



ANSFISA

AGENZIA NAZIONALE PER LA SICUREZZA DELLE FERROVIE
E DELLE INFRASTRUTTURE STRADALI E AUTOSTRADALI

**CRITERI PER LA VALUTAZIONE DEI PIANI DI
MONITORAGGIO DINAMICO PER IL CONTROLLO DA
REMOTO DI PONTI VIADOTTI E GALLERIE
PREVISTI DAL PIANO NAZIONALE
COMPLEMENTARE AL PNRR**



Sommario

1. INTRODUZIONE	2
1.1. INQUADRAMENTO	2
1.2. SCOPO DEL DOCUMENTO.....	2
1.3. NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	3
2. PRINCIPI DEL MONITORAGGIO DINAMICO DI PONTI E GALLERIE.....	5
2.1. IL SIGNIFICATO DEL TERMINE <i>MONITORAGGIO DINAMICO</i>	5
2.2. OBIETTIVI FINALI DEL PROGRAMMA DI FINANZIAMENTO.....	5
2.3. REQUISITI DEI PIANI DI MONITORAGGIO DINAMICO PREVISTI DAL D.M. 93 DEL 2022.....	6
3. CONTENUTO DEI PIANI DEGLI INTERVENTI	8
4. ISTRUTTORIA DA PARTE DI ANSFISA	11
ALLEGATO 1 - PRINCIPI DEL MONITORAGGIO CONTINUO E STRUMENTALE	



1. Introduzione

1.1. Inquadramento

Il Piano nazionale per gli investimenti complementari al Piano nazionale di ripresa e resilienza, di cui al decreto-legge 6 maggio 2021, n. 59, convertito con modificazioni dalla legge 1° luglio 2021, n. 101, ha assegnato un finanziamento di 450 milioni di euro al programma *Strade sicure-Implementazione di un sistema di monitoraggio dinamico per il controllo da remoto di ponti, viadotti e tunnel della rete viaria principale*. Il sistema di monitoraggio dinamico così finanziato è finalizzato al miglioramento della sicurezza di ponti, viadotti e gallerie della rete viaria principale nazionale SNIT di 1° livello, in gestione alla società ANAS S.p.A. e alle società autostradali che operano in regime di concessione.

Nel rispetto del citato decreto-legge nonché del decreto del Ministro dell'Economia e delle Finanze del 15 luglio 2021, il Ministro delle Infrastrutture e della Mobilità Sostenibili (di seguito anche MIMS) ha emanato il decreto n. 93 del 12 aprile 2022, pubblicato sulla G.U. serie generale n. 126 del 31.05.2022, che approva il *piano di riparto delle risorse per l'implementazione di un sistema di monitoraggio dinamico per il controllo da remoto di ponti, viadotti e tunnel della rete viaria principale - Fondo complementare al PNRR - Missione 3*.

Il decreto ministeriale n. 93/2022 prevede che i gestori stradali e autostradali, in qualità di soggetti attuatori, presentino al MIMS e ad ANSFISA l'elenco delle opere soggette al monitoraggio dinamico e il piano delle attività.

Il medesimo decreto prescrive l'approvazione dei piani da parte della Direzione generale per le strade e le autostrade, l'alta sorveglianza sulle infrastrutture stradali e la vigilanza sui contratti concessori autostradali del MIMS, con provvedimento espresso, *sentita* ANSFISA. Il contenuto del piano degli interventi, oggetto di approvazione, è definito ai commi 4, 5 e 6 dell'articolo 5 del decreto in parola.

Al fine di svolgere, con la massima efficacia ed efficienza, alle competenze, di ordine tecnico, attribuite ad ANSFISA dal D.M. 93/2022, la Direzione Generale per la Sicurezza delle Infrastrutture Stradali e Autostradali dell'Agenzia ha istituito un gruppo di lavoro specifico, nominato con provvedimento n. 23791 del 3 giugno 2022.

Il gruppo di lavoro ha, pertanto, proposto i criteri uniformi per le istruttorie tecniche sui piani che saranno oggetto d'esame, riportati nel presente documento, anche al fine di fornire indicazioni omogenee ai soggetti coinvolti nel processo autorizzativo.

1.2. Scopo del documento

Il presente documento, esito della prima attività svolta dal gruppo di lavoro, si propone pertanto come riferimento tecnico utile a tutte le parti coinvolte per la predisposizione dei piani di intervento, per fornire un indirizzo operativo ispirato a principi di trasparenza e uniformità.

Il documento, quindi:

- i. propone una interpretazione di competenza dei principi espressi dalla normativa, in particolare dal D.M. 93/2022, al fine di formulare chiarimenti in merito alla terminologia, agli obiettivi e ai contenuti dei piani oggetto di istruttoria (§2);
- ii. riassume principi, metodi, strumenti e procedure per il monitoraggio dinamico delle opere d'arte stradali nel contesto di riferimento normativo vigente, richiamando, per quanto applicabili, le *Linee guida per la classificazione e gestione del rischio, la valutazione della sicurezza ed il monitoraggio dei ponti esistenti* di cui al comma 1 dell'articolo 14 del decreto legge n. 109 del 2018, adottate con decreto ministeriale MIT del 17 dicembre 2020, n. 578 (§3), anche con riferimento agli analoghi principi delle *Linee Guida per la classificazione e gestione del rischio, la valutazione della sicurezza ed il monitoraggio delle gallerie esistenti*, di cui al comma 1 dell'articolo 49 del decreto-legge 16 luglio 2020, n. 76, convertito, con modificazioni, dalla legge 11 settembre 2020, n. 120;
- iii. stabilisce i criteri per l'istruttoria di competenza di ANSFISA sui piani di intervento presentati dai soggetti attuatori (§4).

