



Regione
Lombardia



SISTEMAZIONE DELLE BEVERE AFFLUENTI DEL FIUME LAMBRO IN VARI COMUNI DELLA PROVINCIA DI LECCO, COMO E MONZA E BRIANZA

PROGETTO DEFINITIVO



PROGETTAZIONE E CONSULENZE



ABBA.SOLUTIONS Scarl
Via Cavour 80 - 20833 Giussano (MB)
web: www.abba.solutions
mail: info@abba.solutions
pec: abba.solutions@pec.it

PROGETTISTI / GRUPPO DI LAVORO

Ing. Daniele Giuffré
Ing. Stefano Minà
Ing. Marco Pozzoli
Ing. Chiarangela Perego
Ing. Chiara Vellani
Ing. Maria Teresa Olmeo
Arch. Carla Galbiati
Ing. Alessia Gurini

REDATTO

Ing. Alessia Gurini

REVISIONATO

Ing. Chiarangela Perego

APPROVATO

Ing. Daniele Giuffré

COMMITTENTE

Parco Regionale
della Valle del Lambro
via Vittorio Veneto, 19
20844 Triuggio (MB)

DESCRIZIONE

RELAZIONE TECNICA

DATA

Ottobre 2021

SCALA

COMMESSA

- 2021.17_BEVERE

ELABORATO

E.02

REVISIONE

DATA

RIFERIMENTO EMISSIONE / REVISIONE

Sommario

PREMESSA	1
1. INTERVENTI IN PROGETTO	2
1.1. BEVERA DI BRIANZA	2
1.1.1. COMUNE DI MOLTEO (LC)	2
1.1.1.1. Via Don G. Allamano- Intervento A1	2
1.1.2. COMUNE DI COSTA MASNAGA (LC)	2
1.1.2.1. A valle dell'attraversamento con Via N. Sauro-Intervento B1	2
1.1.2.2. Parco di Brenno-Intervento B2	3
1.1.2.3. Parco di Brenno-Intervento B3	3
1.1.2.4. Parco di Brenno-Intervento B4	3
1.1.3. COMUNE DI MERONE (CO)	4
1.1.3.1. Località Baggero-Intervento C1	4
1.2. TORRENTE BEVERA	5
1.2.1. COMUNE DI RENATE (MB)	5
1.2.1.1. Via Monte Grigna- Intervento D1	5
1.2.1.2. Zona industriale di Renate- Intervento D2	5
1.2.1.3. Zona industriale di Renate- Intervento D3	6
1.3. BEVERA DI TABIAGO	6
1.3.1. COMUNE DI NIBIONNO (LC)	6
1.3.1.1. Località Tabiago - Intervento E1	6
1.4. INTERVENTI DIFFUSI DI TAGLIO PIANTE	6
2. RELAZIONE STRUTTURALE	7
1.5. DIMENSIONAMENTO E VERIFICA DELLA STABILITÀ DELLE PROTEZIONI SPONDALI IN MASSI	7
2.2. RISULTATI	8
3.2.1.1. Intervento A1	8
3.2.1.2. Intervento B1	9
3.2.1.3. Intervento B2	9
3.2.1.4. Intervento C1	10
3.2.1.5. Intervento D2	10



Premessa

La presente relazione è posta a corredo della progettazione definitiva degli interventi di manutenzione straordinaria previsti lungo le aste fluviali dei torrenti, affluenti del fiume Lambro. Nello specifico, si tratta di interventi previsti lungo la Bevera di Brianza, la Bevera di Tabiago, il Torrente Bevera.

Nelle pagine seguenti sono descritte nel dettaglio le lavorazioni previste per le opere in progetto e le verifiche di stabilità condotte durante il dimensionamento delle difese spondali in progetto.

