



## AUTORITÀ DI BACINO REGIONALE SINISTRA SELE

Via A. Sabatini, 3 – 84121 Salerno  
Tel. 089/236922 - Fax 089/2582774



# QUADERNO OPERE TIPO



## PIANO STRALCIO PER L'ASSETTO IDROGEOLOGICO - AGGIORNAMENTO (2012) RISCHIO IDRAULICO E RISCHIO FRANA

<b>Segreteria Tecnica Operativa</b>  AREA TECNICA - Ing. Manlio Mugnani - Ing. Elisabetta Romano - Ing. Massimo Verrone - Arch. Vincenzo Andreola - Arch. Carlo Banco - Arch. Antonio Tedesco - Geol. Saverio Maietta - Geom. Giuseppe Taddeo		<b>Supporto esterno alla S.T.O.</b> <u>Aspetti geologici e informatizzazione</u> - Dott. geol. Vincenzo Siervo - Dott. geol. Antonello Cestari - Dott. geol. Gianluca Ragone - Dott. geol. Vincenzo Palmieri (ARCADIS) <u>Aspetti antropici e informatizzazione</u> - Arch. Emilio Buonomo <u>S.I.T.</u> - p. ind. Dario Martimucci <b>Consulente Specialistico (aspetti idraulici)</b> - ing. Raffaella Napoli	
<b>Il Responsabile del Procedimento</b> - Ing. Raffaele Doto		<b>Consulente Scientifico</b> - Prof. ing. Domenico Pianese - Prof. geol. Domenico Guida	

Data: Marzo 2012

Il Commissario Straordinario  
Avv. Luigi Stefano Sorvino

# Indice

<b>A Opere di sistemazione idraulica .....</b>	<b>1</b>
A.1 Protezioni trasversali .....	1
A.1.01 Opere di stabilizzazione del fondo alveo.....	1
A.1 Protezioni trasversali .....	2
A.1.01 Opere di stabilizzazione del fondo alveo.....	2
A.1 Protezioni trasversali .....	2
A.1.01 Opere di stabilizzazione del fondo alveo.....	2
A.1 Protezioni trasversali .....	3
A.1.01 Opere di stabilizzazione del fondo alveo.....	3
A.1 Protezioni trasversali .....	3
A.1.01 Opere di stabilizzazione del fondo alveo.....	3
A.1 Protezioni trasversali .....	4
A.1.01 Opere di stabilizzazione del fondo alveo.....	4
A.1 Protezioni trasversali .....	4
A.1.01 Opere di stabilizzazione del fondo alveo.....	4
A.1 Protezioni trasversali .....	4
A.1.01 Opere di stabilizzazione del fondo alveo.....	4
A.1 Protezioni trasversali .....	5
A.1.01 Opere di stabilizzazione del fondo alveo.....	5
A.1 Protezioni trasversali .....	5
A.1.01 Opere di stabilizzazione del fondo alveo.....	5
A.1 Protezioni trasversali .....	7
A.1.01 Opere di stabilizzazione del fondo alveo.....	7
A.1 Protezioni trasversali .....	7
A.1.02 Opere trasversali.....	7
A.1 Protezioni trasversali .....	8
A.1.02 Opere trasversali.....	8
A.1 Protezioni trasversali .....	8
A.1.03 Opere di trattenuta .....	8
A.1 Protezioni trasversali .....	8
A.1.03 Opere di trattenuta .....	8
A.2 Protezione delle sponde e delle scarpate arginali .....	9
A.2 Protezione delle sponde e delle scarpate arginali .....	10

A.2.01 Difese spondali su aste fluviali o torrentizie senza livelli d'acqua semipermanenti .....	10
A.2 Protezione delle sponde e delle scarpate arginali .....	10
A.2.01 Difese spondali su aste fluviali o torrentizie senza livelli d'acqua semipermanenti .....	10
A.2 Protezione delle sponde e delle scarpate arginali .....	11
A.2.01 Difese spondali su aste fluviali o torrentizie senza livelli d'acqua semipermanenti .....	11
A.2 Protezione delle sponde e delle scarpate arginali .....	12
A.2.01 Difese spondali su aste fluviali o torrentizie senza livelli d'acqua semipermanenti .....	12
A.2 Protezione delle sponde e delle scarpate arginali .....	12
A.2.01 Difese spondali su aste fluviali o torrentizie senza livelli d'acqua semipermanenti .....	12
A.2 Protezione delle sponde e delle scarpate arginali .....	13
A.2.01 Difese spondali su aste fluviali o torrentizie senza livelli d'acqua semipermanenti .....	13
A.2 Protezione delle sponde e delle scarpate arginali .....	13
A.2.01 Difese spondali su aste fluviali o torrentizie senza livelli d'acqua semipermanenti .....	13
A.2 Protezione delle sponde e delle scarpate arginali .....	14
A.2.01 Difese spondali su aste fluviali o torrentizie senza livelli d'acqua semipermanenti .....	14
A.2 Protezione delle sponde e delle scarpate arginali .....	14
A.2.02 Difese spondali su aste fluviali con livelli d'acqua semipermanenti .....	14
A.2 Protezione delle sponde e delle scarpate arginali .....	15
A.2.02 Difese spondali su aste fluviali con livelli d'acqua semipermanenti .....	15
A.2 Protezione delle sponde e delle scarpate arginali .....	16
A.2.02 Difese spondali su aste fluviali con livelli d'acqua semipermanenti .....	16
A.2 Protezione delle sponde e delle scarpate arginali .....	17
A.2.03 Difese arginali .....	17
A.2 Protezione delle sponde e delle scarpate arginali .....	20
A.2.03 Difese arginali .....	20
A.2 Protezione delle sponde e delle scarpate arginali .....	20
A.2.03 Difese arginali .....	20
A.2 Protezione delle sponde e delle scarpate arginali .....	21
A.2.03 Difese arginali .....	21

A.2	Protezione delle sponde e delle scarpate arginali .....	21
A.2.03	Difese arginali .....	21
A.2	Protezione delle sponde e delle scarpate arginali .....	22
A.2.03	Difese arginali .....	22
A.2	Protezione delle sponde e delle scarpate arginali .....	23
A.2.03	Difese arginali .....	23
A.2	Protezione delle sponde e delle scarpate arginali .....	24
A.2.03	Difese arginali .....	24
A.3	Opere di impermeabilizzazione e di intercettazione delle filtrazioni .....	24
A.4	Modellamento dell'alveo .....	25
A.4	Modellamento dell'alveo .....	25
A.4.01	Risagomatura con protezione di sponda .....	25
A.4	Modellamento dell'alveo .....	25
A.4.02	Ricalibratura sezione d'alveo: costituzione di fasce golenali ribassate e sponde rivestite con astoni di salici e protette al piede da massi legati e pali in legno .....	25
A.5	Rettifiche .....	26
A.6	Diversivi e scolmatori .....	27
A.7	Bacini o casse di laminazione .....	27
A.8	Recapito in un altro corso d'acqua .....	28
A.9	Manutenzione ordinaria e straordinaria .....	28
<b>B</b>	<b>Opere di sistemazione dei versanti .....</b>	<b>31</b>
B.1	Protezione superficiali .....	31
B.1	Protezione superficiali .....	31
B.1.01	Canaletta inerbita .....	31
B.1	Protezione superficiali .....	31
B.1.02	Fascinata .....	31
B.1	Protezione superficiali .....	32
B.1.03	Palizza .....	32
B.1	Protezione superficiali .....	32
B.1.04	Fosso presidiato con legname e pietrame .....	32
B.1	Protezione superficiali .....	33
B.1.05	Fosso rivestito con materassi in gabbioni .....	33
B.1	Protezione superficiali .....	33
B.1.06	Protezione dei versanti con reti e inerbimento .....	33
B.1	Protezione superficiali .....	33

B.1.07 Rete metallica di protezione.....	33
B.1 Protezione superficiali.....	34
B.1.08 Rete paramassi rinforzata con funi .....	34
B.1 Protezione superficiali.....	34
B.1.09 Rete paramassi ad assorbimento elastico.....	34
B.1 Protezione superficiali.....	35
B.1.10 Barriera paramassi.....	35
B.1 Protezione superficiali.....	35
B.1.11 Rilevato paramassi in terra rinforzata .....	35
B.1 Protezione superficiali.....	36
B.1.12 Terra rinforzata con geosintetici.....	36
B.2 Opere di drenaggio .....	36
B.2 Opere di drenaggio .....	36
B.2.01 Trincea drenante.....	36
B.2 Opere di drenaggio .....	37
B.2.02 Dreni suborizzontali.....	37
B.2 Opere di drenaggio .....	37
B.2.03 Diaframma drenante .....	37
B.2 Opere di drenaggio .....	38
B.2.04 Pozzo profondo .....	38
B.2 Opere di drenaggio .....	38
B.2.05 Pozzo con pompa autoinnescante.....	38
B.3 Opere di sostegno .....	39
B.3 Opere di sostegno .....	39
B.3.01 Muro a secco .....	39
B.3 Opere di sostegno .....	39
B.3.02 Muro in gabbioni.....	39
B.3 Opere di sostegno .....	39
B.3.03 Muro in calcestruzzo .....	39
B.3 Opere di sostegno .....	40
B.3.04 Muro in c.a. rivetito in pietrame.....	40
B.3 Opere di sostegno .....	40
B.3.05 Sottomurazione blocchi instabili.....	40
B.3 Opere di sostegno .....	41
B.3.06 Muro di sostegno in elementi prefabbricati .....	41
B.3 Opere di sostegno .....	42

B.3.07 Paratie di pali .....	42
B.3 Opere di sostegno .....	42
B.3.08 Paratie di micropali .....	42
B.3 Opere di sostegno .....	42
B.3.09 Tiranti	42
B.3 Opere di sostegno .....	43
B.3.10 Chiodature .....	43
B.3 Opere di sostegno .....	43
B.3.11 Reticolo di travi ancorate .....	43
B.3 Opere di sostegno .....	44
B.3.12 Muro con blocchi rivestiti in pietrame .....	44
B.3 Opere di sostegno .....	44
B.3.13 Terra rinforzata con geosintetici e muro in blocchi in cls .....	44
B.3 Opere di sostegno .....	44
B.3.14 Galleria stradale di protezione .....	44
B.4 Monitoraggio geotecnico.....	45
B.4.1 Tubo inclinometrico.....	45
B.4 Monitoraggio geotecnico.....	45
B.4.2 Inclinometro fisso.....	45
B.4 Monitoraggio geotecnico.....	45
B.4.3 Piezometri a tubo aperto.....	45
B.4 Monitoraggio geotecnico.....	46
B.4.4 Estensimetro multibase .....	46
<b>C Tecniche di ingegneria naturalistiche .....</b>	<b>47</b>
C.1 Tecniche di copertura .....	47
C.1 Tecniche di copertura .....	47
C.1.01 Semine.....	47
C.1 Tecniche di copertura .....	48
C.1.02 Piantumazioni .....	48
C.1 Tecniche di copertura .....	49
C.1.03 Copertura diffusa con astoni.....	49
C.1 Tecniche di copertura .....	49
C.1 Tecniche di copertura .....	49
C.1.04 Rinverdimento e mascheramento.....	49
C.2 Tecniche di consolidamento.....	50
C.2 Tecniche di consolidamento.....	50

C.2.01 Gradonate .....	50
C.2 Tecniche di consolidamento .....	51
C.2.02 Vimate .....	51
C.2 Tecniche di consolidamento .....	51
C.2.03 Cordonate .....	51
C.2 Tecniche di consolidamento .....	51
C.2.04 Drenaggi con fascine .....	51
C.2 Tecniche di consolidamento .....	51
C.2.05 Grate in legname .....	51
C.2 Tecniche di consolidamento .....	52
C.2.06 Palificate in legname .....	52
C.3 Tecniche combinate.....	52
C.4 Tecniche di completamento.....	52
<b>D Opere di tutela della fauna ittica: passaggi artificiali per la risalita dei pesci nei fiumi.....</b>	<b>53</b>
D.1 Rampe e passaggi costruiti con tecniche di ingegneria naturalistica .....	53
D.1.01 Rampe di risalita pesci.....	53
D.1 Rampe e passaggi costruiti con tecniche di ingegneria naturalistica .....	53
D.1.01 Rampe di risalita pesci.....	53
D.1 Rampe e passaggi costruiti con tecniche di ingegneria naturalistica .....	54
D.1.01 Rampe di risalita pesci.....	54
D.1 Rampe e passaggi costruiti con tecniche di ingegneria naturalistica .....	54
D.1.01 Rampe di risalita pesci.....	54
D.1 Rampe e passaggi costruiti con tecniche di ingegneria naturalistica .....	54
D.1.02 Passaggio per pesci.....	54
D.2 Scale di risalita in calcestruzzo .....	55
D.2 Scale di risalita in calcestruzzo .....	56
D.2.01 Scale a bacini successivi .....	56
D.2 Scale di risalita in calcestruzzo .....	58
D.2.02 Scale a rallentamento (del tipo Denil) .....	58

## **ALLEGATO 1: Opere Tipo**

## A OPERE DI SISTEMAZIONE IDRAULICA

Le protezioni idrauliche sono interventi diretti alla sistemazione di un bacino fluviale. Le opere di sistemazione idraulica del reticolo idrografico si prefiggono l'obiettivo di determinare un equilibrio fra le attività di scavo e di trasporto esercitate dai corsi d'acqua negli alvei mobili al fine di evitare che eccessi dell'una o dell'altra attività possano causare fenomeni di erosione o sovralluvionamento con conseguente manifestarsi di dissesti idrogeologici o di inondazioni. A seconda della finalità degli interventi queste opere hanno la funzione di modifica della forma, delle dimensioni, della quota di fondo e della pendenza degli alvei, come pure di difesa delle sponde da fenomeni di erosione e di dissesto in atto o potenziali. In funzione delle zone del bacino su cui si interviene (tratto montano, medio, fondo valle), le opere di protezione idraulica possono essere raggruppate in tipologie ben determinate che sono dipendenti dalla disponibilità del materiale, dalla possibilità di accesso dei mezzi meccanici, dalle caratteristiche idrauliche e geomorfologiche e dall'inserimento dell'opera nel paesaggio circostante.

### A.1 Protezioni trasversali

#### A.1.01 Opere di stabilizzazione del fondo alveo

Per la stabilizzazione del fondo alveo si ricorre comunemente alla realizzazione di soglie e briglie. Le soglie non emergono sensibilmente dall'alveo e in un corso tendente all'erosione hanno semplicemente lo scopo di fissare localmente l'altimetria, in modo che esso non possa abbassarsi e quindi, nel caso che nel tratto a monte si verificasse erosione, questa diminuirà la pendenza. Le soglie devono essere fondate abbastanza profondamente in modo che il previsto abbassamento dell'alveo a valle non ne provochi lo scalzamento; l'inserimento della soglia dovrà in ogni caso essere accompagnato da una protezione di tipo flessibile nel tratto d'alveo immediatamente a valle al fine di non innescare ulteriori fenomeni erosivi per effetto del salto di fondo che si viene a formare. Un torrente nei diversi stati d'acqua e nelle diverse località erode o deposita materiali; il fenomeno si può collegare con la velocità limite al fondo. Se, per un determinato stato di piena, la velocità al fondo è in ogni sezione uguale alla velocità limite in essa, allora si dice che si ha nel corso e per quello stato di efflusso la pendenza di equilibrio o che si è raggiunto il profilo di equilibrio. Se la velocità limite è inferiore alla velocità al fondo, allora si ha l'erosione; se è superiore potranno aversi depositi.

La sistemazione del torrente si propone di ridurre l'erosione nel bacino di raccolta e di ottenere nel resto del corso un profilo assai prossimo al profilo di equilibrio per la massima piena, in modo che l'alveo sia al riparo dalle erosioni e non sia soggetto a notevoli depositi. La sistemazione si ottiene principalmente con opere trasversali dette briglie, che in pratica sono muri di sostegno costruiti nell'alveo con sviluppo normale alla corrente. Esse servono a diminuire la pendenza, sostituendo al fondo una successione di piani che vanno dal piede di una briglia al ciglio della successiva. Ne risulta una minore velocità della corrente e quindi anche sul fondo con il risultato immediato di una minore erosione. Ai fini della regolazione sarà quindi necessario osservare in ogni tratto del corso quale sia la dimensione media dei ciottoli di minore volume costituenti l'ossatura del greto. Se si vuole evitare l'erosione questi ciottoli dovranno rimanere in sito anche quando la sabbia e la ghiaia minuta che occupano i vani interposti vengano trascinati a valle dalla corrente e perciò occorre che la velocità del fondo sia inferiore o uguale a quella limite. Ma la velocità al fondo dipende dalla velocità media del corso e questa, a sua volta dal raggio medio; per cui la regolazione va riferita alla piena massima. Nel periodo di accrescimento della piena, nel periodo finale e in genere sempre quando la piena ha valore inferiore al massimo previsto, la velocità sarà minore di quella limite di progetto e quindi potranno esserci depositi nel corso d'acqua. Il progetto consiste pertanto nel determinare quella pendenza che impedisca ad una determinata portata, in genere quella massima, di provocare le erosioni. Determinato in questo modo il profilo di equilibrio, si fissa l'altezza massima "A" delle briglie e allora dall'origine si manda la parallela al profilo di equilibrio sino ad un punto alto sul greto non più dell'altezza della briglia e si stabilisce in questo una prima briglia; dal piede di questa si traccia una nuova parallela al profilo di equilibrio sino ad un nuovo punto anch'esso alto non più di "A" e così si prosegue. Inoltre, poiché il valore della velocità non sarà diminuito dappertutto nella stessa misura, i depositi saranno distribuiti in modo ineguale, in genere più a valle che non a monte. Le briglie a gravità, un tempo costruite in muratura o pietrame, ora sono quasi tutte in cemento armato sia per una maggiore economicità di realizzazione sia per una maggiore compattezza del manufatto. Se si opera in zone di elevato pregio ambientale sarà necessario ridurre l'impatto visivo e paesaggistico rivestendo il paramento a valle della traversa e delle ali con



pietrame. La sezione trasversale di una briglia a gravità ha forma trapezia. Il paramento a valle, secondo una norma legislativa del 1912, dovrebbe essere verticale, ma è tollerata una piccola scarpa ( $< 0,2$ ), con scarpa maggiore c'è pericolo di erosione del paramento stesso provocato dall'impatto con il materiale solido trasportato dalla corrente. È opportuno realizzare la copertina della gaveta e delle ali con pietrame grossolanamente lavorato su 5 o 6 facce, avente la caratteristica principale di essere molto resistente all'azione abrasiva della corrente e al passaggio del materiale solido fluitato. Tali pietre dovranno essere poste in opera con il lato più lungo nella direzione della corrente e ben ammorsate alla struttura sottostante. Il terreno subito a valle della briglia deve essere in ogni caso sistemato in modo che l'acqua, stramazzando, non corroda il fondo è quindi opportuno determinare a che distanza cada l'acqua dal piede della briglia; nei due casi estremi di massima e minima velocità, in base alle caratteristiche del letto a monte della briglia e ai valori estremi della portata. In particolare ci si deve assicurare della stabilità delle fondazioni e delle imposte e bisogna adattare l'opera al terreno, in modo che essa non possa mai essere scalzata o aggirata dal torrente.

Per le briglie a gravità, cioè resistenti per il loro peso, l'esame delle condizioni statiche dipende dagli elementi di calcolo conosciuti per i muri di sostegno, che risultano sufficienti per le opere di piccola altezza; per le briglie più alte, dette traverse, valgono i calcoli in uso per le dighe. Le briglie di trattenuta di tipo tradizionale trattengono tutto il materiale trascinato dal torrente sia esso di dimensioni grosse o piccole, fino al totale esaurimento della loro capacità di invaso, dopodiché la loro funzione viene a cessare. Le briglie di trattenuta sono opere costose e per ottimizzare il rapporto costi-benefici occorre disporre di una sezione ristretta, possibilmente rocciosa preceduta da una larga varice dell'alveo a pendenza ridotta. Una briglia di trattenuta di tipo filtrante, munita di una o più finestre opportunamente dimensionate, può presentare notevoli vantaggi; infatti durante le piene rilevanti, essendo le finestre insufficienti a far defluire tutta la portata, si determina un rigurgito per cui, riducendosi la forza di trascinamento, il materiale si ferma per la maggior parte a monte della briglia, le successive portate di morbida, dando luogo ad una corrente radente, contribuiranno a rimuovere il materiale depositato trascinandolo a valle; in tal modo la capacità di accumulo della briglia può essere ripristinata. Si sottolinea che qualsiasi tipo di briglia, comprese quelle realizzate con materiale a basso impatto visivo e paesaggistico, come legname e pietrame, costituiscono, come quelle in calcestruzzo, un ostacolo insormontabile per la fauna ittica ed interrompono i flussi trofici ed energetici all'interno dell'ecosistema fluviale. Si raccomanda pertanto la massima diffusione delle rampe per la continuità faunistica.

## **A.1 Protezioni trasversali**

### **A.1.01 Opere di stabilizzazione del fondo alveo**

#### **A.1.01.01 Briglia a raso in massi**

Si tratta di tipologia destinata ad interventi di regimazione di corsi d'acqua montani. In relazione alle caratteristiche dimensionali, la briglia a raso in massi trova utile impiego in corsi d'acqua a carattere saltuario ed incisioni con profilo di fondo da stabilizzare. Tale tipologia, realizzata con materiali connotati da un buon grado di integrazione ambientale (massi), è caratterizzata da un ridotto impatto percettivo e paesaggistico a maggior ragione perché riproduce tecniche d'intervento in uso da parte delle popolazioni montane autoctone. La tecnologia costruttiva proposta prevede l'impiego di massi naturali o di cava, di adeguata pezzatura, intasati di calcestruzzo Rck 25. Le dimensioni geometriche ottimali comportano la realizzazione di una gaveta tendenzialmente trapezia, una dimensione in profondità pari a  $1,5 \div 2,0$  m per altezze della briglia in mezzera da minori a equivalenti, immorsamenti laterali per  $1,5 \div 2,0$  m nelle sponde.

## **A.1 Protezioni trasversali**

### **A.1.01 Opere di stabilizzazione del fondo alveo**

#### **A.1.01.02 Briglia a raso in c.a.**

Sotto il profilo funzionale tale tipologia di briglia è assimilabile alla precedente, in massi. Il ricorso al c.a. dovrà essere limitato a particolari condizionamenti locali che lo richiedano, stante il maggiore impatto connesso con una tale tecnologia costruttiva (tipicamente: presenza di muri in c.a. longitudinali ai quali la briglia vada raccordata, presenza di terreni che denotino cedimenti e richiedano strutture armate ecc.). La profondità dell'opera in corrispondenza della gaveta dovrà essere non inferiore a 2,0 m; l'immorsamento laterale nelle sponde almeno pari all'altezza totale della soglia. Le dimensioni citate andranno comunque verificate nel caso reale tenendo conto delle effettive caratteristiche plano-altimetriche dell'alveo (dissesti di sponda o di fondo in atto, presenza di roccia, presenza di altre opere ecc.). La gaveta sarà rivestita in bolognini i quali, nella parte lato valle, saranno disposti con uno sbalzo di circa 10 cm rispetto al paramento verticale della briglia, atto ad agevolare lo stramazzo della vena liquida per portate di magra. Nel corpo della briglia andranno ricavate aperture atte a garantire il drenaggio di subalveo onde evitare fenomeni di sifonamento.

## **A.1 Protezioni trasversali**

### **A.1.01 Opere di stabilizzazione del fondo alveo**

#### **A.1.01.03 Briglia in legname e pietrame**

Questa tipologia è idonea nel tratto montano del bacino in particolare lungo gli affluenti minori. Tale opera realizzata con materiali naturali è caratterizzata da un basso livello di impatto visivo e paesaggistico. L'opera è del tipo misto a cassero in legname e pietrame, costruita utilizzando legname con caratteristiche di prolungata resistenza all'immersione (come larice e castagno), scortecciato e trattato, se necessario, con prodotti impregnanti e conservanti. La struttura è formata da pali di diametro 15-20 cm disposti trasversalmente e da pali longitudinali di ancoraggio di diametro 20-30 cm. I due ordini di pali sono disposti alternativamente su file fino a raggiungere la quota di progetto. All'interno della struttura in legname è collocato il pietrame, di pezzatura pari a 20-30 cm, disposto in modo da non formare vuoti eccessivi onde realizzare un'opera compatta e monolitica. I pali in legno sono sagomati con incavi nelle zone di giuntura e legati tra loro. La gaveta della briglia risulta protetta dall'azione dei corpi trascinati dall'acqua da una serie di tronchi in legname di diametro 15-20 cm disposti longitudinalmente. A valle della briglia, al fine di evitare fenomeni di erosione con conseguente scalzamento della fondazione della briglia, verrà disposto del pietrame eventualmente reperito in loco, la cui pezzatura sarà determinata in funzione delle grandezze idrauliche caratteristiche del corso d'acqua in quella sezione. In ogni caso tale rivestimento dovrà essere esteso per almeno 3,00 m ed avere uno spessore sufficiente a consentire la posa di almeno due elementi lapidei.

## **A.1 Protezioni trasversali**

### **A.1.01 Opere di stabilizzazione del fondo alveo**

#### **A.1.01.04 Briglia in massi su platea in c.a.**

Tale tipologia viene impiegata preferibilmente su corsi d'acqua nei tratti montani e in genere su corsi d'acqua con piccolo bacino imbrifero. Tale opera realizzata interamente con pietrame e massi su una platea in c.a. di fondazione, è caratterizzata da un basso livello di impatto visivo e paesaggistico. La briglia è di tipo flessibile ed è costituita dalla fondazione, di spessore minimo di 1,5 m, su una platea in c.a. di 50 cm di altezza, e da una parte in elevazione di altezza pari a 1,5 m massimo che fissa la quota di fondo alveo e contemporaneamente l'altezza del salto imposto a valle. La lunghezza in sommità della gaveta dell'opera è di almeno 1,5 m mentre la lunghezza della platea di valle, in massi, assume un valore variabile tra 1,5 ÷ 4,5 m in funzione dell'altezza del salto di fondo alveo e delle dimensioni del corso d'acqua. Tale platea esplica la funzione di protezione della briglia da fenomeni di erosione a valle del salto. Nel punto terminale dell'opera occorrerà prevedere un taglione di immorsamento della platea in c.a. di altezza complessiva pari ad almeno 1,5 m. Complessivamente l'opera avrà una lunghezza massima di 5,5 ÷ 7,0 m in funzione del salto. I massi impiegati hanno volume medio non inferiore a 0,4 m<sup>3</sup>. La briglia è estesa per tutta la larghezza dell'alveo e adeguatamente immorsata nel terreno. A seconda dei casi è necessario realizzare sia a monte che a valle, una difesa di sponda in massi che ne consenta un facile immorsamento trasversale e ne impedisca l'aggiramento. Tali difese spondali costituiscono con la briglia stessa una struttura solida.

## **A.1 Protezioni trasversali**

### **A.1.01 Opere di stabilizzazione del fondo alveo**

#### **A.1.01.05 Briglia in gabbioni**

Tale tipologia viene impiegata particolarmente in corsi d'acqua il cui fondo alveo è costituito da terreni compressibili di tipo limo-argilloso o sia prevedibile qualche limitato movimento delle sponde, per la migliore capacità di adattamento agli eventuali assestamenti del terreno da parte della struttura in gabbioni (struttura flessibile). Deve comunque essere reperibile in situ il materiale lapideo adatto per riempire i gabbioni. Queste briglie vengono calcolate come briglie a gravità tenendo conto della porosità del gabbione. Nei corsi d'acqua ove è notevole il trasporto solido vi è la possibilità che le reti metalliche delle scatole si logorino o strappino. In tali casi è necessario il rivestimento delle parti più soggette all'abrasione (gaveta). L'opera è generalmente costituita dalla briglia vera e propria a cui fa seguito a valle una platea con la funzione di protezione della fondazione della briglia e/o di dissipazione dell'energia cinetica della corrente. Lateralmente, le sponde dell'alveo a valle del salto sono protette, per tutta la larghezza della platea, da una difesa longitudinale anche essa in gabbioni. L'opera trasversale deve essere adeguatamente immersa nel terreno integro onde evitarne l'aggiramento da parte della corrente. Le scatole dei gabbioni hanno dimensioni di 1 x 1 x 2 m e rete con maglia esagonale 6 x 8 cm a doppia torsione con filo metallico a doppia zincatura di 2.7 mm. Il collegamento tra i singoli gabbioni adiacenti viene effettuato lungo gli spigoli a contatto con cuciture realizzate con filo a doppia zincatura di diametro di 2.7 mm. Il riempimento dei gabbioni deve essere effettuato con ciottoli di fiume o pietre di cava di dimensioni non inferiori alla maglia della rete e comunque tali da ridurre al minimo gli spazi vuoti all'interno del gabbione. Durante il riempimento è necessario disporre nell'interno del gabbione un adeguato numero di tiranti in filo zincato onde evitare un'eccessiva deformazione delle scatole specie nella fase successiva di esercizio. Prima della posa in opera dei gabbioni sarà necessario provvedere alla regolarizzazione del piano di scavo ed alla stesa di un geotessile di peso 400 g/m<sup>2</sup> con funzione strutturale di ripartizione dei carichi e di contenimento del materiale più sottostante all'azione erosiva.

## **A.1 Protezioni trasversali**

### **A.1.01 Opere di stabilizzazione del fondo alveo**

#### **A.1.01.06 Briglia in c.a. rivestita con pietrame e bacino di dissipazione**

Questa tipologia è utilizzata sui corsi d'acqua principali di una certa importanza e preferibilmente nel tratto pedemontano e di fondovalle dell'asta fluviale. L'opera è generalmente costituita dalla briglia vera e propria in c.a. a cui fa seguito a valle una platea in massi con la funzione di protezione della fondazione della briglia e/o di dissipazione dell'energia cinetica della corrente. Lateralmente, le sponde dell'alveo a valle del salto sono protette, per tutta la lunghezza della platea, da una difesa longitudinale anche essa in massi la cui pezzatura sarà calcolata in base alle grandezze idrauliche caratteristiche di quella sezione del corso d'acqua. L'opera trasversale deve essere adeguatamente immersa nel terreno integro onde evitarne l'aggiramento da parte della corrente. Le parti a vista della struttura in cls. sono rivestite con pietrame di spessore medio di 20 cm. Allo scopo di ridurre la spinta idrostatica a monte della briglia, devono essere previste delle feritoie di drenaggio con tubi in PVC di diametro di 10 cm disposti a quinconce. Dovranno essere disposti dei giunti verticali per contenere fenomeni di ritiro e consentire dilatazioni termiche (in genere ogni 20 ÷ 25 m). Particolare cura dovrà essere posta nella esecuzione delle riprese di getto. Sul piano di posa della platea in massi, così come su quello delle difese spondali, occorrerà prevedere la stesa di un telo di geotessile di peso 400 g/m<sup>2</sup> con funzione di contenimento del materiale più sottostante all'azione erosiva.

## **A.1 Protezioni trasversali**

### **A.1.01 Opere di stabilizzazione del fondo alveo**

#### **A.1.01.07 Briglia in c.a.**

Sotto il profilo funzionale, tale tipologia è assimilabile a quelle in massi o in gabbioni. Differisce da quelle tipologie per l'impiego del c.a., tecnologia notoriamente connotata per un maggiore impatto ambientale. Per questo motivo il ricorso a tale soluzione andrà limitato ai casi in cui si renda necessario disporre di strutture rigide ma sufficientemente armate per sopportare cedimenti potenziali ovvero qualora si concretizzino fattori al contorno (tipicamente: raccordi/immorsamento con roccia, muri in c.a. longitudinali, spallette di ponti ecc.). La parte interrata presenta una fondazione a "L" in grado di conferire una maggiore stabilità alla struttura. L'opera andrà dimensionata in funzione delle caratteristiche del terreno sottostante e dell'altezza del salto. La gaveta andrà rivestita in bolognini i quali, sul fronte di valle, andranno disposti a sbalzo (> 10 cm) per agevolare lo stramazzo della vena liquida delle portate di magra. Al piede di valle andranno disposti massi a protezione dallo scalzamento.

## **A.1 Protezioni trasversali**

### **A.1.01 Opere di stabilizzazione del fondo alveo**

#### **A.1.01.08 Briglia in elementi prefabbricati**

Al pari della tipologia in gabbioni, la tipologia in questione potrà venire utilmente impiegata in corsi d'acqua a sezione ampia e dove il salto da realizzare presenti dimensioni di alcuni metri tale da generare consistenti spinte sul manufatto di sbarramento e, ancora, dove il fondo, ovvero le sponde, siano costituiti da terreni suscettibili di assestamenti / cedimenti. Tale struttura consente infatti adeguati gradi di flessibilità nelle tre dimensioni. Per contro, l'applicazione di questa tipologia in elementi prefabbricati andrà limitata a casi di corsi d'acqua in cui si è in presenza di trasporto di fondo interessante materiale di pezzatura di piccole-medie dimensioni; elementi lapidei di grandi dimensioni potrebbero disestare la struttura distruggendone alcuni elementi. La tecnologia del muro, realizzata in elementi prefabbricati in c.a., presenta un medio impatto percettivo che in parte viene generalmente annullato grazie alla vegetazione arbustiva che trova facile attecchimento fra gli elementi prefabbricati. Si tratta comunque di tecnologia consigliabile in situazioni dove risulti prevalente la garanzia di funzionalità a fronte di una salvaguardia ambientale ovvero in tratti di corso d'acqua ad elevata antropizzazione pregressa. Con la esemplificazione grafica che segue si vuole rappresentare una delle numerose varianti tipologiche disponibili sul mercato delle costruzioni prefabbricate, tutte basate sullo stesso principio strutturale. La particolare struttura degli elementi che la costituiscono consente il riempimento con materiale incoerente anche di pezzatura modesta, la qual cosa presenta indubbi vantaggi di impiego negli ambienti a ridotta disponibilità di ciottoli alluvionali l'uso dei quali è comunque sempre consigliabile in misura prevalente. Il piede di appoggio andrà regolarizzato mediante fondazione in calcestruzzo armato (in ragione delle sollecitazioni indotte dalla soprastante struttura). L'opera è generalmente costituita dalla briglia vera e propria a cui fa seguito a valle una platea (in massi) con funzione di protezione dallo scalzamento della fondazione e/o di dissipazione dell'energia cinetica della corrente. La gaveta andrà sempre sagomata con impiego di calcestruzzo di buona qualità e adeguato spessore con funzione di protezione dagli urti sugli elementi prefabbricati oltre che per migliorare il deflusso. Sul fronte di valle andrà generalmente ricavato un "gocciolatoio" (sbalzo > 10 cm) in c.a. con scopo di agevolare lo stramazzo della vena liquida delle portate di magra. La struttura andrà immersata nel fondo alveo per almeno 1/2 dell'altezza in asse gaveta al fine di evitare l'innescio di fenomeni di sifonamento. L'immorsatura laterale nel terreno integro, onde evitare l'aggrimento da parte della corrente, andrà realizzata per una di mensione al meno pari a 2 elementi modulari.

## **A.1 Protezioni trasversali**

### **A.1.01 Opere di stabilizzazione del fondo alveo**

#### **A.1.01.09 Briglia in blocchi cementizi e massi ciclopici**

Questa tipologia briglia potrà essere applicata nei casi di corsi d'acqua di dimensioni significative e nei tratti di pianura, dove la sezione d'alveo assume una precisa configurazione planimetrica e per i quali si presentano le seguenti condizioni:

- livelli d'acqua semipermanenti;

- larghezza d'alveo significativa;
- difficoltà nel reperimento dei massi ciclopici;
- salti di fondo limitati (massimo 2÷3 m);
- portate di piena elevate;
- esigenza di limitare l'estensione dell'opera;
- fondo alveo di natura alluvionale.

Questa soluzione permette di realizzare una struttura di tipo flessibile pur garantendo una globale solidità dovuta al collegamento ed allo sfalsamento delle file di blocchi e consente in tal modo di non realizzare strutture ben più onerose (ad esempio diaframmi molto più approfonditi rispetto alle quote di fondo alveo, anche 10÷15 m) che darebbero luogo, tra l'altro, a rilevanti problemi di impatto ambientale. Tale soluzione è particolarmente indicata in corsi d'acqua caratterizzati da deflussi perenni, in quanto consente, rispetto alla realizzazione di un diaframma, di ridurre decisamente i tempi di realizzazione, e quindi di interferenza con l'alveo, prefabbricando i blocchi in cantiere, e di avere la possibilità di realizzare la briglia per fasi successive. Nello stesso tempo, rispetto ad una soluzione di briglia realizzata in massi, consente di ridurre notevolmente (anche 4÷5 volte) i quantitativi di massi impiegati con evidenti benefici in termini di impatto ambientale. La tipologia di briglia proposta è di tipo flessibile ed è costituita da una struttura in blocchi cementizi, di volume pari a 1.0 m<sup>3</sup> disposti uno sull'altro in modo alternato secondo 3 file affiancate per uno spessore complessivo di 3.0 m. Ciascuna fila sarà realizzata mediante una disposizione alternata dei prismi, i quali potranno eventualmente essere collegati, in misura di 2 fori per ciascun elemento, a formare una struttura unitaria, seppur flessibile. L'altezza di ciascuna fila di prismi, e quindi della briglia, è funzione del salto di fondo che occorre superare (massima altezza 4.0 m); nel dimensionarla occorre tenere in conto i seguenti aspetti principali:

- approfondimento o immersione minimo della struttura pari a 2.0 m rispetto al fondo alveo attuale;
- quota di sommità congruente con la necessità di rispettare il più possibile i livelli idrici di piena preesistenti, evitando, con la costruzione delle nuove opere di provocare significativi innalzamenti del pelo libero, al fine di non modificare le attuali caratteristiche idrauliche del corso d'acqua.

L'estensione della briglia è prevista per tutta la larghezza dell'alveo, ferma restando la necessità di realizzare, sia a monte che a valle della struttura, una difesa di sponda in massi che ne consenta un facile immersione trasversale e ne impedisca l'aggrimento. Tali difese spondali costituiranno con la briglia stessa una struttura sufficientemente solidale a garantire la necessaria stabilità. A valle della briglia è prevista la realizzazione di una scogliera in massi di cava estesa lungo l'intero sviluppo della struttura in blocchi cementizi. Le funzioni attribuite a tale protezione sono: a) di tipo idraulico, legate alla necessità di contenere il più possibile gli effetti di dissipazione della corrente dovuti al salto di fondo, minimizzando i possibili dissesti locali sulla sezione d'alveo naturale; b) di tipo strutturale, legate alla necessità di sostenere a tergo la briglia in blocchi cementizi per garantirne la stabilità nel tempo, anche rispetto ad eventuali fenomeni di sifonamento. Essa verrà realizzata su una superficie di posa regolare precostituita ed a seguito della stesa di un telo di geotessile di peso non inferiore a 400 g/m<sup>2</sup>. L'inserimento di tale elemento è da ritenersi di fondamentale importanza per la funzionalità nel tempo della scogliera e conseguentemente anche della briglia, in quanto garantisce la stabilità del terreno sottostante alla struttura; in assenza del geotessile si determinerebbe la progressiva asportazione, ad opera della corrente, delle particelle di terreno sottostanti ai massi, che fluirebbero attraverso i vuoti presenti tra i massi stessi della scogliera, creando nel tempo cedimenti anche rilevanti che in caso di estreme sollecitazioni (transito di una portata di piena significativa) potrebbero provocare il collasso dell'intera briglia. In alternativa al geotessile occorrerebbe realizzare un filtro rovescio, di adeguato spessore e pezzatura, senza peraltro garantire una migliore funzionalità. L'estensione longitudinale della scogliera lungo il corso d'acqua è di almeno 7 ÷ 10 m a garanzia di un adeguato immersione dell'opera lungo l'intero sviluppo della briglia.

**A.1 Protezioni trasversali****A.1.01 Opere di stabilizzazione del fondo alveo****A.1.01.10 Briglia realizzata tramite scivolo in massi**

Tali opere trovano applicazione nei casi in cui necessiti mantenere fissa una quota del profilo di fondo in alvei che denotano una marcata tendenza all'abbassamento di fondo con coinvolgimento di importanti strutture quali fondazioni di ponti, briglie, opere di captazione idrica ecc. La tecnologia più consigliata comporta la realizzazione d'una soglia con rampa in massi non cementati di pezzatura calcolata in base alla grandezza idraulica caratteristica di quella sezione del corso d'acqua. I massi potranno venire collegati mediante la tecnica dell'infissione di barre d'acciaio saldate con malta antiritiro e legatura con trefoli d'acciaio. La resistenza alla dislocazione diverrà perciò quella della struttura complessiva. Nel caso di lunghezze elevate, la rampa potrà essere interrotta da setti realizzati con paratie di pali. A tale riguardo verranno utilizzati pali di legno di diametro >25 cm, lunghezza 3,0 m disposti ad interasse di 50 cm. Le soglie realizzate con tale tecnologia risultano efficaci quando si sia avuto cura di provvedere ai seguenti accorgimenti:

- disposizione irregolare dei massi;
- realizzazione d'una pendenza della rampa inferiore al  $12 \div 13\%$ ;
- disposizione dei massi tale da configurare una scabrezza pari a  $0,3 \div 0,5$  volte il diametro medio equivalente dei massi utilizzati;
- predisposizione di una zona di transizione a valle soglia in leggera contropendenza;
- posa dei massi su uno strato filtrante costituito generalmente da un geotessile di peso 400 g/m<sup>2</sup> ;
- conferimento al profilo di soglia di una leggera pendenza verso il centro alveo;
- protezione spondale sui due lati della soglia con impiego di massicciate;
- adozione di paratie di pali in legno a contenimento del piede di valle;
- adozione di massi di varia dimensione in modo da costituire un ambiente variato.

I massi verranno posati su un piano di posa regolarizzato previa la stesa di un geotessile di peso 400 g/m<sup>2</sup> .

**A.1 Protezioni trasversali****A.1.02 Opere trasversali**

I pennelli o repellenti sono opere sporgenti, che allontanano il vivo della corrente dalla sponda ove sono radicati, rendono sufficientemente tranquilla e protetta una zona a valle per una distanza di circa  $1,5 \div 2$  volte la loro sporgenza.

Si hanno pennelli di diversa forma e orientati diversamente rispetto alla corrente, distinguendosi principalmente:

- rispetto all'orientamento, quelli inclinati da quelli normali alla corrente,
- rispetto alla forma, in pennelli rettilinei, a baionetta e a T.

I pennelli orientati secondo la corrente sono generalmente meno convenienti degli altri perché proteggono soltanto la zona a valle, deviando la corrente verso la sponda opposta dove si possono avere dei danni; mentre i pennelli contro corrente proteggono maggiormente la zona a monte che non quella a valle. Con le forme più complicate a baionetta o a T si può ottenere una protezione abbastanza completa. Conviene disporre i pennelli in serie; la loro distanza si regola con l'ampiezza del corso d'acqua, l'intensità della corrente e la loro sporgenza. In molti casi essi danno risultati favorevoli, ma occorre tenere presente che i pennelli rappresentano sempre una riduzione della sezione e quindi possono essere usati soltanto dove il corso d'acqua abbia sezioni esuberanti.

## **A.1 Protezioni trasversali**

### **A.1.02 Opere trasversali**

#### **A.1.02.01 Pennello trasversale in pali e fascine rinforzato con protezione in massi**

L'opera verrà realizzata laddove risulti necessario indirizzare la corrente in piena verso la parte centrale dell'alveo; verrà disposta in modo da formare un angolo di circa  $15^{\circ}$ - $20^{\circ}$  rispetto alla perpendicolare alla direzione di flusso principale al fine di ridurre il più possibile l'effetto contrastante della corrente; in senso trasversale avrà un'inclinazione in sommità di circa  $1/10$ - $1/15$  verso fiume, sempre al fine di concentrare il deflusso verso la parte centrale dell'alveo. L'opera avrà un'altezza massima di 3,0 m realizzabile con la disposizione di una doppia serie di pali:

- la prima, sottostante, a formare il nucleo della difesa (3 file di pali ad interasse 2,0 m);
- la seconda, soprastante, costituita da due file di pali posti ad interasse 2,0 m.

Trasversalmente verranno disposte traverse di collegamento costituite da tondame in legno intercalato a strati di rami morti. Longitudinalmente, ed appoggiate ai pali, verranno disposte fascine vive di salici, mentre tutto il corpo dell'opera verrà riempito con pietrame e ghiaia proveniente dagli scavi e comunque presente in alveo. Sia a monte che a valle del pennello verrà inoltre realizzata una scogliera in massi ciclopici di protezione la cui pezzatura sarà calcolata in base alle grandezze idrauliche caratteristiche di quella sezione del corso d'acqua.

## **A.1 Protezioni trasversali**

### **A.1.03 Opere di trattenuta**

#### **A.1.03.01 Briglia selettiva a finestra**

Quest'opera è utilizzata nei punti e nelle zone di un corso d'acqua ove necessita una selezione dei materiali trasportati dalla corrente durante la piena. In particolare tale briglia effettua un'azione di trattenuta dei materiali di dimensioni maggiori dovuto all'effetto filtrante e alla diminuzione della velocità della corrente per il rigurgito provocato a monte. Le aperture rettangolari sviluppate in senso orizzontale sono dimensionate per bloccare i massi di notevole dimensioni trasportati dalla corrente. Generalmente si ricorre a tale tipologia nei bacini con elevato trasporto solido grossolano. Le modalità costruttive dell'opera sono le stesse della briglia/soglia in c.a.. L'altezza delle aperture è di 50 cm minimo mentre la larghezza è funzione del regime idraulico della corrente e dei materiali trasportati. La briglia è rivestita con pietrame nelle parti a vista della struttura in cls o, a valle, con terrapieno rinverdito. A monte e a valle della briglia è prevista una platea in massi di spessore di circa 1,5 m avente la funzione di protezione della fondazione della briglia. Ove necessario, le sponde dell'alveo a valle e a monte della briglia saranno protette da una difesa longitudinale in massi la cui pezzatura sarà calcolata in base alle grandezze idrauliche caratteristiche di quella sezione del corso d'acqua. Deve essere prevista la manutenzione periodica di tale opera con l'asportazione del materiale trattenuto a monte onde ripristinare la propria funzionalità.

## **A.1 Protezioni trasversali**

### **A.1.03 Opere di trattenuta**

#### **A.1.03.02 Briglia selettiva a pettine**

Questo tipo di briglia selettiva è particolarmente adatta, a causa della sua specifica conformazione, a trattenere la vegetazione trasportata dalla corrente in fase di piena (tronchi di albero, rami, cespugli, etc.). Generalmente si ricorre a tale tipologia nei tratti superiori dei corsi d'acqua caratterizzati da bacini con versanti franosi e ricchi di vegetazione arborea. Le modalità costruttive dell'opera sono le stesse della briglia in c.a. Lo spazio fra le aperture praticate nel corpo briglia e l'altezza degli elementi selettivi varia in funzione del materiale trasportato. In ogni caso l'interasse tra le barre non dovrà essere superiore a 2,0 m, mentre l'altezza dovrà generalmente essere estesa alla quota delle

sponde per consentire il trattenimento del materiale galleggiante (tronchi e vegetazione). Gli elementi a pettine saranno costituiti da tubi in ferro, opportunamente immorsati nella fondazione sottostante in c.a., in relazione all'altezza ed alle sollecitazioni, al cui interno saranno inserite travi IPE di adeguate dimensioni e calcestruzzo di riempimento. Le parti a vista della struttura sono rivestite con pietrame o, a valle, con terrapieno rinverdito. A monte e a valle della briglia è prevista una platea in massi (la cui pezzatura sarà calcolata in base alle grandezze idrauliche caratteristiche di quella sezione del corso d'acqua) avente la funzione di protezione della fondazione della briglia. La manutenzione periodica dell'opera è realizzata con l'asportazione e la pulizia del materiale accumulato sulla briglia.

## **A.2 Protezione delle sponde e delle scarpate arginali**

Queste tipologie di intervento svolgono una azione di difesa delle sponde dell'alveo da fenomeni di erosione causati dall'azione della corrente idrica. Le protezioni spondali saranno in generale da prevedersi solo laddove siano presenti manifesti fenomeni di erosione o dove risulti prevedibile che possano avvenire, a condizione che siano localizzate: a) all'interno di aree urbanizzate; b) in prossimità di nuclei edificati isolati, sia di tipo civile che industriale; c) in prossimità di manufatti idraulici o di attraversamento; d) in presenza di arginature in frodo all'alveo. A seconda dell'entità e dell'origine di tale erosione possono essere impiegate diverse tipologie, in funzione anche della presenza o meno di acqua. In particolare, nel seguito queste sono state suddivise secondo lo schema:

- difese spondali su aste fluviali o torrentizie senza livelli d'acqua semipermanenti
- difese spondali su aste fluviali con livelli d'acqua semipermanenti
- difese arginali

La protezione delle sponde e conseguentemente dei terreni retrostanti si può ottenere con difese radenti cioè con difese appoggiate alla sponda che esse proteggono, in modo che la corrente vi scorra dinanzi tangenzialmente. Esse hanno scopi essenzialmente difensivi e non modificano l'andamento del corso d'acqua. Quanto più regolare e liscia esse rendano la sponda, tanto maggiore velocità vi si forma nelle vicinanze; in particolare se la sponda stessa è ripida o verticale, donde l'antica massima che un muro chiama a sé la corrente. Le difese di sponda costituiscono provvedimenti di applicabilità molto generale che possono occorrere su qualunque specie di corso d'acqua, torrenti o fiumi, per proteggere dalle corrosioni determinati tratti di sponde o particolari località. Nelle sistemazioni fluviali le difese di sponda hanno una parte importantissima, anche se bisogna sempre considerare le tendenze evolutive del corso d'acqua. Nei corsi a fondo mobile ed aventi tendenza all'escavazione, non basta difendere le sponde, i cui rivestimenti potrebbero subire scalzamento al piede, occorre proteggere il fondo con una idonea berma. Le difese di sponda si possono distinguere come segue:

1) Consolidamenti e rivestimenti per semplice protezione da corrosioni L'uso di tali soluzioni presuppone che si tratti di sponde ad inclinazione non accentuata, minore di quella naturale delle terre, così da non determinare spinte e quindi franamenti o scoscendimenti. All'uopo si impiegano specialmente: a) difese in verde: cioè seminagioni o applicazioni di zolle erbose, dello spessore di circa 10 cm e lati 30 cm, sulle ripe ordinariamente emergenti, piantagioni di salici, pioppi etc.; b) scogliere di protezione e rivestimenti in pietrame o in pietrame e verde. Il punto più delicato di questa difesa è il piede e quindi, per evitarne lo scalzamento, occorre costruire una solida base con grossi massi; c) mantellate di appositi blocchi di calcestruzzo, collegati tra di loro e con la necessaria protezione al piede o di una gettata in calcestruzzo; d) gabbioni o materassi costituiti da reti metalliche riempite di ciottoli; e) rivestimenti bituminosi con l'impiego di pietrame e ciottoli legati con mastice bituminoso; f) geotessili e geogriglie. Criteri di scelta e rispettive limitazioni di impiego dipendono dalla natura delle sponde, dalla durata delle piene e dalla forza di trascinamento della corrente in piena.

2) Palancolate. Queste strutture servono anche per il sostegno delle sponde, ove la natura e la pendenza di queste siano tali da potere determinare una spinta o, in mancanza di sostegno, smottamenti. Le palancolate possono essere in ferro o in calcestruzzo armato.

3) Muri di sponda. Si impiegano lungo i tronchi fluviali urbani, per esigenze idrauliche e stradali.

Sono opere staticamente reagenti per il loro peso ed, in alcuni casi, rappresentano le migliori strutture di sponda e permettono di costruire pareti verticali o quasi, prestandosi a sostenere strade, banchine etc. I muri di sponda



devono però avere ottime fondazioni, anche con pali o palancole, infissi nel terreno. Le difese si possono anche suddividere in: rigide, flessibili, semirigide ed in materiale sciolto. Le opere rigide costruite generalmente in muratura di pietrame con malta o in calcestruzzo armato o no sono sensibilissime ai cedimenti provocati da scalzamenti o dalla scarsa resistenza del terreno di fondazione o da movimenti franosi. Per eliminare questi pericoli, occorrono sempre lavori complessi e non sempre di sicura efficacia quali fondazioni profonde ed estese. Buoni risultati si ottengono in alvei montani con forte trasporto solido e quindi di limitato scavo di fondo o, meglio ancora, quando l'opera può essere impostata direttamente su roccia non erodibile. Salvo questi casi, il più delle volte le opere rigide finiscono per lesionarsi ed essendo difficile ripararle sono spesso destinate alla distruzione completa. Le opere rigide hanno anche il difetto di essere praticamente impermeabili quindi soggette agli effetti delle sottopressioni ed in generale a pressioni e spinte più elevate, rispetto alle opere permeabili; inoltre una volta eseguite, possono essere modificate e ampliate solo con spese notevoli e perciò si prestano poco ad interventi graduali nel tempo. Quando le circostanze non sono completamente contrarie alla utilizzazione di questo tipo di opere, la scelta tra muratura in pietrame e calcestruzzo è dettata dal materiale che si può reperire in loco, in quanto i trasporti sono costosi e alle volte difficoltosi e, in qualche caso, sono sconsigliati da ragioni ambientali. Un comportamento nettamente diverso presentano le opere flessibili, come difese in pietrame e gabbionate, che possono adattarsi ai cedimenti e sopportare anche elevate deformazioni senza subire una totale distruzione, così da prestarsi a un ripristino: tale caratteristica è il pregio maggiore di questo tipo di opere. I gabbioni sono stati molto usati sino a tempi recenti: ma si è notato che, specialmente quando l'opera viene ubicata in torrenti a forte trasporto solido grossolano, la rete metallica si rompeva a causa degli urti e delle abrasioni. Anche se le conseguenze negative delle rotture non erano improvvise, la carenza di manodopera specializzata rende poco conveniente ricorrere alla ricucitura o alla sostituzione delle maglie rotte. Le difese in massi di pietrame sciolti, opportunamente dotate di una berma al piede, appaiono preferibili. È buona norma procedere, in fase di progettazione, alla verifica di stabilità di un'opera in pietrame. Per la determinazione della dimensione media dei massi, si fa solitamente riferimento alle espressioni di Stevens et altri (1976), basate sull'analisi delle forze agenti sull'elemento solido in condizioni di equilibrio limite, con la correzione per la stabilità su sponda inclinata. Calcolato il diametro medio del masso, si ottiene il volume minimo, calcolato come se il masso fosse sferico, e quindi il peso del masso stesso.

## **A.2 Protezione delle sponde e delle scarpate arginali**

### **A.2.01 Difese spondali su aste fluviali o torrentizie senza livelli d'acqua semipermanenti**

#### **A.2.01.01 Difesa mediante grata di legno**

L'opera sarà costituita da un elemento al piede per il fissaggio della protezione, con funzione antiscalzamento, e di una grata di legno disposta sul paramento inclinato della sponda; l'inclinazione della sponda è prevista non superiore a 1/2. L'elemento al piede sarà costituito da una fila di massi ciclopici di volume non inferiore a 0,8 m<sup>3</sup>, eventualmente legati con spezzoni in acciaio e trefoli. I massi saranno immorsati nel fondo alveo esistente e/o di progetto per l'intera altezza e svolgeranno una funzione di sostegno della grata in legno da realizzarsi sulla sponda. Quest'ultima sarà costituita da tondame di legno di diametro medio 20÷30 cm disposto a formare una grata con maglia 1,5 x 1,5 m circa; i tronchi verranno fissati tra di loro con chiodi in tondino di acciaio. Nella parte inferiore della grata si disporranno degli elementi di pietra spaccata con disposizione ad "accoltellato". La grata verrà intasata superficialmente con terreno vegetale nel quale verranno disposte talee di salice opportunamente infisse per garantire lo sviluppo di un adeguato apparato radicale. Si prevede di destinare una fascia di rispetto di 6,0 m a partire dal ciglio della sponda difesa.

## **A.2 Protezione delle sponde e delle scarpate arginali**

### **A.2.01 Difese spondali su aste fluviali o torrentizie senza livelli d'acqua semipermanenti**

#### **A.2.01.02 Difesa in legname e massi**

Tale struttura si rende opportuna nei casi in cui necessiti riprodurre un profilo di sponda acclive e l'altezza complessiva delle sponde non sia eccessiva (3,0 ÷ 4,0 m).

La struttura si comporrà dei seguenti elementi:

- tondi di tronchi d'albero adulto (larice, abete, pino, castagno) con diametro medio > 30 cm, disposti a costituire una maglia rettangolare con celle di lato 1,5 ÷ 2,0 per 3,0 m che verranno intasate di massi; si farà inoltre ricorso all'infissione verticale di pali per costituzione d'una paratia di contenimento; i pali, posti ad interasse di 2,5÷3,0 m, verranno infissi con quota di sommità corrispondente alla quota minima di fondo alveo;
- talee e fascinate di specie autoctone ripariali in grado di attecchire e costituire, col loro apparato radicale ed il fusto, la struttura di sostegno della sponda per il lungo periodo;
- una superficie debolmente inclinata ed inerbita potrà costituire il raccordo di sommità (di altezza > 60 cm) della sponda.

L'infissione dei pali verticali dovrà avvenire a partire dalla quota di fondo inciso corrispondente al prevedibile profilo di equilibrio stabile.

La collocazione delle maglie sub-orizzontali avverrà conferendo ai pali infissi nella scarpata un'inclinazione modesta verso monte al fine di favorire il trattenimento del materiale di riempimento (15° circa).

Al piede della struttura in legno si disporrà, per un'altezza di circa 2,0 ÷ 2,5 m, di cui 1,5 m al di sopra della quota di fondo alveo, una scogliera in massi legati con trefolo d'acciaio ed ancorati alla palificata; si considera una larghezza di circa 1,5 ÷ 2,0 m tra asse pali verticali infissi e

struttura in legno a celle.

La parte superiore della sponda verrà rinforzata con la posa di un pacchetto di spessore 35 cm così costituito:

- strato portante di base (terriccio arricchito con sostanze organiche e fibre vegetali);
- georete fissata con ancoraggi al terreno sottostante;
- terreno vegetale da sottoporre a semina di specie erbose autoctone;
- stuoia vegetale in fibra naturale con funzioni portanti e di contenimento;

Si prevede di destinare una fascia di rispetto di 6,0 m a partire dal ciglio della sponda difesa. È prevista inoltre l'eventuale realizzazione di una strada di servizio di larghezza 3,0 m costituita da un cassonetto di spessore 30 cm di misto di cava stabilizzato.

## **A.2 Protezione delle sponde e delle scarpate arginali**

### **A.2.01 Difese spondali su aste fluviali o torrentizie senza livelli d'acqua semipermanenti**

#### **A.2.01.03 Muro spondale in massi cementati**

Tale tipologia, caratterizzata da un livello di impatto ambientale medio (considerati i materiali utilizzati) troverà impiego nelle sistemazioni longitudinali di corsi d'acqua a carattere torrentizio laddove la pendenza di sponda vada necessariamente mantenuta elevata (> 50%) per motivazioni di vario genere (tipicamente: interferenza con costruzioni da salvaguardare, raccordo con spalle di ponte o con muri in c.a. preesistenti e mantenuti ecc.). Sotto il profilo funzionale, la sezione tipo presenta un'unghia al piede (quota di posa sempre al di sotto del massimo livello di scalzamento operabile dalla piena di progetto) ed una parte, "muro" vero e proprio, fuori terra che potrà presentare dimensioni in altezza variabili fra 2,0 ÷ 4,0 m; la larghezza in sommità non dovrà essere inferiore a 1,5 m in modo tale da conferire al "muro" una struttura tozza in grado di lavorare per gravità. Il piede alla base dovrà presentare dimensioni, al netto della fondazione della parte in elevazione, non inferiori a 2/3 h e comunque maggiori o uguali a 2,25 m. L'altezza del piede interrato dovrà essere non inferiore a 1,5 m. In alternativa all'unghia in massi cementati, nel caso in cui la soluzione prima descritta non risulti sufficientemente robusta rispetto alle caratteristiche del corso

d'acqua, al piede della fondazione potrà essere realizzato un diaframma in c.a. con spessore indicativamente pari a 1,0 m. In questo caso il diaframma dovrà essere dimensionato in funzione delle caratteristiche del terreno e del prevedibile abbassamento localizzato dell'alveo per effetto dell'azione di scalzamento. Il diaframma dovrà garantire la stabilità dell'intera struttura della difesa, pertanto, andrà preferibilmente immersato in un substrato di buone caratteristiche rispetto all'erosione producibile dalla corrente.

## **A.2 Protezione delle sponde e delle scarpate arginali**

### **A.2.01 Difese spondali su aste fluviali o torrentizie senza livelli d'acqua semipermanenti**

#### **A.2.01.04 Difesa in gabbioni metallici**

La difesa verrà impiegata per altezze di sponda non superiori a  $3,0 \div 4,0$  m, nei casi dove la disponibilità di spazio è limitata. Occorrerà in primo luogo realizzare un piano di fondazione dei gabbioni mediante la posa di massi di cava di volume medio  $0,4 \div 0,5$  m<sup>3</sup>, eventualmente intasati con calcestruzzo; la fondazione avrà la larghezza complessiva di  $3,5 \div 5,0$  m in funzione dell'altezza dell'opera. Il piano di appoggio così costituito consentirà la posa di una gabbionata inclinata rispetto alla verticale di un angolo pari a  $6^\circ \div 10^\circ$ . In corrispondenza del piano di appoggio dei singoli gabbioni verranno disposte ramaglie di salice a gradonata per consentire un adeguato rinverdimento della gabbionata. Per poter introdurre le piante in maniera corretta, occorrerà sollevare la rete e far passare i rami attraverso le maglie; le talee dovranno essere conficcate nel terreno dietro il gabbione per una profondità che dia garanzia di sicura crescita. Sulla sommità della sponda si prevede la messa a dimora di arbusti autoctoni che possano, con il loro apparato radicale, rinforzare la parte più prossima alla sponda. Si consiglia infine di destinare una fascia di rispetto di  $4,0 \div 6,0$  m a partire dal ciglio della sponda difesa.

## **A.2 Protezione delle sponde e delle scarpate arginali**

### **A.2.01 Difese spondali su aste fluviali o torrentizie senza livelli d'acqua semipermanenti**

#### **A.2.01.05 Difesa in gabbioni metallici e massi**

L'opera verrà realizzata in due parti distinte:

- una di fondazione, costituita da una scogliera in massi di cava (di peso non inferiore a 1000 kg) realizzata con un piede immersato di almeno 2,0 m rispetto al fondo alveo;
- una superiore, costituita da una gabbionata di altezza massima 3,0 m.

Preventivamente alla realizzazione della struttura occorrerà predisporre un piano di appoggio adeguato, mediante:

- la stesa di geotessile di peso 400 g/m<sup>2</sup> lungo la superficie di scavo e/o il profilo della sponda attuale;
- la regolarizzazione del materiale di riporto secondo una pendenza 2/3 (verrà utilizzato del materiale selezionato proveniente dagli scavi).

La scogliera in massi verrà portata ad un'altezza pari a 2,0 m dal fondo alveo e costituirà un piano orizzontale di appoggio per la gabbionata; quest'ultima consentirà di realizzare una difesa con notevole inclinazione lato fiume.

In corrispondenza del piano di appoggio dei singoli gabbioni verranno disposte ramaglie di salice a gradonata per consentire un adeguato rinverdimento della gabbionata.

Sulla sommità della sponda si prevede la messa a dimora di arbusti autoctoni che possano con il loro apparato radicale rinforzare la parte più prossima alla sponda.

Si prevede infine di destinare una fascia di rispetto di 6,0 m a partire dal ciglio della sponda difesa.

## **A.2 Protezione delle sponde e delle scarpate arginali**

### **A.2.01 Difese spondali su aste fluviali o torrentizie senza livelli d'acqua semipermanenti**

#### **A.2.01.06 Scogliera in massi di cava per rivestimento spondale**

Generalmente si ricorre a tale tipologia quando necessiti proteggere infrastrutture importanti quali nuclei abitati, strade, ferrovie ecc. e sia richiesta una difesa di sponda in grado di resistere a sollecitazioni elevate.

La difesa radente ottimale si presenterà strutturata mediante le seguenti componenti essenziali:

- rivestimento della sponda mediante una massicciata costituita da massi a spigoli vivi di pietra granitica o silicea (non geliva) di pezzatura media non inferiore a 0,4 m<sup>3</sup> e peso superiore a 1000 kg e comunque conforme alla forza di trascinamento della corrente;
- geotessile di peso 400 g/m<sup>2</sup> con funzione strutturale di ripartizione dei carichi e di contenimento del materiale più sottostante all'azione erosiva;
- piede di fondazione sufficientemente robusto per garantire all'opera la necessaria flessibilità in caso di possibili fenomeni di scalzamento.

La massicciata verrà realizzata, previa predisposizione del piano di appoggio regolarizzato e la stesa del geotessile, secondo una pendenza non superiore a 2/3 e per uno spessore di circa 1,5 m.

Fra i singoli massi andranno infisse talee di specie arbustive autoctone (salici ecc.) di facile attecchimento. Per fare questo si renderà necessario predisporre fra i massi alcune "fioriere" intasate di sabbia e terreno agrario, praticando dei fori in corrispondenza dei punti di contatto tra i massi e ricavando opportune asole nel sottostante telo di geotessile. Nella porzione superiore della massicciata, generalmente estesa fino alla sommità della sponda (sempreché i livelli idrici in piena ne interessino l'intera altezza), i massi andranno ricoperti con terreno agrario che verrà successivamente piantumato.

