VÖV UTP

Verband öffentlicher Verkehr
Union des transports publics
Unione dei trasporti pubblici

Adattamento al cambiamento climatico

Guida all'adeguamento dell'infrastruttura ferroviaria al cambiamento climatico




bls
2
bls

Indice

1 Sintesi 3

2 Situazione iniziale 5

3 Oggetto e scopo 6

4 Resilienza climatica e beni da proteggere 7

5 Segnali climatici 8

5.1 Messaggi chiave 8

5.2 Impatto sull'infrastruttura ferroviaria 11

6 Processo di adeguamento e metodologia 14

6.1 Analisi delle vulnerabilità 16

6.2 Analisi dell'esposizione 21

6.3 Analisi della criticità 23

6.4 Analisi dei rischi climatici 24

7 Strategia e misure di adattamento 26

8 Costi di adeguamento 30

9 Esempi di buone pratiche relativi al processo di adeguamento 32

9.1 Esempio con apparecchi centrali (SOB) 32

9.2 Esempio con conta-assi (FFS) 37

10 Allegato 41

10.1 Ulteriori approcci per la determinazione dei costi futuri legati ai danni 41

10.2 Informazioni sul documento 43

11 Indice delle figure 44

12 Indice delle tabelle 45

13 Fonti 45



1 Sintesi

Il progressivo cambiamento climatico, caratterizzato da maggiore aridità, giorni di canicola più frequenti, forti precipitazioni più intense e inverni con meno neve, comporta un'usura più rapida, un maggior numero di guasti, perdite di produttività e danni all'infrastruttura a carico dei gestori dell'infrastruttura. L'aumento prospettico di incidenti, interruzioni, soppressioni o ritardi nell'esercizio ferroviario compromette la sicurezza, la disponibilità, la puntualità e la soddisfazione della clientela. Gli impianti devono essere sostituiti prima del previsto o riparati più frequentemente, e aumentano sia i costi di manutenzione sia i costi per la riduzione e la gestione degli eventi meteorologici estremi. Mediante catene dei risultati si illustrano gli scenari di pericolo degli impianti potenzialmente interessati. La presente guida supporta il settore nell'affrontare le sfide poste dal cambiamento climatico in modo ordinato e nel definire strategie e misure di adeguamento adatte. In tal modo i gestori dell'infrastruttura dovrebbero essere in grado di adattarsi agli impatti del cambiamento climatico e diventare più resistenti di fronte all'aumento degli eventi meteorologici estremi. Le misure di adeguamento devono contribuire alla tutela dei beni da proteggere, quali la salute, gli impianti e l'esercizio.

Attraverso il processo di adeguamento al cambiamento climatico, i gestori dell'infrastruttura sono messi a conoscenza in modo strutturato e sistematico dei rischi climatici per loro rilevanti. In una prima fase, per la determinazione del rischio climatico si verifica quali impianti risultano vulnerabili rispetto alle mutate condizioni climatiche. In una seconda fase, si determina l'esposizione di un determinato impianto. Ad esempio, mentre una stazione dell'Altopiano presenta un'esposizione molto elevata nei confronti del maggior numero di giorni di canicola, una stazione situata a 1 500 m s.l.m. può non mostrare alcuna esposizione rispetto al medesimo segnale climatico. In una terza fase, si determina la criticità degli impianti vulnerabili ed esposti. Per quanto riguarda la criticità si può fare riferimento, ad esempio, ai treni viaggiatori o merci soppressi a causa di perturbazioni o guasti di un impianto, ai minuti di ritardo dei viaggiatori o dei treni oppure al numero di clienti interessati. Mentre un conta-assi su una determinata sezione di tratta con traffico intenso presenta una criticità molto elevata, lo stesso conta-assi su una sezione di tratta con poco traffico può non presentare alcuna criticità. Infine, nella quarta e ultima fase, gli impianti critici sono sottoposti a un'analisi dei rischi climatici con probabilità di accadimento ed impatto.

L'analisi dei rischi costituisce un'importante base per la gestione dell'adattamento climatico e confluisce nella strategia di adattamento. La strategia di adattamento crea un quadro di riferimento per definire la priorità degli investimenti e per integrare le misure di adeguamento nei processi di rinnovo, manutenzione ed esercizio esistenti. L'obiettivo è impiegare nel modo più efficiente possibile i mezzi e le risorse disponibili. A tal riguardo occorre prioritizzare gli impianti critici, sfruttare i cicli di rinnovo esistenti e considerare un ampio spettro di misure. I rischi climatici e le misure di adeguamento dovrebbero essere

integrati il più possibile nei processi esistenti. Anziché procedere immediatamente a una ripianificazione completa, si definisce un percorso di adeguamento graduale. In tal modo è possibile ottimizzare gli investimenti dal punto di vista temporale e ridurre gli investimenti errati. Quanto maggiori sono la criticità, il rischio climatico e la durata d'utilizzazione residua, tanto più ampie sono le misure di adeguamento. Per le misure di adeguamento esistono, ad esempio, approcci tecnologici, basati sulla natura, comportamentali o economici.

Nella presente guida i costi di adeguamento sono considerati sotto forma di confronto tra i costi della misura e i relativi benefici, laddove i benefici corrispondono ai costi evitati legati ai danni. I costi legati ai danni possono essere ricavati in funzione degli eventi o degli impianti, con un approccio bottom-up tramite stime di esperti oppure top-down sulla base di studi. La guida è completata da due esempi di buone pratiche relativi al processo di adeguamento, nei quali il processo viene applicato a titolo esemplificativo all'impianto conta-assi in relazione ai giorni di canicola e agli apparecchi centrali in relazione all'aumento delle forti precipitazioni.



2 Situazione iniziale

Gli scenari climatici del National Centre for Climate Services (NCCS) della Confederazione indicano che i giorni di canicola aumentano, le temperature salgono, le precipitazioni si fanno più intense e gli inverni sono sempre più poveri di neve. Alluvioni, frane per scivolamento, colate di fango e detritiche si verificano non solo con maggiore frequenza e intensità, ma anche in luoghi finora non colpiti. In inverno si verificano inoltre più valanghe di neve umida e per scivolamento di neve. Le elevate temperature causano lo scioglimento di una maggiore quantità di permafrost, il che provoca l'instabilità dei versanti. Le temperature in aumento e le ondate di calore sempre più frequenti e intense comportano ulteriori rischi, come ad esempio pregiudizi alla salute del personale esposto al calore, danni agli impianti di binari dovuti a slineamenti o a perturbazioni e guasti di componenti elettronici.

Aumenta la probabilità che i gestori dell'infrastruttura (GI) registrino maggiori guasti, perdite di produttività e danni all'infrastruttura, al materiale rotabile e agli edifici. Aumenta altresì il rischio di incendi boschivi e di scarpate. Tali rischi possono causare incidenti, interruzioni, soppressioni o ritardi nell'esercizio ferroviario, compromettendo la sicurezza, la disponibilità, la puntualità e la soddisfazione della clientela. A lungo termine gli impianti devono essere sostituiti prima del previsto o riparati più frequentemente[1] e aumentano sia i costi di manutenzione sia i costi per la prevenzione e la gestione degli eventi meteorologici estremi.

Con il cambiamento climatico aumentano anche il carico e i rischi per la salute della clientela e del personale. I treni privi di impianto di climatizzazione o il cui impianto è guasto e le stazioni esposte al sole rappresentano in misura crescente un rischio per la salute. I giorni di canicola e le notti tropicali riducono la produttività del lavoro. Durante le ondate di calore aumenta inoltre il rischio di interruzione dei lavori, ad esempio nei cantieri, o del verificarsi di un maggior numero di incidenti nell'esercizio e nel tempo libero.

L'articolo 8 della legge federale sugli obiettivi in materia di protezione del clima, l'innovazione e il rafforzamento della sicurezza energetica (LOCli) invita la Confederazione, nell'ambito delle sue competenze, ad adottare misure volte all'adeguamento al cambiamento climatico. Di conseguenza, le imprese di trasporto sono chiamate ad intraprendere le necessarie misure di adeguamento nell'ambito delle prestazioni commissionate dalla Confederazione.

La tematica intersettoriale è stata trattata e seguita all'interno del gruppo di lavoro KIS «Adattamento al cambiamento climatico», sotto la direzione della KIS[2] Nel gruppo di lavoro erano rappresentate la BLS, la Matterhorn Gotthard Infrastruktur, la Schweizerische Südostbahn, BERNMOBIL e le FFS. Il gruppo di lavoro è stato diretto congiuntamente dalla BLS e dalle FFS.

[1] Gli standard di prodotto esistenti non sono concepiti per le condizioni climatiche attuali e future, il che può comportare un maggior numero di guasti, interruzioni dell'esercizio e costi di manutenzione più elevati (ad es. a causa dell'infiltrazione di acque superficiali nei locali tecnici o dello scivolamento di scarpate su impianti di binari).

[2] Il 23 agosto 2024 lo STASS «Sistema ferroviario» ha deciso di assegnare il gruppo di lavoro alla KIS. L'attenzione si concentra pertanto sul settore dell'infrastruttura, escluso il settore del traffico (materiale rotabile).

3 Oggetto e scopo

La guida è risvolta in primo luogo alla gestione degli impianti e delle tecnologie, ai responsabili della manutenzione nonché ai progettisti di impianti dell'infrastruttura ferroviaria. L'attenzione è incentrata su tutti gli impianti dell'infrastruttura, mentre il settore del traffico – nello specifico il materiale rotabile – è esplicitamente escluso. L'obiettivo del rapporto consiste nel mettere a disposizione degli attori interessati all'interno del settore uno strumento pratico di orientamento.

La guida supporta il settore nell'affrontare in modo mirato le sfide del cambiamento climatico nonché nello sviluppo e nell'attuazione di misure di adeguamento idonee per l'infrastruttura ferroviaria. Funge da strumento di orientamento con cui mettere i gestori di impianti dell'infrastruttura ferroviaria nelle condizioni di identificare e valutare i rischi del cambiamento climatico e di affrontarli in modo proattivo. Inoltre, il rapporto promuove lo scambio di conoscenze e la collaborazione tra gli ambiti specialistici e le imprese rilevanti, al fine di garantire la resistenza e la sicurezza d'esercizio dell'infrastruttura a lungo termine.

La presente metodologia per l'adeguamento al cambiamento climatico è da intendersi quale approccio sistematico che mira specificatamente alla resilienza e alla funzionalità dell'intera infrastruttura ferroviaria sotto gli impatti del cambiamento climatico. Il riscaldamento climatico esercita un influsso particolare sui processi di pericoli naturali – sia su quelli gravitazionali (valanghe, colate detritiche ecc.) sia su quelli meteorologici (forti precipitazioni, tempeste ecc.). Gli impatti di tali processi variano notevolmente a seconda dell'esposizione di una rete di linee. La guida ne tiene conto nelle singole fasi di lavoro, tuttavia non sostituisce l'analisi dettagliata nell'ambito della gestione integrale dei rischi (www.planat.ch/it/strategia/gestione-integrale-dei-rischi).

4 Resilienza climatica e beni da proteggere

L'obiettivo dei gestori dell'infrastruttura deve essere quello di rafforzare la resilienza al cambiamento climatico, in modo che le conseguenze per la sicurezza, la puntualità, la disponibilità, l'economicità, le prestazioni e la salute del personale e della clientela rimangano gestibili e accettabili.

La **resilienza climatica** è la capacità di adattarsi agli impatti del cambiamento climatico e di resistere di fronte all'aumento degli eventi meteorologici estremi. L'obiettivo delle misure volte a migliorare la resilienza è la prevenzione e la gestione degli impatti dovuti a calore, forti precipitazioni e altri eventi legati al clima. In questo modo si intende ridurre al minimo gli impatti negativi – ad esempio su sicurezza, disponibilità e puntualità – causati da eventi meteorologici estremi.

