

Lo stato della ricerca sulla valutazione del rischio e la verifica della sicurezza dei ponti e dei viadotti

Il sistema di gestione dei ponti esistenti: l'esperienza di ASPi

Marilisa Conte

Padova, 2 settembre 2021

AGENDA CONTENUTI



0 PREMESSA

- Opere d'arte della rete in concessione ad ASPI

1 APPLICAZIONE DELLE LINEE GUIDA DEL C.S.LL.PP. DEL 2020

- Esperienza ASPI - Assessment Ponti e Viadotti

2 TRASFORMAZIONE DIGITALE ASSET MANAGEMENT

- Sistema di Asset management
- Sistema di Monitoraggio e sensorizzazione dei ponti e viadotti

3 PROGETTI DI SPERIMENTAZIONE E RAPPORTI CON LE UNIVERSITA'

- Alveo Vecchio
- Altre sperimentazioni (CVC in DT8, viadotto Santhia, etc...)

0. OPERE D'ARTE DELLA RETE IN CONCESSIONE AD ASPI

La rete più estesa d'Europa

2.855 km di rete autostradale

~2,7 mln clienti al giorno

~2,1 mln veicoli al giorno

16 autostrade a pedaggio

...con un significativo portafoglio di asset



1943 ponti/viadotti



240 stazioni



1798 cavalcavia



204 aree di servizio



574 gallerie (~ 350km)



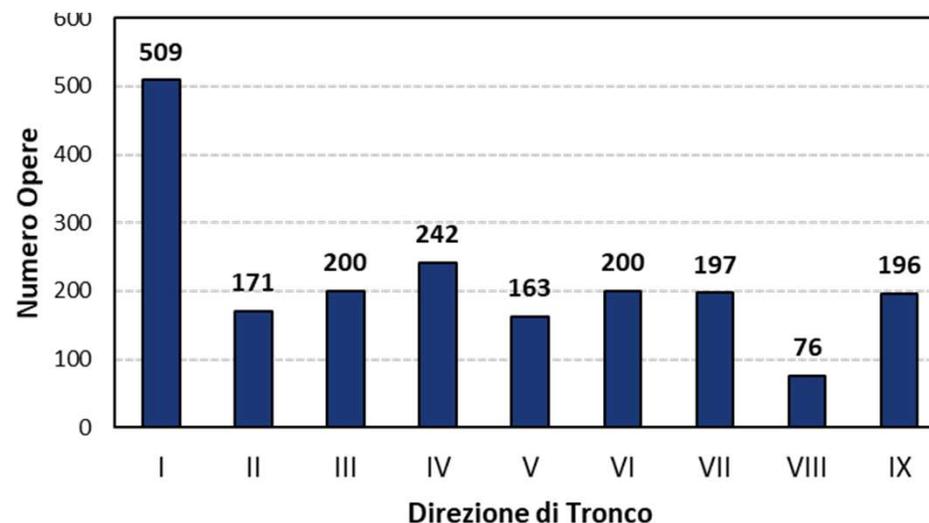
0. OPERE D'ARTE DELLA RETE IN CONCESSIONE AD ASPI

Ripartizione sul territorio nazionale – Direzioni di Tronco

LA RETE ASPI



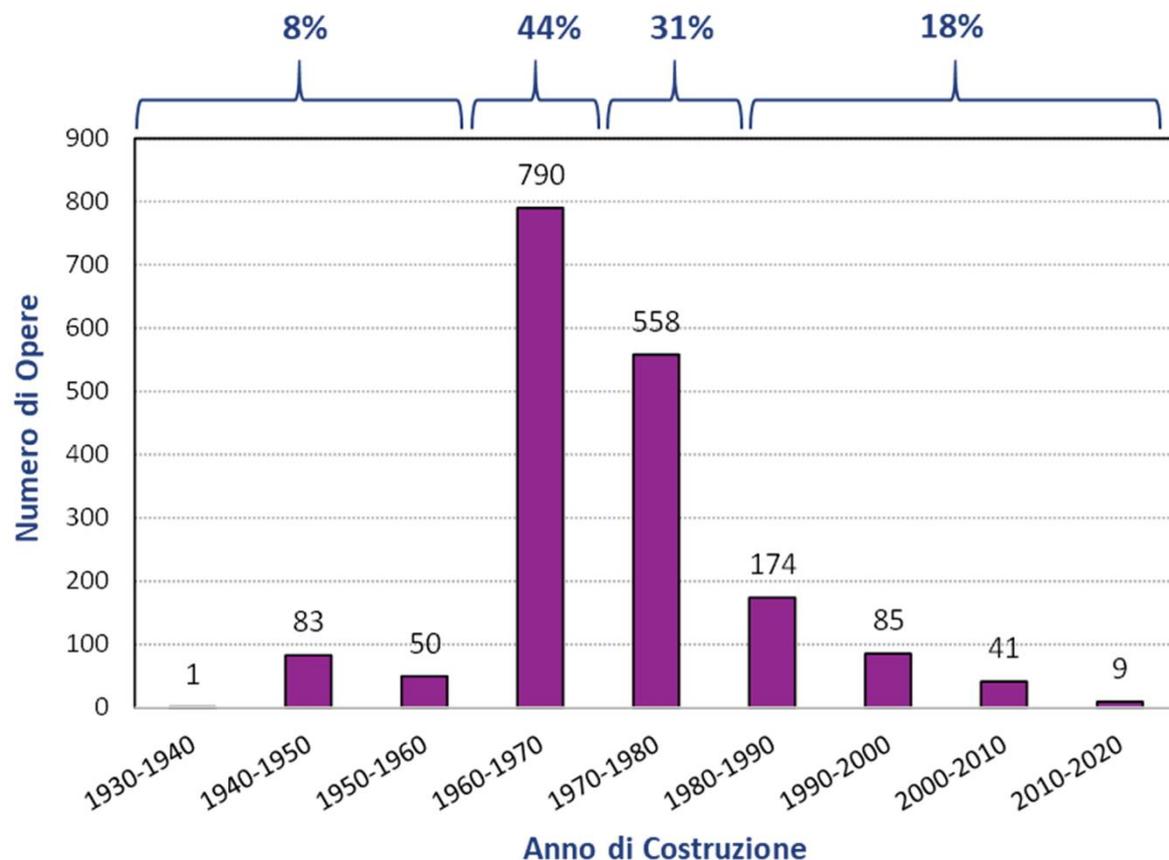
- La **DT1 - Genova** presenta la **maggiore concentrazione di opere** rispetto alle altre DT, con circa il **26%** di ponti e viadotti
- Le **DT2 – Milano, DT3 - Bologna, DT4 – Firenze, DT5 – Fiano Romano, DT6 – Cassino, DT7 – Pescara, DT9 – Udine** presentano una concentrazione di opere circa **analoga tra loro** e compresa nel range **8-12%**
- La **DT8 - Bari** presenta la **minore concentrazione di opere** rispetto alle altre DT, con circa il **4%** di ponti e viadotti