1.3. Normativa di riferimento

La normativa di riferimento comprende:

- ◆ decreto-legge 6 maggio 2021, n. 59, convertito con modificazioni dalla legge 1° luglio 2021, n. 101 (di seguito, **D.M. 59/2021**);
- ◆ decreto ministeriale MEF del 15 luglio 2021, con allegate schede progetto (di seguito, **D.M. MEF**);
- ◆ decreto ministeriale MIMS 12 aprile 2022 n. 93 (di seguito, **D.M. 93/2022**);
- ◆ *Linee guida per la classificazione e gestione del rischio, la valutazione della sicurezza ed il monitoraggio dei ponti esistenti*, di cui al comma 1 dell'articolo 14 del decreto-legge n. 109 del 2018, adottate con decreto ministeriale MIT del 17 dicembre 2020, n. 578 (di seguito, **LG ponti**);
- ◆ *Linee Guida per la classificazione e gestione del rischio, la valutazione della sicurezza ed il monitoraggio delle gallerie esistenti*, di cui al comma 1 dell'articolo 49 del decreto-legge 16 luglio 2020, n. 76, convertito, con modificazioni, dalla legge 11 settembre 2020, n. 120, favorevolmente assentite dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici con pareri 72/2021 del 3 febbraio 2022 e 29/2022 dell'8 aprile 2022, che costituiscono un utile riferimento (di seguito, ove richiamate, **LG gallerie**);
- ◆ Istruzioni Operative per l'applicazione delle *Linee guida per la classificazione e gestione del rischio, la valutazione della sicurezza ed il monitoraggio dei ponti esistenti*, approvate dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici con pareri n. 96/2021 del 10.11.2021 e n. 29/2022 del 8.04.2022, che costituiscono un utile riferimento (di seguito, **IO ponti**);
- ◆ D.M. n.560 del 1 dicembre 2017 di attuazione del comma 13 dell'art.23 del D.Lgs n.50 del 18 aprile 2016;



- ◆ D.M. n.312 del 2 agosto 2021 recante modifiche al decreto del Ministero delle infrastrutture e dei trasporti 1° dicembre 2017, n. 560 (Metodi e strumenti informativi);
- ◆ Linee guida per la implementazione, certificazione e valutazione delle prestazioni dei Sistemi di Gestione della Sicurezza (SGS) per le attività di verifica e manutenzione delle infrastrutture stradali e autostradali, adottate con decreto del Direttore di ANSFISA n. 16575 del 22 aprile 2022 (reperibile su www.ansfisa.gov.it).

2. Principi del monitoraggio dinamico di ponti e gallerie

2.1. Il significato del termine *monitoraggio dinamico*

Nel contesto del programma qui considerato, il termine monitoraggio dinamico va inteso con un'accezione ampia, così come definito dall'articolo 2, comma 2 del D.M. MIT n. 578 del 2020; esso comprende:

- ♦ tutte le tecniche di monitoraggio strumentale finalizzate al controllo delle opere;
- ♦ i processi di censimento, classificazione del rischio, verifica di sicurezza, sorveglianza e modellazione anche digitale che consentano di monitorare l'evoluzione temporale delle condizioni di sicurezza e funzionalità di ponti, viadotti e gallerie.

Tale concetto di *monitoraggio dinamico* è chiaramente riconducibile al D.M. 93/2022 che, con particolare riferimento al comma 2 dell'articolo 1 e all'articolo 4, ammette a finanziamento sia le spese per l'implementazione di sistemi di censimento, classificazione del rischio, verifica di sicurezza e conoscenza (art. 4, comma 1, lettera a), sia le spese per il monitoraggio strumentale di qualsiasi natura (art. 4, comma 1, lettera b).

2.2. Obiettivi finali del programma di finanziamento

Gli obiettivi finali del finanziamento del Piano nazionale complementare sono chiaramente definiti sia nella scheda progetto allegata al Decreto MEF del 15 luglio 2021, sia nel D.M. 93/2022. Essi comprendono:

- a) l'adozione di un sistema integrato di censimento, classificazione e gestione dei rischi per **12.000** opere d'arte appartenenti alla rete SNIT di 1° livello;
- b) la strumentazione di **6.500** opere tra le suddette 12.000;
- c) l'adozione del modello BIM di **200** opere tra le 6.500 di cui al punto b).

Al fine della corretta valutazione del raggiungimento degli obiettivi finali, appaiono necessarie alcune precisazioni.

Prima precisazione: numerosità delle opere

In alcuni casi, peraltro abbastanza frequenti, l'individuazione della unità elementare *opera d'arte* può essere affetta da un margine di discrezionalità. Ciò si verifica, ad esempio, nel caso di un viadotto con impalcati indipendenti (uno per carreggiata) supportati dalle stesse sottostrutture, nel caso di gallerie naturali a doppio fornice, nel caso di tratti di galleria artificiale contigui a tratti di galleria naturale. In tali casi, le diverse scelte possibili sulla numerazione delle opere possono condurre a un diverso risultato in termini di numerosità.

Per quanto sopra, in relazione alle finalità del D.M. 93/2022, si raccomanda il criterio secondo cui la singola opera d'arte è quella individuata da un singolo codice IOP all'interno dell'archivio AINOP.



Si ritiene utile, inoltre, rappresentare che, ai fini del monitoraggio dinamico di cui al presente documento, un singolo componente strutturale (trave, campata, pila, spalla o altro) non costituisca un'opera.

Seconda precisazione: tecnologie di monitoraggio strumentale

Come anticipato al §2.1 e in accordo all'articolo 4, comma 1, lettera b) del D.M. 93/2022, il monitoraggio strumentale non si può limitare alle sole misure di vibrazione e identificazione dinamica, ma deve far riferimento anche ad altre tecnologie, controllabili da remoto, che consentano di rilevare, con una frequenza di campionamento commisurata alla variabilità temporale delle grandezze misurate, la risposta di ponti e gallerie (nel complesso o di elementi significativi delle stesse) in termini di spostamenti, rotazioni, accelerazioni, deformazioni, etc.

È opportuno, dunque, che i piani di intervento contemplino l'utilizzo di una molteplicità di tecniche di monitoraggio strumentale e di elaborazione dati, aventi anche carattere sperimentale, prevedendo, ove ritenuto opportuno anche la ridondanza della strumentazione. I confronti tra le diverse soluzioni sono utili sia per migliorare l'affidabilità dei dati registrati e della loro interpretazione, sia per favorire lo sviluppo di nuove tecnologie.

È in ogni caso essenziale che le tecnologie strumentali e le modalità di elaborazione dati siano adeguate alla specifica tipologia dell'opera monitorata e quindi specificatamente progettate.

Terza precisazione: tipologie di opere

I piani di intervento devono assicurare l'applicazione del monitoraggio dinamico (con il significato definito al §2.1) ai vari tipi di opere previste dal D.M. 93/2022: ponti, viadotti e gallerie. Per ciascun tipo, devono essere inserite in pianificazione le diverse modalità costruttive (ad es. ponti a graticcio in c.a. e c.a.p. con i diversi tipi di precompressione, ponti a conci, ponti ad arco, strallati, cavalletti, etc.).

2.3. Requisiti dei piani di monitoraggio dinamico previsti dal D.M. 93 del 2022

Il D.M. 93/2022 individua i requisiti per i piani di monitoraggio dinamico.