Le misure si concentrano sui seguenti beni da proteggere:

- **Protezione della salute:** misure volte a tutelare la vita e la salute, in particolare nei confronti dei pericoli legati al lavoro. L'attenzione è rivolta al personale e agli utenti delle ferrovie. L'obiettivo è identificare ed eliminare i rischi per la salute legati al clima.
- **Protezione degli impianti:** tutte le misure volte a ridurre al minimo i danni all'infrastruttura causati dalle future variazioni climatiche a breve, medio o lungo termine.
- **Protezione dell'esercizio:** tutte le misure volte a ridurre al minimo le potenziali restrizioni e perdite di disponibilità del traffico ferroviario.

5 Segnali climatici

La fase più importante nel processo di adeguamento al cambiamento climatico consiste nel «rendere comprensibili» le mutate condizioni quadro in materia di clima. A tal fine esistono ormai numerosi rapporti, studi di base e dati della Confederazione, messi a disposizione dal National Centre for Climate Services (www.nccs.admin.ch/nccs/it/home.html).

I cosiddetti segnali climatici[3] principali sono illustrati a grandi linee di seguito; si vedano anche gli scenari climatici «Clima CH2025» della Confederazione[4]. Nel 2025 la Svizzera registrava già 2,9 °C in più rispetto all'epoca preindustriale (periodo 1871–1900). Gli scenari climatici CH2025 prevedono, sulla base delle stime precedenti e della successiva evoluzione climatica effettivamente osservata, ulteriori e sostanziali variazioni climatiche in tutte le stagioni e in tutte le regioni della Svizzera. Dall'epoca preindustriale a oggi, la Svizzera ha registrato un riscaldamento pari a 2 - 2,2 volte la media globale finora rilevata.

5.1 Messaggi chiave



Figura 1: l'essenziale in breve NCCS

Fonte: scenari climatici nazionali NCCS (2025)

Messaggio chiave 1: «La Svizzera è fortemente colpita»
Con la sua complessa topografia, la Svizzera rientra tra le regioni particolarmente colpite dal riscaldamento climatico. Oltre a un aumento delle temperature superiore alla media, sono aumentati anche gli eventi estremi quali forti precipitazioni, ondate di calore e periodi di siccità. Inoltre, la copertura di neve e ghiaccio si è notevolmente ridotta. Gli scenari

[3] Il segnale climatico descrive l'influsso già esistente e le variazioni attese del clima. Nell'analisi dei rischi climatici si parla di «segnale climatico» e non di «pericoli», affinché la terminologia possa essere applicata anche alle opportunità legate al clima. Quanto più forte è il segnale climatico, tanto maggiore tende a essere il rischio climatico oppure la relativa opportunità legata al clima (UFAM, 2025).

[4] www.meteosvizzera.admin.ch/clima/i-cambiamenti-climatici/scenari-climatici-per-la-svizzera.html

climatici mostrano che le variazioni finora osservate proseguiranno anche in futuro e la Svizzera continuerà a riscaldarsi di più rispetto alla media globale. Gli scenari climatici delineano il possibile futuro del clima svizzero a diversi livelli di riscaldamento globale. Mostrano lo stato climatico che si verificherà in Svizzera non appena la temperatura media globale sarà aumentata di 1,5 °C, 2 °C o 3 °C rispetto al livello di temperatura preindustriale del periodo 1871–1900. Un mondo a +1,5 °C non è più evitabile a causa delle emissioni globali di gas a effetto serra passate e attuali ed è previsto che venga raggiunto nei prossimi 5-15 anni. Un mondo a +2 °C verrebbe raggiunto entro il 2050 con le misure attuali e pianificate ed entro il 2040 seguendo un percorso senza protezione del clima. Un mondo a +3 °C si verificherebbe entro il 2065 seguendo un percorso senza protezione del clima. Con le misure attualmente pianificate per la riduzione globale delle emissioni, il mondo si sta dirigendo verso un aumento di circa 3 °C entro la fine del secolo.

Messaggio chiave 2: «Caldo più estremo»
Il forte riscaldamento in Svizzera si accompagna anche a un aumento dei fenomeni di calore estremo e alla comparsa di nuovi record termici. Temperature che in passato erano molto rare ed estreme si verificano con una frequenza nettamente maggiore. I giorni di canicola, in cui la temperatura raggiunge almeno 30 °C, sono molto più frequenti. Anche le notti tropicali, durante le quali la temperatura non scende al di sotto dei 20 °C, registrano un aumento. Lo stress da caldo è particolarmente marcato nelle aree urbane, poiché l'effetto isola di calore riduce ulteriormente il raffreddamento notturno. Questo effetto svolge un ruolo centrale nell'aumentare il rischio di elevato stress da caldo nei centri urbani. In futuro la Svizzera dovrà attendersi eventi legati al calore ancora più frequenti e intensi. Per contro, in tutte le regioni si prevede un forte calo dei giorni di gelo e di ghiaccio.

Messaggio chiave 3: «Estati più asciutte»
Terreni più asciutti a causa delle temperature più elevate, una maggiore evaporazione e la diminuzione delle precipitazioni estive favoriscono il rischio di incendi boschivi. L'aridità compromette le prestazioni forestali, causa penuria d'acqua nei bacini d'accumulazione e limita l'approvvigionamento idrico. L'aridità può inoltre intensificare e prolungare il verificarsi di ondate di calore. Le variazioni delle precipitazioni annue complessive sono modeste. Le variazioni medie delle precipitazioni rispetto al periodo di riferimento sono pari a –16% in estate e a +14% in inverno. Si prevedono variazioni particolarmente marcate per il Sud delle Alpi in estate e in inverno.

Messaggio chiave 4: «Forti precipitazioni più frequenti e intense»
La crescente intensità delle forti precipitazioni si spiega in larga misura con l'aumento della temperatura dell'aria (per ogni grado di riscaldamento l'aria può assorbire il 6–7% di acqua in più). Di conseguenza, in presenza di un ulteriore riscaldamento le forti precipitazioni potranno risultare ancora più intense. Con il progressivo aumento delle temperature, l'intensità e la frequenza degli eventi caratterizzati da forti precipitazioni continueranno a crescere in tutte le stagioni anche in futuro. In tale contesto l'intensità aumenta quanto più breve è la durata degli eventi di precipitazione. In particolare, per gli eventi di precipitazione della durata di un'ora, è realistico aspettarsi incrementi d'intensità fino al 30%. Durante l'estate la maggiore intensità di singoli eventi di precipitazione causerà sempre più grandinate associate ai temporali. La maggiore intensità delle precipitazioni non esclude comunque una contemporanea diminuzione del volume complessivo delle precipitazioni: sebbene piova con minore frequenza, in occasione dei singoli eventi cade un maggior quantitativo di pioggia in un breve lasso di tempo. Le forti precipitazioni possono causare danni ingenti, ad esempio a causa di alluvioni o frane. Inondazioni, piene improvvise o grandinate possono causare danni materiali e interruzioni dell'esercizio. Anche la sicurezza delle persone può risultare compromessa.

Messaggio chiave 5: «Meno neve»
Il numero di giorni di neve diminuisce a tutte le quote. Le precipitazioni cadono sempre più di frequente sotto forma di pioggia anziché di neve anche alle quote più elevate. Di conseguenza la copertura nevosa complessiva si riduce, favorendo lo scioglimento di neve e ghiaccio. Questa evoluzione è destinata ad aggravarsi ulteriormente in futuro. Con il progressivo riscaldamento, la quota invernale dell'isoterma di zero gradi si alzerà di ulteriori 550 metri in presenza di un riscaldamento globale di 3 °C Anche in estate l'isoterma di zero gradi salirà notevolmente, favorendo lo scioglimento di neve e ghiaccio persino sulle vette alpine più elevate. Il disgelo del permafrost e lo scioglimento dei ghiacciai possono causare l'instabilità dei versanti.

Le affermazioni relative a possibili variazioni delle velocità del vento e dell'irraggiamento rimangono tuttora caratterizzate da un elevato grado di incertezza.

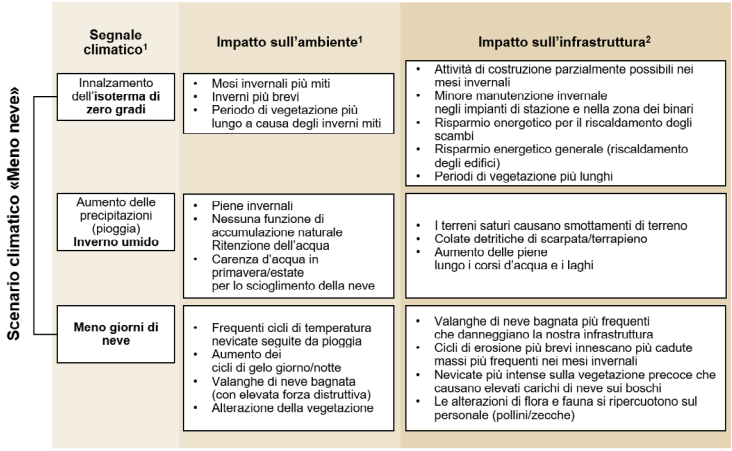
Fonte: Scenari climatici nazionali NCCS (2025)

5.2 Impatto sull'infrastruttura ferroviaria

I segnali climatici possono avere molteplici impatti sull'infrastruttura ferroviaria. Tramite una catena dei risultati è possibile dedurre in modo sistematico quali siano gli impianti potenzialmente interessati e sotto quale forma possano verificarsi pericoli o cambiamenti. Le catene dei risultati rappresentano i possibili scenari di pericolo derivanti dai segnali climatici proiettati. Ciò consente di mostrare in modo comprensibile in che modo le variazioni climatiche agiscano sull'infrastruttura e quali settori risultino particolarmente vulnerabili nei confronti degli sviluppi futuri.

Oltre ai potenziali rischi, dalle variazioni climatiche scaturiscono tuttavia anche opportunità. Le mutate condizioni quadro possono quindi creare nuove possibilità per la pianificazione, l'esercizio e lo sviluppo dell'infrastruttura ferroviaria. L'osservazione delle catene dei risultati non serve pertanto soltanto a identificare i pericoli, bensì supporta anche l'individuazione precoce di future potenzialità e possibilità di adeguamento.

Gli impatti sull'infrastruttura possono variare da un gestore dell'infrastruttura all'altro. Ciò dipende, tra l'altro, da condizioni regionali, esposizioni climatiche nonché dagli standard degli impianti e dai modi di costruire adottati. Di conseguenza, segnali climatici identici possono produrre impatti e scenari di pericolo differenti in regioni diverse o in presenza di differenti esecuzioni tecniche.



1) I segnali climatici e l'impatto sull'ambiente sono concordati con il settore.
2) Elenco non esaustivo dei possibili impatti sulla nostra infrastruttura.