- **Numero opere totali: 1954**

0. OPERE D'ARTE DELLA RETE IN CONCESSIONE AD ASPI

Epoca costruttiva



Principali considerazioni

- ✓ La rete gestita da **ASPI** conta un totale di **1954 opere maggiori** (ponti e viadotti con campate di luce > 10 m)
- ✓ Tra queste opere:
 - Circa l'**8%** sono state realizzate **prima del 1960**
 - Circa il **44%** sono state realizzate **tra il 1960 e il 1970**
 - Circa il **31%** sono state realizzate **tra il 1970 e il 1980**
 - Circa il **18%** sono state realizzate **dopo il 1980**



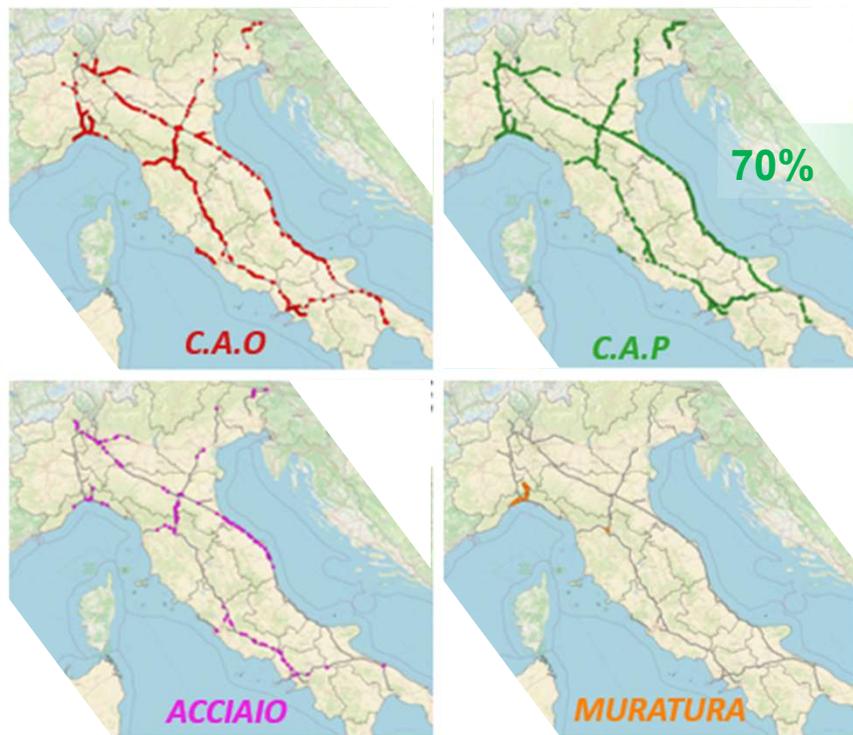
Più del 50% delle opere (**924**) ha superato i **50 anni**

0. OPERE D'ARTE DELLA RETE IN CONCESSIONE AD ASPI

Materiali

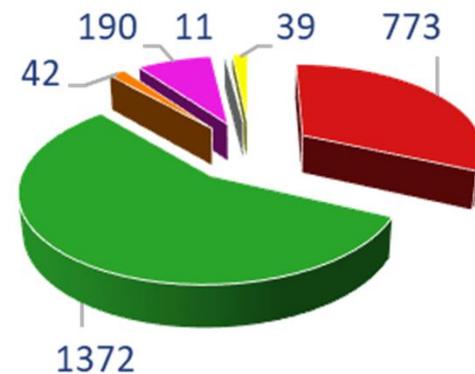
- Le poche opere in **MURATURA** sono fortemente **concentrate in Liguria**
- Le opere in **ACCIAIO** sono presenti in prevalenza sui **tracciati più recenti**
- Le opere in **C.A.O.** e **C.A.P.** sono **uniformemente distribuite** lungo la rete ASPI

LA RETE ASPI

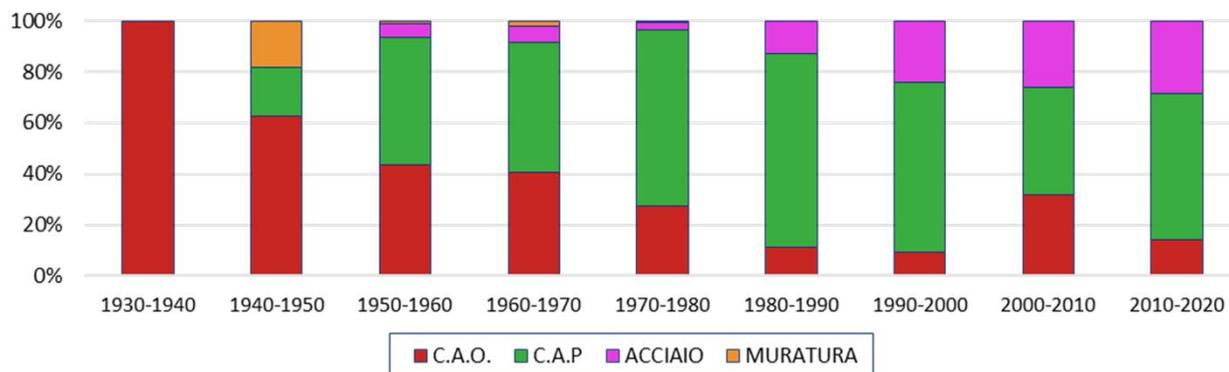


- ❖ **Con cavi scorrevoli:** oltre 770 opere (**40%**)
- ❖ **Con fili aderenti:** circa 590 opere (**30%**)
- ❖ **Con barre dywidag:** circa 10 opere (**0,5%**)

1954 ponti e viadotti con campate di luce > 10m



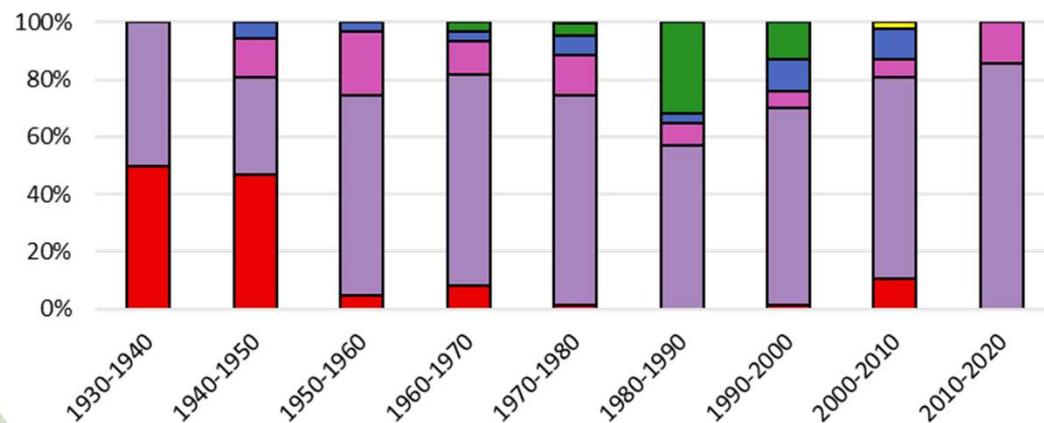
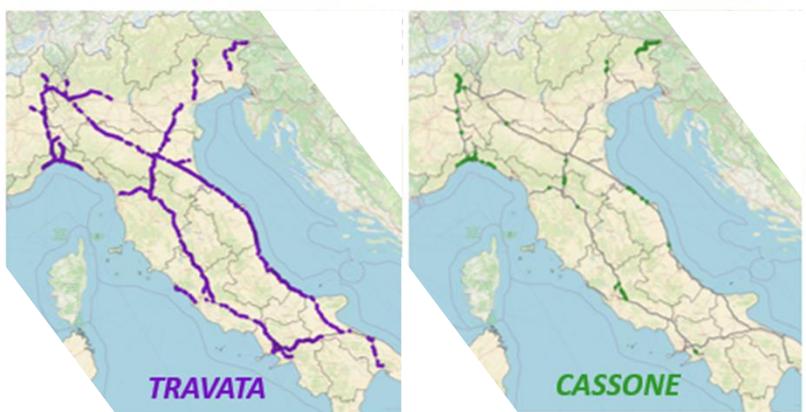
N.B. La ripartizione è sul numero totale di impalcati, non di opere



