

Il rischio idrogeologico e il monitoraggio delle infrastrutture: *un caso studio nel fragile territorio marchigiano*

Autori:



Ing. Alessio Pierdicca - Capstudio srl, Responsabile monitoraggio strutturale

Alessio Pierdicca è co-founder di Capstudio stp srl e Amministratore di DeepReality srl, esperto di monitoraggio strutturale statico e dinamico di strutture e infrastrutture con metodi IOT e di early warning.



Ing. Gabriele Potenza - Microgeo srl, Responsabile sensoristica

Gabriele Potenza responsabile monitoraggio e diagnostica. 20 anni di esperienza nel settore topografia e monitoraggio delle strutture infrastrutture e del territorio prima con topcon e attualmente in Microgeo.

Ringraziamenti:

Ing. Monica Ulissi e Ing. Alessia Montucchiari, Provincia di Ancona – Area Viabilità – Gestione e sviluppo, Dott. Jonatan Fratini, Assegnista di Ricerca presso L'università Politecnica delle Marche.

INTRODUZIONE

Ci troviamo in un'era in cui sentire parlare del rischio idrogeologico è ormai all'ordine del giorno. E' sicuramente un tema che suscita interesse ma come obiettivo rimane la sensibilizzazione della popolazione, che ha il diritto di conoscere e sapere come affrontarlo. Perché il tema del cambiamento climatico e delle conseguenze che esso può portare sul nostro pianeta, sia in linea generica sia su beni e infrastrutture che ci interessano quotidianamente, sta diventando parte della nostra quotidianità. Il proverbio

“meglio prevenire che curare” sintetizza al meglio come dovremmo comportarci nei confronti di questa problematica, ma sappiamo bene che spesso si agisce troppo tardi. Il tempo di ritorno degli eventi estremi, come le piogge alluvionali, di recente si sono ridotti in maniera consistente. In passato si verificavano con una frequenza di almeno qualche anno o addirittura decenni, mentre oggi è scientificamente dimostrato il loro notevole aumento. Il fatto che in Emilia – Romagna, ad esempio, si siano veri-

ficati addirittura tre episodi alluvionali nelle medesime zone nel giro degli ultimi 16 mesi conferma la linea di tendenza. Diventeremo davvero un Paese tropicale come si usa dire? Oltre ad essere un detto comune, dagli ultimi studi questo potrebbe davvero rappresentare il nostro futuro.

Il rischio idrogeologico è un'emergenza a livello globale, strettamente connessa con sviluppo urbanistico e cambiamento climatico. In Italia interessa quasi il 94% dei comuni mentre più di 8 milioni di persone abitano in aree ad alta pericolosità. L'urbanizzazione degli ultimi secoli ha contribuito ad incrementare gli elementi esposti ed il potenziale danno derivante da un evento. Quando sentiamo dire che l'uomo ha una forte influenza sul rischio è proprio perché l'aumento della densità della popolazione, la progressiva urbanizzazione, il continuo disboscamento, l'uso di tecniche agricole poco rispettose dell'ambiente e la mancata manutenzione dei versanti e dei corsi d'acqua hanno sicuramente aggravato il dissesto e aumentato l'esposizione ai fenomeni e quindi il rischio stesso.

Per salvaguardare le infrastrutture è innanzitutto necessario ridurre il rischio idrogeologico per abbassare la minaccia a cui sono esposte. Oggi, se si vogliono realizzare opere resilienti a questi eventi, il fulcro è il loro inserimento corretto nel territorio. Il rischio lo si può ridurre anche con una pianificazione che limiti la vulnerabilità dell'opera con un tracciato che sia il meno possibile suscettibile a potenziali piene o eventi franosi, stabilizzando i pendii e intervenendo sulle fondazioni. Sicuramente tra gli elementi più colpiti dalle alluvioni troviamo ponti e viadotti. Importantissima è la loro manutenzione, che va ormai riprogrammata più volte durante l'anno proprio per l'elevata frequenza degli eventi. E' evidente che in Italia lo stato di queste strutture non sia dei

migliori, per cui diventa fondamentale il loro controllo continuo che può salvare la loro tenuta. Gran parte della rete infrastrutturale è stata realizzata negli anni 60-70, il che rende inevitabilmente la maggioranza di queste strutture inadeguata alle attuali normative. Alla luce di ciò diventa quindi fondamentale un'approfondita conoscenza di queste opere, in modo da gestire in maniera adeguata gli interventi di manutenzione e ottenere informazioni utili, non solo al progettista che dovrà effettuare le valutazioni strutturali, ma anche e soprattutto alle pubbliche amministrazioni che dovranno eseguire e programmare operazioni di censimento e verifica della sicurezza sismica. Durante una tipica attività di monitoraggio vengono eseguite valutazioni relative allo stato di fatto delle opere, valutando i parametri di pericolosità e vulnerabilità rispetto a fenomeni come ad esempio l'erosione, e rilievi per la verifica di eventuali ed importanti movimenti della struttura in esame.