Figura 2: catena dei risultati «Meno neve»

Fonte: BLS (2025)

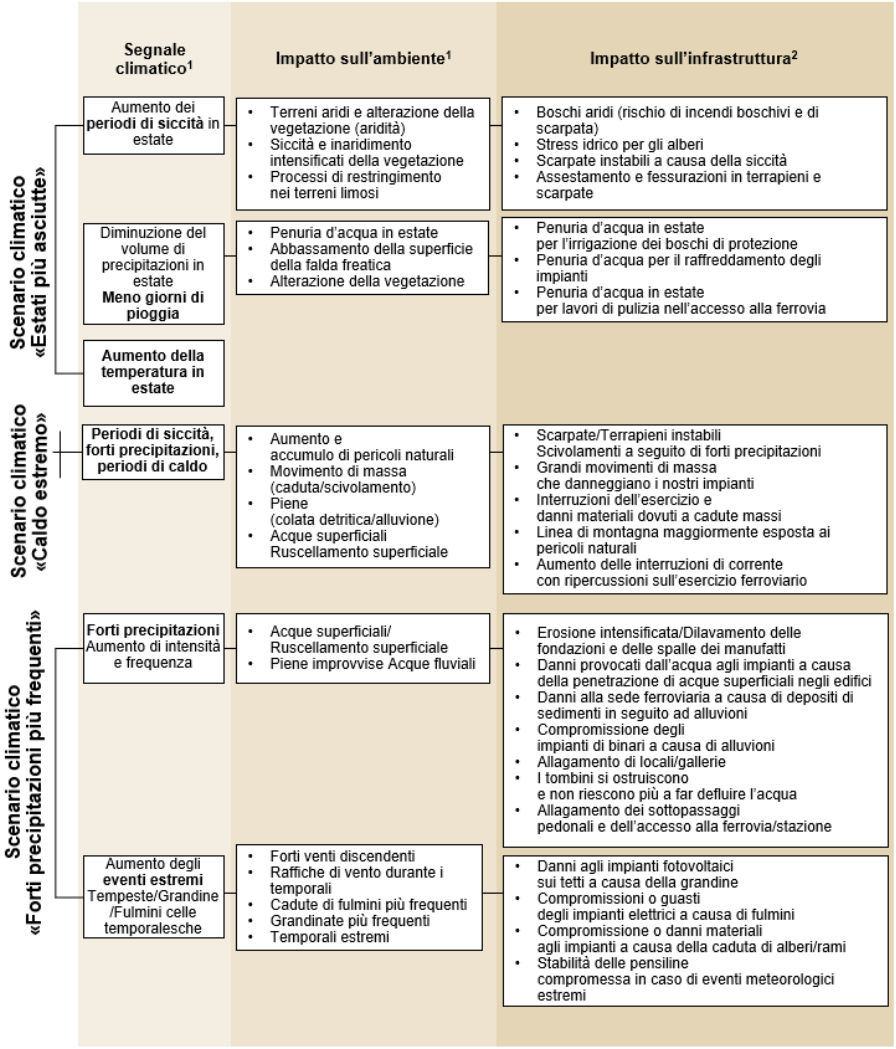


Figura 3: catene dei risultati «Estati più asciutte», «Caldo più estremo» e «Forti precipitazioni più frequenti»

Fonte: BLS (2025)

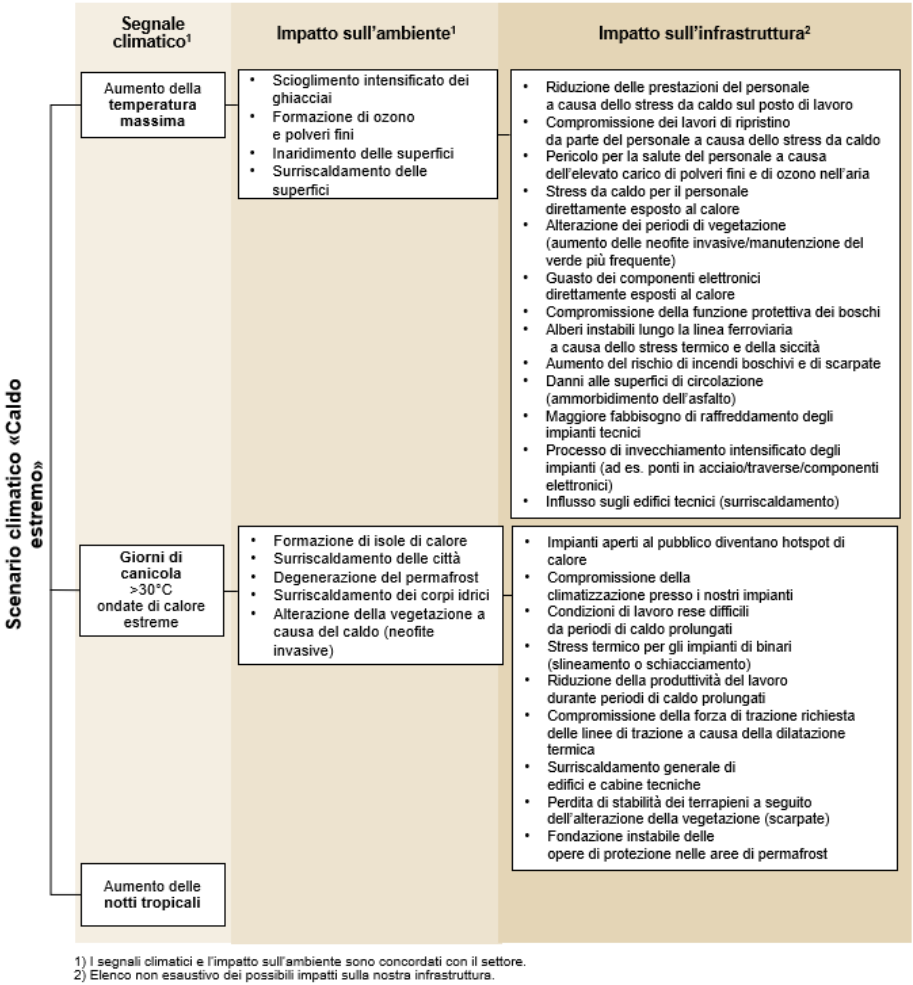


Figura 4: catena dei risultati «Caldo più estremo»

Fonte: BLS (2025)

6 Processo di adeguamento e metodologia

La metodologia qui presentata è concepita per analizzare in modo strutturato le sfide del cambiamento climatico per l'infrastruttura ferroviaria. L'obiettivo è individuare e valutare i rischi rilevanti e ricavarne misure di adeguamento mirate ed efficaci.

La guida descrive una procedura sistematica che garantisce la completezza dell'analisi. Non è tuttavia obbligatorio attuare tutte le fasi di lavoro esattamente secondo la guida; si possono piuttosto adottare delle scorciatoie. Nella pratica ciò significa che è possibile saltare singole fasi oppure effettuare un'analisi più dettagliata per gli impianti critici e per le parti dell'infrastruttura particolarmente a rischio, mentre per i settori meno esposti può essere sufficiente una procedura semplificata. È opportuno procedere in modo iterativo in quanto non tutti i settori o tutte le categorie di impianti dell'infrastruttura possono essere trattati con il medesimo livello di approfondimento necessario.

Il processo prevede che i risultati siano continuamente verificati, adeguati e ampliati, in particolare quando si rendono disponibili nuove conoscenze su rischi climatici o misure innovative.

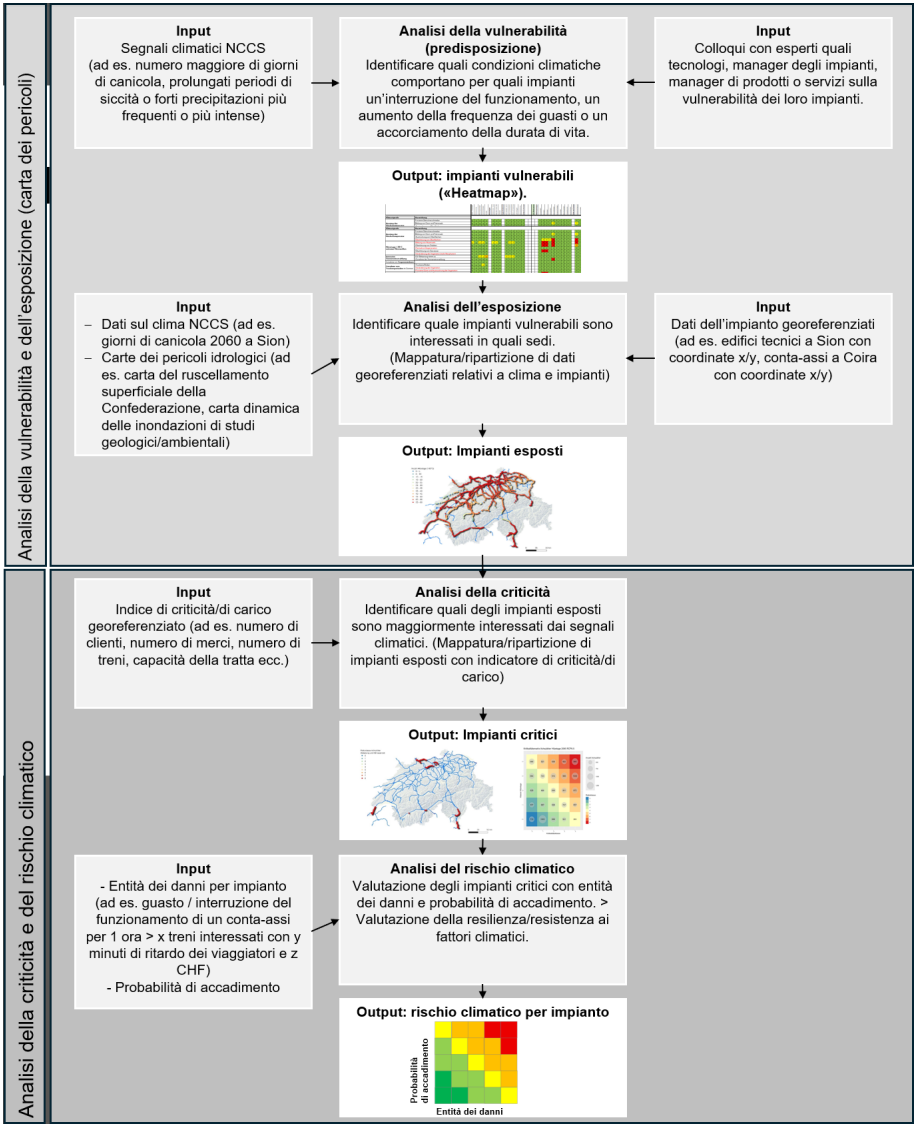


Figura 5: processo di adeguamento

Fonte: gruppo di lavoro «Adattamento al cambiamento climatico» (2025)

6.1 Analisi delle vulnerabilità

Per determinare il rischio climatico degli impianti, è necessario innanzitutto verificare quali categorie/tipologie di impianti presentino una «predisposizione» alle mutate condizioni climatiche. È opportuno condurre tale analisi sulla base dei segnali climatici (cfr. capitolo 5). Mentre, ad esempio, i componenti elettronici degli impianti di sicurezza sono sensibili alle alte temperature, le cabine tecniche situate ai piani interrati o al piano terra sono vulnerabili alle infiltrazioni d'acqua.

Input: struttura degli impianti e segnali climatici

In un foglio Excel, sull'asse orizzontale viene inserita la struttura degli impianti secondo il regolamento RTE 29900:
– edifici necessari all'esercizio
– binari
– impianti centrali e di controllo di marcia dei treni
– ecc.

Sull'asse verticale vengono inseriti i segnali climatici:

1. Caldo più estremo: aumento delle temperature massime diurne e notturne, maggior numero di giorni di canicola e notti tropicali, calore estremo nelle aree urbane, maggior numero di giorni di caldo estremo, il giorno più caldo dell'anno notevolmente più caldo.

2. Estati più asciutte: numero nettamente superiore di giorni con rischio elevato di incendi boschivi, inaridimento più rapido del suolo, calo delle precipitazioni estive, ondate di calore più intense e prolungate, penuria d'acqua, approvvigionamento idrico limitato.

3. Forti precipitazioni più frequenti e intense: aumento dell'intensità e della frequenza degli eventi caratterizzati da forti precipitazioni in tutte le stagioni, incremento delle precipitazioni giornaliere più forti, aumento dell'intensità soprattutto per gli eventi di precipitazione della durata di un'ora, maggiore frequenza di grandinate associate a temporali, danni causati da alluvioni, frane o piene improvvise. L'innalzamento del limite delle nevicate aumenta, in particolare in inverno, la quota di precipitazioni sotto forma di pioggia, incrementando ulteriormente la portata dei fiumi.

