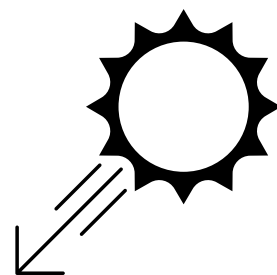




Tempesta solare



Questo dossier di pericolo è parte integrante dell'analisi nazionale dei rischi
«Catastrofi e situazioni d'emergenza in Svizzera»

Definizione

Sulla superficie del sole si verificano, di tanto in tanto, massicce esplosioni ed eruzioni che emettono particelle ad alta energia e radiazioni elettromagnetiche. Questi eventi si verificano soprattutto nei momenti di intensa attività solare. Le radiazioni e le particelle emesse si propagano nello spazio e possono anche raggiungere la Terra. Quando ciò accade, si parla di tempesta solare. Fondamentalmente si distinguono tre fenomeni principali, che possono manifestarsi simultaneamente o separatamente:

- **Brillamento solare**
Un lampo di raggi X (flare) viaggia alla velocità della luce e raggiunge la Terra dopo circa otto minuti. È il primo segnale di un'imminente tempesta solare che può essere osservato dalla Terra. Nell'atmosfera terrestre, il brillamento solare non comporta rischi per la salute, ma può disturbare la radiocomunicazione.
- **Tempesta di particelle ad alta energia**
Particelle o radiazioni di particelle scagliate ad alta velocità nello spazio raggiungono la Terra dopo circa un'ora. Sul loro tragitto verso il nostro pianeta possono perturbare il funzionamento dei satelliti o addirittura danneggiarli.
- **Espulsione di massa coronale (CME, coronal mass ejection)**
Una nube di plasma composta da particelle cariche, come elettroni, protoni e nuclei atomici pesanti, raggiunge la Terra dopo circa 1 o 2 giorni. Quando entra in contatto con il campo magnetico terrestre, quest'ultimo si indebolisce dando origine a una tempesta geomagnetica.

Il disturbo del campo magnetico terrestre (indice DST, Disturbance Storm Time) può essere misurato ed espresso in nanotesla (nT). Una tempesta magnetica può generare alte tensioni nei conduttori elettrici a lunga distanza, come le linee elettriche aeree, inducendo forti correnti, che possono danneggiare ad esempio i trasformatori e provocare interruzioni di corrente. Le zone ad alte latitudini sono particolarmente colpite, ma le aurore boreali possono diventare visibili anche a latitudini molto più basse. Le tempeste solari possono inoltre compromettere la precisione dei sistemi di navigazione e delle comunicazioni satellitari, aumentare la resistenza aerodinamica per i satelliti che orbitano a bassa quota e rallentarli notevolmente o addirittura deviarli dalla loro rotta.

Febbraio 2026



Indice

Esempi di eventi	3
Fattori influenti	4
Intensità degli scenari	5
Scenario	6
Conseguenze	8
Rischio	10
Basi legali	11
Ulteriori informazioni	12

Esempi di eventi

Eventi reali del passato contribuiscono a una migliore comprensione di un pericolo, illustrandone l'origine, il decorso e le conseguenze.

Maggio 2024

Tra il 10 e il 13 maggio, durante il ciclo solare 25, si è verificata una serie di intense tempeste solari, con eruzioni solari estreme e CME. La risultante tempesta geomagnetica è stata la più forte a colpire la Terra dal marzo 1989, generando aurore boreali visibili a latitudini molto più basse del normale. Sono state segnalate irregolarità nella rete elettrica americana, senza conseguenze significative per la popolazione. La tempesta ha disturbato le comunicazioni a onde corte e causato lievi interferenze che hanno ridotto la precisione dei sistemi GNSS. Alcuni satelliti sono rimasti temporaneamente fuori uso. Il disturbo massimo del campo magnetico terrestre (indice DST) ha raggiunto i -412 nT.

