
 Schweizerische Eidgenossenschaft Confédération suisse Confederazione Svizzera Confederaziun svizra	Manuale tecnico Gallerie e geotecnica Scheda tecnica Elementi costruttivi Opere di sostegno	24 001-15105
Dipartimento federale dell'ambiente, dei trasporti, dell'energia e delle comunicazioni DATEC Ufficio federale delle strade USTRA	Conservazione dei muri di sostegno a mensola	V1.03 01.01.2023
Divisione Infrastruttura stradale I		Pagina 1 di 7

1. Riferimenti

SIA 260 Basi per la progettazione di strutture portanti
 SIA 261 Azioni sulle strutture portanti
 SIA 261/1 *Einwirkungen auf Tragwerke – Ergänzende Festlegungen* (Azioni sulle strutture portanti – Specifiche complementari)
 SIA 262 Costruzioni di calcestruzzo
 SIA 267 *Geotechnik* (Geotecnica)
 SIA 267/1 *Geotechnik – Ergänzende Festlegungen* (Geotecnica – Specifiche complementari)
 SIA 269 Basi per la conservazione delle strutture portanti
 SIA 269/1 Conservazione di strutture portanti – Azioni
 SIA 269/2 Conservazione delle strutture portanti – Costruzioni in calcestruzzo
 SIA 269/7 Conservazione delle strutture portanti – Geotecnica
 SIA 465 *Sicherheit von Bauten und Anlagen* (Sicurezza di edifici e impianti)
 SIA 469 Conservazione delle costruzioni
 SIA 2029 *Merkblatt Nichtrostender Betonstahl* (Acciaio d'armatura inossidabile)
 SIA 2042 *Merkblatt Vorbeugung von Schäden durch die Alkali-Aggregat-Reaktion (AAR) bei Betonbauten* (Prevenzione della reazione alcali-aggregato AAR nelle opere in calcestruzzo)
 SN EN 1504-1...10 Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture in calcestruzzo
 SN 640 383a *Stützbauwerke – Konzeption, Projektierung und Ausführung* (Opere di sostegno – Concezione, progettazione ed esecuzione)
 VSS, *Stützmauern Band 1, Grundlagen zur Berechnung und Konstruktion* (Muri di sostegno, volume 1, Criteri di calcolo e costruzione), pagg. 1-160, 1966.
 Direttiva ASTRA 11005 *Fahrzeugrückhaltesysteme* (Sistemi di ritenuta stradale)
 Direttiva ASTRA 12001 *Projektierung und Ausführung von Kunstbauten der Nationalstrassen* (Progettazione ed esecuzione dei manufatti delle strade nazionali)
 Direttiva ASTRA 12002 *Überwachung und Unterhalt von Kunstbauten der Nationalstrassen* (Controllo e manutenzione dei manufatti delle strade nazionali)
 Direttiva ASTRA 12008 *Anprall von Strassenfahrzeugen auf Bauwerksteile von Kunstbauten* (Urto di veicoli su componenti dei manufatti)
 Documento ASTRA 82013 *Alkali-Aggregat-Reaktion (AAR), Grundlagen und Massnahmen bei neuen und bestehenden Kunstbauten* (Reazione alcali-aggregato – Fondamenti e interventi in manufatti nuovi ed esistenti)
 Documento ASTRA 89001 Pericoli naturali lungo le strade nazionali: Gestione dei rischi
 Documento ASTRA 89003 Gestione rischi USTRA – Guida introduttiva
 Scheda 24 001-15101 Opere di sostegno – Aspetti generali
 Scheda 24 001-15102 Protezione controterra di opere di sostegno
 Scheda 24 001-15103 Drenaggio delle opere di sostegno

 Schweizerische Eidgenossenschaft Confédération suisse Confederazione Svizzera Confederaziun svizra	Manuale tecnico Gallerie e geotecnica Scheda tecnica Elementi costruttivi Opere di sostegno	24 001-15105
Dipartimento federale dell'ambiente, dei trasporti, dell'energia e delle comunicazioni DATEC Ufficio federale delle strade USTRA	Conservazione dei muri di sostegno a mensola	V1.03 01.01.2023
Divisione Infrastruttura stradale I		Pagina 2 di 7