4. Meno neve: minor numero di giorni di neve a tutte le quote, maggiori precipitazioni invernali sotto forma di pioggia, diminuzione della quota di neve sulle precipitazioni invernali totali, innalzamento dell'isoterma di zero gradi sia in inverno sia in estate, scioglimento precoce della neve, aumento dell'acqua di fusione nel

semestre invernale e diminuzione in quello estivo, potenziale instabilità dei versanti a causa del disgelo del permafrost e dello scioglimento dei ghiacciai.

Successivamente, con gli esperti degli impianti (ad es. tecnologi, responsabili di prodotto, gestori di portafoglio e del ciclo di vita, manager delle perturbazioni) viene effettuata una valutazione degli impatti dei segnali climatici sui singoli impianti.

Possibili espressioni:

– Nessun impatto» (verde o da –1 a +1)
– Impatto ridotto» (giallo o da –2 a +2)
– Impatto medio» (arancione o da –3 a +3)
– Impatto elevato» (rosso o da –4 a +4)

Output: impianti vulnerabili («Heatmap»)

Il risultato della valutazione è una cosiddetta heatmap, che fornisce i primi elementi per stabilire su quali impianti occorra concentrarsi in via prioritaria in relazione al rischio climatico.



Figura 6: esempio di una heatmap

Fonte: MGB (2025)

La valutazione dei gestori dell'infrastruttura **MGB, SOB, BERNMOBIL, BLS e FFS** mostra le seguenti **vulnerabilità degli impianti nei confronti dei segnali climatici:**

1. Caldo più estremo (cfr. Clima CH2025):

L'aumento del caldo estremo ha impatti tangibili sui componenti elettronici direttamente esposti ad alte temperature. Gli accumuli locali di calore portano alla formazione di isole di calore, il che compromette sia la qualità del soggiorno per la clientela nelle stazioni, sia la sicurezza dell'infrastruttura. In particolare, per gli impianti di binari aumenta notevolmente il rischio di slineamenti del binario. Il caldo accelera inoltre il disgelo del permafrost, il che può causare l'instabilità delle rocce e di conseguenza rendere precarie le fondazioni – un rischio che diventa sempre più rilevante soprattutto nelle regioni montane. Anche la produttività del personale che lavora all'aperto o in ambienti soggetti a un forte surriscaldamento è influenzata negativamente dalle alte temperature.

L'aumento delle temperature massime e il manifestarsi di eventi di caldo estremo sempre più frequenti e intensi hanno un **impatto da medio a molto elevato** soprattutto sui seguenti impianti:

- **Edifici e terreni** (in particolare edifici necessari e non necessari all'esercizio)
- **Manufatti** (in particolare boschi di protezione e fasce di sicurezza, approvvigionamento e smaltimento idrico, opere in terra)
- **Sede ferroviaria** (in particolare binari, scambi, passaggi a livello)
- **Impianti elettrici ferroviari** (in particolare impianti della linea di contatto)
- **Impianti di sicurezza** (in particolare impianti di centrali e di controllo di marcia dei treni, tecnica di guida, impianto di controllo dei treni, sistemi d'avvertimento, impianti di passaggio a livello autonomi)
- **Impianti a bassa tensione e di telecomunicazione** (in particolare utenze a bassa tensione, sistemi dati e di comunicazione)
- **Impianti aperti al pubblico** (marciapiedi e accessi, aree di sosta pubbliche)

2. Estati più asciutte (cfr. Clima CH2025):

Periodi di siccità prolungati portano a una riduzione dell'umidità del suolo, il che può pregiudicare la stabilità delle scarpate e della sottostruttura del binario. La vegetazione lungo i tracciati ferroviari si secca, aumentando così il rischio di incendi di superficie e mettendo a rischio la sicurezza nonché la disponibilità dell'infrastrut-

tura. Inoltre, la penuria d'acqua e l'inaridimento dei corpi idrici possono avere impatti negativi sul raffreddamento degli impianti tecnici e sulla pulizia dei veicoli.

Estati più asciutte hanno un **impatto da medio a molto elevato** soprattutto sui seguenti impianti:

– **Manufatti** (in particolare approvvigionamento e smaltimento idrico, boschi di protezione e fasce di sicurezza)
– **Edifici e terreni**

3. Forti precipitazioni più frequenti e intense (cfr. Clima CH2025):

Precipitazioni di intensità eccezionale causano un rapido sovraccarico dei sistemi di drenaggio lungo i tracciati ferroviari. Ciò aumenta il rischio di alluvioni e di erosione, mettendo a rischio la stabilità delle scarpate e della sottostruttura del binario. Le forti precipitazioni favoriscono inoltre la formazione di colate detritiche e smottamenti di terreno, causando interruzioni temporanee della tratta e rendendo necessari complessi lavori di riparazione.

Forti precipitazioni più frequenti e intense hanno un **impatto da medio a molto elevato** soprattutto sui seguenti impianti:

– **Edifici e terreni** (edifici necessari e non necessari all'esercizio, terreni)
– **Manufatti** (ponti, gallerie, passaggi, muri di sostegno, soppalchi, pareti di protezione, opere di protezione, approvvigionamento e smaltimento idrico, opere in terra, boschi di protezione e fasce di sicurezza)
– **Sede ferroviaria** (binari, scambi, sottostrutture, passaggi a livello)
– **Impianti aperti al pubblico** (marciapiedi e accessi, aree di sosta pubbliche, accessi per il traffico merci)
– **Impianti di sicurezza** (tra cui impianti centrali e di controllo di marcia dei treni)
– **Impianti a bassa tensione e di telecomunicazione** (utenze a bassa tensione, sistemi dati e di comunicazione)

4. Meno neve (cfr. Clima CH2025):

Una riduzione del manto nevoso produce effetti differenti sugli impianti dell'infrastruttura ferroviaria a seconda della quota. Alle quote più basse, una minore quantità di neve consente in linea di principio una migliore accessibilità e una maggiore stabilità dell'esercizio in inverno, in quanto diminuiscono le limitazioni dovute allo sgombero della neve e al pericolo di valanghe. Al contempo, la riduzione del manto nevoso può far sì che il terreno risulti meno isolato, aumentando il rischio che il gelo penetri in profondità nel sottosuolo e causando di conseguenza danni alla sottostruttura. Alle quote più elevate viene a mancare la funzione isolante del manto nevoso, il che accelera i processi erosivi e il disgelo del permafrost. Inoltre, in assenza di scioglimento della neve in primavera, aumenta il rischio di penuria d'acqua, con impatti negativi sulla vegetazione e quindi sulla stabilizzazione delle scarpate.

L'innalzamento dell'isoterma di zero gradi e l'aumento delle precipitazioni invernali hanno un **impatto da medio a molto elevato** soprattutto sui seguenti impianti:

– **Manufatti** (ponti, muri di sostegno, opere di protezione, boschi di protezione e fasce di sicurezza, approvvigionamento e smaltimento idrico, muri di sostegno, soppalchi, pareti di protezione, opere in terra)

Concatenazione dei segnali climatici: precipitazioni/aridità/caldo
A causa della concatenazione dei segnali climatici, i nostri impianti saranno esposti a pericoli naturali più frequenti. La concatenazione di caldo e forti precipitazioni favorisce le colate detritiche e imponenti movimenti di massa nelle regioni alpine. L'aridità associata a forti precipitazioni genera acque superficiali che sovraccaricano i sistemi di deflusso esistenti, causando così l'allagamento di edifici e sottopassaggi pedonali, ma che possono anche penetrare negli impianti di binari. A causa delle influenze climatiche la roccia si disgrega, il che provoca a sua volta cadute di massi più frequenti e durante tutto l'arco dell'anno. Ne risentono anche le scarpate, che si saturano a seguito delle forti precipitazioni e diventano di conseguenza instabili.

6.2 Analisi dell'esposizione

L'esposizione di un impianto dipende dalla posizione geografica. Mentre, ad esempio, un ponte sull'Altipiano non presenta alcuna esposizione in relazione all'aumento delle forti precipitazioni, un ponte nelle Alpi può risultare fortemente esposto. L'analisi dell'esposizione è incentrata quindi sulla raffigurazione/cartografia degli impianti esposti. A tal fine i dati climatici (ad es. i mm di precipitazioni nel 2060 oppure il numero di giorni di canicola nel 2085) vengono incrociati con i dati degli impianti secondo il regolamento RTE 29900 (ad es. «marciapiedi e accessi»).

Input: parametri climatici e dati degli impianti

Parametri climatici:

- Gli **scenari climatici CH2025 della Confederazione** per la Svizzera fungono da base per i dati futuri. Questi includono valori giornalieri per una griglia con una risoluzione spaziale di 1 km, nonché le sedi delle attuali stazioni meteorologiche SwissMetNet di MeteoSvizzera. Sulla base di questi dati, gli uffici ambientali e geoscientifici (ad es. geo7 o Meteotest) calcolano, mediante interpolazione geostatistica, un set di dati su griglia per l'intera Svizzera con una risoluzione superiore. In questo modo è possibile rappresentare, ad esempio, il numero di giorni di canicola oppure i mm di precipitazioni con una **risoluzione locale di 250 m**.
- Per la futura evoluzione climatica si dovrebbe prendere in considerazione lo scenario relativo al **«mondo a +3 °C»**[5]. Per i tre livelli di riscaldamento globale di 1,5 °C, 2 °C e 3 °C esistono per la Svizzera simulazioni su base giornaliera proiettate su 30 anni (2040, 2050, 2060), sia per le temperature che per le precipitazioni.

Dati degli impianti:

- Tutti i dati degli impianti possono essere utilizzati come variabile di input. È fondamentale è che siano georeferenziati, ossia provvisti di coordinate x/y.

[5] Riscaldamento globale medio di 3 °C rispetto al periodo preindustriale. In un mondo a +3 °C il riscaldamento medio in Svizzera sarebbe pari a 4,9 °C rispetto all'epoca preindustriale. Con le misure attualmente pianificate per la riduzione globale delle emissioni, il mondo si sta dirigendo verso un aumento di circa 3 °C entro la fine del secolo.

Campus	Gebäude	LV95_E	LV95_N	Etage	Anz. Schränke im Raum
Mühlehorn SBB	MH_TK01, TC-Kabine	2731735.127	1221303.83	EG	5
Lyss	Lyss, BTG	2589899.836	1214539.889	EG	1
Russin	Russin, CE03 Cab.TC	2490277.061	1116112.244	Rez	9
Heerbrugg SBB	Heerbrugg, Aufnahmegebäude	2765302.702	1253507.303	1.UG	5
St. Gallen	St. Gallen, Aufnahmegebäude	2746078.535	1254649.355	1.UG	10
Lungern	Käppeli, DS km37.776	2654919.651	1180620.304	floor	1
Kempten	Kempten, Güterschuppen	2703699.358	1243678.054	floor	6
Moreillon	Moreillon, AV01 Abri	2554309.934	1155207.231	Rez	6
Bellinzona	Bellinzona, Officine IW;WK	2724394.912	1119172.398	floor	1
Rümlang	Rümlang, Aufnahmegebäude	2682913.362	1256889.817	1.UG	25

Figura 7: esempio di dati degli impianti strutturati e georeferenziati

Fonte: FFS (2024)

Output: impianti esposti

– Dall'analisi dell'esposizione risultano impianti esposti a determinati parametri climatici (ad es. giorni di canicola o precipitazioni) in luoghi specifici e in un dato anno.