Si ritiene che i piani debbano risultare completi in riferimento a:

- ◆ rispetto dei limiti fissati nel piano di ripartizione risorse di cui all'allegato 1 del D.M. 93/2022;
- ◆ assunzione del ruolo di Soggetto Attuatore da parte dei gestori stradali e autostradali;
- ◆ finalizzazione dei piani di monitoraggio al miglioramento della pianificazione degli interventi di manutenzione e, pertanto, alla conoscenza delle vulnerabilità strutturali nonché delle pericolosità al contorno, con inclusione di attività relative a:
 - censimento, classificazione del rischio, verifiche della sicurezza e conoscenza delle strutture;
 - installazione dei dispositivi di monitoraggio relativi alle misurazioni, a titolo indicativo e non esaustivo, dei seguenti valori da rilevare sul luogo ed a distanza: accelerazioni, vibrazioni (ambientale e da traffico), spostamenti, inclinazioni, allargamenti o



- restringimenti dei lembi delle lesioni, tensioni, pressione del vento, variazioni di temperatura e di umidità ed ogni altra grandezza significativa per la valutazione dello stato della infrastruttura e del contesto idrogeologico;
- realizzazione e/o implementazione della sala di controllo, con utilizzo di software e hardware necessari a garantire il funzionamento dei relativi dispositivi e per la finalità di modellazione delle opere e dei fenomeni, antropici o naturali, che le interessano.
- ◆ sviluppo di:
- obiettivi relativi al miglioramento della sicurezza della infrastruttura;
 - conoscenza delle caratteristiche geometriche e dello stato dell'infrastruttura, del traffico e dell'esposizione al rischio sismico ed idrogeologico;
 - analisi della situazione esistente.
- ◆ illustrazione degli aspetti connessi a:
- scelta della tipologia strutturale in coerenza con le finalità del D.M. 93/2022;
 - cronoprogramma degli interventi in coerenza con gli obiettivi riportati nell'Allegato 1 al Decreto MEF del 15 luglio 2021, con indicazione di date di inizio e fine delle attività conoscitive e di modellazione delle strutture, d'installazione della strumentazione, di rilevazione ed elaborazione dei dati nonché di emissione del report finale;
 - schede descrittive d'intervento e relazione rappresentativa dei risultati attesi.

3. Contenuto dei piani degli interventi

Il singolo piano di intervento per il monitoraggio dinamico delle opere d'arte stradali include le seguenti parti.

Parte A

Nell'ambito delle tratte gestite, il soggetto attuatore seleziona un insieme di N_1 opere su cui applicare il sistema integrato di censimento, classificazione e gestione dei rischi.

Il numero N_1 deve essere compatibile con il raggiungimento degli obiettivi finali e con le risorse assegnate al gestore. Il principio da applicarsi, in assenza di diverse indicazioni sul D.M. 93/2022, è di selezionare un numero di opere pari alla percentuale di risorse assegnate, indicata nella tabella dell'allegato 1 al D.M. 93/2022, applicata al totale di 12.000.

Il piano di intervento deve illustrare il criterio adottato per la selezione delle opere. Detto criterio deve tenere conto:

- ◆ della necessità di considerare tutte le tipologie (ponti, viadotti, gallerie) presenti sulle tratte in gestione;
- ◆ della necessità che l'insieme N_1 sia rappresentativo, per quanto possibile, di una pluralità delle tipologie strutturali e costruttive presenti nella rete gestita (gallerie naturali e artificiali, ponti a graticcio, ad arco, strallati etc.);
- ◆ delle conoscenze disponibili in merito al livello di rischio attuale, valutato tenendo conto:
 - degli esiti disponibili, alla data di elaborazione del piano, dell'applicazione dei livelli 0 e 1 delle LG ponti;
 - dei parametri descrittivi della vulnerabilità delle opere (ad es., indici di degrado) utilizzati dal gestore per la sorveglianza periodica;
 - della pericolosità associata ai rischi ambientali (sismico, idraulico, idrogeologico);
 - della pericolosità associata all'azione del vento, nel caso di ponti suscettibili di effetti significativi dinamici;
 - dell'esposizione, in termini di flussi di traffico e di conseguenze sulle viabilità interferite;
 - dell'incremento del livello di conoscenza (e quindi di riduzione del rischio) che prevedibilmente può essere conseguito grazie al monitoraggio.

Il piano di intervento deve individuare le N_1 opere selezionate, riportando il codice IOP ad esse associato.

Parte B

Nell'ambito dell'insieme N_1 , il gestore deve indicare il numero N_2 di opere su cui applicare il monitoraggio strumentale di cui all'articolo 1, comma 2, lettera b) del D.M. 93/2022.

Il numero N_2 deve essere compatibile con il raggiungimento degli obiettivi finali e con le risorse assegnate al gestore. Il principio da applicarsi, in assenza di diverse indicazioni sul D.M. 93/2022, è



di selezionare un numero di opere pari alla percentuale di risorse assegnate, indicata nella tabella dell'allegato 1 al D.M. 93/2022, applicata al totale di 6.500.

Il piano definisce il numero N_2 di opere da strumentare, contiene i principi con cui sarà effettuata la scelta delle opere, ma non le individua puntualmente, in quanto è propedeutica l'attività di censimento, classificazione del rischio e valutazione della sicurezza.

Per ponti e viadotti, la scelta si baserà anche sugli esiti della classificazione di livello 2 di cui alle LG ponti, secondo un criterio illustrato nel piano e la cui definizione è rimessa al Gestore.

Per le gallerie dovrà essere analogamente indicato il criterio di scelta, nell'ambito dell'insieme N_1 , delle gallerie alle quali verrà applicato il monitoraggio strumentale.

Il piano deve contenere il cronoprogramma degli interventi secondo la prescrizione dell'articolo 5, comma 5, lettera b) del D.M. 93/2022.

Il piano deve esplicitare le caratteristiche dei sistemi di monitoraggio strumentale che il gestore si impegna a realizzare; in particolare:

- ◆ i sistemi di monitoraggio strumentale devono essere strutturati per garantire l'interoperabilità con piattaforme esterne, al fine di consentire l'acquisizione ed il più efficace ed efficiente impiego dei dati registrati da parte di ANSFISA, nell'ambito delle relative competenze di vigilanza e promozione della sicurezza;
- ◆ i sistemi di monitoraggio strumentale devono prevedere l'utilizzo di diversi sistemi di sensoristica, monitoraggio ed elaborazione oggi disponibili (ad esempio: sensori cablati o wireless, monitoraggio *data driven* e *model based*, sistemi di pesatura dinamica, interferometria satellitare, tecniche di intelligenza artificiale) anche operando, ove possibile, utili confronti tra di essi;
- ◆ il sistema di misura e di elaborazione dei dati acquisiti deve garantire, attraverso la definizione di opportune soglie, che il sistema di monitoraggio sia utile nel segnalare tempestivamente l'evoluzione negativa delle condizioni delle opere controllate;
- ◆ generalmente, il progetto del sistema di monitoraggio deve essere conformato a un modello della struttura adeguatamente calibrato, che consenta di analizzare il comportamento strutturale dell'opera;
- ◆ il piano di intervento dovrà raggruppare le opere in gruppi omogenei (ad esempio, suddivise in base alla tipologia strutturale), al fine di illustrare, per ciascun gruppo, le tecnologie di monitoraggio più efficaci che si prevede di implementare.

