurezza sufficientemente elevato.

Immagine 2  
Modello semplificato  
della gestione integrale  
dei rischi (GIR).



## 1.2 Misure nell'ambito della GIR

Le misure nell'ambito della GIR possono essere classificate nei seguenti settori:

- pianificazione del territorio
- misure biologiche
- misure tecnico-strutturali
- misure organizzative

In linea di principio, la prima cosa da fare mediante la pianificazione territoriale è cercare di limitare le aree minacciate del paesaggio o di non aumentarne il rischio esistente. Nel nostro Paese questo non è sempre possibile; le misure che si applicano su larga scala sono quelle biologiche. Gran parte di queste misure riguardano il bosco di protezione; ne fanno parte integrante le misure di ingegneria naturalistica, come ad es. le opere di premunizioni in legno combinate con i rimboschimenti.

Secondo l'inventario forestale nazionale IFN [4], circa un terzo della superficie svizzera, pari a 1,32 mio. di ettari, è coperto da boschi, di cui il 49 % costituito da boschi di protezione. Il bosco è

quindi un'infrastruttura verde diffusa su larga scala, con un'importante funzione di protezione contro i processi dei pericoli naturali. [5] Il bosco può prevenire valanghe e scivolamenti così come proteggere dagli effetti della caduta di massi, contribuisce a ridurre l'erosione delle sponde e delle superfici in prossimità dei torrenti, diminuendo il rischio di colate detritiche. In funzione della distribuzione spaziale e temporale della durata e dell'intensità delle precipitazioni nonché delle dimensioni del bacino imbrifero, il bosco può diminuire sia la probabilità d'insorgenza degli eventi alluvionali sia la loro intensità. In molte aree i boschi contribuiscono a ridurre il rischio di pericoli naturali a un livello sostenibile. Grazie alla combinazione con il bosco di protezione, le misure tecniche per soddisfare i requisiti di protezione più elevati sono di regola economiche (costi ridotti d'installazione e di manutenzione). In situazioni puntuali le misure tecniche hanno senso se accompagnate da un'ulteriore protezione rappresentata dal bosco. [6]

Immagine 3

Tronchi trasversali e ceppaie alte in un bosco di protezione dalla caduta di massi nel Canton Giura.



Nell'ambito della gestione del bosco di protezione, si lavora spesso con tronchi abbattuti e sistemati trasversalmente mantenendo le ceppaie alte (cfr. Immagine 3), questo per evitare che nel corso degli anni l'effetto protettivo del bosco si riduca a causa degli interventi selvicolturali. Durante queste opere, gli alberi vengono solitamente abbattuti per diversi motivi (ad es. per promuovere la rigenerazione o migliorare la struttura del soprassuolo); di conseguenza il numero di fusti (indice della densità di un soprassuolo boschivo) diminuisce. Diversi studi scientifici hanno dimostrato che i tronchi trasversali hanno un effetto protettivo da moderato a marcato contro la caduta di massi e le valanghe (vedi [7] e [8] [9] e capitolo 7).

La reale efficacia del bosco di protezione, compresi i tronchi trasversali e le ceppaie alte, è determinata anche dalla lunghezza del pendio boscato e dalla quantità di legname in piedi (area basimetrica o numero di tronchi e diametro medio dei tronchi) o al suolo (vedi ad es. [10]).

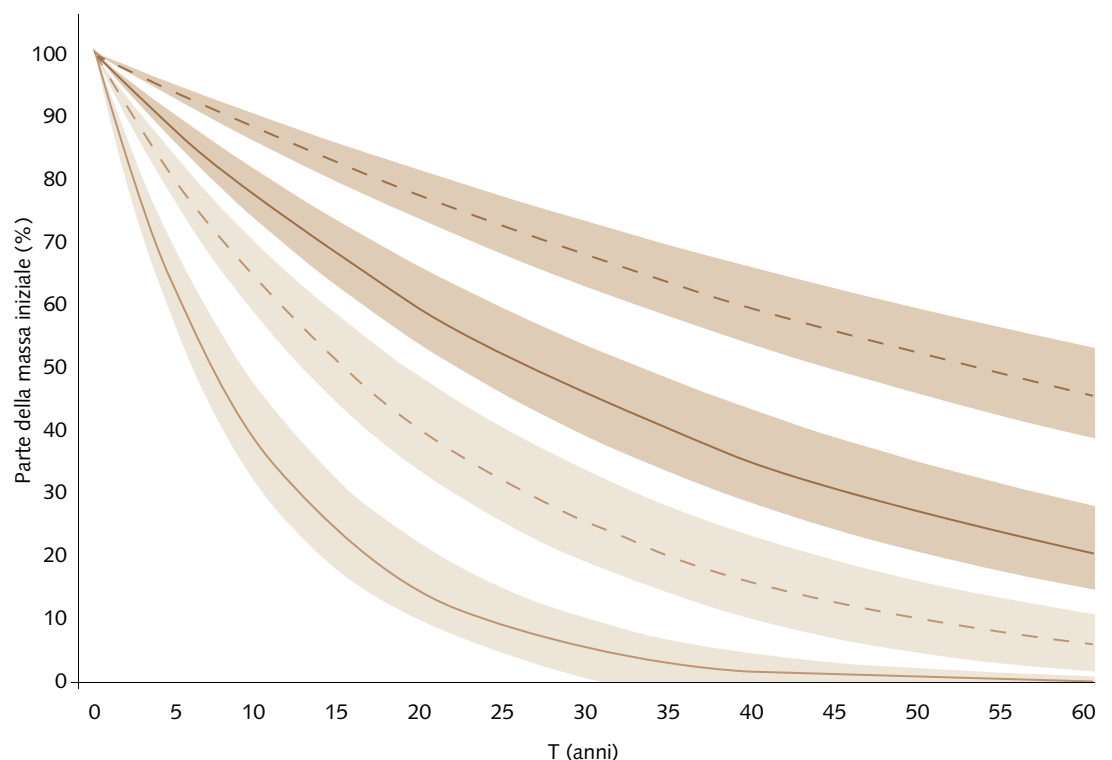
Una sfida nella gestione del bosco di protezione è la durata d'impiego dei tronchi trasversali, determinata dalla durabilità del legno. I dettagli in merito sono ampiamente illustrati al capitolo 2. Diverse ricerche ([11] e [12]) indicano che la decomposizione naturale del legno in funzione della specie, della temperatura media annua (TMA) e dell'umidità dell'area, porta a una diminuzione esponenziale della densità e della resistenza e di riflesso ad una riduzione dell'effetto protettivo. Come mostra l'immagine 4, cinque anni dopo essere stato tagliato, un tronco di faggio potrebbe perdere quasi il 40% della sua massa iniziale; per un tronco d'abete rosso la perdita sarebbe di ca. il 15%.

È evidente che il bosco non può ridurre ovunque il rischio di pericoli naturali a un livello accettabile; questo avviene principalmente laddove il perimetro di pericolo non è sufficientemente boscato (ad es. nei corridoi attivi delle valanghe e negli intagli vallivi per colate detritiche), oppure perché ha un effetto troppo limitato o nullo a livello locale (ad es. nel caso di inondazioni di aree lungo grandi fiumi).

Immagine 4

Decomposizione di tronchi di faggio e abete rosso nel corso del tempo in ambienti freddi e temperati, compreso l'intervallo di dispersione, TMA = temperatura media annua (grafico basato sui dati di [11] e [12]).

- Faggio (TMA <0°C)
- Faggio (TMA = 12°C)
- Abete (TMA <0°C)
- Abete (TMA = 12°C)



In questi casi si ricorre ad un terzo tipo di misure, quelle tecnico-strutturali. Esempi conosciuti sono le briglie lungo i corsi d'acqua, le camere di raccolta e le reti paramassi. Sebbene si utilizzi spesso calcestruzzo, acciaio, blocchi e materiale terroso, anche le strutture di protezione in legno svolgono un ruolo importante. Esempi ben conosciuti sono le opere di premunizione in legno contro le valanghe e altri tipi di intervento illustrati nei capitoli successivi. Il legno viene utilizzato ad es. anche per la formazione di palizzate contro la caduta di massi. Nell'attuale gestione dei pericoli naturali basata sul rischio, prima di attuare una misura di protezione occorre valutare il rapporto costi-efficacia espresso quale rapporto tra il beneficio di una misura (la riduzione annua del rischio) e i costi annuali della medesima (i costi totali di costruzione e manutenzione divisi per la durata d'impiego dell'opera). In presenza di misure tecnico-strutturali classiche (opere di protezione realizzate con calcestruzzo,

acciaio, blocchi e materiale terroso), il rapporto costi-efficacia spesso non è soddisfatto a fronte degli alti costi di costruzione. Gli interventi realizzati con il legno sono di regola associati a costi di costruzione inferiori con una durata d'impiego più limitata. Il rapporto costi-benefici va di conseguenza esaminato singolarmente.

Se il rapporto costi-efficacia delle misure tecnico-strutturali è insufficiente, i rischi possono essere ridotti tramite misure organizzative, come ad es. il monitoraggio del processo di pericolo in combinazione con la chiusura delle strade e l'evacuazione delle zone abitative. Altri esempi di misure di protezione dei beni sono gli elementi di arginatura costituiti da moduli antiesondazione riempiti d'acqua (tipo salsicciotti) lungo i fiumi, il distacco artificiale di valanghe o il brillamento di blocchi di roccia monitorati tramite radar.

### 1.3 Dai tronchi trasversali all'ingegneria naturalistica

Quando si valuta di contrastare i pericoli naturali usando il legno, si entra in settori di competenza diversi in cui si utilizzano definizioni e termini differenti, a iniziare dal semplice tronco trasversale e dalla valutazione se considerarlo un'opera in senso lato. Da una nota della Divisione giuridica dell'Ufficio Federale dell'Ambiente UFAM (2021) sulle questioni di responsabilità in presenza di tronchi trasversali nei boschi di protezione, si evince che in linea di principio, ai sensi dell'art. 58 del Codice delle Obbligazioni, questi ultimi non vengono considerati quali opere nel caso fossero unicamente appoggiati alle ceppaie. Per essere definiti opere, i tronchi trasversali devono essere fissati direttamente o indirettamente al terreno attraverso l'intervento attivo dell'uomo. Per motivi di proporzionalità e ragionevolezza, gli intervalli di controllo semplificati risultano appropriati per i tronchi trasversali rispetto alle opere di protezione tecnico-strutturali classiche.

Le opere realizzate in legno, come i treppiedi, le palificate e le opere di sostegno, possono essere

definite misure di protezione temporanee. Queste costruzioni nelle quali il legno funge da materiale inerte vengono spesso combinate con misure d'ingegneria naturalistica. Fondamentalmente, l'ingegneria naturalistica considera unicamente materiali da costruzione naturali quali sementi, piante, talee e associazioni vegetali. [13] L'ingegneria naturalistica è parte integrante dell'ecoingegneria o «ecological engineering»; questo approccio consiste nel progettare, costruire e gestire ecosistemi. Questi ultimi sono controllati con metodi basati sull'ingegneria, essendo costituiti da una convivenza di organismi e dal loro ambiente. In questo senso, la gestione del bosco di protezione, come pure le opere di sostegno in legno combinate con il rimboschimento, possono essere considerate ecoingegneria. Nel contesto internazionale, tali misure sono definite come soluzioni basate sull'ecosistema o sulla natura a favore della riduzione dei rischi connessi ai pericoli naturali (cfr. [14]). Al momento questa terminologia è universalmente riconosciuta.



## 2 Durabilità del legno quale materiale da costruzione

### 2.1 In generale

Diversi fattori ambientali limitano l'impiego del legno nelle costruzioni esterne; sollecitazioni meccaniche, influssi climatici e organismi viventi quali roditori, insetti, batteri e funghi. Particolarmente significativi per la degradazione biologica del legno sono i funghi decompositori del legno, responsabili naturali della riduzione della materia legnosa.

Per mantenere il più a lungo possibile la funzionalità delle opere di protezione in legno è necessario evitare che i funghi decompositori abbiano le condizioni di vita ideali. È importante utilizzare tipi di legno con la massima durabilità naturale possibile. La maggior parte delle informazioni che seguono è tratta dalla pubblicazione «Holzkonstruktionen im Wildbach-, Hang- und Rensenverbau». [15]

### 2.2 Biodegradazione del legno

Il legno è composto al 41–50 % di cellulosa, a dipendenza del tipo di legno, al 25–40 % di emicellulosa e al 18–32 % di lignina. I microrganismi in grado di separare e scomporre questi elementi costitutivi sono da un lato i batteri e dall'altro i diversi funghi che decompongono il legno, muffe e funghi dell'azzurramento nonché funghi agenti del marciume e della carie bianca e bruna. Altri requisiti importanti per la decomposizione del legno sono l'ossigeno e l'acqua.

Una regola di base indica che il legno può essere conservato a lungo allo stato saturo d'acqua oppure

allo stato asciutto con un contenuto d'umidità del legno <20 % (per il legno d'opera mantenuto asciutto). Oltre alla disponibilità d'acqua, anche la temperatura figura tra i fattori importanti che influenzano l'attività fungina; se la temperatura minima corrisponde al punto di congelamento, quella ottimale è compresa tra 20 e 40 °C. A dipendenza della specie di fungo oltre questa temperatura inizia la denaturazione; l'entità dipende anche dalla durata dell'esposizione.

### 2.3 Classi di utilizzo (CU)

A dipendenza dell'esposizione all'umidità e delle relative condizioni d'impiego, in Svizzera gli elementi di costruzione in legno possono essere suddivisi in quattro classi d'utilizzo secondo la norma SN EN 335 [16] e in due classi d'utilizzo (CU3 e CU4) per le opere di protezione in tondame (cfr. tabella 1). La ripartizione degli elementi di costruzione in classi d'utilizzo serve a scegliere il tipo di legno adatto.

Ad esempio, gli elementi di costruzione in legno utilizzati all'esterno (umidità del legno costantemente superiore al 20 %) vengono classificati nella classe d'utilizzo 4. Le raccomandazioni contenute nella tabella 1 per la costruzione in legno [17], rispettivamente l'impiego di determinate essenze nelle corrispondenti classi d'utilizzo sono solo parzialmente applicabili alle opere di protezione con tondame grezzo.

### 2.4 Influssi esterni e interni sulla durabilità del legno

La durabilità può essere descritta come la resistenza naturale del legno agli organismi che lo distruggono [18]; oltre agli insetti vanno menzionati soprattutto i funghi. La durabilità dipende in larga misura dalla presenza o dall'assenza di alcune sostanze che favoriscono lo sviluppo di durame. [19] In particolare, il durame colorato obbligato presenta una maggiore durabilità grazie ai metaboliti secondari incrostatosi nelle pareti cellulari. Da questo punto di vista l'alburno delle varie specie arboree non presenta differenze significative e generalmente è meno resistente (cfr. tabella 2). Per la sequenza di resistenza fungina decrescente ne consegue la seguente regola generale:

1. durame di latifoglie con durame colorato obbligato (esistono eccezioni ad es. frassino e olmo)
2. durame di conifere con durame colorato obbligato
3. specie legnose senza formazione di durame colorato obbligato

Per molte opere di protezione, in particolare per la protezione dei corsi d'acqua e dei pendii, vengono spesso utilizzate specie legnose facilmente reperibili, quali l'abete rosso e l'abete bianco. Essendo queste specie tra le meno durevoli, occorre attribuire grande importanza alla durata d'impiego richiesta

Tabella 1  
Classi d'utilizzo rilevanti per il legno d'opera e possibilità di comparsa di organismi nocivi secondo SN EN 335 [16] e [17] per la Svizzera.

Classe d'utilizzo	Situazione d'utilizzo generale		Umidità del legno <sup>2)</sup>	Possibile comparsa di organismi dannosi <sup>3)</sup>
1 <sup>1)</sup>	Interno, asciutto		Asciutto, costantemente sotto il 20 %	Rara comparsa di insetti che deteriorano il legno
2 <sup>1)</sup>	Interno <sup>4)</sup> oppure al coperto, non esposto a intemperie, possibilità di condensa		Occasionalmente oltre il 20 %	Come classe d'utilizzo 1 Funghi che colorano il legno (funghi dell'azzurramento)
3.1	Esterno, senza contatto con il terreno, esposto a intemperie	Condizione di umidità limitata <sup>5)</sup>	Da occasionale a frequente oltre il 20 %	Come classe d'utilizzo 2 Funghi che deteriorano il legno (carie bianca e bruna)
3.2		Condizione di umidità persistente <sup>6)</sup>	Frequente oltre il 20 %	Come classe d'utilizzo 2 Funghi che deteriorano il legno (carie bianca e bruna)
4	Esterno, a contatto con il terreno o acqua		Costantemente oltre il 20 %	Come classe d'utilizzo 3 Funghi che deteriorano il legno (marciume)/Batteri

<sup>1)</sup> Le classi d'utilizzo 1 e 2 non sono rilevanti per l'impiego in opere di protezione.

<sup>2)</sup> I termini «occasionale», «frequente», «predominante» e «costante» indicano un'esposizione crescente, senza che sia possibile fornire cifre esatte a causa delle diverse variabili che la influenzano.

<sup>3)</sup> La protezione contro gli organismi elencati non è necessariamente richiesta, poiché questi ultimi non compaiono in ogni condizione di utilizzo e stazione, non è economicamente vantaggiosa oppure non è in grado di attaccare determinati prodotti del legno in quanto non previsto nelle condizioni d'uso del prodotto.

<sup>4)</sup> Nel caso di impiego per l'interno in cui si prevedono condizioni di forte umidificazione regolare, ad es. in aree umide e in cantine non ventilate, la situazione va considerata nella classe d'utilizzo corrispondente 3.1 o 3.2.

<sup>5)</sup> L'acqua non può accumularsi; il legno o il prodotto di legno non rimane bagnato a lungo.

<sup>6)</sup> Gli elementi sui quali si prevedono depositi di sporcizia, terra, foglie, ecc. per un lungo periodo (mesi) nonché quelli soggetti a particolari sollecitazioni, devono essere classificati nella classe d'utilizzo 4.

delle opere, alle misure costruttive di protezione del legno (cfr. anche [20]) e alla manutenzione conseguente.

Diversi autori ritengono che il legno di conifera con anelli d'accrescimento annuali stretti sia più resistente ([21], [15]). L'accrescimento degli anelli annuali è influenzato dalle condizioni di crescita a cui un albero è esposto; queste includono la stagione, la posizione sociale nel popolamento, l'età dell'albero e le misure selvicolturali effettuate.

In merito alla stagione, da un lato è determinante la disponibilità d'acqua e di nutrienti, dall'altro svolgono un ruolo importante il clima, l'altitudine, l'esposizione e la durata del periodo di vegetazione. In generale più le condizioni di vita dell'albero sono difficili, più lento è il suo sviluppo e più stretti sono gli anelli d'accrescimento annuali. Il legno ad anelli stretti può quindi provenire da altitudini elevate ma anche da piante sottomesse o condominanti nonché da aree a crescita scarsa. Oltre alla selezione della specie legnosa adatta, il miglior materiale da

costruzione per le opere di protezione in legno potrebbe teoricamente essere fornito anche dalla selezione mirata degli alberi durante il prelievo in bosco. Nötzli [22] sottolinea che il tema della durabilità del legno utilizzato nelle costruzioni dev'essere considerato in modo differenziato a dipendenza dell'accrescimento degli anelli annuali; su questo argomento sono comunque necessari ulteriori sforzi di ricerca.

Spesso ci si chiede se il legname per le misure di protezione debba essere scortecciato prima della messa in opera; di regola per la protezione contro le valanghe e la neve viene utilizzato legno scortecciato. Per la protezione contro le piene si può utilizzare sia legno scortecciato sia non scortecciato. Da uno studio di lungo periodo relativo alle briglie in legno d'abete rosso e abete bianco, il legno scortecciato tende a essere relativamente meno resistente. [27] La scortecciatura meccanica con le conseguenti lesioni alla struttura del legno è considerata svantaggiosa.

Tabella 2  
Durabilità naturale delle specie legnose autoctone secondo la norma SN EN 350 [23] con una classificazione della durata d'impiego, come da [19].

Durata d'impiego <sup>1)</sup>	Denominazione commerciale	Abbreviazione secondo EN 13556	Nome scientifico	Funghi <sup>2)</sup>	Anobio <sup>3)</sup> (Xilofago)
15–25 anni	Robinia	ROPS	Robinia pseudoacacia	DC 1–2	DC D
	Castagno	CTST	Castanea sativa	DC 2	DC D
	Tasso	TXBC	Taxus baccata	DC 2	DC D
	Quercia	QCXE	Quercus robur	DC 2–4	DC D
10–15 anni	Larice	LADC	Larix decidua	DC 3–4	DC D
	Abete di Duglas	PSMN	Pseudotsuga menziesii	DC 3–4	DC D
	Pino silvestre	PNSY	Pinus sylvestris	DC 3–4	DC D
5–10 anni	Abete rosso	PCAB	Picea abies	DC 4	DC S
	Abete bianco	ABAL	Abies alba	DC 4	DC S
	Olmo	ULGL	Ulmus glabra	DC 4	DC S
	Frassino	FXEX	Fraxinus excelsior	DC 5	DC S
	Pioppo	PONG	Populus alba	DC 5	DC S
<5 anni	<i>Alburno</i>			DC 5	DC S
	Ontano	ALIN	Alnus incana	DC 5	DC D
	Faggio	FASY	Fagus sylvatica	DC 5	DC S
	Carpino	CPBT	Carpinus betulus	DC 5	–
	Betulla	BTXX	Betula pendula	DC 5	DC D
	Acero	ACPS	Acer pseudoplatanus	DC 5	DC D
	Salice	SAXX	Salix spp.	DC 5	–

<sup>1)</sup> Durabilità di alcune specie legnose autoctone, suddivise in classi con durata approssimativa con travetti di legno 5 × 5 cm a contatto con il suolo (secondo Findlay 1962 [24], Bosshard 1984 [19])

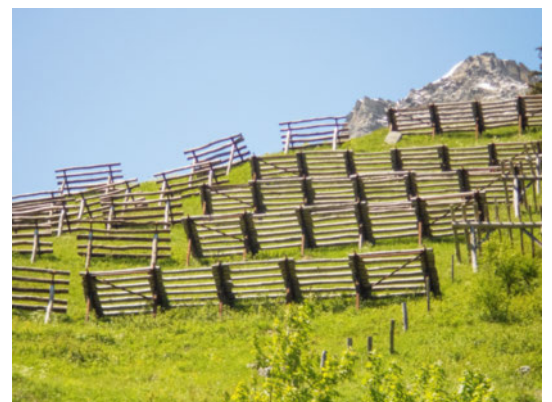
<sup>2)</sup> Durabilità naturale contro i funghi: da DC 1 = molto resistente a DC 5 = non durevole secondo SN EN 350

<sup>3)</sup> Durabilità naturale contro gli insetti: DC D = durevole, DC S = non durevole secondo SN EN 350

Immagine 5 (a sinistra)  
Per il tondame di castagno, occorre verificare la disponibilità (diametri, lunghezze).



Immagine 6 (a destra)  
Opere di premunizioni contro le valanghe in legno di castagno.



## 2.5 Specie legnose resistenti e la loro presenza nel bosco svizzero

Come mostra la tabella 2, esistono quattro specie legnose autoctone che appartengono alla classe di durabilità 2 (durevole): robinia, castagno, tasso e quercia. Da notare che la percentuale di robinia nel bosco svizzero raggiunge solo lo 0,1% circa (IFN [4]). La percentuale della quercia sul totale del popolamento arboreo in Svizzera è del 2%, quella del castagno l'1%. Osservando la distribuzione regionale, la percentuale di castagno sul versante

meridionale delle Alpi è del 15% e la percentuale di quercia nell'Altopiano è del 5%. [25] Anche il legno di larice con una percentuale del 5,5%, di douglasia con una percentuale dello 0,3%, e di pino con una percentuale del 2,7%, possono essere annoverati tra le specie legnose più durevoli e resistenti. [4] In termini di sostenibilità (cfr. capitolo 8), è consigliabile utilizzare il legname regionale, in modo da ridurre al minimo le distanze di trasporto.

## 2.6 Criteri per l'utilizzo del legno per le opere di protezione

La decomposizione del legno e la riduzione della resistenza del legno a causa dei funghi decompositori possono essere limitate sia dallo stoccaggio umido (deossigenazione) sia dall'essiccazione (disidratazione). La durabilità può essere aumentata anche tramite impregnazione malgrado che oggi questo procedimento venga poco utilizzato per motivi ecologici. La decomposizione del legno progredisce molto rapidamente in condizioni d'umidità variabile, ad esempio nell'area di transizione aria-suolo (colletto).

Le opere di protezione in legno sono impiegate in diverse situazioni:

- per il consolidamento dei pendii e il risanamento di scivolamenti (vedi capitoli 4 e 5)
- per la deviazione delle acque e la protezione contro le piene nei bacini idrografici dei torrenti (vedi capitolo 6)
- per la protezione contro le valanghe e la neve slittante (vedi capitolo 7)

A dipendenza dell'utilizzo, va tenuto conto delle condizioni ambientali nell'area circostante l'opera. Per le opere di protezione contro le valanghe e la neve slittante, l'obiettivo è mantenere le condizioni di asciutto per una lunga durata mentre nel settore dell'ingegneria idraulica sono finalizzati tenendo presente un tasso di umidità del legno costantemente elevato. In condizioni di umidità variabile gli elementi della costruzione sono particolarmente a rischio e vanno protetti in modo adeguato. Nelle opere di protezione contro le valanghe e la neve slittante, queste condizioni prevalgono soprattutto nelle aree di transizione, ad es. tra i puntoni e il suolo.

In presenza di briglie torrentizie, le ali e gli ancoraggi laterali non sono costantemente a contatto con l'acqua. Analogamente ci si può aspettare una durata d'impiego più lunga per il legname messo in opera in terreni gley permanentemente saturi d'acqua rispetto a quelli a umidità alternata come lo pseudogley. Per le opere in legno nei torrenti, oltre alla saturazione dell'acqua altri fattori giocano un ruolo importante come ad es. l'altitudine e l'esposizione. Nelle strutture poste a basse quote ed esposte a sud ([15], [26]), l'indebolimento del legno progredisce più rapidamente. È consigliabile ombreggiare le strutture piantando vegetazione riparia per regolare al meglio il clima e proteggere il legno dal temporaneo essiccamento. In merito alle opere di protezione dei pendii, le strutture devono essere coperte possibilmente con materiale terroso e piantumate. In presenza di elementi di costruzione in legno per i quali non sussiste la possibilità di copertura, si deve prevedere una durata d'impiego ridotta.

Quando i presupposti ambientali sono ottimali, le opere di protezione in legno svolgono la loro funzione per molto tempo. A Plaffeien FR sono state trovate briglie torrentizie risalenti a 75 anni fa così come quelle a Gams SG risalenti a 100 anni fa; in entrambi i casi in condizioni generali soddisfacenti. [15], [26] I fattori decisivi per una lunga durata d'impiego non sono legati unicamente ad una specie legnosa altamente resistente bensì anche ad un concetto strutturale ben progettato e lavorazioni eseguite a regola d'arte. Altri fattori determinanti sono un carico meccanico non eccessivo e una manutenzione e un monitoraggio permanente delle opere.

## 2.7 Gradonata di briglie lungo un torrente

Alcune delle interrelazioni precedentemente menzionate sono illustrate qui di seguito tramite un'indagine dell'Istituto federale di ricerca per la foresta, la neve e il paesaggio (WSL) sulle briglie torrentizie di legno (abete rosso e abete bianco). A Hergiswil NW nel 1996 è stata messa in opera una sistemazione a gradonata composta da 15 briglie a cassero in legno a doppia parete (tipo palificata). Da allora le condizioni delle opere sono state documentate regolarmente [27]; tre anni dopo il completamento dei lavori, sulle strutture sono stati osservati i primi corpi fruttiferi di funghi causanti marciume. Negli anni successivi, si sono insediati altri ceppi fungini soprattutto nella zona di ancoraggio dei corsi di tondame longitudinali superiori; nel tempo sono state identificate ben 18 specie diverse di funghi.