location	name	x	y	hd_2010	hd_2060	hd_2085
CHI	Chiasso	723771.763	76869.762	17	49	79
STAF	Stabio	716935.273	78685.209	17	50	79
BAL	Balerna	721687.132	78448.626	16	48	78
GDA	Gordola	710197.594	115176.397	16	49	77
MEN	Mendrisio	719585.752	80893.637	15	47	77
ARD	Ardon	587057.242	117474.043	16	50	76
CHF	Châteauneuf-Conthey	589694.744	118304.302	16	50	76
TUI	Les Tuileries	500418.771	122878.284	16	49	75
CHY	Chambésy	500399.7227	121877.809	16	49	74
COI	Vernier	496241.851	119699.001	15	48	74
...	...	...	...	...	...	...
HGV	Les Hauts-Geneveys	557145.39	210837.564	1	9	23
RE	Renan BE	561055.927	219542.875	1	9	22
COL	Le Locle-Col-des-Roches	545856.262	211230.781	0	8	21
LOC	Le Locle	547390.022	212103.713	1	9	21
CFO	La Chaux-de-Fonds Les Forges	552481.5509	215782.4262	0	8	20
CRET	Le Crêt-du-Locle	550327.458	214232.145	0	8	20
CF	La Chaux-de-Fonds	553490.0687	216557.0295	0	7	19
AI	Airolo	689765.163	153582.904	0	6	18
PT	Le Pont	514758.765	169210.9	0	5	16
GOE	Göschenen	688019.933	168931.801	0	4	14

Figura 8: stazioni esposte (ad es. Chiasso) e quasi non esposte (Göschenen) in relazione all'aumento dei giorni di canicola (heat days [hd]) per il periodo di riferimento (2010) e il 2060/2085

Fonte: FFS (2024)

6.3 Analisi della criticità

Input: criticità (rilevanza)

Criticità:

- Come indicatori della criticità/rilevanza degli impianti esposti per il sistema ferroviario si possono utilizzare diverse variabili, quali ad esempio i treni viaggiatori o merci soppressi a causa di perturbazioni o guasti di un impianto, i minuti di ritardo dei viaggiatori o dei treni oppure il numero di clienti interessati.
- La criticità può essere suddivisa in diverse classi. Nella classe «entità dei danni molto elevata» figurano gli impianti che in caso di perturbazione o guasto, ad esempio, coinvolgono un numero molto elevato di treni o generano un numero molto elevato di minuti di ritardo dei viaggiatori. Nella classe «entità dei danni molto bassa» rientrano invece gli impianti per i quali una perturbazione o un guasto non produce quasi alcun impatto.
- La combinazione di esposizione e criticità in una matrice evidenzia quali impianti in futuro saranno maggiormente esposti a un determinato pericolo climatico (esposizione) e al contempo maggiormente sovraccaricati (criticità).

Output: impianti critici

- Dall'analisi della criticità risultano gli impianti per i quali è opportuno condurre un'analisi dei rischi climatici.
- Matrice di criticità con gli assi Esposizione (ad es. mm di precipitazioni o numero di giorni di canicola) e Criticità (ad es. numero di treni soppressi o clienti interessati).

6.4 Analisi dei rischi climatici

Dopo aver determinato la vulnerabilità/predisposizione, la distribuzione spaziale (esposizione) e la rilevanza degli impianti dell'infrastruttura per il sistema ferroviario (criticità), occorre individuare i rischi climatici. L'analisi dei rischi costituisce la base per la gestione dell'adattamento al cambiamento climatico, aiuta a ottimizzare il processo decisionale e consente di generare il massimo beneficio possibile con le risorse disponibili. In questo modo si garantisce un'attuazione credibile dell'obbligo di diligenza. L'analisi dei rischi permette di caratterizzare e quantificare i rischi nel modo più obiettivo possibile.

Input: probabilità di accadimento e impatto

Rischio = Probabilità di accadimento X Impatto

Probabilità / Frequenza di accadimento: la probabilità può essere stimata come segue:
- qualitativamente: ad es. con gli attributi bassa/media/alta oppure raramente/occasionalmente/regolarmente;
- quantitativamente: ad es. mediante probabilità di accadimento come 1 volta ogni 100 anni, 1 volta ogni 50 anni, 1 volta ogni 2 anni, ogni anno oppure 1%, 2%, 10%, 50%

Impatto (entità dei danni): le conseguenze possono essere rappresentate come segue:
- qualitativamente: ad es. con gli attributi ridotto, moderato, elevato
- quantitativamente: ad es. costi legati ai danni annui previsti sulla base di sinistri storici, costi legati ai guasti, costi di riparazione

Valutazioni qualitative per le stazioni critiche:
- forti precipitazioni: nel 2030 con probabilità di accadimento media, nel 2050 con probabilità di accadimento alta. Impatto: moderato (ad es. acqua nei sottopassaggi pedonali).
- ondate di calore: nel 2030 con probabilità di accadimento media, nel 2050 con probabilità di accadimento alta. Impatto: elevato (stress da caldo per la clientela, guasti all'elettronica come conta-assi, comando ascensori, indicatore ecc.).

Output: rischio climatico



Figura 9: esempio di semplice matrice di rischio

Fonte: FFS (2026)

- Forti precipitazioni: nel 2030 con probabilità di accadimento media, nel 2050 con probabilità di accadimento alta. Impatto: moderato (allagamento di sottopassaggi pedonali e locali tecnici) → Rischio: da medio a elevato.
- Ondate di calore: 2030: probabilità media; 2050: probabilità alta → Impatto: elevato (stress da caldo per la clientela, guasti all'elettronica) → Rischio: elevato.

7 Strategia e misure di adattamento

La strategia di adattamento si ricollega, come conseguenza logica, alle analisi svolte su vulnerabilità, esposizione, criticità e rischio climatico, e risponde alla domanda: «E adesso?».

L'obiettivo della strategia di adattamento consiste nel rendere gli impianti dell'infrastruttura sistematicamente più resilienti nei confronti degli impatti del cambiamento climatico. La strategia contribuisce a creare un quadro di riferimento per definire le priorità degli investimenti e per integrare le misure di adeguamento al cambiamento climatico nei processi di rinnovo, manutenzione ed esercizio esistenti.

Non si tratta di proteggere al massimo tutti gli impianti; l'obiettivo è piuttosto impiegare nel modo più efficiente possibile i mezzi e le risorse disponibili. In tale contesto, figurano in primo piano in particolare i seguenti principi:

- Priorizzazione degli impianti critici
- Sfruttamento dei cicli di rinnovo esistenti
- Attuazione di misure «no-regret» e «low-regret»
- Considerazione di ogni tipologia di misura (ad es. organizzativa, tecnica)

La resilienza climatica deve essere trattata quale parte integrante dell'asset management esistente e non come processo aggiuntivo distinto. I rischi climatici e le misure di adeguamento dovrebbero essere integrati nei processi esistenti, ad esempio:

- Pianificazione degli investimenti
- Pianificazione della manutenzione
- Valutazione dello stato
- Gestione dei rischi e della sicurezza
- Business Continuity Management

Ciò consente di sfruttare le sinergie nonché di uniformare i processi decisionali e di priorizzazione.

Un adattamento efficiente sotto il profilo dei costi degli impianti dell'infrastruttura segue approcci basati sul rischio, orientati al ciclo di vita e di tipo adattivo:

- **Approccio basato sul rischio:** non tutti gli impianti necessitano dello stesso livello di protezione. Le misure vengono attuate laddove elevati rischi climatici coincidono con un'elevata criticità. Quanto maggiori sono la criticità, il rischio climatico e la durata d'utilizzazione residua, tanto più ampie sono le misure di adeguamento.
- **Orientamento al ciclo di vita:** le misure di adeguamento al cambiamento climatico dovrebbero essere integrate, laddove possibile, in interventi di risanamento, investimenti di sostituzione, modernizzazioni o ampliamenti esistenti. In questo modo è possibile ridurre al minimo i costi supplementari e le interruzioni dell'esercizio. L'approccio orientato al ciclo di vita viene applicato quando gli impianti raggiungono il termine della loro durata d'utilizzazione tecnica entro un orizzonte temporale prevedibile e l'adattamento al cambiamento climatico può comunque avvenire nell'ambito di un rinnovo programmato. L'obiettivo è evitare elevati costi di investimento a breve termine.
- **Procedura adattiva:** poiché l'evoluzione del clima è legata a fattori d'incertezza, le misure dovrebbero essere pianificate in modo graduale e flessibile, ad esempio mediante la modularità degli ampliamenti, il monitoraggio con definizione di valori soglia o l'ammodernamento graduale.

Anziché procedere immediatamente a una ripianificazione completa, si definisce un percorso di adeguamento graduale. In tal modo è possibile ottimizzare gli investimenti dal punto di vista temporale e ridurre gli investimenti errati:

- **A breve termine:** intraprendere interventi minimi come l'osservazione e misure organizzative, nonché apportare piccoli miglioramenti.
- **A medio termine:** quando il carico climatico diventa sempre più visibile, verificare e attuare adeguamenti agli impianti mediante ampliamenti o rinnovi parziali.
- **A lungo termine:** in caso di un ulteriore aumento del carico, occorre valutare e pianificare un rinnovo tecnico completo o un adeguamento dell'ubicazione.

Per priorizzare correttamente la procedura esistono diversi approcci. Per assicurare un adeguamento al cambiamento climatico efficiente sotto il profilo dei costi, oltre al rischio climatico e alla criticità, occorre tenere conto anche della durata di vita residua degli impianti.

Di seguito sono illustrati due possibili approcci per una priorizzazione strategica. L'attribuzione del punteggio e la considerazione della durata di vita residua vanno applicate in modo differenziato a seconda dell'impianto. Anche la determinazione della valutazione per la criticità e il rischio climatico può avvenire in vari modi. È tuttavia fondamentale che ciò avvenga in modo sistematico e comprensibile.

Esempi di priorizzazione strategica:

1. Esempio:

Priorità = Criticità × Rischio climatico × Durata di vita residua (1–3 punti ciascuno)		
Punteggio	**Priorità**	**Procedura**
1–6	bassa	Monitoraggio e misure organizzative
7–12	media	Ammodernamento tecnico selettivo
13–18	alta	Investimenti prioritari ai fini della resilienza
19–27	molto elevata	Adeguamento completo ai fini della resilienza climatica

2. Esempio:

Criticità + Rischio	**Durata di vita residua <10 anni**	**Durata di vita residua 10-25 anni**	**Durata di vita residua > 25 anni**
bassa	Osservazione	Misure «low-regret»	Adeguamento standard
media	Ammodernamento selettivo	Rinforzo mirato	Ammodernamento globale
alta	Protezione transitoria	Rinforzo prioritario	Adeguamento completo ai fini della resilienza climatica

Le misure di adeguamento dovrebbero essere attuate in modo quanto più economico e proporzionato possibile. A tale riguardo esistono diversi ambiti di intervento:

Ambito di intervento per le misure	Esempi di misure
Tecnologico	• Binario con massicciata per tram e calore: aumento della rigidità del telaio • Binario senza massicciata per tram e calore: installazione di ritegni longitudinali per ridurre i movimenti longitudinali → preservare i giunti • Binario e calore: adeguamento della temperatura di neutralizzazione per la saldatura delle rotaie • Impianti di sicurezza: utilizzare i nuovi segnali climatici come base per la gara d'appalto relativa agli impianti • Genio civile e maggior ruscellamento superficiale: dimensionamento adattato dei tombini • Corrente di trazione per tram e calore: adeguamento della tecnologia della linea di contatto (linea di contatto messa in tensione, catena ribassata), ingrandimento delle sezioni del filo di contatto • Approvvigionamento di energia per tram (ad es. raddrizzatori): protezione strutturale contro le alluvioni mediante migliori analisi basate su scenari climatici noti • Edifici: migliore isolamento
Basato sulla natura	• Tram: prevedere ombreggiatura/alberi lungo i binari • Tram: sostituire il binario con massicciata deimpermeabilizzato con binari rinverditi. • Impianti aperti al pubblico: attuare misure legate al principio della «città spugna»; nuovo standard di materializzazione «non-impermeabilizzazione» • Genio civile/manufatti: gestione della vegetazione rispettosa del clima (ad es. promozione di specie arboree resilienti cambiamento climatico)
Orientato al comportamento	• Manutenzione/progetti: adeguamento delle finestre dei tempi di costruzione (giorno/notte, stagione) • Campagne informative sul riscaldamento climatico e sulla deimpermeabilizzazione per aumentare l'accettazione
Governance	• Regolamenti, norme, standard, disposizioni esecutive e di qualità, prescrizioni di progettazione, direttive di manutenzione... nuove o adeguate
Basato sulla conoscenza	• Gestione degli impianti: screening degli impianti in merito alla relativa vulnerabilità, esposizione e criticità • Modelli climatici, analisi dei rischi, elaborazione di carte dei pericoli • «Ri-pensare» / Innovazione

Tabella 1: misure di adeguamento

Fonte: gruppo di lavoro «Adattamento al cambiamento climatico» (2025)

8 Costi di adeguamento

L'iniziativa «Climate-Adapt» della Commissione europea elabora strumenti ed esempi su come tradurre le misure di adeguamento, mediante analisi costi-benefici, nelle migliori priorizzazioni e nei migliori piani di attuazione possibili[6].