1. Interventi in progetto

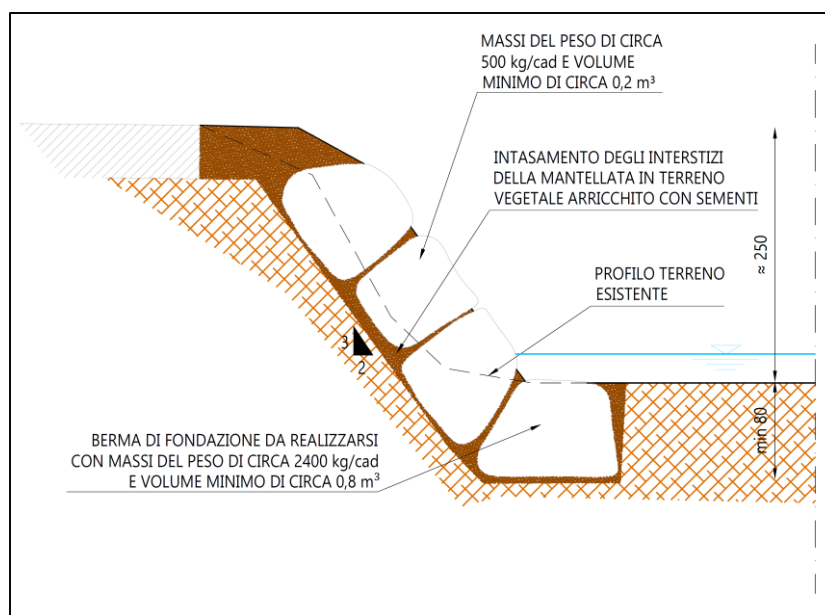
Il presente paragrafo mostra in dettaglio gli interventi in progetto.

1.1. Bevera di Brianza

1.1.1. Comune di Molteno (LC)

1.1.1.1. Via Don G. Allamano- Intervento A1

Al fine di prevenire una nuova erosione lungo il tratto fluviale ammalorato, che scorre parallelamente a Via Don G. Allamano in località Brongio (Molteno) e che si prolunga per circa 15 m, si propone di intervenire con la formazione di una protezione spondale in pietrame. Per la costruzione della difesa spondale si prevede di effettuare una pulizia dell'area e successivamente uno scavo di sbancamento con conseguente rinterro per riprofilare la sponda e conferirle una pendenza più lieve, tale da garantire maggiore stabilità.



1.1.2. Comune di Costa Masnaga (LC)

Di seguito si riporta l'analisi degli interventi previsti all'interno del Parco di Brenno, nel comune di Costa Masnaga

1.1.2.1. A valle dell'attraversamento con Via N. Sauro-Intervento B1

L'intervento prevede una pulizia iniziale dell'area e l'abbattimento di 12 piante pericolanti. Al fine di evitare nuove erosioni del tratto collocato in corrispondenza della pista ciclopeditonale lungo circa 50 m si decide di intervenire suddividendo il tratto in due parti:

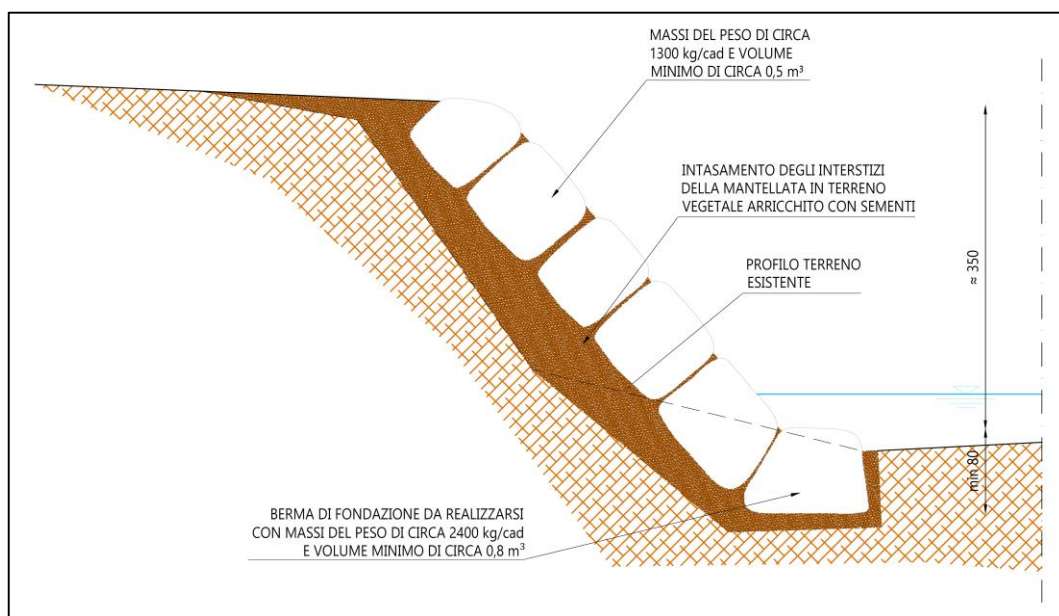
- dove il torrente scorre quasi parallelamente alla sponda, si procede costruendo una protezione spondale in massi a copertura di tutta la sponda;
- nel tratto in cui il torrente assume un andamento più curvilineo, si prevede uno scavo di sbancamento per riprofilare la sponda e ridurne la pendenza a 45°. Successivamente, si costruisce una protezione spondale in massi per un'altezza di circa 2 m, a protezione della porzione inferiore della sponda, e si riveste la sommità con una georete per consentirne l'inerbimento.