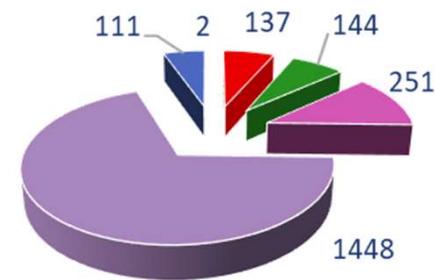
0. OPERE D'ARTE DELLA RETE IN CONCESSIONE AD ASPI

Tipologia Strutturale

- Le opere ad **Arco** si concentrano, prevalentemente, sui tracciati più datati
- Le opere con **Travata** e **Solettone** sono distribuite, uniformemente, su tutta la rete
- Le opere a **Cassone** sono in poche tratte (A10 e A12 in Liguria, alta A26, alta A23, bretella A1 e A14 Rimini-Ancona)
- Le opere a **Telaio** mancano in Liguria (A10 e A12) e in A14, sono distribuite in maniera uniforme sul resto della rete



1954 ponti e viadotti con campate di luce > 10m



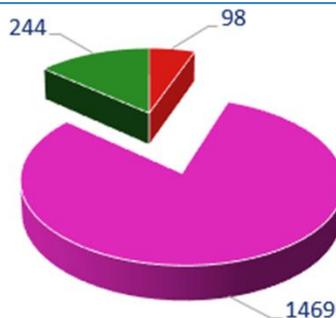
N.B. La ripartizione è effettuata sul numero totale di impalcati, non di opere

0. OPERE D'ARTE DELLA RETE IN CONCESSIONE AD ASPI

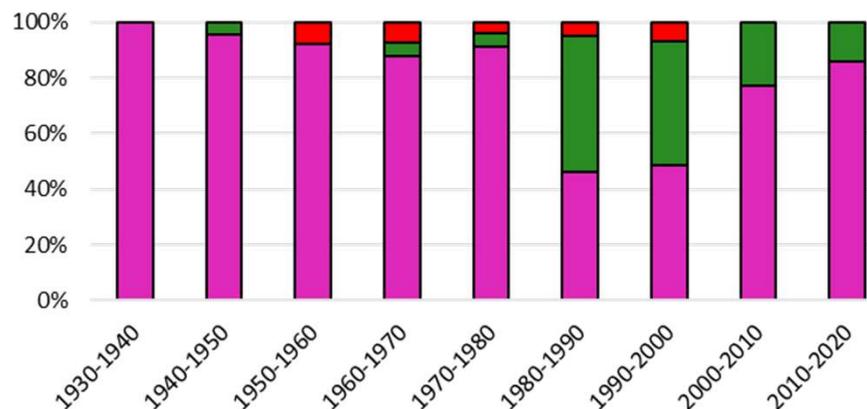
Schema statico



1954 ponti e viadotti con campate di luce > 10m



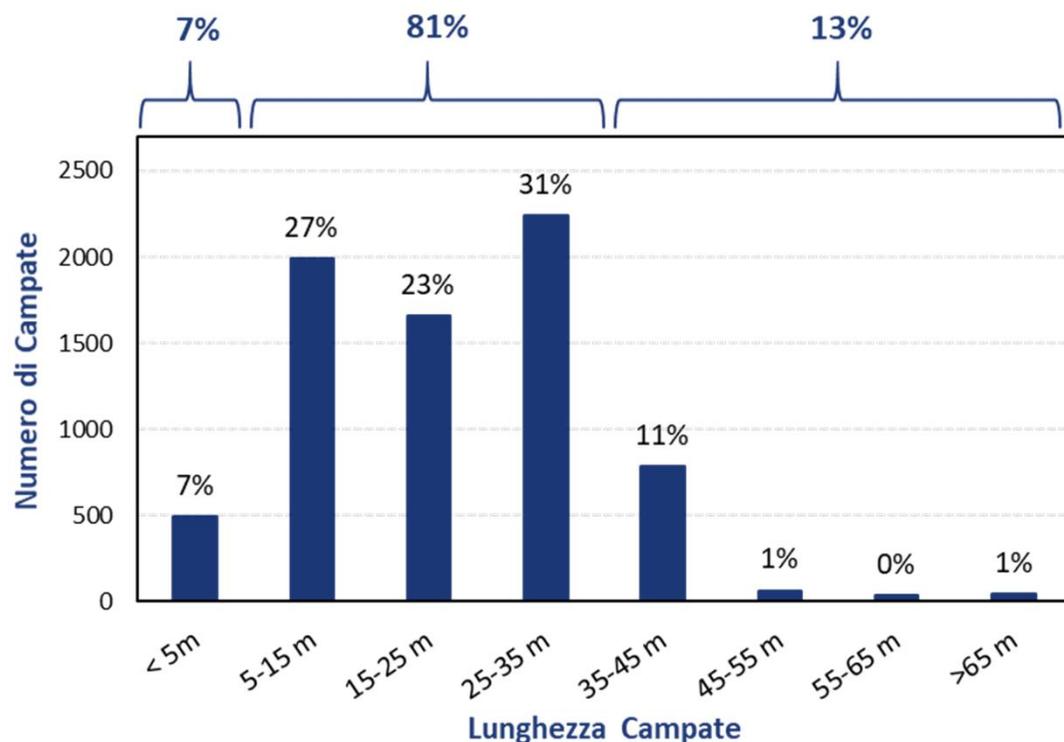
- Le opere con **selle Gerber** sono presenti prevalentemente sulla A1 Bologna-Napoli e in Liguria (A7,A10,A12)
- Le opere con travi semplicemente **appoggiate** sono uniformemente distribuite sulla rete **ASPI**
- Le opere con travate **continue** sono concentrate in prevalenza sulle stesse tratte evidenziate per la tipologia a cassone (A1 Bologna-Firenze; A10 e A12 in Liguria; alta A26 e A23; bretella A1 a Roma)



N.B. La ripartizione è effettuata sul numero totale di impalcati e non di opere

0. OPERE D'ARTE DELLA RETE IN CONCESSIONE AD ASPI

Luce delle campate



Principali considerazioni

- ✓ I ponti e viadotti della rete gestita da **ASPI** presentano una **lunghezza MEDIA** delle campate di circa **24 m**, con un valore della **MODA** di circa **32 m (valore più frequente)**
- ✓ Circa l'**81%** delle campate ha una lunghezza compresa tra **5 m e 35 m**, coerentemente con le tipologie strutturali, i materiali e gli schemi statici principalmente diffusi sulla rete
- ✓ Vi è una **limitata percentuale** di opere d'arte con campate **> 65 m**, realizzate prevalentemente in **acciaio**



Più del 25% delle campate ha una lunghezza compresa nell'**intervallo 30-35 m**

0. OPERE D'ARTE DELLA RETE IN CONCESSIONE AD ASPI

Esposizione

Come chiarito dalle **LG20** al §4.2.3 «la stima del livello di esposizione è basata sui dati di traffico relativi alla rete stradale di interesse, in termini di **frequenza dei veicoli transitanti**, oltre che su fattori legati alla capacità della rete di fronteggiare situazioni impreviste, ossia alla sua **resilienza**».