I benefici corrispondono in questo contesto ai «costi evitati legati ai danni» (cfr. capitolo 6 dell'analisi dei rischi climatici) oppure ai «benefici maturati in seguito all'adozione e all'attuazione delle misure di adeguamento». Di conseguenza, i costi di adeguamento scaturiscono da un **confronto tra i costi della misura e i relativi benefici**. Idealmente, i costi di adeguamento risultano quindi negativi (generano un utile).

La misura di adeguamento deve tenere conto delle conseguenze sul cambiamento climatico. Qualora la misura influisca negativamente sul cambiamento climatico oppure danneggi l'ambiente (ad es. la biodiversità), si parla di maladattamento.

Per il calcolo dei costi di adeguamento si propone la seguente procedura:

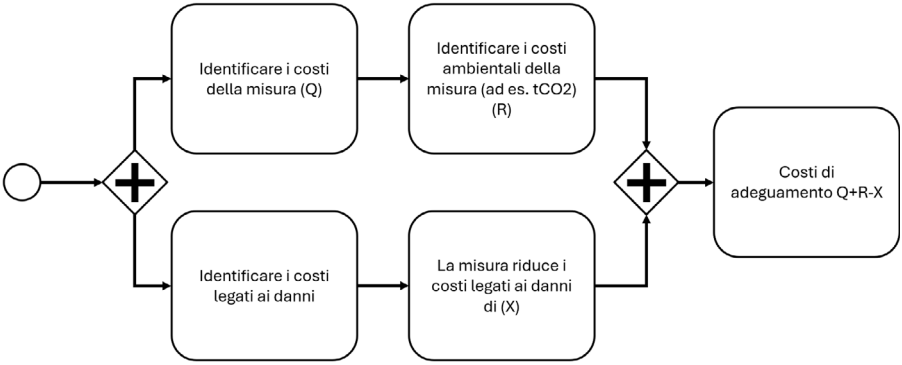


Figura 10: procedura

Fonte: gruppo di lavoro «Adattamento al cambiamento climatico» (2025)

Il calcolo si articola in due processi paralleli. I singoli passaggi sono descritti singolarmente nelle sezioni seguenti.

[6] Effettuare un'analisi costi-benefici delle misure di adeguamento | Strumenti di Climate-ADAPT

Approcci[7] per il calcolo dei costi legati ai danni
Se i costi legati ai danni non sono ancora noti, i seguenti metodi costituiscono un valido ausilio per una prima stima:

1. **Correlato all'evento:**
   - Danno per evento x frequenza prevista
   - Esempio: allagamento di una sottostazione (costi CHF 1 mio. / evento x accadimento ogni 10 anni)
2. **Correlato all'impianto:**
   - Costi della riduzione prevista del ciclo di vita per tipo di impianto x numero di impianti interessati
   - Esempio: riduzione della durata di vita media del binario da 40 a 30 anni
3. **Bottom-up:** stime degli esperti per tipo di impianto
4. **Top-down:** deduzione da studi internazionali / benchmark (ad es. UIC, UE)

Riduzione dei costi legati ai danni (X): la misura raccomandata porterà ragionevolmente a una riduzione dei costi futuri legati ai danni. Se la misura elimina completamente i costi legati ai danni e non è previsto alcun danno, la riduzione dei costi legati ai danni (X) corrisponde all'importo totale dei costi legati ai danni originariamente previsti. Qualora permanga un rischio residuo, la riduzione dei costi legati ai danni deve essere necessariamente inferiore ai costi stessi legati ai danni.

Costi delle misure (Q): per determinare le misure di adeguamento occorre applicare i metodi proposti al capitolo 7. Una misura di adeguamento non deve necessariamente comprendere la sostituzione di un impianto o una soluzione tecnologica ad alto costo, ma può anche assumere la forma di processi ottimizzati, ad esempio nell'ambito della gestione delle emergenze o del Business Continuity Management.

Costi ambientali delle misure (R): i costi economici per ciascuna tonnellata aggiuntiva di CO_2 prodotta vanno, a seconda dello studio, da 100 a 600 CHF[8]. Il team propone in questo caso un valore di riferimento di 200 CHF per tonnellata di CO_2.

Risultato Costi di adeguamento: i costi di adeguamento corrispondono ai costi totali netti della misura proposta (Q+R–X). Qualora tali costi risultino negativi, la misura è opportuna; in caso contrario, la misura deve essere ulteriormente motivata. (Esempio: (danno reputazionale o conseguimento di altri vantaggi non monetari[9]).

[7] Ulteriori approcci per la determinazione dei costi futuri legati ai danni: si veda allegato.

[8] Handbuch Umweltkosten | Ufficio federale dell'ambiente (DE)

[9] Un vantaggio non monetario derivante dalla piantumazione di alberi nel contesto della «città spugna» risiede nel fatto che essi offrono ombra e contribuiscono al raffreddamento dello spazio urbano.

9 Esempi di buone pratiche relativi al processo di adeguamento

9.1 Esempio con apparecchi centrali (SOB)

Analisi pratica e possibili misure per impianti rilevanti per l'esercizio in locali sotterranei

Fase 1: analisi delle vulnerabilità

In base all'analisi delle vulnerabilità (heatmap), tutti gli apparecchi centrali situati in locali sotterranei sono vulnerabili nei confronti del segnale climatico relativo alle forti precipitazioni. La vulnerabilità è stata valutata in relazione a un impatto medio (**due** punti su quattro).

Fase 2: analisi dell'esposizione

Nell'analisi dell'esposizione si esamina più da vicino l'impianto specifico.

La prima parte dell'analisi dell'esposizione comprende la valutazione sistematica dei dati di manutenzione, inclusi l'eliminazione delle perturbazioni e dei guasti. In questo modo si chiarisce se e in quale forma l'impianto sia stato interessato storicamente dal segnale climatico.

Nella seconda parte l'impianto viene messo a confronto con le carte dei pericoli attualmente disponibili. La valutazione può avvenire in modo manuale o automatizzato. Data la quantità ridotta di impianti sulla rete, si è optato per una valutazione manuale.

Analisi qualitativa manuale sulla base della carta dei pericoli di ruscellamento superficiale: la profondità di deflusso indica l'altezza dello strato d'acqua che si sposta sulla superficie del terreno. Quanto maggiore è la profondità di deflusso, tanto più i pozzetti e i locali sotterranei sono a rischio di infiltrazioni d'acqua a causa di ristagni e della pressione dell'acqua.

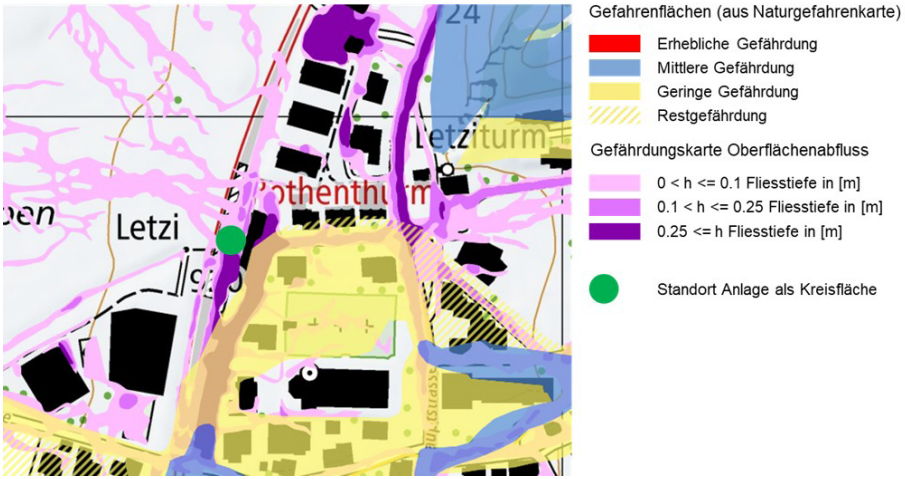


Figura 11: carta dei pericoli

Fonte: SOB e GIS cantonale SZ (2025)

L'esposizione viene valutata qualitativamente da un esperto. La tabella seguente funge da supporto:

Punti	Designazione	Descrizione
0	Nessuna esposizione	L'impianto si trova in un'area completamente sicura.
1	Esposizione lieve	L'impianto confina con aree che presentano una profondità di deflusso media.
2	Esposizione media	L'impianto confina parzialmente con aree che presentano una profondità di deflusso elevata e si trova in prossimità di aree che presentano una profondità di deflusso media.
3	Esposizione elevata	L'impianto è interamente situato in un'area che presenta una profondità di deflusso elevata.

Tabella 2: exposition

Fonte: SOB (2025)

Per l'impianto mostrato nella figura sono stati attribuiti **2 punti** per l'esposizione («esposizione media»).

Fase 3: analisi dei rischi

Rischio = Probabilità di accadimento x Entità dei danni

3.1 Probabilità di accadimento

La classificazione della probabilità di accadimento si basa sulla vulnerabilità, sull'esposizione e sui precedenti storici (fasi 1 e 2). Si applica la seguente classificazione (adattata sulla base delle tabelle di Hicks per una semplice suddivisione dei rischi, Shortreed et al. 2003):[10]

Classe	Designazione	Vulnerabilità x Esposizione	Precedenti storici
5	Frequente	9–12	1 o più eventi all'anno
4	Probabile	6–8	12 o più eventi all'anno
3	Occasionale	3–4	1 o più eventi ogni 30 anni
2	Raro	2	1 o più eventi ogni 200 anni
1	Improbabile	0–1	Meno di 1 evento ogni 200 anni

Tabella 3: probabilità di accadimento

Fonte: Shortreed et al. (2003)

La tabella va intesa con un «OPPURE» logico. Ad esempio, per la classe 3 «Occasionale», ci si attende Vulnerabilità x Esposizione = 4 OPPURE, in base ai precedenti storici, uno o più eventi ogni 30 anni. Qualora non siano presenti dati storici, è necessario applicare unicamente la colonna Vulnerabilità x Esposizione.

Per questo esempio, dalla vulnerabilità (**2**) moltiplicata per l'esposizione (2), per cui **2 × 2 = 4** (cfr. colonna 3), si ottiene una probabilità di accadimento di classe **3**. Sulla base dei precedenti storici non è noto alcun evento. La probabilità di accadimento rimane pertanto di classe **3**.

[10] Da Proske, D. (2022). Katalog der Risiken: Risiken und ihre Darstellung. Springer

3.2 Entità dei danni

La classificazione dell'entità dei danni segue una versione adattata della procedura qualitativa sviluppata da Eskensen et al. (2004) e Stille (2017) per una rapida valutazione dei rischi[11].

