



Commissione per la protezione dalle piene dell'associazione hydrosuisse (KOHS)

Il francobordo e il concetto di dimensionamento per le opere di protezione contro le piene

Raccomandazioni della Commissione per la protezione dalle piene

Riassunto

Nel dimensionamento di opere di protezione dalle piene occorre distinguere tra le incertezze relative alle grandezze di ingresso, quali la portata e l'apporto di detriti, e l'imprecisione nel risultato di un calcolo. Le prime vengono coperte da una scelta adeguata degli scenari di dimensionamento e degli scenari di sovraccarico, mentre la seconda da un francobordo, determinato secondo le raccomandazioni della KOHS. L'articolo integra questa distinzione in un approccio di dimensionamento per le misure di protezione dalle piene.

Résumé / Zusammenfassung

Lors de la conception des ouvrages de protection contre les crues, il convient de distinguer les incertitudes liées aux paramètres d'entrée, tels que le débit et l'apport de sédiments, des imprécisions dans le résultat d'un calcul. Les premières sont prises en compte par un choix judicieux de scénarios de dimensionnement et de scénarios de surcharge, tandis que la seconde est couverte par une revanche, déterminée conformément aux recommandations de la CICP. Cet article intègre cette distinction dans un concept de dimensionnement des mesures de protection contre les crues.

Lien vers la version française : www.hydrosuisse.ch/freibord

Bei der Bemessung von Schutzbauten gegen Hochwasser muss unterschieden werden zwischen Unsicherheiten in den Eingangsgrößen wie dem Abfluss und dem Geschiebeeintrag und der Unschärfe im Ergebnis einer Berechnung. Erstere werden mit einer klugen Wahl von Bemessungsszenarien und Überlastszenarien abgedeckt, letztere durch ein Freibord, welches im Sinne der Empfehlungen der KOHS bestimmt werden. Der Artikel bettet diese Unterscheidung in ein Bemessungskonzept für Hochwasserschutzmassnahmen ein. Link zur deutschen Fassung: www.hydrosuisse.ch/freibord

1. Introduzione

Con la sua raccomandazione sul francobordo nei fiumi con dinamica morfologica, la *KOHS (2026)* illustra come sia possibile determinare le variabilità del livello dell'acqua e della velocità di scorrimento in tali corsi d'acqua e tenerne conto nella definizione dei franco-bordi necessari.

Nel dimensionamento di opere di protezione dalle piene, spesso occorre valutare come gestire le incertezze e le imprecisioni esistenti e quale ruolo rivestano in questo contesto la scelta degli scenari e il bordo libero. Il presente articolo intende fornire delle risposte a tali interrogativi.

2. Distinzione tra scenari e francobordo

2.1 Incertezze e imprecisioni

Il francobordo è una grandezza idraulica utilizzata per il dimensionamento della sezione trasversale del corso d'acqua (*KOHS 2026*). Viene sommato al livello dell'acqua calcolato in uno scenario di dimensionamento Q_{Dim} . Q_{Dim} viene determinato in fase di progettazione sulla base di considerazioni costi-benefici. Per comprendere esattamente cosa è incluso nel francobordo e cosa no, occorre distinguere i seguenti punti.

Le *incertezze* sono variazioni sconosciute di un input. Ad esempio, la stima di un even-

to di piena HQ_{100} pari a $150 \text{ m}^3/\text{s}$ comporta incertezze idrologiche che possono essere stimate mediante una variazione statistica e descritte con un intervallo di confidenza e un'incertezza, ad esempio, di $\pm 10 \text{ m}^3/\text{s}$.

Le *imprecisioni*, invece, sono variazioni del risultato di un calcolo idraulico effettuato per un valore idrologico considerato preciso. Tali variazioni derivano dal modello di calcolo scelto e dall'incertezza dei parametri idraulici di input. Ad esempio, il risultato del calcolo della profondità di deflusso per una portata di $Q = 150 \text{ m}^3/\text{s}$ presenta un'incertezza, poiché la stima delle scabrezze su cui si basa il calcolo è soggetta a incertezze. In questo esempio, la portata di $150 \text{ m}^3/\text{s}$ non è considerata incerta, ma come input fisso.

Le incertezze idrologiche vengono gestite attraverso il piano di protezione e, in particolare, attraverso la gestione dei rischi residui. Le incertezze idrauliche sono coperte dal francobordo. Il francobordo costituisce quindi un fattore di sicurezza ai sensi della norma SIA sulle strutture portanti.