2. Aspetti generali

La presente scheda tecnica riguarda la conservazione dei muri di sostegno a mensola in calcestruzzo armato sprovvisti di tiranti di ancoraggio, in particolare la zona di congiunzione controterra tra le fondazioni e la parete verticale, dove può manifestarsi una corrosione per vaiolatura (pitting) dell'armatura controterra. La presente scheda si applica per analogia anche ai muri di sostegno a mensola con sperone.

In linea di principio si presume che muri di nuova costruzione raggiungano la durata d'utilizzazione pianificata di 100 anni qualora vengano rispettate le prescrizioni e le regole dell'arte edilizia pertinenti.

Nella presente scheda non vengono trattate le condizioni geotecniche e idrogeologiche, che tuttavia rivestono particolare rilevanza e devono essere note per qualsiasi opera di sostegno.

Problematica

Rilievi esclusivamente visivi non permettono la valutazione dell'armatura sul lato posteriore del muro e rendono pertanto difficile formulare un giudizio sulla corrosione. In alcuni progetti dell'USTRA sono stati scoperti fenomeni corrosivi estesi alla base del muro in seguito a onerose indagini in situ (Figura 1). A seconda dell'opera di sostegno, una perdita della sezione dell'armatura può causare una notevole riduzione della resistenza strutturale interna e un accorciamento della durata d'utilizzazione.

Sezione trasversale

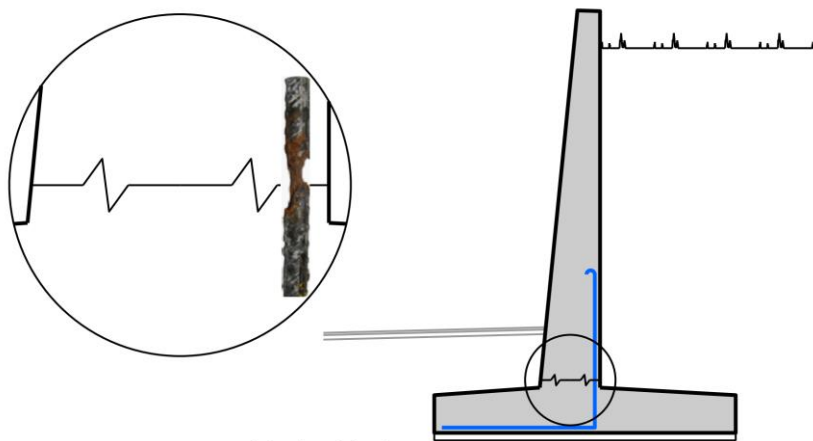



Figura 1: Corrosione per vaiolatura (pitting) dell'armatura controterra: esempio con grado di corrosione 4

In muri con nidi di ghiaia (difetto di esecuzione) sono stati rilevati fenomeni di pitting anche senza penetrazione dei cloruri o carbonatazione del calcestruzzo. Nelle aree affette da nidi di ghiaia e in presenza di calcestruzzo poroso, non è più possibile garantire la protezione alcalina dell'armatura.

 Schweizerische Eidgenossenschaft Confédération suisse Confederazione Svizzera Confederaziun svizra	Manuale tecnico Gallerie e geotecnica Scheda tecnica Elementi costruttivi Opere di sostegno	24 001-15105
Dipartimento federale dell'ambiente, dei trasporti, dell'energia e delle comunicazioni DATEC Ufficio federale delle strade USTRA	Conservazione dei muri di sostegno a mensola	V1.03 01.01.2023
Divisione Infrastruttura stradale I		Pagina 3 di 7

3. Procedura

Documenti di riferimento specifici

Geometria dell'opera, sistema di drenaggio e materiali da costruzione, ad es. da elaborati grafici e documentazione di archivio dell'opera realizzata. Terreno di fondazione, incl. dati idrogeologici dal rapporto geotecnico. Convenzione d'utilizzazione: indicazione della durata di vita residua, descrizione dell'eventuale conversione d'uso. Base di progetto: sollecitazioni e situazioni di dimensionamento.

