



Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici

Linee Guida per la Classificazione e Gestione del Rischio, la Valutazione della Sicurezza e il Monitoraggio dei Ponti esistenti

PARTE III

SISTEMA DI SORVEGLIANZA E MONITORAGGIO

(Prof. Ing. Andrea Del Grosso)

SCOPO DEL SISTEMA

- Procedere alla valutazione (diagnosi) periodica dello stato di condizione delle opere con riferimento alla loro idoneità all'uso (integrità strutturale/fondazionale-protezione da inondazioni e frane), all'efficienza dei sistemi ausiliari e alla stima delle tendenze evolutive (prognosi).
- Migliorare la conoscenza dell'opera riducendo le incertezze di natura epistemica (azioni, resistenze, modelli).
- Aggiornare la classificazione del rischio connesso alla presenza/esercizio dell'opera (Classe di Attenzione corrente)
- Consentire una efficace pianificazione degli interventi di manutenzione – adeguamento.

STRUMENTI OPERATIVI

- Ispezioni periodiche ordinarie (2° Livello)
- Ispezioni straordinarie
- Indagini non distruttive e semidistruttive
- Prove di carico statiche e rilievi dinamici
- Monitoraggio strumentale (SHM)
- Algoritmi di analisi e interpretazione dati
- Modelli rappresentativi del comportamento reale
- Indici dello stato di condizione e modelli di degrado
- Basi dati informatiche (BMS)

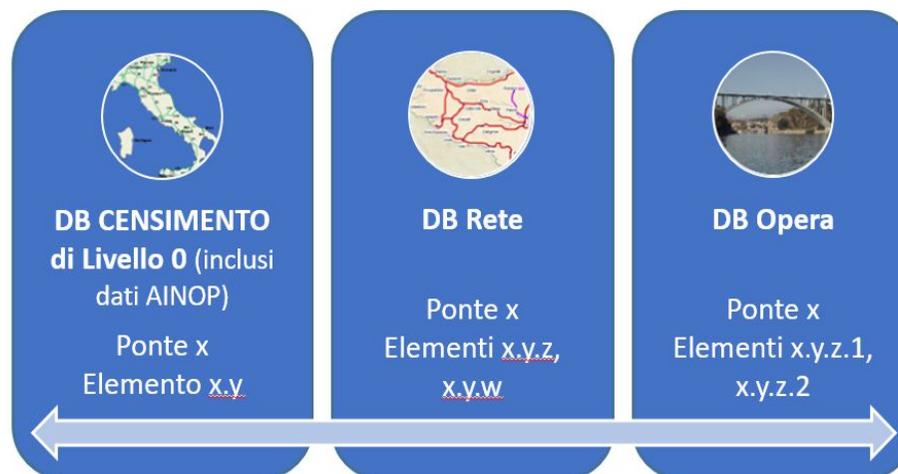
SISTEMA DI SORVEGLIANZA

Gli Enti gestori dovranno adottare un sistema di sorveglianza (certificato), documentato in uno o più Manuali e composto da

- Organizzazione del sistema di sorveglianza
- Sistema di identificazione dei ponti e degli elementi costrutti
- Catalogo dei difetti
- Schede descrittive di ispezione
- Altre attività di sorveglianza (ispezioni straordinarie, prove n.d., ecc.)
- Monitoraggio periodico o continuo
- Software per l'archiviazione (e l'analisi) dei dati
- Modelli di interpretazione
- Schemi decisionali per la gestione traffico e la manutenzione in funzione dei risultati del sistema di sorveglianza e monitoraggio

SISTEMA DI IDENTIFICAZIONE

Ogni opera, già identificata con elementi standard a livello di censimento e per le ispezioni di livello 1, deve essere ulteriormente decomposta in «oggetti» omogenei (elementi di opera) con criteri ottimali per la redazione delle schede descrittive delle ispezioni di livello 2, per interfacciarsi con i dati delle ispezioni straordinarie e delle prove ND, con i dati del monitoraggio strumentale e con i modelli di degrado, strutturali, di costo e di efficacia degli interventi (modelli BIM).