Naturalmente, nella pratica può capitare che, all'interno del francobordo determinato dal calcolo, si verifichino portate superiori a Q_{Dim} . Tuttavia, dal punto di vista concettuale, il francobordo non può essere considerato una riserva di sicurezza per portate più elevate, poiché non vi è alcuna garanzia che il francobordo sia effettivamente disponibile. In questo senso, un calcolo della portata a bordo pieno che non tenga conto della riserva

necessaria non fornisce un valore affidabile per il dimensionamento di una sezione di deflusso.

La situazione è paragonabile al dimensionamento statico di un edificio. Il coefficiente di sicurezza consente di coprire le imprecisioni nel calcolo e di garantire la capacità portante per il caso di carico. Una soletta progettata per un carico di 200 kg/m^2 può eventualmente sopportare un carico maggiore in punti specifici, ma non è progettata a tale scopo e la sua capacità portante non può essere garantita.

2.2 Fenomeni, sequenze di eventi e scenari

- I *fenomeni* descrivono i processi naturali che si verificano in un corso d'acqua e nel suo bacino idrografico.
- Le *sequenze di eventi* descrivono una possibile successione di processi naturali in un corso d'acqua e nel suo bacino idrografico. Vengono identificate sulla base di osservazioni passate o sull'analisi di possibili sviluppi. Ad esse viene assegnata una probabilità di superamento.
- Gli *scenari* sono combinazioni di sequenze di eventi con una determinata probabilità di superamento. Questi scenari costituiscono la base per la

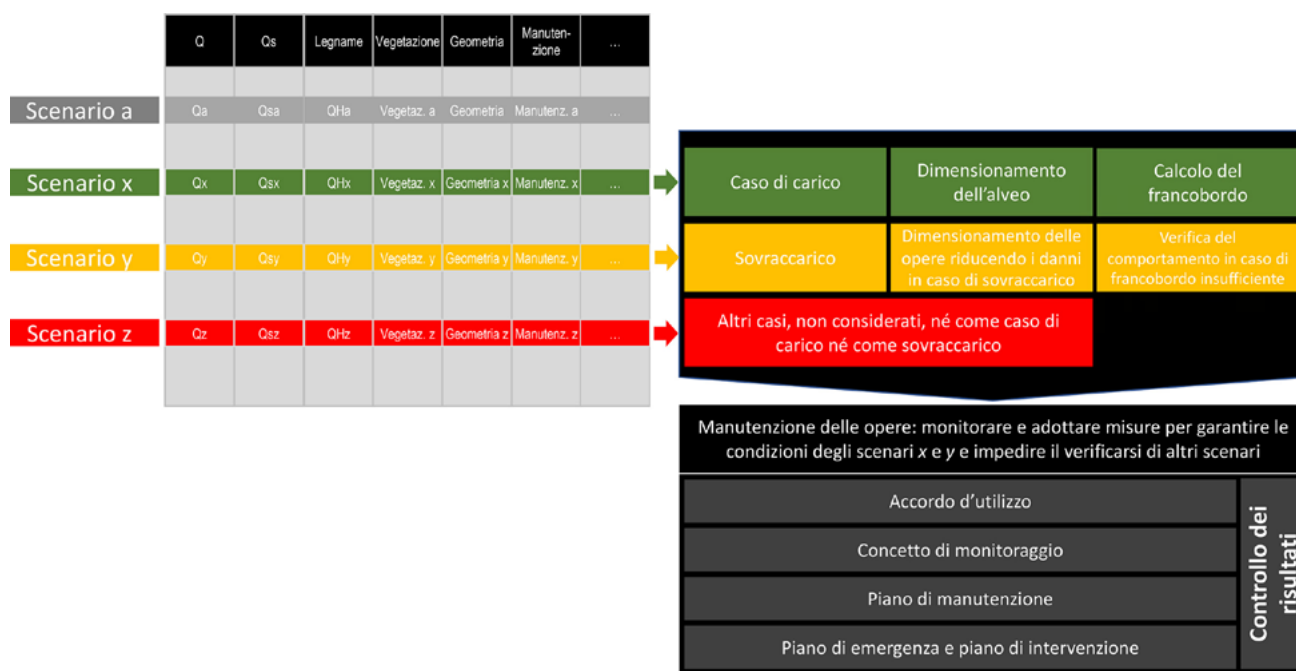


Figura 1: Scenari e loro rilevanza per il calcolo del francobordo.

valutazione dei pericoli e l'elaborazione delle mappe di pericolo.