Ottobre/novembre 2003

Tra il 19 ottobre e il 5 novembre 2003 si sono verificate 17 potenti eruzioni solari che hanno provocato tempeste magnetiche e interferenze radio. L'intera rete elettrica di Malmö, in Svezia, è crollata. Nel Canada settentrionale, i corridoi aerei dei voli passeggeri sono stati chiusi per il collasso degli impianti di sorveglianza aerea. I sistemi satellitari e di navigazione hanno smesso di funzionare. Le aurore boreali sono state visibili fino alle regioni tropicali. Il disturbo massimo del campo magnetico terrestre (indice DST) ha raggiunto i -422nT il 20 novembre.

13 marzo 1989

Una tempesta solare ha provocato un sovraccarico della rete elettrica in Québec, causando un blackout di nove ore nella regione di Montréal, che ha lasciato senza corrente sei milioni di persone mentre il termometro segnava -15 °C. Gli impianti di segnaletica, gli aeroporti e il teleriscaldamento hanno smesso di funzionare. L'evento ha causato danni per diverse centinaia di milioni di dollari. Il disturbo massimo del campo magnetico terrestre (indice DST) ha raggiunto i -589 nT.

Agosto 1859

Evento di Carrington

Verso la fine di agosto del 1859 si è verificata una serie di brillamenti solari. Numerose aurore boreali sono state osservate fino all'equatore. Le linee telegrafiche sono state fortemente disturbate. Secondo le stime statistiche, una tempesta solare di questo tipo ha un periodo di ritorno di circa 500 anni. Oggi, un simile evento manderebbe fuori uso le reti elettriche e di telecomunicazione di tutto il mondo, oltre ai satelliti. I danni oscillerebbero tra i 600 e i 2600 miliardi di dollari soltanto negli Stati Uniti. Le stime relative al disturbo massimo del campo magnetico terrestre (indice DST) variano, con valori plausibili compresi tra i -850 e i -1750 nT.

Fattori influenti

I seguenti fattori possono influenzare l'origine, lo sviluppo e le conseguenze del pericolo.

Fonte di pericolo	– Intensità della tempesta solare (brillamento solare, tempesta di particelle ed espulsione di massa coronale) – Intensità della tempesta geomagnetica (disturbo del campo magnetico terrestre) – Durata della tempesta solare
Momento	– Posizione della Terra rispetto al sole (giorno/notte, estate/inverno) – Giorno della settimana e ora del giorno – Stagione (periodo di vacanze, fabbisogno energetico per climatizzazione, riscaldamento e illuminazione)
Luogo / Estensione	– Tempesta radiologica: limitata al lato della Terra rivolto al sole. – Tempesta geomagnetica: fenomeno globale e indipendente dalla posizione del sole rispetto al luogo considerato. – Latitudine geografica / campo magnetico terrestre: le conseguenze sono più gravi vicino ai poli che all'equatore.
Decorso dell'evento	– Tempo di preallerta (allarme lanciato dalle agenzie spaziali e meteorologiche spaziali, diffusione da parte dei media) – Tipo, intensità e durata delle interferenze a diverse infrastrutture – Radiocomunicazione a onde corte (blackout radio) – Elettronica di bordo di satelliti e aeromobili (p. es. a causa di single event upsets o spacecraft charging) – Cambiamenti spontanei di rotta dei satelliti a bassa quota – Sistemi globali di navigazione satellitare (GNSS, come ad esempio il GPS) – Reti elettriche – Elementi centrali dell'infrastruttura elettrica (p. es. trasformatori) – Preparazione e reazione dei gestori di infrastrutture, delle organizzazioni e delle autorità responsabili (p. es. spegnimento preventivo, alimentazione elettrica d'emergenza, ripristino provvisorio dell'infrastruttura elettrica come centrali, trasformatori e reti) – Preparazione e prontezza operativa delle forze d'intervento – Comportamento delle organizzazioni interessate e delle autorità competenti – Reazione della popolazione e della politica

Intensità degli scenari

A seconda dei fattori influenti, possono svilupparsi diversi eventi di varia intensità. Gli scenari elencati di seguito costituiscono solo una scelta di possibili decorsi e non sono previsioni. Servono per anticipare le possibili conseguenze al fine di prepararsi ai pericoli.