Classe	Designazione	Descrizione, danni alla vita e all'integrità fisica o danni materiali
100	Catastrofico	Più di 10 lesioni gravi o danni materiali > CHF 3 mio.
60	Gravissimo	Tra 1 e 10 lesioni gravi o danni materiali compresi tra CHF 300 000 e CHF 3 mio.
25	Grave	Almeno una lesione grave o danni materiali compresi tra CHF 30 000 e CHF 300 000
10	Minimo	In generale nessuna lesione o danni materiali compresi tra CHF 3000 e CHF 30 000
2	Insignificante	Nessuna lesione o danni materiali < CHF 3000

Tabella 4: entità dei danni

Fonte: SOB (2025). Nota: una lesione grave include possibili decessi.

Un danno a questo apparecchio centrale, comprese le misure immediate e l'interruzione dell'esercizio, viene classificato come grave (classe **25**) dagli esperti IS.

[11] Da Proske, D. (2022). Katalog der Risiken: Risiken und ihre Darstellung. Springer

3.3 Risultato relativo al rischio

Come menzionato all'inizio del presente capitolo, il rischio viene valutato mediante la semplice formula: Probabilità di accadimento x Entità dei danni. Sulla base delle tabelle Hicks, la classificazione è la seguente:

Risque	Livello	Misure
> 399	Rischio estremo	Non tollerabile; necessarie misure immediate per ridurre il rischio
100 à 399	Rischio elevato	Non accettabile a lungo termine; devono essere attuate misure di riduzione del rischio
30 à 99	Rischio medio	Indesiderato; valutazione e pianificazione di misure di riduzione del rischio a lungo termine
< 30	Rischio basso	Nessuna misura necessaria; verifica periodica per mantenere il livello basso

Tabella 5: rischio

Fonte: Shortreed et al. (2003)

Nel nostro esempio, è presente quindi un rischio medio pari a **3 × 25 = 75**. In occasione del prossimo ripristino, il rischio sarà ridotto al minimo mediante un drenaggio migliorato e altre soluzioni tecniche ancora da definire.

Nota: questa semplice analisi qualitativa deve essere eseguita separatamente per ogni impianto. In presenza di un numero ridotto di impianti sulla rete, può rappresentare un metodo efficiente per effettuare una prima classificazione ed eventualmente adottare misure. Le possibili misure sono descritte al capitolo 7 «Misure di adeguamento». È altresì ipotizzabile una misura tecnologico-anticipatoria, quale un sistema di preallarme con successivo processo di troubleshooting.

9.2 Esempio con conta-assi (FFS)

Fase 1: analisi delle vulnerabilità

Le FFS hanno analizzato gli annunci di guasto relativi ai conta-assi per il periodo dal 2018 a metà 2023.

Dalla probabilità di guasto in funzione della temperatura hanno ricavato la vulnerabilità dei singoli impianti nei confronti del calore. I dati mostrano che in presenza di temperature elevate si verifica un maggior numero di guasti. In generale si può constatare che nelle giornate con temperatura massima superiore a 30 °C (giorno di canicola) la probabilità di guasto è di ben due volte superiore rispetto ai giorni non canicolari. Tale differenza è molto significativa dal punto di vista statistico. Sono addirittura presenti conta-assi che nei giorni di canicola presentano una probabilità di guasto circa quattro volte superiore rispetto ai giorni non canicolari. Conclusione: i conta-assi sono vulnerabili al calore. La valutazione è «Impatto elevato» (rosso o 4).

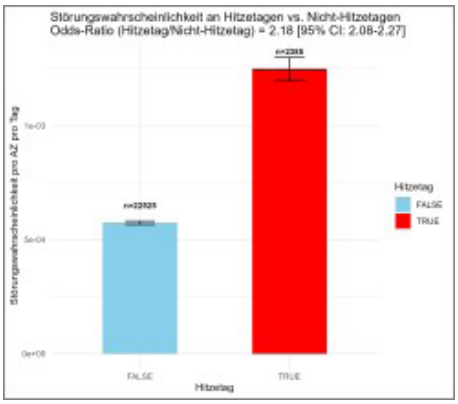


Figura 12: probabilità di guasto dei conta-assi nei giorni non canicolari e nei giorni di canicola

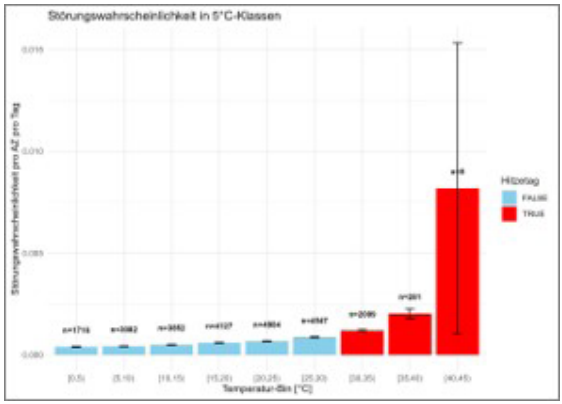


Figura 13: probabilità di guasto dei conta-assi in classi di 5 °C

Fonte: FFS (2025)

Fase 2: analisi dell'esposizione

- Attualmente i conta-assi delle FFS in tutte le regioni svizzere sono soggetti a circa 10 giorni di canicola.
- Nel 2060 gran parte dei conta-assi registrerà già più di 30 giorni di canicola, ad eccezione del pendio nordalpino. Nel 2085 la stragrande maggioranza dei conta-assi sarà soggetta a oltre 50 giorni di canicola, ad eccezione del pendio nordalpino.

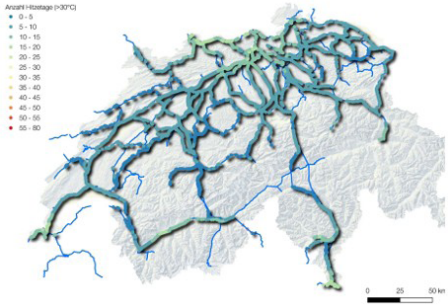


Figura 14: conta-assi esposti al calore nel 2010

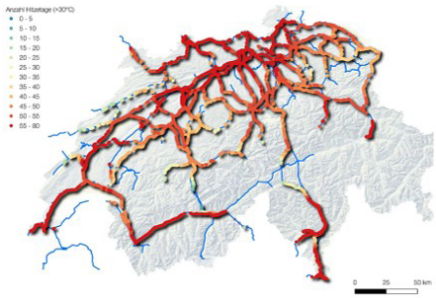


Figura 15: conta-assi esposti al calore nel 2085

RCP8.5							
	Klimakennwert	Jura (3'611)	Inneralpin (1'760)	Mittelland (19'758)	Alpensüdhang (3'356)	Alpennordhang (4'464)
2010	Anzahl Anlagen mit mittlerer Jahrestemperatur > 11°C	673 18.6	0 0.0	968 4.9	2'247 67.0	0 0.0
	Anzahl Anlagen mit > 10 Hitzetage pro Jahr	1'997 55.3	560 31.8	4'589 23.2	1'082 32.2	117 2.6
	Anzahl Anlagen mit > 20 Hitzetage pro Jahr	0 0.0	0 0.0	0 0.0	0 0.0	0 0.0
	Anzahl Anlagen mit > 30 Hitzetage pro Jahr	0 0.0	0 0.0	0 0.0	0 0.0	0 0.0
	Anzahl Anlagen mit > 40 Hitzetage pro Jahr	0 0.0	0 0.0	0 0.0	0 0.0	0 0.0
	Anzahl Anlagen mit > 50 Hitzetage pro Jahr	0 0.0	0 0.0	0 0.0	0 0.0	0 0.0
2060	Anzahl Anlagen mit mittlerer Jahrestemperatur > 11°C	3'313 91.7	1'382 78.5	19'422 98.3	2'770 82.5	3'551 79.5
	Anzahl Anlagen mit > 10 Hitzetage pro Jahr	3'471 96.1	1'398 79.4	19'758 100.0	2'947 87.8	3'833 85.9
	Anzahl Anlagen mit > 20 Hitzetage pro Jahr	3'222 89.2	1'371 77.9	19'053 96.4	2'537 75.6	3'489 78.2
	Anzahl Anlagen mit > 30 Hitzetage pro Jahr	2'339 64.8	1'272 72.3	9'089 46.0	1'767 52.7	300 6.7
	Anzahl Anlagen mit > 40 Hitzetage pro Jahr	984 27.3	399 22.7	1'070 5.4	903 26.9	0 0.0
	Anzahl Anlagen mit > 50 Hitzetage pro Jahr	0 0.0	20 1.1	0 0.0	32 1.0	0 0.0
2085	Anzahl Anlagen mit mittlerer Jahrestemperatur > 11°C	3'587 99.3	1'458 82.8	19'758 100.0	3'072 91.5	4'195 94.0
	Anzahl Anlagen mit > 10 Hitzetage pro Jahr	3'608 99.9	1'466 83.3	19'758 100.0	3'190 95.1	4'248 95.2
	Anzahl Anlagen mit > 20 Hitzetage pro Jahr	3'554 98.4	1'460 83.0	19'758 100.0	3'093 92.2	4'084 91.5
	Anzahl Anlagen mit > 30 Hitzetage pro Jahr	3'394 94.0	1'390 79.0	19'737 99.9	2'932 87.4	3'790 84.9
	Anzahl Anlagen mit > 40 Hitzetage pro Jahr	3'244 89.8	1'386 78.8	19'112 96.7	2'709 80.7	3'504 78.5
	Anzahl Anlagen mit > 50 Hitzetage pro Jahr	2'816 78.0	1'313 74.6	14'916 75.5	2'506 74.7	1'171 26.2

Figura 16: conta-assi esposti al calore per anno e regione

Fonte: Meteotest (2024)

Fase 3: analisi della criticità

- Quanto maggiore è il numero di clienti trasportati su un conta-assi, tanto maggiore risulterà l'impatto in caso di interruzioni.
- La criticità viene definita mediante un indicatore di carico, che comprende il numero di treni viaggiatori, treni merci, treni di servizio, corse di manovra e passeggeri, nonché il peso dei treni merci.
- Ogni binario, ovvero il conta-assi posizionato su di esso, riceve così la propria criticità individuale.
- La popolazione totale dei conta-assi è stata suddivisa in cinque classi di carico. Per i conta-assi evidenziati in rosso le interruzioni hanno il maggior impatto.
- La combinazione di esposizione e criticità evidenzia quali conta-assi saranno maggiormente esposti al calore in futuro e, al contempo, maggiormente sovraccaricati.
- Dei quasi 18 500 punti di conta classificati, circa il 5% si trova nella classe di criticità più elevata (massima criticità ed esposizione).

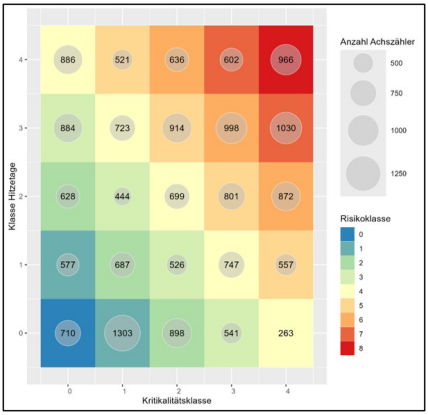


Figura 17: Matrice di criticità conta-assi (2085, RCP 8,5)

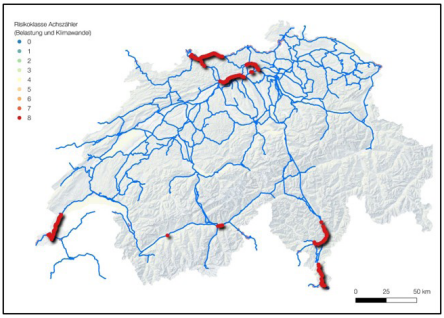


Figura 18: panoramica dei conta-assi con il maggior numero di giorni di canicola e la classe di criticità più elevata

Fonte: FFS (2024)

Esempio dell'arco lemanico: in caso di guasto di un'ora sarebbero interessati circa nove treni. Con un ritardo di 30 minuti per treno e x CHF per minuto di ritardo dei treni, si otterrebbero y minuti di ritardo ossia z CHF. Prendendo come base i viaggiatori, nel caso di 1500 viaggiatori interessati si arriva a 45 000 minuti di ritardo dei viaggiatori ossia z CHF.