La resistenza del legno è stata valutata regolarmente dal punto di vista qualitativo; il parametro del test è stato definito nella profondità di penetrazione di un cacciavite. Le prime aree di decomposizione incipiente del legno sono state scoperte cinque anni dopo la costruzione. Dopo dieci anni sono state riscontrate aree marcescenti riferite a circa la metà delle briglie costruite. Durante l'ultimo rilevamento nel novembre 2020, 24 anni dopo la costruzione, tutte le briglie presentavano localmente singoli punti di marciume. La resistenza del legno era più ridotta nelle parti periferiche delle opere sottoposte a umidità variabile rispetto alle aree di deflusso costantemente bagnate (20%); in generale le marcescenze sono state rilevate principalmente in prossimità dell'area superiore (cfr. immagine 7), viceversa la base della briglia sempre satura d'acqua non ha praticamente formato marciume. In presenza di eventuali interventi di manutenzione, gli strati inferiori potrebbero quindi essere conservati quale base di fondazione e sostituiti quelli superiori più degradati. Nel complesso va notato che dopo 24 anni, nonostante i sintomi di degrado riscontrati, tutte le briglie erano ancora perfettamente funzionanti mentre in una singola briglia è stato osservato un leggero cedimento delle ali.

Immagine 7

Briglia torrentizia in legno di 24 anni (Hergiswil NW) con incipiente decomposizione del legno nell'area a umidità variabile a destra, sotto l'interramento e l'ala laterale della briglia.



## 3 **Approcci normativi e indicazioni sul dimensionamento delle opere con tondame grezzo**

---

### 3.1 **In generale**

---

Le strutture portanti di legno considerate sono di regola realizzate sulla base di piani costruttivi e direttive edili concernenti le dimensioni della struttura portante (vedi i capitoli 4, 5, 6 e 7).

Per le strutture che si situano al limite delle direttive di esecuzione o che sono messe in opera in aree sensibili dal punto di vista geotecnico, la capacità portante dev'essere verificata separatamente. Allorquando si sviluppano nuovi progetti di costruzione o si ottimizzano quelli esistenti, può rendersi necessario dimensionare staticamente gli elementi della struttura portante. Le opere di protezione in tondame (briglie, palificate di sostegno, opere di consolidamento dei pendii) appartengono alle strutture a contatto con il suolo. Nel dimensionamento si deve quindi tenere conto di una verifica della stabilità complessiva del terreno di fondazione e della struttura portante. Nel genio forestale, i termini di sicurezza strutturale esterna e interna si sono affermati in conformità alla norma SIA 267. [28] Secondo la norma SIA 260 «Basi per la progettazione di strutture portanti» [29], per la verifica della sicurezza strutturale vanno considerati quattro stadi limite:

- Il tipo 1. riguarda la stabilità complessiva (sicurezza strutturale esterna). Nel caso della stabilità complessiva risp. della sicurezza strutturale

esterna, vengono considerati gli stati di cedimento del terreno circostante. Questo include le verifiche dell'inclinazione e dello scivolamento.

- Il tipo 2. riguarda la resistenza al carico della struttura portante o parte di essa (sicurezza strutturale interna). Nel caso della sicurezza strutturale interna, si considerano gli stadi di cedimento della struttura portante. Questo include il cedimento per rottura, le deformazioni eccessive, la trasformazione della struttura in meccanismo o perdita di stabilità (ad es. verifiche a seguito della sollecitazione di flessione e taglio o verifiche di stabilità dei tiranti). In aggiunta vanno progettati i giunti e i dispositivi di fissaggio.
- Il tipo 3. riguarda la resistenza al carico del terreno di fondazione (smottamento, cedimento della scarpata, cedimento del terreno). Per le strutture su scarpate è necessario verificare la resistenza al taglio del terreno a seguito di cedimenti.
- Il tipo 4. riguarda la resistenza a fatica della struttura portante o parte di essa e descrive la resistenza ultima (resistenza al carico) in presenza di frequenti azioni ripetute. La verifica delle opere di protezione in tondame è irrilevante.

### 3.2 **Basi normative**

---

La norma SIA 260 [29] definisce gli aspetti relativi all'esecuzione, all'uso e alla conservazione delle strutture portanti. Essendo le opere di protezione in tondame considerate quali strutture portanti con alcune caratteristiche particolari, vanno applicate per analogia le norme relative alle strutture portanti. (cfr. norma SIA 260, cifre 0.1.3 e 0.1.4). [29] La durata d'impiego delle opere di protezione in tondame dev'essere determinata in funzione del progetto specifico.

Non vengono trattate le indicazioni relative agli stadi limite di efficienza funzionale in quanto per le opere di protezione in tondame sono di secondaria importanza. Di seguito sono riportate le norme rilevanti per la determinazione degli effetti e il dimensionamento in Svizzera. In assenza di basi normative nazionali si fa riferimento a norme estere.

### 3.3 Norme per la determinazione degli effetti

Per il dimensionamento delle opere di protezione in tondame, le azioni permanenti e variabili devono essere determinate tenendo conto degli stadi limite con i coefficienti di carico corrispondenti (cfr. norma SIA 260, tabella 1 [29]). Si può rinunciare a considerare l'azione eccezionale dei terremoti per il dimensionamento di opere di protezione in tondame delle classi d'opera I e II (ad es. opere di sostegno o scarpate in prossimità di vie di comunicazione di notevole importanza), tenendo conto delle limitazioni previste dalla norma SIA 267, cifra 7.2.3. [28]

#### 3.3.1 Opere di sostegno e di consolidamento dei pendii

Per le opere di sostegno e di consolidamento dei pendii, le sollecitazioni derivanti dalle spinte del terreno e dai carichi superficiali sono riportate nella norma SIA 261 «Azioni sulle strutture portanti». [30] Secondo la norma SIA 261/1 «Azioni sulle strutture portanti – Disposizioni complementari» [31], le azioni dovute ai pericoli naturali gravitazionali devono essere determinate basandosi sulle raccomandazioni e le linee guida vigenti della Confederazione e per mezzo delle carte dei pericoli e di intensità. Se non sono disponibili informazioni, le azioni devono essere determinate con l'aiuto di un esperto (cfr. norma SIA 261/1, cifra 2). Maggiori informazioni sono disponibili alle fonti [15] e [32].

### 3.4 Norme per la verifica degli stati limite di tipo 1 e 3

Le basi per il dimensionamento geotecnico delle opere di sostegno e di consolidamento dei pendii (modelli strutturali e di dimensionamento) sono illustrati nella norma SIA 267 «Geotecnica». [28] Le indicazioni sul dimensionamento delle fondazioni delle opere di premunizione contro le valanghe (ancoraggi, micropali, piastre di pressione) sono contenute nella direttiva tecnica «Costruzione di opere di

#### 3.3.2 Briglie torrentizie

In Svizzera per il dimensionamento delle briglie torrentizie non esiste una base normativa dettagliata. La verifica della sicurezza strutturale esterna segue la consueta procedura di dimensionamento delle strutture di sostegno secondo la norma SIA 267. [28] Le informazioni sul dimensionamento e l'esecuzione sono contenute nelle documentazioni «Holzkonstruktion im Wildbach – Hang- und Runsenverbau» [15] e «Wildbach- und Hangverbau». [32]

Le norme austriache contengono modelli d'impatto per le sollecitazioni provenienti dai torrenti. La norma tecnica ONR 24801 [33] contiene ad esempio informazioni sugli effetti statici e dinamici.

#### 3.3.3 Opere di premunizione contro le valanghe

Per il dimensionamento delle opere di premunizione contro le valanghe, i modelli d'impatto per la pressione statica della neve dovuta allo scivolamento e allo scorrimento del manto nevoso sono riportati nella direttiva tecnica «Costruzione di opere di premunizione contro le valanghe nella zona di distacco». [34] I modelli d'impatto sono stati sviluppati principalmente per il dimensionamento di strutture di sostegno. Per la progettazione di misure di protezione contro la neve slittante, le formule di calcolo devono essere adattate di conseguenza, tenendo conto in particolare dell'influenza degli effetti margine (edge effects). I modelli contenuti sono stati adottati di conseguenza nell'ONR 24805. [35]

premunizione contro le valanghe nella zona di distacco» [34] e nell'ONR 24806 «Permanenter technischer Lawinenschutz – Bemessung und konstruktive Ausgestaltung». [36] La fondazione delle opere di premunizione in legno contro le valanghe si basa di regola sull'esperienza, senza verifiche statiche; secondo il manuale «Bauanleitung Gleit-schneeschutz und temporärer Stützverbau». [37]

### 3.5 Norme per la verifica dello stato limite di tipo 2

Con la norma SIA 265 «Costruzioni in legno» [38] e la norma SIA 265/1 «Costruzioni in legno – Specifiche supplementari» [39], è possibile eseguire la verifica della sicurezza interna.

Per il dimensionamento di opere di protezione in tondame, il prerequisito fondamentale per una corretta verifica della sicurezza strutturale degli elementi è la classificazione del materiale da costruzione disponibile in una classe di resistenza. I criteri per la classificazione visiva del tondame e la conseguente classificazione in una delle tre classi di resistenza sono riportati nella norma SIA 265/1, tabella 5 [39], in cui sono indicate due classi di resistenza (C16 e C24) per il legno di conifera e una classe di resistenza (D30) per il legno di latifoglia. Nella scelta del tondame, occorre prestare particolare attenzione al legno di reazione, alla fibratura inclinata, alle deformazioni e ai nodi che riducono alla sicurezza strutturale. I danni meccanici, che possono verificarsi durante l'abbattimento, il trasporto o la lavorazione, influiscono sulla resistenza e sono una fonte d'infezione privilegiata per i funghi.

Le caratteristiche distintive e i valori di dimensionamento per il tondame classificato visivamente si trovano per analogia nella tabella 8 della norma SIA 265. [38] Le caratteristiche e i valori di dimensionamento indicati nella tabella si riferiscono ad una umidità media del legno del 12%. Poiché quest'ultima ha una grande influenza sulle proprietà di resistenza, in presenza di umidità del legno più elevata i valori di dimensionamento devono essere ridotti moltiplicando un coefficiente. Per situazioni di dimensionamento eccezionali, i valori degli elementi della costruzione in legno possono essere aumentati di coefficiente per tenere in considerazione la durata dell'azione conformemente alla norma SIA 265, cifra 2.2.6. [38]

Nel corso del tempo il naturale processo di decomposizione del legno modifica l'efficacia statica della sezione trasversale.

Questi processi di decomposizione dipendono fortemente dal tipo di legno, dal suo utilizzo, dal macroclima e dal microclima circostanti; risulta

pertanto difficile stimare la sezione trasversale efficace da considerare nei calcoli. Un dimensionamento più importante o un presunto sovradimensionamento possono compensare le incertezze, ma dimensioni trasversali esagerate possono anche portare a un'essiccazione ritardata. È utile riferirsi all'esperienza acquisita durante progetti di premunizione con condizioni ambientali similari. A dipendenza dell'utilizzo, bisogna tenere conto delle regole di base per la protezione costruttiva del legno, come ad es. la protezione delle superfici del legno di testa e la prevenzione dell'acqua stagnante sugli elementi.

Indicazioni sulla determinazione dei parametri geometrici del tondame (aree della sezione trasversale momenti resistenti, momenti d'inerzia, raggi d'inerzia) e delle resistenze al fuoco per il legno di conifere di classe di resistenza C16/C24 sono riportate nelle tabelle 1 per le costruzioni in legno. [17]

Indicazioni sulla progettazione e sul dimensionamento delle opere di premunizione in legno contro le valanghe sono contenute nella direttiva tecnica «Costruzione di opere di premunizione contro le valanghe nella zona di distacco». [34] Per la progettazione, il dimensionamento e la ricerca di dettagli costruttivi inerenti le correzioni torrentizie può essere utile consultare la norma tecnica austriaca ONR 24802 [40], che contiene direttive generali per la costruzione di briglie senza però una considerazione specifica per le opere in legno. Indicazioni per il dimensionamento di opere in legno per la protezione di torrenti, pendii e canali sono inserite anche in «Holzkonstruktionen im Wildbach-, Hang- und Runsenverbau». [15]

#### 3.5.1 Dimensionamento degli elementi di fissaggio

Per il dimensionamento di elementi di fissaggio a forma di perno (chiodi, viti, perni bulloni), devono essere applicate le specifiche della norma SIA 265. [38] La verifica delle parti in acciaio va effettuata secondo la norma SIA 263. [41]



## 4 Il legno quale protezione contro l'erosione

### 4.1 Processo ed effetti

L'erosione è un processo durante il quale avviene l'asportazione di materiale sciolto o deteriorato dalle intemperie causato da forze esterne, come gli effetti del movimento dell'acqua, di solidi, dell'aria o una loro combinazione sulla superficie di contatto. Questo capitolo tratta in modo specifico l'erosione del suolo provocata dalla pioggia battente o dall'acqua che scorre. A questo proposito, si possono definire cinque diverse forme di erosione del suolo.

**Erosione da impatto** (erosione per azione delle gocce di pioggia)

È la fase iniziale dell'erosione del suolo che risulta dalla forza esercitata dall'impatto delle gocce di pioggia sugli aggregati del suolo (effetto splash). [42] L'energia delle gocce di pioggia può essere puntualmente maggiore rispetto a quella dell'acqua che scorre e quindi staccare dal composito particelle di suolo (materiale minerale o organico), che altrimenti non potrebbero essere erose dallo scorrimento dell'acqua. [43]

**Erosione laminare**

Questo termine descrive la mobilitazione e il trasporto di particelle di suolo da parte del ruscellamento superficiale dell'acqua su una scala spaziale ridotta. Poiché l'energia di deflusso è limitata, questo processo trasporta soprattutto materiale già mobilizzato dall'erosione da impatto e che rimane in sospensione nell'acqua (materia organica fine, frazioni argillose e limose). A dipendenza dell'inclinazione del pendio, l'accumulo di frazioni di sabbia e di ghiaia possono essere trascinate sotto forma di processi simili a colate detritiche (in ingl. «soil slumps»).

**Erosione per ruscellamento**

Questo processo è caratterizzato da un'azione continua del ruscellamento dell'acqua concentrato per un lungo periodo (ad es. durante un evento con forti temporali). Questo processo può manifestarsi in una combinazione di trasporto continuo di sedimenti e di processi irregolari simili a colate detritiche.

**Erosione per burronamento** (gully erosion)

Se la profondità di erosione è superiore a 0,3 m, si forma un fosso (in ingl. «gully»), in cui gli effetti erosivi sono più forti rispetto all'erosione per ruscellamento a causa del maggiore deflusso specifico ma causati dagli stessi processi.

**Erosione sotterranea** (pipe erosion)

Se il deflusso è prevalentemente sotterraneo, l'erosione idraulica può provocare la formazione dei cosiddetti tubi di corrente, anche di grandi dimensioni. Questi possono collassare e lacerare la superficie. [44]

L'effetto delle misure su un determinato processo può essere differenziato in funzione dell'impatto spaziale. [45] Si distingue quindi tra un effetto nella «zona di contribuzione» (ad es. la riduzione del ruscellamento del deflusso dell'acqua proveniente dalle aree contribuenti del bacino imbrifero); nella «zona di processo» (ad es. la riduzione della tensione di trascinamento dell'acqua mediante lo spianamento del terreno nell'area in cui avviene l'erosione); nella «zona d'arresto» (ad es. la costruzione di una camera di raccolta nella zona di transito o di deposito).

### 4.2 Panoramica e funzioni delle opere contro l'erosione

Nella cosiddetta «zona di processo» (fonte di processo), l'impiego di opere di protezione contro i processi di erosione superficiale può essere suddiviso in quattro tipi [45]:

- schermatura delle particelle del terreno: la copertura del terreno con materiale resistente e/o una fitta copertura vegetale può ridurre l'energia cinetica delle gocce di pioggia, eliminando così l'effetto dell'erosione da impatto.
- aumento della scabrosità: permette di ridurre la velocità di deflusso e di aumentare l'infiltrazione nel terreno.
- spianamento del terreno: con la costruzione di soglie in legno o di terrazzamenti (berme) è possibile diminuire localmente la pendenza, ridu-

cendo la tensione di trascinamento dell'acqua che scorre e la componente motrice del peso delle particelle di terreno. La funzione di queste misure corrisponde in parte a quella delle briglie torrentizie (vedi capitolo 6).

- deviazione delle acque superficiali: l'accumulo e la deviazione mirata dell'acqua riducono l'infiltrazione negli strati più profondi e il deflusso naturale nelle aree critiche. Tali misure possono favorire la formazione di un deflusso concentrato e quindi lo sviluppo dell'erosione per ruscellamento e per burronamento, a dipendenza della situazione sono pertanto necessarie adeguate protezioni dell'alveo.

### 4.3 Costruzione e utilizzo delle opere di protezione in legno contro l'erosione

#### 4.3.1 Stuoie di protezione dei pendii e delle scarpate in lana di legno

Le stuoie di protezione dei pendii e delle scarpate riducono l'erosione provocata dalle gocce di pioggia, dall'erosione superficiale e dall'erosione per ruscellamento. Secondo lo standard svizzero per la lana di legno, nel descrittivo si intendono le fibre di legno con uno spessore di 0,1–0,25 mm e una larghezza di 1,3–8 mm. I filamenti della lana di legno sono lunghi fino a 500 mm e trapuntati a una rete biodegradabile prodotta con fibre naturali. La produzione svizzera di reti in fibre naturali locali (cellulosa) è in fase di implementazione. Esistono diverse stuoie di lana di legno all'interno delle quali la composizione individuale della miscela di specie legnose gioca un ruolo importante per la durabilità, la resistenza e la stabilità stessa della lana di legno (il frassino ad es. è meno resistente dell'abete bianco e dell'abete rosso). Sono state sperimentate e utilizzate anche specie legnose come la robinia, il castagno e il larice. In merito alla posa delle stuoie e al relativo controllo dell'erosione non esistono criteri di dimensionamento. La posa avviene secondo le istruzioni del produttore.

È importante che le stuoie vengano posate sovrapposte e senza tensioni. La tensione del peso proprio tra i punti di fissaggio non deve superare la capacità di trazione della stuoia. [46] Durante la messa in posa è importante che non si creino spazi vuoti tra la stuoia e il terreno (cfr. immagine 8). A tale scopo la stuoia può essere fissata al pendio mediante delle talee (le varietà di salice sono tra le più adatte) del diametro di 3–5 cm e una lunghezza di 30–50 cm (in alternativa anche picchetti in legno di robinia o in acciaio qualora sia presente del substrato ciottoloso). A dipendenza della situazione, prima o dopo l'installazione vanno implementate delle sementi idonee per il rinverdimento. Lo scopo dell'utilizzo delle stuoie è di assumere la funzione della vegetazione durante la fase di attecchimento e di fornire protezione (2–3 periodi vegetativi a dipendenza del luogo). Grazie all'eccellente capacità di stoccaggio idrico, al buon deflusso superficiale e alle nicchie tra le fibre, le stuoie di lana di legno favoriscono l'installarsi del microclima (umidità, temperatura) a favore di un rapido insediamento della vegetazione e riducendo il rischio di scalzamento.

Immagine 8  
Protezione contro l'erosione mediante stuoie in lana di legno per il consolidamento di scarpate.



I vantaggi delle stuoie di lana di legno sono la protezione rapida ed efficace della superficie del terreno, la facilità di manipolazione e la loro completa biodegradazione. Le stuoie di lana di legno sono realizzate con diversi tipi di legno locale, certificati con il marchio Legno Svizzero.

Rappresentano un'alternativa sostenibile alle varianti con fibre naturali importate (cocco, juta) e non introducono organismi esotici indesiderati. Il risultato è un ecobilancio positivo.

#### 4.3.2 Terrazzamenti (berme)

I terrazzamenti vengono costruiti per ridurre la pendenza di un versante tramite l'inserimento di superfici pianeggianti, concentrando le sezioni ripide in tratte più brevi. Lo spianamento riduce la tensione di trascinamento dell'acqua e di riflesso l'erosione superficiale. Per il dimensionamento vale il medesimo principio delle briglie torrentizie, con la pendenza limite quale criterio per ridurre il tasso di erosione. Queste misure non vanno implementate per stabilizzare gli scivolamenti superficiali, ma hanno il vantaggio di aumentare l'umidità del suolo e di favorire l'insediamento della vegetazione nelle stazioni aride.

I terrazzamenti possono essere realizzati con tecniche in legno diverse (cfr. immagini 9 e 10) in particolare tramite soglie di legno rinforzate e ancorate (ca. 30 cm di diametro, pareti con piloti), tavole (ca. 30 cm di larghezza e 2,5 cm di spessore) o palificate in legno a parete singola (cfr. capitolo 5.3.3). I terrazzamenti con palificate sono costruiti in file longitudinali con altezze fino a 2 m.

Sul lungo periodo, le palificate a parete singola oltre i 2 m di altezza diventano instabili e non possono essere sostenute dalla vegetazione. Le soglie di legno hanno un'altezza massima di 50 cm, una lunghezza di 2-3 m e sono messe in opera sfalsate sul pendio. Se possibile, a queste strutture si dovrebbe abbinare un rinverdimento impiegando specie arboree longeve, le cui radici assumano idealmente la funzione di protezione dopo la decomposizione delle strutture. I montanti (cfr. immagine 11) possono essere realizzati con tondame lungo circa 1,3 m; in alternativa sono idonee le talee di salice. I montanti vanno collocati a un quarto della lunghezza della soglia esterna o delle tavole per ridurre la deformazione o il cedimento (sollecitazioni di flessione). Il numero di terrazzamenti necessari varia a seconda del materiale del terreno e dalla pendenza iniziale. I terrazzamenti sono più efficaci su pendenze comprese tra i 30° e i 40°. L'avanzamento dei lavori avviene in modo analogo alla correzione torrentizia, dal basso verso l'alto.

Immagine 9 (a sinistra)  
Terrazzamento costituito da palificate a parete semplice decomposte, combinato con una canaletta di deviazione delle acque; Arieschbach GR.

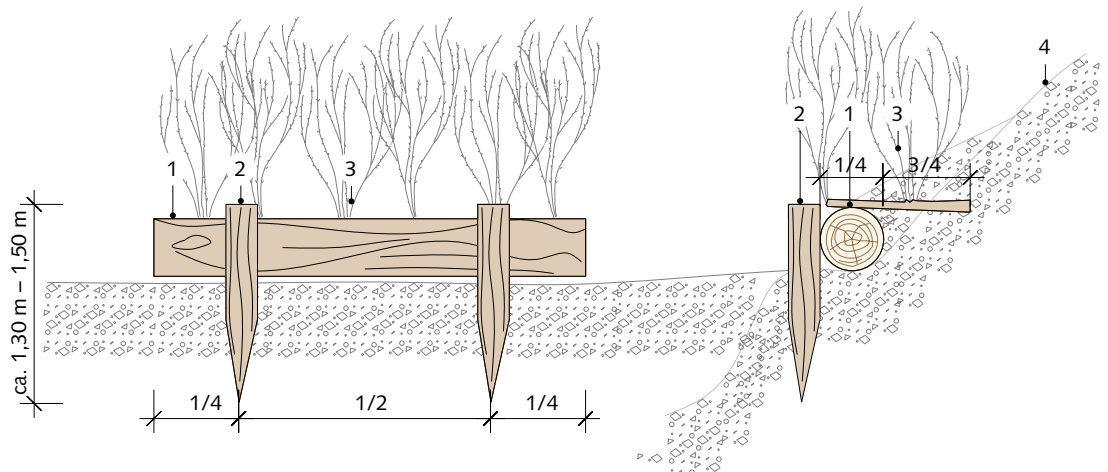


Immagine 10 (a destra)  
Terrazzamenti vegetalizzati con soglie di legno.



Immagine 11  
Raccomandazioni per la costruzione di soglie di legno.

- 1 Soglia di legno  
(d = 300 mm,  
lunghezza 2-3 m)
- 2 Montante,  
d = 200 mm
- 3 Talee di salice
- 4 Inclinazione pendio  
da 30° a 40°



#### 4.3.3 Canalette aperte (canalette di evacuazione delle acque)

Gli interventi di deviazione dell'acqua assicurano il deflusso mirato e rapido dell'acqua piovana, dell'acqua di fusione, delle acque sorgive o sotterranee di captazione e proteggono l'erosione dell'alveo e delle sponde laterali (erosione per burronamento). Il deflusso dell'acqua aumenta la resistenza del terreno (maggiore coesione apparente e minore pressione dell'acqua interstiziale).

La conformazione della canaletta aperta in legno può variare (vedi [47]); di regola per favorire l'efficienza idraulica dovrebbe avere una limitata scabrosità e un rapporto ridotto tra portata e sezione trasversale. Le canalette in legno più comuni sono quelle a V (cfr. immagine 12) e quelle rettangolari (cfr. immagine 13).

Il dimensionamento della sezione trasversale di deflusso avviene secondo l'approccio di Strickler per le precipitazioni attese ogni 100 anni. [47] Occorre tener conto del fatto che spesso si verificano turbolenze della corrente ed è quindi necessario un margine di sicurezza aggiuntivo relativo al dimensionamento. A questo si aggiunge l'effetto di assorbimento aereo dell'acqua da parte dell'aria, che aumenta il volume del deflusso. Con profondità di deflusso minori (meno di 1 m), è possibile utilizzare un supplemento di sicurezza di 1,5 che tenga in considerazione gli effetti descritti.

È auspicabile un ulteriore supplemento di sicurezza di 2 per aumentare la capacità di deflusso e prevenire gli effetti delle serre o dei sedimenti favorendo in tal modo il corretto deflusso dell'acqua.

Per il dimensionamento si deve tenere conto anche della curvatura del senso del deflusso onde evitare fuoriuscite laterali. Nei punti più problematici dove l'acqua può fuoriuscire andrebbero installati dei pannelli deflettori (d'urto). In presenza di angoli di pendenza convessi, andrebbero evitate differenze superiori al 5%, per evitare di creare eccessive onde. La sovrapposizione di singoli segmenti della canaletta in legno dovrebbe essere sufficientemente ampia (circa 25 cm) per impedire il riflusso (l'infiltrazione) dell'acqua. [47]

I vantaggi di queste costruzioni in legno sono la grande capacità di adattamento alle deformazioni del pendio e l'utilizzo di materiale locale; viceversa sono sensibili ai danni provocati dalla pressione della neve o dalla caduta di massi. Sono necessari controlli e lavori di manutenzione regolari; in assenza di quest'ultime, le canalette aperte in legno possono risultare problematiche in quanto concentrano il deflusso. Una canaletta difettosa favorisce l'infiltrazione dell'acqua nel corpo della frana e l'erosione per burronamento.

Immagine 12  
(a sinistra e al centro)  
Costruzione di una  
canaletta a V.



Immagine 13 (a destra)  
Canaletta a sezione  
rettangolare con travatura  
in legno.



#### 4.3.4 Fascine di legno morto

Le fascine di legno morto (composte di ramaglia, residui di segheria e sciaveri) servono per il drenaggio e la deviazione sotterranea delle acque di pendio in presenza di terreni argillosi e limosi (cfr. immagini 14 e 15). Lo scorrimento preferenziale attraverso i rami e i residui di legno aumenta notevolmente la permeabilità del terreno parallela al pendio, riducendo l'infiltrazione dell'acqua. Al contempo la fascina impedisce lo sviluppo dell'erosione sotterranea che a sua volta potrebbe presentarsi nei fossi aperti.

Il tracciamento della deviazione delle acque va adattato al terreno. Le dimensioni dei fossi dipendono dal deflusso; di regola sono profondi 0,5–2 metri. Terminato lo scavo del fosso, si inseriscono le fascine; occorre fare attenzione che le fascine abbiano un'ampia superficie di contatto con il fondo del fosso per poter svolgere al meglio la loro funzione in modo che il medesimo non venga eroso. A tale scopo, la fascina dev'essere ben com-

pattata e possibilmente ricoperta da uno strato di materiale di scavo.