1 – marcato

- L'eruzione solare provoca un'intensificazione delle radiazioni cosmiche alle alte e medie latitudini geografiche e genera fronti di onde d'urto che raggiungono la Terra dopo 24 ore
- Le aurore boreali sopra la Germania settentrionale possono essere osservate anche dalla Svizzera
- Tempesta geomagnetica con massimo disturbo globale del campo magnetico terrestre pari a -750 nT
- La tempesta solare colpisce la Terra in novembre
- La fase di tempesta dura circa 60 ore
- Interferenze nei sistemi di comunicazione a onde corte e lievi disturbi ai sistemi di localizzazione satellitare (p. es. GPS)

2 – forte

- L'eruzione solare provoca un'intensificazione delle radiazioni cosmiche a livello globale e genera fronti di onde d'urto che raggiungono la Terra dopo 18 ore
- Le aurore boreali sono visibili anche in Svizzera
- Supertempesta geomagnetica con massimo disturbo globale del campo magnetico terrestre pari a -1600 nT
- La tempesta colpisce la Terra in dicembre
- La fase di tempesta magnetica, provocata da tre espulsioni di massa coronale, dura complessivamente una settimana
- Numerose infrastrutture comandate elettronicamente (infrastrutture di comunicazione, reti elettriche, ecc.) smettono di funzionare per alcuni giorni

3 – estremo

- L'eruzione solare causa un'intensificazione delle radiazioni cosmiche a livello globale e genera fronti di onde d'urto che raggiungono la Terra dopo 18 ore
- Le aurore boreali sono visibili anche in Svizzera
- Supertempesta magnetica con massimo disturbo globale del campo magnetico terrestre pari a -2400 nT
- La tempesta solare colpisce la Terra in gennaio
- La fase di tempesta magnetica, provocata da più espulsioni di massa coronale, dura complessivamente 10 giorni
- Le infrastrutture comandate elettronicamente (infrastrutture di comunicazione, reti elettriche, ecc.) vengono danneggiate o smettono di funzionare per più giorni

Scenario

Il seguente scenario si basa sul livello d'intensità «forte».

Situazione iniziale / fase preliminare

Si osserva un aumento dell'attività solare per due settimane. Il primo giorno dell'evento viene rilevata, sulla base del lampo di raggi in arrivo e poi confermata da immagini telescopiche, un'eruzione solare insolitamente intensa con un'espulsione di massa coronale (EMC) verso la Terra. Il National Weather Service Space Weather Prediction Center (SWPC, USA) e la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA, USA) informano la CENAL dell'eruzione solare, che a sua volta trasmette le informazioni ai gestori di infrastrutture registrati.

Fase dell'evento

Otto minuti dopo la prima forte eruzione, il lampo di raggi x dei brillamenti solari raggiunge la Terra, compromettendo gravemente la trasmissione delle comunicazioni a onde corte sul lato del pianeta rivolto verso il sole. L'evento corrisponde a un «blackout radio» del livello R5 sulla scala della National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA, USA). Ne risentono le comunicazioni via satellite, con gli aeromobili e nei sistemi marittimi, così come quelle tramite onde corte. Vengono inoltre disturbati i sistemi GNSS (GPS, GLONASS, Galileo e Beidou), la TV satellitare e via cavo, la radio e la telefonia satellitare, oltre alla radiocomunicazione (incl. Polycom) e alla telefonia mobile. I sistemi di comando basati sul GNSS funzionano male o smettono di funzionare.

Circa un'ora dopo il primo lampo di raggi x, la rete mondiale dei rivelatori di raggi cosmici registra un aumento significativo dell'intensità dei raggi cosmici dovuto all'irradiazione di particelle solari ad alta energia. Le conseguenze della tempesta di particelle, classificata con un'intensità G5 sulla scala NOAA «Solar Radiation Storms», sono più forti nelle prime ore e in seguito diminuiscono gradualmente.