Lo stesso principio viene applicato nella definizione degli scenari per il dimensionamento delle opere di protezione. Tra i vari scenari ($a...z$) viene selezionato uno scenario x (o una famiglia di scenari) come scenario di dimensionamento e un altro scenario (y) per la verifica del sovraccarico. È importante definire chiaramente gli scenari non considerati (z) (vedi Figura 1).

2.3 Scenario di dimensionamento x

La progettazione di un canale e, di conseguenza, il calcolo del francobordo necessario si basano su uno scenario di riferimento (scenario di dimensionamento x) che può comprendere i seguenti elementi:

- Portata Q_{Dim}
- Carico di sedimenti $Q_{S Dim}$
- Carico di legname galleggiante $Q_{H Dim}$ (volume e dimensioni)
- Geometria di riferimento (sezione trasversale media del canale, pendenza longitudinale, altezza degli argini longitudinali)
- Vegetazione di riferimento (estensione e permeabilità o scabrezza della vegetazione sviluppata)
- Manutenzione (monitoraggio e piano di manutenzione della vegetazione e/o del materiale detritico)

Va tenuto presente che non si tratta necessariamente di un singolo scenario di dimensionamento, ma può trattarsi di un gruppo di scenari con valori simili che coprono diversi andamenti degli eventi. L'obiettivo non è quello di limitare gli scenari di dimensionamento, ma di identificarli in modo chiaro e trasparente sulla base della descrizione dello scenario di riferimento.

Ai sensi della norma sulle strutture portanti (SIA), gli scenari di dimensionamento corrispondono ai casi di carico concordati nell'accordo di utilizzo dell'opera e il francobordo richiesto corrisponde al fattore di sicurezza relativo a questi. Il francobordo richiesto viene quindi calcolato non solo per una portata di dimensionamento (Q_{Dim}), ma per uno scenario di dimensionamento x che definisce le condizioni e il caso di carico dell'opera nel suo complesso.

Si propone di definire gli scenari determinanti per il dimensionamento di un'opera e per la verifica del comportamento in caso di sovraccarico in un accordo di utilizzo tra committente e progettista.

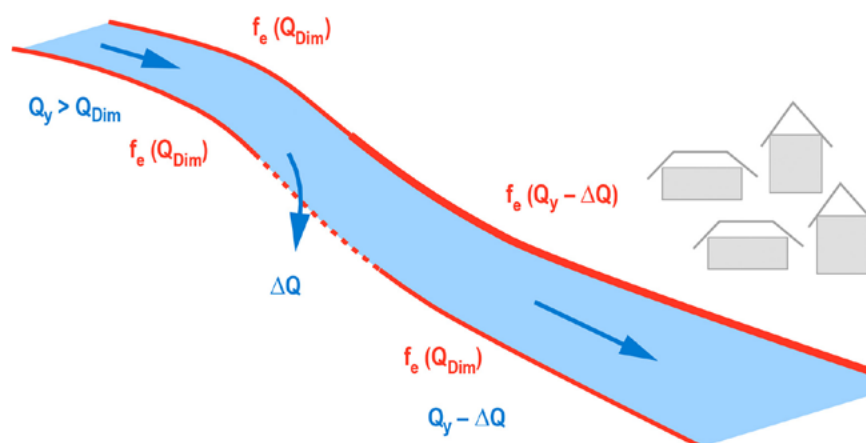


Figura 2: Condizione di francobordo su un tratto di fiume con scarico mirato ΔQ , previsto per lo scenario y . Il francobordo richiesto viene determinato a sinistra e a destra per diverse portate.

2.4 Scenario di verifica y e comportamento in caso di sovraccarico

Il francobordo richiesto viene determinato per lo scenario di dimensionamento x e la corrispondente portata di dimensionamento Q_{Dim} . Nell'ambito della progettazione occorre evidenziare quali conseguenze si verifichino qualora, nello scenario di verifica y o negli scenari di verifica $y_{L,n}$, il francobordo richiesto non venga più rispettato. Se, a causa della mancanza di francobordo, non è possibile garantire la capacità di deflusso, ad esempio perché fluisce una maggiore quantità d'acqua, viene trasportato più materiale detritico o la vegetazione si è sviluppata in modo più rigoglioso, si deve ipotizzare lo straripamento di una sponda, la rottura di un argine o l'ostruzione di una sezione trasversale di un ponte, come descritto in dettaglio in KOHS (2013).