ISPEZIONI

Le ispezioni **ordinarie** di 2° livello (sorveglianza) richiedono: esame visivo di tutti gli elementi e sottoelementi del ponte, esecuzione di semplici test ND e devono essere condotte **con frequenza dipendente dalla Classe di Attenzione**

<i>CDA -</i>	<i>Bassa</i>	<i>Medio - Bassa</i>	<i>Media</i>	<i>Medio-Alta</i>	<i>Alta</i>
Frequenza Opere "Tipo 1"	Biennale	18 mesi	Annuale	In funzione del monitoraggio o semestrale	In funzione del monitoraggio o semestrale
Frequenza Opere "Tipo 2"	Annuale	9 mesi	Semestrale	In funzione del monitoraggio o trimestrale	In funzione del monitoraggio trimestrale

Opere **Tipo 1** : già sottoposte a programmi di sorveglianza, **Tipo 2**: tutte le altre.

Le ispezioni **straordinarie** devono essere condotte quando le ispezioni ordinarie ne rivelino la necessità, in occasione di eventi eccezionali (sismi, incidenti gravi, ecc.) e comunque non oltre **cinque** anni per classi bassa e medio-bassa, e **due** anni negli altri casi.

Le ispezioni straordinarie richiedono l'esecuzione di test ND e semidistruttivi, **prove di carico statiche, rilievi dinamici o monitoraggi strumentali occasionali.**

Importanza della qualificazione del personale.

PROBLEMI SPECIALI

- **Strutture precomprese a cavi post-tesi e iniettati**: Le strutture precomprese di questo tipo, particolarmente se eseguite negli anni 60 e 70, possono presentare situazioni di degrado dei cavi di precompressione, generalmente associato a difetti di iniezione. Le ispezioni ed i controlli devono essere condotti facendo riferimento a standard di comprovata validità (FHWA-HRT-13-028).
- **Scalzamento delle pile**: Lo scalzamento è una delle più frequenti cause di dissesto e collasso dei ponti con pile in alveo non adeguatamente protette. E' raccomandato che ispezioni dettagliate, anche subacquee, vengano eseguite periodicamente e comunque a seguito di eventi di piena dei corsi d'acqua attraversati. Si raccomanda di includere il controllo del fenomeno dello scalzamento tra gli obiettivi dei sistemi di monitoraggio permanente dei ponti soggetti a rischio idraulico.
- **Smaltimento acque di piattaforma**: Le ispezioni devono porre particolare attenzione all'efficienza di questi sistemi, particolarmente importanti per la conservazione delle strutture.

VALUTAZIONE NUMERICA

Le schede di rilevamento devono consentire la determinazione di indicatori numerici dello **stato di condizione** dei singoli elementi e della struttura completa, correlabili alle Classi di Attenzione, da utilizzare in **modelli predittivi** utili alla valutazione di anomalie ed eventualmente in algoritmi di supporto alle decisioni concernenti gli interventi di manutenzione.

Gli indicatori non rappresentano una «misura» della sicurezza ma sono semplicemente degli **indicatori sintetici dello stato di conservazione delle strutture e delle componenti ausiliarie**, nonché delle potenziali conseguenze sulla sicurezza dell'opera, nonché di situazioni potenzialmente dannose che derivano dall'ambiente che la circonda.

MONITORAGGIO STRUMENTALE

Il monitoraggio strumentale (SHM) può essere implementato in accordo alle **Linee Guida UNI 11634:2016** come:

Monitoraggio occasionale (da alcuni mesi ad alcuni anni) o periodico, raccomandato nei seguenti casi:

- **Interventi di manutenzione** straordinaria o adeguamento: è raccomandata l'installazione di sistemi strumentali prima, durante e dopo l'intervento per valutarne l'efficacia (ponti con livello di attenzione alto).
- Studio del comportamento di **tipologie strutturali ripetitive**.
- Analisi di fenomeni di degrado/danneggiamento **anomali**.
- Situazioni al contorno di natura transitoria
- Situazioni di rischio elevato e di imminente pericolo in genere.