Tutte le ramaglie, i cimali e le cortecce verranno cippate e il cippato verrà distribuito ordinatamente nei pressi del letto di caduta delle piante.

1.1.2.2. Parco di Brenno-Intervento B2

L'intervento B2 prevede la sistemazione del tratto di sponda ammalorato, lungo circa 30 m e interessato da abbondante erosione. Si effettua una pulizia iniziale dell'area mediante la rimozione di arbusti e alberi.

Si continua effettuando uno scavo di sbancamento per riprofilare la sponda e conferirle una pendenza 3:2. Infine, per prevenire una nuova erosione, si costruisce una difesa spondale in pietrame a protezione del tratto ammalorato, per tutta la lunghezza e l'altezza della sponda. Tutte le ramaglie, i cimali e le cortecce verranno cippate e il cippato verrà distribuito ordinatamente nei pressi del letto di caduta delle piante.

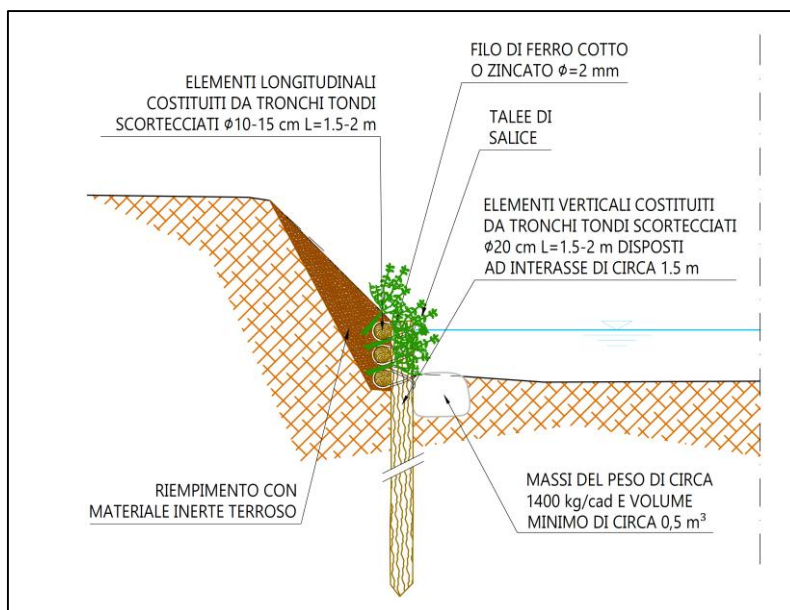


1.1.2.3. Parco di Brenno-Intervento B3

L'intervento B3 prevede il taglio e la rimozione di 10 piante pericolanti e/o riverse in alveo che, in caso di piena, rappresentano un potenziale rischio per la sicurezza idraulica in quanto possono ostruire il passaggio della corrente e causare un innalzamento del tirante idrico. Congiuntamente, si interviene a fronte di un'erosione moderata della sponda in destra idraulica lungo un tratto posto più a valle, con la rimozione delle 5 piante pericolanti presenti e riprofilando la sponda con uno scavo di sbancamento. Tutte le ramaglie, i cimali e le cortecce verranno cippate e il cippato verrà distribuito ordinatamente nei pressi del letto di caduta delle piante.

1.1.2.4. Parco di Brenno-Intervento B4

L'intervento, previsto in corrispondenza dell'ingresso al parco, consiste in un iniziale taglio e decespugliamento della vegetazione presente sull'isolotto. Successivamente, si prevede di rimuovere l'opera di difesa esistente e costruire una nuova palizzata viva a protezione della sponda, costituita da pali in legno di castagno infissi verticalmente e distanziati circa 2 m e legati a pali disposti in file orizzontali a ridosso della sponda. Tutte le ramaglie, i cimali e le cortecce verranno cippate e il cippato verrà distribuito ordinatamente nei pressi del letto di caduta delle piante.