Le radiazioni particellari limitano ulteriormente le comunicazioni a onde corte in prossimità del polo nord. Durante il loro viaggio verso la Terra, le radiazioni colpiscono diversi satelliti, compromettendone il funzionamento o mettendoli temporaneamente fuori uso. Le particelle abbagliano i sensori stellari dei satelliti, disturbandone la rotta. I corridoi aerei vicini al polo vengono chiusi per precauzione e le rotte di volo deviate per proteggere le persone dall'elevata esposizione alle radiazioni. Molti voli devono essere cancellati o rinviati poiché gli aerei non possono più decollare in sicurezza, mentre quelli già in volo devono proseguire senza GPS.

Gli scienziati dello Space Weather Segment dell'ESA constatano che la nube di massa coronale espulsa dal Sole si sta dirigendo rapidamente verso la Terra. L'impatto con il campo magnetico terrestre (che segnerà l'inizio di una cosiddetta tempesta geomagnetica) è previsto entro circa 20 ore. Si presume che la tempesta raggiungerà un'intensità G5 sulla scala NOAA.

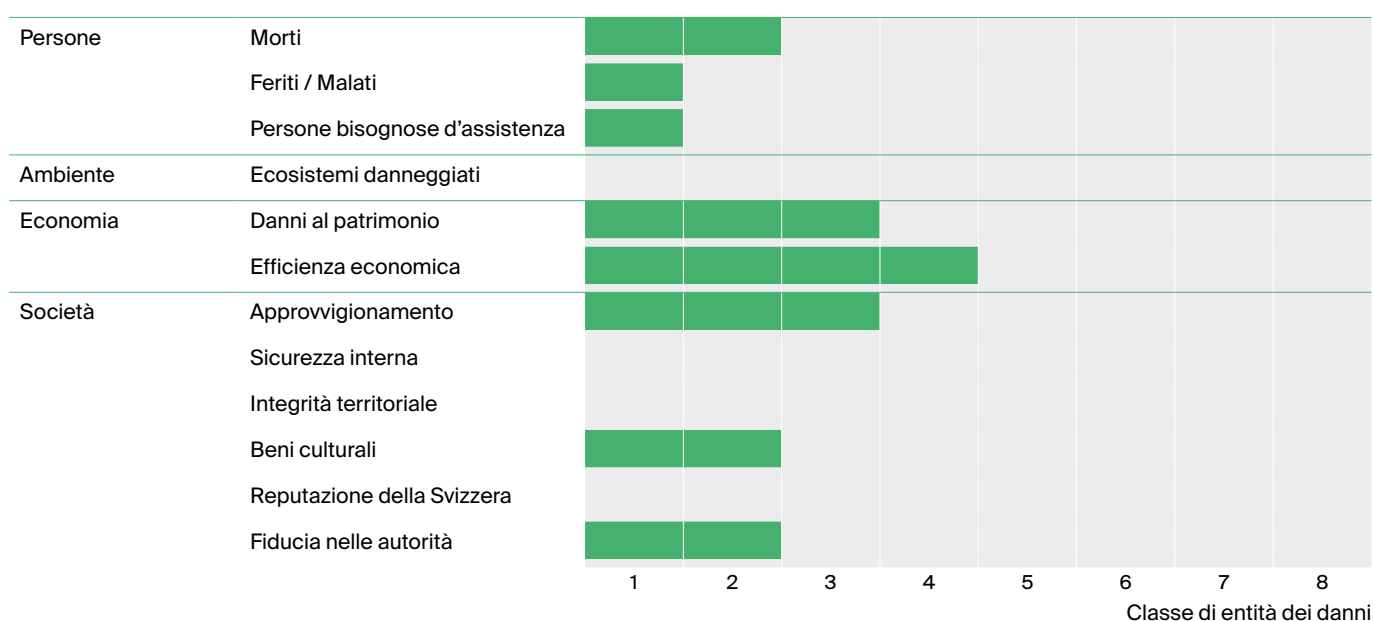
Come previsto, la tempesta geomagnetica inizia dopo circa 20 ore. Molti dispositivi elettronici smettono temporaneamente di funzionare. Nelle reti di distribuzione elettrica si generano correnti indotte, che danneggiano trasformatori ad alta tensione in Canada, Europa settentrionale e Russia, e che vengono misurate anche in Svizzera. L'approvvigionamento elettrico e le infrastrutture di comunicazione sono perturbate anche in molte regioni della Svizzera.

