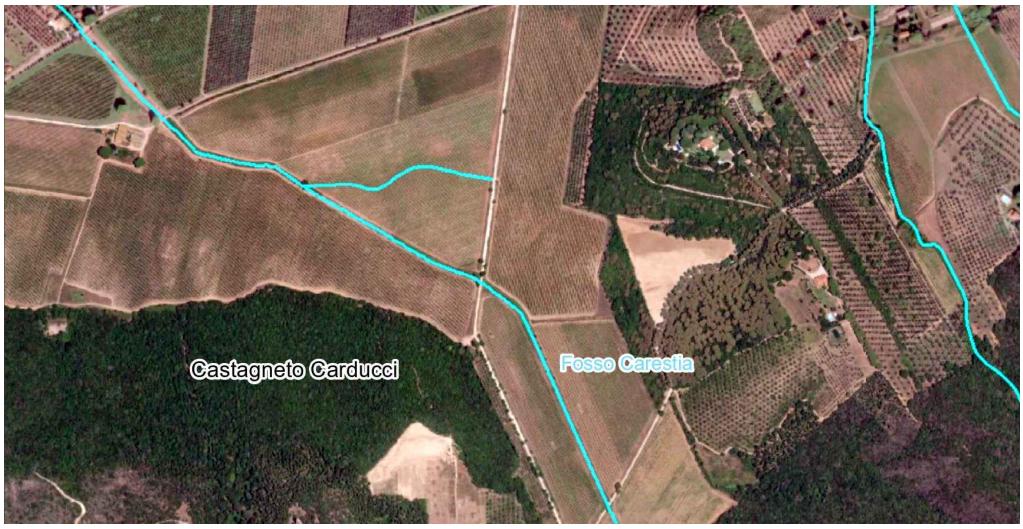
Consorzio 5 Toscana Costa

C.F. 01779220498 - www.cbtoscanacosta.it

09IR022/CI - INTERVENTI DI MANUTENZIONE STRAORDINARIA AD UN TRATTO DEL CORSO D'ACQUA DENOMINATO FOSSO CARESTIA NEL COMUNE DI CASTAGNETO CARDUCCI LOC. PORCARECCE - ***CUP G17001490002***

DPCM 18/06/2021 - DGRT 164/2022 - DGRT 116/2023



PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA

Relazione tecnica - Calcolo della scogliera

Gruppo di progettazione:

Ing. Elisa Totti
Ing. Riccardo Benifei
Geom. Angela Nencioni
Geol. Marco Casini

R.U.P.

Ing. Giorgio Vannucci

DATA	ELABORATO
Novembre 2023	**A2**

Consorzio Associato

Via degli Speziali, 17 - Loc. Venturina Terme
57021 CAMPIGLIA M.ma (LI)
Tel: +39 0565 85761 Fax: +39 0565 857690
cb5@pec.cbtoscanacosta.it - protocollo@cbtoscanacosta.it

SOMMARIO

1. MOTIVAZIONI E OBIETTIVI DEL PROGETTO....2

2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE....2

3. DIMENSIONI DEL PROGETTO....4

4. VERIFICA DELLA SCOGLIERA....4

4.1 Verifica dei massi sul fondo alveo....7

4.2 Verifica dei massi sulle sponde....8

4.3 Conclusioni....10

1. MOTIVAZIONI E OBIETTIVI DEL PROGETTO

Il presente progetto è motivato dalla necessità di realizzare opere di ripristino e di difesa spondale in un tratto del Fosso Carestia nel Comune di Castagneto Carducci in Loc. Podere Porcarecce, che presenta importanti fenomeni erosivi sia sulle sponde che sul fondo alveo.

Tali erosioni, causate dalla corrente liquida del corso d'acqua a carattere torrentizio, sono dovute alle caratteristiche geomorfologiche del Fosso Carestia, che presenta significative pendenze di fondo.

L'intervento di progetto ha come requisito prestazionale tecnico il raggiungimento della stabilità del tratto oggetto di studio, tramite il ripristino della sezione originaria del corso d'acqua in esame e la realizzazione di opere di difesa spondale e di fondo alveo.

Nell'ottobre 2017 furono redatti, dal Consorzio di Bonifica 5 Toscana Costa, gli elaborati del Progetto Definitivo ai sensi del Dlgs 50/2016, ai fini della richiesta di finanziamento agli Uffici della Regione Toscana.