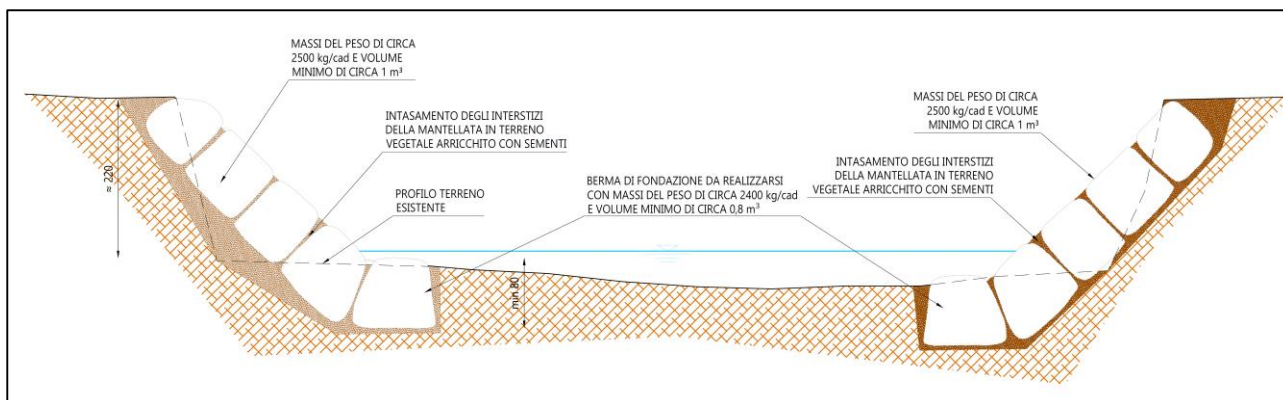
1.1.3. Comune di Merone (CO)

Di seguito si riportano in dettaglio gli interventi previsti in prossimità della confluenza tra la Bevera di Brianza e il Fiume Lambro, e in corrispondenza della vasca di laminazione della Bevera. Il progetto riguarda il tratto fluviale in corrispondenza della briglia selettiva posta a valle dell'opera di laminazione, e comprende interventi di manutenzione straordinaria all'interno della stessa opera.

1.1.3.1. Località Baggero-Intervento C1

In merito al tratto fluviale a valle dell'opera trasversale, viene proposto il seguente intervento: abbattimento e rimozione delle piante presenti lungo entrambe le sponde del tratto ammalorato, lungo circa 20 m, e successivo riempimento del volume eroso con pietrame di pezzatura fino a 2500 kg con lo scopo di proteggere le sponde da nuove erosioni e stabilizzare l'opera trasversale a monte. Per la realizzazione dell'intervento in sponda sinistra risulta necessario la creazione di una pista di cantiere lunga circa 100 m per l'accesso all'area.

Riguardo al tratto fluviale localizzato a monte dell'opera di sbarramento, si propone la rimozione della vegetazione in alveo e l'abbattimento di piante pericolanti. Si interviene infine con la creazione, mediante decespugliamento, di una pista di accesso e futura manutenzione dell'area. Tutte le ramaglie, i cimali e le cortecce verranno cippate e il cippato verrà distribuito ordinatamente nei pressi del letto di caduta delle piante.



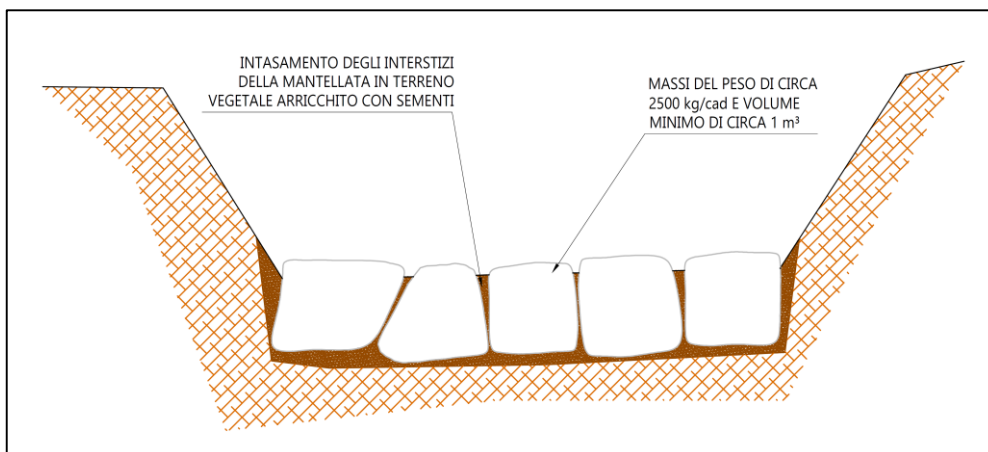
1.2. Torrente Bevera

1.2.1. Comune di Renate (MB)

Gli interventi in progetto nel Comune di Renate sono di seguito analizzati.