Il parametro primario da considerare è quindi il Livello di Traffico Giornaliero Medio (**TGM**) ossia il numero medio di veicoli transitanti in un giorno sull'intera larghezza di carreggiata.

Classe	Definizione LG20 (Tabella 4.7)	% Opere ASPI
ALTA	≥ 25k veicoli/giorno	36%
MEDIA	10k < veicoli/giorno < 25k	59%
BASSA	≤ 10k veicoli/giorno	5%



1. APPLICAZIONE DELLE LINEE GUIDA DEL C.S.LL.PP. DEL 2020

Evoluzione cronologica quadro normativo e di indirizzo per le opere d'arte esistenti

2018

- **NTC 2018**

Il §8 disciplina la valutazione della sicurezza e la progettazione, esecuzione e collaudo degli interventi sulle costruzioni esistenti.

- **CIRCOLARE 2019**

Al §C8.8 fornisce specifiche indicazioni per le opere d'arte esistenti, chiarendo che «gli esiti delle verifiche devono permettere di stabilire quali provvedimenti adottare affinché l'uso della struttura possa essere conforme ai criteri di sicurezza delle NTC ed alle norme funzionali e di sicurezza dell'esercizio.

- **INIZIATIVA ASPI** "Metodologia per l'analisi di transitabilità di ponti e viadotti esistenti" a firma di autorevoli docenti universitari.

- **Linee Guida di indirizzo per il monitoraggio e la manutenzione dei viadotti autostradali emesse in data 08/08/2019**, della UIT di Roma (Unità Ispettiva Territoriale).

- Il CSLP approva con parere 88/2019 del **17/04/2020** le LG per ponti e viadotti esistenti. Dal sito del MIMS:

*"Da subito le linee guida costituiranno, inoltre, il riferimento per l'adozione, da parte di **ANAS** e dei **concessionari autostradali**, delle azioni da porre in essere in ordine all'approfondimento e alla frequenza delle ispezioni, alla programmazione temporale degli interventi nonché agli eventuali provvedimenti di limitazioni del traffico."*

- In attuazione del DL 109 del 28.9.18, convertito dalla Legge 130 del 16.11.18, Il Ministro delle infrastrutture emana il **DECRETO n. 578 del 17/12/2020** che rende cogenti le LG del CSLLPP per Anas e i concessionari autostradali, considerando che *«Le Linee guida adottate dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici con parere n. 88/2019 sono esaustive sotto il profilo della metodologia e degli obiettivi fissati dal legislatore, e che, pertanto, i contenuti delle stesse possono essere utilmente riprese, **seppure con le necessarie modifiche**, relativamente al limitato ambito applicativo concernente, ai fini del presente decreto, esclusivamente ponti, viadotti, rilevati, cavalcavia e opere similari, esistenti lungo strade statali o autostrade gestite da Anas S.p.A. o da concessionari autostradali"*

- **SPERIMENTAZIONE COORDINATA DAL CONSORZIO RELUIS**

In attuazione del DL 109 del 28.9.18, al termine del periodo di sperimentazione, della durata di 24 mesi, gli adeguamenti alle linee guida sono approvati con **nuovo Decreto del MIMS** (c.3, art.14).

2022

1. APPLICAZIONE DELLE LINEE GUIDA DEL C.S.LL.PP. DEL 2020

Evoluzione riferimenti verifiche di sicurezza per opere d'arte esistenti

LG20

	2018	2019	2020
	NTC18	LG MiMS	LG20
Approccio metodologico di verifica	Metodo semiprobabilistico agli SL	Metodo semiprobabilistico agli SL	Metodo semiprobabilistico agli SL con introduzione del parametro « vita di riferimento » (T_{ref})
Azioni variabili da traffico	Valori caratteristici con $T_R=1000$ anni	Carichi NTC18	Carichi NTC18 + Carichi da Codice della Strada
Fattori parziali di sicurezza (Azioni e Materiali)	Stessi delle nuove costruzioni (ad eccezione dei carichi permanenti in presenza di accurato rilievo geometrico-strutturale)	Approccio <i>fib80</i> solo lato azioni ($\gamma=1,20$ tarato per luci di circa 35-40m e vita di riferimento di 25-30 anni)	Approccio <i>fib80</i> sia lato azioni sia lato resistenze dei materiali
Livello di conoscenza (LC)	Non obbligatorietà di LC3 per ponti (v. Circolare 2019)	Richiesto LC3	LC calibrato in funzione del livello di verifica (LC3 obbligatorio su <i>elementi critici</i>)