Il presente Progetto di Fattibilità Tecnica Economica è stato redatto, ai sensi del D.Lgs. 36/2023 in seguito alla concessione del finanziamento ed all'individuazione del Consorzio di Bonifica 5 Toscana Costa quale Ente Attuatore dell'intervento con Ordinanza Commissariale n. 41 del 9/6/2023 del Commissario di Governo contro il dissesto idrogeologico.

2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE

Il Fosso Carestia è un corso d'acqua facente parte del reticolo in gestione del Consorzio 5 Toscana Costa ai sensi della L.R. 79/2012 aggiornato con DCRT 103/2022 (vedasi Fig. 1 per un estratto mappa).

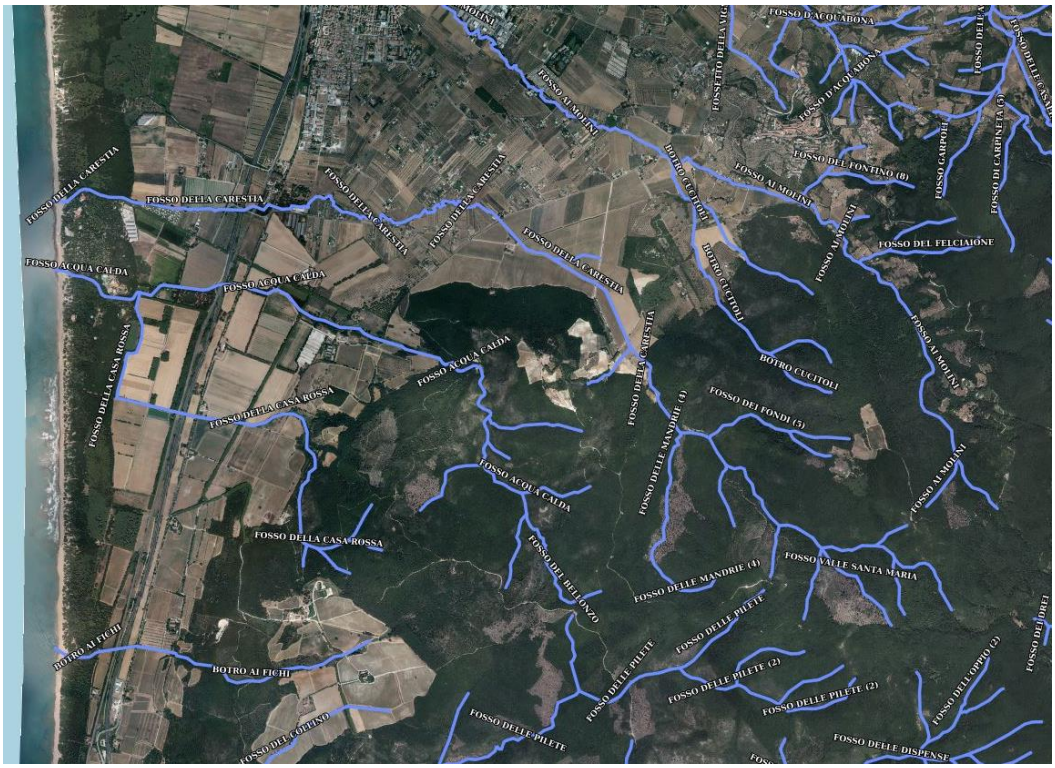


Figura 1. Estratto della mappa del reticolo idrografico di gestione individuato dalla Regione Toscana attuando quanto disposto dalla Legge regionale 79/2012.

Il Fosso Carestia è un corso d'acqua che, alla sezione di chiusura posta a ca. 350 m a monte dello sbocco nel Mar Tirreno, presenta una lunghezza totale di 8,36 Km con una pendenza media pari al 13,8% nel tratto di monte e sempre inferiore al 1,5% nel tratto di valle (ultimi 6,86 km). Il bacino imbrifero del Fosso di Carestia, alla sezione di chiusura posta in corrispondenza dell'attraversamento con via dei Cannoni, si estende per ca. 5,53 Kmq e presenta le caratteristiche riportate nella seguente tabella.