CASO STUDIO

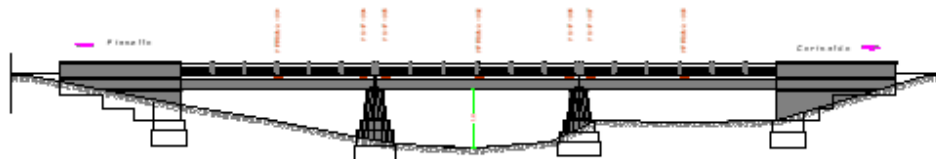
Negli ultimi due anni il nostro studio di Ingegneria e Architettura ha eseguito un monitoraggio specifico e continuo su un ponte situato nel territorio del comune di Corinaldo (AN) e che attraversa il Fiume Nevo-la, un affluente del Misa. Quest'ultimo è di recente noto alla cronaca per essere stato soggetto a molteplici eventi alluvionali, causando moltissimi danni nelle aree percorse. Difatti il ponte, a seguito dell'evento alluvionale che ha investito il territorio marchigiano nel settembre 2022, ha subito dei danneggiamenti tra cui l'abbattimento delle barriere stradali. Nello specifico, un intenso sistema temporalesco auto rigenerante ha stazionato diverse ore nelle zone interne, provocando forti precipitazioni con picchi di 90 millimetri orari, arrivando così fino a punte eccezionali di oltre 400 mm nei settori interni e coinvolgendo principalmente i bacini idrografici dei suddetti corsi d'acqua.

Il ponte in oggetto è gestito dalla Provincia di Ancona Ufficio Viabilità, con la quale in sinergia si sono attuate tutte le procedure relative all'installazione dei sensori e del monitoraggio in continuo per garantire un alert in tempo reale.



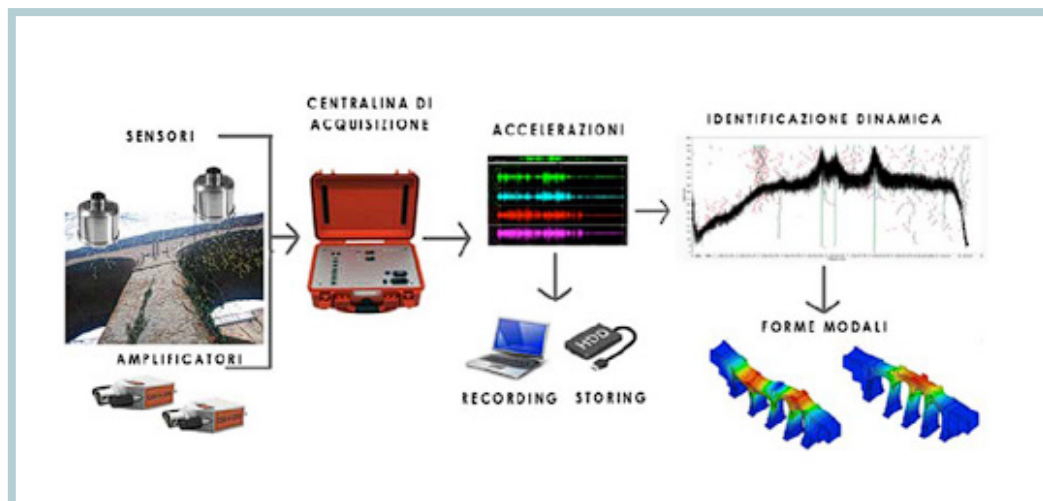
L'implementazione di un sistema di monitoraggio strutturale consente di rilevare in continuo una serie di parametri impiegati per verificare la corrispondenza tra comportamento strutturale e previsioni progettuali, oltre alla costanza del comportamento nel tempo. Un idoneo monitoraggio permette di evidenziare con elevata attendibilità la presenza di eventuali danni alla struttura, localizzarne posizione ed estensione e valutare l'integrità strutturale a seguito di eventi accidentali. Nel caso in esame, si è reso necessario tenere sotto controllo la struttura mediante un sistema di monitoraggio sia statico che dinamico. Tale sistema è costituito da accelerometri, inclinometri e fessurimetri. I sensori hanno un funzionamento completamente wireless e alimentato a