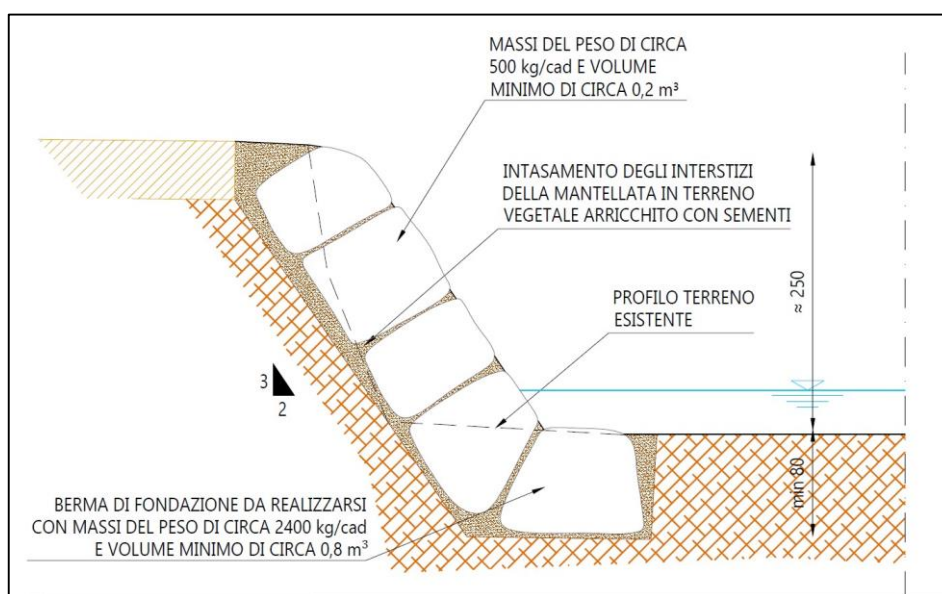
1.2.1.1. Via Monte Grigna- Intervento D1

Al fine di ridurre la forza erosiva della corrente in corrispondenza del tratto in Via Monte Grigna (Renate), si propone la costruzione di una soglia in massi intasati in terra disposta a valle del tratto, con l'obiettivo di rallentare la corrente e favorire la stabilizzazione del fondo alveo.



1.2.1.2. Zona industriale di Renate- Intervento D2

Al fine di ripristinare la regolare sezione fluviale, si propone di intervenire con la rimozione dei ceppi/piante (n. 15) presenti lungo la sponda ammalorata in sinistra idraulica e la ricostruzione della difesa spondale in massi nel tratto immediatamente a valle del ponte pedonale, per una lunghezza di circa 10 m. Più a valle, si prevede di intervenire per contrastare il processo erosivo in atto, completando la difesa spondale in massi già esistente in destra per una lunghezza di circa 50 m, a protezione dei tratti più a rischio. Si propone anche la costruzione di una staccionata a ridosso della pista ciclo-pedonale.



In merito all'erosione che si riscontra in un tratto collocato circa 20 m più a valle, a ridosso di un meandro (Figura 1 15), si propone di realizzare una difesa spondale in massi di altezza pari a 1 m, dotata di berma di fondazione, e di riprofilare la sponda conferendogli una pendenza di 45°. Infine, si prevede il posizionamento di una georete antierosiva a protezione della sponda.

Tutte le ramaglie, i cimali e le cortecce verranno cippate e il cippato verrà distribuito ordinatamente nei pressi del letto di caduta delle piante

1.2.1.3. Zona industriale di Renate- Intervento D3

Con l'obiettivo di proteggere lo sfioratore superficiale e di ristabilire la sezione di deflusso del torrente, si prevede, su entrambe le sponde, il ripristino delle protezioni spondali in massi con la realizzazione di un'adeguata fondazione per un tratto lungo 10 m. Il progetto prevede anche il taglio e la rimozione di n. 5 piante pericolanti/riverse che potrebbero ostruire il passaggio della corrente. Tutte le ramaglie, i cimali e le cortecce verranno cippate e il cippato verrà distribuito ordinatamente nei pressi del letto di caduta delle piante.