MONITORAGGIO STRUMENTALE

Monitoraggio continuo, con sistemi installati **permanentemente**, raccomandato almeno nei seguenti casi:

- Ponti strallati o sospesi e ponti di grande luce (> 200 m).
- Ponti con campate di luce superiore ai 50 m in c.a.p. realizzati da più di 40 anni.
- Ponti con difficoltà di ispezione (travate a cassone e pile non ispezionabili) in c.a.p. o acciaio.
- Ponti con soluzioni strutturali innovative.
- Ponti di rilevanza storica.
- Ponti in ambienti critici o soggetti a condizioni di traffico estreme.
- Ponti con livello di attenzione medio-alto o alto.
- Situazioni al contorno critiche (rischio inondazioni e frane elevato).

MONITORAGGIO STRUMENTALE

Il monitoraggio strumentale deve riguardare, ove del caso, i diversi aspetti:

- Monitoraggio strutturale
- Monitoraggio sismico
- Monitoraggio del sistema fondazionale
- Monitoraggio idraulico
- Monitoraggio dei versanti

I sistemi di monitoraggio dovranno essere progettati, installati e gestiti conformemente alle **Linee Guida UNI TR 11634:2016**.

Nelle stesse Linee Guida sono altresì contenute **indicazioni per l'analisi e l'interpretazione dei dati** nonché per il loro utilizzo ai fini della **determinazione dello stato di condizione** delle strutture e della **taratura dei modelli numerici statici e dinamici**.

MODELLI PREDITTIVI

E' raccomandato l'uso di **modelli predittivi (di degrado)** che esprimono l'andamento dell'indice dello stato di condizione nel tempo come risultante dalle ispezioni e, ove presenti, dei sistemi di monitoraggio strumentale.

I modelli di degrado possono essere utilizzati per vari scopi, tra cui per la **previsione dell'evoluzione dell'indice**, per la definizione di **soglie di attenzione e allarme**, per **l'aggiornamento delle classi di attenzione** e per la **pianificazione ottimale degli interventi di manutenzione** a livello delle singole opere.

Fra i modelli più frequentemente usati:

Modelli Markoviani

Modelli statistici

MODELLI DI DEGRADO

Nel seguito un modello derivato da monitoraggi su ponti in c.a. (UNI EN 11991:2018 – Quadro di riferimento per le ispezioni basate sul rischio)

$$C_i(t) = C_I + a_n \times (S_i - S_I)^c$$

with

$$a_n = (C_F - C_I) / (S_F - S_I)^c$$

where

C_I initial condition

a_n slope of deterioration

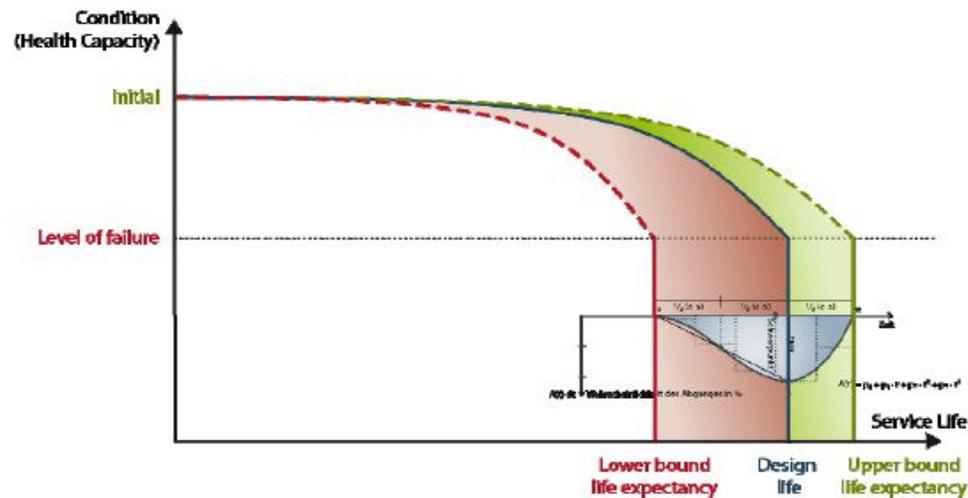
S_i current year of service life

S_I initial year of service life

c deterioration power exponent; empirical, constant value derived from sensitivity analysis; for bridge components $c = 3$ is established