A (km^2)	L (km)	H max (m s.l.m.)	H min (m s.l.m.)	H med (m s.l.m.)	i (-)	ib (-)
5,53	4,30	529,81	50,09	226,58	0,10	0,26

Tabella 1. Caratteristiche morfologiche del bacino imbrifero del Fosso Carestia.

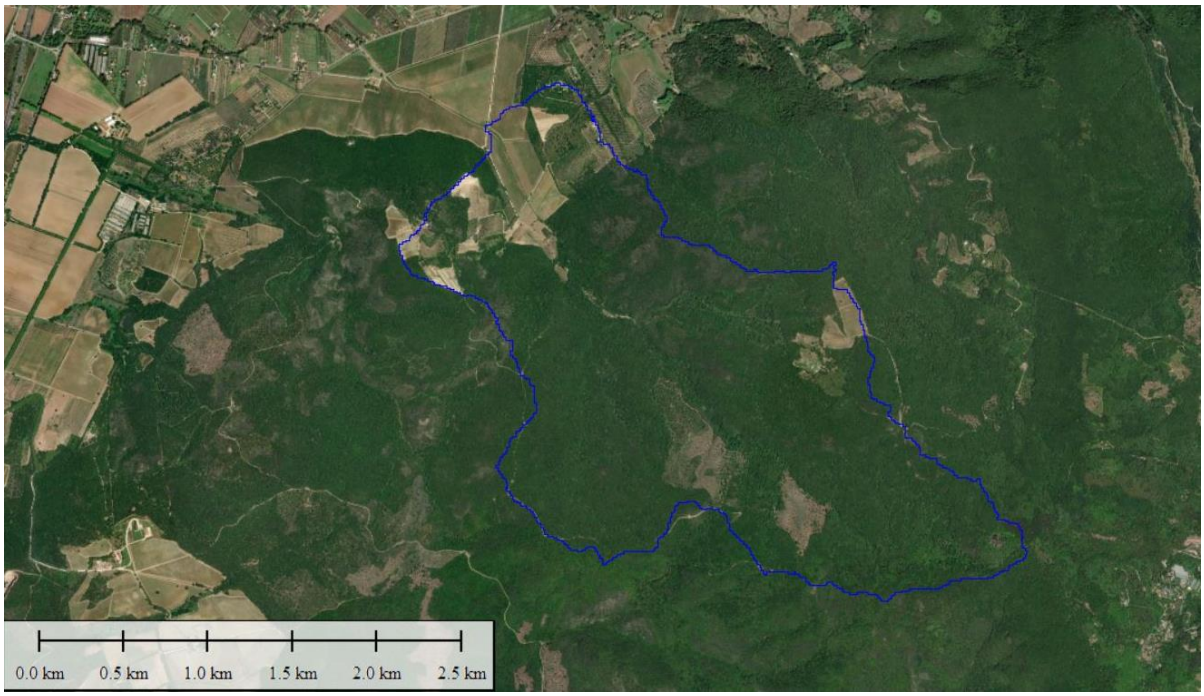


Figura 2. Bacino imbrifero del Fosso Carestia alla sezione di chiusura posta all'attraversamento con via dei Cannoni.

L'uso del suolo nel bacino imbrifero del Fosso Carestia è in prevalenza di tipo boschivo nella zona di monte e di tipo agricolo con prevalenza di vigneti nella parte valliva. La percentuale del bacino imbrifero a copertura boschiva è pari al 85%, il restante 15% è terreno agricolo.

3. DIMENSIONI DEL PROGETTO

Il progetto prevede le seguenti principali lavorazioni:

- Taglio della vegetazione erbacea per circa 1950 m^2;
- Scavo per circa 400 m^3;
- Scogliera con massi di pietra calcarea con peso da 1,5 t a 3 t m^3 per circa 800 m^3;

Di seguito si riporta la verifica della scogliera in massi.

4. VERIFICA DELLA SCOGLIERA

In letteratura sono disponibili varie formule per la valutazione della stabilità dei materiali di assegnata granulometria soggetti all'azione di trascinamento della corrente.

Questi procedimenti si basano sulla determinazione dei valori critici della velocità o delle tensioni tangenziali (intesi come valori che corrispondono alle condizioni di moto incipiente per il materiale considerato) e sul confronto con i valori reali di tali grandezze.