Indicazioni in merito ai principi del monitoraggio strumentale sono fornite nell'Allegato 1 al presente documento.



Parte C

Nell'ambito dell'insieme N_2 , il gestore deve indicare il numero N_3 di opere su cui adottare il modello informativo BIM di cui all'articolo 1, comma 2, lettera c) del D.M. 93/2022.

Il numero N_3 deve essere compatibile con il raggiungimento degli obiettivi finali e con le risorse assegnate al gestore. Il principio da applicarsi, in assenza di diverse indicazioni sul D.M. 93/2022, è di selezionare un numero di opere pari alla percentuale di risorse assegnate, indicata nella tabella dell'allegato 1 al D.M. 93/2022, applicata al totale di 200.

La scelta delle opere si baserà su un criterio illustrato nel piano e la cui definizione è rimessa al Gestore.

Il modello strutturale dell'opera, adeguatamente calibrato in modo da consentire l'analisi e l'evoluzione del comportamento, dovrà essere integrato nel modello informativo, in modo da assicurarne la coerenza e la biunivocità dei dati.

Il piano di intervento dovrà infine illustrare le modalità previste per la modellazione BIM, i risultati attesi e il grado di interoperabilità garantito.



4. Istruttoria da parte di ANSFISA

Ai sensi dell'articolo 5, comma 2 del D.M. 93/2022, i piani delle attività sono approvati dalla Direzione generale per le strade e le autostrade, l'alta sorveglianza sulle infrastrutture stradali e la vigilanza sui contratti concessori autostradali del MIMS, *sentita* ANSFISA.

Esaminate le norme di riferimento, l'istruttoria di ANSFISA riguarderà, in generale, i seguenti aspetti meramente tecnici:

1) Parte A del §3 del presente documento:

- numero di opere oggetto di censimento (N_1);
- presenza, nel campione N_1 , delle tipologie: ponti, viadotti e gallerie;
- criterio di selezione delle opere previsto nella parte A del §3.

2) Parte B del §3 del presente documento:

- numero di opere oggetto di monitoraggio strumentale (N_2);
- presenza, nel campione N_2 , delle tipologie: ponti, viadotti e gallerie;
- criterio di scelta delle opere da strumentare previsto nella parte B del §3;
- cronoprogramma;
- requisiti minimi dei sistemi di monitoraggio previsti nella parte B del §3.

3) Parte C del §3 del presente documento:

- numero di opere oggetto di adozione del BIM (N_3);
- criterio di scelta delle opere previsto nella parte C del §3;
- illustrazione delle caratteristiche dei modelli BIM proposti.



ALLEGATO 1 - Principi del monitoraggio continuo e strumentale

Il contesto delle Linee Guida

Il contesto di approvazione delle LLG per il censimento, la classificazione del rischio, la verifica di sicurezza e il monitoraggio dei ponti e viadotti esistenti e l'approvazione da parte del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici delle relative Istruzioni Operative e di analoghe linee guida per le gallerie esistenti ha sancito l'utilizzo di un sistema multi-livello per la gestione di tali opere basato su approfondimenti successivi della conoscenza e un sistema di valutazione del rischio per classi, da inserirsi coerentemente nei complessivi Sistemi di Gestione della Sicurezza adottati da parte dei gestori.

Il sistema multi-livello indicato dalle LLG prevede la raccolta, l'analisi e la gestione di dati e informazioni relativi al censimento, ispezione, classificazione, valutazione, sorveglianza e monitoraggio delle opere ottenuti dalla conoscenza pregressa e dalle operazioni da effettuarsi come previsto dalle linee guida ai diversi livelli.

La conoscenza di base delle opere incluse nella rete finalizzata alla valutazione iniziale del rischio basata sulla classe di attenzione è acquisita nelle operazioni previste nei livelli 0 e 1 di censimento e di ispezione iniziale e, ove previsto, speciale.

Le operazioni di sorveglianza e monitoraggio sono declinate sulla base dei risultati del livello 2, che assegna una classe di attenzione sulla base delle informazioni raccolte nel livello 0 e 1. Esse possono consistere in ispezioni, periodiche o straordinarie, e possono includere monitoraggi strumentali, periodici o continui. Tali azioni raccolgono informazioni di interesse anche per le successive valutazioni di livelli 3 e 4.

Le valutazioni accurate di livello 4, previste per le opere in classe di attenzione alta, richiedono una conoscenza più approfondita delle strutture, da sviluppare in funzione del "livello di conoscenza" da raggiungere, che deve essere il massimo possibile, almeno per gli elementi ritenuti rilevanti ai fini della verifica di sicurezza. Una conoscenza, la più accurata possibile, dei fenomeni deve essere prevista anche nel caso in cui nella valutazione siano coinvolti elevati livelli di rischio idraulico o frane per i ponti, includendo anche il rischio geologico o stradale per le gallerie.

La transitabilità e l'operatività dell'opera, definita a seguito delle valutazioni di livello 4, può prevedere, infine, il controllo dei fenomeni evolutivi di degrado o danneggiamento che la interessano. Lo studio dei fenomeni evolutivi include anche le cause naturali che interferiscono con l'opera, al fine di verificare lo stato dell'opera nel periodo di riferimento previsto e, se possibile, estenderlo.

Lo sviluppo tecnico e scientifico attivato dalla nuova struttura normativa, finalmente organica, sta fornendo soluzioni sempre più efficaci e moderne alle menzionate esigenze di conoscenza sperimentale e di monitoraggio strumentale delle opere e del contesto in cui esse sorgono, migliorando l'efficienza e l'accuratezza dei processi mediante le tecnologie innovative nell'ambito



della sensoristica e del rilievo strumentale, dell'informatizzazione e dell'intelligenza artificiale. L'insieme di queste nuove tecnologie rende possibile l'efficace e sostenibile applicazione del nuovo quadro normativo e fornisce nuovi e più efficaci strumenti per la gestione del rischio della rete e la pianificazione degli interventi necessari.