Analisi del pericolo

La Pianificazione della conservazione provvede a registrare e aggiornare i dati più importanti relativi ai muri di sostegno nell'applicazione tecnica KUBA-DB. Tali opere vengono suddivise nelle seguenti classi in base ai pericoli potenziali per gli utenti della strada, indipendentemente dal grado di probabilità stimata di un loro collasso.

- **Pericolo elevato:** il collasso dell'opera di sostegno ha un impatto esteso sulla strada nazionale e/o sull'infrastruttura adiacente. Oltre alla corsia d'emergenza è interessata anche la carreggiata, ad es. la corsia di marcia normale.

Sezione trasversale

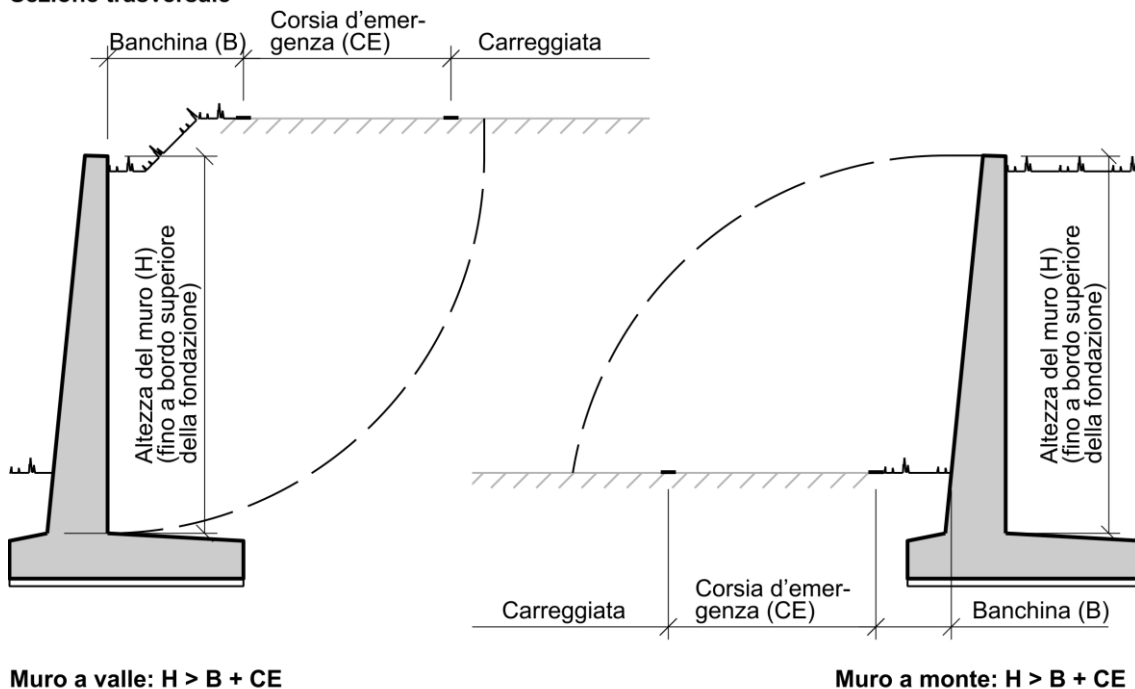

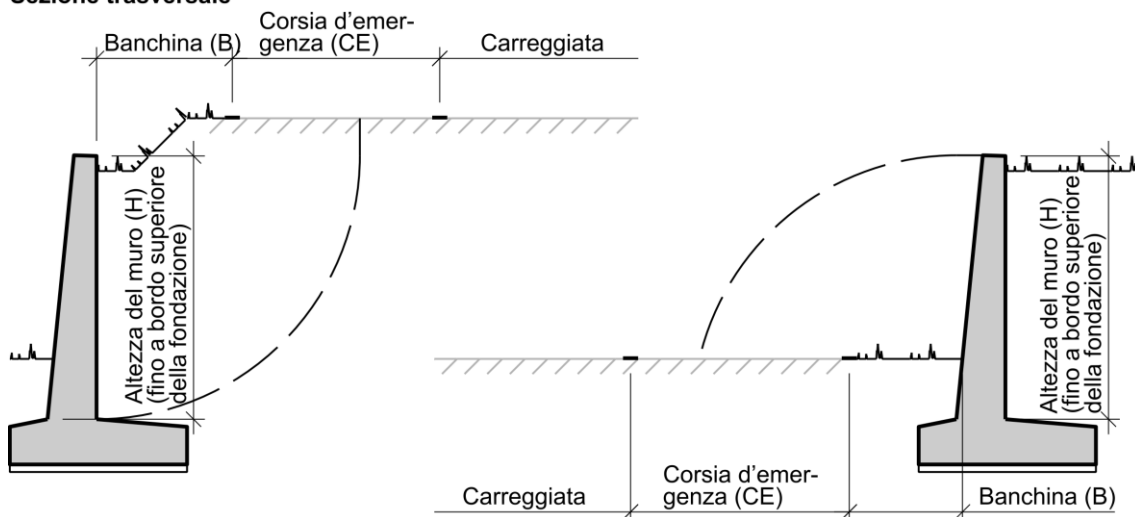


Figura 2: Collasso dell'opera di sostegno: Pericolo elevato

 Schweizerische Eidgenossenschaft Confédération suisse Confederazione Svizzera Confederaziun svizra	Manuale tecnico Gallerie e geotecnica Scheda tecnica Elementi costruttivi Opere di sostegno	24 001-15105
Dipartimento federale dell'ambiente, dei trasporti, dell'energia e delle comunicazioni DATEC Ufficio federale delle strade USTRA	Conservazione dei muri di sostegno a mensola	V1.03 01.01.2023
Divisione Infrastruttura stradale I		Pagina 4 di 7

- **Pericolo limitato:** il collasso dell'opera di sostegno ha un impatto limitato sulla strada nazionale e/o sull'infrastruttura adiacente. È interessata solo la corsia di emergenza.