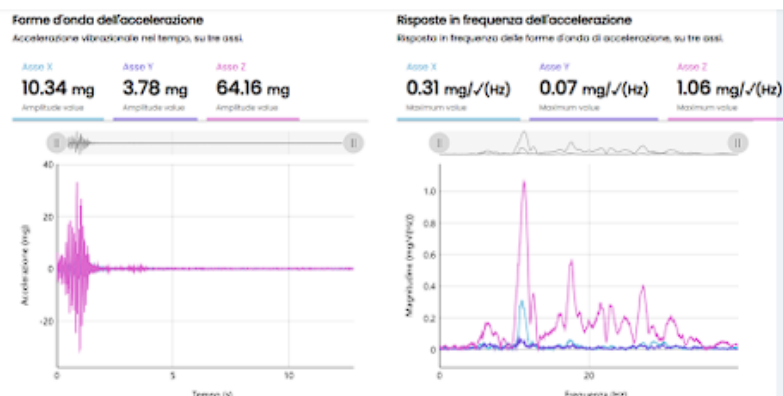
batteria. I dispositivi, grazie alla tecnologia LoRaWAN hanno una portata adeguata e supportata da un gateway, incaricato di trasferire i dati verso la piattaforma Cloud, che ne permette poi l'analisi, la consultazione in ogni momento, e di lanciare eventuali allarmi di *early warning*. I dati raccolti possono pertanto essere visualizzati in tempo reale con l'ausilio della piattaforma Web dedicata, che consente di monitorare i sensori installati e inviare allarmi in caso di superamento dei valori soglia predefiniti.



Vista in sezione del ponte oggetto di studio

IL SISTEMA DI MONITORAGGIO



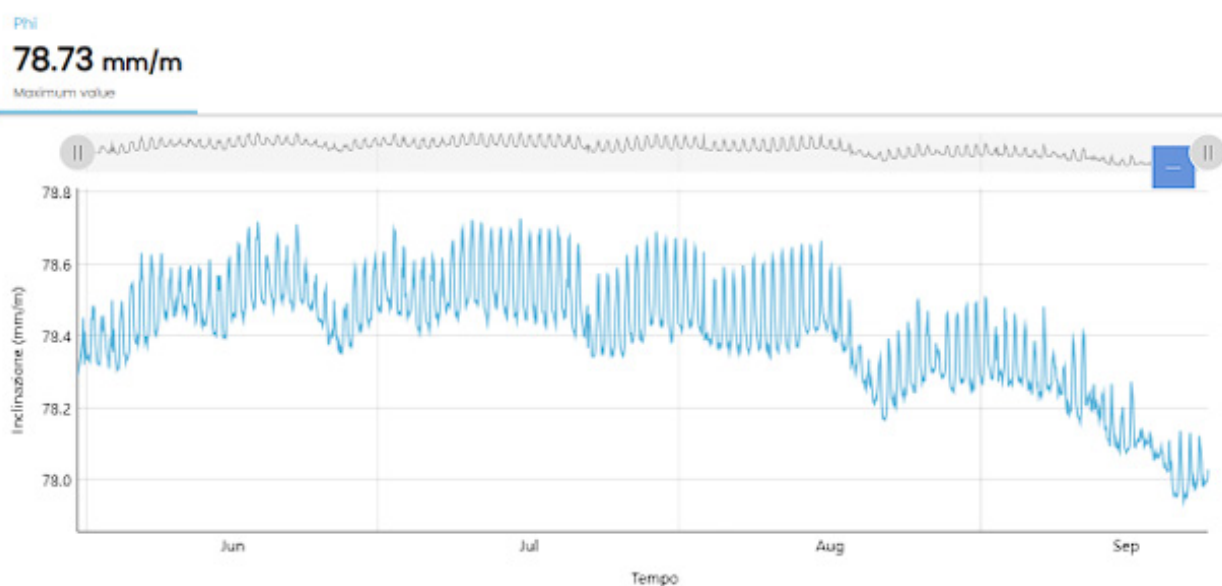


Esempio di acquisizione accelerometrica: ampiezza e contenuto in frequenza del segnale

Al fine di tenere sotto controllo l'edificio, da un punto di vista dinamico sono state installate quattro terne accelerometriche posizionate in corrispondenza dei punti di mezzeria delle campate del ponte.

Gli accelerometri servono a misurare l'accelerazione sui tre assi del punto in cui sono installati, sono sincronizzati tra loro senza l'impiego di cablaggi e permettono di misu-

rare parametri come le frequenze di oscillazione. In questo caso i sensori sono stati utilizzati al fine di registrare eventi di picco delle vibrazioni potenzialmente dannose all'edificio. Oltre al monitoraggio accelerometrico, sono state installate due terne inclinometriche che misurano l'angolo di inclinazione del punto in cui sono installate con elevata precisione.