A intervalli di circa due giorni si verificano altre espulsioni di massa coronale d'intensità simile. Gli effetti delle tempeste radiologiche che seguono poco dopo e le tempeste di particelle che subentrano circa 20 ore più tardi, durano circa una settimana.

Fase di ripristino	Non appena le tempeste radiologiche e geomagnetiche cessano, la situazione si placa. Ci vuole però una settimana prima che tutto torni alla normalità.
Decorso temporale	Le tre espulsioni di massa coronale e le loro conseguenze durano circa una settimana. Dopo un'altra settimana vengono risolte tutte le difficoltà d'approvvigionamento. Ci vuole circa un mese prima che tutti i sistemi tornino alla normalità.
Estensione spaziale	Le conseguenze della tempesta solare colpiscono tutto il mondo, inclusa la Svizzera, ma soprattutto le zone vicine ai poli.

Conseguenze

Per valutare le conseguenze di uno scenario, sono stati esaminati dodici indicatori di danno per i quattro settori soggetti a danni. L'entità prevista dei danni per lo scenario descritto sopra è riassunta nella seguente figura e spiegata nel testo sottostante. Il danno aumenta di un fattore 3 per ogni classe d'entità.



Persone

Le radiazioni radiologiche interferiscono fortemente con i sistemi di comunicazione (p. es. GPS, radio, collegamenti satellitari) e provocano alcuni malfunzionamenti ai sistemi di gestione del traffico, con conseguenti incidenti della circolazione.

I servizi di soccorso sono difficili da raggiungere a causa dell'interruzione dei sistemi radio.

Le attività aeroportuali si limitano alla gestione degli atterraggi. Migliaia di viaggiatori rimangono quindi bloccati a terra negli aeroporti e devono essere assistiti. Situazioni analoghe si riscontrano anche nelle stazioni ferroviarie.

Le tempeste geomagnetiche provocano brevi interruzioni di corrente a livello locale. In alcune abitazioni private scoppiano incendi causati dall'uso di candele e, in alcuni casi, si registrano decessi tra persone che, fuori dagli ospedali, dipendono da apparecchiature salvavita (p. es. respiratori), che smettono di funzionare senza elettricità. È inoltre necessario soccorrere persone rimaste bloccate in ascensori, gallerie e funivie.

Il bilancio complessivo è di 25 vittime e alcuni feriti, a cui si aggiungono circa 500 persone da trarre in salvo dagli ascensori o dai mezzi di trasporto rimasti bloccati. Per altre circa 1000 persone, che non possono lasciare l'aeroporto né tornare a casa o alloggiare presso parenti, è necessario organizzare una sistemazione temporanea fino alla completa ripresa del traffico aereo, cosa che richiede alcuni giorni.

Ambiente

Le sporadiche interruzioni di corrente provocano in alcuni casi problemi nello smaltimento delle acque reflue. Molti impianti di depurazione sono dotati di generatori d'emergenza, ma questo non vale per le pompe che convogliano le acque reflue dalle abitazioni agli impianti stessi. Ne consegue un temporaneo inquinamento dei corsi d'acqua.

Economia

Le apparecchiature dei satelliti subiscono danni che devono essere riparati dopo l'evento. Ciò concerne anche le apparecchiature gestite e mantenute dall'industria e dalla scienza svizzera.

L'economia e il settore pubblico rimangono perturbati per oltre una settimana a causa dei malfunzionamenti dei sistemi di comunicazione, delle interruzioni di corrente e delle loro conseguenze (p. es. per il traffico e l'approvvigionamento).

Alcune aziende possono contare su un gruppo di continuità (UPS) e su generatori di corrente per garantire il loro fabbisogno energetico. In questo modo, i sistemi informatici, i centri dati (soprattutto per le operazioni di pagamento e le installazioni di comunicazione) e le sedi delle grandi banche continuano a funzionare nonostante le interruzioni di corrente.