Il contenimento del terreno agrario sopra gli interstizi fra i massi verrà affidato ad un telo di stuoia vegetale (biostuoia) che, una volta esaurita la fase del radicamento degli arbusti, scomparirà per degradazione biologica. In sommità della difesa è previsto un immersione di circa 1,5 m della massicciata, quindi l'eventuale realizzazione di una strada di servizio di larghezza 3,0 m costituita da un cassonetto di spessore 30 cm di misto di cava stabilizzato. Si prevede in ogni caso di destinare una fascia di rispetto di 6,0 m a partire dal ciglio della sponda difesa. Il piede della difesa verrà immerso per almeno 1,5 ÷ 2,0 m rispetto alla quota di fondo alveo e comunque ad una profondità compatibile con gli effetti di scalzamento prevedibili; lo spessore minimo dovrà essere di 2,0 m e l'estensione a fiume pari almeno a 3,5 ÷ 4,0 m, in modo tale da costituire una sezione media di circa 8,0 m<sup>2</sup> /m (eventualmente più grande in funzione delle necessità calcolate).

## **A.2 Protezione delle sponde e delle scarpate arginali**

### **A.2.01 Difese spondali su aste fluviali o torrentizie senza livelli d'acqua semipermanenti**

#### **A.2.01.07 Difesa in massi ad una fronte (con ricostituzione di sponda in avanzamento)**

L'opera è del tutto simile a quella descritta in precedenza per ciò che riguarda il piede di fondazione e la configurazione della massicciata spondale. Si differenzia invece per il tipo di applicazione: in questo caso si tratta di sponde in arretramento perché erose, ovvero di opere o primate esistenti e dissestate; in tutti i casi occorre riconfigurare la sponda mediante il riporto ed il compattamento di materiale al fine di ripristinare una linea di sponda regolare ed in posizione corretta con le esigenze di funzionalità idraulica riscontrate. A tale riguardo il telo di geotessile verrà disposto immediatamente al di sotto della massicciata, ferme restando tutte le indicazioni riguardo all'esigenza di prevedere delle asole per l'innesto delle talee, già illustrate ai capitoli precedenti. Nei casi di sponda in erosione, la formazione del rilevato necessario a portare la linea di scarpata nella sua configurazione finale, richiederà di praticare un'opportuna serie di gradonature sul profilo esistente per meglio consentire l'immersione e

la compattazione dei nuovi strati di materiale. In alternativa al piede di fondazione in massi, nel caso in cui la soluzione prima descritta non risulti sufficientemente robusta rispetto alle caratteristiche del corso d'acqua, potrà essere realizzato un diaframma in c.a. con spessore indicativamente pari a 1,0 m. In questo caso il diaframma dovrà essere dimensionato in funzione delle caratteristiche del terreno e del prevedibile abbassamento localizzato dell'alveo per effetto dell'azione di scalzamento. Il diaframma dovrà garantire la stabilità dell'intera struttura della difesa, pertanto andrà preferibilmente immerso in un substrato di buone caratteristiche rispetto all'erosione producibile dalla corrente.

## **A.2 Protezione delle sponde e delle scarpate arginali**

### **A.2.01 Difese spondali su aste fluviali o torrentizie senza livelli d'acqua semipermanenti**

#### **A.2.01.08 Difesa spondale con elementi prefabbricati**

La tipologia in questione potrà venire utilmente impiegata a contenimento di scarpate di sponda caratterizzate da elevate dimensioni in altezza, eventualmente con terreni molto spingenti (se non addirittura di riporto), tali da richiedere un contrasto "per gravità", e contemporaneamente ove si renda necessaria un'elevata funzione drenante al piede e, ancora, dove il fondo alveo, ovvero le sponde, siano costituiti da terreni suscettibili di assestamenti /cedimenti. Tale struttura consente infatti adeguati gradi di flessibilità nelle tre dimensioni. La tecnologia prevede l'impiego di una struttura a maglie reticolari con elementi in c.a. prefabbricati; tali maglie vengono intasate con materiale granulare proveniente dagli scavi e dall'alveo. A tergo si dovrà avere cura di riempire gli spazi fra sezione di scavo e terreno rimasto in posto. La stesa di un telo di geotessile impedirà l'asportazione del materiale fine dalla scarpata. La particolare struttura in questione consente il riempimento con materiale incoerente anche di pezzatura modesta, la qual cosa presenta indubbi vantaggi di impiego negli ambienti a ridotta disponibilità di ciottoli alluvionali l'uso dei quali è comunque sempre consigliabile in misura prevalente. Il piede di appoggio andrà regolarizzato mediante fondazione in calcestruzzo armato (in ragione delle sollecitazioni indotte dalla soprastante struttura). La tecnologia in questione presenta un medio impatto percettivo che in parte viene generalmente annullato grazie alla vegetazione arbustiva che trova facile attecchimento fra gli elementi prefabbricati. A tale scopo si consiglia comunque l'infissione di talee di arbusti autoctoni a rapido attecchimento. Si tratta comunque di tecnologia consigliabile in situazioni dove risulti prevalente la garanzia di funzionalità a fronte di una salvaguardia ambientale ovvero in tratti di corso d'acqua ad elevata antropizzazione pregressa (contenimento scarpate di rilevati, risagomatura spondale a protezione piazzali ecc.). Con la esemplificazione grafica che segue si vuole rappresentare una delle numerose varianti tipologiche disponibili sul mercato delle costruzioni prefabbricate, tutte basate sullo stesso principio strutturale. L'unghia lato acqua dovrà venire protetta mediante nucleo di massi cementati; il piede di tale nucleo andrà approfondito oltre la quota del massimo scalzamento (soprattutto in curva) operabile dalla corrente per transito della massima piena di progetto. Un adeguato raccordo con la sponda naturale (ad inizio e fine difesa) andrà realizzato al fine di impedire l'aggiramento da parte della corrente.

## **A.2 Protezione delle sponde e delle scarpate arginali**

### **A.2.02 Difese spondali su aste fluviali con livelli d'acqua semipermanenti**

#### **A.2.02.01 Scogliera in massi di cava**

Generalmente si ricorre a tale tipologia quando necessita proteggere infrastrutture importanti quali nuclei abitati, strade, ferrovie etc. e sia richiesta una difesa di sponda in grado di resistere a sollecitazioni elevate. La difesa radente ottimale si presenterà strutturata mediante le seguenti componenti essenziali:

- rivestimento della sponda mediante una massicciata costituita da massi a spigoli vivi di pietra granitica o silicea (non geliva) calcolata in base alle grandezze idrauliche caratteristiche di quella sezione del corso d'acqua;
- geotessile di peso 400 g/m<sup>2</sup> con funzione strutturale di ripartizione dei carichi e di contenimento del materiale più sottostante all'azione erosiva;

· piede di fondazione sufficientemente robusto per garantire all'opera la necessaria flessibilità in caso di possibili fenomeni di scalzamento.

La massicciata verrà realizzata, previa la predisposizione del piano di appoggio regolarizzato e la stesa del geotessile, secondo una pendenza non superiore a 2/3 e per uno spessore di circa 1,5 m.

Fra i singoli massi andranno infisse talee di specie arbustive autoctone (salici ecc.) di facile attecchimento. Per fare questo si renderà necessario predisporre fra i massi alcune "fioriere" intasate di sabbia e terreno agrario, praticando dei fori in corrispondenza dei punti di contatto tra i massi e ricavando opportune asole nel sottostante telo di geotessile. Nella porzione superiore della massicciata, che verrà estesa generalmente fino alla sommità della sponda (sempre che i livelli idrici in piena ne interessino l'intera altezza), i massi andranno ricoperti con terreno agrario che verrà successivamente piantumato. Il contenimento del terreno agrario sopra gli interstizi fra i massi verrà affidato ad un telo di stuoia vegetale (biostuoia) che, una volta esaurita la fase del radicamento degli arbusti, scomparirà per degradazione biologica. In sommità della difesa è previsto un immersionamento di circa 1,5 m della massicciata, quindi l'eventuale realizzazione di una strada di servizio di larghezza 3,0 m costituita da un cassonetto di spessore 30 cm di misto di cava stabilizzato. Si prevede in ogni caso di destinare una fascia di rispetto di 6,0 m a partire dal ciglio della sponda difesa. Il piede della difesa verrà immersato per almeno 1,5 ÷ 2,0 m rispetto alla quota di fondo alveo e comunque ad una profondità compatibile con gli effetti di scalzamento prevedibili; lo spessore minimo dovrà essere di 2,0 m e l'estensione a fiume pari almeno a 4,5 ÷ 5,0 m, in modo da costituire una sezione media di circa 10 m<sup>2</sup> /m (eventualmente più grande in funzione delle necessità calcolate). È da escludere il ricorso ai prismi cubici in calcestruzzo in sostituzione dei massi; l'eventuale loro utilizzo andrà limitato ai soli casi di reimpiego di elementi già presenti nella zona dei lavori sotto forma di vecchie difese dismesse e verrà limitato alle parti di fondazione sommerse.

## **A.2 Protezione delle sponde e delle scarpate arginali**

### **A.2.02 Difese spondali su aste fluviali con livelli d'acqua semipermanenti**

#### **A.2.02.02 Rivestimento spondale in materassi metallici con piede di fondazione in massi**

Generalmente si ricorre a tale tipologia quando si è in presenza di velocità di corrente non elevate e per altezze di rivestimento non superiori a 4,0 m.

La difesa sarà costituita da due parti ben distinte:

- la parte emersa, rappresentata da un rivestimento della sponda con l'utilizzo di materassi metallici fissati al piede da una doppia fila di paletti in legno e da fascine disposte longitudinalmente alla sponda;
- la parte immersa, costituente la parte fondazionale dell'opera a protezione contro lo scalzamento.

Il rivestimento della sponda verrà realizzato, previa la regolarizzazione della superficie di appoggio secondo una pendenza 1/2 e la stesa di un geotessile di peso non inferiore a 300 g/m<sup>2</sup>, con l'impiego di materassi metallici tipo "Reno" dello spessore di 23 ÷ 25 cm riempiti con pietrame

di media pezzatura.

La tecnologia alternativa all'impiego del geotessile consiste in un filtro costituito da materiale alluvionale fine opportunamente classato.

I materassi metallici andranno intasati e ricoperti da un congruo strato di terreno coltivo (eventualmente ricaricabile col tempo nella fase di avviamento) che andrà sottoposto a semina di specie erbose autoctone. Superiormente il rivestimento verrà risolto per circa 2,0 m e fondato su un elemento a gabbione (1.0 x 1.0 m) disposto longitudinalmente. È prevista inoltre l'eventuale realizzazione di una strada di servizio di larghezza 3,0 m, costituita da un cassonetto di spessore 30 cm di misto di cava stabilizzato. Si prevede in ogni caso di destinare una fascia di rispetto di 6,0 m a partire dal ciglio della sponda difesa.

Al piede il rivestimento verrà disposto in contropendenza a formare una berma a quota corrispondente al livello d'acqua semipermanente.

Verranno disposte a dimora delle fascine (in modo che si trovino parte in acqua, parte emerse) fissate al terreno con dei paletti di legno.

Le fascine verranno confezionate con rami o verghe di salice dotate di capacità vegetativa.

Complessivamente la berma avrà una larghezza di circa 2,5 m.

La parte di fondazione della difesa verrà realizzata con l'impiego di massi di cava di pezzatura media non inferiore a 0,4 m<sup>3</sup>; la tipologia e le modalità realizzative sono le stesse già descritte per l'opera precedente.

È da escludere il ricorso ai prismi cubici in calcestruzzo in sostituzione dei massi; l'eventuale loro utilizzo andrà limitato ai soli casi di reimpiego di elementi già presenti nella zona dei lavori sotto forma di vecchie difese dismesse.

## **A.2 Protezione delle sponde e delle scarpate arginali**

### **A.2.02 Difese spondali su aste fluviali con livelli d'acqua semipermanenti**

#### **A.2.02.03 Rivestimento spondale rinforzato con georete e stuoia vegetale, fissato al piede con pali in legno e gabbioni cilindrici**

Generalmente si ricorre a tale tipologia quando si è in presenza di velocità di corrente non elevate, significativi livelli d'acqua semipermanenti e altezze di sponda maggiori di 4,0 m.

Anche in questo caso la difesa sarà costituita da due parti distinte:

- la prima emersa, rappresentata da una sponda rinforzata e rivestita in grado di contrastare l'erosione operata dalla corrente;
- la parte immersa, realizzata in massi e gabbioni cilindrici, separata dal rivestimento di sponda dall'infissione di pali in legno.

La geometria della sponda andrà disegnata prevedendo una berma intermedia (con leggera pendenza in direzione della sponda) a pelo d'acqua (livello idrico semipermanente), che offra condizioni idonee all'insediamento della vegetazione acquatica, oltre alla creazione di un habitat adeguato alla frega dei pesci e alla nidificazione degli uccelli; consentirà inoltre la fruizione del corso d'acqua per diversi scopi ricreativi. Allo scopo di mantenere inalterata la geometria della berma ed una zona d'acqua mediamente calma, sarà consigliabile la posa, all'estremità della banca lato fiume, di elementi di contenimento facilmente schermabili dalla vegetazione ed in particolare fascine con nucleo costituito da rami a fusto sviluppato ancorati con paletti. Il tutto contenuto lato fiume mediante infissione di pali in legno di altezza 3,0 ÷ 4,0 m posti ad interasse 1,5 ÷ 2,0 m. Generalmente il pacchetto di difesa superficiale della sponda dovrà prevedere un elemento in grado di contrastare l'erosione operata dalla corrente ed uno strato di terreno vegetale. In particolare, risalendo a partire dai pali in legno di contenimento si disporrà, previa la regolarizzazione della sponda su una pendenza 1/2 e la stesa di un geotessile (400 g/m<sup>2</sup>), un rivestimento in materassi metallici tipo "Reno" dello spessore di 23 ÷ 25 cm riempiti con pietrame di media pezzatura. I materassi metallici, che verranno estesi per un'altezza complessiva non superiore a 2,5 m, andranno intasati e ricoperti di un congruo strato di terreno coltivo che andrà sottoposto a semina di specie erbose autoctone. Nella parte superiore della sponda dove la funzione antierosiva sarà minore pur risultando ancora significativa, si potrà fare ricorso ad un pacchetto di strati (di materiali vivi ed inerti) fissato con opportuni ancoraggi permanenti e costituito da (procedendo dal basso in alto):

- a) uno strato portante di base ottenuto con terriccio arricchito con sostanze organiche e fibre vegetali;
- b) una georete (in nylon, poliestere, polietilene ecc.) con elevate caratteristiche fisiche e meccaniche, intasata di terreno vegetale, dotata di anelli per il fissaggio degli ancoraggi ovvero di asole per l'infissione e la crescita di talee;
- c) uno strato di terreno vegetale da sottoporre a semina di specie erbose autoctone ovvero costituito da zolle erbose di provenienza esterna e per le quali si sia fatto ricorso a miscugli di semina di specie erbose locali con discriminazione fra specie adatte per la zona dei legni teneri e per quelle dei legni duri in ambito vegetazionale adulto;

d) una stuoia vegetale in fibra naturale (paglia, legno ecc.) con funzioni inizialmente portanti e di contenimento del materiale fine;

In sommità della difesa è previsto un risvolto per circa 1,5 m dell'intero pacchetto (a-d) sopra descritto; è prevista inoltre l'eventuale realizzazione di una strada di servizio di larghezza 3,0 m costituita da un cassonetto di spessore 30 cm di misto di cava stabilizzato.

Si prevede in ogni caso di destinare una fascia di rispetto di 6.00 m a partire dal ciglio della sponda difesa.

Per quanto riguarda la parte immersa, verranno disposti una o due file di pali di legno in funzione della profondità, a distanza non superiore di 2.0 m; partendo da lato fiume si disporranno, accostandoli ai pali, gabbioni cilindrici preventivamente realizzati a terra di diametro medio di

60 cm (o in alternativa fascine cilindriche riempite sempre di pietrame) a costituire un piede di fondazione che andrà poi ulteriormente rinforzato superiormente con uno strato di massi di pezzatura adeguata.

## **A.2 Protezione delle sponde e delle scarpate arginali**

### **A.2.03 Difese arginali**

La difesa idraulica dei territori laterali ai corso d'acqua nei loro tratti di pianura è spesso volte affidata ad argini longitudinali, eseguiti fin da epoche remote quando tali zone, ripetutamente soggette ad inondazioni, vennero in tal modo protette e quindi sistemate o bonificate.

Da un lato sono evidenti le necessità e i vantaggi delle arginature, per proteggere territori dalle inondazioni però l'arginatura di un tronco fluviale, ossia il suo restringimento tra argini, innalza il livello idrico nel corso degli eventi di piena ed aggrava i pericoli di rotte, le difficoltà di scolo delle zone laterali e talora induce permeazioni ed effetti dannosi sulla falda freatica, inoltre sopprimendo le zone di espansione, accresce la portata di piena nei tronchi a valle.

Per quanto attiene ai criteri progettuali, si può rilevare come fino agli anni 1960 si sono applicati criteri empirici da sempre noti. La meteorologia e l'idrologia, pur avendo fatto grandi progressi, lasciavano ancora ampi dubbi sulla loro efficace applicazione in bacini fortemente antropizzati e tra loro diversi per clima dominante, per geologia e per morfologia. Si assumeva quindi come valore di riferimento progettuale il massimo livello di piena conosciuto, imponendo che le sommità delle arginature avessero un congruo margine di sicurezza ( franco arginale) al di sopra di esso. Tale era anche il principio informatore degli atti di indirizzo che hanno promosso le circolari emanate dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici dopo ogni piena. In sostanza, piena dopo piena, le arginature venivano rialzate di quel tanto che potesse consentire il contenimento, senza tracimazione, della massima piena già verificatasi e quindi nota nei suoi effetti. Alla quota così determinata veniva aggiunto il franco di sicurezza, di cui si è detto sopra. La nuova sezione arginale, veniva così ad acquisire nuovi elementi: banca, sottobanca, piè di banca, piazza bassa, petto, antipetto, per conferire stabilità ai paramenti arginali che, in conseguenza del rialzo e a parità di pendenza e di caratteristiche del terreno di costituzione, da stabili che erano diventavano instabili. Le arginature non devono essere solo opere idrauliche atte a contrastare l'esondazione per sormonto ma devono anche costituire manufatti realizzati con magisteri tali da scongiurare pericoli di rotte per sifonamento. Tale pericolo un tempo in pratica non sussisteva per le modeste altezze sul piano di campagna, mentre oggi, sovrizzo dopo sovrizzo, le quote di tenuta delle sommità dei rilevati sono tali da rendere talvolta precario l'equilibrio tra la spinta della falda caricata dal fiume in piena e la capacità di tenuta dello strato di terreno impermeabile o semipermeabile sovrastante. Un ruolo predominante in tal senso è svolto dalla pendenza piezometrica, ovvero dalla linea di imbibizione che si determina all'interno del corpo arginale relativamente al paramento esterno, nonché dalla velocità di decrescita dei livelli per quanto concerne quello interno. Inoltre la localizzazione del tracciato dei rilevati arginali, salvo qualche più recente caso particolare, non è mai stata preceduta da una campagna geognostica approfondita, ma rappresenta per lo più il risultato di compromessi tra l'esigenza idraulica e vincoli precostituiti. Lungo le arginature, la filtrazione, legata al coefficiente di permeabilità, può assumere valori medi discretamente bassi ed oscillanti attorno ai  $10^{-3} \div 10^{-4}$  cm/s (vedi indagini compiute dal Magistrato per il Po nel 1987). Talvolta accade però che, per circostanze fortuite,



vengano a formarsi vie preferenziali oppure che la cadente sia troppo elevata perché il peso delle particelle conservi l'equilibrio, sicché il moto diventa distruttivo e provoca il crollo per sifonamento.

È vero che il collasso di un argine per sifonamento è il frutto del combinarsi di varie circostanze occasionali che innescano il fenomeno, ma, se si esamina con attenzione la localizzazione dei fontanazzi formati in passato, spesso ci si accorge che essi si verificano in corrispondenza della sede di alvei antichi, via via sottratti al fiume da insediamenti agricoli o da altre attività. A causa del consistente flusso filtrante e soprattutto per le considerevoli estese arginali soggette a tali fenomeni, oltre che per la sensibile profondità degli strati impermeabili, è impensabile provvedere alla bonifica dei terreni di imposta. Equilibrare poi la spinta delle falde con il contrargine a debita distanza da quello maestro è oggi improponibile così come lo sono tutti quegli interventi che comunque portano alla occupazione di consistenti quantità di terreni a campagna. Gli anni sessanta segnano una nuova fase per quanto attiene alla definizione delle caratteristiche della piena, rispetto alla quale dimensionare le arginature. L'avvento degli elaboratori elettronici ha consentito l'elaborazione di estese serie di dati idrologici e l'impiego dei modelli matematici per l'interpretazione e per la proiezione degli eventi idrologici è diventato una pratica usuale.

Nel dimensionamento delle quote delle arginature, si fa attualmente riferimento all'evento con tempo di ritorno non inferiore a 100 anni; al valore così calcolato è d'obbligo l'aggiunta del franco per tener conto dei margini di incertezza che ancora restano propri dei fenomeni idro-meteorologici nonché dei molteplici e variabili parametri che identificano il bacino e il relativo corso d'acqua. Ovviamente l'indagine non deve fermarsi all'esame idrologico dettagliato ma occorre acquisire i dati geotecnici che comunque possono influenzare la stabilità dell'opera ed in particolare accertare il grado di permeabilità dei terreni di imposta delle arginature in relazione ai diversi livelli di piena e alla loro durata. Dal momento che la realizzazione di un sistema arginale influisce in modo determinante sulle caratteristiche morfologiche ed ambientali dell'intero bacino là dove esso non si configuri come naturale ed essenziale completamento di opere già avviate per la difesa di centri abitati ed infrastrutture, deve scaturire da una accurata pianificazione a livello di bacino. I materiali impiegati sono quelli stessi che il fiume offre, così come le tecniche esecutive, perfezionate ed aggiornate dal processo tecnologico che parallelamente si è sviluppato. Anche le sagome, supportate oggi da rigorose calcolazioni tecnico-scientifiche, riflettono quelle che si sono andate definendo nel tempo attraverso l'applicazione di criteri empirici.

Ben più puntuale è invece l'attenzione sui terreni di imposta per i quali, laddove l'indagine induce ad incertezze o addirittura rileva carenze, si pone rimedio ricorrendo alla diaframmatatura la quale rimane, per le motivazioni sopra riportate, il più efficace sistema che la tecnologia suggerisce a costi compatibili, ancorché consistenti. Graduando la profondità in funzione del grado di permeabilità si può arrivare ad allungare il percorso dei filetti liquidi fino a valori ottimali per la stabilità delle arginature. La specifica manutenzione dei rilevati arginali, se si escludono saltuari interventi finalizzati alla conservazione dell'efficienza della pista di servizio, posta in genere sul coronamento dei rilevati arginali, consiste essenzialmente negli sfalci stagionali delle erbe che vegetano sui loro paramenti e nella risagomatura dei paramenti medesimi. Dette operazioni in se caratterizzate da costi unitari modesti, se estese alle migliaia di chilometri di arginatura esistenti, determinano spese annuali decisamente consistenti, tantopiù se confrontate con quelle del passato, allorché, invece, detto costo era quasi nullo perché le operazioni erano effettuate dagli stessi proprietari frontisti, i quali con il ricavato del prodotto erboso sfalciato facevano abbondantemente fronte ai costi della concessione della pertinenza demaniale. Oggi, in special modo per i paramenti interni delle arginature, non è più possibile ricorrere a tale supporto per le seguenti ragioni:

- i mezzi di sfalcio delle erbe da parte dell'agricoltore non sono più manuali bensì veloci mezzi meccanici operanti prevalentemente in piano;
- i paramenti interni delle arginature oltreché avere caratteristiche di forte pendenza ( $3/2$ ) hanno assunto sviluppi ragguardevoli e sono tali da non consentire l'impiego delle comuni sfalciatrici agricole (il taglio a mano è comunque antieconomico);
- il valore di mercato del prodotto sfalciato non copre le spese del taglio e della raccolta con le attrezzature speciali.

Tali circostanze inducono a studiare, nel piano di riassetto delle arginature, sezioni conformi che oltre a meglio garantire la tenuta idraulica e la stabilità favoriscano anche la manutenzione da parte dei frontisti. Un simile risultato può essere conseguito mediante l'esecuzione sistematica dei petti arginali a fiume con profilo simile a quello delle banche a campagna oppure riducendo la pendenza delle scarpate a valori non superiori all'uno su tre. L'operazione è facilitata quando si è in presenza di una golena, la quale, peraltro, costituisce una seconda via di accesso (dal

basso) ai mezzi di manutenzione in alternativa alla pista di servizio che corre sul coronamento. È, inoltre, da rilevare che la mancata manutenzione anche semplicemente per una stagione, comporta da un lato l'aumento dei costi per lo sfalcio nella stagione successiva e dall'altro la perdita del cotico erboso dell'arginatura per la crescita spontanea e rapida delle erbe infestanti e soprattutto delle essenze cespugliose ed arboree tipiche degli ambienti fluviali. Ciò, oltre tutto, per intuibili ragioni, comporta pure ragguardevoli danni all'opera di contenimento delle piene. Gli argini sono costruiti in terra omogenea e di medio impasto, collocata in strati successivi di  $50 \div 60$  cm e costipata strato per strato; gli argini meno elevati sono senza banche, o con banche di larghezza minore; anche la larghezza degli argini è limitata nei corsi d'acqua che sono soggetti a piene più brevi, purché il terreno su cui poggiano sia sufficientemente resistente. In analogie con le dighe in materiali sciolti, la verifica di stabilità del rilevato arginale deve essere condotta considerando tre diverse situazioni: a) a termine della costruzione (rilevato asciutto ed assenza di acqua nel fiume); b) con il fiume al livello di massima piena; c) a seguito di un rapido abbassamento del livello idrico nel fiume. L'analisi statica viene condotta ricercando tra diverse superfici potenziali di rottura, generalmente assunte di forma circolare, quella a cui corrisponde il minimo valore del coefficiente di sicurezza; tale valore deve risultare superiore a quello del coefficiente sicurezza prescelto. Si è già detto che il rilevato arginale deve essere realizzato con materiale poco permeabile, in modo che la superficie libera di filtrazione rimanga tutta interna al rilevato stesso, senza intersecarne il paramento lato campagna. A rigore, la linea di saturazione andrebbe determinata considerando condizioni di moto vario, dato che, durante le piene, il livello d'acqua nel fiume varia nel tempo. Tuttavia, risultati quasi sempre accettabili e comunque cautelativi si ottengono ipotizzando condizioni di moto permanente corrispondenti al massimo livello di piena. Un criterio empirico di prima approssimazione, frequentemente utilizzato nella pratica, è quello di ipotizzare che la linea freatica abbia andamento rettilineo a partire dal livello di massima piena, con pendenza compresa tra  $1/5$  a  $1/7$ . Il paramento esterno deve essere sagomato in maniera tale che la linea freatica sia costantemente ricoperta da uno spessore di terreno non inferiore di  $0,80 \div 1,00$  m. Pendenze maggiori della linea freatica possono assumersi per i materiali meno permeabili e per corsi d'acqua le cui piene abbiano durata limitata, così che i tiranti idrici prossimi a quello di massima piena permangano solo per periodi di tempo piuttosto brevi, non sufficienti a portare a regime il moto di filtrazione, specie se il materiale di costruzione è, come detto, poco permeabile. Le scarpate arginali devono essere opportunamente rivestite per proteggerle dall'azione erosiva esercitata dalla corrente idrica (scarpata interna), dalle acque piovane e dagli agenti meteorici. Per il paramento esterno è generalmente sufficiente un rivestimento erboso, impiantato su una ricopertura di terreno vegetale; per quello interno, i rivestimenti erbosi risultano applicabili limitatamente al caso in cui l'argine venga a contatto con l'acqua solo occasionalmente, altrimenti devono essere previsti rivestimenti particolari, in grado di resistere all'azione erosiva della corrente fluviale. Se il terreno su cui poggia l'argine non è adatto a sostenere carichi, allora conviene allargare la base dell'argine per mezzo delle banche e conviene pure costruire l'argine in tempi successivi, fermandosi in un primo momento circa a metà altezza e successivamente rialzandolo, anche più volte, sino a completarlo. Nell'esecuzione dell'opera si dovrà tenere un'altezza superiore del  $10 \div 15\%$  rispetto all'altezza di progetto per tenere conto dell'abbassamento del terreno e del costipamento dell'argine, che dovrà essere rivestito d'erba, a mezzo di seminazione o con impianto di zolle erbose. Come già detto, quando le golene sono composte di terreno, è opportuno prelevare da esse la terra per gli argini perché le cave di prestito sono allora colmate dai depositi del fiume; ma questo metodo tradizionale di costruzione degli argini si deve ritenere oramai superato dati i progressi teorici compiuti dalla meccanica del terreno e quelli tecnici realizzati nella costruzione delle dighe in terra. Un argine omogeneo può essere eseguito quando il terreno di appoggio è praticamente impermeabile e quando la terra utilizzata per la costruzione contenga almeno il 25% di argilla e limo e abbia una granulometria piuttosto estesa.

Quando il terreno disponibile è prevalentemente argilloso conviene modificarne le caratteristiche, almeno nella parte superficiale, con opportuni miscugli di sabbia.

Invece quando il terreno è prevalentemente sabbioso conviene eseguire l'argine con nucleo di argilla, innestandolo nello strato di terreno impermeabile, semmai aggiungendo un diaframma in calcestruzzo armato.

In ogni caso occorre tenere presenti le seguenti norme prudenziali:

- evitare il pericolo del collasso dell'arginatura;
- eseguire uno studio preliminare delle caratteristiche delle terre;
- imporre che la linea di filtrazione sia totalmente interna all'argine;
- assicurarsi della stabilità dello stesso;

- assicurarsi che i vari carichi siano sopportati dal terreno;
- assicurarsi che l'acqua, che eventualmente filtra da fiume a campagna mantenga velocità così deboli da non potere trascinare neppure i materiali più fini;
- infine proteggere l'argine a fiume contro le eventuali erosioni.

## **A.2 Protezione delle sponde e delle scarpate arginali**

### **A.2.03 Difese arginali**

#### **A.2.03.01 Realizzazione nuovo argine in fondo rivestito in massi**

La tipologia di seguito descritta è realizzata per altezza d'argine, lato monte, non superiore a 4,0 m e su tratti di corso d'acqua con caratteristiche torrentizie: velocità elevate e onde di piena di carattere impulsivo (permanenza ridotta di livelli idrici elevati). In questo caso l'esigenza di realizzare un argine in frodo richiede la necessità di una difesa spondale lato fiume sufficientemente robusta da garantire nel tempo la stabilità strutturale dell'argine stesso. La difesa è costituita in massi ciclopici (volume medio  $> 0,5 \text{ m}^3$  per il piede e pari a  $0,4 \text{ m}^3$  per la massicciata) eventualmente intasati con calcestruzzo nella fondazione. La protezione è costituita da un piede di fondazione di larghezza complessiva pari a 6,0 m ed altezza circa 2,5 m, e da un rivestimento spondale che, nel caso in esame, rappresenta la stessa scarpata arginale. Il paramento lato fiume è previsto di inclinazione 2/3, quello lato monte dell'argine 1/2. La massicciata viene realizzata, previa la predisposizione del piano di appoggio regolarizzato secondo una pendenza non superiore a 2/3 e per uno spessore di almeno 1,0 m. Fra i singoli massi andranno infisse talee di specie arbustive autoctone (salici ecc.) di facile attecchimento. Per fare questo si renderà necessario predisporre fra i massi alcune "fioriere" intasate di sabbia e terreno agrario praticando dei fori in corrispondenza dei punti di contatto tra i massi. Sulla scarpata lato monte è prevista la posa di uno strato di terreno vegetale e la messa a dimora di talee di salice per conferire all'argine con il loro apparato radicale una adeguata robustezza strutturale. La sommità dell'argine avrà una larghezza pari ad almeno 4,0 m di cui 2,5 m saranno costituiti da una strada di servizio. L'argine in questo caso potrà essere realizzato con l'impiego di materiale di granulometria assortita (tout-venant) per la scarsa presenza in sito di materiale più impermeabile.

## **A.2 Protezione delle sponde e delle scarpate arginali**

### **A.2.03 Difese arginali**

#### **A.2.03.02 Adeguamento in quota di muro d'argine esistente**

L'intervento andrà applicato nei casi per i quali si renda necessario un innalzamento di muro d'argine esistente non superiore a 1,5 m ed evidentemente non si disponga di spazi più ampi per adottare altre tipologie di difesa. La struttura di sovralzò verrà realizzata con un muro in cemento armato a tergo dell'opera esistente, che andrà eventualmente consolidata se le verifiche di stabilità o dello stato di conservazione della stessa ne dimostrassero condizioni di ammaloramento strutturale. Nella parte a fiume il rialzo avrà una funzione puramente estetica e verrà realizzato con una muratura in pietrame (del tipo di quello esistente) intasato con malta. Occorrerà disporre una fascia di rispetto di almeno 4,0 m a partire dal ciglio superiore interno del muro. Si prevede inoltre di realizzare, ovunque lo spazio disponibile lo consenta, una strada di servizio di larghezza non inferiore a 2,5 m costituita da un cassonetto di spessore 30 cm in misto di cava stabilizzato (sempreché l'intera fascia a tergo del muro non venga pavimentata in asfalto per la possibile presenza di fabbricati a ridosso della sponda).

## **A.2 Protezione delle sponde e delle scarpate arginali**

### **A.2.03 Difese arginali**

#### **A.2.03.03 Muro in cemento armato rivestito in pietra naturale**

L'opera andrà realizzata solo in quei casi per i quali la presenza di fabbricati o infrastrutture viarie o ferroviarie esistenti impedisce l'occupazione di spazi più adeguati. Occorrerà prevedere uno zatterone di fondazione di dimensioni adeguate, eventualmente impostato su una doppia fila di pali laddove le caratteristiche geotecniche dei terreni non consentono l'impiego di semplici fondazioni dirette. Il paramento lato fiume del muro andrà rivestito con lastre di pietra naturale squadrate, opportunamente fissate alla struttura sottostante e di spessore crescente procedendo dalla sommità verso il fondo per contrastare l'effetto della corrente. Al piede il muro andrà protetto, laddove necessario per i prevedibili effetti di scalzamento localizzato, con una scogliera in massi di cava cementati di larghezza minima 2,5 m. Anche in questo caso occorrerà disporre una fascia di rispetto di almeno 4,0 m ed eventualmente realizzare una strada di servizio di larghezza >2,5 m.

## **A.2 Protezione delle sponde e delle scarpate arginali**

### **A.2.03 Difese arginali**

#### **A.2.03.04 Adeguamento in sagoma e/o quota d'argine esistente**

L'intervento andrà applicato ai casi di rilevato arginale in terra esistenti e di dimensioni e consistenza inadeguati.

Una corretta realizzazione dei lavori prevede le seguenti operazioni:

- scavo di scotico (~ 50 cm) per la preparazione del piano di posa del nuovo rilevato;
- gradonature di immersione per la posa e compattazione del materiale di riporto;
- messa in opera del rilevato per strati di spessore non superiore a 30 cm, compattati e regolarizzati in modo da formare sia a monte che a valle un paramento inclinato 1/2;
- realizzazione della strada di servizio di sommità mediante la costituzione di un cassonetto di misto di cava stabilizzato (l = 2,5 m);
- posa di uno strato di 25 cm di terreno vegetale, da sottoporre ad inerbimento;
- realizzazione a monte di eventuale canaletta per il drenaggio ed il convogliamento delle acque superficiali; l'opera potrà essere realizzata in calcestruzzo laddove verrà richiesta la tenuta idraulica, ovvero mediante l'utilizzo di materiali permeabili quali: materassi metallici, georeti, terra rinforzata.

L'intervento di adeguamento verrà realizzato secondo la forma descritta fino ad un'altezza d'argine di 4,0 m: per altezze maggiori occorrerà prevedere una berma lato monte, di altezza >1,0 m al fine di contrastare eventuali effetti di permeazione o sifonamento (fontanazzi) e, nel contempo, assicurare all'argine una maggiore consistenza strutturale. La berma avrà una larghezza di almeno 2,50 m ed una leggera pendenza verso campagna (i = 2%) per favorire lo scorrimento dell'acqua di pioggia lungo il paramento arginale. La berma, se non opportunamente predisposta, non dovrà essere transitabile dai mezzi. Si prevede di destinare sul lato di monte una fascia di rispetto di larghezza non inferiore a 3.50 m e comunque estesa di 1.00 m oltre il limite definito dall'eventuale canaletta di drenaggio. L'arginatura dovrà garantire la piena funzionalità idraulica, per cui sarà buona norma seguire tracciati compatibili con le esigenze idrauliche (evitando brusche variazioni di linea che potrebbero costituire punti di maggior vulnerabilità in conseguenza dell'azione erosiva della corrente), pur nel rispetto delle esigenze ambientali che normalmente consigliano di non dare luogo a linee geometriche troppo rigide e di prevedere un adeguato rinverdimento dell'opera al fine di favorirne un corretto ed impercettibile inserimento nell'ambiente fluviale. Laddove risulti necessario, si provvederà a rivestire il paramento lato fiume con i criteri e le metodologie descritte ai successivi capitoli.

## **A.2 Protezione delle sponde e delle scarpate arginali**

### **A.2.03 Difese arginali**

#### **A.2.03.05 Realizzazione nuovo argine (H≤4.0m)**

L'opera, in questo caso di nuova realizzazione, avrà tipologia e conformazione simili a quanto descritto per il caso precedente. Si ritiene utile, inoltre, fornire alcune indicazioni circa la scelta più opportuna del tracciato da adottare, in particolare:

- tenere in debito conto la necessità di evitare il ricorso a linee geometriche troppo rigide, sempre nel rispetto di una corretta funzionalità idraulica dell'opera;
- favorire un adeguato rinverdimento dell'opera al fine di garantire un corretto ed impercettibile inserimento nell'ambiente fluviale;
- favorire linee di tracciato che riducano il più possibile l'attraversamento di paleoalvei, lanche o depressioni avendo cura di rinforzare, in tali casi, la funzionalità strutturale e idraulica dell'argine attraverso protezioni o setti di impermeabilizzazione;
- evitare, laddove possibile, l'ubicazione del rilevato nelle immediate vicinanze delle sponde fluviali.

Nel caso in cui l'argine si trovi a diretto contatto con la corrente e sia sottoposto ad un'azione erosiva apprezzabile, occorrerà rivestire il paramento a fiume mediante la posa di un materiale che ne preservi la stabilità nel tempo. Si può adottare, allo scopo, un materasso metallico tipo "Reno" di spessore 23÷25 cm posato sulla scarpata (inclinata 1/2) fino ad una quota di 1,0 m inferiore rispetto al livello della piena di riferimento e risvoltato al piede sul piano campagna per una larghezza di almeno 3,0 m. Il materasso poggerà su un geotessile di peso 300 g/m<sup>2</sup> e verrà ricoperto con uno strato di terreno vegetale inerbito che ne favorirà il rinverdimento. Nella parte superiore della scarpata verrà praticato un adeguato impianto vegetativo con seminagione di un miscuglio di fiorume o sementi prative, che con il loro apparato radicale potranno consentire un adeguato rinforzo delle scarpate arginali. Anche in questo caso verrà adottata una sagoma arginale di forma trapezia semplice per rilevati di altezza non superiore a 4,0 m:

- per altezze maggiori occorrerà prevedere una berma lato monte, di forma e tipologia analoga a quella descritta al capitolo successivo.

Si prevede di destinare sul lato di monte una fascia di rispetto di larghezza non inferiore a 3,5 m e comunque estesa di 1,0 m oltre il limite definito dall'eventuale canaletta di drenaggio.

## **A.2 Protezione delle sponde e delle scarpate arginali**

### **A.2.03 Difese arginali**

#### **A.2.03.06 Realizzazione nuovo argine (H>4.0m)**

Si confermano tutte le indicazioni fornite per la tipologia precedente circa la scelta più opportuna del tracciato da adottare. L'opera presenta come unica variante rispetto alle tipologie precedenti, la berma di altezza 1,0 m prevista lato monte al fine di contrastare eventuali effetti di permeazione o sifonamento (fontanazzi) e, nel contempo, assicurare all'argine una maggior consistenza strutturale. La berma avrà una larghezza di almeno 2,5 m ed una leggera pendenza verso campagna ( $i = 2\%$ ) per favorire lo scorrimento dell'acqua di pioggia lungo il paramento arginale. La berma, se non opportunamente predisposta, non dovrà essere transitabile dai mezzi. I paramenti verranno inerbiti con semina di un miscuglio di essenze prative che consentano, attraverso il loro apparato, di rinforzare strutturalmente l'argine contro l'azione della corrente e, nel contempo, ne minimizzino l'inserimento nell'ambiente fluviale. Anche in questo caso si prevede di destinare sul lato di monte una fascia di rispetto di larghezza non inferiore a 3,5 m e comunque estesa di 1,0 m oltre il limite definito dall'eventuale canaletta di drenaggio.

## **A.2 Protezione delle sponde e delle scarpate arginali**

### **A.2.03 Difese arginali**

#### **A.2.03.07 Realizzazione nuovo argine in froldo con difesa al piede in massi di cava**

Nei casi in cui si proceda alla realizzazione o l'adeguamento/ripristino di un argine in froldo, è necessario prevederne la protezione del paramento a fiume sia dall'azione erosiva che dallo scalzamento localizzato. A tale riguardo si ritiene utile realizzare al piede una difesa spondale sufficientemente robusta da garantire nel tempo la stabilità strutturale dell'argine.

Una possibile soluzione è costituita dalla scogliera di massi di cava che potrà essere strutturata mediante:

- il rivestimento della sponda mediante una massicciata costituita da massi a spigoli vivi di pietra granitica o silicea (non geliva) di pezzatura calcolata in base alle grandezze idrauliche caratteristiche di quella sezione del corso d'acqua;
- geotessile di peso 400 g/m<sup>2</sup> con funzione strutturale di ripartizione dei carichi e di contenimento del materiale più sottostante all'azione erosiva;
- piede di fondazione sufficientemente robusto per garantire all'opera la necessaria flessibilità in caso di possibili fenomeni di scalzamento.

La massicciata verrà realizzata, previa la predisposizione del piano di appoggio regolarizzato e la stesa del geotessile, secondo una pendenza non superiore a 2/3 e per uno spessore di circa 1,5 m.

Fra i singoli massi andranno infisse talee di specie arbustive autoctone (salici ecc.) di facile attecchimento.

Per fare questo si renderà necessario predisporre fra i massi alcune "fioriere" intasate di sabbia e terreno agrario praticando dei fori in corrispondenza dei punti di contatto tra i massi e ricavando opportune asole nel sottostante telo di geotessile. Nella porzione superiore della massicciata, che verrà estesa generalmente fino alla sommità della sponda i massi andranno ricoperti con terreno agrario che verrà successivamente piantumato. Il contenimento del terreno agrario sopra gli interstizi fra i massi verrà affidato ad un telo di stuoia vegetale (biostuoia) che, una volta esaurita la fase del radicamento degli arbusti, scomparirà per degradazione biologica. Il piede della difesa avrà profilo d'estradosso superiore orizzontale e sarà collocato mediamente 1,0 m al di sotto della quota di fondo alveo medio inciso in condizioni d'equilibrio; l'altezza del piede sarà correlata alla profondità di massimo scalzamento operabile dalla corrente:

- sarà buona norma non scendere mai al di sotto di 2,5 m e farlo poggiare su una superficie preferibilmente regolarizzata.

Per la realizzazione dell'elemento di fondazione è previsto l'utilizzo di massi di maggiori dimensioni (volume medio 0,5 m<sup>3</sup>) che andranno disposti in modo da costituire una sezione media di circa 10 m<sup>2</sup>, estesa 5,0 ÷ 6,0 m verso fiume a partire dal piede della sponda. È da escludere il ricorso ai prismi cubici in calcestruzzo in sostituzione dei massi; l'eventuale loro utilizzo andrà previsto nei casi di reimpiego di elementi già presenti sotto forma di vecchie difese dismesse e verrà limitato alle porzioni di difesa sommerse e più profonde. In sommità della difesa è previsto un immorsamento di circa 1,5 m della massicciata, quindi la posa di un materasso metallico tipo "Reno" di spessore 23 ÷ 25 cm (previa la stesa del geotessile sopradescritto) esteso, oltretutto sulla berma così costituita, lungo la scarpata del rilevato fino ad un'altezza di 1,0 m inferiore al livello idrico corrispondente alla piena di riferimento. Si realizzerà in tal modo una berma di separazione tra l'argine e la difesa, di larghezza minima pari a 4,0 m. Nella parte superiore della scarpata dell'argine, prevista di inclinazione 1/2, dove la funzione antierosiva sarà minore pur risultando ancora significativa, si potrà fare ricorso ad un pacchetto di strati (di materiali vivi ed inerti) fissato con opportuni ancoraggi permanenti e costituito da (procedendo dal basso in alto):

- a) uno strato portante di base ottenuto con terriccio arricchito con sostanze organiche e fibre vegetali;
- b) una georete (in nylon, poliestere, polietilene ecc.) con elevate caratteristiche fisiche e meccaniche, intasata di terreno vegetale, dotata di anelli per il fissaggio degli ancoraggi ovvero di asole per l'infissione e la crescita di talee;
- c) uno strato di terreno vegetale da sottoporre a semina di specie erbose autoctone;

d) una stuoia vegetale in fibra naturale (paglia, legno ecc.) con funzioni inizialmente portanti e di contenimento del materiale fine.

L'intervento di adeguamento e/o di nuova realizzazione dell'argine verrà realizzato secondo la forma trapezia semplice fino ad un'altezza di 4,0 m: per altezze maggiori occorrerà prevedere una berma lato monte di forma e tipologia analoga a quella descritta al capitolo precedente. Si prevede di destinare una fascia di rispetto sul lato monte di larghezza non inferiore a 3,5 m e comunque estesa di 1,0 m oltre il limite definito dall'eventuale canaletta di drenaggio.

## **A.2 Protezione delle sponde e delle scarpate arginali**

### **A.2.03 Difese arginali**

#### **A.2.03.08 Adeguamento rilevato stradale o ferroviario per difesa arginale**

Questa tipologia potrà essere impiegata in tutti quei casi per i quali si considera il rilevato stradale o ferroviario esistente come il futuro limite al contenimento dei livelli idrici di piena. Il criterio proposto è quello di realizzare, sul lato fiume, una struttura arginale, immersa sullo stesso rilevato esistente, che possa svolgere totalmente la funzione idraulica alla quale è destinata proteggendo l'opera viaria che assume una posizione retrostante. Una corretta realizzazione dei lavori prevede le seguenti operazioni:

- scavo di scotico (~ 50 cm) per la preparazione del piano di posa del nuovo rilevato;
- gradonature di immersione per la posa e compattazione del materiale di riporto;
- messa in opera del rilevato per strati di spessore non superiore a 30 cm, compattati e regolarizzati in modo da formare sia a monte che a valle un paramento inclinato 1/2;
- realizzazione della strada di servizio di sommità mediante la costituzione di un cassonetto di misto di cava stabilizzato (1 = 2,5 m);
- posa di uno strato di 25 cm di terreno vegetale, da sottoporre ad inerbimento.

Sul lato di monte verrà realizzata, al bordo della sede stradale, una canaletta per il drenaggio delle acque di piattaforma; il nuovo rilevato presenterà la scarpata di monte a partire da una distanza di 1,0 m rispetto alla canaletta. Nel caso in cui l'argine si trovi a diretto contatto con la corrente e sia sottoposto ad un'azione erosiva apprezzabile, occorrerà rivestire il paramento a fiume mediante la posa di un materiale che ne preservi la stabilità nel tempo. Si può adottare, allo scopo, un materasso metallico tipo "Reno" di spessore 23 ÷ 25 cm posato sulla scarpata (inclinata 1/2) fino ad una quota di 1,0 m inferiore rispetto al livello della piena di riferimento e risvoltato al piede sul piano campagna per una larghezza di almeno 3,0 m. Il materasso poggerà su un geotessile di peso 300 g/m<sup>2</sup> e verrà ricoperto con uno strato di terreno vegetale inerbito che ne favorirà il rinverdimento.

## **A.3 Opere di impermeabilizzazione e di intercettazione delle filtrazioni**

In termini strettamente idraulici e senza tener conto delle incombenze ambientali l'impermeabilizzazione di un argine si realizza normalmente con il rivestimento della scarpata con lastre in calcestruzzo incernierate alla base su una trave che costituisce a sua volta la testa di un diaframma, che può essere in cemento armato o in acciaio, come nel caso delle palancole. Il problema che si presenta nella progettazione del diaframma o paratia è la determinazione della sua lunghezza e in particolare di quella del tratto infisso nel terreno. Sulla paratia agisce la spinta attiva, derivante anche dall'eventuale presenza di carichi accidentali, e ad essa il terreno vincolante si oppone con la sua azione passiva. La corretta definizione della profondità del diaframma richiede necessariamente un'attenta conoscenza delle caratteristiche di permeabilità del terreno, attraverso una campagna puntuale di indagini geognostiche, ed un'approfondita analisi delle modalità di deflusso delle acque attraverso il moto di filtrazione nel corpo dell'argine. In alternativa alla realizzazione di lastre in calcestruzzo sul paramento a fiume dell'argine, è

possibile, per motivi di impermeabilizzazione, prevedere l'inserimento di un setto di diaframma, eventualmente di materiale plastico, all'interno del corpo del rilevato a partire dalla sommità; in questo caso l'eventuale funzione antierosiva del paramento a fiume potrà essere svolta da materiali alternativi al cls, che consentono un più facile inserimento ambientale.

#### **A.4 Modellamento dell'alveo**

L'intervento è indirizzato alla ricalibratura della sezione dell'alveo. Esso si impiega quando è necessario asportare il materiale depositato e accumulato in alveo al fine di ampliare la sezione libera di deflusso e il passaggio delle piene all'interno della sezione d'alveo.

#### **A.4 Modellamento dell'alveo**

##### **A.4.01 Risagomatura con protezione di sponda**

L'intervento andrà effettuato adottando alcuni accorgimenti nel corso delle operazioni; in particolare:

- andrà condotta un'indagine volta a caratterizzare i biotopi prevalenti al fine di stabilire il periodo e le modalità di realizzazione della ricalibratura;
- occorrerà contenere l'intervento allo stretto indispensabile realizzandolo su un solo lato, o sui due lati in fasi distinte, così che la sponda non interessata dai lavori rappresenti il riferimento per le opere di rinaturalizzazione e vi possa essere mantenuto integro l'ambiente naturale;
- occorrerà evitare tracciati particolarmente regolari che darebbero luogo a vere e proprie canalizzazioni;
- occorrerà effettuare raccordi con le sponde naturali con inclinazioni molto dolci che non definiscano linee nette di separazione;
- occorrerà riposizionare sulle aree golenali il terreno vegetale preesistente a conclusione dei lavori.

Nell'eventualità in cui si ritenga necessario si procederà con il rivestimento delle sponde adottando una tipologia di protezione basata sull'impiego di materiali che possano facilmente inserirsi nell'ambiente fluviale. La tipologia proposta consiste in un rivestimento con una biostuoia o georete (tridimensionale o multistrato) in genere per pendenza della sponda superiore a 2/3 e/o per elevate velocità della corrente in fase di piena. Tali reti saranno fissate al terreno sottostante con paletti in legno. Le file dei paletti sono poste a quinconce ed interasse di 1,0 m circa. Al piede della sponda si posiziona del pietrame di volume adeguato in relazione alle caratteristiche dinamiche della corrente e allo scalzamento atteso. Tale pietrame esplica anche un'azione di ancoraggio dell'estremità delle reti.

#### **A.4 Modellamento dell'alveo**

##### **A.4.02 Ricalibratura sezione d'alveo: costituzione di fasce golenali ribassate e sponde rivestite con astoni di salici e protette al piede da massi legati e pali in legno**

L'intervento andrà realizzato nei tratti fluviali a debole pendenza (e quindi basse velocità di corrente) dove risulti necessario incrementare la capacità di portata della sezione d'alveo. La finalità è quella di evitare la realizzazione di sezioni incise molto ampie che non potrebbero mantenersi nel tempo; in questo modo l'intervento riguarda le fasce golenali che verrebbero interessate solo in condizioni di portata di morbida mentre in condizioni ordinarie il deflusso continuerebbe ad interessare la sezione preesistente.

L'intervento andrà effettuato adottando alcuni accorgimenti nel corso delle operazioni; in particolare:



- andrà condotta un'indagine volta a caratterizzare i biotopi prevalenti al fine di stabilire il periodo e le modalità di realizzazione della ricalibratura;
- occorrerà contenere l'intervento allo stretto indispensabile realizzandolo su un solo lato, o sui due lati in fasi distinte, così che la sponda non interessata dai lavori rappresenti il riferimento per le opere di rinaturalizzazione e vi possa essere mantenuto integro l'ambiente naturale; · occorrerà evitare tracciati particolarmente regolari che darebbero luogo a vere e proprie canalizzazioni;
- occorrerà effettuare raccordi con le sponde naturali con inclinazioni molto dolci che non definiscano linee nette di separazione;
- occorrerà riposizionare sulle aree golenali il terreno vegetale preesistente a conclusione dei lavori.

Nell'eventualità in cui si ritenga necessario si procederà con il rivestimento delle sponde adottando una tipologia di protezione basata sull'impiego di materiali a basso impatto visivo e paesaggistico. La tipologia proposta consiste in un rivestimento con astoni di salice fissati, ad interasse di  $1,5 \div 2,0$  m, al terreno sottostante con l'uso di paletti in legno. Le file dei paletti vanno poste nel senso della corrente del fiume ad interasse di  $1,0$  m; l'ancoraggio delle talee avverrà con il filo di ferro zincato fissato ai paletti. Onde facilitare l'attecchimento del rivestimento, la ramaglia dovrà appoggiare bene al suolo e l'intero strato di rivestimento andrà ricoperto leggermente con terra (spessore  $3 \div 5$  cm). Al piede si realizzerà una fila, semplice o doppia, di massi di volume  $> 0.4 \text{ m}^3$ , legati mediante tasselli ad espansione e funi ad una fila di pali in legno posti ad interasse di  $2,0$  m e conficcati nel terreno per almeno  $2,0$  m. L'abbassamento delle fasce golenali avverrà in modo da rispettare le seguenti condizioni:

- la profondità massima di scavo dovrà essere tale da risultare di almeno  $1,0$  m al di sopra della quota media della falda;
- la profondità massima di scavo dovrà garantire un'altezza residua della sponda incisa di  $1,5 \div 2,0$  m rispetto al fondo alveo medio esistente.

## A.5 Rettifiche

Le rettifiche consistono nella costruzione di un nuovo letto per il fiume, letto rettilineo o quasi, in una zona in cui in genere il fiume percorre numerosi meandri. Tali opere riguardano la sistemazione in grande del corso d'acqua, cioè tendono a stabilire le condizioni vicine all'equilibrio del letto per quanto riguarda il trasporto dei materiali e un'ampiezza sufficiente per esso quando si presenti la massima portata di piena. Il primo effetto di una rettifica è la riduzione del percorso dell'acqua con conseguente aumento della pendenza. Si avrà così una maggiore velocità della corrente e uno scavo del letto nel tratto rettificato, che si estenderà anche a monte; mentre a valle della rettifica la minore velocità produrrà invece un deposito e in conseguenza si ridurrà la pendenza del tratto rettilineo. La diminuzione di velocità si estenderà verso monte finché non si sia ristabilito l'equilibrio. Le piene si propagheranno in ogni caso più rapidamente a valle sia in conseguenza del minor percorso che della maggiore velocità media lungo lo stesso. Gli autori classici dell'idraulica sostengono in generale che le rettifiche sono scarsamente efficaci, ritenendo che il percorso dei fiumi sia, per sua natura, tortuoso sicché occorre una manutenzione molto onerosa per le rettifiche; essi affermano pure che le piene diventano pericolose per effetto del minor volume di invaso disponibile. Quest'ultima osservazione vale se la rettifica avviene su un affluente perché nel corso rettificato, di fronte al minore volume di invaso, si ha una maggiore portata, perché aumenta la pendenza, invece nel ricevente si risentono soltanto i danni dovuti sia alla maggiore portata sia all'aumentata rapidità di propagazione delle piene che possono coincidere con quelle del corso principale o di altri affluenti. Invece la rettifica effettuata alla foce del corso d'acqua non provoca questi danni e anzi può aversi un vantaggio di un rapido smaltimento delle piene. Comunque anche per l'esecuzione delle rettifiche occorre una speciale prudenza e una valutazione accurata di tutte le conseguenze cui possono dare luogo. Le esperienze su modello permettono di stabilire l'andamento dell'alveo sul quale il fiume si assesta e costituiscono per tutte le opere fluviali la migliore garanzia.

## A.6 Diversivi e scolmatori

Per scolmatori e diversivi si intendono quei corsi d'acqua naturali o artificiali che vengono utilizzati per deviare parte della portata di piena del corso d'acqua principale avviandola verso un altro recipiente o restituendola a valle. I diversivi sono corsi artificiali che derivano l'acqua da un fiume e la convogliano direttamente al mare, in un lago o in un altro fiume, essi sono destinati a derivare permanentemente una frazione della portata dell'alveo naturale. L'incline nel fiume può essere libero o regolato; comunque il diversivo è dotato di portata continua. I diversivi furono proposti e realizzati in passato per la prevenzione delle rotte arginali, talvolta utilizzando nuovi rami fluviali formati in seguito a rotte precedenti. Diversa è la funzione di uno scolmatore che è concepito per derivare ed allontanare verso opportuni recapiti una parte delle acque di piena od eventualmente di morbida. Uno scolmatore è normalmente privo di acqua e nell'alveo cresce la vegetazione, ma l'alveo stesso è in condizione di ricevere una parte della portata del fiume. Nei periodi di magra l'alveo dello scolmatore è normalmente privo di acqua e ciò consente lo sviluppo di vegetazione da cui deriva il nome «fiume verde». Nei periodi di morbida o di piena lo stesso alveo è in grado di ricevere una parte della portata del fiume. Non tutti gli autori accettano però questa distinzione e secondo alcuni i due termini possono essere usati indifferentemente come avviene nella letteratura anglosassone che utilizza la sola espressione river diversion. I diversivi hanno il compito di ridurre il valore della massima piena e sono tanto più efficaci quanto più la portata scaricata è elevata in tal modo però il diversivo stesso può diventare un corso d'acqua pericoloso. Un ulteriore inconveniente sta nel fatto che, suddividendo la portata tra più rami, la velocità dell'acqua diminuisce e pertanto si riduce anche la forza di trascinarsi dei materiali; ne consegue spesso un sovralzo del letto del fiume subito a valle dell'imbocco del diversivo che può eliminare in breve tempo tutti i vantaggi ottenuti con la costruzione dell'opera convogliando verso il diversivo sempre maggiori portate. Perciò i diversivi devono essere progettati con molta prudenza e si deve anche studiare se sia conveniente allontanare con mezzi meccanici il materiale alluvionale depositato per ripristinare l'efficienza. Lo stesso inconveniente si manifesta negli scolmatori, ma in misura notevolmente minore, perché funzionano raramente. È per questo motivo che la maggioranza degli scrittori classici di idraulica fluviale si è espressa negativamente al riguardo dei diversivi, affermando che la capacità di portata solida del fiume e del suo diversivo è inferiore alla capacità di portata solida di un alveo unico. Se il trasporto solido però è limitato, la capacità di trasporto, pur ridotta, del fiume e del suo diversivo è sufficiente ad evitare i depositi. Pertanto è necessario, prima di costruire un diversivo, controllare l'entità percentuale delle torbide trasportate ed eventualmente cercare di ridurre il trasporto solido con opere forestali e di piccola idraulica dirette a limitare l'erosione nel bacino imbrifero. Si deve però tenere presente che l'efficacia di tali opere si manifesta alcuni anni dopo la loro esecuzione. Nella progettazione di un diversivo e/o scolmatore occorre in ogni caso tenere in conto alcuni

aspetti di particolare importanza:

- la sezione assegnata all'opera deve essere adeguata alle caratteristiche del corso d'acqua e soprattutto alla tipologia e quantità di materiale trasportato in piena; in ogni caso andrà valutata l'opportunità di realizzare a monte briglie selettive che ne preservino la corretta funzionalità;
- il dimensionamento del diversivo e/o scolmatore dovrà tenere in conto l'effettiva ripartizione della portata di piena rispetto all'alveo naturale, e valutare, mediante l'utilizzo della modellistica numerica con simulazioni in condizioni di moto vario, gli effetti nel punto di restituzione nell'alveo naturale per confronto con la situazione preesistente;
- la tipologia costruttiva del diversivo e/o scolmatore, dovrà garantire attraverso la normale attività manutentiva la piena funzionalità dell'opera nel tempo.

## A.7 Bacini o casse di laminazione

I bacini o casse d'espansione rappresentano esempi significativi di interventi alternativi al rialzo e al ringrosso arginale, ma mentre argini e difese di sponda sono considerate difese passive, gli scolmatori o soprattutto i bacini di laminazione sono considerati difese attive contro le alluvioni a tutti gli effetti. I bacini di laminazione riducono le portate di piena lasciando defluire la sola portata di progetto ed accumulando l'eccesso di portata in adeguati serbatoi di accumulo generalmente costruiti nel tratto di fiume compreso tra la montagna e lo sbocco in pianura. Essi sono maggiormente efficaci nei tratti superiori dei corsi d'acqua o nel primo tratto del corso in pianura, mentre hanno

minore influenza relativamente alla parte più bassa, specie se ad essa confluiscono altri affluenti non regolati. Non è del tutto conveniente costruire un bacino di laminazione in pianura anche perché, a parità di volume invasato, si ha una laminazione inferiore, anche in conseguenza della diversa forma dell'onda di piena, che è più acuta in montagna e più piatta in pianura. Gli sbarramenti per la laminazione delle piene devono sottostare alle norme contenute nel D.P.R. 1 novembre 1959 n. 1363 "Regolamento per la compilazione dei progetti, la costruzione e l'esercizio delle dighe di ritenuta, così come modificato dal Decreto del 24 marzo 1982 del Ministro dei Lavori Pubblici, che approvava le norme tecniche riguardanti la progettazione e la costruzione delle dighe di sbarramento, e dal D.L. 8 agosto 1994 n.507, che ha elevato i limiti geometrici in base ai quali un'opera di sbarramento viene classificata diga. Generalmente i bacini di laminazione sono composti da un manufatto regolatore delle piene, in cemento armato, solidalmente costruito su una fitta maglia di diaframmi e da una parte in terra, costituita dalle arginature: essi devono sottostare alle norme tanto delle dighe murarie, quanto di quelle in materiali sciolti e pertanto dovrà essere particolarmente studiata, ed in fase esecutiva curata, la giunzione fra le due specie di strutture in vista della loro diversa deformabilità. La progettazione dei serbatoi di laminazione delle piene, riguarda il calcolo del franco netto delle opere murarie e delle opere in materiali sciolti, delle modalità e tempi di riempimento della cassa, dell'effetto di riduzione dell'idrogramma di piena nel tempo, delle modalità di svuotamento del bacino, dell'ampiezza massima delle onde nel serbatoio, lo studio dei terreni di fondazione, le verifiche di sicurezza, lo studio delle azioni sismiche e i controlli del comportamento dell'opera.

## **A.8 Recapito in un altro corso d'acqua**

Nelle confluenze interessa considerare non solo il regime delle portate e la concomitanza o meno delle piene, ma anche il materiale solido trasportato da ciascuno dei corsi d'acqua. Alla confluenza di due corsi d'acqua tende a stabilirsi, oltre all'eguaglianza delle loro quote di profilo, anche quella delle quote di fondo. Una variazione altimetrica causata da una sistemazione del corso recipiente può quindi influire anche sul profilo dell'affluente. Se due corsi d'acqua sono di grandezza molto diversa, generalmente non conviene che lo sbocco del minore nel maggiore sia molto obliquo, poiché ciò ritarda la mescolanza delle due correnti e dei materiali trasportati. Invece la confluenza di fiumi analoghi tra loro per importanza e caratteri si fa vantaggiosamente ad angolo acuto, con opportuna difesa al vertice. Anche in questo caso non è facile trattare teoricamente le confluenze fluviali, poiché le alterazioni del fondo possono influire notevolmente. È più utile ricorrere alla sperimentazione su modelli in piccola scala.

## **A.9 Manutenzione ordinaria e straordinaria**

Per manutenzione si deve intendere l'insieme delle operazioni necessarie per mantenere in buono stato idraulico-ambientale gli alvei fluviali, in buone condizioni idrogeologiche i versanti e in efficienza le opere idrauliche e quelle di sistemazione idrogeologica. L'attività di manutenzione si divide in ordinaria e straordinaria a seconda che l'insieme delle operazioni venga svolto periodicamente ed ordinariamente al fine della conservazione e del mantenimento in efficienza delle opere, oppure sia rappresentato da un complesso di lavori di riparazione, di ricostruzione e miglioramento delle stesse. Tale attività può ricomprendere anche la realizzazione di nuove opere di carattere locale e di modeste dimensioni. Per quanto riguarda i contenuti progettuali e l'impatto sull'ambiente gli interventi possono essere

classificati come segue:

- a) ripristini e interventi a carattere ripetitivo che non comportano alterazioni permanenti della situazione globale dell'ambiente;
- b) interventi che non comportano alterazioni permanenti e significative della situazione globale-dell'ambiente e che necessitano o di una progettazione basata su tipologie di opera e prezzi unitari predeterminati o di progettazione esecutiva specifica.

Le principali tipologie di intervento di manutenzione sono così raggruppabili :

- a) Interventi sugli alvei

- rimozione di rifiuti solidi e piante sradicate;
- taglio selettivo di piante a rischio di sradicamento;
- ripristino della capacità idraulica mediante taglio di vegetazione arbustiva ed arborea nei tratti canalizzati e in corrispondenza di opere di attraversamento;
- ripristino della capacità idraulica mediante movimentazione e asportazione di materiale alluvionale nei tratti canalizzati, nei settori di conoide, in corrispondenza di opere di attraversamento e in corrispondenza di confluenze;
- opere idrauliche a carattere locale e di modeste dimensioni
- ripristino e manutenzione delle sezioni di misura delle portate.