In questo contesto è naturale pensare allo sviluppo di una piattaforma che sia in grado di organizzare e analizzare i dati provenienti dalle misure effettuate per raggiungere un prefissato livello di conoscenza delle opere, dai modelli meccanici eventualmente disponibili e calibrati in sito e dai sistemi di monitoraggio strumentale installati nella rete, seguendo il flusso logico disegnato dalle stesse LL. GG. Tale sistema dovrà essere modulabile e integrabile negli scopi per ciascuno dei rischi rilevanti, per ciascuna classe di attenzione e per ciascuno dei livelli di approfondimento previsti, e dovrà essere aggiornato nel tempo in funzione dello sviluppo scientifico, tecnologico e applicativo.

Tecnologie e modelli

Il monitoraggio continuo strumentale ha subito negli ultimi decenni uno sviluppo molto rapido sia per quanto riguarda la sensoristica che per quanto riguarda gli algoritmi e i modelli di interpretazione dei dati, cosicché un sistema moderno deve necessariamente attingere alle migliori pratiche esistenti ad oggi nel panorama internazionale e assicurare solide linee di sviluppo sulle quali investire per il futuro.

La scelta della sensoristica per il monitoraggio strumentale dei ponti e del loro contesto ambientale di riferimento (inclusi i sistemi di acquisizione e trasmissione dati) deve essere studiata sulla base delle caratteristiche specifiche di ogni opera, tenendo conto della tipologia strutturale, delle grandezze da rilevare e del tipo di rischio cui è esposta (ad esempio: strutturale, fondazionale, sismico, idraulico, geotecnico), tenendo conto degli aspetti fondamentali che riguardano l'intera catena di misura, quali la qualità del dato, l'affidabilità a lungo termine dei sistemi installati, l'analisi costi/benefici nel ciclo di vita, la modalità di trasmissione, interoperabilità e archiviazione dei dati, la facilità di installazione e manutenzione.

È possibile, in generale, distinguere tra:

- sensoristica a contatto cablata o wireless, quali ad esempio:
 - sensori per la risposta statica delle strutture (es inclinometri, estensimetri, trasduttori di spostamento);
 - sensori per la risposta dinamica delle strutture (es accelerometri/geofoni);
 - sensori per la misura delle condizioni chimico-fisiche delle strutture e dell'ambiente circostante (es sensori di temperatura e umidità, sensori per la misura della concentrazione di cloruri, del pH e del potenziale elettrico);
 - pese dinamiche (es. sistemi WIM) e sensori per la misura delle azioni e sollecitazioni.
- sensoristica non a contatto, come, ad esempio:
 - interferometria satellitare (InSAR, ponendo attenzione alla caratterizzazione e quantificazione degli errori nella catena di misura derivanti da incertezze nel dato grezzo,



propagazione degli errori nella ricostruzione degli spostamenti e errori sistematici dovuti alla natura bidimensionale della misura);

- sistemi di misura basati sul processamento di immagini di varia origine;
- interferometria radar terrestre.

Il monitoraggio richiede inoltre l'adozione di opportuni metodi e algoritmi per l'interpretazione dei dati raccolti dalla sensoristica. Tali metodi devono consentire il rilievo delle eventuali criticità, la loro localizzazione e quantificazione. I metodi sviluppati in letteratura sono essenzialmente riassumibili in due categorie: *metodi predittivi, esclusivamente basati sui dati (data driven)*, e *metodi basati su una integrazione di dati e modelli (model based)*.

I *metodi predittivi, esclusivamente basati sui dati (data driven)*, richiedono soltanto informazioni di natura strumentale per fornire una allerta di primo livello sulla comparsa di una anomalia cui fare seguire una specifica verifica/valutazione esperta (ad esempio ispezione in sito). Tali sistemi sono particolarmente utili se applicati ad un numero significativo di opere al fine di rilevare quelle potenzialmente critiche a seguito di un evento importante (e.g. terremoto) o comunque al fine di rivelare tempestivamente modifiche nel comportamento strutturale che potrebbero denotare l'instaurarsi di un meccanismo di danneggiamento "tipico" (ad esempio precedentemente "tipizzato"). Tali metodi possono essere basati su tecniche di apprendimento non supervisionato e/o tecniche di intelligenza artificiale.

I metodi di apprendimento non supervisionato utilizzano approcci di analisi statistica multivariata per il riconoscimento non supervisionato ed automatizzato di anomalie nelle serie storiche di dati di monitoraggio, statico e dinamico, consentendo di rimuovere gli effetti ambientali e operazionali dai dati di monitoraggio e di ricavare grandezze sensibili al danneggiamento strutturale sui cui eseguire il riconoscimento delle anomalie corrispondenti alla violazione di un certo parametro di controllo statistico. Tali metodi sono applicati a dati direttamente ottenuti dal sistema di monitoraggio (es spostamenti/rotazioni di porzioni significative della struttura) o a dati elaborati (es parametri modali della struttura identificati in continuo in maniera automatizzata).

I metodi di intelligenza artificiale per il monitoraggio dei ponti impiegano spesso strumenti di deep learning quali *autoencoder*, reti neurali convolutive e reti neurali LSTM e si basano tipicamente sull'allenamento di un algoritmo in grado di riprodurre fedelmente la risposta della struttura in assenza di modifiche rilevanti del suo comportamento. Questi presentano il vantaggio di poter operare anche a livello del singolo sensore e possono essere associati a oneri computazionali limitati. Oltre all'applicazione a livello della singola infrastruttura, è plausibile pensare ad una applicazione alla scala della rete, ad esempio mediante processamento dei dati ottenuti da sistemi radar satellitari InSAR o anche sfruttando la similitudine di diverse opere con schema statico e concezione strutturale simile, "istruendo" una parte dell'algoritmo (e.g. alcuni livelli della rete neurale) in modo comune per diversi ponti.

I *metodi basati su una integrazione di dati e modelli (model based)* forniscono informazioni a partire da un utilizzo combinato di dati e modelli di calcolo. La più semplice interazione (sistemi di



monitoraggio a soglia) consiste nell'utilizzare i modelli per valutare delle soglie critiche di comportamento cui associare le decisioni (es. limitazioni di traffico o chiusura del ponte). Più complessa è la calibrazione in tempo reale di modelli surrogati e/o gemelli digitali. Essa realizza un continuo trasferimento di informazione tra il dominio fisico della struttura e il dominio virtuale del modello di simulazione ingegneristica, tanto per calibrare/aggiornare i parametri del sistema che per generare scenari critici, dando così concreta attuazione al paradigma dei gemelli digitali.