La fascina posata ai piedi del pendio dev'essere lasciata possibilmente priva di resistenza (nessuna azione filtrante) per evitare che si verifichino ostruzioni. L'acqua alla base del pendio può essere captata in pozzetti di raccolta controllati o in fossi aperti. È necessario costruire punti di decantazione dei sedimenti (depositi di fango) prima che l'acqua venga convogliata. Per una costruzione sostenibile, occorre promuovere l'impiego di materiali locali e biodegradabili. Una delle difficoltà principali consiste nel riuscire a controllarne la funzionalità (ad es. se si verifica un'erosione sotterranea). Lungo pendii sottoposti a forti deformazioni la funzionalità delle fascine può diminuire rapidamente. Combinate con interventi d'ingegneria naturalistica (talee o fascine vive) le fascine di legno morto sono una misura semplice ed efficace anche dal profilo logistico.

Immagine 14 (a sinistra)  
Costruzione di un  
drenaggio con fascine  
di legno morto.



Immagine 15 (a destra)  
Drenaggio completato  
con fascine di legno  
morto.



## 5 Il legno quale protezione contro gli scivolamenti

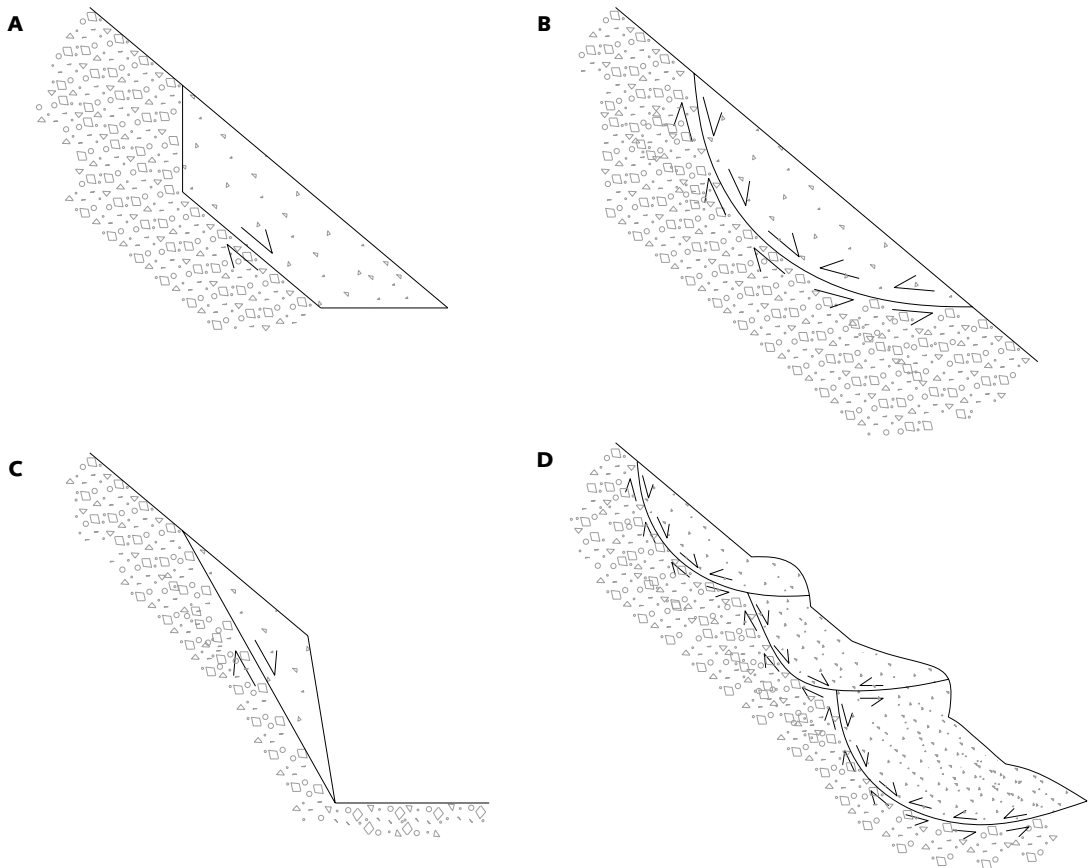
### 5.1 Processi ed effetti

Gli scivolamenti sono processi gravitazionali durante i quali sono mobilitati interi pacchetti di materiale sciolto. Per una classificazione semplificata, si può distinguere tra scivolamenti superficiali (con spessore del distacco <2 m), scivolamenti medi (con spessore del distacco >2 m e <10 m) e scivolamenti profondi (con spessore del distacco >10 m). Gli scivolamenti poco profondi si verificano normalmente sotto forma di movimenti di traslazione spontanei (superficie di taglio parallelo al pendio); in presenza di forte liquefazione possono trasformarsi in colate detritiche di versante (non canalizzate) o colate di fango (canalizzate) (cfr. immagine 16 A).

Le instabilità delle scarpate causate da una variazione della geometria del terreno e dalle condizioni di carico (ad es. durante la costruzione di una strada) (cfr. immagine 16 C) possono manifestarsi quali movimenti di traslazione o rotazionali a dipendenza del materiale del terreno. Di regola gli scivolamenti profondi si presentano come movimenti rotazionali (cfr. immagine 16 B) o quali corpi complessi della frana con movimenti differenziali (cfr. immagine 16 D).

Immagine 16  
Rappresentazione concettuale dei possibili meccanismi di scivolamento.

- A** Scivolamento traslazionale con superficie di scivolamento lineare
- B** Scivolamento rotazionale con superficie di scorrimento circolare
- C** Scivolamento traslazionale dopo il cambiamento nel terreno (cuneo di spinta attiva del terreno)
- D** Scivolamento complesso con movimenti differenziali



L'analisi dei fattori che portano a un franamento è importante per definire le misure adeguate. Si distingue tra predisposizione di base, predisposizione variabile e fattori scatenanti. La predisposizione di base comprende aspetti come ad es. la pendenza, la geologia e l'esposizione, che a lungo termine sono poco mutevoli. La predisposizione variabile include ad es. le condizioni della vegetazione (risp. il rafforzamento delle radici) e le proprietà del ter-

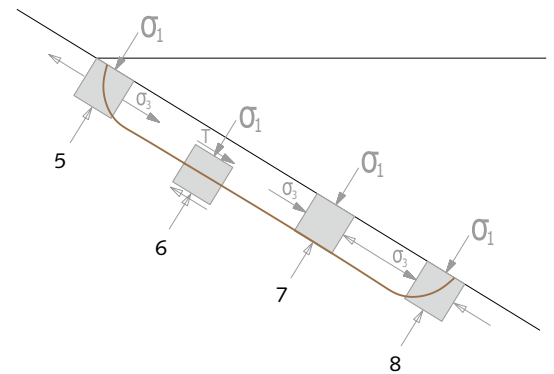
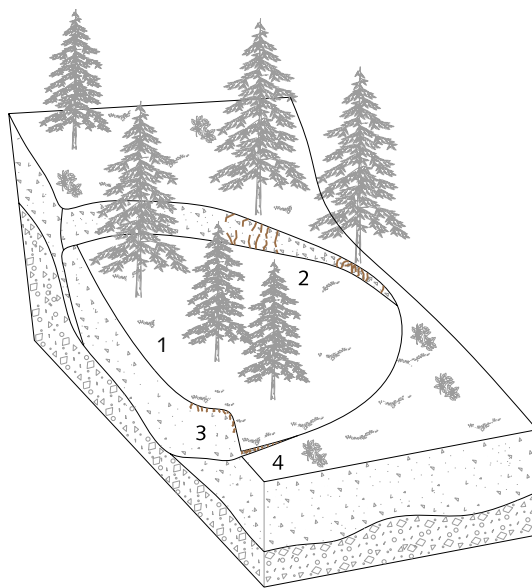
reno (ad es. l'umidità, la distribuzione della frazione limosa e argillosa, lo spessore del terreno), che possono cambiare nel medio termine. I fattori scatenanti sono eventi brevi e rapidi, spesso trattasi dell'aumento della pressione dell'acqua interstiziale dovuto a forti precipitazioni o al deflusso d'acqua concentrato (ad es. proveniente dal drenaggio delle strade o dovuto a rotture delle condotte idriche).

Per classificare al meglio l'effetto delle misure, è importante analizzare le fasi di attivazione delle forze di resistenza sulle opere durante la formazione di uno scivolamento (cfr. immagine 17). In una prima fase la resistenza al taglio del terreno si attiva principalmente lungo la superficie di taglio ridondante locale (punto 1 nell'immagine 17). Nella seconda fase, si mobilitano ulteriori resistenze alla trazione laterale nella zona di distacco superiore dello scivolamento (punto 2 nell'immagine 17).

Nella terza fase, una volta persa la maggior parte della resistenza laterale di trazione, sono soprattutto le forze di compressione che agiscono nella zona di distacco inferiore (punto 4 dell'immagine 17). Durante questa fase, può svolgere un ruolo importante il rinforzo del corpo franoso, ad es. mediante una grata sulla scarpata (punto 3 nell'immagine 17). Altri elementi dell'opera come le palificate o le soglie di legno reagiscono a questo carico con una resistenza di compressione (forza passiva di pressione del terreno).

Immagine 17  
Rappresentazione schematica delle tensioni di resistenza mobilitate durante lo sviluppo di uno scivolamento superficiale.

- 1 Tensione di taglio
- 2 Tensione di trazione nella parte superiore dell'orlo di distacco
- 3 Tensione di compressione parallela al pendio
- 4 Tensione di compressione nella parte inferiore dell'orlo di distacco
- 5 Rafforzamento laterale delle radici alla trazione
- 6 Rafforzamento basale delle radici
- 7 Rinforzo del corpo della frana
- 8 Rinforzo laterale delle radici in compressione



## 5.2 Panoramica e funzione delle opere contro gli scivolamenti

Per la stabilizzazione di pendii a rischio di scivolamento, si possono distinguere tre tipi di opere:

### Opere di sostegno

Si tratta di strutture che sostengono e parzialmente rafforzano le masse potenzialmente mobilizzabili. I pendii instabili sono stabilizzati dalla trasmissione di forze (pressione o taglio oppure una combinazione tra questi meccanismi). È importante caratterizzare al meglio i meccanismi dei franamenti per definire l'opera adeguata e la sua funzione. Negli scivolamenti superficiali per traslazione con lunghezze <20 m e un piede del pendio stabile, le grate in legno su scarpata agiscono quale rinforzo della

massa franosa e gran parte delle forze destabilizzanti viene distribuita sotto pressione al piede del pendio.

Se la lunghezza dello scivolamento superficiale per traslazione è eccessiva ed esiste la possibilità di costruire nel sottosuolo stabile (all'interno del corpo della frana o a lato), si possono impiegare le palificate in legno per trasferire le forze di compressione nelle aree stabili.

### Opere di trattenuta

Tali opere necessitano di ancoraggi per trasferire le forze di resistenza stabilizzanti dalle aree più profonde e stabili al corpo della frana.

### Misure di deviazione delle acque

Riducendo la pressione dell'acqua interstiziale nel corpo dello scivolamento ed eventualmente mantenendo la coesione apparente (allo stato insaturo) le misure indicate hanno un effetto stabilizzante.

Le tipologie delle opere menzionate vanno intese come strutture temporanee con una durabilità limi-

tata che vanno realizzate in combinazione con misure di stabilizzazione vegetale. Occorre tener presente che in un tale contesto l'opera sarà distrutta nel breve o medio periodo. Laddove possibile è auspicabile evitare l'uso di materiali da costruzione artificiali (PVC, lamiera, calcestruzzo, ferro, ecc.).

## 5.3 Costruzione e impiego di opere di stabilizzazione in legno

### 5.3.1 Soglie ancorate

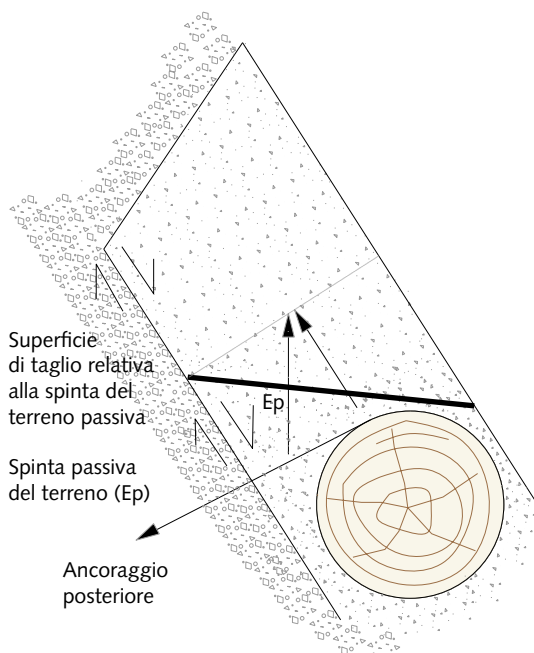
Le soglie di legno ancorate possono essere impiegate per sostenere puntualmente gli scivolamenti superficiali. Sulle soglie agiscono le forze di pressione (sforzi di compressione) del potenziale corpo della frana (forze motrici dedotti la resistenza al taglio del piano di scivolamento e del cuneo di terreno tra la soglia e il fronte della massa franosa) che vengono trasmesse nel sottosuolo attraverso l'ancoraggio. La resistenza massima che ha un effetto stabilizzante parallelo al pendio corrisponde alla forza di compressione passiva del terreno. [48] Le fondazioni (ancoraggi o tasselli) trasmettono parte delle forze di resistenza sotto trazione oppure taglio/curvatura nel sottosuolo stabile. La forza di compressione passiva massima del terreno può servire quale criterio per il dimensionamento della distanza tra le soglie. Le forze di compressione laterale degli strati instabili del terreno (proporzionali alla distanza tra le soglie) devono essere inferiori alla componente parallela al pendio della forza di pressione passiva del terreno (cfr. immagine 18).

È possibile che si creino fessure dovute all'assestamento del materiale terroso se il medesimo non viene rinforzato tra le soglie mediante opere d'ingegneria naturalistica. Questo potrebbe a sua volta favorire l'infiltrazione delle acque di deflusso superficiale e causare un aumento della pressione dell'acqua interstiziale (o una diminuzione della coesione apparente) nel corpo della frana, riducendo in tal modo l'effetto delle misure.

Per la costruzione di soglie ancorate si utilizza del tondame grezzo con una lunghezza di 3–5 m e un diametro minimo di 20 cm (cfr. immagine 19). Il tondame viene ancorato nel sottosuolo stabile mediante tasselli o cavi d'acciaio (ad es. ancoraggi a corpo morto o ancoraggi per materiale sciolto) e ricoperto all'interno del corpo potenzialmente mobilizzabile. Il numero di ancoraggi dipende dalle dimensioni del tondame e dalla portanza della singola fondazione. Di regola il lavoro viene svolto dal basso verso l'alto, in questo modo è possibile utilizzare il materiale di scavo della soglia superiore per ricoprire quella inferiore. Questa misura è particolarmente vantaggiosa nei terreni ripidi e poco accessibili.

Immagine 18

Schema dell'effetto delle soglie di legno contro gli scivolamenti superficiali (area tratteggiata) che attivano la spinta del terreno passiva in corrispondenza della soglia.



### 5.3.2 Grate in legno su scarpata

Le grate su scarpata sono costruzioni a forma di griglia che aumentano la rigidità di una massa potenzialmente mobilizzabile, stabilizzano il pendio distribuendo le forze di compressione al piede del pendio. Per svolgere questa funzione, le grate su scarpata vanno integrate all'interno della massa potenzialmente mobilizzabile e non posizionate unicamente in superficie. Questo tipo di misure non è adatto per stabilizzare scivolamenti rotazionali o movimenti profondi. Le grate su scarpata sono spesso realizzate a complemento di palificate in legno per trasmettere le forze di compressione sulla superficie e trasferirle selettivamente al piede del pendio o nel sottosuolo stabile.



Immagine 19 (a sinistra)  
Costruzione di soglie  
in legno con ancoraggio  
posteriore per la stabiliz-  
zazione di un pendio.



Immagine 20 (a destra)  
Costruzione di una grata  
in legno su scarpata per  
la stabilizzazione di  
un pendio.

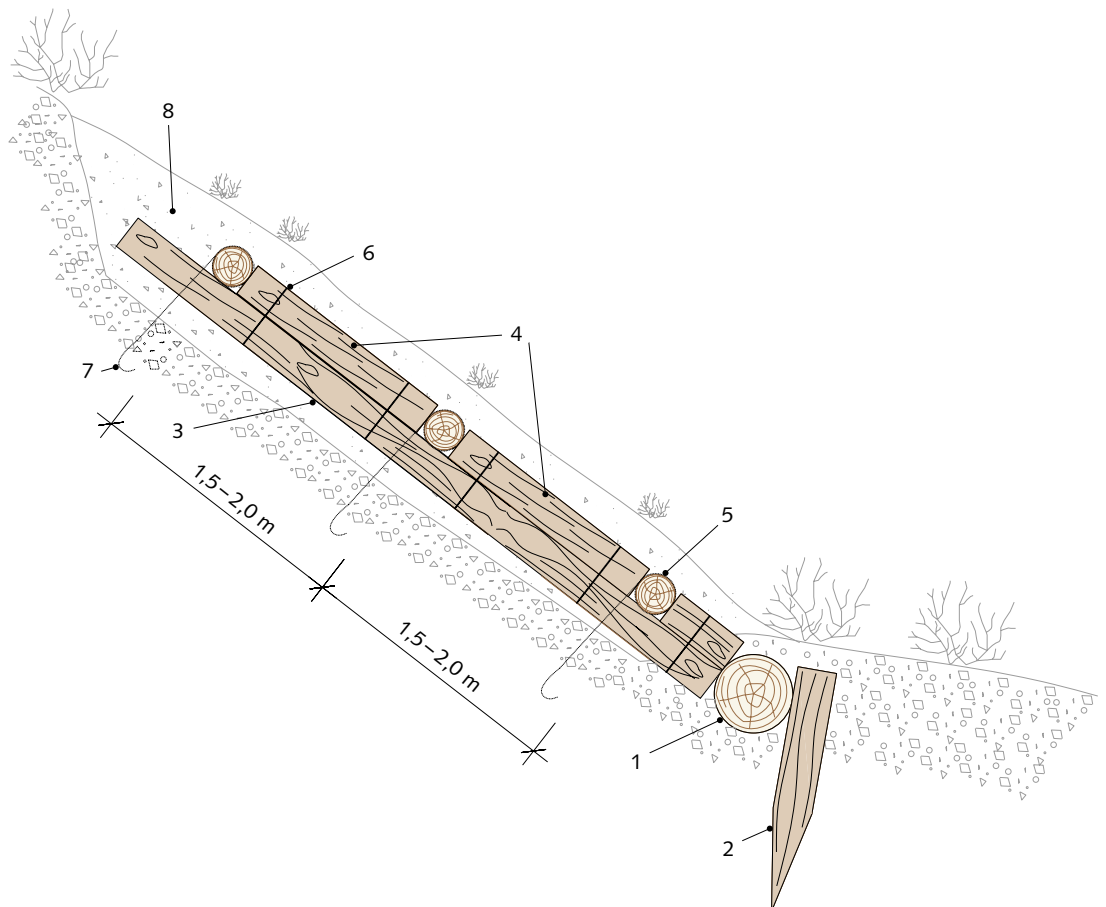


La costruzione è realizzata con materiale vivo, ad es. salice (per dimensioni minori [49]), o secco, con diametri di ca. 10–30 cm (cfr. immagine 20). È anche possibile inserire tronchi conici (con diametri decrescenti) nella linea di pendenza, con il diametro maggiorato al piede del pendio.

La distanza tra le traverse di tondate longitudinali e quelli trasversali dovrebbe essere di 1,5–2 m (massimo 3 m). Le traverse sono sostenute da tondi corti nella linea di pendenza (elemento longitudinale superiore).

Immagine 21  
Schema di una grata  
in legno su scarpata.

- 1 Soglia di fondazione  
d = ca. 400 mm
- 2 Montante,  
d = ca. 200 mm,  
Lunghezza  
ca. 1,0–1,5 m
- 3 Tondame longitudinale  
inferiore, passante,  
distanza  
a = 1,5–2,0 m,  
d = ca. 200–300 mm
- 4 Tondo longitudinale  
superiore, interrotto,  
d = ca. 200 mm
- 5 Traverse trasversali  
passanti,  
d = ca. 200 mm
- 6 Ferri d'armatura,  
d = 12–18 mm
- 7 Ancoraggio posteriore  
L = 1,5–3,0 m
- 8 Strato di copertura



A dipendenza dello spessore della massa potenzialmente mobilizzabile, possono essere posati diversi strati di traverse di tondame longitudinali e trasversali (di regola sono 2 strati) (cfr. immagine 21). Durante la costruzione si può mettere a dimora degli strati di arbusti durante il riempimento con materiale terroso oppure si possono utilizzare talee e/o sementi; se è prevista la messa a dimora di quest'ultimi i lavori andrebbero eseguiti durante il periodo di quiescenza (da novembre a marzo). L'utilizzo di materiale vivo assicura contemporaneamente l'assunzione a lungo termine della funzione stabilizzante da parte delle radici e protegge rapidamente dall'erosione superficiale (vedi anche [50] e [51]).

Le grate in legno su scarpata con una lunghezza dello spigolo fino a circa 15 m e un buon supporto al piede possono essere costruite senza ancoraggio posteriore. In presenza di scarpate più lunghe o ripide (> angolo d'attrito del materiale terroso da cui deriva la spinta attiva del terreno), la griglia di protezione dev'essere fissata nel sottosuolo stabile mediante tasselli, ferri d'armatura o ancoraggi (ad es. ancoraggi ad espansione, a ribalta su barre d'acciaio o cavi d'acciaio). Le grate su scarpata non dovrebbero essere costruite in presenza di pendenze superiori a 60°; in particolare nel caso di scarpate ripide, il materiale di riempimento dev'essere ben stabilizzato usando di preferenza materiale vivo (talee o radici nude) o eccezionalmente geotessili. L'assenza dell'ancoraggio posteriore, la sovrapposizione insufficiente delle traverse e la scarsa protezione del piede sono le cause principali dei danni creati a questo tipo di costruzioni in legno.

### 5.3.3 Palificate in legno (cassoni)

Le palificate in legno sono idonee alla messa in sicurezza puntuale di pendii e scarpate e per il ripristino di danni puntuali. Il principio fondamentale della costruzione di palificate è il medesimo del consolidamento degli alvei; anche in questo caso si distingue tra la costruzione a parete semplice e parete doppia (vedi immagine 35). Le palificate a parete semplice sono suscettibili al ribaltamento e vengono utilizzate per costruzioni fino a ca. 1–2 m d'altezza; è importante assicurarsi che le pinze siano ben ancorate al terreno. Le palificate a parete doppia dovrebbero avere un'altezza massima di 5 m. [52]

Questa tipologia di costruzioni agisce sia contro la spinta attiva del terreno (scarpate ripide) sia quale stabilizzatore puntuale di movimenti superficiali (pressione di scorrimento) in particolare se combinata con le grate. La funzione delle palificate consi-

ste nel trasferire le forze che agiscono a monte delle fondazioni nel sottosuolo stabile o nelle aree laterali stabili.

Il tondame ed il materiale di riempimento formano una struttura composita e, dal punto di vista statico, un corpo pesante relativamente stabile; la verifica della sicurezza strutturale esterna viene eseguita di conseguenza. La verifica della sicurezza strutturale interna viceversa è complessa e non viene eseguita mediante calcolazione. Vengono applicate regole di progettazione di base, fondate sull'esperienza. L'effetto della pressione dell'acqua interstiziale dev'essere eliminato completamente attraverso il drenaggio. Queste costruzioni agiscono tramite il proprio peso (diga a gravità) o in combinazione con gli ancoraggi. È importante considerare che il peso aggiuntivo dell'opera non provochi un cedimento della fondazione o instabilità profonde. Le palificate dovrebbero essere inserite lateralmente fino a legarsi con il terreno stabile.

La costruzione è costituita da traverse di tondame longitudinali (posati parallelamente al pendio o alla curva di livello) e da pinze perpendicolari alle traverse longitudinali. Le pinze possono essere disposte una sopra l'altra o alternate, con distanze variabili 1–3 m. La disposizione alternata delle pinze garantisce una maggiore rigidità della struttura. Il diametro degli elementi di costruzione dovrebbe essere scelto in modo che il decadimento dei singoli elementi non comprometta l'efficienza funzionale della struttura e che siano soddisfatti i criteri di sicurezza strutturale interna (tensioni di trazione, di compressione e di compressione trasversale, vedi norma SIA 265 [38]). Laddove possibile si dovrebbero utilizzare diametri >25 cm per aumentare la durabilità della costruzione. [22]

I corsi di tondame longitudinali dovrebbero avere la maggior lunghezza possibile per ridurre i giunti e di riflesso i punti deboli della costruzione. La distanza tra le traverse longitudinali non dovrebbe superare i 3 m. Per ridurre la deformazione della costruzione dovuta alla decomposizione del legno, l'alburno può essere rimosso presso il punto di contatto tra le traverse longitudinali e pinze favorendo il contatto di appoggio sul durame. È preferibile il giunto di testa tra le traverse longitudinali (cfr. immagine 22) in quanto più durevole e semplice da costruire. L'appoggio sulle pinze a una distanza massima di 0,75 m da ogni lato del giunto è importante; può essere effettuato anche tramite cambre di ferro (diametro 10–20 mm) o con un raddoppio a vite. [15] Il collegamento con una sovrapposizione degli strati è complesso e sensibile alla decomposizione del legno.

Immagine 22  
Schema del raccordo delle  
traverse longitudinali.