#### b) Interventi sui versanti

- ripristino delle reti di scolo;
- rimodellamento e chiusura delle fessure di taglio;
- disgaggi di massi;
- ripristini di boschi, ricostituzione di boschi degradati, reimpianti, cespugliamento, semina di prato ed altre opere a verde
- opere di sostegno e di consolidamento a carattere locale e di modeste dimensioni;
- ripristino di opere di protezione quali reti e valli;
- attività di monitoraggio dei dissesti di versante.

#### c) Interventi sulle opere di difesa idraulica

- manutenzione degli argini e delle opere accessorie mediante taglio della vegetazione sulle scarpate, ripresa di scoscendimenti, ricarica di sommità arginale, ripristino del paramento, manutenzione dei manufatti connessi (chiaviche, scolmatori, botti a sifone ecc.);
- ripristino di protezioni spondali deteriorate o dissestate per scalzamento al piede;
- ripristino o consolidamento di briglie o soglie dissestate per scalzamento delle fondazioni a valle, aggiramento o sifonamento.

#### d) Interventi sulle opere di difesa idrogeologica

- manutenzione e ripristino opere di drenaggio superficiali e sotterranee;
- ripristino di opere di sostegno a carattere locale e di modeste dimensioni ;
- ripristino di opere di ingegneria naturalistica.



## B OPERE DI SISTEMAZIONE DEI VERSANTI

### B.1 Protezione superficiali

Queste tipologie di opere riguardano il consolidamento e la stabilizzazione dei versanti attraverso:

- la regimazione delle acque superficiali;
- il contenimento delle coltri di terreno più superficiale;
- la protezione del terreno da erosioni superficiali dovute al ruscellamento;
- il rinforzo delle pareti in roccia;
- la protezione dalla caduta di massi;
- gli interventi di consolidamento e protezione superficiale mediante inerbimenti e rimboschimenti.

A seconda dell'ambiente, del tipo di terreno e delle pendenze del versante, si possono impiegare specifiche tipologie di intervento.

### B.1 Protezione superficiali

#### B.1.01 Canaletta inerbita

Le canalette vengono realizzate allo scopo di allontanare le acque superficiali, evitando così fenomeni di erosione superficiale di scalzamento delle opere e di instabilità del terreno.

Possono essere di due tipi:

- canalette in terra non presidiate;
- canalette in terra presidiate.

Le canalette in terra non presidiate sono realizzate completamente in scavo, di forma trapezia e di sezione minima di 0.16 m<sup>2</sup>. Nel caso di canalette in terra a mezza costa, o comunque disposte non secondo la linea di massima pendenza, si deve realizzare, sul lato di valle, un argine ben costipato utilizzando il terreno proveniente dallo scavo in modo tale da raggiungere una quota pari a quella del ciglio di monte. Laddove la pendenza e le caratteristiche del terreno non garantiscano la funzionalità delle canalette (interramento, erosione, ecc..) devono essere previste opere di difesa e presidio. Tali opere consistono nell'esecuzione di un arginello in pietrame a contenimento della sponda di valle della canaletta, oppure di un rivestimento della superficie della canaletta con pietrame (cunetta rivestita).

### B.1 Protezione superficiali

#### B.1.02 Fascinata

I graticci di fascine verdi o fascinate hanno funzione di contenimento e/o di regimazione delle acque superficiali. Le fascinate di contenimento vengono utilizzate per stabilizzare le coltri più superficiali di terreno. Le fascinate di regimazione vengono utilizzate per presidiare fossi di guardia e canalette di regimazione delle acque superficiali. Le fascinate sono costituite in genere da una doppia fila di fascine verdi, di qualsiasi essenza, di diametro minimo di 15 cm, tenute in posto da una fila di picchettoni, scortecciati, di essenze forti come:

- castagno, robinia o rovere, di lunghezza compresa tra 1,2 m e 1,4 m, di diametro di circa 8 ÷ 10 cm, con un interasse di 0,5 m ed infissi nel terreno ad una profondità di almeno 1,0 m. Le fascine devono essere legate ai suddetti picchettoni mediante filo zincato (diam. min. = 2 mm) ed interrate per circa la metà della loro altezza. Sul lato monte delle fascinate, a 30 ÷ 40 cm deve essere realizzata, con terreno compattato, una canaletta di scolo di forma

semicircolare o trapezoidale e di sezione non inferiore a  $0.16 \text{ m}^2$ . Le suddette canalette devono essere raccordate ad un fosso di guardia naturale o espressamente predisposto. La disposizione planimetrica delle fascinate può essere di due tipi:

- ad elementi continui;
- a lisca di pesce.

Nella disposizione ad elementi continui ogni elemento attraversa da lato a lato la zona interessata. Nella disposizione "a lisca di pesce" gli elementi vengono disposti secondo la tipica forma della lisca di pesce. In quest'ultimo caso si deve realizzare una sovrapposizione, di almeno 50 cm, dei tratti interni dei singoli elementi che costituiscono la lisca della fascinata. Questi accorgimenti tendono ad evitare fenomeni di canalizzazione delle acque lungo il versante. L'angolo di inclinazione delle fascinate, per la disposizione planimetrica ad elementi continui può variare tra i  $10^\circ \div 20^\circ$ , mentre per la disposizione a lisca di pesce, può variare tra i  $20^\circ \div 30^\circ$ . L'interasse dei vari elementi rompitratta dovrà essere definito in base alla pendenza del versante.

## **B.1 Protezione superficiali**

### **B.1.03 Palizza**

La funzione delle palizzate è sia di contenimento di coltri di terreno rimosso per la formazione di gradoni anche a forte pendenza che di protezione di argini. Esse sono costituite da pali verticali di essenze forti come: castagno, robinia, rovere, scortecciati, ben dritti, di taglio fresco, infissi nel terreno a profondità adeguata. Sul lato monte dei pali verticali, devono essere legati, con filo di ferro zincato (diam. min. = 2 mm) pali orizzontali, sempre di essenze forti, messi in opera sovrapposti, in modo da formare una parte compatta per il contenimento del terreno. Le palizzate possono essere di 4 tipologie, la cui scelta dipende dallo spessore della coltre di terreno da stabilizzare, dall'altezza dei gradoni che si vogliono ottenere e dalle penetrabilità del terreno. La tabella indicata nell'allegato grafico evidenzia le caratteristiche geometriche dei quattro tipi di palizzate. I pali verticali devono avere la parte inferiore sagomata a punta. Deve essere effettuata sui pali verticali una doppia spalmatura di carbolineum o un trattamento a fuoco. A tergo della palizzata, ad una distanza di circa  $30 \div 40 \text{ cm}$ , se necessario potrà essere eseguita una canaletta di scolo superficiale in terra battuta, di forma trapezoidale e della sezione minima di  $0.16 \text{ m}^2$ , raccordata ad un fosso di guardia naturale o espressamente predisposto. I pali, salvo diverse prescrizioni, devono essere affondati verticalmente lungo la direttrice stabilita. La porzione di palo che deve essere infissa nel terreno, è in funzione della tipologia prescelta, e comunque tale che la parte fuori terra sia sufficiente a contenere il numero di filandre trasversali stabilite.

## **B.1 Protezione superficiali**

### **B.1.04 Fosso presidiato con legname e pietrame**

Questa tipologia è indicata nei corsi d'acqua con andamento torrentizio, con piccolo bacino imbrifero e modesta sezione dell'alveo. Sono impiegati pertanto nei tratti di montagna ma anche laddove necessita regimare le acque raccolte nei fossi e nei piccoli corsi d'acqua affluenti nelle aste principali. Utilizzando materiali naturali quali legno e pietra tale opera si integra nell'ambiente circostante. Nell'esecuzione di tali opere si dovranno evitare tracciati particolarmente regolari al fine di evitare la canalizzazione del corso d'acqua.

La tipologia è distinta in due parti:

- la protezione dell'erosione spondale mediante palizzate (già descritta con la tipologia precedente);
- la protezione dell'erosione di fondo alveo con briglie in legname.

Queste ultime hanno un'altezza di salto limitata (30 cm) oppure svolgono la funzione di soglia di fondo fissando la quota di fondo alveo. Le briglie sono realizzate con picchettoni in legno di essenza forte di diametro pari a quello delle palizzate spondali. A valle e a monte della briglia deve essere sistemato pietrame eventualmente reperito in

loco, per un tratto variabile in funzione dell'attività della corrente e del relativo salto. In ogni caso il fosso non dovrà essere ristretto mentre l'interasse delle briglie dovrà essere funzione della pendenza di progetto dell'asta fluviale.

## **B.1 Protezione superficiali**

### **B.1.05 Fosso rivestito con materassi in gabbioni**

Anche questa tipologia è impiegata nei corsi d'acqua con andamento torrentizio con piccolo bacino imbrifero e modesta sezione dell'alveo. Tuttavia rispetto alla tipologia precedente il rivestimento dell'alveo offre una protezione completa contro i fenomeni di erosione. I salti di fondo sono realizzati con gabbioni disposti trasversalmente al corso d'acqua alti 1,0 m. I materassi in gabbioni hanno spessore di 30 cm, sono formati da una rete metallica tipo 6x8 cm e filo di diametro di 2,2 mm e riempiti con ciottoli o pietrame di cava di dimensioni non inferiori alla maglia della rete. Tali materassi sono ancorati al terreno mediante picchetti in ferro e legati tra loro con filo metallico zincato.

## **B.1 Protezione superficiali**

### **B.1.06 Protezione dei versanti con reti e inerbimento**

Questa tipologia svolge la funzione di protezione contro fenomeni di erosione superficiale del terreno nonché quella di evitare fenomeni di distacchi di piccole coltri superficiali.

La rete antierosiva può essere di due tipi:

- biorete in fibra naturale (juta o cocco);
- georete in polimero plastico.

La prima viene utilizzata nei casi di versanti poco acclivi (pendenze inferiori a 2/3) e in genere poco spingenti, mentre la seconda negli altri casi, tenendo presente che la biorete essendo composta da materiali naturali biodegradabili tende a perdere la sua funzionalità nel tempo fino a dissolversi. Le reti sono fissate al terreno con picchetti in acciaio e vengono ricoperte con uno strato di terreno vegetale di 10 cm circa al fine di ottenere un miglior attecchimento della vegetazione. Lungo il versante, se necessario, si possono realizzare dei gradoni orizzontali e delle canalette in terra inerbite come da allegato grafico.

## **B.1 Protezione superficiali**

### **B.1.07 Rete metallica di protezione**

Questa tipologia è impiegata nelle scarpate e nei pendii in roccia al fine di contenere e bloccare il materiale lapideo potenzialmente in fase di distacco. I volumi del materiale roccioso da trattenere devono essere limitati. La rete è di tipo metallica zincata eventualmente plasticata a doppia torsione tipo 8x10 cm con filo zincato f 2,7 ÷ 3,0 mm fissata alla scarpata con picchetti in acciaio o chiodi di ancoraggio. Le reti sono collegate tra loro con filo di acciaio zincato avente le stesse caratteristiche di quello della rete. Alla sommità della scarpata la rete dovrà essere saldamente ancorata per tutta la sua ampiezza, risvoltando le estremità dei rotoli di rete e fissandola e solidi ancoraggi (ferri, chiodi, o tasselli ad espansione), fissati direttamente alla roccia oppure cementati con cls o resine opportune, scelti sempre in funzione della natura della scarpata in sito. La sistemazione al piede potrà essere dello stesso tipo di quella di sommità, ma dovrà essere tale da poter sempre consentire lo scarico dei detriti accumulatisi al piede della scarpata, permettendo poi una risistemazione della rete sugli ancoraggi medesimi. Eventualmente, ove possibile, può essere effettuato lo scoronamento della parte sommitale del versante.



## **B.1 Protezione superficiali**

### **B.1.08 Rete paramassi rinforzata con funi**

Questa tipologia ha il duplice scopo di impedire il distacco ed il crollo di volumi rocciosi e di migliorare le condizioni di stabilità della parte corticale della pendice a rischio.

Tale intervento di protezione e stabilizzazione può essere effettuato con due distinti sistemi tipologici, scelti in relazione allo stato dell'ammasso roccioso e del grado di sicurezza atteso:

- a) rete ancorata con funi metalliche e reticolo di contenimento in fune metallica;
- b) rete ancorata con barre metalliche e orditura verticale in fune metallica.

La prima tipologia rispetto alla seconda presenta oltre ad un'orditura verticale anche un'orditura romboidale di contenimento in fune metallica di diametro di 12 mm, sovrapposta ai pannelli di rete metallica. Tale rete da porre in aderenza alla scarpata è del tipo in maglia esagonale 8x10 cm a doppia torsione in filo zincato di diametro di 3 mm. Alla sommità della pendice, opportunamente arretrati verso monte rispetto al ciglio, ed al piede della stessa, verranno realizzati gli ancoraggi passivi rispettivamente di sostegno e di contenimento in fune metallica (f = 20 mm tipologia a) oppure in barra metallica (f = 16 mm tipologia b), a seconda della tipologia adottata, disposti ad interasse non superiore a 3,0 m. Su tali ancoraggi verranno fissate due funi orizzontali di diametro f 12 ÷ 16 mm su cui si collegano i pannelli di rete metallica. Nella distesa della rete si dovrà ricercare una perfetta aderenza della stessa alla pendice al fine di impedire che quanto dovesse distaccarsi possa acquisire velocità e quindi danneggiare gli stessi pannelli. Lungo la pendice saranno formati ancoraggi passivi intermedi in fune metallica (tipologia a) o in barra metallica (tipologia b). In entrambe le tipologie i pannelli di rete sono collegati con anelli di giunzione metallici.

## **B.1 Protezione superficiali**

### **B.1.09 Rete paramassi ad assorbimento elastico**

Questa tipologia è impiegata nelle scarpate e nei versanti in roccia qualora risulti necessario dissipare elevate quantità di energie e trattenere volumi rocciosi di dimensione notevole con elevata velocità di spostamento. Anche in questo caso tale intervento di protezioni è possibile effettuarlo con due distinti sistemi tipologici scelti in relazione alla situazione locale del versante e al grado di capacità ed altezza

di trattenuta richiesta:

- a) rete paramassi deformabile ad elevato assorbimento di energia;
- b) rete paramassi parzialmente deformabile e controventata.

La prima tipologia è costituita dalle seguenti parti:

- puntoni di sostegno tubolari di altezza 4,4 m ed interasse 8,0 m collegati da controventi di monte agli ancoraggi di attacco dei sistemi frenanti e a valle ad un ancoraggio sempre in fune metallica;
- pannelli di rete in fune metallica di diametro 10 mm a maglia quadrata di altezza 5,0 m e lunghezza 8,0 m, collegati attraverso una fune perimetrale ai puntoni;
- al fine di trattenere anche i volumi rocciosi con dimensione minore, i pannelli sono rivestiti, sul lato di monte, con rete in filo metallico a doppia torsione in maglia esagonale;
- sistemi frenanti su ogni pannello costituiti da dispositivi costituiti ciascuno da due funi di attrito;
- ancoraggi di attacco dei sistemi frenanti in corrispondenza di ogni puntone di sostegno.

La seconda tipologia, indicata laddove si prevede di trattenere volumi rocciosi limitati con modeste quantità di energia, è costituito dalle seguenti parti:

- puntoni di sostegno in profilato metallico tipo HE di altezza 4,8 m ed interasse non superiore a 5,5 m fissati, alla base, alla sommità di un muro o di un blocco di ancoraggio con n. 4 ancoraggi in barra, ed alla sommità, da 6

controventi in doppia fune metallica collegati, quelli di monte agli ancoraggi, mentre quelli laterali alla base dei rispettivi puntoni;

- pannelli di rete con altezza di 4,0÷5,0 m e larghezza 5,5 m in fune metallica di diametro 8 mm a maglia quadrata, collegati alla fune perimetrale fissata ai quattro vertici dei rispettivi puntoni mediante perni metallici vincolati alle ali dei puntoni stessi;
- sul lato di monte i pannelli sono rivestiti con rete di filo metallico a doppia torsione ed in maglia esagonale;
- dissipatore di energia ad asola di attrito su ogni fune perimetrale orizzontale e sui controventi di monte.

Il dimensionamento ed il posizionamento delle barriere deve avvenire sulla base di due precise verifiche progettuali:

- Verifica allo scavalco per proiezione: determina l'altezza della barriera e la sua posizione, che devono essere tali da intercettare le masse in caduta.
- Verifica allo sfondamento: determina, sulla base della velocità e del volume delle porzioni lapidee dal cui crollo occorre proteggersi, il tipo di barriera da adottare (deformabile ad alto assorbimento di energia o barriera a bassa deformabilità). In ogni caso la resistenza allo sfondamento non dovrebbe essere inferiore a 1 MJ.

## **B.1 Protezione superficiali**

### **B.1.10 Barriera paramassi**

Questa tipologia è impiegata nei casi in cui occorra trattenere modesti volumi di materiale lapideo animati da velocità di spostamento molto basse. L'intervento è particolarmente indicato nella protezione delle sedi stradali adiacenti a scarpate in roccia. L'opera si inserisce bene nell'ambiente essendo composta da travi in legno di essenza forte fissate a montanti in profilato d'acciaio (ad U tipo 200x75 mm). L'altezza della barriera non supera i 3,0 m. I montanti sono ancorati, per una profondità adeguata all'altezza della barriera, ad un muro in c.a. rivestito in pietra o ad un cordolo di fondazione in c.a. completamente interrato.

## **B.1 Protezione superficiali**

### **B.1.11 Rilevato paramassi in terra rinforzata**

Le reti paramassi ad alta resistenza sono in grado di assorbire energie di impatto sino a circa 2.5 MJ. Quando sono previste energie di impatto superiori occorre realizzare un'opera costituita da un vallo ed un rilevato paramassi, preferibilmente in terra rinforzata. Tale opera è in grado di assorbire impatti sino ad alcuni GJ e presenta inoltre numerosi vantaggi: una volta inerbata l'impatto visuale è quasi nullo; durata nel tempo praticamente illimitata; mancanza pressoché totale di manutenzione ordinaria e straordinaria. Lo schema dell'opera è riportato nella figura allegata, le modalità generali di realizzazione sono nel complesso analoghe a quelle descritte per la tipologia B1.12 (terra rinforzata con geosintetici), con la differenza che i teli di geosintetico possono essere risvoltati su entrambe i lati della struttura. In caso di energie di impatto estremamente elevato può essere prevista, lato monte, un'armatura integrativa (vedi figura). A monte del rilevato viene realizzato un vallo o, quantomeno, un piazzale di smorzamento.

Il dimensionamento deve prevedere le seguenti verifiche progettuali:

- verifica della stabilità del terrapieno costituente il rilevato;
- verifica della stabilità del pendio a seguito della realizzazione del rilevato;
- verifica al superamento per proiezione; la geometria e la posizione dell'opera deve essere tale da garantire l'intercettazione delle masse lapidee in caduta;
- verifica al superamento per sfondamento: al fine di accertare che il blocco non superi la barriera sfondandola.

## **B.1 Protezione superficiali**

### **B.1.12 Terra rinforzata con geosintetici**

Questa tipologia è impiegata a sostegno di versanti instabili o nel ripristino di pendii in frana o rilevati e scarpate acclivi. Questa opera, che funziona come una normale struttura a gravità, è costituita da un rilevato di terreno in cui sono inseriti degli elementi di rinforzo resistenti a trazione che risultano alternati, a strati, al materiale di riempimento. Tali elementi di rinforzo sono realizzanti con reti di geosintetico, costituenti un'armatura continua, risvoltati in corrispondenza del parametro esterno. Il terreno di riempimento dovrà appartenere alla categoria delle sabbie e ghiaie con esclusioni di pezzature superiori a 15 cm. In ogni caso il peso di volume del terreno di riempimento in opera dovrà essere superiore a 17 KN/mc. Le reti di geosintetico o geogriglie sono prodotti in lastre piane in materiale plastico che presentano una griglia regolare di fori, di forma rettangolare o ellittica ed una adeguata resistenza a trazione, basso allungamento del materiale sottoposto a trazione nel tempo (creep) e alta resistenza ai raggi ultravioletti. La stesa del materiale dovrà essere eseguita sistematicamente per strati di spessore costante (30 cm massimo) e compattato con idonei mezzi secondo dettagliate modalità operative. Raggiunto lo spessore di progetto dello strato di terra rinforzata, si mettono in opera gli elementi di facciata (biorete, terreno vegetale, talee vegetative, etc.) e si richiudono i teli di geosintetico inizialmente stesi risvoltandoli sopra la testa dell'ultimo strato compattato. I teli sono stesi per la lunghezza prevista e fissati con picchetti metallici ad U in modo da mantenerli tesi durante la posa del materiale di riempimento. La procedura si ripeterà fino al completamento degli strati di terra rinforzata necessari.

## **B.2 Opere di drenaggio**

Queste tipologie di opere riguardano il consolidamento e la stabilizzazione dei versanti attraverso interventi di captazione e allontanamento delle acque presenti all'interno dei terreni (acque di falda).

## **B.2 Opere di drenaggio**

### **B.2.01 Trincea drenante**

Si realizzano in tutti i casi in cui sia necessario consolidare, con semplice drenaggio, un pendio instabile o ad instabilità diffusa fino ad una profondità limitata a 5,0 m dal piano campagna. Dette trincee sono costituite da un corpo drenante avvolto in tessuto non tessuto direttamente appoggiato sul fondo scavo. La scelta del non-tessuto è un elemento critico per la durata, nel tempo, del sistema drenante. Il diametro di filtrazione, in particolare, deve essere pari od inferiore al  $d_{85}$  dei terreni da drenare. Non-tessuti con diametro di filtrazione eccessivo portano rapidamente all'intasamento del corpo drenante in ghiaia con materiale fine; un diametro di filtrazione troppo ridotto porta invece alla formazione, tra il non-tessuto e la formazione, di un pannello di fango che impermeabilizza il corpo drenante. Il non-tessuto ottimale è quello che permette il passaggio alla sola frazione finissima, che viene facilmente asportata dalle acque percolanti nel dreno stesso. Alle spalle del non-tessuto si formerà quindi uno spessore di terreno (prefiltro naturale) che, impoverito di fini, aumenterà la propria permeabilità e quindi l'efficacia, nel tempo, del sistema drenante. I corpi drenanti sono costituiti da inerti lavati, rappresentati da ghiaia fine, di granulometria compresa tra i 0,6 ed i 6 cm. Quale filtro per il corpo drenante deve essere prevista la posa in opera di "tessuto non tessuto" (400 g/m<sup>2</sup> o altro analogo). Il tessuto non tessuto deve avvolgere quindi l'intero corpo drenante. Al fondo della trincea immediatamente sopra il telo di tessuto non tessuto, è posto un tubo finestrato (f 10 o f 20 cm in PVC o polietilene) di raccolta delle acque. Al termine del dreno si realizza un setto impermeabile attraversato da un tubo non finestrato che conduce le acque allo scarico preferibilmente in fossi o impluvi naturali. La parte terminale del tubo di scarico del dreno dovrà essere adeguatamente protetta verso il fosso mediante un gabbione o un muretto a secco. Se necessario si segnala con apposita palina lo scarico di ciascun dreno per facilitarne il successivo controllo. Il fondo scavo, di norma largo non meno di 1 m, può avere una livelletta unica in caso di pendii poco acclivi (pendenza 10° ÷ 15°). Se però il drenaggio viene realizzato su pendii più acclivi, oppure la lunghezza dell'opera è notevole, è opportuno prevedere una gradonatura del fondo scavo. Di norma occorre porre in opera all'inizio del dreno un tubo verticale che sia collegato mediante un raccordo a 90° al tubo finestrato di fondo scavo, protetto in superficie da un

pozzetto in cls prefabbricato. Detto tubo permette di collaudare l'opera e di verificarne l'efficienza nel tempo. È necessario inoltre porre in opera a fine dreno un tubo di controllo a T, protetto in superficie da un pozzetto in cls prefabbricato. Detto tubo permette di controllare il passaggio di acque nel tubo di scarico. Se si verificassero problemi inerenti alle servitù i tubi di controllo ad inizio e termine dreno, comprensivi di pozzetti in cls di protezione, potranno essere eventualmente interrati completamente a -1,0 m dal piano campagna. In questo caso saranno ubicati topograficamente sulle mappe catastali in modo da facilitarne il rinvenimento.

## **B.2 Opere di drenaggio**

### **B.2.02 Dreni suborizzontali**

In particolari condizioni geomorfologiche e comunque quando si rende necessario captare acque profonde può essere utile porre in opera dei tubi drenanti suborizzontali. Questo sistema permette di evitare la realizzazione di trincee drenanti profonde.

Le modalità costruttive dei suddetti dreni sono:

- a mezzo sonda rotativa vengono eseguite le perforazioni per la formazione dell'alloggiamento delle aste drenanti: il diametro di perforazione è di 100 ÷ 120 mm;
- i fori di perforazione sono intubati, con tubazione metallica, mediante avanzamento a seguire durante la perforazione stessa;
- ultimata la perforazione vengono inserite nei fori le aste drenanti, preventivamente rivestite da "tessuto non tessuto" 300 g/m<sup>2</sup> o equivalente per evitarne l'intasamento;
- le aste drenanti sono costituite da tubi in PVC di diametro superiore o uguale a 2" microfessurati e uniti con giunti filettati;
- ad inserimento avvenuto si procede allo sfilamento e recupero della tubazione metallica di rivestimento;
- le testate delle aste drenanti, che non devono essere microfessurate nei primi metri nella zona di uscita del dreno, vengono collegate tra di loro e connesse ad un sistema di smaltimento delle

acque raccolte (canalette in terra o rivestite, canali presidiati, impluvi naturali). Nel caso di litologie a grana fine occorre prevedere, intorno al tubo finestrato, una calza in non-tessuto con funzione di filtro.

## **B.2 Opere di drenaggio**

### **B.2.03 Diaframma drenante**

In relazione a particolari situazioni geologiche locali, in particolare quando la profondità del terreno da drenare supera il valore limite ottimale raggiungibile con trincee drenanti (oltre i 5,0 m), i dreni possono essere costituiti da pali adiacenti da eseguirsi lungo i tratti previsti e riempiti di materiale drenante. La peculiarità di questa tecnologia è costituita dall'impiego di un tubo sagomato ("tubo gobbo") che permette di avere la secanza tra i pali contigui e quindi la continuità del corpo drenante. Per tubo gobbo si intende un normale tubo, sagomato con una gobba interna (a mezzaluna), in modo da consentire l'affiancamento di analogo tubo (secanza). Tale procedura consente di ottenere la continuità del corpo drenante. Il tubo gobbo viene immesso in un foro di diametro 80÷100 cm precedentemente eseguito a secco e senza rivestimento. Successivamente il tubo gobbo viene riempito con il materiale drenante e si procede quindi alla perforazione del palo adiacente, si infolge il secondo tubo gobbo e lo si riempie di materiale drenante e si procede alla perforazione del palo adiacente. A questo punto si estrae il primo tubo gobbo e si procede come sopra. Il materiale drenante è costituito da misto granulare uniformemente distribuito a partire da una pezzatura minima di 0.4 mm (sabbia media) fino alla pezzatura massima di 7 cm (ghiaia). Lo spessore del riempimento, variabile in relazione alla profondità dello scavo, va dal fondo scavo stesso fino a 80 cm dal piano campagna, al di sopra del quale si deve ricostruire uno strato di terreno agricolo. La parte terminale del diaframma

drenante deve presentare profondità via via decrescenti per permettere un raccordo con una trincea drenante al fine di consentire lo scarico delle acque raccolte in impluvi naturali.

## **B.2 Opere di drenaggio**

### **B.2.04 Pozzo profondo**

In relazione a particolari situazioni geologiche locali, soprattutto quando la profondità del terreno da drenare supera determinati valori (almeno dell'ordine di 10 ÷ 15 m anche se il suo impiego ottimale è per profondità dell'ordine di 20 ÷ 25 m) il drenaggio può essere realizzato mediante pozzi drenanti verticali collegati sul fondo con una tubazione per l'allontanamento delle acque di drenaggio. La particolare tecnica utilizzata rende il sistema particolarmente vantaggioso, anche se con costi elevati, quando necessita realizzare dreni profondi in centri abitati senza arrecare danni alle strutture e agli edifici. I pozzi saranno realizzati secondo interassi e profondità determinate in funzione delle caratteristiche del dissesto. Essi possono essere di tre tipi: a tutta sezione, a sezione anulare (ispezionabile) e drenanti-strutturali. Il loro diametro non dovrà essere inferiore a 1,2 m. La perforazione dovrà essere eseguita "a secco"; in quanto l'impiego di fango bentonitico può produrre una pellicola impermeabile sulle pareti dei pozzi stessi. Il materiale filtrante, per entrambi i tipi di pozzi, sarà costituito da ghiaietto pulito avente fuso granulometrico 3 ÷ 15 mm. I pozzi saranno impermeabilizzati, mediante cementazione, sul fondo e in sommità per tratti non inferiori mediamente a circa 1.5 m, allo scopo di evitare sia perdite sul fondo, sia infiltrazioni di acque superficiali corrive. I pozzi ispezionabili saranno muniti di un rivestimento interno definitivo, in acciaio zincato a caldo, di spessore atto a resistere alle pressioni agenti, e corredati di scale di accesso metalliche rimovibili, dotate di gabbia di protezione. I sistemi di regolazione del drenaggio, da porre in opera all'interno dei pozzi d'ispezione, necessari allo scopo di intervenire in qualunque momento sulle condizioni di funzionamento dell'impianto drenante, dovranno essere manovrabili dal piano di campagna. Il diametro utile interno dei pozzi ispezionabili dovrà essere tale che lo spessore medio della sezione anulare non risulti inferiore a 10 cm e dovrà consentire l'eventuale approfondimento dei pozzi stessi, con la possibilità di eseguire perforazioni per il drenaggio ed il collegamento a quote inferiori. I pozzi ispezionabili saranno provvisti di chiusini in cemento armato prefabbricato, di dimensioni adeguate rispetto al diametro, di spessore comunque atto a resistere anche ai carichi stradali. Il collettore inclinato per lo smaltimento delle acque di drenaggio sarà realizzato mediante una tubazione in p.v.c. di elevata flessibilità e ad elevato limite di allungamento, avente diametro interno minimo non inferiore a 80 cm. Il collettore sarà filtrante solo nei tratti di attraversamento dei pozzi, con superficie dei fori pari a circa il 15%; le intercapedini tra le perforazioni di collegamento tra i pozzi e la tubazione saranno impermeabilizzate mediante cementazione con boiacca plastica, avente deformazione plastica non inferiori al 10 %. Oltre ai pozzi drenanti a tutta sezione e a sezione anulare, si possono impiegare anche pozzi a funzione mista drenante-strutturale. Il drenaggio delle acque avviene tramite una intercapedine di materiale granulare nella parte più esterna del pozzo a diretto contatto con il terreno; la funzione strutturale è assolta da una sezione anulare in c.a., la quale esercita una azione di resistenza agli sforzi di taglio mobilitati, contribuendo in tal modo alla stabilizzazione dell'area franosa.

## **B.2 Opere di drenaggio**

### **B.2.05 Pozzo con pompa autoinnescante**

Questa tipologia è impiegata nei casi in cui si voglia deprimere la superficie piezometrica a profondità anche di 10 ÷ 15 m utilizzando strutture drenanti puntuali. La particolare tecnica utilizzata rende il sistema particolarmente vantaggioso e con costi contenuti quando necessita realizzare un drenaggio profondo in centri abitati o presso infrastrutture importanti. Particolare cura dovrà essere posta nella localizzazione e disposizione dei pozzi nel versante da stabilizzare. La funzione dell'opera è quella di abbassare il livello della superficie piezometrica mantenendolo stabile ad una determinata quota dal piano campagna. Questa operazione è effettuata tramite una pompa sommersa ad innesco automatico guidato da due sensori di livello posti a profondità stabilite in funzione dell'abbassamento della superficie piezometrica desiderato. Il pozzo ha un diametro di dimensioni di 20 cm, all'interno è posto un tubo in PVC di diametro di 10 cm fenestrato, rivestito di un filtro di tessuto non tessuto, in fondo al quale è posizionata una pompa sommersa ad innesco automatico. L'intercapedine tra il foro di trivellazione e il

tubo in PVC fenestrato è riempita con materiale drenante (ghiaia fine e sabbia). I pozzi, a seconda dei casi, sono provvisti di chiusini in cemento armato prefabbricato, di dimensioni adeguate rispetto al diametro, di spessore comunque atto a resistere anche ai carichi stradali. Il sistema di regolazione della pompa dovrà essere manovrabile dal piano campagna.

### **B.3 Opere di sostegno**

Queste tipologie di opere riguardano il consolidamento e la stabilizzazione dei versanti attraverso opere di sostegno dei terreni. La scelta della tipologia da utilizzarsi nei singoli casi dipende sia dalle caratteristiche geotecniche dei terreni e dalle spinte in gioco, che dal contesto ambientale e morfologico in cui l'opera si inserisce.

### **B.3 Opere di sostegno**

#### **B.3.01 Muro a secco**

Questa tipologia è impiegata a sostegno di modeste altezze di terreno (non superiori a 1,5 m). L'inserimento gradevole nell'ambiente deriva dal materiale impiegato che è il pietrame, possibilmente reperito in loco. Essendo una struttura a gravità la stabilità del muro viene garantita dal suo peso, pertanto lo spessore in testa deve essere almeno di 50 cm mentre alla base pari al rapporto  $70 \div 100$  cm l'altezza fuori terra. Le pietre dovranno essere compatte, non sfaldabili, di elevato peso specifico, di forma regolare e con le tre dimensioni simili tra loro. Esse dovranno essere disposte in modo ordinato sfalsando i giunti verticali, evitando vuoti interni e formando una regolare disposizione sul paramento esterno a vista.

### **B.3 Opere di sostegno**

#### **B.3.02 Muro in gabbioni**

Questa tipologia è impiegata a sostegno di altezze di terreno in genere non superiori a 4,0÷5,0 m, in quanto, per valori superiori, essa risulta economicamente svantaggiosa dovendo impiegare una notevole quantità di materiale. Infatti, essendo la stabilità del muro garantita dal suo peso, occorre dimensionare l'opera con una base adeguata in relazione sia all'altezza del terreno da sostenere che alla sua inclinazione sull'orizzontale. L'opera è caratterizzata dalla possibilità di assestamento e di deformazione sotto l'azione dei carichi (struttura flessibile). La struttura del muro in gabbioni è formata da elementi scatolari (di dimensioni 1x1x2 m) in rete metallica zincata a doppia torsione (maglia tipo 6x8 cm e filo di diametro 2,7 mm) riempiti con pietrame da cava o ciottoli di fiume di dimensioni non inferiori al diametro della maglia della rete. I materiali lapidei impiegati sono compatti, non gelivi e di elevato peso specifico. Il pietrame va disposto in modo da evitare vuoti all'interno del gabbione. Il collegamento tra i gabbioni è effettuato con cuciture lungo gli spigoli mediante filo metallico zincato avente le stesse caratteristiche di quello della rete dei gabbioni. All'interno delle scatole dei gabbioni sono predisposti alcuni tiranti orizzontali e verticali in filo metallico che collegano tra di loro le pareti opposte del gabbione al fine di evitare eccessive deformazioni delle reti. Il muro in gabbioni può essere completamente interrato o mascherato con vegetazione oppure conformato nel paramento esterno in modo da rendere possibile l'inerbimento e l'attecchimento di cespugli e arbusti sulla sua superficie.

### **B.3 Opere di sostegno**

#### **B.3.03 Muro in calcestruzzo**

Questa tipologia viene proposta per il sostegno di altezze di terreno fino a 4,0 m preferendo ricorrere, per valori maggiori, a muri in c.a. Infatti, essendo la stabilità del muro garantita dal suo peso, questa tipologia risulta economicamente svantaggiosa per altezze notevoli dovendo impiegare rilevanti quantità di materiali. L'opera è

realizzata in calcestruzzo (classe 250 o superiore) debolmente armato da una rete in acciaio elettrosaldato disposta nei punti soggetti a trazione del calcestruzzo. Il muro in genere è composto dalla fondazione completamente interrata e dalla parte in elevazione ad essa collegata il cui paramento esterno è rivestito con pietra naturale di spessore di circa 20 cm. Le pietre dovranno essere regolari e di dimensione adeguata. A tergo del muro, a seconda dei casi, può essere disposto del materiale granulare avente funzione di drenaggio delle acque di falda che sono poi convogliate entro feritoie realizzate con tubi in PVC nel corpo del muro e raccolte in canalizzazioni esterne. Alla sommità del muro può essere realizzata, se necessario, una cunetta in terra inerbata per la raccolta delle acque superficiali. Lo spessore in testa del muro deve essere non inferiore a 30 cm. La fondazione deve avere una larghezza non inferiore a 40 ÷ 80 cm l'altezza fuori terra e uno spessore non inferiore a 30 cm. È necessario realizzare giunti verticali per la dilatazione e il ritiro del cls nella struttura ogni 20 m circa.

### **B.3 Opere di sostegno**

#### **B.3.04 Muro in c.a. rivetito in pietrame**

Questa tipologia è impiegata a sostegno di altezze di terreno notevoli ma comunque non superiori 5 ÷ 6 m. Oltre tali valori, aumentando la spinta del terreno, occorre conformare la struttura dotandola di contrafforti interni oppure di tiranti di ancoraggio sul paramento verticale o di pali o micropali in fondazione. In genere il muro in c.a. è composto da una fondazione completamente interrata e da una parte in elevazione il cui paramento esterno è rivestito con pietra naturale di spessore di circa 20 cm. Anche in questo caso come per quello precedente può essere realizzato sia il drenaggio a tergo sia la cunetta in sommità al muro. Lo spessore in testa della parte in elevazione deve essere di almeno 40 cm. La fondazione deve presentare una mensola interna di adeguate dimensioni per la stabilità del muro, il suo spessore non dovrà essere inferiore a 40 cm. Il muro dovrà essere armato con barre di acciaio in misura e con disposizione adeguata a resistere agli sforzi interni alla struttura.

### **B.3 Opere di sostegno**

#### **B.3.05 Sottomurazione blocchi instabili**

Tali opere trovano applicazione nei casi in cui occorra ristabilire la stabilità di blocchi o lastre lapidei in condizioni di stabilità precaria dovuta a scalzamenti operati al piede da corsi d'acqua (segnatamente: puddinghe, conglomerati ecc.), scavi, franamenti al piede (segnatamente: crolli, sbalzi per realizzazioni di sottopassi, bonifiche di roccia ammalorata ecc.). La tecnologia proposta per stabilizzazione di tali blocchi lapidei a sbalzo si articola sostanzialmente nelle seguenti componenti:

- setti/plinti in c.a. fondanti sul terreno ovvero sulla roccia in posto; ancoraggio su roccia o detrito dei setti mediante impiego di barre di acciaio nervate adeguatamente ancorate nella struttura in c.a. stessa; la coppia dei setti realizzerà in tal modo una resistenza agli sforzi di trazione determinati dai momenti flettenti; si consiglia una mutua distanza fra i setti di 1,50 m; gli ancoraggi del plinto/cordolo di fondazione dovranno essere in numero di 2;

- ancoraggi orizzontali dei setti sul blocco lapideo instabile; analogamente si farà ricorso alle

barre di acciaio nervato infisse per un'ideale profondità nella roccia; in caso di lastre instabili sarà opportuno il raggiungimento dello strato sottostante (in posto) attuando così un'azione di "cucitura" delle due componenti lapidee; in tal caso occorrerà dimensionare gli ancoraggi al fine di resistere alle eventuali azioni di taglio; gli ancoraggi dovranno essere in numero di 2 distanziati per un'altezza inferiore ad 1,00 m;

- sul fronte a vista verrà realizzato un "tamponamento" in blocchi lapidei (a secco) a scopo di ripristino di una continuità strutturale e miglioramento dell'impatto percettivo.

## **B.3 Opere di sostegno**

### **B.3.06 Muro di sostegno in elementi prefabbricati**

Difesa spondale con muro cellulare a gabbia inverdito mediante inserimento di talee di essenze autoctone e/o comunque adatte alle condizioni microclimatiche del sito. Le difese longitudinali a protezione delle sponde, disposte parallelamente al corso della corrente, realizzate con l'impiego dei muri cellulari a gabbia vengono ottenute con l'utilizzo di elementi traviformi in conglomerato cementizio armato vibrato con paramento esterno costituito da elementi particolarmente rinforzati "ANTIURTO" atti a resistere agli urti del trasporto solido. Detti elementi sono prefabbricati in stabilimento o in cantiere con buone caratteristiche di resistenza e durabilità ( $R_{ck} > 40$  Mpa), e quindi posti in opera, con l'ausilio di mezzi meccanici di media potenza e mano d'opera non specializzata, senza particolari difficoltà. Gli elementi prefabbricati vengono infatti sovrapposti ortogonalmente uno sull'altro e composti a formare dei contenitori al cui interno viene inserito materiale incoerente, reperito in loco, o fornito da cava di prestito se non presente nel letto del corso d'acqua interessato dai lavori, costituente il grave della struttura. Dal punto di vista statico la struttura funziona come un muro a gravità opponendosi con il proprio peso alle sollecitazioni cui è sottoposto, presenta elevata resistenza, ma allo stesso tempo risulta essere abbastanza flessibile ed in grado di assorbire egregiamente assestamenti e/o cedimenti del piano di imposta derivanti eventualmente da fenomeni erosivi di scalzamento al piede. Per evitare comunque la possibilità dell'insorgenza di tali problemi la struttura va fondata ben al di sotto del fondo alveo ad una quota da definirsi in funzione delle caratteristiche idrogeologiche del corso d'acqua in esame, o protetta da un taglione longitudinale in c.a. Normalmente le difese spondali si accompagnano ad altre opere trasversali tipo soglie o pennelli aventi funzione di stabilizzazione del fondo alveo.

L'estrema versatilità di impiego dovuta alla componibilità modulare dei singoli elementi consente di risolvere la maggior parte delle configurazioni conseguenti alla conformazione plano-altimetrica del sito di cantiere, specie nel caso di impiego lungo aste torrentizie in territorio montano. Gli elementi prefabbricati presentano infatti modularità in altezza pari a 50 cm e in lunghezza pari a 2,50 m consentendo con ciò la sopracitata grande adattabilità geometrica anche per interventi di ridotte dimensioni ed in zone di difficile accesso, permettendo in caso di necessità la realizzazione di tratti curvilinei con raggi di curvatura di circa 20 m per curve concave, e di circa di 30 m per curve convesse, per altezze di struttura variabili da 0 ÷ 6,0 m. La difesa spondale può essere realizzata sia nella versione con rastremazione esterna sia nella versione con rastremazione interna, in entrambi i casi con paramento avente scarpa minima del 18,5 %, oppure arrivare fino ad una scarpa pari al 30 % mediante opportuna inclinazione del basamento di appoggio. Nei confronti dell'inserimento ambientale la difesa spondale così realizzata, essendo una struttura di tipo aperto, non altera il normale regime di filtrazione con la sponda retrostante, necessario per lo scambio idrico con le falde freatiche laterali le quali possono contribuire eventualmente ad una parziale diminuzione delle piene e ad un ritardo delle fasi di magra. La struttura muro cellulare, di per se, favorisce lo sviluppo di vegetazione spontanea di tipo erbaceo-arbustivo, consentendo sia il buon inserimento paesaggistico sia il riequilibrio dell'ecosistema fluviale, venendo incontro alla duplice funzione di protezione della sponda e di integrazione con minima alterazione dell'equilibrio esistente; per favorire l'attecchimento della vegetazione occorre prestare attenzione a che il materiale di riempimento presenti una percentuale di frazione fine pari ad almeno il 15 ÷ 20 %.

Sotto questo aspetto (incrementare le possibilità di inverdimento delle protezioni spondali realizzate con la tecnologia dei muri cellulari), gli elementi frontali della struttura devono essere conformati in modo tale da consentire l'inserimento all'interno del muro di talee di essenze specificatamente adatte ai microclimi ed in genere all'ambiente delle sponde di fiumi, torrenti e/o rii. Possono inoltre essere realizzate delle strutture che presentino, sul loro paramento anteriore, delle gradonature al di sopra delle quali possono essere inserite delle tasche vegetative. È forse più opportuno, in ogni caso, che gli elementi in cui le modanature di alleggerimento e di corrugamento della superficie diventano passanti, siano collocati in opera a partire dal corso di elementi immediatamente successivo a quello completamente in emersione rispetto al pelo d'acqua (livello idrico semipermanente) e quindi in genere a partire da circa 1,0 m dal pelo d'acqua. Da tale quota, infatti, le essenze riescono comunque, con le loro fronde ricadenti, a ricoprire anche i due corsi sottostanti, senza che ci siano in ogni caso eventuali problemi di dilavamento del materiale insilato nella parte più frequentemente sommersa, anche se il dilavamento viene comunque sempre più impedito nel corso degli anni dall'infittirsi della vegetazione e relativo apparato radicale. La difesa spondale così realizzata può inoltre essere sormontata, a differenza di altre tipologie di intervento, da una vera e propria pista carrabile con possibilità di creazione di rampe di accesso all'alveo permettendo le operazioni manutentive delle sponde fluviali.



## **B.3 Opere di sostegno**

### **B.3.07 Paratie di pali**

Questa tipologia è impiegata per stabilizzare pendii in frana, versanti instabili o a protezione di strutture civili e infrastrutture minacciate da fenomeni franosi. La paratia di pali ha la funzione di sostegno delle spinte mobilitate da elevati spessori di terreno. La struttura è in genere completamente interrata. Essa raggiunge una profondità nel terreno necessaria affinché si sviluppi un comportamento resistente a taglio con realizzazione di un vincolo ad incastro alla base del palo. Le fasi di realizzazione si distinguono in:

- realizzazione dei pali in c.a. mediante trivellazione con asportazione di terreno, posizionamento nello scavo della gabbia di armatura, getto del calcestruzzo;
- collegamento dei pali tramite una trave di coronamento in c.a. legata ai ferri di ripresa della gabbia di armatura dei pali.

Il diametro dei pali varia da 60 ÷ 100 cm mentre l'interasse varia da una volta a 4 volte il diametro dei pali.

In funzione della situazione geotecnica e geomorfologica della zona di dissesto, la paratia potrà essere realizzata anche con due file di pali disposti a quinconce o tirantata con ancoraggi attivi.

## **B.3 Opere di sostegno**

### **B.3.08 Paratie di micropali**

Questa tipologia, al pari di quella precedente, è impiegata per stabilizzare pendii in frana, versanti instabili o a protezione di strutture civili e infrastrutture minacciate da fenomeni franosi. Tuttavia essa è maggiormente indicata, grazie al ridotto spazio necessario per l'attrezzatura esecutiva, ai casi in cui occorra operare in spazi limitati; viceversa, per la minore resistenza al taglio dei micropali, essa è impiegabile solo nelle situazioni in cui la spinta del terreno instabile sia di entità limitata. Anche questa struttura è in genere completamente interrata. Le fasi realizzative si distinguono in:

- realizzazione dei micropali mediante trivellazione con asportazione del terreno, posizionamento nel foro dell'armatura realizzata con tubi in acciaio, riempimento del foro con malta di cemento a bassa pressione;
- collegamento dell'armatura tubolare con una trave di coronamento in c.a.

L'armatura tubolare senza saldatura longitudinale è in acciaio tipo Fe 360 - 430 - 510 con un diametro variabile tra 100 e i 200 mm. I micropali possono essere disposti verticalmente o inclinati sulla verticale se necessario; il loro interasse deve essere superiore a due volte e mezzo il diametro esterno dell'armatura tubolare. In funzione della situazione geotecnica e geomorfologica della zona di dissesto, la paratia potrà essere realizzata con una fila o con due file di pali disposti a quinconce o tirantate con ancoraggi attivi o passivi.

## **B.3 Opere di sostegno**

### **B.3.09 Tiranti**

Il tirante è elemento strutturale di ancoraggio operante in trazione atto a trasmettere forze di coazione ai terreni ed alle rocce. In genere esso è utilizzato quando occorre ancorare al terreno strutture di sostegno o comunque dotare queste ultime di una forza che contribuisca alla stabilità globale dell'opera. Le parti funzionali del tirante sono:

- Testata - insieme di elementi terminali (dispositivo di bloccaggio e piastra di ripartizione) atti a trasmettere alla struttura ancorata o direttamente alla roccia, la forza di trazione del tirante;
- Parte libera - insieme di elementi (armatura e guaine) atti a trasmettere la forza di trazione della testata alla fondazione;

· Fondazione - insieme di elementi (dispositivo di ancoraggio) atti a trasmettere al terreno le forze di trazione del tirante.

In genere l'armatura è costituita da trefoli in acciaio armonico del diametro di 0.6 pollici, mentre l'ancoraggio in fondazione viene realizzato per cementazione. L'ancoraggio deve essere collocato in zona sicuramente stabile.

Le fasi di realizzazione del tirante sono:

- a) esecuzione del foro;
- b) posizionamento del tirante nel foro;
- c) formazione del tampone di chiusura e di separazione tra il tratto ancorato e quello libero;
- d) formazione della fondazione con iniezione di malta cementizia a pressione.

A maturazione avvenuta della malta cementizia si applica sulla testata la forza di tiro necessaria, si blocca l'estremità dei trefoli con il dispositivo di bloccaggio sulla testata e si effettua la sigillatura e la protezione della testa di ancoraggio.

### **B.3 Opere di sostegno**

#### **B.3.10 Chiodature**

Questa tipologia esplica le stesse funzioni specifiche dei tiranti e si distingue perché è caratterizzata da una armatura costituita esclusivamente di barre (di diametro variabile tra i 22 e 32 mm) di lunghezza limitata (in pratica non superiore a 10 m) e in genere dall'assenza di guaina di rivestimento. Questa tipologia è in grado di raggiungere profondità limitate nel terreno. Il suo impiego è quasi esclusivamente su terreni rocciosi. È una tipologia ideale per interventi puntuali su situazioni critiche locali come ad esempio per la stabilizzazione di massi pericolanti o per consolidamento di pareti rocciose anche tramite l'impiego di reti paramassi. Le parti funzionali e gli elementi costitutivi sono analoghi a quelle dei tiranti con una differenziazione nell'ancoraggio al terreno che può essere realizzato semplicemente con malta di cemento, con cella meccanica ad espansione o con tampone e resina in cartucce. Le fasi di realizzazione sono analoghe a quelle dei tiranti con varie differenziazioni in relazione al tipo di ancoraggio in fondazione.

### **B.3 Opere di sostegno**

#### **B.3.11 Reticolo di travi ancorate**

Questa tipologia viene utilizzata per sostenere pareti rocciose a franamento in corrispondenza di rupi sulle quali sorgono centri abitati e/o edifici storici di rilevanza. La tipologia viene realizzata secondo le seguenti fasi: · si realizzano i fori per gli ancoraggi e si alloggiavano gli ancoraggi negli stessi eseguendo la rispettiva fondazione;

- si realizza il reticolo di travi in c.a. a sezione minima di 30x30 cm e maglia non inferiore a 2,5x2,5 m;
- si eseguono sugli ancoraggi le operazioni di tesatura (se necessarie) e si blocca la loro estremità ai dispositivi di ancoraggio posti lungo il reticolo di travi;
- si posiziona lungo le pareti nello spazio delimitato dal reticolo di travi, fissata con picchetti metallici, una rete metallica zincata a maglia esagonale, eventualmente plasticata, avente la funzione di bloccare e contenere eventuali distacchi della zona superficiale della parete;
- si posiziona in aderenza alla rete una biostuoia preseminata fissata con picchetti di acciaio;
- si posizionano, infine, lungo le travi orizzontali, delle fioriere realizzate con elementi in cls prefabbricato e fissate con ancoraggi specifici alle travi orizzontali, con il fine di mimetizzare e mascherare l'orditura di travi e inserire l'intervento nel suo complesso nell'ambiente circostante.

· opere di protezione diretta: (strutture dimensionate a resistere al passaggio delle valanghe quali muri, gallerie sulle vie di comunicazione o opere in c.a. di forma particolare, dislocate nelle vicinanze delle strutture da proteggere).

### **B.3 Opere di sostegno**

#### **B.3.12 Muro con blocchi rivestiti in pietrame**

Il muro in blocchi di calcestruzzo prefabbricati, per ciò che riguarda la sua staticità, lavora come un normale muro a gravità; inoltre, in virtù di alcune scanalature presenti sulle facce del blocco già al momento del suo assemblaggio, permette all'opera di assolvere anche alla funzione di drenaggio delle acque provenienti dal terreno posto a tergo. Solitamente il drenaggio viene realizzato post-praticando o lasciando dei fori appositi nel muro al momento del getto di calcestruzzo; tutto ciò si traduce in un aumento dei costi in termini di manodopera nonché dei tempi di realizzazione. I blocchi di calcestruzzo prefabbricati con cui può essere realizzata l'opera presentano dimensioni pari a 1x1x1 m e consentono la rapida messa in opera grazie agli alloggiamenti laterali che permettono l'ammorsamento con appositi bracci meccanici. Il loro utilizzo riduce notevolmente sia il costo complessivo dell'opera che i tempi di realizzazione.

### **B.3 Opere di sostegno**

#### **B.3.13 Terra rinforzata con geosintetici e muro in blocchi in cls**

Questa tipologia è impiegata a sostegno di versanti instabili o nel ripristino di pendii in frana o rilevati e scarpate acclivi. Questa opera, che funziona come una normale struttura a gravità, è costituita da un muro in blocchi di calcestruzzo prefabbricati ai quali sono ammorsati reti di materiale geosintetico alternati a strati di materiale di riempimento. I blocchi di calcestruzzo prefabbricati con cui può essere realizzato il muro presentano dimensioni pari a 0,7x0,7x0,7 m e consentono la rapida messa in opera grazie al gancio superiore con cui possono essere trasportati da apposito braccio meccanico. Il loro utilizzo riduce notevolmente sia il costo complessivo dell'opera che i tempi di realizzazione. Il terreno di riempimento dovrà appartenere alla categoria delle sabbie e ghiaie con esclusione di pezzature superiori a 15 cm. In ogni caso il peso di volume del terreno di riempimento in opera dovrà essere superiore a 17 KN/mc. Le reti di geosintetico o geogriglie sono prodotti in lastre piane in materiale plastico che presentano una griglia regolare di fori, di forma rettangolare o ellittica ed una adeguata resistenza a trazione, basso allungamento del materiale sottoposto a trazione nel tempo (creep) e alta resistenza ai raggi ultravioletti.

### **B.3 Opere di sostegno**

#### **B.3.14 Galleria stradale di protezione**

Questa tipologia fa parte della categoria di intervento a protezione diretta delle strutture esistenti esposte al rischio. Si tratta di un intervento localizzato atto ad assorbire l'energia della colata durante il percorso di scendimento e permetterle il transito senza che la infrastruttura viaria e la sua utenza ne subiscano il danneggiamento.

La galleria di protezione delle colate spesso risulta economicamente vantaggiosa, rispetto alle opere di trattenuta sulle parti alte dei versanti, soprattutto quando la zona di accumulo delle coltri è estesa alla testata di interi bacini.

La sezione tipo della galleria, rappresentata nell'allegato grafico, è largamente indicativa in quanto la struttura deve essere dimensionata in funzione dell'ingombro della sede viaria (secondo la normativa specifica) e delle spinte del terreno a monte. In ogni caso la copertura della galleria dovrà avere la falda adeguatamente inclinata per facilitare il passaggio della massa di detriti.

## **B.4 Monitoraggio geotecnico**

### **B.4.1 Tubo inclinometrico**

Gli inclinometri manuali sono costituiti da un tubo inclinometrico in alluminio  $\varnothing$  76 mm, dotato di 4 scanalature-guida disposte ogni  $90^\circ$ , che viene inserito e cementato con malta cementizia nei fori di sondaggio  $\varnothing$  100 mm. La lunghezza totale del tubo è variabile, essendo esso costituito da spezzoni giuntati di 3 m di lunghezza; può quindi essere posizionato fino alla profondità desiderata. In corrispondenza del piano campagna il tubo inclinometrico dovrà essere protetto da un tubo di protezione in ferro fuoriuscente di circa 30 cm dal terreno e esternamente a questo da un pozzetto in cls di 40 cm  $\times$  40 cm  $\times$  40 cm. Una palina metallica apposta in corrispondenza del pozzetto protettivo segnerà la presenza sul territorio della strumentazione inclinometrica. La lettura della strumentazione viene eseguita calando all'interno del tubo inclinometrico una sonda dotata di un sensore di deviazione dalla verticale che invia un segnale elettrico, attraverso un cavo di collegamento, alla unità di registrazione posta in superficie. La sonda è dotata di ruote guida che si vanno ad inserire nelle scanalature del tubo. La lettura viene eseguita posizionando la sonda in corrispondenza del fondo del tubo inclinometrico e risalendo fino alla superficie leggendo i valori registrati dallo strumento ogni 0,5 metri di profondità (corrispondenti alla distanza esistente tra le ruote guida della sonda).

Tale operazione deve essere sempre ripetuta ruotando di  $180^\circ$  la sonda, con lo scopo di eseguire un controllo incrociato dei dati registrati. L'elaborazione dei dati inclinometrici registrati fornisce un diagramma degli spostamenti orizzontali e della loro direzione azimutale lungo la verticale del sondaggio. Per ulteriori dettagli tecnici si suggerisce la consultazione della normativa ISRM: "Suggested methods for monitoring rock movements using a probe inclinometer".

## **B.4 Monitoraggio geotecnico**

### **B.4.2 Inclinometro fisso**

Gli inclinometri fissi sono costituiti da una serie di celle dotate di ruote guida, ognuna contenente un sensore uniassiale o biassiale di deviazione dalla verticale in grado di generare segnali elettrici. Le celle sono tra loro collegate attraverso barre di lunghezza variabile in funzione dell'equidistanza che si vuole mantenere tra di esse e vengono calate all'interno di un foro di sondaggio attrezzato con tubi inclinometrici (si veda a tale proposito quanto descritto nel paragrafo 5.2.1). La misurazione degli angoli di deviazione dalla verticale viene inviata alla superficie attraverso cavi elettrici, dove si trova una centralina di gestione del sistema, protetta da un pozzetto in cls. Questa interroga ad intervalli di tempo prestabiliti tutte le celle posizionate nel tubo inclinometrico ed è in grado di azionare un sistema di allarme, nel caso di superamento di soglie prefissate. La centralina di gestione del sistema può essere interrogata e attivata anche a distanza predisponendo un collegamento telefonico o radio. L'elaborazione dei dati inclinometrici registrati fornisce un diagramma degli spostamenti orizzontali e azimutali che si verificano nel terreno alla quote di stazionamento delle celle. Per ulteriori dettagli tecnici si suggerisce la consultazione della normativa ISRM: "Suggested methods for monitoring rock movements using fixed-in-place inclinometers".

## **B.4 Monitoraggio geotecnico**

### **B.4.3 Piezometri a tubo aperto**

I piezometri a tubo aperto sono costituiti da tubi in PVC fenestrati, avvitati testa a testa, di diametro interno compreso tra 66 mm e 150 mm e di spessore compreso tra 4,6 e 7,5 mm. I tubi in PVC vengono calati nel foro di sondaggio avvolti in una calza di tessuto non tessuto e l'intercapedine esistente con le pareti del foro viene riempita con ghiaietto pulito fino in prossimità della superficie, dove viene predisposto un tappo in bentonite ed una chiusura finale in cemento. La testa del tubo in PVC, fuoriuscente dal piano campagna di circa 30 cm, sarà protetta da un tubo di protezione in ferro e, esternamente a questo, da un pozzetto in CLS di 40 cm  $\times$  40 cm  $\times$  40 cm. Una palina metallica apposta in corrispondenza del pozzetto protettivo segnerà la presenza sul territorio della strumentazione inclinometrica. La lettura dei livelli piezometrici viene eseguita calando nel tubo fenestrato una sonda in grado di

rilevare la presenza d'acqua tramite un sensore di conducibilità. Il raggiungimento della superficie piezometrica da parte della sonda viene segnalato alla superficie dall'accensione di una spia luminosa. Il cavo di collegamento graduato, utilizzato per calare la sonda nel tubo fenestrato, consente di stabilire la profondità a cui è stata rinvenuta l'acqua.

## **B.4 Monitoraggio geotecnico**

### **B.4.4 Estensimetro multibase**

Gli estensimetri multibase vengono installati all'interno di fori di sondaggio e permettono di determinare le deformazioni nella direzione dell'asse del foro a diverse profondità. I punti di misura sono costituiti da ancoraggi che vengono posizionati alla profondità desiderata e fissati alle pareti del foro per mezzo di dispositivi ad espansione meccanica (nel caso di lunghezze del foro inferiori ai 10 metri) o mediante iniezioni di malta cementizia. Gli ancoraggi sono collegati alla testa di misura mediante aste metalliche rigide. Gli spostamenti vengono registrati in corrispondenza della testa di misura, dotata di comparatore meccanico o trasduttore elettrico. Nel caso in cui venga utilizzato un trasduttore elettrico le misure possono essere rilevate a distanza mediante apparecchiature automatiche di acquisizione e registrazione.

## **C TECNICHE DI INGEGNERIA NATURALISTICHE**

Le tecniche dell'ingegneria naturalistica sono finalizzate alla protezione del suolo da fenomeni franosi e dall'erosione, al consolidamento degli alvei attraverso l'uso di piante vive o di loro parti in modo tale da concorrere al miglioramento del ciclo biologico e all'arricchimento ecologico degli ambiti d'intervento e al loro miglioramento estetico paesaggistico. Le tecniche della bioingegneria utilizzano piante vive o loro parti come un efficace materiale da costruzione "vivo", da abbinare eventualmente anche a materiali inorganici inerti o a materiali di sintesi. Particolare attenzione deve poi essere dedicata agli organismi viventi ed alle specie vegetali che costituiscono l'ecosistema rivierasco al fine di garantire le condizioni ottimali alla sua conservazione. Tali tecniche trovano la loro applicazione ottimale nei tratti pedemontani e pianeggianti dei corsi d'acqua e non si adattano perfettamente a situazioni estreme, come le difese in zone montane, ove l'entità del trasporto solido e l'elevata velocità richiedono attenzioni particolari.

Gli ambiti ottimali d'intervento possono essere diversi:

- corsi d'acqua;
- zone umide;
- coste marine;
- ex cave;
- versanti;
- discariche e infrastrutture varie.

Da un punto di vista strettamente idraulico l'opera realizzata con tecniche tradizionali non presenta sostanziali diversità rispetto a quella realizzata con materiali naturali. Le differenze sono piuttosto relative alle modalità di manutenzione in quanto la durabilità e quindi la resistenza dei materiali naturali, quali ad esempio il legno, dipende dalla frequenza e dall'entità dei cicli di sommersione. Nei moderni metodi di consolidamento di scarpate e rive fluviali proposti dall'ingegneria naturalistica si distinguono, secondo la classificazione introdotta da Schiechl, a seconda del loro grado di efficacia quattro classi:

- 1) tecniche di copertura
- 2) tecniche di consolidamento
- 3) tecniche combinate
- 4) tecniche di completamento

### **C.1 Tecniche di copertura**

La copertura a protezione del terreno che si attua con gli interventi di rivestimento migliora il bilancio dell'umidità e del calore favorendo lo sviluppo della vita vegetale sia nel terreno, che nello stato aereo prossimo al suolo accrescendo, in definitiva, la resistenza del terreno all'erosione. Sono comprese fra queste tecniche costruttive tutte le semine, manuali o meccanizzate di miscugli, comprese quelle di essenze arbustive e legnose, le ricoperture con zolle erbose o con tappeti pronti e le ricoperture con astoni.

### **C.1 Tecniche di copertura**

#### **C.1.01 Semine**

Per una rapida salvaguardia della superficie di nuove sponde si seminano piante erbacee:

a) Si ottiene un rinverdimento facile e rapido a copertura totale della superficie; può essere eseguito sia a mano che meccanicamente. Le semine hanno un effetto stabilizzante nel settore attraversato dalle radici, cioè ad una profondità tra i 10 e 30 cm (leguminose) sotto la superficie.

b) Utilizzando delle miscele corrette, è possibile ottenere prati stabili sulle rive dei fiumi. Queste semine possono anche essere utilizzate come sistemazioni a verde iniziali in attesa di una sistemazione definitiva. Le semine possono anche essere rafforzate con geotessili, per agire da protezione contro le inondazioni.

c) L'effetto in profondità è limitato; in caso di assenza di manutenzione si ha tendenza ad erosione; non fornisce zone d'ombra sull'acqua.

d) L'impiego di agenti adesivi impedisce danni ai semi durante la fase di germinazione. Lo strato di materiali organici tritati bilancia gli estremi microclimatici dello strato d'aria al di sopra della sponda. I fertilizzanti devono soltanto offrire sufficiente alimentazione durante il periodo di prima crescita, di modo che si possano sviluppare a lungo termine delle specie compatibili con il luogo.

Le sponde erbacee rimangono stabili soltanto con costanti cure e hanno un'importanza vitale per molte specie di insetti, come ad esempio le libellule e le farfalle. Al fine di raggiungere un prato compatibile con la situazione spondale vengono sparsi sul terreno e affondati un poco nella terra i resti di fieno dalla zona circostante, pieni di semi, oppure sementi commerciali, possibilmente in miscela adatta per le sponde. Se non c'è humus a disposizione, o comunque ce n'è troppo poco, sarà necessario ricorrere alla idrosemina: in un miscelatore si amalgamano sementi, fertilizzante, agenti migliorativi del terreno, leganti ed acqua. Questa pasta viene poi spruzzata con una pompa direttamente sulla sponda. Su superfici grezze la idrosemina può essere migliorata attraverso l'aggiunta di paglia, fieno o cellulosa ("semina con materiali organici").