I sistemi di monitoraggio a soglia includono tecniche per la calibrazione di modelli di calcolo sulla base delle informazioni ricavate da campagne di indagine e monitoraggio strumentale. I modelli di calcolo calibrati sono utilizzati per valutare soglie critiche nei dati misurati (es accelerazioni di picco durante un sisma o massime rotazioni di una sezione critica) associabili a stati limite di comportamento ben definiti, al fine di consentire di generare un'allerta precoce. In alcuni casi (es monitoraggio degli spostamenti da satellite o con sistemi di visione) è anche possibile alimentare i modelli con i dati misurati (ad esempio imponendo un movimento in fondazione) al fine di avere una valutazione in tempo reale delle condizioni di sicurezza della struttura.

L'utilizzo di modelli surrogati e di gemelli digitali si basa su metodi di aggiornamento continuo di parametri salienti, quali ad esempio i parametri di rigidezza di alcune componenti critiche della struttura. Eventuali variazioni significative di tali grandezze possono consentire di rilevare patologie e criticità strutturali. Al fine di limitare gli oneri computazionali e rendere la calibrazione affrontabile in tempo reale sono solitamente impiegati surrogati o metamodelli, costruiti a partire da modelli di dettaglio dell'opera. La calibrazione dei parametri può avvenire sia in campo deterministico che in campo probabilistico (ad esempio impiegando l'inferenza Bayesiana).

Relazione tra monitoraggio strumentale e livelli di attenzione

Il processo della conoscenza sperimentale delle opere e della sua sorveglianza e monitoraggio devono essere quindi integrati nel flusso logico delle LL GG completandole mediante un insieme di processi che nel complesso costituiscono la piattaforma di controllo e monitoraggio delle opere considerate.

Nello specifico, occorre organizzare sistemi modulari che non consentano semplicemente l'immediata applicazione e integrazione nel flusso delle LL GG, ma aprano anche la strada a successivi sviluppi applicativi capaci di integrare nuove tecniche e tecnologie attualmente in fase di studio.

La conoscenza iniziale

La conoscenza iniziale, che si realizza con il censimento, livello 0, e l'ispezione iniziale, livello 1, relativamente ai diversi rischi da prendere in esame, strutturale-fondazionale, sismico, frane e idraulica, richiede l'informatizzazione dei dati ottenuti ai due livelli e può beneficiare dell'applicazione e dello sviluppo di approcci moderni già in corso di applicazione o in via di perfezionamento, quali l'interferometria satellitare, il rilievo con droni e/o laser scanner e le tecniche di analisi dati e intelligenza artificiale.



I metodi tipici dell'interferometria satellitare permettono una prima valutazione dell'entità dei fenomeni franosi e della loro attuale o possibile interferenza con l'opera d'arte, sì da pianificare e finalizzare al meglio le operazioni di ispezione delle opere della rete. In questo caso il confronto con misure in sito a scopo di validazione, laddove possibile, è auspicabile.

L'utilizzo di droni consente l'esecuzione di indagini preliminari per una migliore organizzazione delle ispezioni visive e, come affiancamento alle ispezioni stesse, rilievi fotogrammetrici e termografici anche in zone difficilmente accessibili.

Le moderne tecniche di rilievo laser scanner e fotogrammetrico, utilizzando droni e/o stazioni totali, consentono la realizzazione di un gemello digitale geometrico e fotogrammetrico dell'opera e del contesto ove essa risiede. Nel caso dell'uso della modellazione informativa (BIM) il rilievo tramite nuvole di punti consente altresì lo sviluppo del modello informativo, integrato dalla conoscenza delle caratteristiche tecniche degli oggetti componenti la struttura e desumibile dai progetti o dalle indagini non distruttive e delle caratteristiche dei materiali.

Sulla base del modello digitale geometrico è possibile ottenere il rilievo delle misure essenziali per la valutazione della classe di attenzione strutturale fondazionale, l'analisi dei parametri fondamentali per la valutazione della classe di attenzione idraulica e lo studio del contesto geologico dell'area, la valutazione di eventuali deformazioni in atto nella struttura, ad esempio variazione di forma, anche locale, del rivestimento delle gallerie o spostamenti imposti ai ponti e viadotti.

Il modello digitale fotogrammetrico consente la restituzione delle mappe dei difetti che interessano l'opera che ben si prestano, in prospettiva, all'applicazione degli algoritmi tipici della scienza dei dati e dell'intelligenza artificiale per lo sviluppo di metodi informatizzati per il riconoscimento, la mappatura, la quantificazione e la classificazione dei difetti, nonché l'individuazione di eventuali meccanismi evolutivi di collasso attivati da tali difetti.

Le moderne tecniche di analisi dati e di intelligenza artificiale possono trovare campi di applicazione di interesse anche per lo sviluppo di modelli in grado di svolgere una sempre più accurata pianificazione delle attività di ispezione e, ad esempio nel caso dei cavi post-tesi, per mettere a sistema la conoscenza mediante modelli che consentano di correlare aggressività dell'ambiente e tempo di esposizione con l'entità del difetto e con la capacità residua del cavo.

La conoscenza iniziale deve includere anche misure o ispezioni di dettaglio, ove richiesto. Nel caso delle gallerie, rilievi georadar e tomografie sono efficaci strumenti per completare la conoscenza con il rilievo nello spessore del rivestimento, mentre le analisi locali sui materiali in termini di caratteristiche chimico-fisiche e meccaniche forniscono informazioni utili non solo sulla loro resistenza, ma anche sulla predisposizione dei materiali al dilavamento, al degrado e alla corrosione. Nel caso dei ponti, le ispezioni speciali sono volte alla conoscenza dello stato di conservazione e di efficienza strutturale degli elementi post-tesi e/o a quella dei fenomeni idro-geologici quando essi siano particolarmente rilevanti e interferenti con l'opera.



Mettendo a sistema la conoscenza iniziale dell'opera ottenuta dalle ispezioni con le attuali possibilità fornite dalle capacità di analisi dati e di sviluppo di modelli, è possibile organizzare un sistema che consenta non solo di valutare in modo rapido, efficace e omogeneo le classi di attenzione, livello 2 del processo, e di fornire informazioni rilevanti per la pianificazione delle attività a livello territoriale, ma anche di costituire una base iniziale affidabile per lo sviluppo dei passi successivi inerenti la sorveglianza, la verifica e il monitoraggio delle opere.