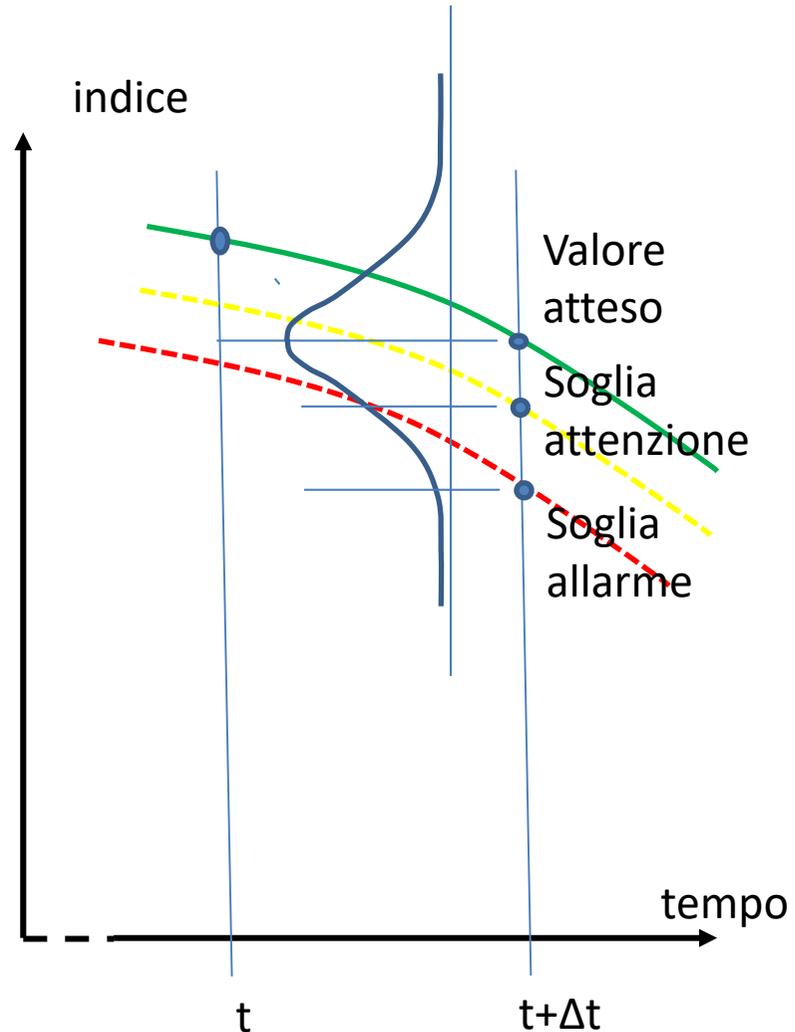
C_F final condition (early-warning level)

S_F final (assumed) year of service life



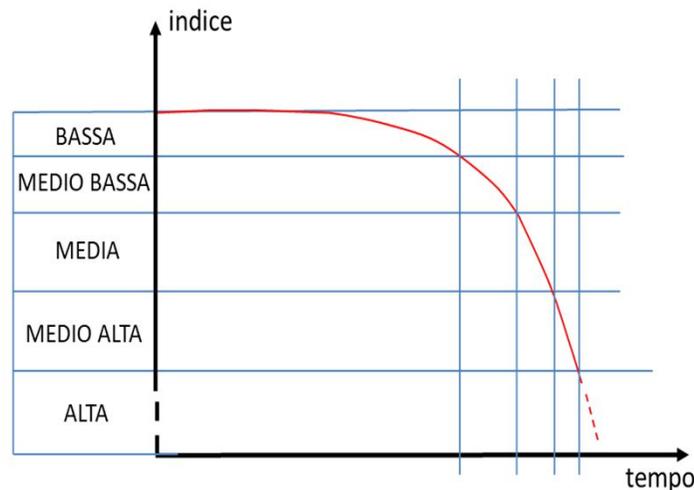
GESTIONE ALLARMI

Alle curve di degrado possono essere associate bande di confidenza il cui superamento (limite inferiore) definisce opportuni livelli di allarme (in tempo differito).
(Segnali di attenzione e allarme in tempo reale possono essere attivati da sistemi di monitoraggio strumentale permanente o temporaneo).