Sezione trasversale



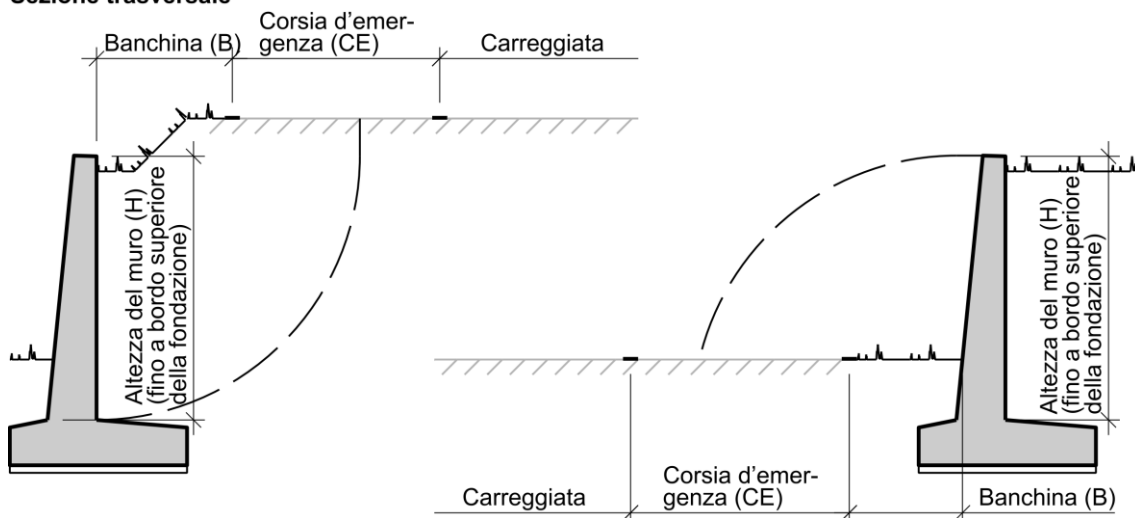
Muro a valle: $B < H < B + CE$

Muro a monte: $B < H < B + CE$

Figura 3: Collasso dell'opera di sostegno: Pericolo limitato

- **Nessun pericolo:** le opere di sostegno senza tiranti di ancoraggio sono sufficientemente lontane dalla strada nazionale, pertanto un loro eventuale collasso non ha alcun impatto sulla strada nazionale e/o sull'infrastruttura adiacente. Non viene coinvolta né la corsia di emergenza, né la carreggiata.

Sezione trasversale




Muro a valle: $B < H < B + CE$

Muro a monte: $B < H < B + CE$

Figura 4: Collasso dell'opera di sostegno: Nessun pericolo

Eventuali pericoli per infrastrutture adiacenti di terzi vanno considerati in separata sede.

 Schweizerische Eidgenossenschaft Confédération suisse Confederazione Svizzera Confederaziun svizra	Manuale tecnico Gallerie e geotecnica Scheda tecnica Elementi costruttivi Opere di sostegno	24 001-15105
Dipartimento federale dell'ambiente, dei trasporti, dell'energia e delle comunicazioni DATEC Ufficio federale delle strade USTRA	Conservazione dei muri di sostegno a mensola	V1.03 01.01.2023
Divisione Infrastruttura stradale I		Pagina 5 di 7

Analisi del rischio

In quest'analisi si parte dal seguente assunto:

$$\text{RISCHIO} = \text{CONSEGUENZE} \times \text{PROBABILITÀ DI OCCORRENZA}$$

Le possibili conseguenze o l'entità dei danni si ricavano dagli scenari di pericolo. Un danno può essere caratterizzato fondamentalmente come segue:


- pericolo di perdita di vite umane
- danno monetizzabile (stimabile finanziariamente)

Le conseguenze possono essere evidenziate o monetizzate singolarmente per ciascuna opera di sostegno, ma anche per un tratto di strada (cfr. documenti ASTRA 89001 e 89003).

L'esperienza insegna che i cedimenti strutturali sono sempre dovuti a diversi fattori concomitanti. La probabilità di cedimento di un muro può essere influenzata, tra l'altro, dalle caratteristiche sotto elencate.