Seguendo il criterio che si basa sulla definizione dello sforzo tangenziale esercitato dalla corrente sul materiale costituente il letto fluviale, la condizione di stabilita del fondo risulta quando $\tau_{cr} \geq \tau_0$, ovvero quando la tensione tangenziale critica è maggiore o uguale a quella esercitata dalla corrente.

La tensione tangenziale sul fondo dell'alveo è data dalla formula:

$$\tau_0 = \gamma \cdot R \cdot i$$

dove γ [kg/m3] è il peso specifico dell'acqua, R [m] è il raggio idraulico della sezione, h il tirante idrico [m], i [m/m] la pendenza del fondo.

Per la tensione tangenziale presente sulle sponde si può considerare il 75% di quella sul fondo.

La seguente analisi di stabilità è riferita alla teoria della tensione tangenziale critica (Shields, 1936) attraverso la valutazione della forza che determina il moto incipiente dei granuli, esprimibile in termini generali con la seguente relazione che esprime una condizione di equilibrio:

$$\frac{\boldsymbol{\tau_{cr}}}{(\boldsymbol{\gamma_s} - \boldsymbol{\gamma}) \cdot \boldsymbol{d}} = \boldsymbol{\varphi}(\boldsymbol{Re})$$

dove:

τ_{cr} : tensione tangenziale critica [kg/m^2]

γ_s : peso specifico materiale d'alveo [kg/m^3]

γ : peso specifico dell'acqua [kg/m^3]

d = diametro del granulo [m]

$\varphi(Re)$: parametro adimensionale dipendente dalle caratteristiche dei granuli e del letto fluviale e dal numero di Reynolds di grano (* Re) relativo alla velocità di attrito.

La suddetta condizione di equilibrio e stata tradotta in termini empirici da osservazioni sperimentali, ciascuna caratterizzata da limiti e campi di applicabilità specifici che ne condizionano l'utilizzo.

In particolare, alcuni autori hanno individuato valori empirici specifici del parametro di Shields:

$\boldsymbol{\varphi}$ **= 0.047** nella espressione di Meyer-Peter;

φ = 0.058 ÷ 0060 nella espressione originate di Shields per Re* > 400;

Oltre a questi, valori è applicabile, quando la dimensione del materiale è dello stesso ordine di grandezza del tirante idrico, la formula di Armanini:

$$\frac{\tau_{cr}}{(\gamma_s - \gamma) \cdot d} = \left[0{,}061 + 0{,}67 \cdot \left(\frac{d}{h}\right)^{0{,}5}\right]$$

Per le verifiche di stabilità delle sponde, la condizione di moto incipiente va espressa considerando le componenti attive del peso e della spinta idrodinamica in relazione alla pendenza della sponda (α) rispetto all'orizzontale.

Per tali verifiche viene normalmente utilizzata la seguente espressione (Lane 1953):

$$\tau_{cr}(\alpha) = \tau_{cr}(0) \cdot \left[cos\alpha \cdot \sqrt{1 - \frac{tg^2\alpha}{tg^2\emptyset}}\right]$$

dove $\tau_{cr}(0)$ è la tensione critica sul fondo, α è la pendenza delle sponde e $\emptyset$ è l'angolo di attrito interno del materiale.

La stabilità del sistema di protezione può essere giudicata sulla base di un confronto fra la tensione tangenziale ottenuta dal calcolo a quella massima ammissibile caratteristica dell'opera.

Se si analizza un canale a sezione trapezia, si può rappresentare la seguente distribuzione degli sforzi:

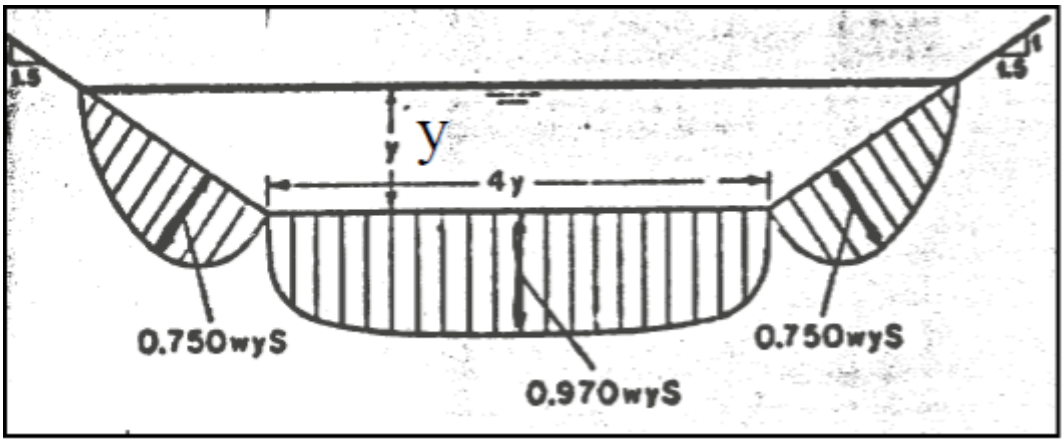


Figura 3. Massimi sforzi tangenziali sul fondo e sulle sponde di una sezione trapezia

Per le verifiche di stabilità dei massi costituenti la scogliera oggetto del presente progetto, si è fatto riferimento **all'espressione di Shields nella formulazione di Meyer - Peters**. Per tenere conto dell'inclinazione del paramento si è utilizzata l'espressione di Lane (1953) su riportata.

4.1 Verifica dei massi sul fondo alveo

La verifica è stata svolta nell'ipotesi cautelativa di sezione di deflusso piena.

Per ogni tratto è stata calcolata la **tensione tangenziale al fondo** secondo la relazione:

$$\tau_0 = \gamma \cdot R \cdot i$$

Dove:
γ : 1000 [kg/m^3]

R ed i sono state calcolate per ogni tratto, inserendo le misure della tavola di progetto e secondo la tabella in figura 4. Le quote sul fondo sono state riportate a quelle della sezione originaria, rialzandole di 50 cm rispetto all'attuale. Per la sezione 4 a valle del ponticello esistente, in cui è evidente un importante fenomeno erosivo, si prevede un ulteriore rialzamento del fondo di circa 20 cm.

VERIFICA MASSO FONDO ALVEO						
SEZ	QUOTA FONDO SX	QUOTA FONDO DX	QUOTA FONDO MEDIA	AREA	CONT. BAGNATO	RAGGIO IDRAULICO
1	-3,15	-3,31	-3,23	15,25	10,39	1,47
2	-3,50	-3,30	-3,4	21,44	12,14	1,77
3	-3,72	-3,37	-3,545	24,6	12,44	1,98
4	-3,81	-4,04	-3,925	11,51	9,45	1,22
5	-4,35	-4,09	-4,22	8,71	9,09	0,96
6	-5,16	-5,13	-5,145	9,93	3,36	2,96
7	-5,40	-5,40	-5,4	7,34	8,69	0,84
8	-6,39	-6,50	-6,445	13,56	9,69	1,40
9	-7,56	-7,50	-7,53	13,06	9,44	1,38
TRATTI	DISTANZA (L)	DH	i	RAGGIO IDR. MEDIO	TENSIONE TANG. FONDO	
1-2	24	0,17	0,0071	1,62	**11,45**	
2-3	24	0,145	0,0060	1,87	**11,31**	
3-4	15	0,38	0,0253	1,60	**40,48**	
4-5	32	0,295	0,0092	1,09	**10,03**	
5-6	39	0,925	0,0237	1,96	**46,41**	
6-7	37	0,255	0,0069	1,90	**13,09**	
7-8	54	1,045	0,0194	1,12	**21,71**	
8-9	33	1,085	0,0329	1,39	**45,75**	

Figura 4. Tabella di calcolo della tensione tangenziale (in giallo i dati di input)

Come si evince dalla tabella il massimo valore di **tensione tangenziale al fondo** è pari a **46,41 kg/m^2**, nel tratto 5-6.

La tensione tangenziale critica si calcola con la relazione:

$$\frac{\boldsymbol{\tau_{cr}}}{(\boldsymbol{\gamma_s} - \boldsymbol{\gamma}) \cdot \boldsymbol{d}} = \mathbf{0,047}$$

Dove:

γ_s = 2.500 [kg/m^3]