Se in un piano di protezione con lo scenario di dimensionamento x si mira a garantire una capacità di deflusso sufficiente per la portata Q_{Dim} e, nello scenario di verifica y , si prevede ad esempio uno scarico mirato verso destra per proteggere beni di valore sulla sponda sinistra, l'applicazione dei criteri di francobordo cambia. Per l'argine destro del canale, il francobordo richiesto viene sempre determinato in base allo scenario di dimensionamento e alla portata Q_{Dim} . Per l'argine sinistro, a partire dallo scarico, la portata Q_y meno la quantità d'acqua scaricata ΔQ diventa la portata di dimensionamento. Il francobordo richiesto per l'argine sinistro deve quindi essere calcolato per una portata

$$Q_{Dim_sinistra} = Q_y - \Delta Q$$

(Figura 2). Infine, nell'ambito del concetto di gestione dello scenario y , occorre illustrare quali conseguenze comporta la portata $Q_y > Q_{Dim}$ a monte del punto di scarico.

2.5 Scenario z – non preso in considerazione

Lo scenario z descrive situazioni considerate troppo rare o le cui ripercussioni sulla pianificazione territoriale sono sproporzionatamente elevate per poter essere utilizzate come scenario di progettazione o di verifica. Può trattarsi, ad esempio, di uno scenario con la portata massima possibile (PMF) o di uno scenario in cui la manutenzione della vegetazione viene completamente trascurata. In ogni caso, uno scenario di questo tipo deve essere esplicitamente descritto ed escluso dall'accordo di utilizzo.

2.6 Compiti del progettista e del committente

Nell'ambito della progettazione è necessario definire un quadro di riferimento per il calcolo del francobordo richiesto. In tale contesto, il progettista e il committente hanno compiti diversi:

Il progettista

- definisce lo scenario di dimensionamento e tiene conto di tutto ciò che appare rilevante e appropriato,
- elabora su questa base un accordo di utilizzo,
- effettua il dimensionamento del progetto e, su questa base, calcola il francobordo necessario,
- individua ciò che deve essere controllato e gestito per garantire la sicurezza

dell'opera e quindi la conformità allo scenario di dimensionamento, definendo quanto segue:

- il piano di monitoraggio, che definisce gli elementi da controllare e i valori soglia a partire dai quali è necessaria la manutenzione;
- il piano di manutenzione, che garantisce il rispetto dei parametri fondamentali dello scenario di dimensionamento;
- il piano di emergenza e per gli interventi sull'opera in caso di eventi.

Il committente approva

- l'accordo di utilizzo
- il programma di monitoraggio
- il piano di manutenzione
- il piano di emergenza e per gli interventi sull'opera

Questi quattro elementi costituiscono parte integrante della manutenzione dell'opera ai sensi della norma SIA 469. Servono inoltre a controllare i risultati (Erfolgskontrolle) del progetto di sistemazione idraulica.

2.7 Conclusione: rilevanza del francobordo

Dalle considerazioni sopra esposte si può sintetizzare che il francobordo richiesto integra

- l'imprecisione nel calcolo del livello dell'acqua per lo scenario di dimensionamento,
- i processi fisici quali la formazione di onde e il ristagno in presenza di ostacoli e
- lo spazio necessario per i detriti galleggianti.

Il francobordo non serve tuttavia a coprire

- le incertezze idrologiche,
- le variazioni della portata dovute al cambiamento climatico,
- scenari relativi alla portata, all'apporto di sedimenti, all'apporto di legname

galleggiante, alla geometria del canale e alla vegetazione che non sono coperti dallo scenario di dimensionamento o

- la modificazione dell'opera e l'evoluzione della vegetazione al di fuori delle condizioni stabilite nell'accordo di utilizzo.