**A** Congiunzione  
con sovrapposizione  
(non consigliata)

**B** Giunto di testa

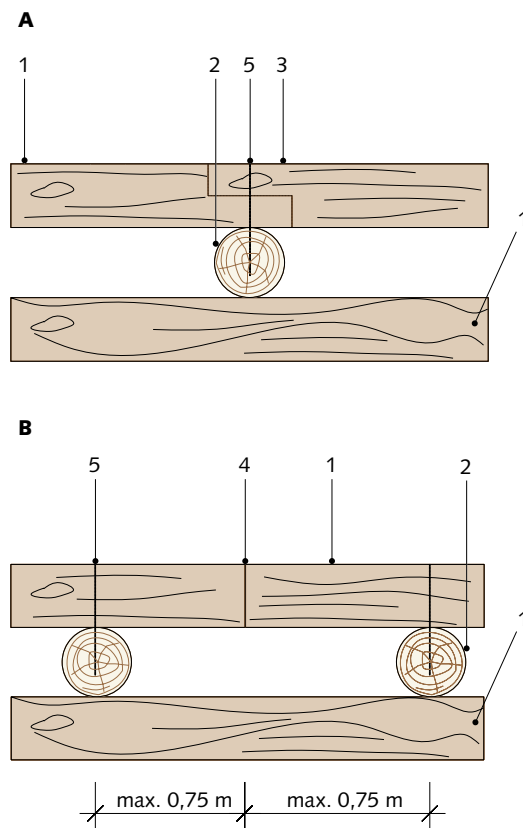
1 Traverse longitudinali

2 Pinze

3 Sovrapposizione

4 Giunto di testa  
smussato

5 Ferri d'armatura  
o chiodi

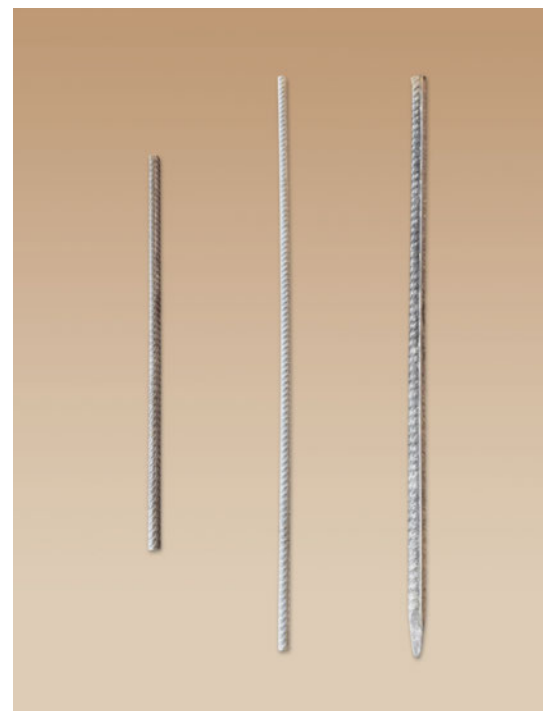
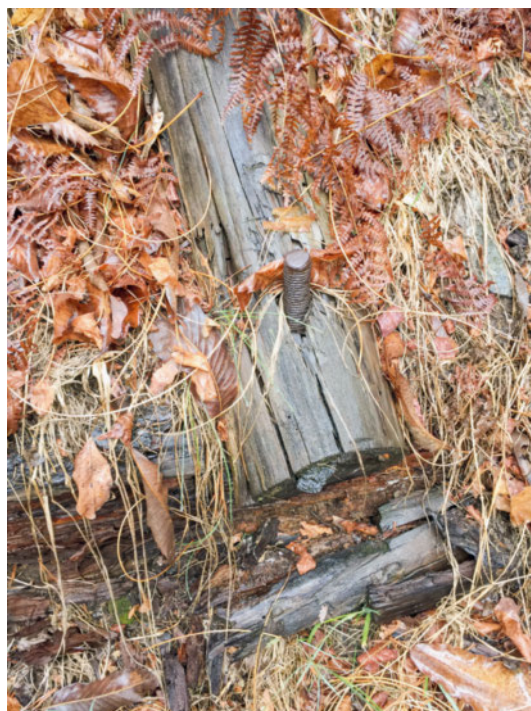


I raccordi tra i corsi longitudinali e le pinze sono di regola realizzati con ferri d'armatura (acciaio d'armatura B500B, cfr. immagine 23), con diametro di 12–18 mm e una lunghezza superiore al doppio del diametro del tondame utilizzato. Questi raccordi di collegamento sono particolarmente sensibili ai processi di decomposizione del legno. Il rilascio di ferro dai ferri d'armatura favorisce la crescita di funghi [22], pertanto si raccomanda l'uso di chiodi zincati (cfr. immagine 24). [20] Per ridurre i danni nel legno si consiglia anche di svasare i fori di infissione dei chiodi. Il diametro di perforazione dovrebbe essere inferiore al diametro dei ferri d'armatura per garantire un sufficiente attrito e tenuta laterale. L'attrito tra il legno e ferro durante l'infissione può essere attenuato immergendo gli stessi in olio biodegradabile. Senza svasatura, i ferri d'armatura appuntiti si espandono spesso verso l'esterno attraverso gli anelli annuali e il legno si spacca facilmente.

Il dimensionamento della costruzione deve soddisfare la sicurezza esterna contro la pressione di scorrimento o la spinta attiva del terreno (sicurezza contro il ribaltamento, lo scorrimento e il cedimento del terreno secondo le norme SIA 260, 261, 267), nonché i criteri di sicurezza strutturale interna (norma SIA 265). L'efficienza funzionale è garantita dall'uso di diametri del tondame sufficientemente dimensionati.

Immagine 23 (a sinistra)  
Collegamento fra le pinze  
e le traverse longitudinali  
con ferri d'armatura.

Immagine 24 (a destra)  
Chiodi grezzi e zincati.  
Anche per i chiodi  
appuntiti andrebbe  
eseguita una svasatura.



Durante l'esecuzione dei lavori, la fondazione viene scavata fino al sottosuolo stabile con l'ausilio di un escavatore. Di seguito in presenza di scavi profondi durante la costruzione, la scarpata dev'essere temporaneamente messa in sicurezza (ad es. con protezioni fisiche quali griglie metalliche o simili). Dapprima viene posata il corso inferiore di traverse di tondame longitudinali; a dipendenza delle esigenze il livello della fondazione può essere inclinato sul retro (verso monte) di ca. 5–15° per aumentare la sicurezza contro lo scivolamento della costruzione. Se il sottosuolo della fondazione non è sufficientemente stabile, il corso inferiore può essere ancorato (ad es. con ancoraggi a ribalta o a corpo morto) o stabilizzato con spezzoni di ferro (ad es. binari ferroviari) infissi nel terreno. [20]

È importante assicurarsi che la struttura sia ben drenata.

Il drenaggio viene garantito impiegando materiale di riempimento permeabile o inserendo un tubo di drenaggio a tergo del primo corso interno delle traverse di tondame longitudinale. Al termine della messa in opera di un corso di traverse longitudinali e di pinze, il materiale di riempimento viene compattato oppure, nel caso fossero inserite talee o piante a radice nuda, semplicemente pressato.

Se il materiale di riempimento tende a erodersi, lo spazio tra le traverse longitudinali va chiuso dall'interno con sassi (cfr. immagini 25 e 27) o con legname di riempimento (cfr. immagine 26); è possibile usare anche geotessili o stuoie. Le testate esterne delle pinze possono essere segate all'estremità con almeno 20 cm di sporgenza dalle traverse longitudinali per evitare spaccature.

Immagine 25 (a sinistra)  
Riempimento con sassi  
facciavista.



Immagine 26 (a destra)  
Riempimento  
con legname.



Viene utilizzato tondame fresco e dev'essere mantenuto umido. L'ombreggiamento di piante può favorire il prolungamento della durabilità. L'effetto della copertura dipende molto dalla tipologia e dalla permeabilità del terreno; nei terreni argillosi, dove le palificate sono installate in condizioni di sottovuoto, il legno può durare molto a lungo (oltre 100 anni). In queste condizioni non si riscontra un effetto complementare delle radici negli orizzonti più profondi del terreno.

Viceversa la messa in opera di palificate in orizzonti di terreno permeabili e biologicamente attivi favorisce la rapida decomposizione del legno. L'effetto della vegetazione assume efficacemente la funzione di stabilizzazione. In presenza di palificate scoperte nel medio periodo occorre prevedere alcuni segni di decadimento.

Il grande vantaggio delle palificate è l'elasticità del corpo dell'opera che può adattarsi alle deformazioni dei pendii e ai processi di assestamento. Il minor peso rispetto alla costruzione in calcestruzzo o pietra riduce il rischio di cedimento della fondazione. Le palificate sono economicamente vantaggiose rispetto alle costruzioni classiche in calcestruzzo, per merito dell'utilizzo di materiale locale (cfr. capitolo 8). La logistica di cantiere è semplificata e con costi limitati rispetto ad altri tipi di costruzione; l'esperienza di una squadra di maestranze locali che esegue i lavori è un fattore decisivo. Altro vantaggio di queste costruzioni è che non occorre smantellarle.

Immagine 27  
Esempio di palificata  
in legno di ca. 30 anni  
con riempimento di sassi,  
utilizzata per stabilizzare  
una scarpata lungo  
una strada.



#### 5.4 Limiti nell'impiego delle opere in legno

I limiti nell'impiego del legno per opere di stabilizzazione dei pendii sono legati principalmente ad aspetti strutturali, efficienza funzionale e durabilità.

In merito alla sicurezza strutturale, i limiti di costruzione sono dati da quella interna ed esterna. Per quella interna delle palificate in legno occorre prestare attenzione alla tensione di compressione trasversale nella zona dei raccordi tra le traverse di tondate longitudinali e le pinze. In questo caso la resistenza alla compressione ammessa perpendicolarmente alla direzione delle fibre del legno può risultare un fattore limitante in relazione all'altezza del manufatto. Un altro aspetto che limita la sicurezza strutturale interna delle opere di legno (ad es. le palificate) è il carico lineare rispettivamente il carico esercitato dalla pressione del materiale di riempimento (ad es. la spinta d'inerzia dovuta al riempimento del terreno) che sollecita la sicurezza strutturale sia all'interno degli elementi di legno sia nei raccordi tra le componenti. In merito alla sicurezza strutturale esterna va significato che le costruzioni in legno hanno un peso proprio inferiore rispetto alle opere in calcestruzzo. Questo aspetto può essere limitante laddove vi è l'esigenza di opere che devono essere stabili unicamente per gravità (ad es. i muri di sostegno).

Altro fattore limitante è la pendenza del terreno che rende complessa la costruzione delle opere di sostegno in legno a causa dell'elevato volume di scavo necessario per le fondazioni. In questo caso è possibile ricorrere a soluzioni che prevedano un ancoraggio posteriore.

L'efficienza funzionale di alcune opere è definita dalle deformazioni che possono subire a causa di sollecitazioni esterne o del loro stesso peso. In presenza di opere in legno per la stabilizzazione dei pendii, di regola le deformazioni non sono problematiche. Viceversa nel caso di costruzioni impiegate per la stabilizzazione delle scarpate lungo i sentieri o strade forestali (cfr. immagine 28), queste deformazioni possono limitarne la funzionalità (in particolare per le opere a valle esposte a elevati carichi dovuti ai trasporti).

Come menzionato nel capitolo 2, la durabilità del legno dipende da molti fattori e dev'essere valutata per singolo caso; considerando le incertezze nel prevederne lo sviluppo, è importante pianificare un'ispezione e una manutenzione delle opere così come combinare in forma complementare la costruzione con misure d'ingegneria naturalistica. In generale si presume che le costruzioni di legno implementate per il risanamento dei pendii abbiano una durata d'impiego di 10–30 anni. Le immagini 29 e 30 mostrano una palificata in legno di ca. 30 anni che ha raggiunto il limite d'utilizzo; il legno è in parte marcescente e in parte compresso dal suo stesso peso. La vegetazione non è sufficiente per garantire la funzione meccanica.

Sussistono dei limiti legati alla manutenzione; più complesse sono le condizioni, maggiori saranno i lavori di manutenzione che andranno svolti su diversi anni con intensità esponenziale.

Immagine 28  
Stabilizzazione del pendio di una strada forestale.



Immagine 29 (a sinistra)  
Palificata a parete doppia  
con carenze nella  
sicurezza strutturale dopo  
ca. 30 anni. Probabilmen-  
te una diversa conforma-  
zione e una piantumazio-  
ne avrebbero portato  
a risultati migliori.



Immagine 30 (a destra)  
Corsi trasversali  
di tondame marcescente  
e compresso delle pinze  
della palificata.



### 5.5 Effetti complementari delle misure d'ingegneria naturalistica

A causa della durabilità limitata, le costruzioni in legno sono generalmente da intendersi quali misure temporanee per le opere di stabilizzazione dei pendii. Le funzioni di queste opere possono essere compensate dall'aggiunta di vegetazione. Al termine dei lavori (nel caso di inerbimento), la copertura vegetale riduce notevolmente l'effetto erosivo delle gocce di pioggia (erosione da impatto). La formazione di apparati radicali superficiali (a pochi centimetri di profondità) garantisce una maggiore stabilità delle particelle del terreno (protezione contro l'erosione laminare e di ruscellamento).

L'aumento della scabrosità dovuto alla vegetazione riduce la velocità del deflusso e favorisce l'infiltrazione dell'acqua, che a sua volta facilita l'insediamento di altra vegetazione. Tutti questi effetti riducono l'erosione superficiale e di burronamento (vedi capitolo 4). L'immagine 31 mostra l'evoluzione temporale della vegetazione su di un pendio stabilizzato con opere in legno per la protezione dall'erosione superficiale e di burronamento (terrazzamenti, canalette di drenaggio, briglie di legno).

Immagine 31  
Evoluzione temporale  
della vegetazione su di  
un pendio stabilizzato  
con legname ad Ariesch-  
bach GR.  
A sinistra: 1998, al centro:  
2005, a destra: 2017.



La crescita nel tempo di arbusti e piante favorisce esponenzialmente gli effetti meccanici della vegetazione; la dinamica del rinforzo radicale è molto importante per la stabilizzazione degli scivolamenti superficiali. Le dinamiche del rinforzo radicale variano a dipendenza delle stazioni e delle specie arboree; nell'arco di 20–30 anni presso le stazioni più favorevoli possono assumere una funzione stabilizzante delle grate su scarpata o delle palificate. [53] L'interazione tra la diminuzione della funzione dell'opera in legno e l'aumento dell'effetto dell'apparato radicale è illustrata concettualmente nell'immagine 32 che mostra come la durata della funzione sia influenzata dal dimensionamento delle costruzioni in legno (diametro e distanza tra i corsi di tondame longitudinali e specie legnose). Al contempo, la crescita e la struttura della vegetazione determinano l'aumento del rinforzo radicale.

Quantificare l'evoluzione temporale del rinforzo radicale è un parametro importante nelle misure d'ingegneria naturalistica atte a valutare la funzionalità a lungo termine delle opere di stabilizzazione dei pendii così come per l'analisi quantitativa dei costi e dei benefici. [54]

L'effetto sul bilancio idrico della vegetazione ha un influsso stabilizzante in molti processi inerenti i pendii, ne beneficiano l'evapotraspirazione (l'aumento della coesione apparente durante i periodi di siccità) e la formazione di vie di scorrimento preferenziali parallele al pendio (analogamente alle fascine). La scelta delle specie arboree può influenzare le condizioni chimiche del terreno; in particolare la composizione del materiale di spargimento determina l'attività biologica nel terreno e pertanto il controllo dei processi di formazione del suolo, con ricadute positive sulla stabilità dei pendii.

Immagine 32  
Rappresentazione concettuale dell'interazione temporale delle opere di legno (decescente) con il rinforzo delle radici (crescente).

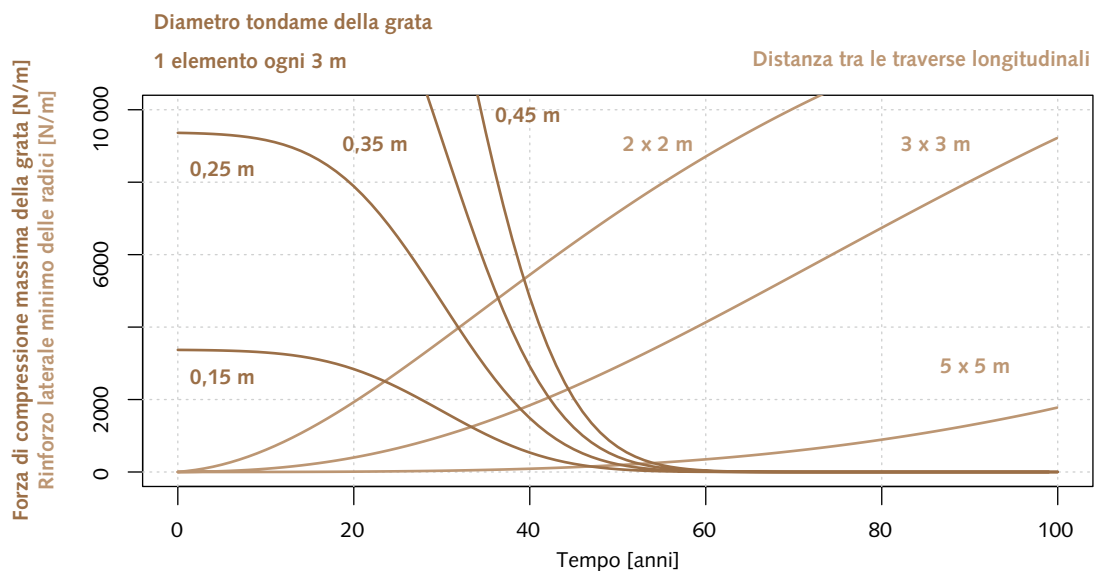


Foto 2011 (a sinistra)  
Costruzione di una grata in legno su scarpata con un diametro medio del tondame di 15 cm e uno spazio tra le traverse orizzontali di 2 x 2 m.



Foto 2015 (a destra)  
Sviluppo della vegetazione dopo 4 anni.



La stima della profondità di radicazione è spesso un aspetto determinante per l'impiego efficace a lungo termine delle misure d'ingegneria naturalistica. Generalmente dipende dalle specie arboree, dal tipo di terreno e dal clima. Un fattore importante per lo sviluppo dell'apparato radicale è la variazione temporale del contenuto idrico del terreno. [55] Nei terreni permeabili le radici possono raggiungere diversi metri di profondità se gli orizzonti in prossimità della superficie rimangono asciutti. Viceversa quando gli orizzonti superficiali sono umidi tendono a svilupparsi apparati radicali poco profondi. Gli orizzonti del suolo costantemente saturi e argillosi sono limitanti per la crescita delle radici (terreni gley e pseudogley). In questi terreni le palificate in legno ricoperte possono durare a lungo (fino a 100 anni, vedi anche il capitolo 2) malgrado le radici non riescano a svolgere appieno la loro funzione.

Nelle costruzioni che stabilizzano i primi 1–2 m di profondità in un terreno permeabile, la durabilità del legno si riduce notevolmente mentre in presenza di condizioni idonee, l'azione della vegetazione può assumere facilmente la funzione stabilizzante. Le proprietà chimiche del terreno (ad es. il pH), le condizioni di luce e la neve sono altri fattori che possono determinare l'insediamento della vegetazione. Occorre prevedere anche i danni causati dalla morsicatura da selvaggina e limitarla con misure aggiuntive (ad es. recinzioni). Altresì occorre considerare l'influenza delle neofite invasive con misure nell'ambito della costruzione e nella successiva manutenzione (ad es. il rimboschimento con specie arboree competitive e/o l'eliminazione di specie arboree sfavorevoli).



## 6 Il legno nelle opere torrentizie

Il legno viene impiegato in opere torrentizie soprattutto quale tondame per la protezione dell'alveo (opere trasversali) e per i consolidamenti degli spondali (opere longitudinali).

### 6.1 Processi ed effetti

Le strutture trasversali e orizzontali contro le erosioni dei processi di flusso nei torrenti e nei fiumi (vedi capitolo 6.2) sono sollecitate dalla pressione del terreno e dell'acqua. In presenza di opere di sbarramento, le pressioni derivate dell'acqua vanno dal bordo inferiore della struttura fino alla superficie del livello dell'acqua. Le pressioni statiche dell'acqua possono essere ridotte in quanto le briglie in legno hanno una struttura permeabile. Sulle ali che sporgono ai lati dell'alveo del torrente adiacenti la sezione di deflusso si verificano pressioni dinamiche dell'acqua sull'insieme delle parti di scorrimento. Le entità delle pressioni dell'acqua in alveo dipendono dall'altezza del flusso, dalla densità del processo di flusso e dalla velocità.

Per la definizione standardizzata delle caratteristiche di deflusso (processo di flusso) vengono distinti tre [56] gruppi di processo (alluvione, trasporto solido e flusso detritico), vedi tabella 3.; per i parametri citati si tratta di valori indicativi. Gli scarichi di deflusso della piena possono verificarsi su tutte le pendenze dell'alveo; di regola sono frequenti nei

tratti di torrente meno inclinati (con pendenza dell'alveo inferiore al 2%). Nei tratti più ripidi dei corsi d'acqua (per lo più nei torrenti) si verificano processi di flusso con una maggiore percentuale di solidi, pertanto non unicamente il volume d'acqua esistente bensì anche il materiale solido potenzialmente mobilizzabile (erosione dell'alveo, cedimento spondali, scivolamento di masse, ecc.); questi fattori determinano il processo di calcolazione. Quest'ultimo può essere determinato unicamente attraverso un'analisi dettagliata del bacino imbrifero del torrente. Le velocità di flusso per il calcolo delle pressioni dinamiche dell'acqua sono ricavate dalle simulazioni di deflusso. A titolo indicativo con velocità fino a 2 m/s si verificano delle piene nei tratti di torrente con pendenza dell'alveo inferiore al 2%; nei tratti di torrente più ripidi (fino al 10%), sono possibili velocità medie di flusso fino a 5 m/s. Dettagli sugli effetti e sulla procedura per la calcolazione delle briglie in legno sono disponibili alle fonti [57], [58], [32] e [40].

Tabella 3  
Gruppi standardizzati dei processi di flusso e parametri principali secondo [56] e [33].

Parametro del processo	Processo di flusso				
	Alluvione	Trasporto solido		Flusso detritico	
		fluviale	Tipo colata	pietroso	fangoso
Densità $\rho$ , in kg/m <sup>3</sup>	1000	1000-1300	1300-1700	1700-2000	2000-2300
Velocità media in base al processo ( $v$ , in m/s)	Definizione in base al modello idraulico da 0 a 5		3-5	3-6	5-10

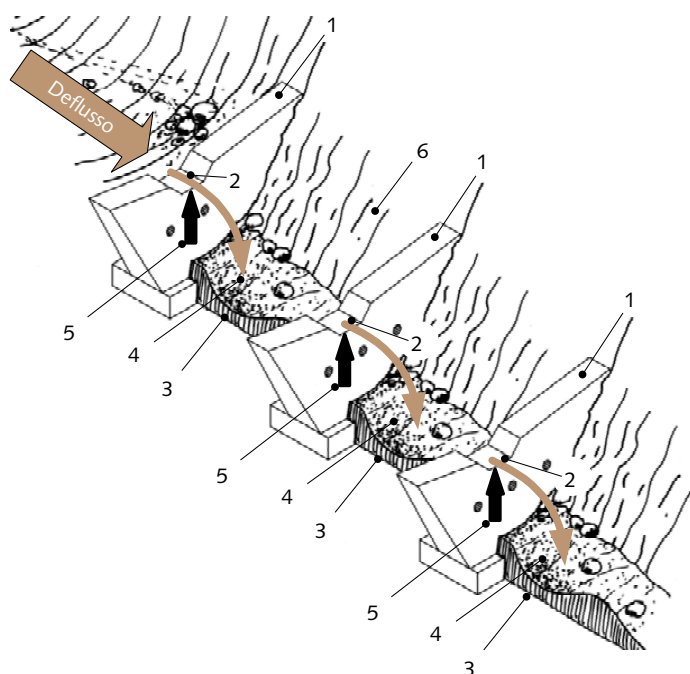
## 6.2 Panoramica e funzioni delle opere di sbarramento

Le opere di sbarramento (opere trasversali) svolgono una funzione di stabilizzazione/consolidamento (vedi [56]). La stabilizzazione comprende tutte le misure utili a consolidare l'alveo e le sponde (compreso anche i pendii laterali) nella loro condizione originale e a proteggerli dall'erosione spondale e da quella profonda (figura 33 e figura 43). Abbassando l'alveo del torrente con delle briglie, si riduce la pendenza dell'alveo e si formano delle cadute libere (balzi a cascata); questo comporta una riduzione della velocità del flusso e una riduzione dell'energia del processo di flusso.

Di riflesso viene associata una riduzione della capacità di trasporto che contribuisce a limitare le erosioni e il volume dei solidi trasportati al deposito temporaneo (sedimentazione). Le regolarità date dalle strutture influenzano l'angolo di accumulo (cfr. immagine 34). Parallelamente se si migliora la stabilità dei pendii laterali innalzando l'alveo del canale per mezzo di briglie, si ottiene un consolidamento. Le briglie in legno possono essere impiegate per il deflusso delle piene e tramite una struttura adeguata anche per il trasporto fluviale di masse solide.

Immagine 33  
Schema tipo di una gradonata di briglie con funzione di consolidamento.

- 1 Opera trasversale (sbarramento)
- 2 Caduta libera
- 3 Gorgo
- 4 Riduzione d'energia
- 5 Quota di riferimento dell'alveo
- 6 Stabilizzazione delle sponde



## 6.3 Costruzione e impiego delle opere di sbarramento in legno

### 6.3.1 Regole di costruzione generali per le briglie in legno

Le briglie in legno (opere trasversali) devono essere disposte nel limite del possibile ad angolo retto rispetto alla direzione del flusso. Le sezioni di deflusso vanno calcolate a livello idraulico per i valori previsti a progetto. Per motivi di stabilità, l'acqua non deve tracimare sulle ali della briglia oltre il deflusso calcolato a progetto. Al fine di scongiurare tale pericolo [56], si raccomanda che la corona delle ali sia ricoperta per almeno il 10% in presenza di piene con trasporto di materiale solido e di almeno il 15% in presenza di trasporto di materiale fangoso. La corona non dev'essere inferiore alla pendenza

massima di compensazione nella sezione del torrente considerata.

Di regola le briglie in legno sono posate a gradonate (cfr. immagine 33 e 43). Tra le briglie in legno posate a gradonata si ottiene una pendenza minore rispetto alla pendenza originale del torrente prima degli interventi. La pendenza di compensazione dipende dalla composizione granulometrica dell'alveo e dal tipo di processo di flusso; la pendenza di compensazione può essere calcolata secondo [32], pag. 32 e seguenti.

Quando si progetta una sistemazione a gradonata (cfr. immagine 34) è necessario trovare un compromesso tra l'altezza della briglia  $H_b$  e la distanza tra le

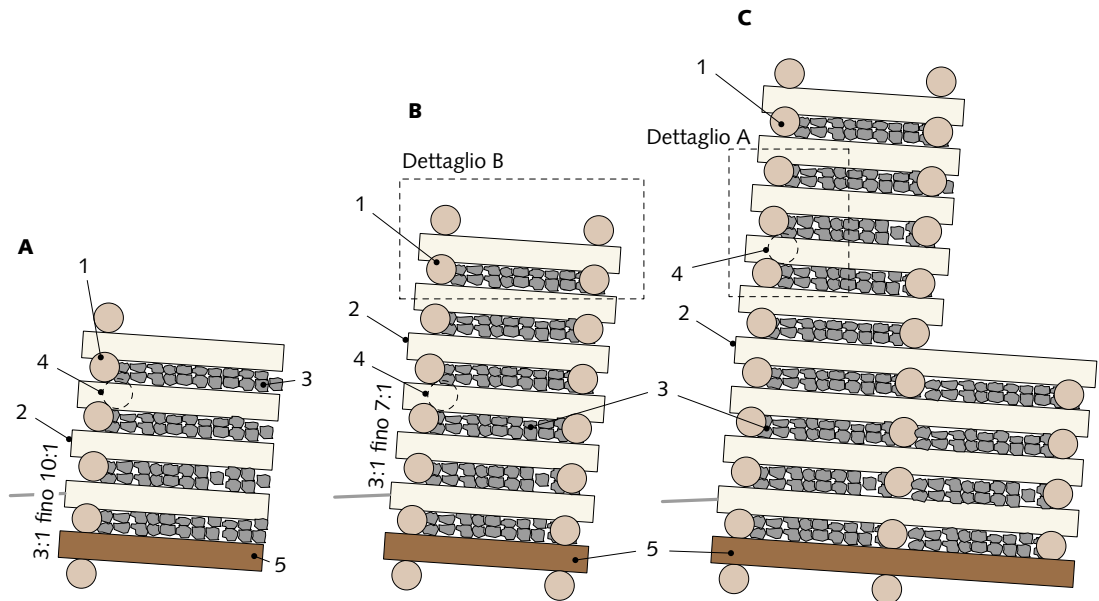


Immagine 35  
Tipologie di palificate  
in legno.

- A** a parete semplice  
**B** a parete doppia  
**C** a parete tripla

Dettaglio A  
v. immagine 36,  
dettaglio B  
v. immagine 41

- 1 Tondame longitudinale  
2 Pinza (tondo  
trasversale)  
3 Riempimento  
4 Tamponamento  
5 Base di tondame



Le congiunzioni del tondame longitudinale vanno realizzate nella forma più semplice possibile (cfr. immagine 22). In prossimità delle congiunzioni è consigliabile inserire una pinza a sinistra e a destra. Nelle briglie in legno [32], le pinze dovrebbero essere disposte una sopra l'altra perpendicolarmente perlomeno nella zona della sezione di scarico; in tal modo viene ridotta al minimo la superficie esposta in presenza di caduta sassi (cfr. immagine 37).

A dipendenza del numero dei corsi di tondame longitudinale occorre optare tra palificate a parete singola, parete doppia o a più pareti (cfr. immagine 35). Le altezze relative alle costruzioni in legno sono elencate al capitolo 6.5.

Le palificate a parete singola sono costituite da tondame longitudinale ancorato al suolo mediante delle pinze (cfr. immagine 35 A). Le briglie torrentizie vengono di regola realizzate con una pendenza della parete a vista fino a 10:1.