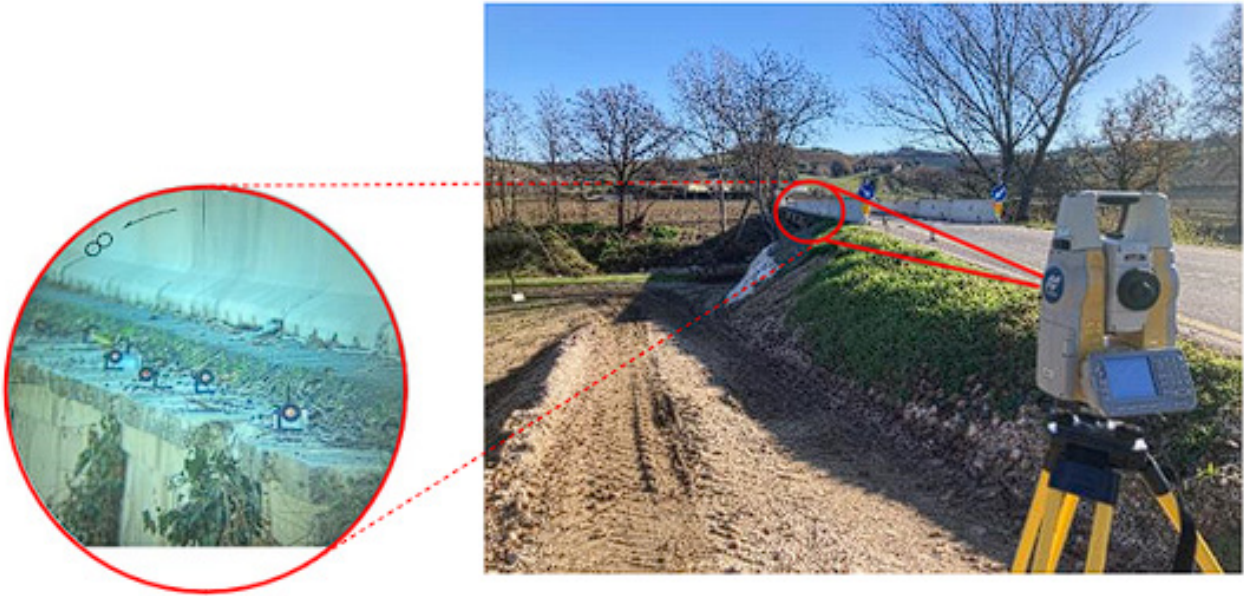
Esempio di acquisizione inclinometrica

Il sistema di monitoraggio statico comprende poi l'utilizzo di fessurimetri, trasduttori posizionati in corrispondenza dei giunti del ponte e capaci di registrare spostamenti molto piccoli, rilevando le variazioni di posizione tra due punti posti a cavallo di una lesione o di un giunto.



Un'ultima tecnica che è stata impiegata è quella del monitoraggio topografico. Lo scopo delle misurazioni topografiche è quello di monitorare lo stato conservativo del manufatto nonché verificarne la geometria assoluta nelle diverse direzioni dello spazio. L'attività di monitoraggio topografico è stata avviata in data 22/12/2022, utilizzando una stazione totale robotizzata MS05A TOPCON, posizionata su treppiede in legno, e mini-prismi per l'attività di controllo periodico. Di questi, alcuni sono necessari per l'orientamento della stazione, mentre altri costituiscono dei veri e propri punti di acquisizione che sono stati dislocati lungo il ponte. I cicli di misura sono stati ripetuti a cadenza semestrale.

Durante ciascun monitoraggio la situazione si è rivelata stabile e i punti monitorati non hanno mostrato variazioni sensibili. Per ciascuna lettura sono stati eseguiti tre cicli di acquisizione e tutte le misure sono sostanzialmente identiche. Ciò conferma che non ci sono stati errori sostanziali di lettura. Alcune leggere variazioni, trascurabili, sono dovute a piccoli assestamenti in quota e in planimetria.



Stazione totale robotizzata e prismi di monitoraggio utilizzati per l'attività di controllo

CONCLUSIONI

Il lavoro descritto ha presentato soluzioni innovative a supporto del monitoraggio strutturale. Metodi più speditivi e low cost come il monitoraggio wireless in continuo e quello topografico hanno permesso la redazione di una reportistica costante.

I sistemi di *alert* in tempo reale sono tecnologie o applicazioni che monitorano costantemente dati, processi o eventi e inviano notifiche immediate quando rilevano una situazione critica, anomala o rilevante; permettono di avere un monitoraggio continuo delle operazioni o dei sistemi, garantendo un controllo costante che consente di individuare problemi prima che diventino critici e consentono quindi alle persone o ai sistemi di reagire immediatamente ad eventi anomali, riducendo i tempi di intervento e mitigando i danni.

Dall'analisi delle molteplici misure effettuate nel corso di questi due anni, si può dedurre che la struttura non ha subito modifiche rilevanti nonostante si siano verificati alcuni eventi naturali come episodi di innalzamento del livello fluviale, ma è corretto proseguire il controllo in futuro in quanto il prossimo evento potenzialmente pericoloso è sempre dietro l'angolo.