3. Discussione sulla base dell'esempio dell'ampliamento del Reno a Bad Ragaz

Sul Reno alpino, nei pressi di Maienfeld/Bad Ragaz, è in fase di progettazione un ampliamento del letto del fiume. Il calcolo del francobordo necessario secondo la nuova raccomandazione è descritto in *KOHS (2026)*. Già prima della pubblicazione di questo documento, nell'ambito del progetto di ampliamento erano stati effettuati approfonditi calcoli di sensibilità di carico di fondo e idraulica. Questi hanno dimostrato che il fondo medio e il livello dell'acqua durante una piena reagiscono fortemente alle variabili di input. Sono state variate in particolare¹:

- portata di detriti, soprattutto provenienti dal Landquart
- intensità dell'erosione laterale endogenica
- larghezza di regime (valore medio maggiore o minore)
- influenza idraulica di una strozzatura locale causata dalla vegetazione, che in caso di piena non viene rimossa tempestivamente fino al picco della curva di livello
- rimozione non tempestiva di cavità di erosione dovute a restringimenti

Alcuni di questi calcoli di sensibilità hanno evidenziato livelli dell'acqua che, localmente,

¹ La scelta dei diametri caratteristici dei grani non ha richiesto ulteriori variazioni sul Reno alpino, ma in un altro contesto può avere anch'essa un'influenza significativa sul livello medio del letto.

protezione dalle piene (KOHS), hydrosuisse, www.hydrosuisse.ch/freibord.

Autori:

a Commissione per la protezione dalle piene (KOHS) è una commissione di hydrosuisse. Collaboratori del gruppo di lavoro «Freibord in Gerinnen mit Bänken»:

- ▷ Lukas Hunzinger (direzione)
- ▷ Tony Arborino
- ▷ Giovanni De Cesare
- ▷ Roger Kolb
- ▷ Jürg Speerli

utilizzerebbero una parte considerevole del francobordo calcolato secondo *KOHS (2026)*. Inoltre, tali scenari non vengono integrati nel calcolo del francobordo, ma devono essere coperti mediante una scelta adeguata degli scenari determinanti per l'evento di dimensionamento e per i casi di sovraccarico (*cfr. capitolo 2*). Inoltre, le ulteriori incertezze associate a questi scenari vengono compensate da una progettazione robusta e in grado di sopportare sovraccarichi. Parte integrante di questo design di dimensionamento sono i delimitatori dell'alveo a prova di straripamento, nonché un francobordo aumentato di ulteriori 20 cm sulla sponda destra del fiume, affinché l'autostrada che vi corre lungo rimanga al riparo da inondazioni intense e percorribile anche in scenari improbabili di rischio residuo.

Non è previsto, inoltre, un innalzamento del livello dell'acqua lungo la riva sinistra, dove si formerà un canale secondario che, nella fase di allargamento autoalimentato, risulterà temporaneamente isolato dal canale principale. Un ingorgo in questo stretto canale secondario comporterebbe un forte innalzamento locale del livello dell'acqua e fuoriuscite d'acqua. Sebbene questo scenario non causerebbe una rottura della diga longitudinale, è comunque necessario affrontarlo negli anni successivi alla costruzione con un'adeguata pianificazione delle emergenze.

Ringraziamenti

La KOHS ringrazia l'Ufficio federale dell'ambiente (UFAM) per il sostegno fornito nell'elaborazione della raccomandazione relativa al francobordo in acque con banchi. Il gruppo di lavoro ringrazia i membri della KOHS nonché i membri del gruppo Echo (*Paul Demuth, Jolanda Jenzer, Antoine Magnollay, Christina Rachely, Viktor Schmidiger, Jürg Stückelberger, Volker Weitbrecht e Benno Zarn*) per l'esame critico della metodologia e per i loro riscontri. 🟢

Simboli:

▷ f_e	[m]	Francobordo necessario
▷ HQ_x	[m ³ /s]	Portata di piena con periodicità x
▷ Q	[m ³ /s]	Portata
▷ Q_{Dim}	[m ³ /s]	Portata di dimensionamento per uno scenario x
▷ Q_{HDim}	[m ³ /evento]	Carico di legname galleggiante di dimensionamento per uno scenario x
▷ Q_{SDim}	[m ³ /evento]	Carico di detriti di dimensionamento per uno scenario x

Bibliografia:

- ▷ KOHS (2026): Francobordo nei fiumi con morfologia dinamica. Raccomandazioni della Commissione per la

Maggiori informazioni:
www.hydrosuisse.ch/freibord