Le palificate a parete doppia sono costituite da due corsi paralleli di tondame longitudinale collegati tramite pinze (cfr. immagine 35 B). Le palificate con inclinazioni della parete a vista fino a 7:1 sono staticamente valide, vedi [32]; sia quelle a parete singola sia quelle a parete doppia hanno di regola una larghezza basale di 2 m e un'altezza allo spigolo inferiore della sezione di deflusso di 2-3 m. Opere con altezze maggiori si raggiungono per mezzo di palificate a parete tripla (cfr. immagine 35 C). Se si opta per inclinazioni tra 3:1 e 5:1 del lato a vista della briglia (quello a valle), grazie ai deflussi d'acqua si ottiene un'umidificazione ottimale della superficie che favorisce la durabilità.

La vista delle briglie a seconda del tipo di ali è rappresentata all'immagine 37; la stessa vale anche per tutte le tipologie di palificate descritte in precedenza. Di regola le briglie in legno vengono messe in opera lungo aste fluviali di difficile accesso grazie alla facilità con la quale si può trasportare il tondame. Lo sviluppo lineare di alcuni torrenti facilita l'uso di gru a cavo mobile che permette di servire contemporaneamente la costruzione di più briglie. Oggigiorno i lavori nei torrenti vengono effettuati con il supporto di escavatori tipo ragno con argano. Per merito dei tempi di costruzione ridotti le briglie in legno sono utilizzate anche quale misura urgente a seguito di eventi straordinari.

### 6.3.3 Fondazione

Le palificate in legno vanno messe in opera su un piano di posa ben livellato e portante, inclinato perpendicolarmente rispetto alla palificata, come riportato in [15]. Successivamente viene sistemato un primo corso di tondame longitudinale. Per legare al meglio la struttura e irrobustirla, si può posare un basamento di legname tondo nella zona di deflusso; quest'ultimo è composto da elementi sistemati uno a fianco dell'altro adagiati su un supporto longitudinale situato sul lato a vista. L'adattamento citato impedisce che il riempimento della palificata venga dilavato e riduce notevolmente il rischio di erosione interna. In presenza di un sottosuolo abbastanza coeso e di un materiale di riempimento argilloso/siliceo in combinazione con dei massi idonei, si può evitare la creazione della piattaforma di legname tondo nella zona di deflusso.

### 6.3.4 Consolidamento dell'alveo a valle di una briglia

Un piano di scorrimento scosceso che non offre sufficiente spazio per la creazione di una vasca a valle della briglia necessita di un consolidamento dell'alveo. In presenza di briglie in legno è usuale assicurare il fondo mediante massi da scogliera (cfr. immagine 38) o interventi equivalenti (cfr. immagine 43). Gli scavi laterali possono essere delimitati con opere di contenimento quali palificate (cfr. immagine 43) o da riempimenti mediante pietrame grezzo.

### 6.3.5 Riempimenti e tamponamenti

Una palificata in legno non riempita ha una rigidità limitata in quanto dal punto di vista statico, i giunti rappresentano gli snodi. La struttura acquisisce la rigidità necessaria unicamente dopo il riempimento delle cavità con pietrame grezzo e, se idoneo, con il materiale di scavo. Idealmente le possibili vie di flusso attraverso la briglia vengono sigillate mediante materiale di terra argillosa. Nel caso sussista il rischio che la palificata venga dilavata e trascinata a valle, gli interstizi possono essere sigillati inserendo una corda in lana di pecora. Il tamponamento di una palificata può essere realizzato mediante tondi di legno adattati o pietrame (cfr. immagine 36 e 38). Il vantaggio di un tamponamento con pietrame consiste nella maggiore rigidità e durata nel tempo.

I blocchi di pietrame vengono inseriti negli interstizi fra i corsi di tondame longitudinale e le pinze in modo da rimanere assicurati all'interno e non poter fuoriuscire (cfr. immagine 36 A). Secondo [15], nel primo strato va inserito del pietrame con la dimensione idonea per incastrarsi nelle aperture da tamponare; nel secondo [secondo 15], sarebbe consigliato posarne una fila continua tipo muro a secco. Il tamponamento con blocchi di pietrame implica un lavoro manuale oneroso, pertanto, questa tecnica va implementata ponendo l'attenzione sui costi. Il tamponamento mediante elementi di legname tondo adattato parallelo a quelli longitudinali può essere eseguito in due diverse modalità (cfr. immagine 36 B, C e 38). Nella prima si utilizzano degli elementi di legname tondi aventi il medesimo diametro degli interstizi da tamponare (cfr. immagine 36 B) e inchiodati al tondame dei corsi longitudinali. Nella seconda si utilizzano degli elementi di legname tondo aventi un diametro maggiorato rispetto agli interstizi tamponandoli posteriormente dal lato interno della palificata (cfr. immagine 36 C). L'impegno per il fissaggio risulta inferiore ma occorre prestare attenzione a che gli elementi inseriti non si spostino a seguito dell'assestamento. Con l'ausilio di una corda in lana di pecora risulta agevole sigillare gli interstizi delle palificate riempite con materiale di granulometria fine. Un'ulteriore variante esecutiva è il tamponamento con elementi di legname tondo inseriti parallelamente alle pinze (cfr. immagine 36 D, «Sistema Gruyère»).

Immagine 36  
Tamponamento delle palificate. Dettaglio A dell'immagine 35.

- A** Tamponamento con pietrame
  - B e C** Variante con tamponamento mediante tondame
  - D** Tamponamento con tondi spaccati «Sistema Gruyère»
- 1 Tondame longitudinale
  - 2 Pinza (tondo trasversale)
  - 3 Pietrame (blocchi)
  - 4 Tondo posteriore
  - 5 Pietrame posato a secco
  - 6 Riempimento
  - 7 Tondi o semi-tondi spaccati

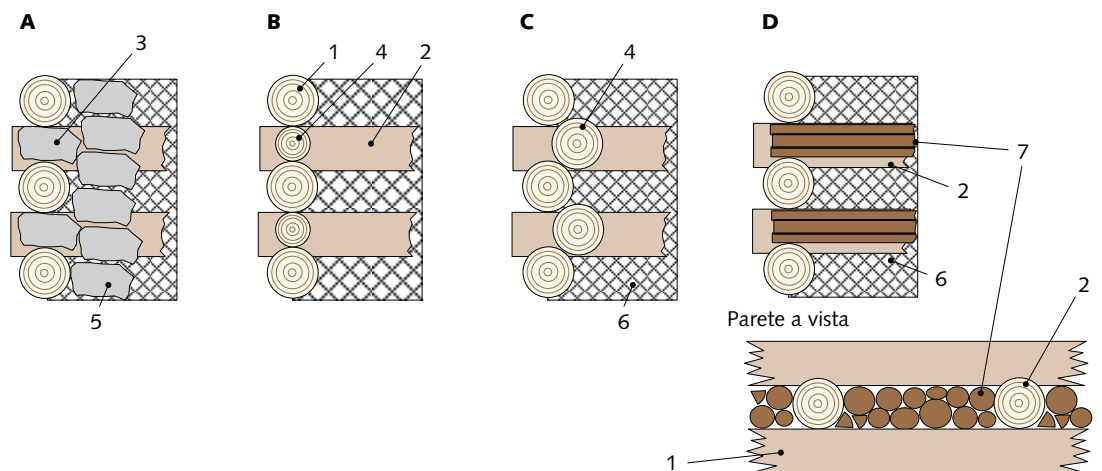
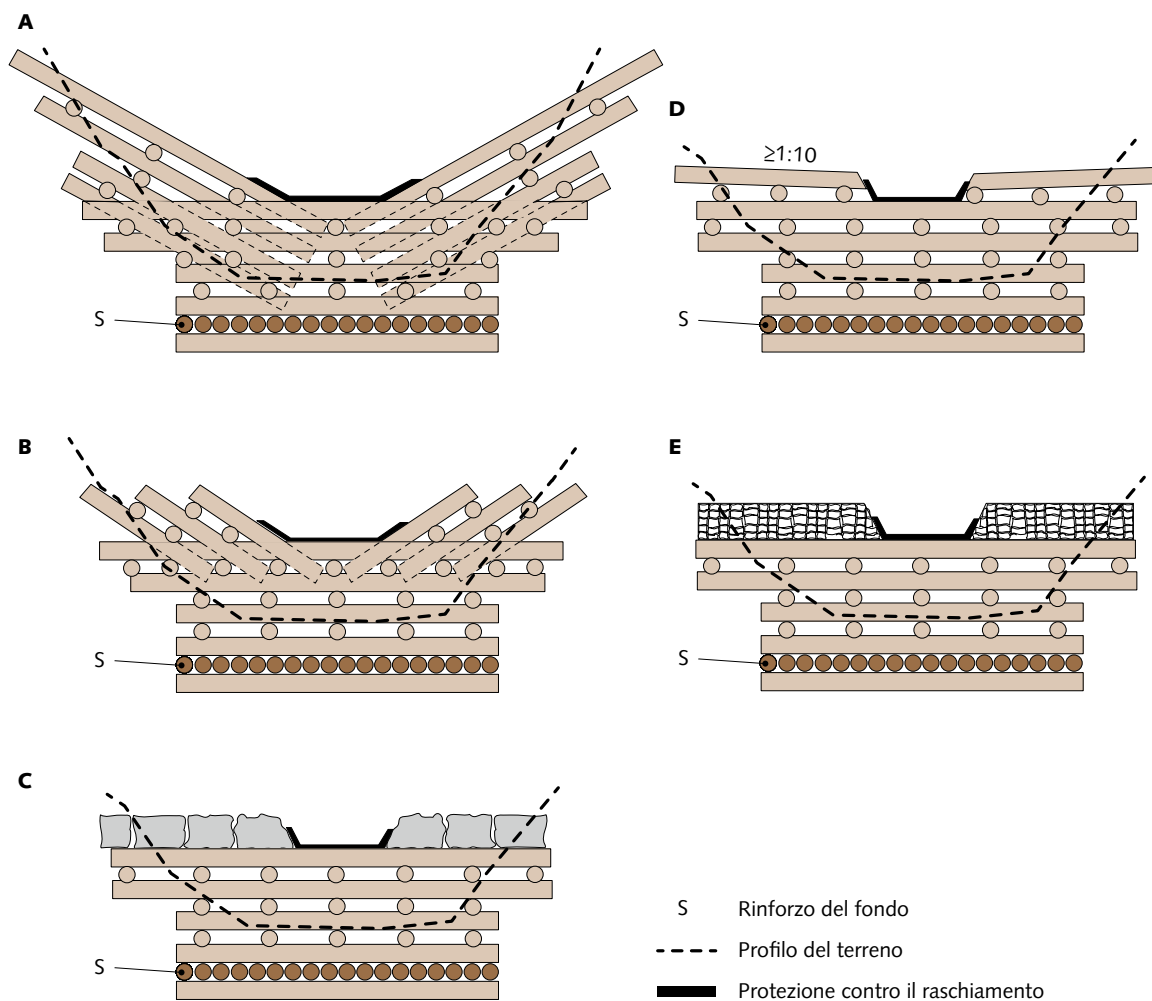


Immagine 37  
Conformazione delle ali  
di una briglia in legno.  
Schema delle pareti  
a vista delle briglie  
in legno.

- A e B** Ali ad incastro  
**C** Ali con blocchi  
**D** Ali in legno inclinate  
e orizzontali  
**E** Ali con gabbioni  
metallici



### 6.3.6 Ali delle briglie

Per dirigere il deflusso dell'acqua verso il centro del riale, è necessario creare una sezione di deflusso tramite la messa in opera delle ali della briglia (cfr. immagine 37); queste ultime possono essere realizzate con sistemi diversi.

Oggigiorno vengono realizzate soprattutto ali in legno, spesso costruite come palificate (cfr. immagine 37 A, B, D e immagine 39 A). Se si desidera aumentarne la resistenza, le ali possono venire ampliate verso monte; è altresì possibile una congiunzione con la briglia in legno precedente. Una maggiore resistenza al taglio si raggiunge mediante ali ad incastro (consigliata in presenza di corsi d'acqua fangosi); come indicato nell'immagine 37 B e 39 B, D. Gli elementi di legname tondo delle ali sono inseriti tra i corsi di tondame longitudinali e le pinze.

Nei riali più stretti le ali possono anche essere realizzate come indicato nell'immagine 37 D.

Per aumentare la durata delle strutture in legno nei punti di giunzione, le ali possono essere realizzate mediante gabbioni metallici (cfr. immagine 37 E) o con massi da scogliera (cfr. immagine 37 C e immagine 38). Va comunque preso in considerazione che entrambe le varianti potrebbero venir spinte a valle dalla corrente a causa del limitato legame con il corpo della briglia in legno.

Le ali della briglia risp. i corsi di tondame longitudinali vanno inseriti lateralmente nelle scarpate adiacenti per 1,2–1,5 m oppure 2 m in presenza di trasporto di materiale solido.

## Immagine 38

A sinistra: briglia in legno tipo palificata, ali con massi da scogliera e tamponamento mediante elementi tondi.

A destra: Consolidamento mediante massi da scogliera a valle della briglia in legno.



## Immagine 39

Esempi di briglie in Austria.

**A** Briglie in legno tipo palificate con ali inclinate

**B** Ali ad incastro

**C** Piattaforma di tondi compatta nella sezione di deflusso

**D** Briglie in legno a parete tripla



Le palificate in legno a parete tripla (cfr. immagine 39 D) sono strutture estreme da applicare in casi particolari; si opta per questa soluzione laddove i pendii adiacenti sono soggetti a scivolamento. Quando questi ultimi sono stabilizzati sull'arco di un periodo di circa 20–30 anni, si potrà realizzare una briglia in calcestruzzo.

L'impiego di tondame calibrato (cfr. immagine 39) è raro in Svizzera; i vantaggi di questo materiale sono la facilità di posa, l'accuratezza della preparazione e l'uniformità della struttura; viceversa risultano sfavorevoli i costi supplementari della lavorazione e del trasporto.

### 6.3.7 Sezione di deflusso

Lo spigolo inferiore della sezione di deflusso dev'essere di regola realizzato con una plania orizzontale per favorire una bagnatura uniforme della parete a vista della briglia. Le sezioni di deflusso delle briglie in legno sono soggette a raschiamento anche in presenza di trascinamento saltuario del materiale detritico (cfr. immagine 40). Per aumentarne la durata d'impiego, le sezioni di deflusso possono essere predisposte con una protezione contro questi danni creata con l'utilizzo di tondame ben dimensionato (cfr. immagine 41 A, immagine 39 A–D e immagine 42).

La parte superiore della palificata può essere ricoperta anche con piodame (cfr. immagine 41 B e immagine 40) sotto il quale si può stendere un telo di geotessile. Qualora i corsi di tondame longitudinale risultassero troppo esposti, si consiglia la messa in posa di un secondo elemento longitudinale sul ciglio anteriore (cfr. immagine 41 B). L'area della sezione di deflusso può anche essere ricoperta con massi (o elementi in calcestruzzo, immagine 41 C). È importante che, indipendentemente dalla tipologia di copertura, nessun elemento sporga oltre le pinze sul lato a vista, in quanto impedirebbe la bagnatura regolare del lato a valle della briglia.

Immagine 40  
Tamponamento mediante blocchi di pietra: briglie dopo un flusso detritico.



Immagine 41  
Tipologie di sezioni di deflusso. Dettaglio B dall'immagine 35.

- A** Copertura mediante tondame
- B** Sistemazione dell'alveo
- C** Sezione di deflusso con massi

- 1 Tondame longitudinale
- 2 Pinza (tondo trasversale)
- 3 Tondo di copertura
- 4 Piodame
- 5 Massi nell'area di deflusso
- 6 Prolungo copertura con tondi
- 7 Geotessile
- 8 Materiale di riempimento

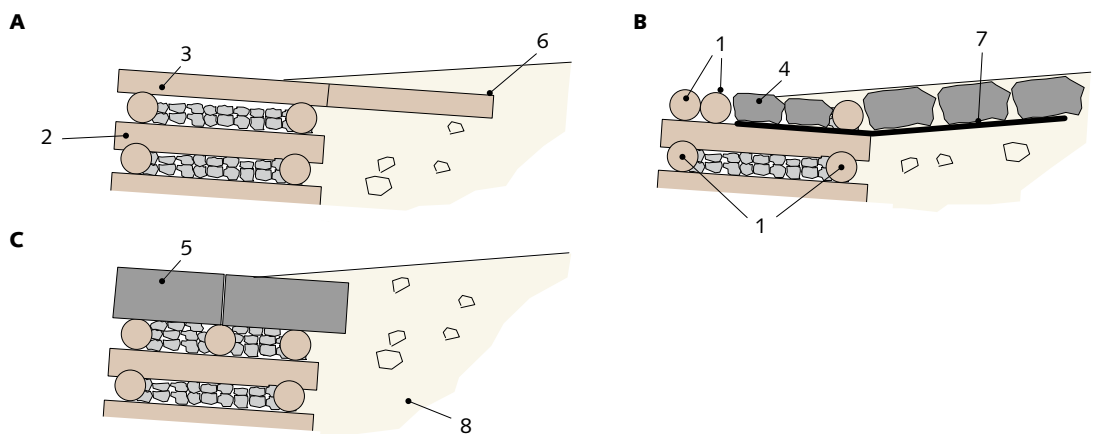




Immagine 42

Sezione di deflusso con basamento di tondi. La copertura sporgente protegge dal raschiamento i corsi di tondame longitudinali sottostanti; questo sistema comporta un'umidificazione non ottimale che può accelerare il deterioramento biologico.



### 6.3.8 Varianti esecutive per sollecitazioni elevate

Le briglie in legno sono poco idonee se sottoposte a sollecitazioni di grossi flussi detritici. Una costruzione eseguita a opera d'arte può aumentare la resistenza della struttura in legno in presenza di trasporto di materiale solido. Occorre evitare parti

sporgenti nell' area di deflusso (cfr. immagine 40) ed è essenziale stabilizzare l'alveo a valle della briglia contro i processi di flusso che trasportano parti solide (vedi 6.3.4).

Le briglie in legno resistono ottimamente quando le pareti laterali e le sponde sono legate e unite tra loro in un'unica struttura comprendente ali e basamento di tondi (gradonata di briglie, cfr. immagine 43). È consigliata la messa in opera di ali ad incastro (cfr. capitolo 6.3.6) perfettamente inglobate nella struttura e non sporgenti. Le sezioni di deflusso ricoperte da tondi resistono ottimamente soprattutto se a monte vengono ampliate fino a legarsi alla briglia precedente. Questo collegamento tra le briglie funge da ancoraggio supplementare; vedi [32]. Se si prevedono marcati assestamenti del terreno nella zona di sedimentazione il collegamento tra le briglie non è idoneo. Occorre essere consapevoli che la manutenzione richiede un impegno maggiorato in quanto gli elementi in legno che fungono da collegamento sono di difficile sostituzione.

Immagine 43

Gradonata con briglie in legno collegate tra loro.



## 6.4 Costruzione di opere longitudinali in legno

La costruzione di opere longitudinali (opere di consolidamento delle sponde) comporta le medesime esigenze riportate al capitolo 5.3.3. La differenza consiste nella necessità di dover sempre tamponare gli interstizi tra i corsi di tondame longitudinale (cfr. capitolo 6.3.5) oppure in alternativa impiegando materiale di riempimento resistente all'erosione che possa favorire la piantumazione.

Come descritto al capitolo 6.3.3, si raccomanda di posare in alveo una piattaforma di elementi tondi, simile a quella utilizzata per le briglie. In generale le opere di consolidamento spondale devono inserirsi almeno 1 m sotto la quota centrale dell'alveo. Di regola vengono impiegate palificate in legno a parete semplice e/o a parete doppia (cfr. capitolo 6.3.2).

---

### 6.5 Limiti nell'impiego delle costruzioni in legno nelle opere torrentizie

La geometria è determinata dalla larghezza dell'alveo che vincola le dimensioni e la forma della briglia in legno. L'altezza massima delle opere trasversali longitudinali è in relazione al tipo di palificata. Per quelle a parete singola sono consigliate altezze di 1,5 m fino a 2 m in condizioni ottimali; per quelle a parete doppia le altezze possono raggiungere i 4 m e in condizioni ottimali anche i 5 m. Per ridurre al minimo un possibile cedimento della briglia, l'altezza dovrebbe rimanere più contenuta possibile. Nelle palificate a parete doppia e tripla, le estremità delle pinze possono essere sfalsate lungo le pareti a vista.

Le aree ombreggiate e costantemente umido/bagnate racchiudono le condizioni ambientali ottimali per le briglie in legno; viceversa negli intagli vallivi ben soleggiati che si asciugano rapidamente, le strutture in legno hanno una durabilità limitata. Indipendentemente dal clima, le parti esposte delle pinze (zona di umidità alternata) sono quelle maggiormente delicate in quanto offrono condizioni ambientali ottimali per la crescita di funghi (cfr. capitolo 2). L'esperienza ha dimostrato che le briglie in legno sono parzialmente idonee in terreni sabbiosi soggetti ad erosioni.

## 7 Il legno quale protezione contro le valanghe e i movimenti della neve

Nella protezione contro le valanghe, il legno viene impiegato per le opere di sostegno temporanee e per le opere di protezione contro gli scivolamenti nevosi (palificazioni, treppiedi e soglie in legno).

Il legno viene utilizzato per la costruzione di deflettori e saltuariamente per le opere di deviazione (cunei spartivalanghe).

### 7.1 Processi ed effetti

Le valanghe sono masse in rapido movimento che si verificano sulle montagne aventi un manto nevoso. Nel corso della storia hanno provocato morte e distruzione. Le valanghe hanno segnato l'insediamento nelle aree montane attraverso l'abbandono delle zone a rischio o la costruzione di opere di premunizione contro le valanghe (cfr. immagine 44). Queste ultime si formano quando un lastrone di neve si stacca da una vasta area frammentandosi in singoli lastroni rimanendo a contatto con il suolo durante il movimento verso valle. A dipendenza della composizione della neve e della topografia, nella valanga è preponderante il volume di neve che scivola sul pendio; sia essa neve colata oppure neve polverosa tipica delle valanghe nubiformi. Generalmente le zone di distacco delle valanghe sono inclinate di 30–50°. Le dimensioni di una valanga variano notevolmente; da colate con un volume di 100 m<sup>3</sup> a valanghe molto grandi, con un volume di centinaia di migliaia di m<sup>3</sup> e tratte di scorrimento di diversi chilometri. Le masse di neve staccate raggiungono in poco tempo la velocità di 10–40 m/s. La densità di una valanga per scivolamento, simile a quella del manto nevoso naturale, è di circa 300 kg/m<sup>3</sup>. Di regola le valanghe sopraggiungono a seguito di forti neviccate durante le tempeste oppure nei periodi di innalzamento delle temperature. La pressione di una valanga dipende dal tipo di neve, dal volume e dalla velocità; quelle di grandi

dimensioni possono esercitare pressioni dinamiche superiori a 100 kN/m<sup>2</sup> e provocare ingenti danni. [60]

Lo scivolamento della neve è viceversa un movimento lento e persistente dell'intero manto nevoso su pendii lisci e fortemente soleggiati con una pendenza di almeno 15°; si creano spesso i tipici bordi di rottura, le cosiddette bocche di balena (cfr. immagine 45). Una superficie liscia del suolo e un terreno non ghiacciato favoriscono lo scivolamento della neve; tra il suolo e il manto nevoso esiste di regola uno strato di scivolamento umido. Su pendii dove la gestione agricola è stata abbandonata, la ricrescita della vegetazione erbosa può favorire lo scivolamento della neve. Un oggetto (ad es. un blocco di grosse dimensioni) all'interno del tratto di scorrimento può rallentare puntualmente il processo di scivolamento della neve creando forze statiche di pressione della neve di regola inferiori a 20 kN/m<sup>2</sup>. Lo scivolamento della neve può provocare valanghe con colata che comportano una rapida discesa verso valle dell'intero manto nevoso; queste ultime rappresentano un pericolo difficilmente prevedibile anche in presenza di vie di comunicazione o centri abitati. In futuro, a causa dei cambiamenti climatici, gli scivolamenti di neve e le valanghe con colata saranno sempre più frequenti.

Immagine 44 (a sinistra)  
Deposito di neve  
di una valanga bagnata  
in gennaio 2018.



Immagine 45 (a destra)  
A causa del lento movimento del manto nevoso parallelo al pendio, si sono formati dei bordi di rottura (bocche di balena).



## 7.2 Panoramica e funzioni delle opere di protezione contro le valanghe

Le opere di premunizione in legno contro le valanghe sono impiegate soprattutto quali opere di sostegno temporanee e di protezione contro gli scivolamenti nevosi. Il legno viene utilizzato anche per i deflettori e in casi particolari per i cunei spartivalanghe. Oltre 150 anni fa, le opere di protezione in legno sotto forma di staccionate contro la neve furono le prime misure tecniche di protezione nella zona di distacco delle valanghe. In Svizzera esistono attualmente oltre 200 km di opere di sostegno temporanee in legno. Un'opera di sostegno serve a stabilizzare il manto nevoso per evitare la formazione di valanghe e rallentare oppure bloccare quelle minori (cfr. immagine 46). Agli albori delle prime opere di premunizione contro le valanghe, la struttura portante era di regola in acciaio e le traverse della griglia in tondame.

Laddove fattibile, le opere di sostegno temporanee contro le valanghe vengono combinate con il rim-

boschimento in modo che il bosco assuma nel tempo la funzione di protezione (entro la durata d'impiego delle opere prevista in 30–50 anni). Rispetto alle opere di sostegno permanenti in acciaio, quelle in legno facilitano gli interventi di manutenzione del bosco e di regola non occorre smantellarle. Tenendo in considerazione il limite della durata d'impiego, le opere di sostegno temporanee vengono utilizzate principalmente nelle zone di distacco sottostanti il limite del bosco. Altre aree idonee per l'impiego del legno sono le zone di distacco situate presso le zone abitate o sopra le arterie stradali, quelle colpite dalle tempeste e le zone di ringiovanimento esteso. In presenza di requisiti statici elevati o dove il rimboschimento non è garantito, vengono prese in considerazione opere combinate in legno e acciaio.

Immagine 46 (a sinistra)  
Rastrelliere da neve  
in legno in un'area  
di rimboschimento.



Immagine 47 (a destra)  
Trepiedi su un pendio  
soggetto a slittamenti da  
neve presso aree abitate.



Il legno si è guadagnato il merito di essere un ottimo materiale da costruzione per le misure di protezione contro la neve slittante (cfr. immagine 47); acciaio o alluminio sono utilizzati unicamente in casi eccezionali. Le misure di protezione contro la neve slittante aumentano la scabrosità del terreno favorendo la coesione tra il manto nevoso e il terreno. Le opere impiegate sono le palificazioni, le soglie di legno e i trepiedi. Questi ultimi con dimensioni ridotte rispetto alle opere di sostegno, garantiscono un effetto puntuale; per ottenere l'efficacia ottimale è necessario che siano messi in opera senza rischiare il sovraccarico. Le opere di protezione in legno contro gli scivolamenti nevosi vengono anche combinate con opere di sostegno temporanee, in particolare laddove la ricrescita di giovani piante necessita di una protezione supplementare.

Oltre ai progetti di rimboschimento, queste opere in legno sono impiegate lungo i pendii soggetti a neve slittante sopra le vie di comunicazione, le piste da sci e le zone abitate.

I deflettori influiscono sul punto di accumulo e sulla distribuzione delle masse nevose trasportate dal vento (cfr. immagine 48). Le rastrelliere contro la neve ventata, spesso semplici costruzioni di legno, sono impiegate per proteggere le vie di comunicazione dai cumuli di neve o per ridurre l'altezza eccessiva nelle zone di distacco delle valanghe. Un cuneo spartivalanghe può essere realizzato anche in legno grazie al buon inserimento nel paesaggio laddove l'impatto delle valanghe è ridotto (cfr. immagine 49) oppure completato con una struttura combinata legno e acciaio. Un cuneo spartivalanghe ha la funzione di deviare la valanga in avvicinamento a lato dell'oggetto da proteggere.

Immagine 48 (a sinistra)  
Rastrelliere contro la neve  
ventata composto da ele-  
menti in legno di 5 m.