## **C.1            Tecniche di copertura**

### **C.1.02        Piantumazioni**

Descrizione: Alcuni giovani arbusti ed alberi devono essere posti singolarmente o in gruppi in una buca precedentemente scavata; la buca deve poi essere riempita di terra e compattata). Le specie più delicate saranno piantate in zolle o in contenitori; le piantine più piccole saranno inserite nelle fessure. Se bisogna piantare soltanto una fila di ontani, questi saranno posti a ridosso di una protezione spondale provvisoria ad una distanza di 75 cm. Dopo qualche anno, un ontano ogni due sarà potato completamente. In caso di piantumazione di grandi alberi, questi dovranno essere fissati con dei tutori. Se ambedue le sponde saranno oggetto di piantumazione, questa sarà effettuato per linee oblique: piantumazione a solchi. Materiali per l'opera: Specie riparie adatte al luogo, potate varie volte, per la maggior parte provenienti da vivai forestali. Le piante devono possedere un apparato radicale sano e devono essere vigorose. Specie adatte: Cespugli: evonimo europeo, viburno, biancospino, corniolo, nocciolo, caprifoglio, salice, salicone, ligustro, rosa canina, sambuco. Alberi: quercia, acero, frassino, ontano, ciliegio, tiglio, olmo, betulla. Scelta del periodo: Piante a radice nuda soltanto durante il periodo di riposo vegetativo. Piante in zolla o contenitore anche durante il periodo vegetativo. Livello di efficacia ecologica e tecnica: All'inizio si avrà una stabilizzazione soltanto puntiforme, ma con il tempo si formeranno delle cortine di radici nei pressi dell'acqua, che proteggeranno la sponda dall'erosione. La vicinanza delle chiome produrrà un ombreggiamento del fiume e, di conseguenza, un abbassamento della temperatura: la crescita di erbe spontanee nell'acqua e sotto gli alberi viene impedita. Varietà di specie sulle sponde, spazio vitale per molti animali, protezione dal vento per i campi. Vantaggi: Insediamento semplice e poco costoso di specie riparie su sponde umide senza protezione precedente; necessita di poche cure ed è invitante per piccoli animali. Svantaggi: All'inizio non si stabilizza la sponda, se il profilo è stretto si avrà una riduzione del deflusso. Nel caso di alberi piantati singolarmente, si potranno determinare dei solchi e se le piantumazioni vengono effettuate con un'alta concentrazione si potrebbero causare danni alla crescita per le altre piante che necessitano di luminosità. Settori di applicazione: Sponde pianeggianti e con un suolo profondo, il cui profilo permette di realizzare una piantumazione al di sopra dello strato che durante l'estate è libero da acqua per almeno 3 mesi. I terreni grezzi dovranno prima essere resi accessibili con la piantumazione di specie "pioniere" (salici, ontani, leguminose, ecc.).

## **C.1      Tecniche di copertura**

### **C.1.03      Copertura diffusa con astoni**

Realizzazione di una copertura diffusa con astoni di salice su sponda di alveo di 4,0 m di sviluppo Modellamento della sponda tramite escavatore, scavo di un fosso alla base della sponda (larghezza 40 cm, profondità 30 cm).

Posa di 3 file di paletti di legname idoneo (diametro 5 cm, lunghezza 80 cm) infissi nel terreno per 60 cm.

La distanza tra i paletti è di 1,0 m per la fila inferiore, 2,0 m per quella intermedia e 3,0 m per quella superiore.

Posizionamento di uno strato continuo di astoni di salice in senso trasversale alla direzione della corrente, con il diametro maggiore nel fosso al piede della scarpata ed ancorati alla sponda con filo di ferro zincato (diametro 3 mm) fissato ai paletti di legno.

Posa di uno strato di ciottoli in modo da favorire l'afflusso dell'acqua alle talee stesse. Realizzazione di una difesa in pietrame (volume > 0,2 m<sup>3</sup>) per ottenere una protezione al piede della scarpata stessa.

Ricoprimento degli astoni con uno strato di terreno vegetale (spessore < 3 cm) compreso ogni altro onere ed accessorio per eseguire il lavoro a regola d'arte.

## **C.1      Tecniche di copertura**

### **C.1.03.02      Copertura diffusa con astoni (tipo normali)**

Realizzazione di una copertura diffusa con astoni di salice (tipo armata) su sponda di alveo di 4,0 m di sviluppo

Modellamento della sponda tramite escavatore, scavo di un fosso alla base della sponda (larghezza 40 cm, profondità 30 cm).

Posa di 3 file di paletti di legname idoneo (diametro 5 cm, lunghezza 80 cm) infissi nel terreno per 60 cm.

La distanza tra i paletti è di 1,0 m per la fila inferiore, 2,0 m per quella intermedia e 3,0 m per quella superiore.

Posizionamento di uno strato continuo di astoni di salice in senso trasversale alla direzione della corrente, con il diametro maggiore nel fosso al piede della scarpata ed ancorati alla sponda con filo di ferro zincato (diametro 3 mm) fissato ai paletti di legno. Posa di uno strato di ciottoli in modo da favorire l'afflusso dell'acqua alle talee stesse. Realizzazione di una difesa in massi (volume > 0,25 m<sup>3</sup>) muniti di barre in acciaio ad aderenza migliorata (diametro 16 mm) munite di asola e fissate con malta cementizia antiritiro nei massi stessi e collegati tra loro da una fune di acciaio (diametro 16 mm) per ottenere una protezione al piede della scarpata stessa. Fissaggio della fune, ogni 5,0 m, ad un palo di castagno (diametro 15 cm, lunghezza 2,0 m) infisso per 1,5 m nell'alveo al piede della scarpata. Ricoprimento degli astoni con uno strato di terreno vegetale (spessore < 3 cm) compreso ogni altro onere ed accessorio per eseguire il lavoro a regola d'arte.

## **C.1      Tecniche di copertura**

### **C.1.04      Rinverdimento e mascheramento**

La messa a dimora di alberi ed arbusti in prossimità di manufatti di tipo ingegneristico (muri, gabbioni, travi di sostegno ecc.) ha il duplice scopo di consolidare il terreno, e quindi fornire una maggiore stabilità e sicurezza all'opera, e di facilitare l'inserimento paesaggistico dell'intervento. Fondamentale per questa operazione è lo studio della vegetazione circostante; tra gli elementi tipici verranno scelti alberi ed arbusti con caratteristiche morfologiche adatte (chioma ampia e ben strutturata) e con un idoneo apparato radicale. Per assicurare un rapido effetto del mascheramento si ritiene opportuno impiegare individui arborei di dimensioni non inferiori ai 1,5 m che dovranno essere forniti in zolle e messi a dimora in buche di dimensioni adeguate (1x1x1 m). All'interno della buca, sempre per favorire un rapido attecchimento e sviluppo delle piante, verrà riportato terreno vegetale accompagnato eventualmente da una certa aliquota di concime complesso N-DK granulare e di polimeri idroretentori per limitare il



pericolo di stress idrico. Il sesto d'impianto sarà irregolare per evitare "l'effetto filare" ed assicurare, insieme ad una maggiore naturalità dell'intervento, una migliore copertura del manufatto. Date le dimensioni degli alberi è opportuno inoltre prevedere per i primi anni il sostegno meccanico degli stessi tramite pali tutori legati al fusto in modo corretto e con materiale adatto e non recare danni al fusto stesso. Per i primi anni si ritiene inoltre opportuno prevedere una irrigazione di soccorso qualora si verificano condizioni climatiche tali da mettere a rischio la riuscita dell'intervento.

## **C.2      Tecniche di consolidamento**

Gli interventi stabilizzanti con la penetrazione delle radici nel terreno e la riduzione del deflusso idrico sono essenziali per il consolidamento dei pendii in frana. Grazie all'impianto più profondo e all'uso di piante legnose riprodotte a mezzo talee esse conseguono un consolidamento del terreno fino ad una profondità di circa 2 metri. Si realizzano con arbusti ed alberi o la relativa ramaglia con capacità di propagazione vegetativa, disposti linearmente o in modo puntuale. Sistemazioni di questo tipo vengono di solito integrate con interventi di rivestimento per migliorare la resistenza del terreno all'erosione. Rientrano tra questi metodi la messa a dimora di talee, le graticciate, le fascinate vive, le cordonate e le gradonate

## **C.2      Tecniche di consolidamento**

### **C.2.01      Gradonate**

La tecnica delle gradonate orizzontali consiste sostanzialmente nella realizzazione di tagli a "L" orizzontali sul versante (o sponde, o argini alti) con leggera contropendenza. In tali terrazze vengono collocate delle talee di salice assieme a piante radicate. Il tutto viene ricoperto per 3/4 della lunghezza con materiale proveniente dallo scavo del gradone superiore.

Le talee radicano e con le piante formano delle dense file vegetative che, con estesi e fitti strati di radici, stabilizzano il versante.

Si distinguono tre tipologie ricorrenti di gradonata:

- latifoglie radicate (sistemazione con messa a dimora di siepe secondo Schiechtel);
- ramaglia viva con capacità di propagazione vegetativa (sistemazione con messa a dimora di cespuglio secondo Schiechtel);
- latifoglie radicate e ramaglia viva (misto).

Costruttivamente si seguono le seguenti prescrizioni:

- esecuzione di terrazze (o gradoni, o banchine) sulle scarpate con larghezza (o profondità) variabile da 50 cm (terreni più acclivi) a 2,00 m; il piano dei gradoni deve possedere una pendenza verso l'interno di  $5^\circ \div 10^\circ$  (letta sull'orizzontale);
- la distanza tra i gradoni è funzione della pendenza della scarpata essendo di norma contenuta fra 1,00 ÷ 3,00 m;
- l'evoluzione dei lavori prevede una progressione dal piede scarpata fino alla sommità;
- su pendii ripidi o minacciati da frane la tipologia può venire integrata da un "rinforzo", finalizzato a ridurre la deformazione delle cordonate per movimenti del terreno; tale rinforzo è costituito da stanghe longitudinali e trasversali in legno fino a 15 cm di diametro, posizionati inferiormente alle fascine vegetali.

## **C.2      Tecniche di consolidamento**

### **C.2.02      Vimate**

Le vimate sono costituite da intrecci longitudinali di verghe lunghe e flessibili, di piante legnose con capacità di propagazione vegetativa, uniti al terreno da pali in legno, conficcati ad intervalli di 0,50 ÷ 1,00 m. I paletti devono essere fissati saldamente nel terreno per almeno 2/3 della loro altezza. Altrettanto dicasi per le verghe più basse (affogate nel terreno) affinché possano radicare a differenza delle più superficiali destinate a disseccare in breve tempo. La disposizione delle vimate sul terreno potrà avvenire per righe orizzontali andanti o come viminata diagonale a forma di rombo. La viminata, va ricordato, sta progressivamente perdendo importanza a favore delle gradonate con talee, essa è ancora indicata per piccoli smottamenti dove sia necessario avere un immediato effetto meccanico di trattenuta del terreno. Le vimate sono sistemi di consolidamento lineari e quindi spesso è opportuno integrarli con tecniche di copertura superficiale del terreno quali, ad esempio, gli inerbimenti. Un limite di tale tecnica è costituito dalla necessità di impiegare verghe lunghe e, quindi, non tutte le specie ad elevata capacità vegetativa possono fornire talee di tali dimensioni. I costi sono abbastanza elevati, soprattutto in rapporto ai risultati ottenibili, comunque in situazioni estreme si può combinare la tecnica della gradonata con talee con le vimate (anche morte) ciò comporta il vantaggio di un immediato consolidamento del terreno dal punto di vista meccanico ed un repentino rinverdimento grazie alla presenza delle talee.

## **C.2      Tecniche di consolidamento**

### **C.2.03      Cordonate**

Realizzazione di una cordonata eseguita su una banchina orizzontale della larghezza minima di 50 cm. Posa in opera, longitudinalmente, di stanghe con corteccia (diametro 8 cm lunghezza 2,0 m) per sostegno. Copertura della base con ramaglia di conifere e ricoprimento con terreno (spessore 10 cm) sul quale porre in opera talee di salice (lunghezza 60 cm, distanza 5 cm) distanziate di 10 cm dal ciglio a monte. Ricoprimento e regolarizzazione con materiale di scavo della cordonata superiore da realizzare ad un interasse variabile in funzione della natura del pendio. E' un metodo che viene usato soprattutto su terreni con elevata tendenza allo smottamento; in questi casi lo strato di ramaglia e le stanghe costituiscono un'armatura del terreno si ha cioè la formazione di una vera e propria "terra rinforzata". E' un metodo impiegato anche su terreni umidi, con ristagno d'acqua, argillosi o marnosi, la ramaglia in questi casi ha un effetto drenante.

## **C.2      Tecniche di consolidamento**

### **C.2.04      Drenaggi con fascine**

Realizzazione di un drenaggio in trincea attraverso la posa in opera nello scavo (profondità 50 cm) di fascine costituite da verghe di specie arbustive o arboree ad elevata capacità vegetativa. Riempimento con terreno di riporto. Posa in opera di talee ogni 70 cm, aventi funzione di fissaggio delle fascine.

## **C.2      Tecniche di consolidamento**

### **C.2.05      Grate in legname**

Le grate vive, a camera, con la messa a dimora di talee e piantine, sono utilizzate in modo efficiente per consolidare frane superficiali molto ripide e per un risanamento diffuso di tratti di versanti acclivi, labili, che non possono essere debitamente riprofilati o inerbiti. Tali strutture vengono costruite con l'impiego di legname allo stato tondo, aventi un diametro di 15 ÷ 25 cm, e richiedono la presenza di un contrafforte al piede della scarpata da sistemare, costituito da scogliera od opere miste. Quindi sul tondame interrato e ancorato bene al piede viene fissato perpendicolarmente e trasversalmente altro tondame, ancorato al terreno per mezzo di pali in legno o piloti in ferro, in modo da formare maglie quadrate con lato di 1,50 ÷ 2,00 m le quali verranno poi riempite di terra. Infine a monte degli elementi

orizzontali vengono poste a dimora talee e piante radicate e l'intera superficie va seminata. Le grate vive agiscono come sostegno del terreno, fintanto che non si saranno sviluppati gli elementi costruttivi vivi i cui apparati radicali saranno in grado di consolidare il corpo terroso e di drenarlo. L'altezza massima compatibile di tali strutture non può superare i 15÷20 m. L'impiego di talee e piantine radicate è limitato al periodo di riposo vegetativo, mentre le semine vanno fatte durante il periodo vegetativo.

## **C.2      Tecniche di consolidamento**

### **C.2.06      Palificate in legname**

Realizzazione di una palificata in legname a parete singola o doppia, realizzata in tondame scortecciato di legname idoneo (diametro 10 ÷ 25 cm) comprese le legature con filo di ferro zincato (diametro 3 mm), chiodi, ecc. Inserimento negli interstizi, durante la fase costruttiva, di robuste talee di specie arbustive ed arboree ad elevata capacità vegetativa (diametro 3 ÷ 10 cm), in numero di almeno 5 ÷ 10 per metro lineare. Riempimento con materiale di scavo. La palificata a due pareti presuppone uno scavo maggiore, però può resistere a spinte più elevate ed avere un'altezza superiore. Il paramento a valle non deve essere verticale, ma leggermente inclinato verso monte. A difesa di sponde fluviali può essere anche realizzata una struttura in legname e pietrame con talee, protetta alla base da massi legati da funi di acciaio ancorati a pali di legno infissi nel terreno. A livello economico le palificate in legname con talee sono competitive con le opere tradizionali in calcestruzzo.

## **C.3      Tecniche combinate**

Gli interventi combinati vengono utilizzati per il sostegno e il consolidamento di scarpate e pendii instabili, con la integrazione di materiali da costruzione vivi (piante e parti di piante) con altri materiali inerti (sassi, calcestruzzo, legno, acciaio, materiale sintetico). Si consegue con questa tecnologia una maggior durata dei manufatti costruiti. L'efficienza delle opere combinate migliora col passare del tempo, via via che si sviluppa la radicazione delle piante vive impiegate. Come tecniche costruttive combinate si hanno a disposizione muri a secco, selciati, rivestimenti con pietrame e blocchi, costruzioni alveolari, graticciate, costruzioni biotecniche per il drenaggio.

## **C.4      Tecniche di completamento**

Gli interventi di completamento comprendono il rimboschimento e gli interventi di miglioramento delle fasce boscate non efficienti e dei pascoli degradati ed hanno lo scopo di arricchire, consolidare ed accelerare lo sviluppo della vegetazione impiantata nella fase iniziale.

---

## **D OPERE DI TUTELA DELLA FAUNA ITTICA: PASSAGGI ARTIFICIALI PER LA RISALITA DEI PESCI NEI FIUMI**

### **D.1 Rampe e passaggi costruiti con tecniche di ingegneria naturalistica**

#### **D.1.01 Rampe di risalita pesci**

Le opere idrauliche trasversali tradizionali costituiscono un ostacolo insormontabile per la fauna acquatica, in quanto interrompono i flussi trofici ed energetici all'interno dell'ecosistema fluviale. Risulta invece necessario garantire una certa continuità a livello di morfologia dell'alveo, oltre ad una sufficiente qualità dell'acqua e ad una adeguata quantità di deflusso idrico. Da alcuni anni nella fase progettuale delle opere idrauliche si sta cercando di introdurre, tra i parametri tecnici da valutare, anche quelli di natura biologica. Un significativo esempio di corretta coniugazione delle esigenze idrauliche con quelle ecologiche in ambiente fluviale è rappresentato dalle rampe di risalita in pietrame per pesci, le quali assolvono alla duplice funzione di modificare la pendenza dell'alveo e di consentire comunque un interscambio biologico tra la zona a valle e quella a monte. L'obiettivo di natura idraulica che si desidera raggiungere con le diverse tipologie di rampe di risalita è lo stesso di quello delle briglie, ma tali strutture non costituiscono un ostacolo consentendo sia i normali scambi trofici e sia il ripopolamento ittico naturale dei tratti d'acqua depauperati da eventi episodici (inquinamento, prosciugamento, eccessivo riscaldamento, etc.). Nel confronto tra l'efficacia delle rampe in pietrame e quello delle scale di risalita in calcestruzzo descritte al successivo paragrafo D.2, si può ritenere che, pur essendo entrambe funzionali in quanto consentono alla fauna ittica di risalire gli ostacoli artificiali posti sul suo cammino, qualora le pendenze e i dislivelli ne consentano la realizzazione, sono da preferire le rampe in pietrame, sia perché meno selettive nei confronti delle componenti, fauna ittica e bentonica, sia per il loro elevato grado di inserimento nel paesaggio in quanto più simili alle rapide naturali. In realtà, e non di rado, di fronte ad ostacoli artificiali molto alti non è possibile il ricorso a questa tipologia di opere bensì a quelle in calcestruzzo descritte al successivo paragrafo D.2. La funzionalità delle rampe e dei passaggi costruiti con tecniche di ingegneria naturalistica è legata al rispetto di alcuni parametri costruttivi di natura idraulica e biologica, per cui una loro corretta progettazione presuppone un'attenta analisi di diversi fattori tra i quali principalmente:

- la composizione specifica della fauna ittica
- il regime idraulico
- la morfologia dell'alveo

Le tipologie costruttive delle rampe descritte presentano interessanti soluzioni tecniche al problema della continuità morfologica ed ecologica dei corsi d'acqua in quanto costituiscono esempi concreti di interventi a basso impatto ambientale già sperimentati e caratterizzati da costi di realizzazione competitivi rispetto alle opere idrauliche di tipo tradizionale e con limitati oneri di manutenzione. In particolare, si sono rivelate molto efficaci le rampe di modesta altezza ( $h < 2,0$  m) di limitata pendenza ( $i < 1:8$ ) con altezze medie di scabrosità pari a  $0,3 \div 0,5 ds$  ( $ds$  = diametro equivalente del pietrame) e strutturalmente eterogenee.

### **D.1 Rampe e passaggi costruiti con tecniche di ingegneria naturalistica**

#### **D.1.01 Rampe di risalita pesci**

##### **D.1.01.01 Rampe di risalita per pesci a blocchi di pietrame**

La rampa è realizzata al fine di consolidare il fondo dell'alveo soggetto ad erosione ed è formata da pietrame collocato in modo irregolare ed interrato per una profondità di  $30 \div 40$  cm circa. A valle dell'opera non viene creato

un bacino di smorzamento della forza erosiva della corrente, ma una graduale protezione del fondo con pietrame di dimensioni minori. In alternativa, a valle dell'opera viene posta una fila di pali (diametro = 25 cm) infissi per una profondità di 2,5 m e ad una distanza di 50 cm. A causa dello stramazzo rigurgitato che si viene a creare in caso di piena, il carico sul pietrame risulta essere modesto. Una ulteriore evoluzione di questa tipologia è rappresentata dalla rampa a gradini esemplificata in figura.

## **D.1 Rampe e passaggi costruiti con tecniche di ingegneria naturalistica**

### **D.1.01 Rampe di risalita pesci**

#### **D.1.01.02 Rampe di risalita per pesci a bacini successivi**

La rampa è realizzata in sostituzione di quella in cls esistente ed è formata da due file di pietrame disposte in modo da formare due archi contrapposti, con interrimento del pietrame di circa 3,0 m. Per un ulteriore consolidamento della struttura nella parte a monte possono essere infissi dei pali di acciaio ad una distanza di 60 cm e profondità 4,5 ÷ 5,0 m. Il fondo dell'alveo tra le due file di massi va consolidato con pietrame di dimensioni minori. In alternativa la rampa può non essere costituita da un corpo unico ma da una serie di traverse in pietrame profondamente legate al fondo (3,0 ÷ 3,5 m) che costituiscono una struttura reticolare interessante anche dal punto di vista ecologico, in quanto in essa si vengono a creare dei microambienti diversificati tra loro. Il piede della struttura viene rinforzato con una fila di pali profondamente infissi nel fondo dell'alveo (4,5 m), con ulteriore protezione dall'erosione costituita dalla posa di pietrame di dimensioni minori sul fondo dell'alveo a valle dei pali e tra le traverse.

## **D.1 Rampe e passaggi costruiti con tecniche di ingegneria naturalistica**

### **D.1.01 Rampe di risalita pesci**

#### **D.1.01.03 Rampe di risalita per pesci con briglia**

La rampa è costituita da pietrame collocato in modo da formare un arco avente la funzione di deviare la corrente al centro dell'alveo; nel punto di intersezione tra rampa e sponda si deve creare un allargamento dell'alveo medesimo e consolidarlo con pietrame, mentre il piede della struttura deve essere rinforzato, a tal fine, è consigliato collocare un doppio strato di pietrame interrato per una profondità media di 1,5 ÷ 2,0 m. In alternativa, viene mantenuta la eventuale briglia in cls ma a valle di essa viene realizzata la rampa in pietrame che può essere fissata, al fondo lastricato, con tondini in acciaio per armature (diametro 34 mm, lunghezza 1,5 m) per una profondità di 1,0 m e distanza tra loro inferiore a 2/3 delle dimensioni del pietrame, legando tra loro i massi con funi di acciaio per maggiore sicurezza. Al fine di aumentare il grado di continuità morfologica e fluido-dinamica della rampa, qualora anche il fondo a monte della briglia fosse lastricato, è consigliato ripristinare quello naturale.

## **D.1 Rampe e passaggi costruiti con tecniche di ingegneria naturalistica**

### **D.1.02 Passaggio per pesci**

Il passaggio viene inserito in una briglia in cls preesistente e realizzata preferibilmente a lato del corpo della stessa per motivi funzionali (la fauna ittica individua più facilmente la scala di risalita), economici (in presenza di un muro laterale di sponda si può utilizzarlo come supporto per la rampa medesima) e paesaggistici (migliore inserimento estetico). Si collocano i massi a gruppi al fine di creare diversi piccoli bacini (diametro = 1,5 m, profondità > 50 cm) a vari livelli in modo da consentire a tutta la fauna ittica di risalire l'ostacolo, evitando la formazione di uno stramazzo libero staccato dalla struttura. La pendenza della rampa non deve superare il valore di  $i = 1:10$  ed il dislivello tra bacini

---

contigui (zone a corrente calma) non devesse essere maggiore di 20 ÷ 25 cm, pertanto il numero di traverse in pietrame da realizzare è funzione di questi parametri e del dislivello complessivo della briglia esistente. In generale le traverse vengono poste a 1,5 ÷ 2,5 m di distanza mentre, se il dislivello complessivo da superare è > 3,0 m, si deve creare un ulteriore bacino intermedio di 4,0 m di larghezza minima (ogni dislivello aggiuntivo di 2,0 m determina la necessità di realizzare dei bacini intermedi). In presenza di fondo alveo lastricato a valle della briglia, il pietrame va consolidato attraverso un ancoraggio a dei tondini di acciaio (diametro 24 mm) infissi nel fondo. All'interno dei bacini è consigliata la posa di uno strato di pietrisco e ghiaia (20 ÷ 30 cm) per consentire la formazione di microambienti adatti alla fauna ittica in generale e bentonica in particolare, evitando l'uso di cls per fissare i massi sul fondo.

## **D.2 Scale di risalita in calcestruzzo**

Al fine di ridurre gli effetti negativi connessi alla costruzione di opere idrauliche trasversali di maggiori dimensioni laddove, per le condizioni dei luoghi non sia possibile operare con strutture in pietrame, è possibile realizzare passaggi per pesci in calcestruzzo consistenti in manufatti a forma di scivolo o di vasche, di varie dimensioni, posti a lato delle briglie e integrati con dispositivi atti a rallentare il flusso della corrente. Nel tempo sono state progettate e realizzate diverse tipologie di scale di risalita o passaggi per pesci in calcestruzzo, ma le più efficaci si sono dimostrate essere le seguenti:

- a) scale a bacini successivi: serie di vasche in comunicazione fra loro e con dislivelli ridotti;
- b) scale "Denil" che consistono in scivoli a forte pendenza dotati di deflettori atti a ridurre la velocità della corrente.

Il principio ispiratore di queste strutture, come per le rampe in pietrame, è sempre quello di creare zone a corrente veloce alternate a zone a corrente lenta, in modo tale che i pesci possano recuperare le energie, nonché avere uno spazio sufficiente per effettuare il salto successivo e risalire così gradualmente gli ostacoli, superando dislivelli anche di una certa entità. Le scale di risalita a bacini successivi, pertanto, rispondono meglio di quelle a rallentamento (scale "Denil") perché in queste ultime il pesce non può riposare tra i vari deflettori e, quindi, deve risalire l'intero scivolo senza sosta; in caso di dislivelli elevati è consigliato, pertanto, inserire bacini di riposo anche tra le rampe delle scale "Denil". Una corretta progettazione dei passaggi per pesci deve valutare attentamente diversi parametri tra i quali si elencano i principali:

- a) il regime idrico del fiume (portate, direzione del flusso della corrente, temperature, ecc.);
- b) la morfologia dell'alveo;
- c) le caratteristiche dell'ostacolo artificiale (entità del dislivello, dimensioni, forma, ecc.);
- d) le caratteristiche di dinamicità della fauna ittica (composizione specifica, grado di mobilità delle diverse specie, periodi di migrazione, ecc.);
- e) le dimensioni e le forme delle diverse componenti della scala di risalita (dislivello tra i bacini, larghezza, lunghezza, profondità, presenza di setti di separazione, eventuale esigenza di realizzazione di uno scivolo per il passaggio delle canoe, ecc.);
- f) l'ubicazione del passaggio per pesci;
- g) la portata idrica da convogliare nella scala di risalita;
- h) il grado di accessibilità per la manutenzione.

Per quanto concerne il dimensionamento delle diverse componenti delle scale di risalita a bacini successivi, in fase progettuale si dovranno considerare i vari fattori, ma, a livello indicativo i valori di riferimento da tenere presenti possono essere i seguenti :

- a) dislivello tra i bacini < 30 ÷ 40 cm;
- b) larghezza dei bacini > 1 ÷ 2 m;

c) lunghezza dei bacini  $> 2 \div 3$  m;

Per un corretto funzionamento di tali dispositivi è, altresì, consigliata una periodica manutenzione dei medesimi, al fine di evitare un eccessivo accumulo di detriti solidi trasportati dal fiume (pietrame, ghiaia, legname, ecc.) sia nei vari bicini che costituiscono la struttura stessa, sia all'imboccatura della scala di risalita, in modo tale che non ne venga ridotta la funzionalità; qualora il trasporto solido sia elevato è anche consigliato realizzare, a monte dell'opera, degli opportuni deviatori. In definitiva, i passaggi per pesci non vanno considerati come opere accessorie delle briglie quanto, piuttosto, loro logici complementi e, pertanto, è preferibile realizzarli al momento stesso della costruzione dello sbarramento, piuttosto che a posteriori perché in questo modo si otterrebbero strutture più efficaci ed a costi inferiori. Per una corretta costruzione delle rampe di risalita dei pesci, che siano effettivamente funzionali, è necessaria un'approfondita conoscenza delle caratteristiche e delle esigenze dell'ittiofauna. È stato dimostrato che la capacità di resistenza ad un'elevata velocità dell'acqua dipende sia dalle dimensioni del pesce che anche dalla temperatura dell'acqua, naturalmente maggiore è la velocità dell'acqua e minore sarà il tempo di resistenza a tale sforzo da parte della fauna ittica. Alcune prove di laboratorio, inoltre, hanno dimostrato che i pesci, avvertendo soltanto l'intensità della corrente che lambisce i loro corpi, nuotano istintivamente seguendo il flusso d'acqua che li investe direttamente e non riescono ad individuare l'eventuale presenza di zone a corrente più lenta, fino a quando la forza stessa dell'acqua non modifica la loro traiettoria iniziale; in zone dove non è presente un deflusso idrico, i pesci, ovviamente, non assumono una direzione univoca. Da ciò deriva la necessità di progettare correttamente l'ubicazione dell'imbocco delle scale di risalita, al fine di attirare la fauna ittica nella giusta direzione. Altro importante fattore da considerare in fase progettuale è quello di non basare il dimensionamento delle rampe solo sulle specie meno esigenti e con maggiori potenzialità dinamiche, ma la continuità ecologica che si vuole mantenere nell'alveo fluviale va riferita a tutte le specie acquatiche comprese quelle bentoniche. Infine, anche le condizioni idrauliche presenti a valle dell'opera influiscono sulla capacità di risalita

degli ostacoli, infatti:

a) in caso di stramazzo aderente alla briglia, i pesci cercano di superare l'ostacolo nuotando al suo interno: le probabilità di riuscita dipendono in particolare dal livello dell'acqua a valle dell'opera;

b) in caso di stramazzo non aderente alla briglia, i pesci cercano di superare l'ostacolo effettuando un salto: le probabilità di riuscita dipendono, in particolare, dalla distanza della "zona d'onda" dall'opera, in quanto i pesci effettuano il salto sempre da quel punto, anche se esso risulta troppo lontano dal corpo della briglia.

In definitiva, i pesci cercano di superare gli eventuali ostacoli presenti nell'alveo risalendo la corrente e, solo in casi particolari e limitatamente ad alcune specie, tentano di saltarli; in base a queste considerazioni, è sconsigliato, ove possibile, realizzare opere che determinino un getto d'acqua staccato dal corpo della briglia.

d) profondità dei bacini  $> 1 \div 1,5$  m.

## **D.2 Scale di risalita in calcestruzzo**

### **D.2.01 Scale a bacini successivi**

La scala a bacini successivi consiste in una serie di traverse (muretti trasversali) e bacini che sono disposti in modo da far aggirare un ostacolo (naturale o artificiale) e, quindi, consentire al pesce il passaggio verso un livello superiore delle acque, attraverso gradini facilmente sormontabili. L'accesso alla scala dovrebbe essere ubicato in prossimità dell'ostacolo stesso, così da poter essere facilmente trovato dai pesci migranti verso l'alto, analogamente la sezione terminale di monte dovrà essere accostata immediatamente a monte dell'ostacolo, così da poter essere trovata facilmente dai pesci migranti verso valle (adulti che hanno deposto le uova e nuovi nati). La disposizione dei bacini e delle traverse varia a seconda dell'ostacolo da superare. Un ostacolo basso e lungo può richiedere una scala di gradiente lieve, da impiantare sulla riva, mentre una chiusa o una diga può richiedere una scala che si avvolga strettamente su se stessa per ubicare l'ingresso e l'uscita non molto discosti dallo sbarramento. I requisiti progettuali che si raccomandano per una scala di questo tipo sono i seguenti:

a) un dislivello dell'acqua non deve superare i 45 cm;

- 
- b) i bacini devono avere le dimensioni minime di 30 cm di lunghezza x 2,0 m di larghezza x 1,2 m di profondità;
- c) le traverse devono avere uno spessore di 30 cm con scanalature per lo scolo di 60 cm di larghezza e di 25 cm di profondità;
- d) gli orli verso valle delle traverse e delle scanalature devono essere arrotondati per evitare turbolenze e assicurare una nappa d'acqua scorrente sulla loro superficie senza schizzi;
- e) l'accesso alla scala deve poter essere trovato con facilità dai pesci in ogni condizione di portata del fiume.

I requisiti progettuali elencati sopra sono indicativi, vanno quindi applicati con una certa flessibilità poiché ogni sito è unico. Particolare attenzione richiede l'ubicazione dell'ingresso della scala di cui al punto e). Una scala sistemata accanto ad una cateratta insuperabile può dimostrarsi introvabile durante le piene a causa della turbolenza delle acque che disorienta o non fa avvicinare il pesce alla stessa. Una delle soluzioni per ovviare a questo problema è quella di far sì che, oltre a una buona ubicazione dell'ingresso, nella scala, si canalizzi una quantità proporzionale fissa di acqua che oltrepassa l'ostacolo. Le scanalature delle traverse devono inoltre essere progettate in modo che prendano la giusta proporzione d'acqua anche durante le magre. Il livello di ritenzione della scanalatura deve essere progettato in modo che l'acqua alimenti di preferenza la scala e non la scipi lungo la linea di cascata di solito più ampia, attraendo così i pesci lontano dalla scala.

Per la progettazione di una scala si presuppone la conoscenza di un certo numero di fattori (d'ordine biologico, topografico, idrologico e idraulico) che dovrebbero essere precisati preliminarmente:

- specie dei pesci e periodi di migrazione;
- caratteristiche idrologiche del corso d'acqua, flussi medi mensili e giornalieri per un periodo sufficientemente ampio;
- profilo longitudinale del corso d'acqua;
- planimetria del sito e sezioni trasversali;
- caratteristiche dell'ostacolo o dello sbarramento:
  - natura e scopo dell'ostacolo (impianto idroelettrico, derivazione, ecc.);
  - configurazione di dettaglio dello stesso;
  - gestione dell'acqua e modalità di sfruttamento della risorsa;
  - livello medio dell'acqua a monte;
  - livello a valle nel periodo di magra;
  - livelli a monte e a valle nei periodi di migrazione, e flussi corrispondenti;
- caratteristiche della scala e dei suoi annessi:
  - piani d'ubicazione;
  - sezioni e progetti longitudinali e trasversali;
  - descrizione della scala;
  - comportamento idraulico previsto;
  - modalità d'attrazione con flusso supplementare;
  - flussi e velocità.



## **D.2 Scale di risalita in calcestruzzo**

### **D.2.02 Scale a rallentamento (del tipo Denil)**

Le scale a rallentamento vengono comunemente denominate "Denil" dal nome dell'ingegnere belga, i cui studi permisero la realizzazione, nel 1936, di una scala a canale in cui si utilizzavano deflettori per l'assorbimento dell'energia. I deflettori o quinte sono molto ravvicinati tra loro e inclinati ad angolo rispetto all'asse del canale, si da formare canali secondari e nello stesso tempo lasciare uno spazio relativamente ampio per un canale di scorrimento principale in cui far passare il pesce. Il flusso di rientro dai canali secondari incontra bruscamente il flusso principale e l'energia viene così dissipata dall'intenso rimescolio, e non dall'attrito contro le quinte come comunemente si crede. Le superfici dei canali secondari devono quindi essere lisce e gli ingressi ben allineati rispetto al flusso centrale, così da ridurre perdite dovute all'attrito e assicurarsi che le correnti secondarie, rimbalzanti verso il centro, siano vigorose e senza impedimenti nell'opera di contenimento della velocità del deflusso centrale. Per questo motivo la forma, la posizione e la distanza delle quinte giocano un ruolo fondamentale. La progettazione e l'installazione di una scala a rallentamento sono più complesse di quelle di una scala a bacini successivi. Per quanto riguarda le caratteristiche geometriche di una scala a rallentatori piani i valori di pendenza (i) suggeriti in funzione della larghezza del canale (L) sono, con riferimento alle trote, i seguenti:

$60 < L < 90$  cm

pendenza:

per  $L = 60$  cm  $i = 20,0\%$

per  $L = 70$  cm  $i = 17,0\%$

per  $L = 80$  cm  $i = 15,0\%$

per  $L = 90$  cm  $i = 13,5\%$

Il pesce oltrepassa una scala a rallentamento d'un sol tratto. Non può riposarsi tra due rallentatori. Per cui di fronte a un dislivello rilevante, è opportuno prevedere bacini di riposo (generalmente ogni due metri).

I rallentatori devono, inoltre, essere allineati tra loro. Ogni deviazione dalla linea retta può realizzarsi soltanto all'altezza di un bacino di riposo avente una lunghezza sufficiente per assorbire, prima che urti violentemente contro la parete di fronte, il getto d'acqua del flusso (ciò è richiesto specialmente nel caso di cambiamenti di direzione di  $180^\circ$ ).

---

## **ALLEGATO 1: Opere Tipo**

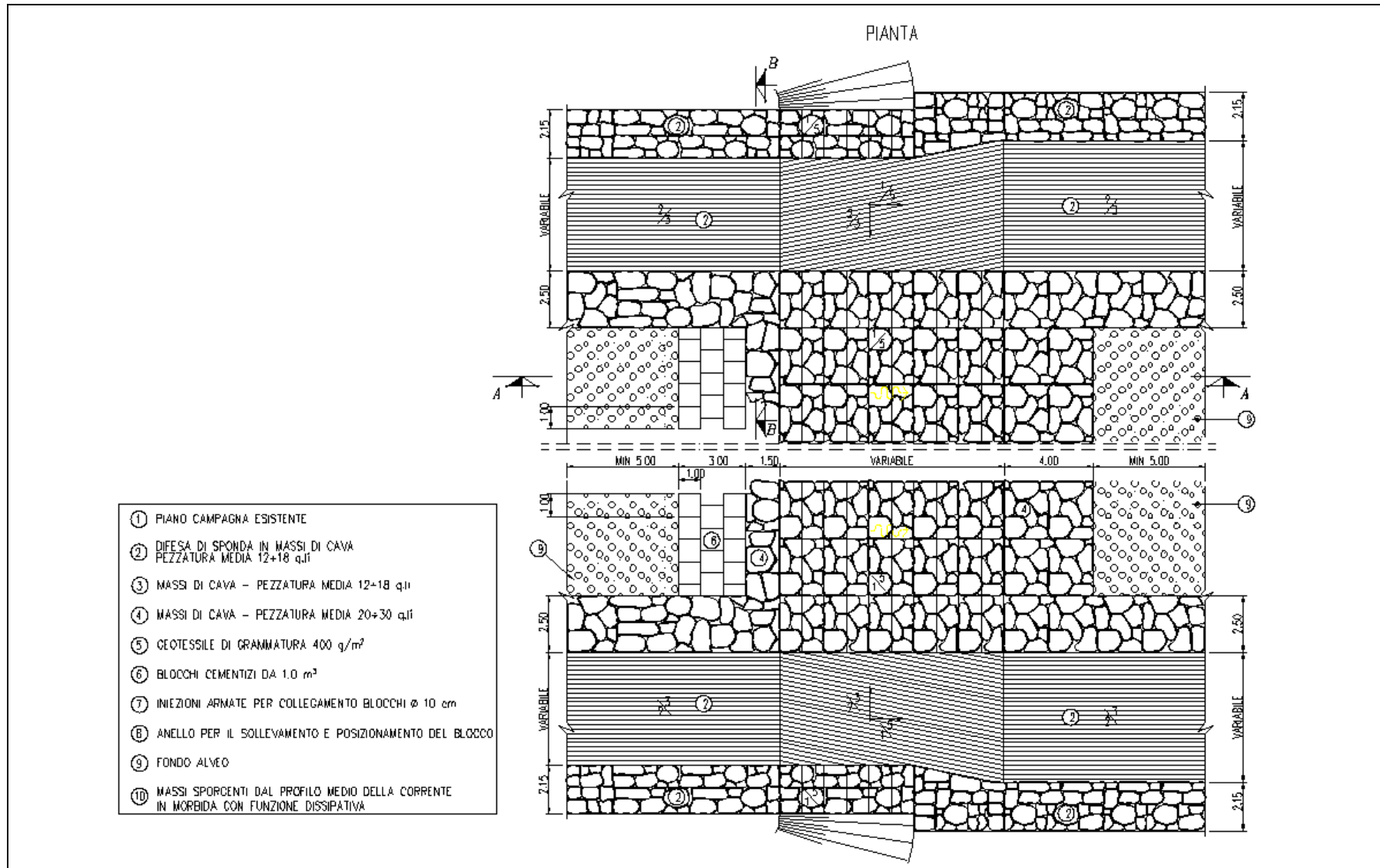


### Quaderno delle opere tipo

Disegno: **A\_1\_01\_09\_A**

1 di 3

- A** Opere di sistemazione idraulica
- A.1** Protezioni trasversali
- A.1.01** Opere di stabilizzazione del fondo alveo
- A.1.01.09** Briglia in blocchi cementizi e massi ciclopici

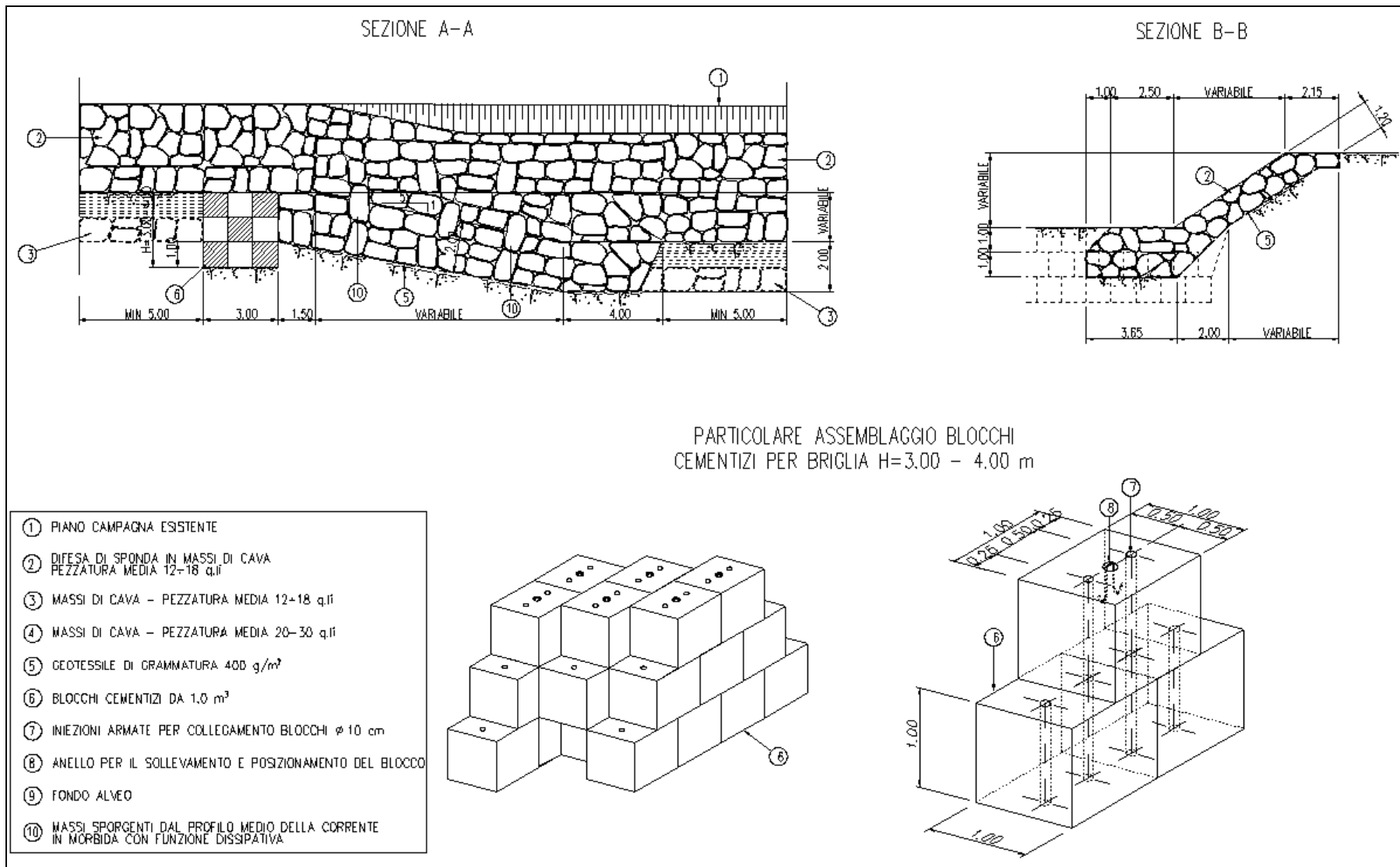




### Quaderno delle opere tipo

Disegno: **A\_1\_01\_09\_B**  
2 di 3

- A** Opere di sistemazione idraulica
- A.1** Protezioni trasversali
- A.1.01** Opere di stabilizzazione del fondo alveo
- A.1.01.09** Briglia in blocchi cementizi e massi ciclopici





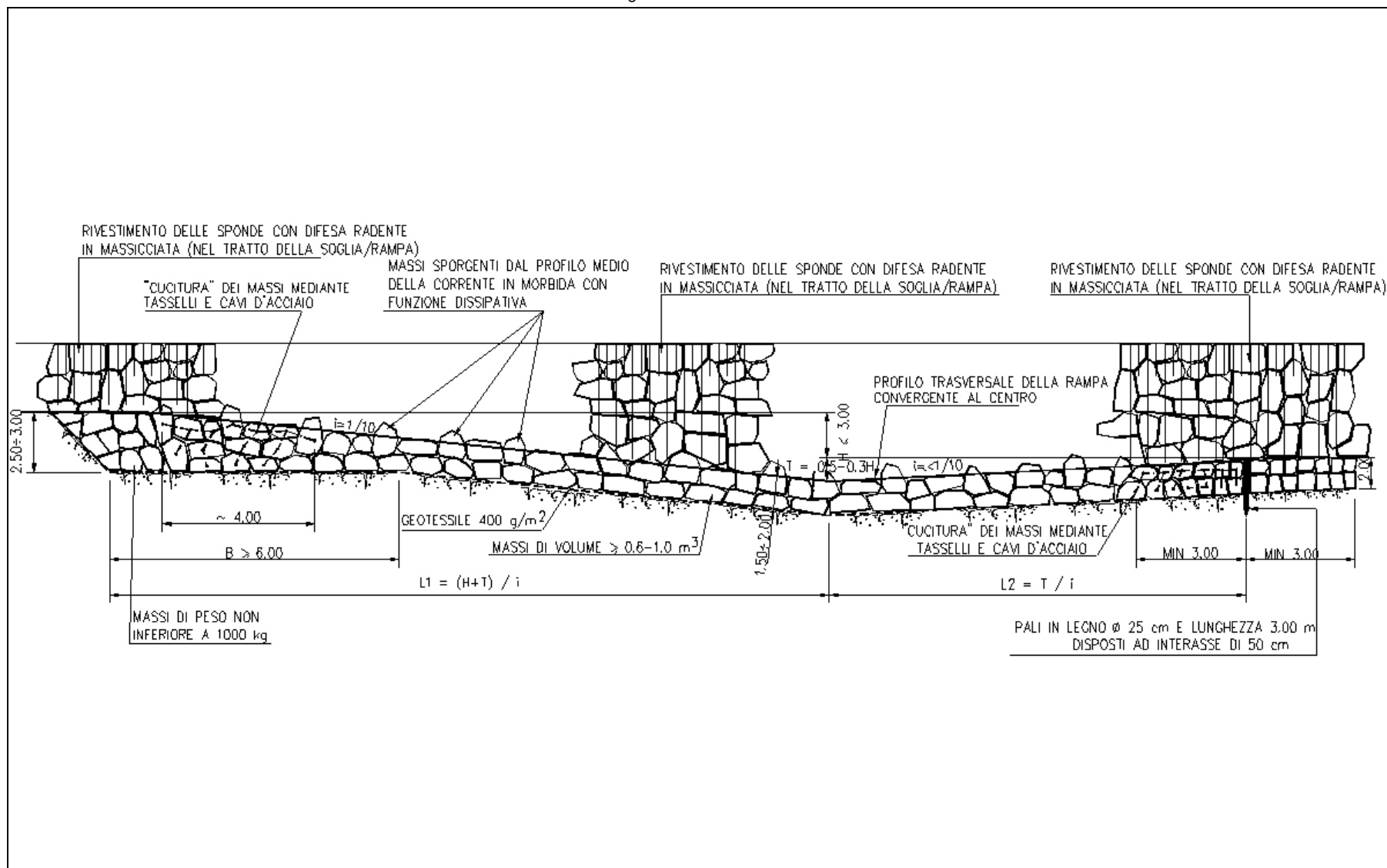


### Quaderno delle opere tipo

Disegno: **A\_1\_01\_10**

1 di 1

- A** Opere di sistemazione idraulica
- A.1** Protezioni trasversali
- A.1.01** Opere di stabilizzazione del fondo alveo
- A.1.01.10** Briglia realizzata tramite scivolo in massi

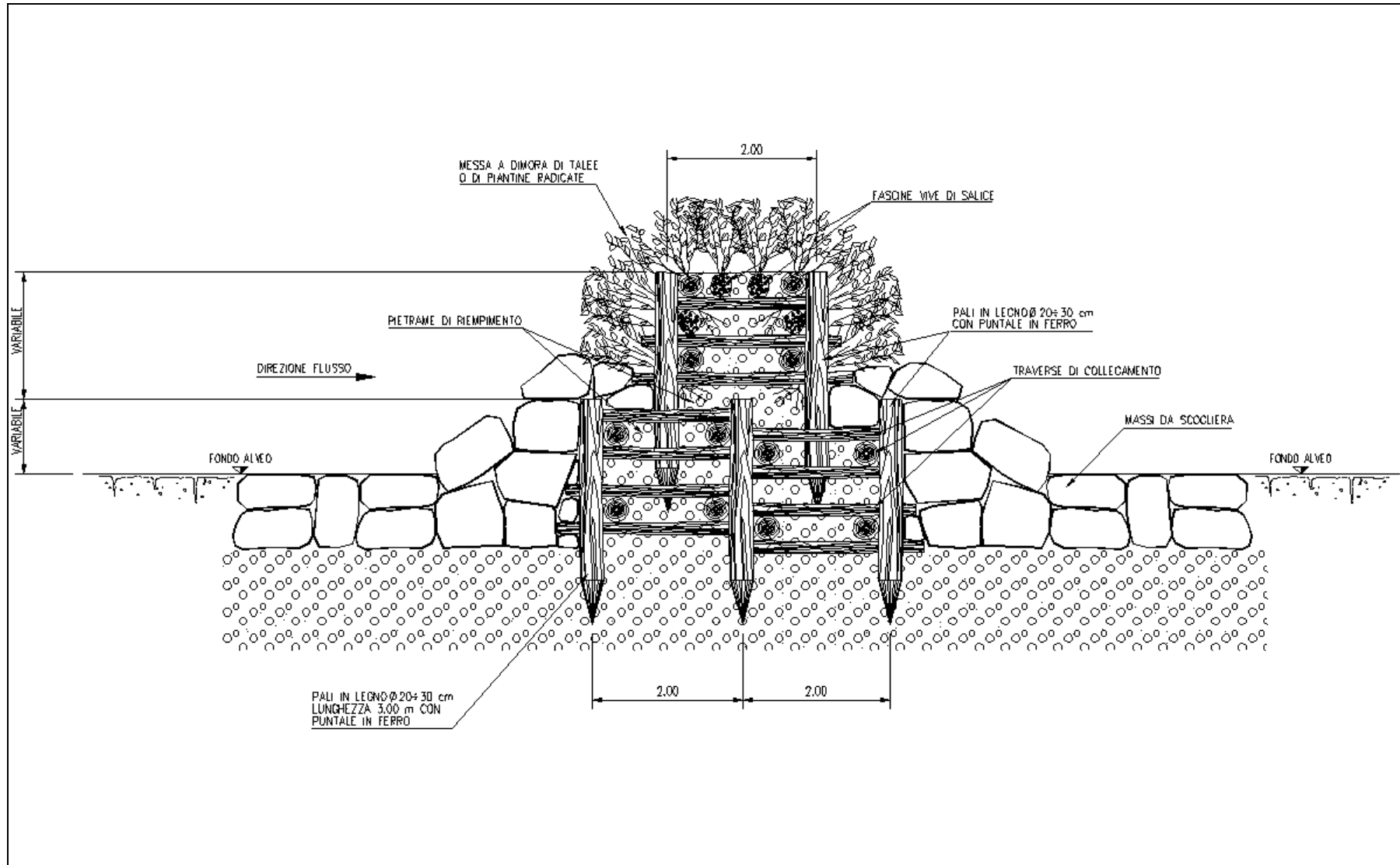




### Quaderno delle opere tipo

Disegno: **A\_1\_02\_01**  
1 di 1

- A** Opere di sistemazione idraulica
- A.1** Protezioni trasversali
- A.1.02** Opere trasversali
- A.1.02.01** Pennello trasversale in pali e fascine rinforzato con protezione in massi



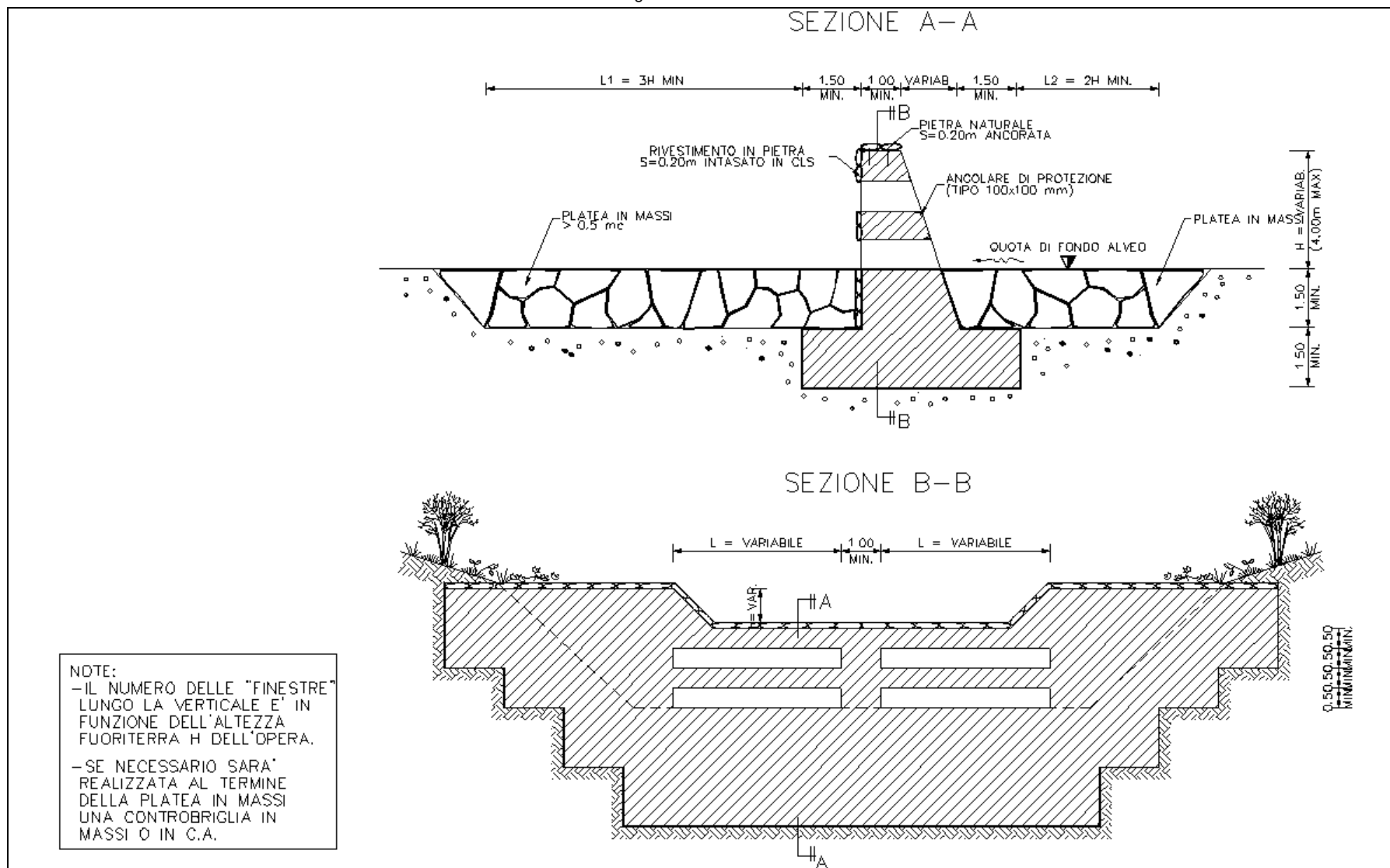


### Quaderno delle opere tipo

Disegno: **A\_1\_03\_01**

1 di 1

- A** Opere di sistemazione idraulica
- A.1** Protezioni trasversali
- A.1.03** Opere di trattenuta
- A.1.03.01** Briglia selettiva a finestra





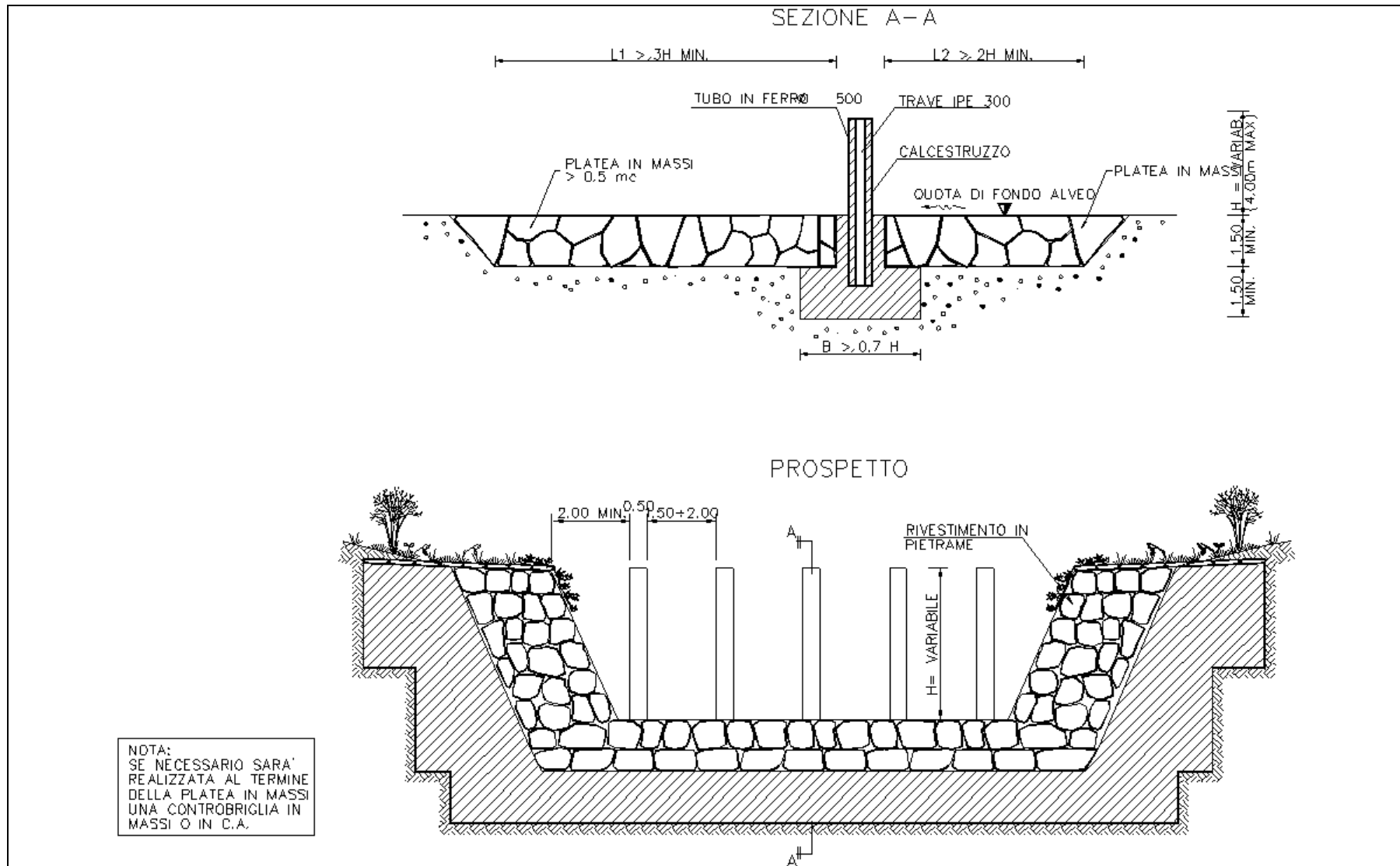


### Quaderno delle opere tipo

Disegno: **A\_1\_03\_02**

1 di 1

- A Opere di sistemazione idraulica
- A.1 Protezioni trasversali
- A.1.03 Opere di trattenuta
- A.1.03.02 Briglia selettiva a pettine



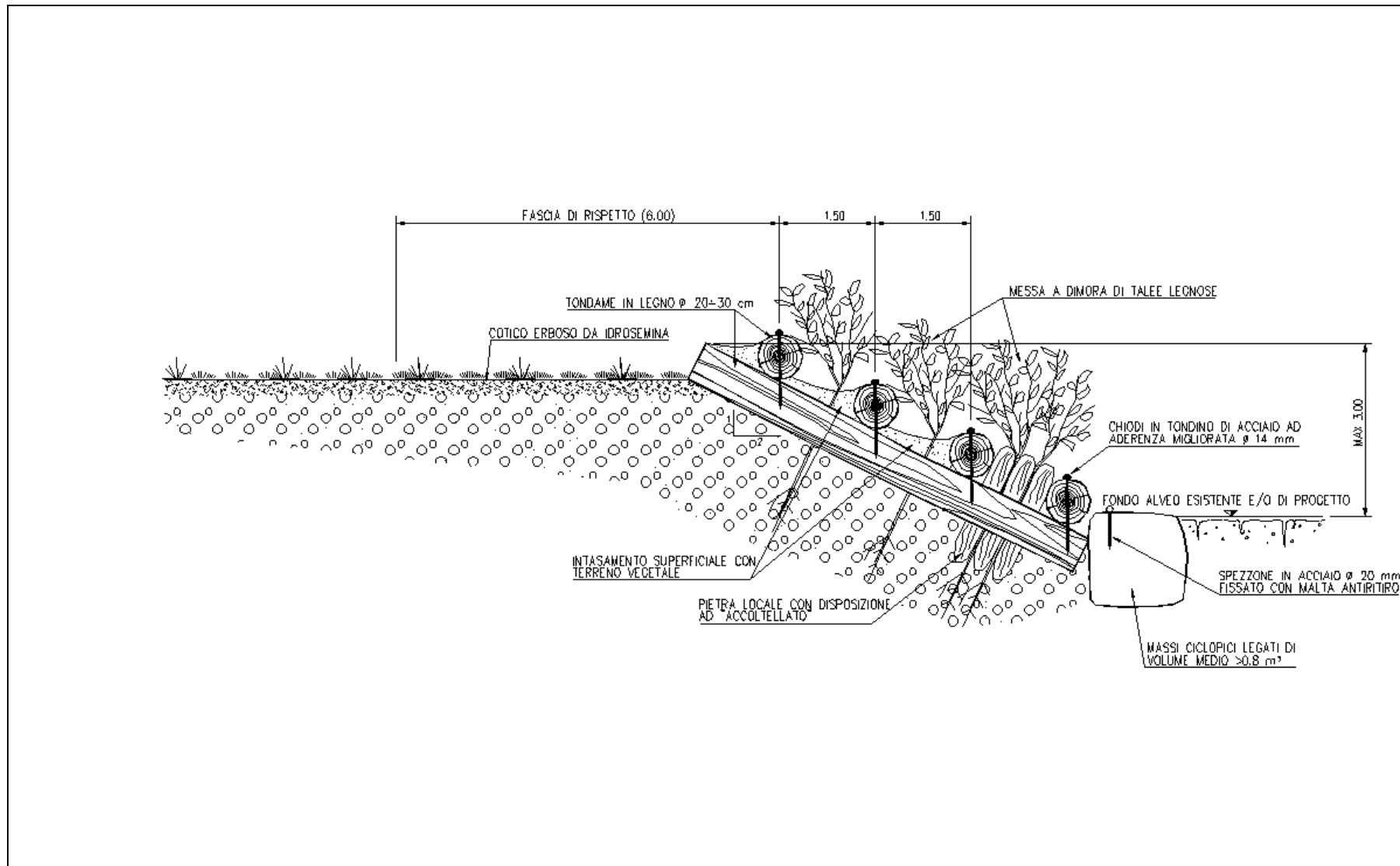


## Quaderno delle opere tipo

Disegno: **A\_2\_01\_01**

1 di 1

- A** Opere di sistemazione idraulica
- A.2** Protezione delle sponde e delle scarpate arginali
- A.2.01** Difese spondali su aste fluviali o torrentizie senza livelli d'acqua semipermanenti
- A.2.01.01** Difesa mediante grata di legno