- Opera non sufficientemente robusta con una riserva di capacità portante inadeguata, condizione attribuibile spesso a un sottodimensionamento del muro (difetto progettuale). Esempi: dimensionamento eseguito solo sulla base della spinta attiva della terra senza prendere in considerazione la pressione di compattazione e la pressione idrostatica, scelta di valori caratteristici del terreno di fondazione troppo ottimistici, costruzione snella, configurazione dell'armatura non corretta, lunghezza insufficiente dell'ancoraggio dell'armatura e così via
- Sistema di drenaggio mancante o non funzionante dietro, davanti o sopra il muro
- Errori nell'esecuzione dell'armatura costruttiva
- Comportamento strutturale in direzione longitudinale: la trasmissione delle forze agli elementi portanti adiacenti non è possibile o è possibile solo in misura limitata (effetto tridimensionale), troppi giunti di dilatazione
- Inadeguata capacità di deformazione della parete (duttilità insufficiente)
- Corrosione avanzata dell'armatura staticamente rilevante, in particolare dell'armatura di trazione nel punto di congiunzione tra fondazioni e parete. I motivi alla base possono essere ricondotti alle seguenti caratteristiche:
 - cuprifero dell'armatura insufficiente o troppo limitato
 - qualità d'esecuzione insufficiente, ad es. presenza di nidi di ghiaia nel calcestruzzo
 - capacità di rotazione limitata delle fondazioni, caratteristica che determina la presenza di giunti discontinui nell'area posteriore
 - dettagli costruttivi mancanti, ad es. nessuna impermeabilizzazione dei giunti di lavoro tra fondazioni e parete
 - riempimento a tergo con materiale coesivo e sensibile all'acqua; un terreno argilloso può provocare ristagni d'acqua e favorire la corrosione
 - ambiente aggressivo per la penetrazione di acqua salata in seguito al servizio invernale