1. APPLICAZIONE DELLE LINEE GUIDA DEL C.S.LL.PP. DEL 2020

Approccio multilivello LG20

LG20

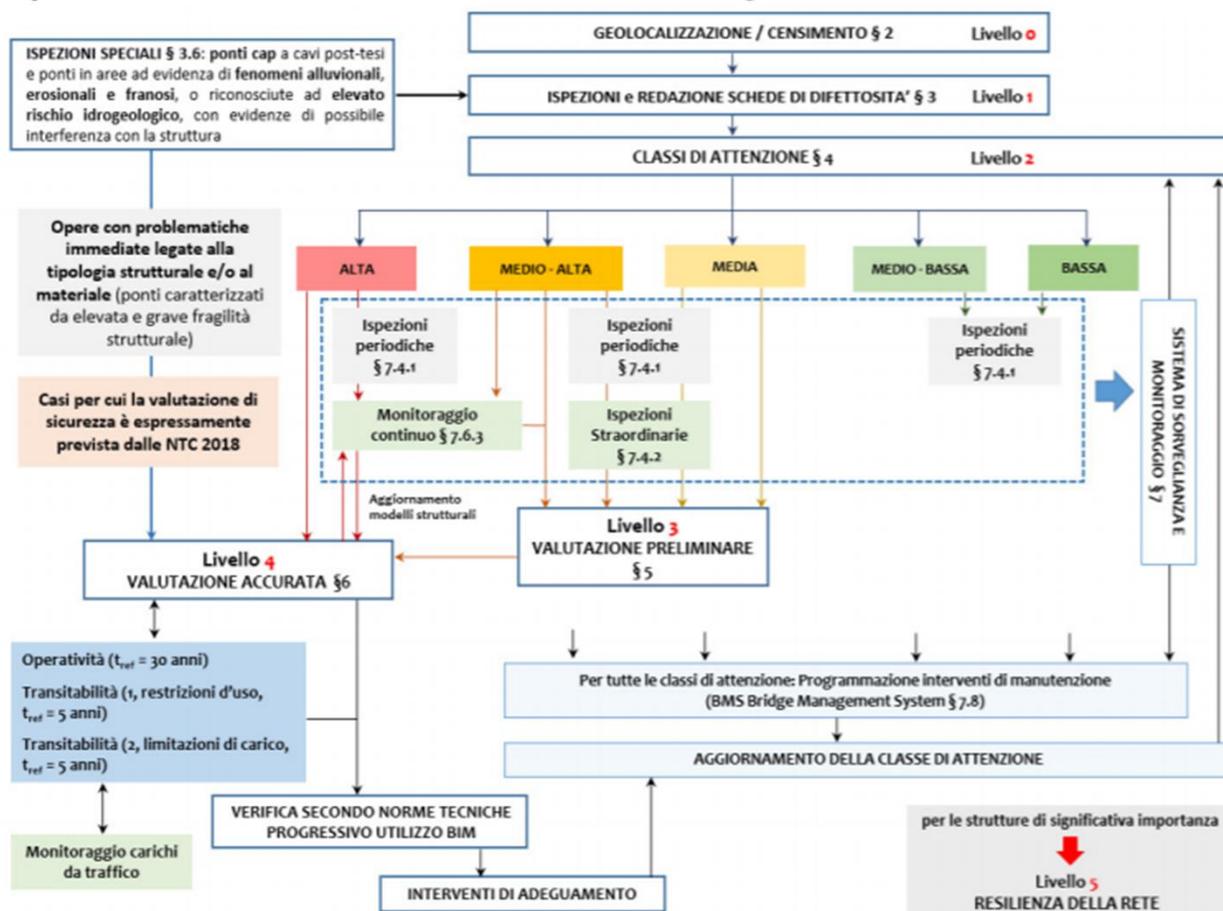


Figura 1.1 – Approccio multilivello e relazioni tra i livelli di analisi

Livello 0



ASPI, già prima dell'emissione delle LG20, ha geolocalizzato e censito tutte le opere d'arte della rete in concessione.

Livello 1



ASPI sottopone a sorveglianza le opere d'arte della rete in concessione eseguendo ispezioni ordinarie con periodicità trimestrale e approfondite con periodicità annuale, in linea con i riferimenti normativi (Circolare 1967, Circolare 1991). Gli esiti della sorveglianza sono regolarmente caricati con cadenza trimestrale sulla banca dati AINOP.

Livello 2



ASPI ha completato la valutazione delle CdA delle ≈2000 opere con campate di luce > 10 m. La valutazione ha riguardato il calcolo della CdA Strutturale e Fondazionale e della CdA Sismica.

Livello 3



Le verifiche hanno interessato circa 800 opere con degradi non classificati di rilevanza strutturale dagli ispettori, assoggettandole a una Valutazione Preliminare della Sicurezza (detta VPS) intermedia tra il livello 3 e il livello 4 delle LG20). La VPS, simile alla VAL4 ma basata su una limitata conoscenza dei materiali e focalizzata sulle sezioni con degradi, vuole:

Livello 4



- determinare, quantificandola, l'influenza dei degradi sulla capacità dell'opera.
- attivare, in caso di esito negativo, le ulteriori verifiche per le condizioni di operatività e transitabilità previste dalle LG20

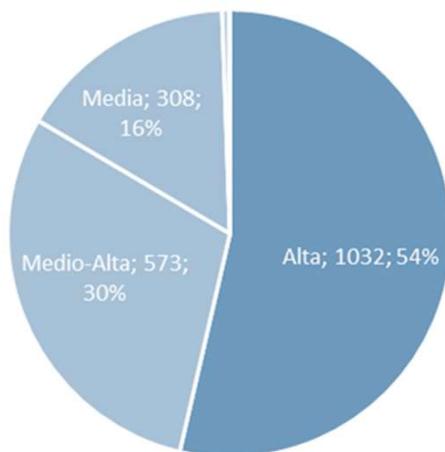
Le verifiche di livello 4 derivano dagli esiti del livello 3 oltre che da situazioni di evidente deficit per degrado.

1. APPLICAZIONE DELLE LINEE GUIDA DEL C.S.LL.PP. DEL 2020

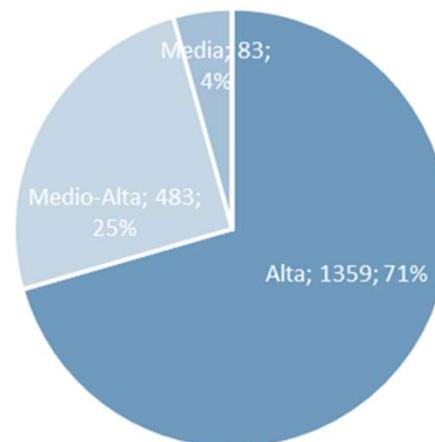
Valutazione delle Classi di Attenzione (CdA)

ASPI ha completato la valutazione delle **CdA** delle ~ **2000** opere con campate di luce > 10 m. La valutazione ha riguardato il calcolo della **CdA Strutturale e Fondazionale** e della **CdA Sismica**.

Sulla base dei dati ad oggi elaborati si ha il seguente quadro:



Strutturale e Fondazionale (1924 opere)		
CdA	# Opere	(%)
Alta	1032	53,6%
Medio – Alta	573	29,8%
Media	308	16,0%
Medio-Bassa	10	0,5%
Bassa	1	0,1%



Sismica (1926 opere)		
CdA	# Opere	(%)
Alta	1359	70,6%
Medio – Alta	483	25,1%
Media	83	4,3%
Media – Bassa	1	0,1%
Bassa	0	0,0%

La **CdA** strutturale e fondazionale è quella che, alla luce delle regole di combinazione previste dalle **LG20** (§ 4.6), fotografa meglio la distribuzione dei risultati nelle varie classi.

In definitiva più dell'80% delle opere delle rete risultano in CdA Alta e Medio alta e necessitano pertanto di essere verificate.

In tale perimetro non rientrano solo le opere che presentano classe di degrado alto, ma il risultato è spesso influenzato dalla esposizione.



Più dell'80% delle opere delle rete risultano in CdA ALTA e MEDIO ALTA e necessitano pertanto di essere verificate

2. TRASFORMAZIONE DIGITALE ASSET MANAGEMENT

ARGO: Nuovo sistema Integrato per la gestione asset



Consolidare

le informazioni e le competenze acquisite in oltre 30 anni di gestione dell'infrastruttura



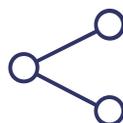
Innovare

gli strumenti a disposizione, introducendo tecnologie e mezzi all'avanguardia



Incrementare

le capacità operative delle figure che gestiscono gli asset della rete in gestione

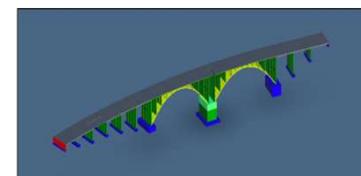


Condividere

e garantire in totale trasparenza la tracciabilità delle informazioni con gli stakeholders



Un sistema **innovativo, integrato e certificato** basato sulla piattaforma **IBM Maximo** in grado di integrare il processo di ispezione, il monitoraggio strutturale e la manutenzione



Raccolta e Gestione continua dei dati dell'asset per intercettare **potenziali criticità**



2. TRASFORMAZIONE DIGITALE ASSET MANAGEMENT

ARGO: Nuovo sistema Integrato per la gestione asset

Inventario digitale

Processo di
ispezione

Monitoraggio and
IoT

Digital Twin



Gestione del **patrimonio informativo** degli asset della rete (ponti, gallerie, ..)