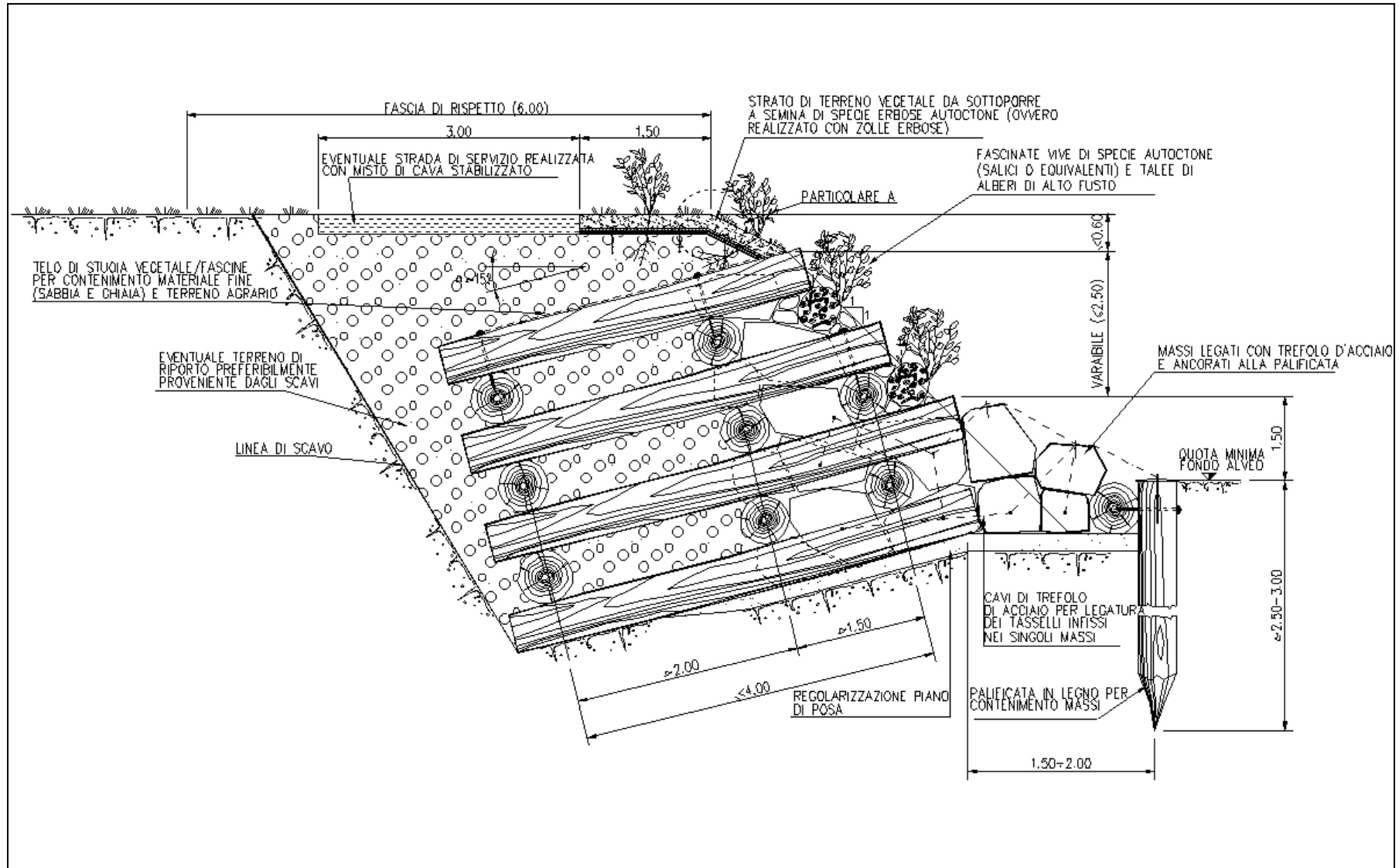


### Quaderno delle opere tipo

Disegno: **A\_2\_01\_02**

1 di 1

- A** Opere di sistemazione idraulica
- A.2** Protezione delle sponde e delle scarpate arginali
- A.2.01** Difese spondali su aste fluviali o torrentizie senza livelli d'acqua semipermanenti
- A.2.01.02** Difesa in legname e massi



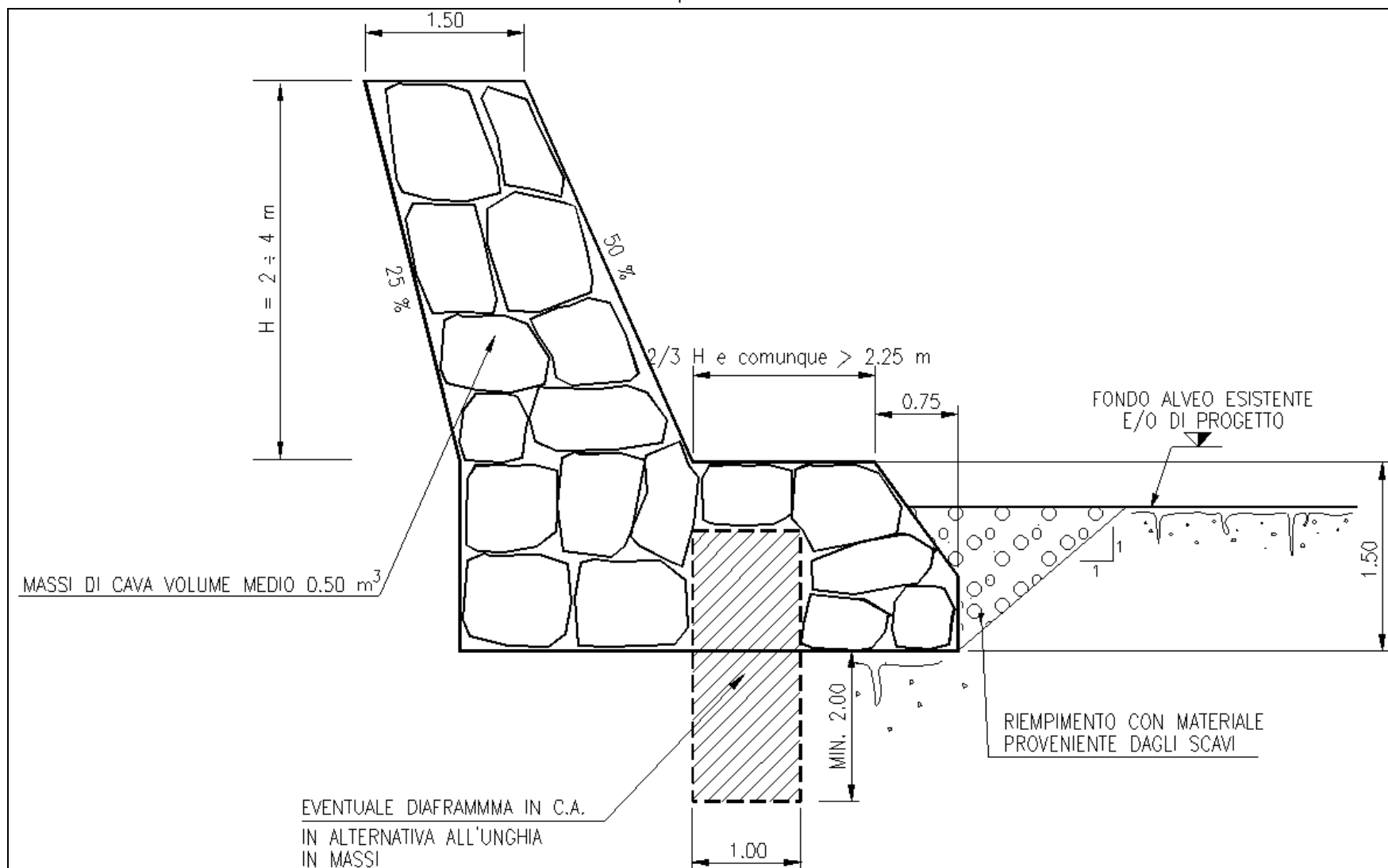


### Quaderno delle opere tipo

Disegno: **A\_2\_01\_03**

1 di 1

- A** Opere di sistemazione idraulica
- A.2** Protezione delle sponde e delle scarpate arginali
- A.2.01** Difese spondali su aste fluviali o torrentizie senza livelli d'acqua semipermanenti
- A.2.01.03** Muro spondale in massi cementati





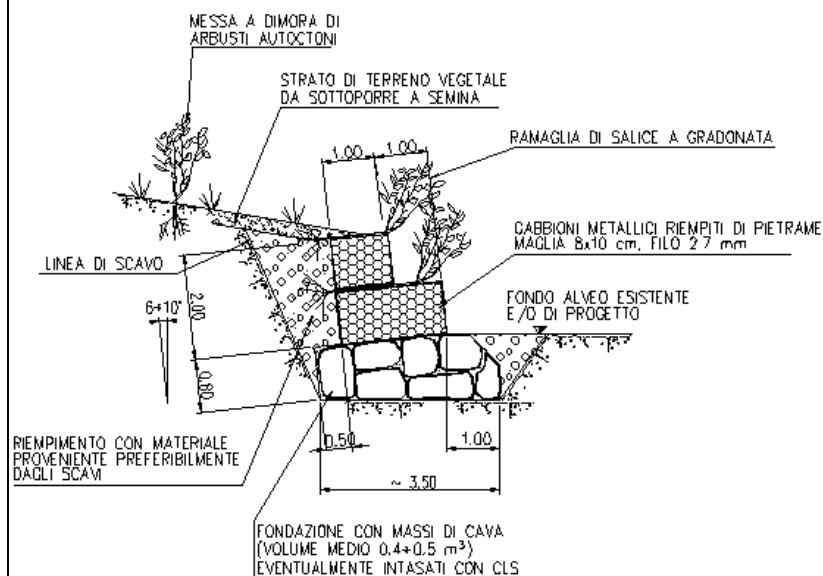
### Quaderno delle opere tipo

Disegno: **A\_2\_01\_04**

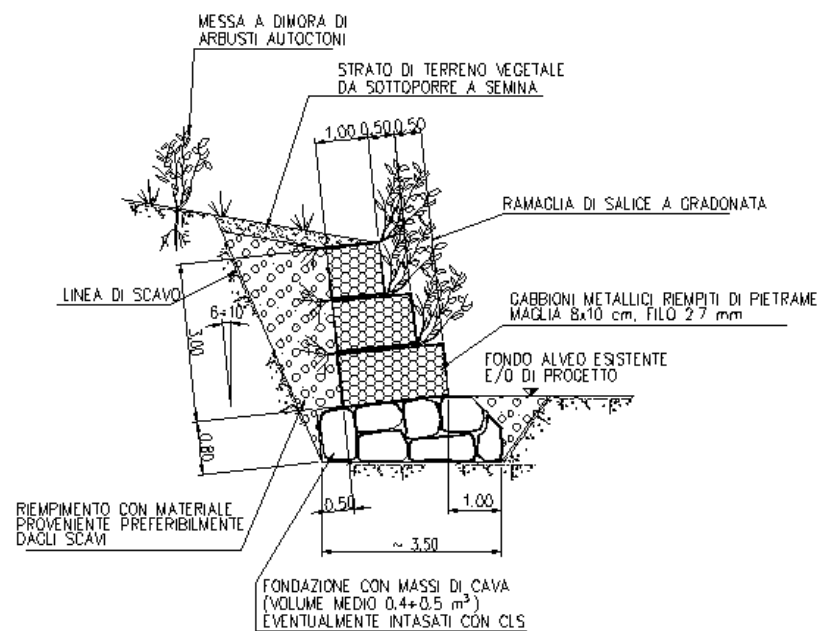
1 di 1

<b>A</b>	Opere di sistemazione idraulica
<b>A.2</b>	Protezione delle sponde e delle scarpate arginali
<b>A.2.01</b>	Difese spondali su aste fluviali o torrentizie senza livelli d'acqua semipermanenti
<b>A.2.01.04</b>	Difesa in gabbioni metallici

TIPOLOGIA PER ALTEZZA DI DIFESA PARI A 2 m



TIPOLOGIA PER ALTEZZA DI DIFESA PARI A 3 m



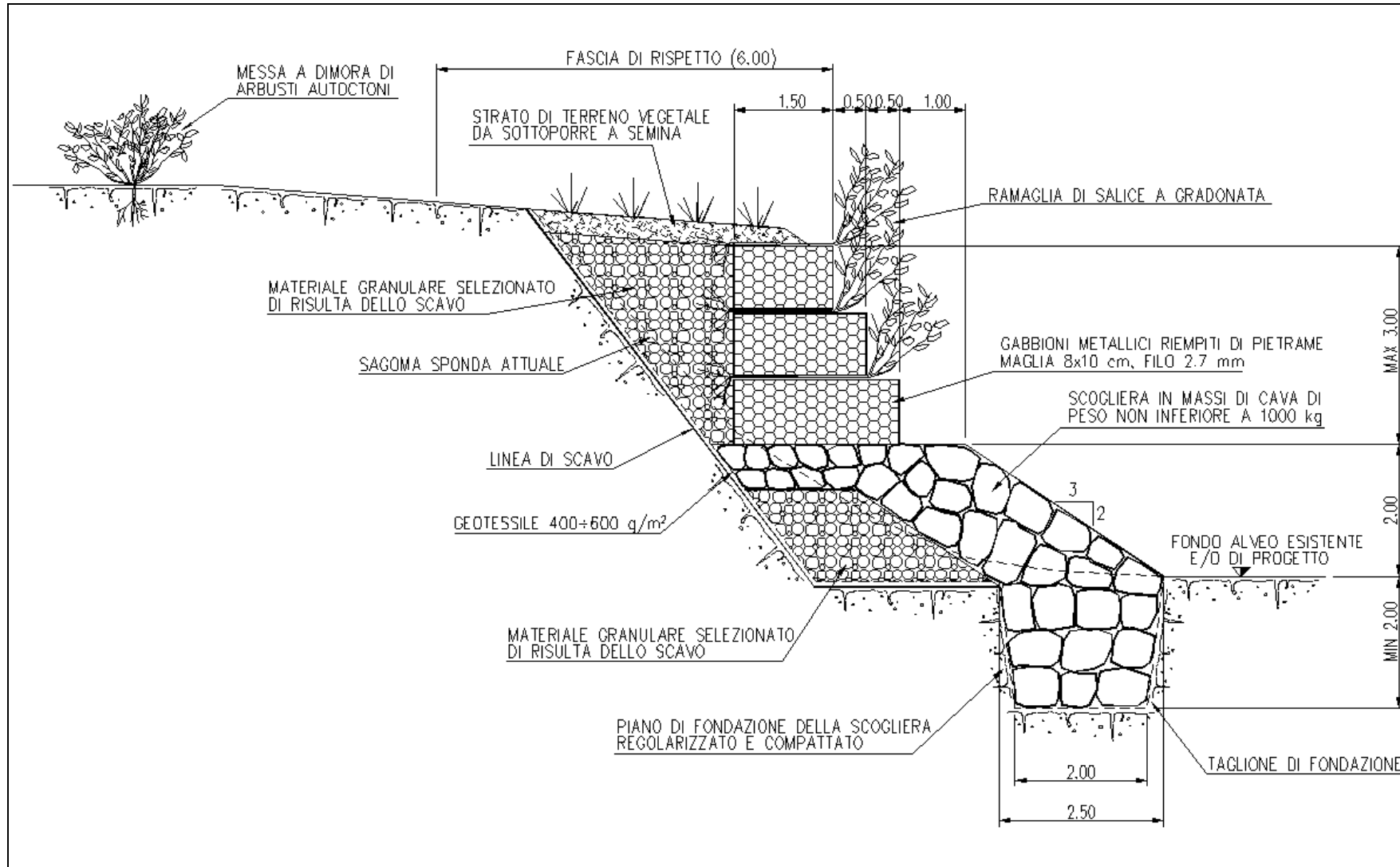


### Quaderno delle opere tipo

Disegno: **A\_2\_01\_05**

1 di 1

- A** Opere di sistemazione idraulica
- A.2** Protezione delle sponde e delle scarpate arginali
- A.2.01** Difese spondali su aste fluviali o torrentizie senza livelli d'acqua semipermanenti
- A.2.01.05** Difesa in gabbioni metallici e massi



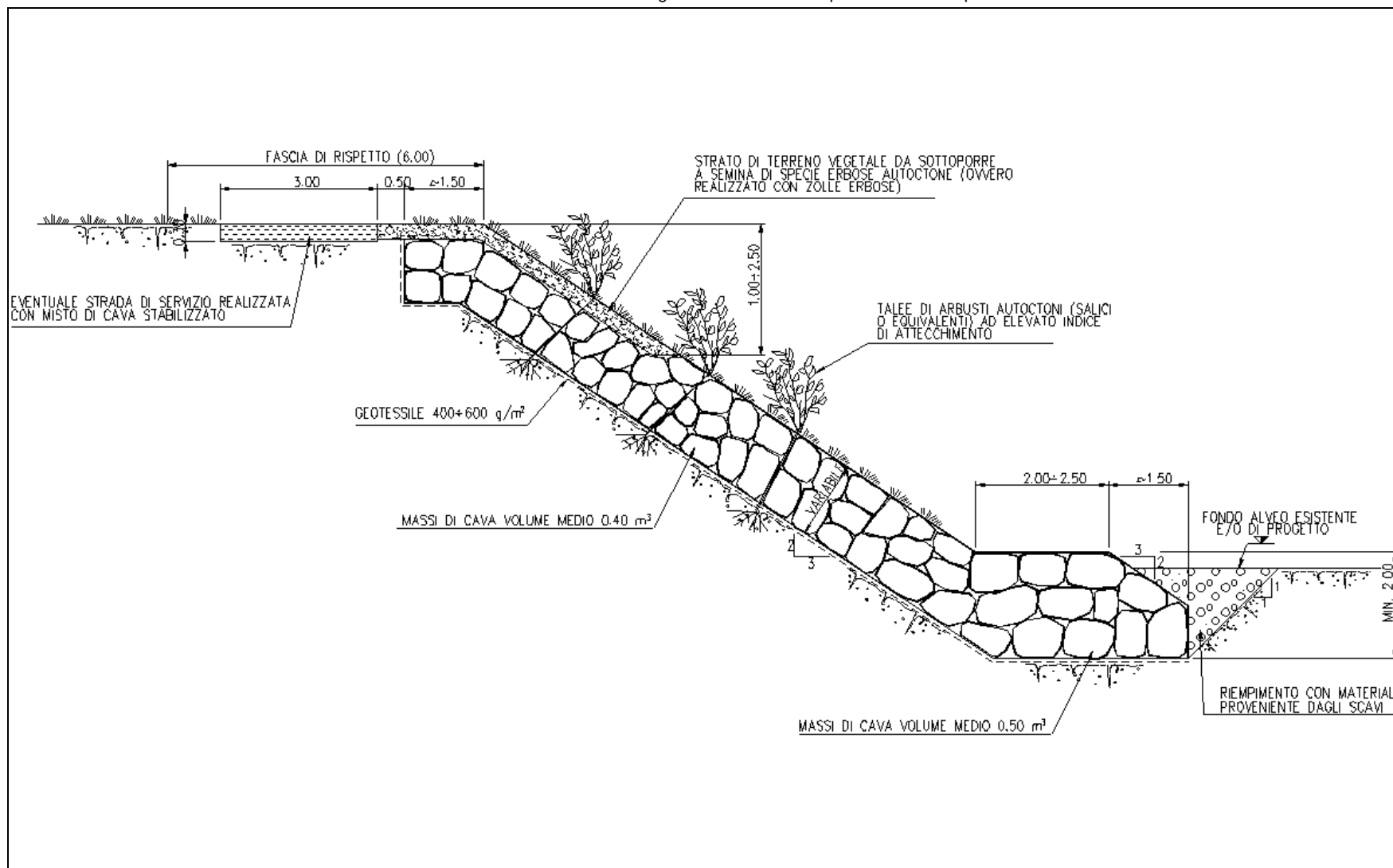


### Quaderno delle opere tipo

Disegno: **A\_2\_01\_06**

1 di 1

- A** Opere di sistemazione idraulica
- A.2** Protezione delle sponde e delle scarpate arginali
- A.2.01** Difese spondali su aste fluviali o torrentizie senza livelli d'acqua semipermanenti
- A.2.01.06** Scogliera in massi di cava per rivestimento spondale



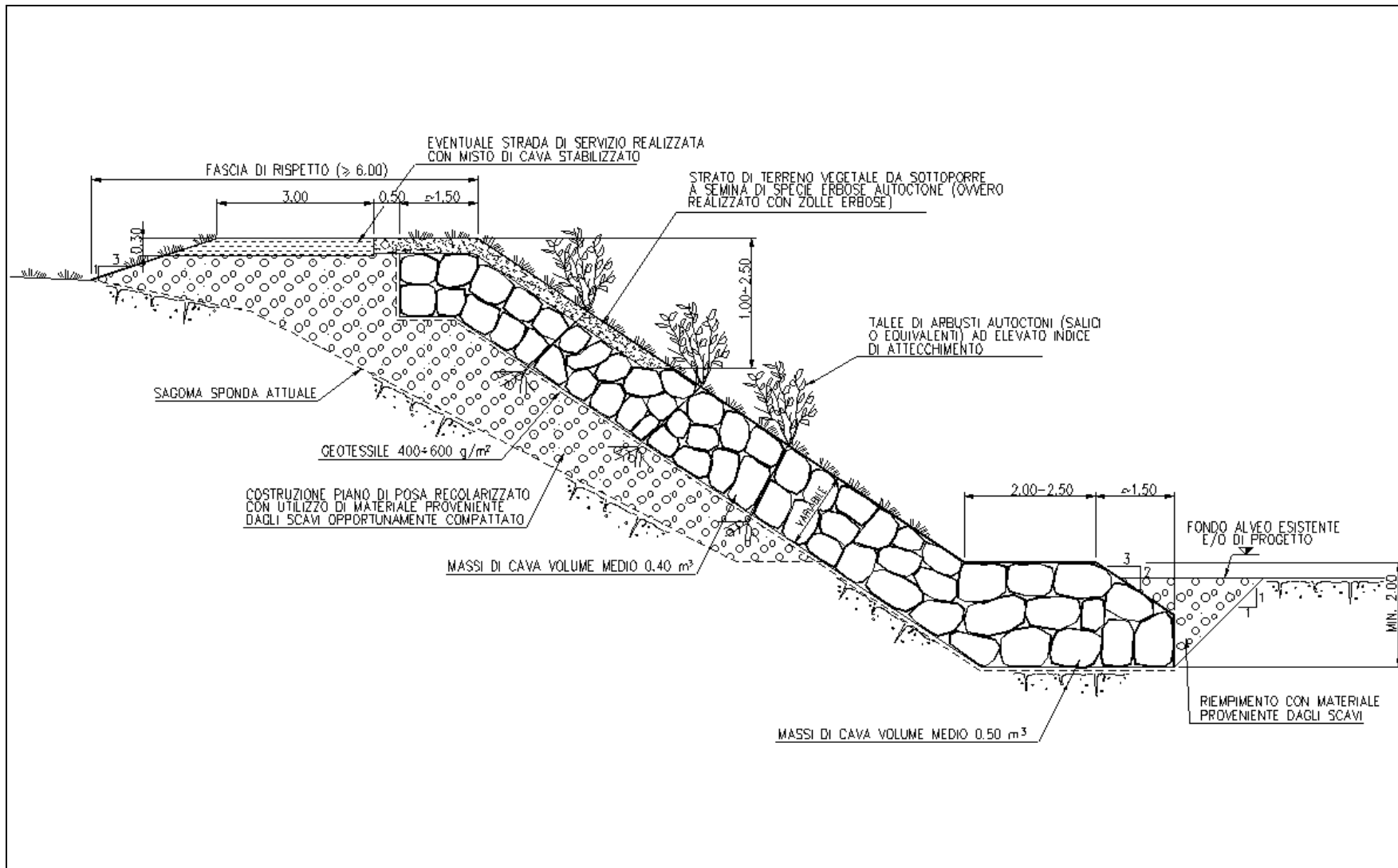


### Quaderno delle opere tipo

Disegno: **A\_2\_01\_07**

1 di 1

- A** Opere di sistemazione idraulica
- A.2** Protezione delle sponde e delle scarpate arginali
- A.2.01** Difese spondali su aste fluviali o torrentizie senza livelli d'acqua semipermanenti
- A.2.01.07** Difesa in massi ad una fronte (con ricostituzione di sponda in avanzamento)





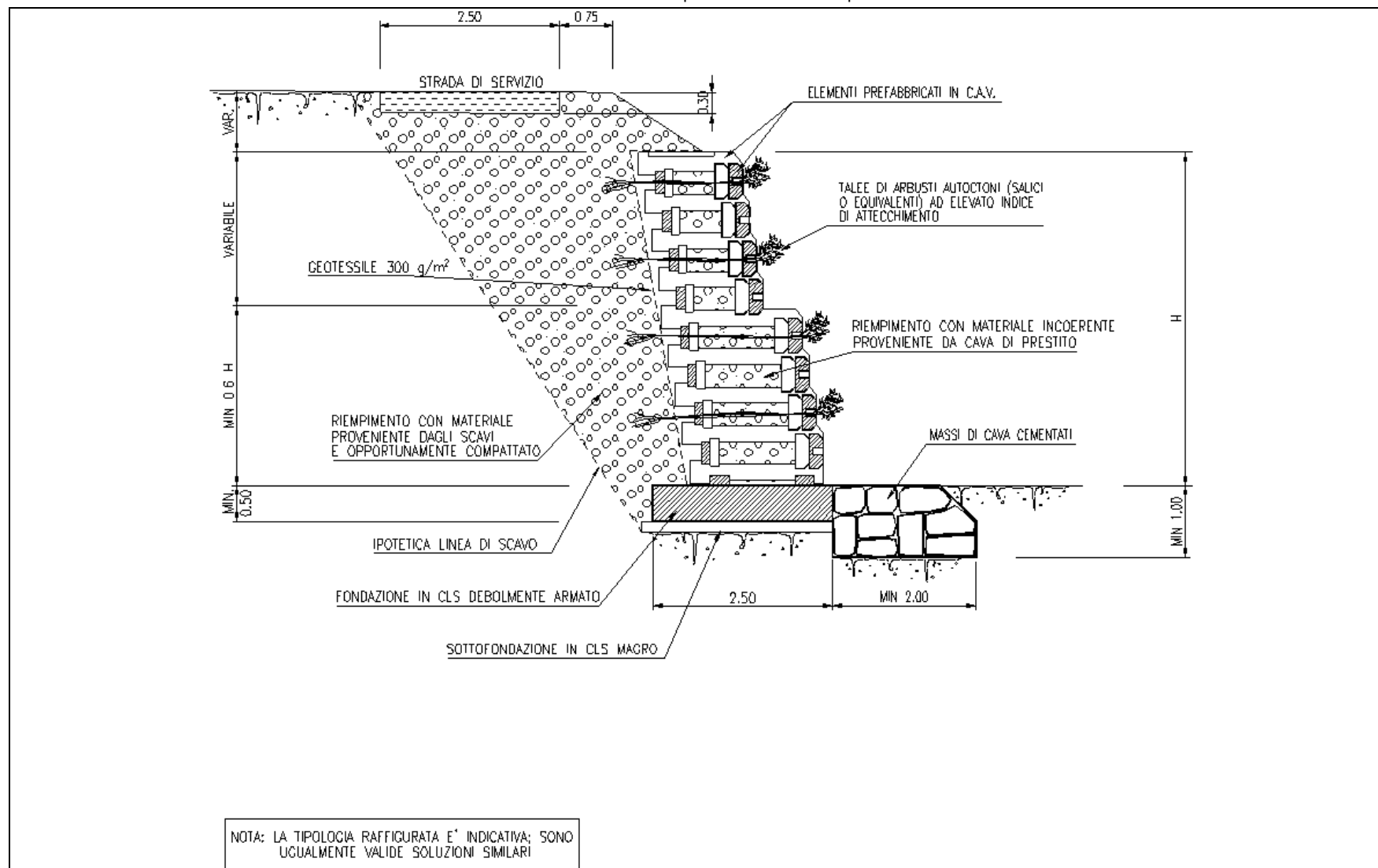


### Quaderno delle opere tipo

Disegno: **A\_2\_01\_08**

1 di 1

- A** Opere di sistemazione idraulica
- A.2** Protezione delle sponde e delle scarpate arginali
- A.2.01** Difese spondali su aste fluviali o torrentizie senza livelli d'acqua semipermanenti
- A.2.01.08** Difesa spondale con elementi prefabbricati



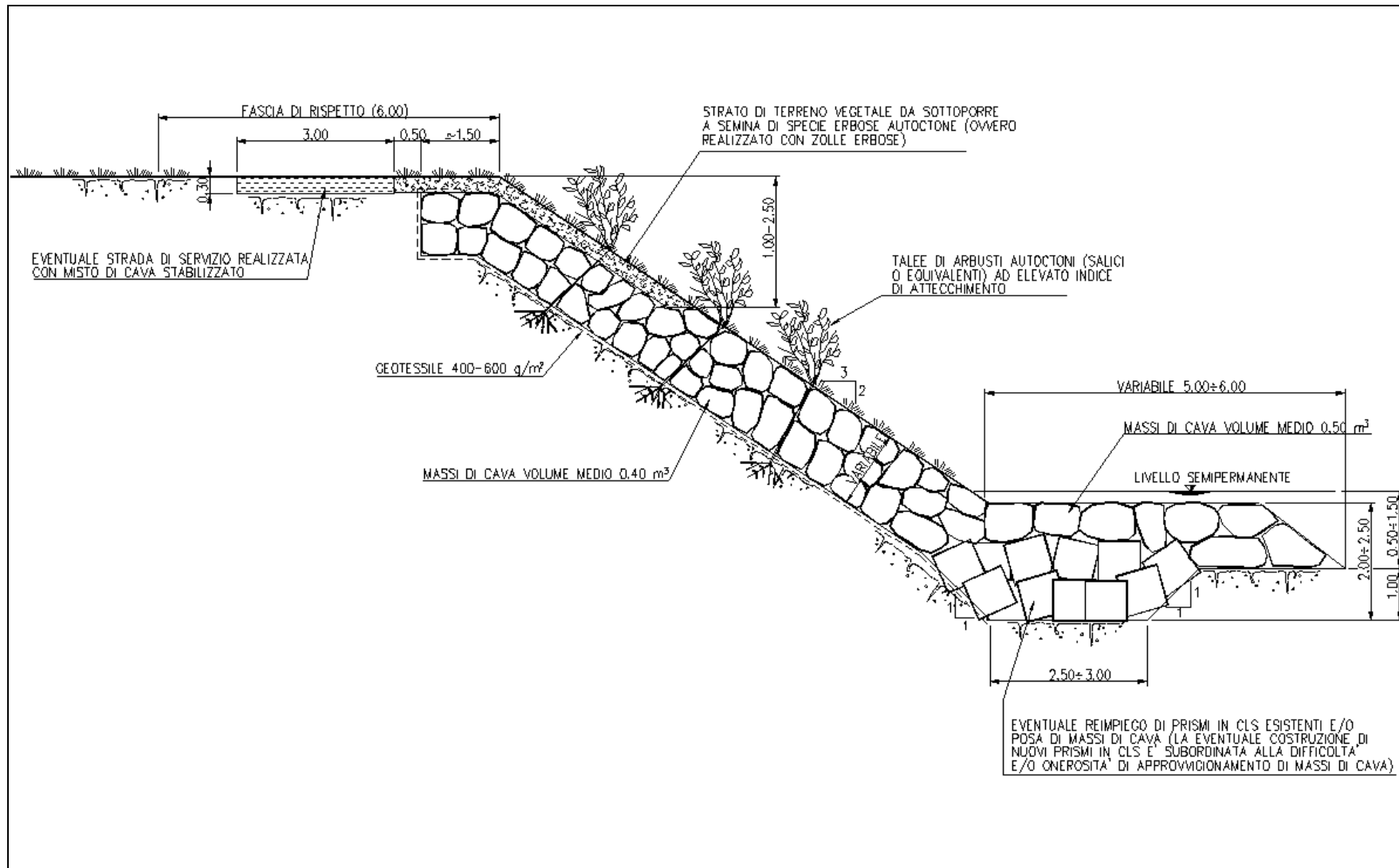


### Quaderno delle opere tipo

Disegno: **A\_2\_02\_01**

1 di 1

- A** Opere di sistemazione idraulica
- A.2** Protezione delle sponde e delle scarpate arginali
- A.2.02** Difese spondali su aste fluviali con livelli d'acqua semipermanenti
- A.2.02.01** Scogliera in massi di cava



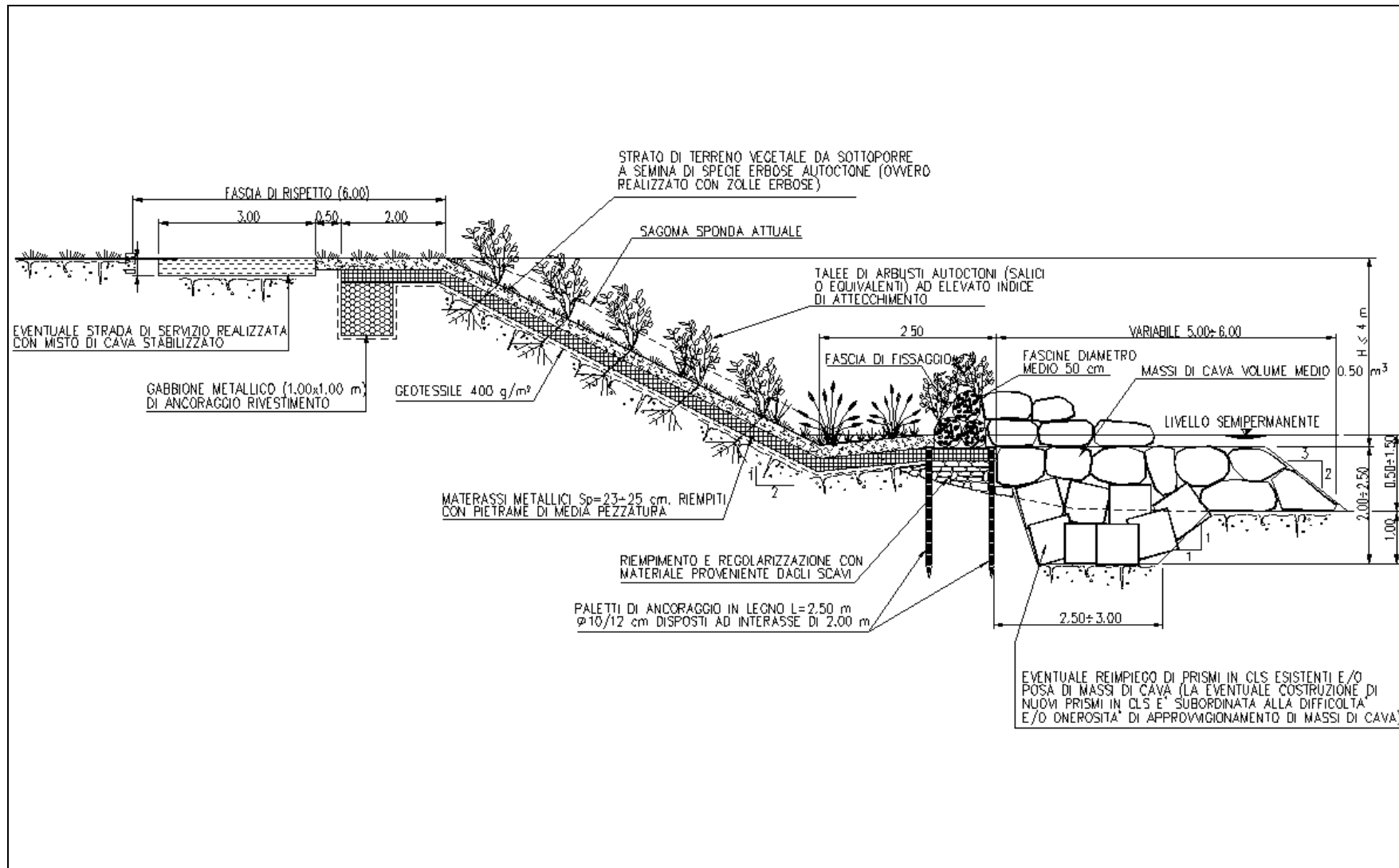


### Quaderno delle opere tipo

Disegno: **A\_2\_02\_02**

1 di 1

- A** Opere di sistemazione idraulica
- A.2** Protezione delle sponde e delle scarpate arginali
- A.2.02** Difese spondali su aste fluviali con livelli d'acqua semipermanenti
- A.2.02.02** Rivestimento spondale in materassi metallici con piede di fondazione in massi



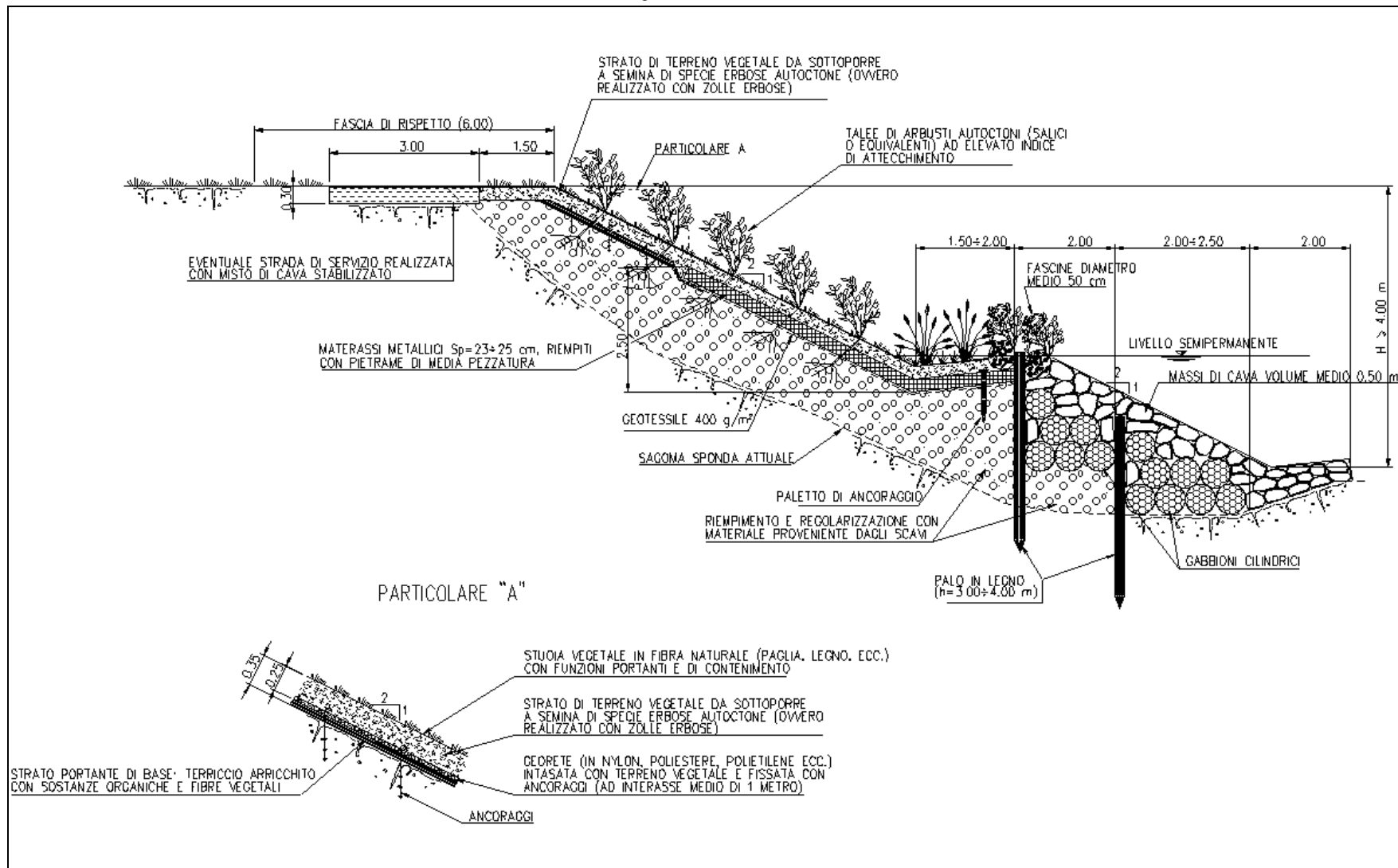


### Quaderno delle opere tipo

Disegno: **A\_2\_02\_03**

1 di 1

- A** Opere di sistemazione idraulica
- A.2** Protezione delle sponde e delle scarpate arginali
- A.2.02** Difese spondali su aste fluviali con livelli d'acqua semipermanenti
- A.2.02.03** Rivestimento spondale rinforzato con georete e stuoia vegetale, fissato al piede con pali in legno e gabbioni cilindrici



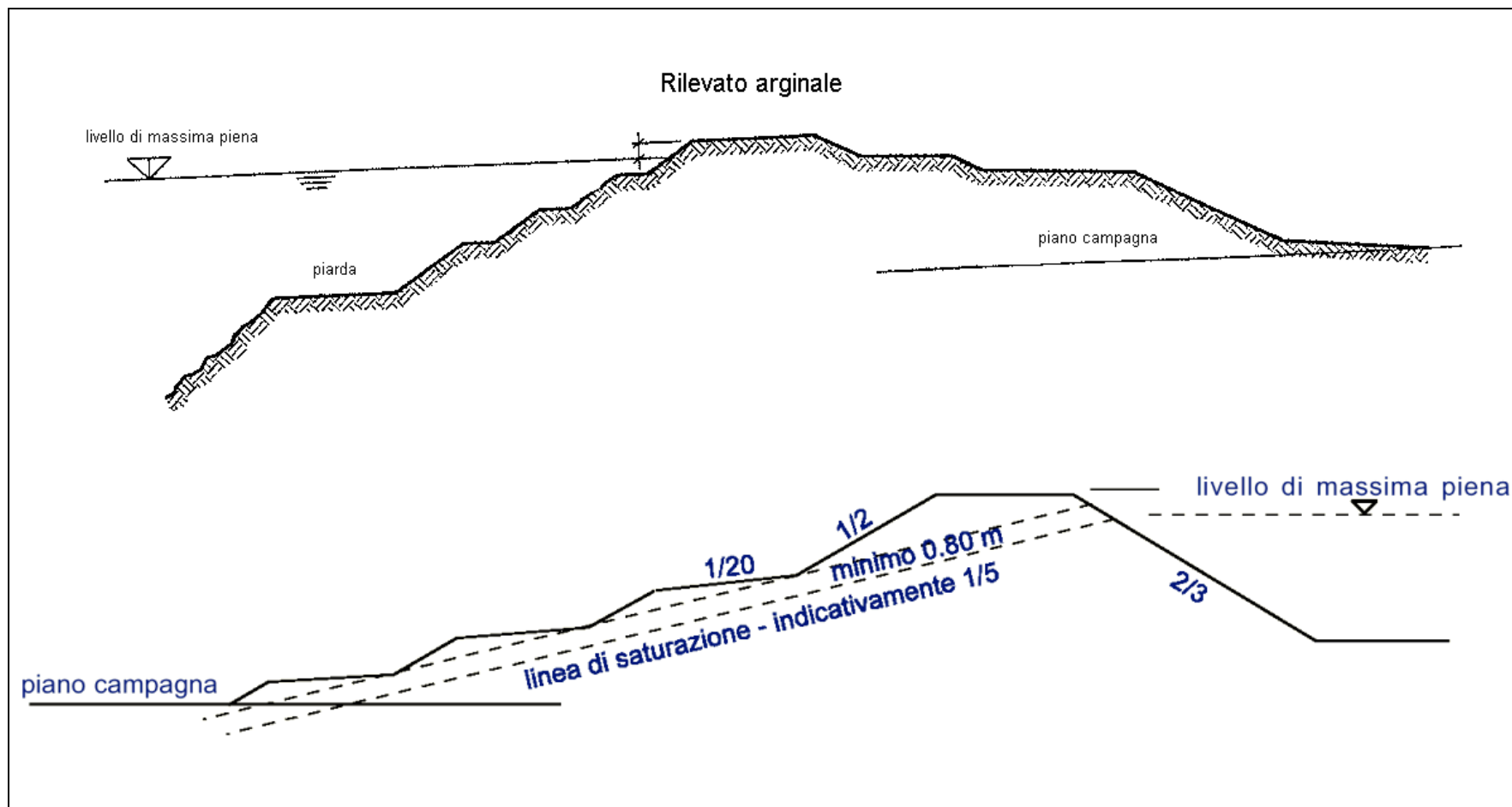


### Quaderno delle opere tipo

Disegno: **A\_2\_03**

1 di 1

- |               |   |
|---------------|---|
| <b>A</b>      | Opere di sistemazione idraulica                   |
| <b>A.2</b>    | Protezione delle sponde e delle scarpate arginali |
| <b>A.2.03</b> | Difese arginali                                   |



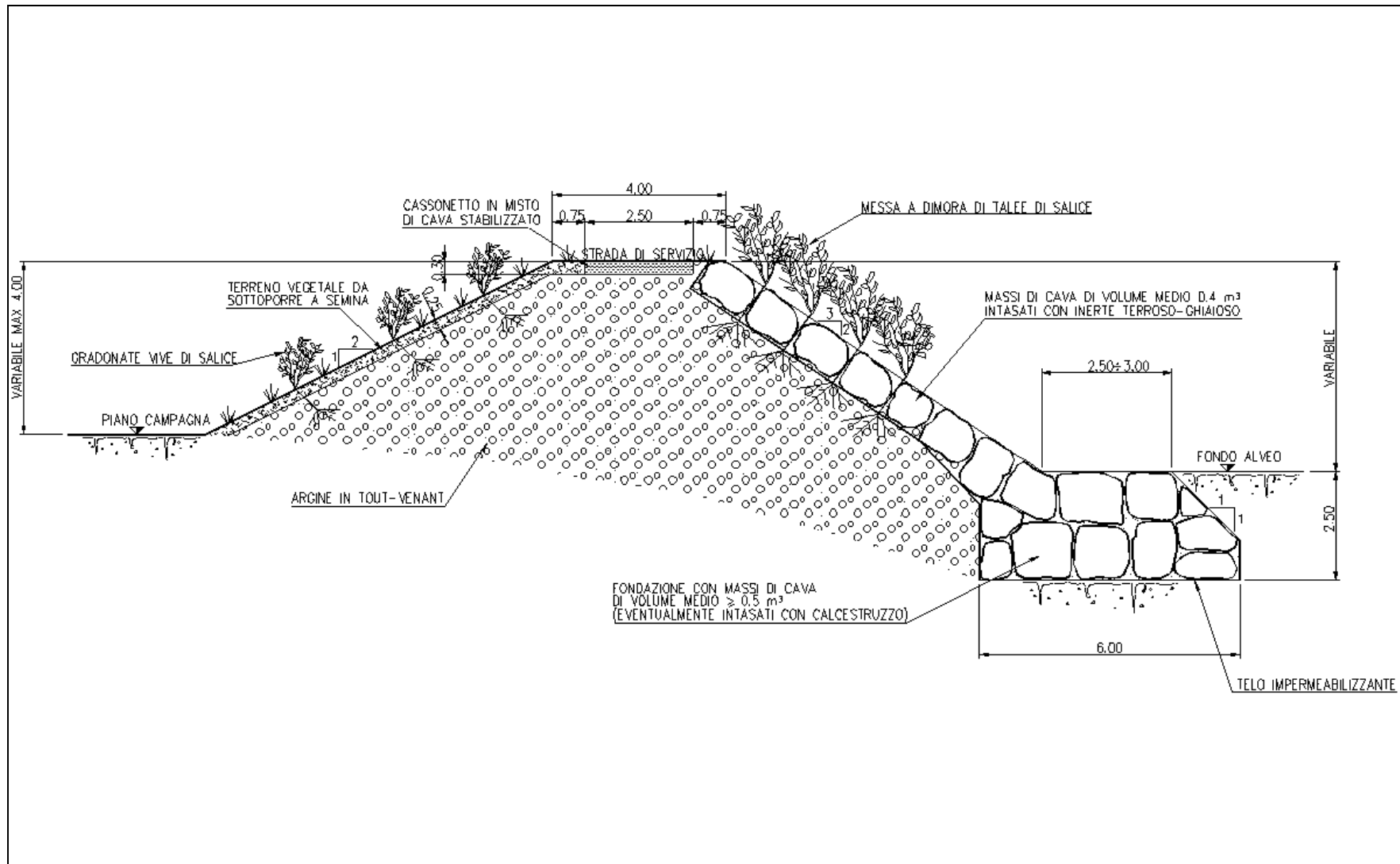


### Quaderno delle opere tipo

Disegno: **A\_2\_03\_01**

1 di 1

- A** Opere di sistemazione idraulica
- A.2** Protezione delle sponde e delle scarpate arginali
- A.2.03** Difese arginali
- A.2.03.01** Realizzazione nuovo argine in fondo rivestito in massi



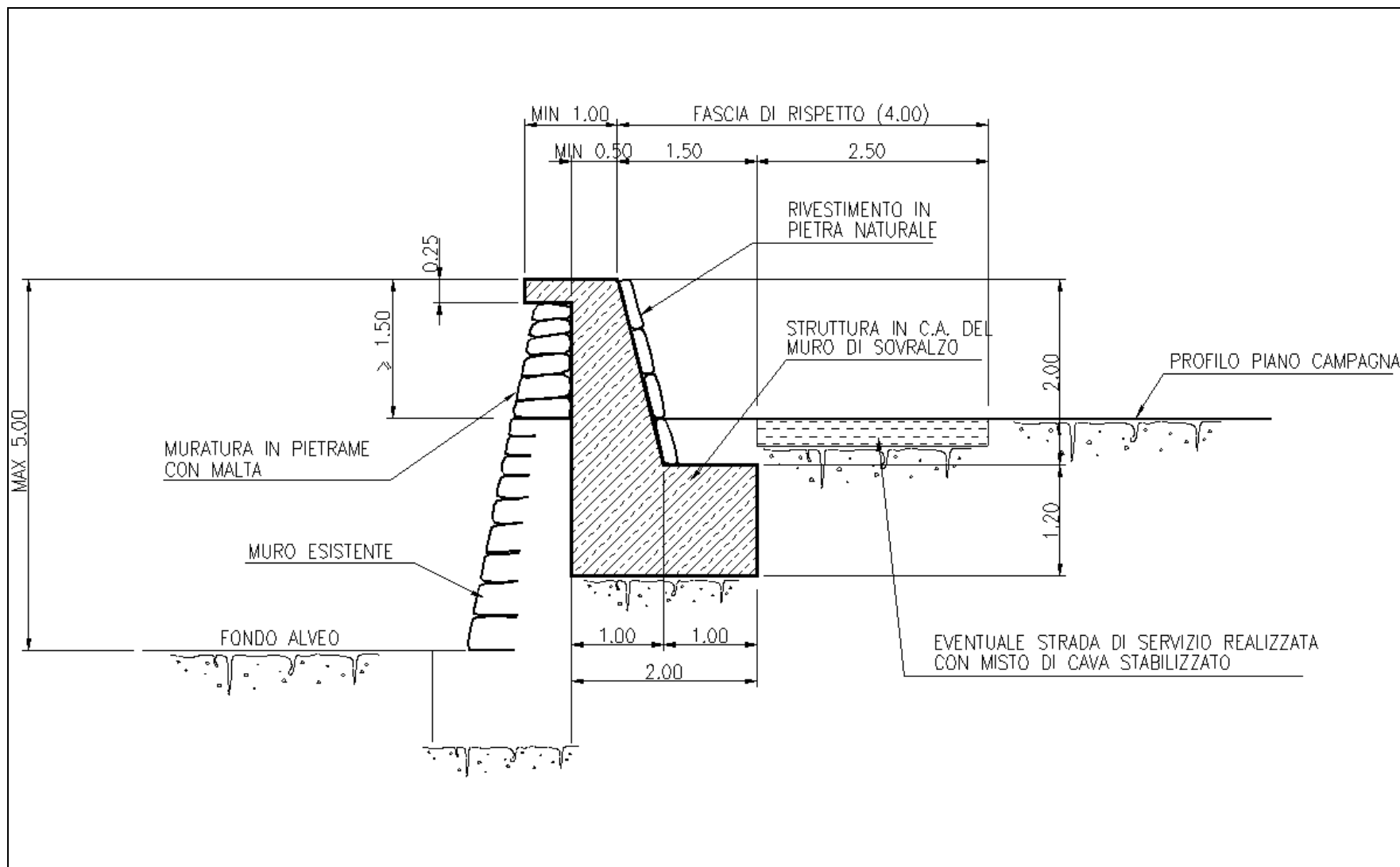


### Quaderno delle opere tipo

Disegno: **A\_2\_03\_02**

1 di 1

- A** Opere di sistemazione idraulica
- A.2** Protezione delle sponde e delle scarpate arginali
- A.2.03** Difese arginali
- A.2.03.02** Adeguamento in quota di muro d'argine esistente



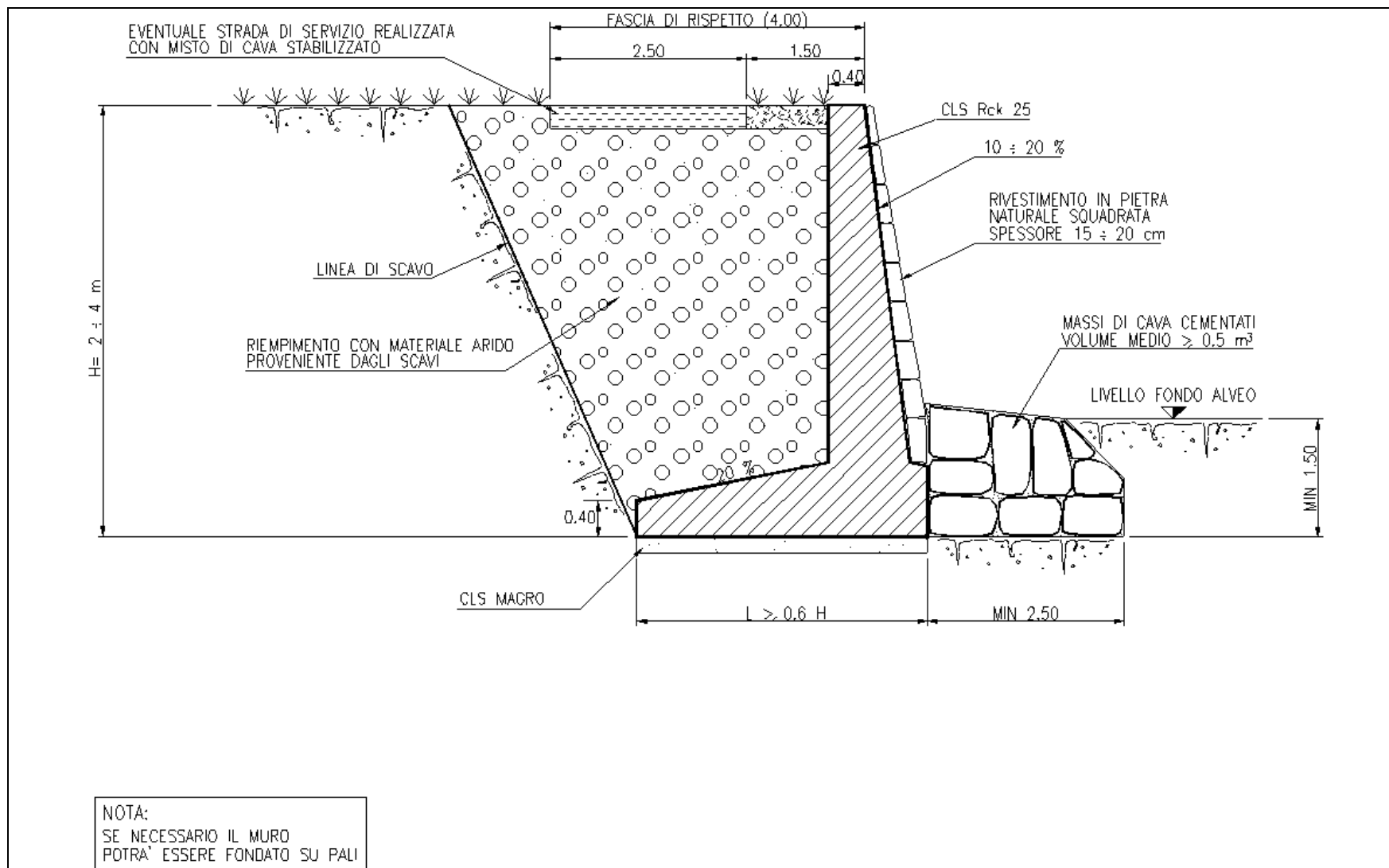


### Quaderno delle opere tipo

Disegno: **A\_2\_03\_03**

1 di 1

- A** Opere di sistemazione idraulica
- A.2** Protezione delle sponde e delle scarpate arginali
- A.2.03** Difese arginali
- A.2.03.03** Muro in cemento armato rivestito in pietra naturale



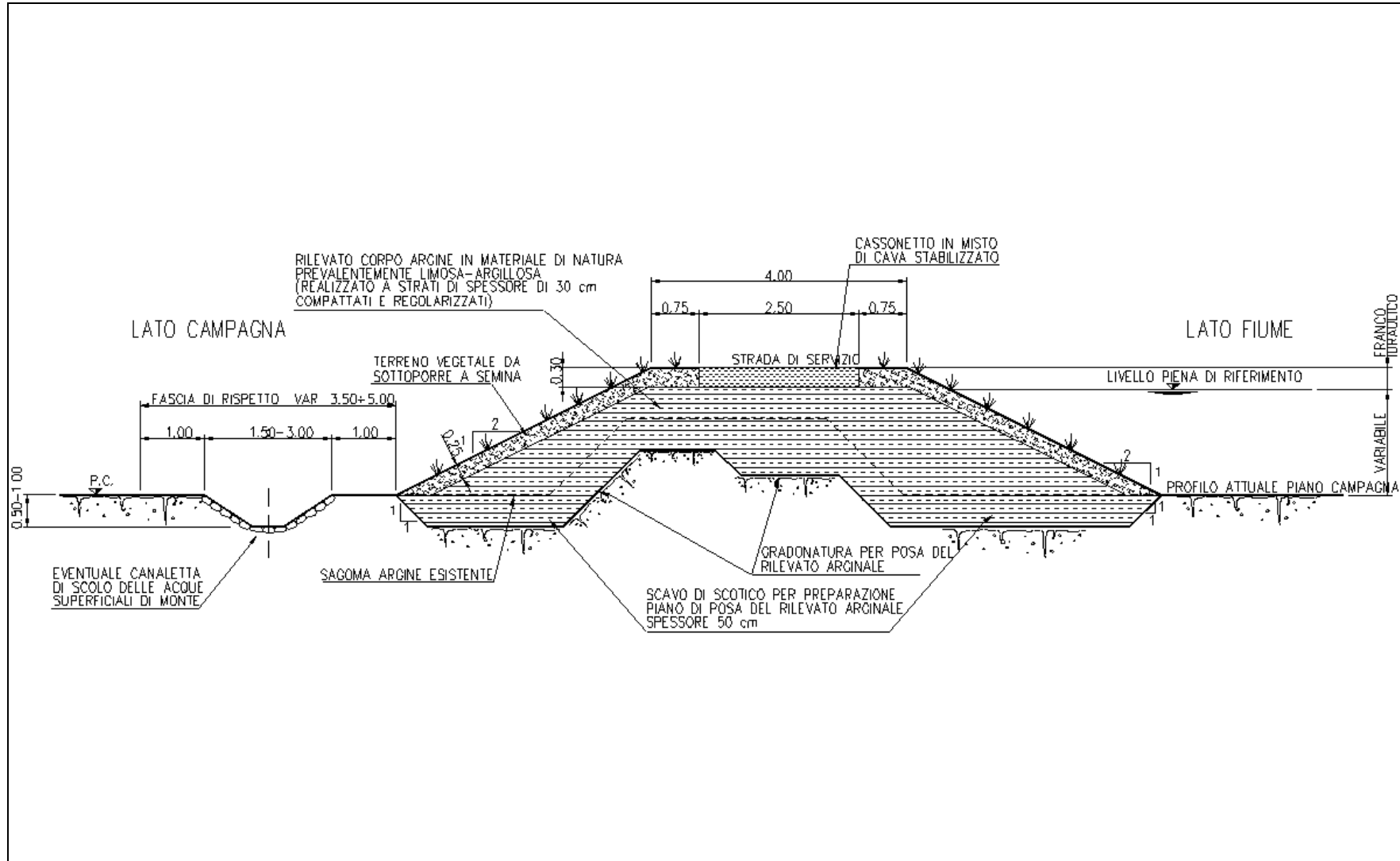




### Quaderno delle opere tipo

Disegno: **A\_2\_03\_04**  
1 di 1

- A** Opere di sistemazione idraulica
- A.2** Protezione delle sponde e delle scarpate arginali
- A.2.03** Difese arginali
- A.2.03.04** Adeguamento in sagoma e/o quota d'argine esistente



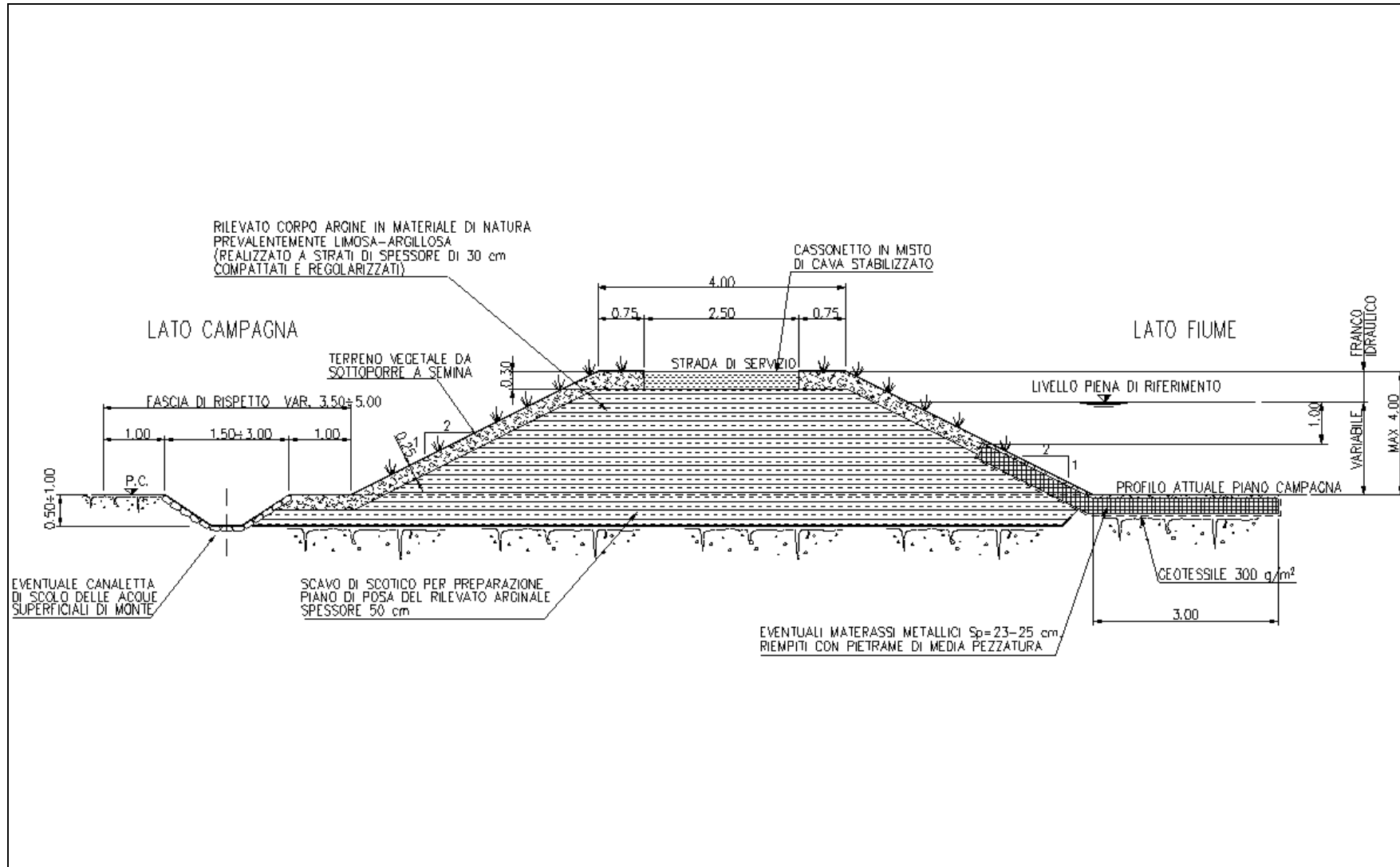


### Quaderno delle opere tipo

Disegno: **A\_2\_03\_05**

1 di 1

- A** Opere di sistemazione idraulica
- A.2** Protezione delle sponde e delle scarpate arginali
- A.2.03** Difese arginali
- A.2.03.05** Realizzazione nuovo argine (H<=4.0m)