Diversi sistemi dei dettaglianti (p. es. dispositivi di chiusura, registratori di cassa) passano alla modalità d'emergenza per continuare a funzionare o smettono di farlo. Anche le catene di approvvigionamento subiscono ripercussioni.

La tempesta solare provoca la perdita di sincronizzazione nei sistemi in cui le tempistiche sono fondamentali. Di conseguenza, i pagamenti elettronici e con la carta di credito risultano temporaneamente perturbati a livello globale (con ripercussioni anche sui mercati borsistici).

Le interruzioni del traffico aereo, ferroviario e stradale e della navigazione causano ingenti perdite economiche.

I costi di gestione dell'evento e le perdite finanziarie ammontano complessivamente a circa 270 milioni di franchi.

I danni economici conseguenti raggiungono circa 1,5 miliardi di franchi.

Società

Per circa una settimana, una parte della popolazione è ripetutamente toccata dalle seguenti difficoltà e interruzioni d'approvvigionamento:

- Elettricità: l'approvvigionamento elettrico subisce ripetute limitazioni a livello regionale.
- Telecomunicazioni: l'erogazione di servizi di informazione e comunicazione è limitata. La trasmissione dei dati meteorologici e dei geodati raccolti dai satelliti è disturbata o si interrompe durante la tempesta solare. I satelliti e/o gli strumenti di misurazione guasti non possono più trasmettere dati e la loro sostituzione può richiedere mesi o addirittura anni.
- Media: le trasmissioni televisive e radiofoniche via satellite sono ripetutamente disturbate, mentre i programmi della SSR trasmessi via cavo restano fruibili senza interruzioni.
- Servizi di soccorso: le operazioni di soccorso sono fortemente ostacolate dai malfunzionamenti dei mezzi di informazione e comunicazione. Le autorità competenti faticano a informare la popolazione sulle cause delle interruzioni e a fornire raccomandazioni di comportamento poiché una parte dei canali d'informazione è fuori uso.
- Chiamate d'emergenza: durante l'evento, la polizia e i pompieri ricevono numerose chiamate da persone preoccupate per le aurore boreali, le interruzioni insolite e la mancanza di informazioni sulla durata delle interruzioni.