1.3. Bevera di Tabiago

1.3.1. Comune di Nibionno (LC)

1.3.1.1. Località Tabiago - Intervento E1

L'intervento ipotizzato prevede una pulizia del tratto a monte della confluenza con il Fiume Lambro e dell'incrocio stradale tra Via Località Gaggio e SP342, lungo complessivamente 45 m. L'intervento di progetto consiste nell'alleggerimento della sponda attraverso l'abbattimento di 15 piante, 5 ceppi pericolanti e la rimozione della vegetazione riversa in alveo mediante decespugliamento. Si prevede inoltre alla rimozione del materiale depositatosi al piede della frana, in prossimità della sponda sinistra della Bevera. Tutte le ramaglie, i cimali e le cortecce verranno cippate e il cippato verrà distribuito ordinatamente nei pressi del letto di caduta delle piante.

1.4. Interventi diffusi di taglio piante

La Bevera di Brianza e il Torrente Bevera sono corsi d'acqua caratterizzati dalla presenza diffusa di abbondante vegetazione spondale pericolante e/o riversa in alveo che compromette la sicurezza idraulica dei territori circostanti. A questo proposito, si è deciso di intervenire su tre dei tratti fluviali maggiormente interessati dalla suddetta problematica (**Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**). Questi sono stati selezionati in base alla necessità di intervento, valutata a partire dalla vulnerabilità del territorio circostante e dagli elementi a rischio, e alla complessità di intervento, legata ai costi necessari all'abbattimento delle piante e a all'accesso ai luoghi (**Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**).

Si evidenzia come, per garantire la sicurezza idraulica presente e futura dei corsi d'acqua in oggetto, sia necessaria una manutenzione continua e programmata della vegetazione spondale.

2. Relazione strutturale

1.5. Dimensionamento e verifica della stabilità delle protezioni spondali in massi

Il dimensionamento delle opere di consolidamento spondale, quali le scogliere in massi ciclopici, viene eseguito applicando la teoria di Stevens et al., solitamente utilizzata per il dimensionamento di scogliere su sponda inclinata e basata sull'analisi delle forze agenti sul singolo masso in condizione di equilibrio limite.

In generale, affinché un corpo sia in equilibrio, occorre che le forze ribaltanti siano compensate da quelle stabilizzanti. Nello specifico, considerando i momenti delle forze agenti su un singolo masso, Stevens et al. esprimono la condizione di equilibrio al ribaltamento attraverso il coefficiente di sicurezza C_s . Se C_s è maggiore di 1, significa che i momenti delle forze stabilizzanti compensano quelli ribaltanti e che quindi il masso è stabile. Solitamente, in fase progettuale, si preferisce dimensionare l'opera affinché si garantisca un coefficiente di sicurezza superiore a 1 (di seguito verrà considerato sempre il valore di 1.3).

La verifica dell'idonea pezzatura degli elementi di una scogliera (dimensione e peso del masso da utilizzare) dipende dalle sollecitazioni a cui sono sottoposti. Nel caso in esame, le forze che agiscono sul singolo masso sono la forza peso, la forza di trascinamento della corrente e la forza di attrito che gli elementi della scogliera esercitano sulla corrente, derivante dalla scabrezza del materiale e dall'effetto di mutuo incastro tra i massi.

Nota la geometria della scarpata, l'angolo di attrito del materiale, la velocità di attrito della corrente, ricorrendo alle formule seguenti, si determina la dimensione minima dei massi tale da garantire la stabilità della scogliera.

$$\sigma = \frac{0.30V^2}{(\gamma_s / \gamma - 1)gd_m}$$

$$\alpha = \operatorname{tg}^{-1} \left(\frac{\cos \lambda}{\frac{2 \operatorname{sen} \vartheta}{\sigma \operatorname{tg} \varphi} + \operatorname{sen} \lambda} \right)$$

$$\frac{\sigma'}{\sigma} = \frac{1 + \operatorname{sen}(\alpha + \lambda)}{2}$$

$$C_s = \frac{\cos \vartheta \operatorname{tg} \varphi}{\sigma' \operatorname{tg} \varphi + \operatorname{sen} \vartheta \cos \alpha}$$