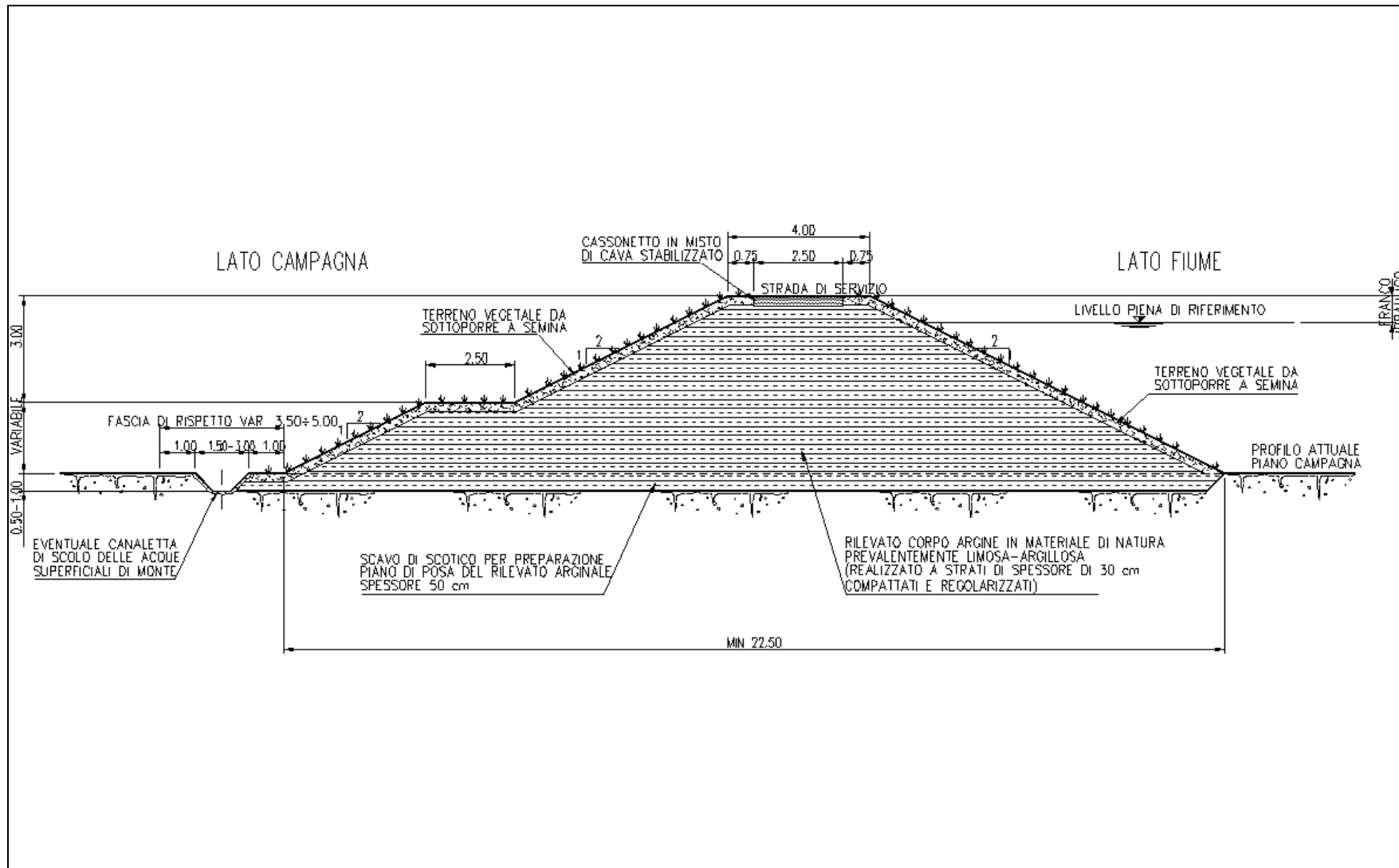




### Quaderno delle opere tipo

Disegno: **A\_2\_03\_06**  
1 di 1

- A** Opere di sistemazione idraulica
- A.2** Protezione delle sponde e delle scarpate arginali
- A.2.03** Difese arginali
- A.2.03.06** Realizzazione nuovo argine (H>4.0m)



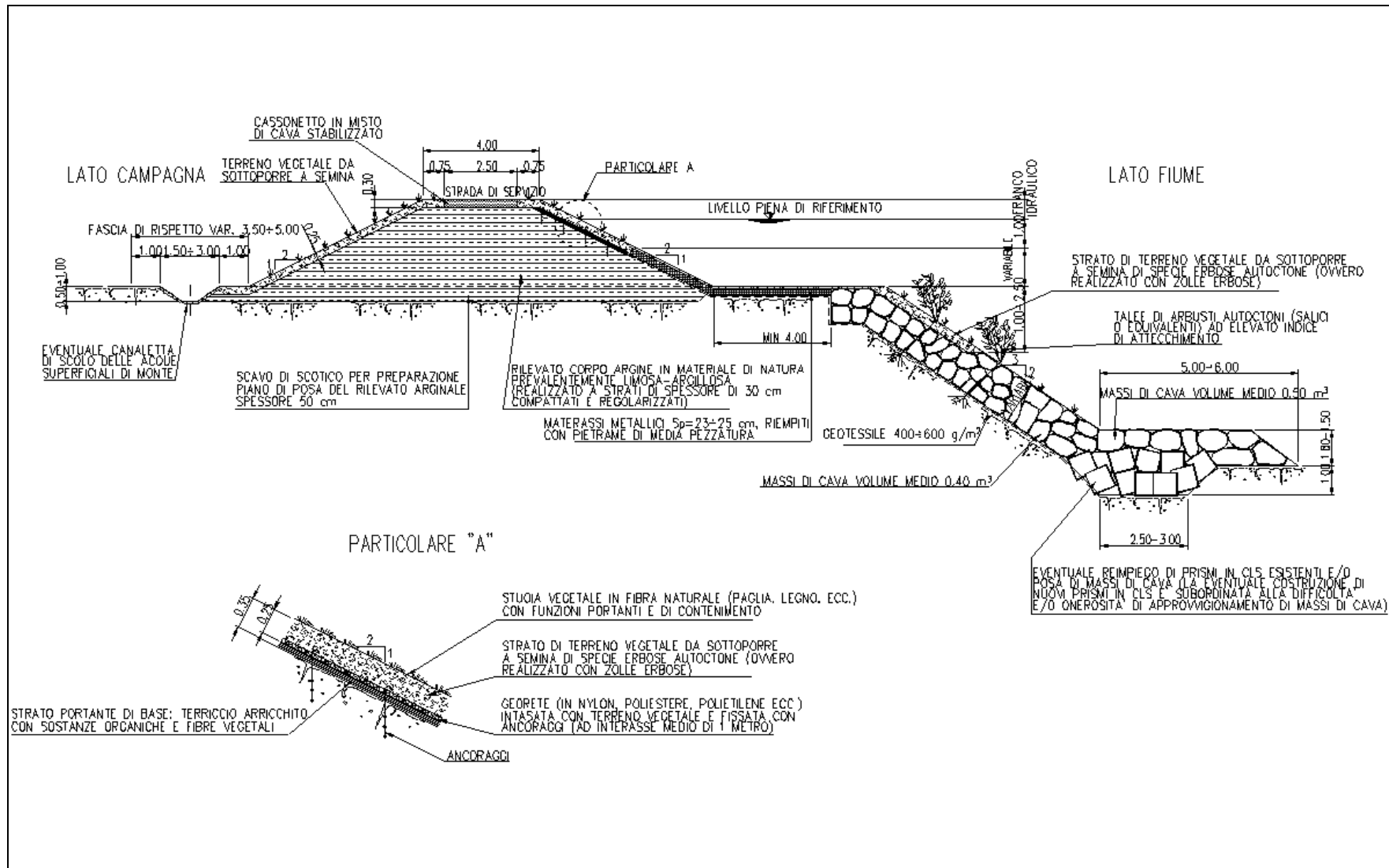


### Quaderno delle opere tipo

Disegno: **A\_2\_03\_07**

1 di 1

- A** Opere di sistemazione idraulica
- A.2** Protezione delle sponde e delle scarpate arginali
- A.2.03** Difese arginali
- A.2.03.07** Realizzazione nuovo argine in froldo con difesa al piede in massi di cava



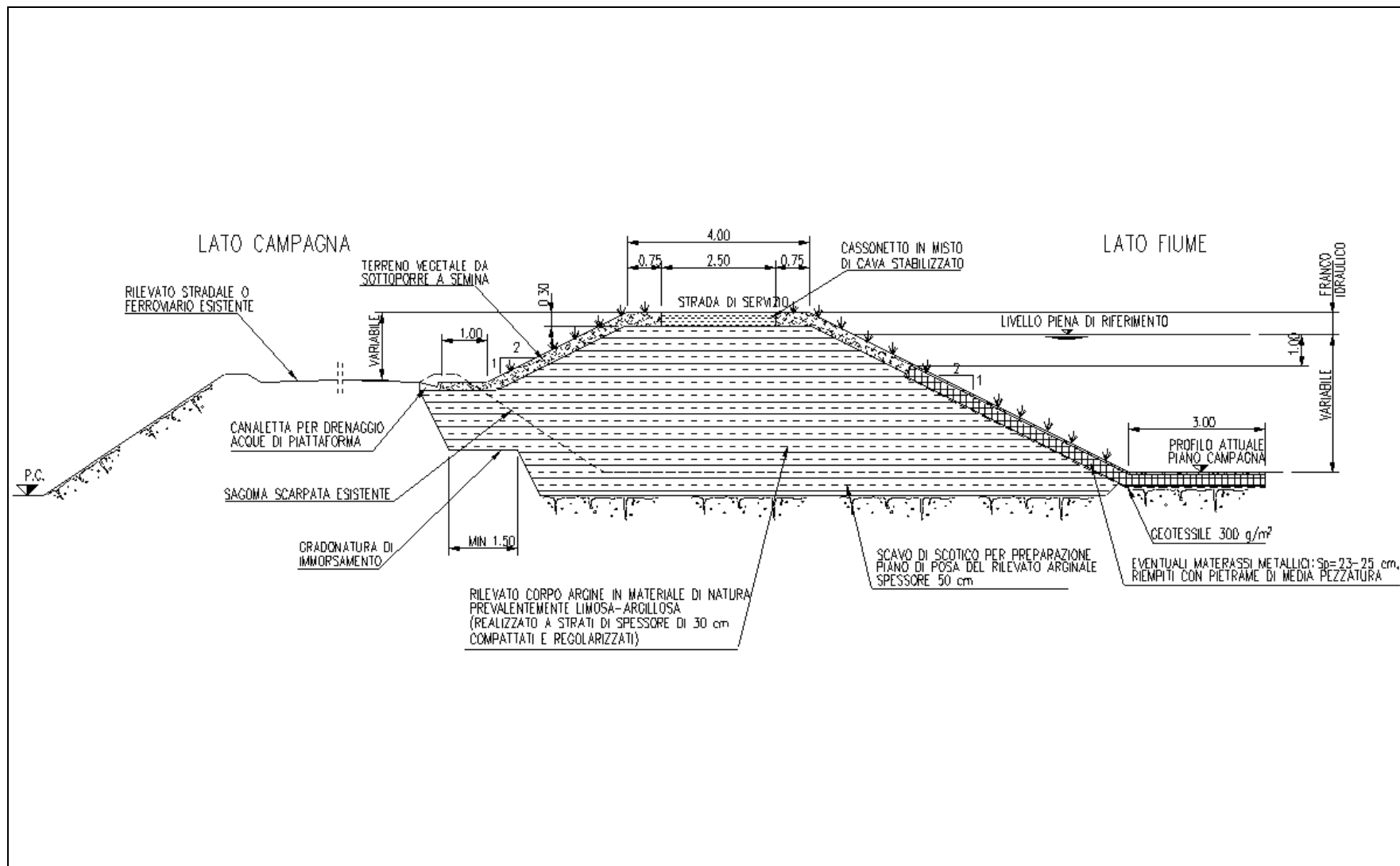


### Quaderno delle opere tipo

Disegno: **A\_2\_03\_08**

1 di 1

- A** Opere di sistemazione idraulica
- A.2** Protezione delle sponde e delle scarpate arginali
- A.2.03** Difese arginali
- A.2.03.08** Adeguamento rilevato stradale o ferroviario per difesa arginale

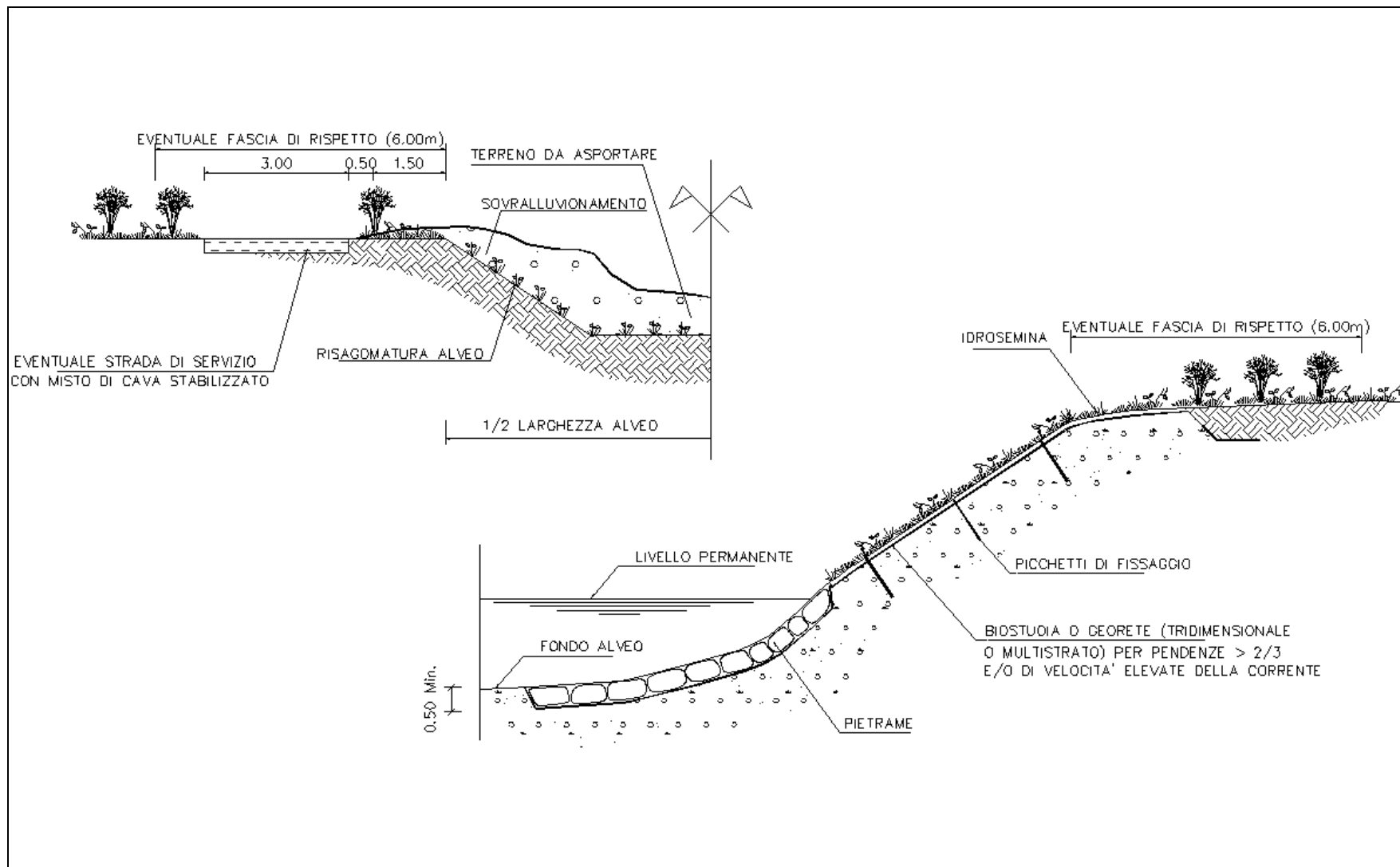




### Quaderno delle opere tipo

Disegno: **A\_4\_01**  
1 di 1

- A** Opere di sistemazione idraulica
- A.4** Modellamento dell'alveo
- A.4.01** Risagomatura con protezione di sponda

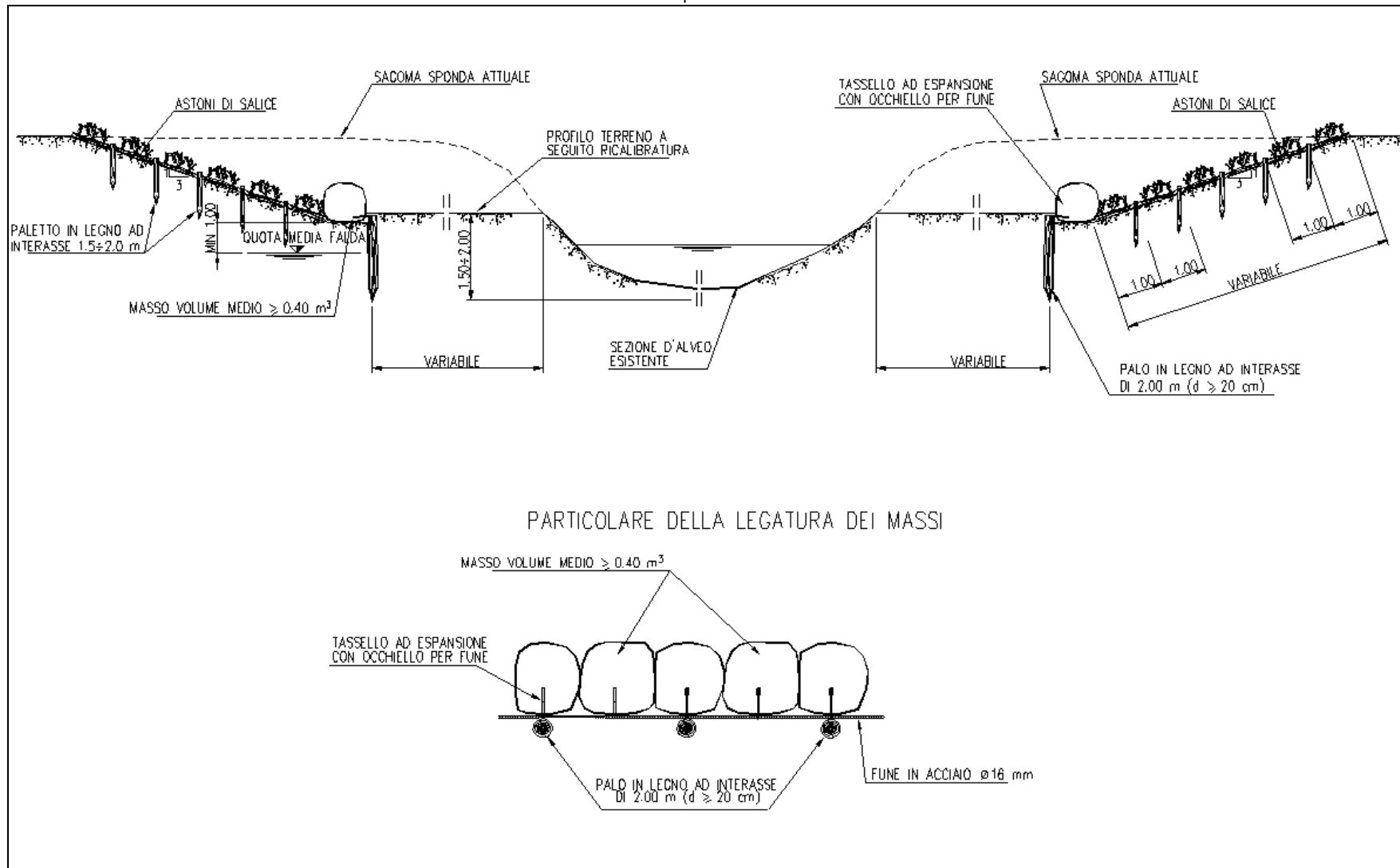




### Quaderno delle opere tipo

Disegno: **A\_4\_02**  
1 di 1

- A** Opere di sistemazione idraulica
- A.4** Modellamento dell'alveo
- A.4.02** Ricalibratura sezione d'alveo: costituzione di face golenali ribassate e sponde rivestite con astoni di salice

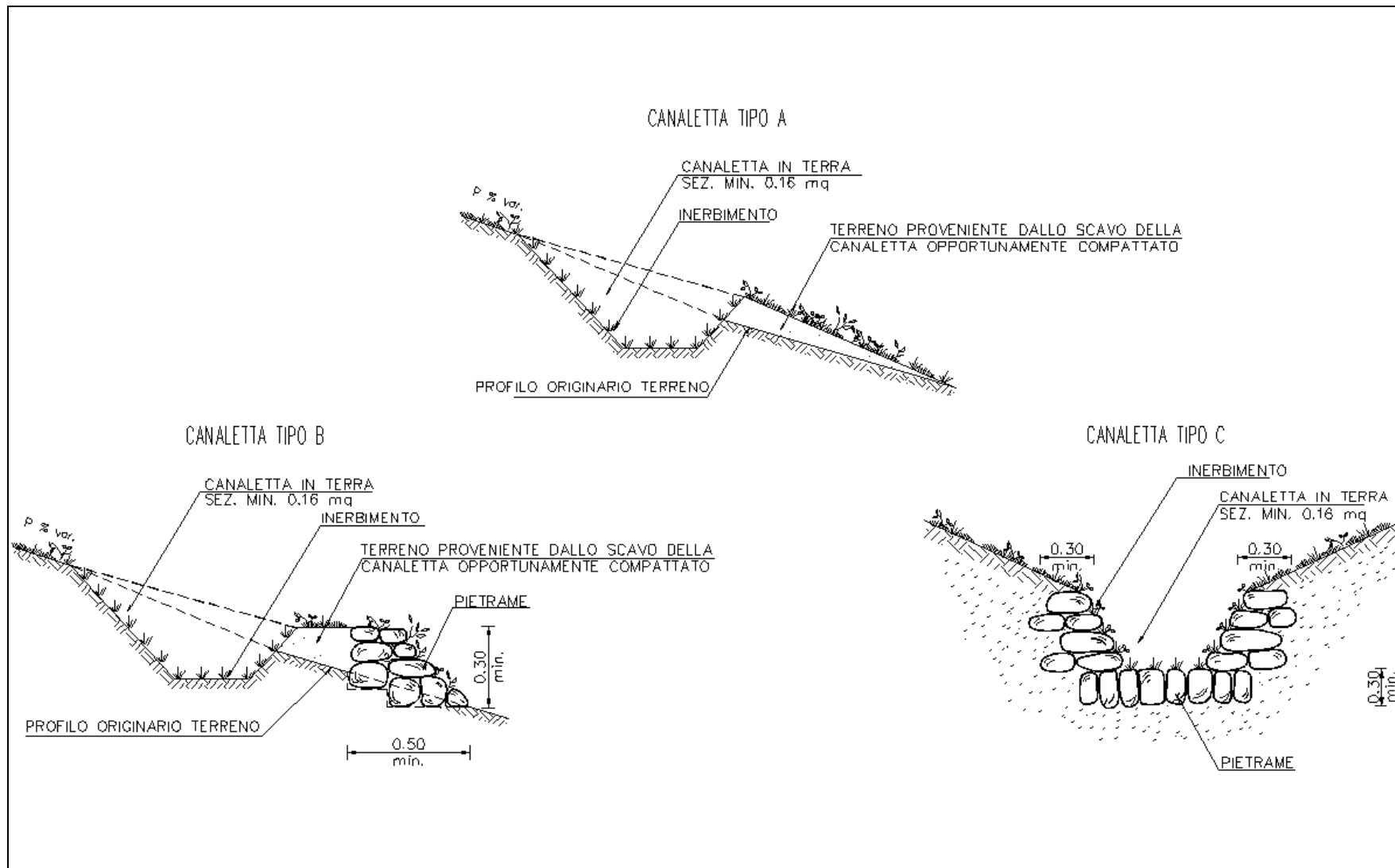




### Quaderno delle opere tipo

Disegno: **B\_1\_01**  
1 di 1

- B** Opere di sistemazione dei versanti
- B.1** Protezione superficiali
- B.1.01** Canaletta inerbita



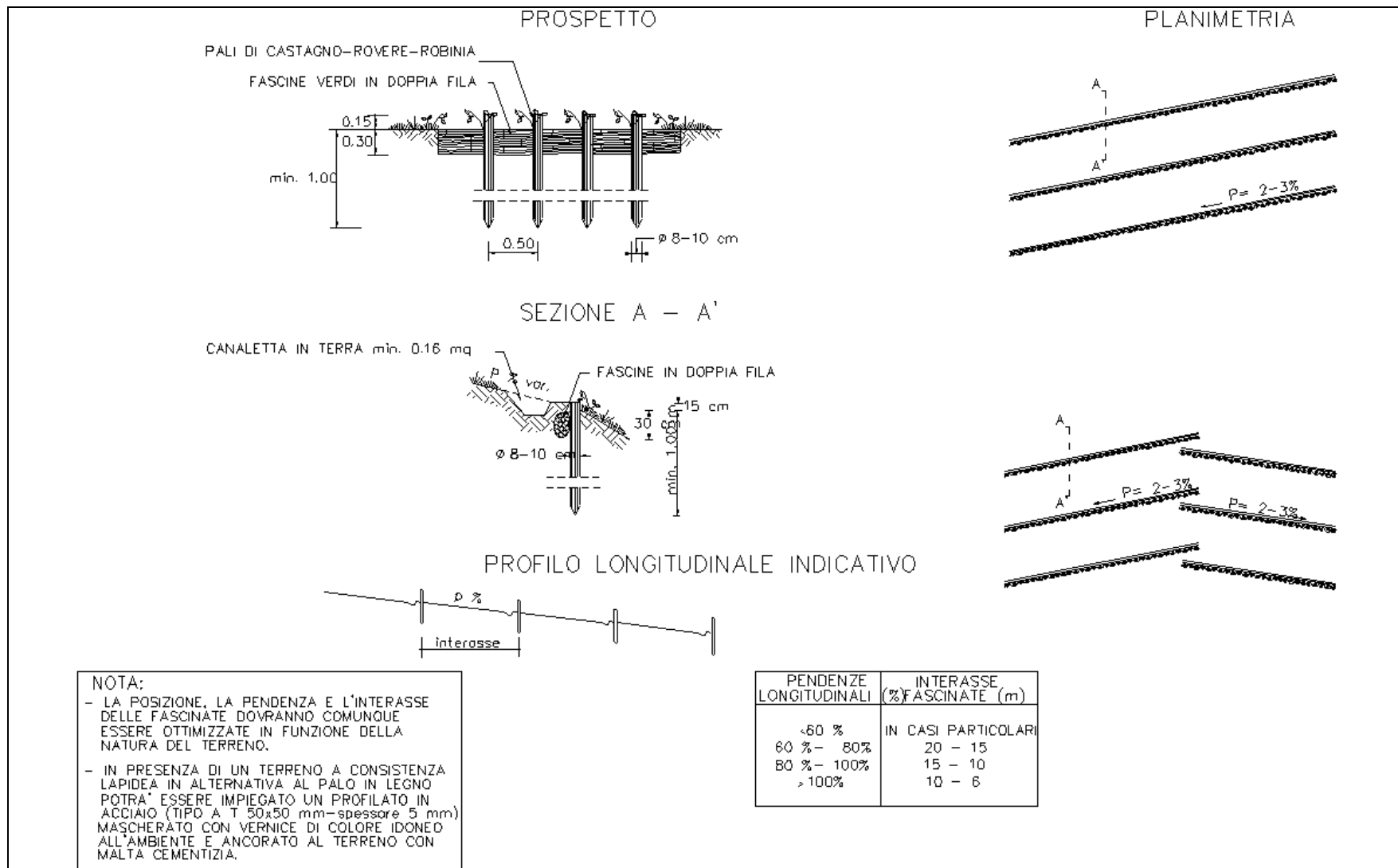




### Quaderno delle opere tipo

Disegno: **B\_1\_02**  
1 di 1

**B** Opere di sistemazione dei versanti  
**B.1** Protezione superficiali  
**B.1.02** Fascinata

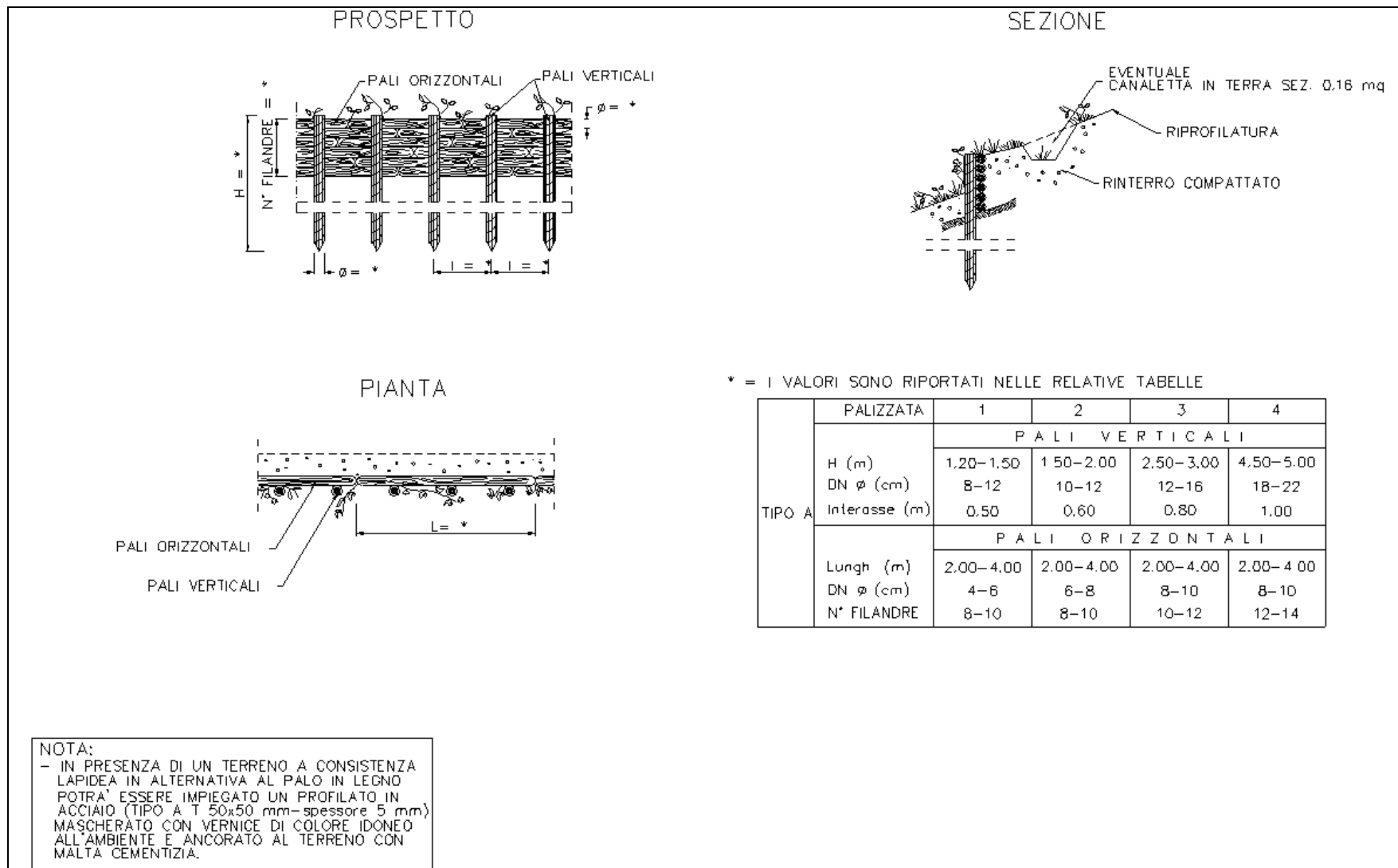




### Quaderno delle opere tipo

Disegno: **B\_1\_03**  
1 di 1

**B** Opere di sistemazione dei versanti  
**B.1** Protezione superficiali  
**B.1.03** Palizza

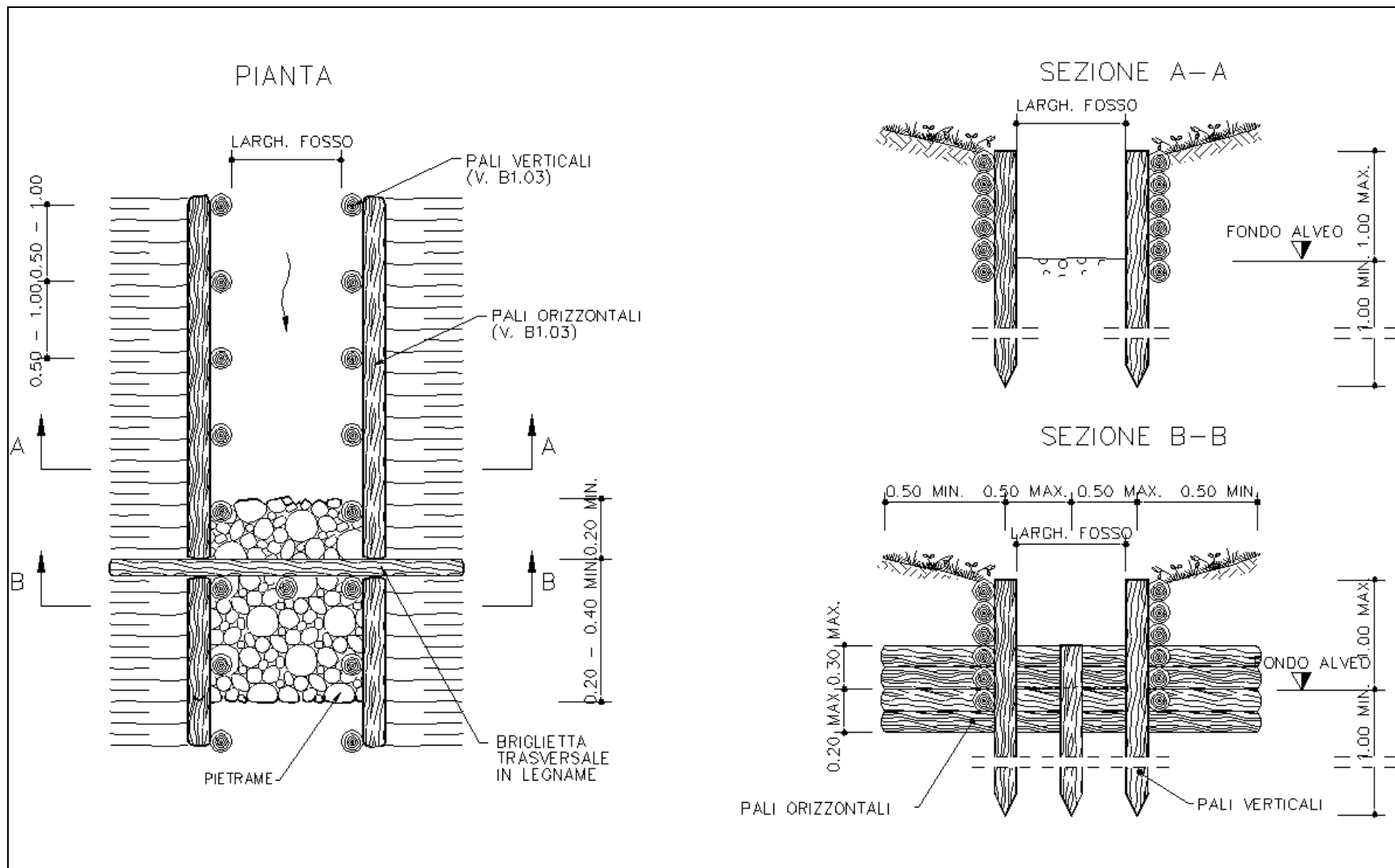




### Quaderno delle opere tipo

Disegno: **B\_1\_04**  
1 di 1

- B** Opere di sistemazione dei versanti
- B.1** Protezione superficiali
- B.1.04** Fosso presidiato con legname e pietrame



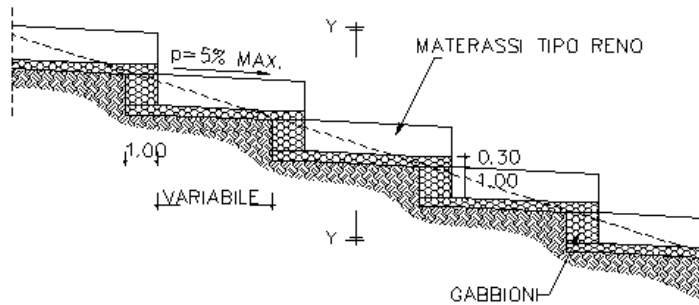


### Quaderno delle opere tipo

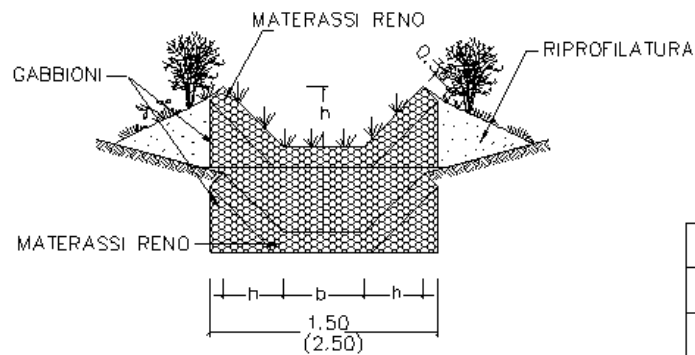
Disegno: **B\_1\_05**  
1 di 1

**B** Opere di sistemazione dei versanti  
**B.1** Protezione superficiali  
**B.1.05** Fosso rivestito con materassi in gabbioni

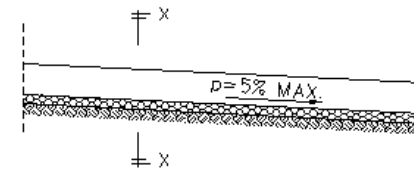
#### PROFILO LONGITUDINALE DELLA CUNETTA GRADONATA



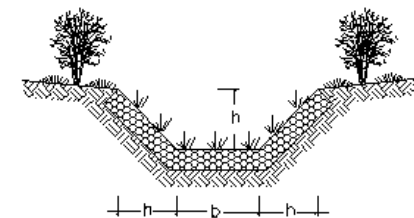
#### SEZIONE Y-Y



#### PROFILO LONGITUDINALE DELLA CUNETTA



#### SEZIONE X-X



DIMENS.	TIPO A	TIPO B
h	0.40	0.80
b	0.60	1.20

#### NOTA:

- NEI VERSANTI A FORTE PENDENZA  
IL MATERASSO IN GABBIONI PUO' ESSERE  
ANCORATO AL TERRENO CON SPEZZONI  
DI TONDINI D'ARMATURA IN SETTI IN CLS  
(TIPO FeB44K -  $\varnothing$  20 mm)

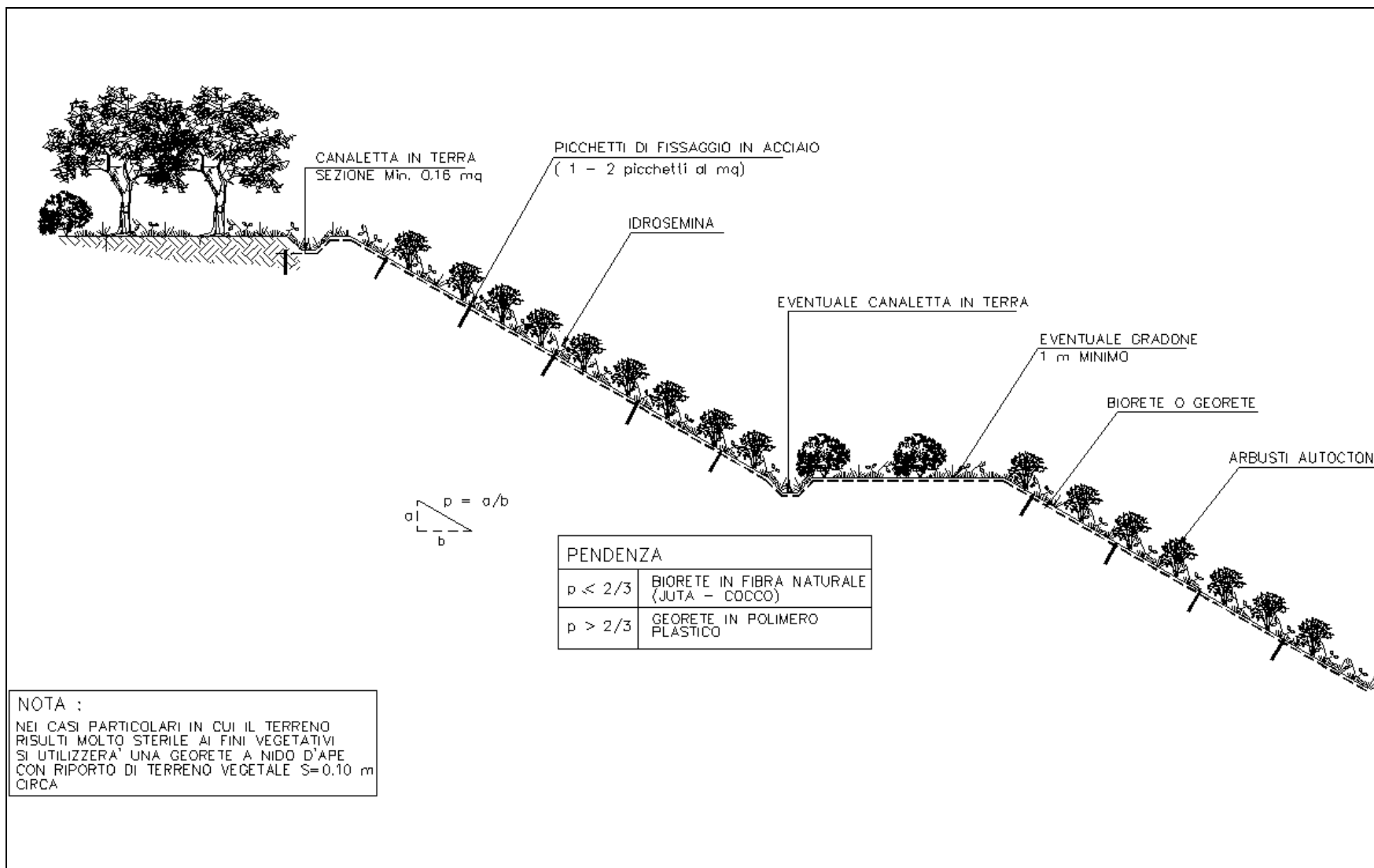


### Quaderno delle opere tipo

Disegno: **B\_1\_06**

1 di 1

- B** Opere di sistemazione dei versanti
- B.1** Protezione superficiali
- B.1.06** Protezione dei versanti con reti e inerbimento

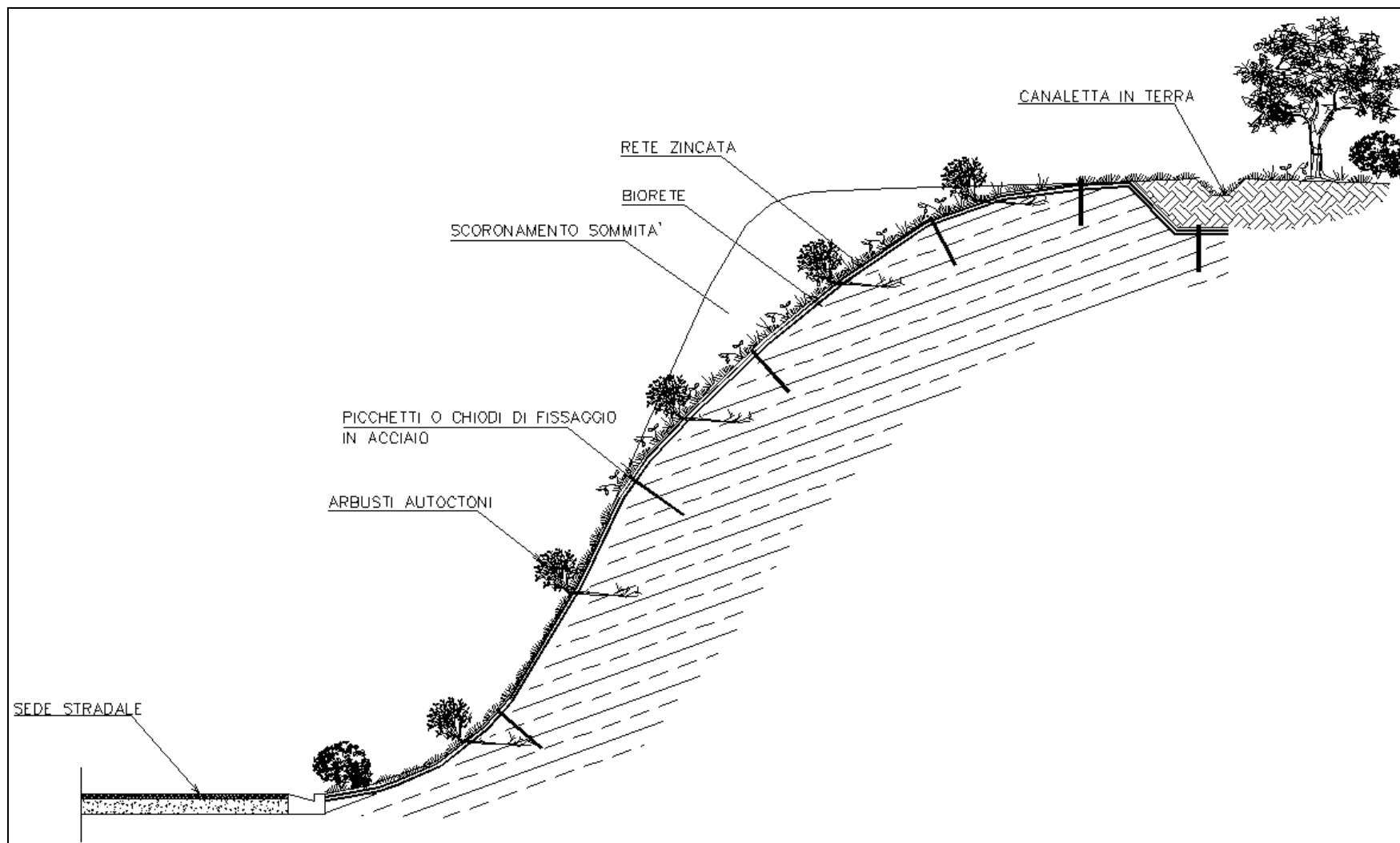




### Quaderno delle opere tipo

Disegno: **B\_1\_07**  
1 di 1

- B** Opere di sistemazione dei versanti
- B.1** Protezione superficiali
- B.1.07** Rete metallica di protezione

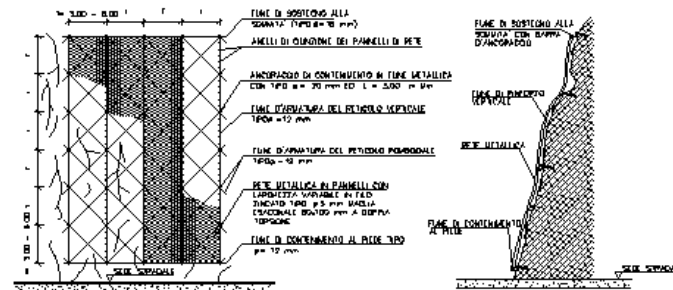




**Quaderno delle opere tipo**

Disegno: **B\_1\_08\_A**  
1 di 2

- B** Opere di sistemazione dei versanti
- B.1** Protezione superficiali
- B.1.08** Rete paramassi rinforzata con funi

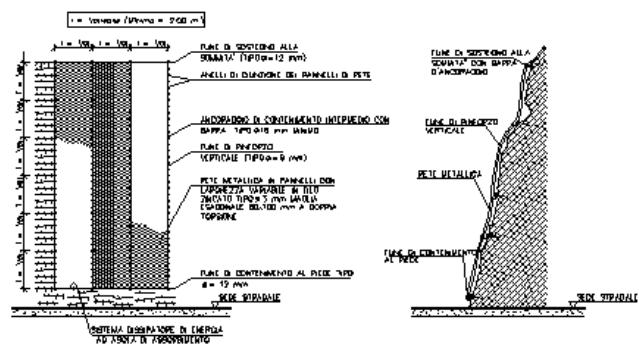




### Quaderno delle opere tipo

Disegno: **B\_1\_08\_B**  
2 di 2

- B** Opere di sistemazione dei versanti
- B.1** Protezione superficiali
- B.1.08** Rete paramassi rinforzata con funi







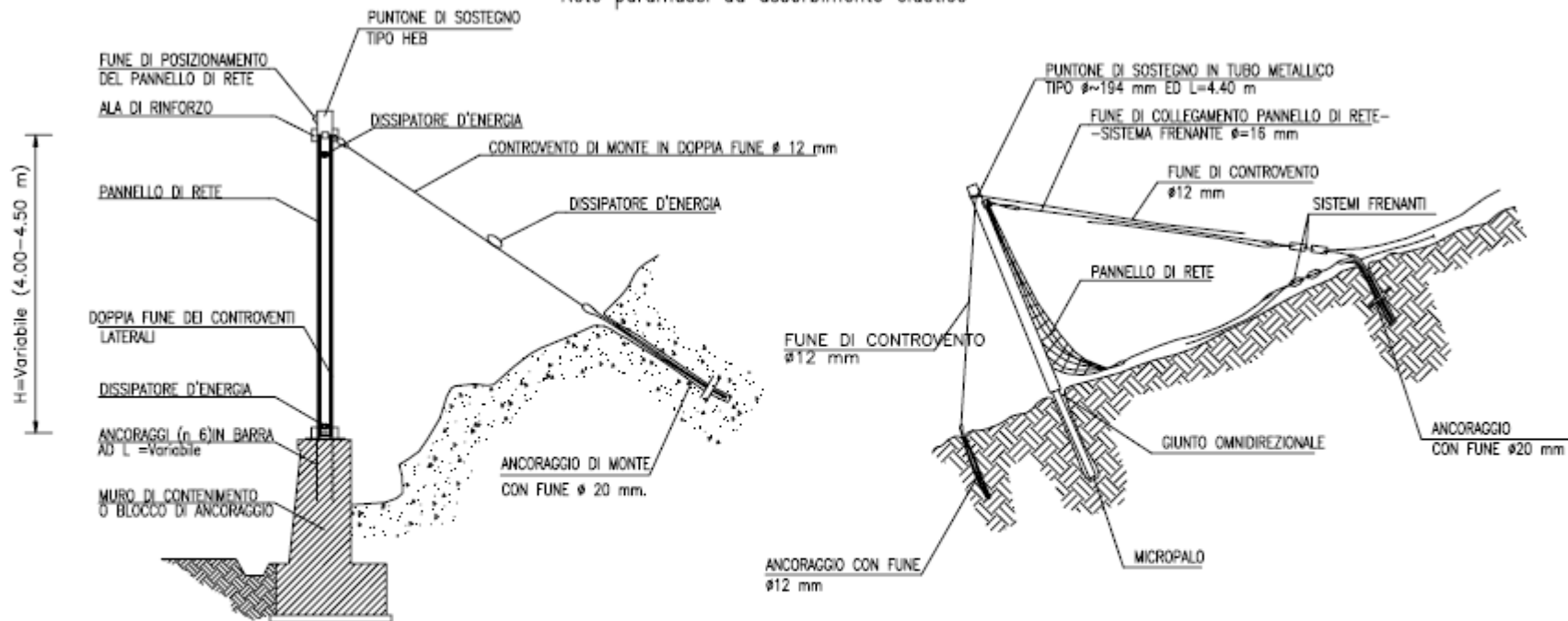
## Quaderno delle opere tipo

Disegno: **B\_1\_09**

1 di 1

**B** Opere di sistemazione dei versanti  
**B.1** Protezione superficiali  
**B.1.09** Rete paramassi ad assorbimento elastico

### Rete paramassi ad assorbimento elastico



NOTA :

- PANNELLO IN RETE DI FUNE TIPO  $\phi=8\div 10$  mm  
A MAGLIA 250x250 mm
- INTERASSE Max. DEI PUNTONI 5.00 m.

NOTA :

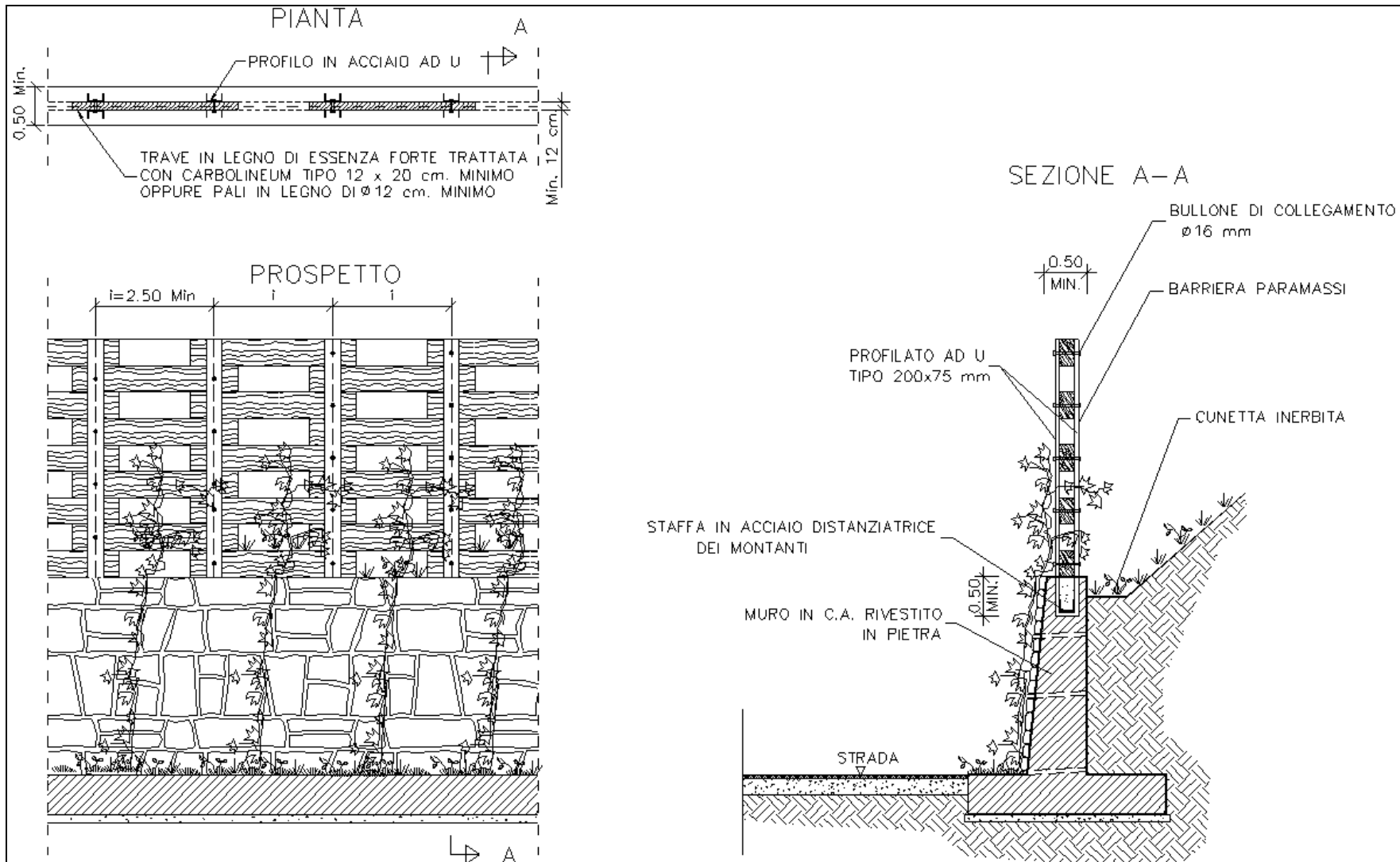
- PANNELLO DI RETE H = 5.00 m Max. E  
L = 8.00 m Max. IN FUNE METALLICA TIPO  
 $\phi$  10 mm A MAGLIA QUADRATA 250x250 mm
- INTERASSE Max. DEI PUNTONI 8.00 m.



**Quaderno delle opere tipo**

Disegno: **B\_1\_10**  
1 di 1

**B** Opere di sistemazione dei versanti  
**B.1** Protezione superficiali  
**B.1.10** Barriera paramassi

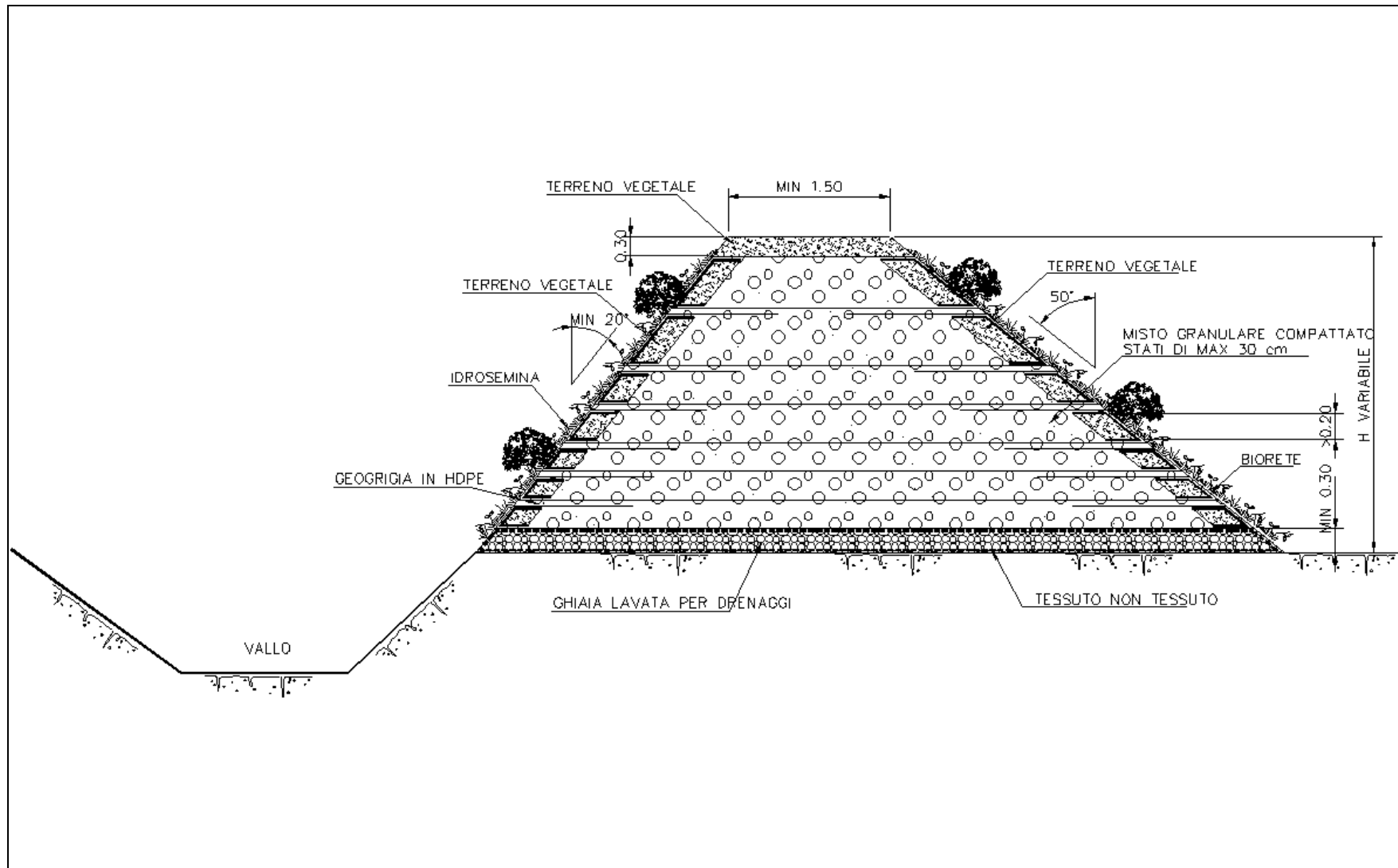




### Quaderno delle opere tipo

Disegno: **B\_1\_11**  
1 di 1

- B** Opere di sistemazione dei versanti
- B.1** Protezione superficiali
- B.1.11** Rilevato paramassi in terra rinforzata

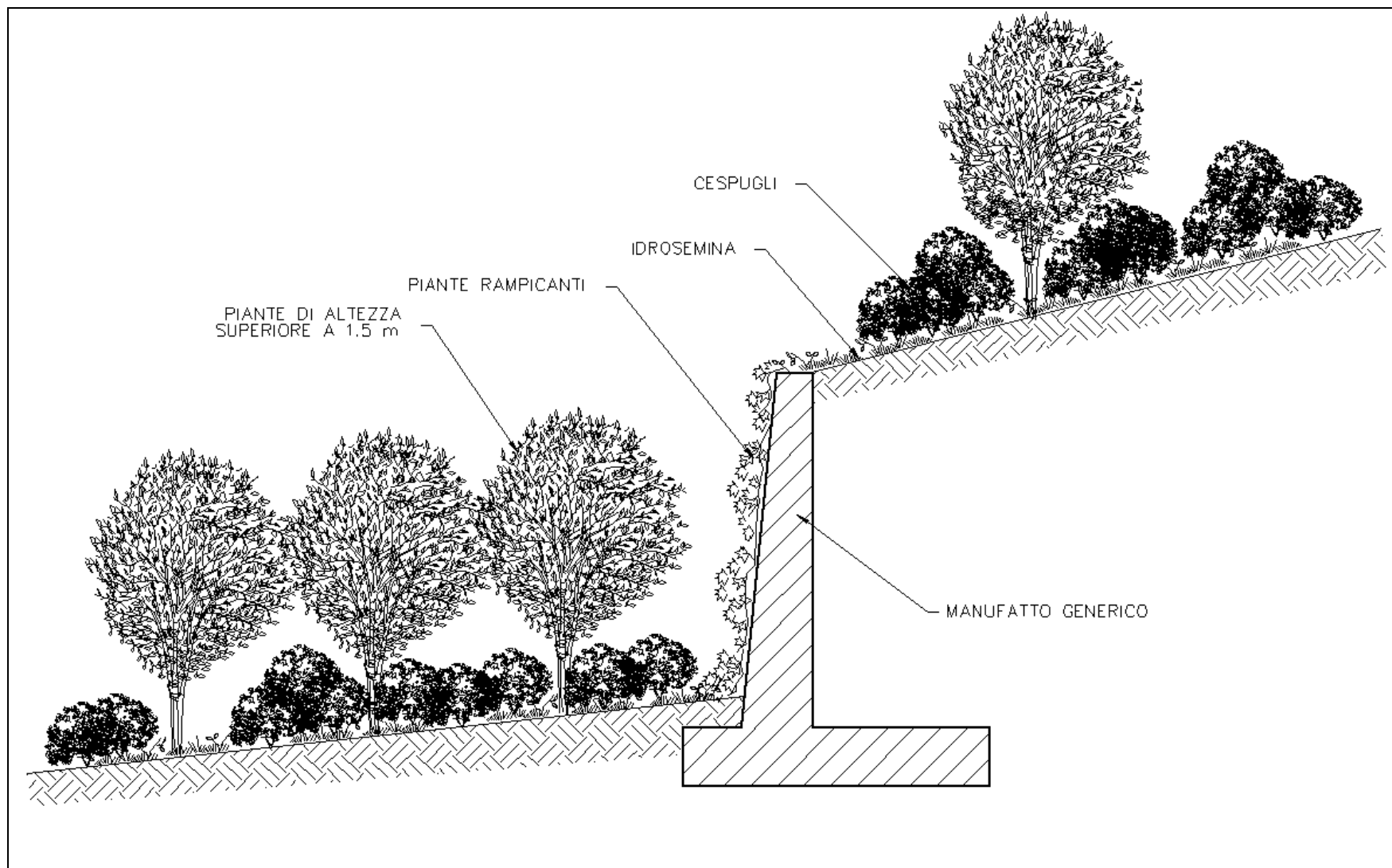




### Quaderno delle opere tipo

Disegno: **B\_1\_12**  
1 di 1

- B** Opere di sistemazione dei versanti
- B.1** Protezione superficiali
- B.1.12** Terra rinforzata con geosintetici