Immagine 49 (a destra)  
Un cuneo spartivalanghe,  
costruito in legno a pro-  
tezione dell'area abitata.



### 7.3 Costruzione e impiego delle opere di protezione in legno contro le valanghe

Nella pianificazione delle opere di premunizione in legno contro le valanghe, il primo passo consiste nell'identificare il problema valangario o degli scivolamenti di neve, le probabili cause e le conseguenze per persone e i beni materiali. Da questa prima analisi scaturisce la necessità dell'intervento e l'obiettivo di protezione dell'opera. I parametri che determinano la scelta delle possibili misure e la valutazione della loro fattibilità sono l'altezza della neve, la topografia, la pendenza, la rugosità del suolo, le condizioni di crescita della vegetazione e il terreno dell'area di intervento. La valutazione dell'efficacia in termini di costi/benefici è basilare. Sulla base di queste informazioni, viene elaborato uno studio preliminare o un progetto esecutivo. Le opere di protezione vengono costruite con varietà di legno ad alta durabilità quali castagno, robinia o quercia. Nelle stazioni con crescita ottimale può essere utilizzato anche legno di larice. Il legno di abete rosso e di abete bianco andrebbe impregnato per aumentarne la durabilità ed è pertanto escluso dall'impiego per motivi ambientali.

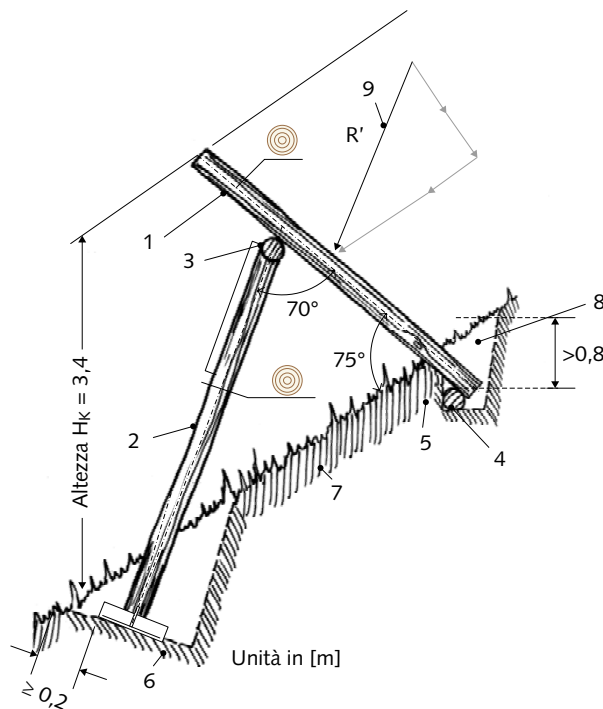
#### 7.3.1 Opere di sostegno temporanee

In Svizzera sono impiegate soprattutto le rastrelliere da neve in legno con il tondame della griglia disposto perpendicolarmente alla linea di livello. La griglia trasmette la pressione della neve parallela alla pendenza verso la soglia a monte, al travetto e verso i supporti a valle (cfr. immagini 50 e 51). Per aumentare la stabilità laterale delle opere (controventatura), tra il travetto e i supporti viene inserita una saetta; i singoli elementi di tondame vengono inchiodati. Le rastrelliere da neve sono generalmente costruite quali strutture singole con una larghezza di 4 metri e sono da preferire ad altre varianti esecutive in quanto l'ancoraggio della soglia è semplificato lungo tutta la larghezza della struttura.

Il tondame posato inclinato è meno soggetto a marciume e il bosco giovane subisce minori danni da rottura potendo crescere attraverso gli interstizi della griglia. L'inclinazione ottimale della griglia rispetto alla verticale del pendio è di  $15^\circ$  e l'angolo tra il supporto e la griglia è di  $70^\circ$ . Se la griglia è marcatamente inclinata, le forze di ancoraggio a monte sono maggiori. Le rastrelliere da neve in legno possono sostenere un'altezza massima del manto nevoso di 3,4 m. Per la messa in opera sono di regola a disposizione i piani esecutivi [37] che indicano il dimensionamento degli elementi necessari secondo direttiva tecnica [34] in funzione dell'altezza della neve e dell'inclinazione del pendio. Di regola non si effettua una verifica sulla sicurezza strutturale interna ed esterna per singole parti d'opera. La portanza tipo delle rastrelliere da neve in legno si basa su un coefficiente di slittamento di 1,8; quest'ultimo descrive la rugosità del terreno e influenza l'entità della pressione della neve. [34] In presenza di lievi rugosità del terreno e coefficienti di slittamento più elevati, si raccomanda di costruire ulteriori opere di protezione contro gli scivolamenti nevosi, tipo i treppiedi, tra le file delle rastrelliere. Per un'altezza della neve di 3,4 m e una pendenza di  $45^\circ$ , il tondame della griglia misura una lunghezza di 3,30 m e un diametro di 20 cm all'estremità; il travetto un diametro di 27 cm e la soglia di 20 cm (cfr. immagine 50). A prevenzione di cedimenti, il tondame di 5 m deve presentare un diametro di 24 cm. Un sovradimensionamento degli elementi strutturali non porta vantaggi di durabilità; per quest'ultima è determinante garantire un'accurata esecuzione delle fondazioni. Per le fondazioni a dipendenza del sottosuolo esistono diverse varianti esecutive: in terreni poco profondi la soglia viene ancorata nella roccia con tiranti; in terreni sciolti compatti si utilizza la soglia di fondo (cfr. immagine 50), la quale viene interrata a una profondità di circa 80 cm.

Immagine 50  
Schema di una rastrelliera da neve in legno tipo SLF con soglia di fondo.

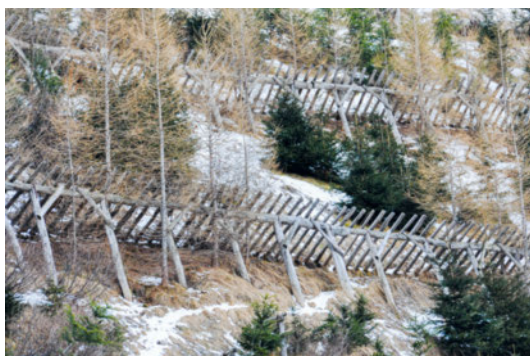
- 1 Longarina: toname (d = 20 cm, L = 330 cm)
- 2 Puntone: toname (d = 24 cm, L = 500 cm)
- 3 Travetto: toname (d = 27 cm, L = 400 cm)
- 4 Soglia: toname (d = 20 cm, L = 400 cm)
- 5 Supporto a monte
- 6 Supporto a valle
- 7 Materiale sciolto
- 8 Copertura terrosa
- 9 Risultante della pressione della neve



In terreni non minacciati dall'erosione, la soglia può essere installata liberamente e messa in sicurezza tramite dei montanti (pali). Il supporto viene posizionato tramite un perno d'acciaio posato su una piastra d'acciaio o di calcestruzzo e interrato per almeno 20 cm nel terreno naturale. Le rastrelliere da neve in legno vengono progettate e disposte sul terreno quali opere di sostegno permanenti. [34] Il distanziamento delle opere lungo la linea di massima pendenza, dipende dall'altezza delle rastrelliere

re e dall'inclinazione del pendio. In presenza di un'inclinazione del pendio di  $35^\circ$  e un'altezza della rastrelliera di  $H_k$  3,4 m, il distanziamento tra le strutture parallele al pendio è pari a circa 24 m. In presenza di un distanziamento tra le opere troppo marcato, potrebbero verificarsi danni causati dalla pressione della neve. Le rastrelliere della fila superiore vanno costruite immediatamente sotto i primi fronti di distacco delle valanghe. In terreni aperti ed estesi, si sono registrati buoni risultati con una disposizione continua delle opere (cfr. immagine 51). Le rastrelliere da neve in legno, in combinazione con il rimboschimento e le cure selvicolturali, possono ottenere un effetto simile a quello delle strutture di supporto permanenti in acciaio. Il presupposto è che la qualità del legname soddisfi i requisiti della durabilità d'impiego richiesta e che scaduta quest'ultima le funzioni di protezione siano riprese dal bosco giovane. Di regola le rastrelliere da neve in legno costituiscono delle opere di pre-munizioni semplici ed economiche.

Immagine 51  
Rastrelliere da neve in legno tipo SLF con rimboschimento a protezione di una strada.



### 7.3.2 Opere di protezione contro gli scivolamenti nevosi

Le opere di protezione contro gli scivolamenti nevosi di regola vengono progettate sulla base di valori empirici, senza verifiche statiche.

A supporto della progettazione sono disponibili manuali per la costruzione. [37] Qui di seguito vengono elencate le misure più significative.

#### 7.3.2.1 Palificazione

Singoli montanti (pali) di legno vengono conficcati a triangolo nel terreno, manualmente o meccanicamente (cfr. immagini 52 e 53). I distanziamenti lungo la linea di massima pendenza variano tra 90 cm (inclinazione del pendio 45°) e un massimo di 2 m (inclinazione del pendio 30°). I montanti tondi necessitano di un diametro minimo di 10 cm e per i mezzitondi di 16 cm; l'altezza del palo dal suolo è di 30–50 cm.

Il rapporto ideale tra la profondità d'infissione e la lunghezza del montante dal suolo è di 2:1. In terreni compatti la profondità minima d'infissione è di 60 cm mentre in terreni sciolti di 80–100 cm. Scegliendo una profondità d'infissione insufficiente, i pali rischiano di venire rovesciati e strappati dalla pressione della neve. Le palificazioni si sono dimostrate efficaci per proteggere le piante giovani, così come per prevenire scivolamenti di neve slittante lungo le scarpate ripide adiacenti alle strade.

Immagine 52

Schema di una palificazione. A dipendenza della pendenza del versante, la distanza varia da 90 cm (45°) a 200 cm (30°).

- 1 Tondame  
(d = 10–15 cm,  
L = 90–150 cm)
- 2 Mezzitondi  
(d = min. 16 cm,  
L = 90–150 cm)

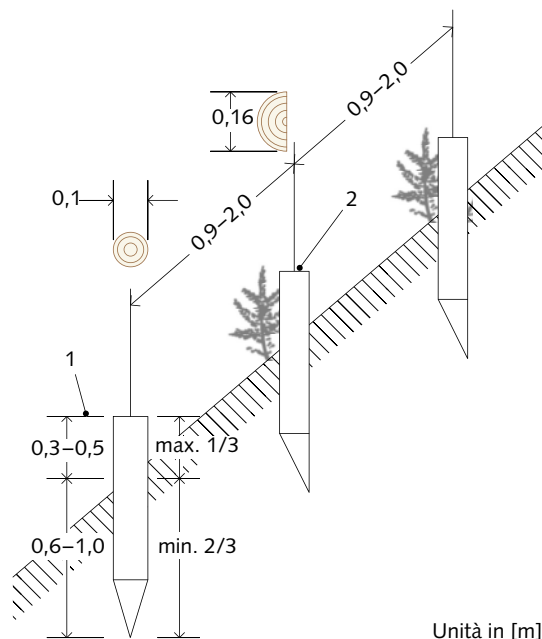


Immagine 53

Palificazione a protezione dello slittamento della neve sopra una strada; è importante il rapporto tra infissione e lunghezza del palo di 2:1 (fuori terra).



## 7.3.2.2 Treppiedi

Il treppiede è l'opera di protezione contro gli scivolamenti nevosi più impiegata in Svizzera; ne sono stati posati decine di migliaia. In relazione al rimboschimento, i treppiedi proteggono le piante giovani dallo slittamento della neve, così come proteggono efficacemente contro la reptazione della neve nelle stazioni di spessine e perticaie. La struttura del treppiede favorisce anche lo scioglimento anticipato della neve attorno ai montanti prolungando il periodo di crescita vegetativa. I treppiedi sono costituiti da elementi di tondame incrociato (montanti) disposti a V con una lunghezza di circa 2 m e un diametro di 10–14 cm. Verso monte sono dotati di una traversa ancorata con ferri d'armatura, pali o funi, a dipendenza delle condizioni del terreno. Verso valle, il montante poggia su di un supporto del diametro di 12–15 cm posto sopra una piastra

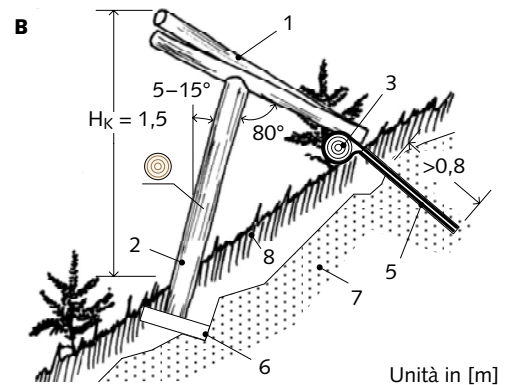
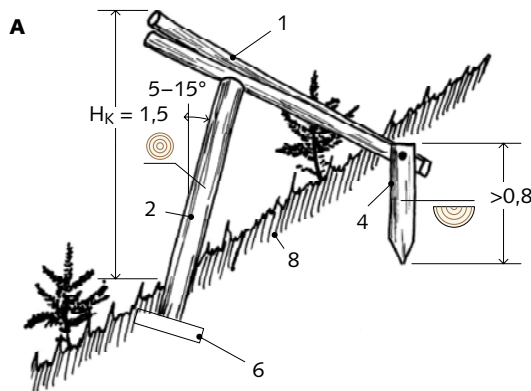
di fondazione di calcestruzzo o d'acciaio (cfr. immagini 54 e 55).

I treppiedi sono disposti a griglia a distanza di 1,5–2,0 m. In base della pendenza e in presenza di ampi pendii vengono installati circa 500–750 treppiedi per ettaro. I treppiedi sono alti circa 1,5 m; quando vengono ricoperti dalla neve, il puntone può essere spinto nel terreno oppure spezzarsi. La superficie ideale per la messa in opera dei treppiedi sono i pendii soggetti a neve slittante in zone inferiori al limite del bosco. Lungo pendii con inclinazione minore di 35°, i treppiedi possono essere disposti a gruppi in combinazione con il rimboschimento. Nelle zone marginali i treppiedi vanno posizionati con cura per evitare danni dovuti alla pressione della neve.

Immagine 54  
Schema di un treppiede con soglia e palo d'ancoraggio.

- A** Treppiede con palo d'ancoraggio  
**B** Treppiede con soglia d'ancoraggio

- 1 Elemento portante: tondame (d = 10–14 cm, L = 200 cm)
- 2 Puntone; tondame (d = 12–15 cm, L = 220 cm)
- 3 Soglia: tondame (d = 16–20 cm, L = 200 cm)
- 4 Palo di ancoraggio: mezzotondo (d = 16 cm, L = 80 cm)
- 5 Ancoraggio a fune (fune spirale d = 7,5 mm, zincata)
- 6 Fondazione d'acciaio, o calcestruzzo (25/25/10)
- 7 Sottosuolo roccioso
- 8 Materiale sciolto (terreno)



Unità in [m]



Immagine 55  
Treppiedi con soglia a monte a protezione delle piante giovani contro slittamento e reptazione della neve



### 7.3.2.3 Soglie in legno

La soglia in legno è costituita da un tronco (tondame) lungo 4 m con un diametro di 30 cm, fissato a due cordine a strozzo (cfr. immagine 56 e 57). Nella roccia la lunghezza dell'ancoraggio dev'essere di minimo 80 cm mentre in presenza di materiale sciolto di circa 3 m a dipendenza della compattezza del sottosuolo. Nel materiale sciolto, in alternativa agli ancoraggi a fune, si possono inserire ancoraggi a ribalta infissi nel terreno e iniettati, oppure basamenti d'acciaio fissati con ancoraggi a barra ai quali vengono affrancate le soglie. La distanza tra le soglie sulla linea di massima pendenza varia da 3 a 5 m a dipendenza dell'inclinazione del pendio. Le soglie in legno vengono disposte in una formazione triangolare; le superfici ideali per la posa sono le rocce affioranti o i terreni poco profondi.

In terreni con portanza limitata e soggetti ad erosione, gli elevati costi di ancoraggio possono incidere negativamente sulla realizzazione delle soglie. Rispetto ai treppiedi e alle palificazioni, le soglie in legno sono più robuste e possono essere posate anche ad alta quota in presenza di elevati spessori di neve. Con il tempo le soglie in legno possono venire parzialmente interrare e quindi perdere parte della loro funzione originaria. Questo processo può essere evitato posizionando le soglie su due travetti della lunghezza di 1,5 m oppure riposizionandole periodicamente. Le soglie in legno sono viepiù utilizzate anche per proteggere le piste da sci contro le valanghe da scivolamento.

Immagine 56

Schema di una soglia in legno. Le soglie sono ancorate in roccia mediante due funi spiroidali.

- 1 Tronco trasversale (d = 30 cm, L = 400 cm)
- 2 Ancoraggio a fune (fune spiroidale d = 11 mm, zincata)
- 3 Malta
- 4 Roccia
- 5 Materiale sciolto (terreno)

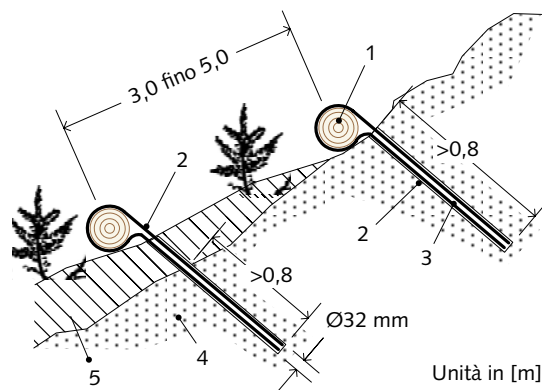


Immagine 57

Le soglie in legno sono fissate mediante due ancoraggi a fune. Se necessario, le soglie possono venire facilmente sostituite.



#### 7.4 Rastrelliere contro la neve ventata

Nel Canton Grigioni sono state realizzate con ottimi risultati rastrelliere contro la neve ventata formate da elementi in legno autoportanti della lunghezza di 5 m (cfr. immagine 59). Questo tipo di costruzione è stato sviluppato negli Stati Uniti oltre 50 anni fa [61] a protezione delle vie di comunicazione. La struttura è composta da tre elementi portanti (tondame) di 4 m inclinati di 15°; ogni elemento poggia su due supporti ed è fissato a terra tramite due tavole. Queste ultime hanno una lunghezza di 5 m e larghe 15 cm e vengono avvitate a distanza di 15 cm sugli elementi inclinati, in modo da poter trattenere il 50 % del volume di neve trasportata dal vento. Tra la tavola inferiore ed il terreno deve rimanere uno spazio corrispondente ad almeno il 10 % dell'altezza della rastrelliera.

Questo interstizio presso il terreno crea un effetto filtro evitando che la rastrelliera venga riempita di

neve rapidamente. A rinforzo della stabilità laterale e quale ulteriore sostegno contro il vento, vanno inserite tre tavole diagonali (controventatura) fissate nel terreno mediante sei ancoraggi. Il vantaggio di questa struttura sta nella semplicità di esecuzione e può essere realizzata senza difficoltà anche da una squadra di selvicoltori. La rastrelliera si può traslare facilmente in caso di necessità. La distanza tra la rastrelliera e l'area di distacco delle valanghe o dalla strada da proteggere corrisponde a 15–20 volte l'altezza della struttura (cfr. immagine 58). Prima della messa in opera è fondamentale un'analisi approfondita delle correnti del vento e della condizione della neve nell'area del progetto. Un lavoro ottimale sarebbe quello di poter sfruttare al meglio la morfologia del pendio.

Immagine 58

Schema di una rastrelliera che protegge le opere di premunizione contro le valanghe da grossi accumuli di neve ventata. La rastrelliera favorisce il deposito di masse nevose a monte delle opere di premunizione. La distanza L tra la rastrelliera e la zona da proteggere dovrebbe corrispondere a 15–20 volte l'altezza della struttura.

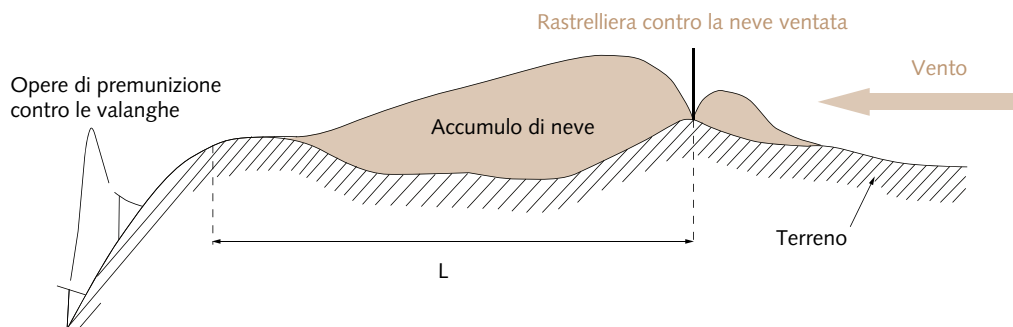


Immagine 59

Rastrelliera contro la neve ventata formata da elementi in legno. Nel lato sottovento della struttura (a sinistra dell'immagine) si è formato un importante accumulo di neve.



### 7.5 Limiti nell'impiego di opere in legno

Lo svantaggio del legno rispetto all'acciaio è la minore durabilità (cfr. immagine 60) e la minore resistenza. In particolare, presso la zona di contatto tra suolo e aria, il marciume può causare un precoce deterioramento degli elementi. La resistenza del legno permette di costruire strutture di consolidamento temporanee a costi contenuti fino a un'altezza di circa 3,4 m; altezze maggiori implicano l'impiego di elementi molto pesanti e sezioni trasversali gravose.

Immagine 60  
Rottura di una traversa  
marcia della griglia di  
una struttura combinata  
legno-acciaio.



Le strutture temporanee quali le rastrelliere trovano l'applicazione ottimale nell'ambito dell'area boschiva, dove la vegetazione può ricrescere e svilupparsi. Se questo non fosse garantito, la messa in opera di strutture in acciaio può diventare una variante purchè risulti in linea con l'obiettivo di protezione. Nelle aree soggette a intense nevicate, in condizioni di crescita della vegetazione sfavorevoli oppure sopra il limite del bosco, l'impiego di rastrelliere andrebbe attentamente ponderato. Le strutture in legno non includono di regola l'esecuzione di fondazioni tramite micropali e ancoraggi; il loro impiego è limitato a terreni che permettono condizioni naturali per la realizzazione delle fondazioni. Le opere di protezione contro scivolamenti nevosi, come i treppiedi o le palificazioni, vanno realizzate di regola sotto il limite del bosco in quanto soggette a maggiori danneggiamenti in presenza di uno spesso manto nevoso rispetto alle soglie in legno. Le superfici adibite a uso agricolo non sono ideali per la posa di strutture contro gli scivolamenti nevosi in quanto la loro presenza limita il reddito agricolo.

## 8 Opere di protezione e sostenibilità

In questo capitolo, le opere di protezione sono inserite nel contesto della sostenibilità. Viene calcolato un ecobilancio analizzando un caso concreto proveniente dall'Austria. Va tenuto in considerazione che quest'ultimo non è rappresentativo di altre opere.

Ogni singola opera dev'essere valutata e calcolata tenendo conto delle condizioni specifiche iniziali e dei dettagli relativi alla costruzione, all'utilizzo e allo smantellamento.

### 8.1 Introduzione

Il termine sostenibilità fu coniato dal sovrintendente minerario Hans Carl von Carlowitz nel 1713, quando descrisse il triangolo tra equilibrio ecologico, sicurezza economica e giustizia sociale. [62] Il suo saggio «Sylvicultura Oeconomica», in cui rivendicava un impiego sostenibile del legno fu adottato in tutta Europa. Cresciuto in ambito forestale, il principio della sostenibilità e dello sviluppo sostenibile fu in seguito applicato a molti problemi ambientali globali, diventando un principio guida fondamentale in tutti i settori economici e sociali. Lo dimostra anche la definizione classica della Commissione Brundtland del 1987: «Lo sviluppo sostenibile consente alla generazione presente di soddisfare i propri bisogni senza compromettere la possibilità delle generazioni future di soddisfare i propri». [63]

Oggi lo «sviluppo sostenibile» è ben descritto in modo classico con il «modello a tre cerchi», sviluppato a seguito della Conferenza di Rio (Conferenza mondiale delle Nazioni Unite su ambiente e sviluppo, tenutasi a Rio de Janeiro nel 1992). Lo sviluppo sostenibile mira ad un uso parsimonioso delle risorse (ambiente, ecologia), a una società solidale (socialità) e al benessere economico (economia). Vanno presi in considerazione tutti e tre gli ambiti, ecologia, socialità ed economia, rapportandoli e sovrapponendoli l'uno con l'altro.

Sulla base di questo concetto sono stati sviluppati diversi metodi per valutare la sostenibilità di prodotti e servizi che rappresentano uno strumento di supporto alle decisioni in materia di sostenibilità. Uno di questi è l'ecobilancio o valutazione del ciclo di vita (in ingl. «Life Cycle Assessment», LCA). Un ecobilancio può essere applicato a diversi sistemi, dai prodotti speciali ad aziende multinazionali e industrie. (SN EN ISO 14040 [64]).

La valutazione riguarda soprattutto l'impatto ecologico. Gli aspetti sociali ed economici della sostenibilità sottostanno a metodo a metodi separati ma correlati; la valutazione sociale del ciclo di vita (Social LCA, S-LCA) e la valutazione del costo del ciclo di vita (Life-Cycle Costing, LCC). La Conferenza di coordinamento degli organi della costruzione e degli immobili dei committenti pubblici KBOB fornisce al settore edile i dati sull'ecobilancio dei materiali da costruzione tramite un gruppo di esperti della costruzione sostenibile. I dati si basano sui flussi di materiali e dell'energia relativi ai singoli settori. Semplificando sono riportati tre indicatori ambientali: l'energia primaria (suddivisa in rinnovabile e non rinnovabile), le emissioni di gas serra e i punti d'impatto ambientale (PIA). Con questo metodo di calcolo si prendono in considerazione la fabbricazione del prodotto, le distanze di trasporto e lo smantellamento e lo smaltimento. Il periodo di impiego dei materiali da costruzione, dall'installazione alla sostituzione e allo smantellamento, non viene incluso. I dati forniti per i materiali da costruzione in legno possono essere utilizzati solo in misura limitata per un'analisi dell'LCA delle opere di protezione, in quanto i valori si riferiscono al materiale segato ed essiccato; sono pertanto inclusi processi non attinenti alla costruzione di opere di protezione con tonname grezzo (tronchi).

Questo capitolo tratta un caso concreto proveniente dall'Austria nel quale vengono paragonati gli impatti ambientali in base alle emissioni di gas serra [t CO<sub>2</sub>-eq.] e all'energia primaria (PE) [GJ]. Le due categorie subentrano durante la costruzione di opere in legno o calcestruzzo nell'ambito di un bacino idrografico dei torrenti. L'attenzione è posta sull'impatto ambientale ecologico. Nel presente studio non sono presi in considerazione gli impatti economici e sociali. [65]

## 8.2 Norme e dati generali

Quale guida per la stesura e il calcolo dell' ecobilancio sono disponibili le norme SN EN ISO 14040 [64] e SN EN ISO 14044 [66] che stabiliscono i principi, le condizioni quadro e i requisiti di un ecobilancio. L'ecobilancio prende in considerazione gli aspetti ambientali e i potenziali impatti ambientali durante il ciclo di vita di un prodotto; dall'estrazione delle materie prime fino allo smaltimento finale, passando dalla produzione, l'impiego, il trattamento dei rifiuti e il riciclaggio. [64]

Per calcolare un ecobilancio sono disponibili diverse soluzioni software e banche dati. Nel caso trattato sono stati utilizzati il software OpenLCA (versione 1.4.2) e la banca dati svizzera Ecoinvent (versione 2.2, pubblicata in Svizzera nel 2007). [67] L'insieme di dati provenienti dalla Svizzera è stato adattato appositamente ai materiali prodotti in Austria. In assenza di dati austriaci, il consumo di carburante e le emissioni dei macchinari edili sono stati determinati utilizzando la banca dati non stradale svizzera [68] relativa al 2015.