In cui:

d_m = diametro medio del masso [m];

C_s = coefficiente di sicurezza al ribaltamento del masso rispetto al punto di rotazione (rapporto tra il momento della risultante delle forze stabilizzanti ed il momento della risultante delle forze ribaltanti);

ϑ = angolo di inclinazione adottato per la scarpata;

φ = angolo di riposo in acqua dei massi;

α = angolo che la direzione di caduta del masso forma con la linea di massima pendenza della scarpata;

λ = angolo diedro tra il piano orizzontale ed il piano inclinato costituente il fondo del corso d'acqua. La pendenza di detto angolo non è altro che la pendenza del fondo alveo ($\text{tg}\lambda=i$);

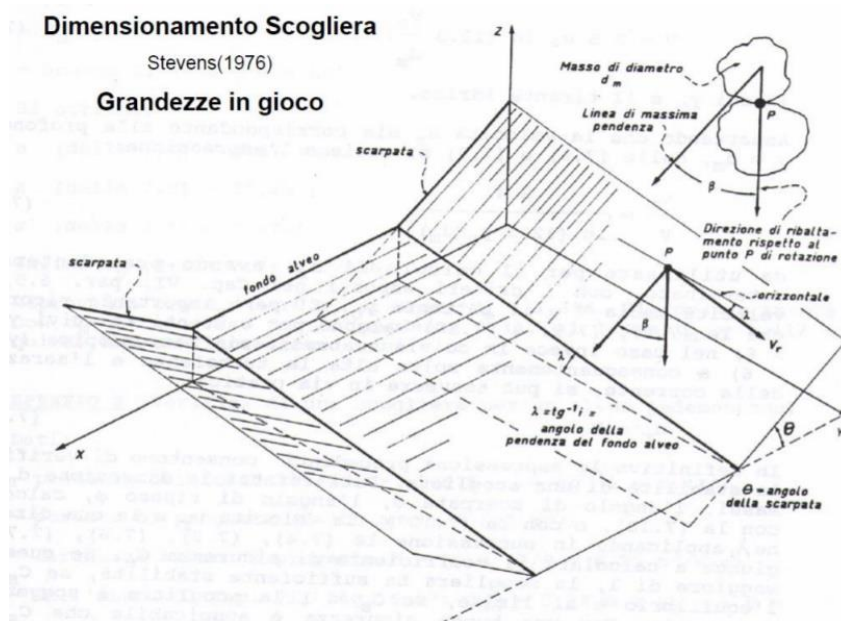
σ = numero di stabilità del masso su sponda inclinata;

σ' = numero di stabilità del masso sul fondo;

γ_s = peso specifico del masso [N/m^3];

γ = peso specifico dell' acqua [N/m^3];

V = velocità di attrito della corrente agente sul masso [m/s]; in condizioni di bassa sommergenza ($h/d_m < 6$), quando la turbolenza e l'aerazione della corrente sono molto elevate, in via pratica si può assumere che la velocità di attrito, in corrispondenza del singolo elemento, coincida con la velocità media della corrente.



Si rende noto che, per quanto riguarda il valore di angolo di attrito del materiale φ (generalmente compreso tra 45° - 55°), considerando la squadratura dei massi che verranno utilizzati e posizionati lungo le scogliere in progetto e il conseguente rilevante effetto di mutuo incastro tra gli elementi, tale valore risulta aumentato e generalmente compreso in un range di validità tra 55° e 75° .

Si anticipa che, in assenza di dati relativi alla velocità della corrente, si considera un range di valori compresi tra 2 e 3 m/s.

2.2. Risultati

3.2.1.1. Intervento A1

La verifica della stabilità dei massi costituenti la scogliera è stata effettuata considerando i seguenti parametri e criteri di progettazione:

- pendenza di fondo alveo i pari al 0.37%;
- $\vartheta = 56^\circ$ (pari a una pendenza di 3 su 2);
- $\gamma_s = 26500 \text{ N/m}^3$;

- $\gamma = 9810 \text{ N/m}^3$;
- $V =$ intervallo considerato: tra 2 e 3 m/s

Applicando la formulazione di Stevens et al. sopra esposta, risulta che elementi di diametro pari a **0.7 m** (corrispondenti a **massi del volume minimo di 0.18 m^3**) sono sufficienti a garantire la stabilità della scogliera ($C_s=1.3$), considerando un coefficiente di attrito variabile tra **66°** e **71°** (incluso quindi nel range sopra menzionato).