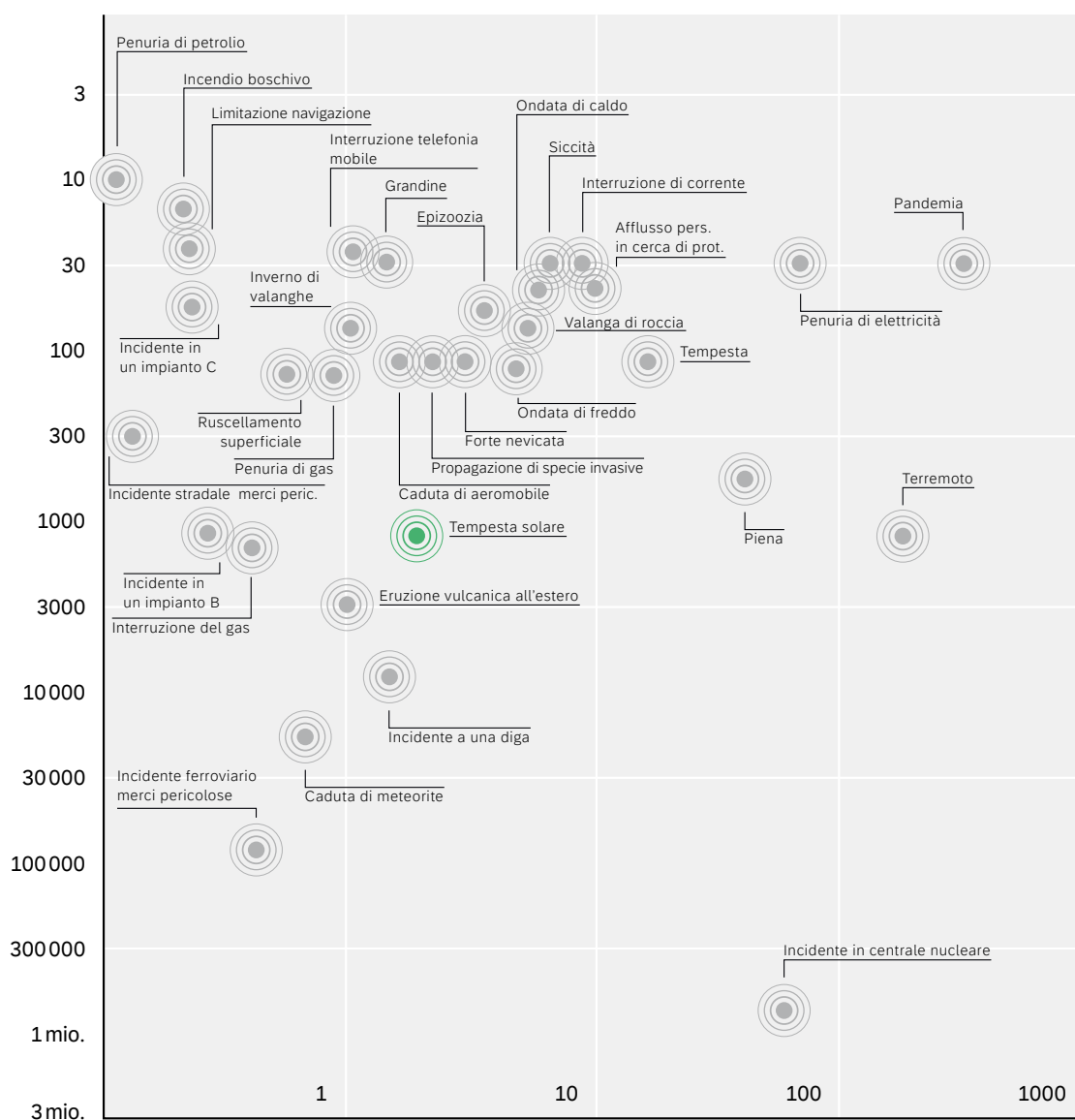
Molte persone restano sorprese dall'evento. Alcune si chiedono perché non ci si fosse preparati meglio. I media riportano la notizia in modo critico e continuano a discutere della dinamica dell'evento e delle eventuali lacune nella pianificazione delle misure preventive anche in seguito. L'argomento è inoltre al centro di intense discussioni sui social media, dove circolano anche fake news. La fiducia nello Stato e nelle sue istituzioni ne risente.

Importanti dispositivi tecnici delle istituzioni culturali, come ad esempio gli impianti di climatizzazione, subiscono interruzioni temporanee che possono provocare danni, talvolta rilevanti, ai beni culturali mobili. A causa delle difficoltà di comunicazione, le misure di conservazione dei beni culturali possono essere attuate solo parzialmente.

Rischio

Il rischio dello scenario descritto viene presentato, insieme agli altri scenari di pericolo analizzati, in una matrice del rischio in cui la probabilità d'insorgenza viene rappresentata come frequenza (1 volta ogni x anni) sull'asse y (in scala logaritmica) e l'entità dei danni viene raggruppata e monetizzata in CHF sull'asse x (anch'essa in scala logaritmica). Il rischio di uno scenario risulta dal prodotto tra probabilità d'insorgenza ed entità dei danni. Quanto più a destra e in alto nella matrice si trova uno scenario, tanto più elevato è il rischio che comporta.