Dall'elenco sopra riportato si evince che non è possibile eseguire un'analisi del rischio senza un rilevamento dello stato e una verifica statica dell'opera, ricordando che quest'ultima non può essere sostituita, ma solo integrata dall'analisi.

 Schweizerische Eidgenossenschaft Confédération suisse Confederazione Svizzera Confederaziun svizra	Manuale tecnico Gallerie e geotecnica Scheda tecnica Elementi costruttivi Opere di sostegno	24 001-15105
Dipartimento federale dell'ambiente, dei trasporti, dell'energia e delle comunicazioni DATEC Ufficio federale delle strade USTRA	Conservazione dei muri di sostegno a mensola	V1.03 01.01.2023
Divisione Infrastruttura stradale I		Pagina 6 di 7

Secondo il principio dell'affidabilità, il rischio individuale accettabile è pari a $10^{-5}/a$ (cfr. SIA 269 App. B4). Poiché per i muri di sostegno delle strade nazionali non esiste un obiettivo di protezione specifico, è possibile stabilire requisiti riferiti a singoli oggetti.

Ai fini della descrizione e della quantificazione del pericolo per gli utenti della strada è rilevante anche il volume di traffico, generalmente espresso in traffico medio giornaliero (TGM): se per esempio è scarso, minore è la probabilità che un muro collassato colpisca un utente della strada.

Su assi di importanza strategica molto trafficati va invece considerato il tratto di strada nazionale interessato. Quali conseguenze può avere la chiusura di una corsia? Quanto può durare per motivi di emergenza?

Rilevamento e valutazione dello stato

Controllo visivo: serve a determinare lo stato degli elementi costruttivi visibili. Tuttavia, per potersi pronunciare anche sullo stato di quelli non visibili, come armatura e drenaggio, sono necessarie altre indagini.

Indagini strumentali / prove di laboratorio: mediante prioritizzazione sulla base dell'analisi del pericolo, è possibile stabilire quale opera va esaminata nel dettaglio. In presenza di indizi di corrosione dell'armatura vanno eseguite anche indagini strumentali. Durante la progettazione se ne possono pianificare ed eseguire di nuove e più approfondite.

L'obiettivo è rilevare quanto segue:


- geometria del muro, ad esempio spessore dell'elemento costruttivo, lunghezza delle fondazioni (in mancanza di documentazione d'archivio)
- stato del calcestruzzo (resistenza, contenuto di cloruri, carbonatazione, reazione alcali-aggregato AAR)
- esistenza, stato e funzionalità del drenaggio
- pericolo di corrosione dell'acciaio, ad es. con misurazioni del campo di potenziale elettrico
- stato dell'armatura controterra in corrispondenza dei giunti di lavoro parete/fondazioni
- qualità del terreno di riempimento a tergo (resistenza, capacità di ritenzione idrica, corrosività)
- aggressività del calcestruzzo, ad es. contenuto di solfati nell'acqua d'infiltrazione

Per valutare lo stato dell'armatura, è necessario realizzare finestre di ispezione mediante getti d'acqua ad alta pressione (hydrojetting), generalmente dopo un precedente lavoro di scavo sul lato anteriore del muro. In alternativa è possibile realizzare pozzi di scavo sul lato posteriore. Le forature per carotaggio sono consigliate solo con riserva, poiché tagliano trasversalmente l'armatura e rendono difficile individuare i punti critici di corrosione nell'ambito dei giunti di lavoro. Le indagini del cemento armato vanno eseguite in conformità alle norme vigenti. I cosiddetti metodi di indagine non distruttivi non hanno finora fornito indicazioni sicure sullo stato dell'armatura controterra.