Digitalizzazione del **processo di ispezione** attraverso l'utilizzo di un'app mobile sviluppata ad hoc



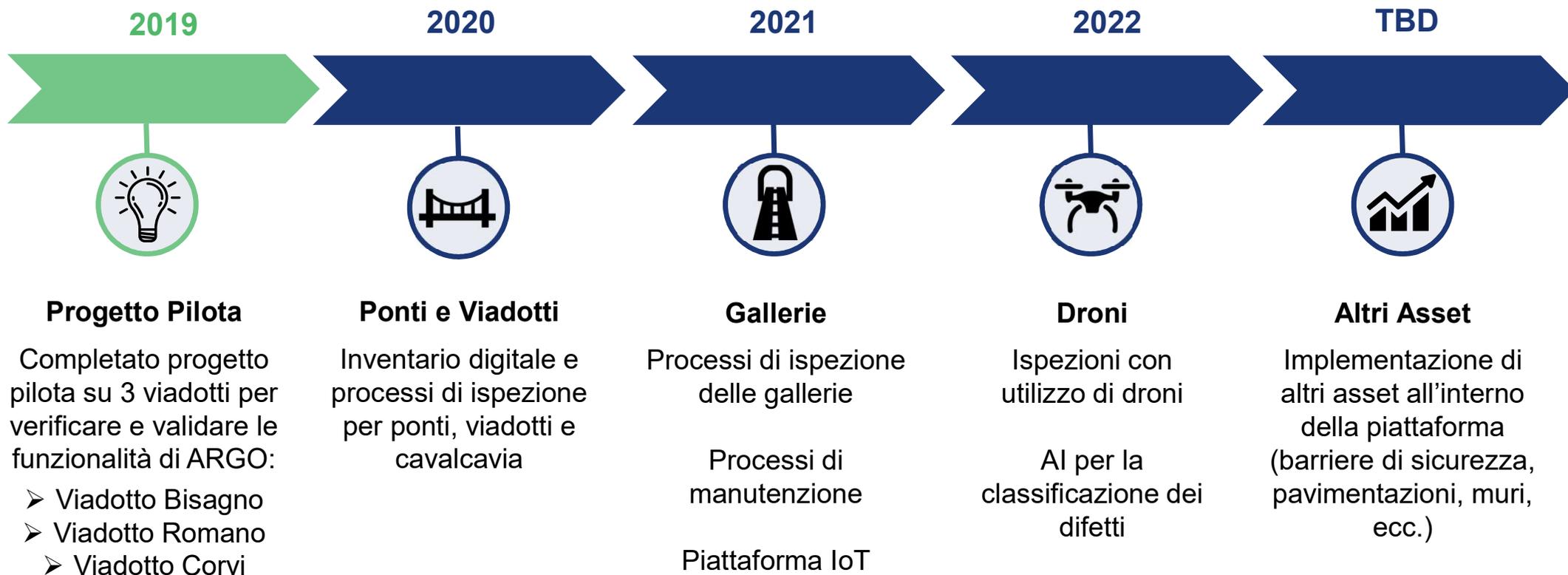
Rilevamento automatico dei dati da **sensori** basati sul **paradigma IoT**



Utilizzo di Lidar, droni e fotogrammetria per ottenere un **gemello digitale dell'asset**

2. TRASFORMAZIONE DIGITALE ASSET MANAGEMENT

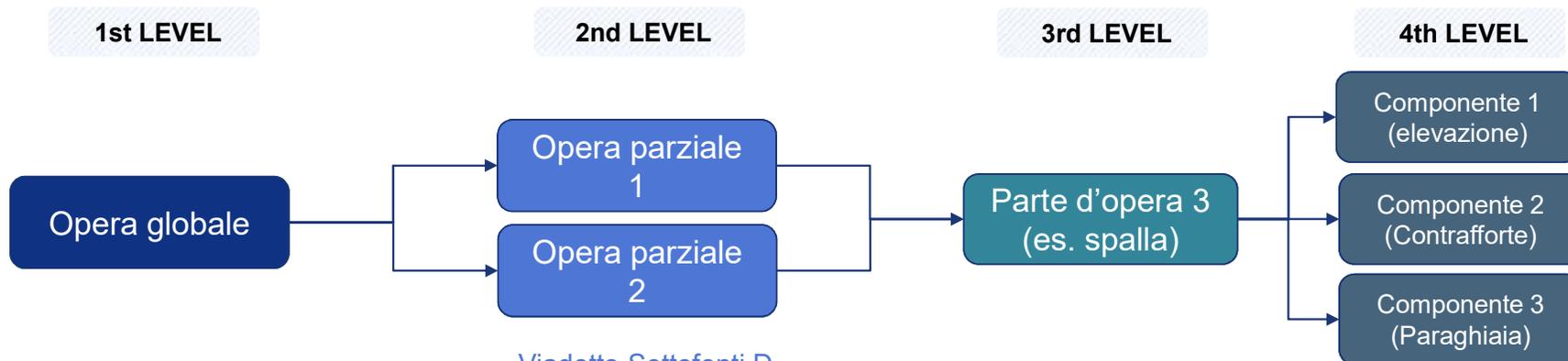
ARGO: Roadmap



2. TRASFORMAZIONE DIGITALE ASSET MANAGEMENT

ARGO: Inventario digitale

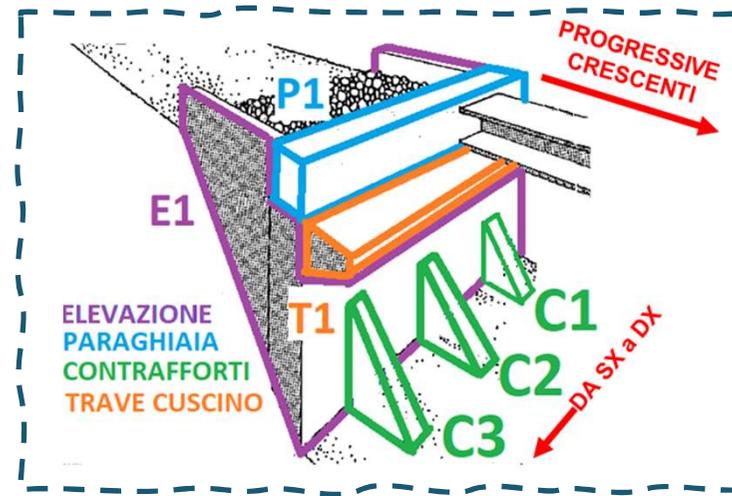
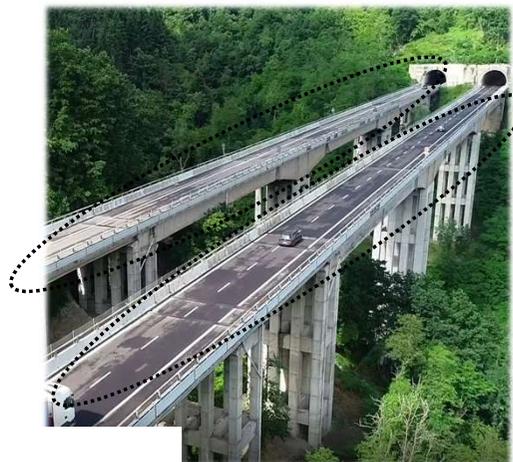
PROGETTO ARGO