L'attività di sorveglianza

Le attività di sorveglianza, conseguenti la valutazione della classe di attenzione a livello 2, devono ovviamente anch'esse beneficiare progressivamente dell'informatizzazione dei dati, utile non solo alla loro conservazione ma anche, come nel caso della conoscenza iniziale, all'analisi dei dati.

Le *ispezioni periodiche e straordinarie*, previste ad esempio per i ponti per le classi di attenzione bassa, medio-bassa, media, medio-alta, dovrebbero beneficiare degli stessi metodi di rilievo e analisi richiamati per la conoscenza iniziale: interferometria satellitare, rilievo con droni/laser scanner, modelli digitali geometrico e fotogrammetrico, algoritmi di IA.

È possibile, infatti, sviluppare metodologie integrate che consentano ai tecnici incaricati di valutare, tramite il confronto con i risultati ottenuti dalla conoscenza iniziale, l'evoluzione di eventuali stati di danneggiamento progressivo e dei fenomeni naturali interferenti con l'opera, trasformando agevolmente ed efficacemente tali ispezioni in un vero e proprio monitoraggio periodico più o meno frequente a seconda della classe di attenzione dell'opera.

L'evoluzione dei movimenti di frana, anche in relazione agli eventuali movimenti della struttura, può essere controllata mediante l'interpretazione e il confronto delle misure ottenute nel tempo utilizzando tecniche di interferometria satellitare, a partire dall'ispezione iniziale.

Gli stati di degrado e di danneggiamento progressivo possono essere invece monitorati confrontando mappature dei difetti ricavate da modelli digitali geometrici e fotogrammetrici eseguiti nel tempo in occasione di ispezioni successive, ove necessario, poi integrate da apposite misure strumentali a livello globale, di struttura, o locale, di dettaglio e/o di materiale costituente. Approccio simile può essere utilizzato per il monitoraggio dei fenomeni idraulici nel tempo quali le modificazioni che interessano l'alveo e i fenomeni erosionali a carico delle fondazioni.

Il monitoraggio continuo

Anche le attività di monitoraggio strumentale continuo, oggi previste per i ponti dalle relative LL GG per le classi di attenzione medio-alta e alta, possono essere declinate, in prospettiva, in funzione dell'approccio multilivello per tutte le classi di attenzione. Il monitoraggio strumentale diventa così uno strumento sinergico alla conoscenza e alla valutazione dei diversi rischi che interessano l'opera, integrando e completando, anche con logiche evolute (e.g. approcci di inferenza Bayesiana), le informazioni ricavate dai rilievi, dalle ispezioni e dalle indagini speciali, superando il paradigma del monitoraggio come alternativa e automazione delle procedure di indagine e rilievo in sito.



Un primo livello di monitoraggio può essere basato sullo sviluppo di *metodi predittivi basati sull'analisi dei dati*, in particolare di metodi di rilievo di anomalie con metodi non supervisionati che includono dati di natura diversa, sia con riferimento agli aspetti strutturali, sia per quanto riguarda gli aspetti idraulici e frane potenzialmente interferenti. I metodi devono essere opportunamente calibrati tenendo conto di tutti i possibili scenari di danno e individuando i possibili indicatori di danno per le diverse tipologie di opere e per i diversi rischi considerati. Tali sistemi devono poter essere applicabili, in generale, utilizzando le informazioni disponibili nell'ambito del Livello 2 delle LG, o, ove eseguite, delle ispezioni speciali.

I metodi dell'analisi dati e dell'Intelligenza Artificiale consentono, in prospettiva, l'ottimizzazione, per ciascuna tipologia di rischio e tipologia di opera, della capacità del sistema di riconoscere e valutare le anomalie presenti sulla base delle esperienze pregresse.

Tale approccio può costituire una prima soluzione per i casi previsti dalle Linee Guida per i ponti e viadotti ma anche per le gallerie, ad esempio nei casi in cui sia necessario controllare fenomeni evolutivi nell'ambito di un'analisi di rischio della tratta per la definizione di un ordine di priorità degli interventi.

In prospettiva tali sistemi di monitoraggio possono essere utilizzati correntemente nei casi in cui non sono presenti situazioni di rischio rilevanti, come le opere con classi di difettosità strutturale o sismica bassa, medio-bassa o media oppure nelle situazioni in cui la classe di attenzione Alta o Medio-Alta sia conseguenza degli elevati livelli di pericolosità o di esposizione ma non della vulnerabilità dell'opera. Parimenti, tali sistemi possono essere utilizzati, ad esempio, per le opere nelle quali le ispezioni speciali su cavi post-tesi non abbiano dato esito negativo oppure nelle quali le indagini speciali sui fenomeni idro-geologici non abbiano rivelato problemi cui corrisponde un rischio elevato (altrimenti sarebbe richiesta una valutazione accurata).

Nelle situazioni in cui sono presenti criticità che determinano situazioni di rischio rilevante per le opere, come, ad esempio, i ponti e viadotti in Classe di Attenzione da Medio-Alta a Alta per un singolo rischio, come conseguenza di livelli di difettosità alta o di vulnerabilità frane o idraulica elevata, oppure le gallerie caratterizzate da importanti sotto-spessori, tale sistema di monitoraggio può essere ulteriormente sviluppato (su base modulare, come precedentemente discusso) sulla base di informazioni aggiuntive rispetto a quelle richieste per la definizione della CdA, utilizzando *metodi basati su una integrazione di dati e modelli*.

A tal proposito occorre sviluppare, per i rischi rilevanti e per le diverse tipologie di opera, appropriati modelli di comportamento alla base del sistema di monitoraggio mediante i quali riconoscere, individuare e monitorare l'evoluzione di eventuali fenomeni di danno e/o degrado strutturale nonché dei fenomeni idrogeologici rilevanti potenzialmente interferenti con l'opera e progettare i sistemi di monitoraggio simulando gli scenari di danno rilevanti e individuando i relativi indicatori in termini di sensibilità e livelli di variazione per ciascuno scenario.



Il progetto del sistema di monitoraggio deve includere la scelta o lo sviluppo di algoritmi di aggiornamento dei modelli di comportamento sì da riconoscere eventuali evoluzioni dei fenomeni rilevanti, opportuni criteri di scelta della sensoristica e l'individuazione dei sistemi di raccolta, conservazione ed elaborazione preliminare dei dati.