## 8.3 L'ecobilancio delle briglie torrentizie

Il caso scelto riguarda la regolazione del torrente nel Mauerbodenbach, un sottobacino idrografico dell'Oselitzenbach, nel distretto austriaco di Hermagor in Carinzia.

Trattasi di quattro briglie torrentizie in calcestruzzo gettato in opera (cfr. immagine 61) costruite per stabilizzare gli spondali e uno scivolamento del pendio. Le opere trasversali prese in considerazione hanno un'altezza di caduta di 2,5–4,5 m. L'alveo a valle consiste in riempimenti mediante pietrame grezzo e trovanti in getto. La calcolazione si basa su cinque varianti; la variante B1 ricalcola la costruzione effettiva in calcestruzzo e la B2 utilizza quale base di paragone distanze di trasporto maggiori rispetto a quelle effettive. La base per il calcolo delle varianti in calcestruzzo è il rapporto di costruzione 2006/07 Mauerbodenbach dell'Ente austriaco per il controllo di torrenti e valanghe (WLV).

La variante H1 calcola le opere realizzate in calcestruzzo come se quest'ultime fossero state costruite in legno, mantenendo invariate le dimensioni della superficie a vista. La variante H2 si basa su distanze di trasporto maggiori. La variante H3 si basa su distanze di trasporto considerate realistiche usando legname regionale. La base per il calcolo delle varianti in legno è stata estrapolata dall'esecuzione dei lavori del 2003 del WLV per la regolazione dello Jagdhüttengraben, situato anch'esso nel bacino idrografico dell'Oselitzenbach (cfr. immagine 62). Per costruire questa sistemazione è stato impiegato legno di robinia proveniente dalla Romania. L'alveo a valle delle briglie consiste in riempimenti mediante pietrame grezzo e trovanti in getto.

Immagine 61 (a sinistra)  
Opere trasversali (briglie)  
in calcestruzzo nel Mauer-  
bodenbach risalenti  
al 2006/2007 [65].



Immagine 62 (a destra)  
Opere trasversali (briglie)  
in legno nello Jagdhütten-  
graben risalenti al 2003  
[65].



La tabella 4 riporta un estratto dei principali materiali da costruzione e macchinari impiegati.

Nella norma SN EN ISO 14040 tale compilazione viene definita «inventario del ciclo di vita». [64]

Tabella 4  
Estratto dell'inventario  
del ciclo di vita [65].

Materiale da costruzione/Macchinario	Unità	Variante calcestruzzo (B1, B2)	Variante legno (H1, H2, H3)
Calcestruzzo armato (pesante)	t	1,38	–
Cemento CEM II/32,5 N	t	262,38	–
Misto granulare 0/22	t	1.512,62	–
Ghiaione frantumato	t	–	1.254,60
Ghiaietto	t	62,40	62,40
Acciaio d'armatura	t	8,64	–
Tondame MDM > 24 cm	m <sup>3</sup>	5,87	178,87
Chiodi di acciaio d'armatura	kg	24,80	1.114,8
Camion + gru	h	100,50	155,50
Escavatore cingolato	h	312,50	293,00
Escavatore tipo ragno	h	4,50	441,50
Motocarriola cingolata	h	216,00	–
VW Golf	h	26,00	26,00

La tabella 5 riporta un estratto dei trasporti di tutti i materiali con le distanze per le due varianti di costruzione in calcestruzzo, produzione del calcestruzzo sul posto (B1, B2) e le tre varianti di costruzione in legno (H1, H2, H3).

In relazione alla costruzione in calcestruzzo, la distanza media di trasporto su camion è di 66 km

(variante B1) rispettivamente di 135 km (variante B2). In relazione alla costruzione in legno, la distanza media di trasporto su camion è di 54 km (variante H1), di 114 km (variante H2) e 45 km (variante H3).

Tabella 5 Variazione in base alle distanze dei trasporti – Estratto [65].

Transporto di materiali	Mezzo di trasporto	Varianti opere in calcestruzzo		Varianti opere in legno		
		B1 Distanze di trasporto effettive [km]	B2 Distanze di trasporto reali [km]	H1 Distanze di trasporto effettive [km]	H2 Distanze di trasporto reali [km]	H3 Distanza di trasporto con impiego di legname regionale [km]
Cemento	Camion	138	200	–	–	–
Misto granulare	Camion	32	100	32	100	32
Ghiaione frantumato	Camion	–	–	18	100	18
Acciaio d'armatura	Camion	130	300	130	300	130
Tondame larice	Camion	28	100	–	–	28
Tondame robinia	Camion	–	–	69	100	–
Tondame robinia	Treno	–	–	500	1500	–
Piccolo materiale	Pianale	69	100	69	100	69
Escavatore di tipo ragno	Camion	38	100	38	100	38
Dumper	Camion	69	100	–	–	–
Betoniera IMPE 500lt	Camion	69	100	–	–	–
Coclee per cemento	Camion	69	100	–	–	–
Silos	Camion	69	100	–	–	–
Container	Camion	69	100	69	100	69

La durata d'impiego prevista e le misure di conservazione e di manutenzione da adottare sono state riprese dalla direttiva «Wirtschaftlichkeitsuntersuchung und Priorisierung von Massnahmen der Wildbach- und Lawinenverbauung». [69] In relazione alle opere in cemento armato la direttiva ipotizza una durata d'impiego di 80 anni e un tasso di manutenzione annuale pari allo 0,2 % dei costi di costruzione. Il tasso di manutenzione è stato calcolato quale percentuale annua dell'energia per la realizzazione delle opere (risp. delle emissioni) e utilizzato per l'ecobilancio. In base a questa direttiva, si presume che le opere in legno abbiano una

durata d'impiego di 40 anni e un tasso di manutenzione dello 0,5 %.

In relazione ai riempimenti di pietrame grezzo necessari per il consolidamento dell'alveo a valle delle opere trasversali, è prevista una durata d'impiego di 40 anni e un tasso di manutenzione annuo pari all'1 % dei costi di costruzione. Nel caso fosse necessario garantire la protezione oltre la durata di impiego delle opere costruite, le strutture potranno essere rifatte utilizzando i medesimi materiali. In Austria, al decadere della funzione protettiva, di regola le strutture vengono semplicemente lasciate sul posto.

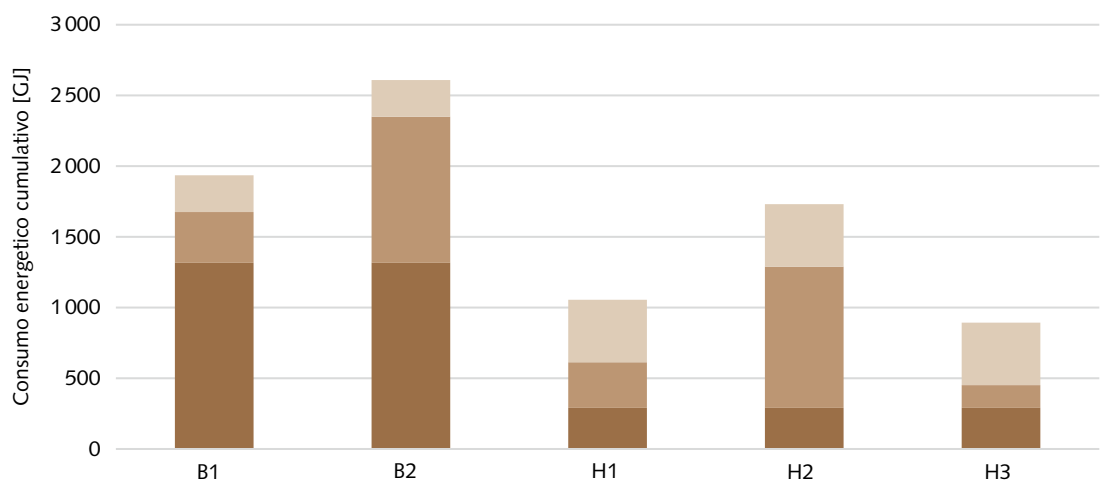
## 8.4 Risultati

In relazione al consumo energetico, i risultati della fase di costruzione per le varianti reali B1 e H1 mostrano che nella variante in calcestruzzo pesa in particolare la produzione di calcestruzzo gettato in opera (cfr. immagine 63). In relazione a quella in legno svolgono un ruolo importante il trasporto e l'utilizzo dei macchinari. L'energia primaria totale dell'opera trasversale in calcestruzzo è di 1935 GJ a fronte di soli 990 GJ di quella in legno.

Il consumo energetico complessivo per la costruzione delle opere in calcestruzzo è circa il doppio rispetto a quello delle opere in legno. L'uso di legname regionale (H3) consente un'ottimizzazione dell'11% del fabbisogno d'energia rispetto alla variante iniziale H1.

Immagine 63  
Consumo energetico nella fase di realizzazione per le varianti eseguite in calcestruzzo B1 e in legno H1 (distanze di trasporto effettive) e per le varianti con distanze di trasporto maggiori (B2 e H2) e la variante H3 con distanze di trasporto inferiori grazie all'utilizzo di legno regionale [65].

■ Utilizzo macchinari  
■ Trasporto al cantiere  
■ Produzione di materiale da costruzione



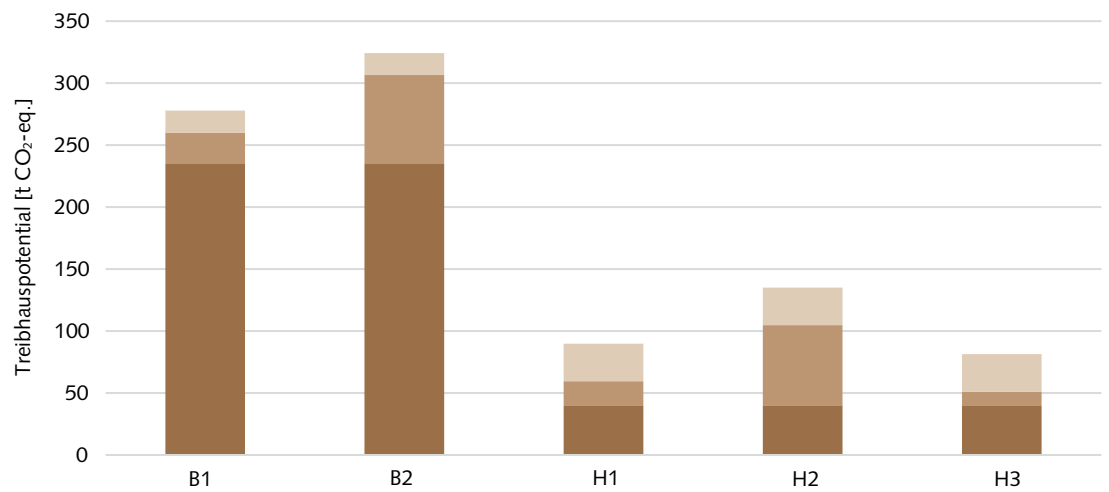
In relazione ai gas serra, i risultati della fase di costruzione nelle varianti B1 e H1 (cfr. immagine 64) mostrano come nell'opera trasversale in calcestruzzo sia rilevante la produzione di calcestruzzo gettato in opera. Nella variante in legno svolgono un ruolo più rilevante il trasporto e l'utilizzo di macchinari. Le emissioni complessive di gas serra delle opere in calcestruzzo ammontano a 278 t CO<sub>2</sub>-eq., mentre quelle in legno a soli 87 t CO<sub>2</sub>-eq. Le emissioni di gas serra delle opere in calcestruzzo sono pertanto circa tre volte superiori a quelle in legno.

Se si volesse considerare unicamente l'utilizzo dei macchinari da cantiere, le emissioni delle costruzioni in legno sarebbero superiori di 12 t CO<sub>2</sub>-eq. rispetto a quelle delle costruzioni in calcestruzzo. L'influenza delle distanze di trasporto sull'inquinamento da CO<sub>2</sub> si nota nelle varianti B2 (17% di gas serra in più rispetto a B1) e H2 (56% di gas serra in più rispetto a H1). Questo risultato dimostra quanto il livello di emissioni di gas serra dipenda in larga misura dalle distanze di trasporto dei materiali da costruzione fino al cantiere.



Immagine 64  
Emissioni di gas serra della fase di costruzione in relazione alle varianti eseguite in calcestruzzo B1 e in legno H1 (distanze di trasporto effettive) e le varianti con distanze di trasporto maggiori (B2 e H2) e la variante H3 con distanze di trasporto inferiori grazie all'utilizzo di legno regionale [65].

■ Utilizzo macchinari  
■ Trasporto al cantiere  
■ Produzione di materiale da costruzione



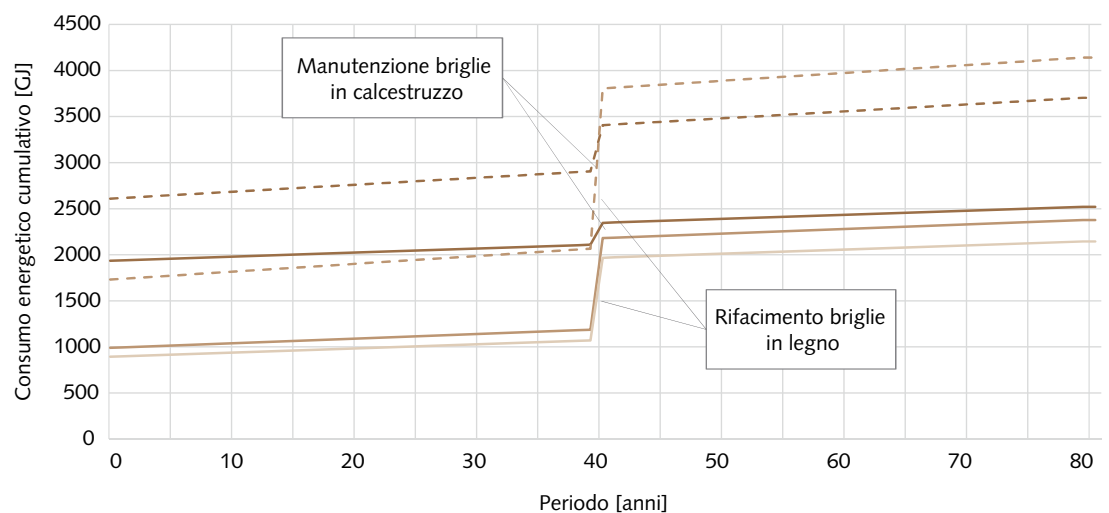
La costruzione della variante H1 consente di risparmiare 945 GJ di energia rispetto alla variante B1. Se viene osservato un intero ciclo di vita di 80 anni, va tenuto conto della manutenzione delle opere in calcestruzzo rispettivamente di una nuova costruzione in legno dopo 40 anni (con conseguente smaltimento in discarica dopo 80 anni). Durante questo lasso di tempo le opere in legno dovrebbero essere rinnovate completamente una volta, pertanto il

consumo energetico è ca. lo stesso per entrambe le varianti (cfr. immagine 65).

H2 è l'unica variante in legno che presenta un bilancio maggiorato di 436 GJ dopo 80 anni, causato dalle maggiori distanze di trasporto rispetto alle opere in calcestruzzo (B2). Un'ulteriore conferma dell'incidenza delle distanze di trasporto per i materiali da costruzione.

Immagine 65  
Consumo energetico delle varianti B1 e H1 in calcestruzzo e in legno (distanze di trasporto effettive) e le varianti B2 e H2 (distanze di trasporto più lunghe) e la variante H3 con distanze di trasporto inferiori grazie all'utilizzo di legno regionale nell'arco di 80 anni [65].

— Variante B1  
— Variante H1  
- - Variante B2  
- - Variante H2  
— Variante H3

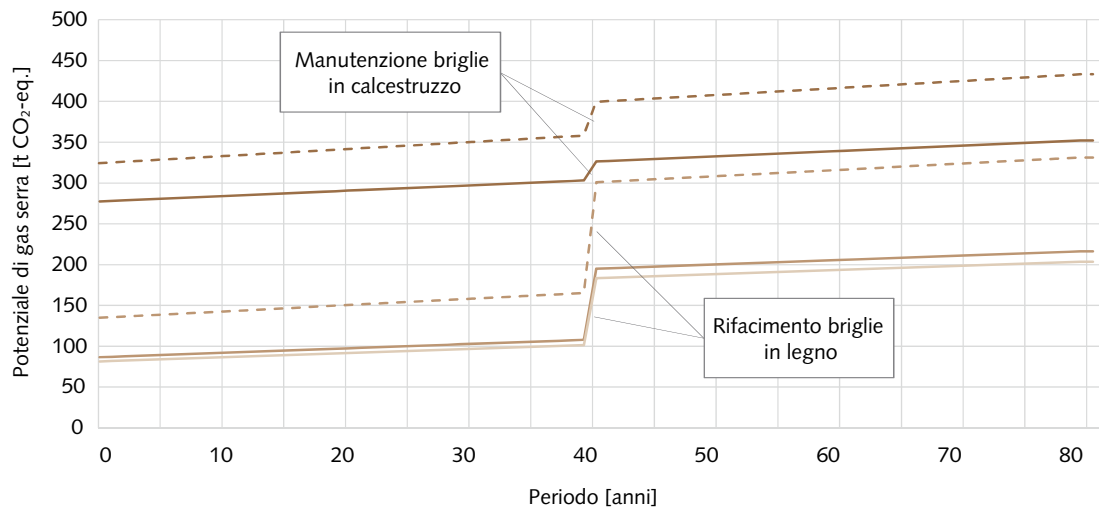


In relazione al bilancio delle emissioni di gas serra, confrontando le varianti B1 e H1 al termine dei lavori si ottiene una differenza di 192 t CO<sub>2</sub>-eq. a favore della costruzione in legno. Dopo un periodo di osservazione di 80 anni la differenza è di 135 t CO<sub>2</sub>-eq (cfr. immagine 66).

Confrontando le varianti B2 e H2 la differenza dopo 80 anni si riduce da 189 t CO<sub>2</sub>-eq. a 102 t CO<sub>2</sub>-eq. A livello di emissioni, il vantaggio delle opere in legno sul periodo del ciclo di vita si dimezza rispetto a quelle in calcestruzzo.

Immagine 66  
Emissioni di gas serra delle varianti B1 e H1 in calcestruzzo e in legno (distanze di trasporto effettive) e le varianti B2 e H2 (distanze di trasporto più lunghe) e la variante H3 con distanze di trasporto inferiori grazie all'utilizzo di legno regionale nell'arco di 80 anni [65].

- Variante B1
- Variante H1
- Variante B2
- Variante H2
- Variante H3



## 8.5 Conclusioni

Il caso analizzato dimostra che le opere in legno sono di regola «più ecologiche» rispetto a quelle in calcestruzzo. Le diverse varianti evidenziano come durante la fase di costruzione, le opere in legno presentano un bilancio migliore rispetto a quelle in calcestruzzo. Tenendo in considerazione l'intero ciclo di vita delle opere e delle maggiori distanze di trasporto, in termini di fabbisogno d'energia primaria, il bilancio delle opere in calcestruzzo è migliore di rispetto a quello delle opere in legno. Occorre tener presente la presunta durata d'impiego di 40 anni delle opere in legno (come accennato, in condizioni favorevoli hanno una durata d'impiego più estesa) e il fatto che le opere in calcestruzzo in oggetto non sono state smantellate. In relazione al contributo sull'emissione dei gas a effetto serra, le opere in legno presentano un vantaggio anche in presenza di distanze di trasporto più estese. In relazione alle opere in legno, è consigliato dare grande importanza alla provenienza regionale del legname da costruzione e alle minori distanze di trasporto conseguenti. Essenze resistenti che crescono nei boschi svizzeri, quali il castagno, la robinia o il larice sono ideali per essere utilizzate nelle opere di protezione.

L'analisi del ciclo di vita permette di determinare quantitativamente le «differenze ecologiche». Sulla base di questi risultati è possibile ottimizzare i processi di cantiere, i metodi di lavoro e l'utilizzo dei materiali e dei macchinari, indipendentemente dal materiale da costruzione.

In relazione alla costruzione di opere di protezione in sinergia con tecniche d'ingegneria naturalistica, l'ecobilancio raggiunge risultati migliori. L'utilizzo di legname e materiale regionale adatto alla stazione è sempre vantaggioso; la vegetazione (materiale da costruzione vivo) stocca il CO<sub>2</sub> anche durante la fase d'impiego favorendo un effetto positivo sull'ecobilancio. [70] [71] Un ulteriore argomento a favore dell'impiego del legno e di materiale vegetale vivo è l'aspetto estetico; un'opera realizzata con materiali naturali e adatti alla stazione riesce a integrarsi perfettamente nel paesaggio. Viceversa le opere in calcestruzzo sono sempre percepite quali elementi estranei al paesaggio; delle forzature costruite dall'uomo nella natura.

Per ridurre al minimo l'impatto ambientale, un ecobilancio può essere utilizzato quale strumento di gestione nella pianificazione ed esecuzione di opere di protezione.

È un metodo utile per favorire attivamente l'attuazione di strategie di adattamento ai cambiamenti climatici.

Immagine 67  
Briglia torrentizia  
nello Schaferabach  
a Plaffeien FR. È provato  
che alcune briglie sono  
state costruite tra il 1940  
e il 1945, rimanendo  
intatte per oltre 75 anni.



## 9 Riassunto

Le osservazioni seguenti riprendono i temi presi in oggetto nei diversi capitoli e non vanno generalizzate.

Vantaggi e svantaggi dell'impiego del legno necessitano di un'analisi approfondita a dipendenza delle circostanze.

### 9.1 Vantaggi nell'impiego del legno per le opere di protezione

Dal profilo ecologico il legno e in particolare il ton-dame (tronco grezzo), è un prodotto naturale direttamente connesso alla gestione sostenibile del bosco. Durante la crescita ogni pianta, tramite la fotosintesi, produce ossigeno e fissa il CO<sub>2</sub> nel legno; quando viene decomposto nel ciclo naturale lo rilascia nell'ambiente. Il legno costruito conserva lo stoccaggio di CO<sub>2</sub>; di conseguenza il ton-dame quale materiale da costruzione risulta positivo a breve-medio termine e neutro a lungo termine in relazione ai gas serra rilevanti per il clima.

Se si utilizza legname regionale per la preparazione, lo stoccaggio, il trasporto e la costruzione di un'opera si necessita di un basso consumo energetico e si producono minori emissioni rispetto ai materiali da costruzione classici.

Con il legno non trattato vengono esclusi i rischi ambientali dovuti alla presenza di sostanze estranee e tossiche, ad eccezione degli elementi di fissaggio metallici (viti, chiodi, piastre, ecc.). Questi fattori sono molto rilevanti e andrebbero considerati nell'ottica dello smaltimento e della prevenzione di materiali tossici e rifiuti in natura.

Aspetti ecologici ed estetici favorevoli, quali l'inserimento armonioso nel paesaggio tramite l'utilizzo di legno regionale, riscontrano di regola il favore della popolazione e degli ambientalisti durante le procedure di approvazione.

Economicamente il legname è conveniente se impiegato nei pressi del taglio di abbattimento. Messo in opera secondo le regole dell'arte permette un notevole risparmio dei costi. Nella maggior parte dei casi viene escluso lo smantellamento delle opere al termine del ciclo di vita, creando ulteriori risparmi.

Di regola la logistica di cantiere è semplificata; soprattutto sui terreni impervi, il legno è un ottimo materiale da costruzione.

Le opere di protezione contro i pericoli naturali rientrano nei compiti dell'ente pubblico. Comuni, patriziati o consorzi vengono spesso coinvolti quali enti promotori di progetto. Questi ultimi a volte sono anche proprietari boschivi e possono fornire direttamente il legname sotto forma di prestazioni proprie.

Dal profilo sociale, il valore aggiunto dei progetti che prevedono l'impiego del legno favorisce l'indotto regionale. L'impiego di manodopera e di forestali residenti sviluppa e promuove il know-how locale e contribuisce a sensibilizzare la popolazione sull'esistenza dei pericoli naturali e delle relative opere di protezione. Si crea pertanto una presa di coscienza sull'importanza della prevenzione dei rischi e della pianificazione.

Immagine 68  
Tronchi trasversali  
quale semplice misura  
di protezione contro  
la caduta di massi.



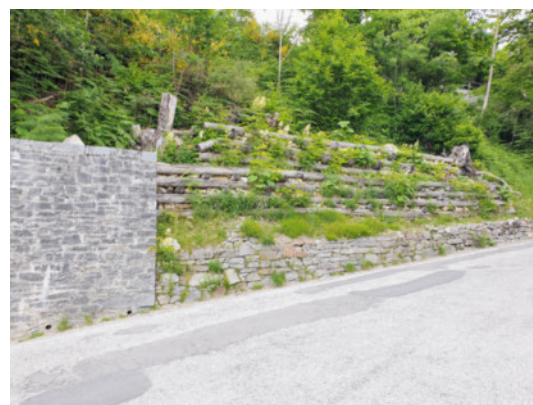
Dal profilo tecnico, il legno viene idealmente utilizzato laddove la funzione delle opere, dopo la loro decomposizione, viene sostituita dalla crescita della vegetazione. Le opere di premunizione contro le valanghe o lo scivolamento nevoso al di sotto del limite del bosco e le opere contro gli scivolamenti del terreno e l'erosione ne sono un esempio virtuoso. Il legno ricoperto aumenta l'umidità e la qualità del suolo, favorendo la ripresa vegetativa e la formazione di radici. A determinate condizioni, è anche possibile pianificare una durata del ciclo di vita limitato nel tempo.

Il peso specifico relativamente leggero del legno (2–4 volte inferiore rispetto al materiale terroso, al calcestruzzo e ai massi) facilita il trasporto e ne rende adatto l'impiego su terreni con portanza limitata e potenzialmente soggetti a scivolamenti. Le opere in legno sono flessibili ed elastiche; le deformazioni lente dei pendii e gli assestamenti non causano un immediato cedimento dell'opera. Il legno è semplice da lavorare; durante l'avanzamento dei lavori, le dimensioni dei singoli elementi dell'opera possono essere ben adattate alla situazione che si presenta. In fase di progettazione, i requisiti necessari per il dimensionamento concettuale e di calcolo sono generalmente semplificati. In molti casi è possibile considerare fin dall'inizio un sovradimensionamento del toname, in quanto occorre tener presente l'invecchiamento del legno e la modifica delle sue proprietà.

Dal profilo della manutenzione, va messo in risalto che i vantaggi menzionati partono dal presupposto di un impiego corretto e ben pianificato del legno. Rispetto a materiali da costruzione quali l'acciaio o il calcestruzzo, occorre prevedere controlli e interventi di manutenzione leggermente più impegnativi. Problemi di manutenzione rilevanti possono sorgere soprattutto nella costruzione di briglie torrentizie in quanto la sostituzione di singoli elementi può risultare complessa e impegnativa. È auspicato concentrare gli interventi di manutenzione in punti problematici mirati che possono essere riparati facilmente. Se necessario, al termine del ciclo di vita occorre pianificare la sostituzione delle opere.

In presenza di opere di protezione contro gli scivolamenti e l'erosione combinate con interventi d'ingegneria naturalistica, la manutenzione è ridotta al minimo e la successiva cura del bosco e della vegetazione risulterà semplificata. In presenza di opere di protezione dell'alveo e di canalette di evacuazione delle acque (così come le fascinate), la manutenzione è minima grazie all'umidità costante del legno. In presenza di opere di premunizione contro le valanghe e lo scivolamento nevoso, la manutenzione si limita al controllo e all'eventuale sostituzione di parti d'opera danneggiate a seguito di nevicate abbondanti. Nella maggior parte dei casi non è necessario lo smantellamento.

Immagine 69 (a sinistra) e immagine 70 (a destra)  
Palificate con vegetazione per la stabilizzazione di scarpate, ben integrate nel paesaggio.