Viadotto Settefonti

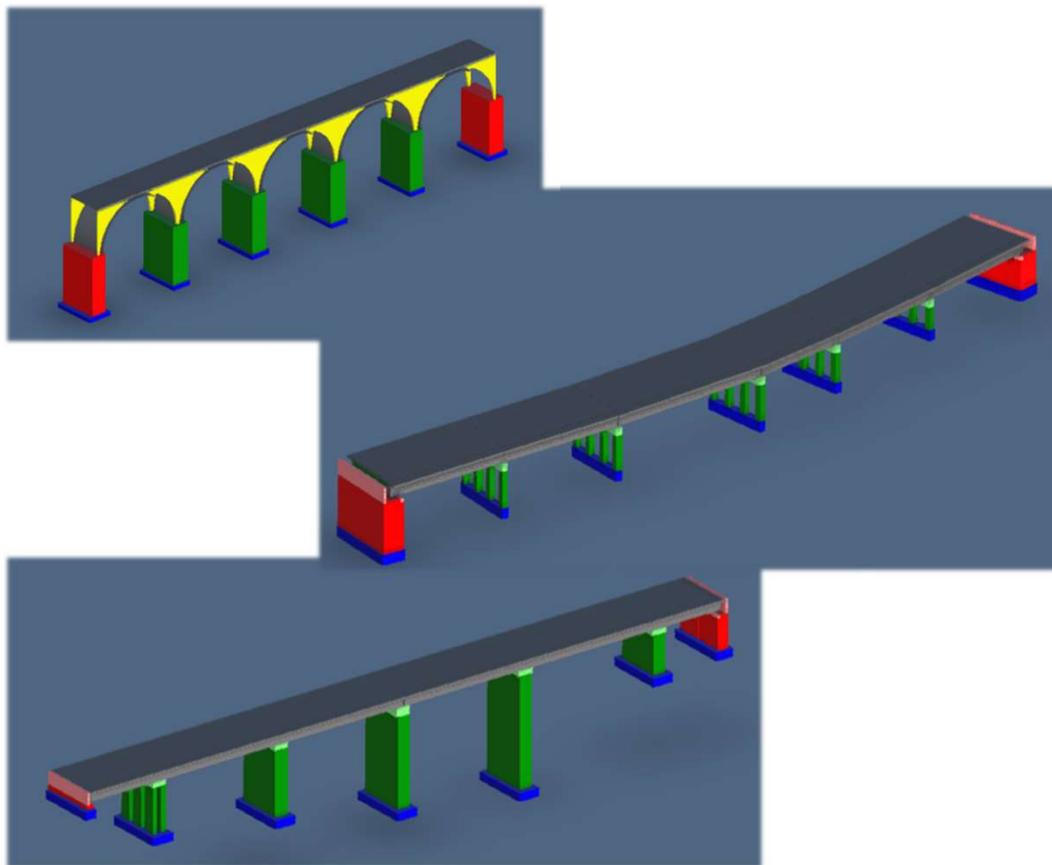
Viadotto Settefonti D

Viadotto Settefonti S



2. TRASFORMAZIONE DIGITALE ASSET MANAGEMENT

ARGO+: BIM semplificato



- Il sistema genera il modello di **BIM semplificato dell'infrastruttura** e lo integra con i dati morfologici dell'asset. Ispezione e manutenzione possono essere pianificate **conservando la storia degli interventi precedenti e delle operazioni di manutenzione** (effettuate e pianificate)
- I difetti saranno corredati del patrimonio informativo in una **rappresentazione analitica e sintetica**, attraverso fotografie, indicatori di estensione e gravità, etc. mostrando le parti d'opera verificate, le anomalie riscontrate, il tempo impiegato, dell'ispettore incaricato
- Il sistema è accessibile attraverso **pc, smartphone e tablet** e tutte le attività sono effettuate sotto un unico processo autorizzativo utilizzando un workflow coerente con le responsabilità assegnate dal concessionario.
- Nello svolgimento della manutenzione, vengono acquisite informazioni su stato dell'asset all'inizio e alla fine dell'intervento, operazioni eseguite, materiali utilizzati, tempo impiegato, eventuali raccomandazioni future

2. TRASFORMAZIONE DIGITALE ASSET MANAGEMENT

ARGO: Pillola video



2. TRASFORMAZIONE DIGITALE ASSET MANAGEMENT

ARGO+: Monitoraggio strutturale

Le ispezioni visive consentono di osservare l'**effetto** di un **degrado/danneggiamento**

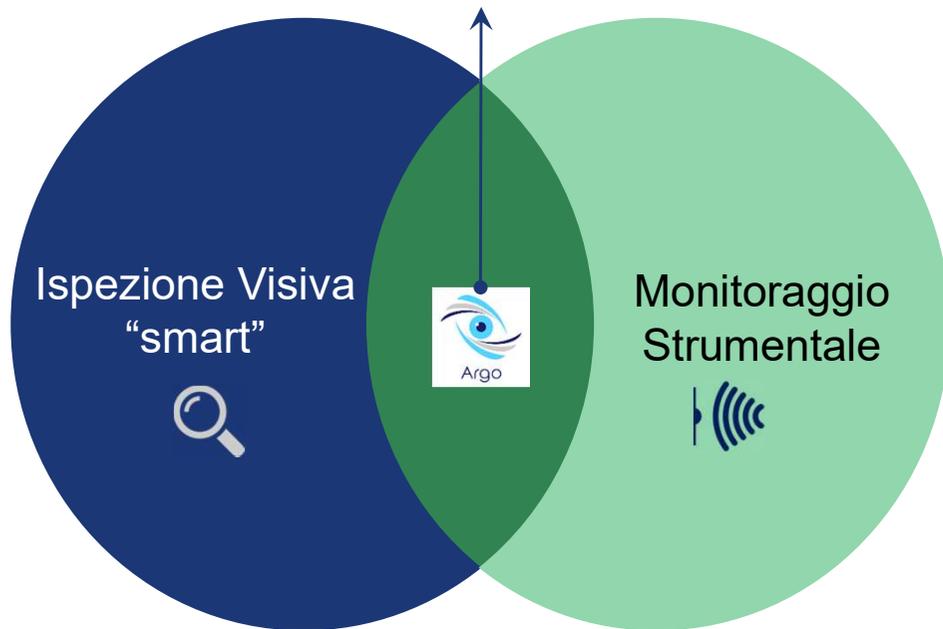
Le ispezioni visive sono attualmente previste dalla **normativa vigente**, che prevede un'ispezione trimestrale e un'ispezione annuale