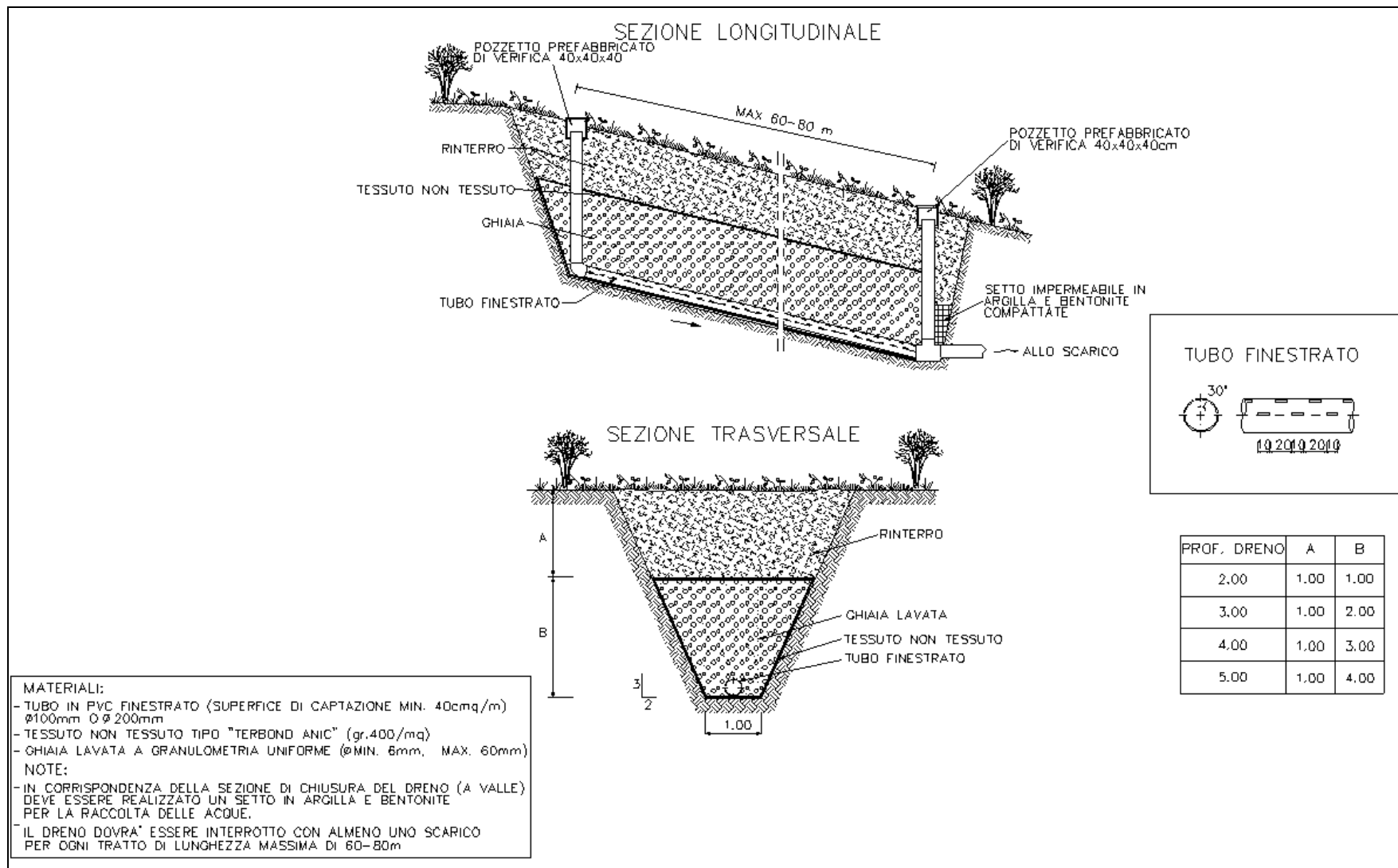




### Quaderno delle opere tipo

Disegno: **B\_2\_01**  
1 di 1

**B** Opere di sistemazione dei versanti  
**B.2** Opere di drenaggio  
**B.2.01** Trincea drenante

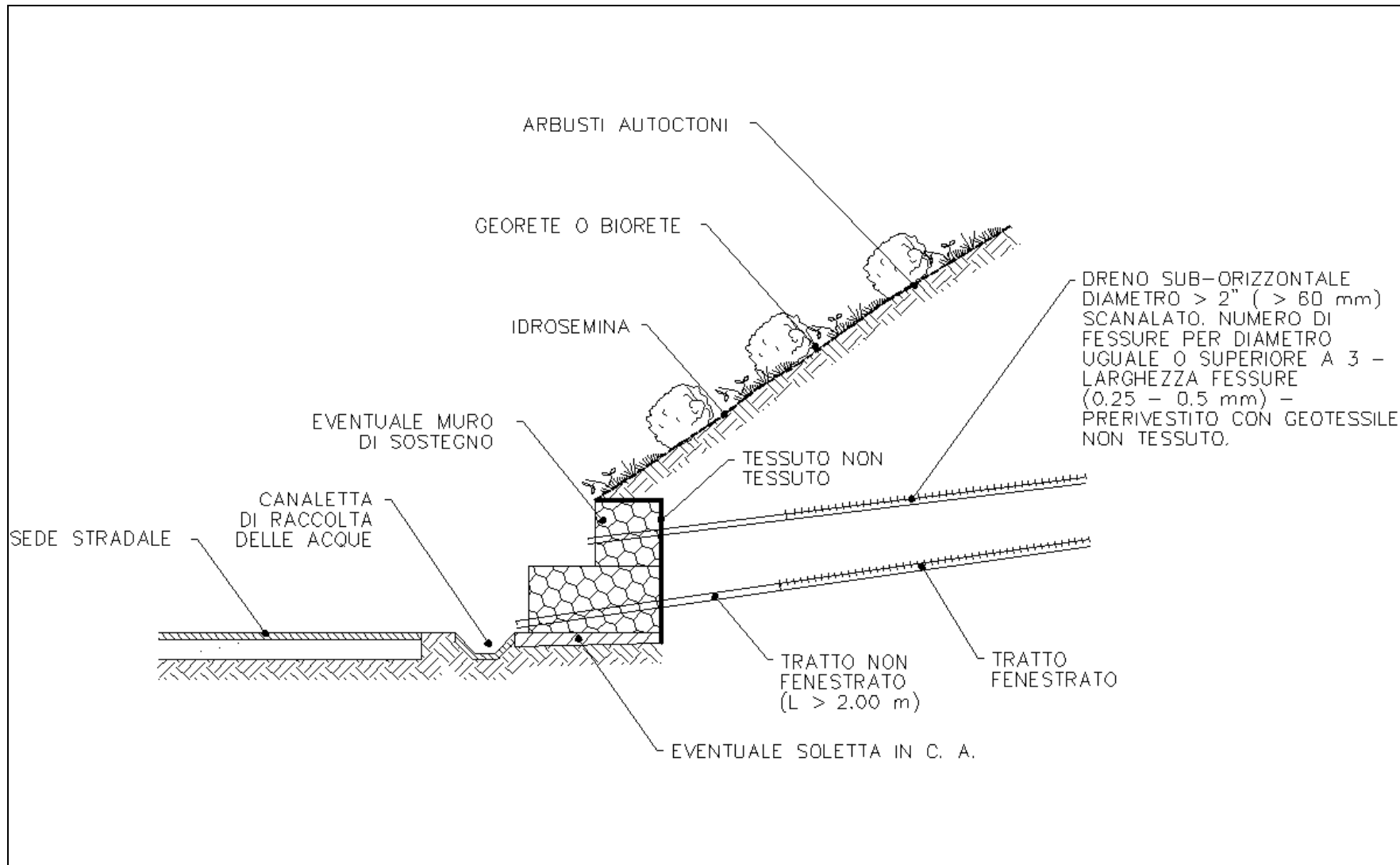




**Quaderno delle opere tipo**

Disegno: **B\_2\_02**  
1 di 1

- B** Opere di sistemazione dei versanti
- B.2** Opere di drenaggio
- B.2.02** Dreni suborizzontali



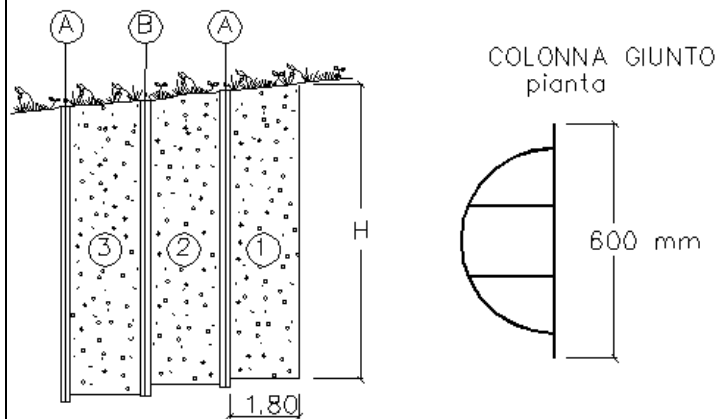


### Quaderno delle opere tipo

Disegno: **B\_2\_03**  
1 di 1

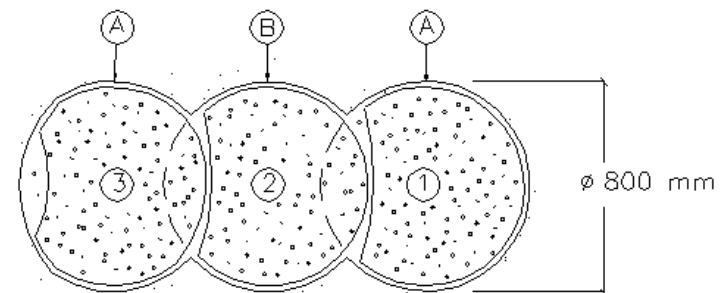
**B** Opere di sistemazione dei versanti  
**B.2** Opere di drenaggio  
**B.2.03** Diaframma drenante

#### MODALITA' ESECUTIVE DEI DIAFRAMMI DRENANTI A BENNA MORDENTE



- FASE 1 Scavo del pannello ①
- " 2 Posa in opera della colonna giunto (A)
  - " 3 Riempimento con materiale drenante del pannello ①
  - " 4 Scavo del pannello ②
  - " 5 Posa in opera della colonna giunto (B)
  - " 6 Riempimento con materiale drenante del pannello ②
  - " 7 Estrazione della colonna giunto (A)
  - " 8 Scavo del pannello ③
  - " 9 Posa in opera della colonna giunto (A)
  - " 10 Riempimento con materiale drenante del pannello ③

#### MODALITA' ESECUTIVE DEI DIAFRAMMI DRENANTI A PALI SECANTI



- FASE 1 Scavo del palo ①
- " 2 Posa in opera del tubo gobbo (A)
  - " 3 Riempimento con materiale drenante del palo ①
  - " 4 Scavo del palo ②
  - " 5 Posa in opera del tubo gobbo (B)
  - " 6 Riempimento con materiale drenante del palo ②
  - " 7 Estrazione del tubo gobbo (A)
  - " 8 Scavo del palo ③
  - " 9 Posa in opera del tubo gobbo (A)
  - " 10 Riempimento con materiale drenante del palo ③

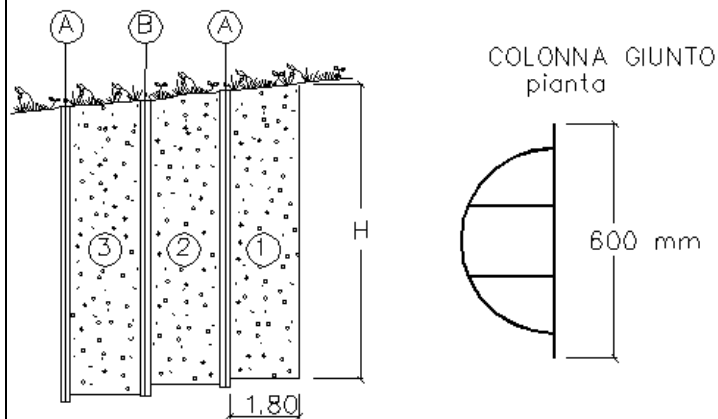


### Quaderno delle opere tipo

Disegno: **B\_2\_04**  
1 di 1

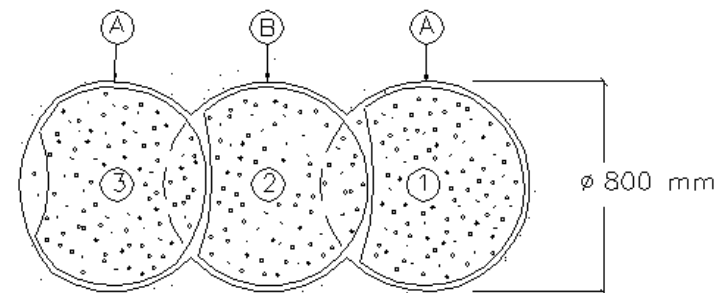
**B** Opere di sistemazione dei versanti  
**B.2** Opere di drenaggio  
**B.2.04** Pozzo profondo

#### MODALITA' ESECUTIVE DEI DIAFRAMMI DRENANTI A BENNA MORDENTE



- FASE 1 Scavo del pannello ①
- " 2 Posa in opera della colonna giunto (A)
  - " 3 Riempimento con materiale drenante del pannello ①
  - " 4 Scavo del pannello ②
  - " 5 Posa in opera della colonna giunto (B)
  - " 6 Riempimento con materiale drenante del pannello ②
  - " 7 Estrazione della colonna giunto (A)
  - " 8 Scavo del pannello ③
  - " 9 Posa in opera della colonna giunto (A)
  - " 10 Riempimento con materiale drenante del pannello ③

#### MODALITA' ESECUTIVE DEI DIAFRAMMI DRENANTI A PALI SECANTI



- FASE 1 Scavo del palo ①
- " 2 Posa in opera del tubo gobbo (A)
  - " 3 Riempimento con materiale drenante del palo ①
  - " 4 Scavo del palo ②
  - " 5 Posa in opera del tubo gobbo (B)
  - " 6 Riempimento con materiale drenante del palo ②
  - " 7 Estrazione del tubo gobbo (A)
  - " 8 Scavo del palo ③
  - " 9 Posa in opera del tubo gobbo (A)
  - " 10 Riempimento con materiale drenante del palo ③





### Quaderno delle opere tipo

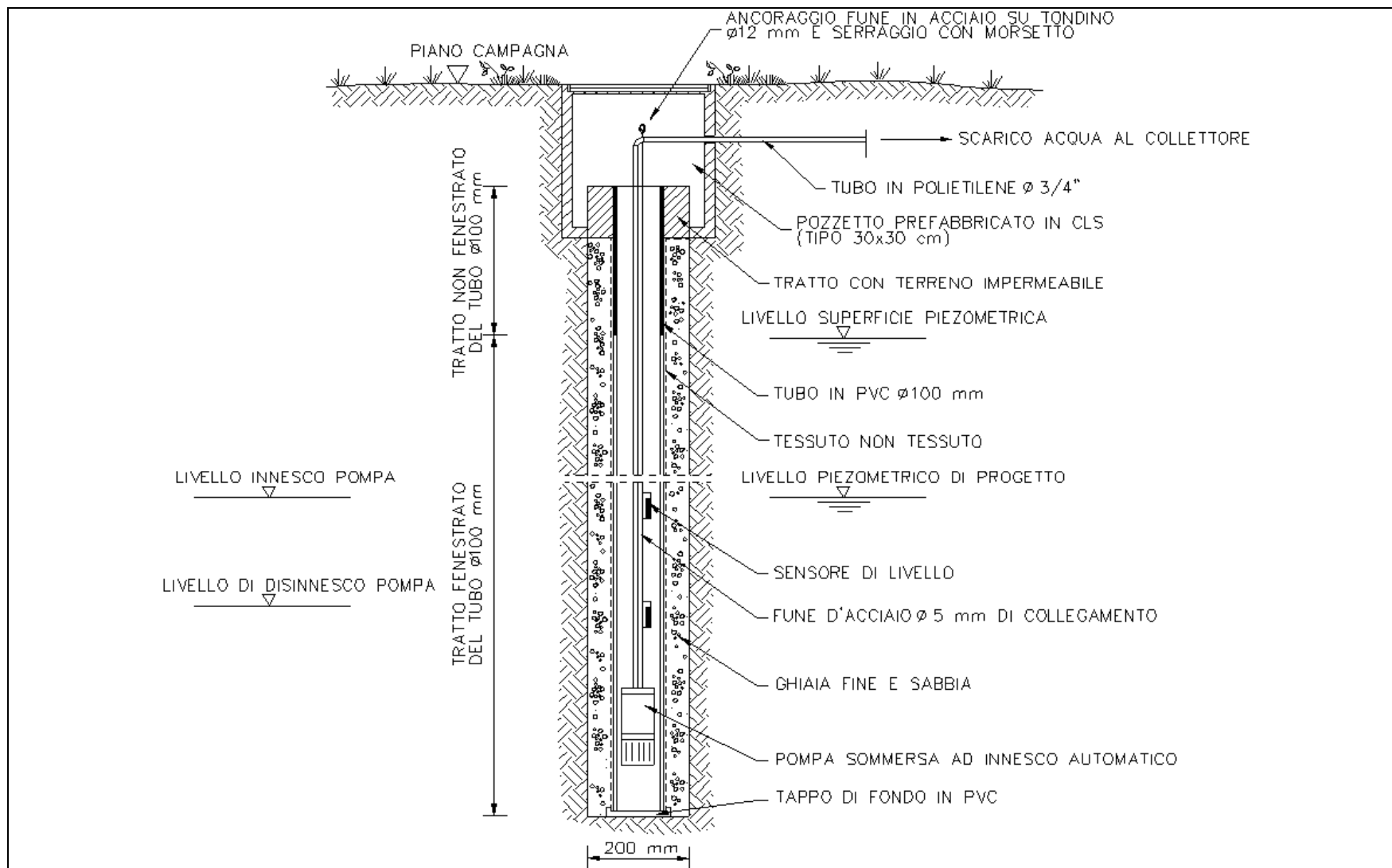
Disegno: **B\_2\_05**

1 di 1

**B** Opere di sistemazione dei versanti

**B.2** Opere di drenaggio

**B.2.05** Pozzo con pompa autoinnescante

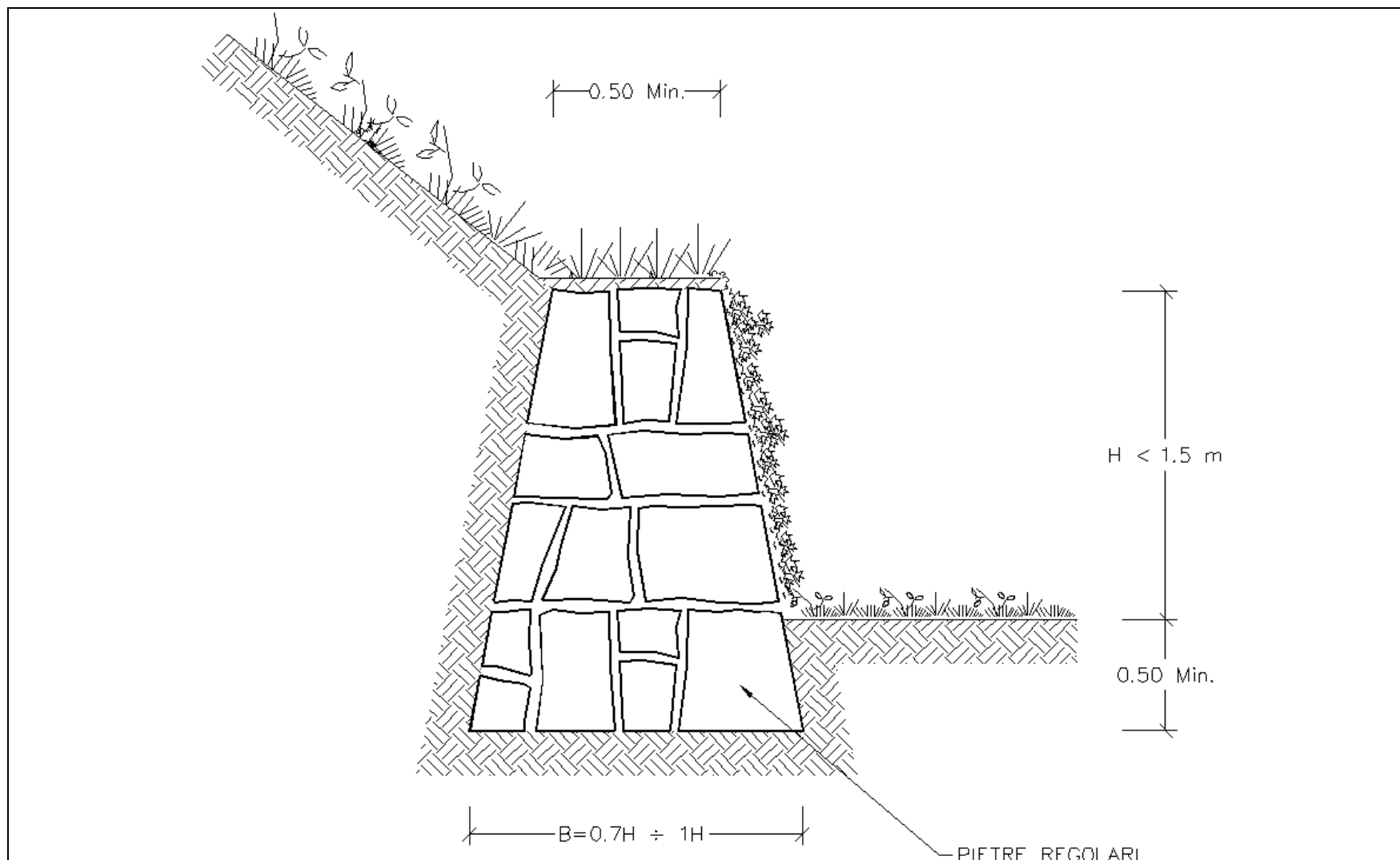




**Quaderno delle opere tipo**

Disegno: **B\_3\_01**  
1 di 1

- B** Opere di sistemazione dei versanti
- B.3** Opere di sostegno
- B.3.01** Muro a secco





### Quaderno delle opere tipo

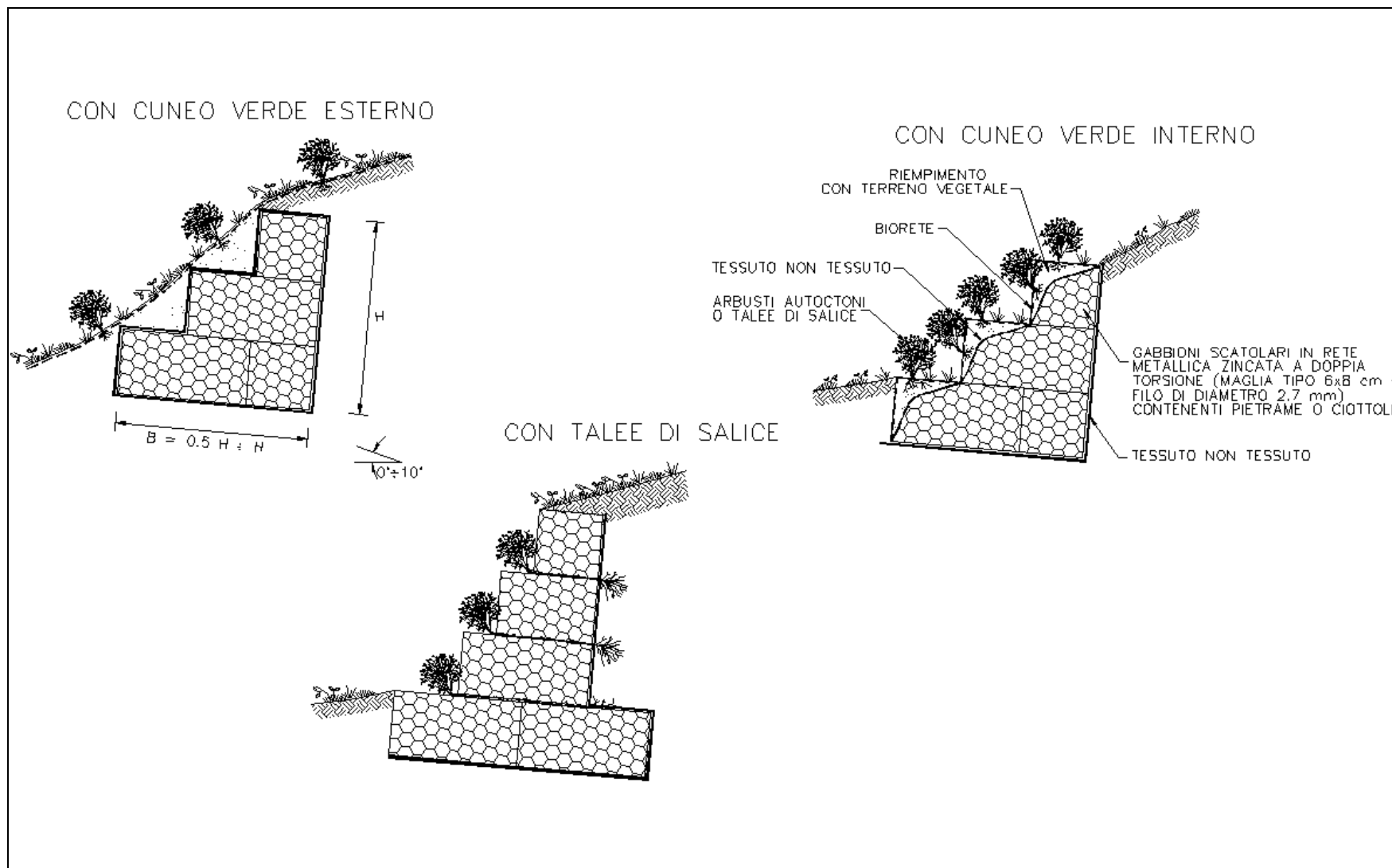
Disegno: **B\_3\_02**

1 di 1

**B** Opere di sistemazione dei versanti

**B.3** Opere di sostegno

**B.3.02** Muro in gabbioni

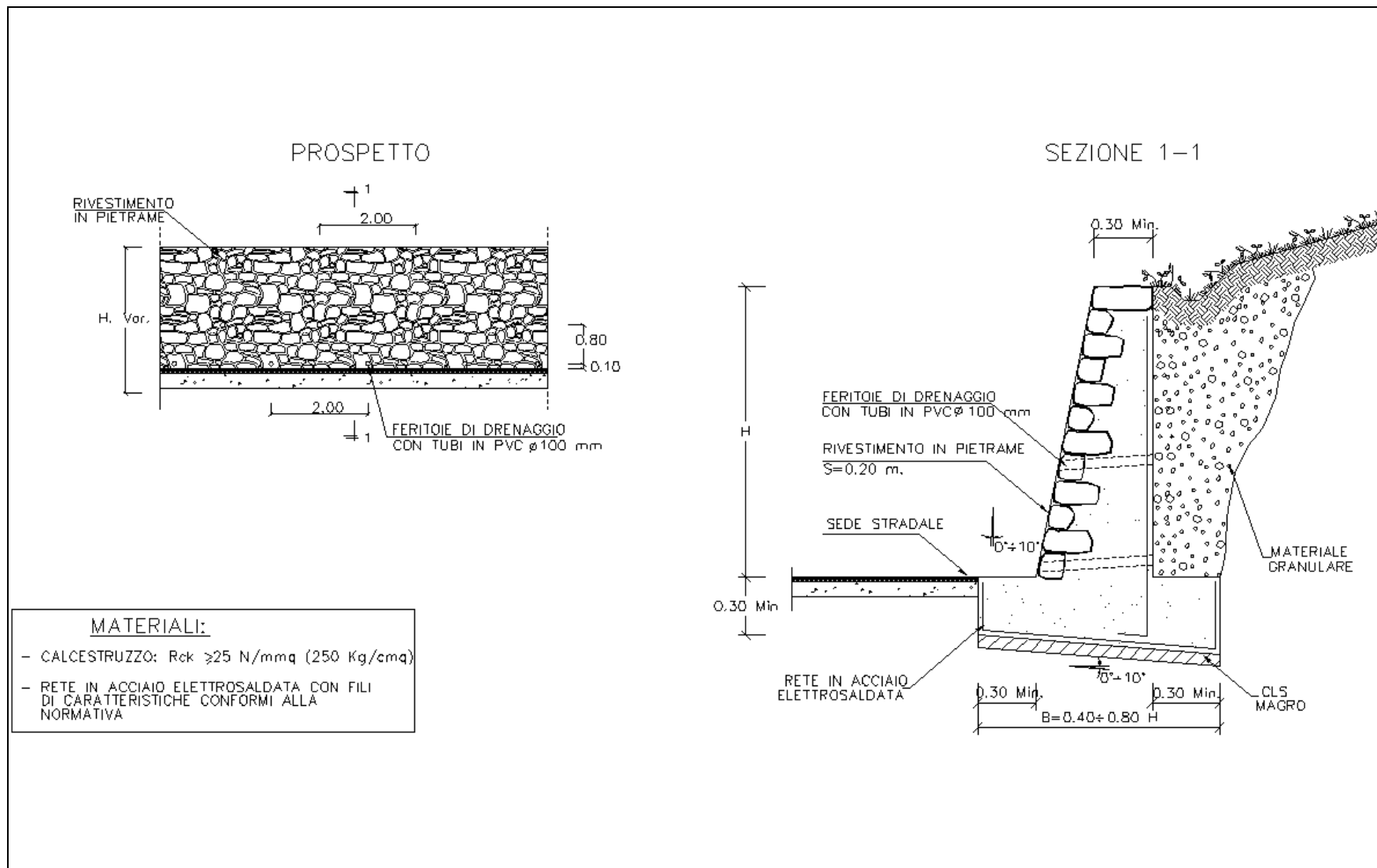




### Quaderno delle opere tipo

Disegno: **B\_3\_03**  
1 di 1

**B** Opere di sistemazione dei versanti  
**B.3** Opere di sostegno  
**B.3.03** Muro in calcestruzzo





### Quaderno delle opere tipo

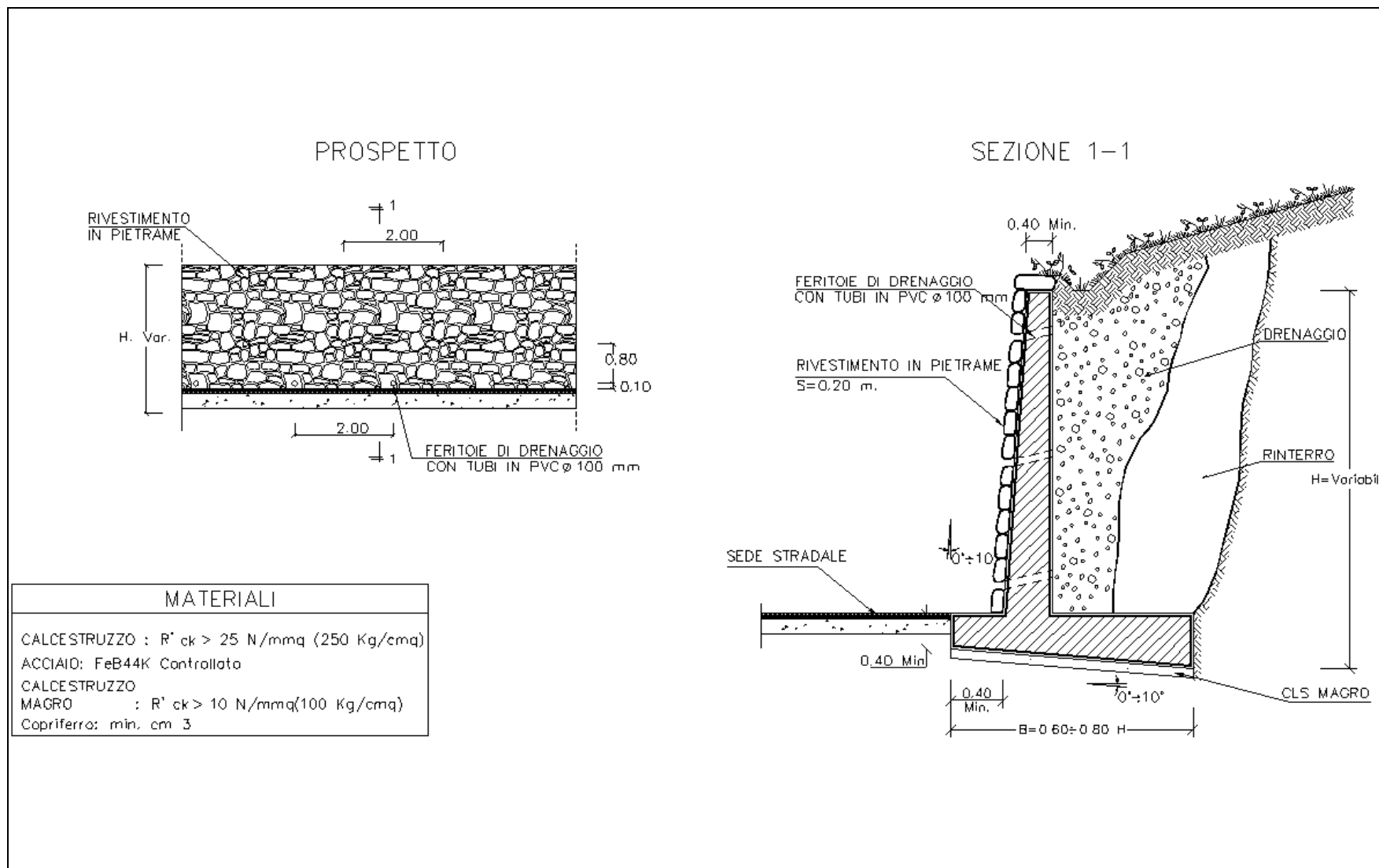
Disegno: **B\_3\_04**

1 di 1

**B** Opere di sistemazione dei versanti

**B.3** Opere di sostegno

**B.3.04** Muro in c.a. rivetito in pietrame

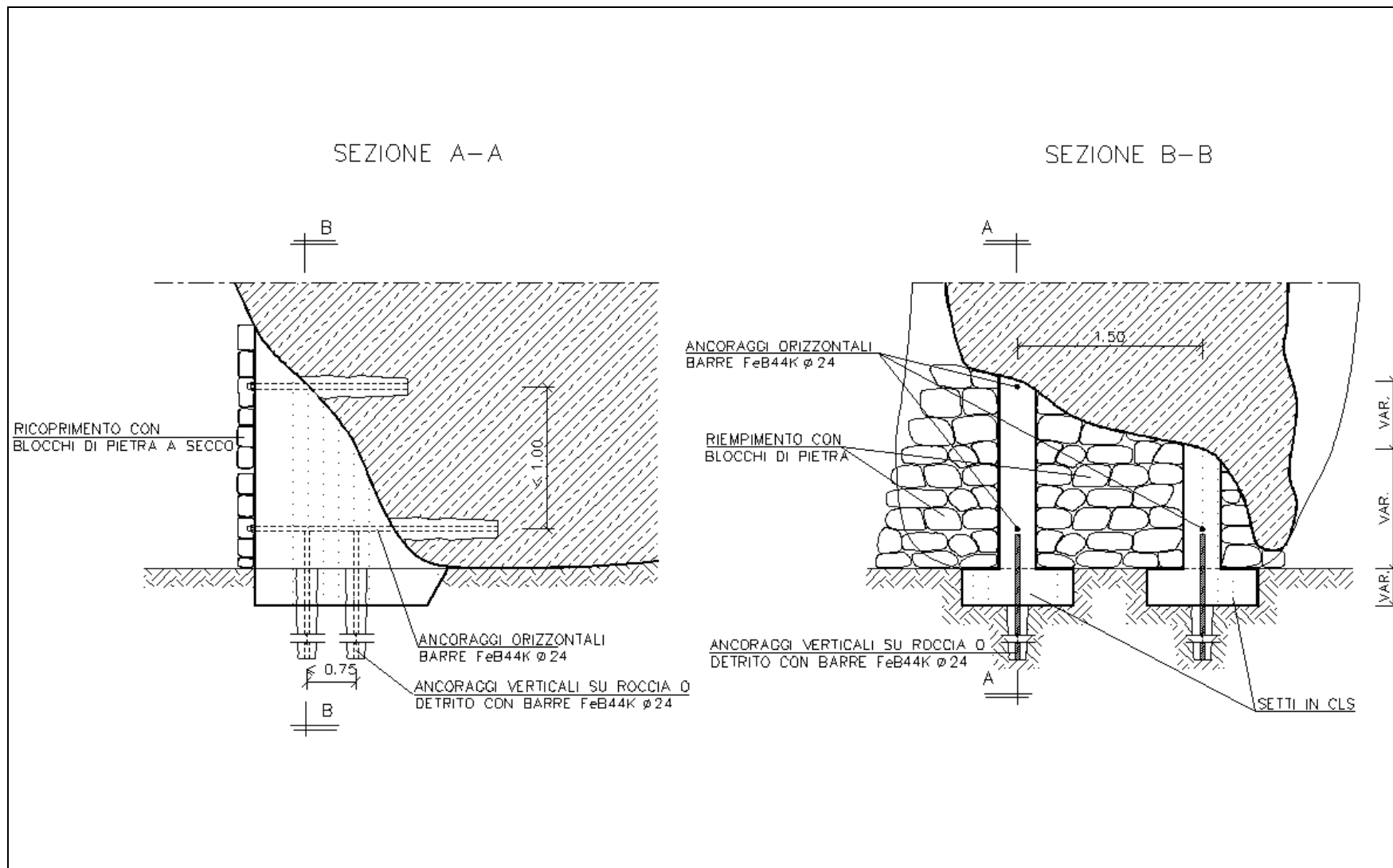




### Quaderno delle opere tipo

Disegno: **B\_3\_05**  
1 di 1

- |               |                                    |
|---------------|------------------------------------|
| <b>B</b>      | Opere di sistemazione dei versanti |
| <b>B.3</b>    | Opere di sostegno                  |
| <b>B.3.05</b> | Sottomurazione blocchi instabili   |



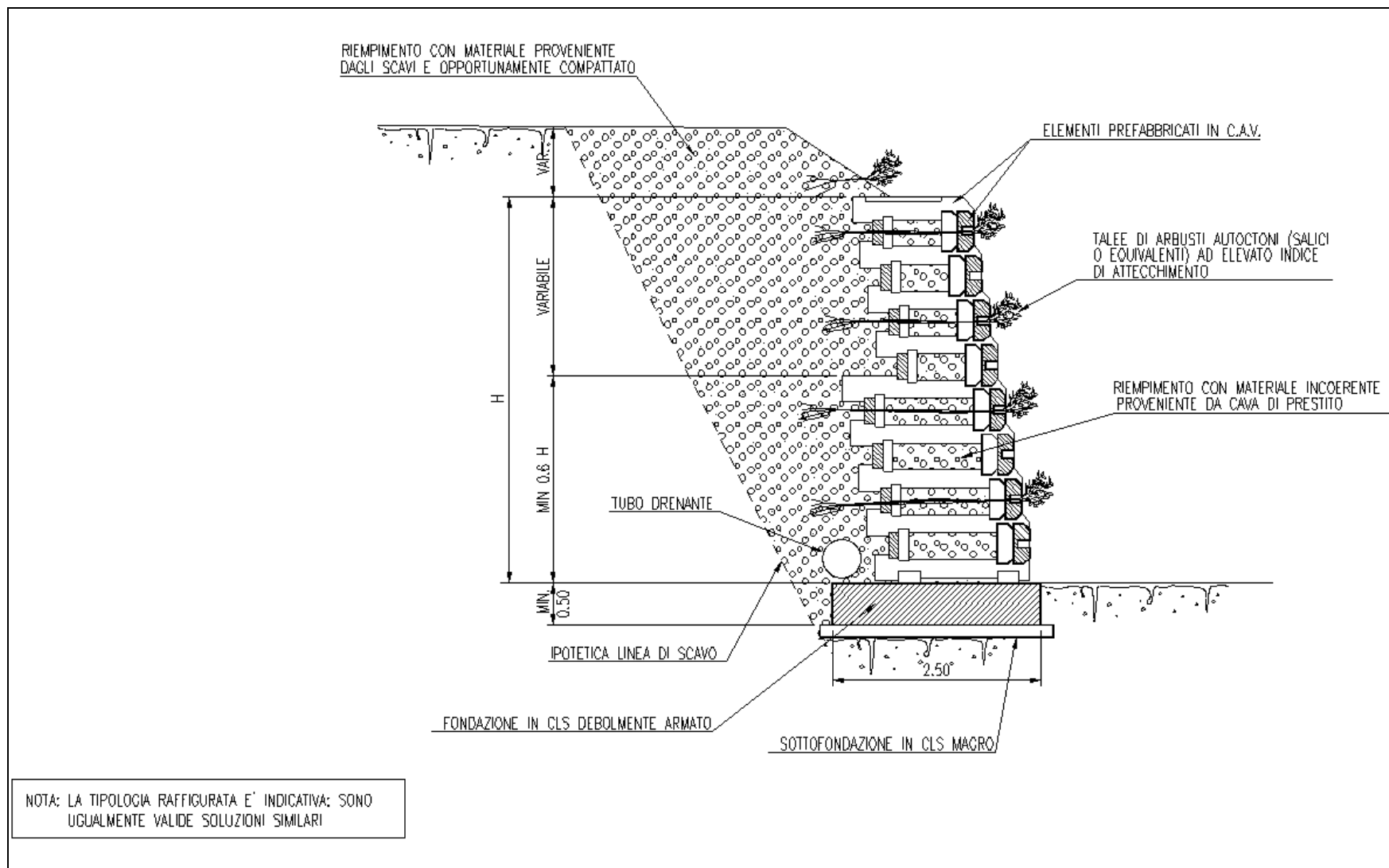


### Quaderno delle opere tipo

Disegno: **B\_3\_06**

1 di 1

- B** Opere di sistemazione dei versanti
- B.3** Opere di sostegno
- B.3.06** Muro di sostegno in elementi prefabbricati

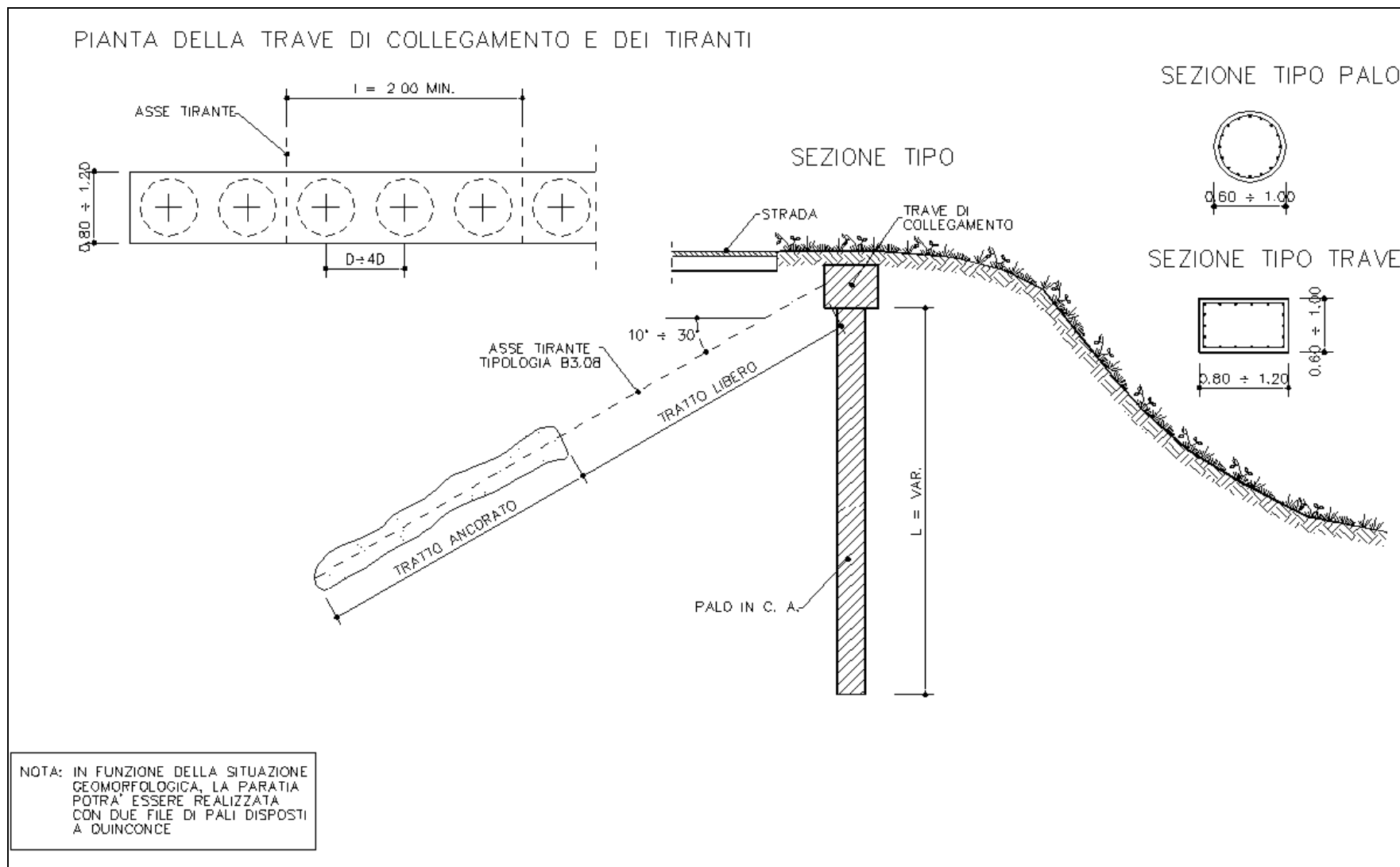




### Quaderno delle opere tipo

Disegno: **B\_3\_07**  
1 di 1

**B** Opere di sistemazione dei versanti  
**B.3** Opere di sostegno  
**B.3.07** Paratie di pali



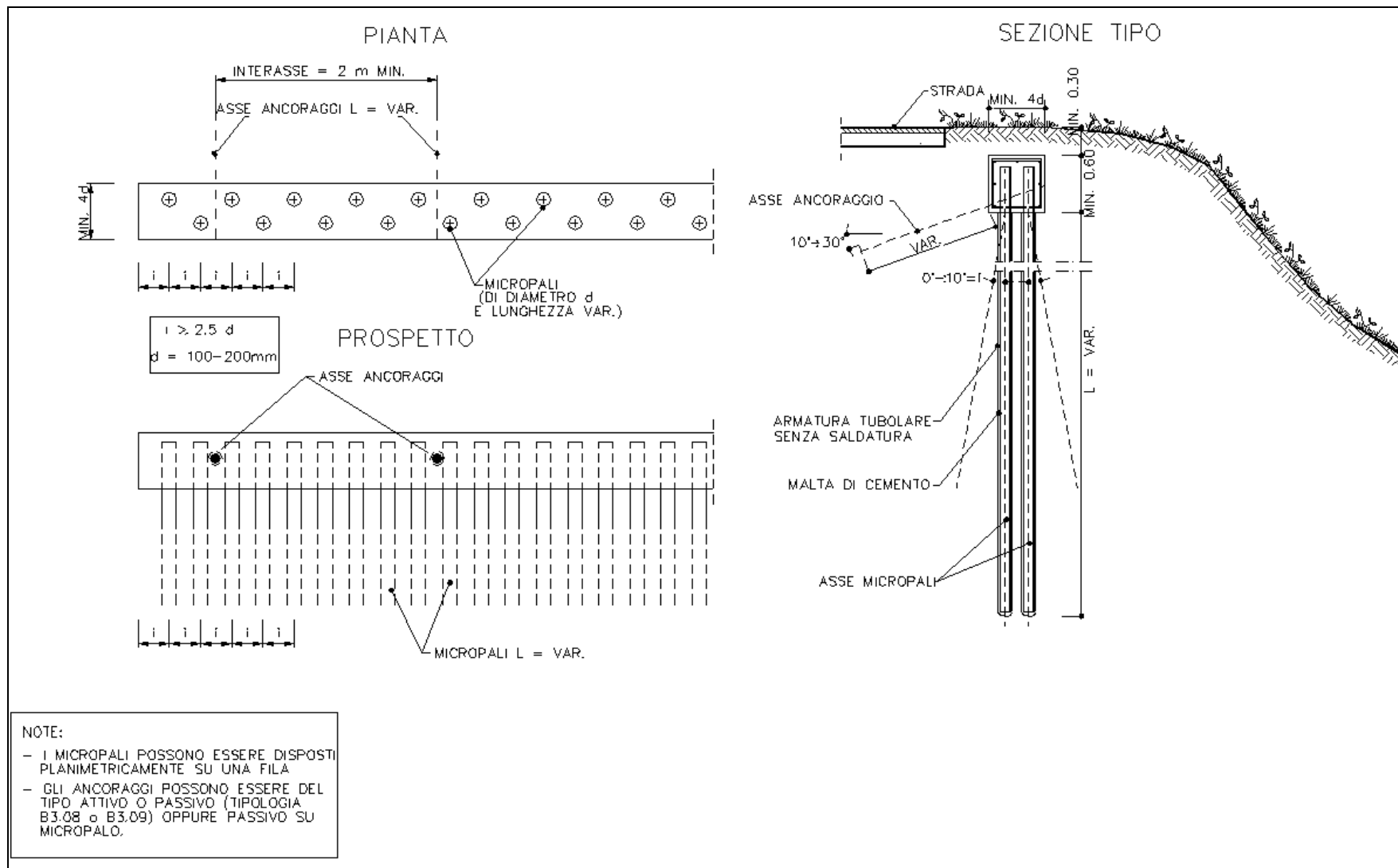




### Quaderno delle opere tipo

Disegno: **B\_3\_08**  
1 di 1

- B** Opere di sistemazione dei versanti
- B.3** Opere di sostegno
- B.3.08** Paratie di micropali

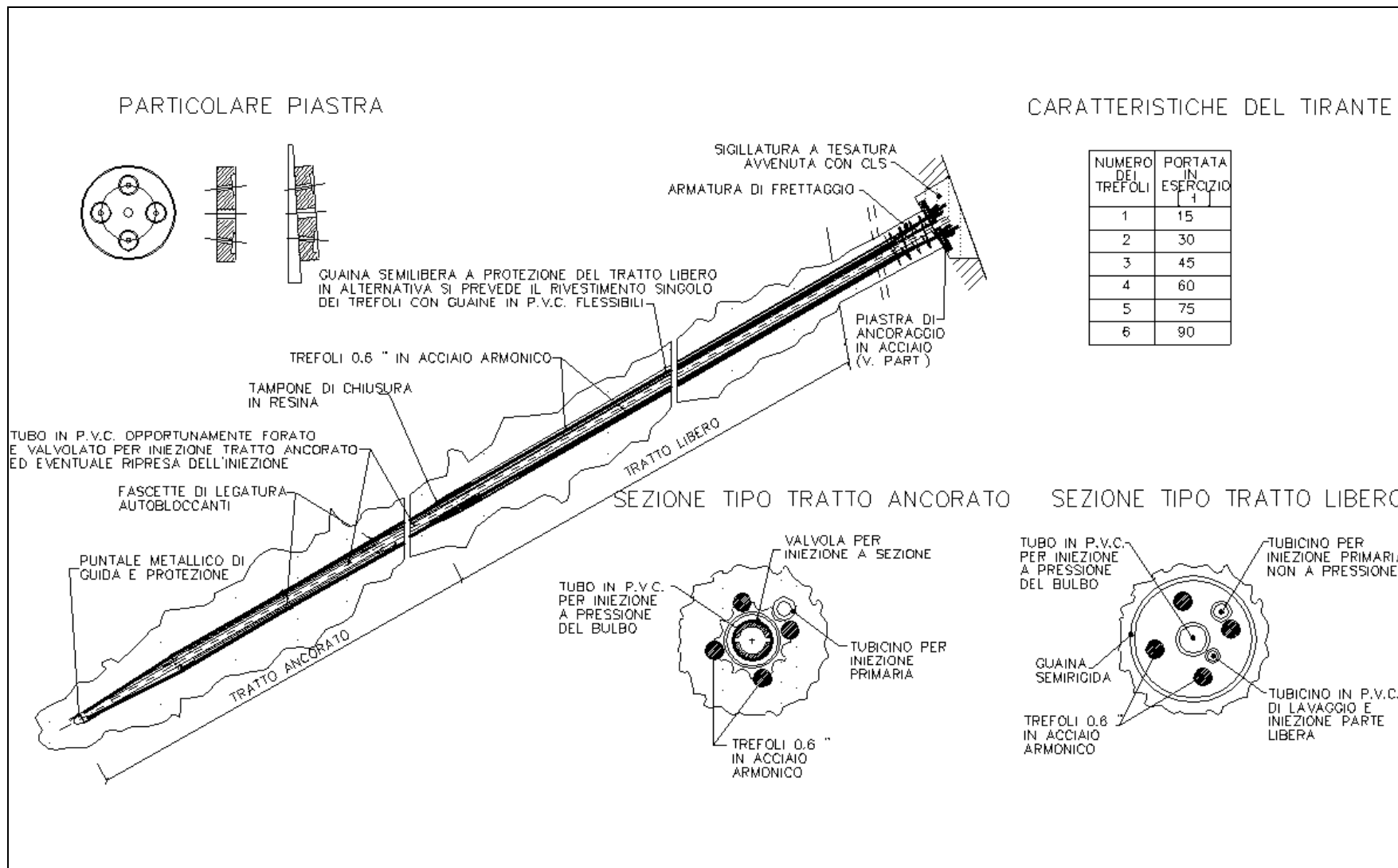




### Quaderno delle opere tipo

Disegno: **B\_3\_09**  
1 di 1

**B** Opere di sistemazione dei versanti  
**B.3** Opere di sostegno  
**B.3.09** Tiranti

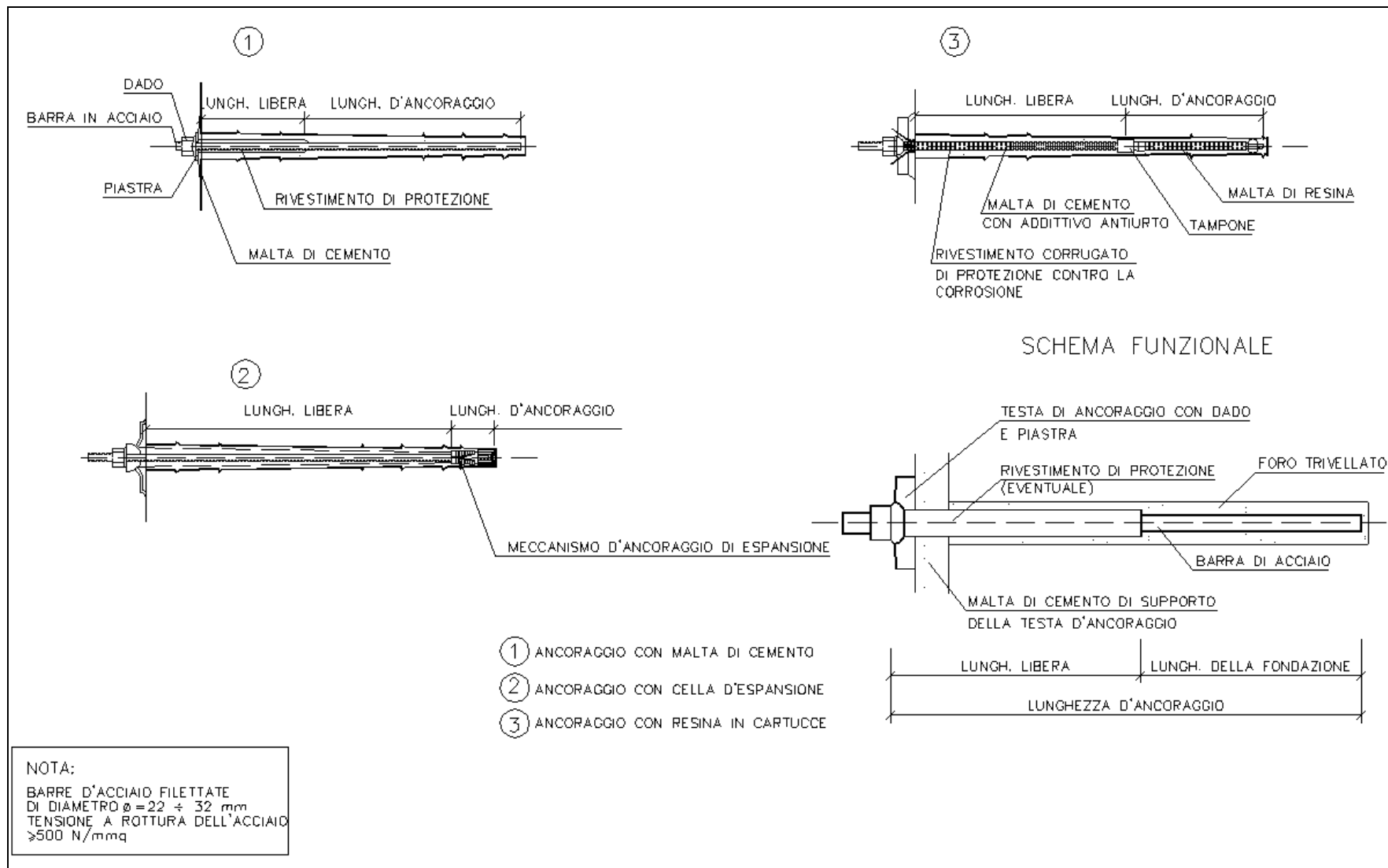




### Quaderno delle opere tipo

Disegno: **B\_3\_10**  
1 di 1

**B** Opere di sistemazione dei versanti  
**B.3** Opere di sostegno  
**B.3.10** Chiodature

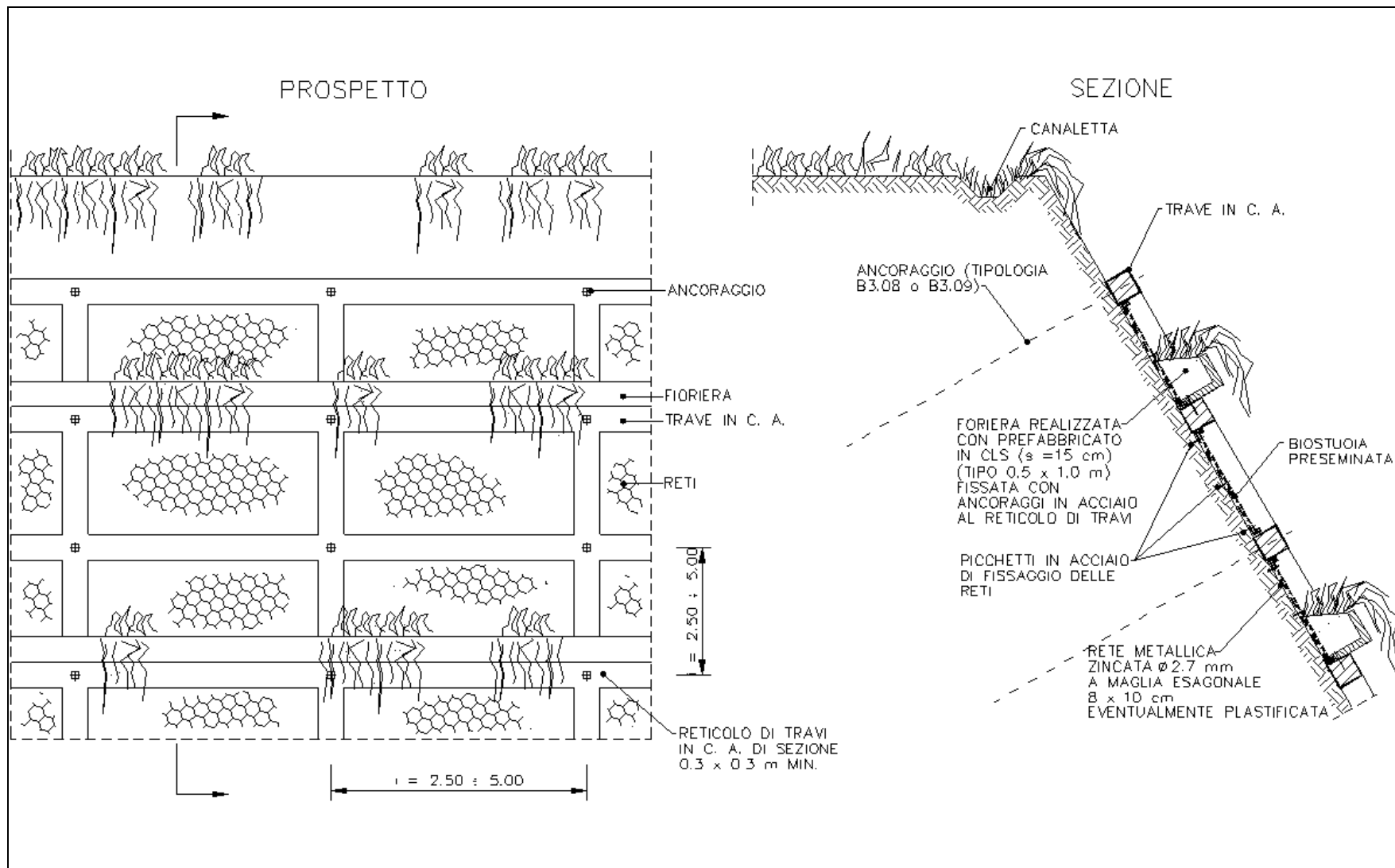




### Quaderno delle opere tipo

Disegno: **B\_3\_11**  
1 di 1

**B** Opere di sistemazione dei versanti  
**B.3** Opere di sostegno  
**B.3.11** Reticolo di travi ancorate



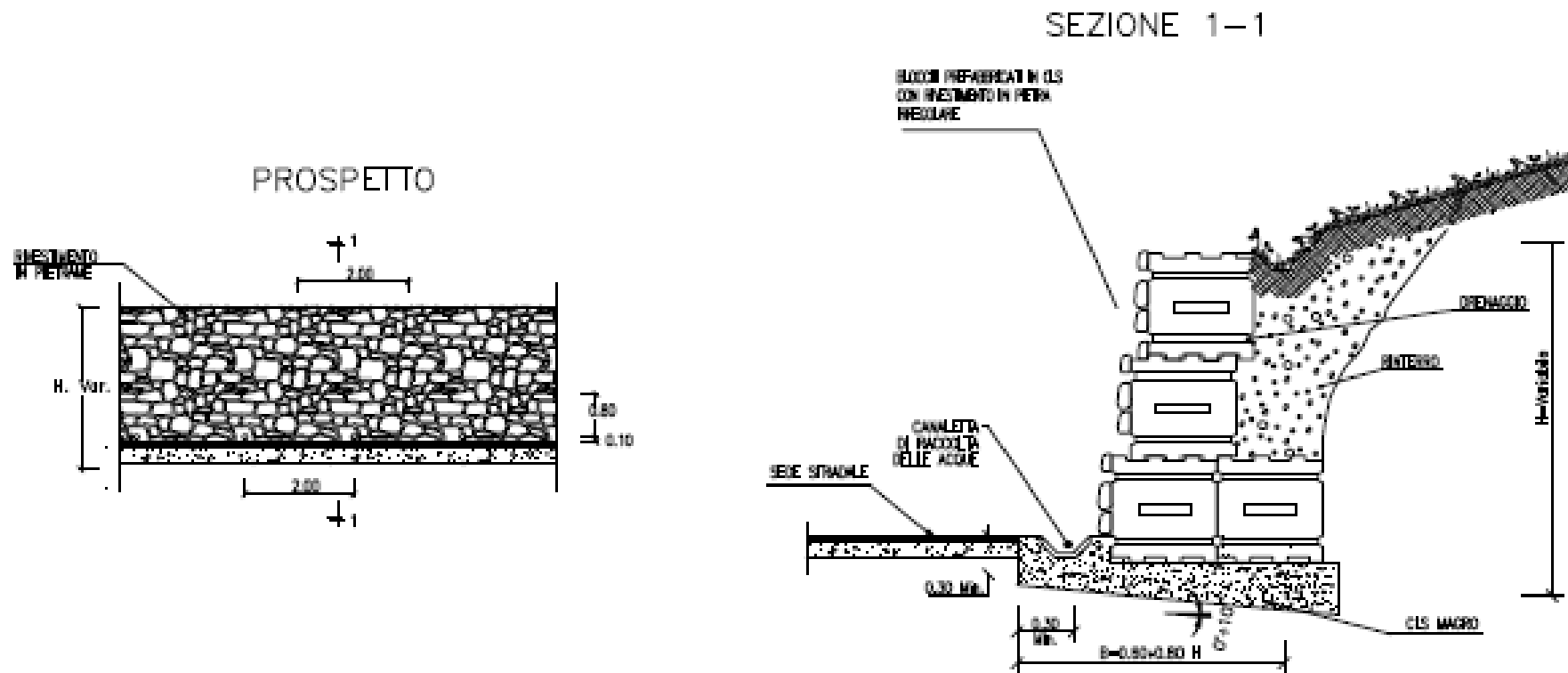


### Quaderno delle opere tipo

Disegno: **B\_3\_12**

1 di 1

- B** Opere di sistemazione dei versanti
- B.3** Opere di sostegno
- B.3.12** Muro realizzato con blocchi in cls prefabbricati

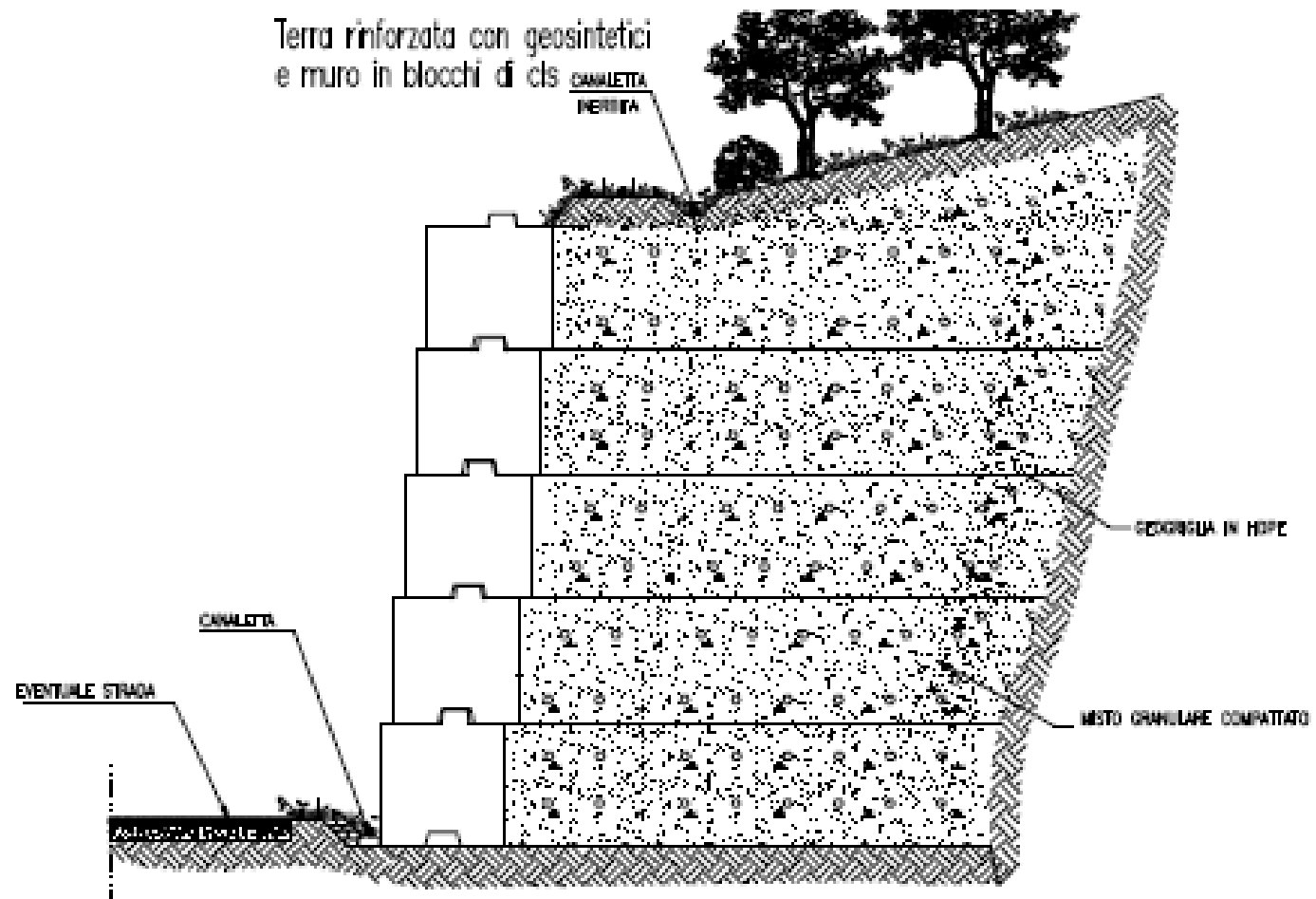




## Quaderno delle opere tipo

Disegno: **B\_3\_13**  
1 di 1

- |               |  |
|---------------|--|
| <b>B</b>      | Opere di sistemazione dei versanti                         |
| <b>B.3</b>    | Opere di sostegno  |
| <b>B.3.13</b> | Terra rinforzata con geosintetici e muro in blocchi in cls |