γ : 1000 [kg/m^3]

d = Diametro del masso identificato attraverso il diametro medio di calcolo D_{50}. Volendo esprimere l'ordine di grandezza dei massi tramite il loro peso, si può considerare che il volume di elementi di forma abbastanza regolare è compreso tra quello di un cubo di lato pari alla dimensione caratteristica calcolata D_{50} e quella di una sfera di tale diametro. Il rapporto tra questi due volumi è 0,52, mentre il **volume del masso caratteristico sarà circa pari a 0,8 volte il volume del cubo**. Quindi per calcolare il volume del masso caratteristico può essere utilizzata la relazione:

$$V = 0{,}80 \cdot {D_{50}}^3$$

Considerando che per il progetto si sono scelti massi di peso pari a 1,5 - 3 t, si può ipotizzare di utilizzare massi dal peso di 1,5 t, e che pertanto il volume del masso sarà pari a:

$$V = \frac{Peso\ masso}{\gamma_s} = \frac{1.500}{2.500} = 0{,}60\ m^3$$

Pertanto, il diametro del masso darà pari a:

$$D_{50} = \sqrt[3]{\frac{V}{0{,}80}} = \sqrt[3]{\frac{0{,}60}{0{,}80}} = \mathbf{0,90\ \boldsymbol{m}}$$

A questo punto è possibile calcolare la $\boldsymbol{\tau_{cr}}$**:**

$$\boldsymbol{\tau_{cr}} = \mathbf{0,047} \cdot (\boldsymbol{\gamma_s} - \boldsymbol{\gamma}) \cdot \boldsymbol{d} = \mathbf{0,047} \cdot (\mathbf{2500} - \mathbf{1000}) \cdot \mathbf{0,90} = \mathbf{63,45}\ \boldsymbol{kg/m}^{\mathbf{2}}$$

Come si evince considerando i valori della tabella in fig.4, la verifica $\tau_{cr} \geq \tau_0$ risulta essere rispettata in tutti i tratti del corso d'acqua.

4.2 Verifica dei massi sulle sponde

La verifica è stata svolta con le stesse ipotesi del punto precedente.

La tensione tangenziale critica si calcola con la relazione:

$$\tau_{cr}(\alpha) = \tau_{cr}(0) \cdot \left[cos\alpha \cdot \sqrt{1 - \frac{tg^2\alpha}{tg^2\emptyset}} \right]$$

Dove:

$\tau_{cr}(0)$ = 63,45 kg/m^2 (tensione critica sul fondo)

α = angolo sull'orizzontale delle sponde

$\emptyset$ = 60° (angolo di attrito interno del materiale della scogliera)

I risultati, calcolati per ogni tratto, sono riportati in figura 5.

La tensione tangenziale spondale (τ_s) è pari al 75% della tensione sul fondo, ed i suoi valori sono stati calcolati per ogni tratto nella tabella in figura 5.

VERIFICA MASSO SPONDALE					
SEZ	α (media sponde)	α(rad)	TENS. CRITICA FONDO		
1	52	0,907571211	63,45		
2	42	0,733038286			
3	37	0,645771823			
4	54	0,942477796			
5	53	0,925024504			
6	38	0,663225116			
7	35	0,610865238			
8	38	0,663225116			
9	33	0,575958653			
TRATTI	α(med)	ϕ	ϕ (rad)	TENS. TANG. SPONDE	TENS. CRITICA SPONDA
1-2	0,8203	60	1,0472	**8,59**	**33,98**
2-3	0,6894	60	1,0472	**8,48**	**43,06**
3-4	0,7941	60	1,0472	**30,36**	**35,99**
4-5	0,9338	60	1,0472	**7,52**	**23,61**
5-6	0,7941	60	1,0472	**34,81**	**35,99**
6-7	0,6370	60	1,0472	**9,82**	**46,12**
7-8	0,6370	60	1,0472	**16,28**	**46,12**
8-9	0,6196	60	1,0472	**34,31**	**47,07**

Figura 5. Tabella di verifica del masso spondale (in giallo i dati di input)

Come si evince considerando i valori della tabella in fig.5, la verifica $\tau_{cr} \geq \tau_s$ risulta essere rispettata in tutti i tratti del corso d'acqua.

4.3 Conclusioni

La verifica sulla scogliera ha evidenziato il rispetto del singolo masso alla condizione $\tau_{cr} \geq \tau$ e pertanto i massi da porre in opera dovranno avere le seguenti caratteristiche:

$$\boldsymbol{\gamma_s \geq 2.500\ [kg/m^3]}$$

$$\boldsymbol{d \geq 0{,}90\ m}$$

$$\boldsymbol{Peso\ singolo\ masso \geq 1{,}5\ t}$$