AGGIORNAMENTO C. d. A.

Il campo di variazione dell'indicatore dello stato di condizione può essere convenientemente diviso in sottocampi, corrispondenti ai differenti livelli di attenzione. In tal modo i risultati del monitoraggio possono essere utilizzati per **aggiornare le classi di attenzione** nel corso della vita operativa della struttura.



BMS

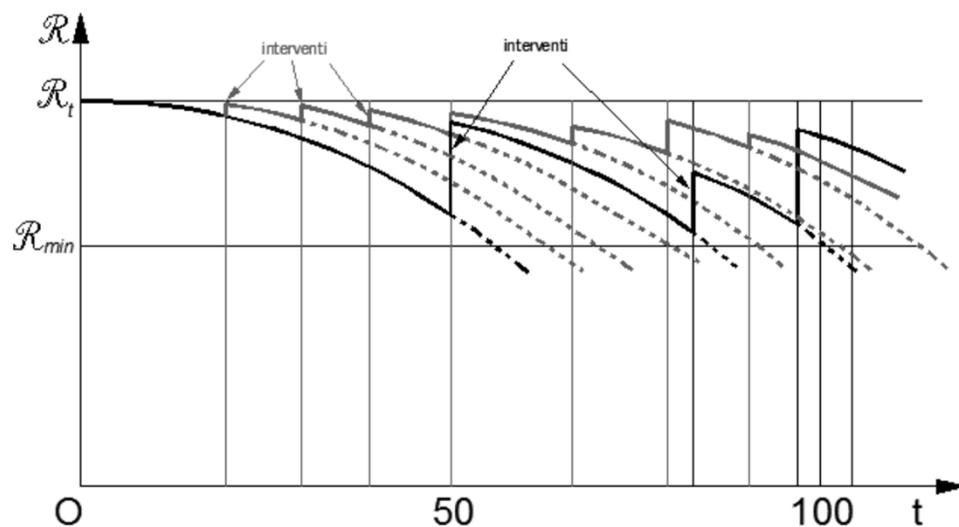
Dal punto di vista funzionale, si raccomanda che i BMS abbiano i seguenti requisiti:

- Gestione dell'inventario, con collegamenti ai dati di progetto e collaudo, ove disponibili, o prima ispezione e interfaccia GIS
- Interfaccia con il data base AINOP
- Gestione delle ispezioni e delle sintesi dei risultati dei monitoraggi strumentali con interfaccia verso il software di gestione dei sistemi di monitoraggio
- Gestione dei risultati di indagini e prove
- Gestione delle soglie di allarme
- Interfaccia con i modelli BIM (ove utilizzati) e i modelli di calcolo
- Funzioni di elaborazione statistica e di reporting
- Gestione degli interventi di manutenzione
- Verifica e gestione dei transiti di trasporti eccezionali

PIANIFICAZIONE INTERVENTI

E' raccomandato l'uso di procedure, eventualmente appoggiate a modelli BIM, per la pianificazione ottimale degli interventi manutentivi ordinari e straordinari **in funzione dei risultati delle attività di monitoraggio, della classificazione in base ai livelli di attenzione e dei risultati delle indagini di dettaglio.**

Tali procedure, da attivare sia a **livello di opera** che a **livello di rete**, potranno essere basate sull'ottimizzazione di un rapporto di efficienza dell'intervento (costo-beneficio), definito come **rapporto tra la riduzione del rischio e il costo dell'intervento**. Per la valutazione della riduzione del rischio potranno essere utilizzate le curve di degrado.



*Rif. Figura C.2.1 Circolare
MIT 21 gennaio 2019 n. 7*