3.2.1.2. *Intervento B1*

La verifica della stabilità dei massi costituenti la scogliera, lungo il tratto a monte del meandro, è stata effettuata considerando i seguenti parametri e criteri di progettazione:

- pendenza di fondo alveo i pari al 0.37%;
- $\vartheta = 60^\circ$;
- $\gamma_s = 26500 \text{ N/m}^3$;
- $\gamma = 9810 \text{ N/m}^3$;
- $V =$ intervallo considerato: tra 2 e 3 m/s

Applicando la sequenza di formule sopra riportata, risulta che elementi di diametro pari a **1 m** (corrispondenti a **massi del volume minimo di 0.52 m^3**) sono sufficienti a garantire la stabilità della scogliera ($C_s=1.3$), considerando un coefficiente di attrito variabile tra **68°** e **72°**, incluso quindi nel range sopra menzionato.

Per quanto riguarda la scogliera prevista a protezione del tratto meandriforme, i valori di pendenza di fondo alveo, γ_s , γ e intervallo di velocità della corrente rimangono invariati, mentre la pendenza della scarpata si riduce a 45°. I risultati ottenuti dimostrano che, considerando un coefficiente di attrito compreso tra **55°** e **58°**, massi di diametro pari a **1 m** (corrispondenti a **massi del volume minimo di 0.52 m^3**) garantiscono la stabilità dell'opera ($C_s=1.3$).

3.2.1.3. *Intervento B2*

Anche in questo caso la stabilità dei massi è stata verificata considerando i seguenti parametri e criteri di progettazione:

- pendenza di fondo alveo i pari al 0.37%;
- $\vartheta = 56^\circ$ (pari a una pendenza di 3 su 2);
- $\gamma_s = 26500 \text{ N/m}^3$;
- $\gamma = 9810 \text{ N/m}^3$;
- $V = 1.07 \text{ m/s}$ (rilevata dagli studi idrologici e idraulici condotti all'interno della fase esecutiva del progetto "Utilizzazione della Cava di Brenno quale vasca di laminazione del Torrente Bevera di Molteno").

Applicando la formulazione di Stevens et al. sopra esposta, risulta che elementi di diametro pari a **1 m** (corrispondenti a **massi del volume minimo di 0.52 m³**) sono sufficienti a garantire la stabilità della scogliera ($C_s=1.3$) se si considera un coefficiente di attrito compreso tra **63°** e **64°** e incluso quindi nel range sopra menzionato.

3.2.1.4. Intervento C1

L'intervento in progetto è costituito da una scogliera in massi sciolti (o Rip-Rap). Il dimensionamento dei massi è avvenuto mediante l'applicazione del criterio di Stevens et al, considerando i seguenti parametri:

- pendenza di fondo alveo i pari al 0.37%;
- $\theta = 45^\circ$;
- $\gamma_s = 26500 \text{ N/m}^3$;
- $\gamma = 9810 \text{ N/m}^3$;
- $V = 1.71 \text{ m/s}$ (rilevata dagli studi idrologici e idraulici condotti all'interno della fase esecutiva del progetto "Utilizzazione della Cava di Brenno quale vasca di laminazione del Torrente Bevera di Molteno").

Applicando le formule sopra descritte risulta che, considerando un coefficiente di attrito pari a **54°**, elementi di diametro medio pari a **1 m** (corrispondenti a **massi del volume minimo di 0,52 m³**), sono sufficienti a garantire la stabilità della scogliera.

3.2.1.5. Intervento D2

Il dimensionamento dei massi della scogliera in progetto è avvenuto mediante l'applicazione della teoria di Stevens et al, considerando i seguenti parametri:

- pendenza di fondo alveo i pari al 0.37%;
- $\theta = 60^\circ$;
- $\gamma_s = 26500 \text{ N/m}^3$;
- $\gamma = 9810 \text{ N/m}^3$;
- $V =$ intervallo considerato: tra 2 e 3 m/s

I risultati ottenuti dall'applicazione delle formule sopra descritte dimostrano che, considerando un coefficiente di attrito compreso tra **69°** e **75°**, elementi di diametro medio pari a **0.7 m** (corrispondenti a **massi del volume minimo di 0.18 m³**), sono sufficienti a garantire la stabilità della scogliera.