## 9.2 Svantaggi nell'impiego del legno per le opere di protezione

Il legno è un materiale da costruzione naturale con un ciclo di nutrimenti legato alla natura. Lo svantaggio maggiore è la durata limitata delle opere nonché la diminuzione della resistenza e della portanza nel tempo dovuta ai processi di decomposizione naturale. Come illustrato in questa pubblicazione, la durata di vita e d'impiego delle opere in legno è variabile; a dipendenza delle condizioni, la funzionalità può essere compromessa dopo dieci anni oppure durare anche 100 anni. A tal proposito svolgono un ruolo fondamentale la pianificazione e l'esecuzione a regola d'arte delle opere. Il legno quale materiale da costruzione nella gestione dei pericoli naturali viene relativamente considerato a causa della propria eterogeneità e della durata di vita limitata. Nel dimensionamento delle opere di protezione in tondame vengono di regola seguite procedure empiriche; per questo motivo negli studi di progettazione occorrono accurate conoscenze nell'impiego del legno. Come possiamo fornire la prova della sicurezza strutturale e della funzionalità delle opere in legno? Come gestire le incertezze legate all'impiego del legno?

Negli ultimi 20 anni la situazione è migliorata (vedi capitolo 3); grazie a interessanti e comprovati lavori di ricerca, pubblicazioni professionali e progetti esecutivi ben eseguiti si è riusciti a far accettare e promuovere l'impiego del legno nelle opere di protezione.

Gestire le incertezze legate ai materiali da costruzione non è evidente neppure utilizzando il cemento armato o le opere in muratura. La catastrofe di Gondo VS nel 2000 dimostra chiaramente che le costruzioni non sono destinate a durare in eterno. A seguito di grossi danni causati da eventi eccezionali, si è reso necessario un cambio del paradigma nell'ingegneria idraulica. Si è acquisita ulteriore consapevolezza del fatto che la costruzione di premunizioni permanenti contro le valanghe è esponenzialmente soggetta a problemi di fondazioni provocati dal cedimento del permafrost. I cambiamenti nei processi e negli approcci di prevenzione (ad es. una maggiore riduzione del rischio dei danni potenziali o l'adattamento degli obiettivi di protezione) possono modificare significativamente la durata di vita e d'impiego delle opere di protezione contro i pericoli naturali.

Immagine 71 (a sinistra)  
Una copertura completa può aumentare notevolmente la durata d'impiego di specie legnose poco durevoli, quali l'abete rosso.



Immagine 72 (a destra)  
Le specie legnose resistenti quali il castagno, aumentano la durata d'impiego delle strutture portanti.



### 9.3 Valutazione generale sull'impiego del legno

Informazioni dettagliate su questo importante aspetto si trovano nei diversi capitoli di questa pubblicazione, in particolare nei sottocapitoli che trattano i limiti dell'impiego delle opere in legno. Esistono numerosi vantaggi nell'impiego del legno quale materiale da costruzione, così come per altri materiali classici. Quando si pianifica un progetto specifico la scelta dei materiali va fatta sulla base di una valutazione consapevole; può pertanto essere utile considerare i seguenti aspetti:

- Quali vantaggi rilevanti (soprattutto di natura ecologica ed economica) offre l'impiego del legno nel caso in progettazione?

- L'opera in legno si integra bene nel territorio?
- È possibile accettare una durata d'impiego limitata ed eventuali sostituzioni successive?
- Nel corso del tempo, l'opera può supportare una portanza ridotta?
- A medio e lungo termine la vegetazione può assumere l'effetto stabilizzante?
- Se l'opera dovesse cedere, i rischi sarebbero limitati e/o tollerabili?

Se le risposte a queste domande sono positive, la decisione di scegliere il materiale legno è ampiamente motivata.

Immagine 73 (a sinistra)  
Palificata a protezione dell'erosione degli spondali, con l'inserimento di lana di legno e talle di salice.



Immagine 74 (a destra)  
Trepiedi e parete di protezione in legno contro la caduta di massi per la messa in sicurezza dell'infrastruttura.



## 10 Partner



**Caprez Ingenieure AG**  
Via vers Mulins 19  
7513 Silvaplana  
Tel. +41 81 838 77 00  
www.caprez-ing.ch  
silvaplana@caprez-ing.ch

La società Caprez Ingenieure AG, fondata nell'anno 1963, è presente in 16 sedi tra Zurigo e St. Moritz. Le sedi operano in forma indipendente e sono ben integrate a livello locale; nel contempo, la società prende beneficio del costante scambio d'informazioni interno. Lo stesso avviene anche per i settori di competenza della selvicoltura, dell'ambiente e dei pericoli naturali.



**Castagnostyle Sagl**  
Al Dosso  
6807 Taverner  
Tel. +41 79 132 31 30  
verkauf@castagnostyle.ch  
www.castagnostyle.ch

Castagnostyle: punto d'incontro dei professionisti del legname di castagno – Le nostre competenze sono il commercio di legname, la lavorazione del legno, le opere di premunizione, i parchi giochi, i lavori ambientali, ecc. L'azienda appartiene ad un gruppo di imprese forestali e si situa al centro della regione di crescita naturale del castagno. Abbiamo alle nostre dipendenze professionisti del legno e formiamo apprendisti selvicoltori.



**fim**  
Bruno Brunner  
Glütschbachstrasse 3  
3661 Uetendorf  
Tel. +41 33 345 04 75  
info@fim-uetendorf.ch  
www.fim-uetendorf.ch

La ditta fim è il principale punto di riferimento per l'economia forestale. Dispone di un'ampia gamma di marchi quali Caravaggi, Maxwald e AMR e di un fornito negozio Stihl dov'è possibile trovare l'intera gamma di prodotti.



**Forst Aletsch**  
Alt Chirchwäg 59  
3984 Fieschertal  
Tel. +41 27 971 30 07  
info@forstaletsch.ch  
www.forstaletsch.ch

Ci affidiamo al legno delle nostre foreste per proteggerci dai pericoli naturali; lo impieghiamo per costruire treppiedi e per stabilizzare pendii. Sosteniamo i Comuni nella costruzione e manutenzione dei sentieri escursionistici; utilizziamo legno regionale per traversine, ponti, passerelle, gradini e recinzioni. Gran parte del nostro legname è destinato alle segherie e all'industria; il rimanente viene trasformato in oggetti quali tavoli, panchine, fioriere e fontane così come parchi giochi e parchi avventura.



**Lindner Suisse GmbH**  
Bleikenstrasse 98  
9630 Wattwil  
Tel. +41 71 987 61 51  
holzwole@lindner.ch  
www.lindner.ch

Dal 1920, Lindner Suisse GmbH sviluppa e produce prodotti specializzati in lana di legno realizzati con Legno Svizzero certificato secondo lo standard nazionale di riferimento. Questi prodotti sono impiegati per le infrastrutture, il giardinaggio e la paesaggistica, l'ingegneria idraulica, la prevenzione dell'erosione, il drenaggio, l'igiene degli animali nonché quale materiale da imballaggio. Lindner Suisse produce anche cippato di alta qualità ed è un partner per la produzione di imballaggi specifici.



## 11 Bibliografia


- [1] Andres, N., Badoux, A. (2019): Unwetterschäden in der Schweiz im Jahre 2018. *Wasser Energie Luft*, 111. Jahrgang, Heft 1, S. 29–38
- [2] PLANAT (2004): Sicherheit vor Naturgefahren – Vision und Strategie. PLANAT Reihe 1/2004, S. 40
- [3] Margreth, S., Schweizer, J. (2018): Coaz – Pionier der schweizerischen Lawinenforschung. *Bündner Wald* 71: S. 72–79
- [4] Brändli, U.-B., Abegg, M., Allgaier Leuch, B. (2020): Schweizerisches Landesforstinventar. Ergebnisse der vierten Erhebung 2009–2017. Birmensdorf, Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL, Bundesamt für Umwelt, Bern
- [5] Losey, S., Wehrli, A. (2013): Schutzwald in der Schweiz. Vom Projekt SilvaProtect-CH zum harmonisierten Schutzwald. Bundesamt für Umwelt BAFU, Bern, S. 29
- [6] Thali, U. (2006): Schutzwirkung des Waldes anhand des Felssturz-Ereignisses 'Wilerwald', Gurtnellen, vom 31. Mai 2006. Altdorf: Kanton Uri, Bericht Schweiz Nationalstrassen N2, S. 21
- [7] Olmedo, I., Bourrier, F., Bertrand, D., Berger, F., Limam, A. (2018): Dynamic analysis of wooden rockfall protection structures subjected to impact loading using a discrete element model. *Eur. J. Environ. Civil Eng.* 24, S. 1430–1449
- [8] Ringenbach, A., Stihl, E., Bühler, Y., Bebi, P., Bartelt, P., Rigling, A., Christen, M., Lu, G., Stoffel, A., Kistler, M., De-gonda, S., Simmler, K., Mader, D., Caviezel, A. (2021): Full scale experiments to examine the role of deadwood on rockfall dynamics in forests, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci. Discuss.* [preprint], <https://doi.org/10.5194/nhess-2021-319>, in review, 2021
- [9] Ammann, M. (2006): Schutzwirkung abgestorbener Bäume gegen Naturgefahren. ETH Diss. Nr. 16638, S. 190
- [10] Dorren, L., Berger, F., Frehner, M., Huber, M., Kühne, K., Métral, R., Sandri, A., Schwitter, R., Thormann, J., Wasser, B. (2015): Das neue nais-Anforderungsprofil Steinschlag. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen* 166 (1), S. 16–23
- [11] Bigot, C. (2014): Cinématique de décomposition et rôle de protection pare-pierres du bois mort: le cas des rémanents. Diss. Université de Grenoble, S. 216
- [12] Hararuk, O., Kurz, W.A., Didion, M. (2020): Dynamics of dead wood decay in Swiss forests. *For. Ecosyst.* 7, S. 36
- [13] Begemann, W., Schliechtl, H.M. (1986): *Ingenieurbiologie. Handbuch zum naturnahen Wasser- und Erdbau.* Bauverlag, S. 216
- [14] Moos, C., Bebi, P., Schwarz, M., Stoffel, M., Sudmeier-Rieux, K., Dorren, L. (2018): Ecosystem-based disaster risk reduction in mountains. *Earth-Science Reviews* 177, S. 497–513
- [15] Böll, A., Gerber W., Graf F., Rickli, C. (1999): Holzkonstruktionen im Wildbach-, Hang- und Runsenverbau. Birmensdorf, Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft
- [16] Norm SN EN 335 (2013): Dauerhaftigkeit von Holz und Holzprodukten – Gebrauchsklassen: Definitionen, Anwendung bei Vollholz und Holzprodukten. Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich
- [17] Lignum (2021): *Holzbautabellen 1 – Handbuch für die Bemessung*, Zürich
- [18] Butin, H. (1983): *Krankheiten der Wald- und Parkbäume. Leitfaden zum Bestimmen von Baumkrankheiten.* Georg Thieme Verlag, New York
- [19] Bosshard, H.H. (1984): *Holzkunde. Band 3: Zur Biologie, Physik und Chemie des Holzes.* 2. Aufl., Birkhäuser Verlag
- [20] Florineth, F. (2014): Langjährige Hangsicherung durch bepflanzte Holzkrainerwände in Südtirol. *Ingenieurbiologie* 3/14
- [21] Meierhofer, U.A., Zumoberhaus, M. (1992): *Holzkonstruktionen im Wanderwegbau. Band 153, BUWAL*
- [22] Nötzli, K. (2002): Ursachen und Dynamik von Fäulen an Holzkonstruktionen im Wildbachverbau. Dissertation der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich Nr. 14974
- [23] Norm SN EN 350 (2016): Dauerhaftigkeit von Holz und Holzprodukten. Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich
- [24] Findlay, W.P.K. (1962): *The preservation of timber.* Adam & Charles Black, London
- [25] Lignum (2021): *Lignatec 33, Verklebte Laubholzprodukte für den statischen Einsatz*, Zürich
- [26] Nötzli, K., Böll, A., Graf, F., Sieber, T.N., Holdenrieder, O. (2008): Influence of decay fungi, construction characteristics, and environmental conditions on the quality of wooden check-dams. *Forest Products Journal*, 58 (4), S. 72–79
- [27] Rickli, C., Graf, F. (2014): Wildbachsperren aus Fichte und Tanne: Festigkeit und Pilzbefall in den ersten Jahren. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen*, 165 (4), S. 79–86
- [28] Norm SIA 267 (2013): *Geotechnik.* Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich
- [29] Norm SIA 260 (2013): *Grundlagen der Projektierung von Tragwerken.* Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich
- [30] Norm SIA 261 (2020): *Einwirkungen auf Tragwerke.* Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich
- [31] Norm SIA 261/1 (2020): *Einwirkungen auf Tragwerke – Ergänzende Festlegungen.* Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich
- [32] Böll, A. (1997): *Wildbach- und Hangverbau. Berichte der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft, Nr. 343*
- [33] Technische Regel ONR 24801 (2013): *Schutzbauwerke der Wildbachverbauung – Statische und dynamische Einwirkungen; Austrian Standards International – Standardisierung und Innovation.* Wien
- [34] Margreth, S. (2007): *Lawinenverbau im Anbruchgebiet. Technische Richtlinie als Vollzugshilfe. Umwelt-Vollzug Nr. 0704.* Bundesamt für Umwelt, Bern, WSL Eidgenössisches Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF, Davos
- [35] Technische Regel ONR 24805 (2010): *Permanenter technischer Lawinenschutz – Benennungen und Definitionen sowie statische und dynamische Einwirkungen.* Austrian Standards International, Wien
- [36] Technische Regel ONR 24806 (2011): *Permanenter technischer Lawinenschutz – Bemessung und konstruktive Ausgestaltung.* Austrian Standards International, Wien
- [37] Leuenberger, Franz (2003): *Bauanleitung Gleitschneeschutz und temporärer Stützverbau.* Eidgenössisches Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF, Davos
- [38] Norm SIA 265 (2021): *Holzbau.* Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich
- [39] Norm SIA 265/1 (2018): *Holzbau – Ergänzende Festlegungen.* Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich
- [40] Technische Regel ONR 24802 (2011): *Schutzbauwerke der Wildbachverbauung – Projektierung, Bemessung und konstruktive Durchbildung.* Austrian Standards International, Wien
- [41] Norm SIA 263 (2003): *Stahlbau.* Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich
- [42] Fernández-Raga, M., Palencia, C., Keesstra, S., Jordán, A., Fraile, R., Angulo-Martínez, M., Cerdà, A. (2017): Splash erosion. A review with unanswered questions. *Earth-Science Reviews*, 171, S. 463–477
- [43] Ziegler, A.D., Sutherland, R.A., Giambelluca, T.W. (2000): Partitioning total erosion on unpaved roads into splash and hydraulic components: The roles of interstorm surface preparation and dynamic erodibility. *Water Resources Research*, 36 (9), 2787–27

- [44] Bernatek-Jakiel, A., Poesen, J. (2018): Subsurface erosion by soil piping: significance and research needs. *Earth-Science Reviews*, 185, Oct. 2018, S. 1107–1128
- [45] Schwarz, M., Poesen, J., Rey, F., Holbling, D., Phillips, C. (2020): Bio-physical performance of erosion and sediment control/mitigation techniques – an international comparison to common practices in New Zealand. LC3891
- [46] Lifa, I. (2014): Entwicklung und Anwendung von naturbelassener Holzwolle für die Hangsicherung. *Ingenieurbiologie* 3/14
- [47] Zeller, J., Trümpfer, J. (1984): Rutschungsentwässerung. Birmensdorf, Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft
- [48] Cislaghi, A., Cohen, D., Gasser, E., Bischetti, G. B., Schwarz, M. (2019): Field measurements of passive earth forces in steep, shallow, landslide-prone areas. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, 124, S. 838–866. <https://doi.org/10.1029/2017JF>
- [49] Gray, D.H., Sotir, R.B. (1996): *Biotechnical and soil bio-engineering slope stabilization: a practical guide for erosion control*. John Wiley & Sons
- [50] Schwarz, M., Giadrossich, F., Cohen, D. (2013): Modeling root reinforcement using a root-failure Weibull survival function. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 17, S. 4367–4377
- [51] Schwarz, M., Rist, A., Cohen, D., Giadrossich, F., Egorov, P., Büttner, D., Stolz, M., Thormann, J.-J. (2015): Root reinforcement of soils under compression. *J. Geophys. Res. Earth Surf.*, 120, S. 2103–2120, doi:10.1002/2015JF003632
- [52] Florin, F. (2004): *Pflanzen statt Beton. Handbuch zur Ingenieurbiologie und Vegetationstechnik*. Berlin/Hannover, Patzer Verlag
- [53] Flepp, G., Robyr, R., Scotti, R., Giadrossich, F., Conedera, M., Vacchiano, G., Fischer, C., Ammann, P., May, D., Schwarz, M. (2021): Temporal Dynamics of Root Reinforcement in European Spruce Forests. *Forests* 12 (6):815, <https://doi.org/10.3390/f12060815>
- [54] Bischetti, G. B., De Cesare, G., Mickovski, S. B., Rauch, H. P., Schwarz, M., Stangl, R. (2021): Design and temporal issues in Soil Bioengineering structures for the stabilisation of shallow soil movements. *Ecological Engineering*, 169, 106309
- [55] Tron, S., Perona, P., Gorla, L., Schwarz, M., Laio, F., Ridolfi, L. (2015): The signature of randomness in riparian plant root distributions. *Geophysical Research Letters*, 42 (17), S. 7098–7106
- [56] Technische Regel ONR 24800 (2009): *Schutzbauwerke der Wildbachverbauung – Begriffe und ihre Definition sowie Klassifizierung*. Austrian Standards International – Standardisierung und Innovation, Wien
- [57] Bergmeister, K., Suda, J., Hübl, J., Rudolf-Miklau, F. (2009): *Schutzbauwerke gegen Wildbachgefahren. Grundlagen, Entwurf und Bemessung, Beispiele*. Ernst & Sohn, Berlin
- [58] Suda, J., Bergmeister, K. (2020): *Schutzbauwerke gegen Wildbachgefahren*. In: Bergmeister, K., Wörner, J.-D., Fingerloos, F. (Hrsg.), *Betonkalender 2020*, S. 501–724; Ernst & Sohn Verlag, Berlin
- [59] Angerholzer, F. (1913): Über die Länge des Vorfeldes bei Querwerken in Wildbächen. *Centralblatt für das gesamte Forstwesen*, 39, S. 504–509
- [60] Rudolf-Miklau, F., Sauermoser, S. (2011): *Handbuch Technischer Lawinenschutz*. Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin
- [61] Tabler, R. (2003): *Controlling Blowing and Drifting Snow with Snow Fences and Road Design. Final Report NCHRP Project 20-7 (147)*, Tabler & Associates, Laramie, Wyoming
- [62] von Carlowitz, H.C. (1713): *Sylvicultura Oeconomica*, Johann Friedrich Braun Verlag, Leipzig
- [63] WECD – World Commission on Environment and Development (1987): *Our common Future*. Oxford University Press
- [64] Norm SN EN ISO 14040/A1:2021 (2021): *Umweltmanagement – Ökobilanz – Grundsätze und Rahmenbedingungen (ISO 14040:2006/Amd 1:2020). Änderung A1*. Schweizerische Normen-Vereinigung, Winterthur
- [65] Von der Thannen, M., Paratscha, R., Smutny, R., Strauss, A., Hufnagl, H., Lampalzer, T., Rauch, H.P. (2018): Zur Ökobilanz von Schutzbauwerken. Ein Fallbeispiel mit Varianten. In: *Wildbach- und Lawinenverbau. Zeitschrift für Wildbach-, Lawinen-, Erosions-, und Steinschlagschutz*. 82. Jg. H. 182, S. 282–303. Bregenz, Verein der Diplomingenieure der Wildbach- und Lawinenverbauung Österreichs
- [66] Norm SN EN ISO 14044:2006 (2006): *Umweltmanagement – Ökobilanz – Anforderungen und Anleitungen (ISO 14044:2006)*. Schweizerische Normen-Vereinigung, Winterthur
- [67] Frischknecht, R., Jungbluth, N., Althaus, H.-J., Doka, G., Dones, R., Heck, T., Hellweg, S., Hischer, R., Nemecek, T., Rebitzer, G., Spielmann, M. (2005): The ecoinvent database: overview and methodological framework. *International Journal of Life Cycle Assessment*, Vol. 10, S. 3–9
- [68] BAFU (2015): *Online Non-Road-Datenbank*, Bundesamt für Umwelt BAFU, <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/luft/zustand/non-road-datenbank.html>, zuletzt abgerufen am 22.03.2018
- [69] BMLFUW (2006): *Richtlinien für die Wirtschaftlichkeitsuntersuchung und Priorisierung von Massnahmen der Wildbach- und Lawinenverbauung gemäss § 3 Abs. 2 Z 3 Wasserbautenförderungsgesetz 1985. Teil I: Kosten-Nutzen-Untersuchung (KNU) und standardisierte Nutzenuntersuchung*. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Sektion Forstwesen, Wien
- [70] von der Thannen, M., Hoerbinger, S., Paratscha, R., Smutny, R., Lampalzer, T., Strauss, A., Rauch, H.P. (2017): Development of an environmental life cycle assessment model for soil bioengineering constructions. *European Journal of Environmental and Civil Engineering*, <http://dx.doi.org/10.1080/19648189.2017.1369460>
- [71] von der Thannen, M., Hoerbinger, S., Muellebner, C., Biber, H., Rauch, H.P. (2021): Case study of a water bioengineering construction site in Austria. Ecological aspects and application of an environmental life cycle assessment model. *Int. J. Energy Environ., Eng.* 12, S. 599–609. <https://doi.org/10.1007/s40095-021-00419-8>

# Disponibili nella collana Lignatec

Lignatec


**Verklebte Laubholzprodukte für den statischen Einsatz**



SIA BFH ETH HEIG-VD **Lignum**

Lignatec

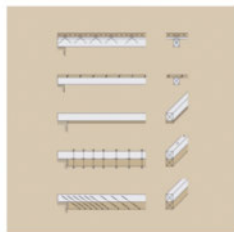
**Brettspertholz aus Schweizer Produktion**



BFH ETH HEIG-VD **Lignum**

Lignatec

**Erhaltung von Holztragwerken**



SIA Empa BFH **Lignum**

Lignatec

**Aussentüren**



SIA VSSM VST **Lignum**

Lignatec

**Smart Density Erneuern und Verdichten mit Holz**



HSLU **Lignum**

Lignatec

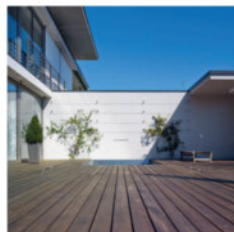
**Raumluftqualität**  
Handgriffe und Monitore für gesunde Räume



BAG eco-bau VGQ **Lignum**

Lignatec

**Rivestimenti di legno per terrazze**



**Lignum**

Lignatec

**Klimaschonend und energieeffizient bauen mit Holz**  
Bauleitung



ETH/IBI Novatlantis **Lignum**

Lignatec

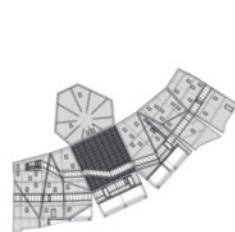
**Klimaschonend und energieeffizient bauen mit Holz**  
Bauleitung



ETH/IBI Novatlantis **Lignum**

Lignatec

**Fassadenbekleidung**



**Lignum**

Lignatec

**Erdbeibergerechtes Entwerfen und Konstruieren von mehrgeschossigen Holzbauten**



SIA SGEB usic HEV Schweiz **Lignum**

Lignatec

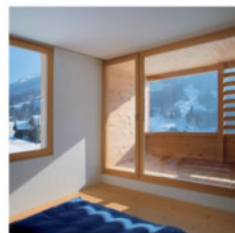
**Holzwerkstoffe in Innenräumen**  
Bauleitung und Holzbelegung einer Keller-Kontrolltafel Baumwerkstoffbauweise



BAG eco-bau Empa **Lignum**

Lignatec

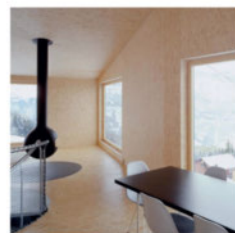
**Massivholzbau**



**Lignum**

Lignatec

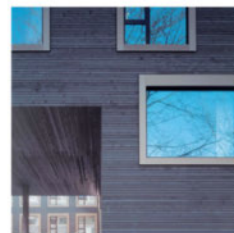
**Innenbekleidungen**



**Lignum**

Lignatec

**Minergie und Holzbau**



**Lignum**

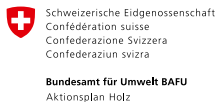
Lignatec 15/2003

**Flachdachkonstruktionen im Holzbau**



**Lignum**

# Impressum



## Lignatec

Le informazioni tecniche sul legno della Lignum

## Editore

Lignum, Economia svizzera del legno, Zurigo  
Sandra Bulet, Direttrice

## Sostegno finanziario principale

Ufficio federale dell'ambiente (UFAM), Piano d'Azione Legno

## Sostegno finanziario

Fondazione di prevenzione degli istituti cantonali  
di assicurazione sui fabbricati FPICA

## Coordinamento

Gunther Ratsch, Lignum, Economia svizzera del legno, Zurigo  
Walter Krättli, Fobatec, Maienfeld  
Hervé Bader, Fobatec, Lyss

## Traduzione

Davide Schaer Ingegneria e Consulenze Sagl, Giubiasco  
Danilo Piccioli, federlegno.ch

## Diritti d'immagine

Immagine di copertina: Forst Aletsch (C. Pfammatter, Visp);  
1, 7: WSL; 2: BABS; 3: L. Dorren; 5, 6, 25, 26, 72: Castagnostyle;  
8: Lindner Suisse; 9, 12 a sinistra, 20, 23, 27, 29, 30, 31, 32:  
M. Schwarz; 10: D. Polster; 12 a destra, 13, 14, 15, 19: Ufficio  
foreste e Pericoli naturali del Canton Grigioni; 28, 42, 74: Forst  
Aletsch (C. Pfammatter); 31 a sinistra: archivio Forstbetrieb  
Madrisa; 33, 34, 35, 36, 37, 38 a sinistra, 39 D, 40, 41: J. Suda;  
39 A, B, C, 43: Forsttechnischer Dienst für Wildbach- und  
Lawinenverbauung; 44, 45, 46, 47, 48, 50, 51, 52, 54, 55,  
56, 57, 59, 60: S. Margreth; 49: WEU-AWN-NGA Bern; 53:  
P. Diener; 24, 38 a destra, 67, 69, 71: Fobatec

## Progettazione e realizzazione

bido-graphic GmbH, Muttenz

## Amministrazione e distribuzione

Lignum, Zürich

## Stampa

Kalt Medien AG, Zug

La collana Lignatec informa in merito a questioni tecniche relative all'uso del legno quale materiale da costruzione e per opere di vario tipo. Lignatec si rivolge a pianificatori, ingegneri, architetti e professionisti del legno. Lignatec è sempre presente nella formazione a tutti i livelli. Un apposito raccoglitore è disponibile presso la Lignum.

I soci della Lignum ricevono gratuitamente un esemplare di ogni edizione Lignatec.

Esemplare supplementare per soci CHF 15.–

Singolo esemplare per non soci CHF 35.–

Raccoglitore vuoto CHF 10.–

Con riserva di modifica dei prezzi.

Il copyright di questa documentazione è proprietà della Lignum, Economia svizzera del legno, Zurigo. Ogni riproduzione della pubblicazione o parti di essa, la diffusione di contenuti su internet o/e l'inserimento di contenuti in banche dati sono permessi solo con l'espressa autorizzazione scritta dell'editore.

## Esclusione di responsabilità

La presente pubblicazione è stata redatta con la massima accuratezza secondo scienza e coscienza. L'editore, gli autori e i redattori delle parti tecniche non rispondono per danni che dovessero sorgere con l'uso e l'applicazione della presente pubblicazione.

## LIGNUM

Economia svizzera del legno  
Mühlebachstrasse 8, 8008 Zürich  
Tel. 044 267 47 77, Fax 044 267 47 87  
info@lignum.ch  
www.lignum.ch

## Lignatec 34/2022

Prevenire i pericoli naturali con il legno

Pubblicato in luglio 2022

ISSN 1421-0320