Il rilevamento dello stato è il presupposto per la sua valutazione.

Verifica statica / Attestazione della sicurezza strutturale

In una prima fase, eseguire la verifica statica generale, secondo le norme SIA 269 e SIA 269/1..7, utilizzando dati aggiornati, ad es. con rilevamento delle caratteristiche dei materiali

 Schweizerische Eidgenossenschaft Confédération suisse Confederazione Svizzera Confederaziun svizra	Manuale tecnico Gallerie e geotecnica Scheda tecnica Elementi costruttivi Opere di sostegno	24 001-15105
Dipartimento federale dell'ambiente, dei trasporti, dell'energia e delle comunicazioni DATEC Ufficio federale delle strade USTRA	Conservazione dei muri di sostegno a mensola	V1.03 01.01.2023
Divisione Infrastruttura stradale I		Pagina 7 di 7

e del terreno di fondazione. Sulla base di tale verifica, dell'analisi del pericolo e della valutazione dello stato, decidere se è necessario eseguire accertamenti più dettagliati. I gradi di adempimento vanno rilevati e valutati prendendo in considerazione lo stato dell'opera, incluse le previsioni sulle condizioni degli elementi costruttivi.

Misure raccomandate

Qualora la verifica statica dettagliata e la disamina del rischio portino a concludere che la sicurezza strutturale del muro di sostegno non è sufficiente, è necessario indicare possibili correttivi e valutarne l'efficacia in un confronto di varianti, ciascuna delle quali va descritta con le sue caratteristiche principali, inclusi costi di realizzazione, di manutenzione e durata di vita e rischio residui. Le varianti vengono valutate sulla base di determinati criteri, in modo aperto e obiettivo, fino a stabilire quella di cui raccomandare l'esecuzione.

Nell'analisi possono essere valutate le seguenti opzioni (elenco non esaustivo):

- accettazione dello stato attuale (nessuna misura, variante zero)
- monitoraggio intensivo (metodo di osservazione)
- drenaggio (fognoli, fori di drenaggio)
- alleggerimento sul lato a monte mediante asportazione / scavo di terra
- intervento di riporto sul lato a valle del muro
- rinforzo longitudinale con connessione a taglio attraverso i giunti di dilatazione
- rinforzo longitudinale con realizzazione di una nuova trave di sommità del muro
- rinforzo con tiranti di ancoraggio attivi
- rinforzo con tiranti di ancoraggio passivi
- rinforzo del lato a valle con ancorcorpi o nervature
- sostituzione del materiale di riempimento a tergo con calcestruzzo (trasformazione in muro a gravità)
- sostituzione totale/parziale del vecchio muro con uno nuovo
- realizzazione di un nuovo muro davanti a quello esistente

Metodo osservazionale

Valutare l'applicabilità del metodo osservazionale in base al tipo di collasso e in modo specifico per il progetto. In caso di collasso dell'opera presumibilmente non controllabile, improvviso o progressivo, il metodo osservazionale dovrà essere escluso (cfr. SIA 267 sez. 2.3.4).

Se al contrario è previsto un rinforzo con nuovi tiranti di ancoraggio attivi, la misurazione delle forze di ancoraggio è di norma idonea a essere utilizzata come metodo osservazionale.

4. Indicazioni specifiche

Il sistema di drenaggio deve poter essere ispezionato e lavato. Valutare l'eventuale realizzazione di attraversamenti nel muro e fori di drenaggio.

In caso di aggiunta di un ancorcorpo, accertare l'opportunità di una connessione tra l'elemento costruttivo vecchio e nuovo.

Per conseguire maggiori elementi utili sono stati avviati diversi progetti di ricerca AGB per la conservazione dei muri di sostegno.