Frequenza
Una volta ogni x anni



Danni aggregati
in mia. di franchi

Basi legali

Costituzione	– Costituzione federale della Confederazione svizzera del 18 aprile 1999; RS 101: art. 89 (Politica energetica) e art. 91 (Trasporto di energia)
Leggi	– Legge federale del 20 dicembre 2019 sulla protezione della popolazione e sulla protezione civile (LPPC); RS 520.1 – Legge del 30 settembre 2016 sull'energia (LEne); RS 730.0 – Legge federale del 24 giugno 1902 sugli impianti elettrici (LIE); RS 734.0 – Legge federale del 23 marzo 2007 sull'approvvigionamento elettrico (LAEI); RS 734.7
Ordinanze	– Ordinanza del 20 dicembre 2024 sull'organizzazione di crisi dell'Amministrazione federale (OCAF); RS 172.010.8 – Ordinanza del 2 marzo 2018 sullo Stato maggiore federale Protezione della popolazione (OSMFP); RS 520.17 – Ordinanza del 1° novembre 2017 sull'energia (OEn); RS 730.01 – Ordinanza del 30 marzo 1994 sulle linee elettriche (OLEI); RS 734.31 – Ordinanza del 14 marzo 2008 sull'approvvigionamento elettrico (OAEI); RS 734.71

Ulteriori informazioni

Sul pericolo

- Carrington, R. C. (1859): Description of a singular appearance seen in the Sun on September 1, 1859. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 20 / 1
- Hanslmeier, Arnold (2011): Kosmische Katastrophen. Verlag Vohling, Graz
- Hapgood, M., Angling, M. J., Attrill, G., Bisi, M., Cannon, P. S., Dyer, C., ... & Willis, M. (2021). Development of space weather reasonable worst-case scenarios for the UK national risk assessment.
- Ispettorato federale della sicurezza nucleare (IFSN) (2012): Betrachtungen zu infrastrukturellen elektromagnetischen Auswirkungen aufgrund von solaren Eruptionen. IFSN, Berna
- Lang, K. R. (2000): The Sun from Space. Springer
- Lloyd's (2013): Solar Storm Risk to the North American Electric Grid. AER
- Moríña, David / Serra, Isabel et al. (2019): Probability estimation of a Carrington-like geomagnetic storm. Scientific Reports 9, 2393 (2019). Nature
- National Oceanic and Atmospheric Administration. (n.d.). About space weather. NOAA Space Weather Prediction Center. <https://www.swpc.noaa.gov/about-space-weather>
- National Research Council of the National Academies (2008): Severe Space Weather Events. Understanding Societal and Economic Impacts. The National Academic Press, Washington DC (USA)
- Riswadkar, A. V / Dobbins, B. (2010): Solar Storms: Protecting Your Operations Against the Sun's 'Dark Side'. Zurich Services Corporation
- Ufficio federale dell'energia (UFE) (2012): Geomagnetisch induzierte Ströme im Schweizer Übertragungsnetz. UFE, Berna
- Viljanen, A. / Pirjola, R. (2014): Geomagnetically induced currents in Europe. Modelled occurrence in a continent-wide power grid. Journal of Space Weather and Space Climate, Vol. 4

Sull'analisi nazionale dei rischi

- Ufficio federale della protezione della popolazione (UFPP) (2026): Raccolta dei dossier di pericolo. Catastrofi e situazioni d'emergenza in Svizzera 2025. UFPP, Berna.
- Ufficio federale della protezione della popolazione (UFPP) (2026): Metodo per l'analisi nazionale dei rischi. Catastrofi e situazioni d'emergenza in Svizzera 2025. Versione 3.0. UFPP, Berna.
- Ufficio federale della protezione della popolazione (UFPP) (2026): Quali rischi minacciano la Svizzera? Catastrofi e situazioni d'emergenza in Svizzera 2025. UFPP, Berna.
- Ufficio federale della protezione della popolazione (UFPP) (2026): Rapporto sull'analisi nazionale dei rischi. Catastrofi e situazioni d'emergenza in Svizzera 2025. UFPP, Berna.
- Ufficio federale della protezione della popolazione (UFPP) (2023): Catalogo dei pericoli. Catastrofi e situazioni d'emergenza in Svizzera 2025. 3ª edizione. UFPP, Berna.

Impressum

Ufficio federale della protezione della popolazione UFPP

Guisanplatz 1B

CH-3003 Berna

risk-ch@babs.admin.ch

www.protpop.ch

www.risk-ch.ch