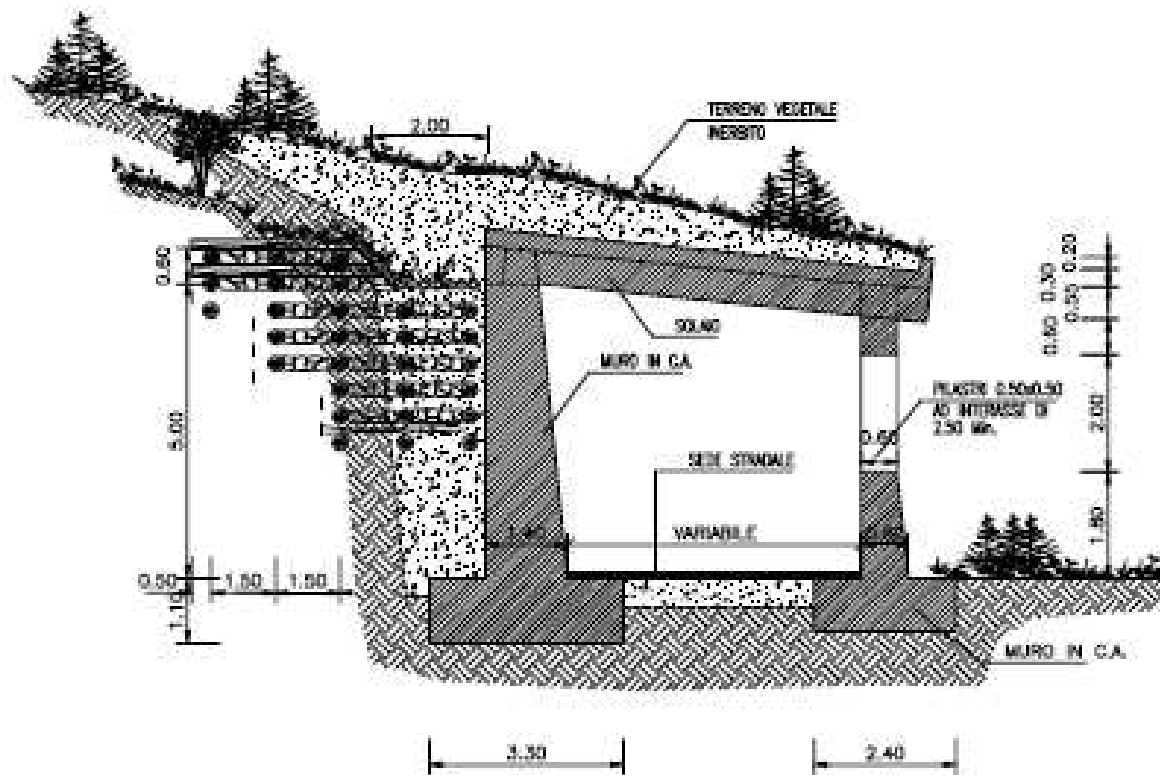


### Quaderno delle opere tipo

Disegno: **B\_3\_14**  
1 di 1

- B** Opere di sistemazione dei versanti
- B.3** Opere di sostegno
- B.3.14** Galleria stradale di protezione

#### Galleria stradale di protezione



NOTA:  
LE MISURE SONO INDICATIVE  
E SARANNO ADATTATE  
ALLE SITUAZIONI  
CONTINGENTI LOCALI

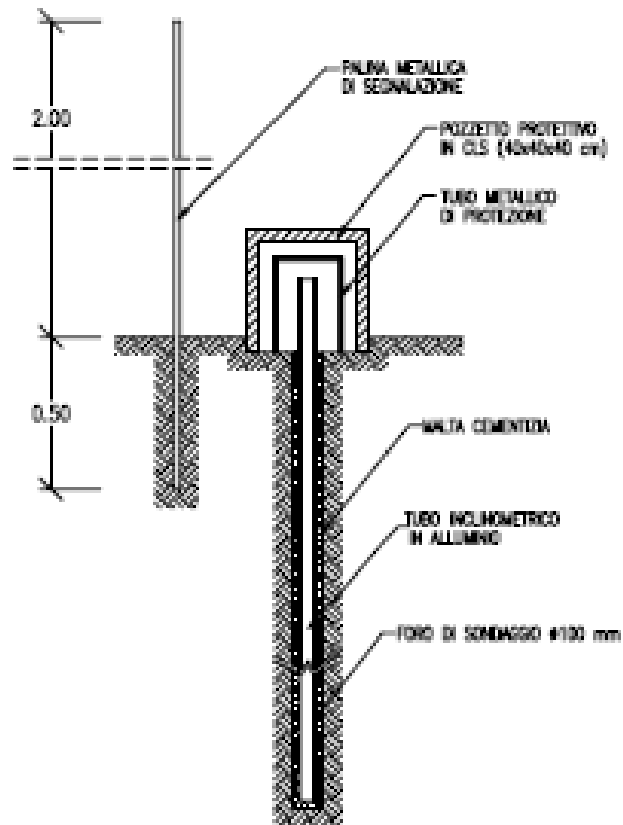


## Quaderno delle opere tipo

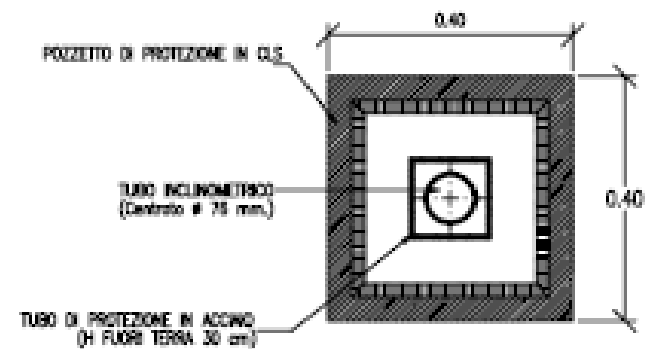
Disegno: **B\_4\_1**  
1 di 1

B Opere di sistemazione dei versanti  
B.4 Monitoraggio geotecnico  
B.4.1 Tubo inclinometrico

### Tubo inclinometrico



### PIANTA SCHEMATICA







### Quaderno delle opere tipo

Disegno: B\_4\_2

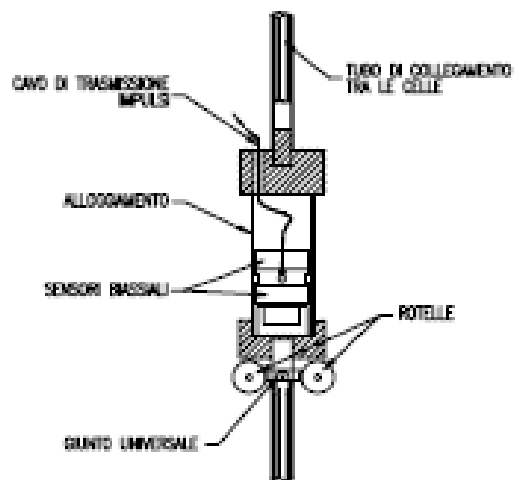
1 di 1

- B Opere di sistemazione dei versanti
- B.4 Monitoraggio geotecnico
- B.4.2 Inclinometro fisso

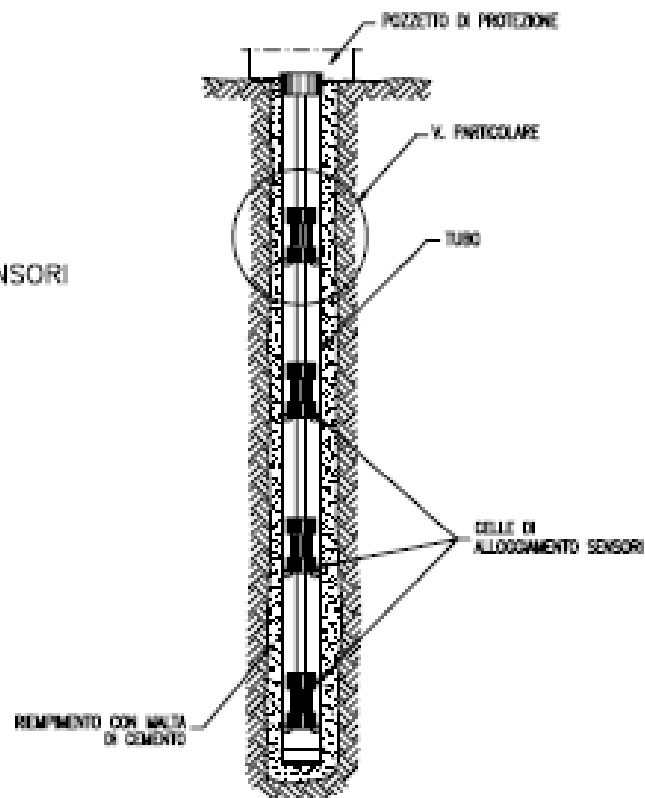
### Inclinometro fisso



### PARTICOLARE CELLA DI ALLOGGIAMENTO SENSORI



### SEZIONE TRASVERSALE





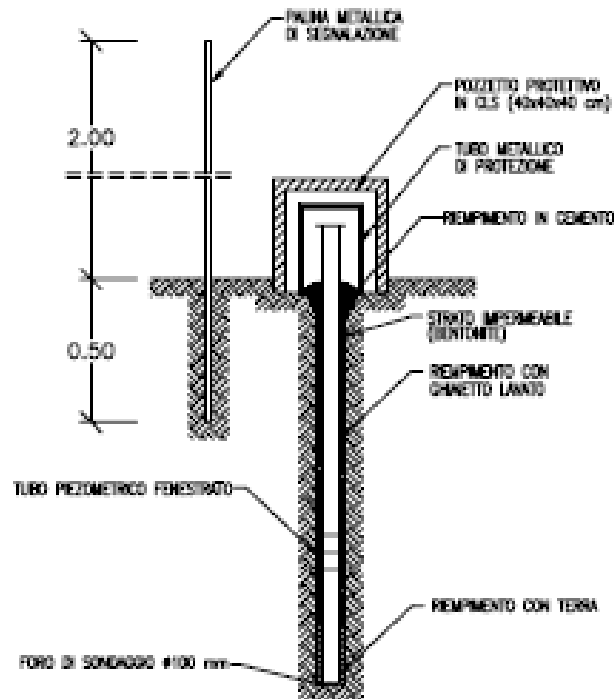
## Quaderno delle opere tipo

Disegno: B\_4\_3

1 di 1

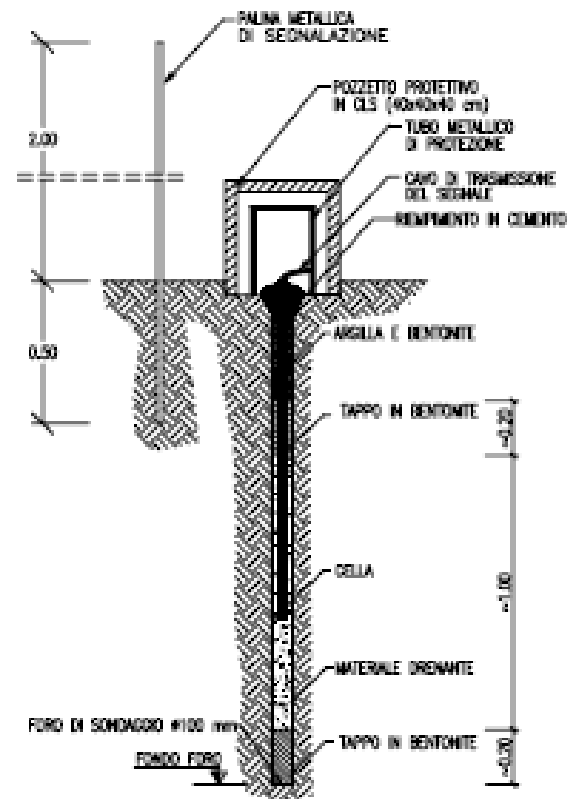
- B Opere di sistemazione dei versanti
- B.4 Monitoraggio geotecnico
- B.4.3 Piezometro

### SEZIONE SCHEMATICA PIEZOMETRO A TUBO APERTO



### Piezometro

### PIEZOMETRO ELETTRICO





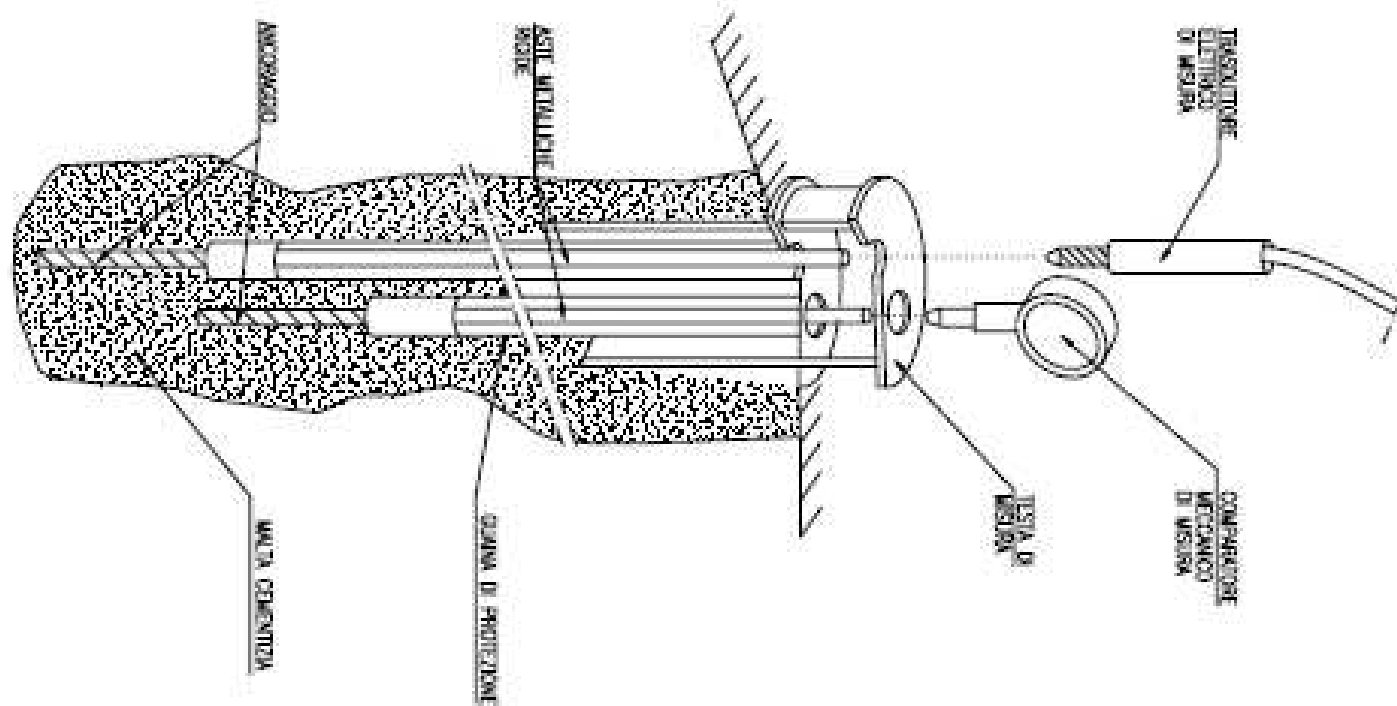
## Quaderno delle opere tipo

Disegno: B\_4\_4

1 di 1

- B Opere di sistemazione dei versanti
- B.4 Monitoraggio geotecnico
- B.4.4 Estensimetro multibase

### Estensimetro multibase

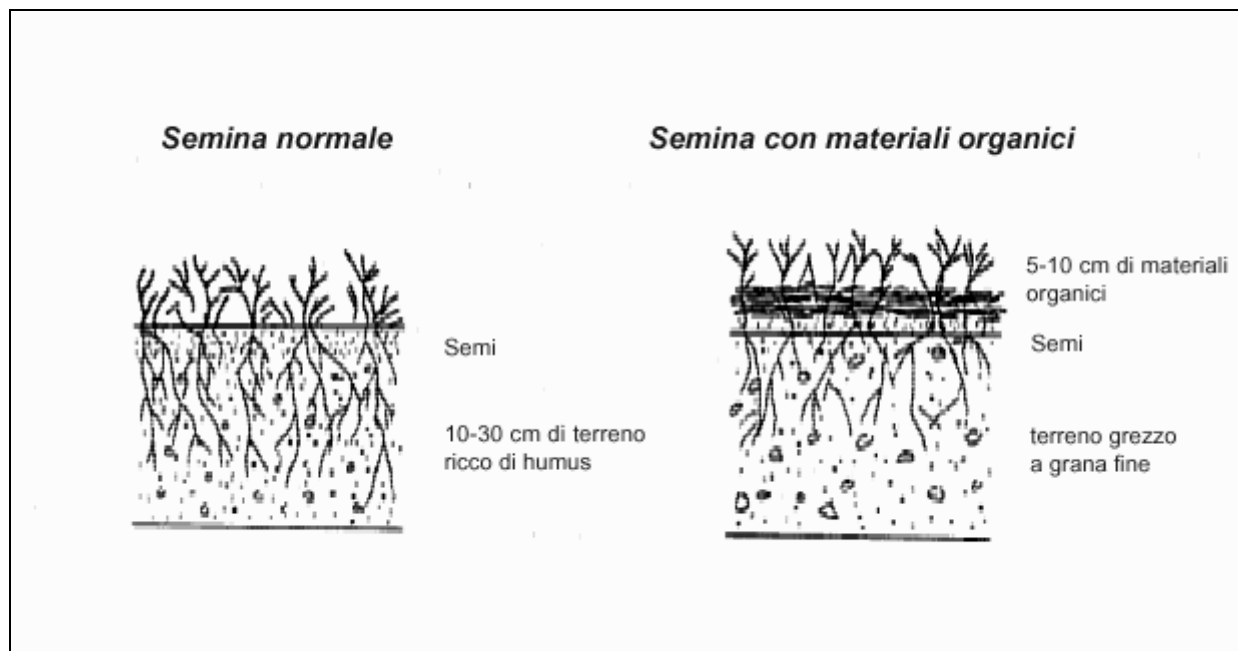




**Quaderno delle opere tipo**

Disegno: **C\_1\_01**  
1 di 1

**C** Tecniche di ingegneria naturalistica  
**C.1** Tecniche di copertura  
**C.1.01** Semine





### Quaderno delle opere tipo

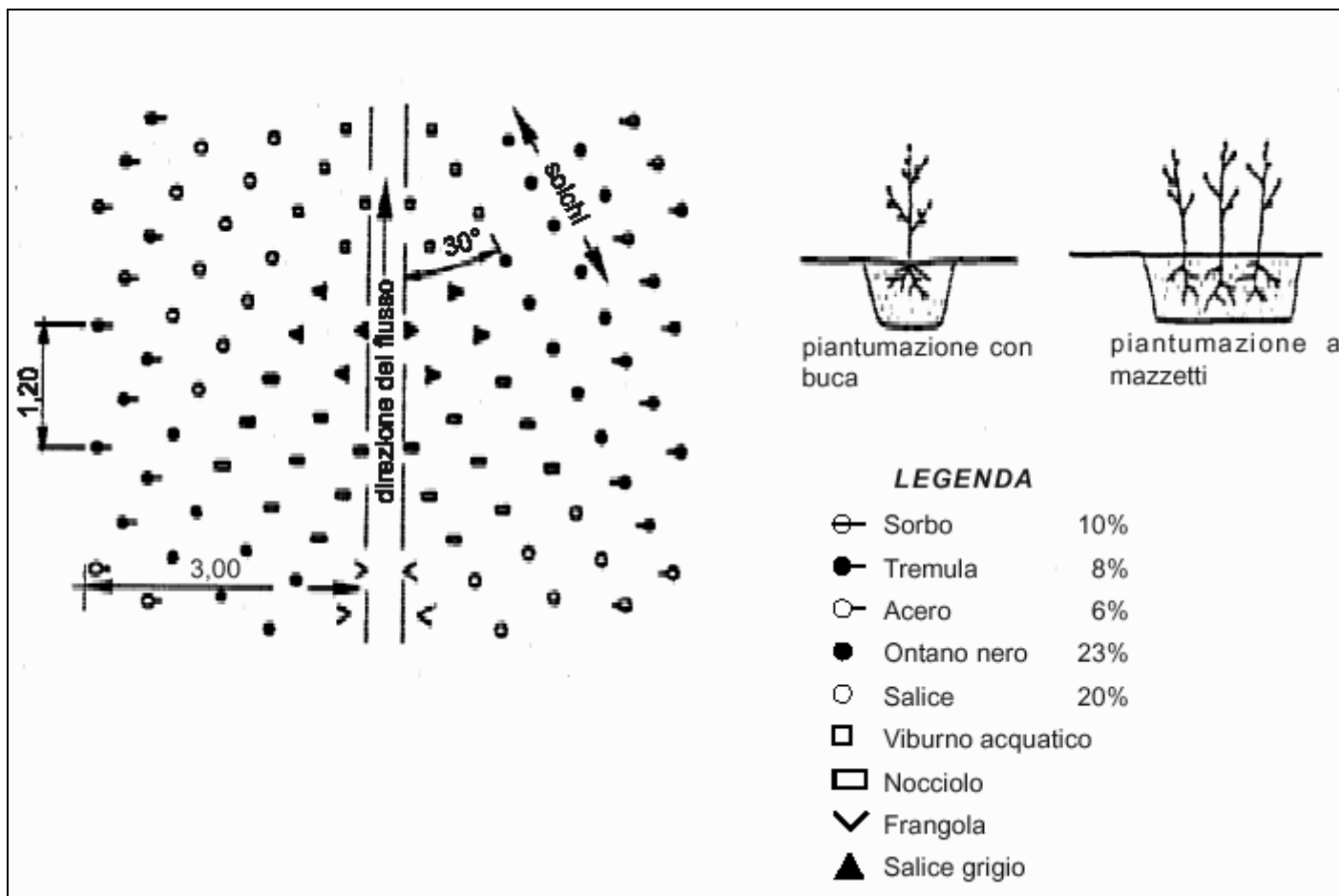
Disegno: **C\_1\_02**

1 di 1

**C** Tecniche di ingegneria naturalistica

**C.1** Tecniche di copertura

**C.1.02** Piantumazioni

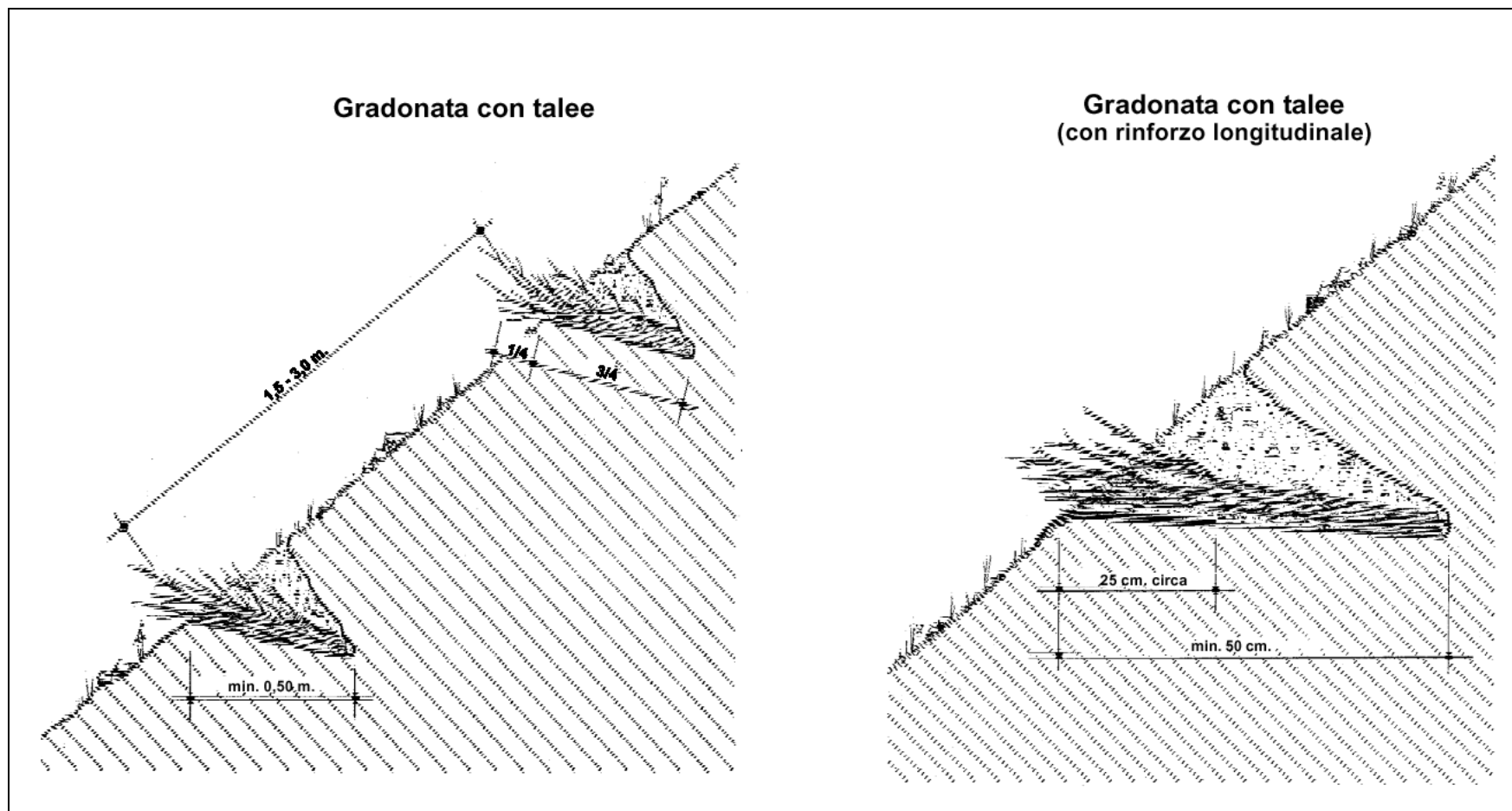




**Quaderno delle opere tipo**

Disegno: **C\_2\_01**  
1 di 1

**C** Tecniche di ingegneria naturalistica  
**C.2** Tecniche di consolidamento  
**C.2.01** Gradonate





### Quaderno delle opere tipo

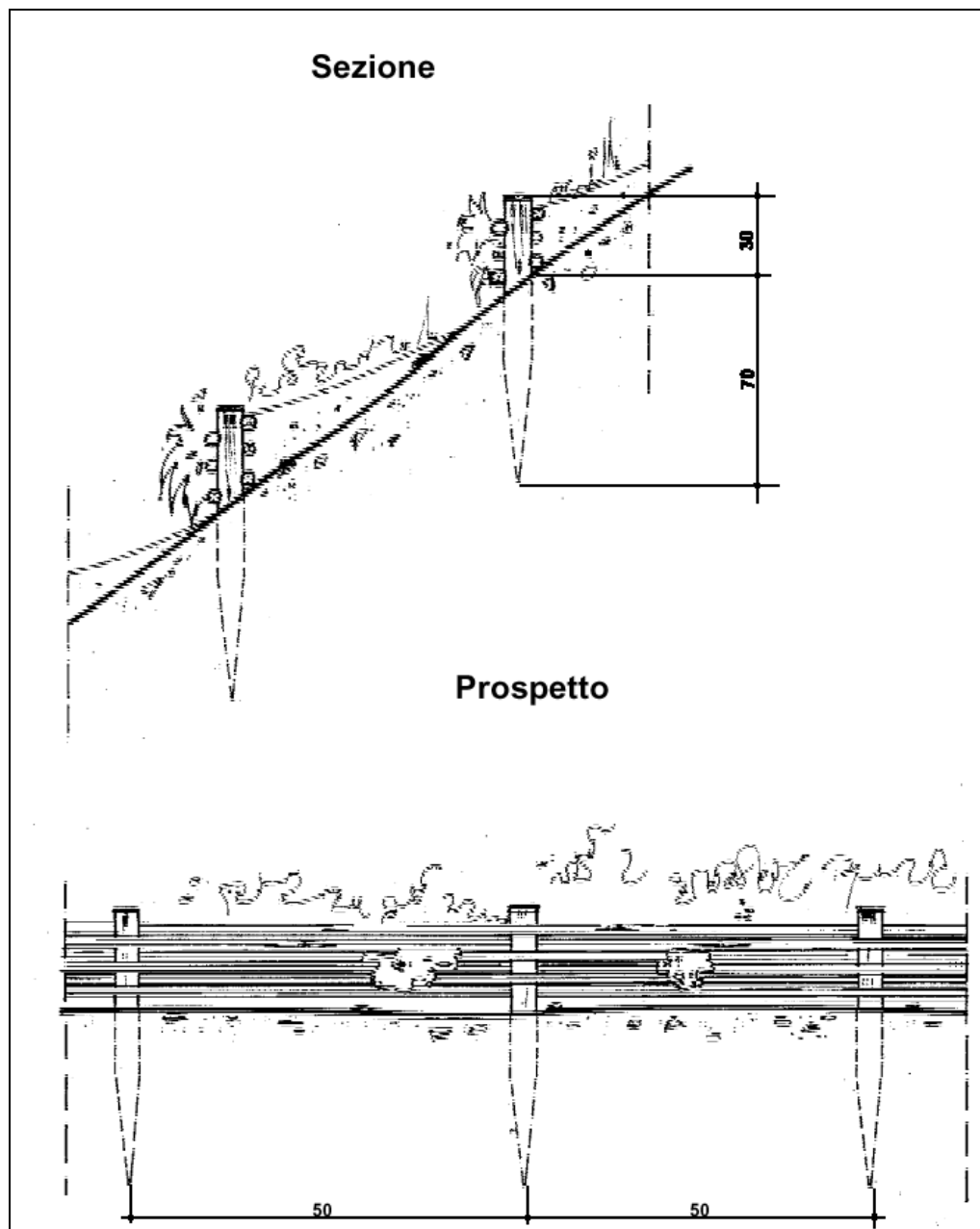
Disegno: **C\_2\_02**

1di 1

**C** Tecniche di ingegneria naturalistica

**C.2** Tecniche di consolidamento

**C.2.02** Vimate





## Quaderno delle opere tipo

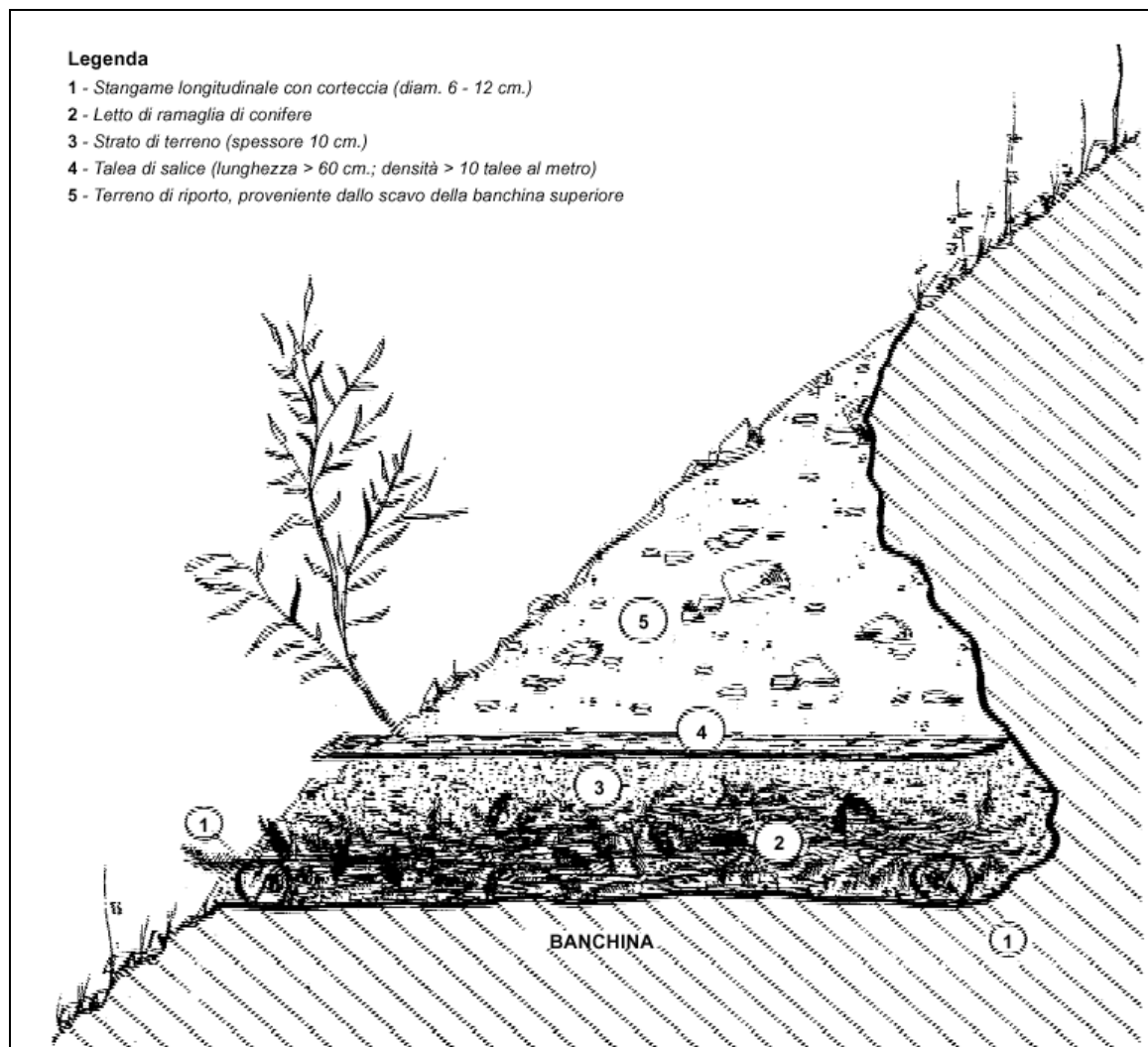
Disegno: **C\_2\_03**

1 di 1

**C** Tecniche di ingegneria naturalistica

**C.2** Tecniche di consolidamento

**C.2.03** Cordonate





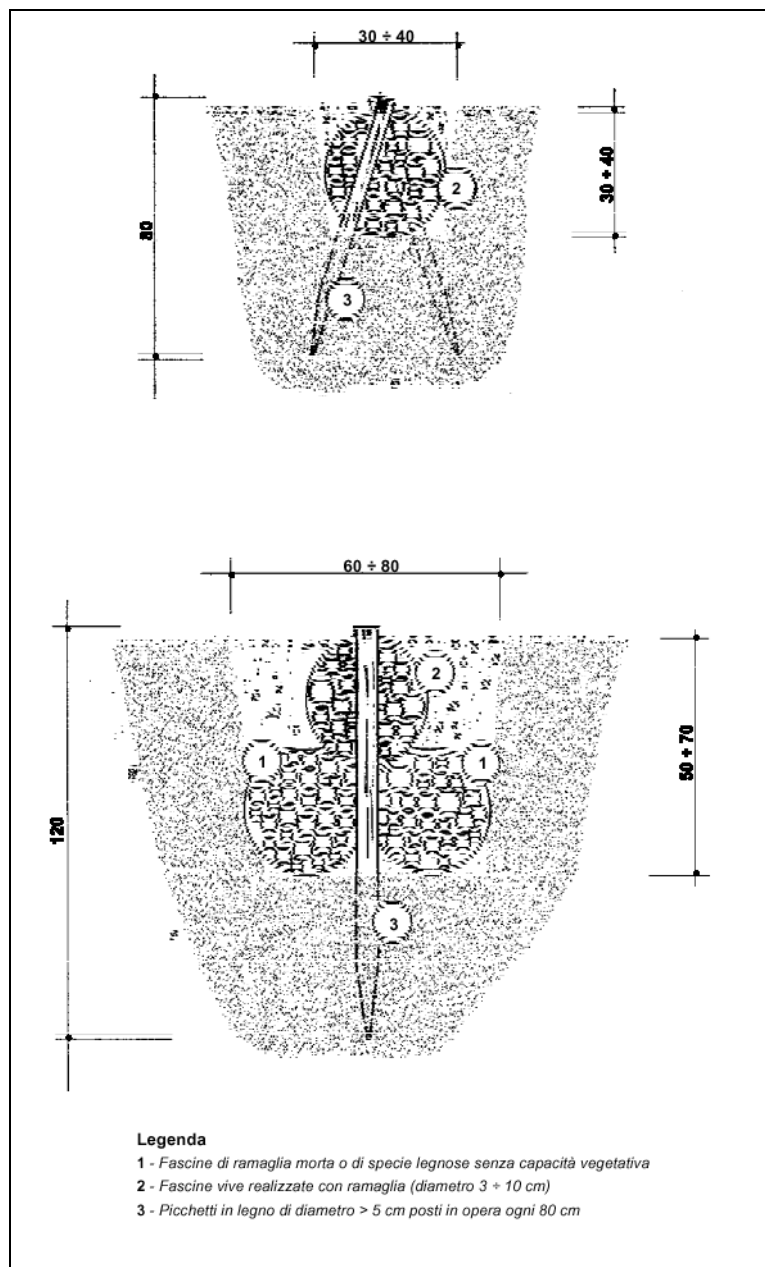


## Quaderno delle opere tipo

Disegno: **C\_2\_04**

1 di 1

- C Tecniche di ingegneria naturalistica
- C.2 Tecniche di consolidamento
- C.2.04 Drenaggi con fascine

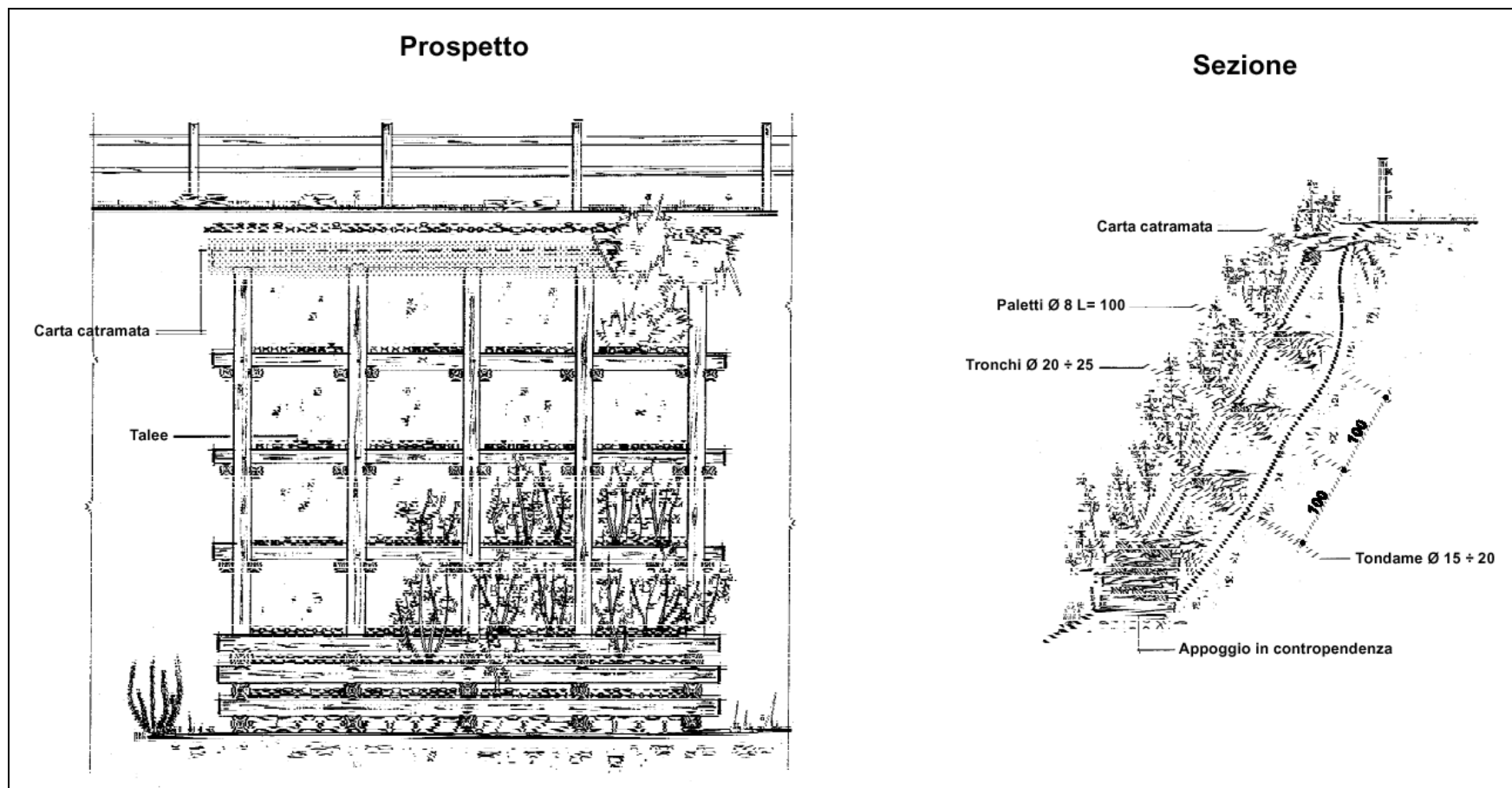




### Quaderno delle opere tipo

Disegno: **C\_2\_05**  
1 di 1

**C** Tecniche di ingegneria naturalistica  
**C.2** Tecniche di consolidamento  
**C.2.05** Grate in legname



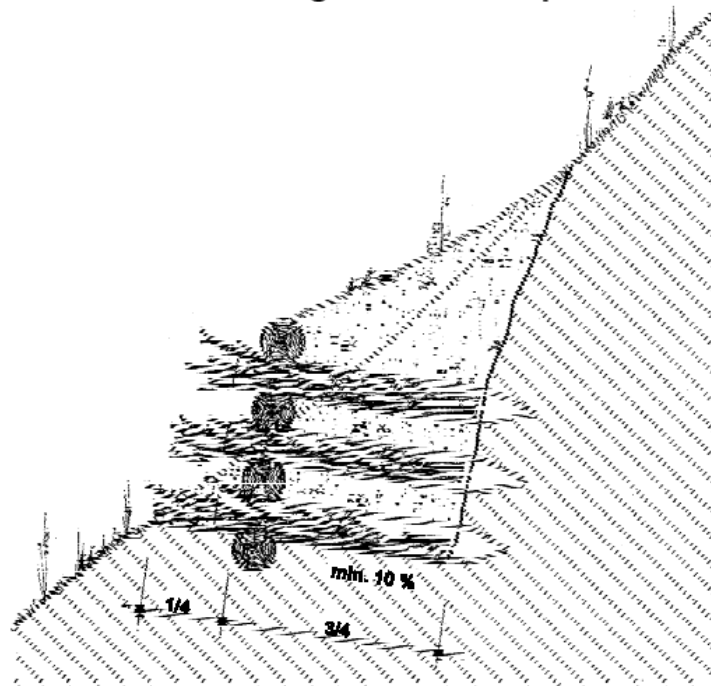


### Quaderno delle opere tipo

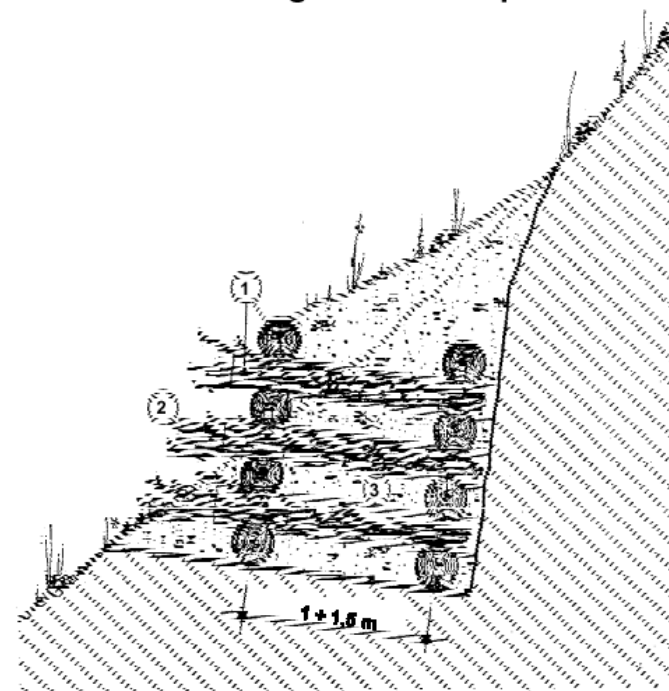
Disegno: **C\_2\_06**  
1 di 1

**C** Tecniche di ingegneria naturalistica  
**C.2** Tecniche di consolidamento  
**C.2.06** Palificate in legname

#### Palificata in legname ad una parete



#### Palificata in legname a due pareti



#### Legenda

- 1 - Tondame scortecciato o legname squadrato (diametro 10 + 25 cm)
- 2 - Ramaglia viva o talee (densità 10 talee al metro)
- 3 - Terreno di riporto



### Quaderno delle opere tipo

Disegno: **D\_1\_01\_01**

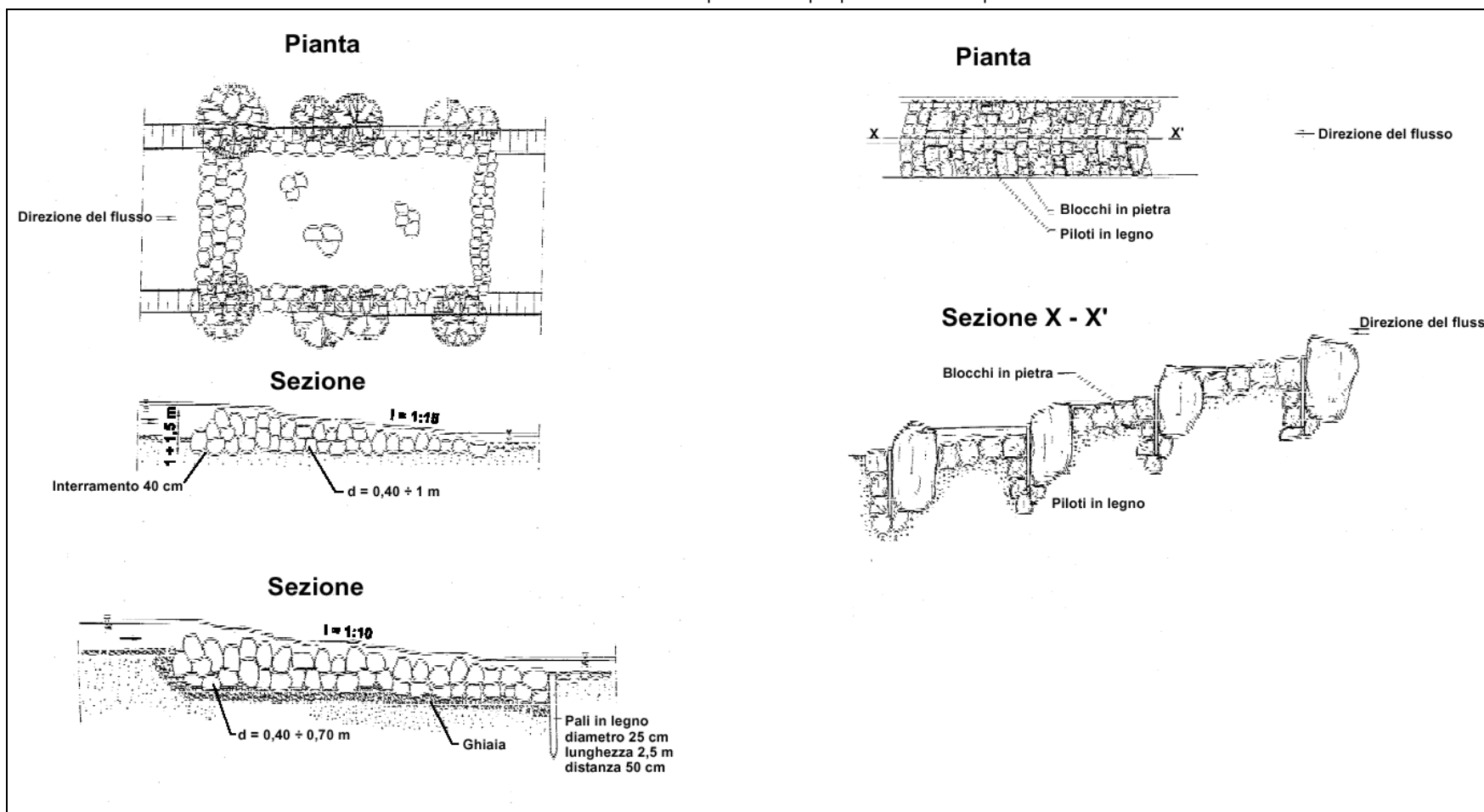
1 di 1

**D** Opere di tutela della fauna ittica: passaggi artificiali per la risalita dei pesci nei fiumi

**D.1** Rampe e passaggi costruiti con tecniche di ingegneria naturalistica

**D.1.01** Rampe di risalita pesci

**D.1.01.01** Rampe di risalita per pesci a blocchi di pietrame





## Quaderno delle opere tipo

Disegno: **D\_1\_01\_02**

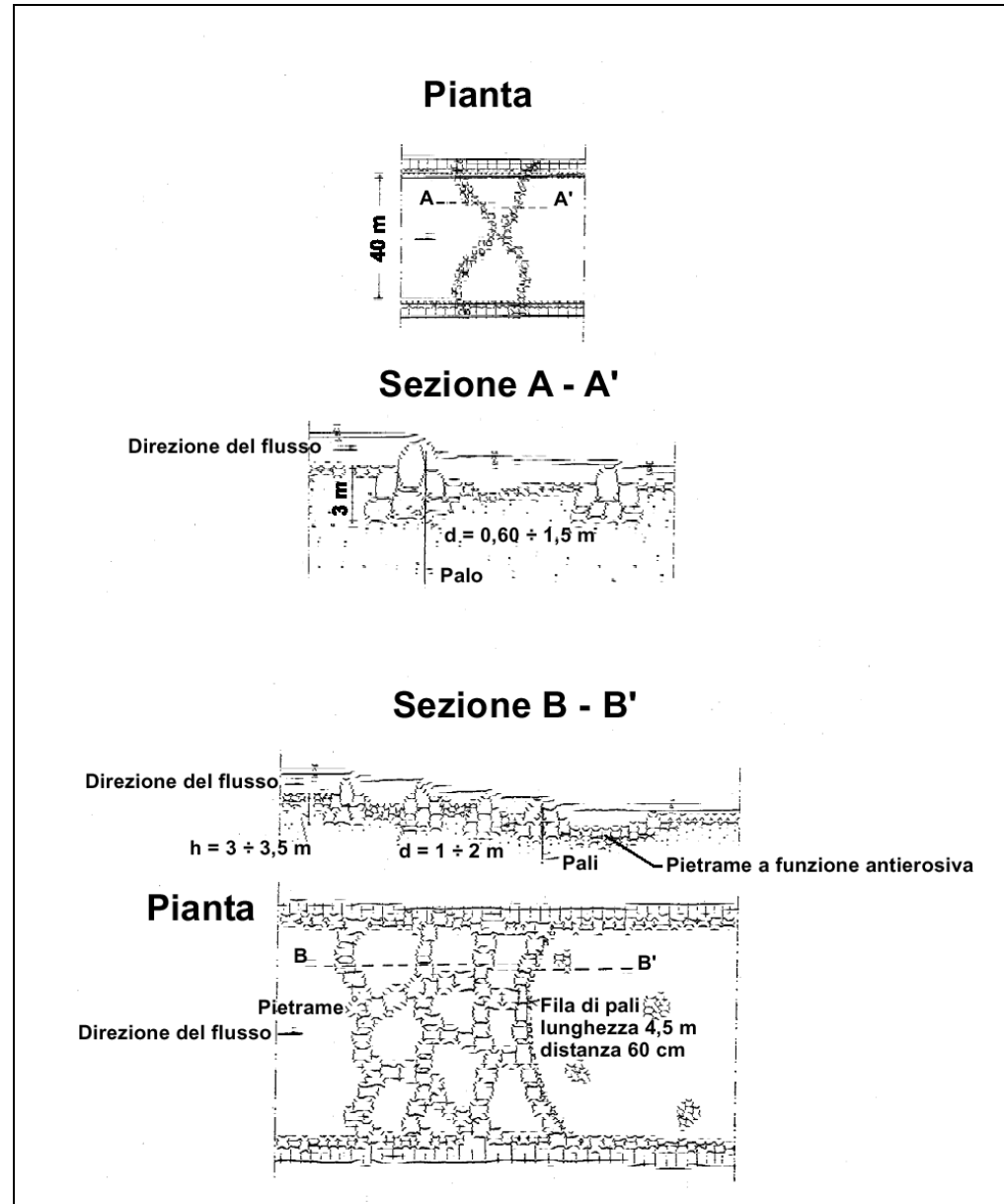
1 di 1

**D** Opere di tutela della fauna ittica: passaggi artificiali per la risalita dei pesci nei fiumi

**D.1** Rampe e passaggi costruiti con tecniche di ingegneria naturalistica

**D.1.01** Rampe di risalita pesci

**D.1.01.02** Rampe di risalita per pesci a bacini successivi



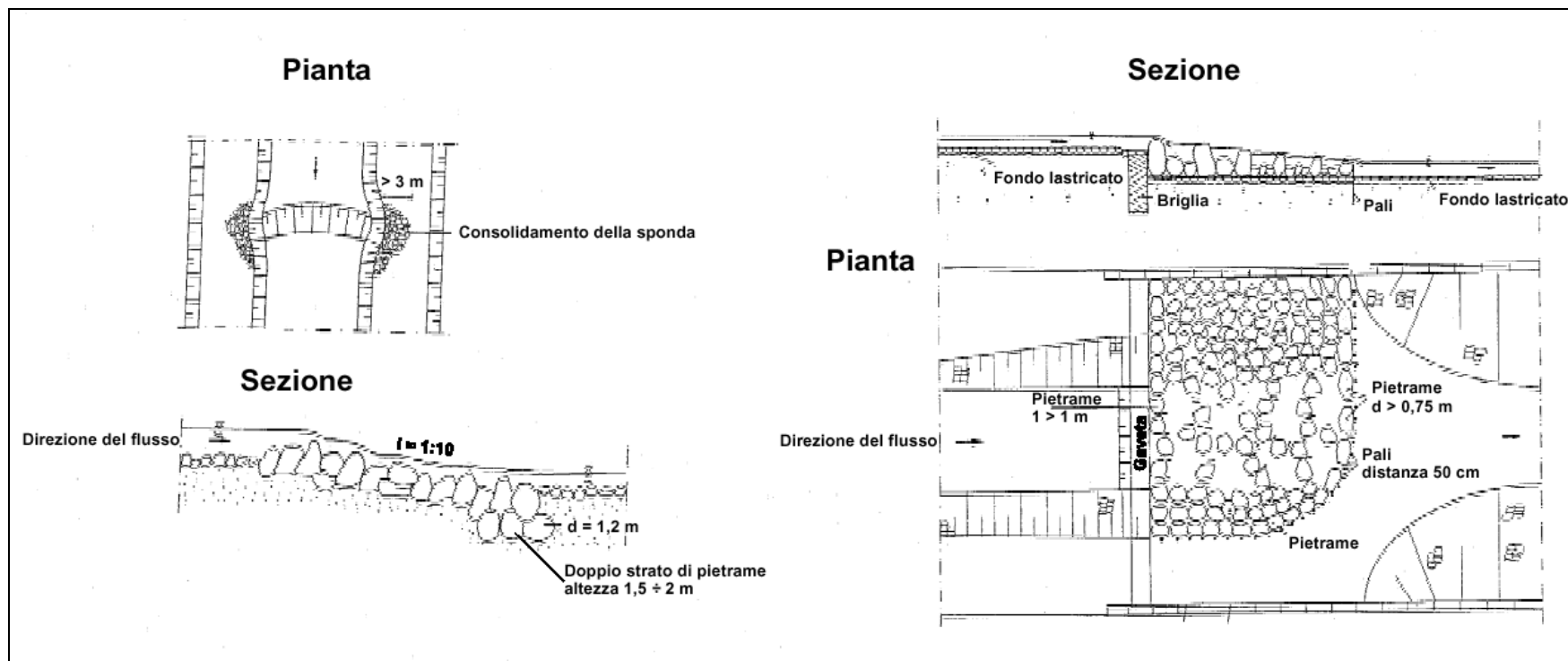


### Quaderno delle opere tipo

Disegno: **D\_1\_01\_03**

1 di 1

- D** Opere di tutela della fauna ittica: passaggi artificiali per la risalita dei pesci nei fiumi
- D.1** Rampe e passaggi costruiti con tecniche di ingegneria naturalistica
- D.1.01** Rampe di risalita pesci
- D.1.01.03** Rampe di risalita per pesci con briglia





### Quaderno delle opere tipo

Disegno: **D\_1\_02**

1 di 1

**D**

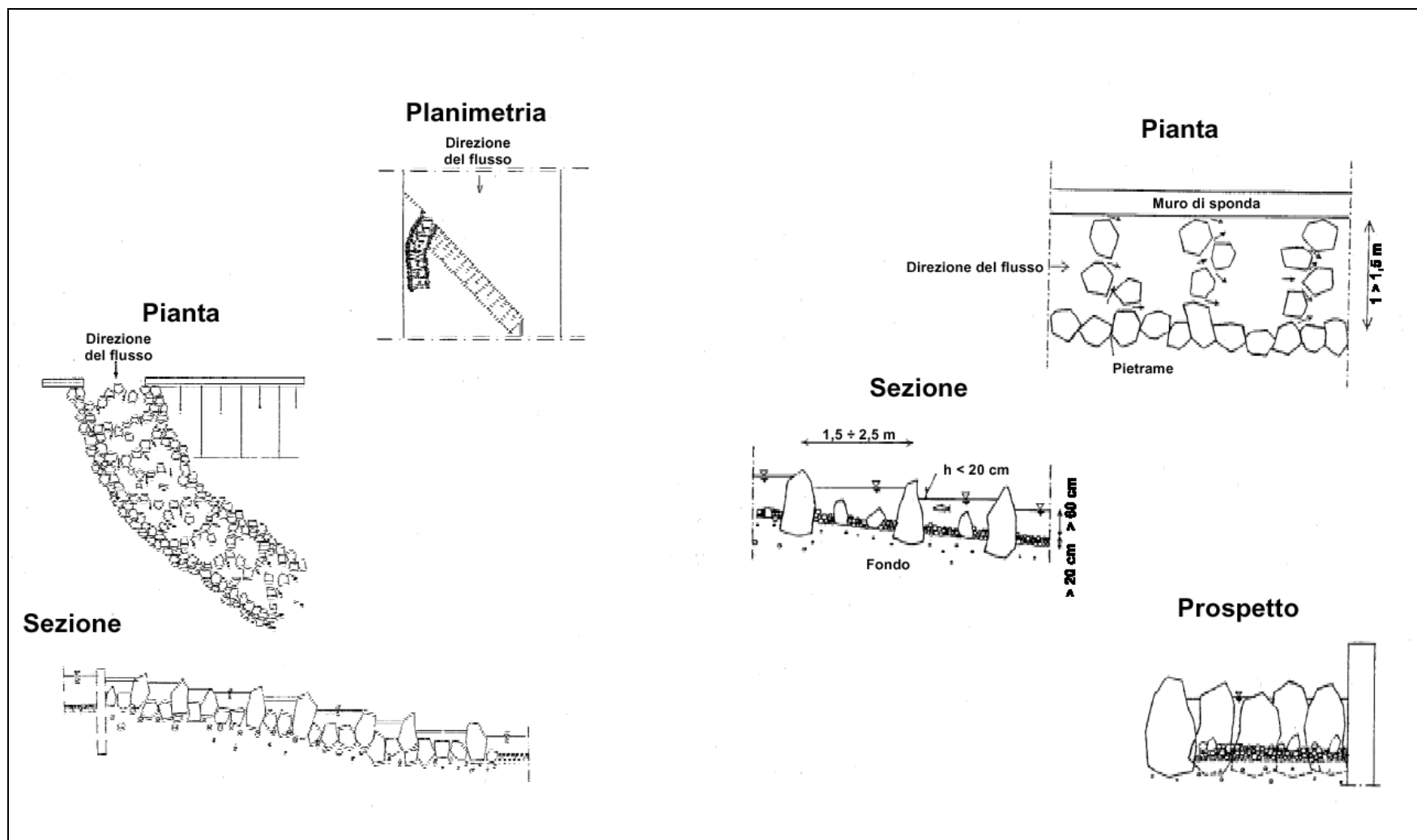
Opere di tutela della fauna ittica: passaggi artificiali per la risalita dei pesci nei fiumi

**D.1**

Rampe e passaggi costruiti con tecniche di ingegneria naturalistica

**D.1.02**

Passaggio per pesci





### Quaderno delle opere tipo

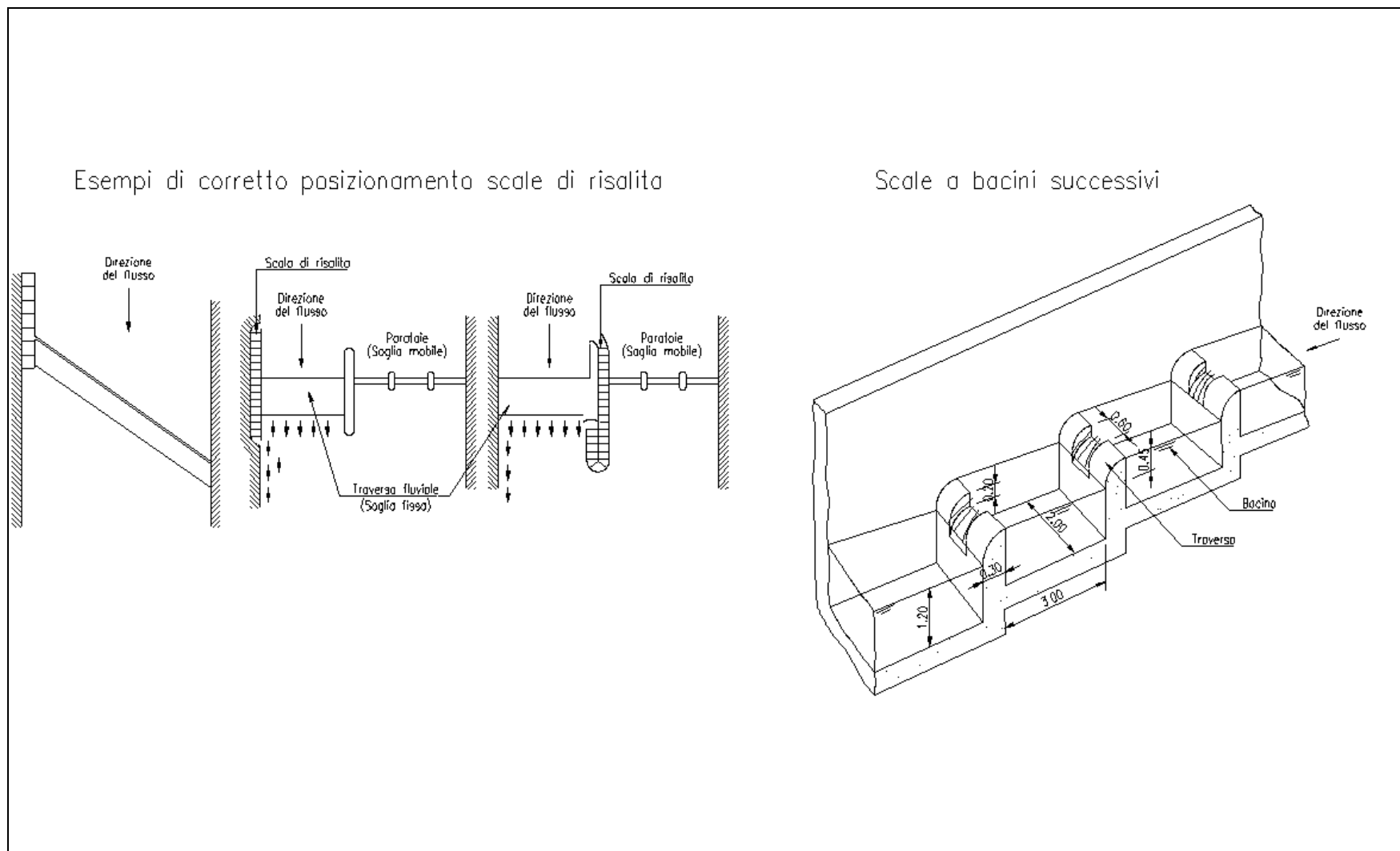
Disegno: **D\_2\_01**

1 di 1

**D** Opere di tutela della fauna ittica: passaggi artificiali per la risalita dei pesci nei fiumi

**D.2** Scale di risalita in calcestruzzo

**D.2.01** Scale a bacini successivi







### Quaderno delle opere tipo

Disegno: **D\_2\_02**

1 di 1

**D** Opere di tutela della fauna ittica: passaggi artificiali per la risalita dei pesci nei fiumi

**D.2** Scale di risalita in calcestruzzo

**D.2.02** Scale a rallentamento (del tipo Denil)