Fase 4: analisi dei rischi climatici

- Nel periodo 2018–2022 sono stati rilevati 22 525 guasti per un totale di 201 500 minuti di ritardo dei treni nei giorni non canicolari e 2385 guasti con 27 000 minuti di ritardo dei treni nei giorni di canicola. Ciò corrisponde a 9 minuti di ritardo dei treni per guasto nei giorni non canicolari e a 11 minuti di ritardo dei treni per guasto nei giorni di canicola. A fronte di un costo di x CHF/minuto di ritardo dei treni si ottengono y CHF per guasto.
- Per calcolare il rischio legato alla temperatura è necessario sottrarre il rischio di guasto di base. Poiché nei giorni di canicola la probabilità è ben il doppio, il rischio può essere semplicemente dimezzato.

Anno	Giorni di canicola per apparecchio*	Probabilità di guasto giorno di canicola**	Probabilità di guasto giorno non canicolare***	Probabilità di guasto legata alla temperatura****	Numero di guasti all'anno (legati alla temperatura)	Minuti ritardo treni per guasto (media 2018–2022)	Minuti ritardo treni per anno	Rischio monetizzato per anno (CHF)
2010	173 012	0,0012	0,00057	0,00067	117	9	1071	A
2022	381 674	0,0012	0,00057	0,00067	258	9	2364	B
2060	629 151	0,0012	0,00057	0,00067	425	9	3896	C
2085	1 121 102	0,0012	0,00057	0,00067	757	9	6943	D

* Somma di tutti i giorni di canicola a cui sono esposti tutti i conta-assi sulla rete FFS nell'arco di un anno
** Probabilità di guasto di tutti i conta-assi con una temperatura superiore a 30 °C
*** Probabilità di guasto di tutti i conta-assi con una temperatura inferiore a 30 °C
**** Probabilità di guasto di tutti i conta-assi dovuta a una temperatura superiore a 30 °C

Figura 19: analisi dei rischi climatici

Fonte: FFS (2025)

- Nel 2085, mantenendo l'attrezzatura attuale, si verificherà un numero di guasti dovuti alla temperatura tre volte superiore rispetto al 2022. Il rischio annuo triplicherà (nell'ipotesi in cui nel 2085 sia installata la medesima attrezzatura odierna).
- Il rischio può essere affinato, ad esempio mediante indicatori di carico (cfr. analisi della criticità, diversi tipi di conta-assi).

10 Allegato

10.1 Ulteriori approcci per la determinazione dei costi futuri legati ai danni

Approccio SNCF Réseau

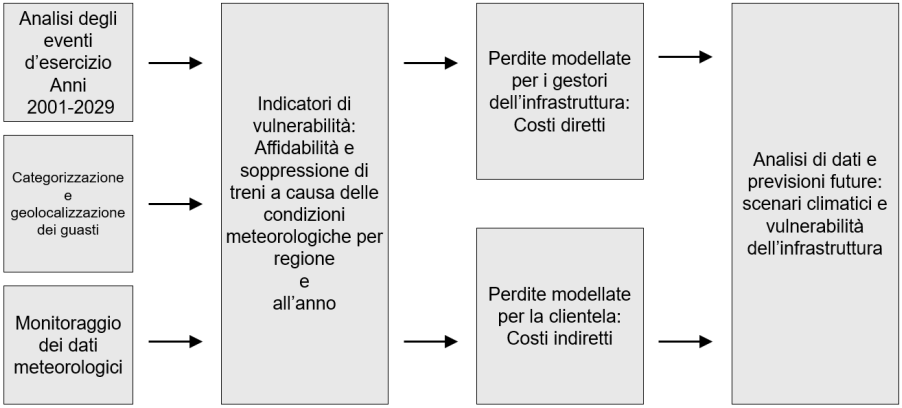


Figura 20: panoramica eventi, dati meteorologici e perdite

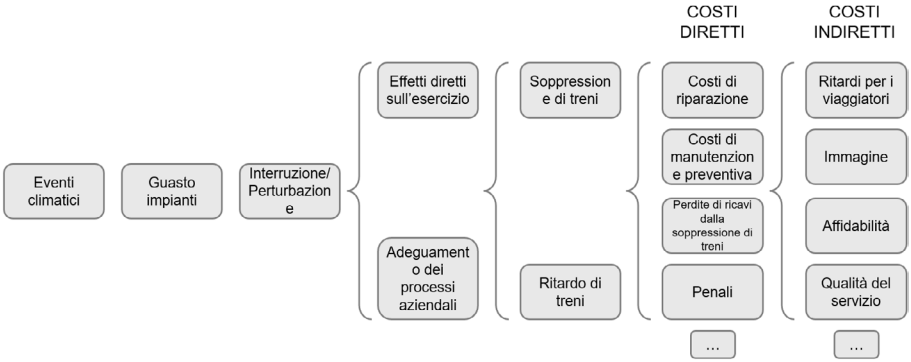


Figura 21: schema operativo per la determinazione dei costi diretti e indiretti

Fonte: sulla base di SNCF Réseau, Julien Brunel, Marc Georges Develter, Thaynara Silva (2026)

Approccio DB InfraGO

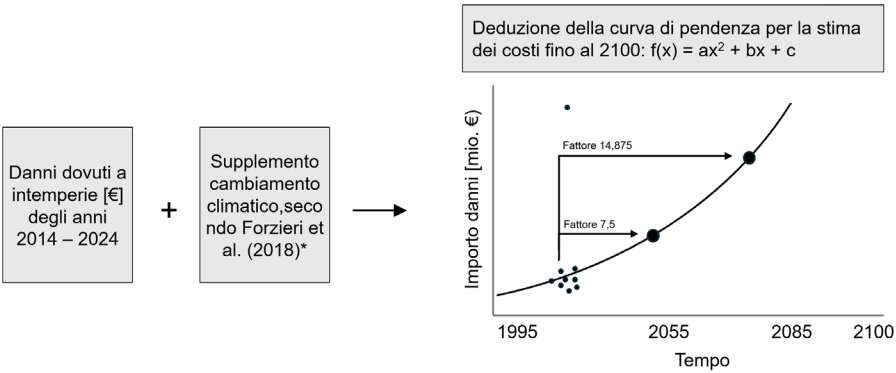
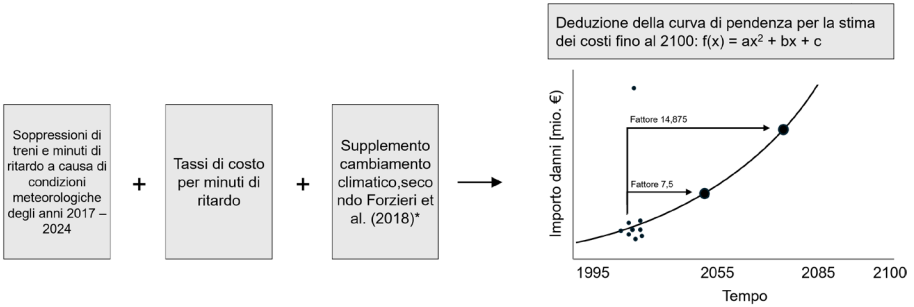


Figura 22: stima dei costi per i danni dovuti a intemperie



* Aumento dei danni alle infrastrutture di trasporto dovuti a condizioni meteorologiche estreme in Europa (senza adeguamento) aumenta di 7,5 volte (per il periodo 2041-70) e di 14,875 volte (per il periodo 2071-2100)

Figura 23: stima dei costi per soppressioni di treni e minuti di ritardo dovuti a intemperie

Fonte: sulla base di DB InfraGO, Frederick Bott, I.IIG 41, 12/2025

10.2 Informazioni sul documento

Data di pubblicazione: 30 settembre 2026

Versione: V1; approvata dalla KIS il 25 giugno 2026

Membri del gruppo di lavoro «Adattamento al cambiamento climatico»:

SOB:	Gregory Limburg, Philipp Anderegg
MGB:	Fabian Nellen, Christoph Jekelmann
BERNMOBIL:	Tobias Ganz, Gregory Limburg
UTP:	Bettina Meury
FFS:	Andreas Heller (CoL AGr “AK”)
BLS:	Marc Hächler (CoL AGr «AK»)

11 Indice delle figure

Figura 1: l'essenziale in breve NCCS 8
Figura 2: catena dei risultati «Meno neve» 11
Figura 3: catene dei risultati «Estati più asciutte», «Caldo più estremo» e «Forti precipitazioni più frequenti» 12
Figura 4: catena dei risultati «Caldo più estremo» 13
Figura 5: processo di adeguamento 15
Figura 6: esempio di una heatmap 17
Figura 7: esempio di dati degli impianti strutturati e georeferenziati 22
Figura 8: stazioni esposte (ad es. Chiasso) e quasi non esposte (Göschenen) in relazione all'aumento dei giorni di canicola (heat days [hd]) per il periodo di riferimento (2010) e il 2060/2085 22
Figura 9: esempio di semplice matrice di rischio 25
Figura 10: procedura 30
Figura 11: carta dei pericoli 33
Figura 12: probabilità di guasto dei conta-assi nei giorni non canicolari e nei giorni di canicola 37
Figura 13: probabilità di guasto dei conta-assi in classi di 5 °C 37
Figura 14: conta-assi esposti al calore nel 2010 38
Figura 15: conta-assi esposti al calore nel 2085 38
Figura 16: conta-assi esposti al calore per anno e regione 38
Figura 17: Matrice di criticità conta-assi (2085, RCP 8,5) 39
Figura 18: panoramica dei conta-assi con il maggior numero di giorni di canicola e la classe di criticità più elevata 39
Figura 19: analisi dei rischi climatici 40
Figura 20: panoramica eventi, dati meteorologici e perdite 41
Figura 21: schema operativo per la determinazione dei costi diretti e indiretti 41
Figura 22: stima dei costi per i danni dovuti a intemperie 42
Figura 23: stima dei costi per soppressioni di treni e minuti di ritardo dovuti a intemperie 42

12 Indice delle tabelle

Tabella 1: misure di adeguamento 29
Tabella 2: exposition 33
Tabella 3: probabilità di accadimento 34
Tabella 4: entità dei danni 35
Tabella 5: rischio 36

13 Fonti

UFAM (2025). Analisi dei rischi climatici per la Svizzera. https://www.bafu.admin.ch/dam/bafu/de/dokumente/klima/uw-umwelt-wissen/klima-risikoanalyse.pdf.download.pdf/UW-2502-D_KlimaRisikoanalyse.pdf

NCCS (2025). https://www.nccs.admin.ch/nccs/it/home/cambiamenti-climatici-e-impatti/scenari-climatici-per-la-svizzera/atlante-interattivo-ch2018.html

Shortreed J, Hicks J & Craig L (2003). Basic framework for Risk Management – Final report. 28 marzo 2003, Network for environmental risk assessment and management. Prepared for the Ontario Ministry of the Environment

Eskensen S, Tengborg P, Kampman J, Veicherts T.H. (2004). Guidelines for tunnelling risk management. International Tunnelling Association, Working group No. Tunnelling and Underground Space Technology 19, S 217–237

Stille H (2017). Geological Uncertainties in Tunnelling – Risk Assessment and Quality Assurance, Sir Muir Wood Lecture 2017, aprile 2017, International Tunnelling and Underground Space Association, Losanna




106
55
52

VÖV UTP

Verband öffentlicher Verkehr
Union des transports publics
Unione dei trasporti pubblici

Dählhölzliweg 12
3005 Berna

www.utp.ch
info@utp.ch

Settembre 2026