Lo sviluppo del sistema può fare utile riferimento alle informazioni relative alla conoscenza iniziale e alle ispezioni periodiche e speciali riguardo ai modelli geometrici e fotogrammetrici, al rilievo e quantificazione delle difettosità e ai fenomeni idro-geologici. Sulla base dei modelli di rilievo geometrici possono essere sviluppati modelli strutturali tridimensionali sino a pervenire ad un gemello digitale strutturale dell'opera e del suo contesto su cui applicare le tecniche di aggiornamento. Le tecniche di interferometria satellitare, ove rilevante, possono inoltre fornire informazioni utili all'aggiornamento dei modelli fornendo misure temporali dello spostamento che il terreno impone alla struttura ed anche della struttura stessa (possibilmente posizionando su di essa opportuni *target* anche a scopo di validazione delle misure pregresse corrispondenti ai "*persistent scatterers*" rilevati sull'opera). Le tecniche di analisi dati e di intelligenza artificiale, dal canto loro, possono essere adottate per l'aggiornamento dei modelli di comportamento sulla base delle misure effettuate nel tempo.

Nel caso di situazioni caratterizzate da un elevato livello di rischio, associabile alla CdA Alta (livello di difettosità alto oppure elevata vulnerabilità idraulica, fondazionale o frane), in cui siano in corso fenomeni in evoluzione che determinano una progressiva riduzione del livello di sicurezza, occorre implementare ulteriormente i sistemi di monitoraggio così organizzati con studi specialistici per l'approfondimento delle criticità specifiche sino allo sviluppo di *modelli adattivi di previsione della vita utile dell'opera*.

A tal fine occorre sviluppare modelli predittivi per i fenomeni evolutivi di maggior interesse (es. degrado, frane, scalzamento, meccanismi strutturali di danno di elementi critici) e modelli probabilistici per la stima della sicurezza nel tempo e della vita utile residua da utilizzare in un *modello probabilistico dell'opera* che completi i su descritti *metodi di monitoraggio basati su una integrazione di dati e modelli* sino a pervenire alla stima in tempo reale della probabilità di collasso e della vita residua. In questo ambito è anche possibile utilizzare efficacemente i sistemi di peso dei veicoli in marcia pervenendo a modelli probabilistici del traffico reale utili alla valutazione dei livelli di sicurezza e/o dei livelli di rischio e della vita utile introducendo nello schema di verifica il traffico che realmente interessa l'opera, riducendone quindi in maniera significativa l'incertezza probabilistica.

La valutazione della vita utile dell'opera, sia che si tratti di un ponte o viadotto sia che si tratti del rivestimento di calcestruzzo di una galleria, è ottenuta integrando la conoscenza acquisita nei vari passi dell'approccio multilivello, i modelli strutturali e di comportamento dei fenomeni naturali, i modelli predittivi dei fenomeni evolutivi e i modelli probabilistici per la stima della sicurezza, con i sistemi di monitoraggio strumentale. Operando in questo modo è possibile pervenire alla verifica della transitabilità dell'opera in tempo reale e possono essere eseguite valutazioni comparative dei



rischi utili alla definizione di un ordine di priorità degli interventi di manutenzione e di miglioramento / adeguamento.

Un sistema di classificazione, monitoraggio e verifica

In sintesi, definendo e aggregando progressivamente i diversi moduli / livelli di monitoraggio in funzione anche degli sviluppi applicativi delle più recenti tecniche di rilievo, misura e analisi dati, è possibile pervenire alla definizione di una moderna strategia per la gestione della rete (spesso indicato come c.d. BMS) che integri funzionalmente i dati provenienti dai diversi livelli di applicazione delle linee guida, ispezioni iniziali e speciali, sorveglianza, valutazione accurata delle opere, con il monitoraggio strumentale. I dati sono utilizzati per il miglioramento progressivo delle valutazioni di rischio che costituiscono la base razionale per la pianificazione delle azioni successive, in una logica di ottimizzazione dell'uso delle risorse. In particolare, includendo tutti i rischi rilevanti, anche quelli relativi alla cantierizzazione delle opere, è possibile sviluppare metodi per la valutazione del rischio sì da pianificare e prioritizzare utilmente gli interventi di approfondimento della conoscenza (eventuali ulteriori indagini specialistiche) manutenzione ordinaria, straordinaria e di messa in sicurezza.

I benefici della digitalizzazione: l'applicazione del BIM

La trasformazione digitale è il cambiamento delle modalità (metodi) con le quali viene tradizionalmente concepito un processo da tutte le figure coinvolte, traghettandole verso pratiche operative attuate con strumenti evoluti, in grado di rapportarsi tra loro attraverso un linguaggio fatto di relazioni informative interoperabili.

La molteplicità e, in alcuni casi, la complessità delle opere d'arte possono e dovrebbero essere supportati da:

- ◆ modellazione informativa BIM (Building Information Model);
- ◆ creazione di un'apposita piattaforma digitale per la condivisione dei dati e delle informazioni, mantenendoli sempre aggiornati, soprattutto in funzione delle diverse procedure, dei molteplici operatori coinvolti e della complessità dei processi da attivare.

La digitalizzazione permea l'iter completo dell'opera, pertanto, alcuni dei benefici che si potrà certamente trarre dall'istituzione di processi di digitalizzazione sono:

- ◆ supporto al processo decisionale con informazioni tempestive aggiornate ed attendibili;
- ◆ costituzione della base affidabile di informazioni utili alla vita utile dell'opera;
- ◆ monitoraggio continuo dell'opera, con aggiornamento dei modelli informativi e dei modelli strutturali tratti da essi;
- ◆ mitigazione del rischio e attuazione degli interventi;
- ◆ miglioramento ed elevazione della qualità complessiva delle opere.

Si sottolinea inoltre che il Decreto 560 del 2017 e il suo recente aggiornamento (DM 312/2021) in attuazione dell'art. 23 del D.Lgs 50/2016, definiscono le modalità ed i tempi di progressiva introduzione, da parte delle stazioni appaltanti, delle amministrazioni concedenti e degli operatori economici, dell'obbligatorietà dei metodi e strumenti elettronici specifici, quali quelli di



modellazione per l'edilizia e le infrastrutture nelle fasi di progettazione, costruzione e gestione delle opere e relative verifiche.

La tecnologia BIM, vista nelle sue molteplici applicazioni di progettazione, valutazione delle differenti ipotesi progettuali su modelli 3D, controllo della rispondenza dei tempi in fase realizzativa, supporto alla fase gestionale e manutentiva, si unisce alla gestione dei processi attraverso la creazione e la strutturazione di appositi Ambienti di Condivisione dei Dati per il monitoraggio digitale continuo delle informazioni relative a Processi, Operatori ed Opere.

Tali benefici vengono ulteriormente ingranditi in contesti complessi, caratterizzati da tempi limitati, necessità di procedure accelerate, molteplicità di interlocutori.