Le ispezioni visive permettono di rilevare sulla struttura **fenomeni di degrado** che si manifestano in maniera **evidente** sulla superficie dell'opera e che non necessariamente implicano una variazione del comportamento

Le ispezioni visive possono essere rese più **efficienti e oggettive** attraverso l'utilizzo di **droni**, dell'innovativa **piattaforma ARGO** e di un **gemello digitale** dell'opera

Manutenzione preventiva e predittiva

- **Integrazione dati di monitoraggio e ispezioni visive**
- **Correlazione di tutte le informazioni relative all'opera** (dati storici, geometria..) e alle **altre opere della rete**



Il sistema di monitoraggio consente di **analizzare in continuo** il **comportamento** della struttura attraverso la misura di **parametri strutturali** rilevati da **sensori**

Il monitoraggio strumentale può consentire di individuare **variazioni nel comportamento** dell'opera, non sempre facilmente riscontrabili con ispezione visiva

Il monitoraggio garantisce valutazioni basate su parametri misurabili e oggettivi

Il monitoraggio può permettere una valutazione della vita residua tramite la costruzione di curve di lifetime (integrando le informazioni dello stato «0»)

2. TRASFORMAZIONE DIGITALE ASSET MANAGEMENT

ARGO+: Droni, Intelligenza Artificiale e Digital Twin per ottimizzare i processi di ispezione



Principali vantaggi



Questa tecnologia permette di effettuare **ispezioni completamente replicabili negli anni**, con un output misurabile



È possibile raccogliere **immagini ad alta definizione** di componenti della struttura difficili da raggiungere e applicare **l'intelligenza artificiale per supportare gli ispettori**



È possibile osservare e misurare **l'evoluzione nel tempo** di difetti e anomalie



Potrebbe essere possibile (se consentito dalle norme vigenti) effettuare **ispezioni a distanza**, senza impatti su traffico, operazioni con un livello di sicurezza più elevato

2. TRASFORMAZIONE DIGITALE ASSET MANAGEMENT

ARGO+: Droni, Intelligenza Artificiale e Digital Twin per ottimizzare i processi di ispezione

DIGITAL TWIN

- Digital twin da point cloud ed immagini, completamente integrato con l'inventario digitale

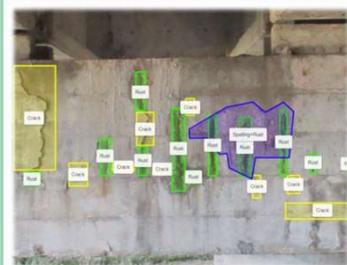


POINT CLOUD

- La nuvola di punti del ponte è ottenuta utilizzando lidar terrestri e drone con lidar



AI-DAMAGE DETECTION



- Algoritmi AI applicati alle immagini per identificare e classificare i difetti
- Supporto per ispezioni visive

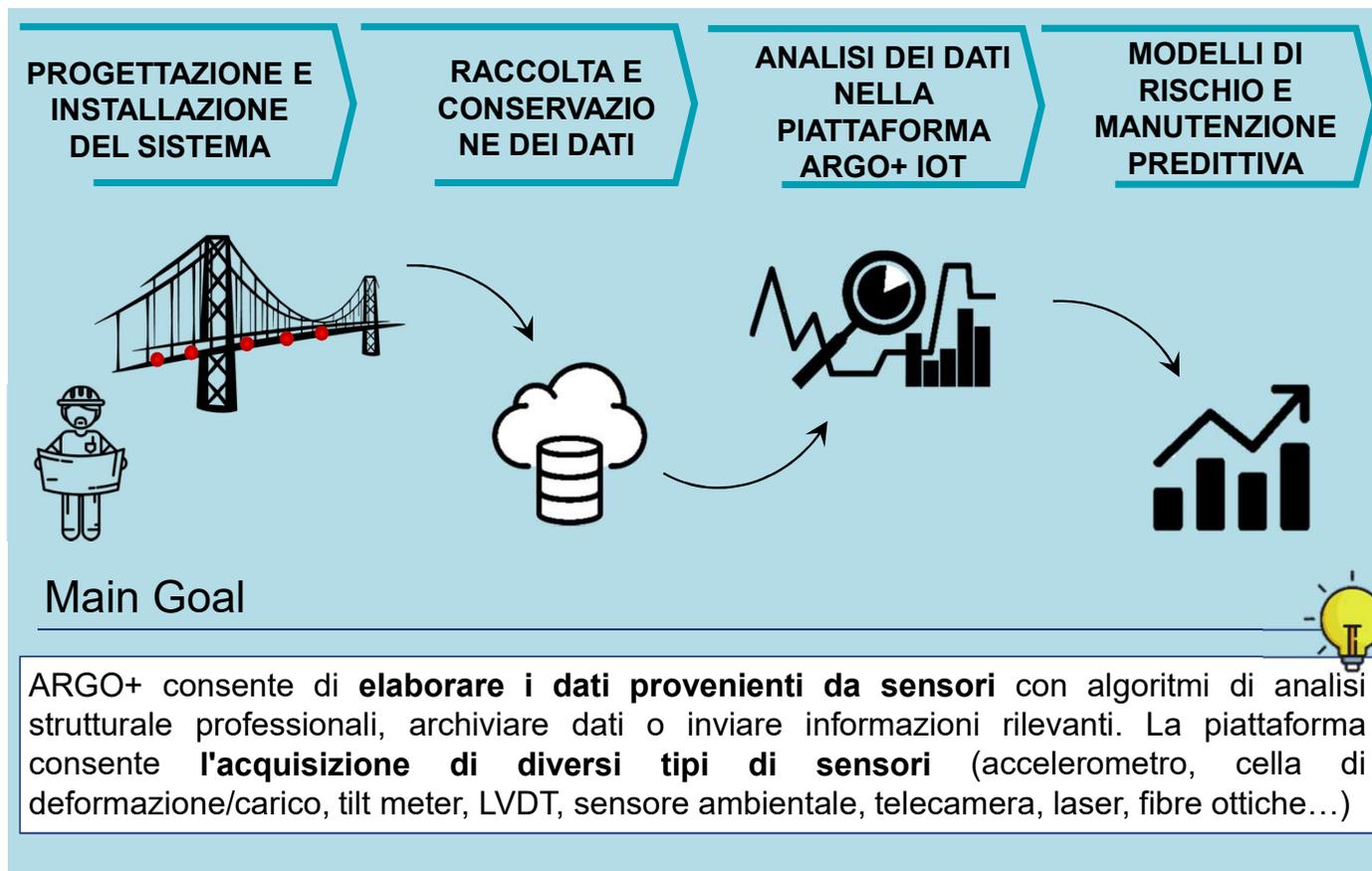
FOTO ALTA DEFINIZIONE

- Immagini georeferenziate della struttura di alta qualità



2. TRASFORMAZIONE DIGITALE ASSET MANAGEMENT

ARGO+: Monitoraggio strutturale



Principali obiettivi



Sicurezza strutturale sia in condizioni **ordinarie** che **eccezionali** (eventi naturali e/o antropici)



Ottimizzazione dei processi di manutenzione e valutazione dell'efficacia degli interventi di adeguamento



Soluzione completa hardware-software per il **monitoraggio strutturale**



Conoscenza in tempo reale dello stato di salute delle strutture di rete

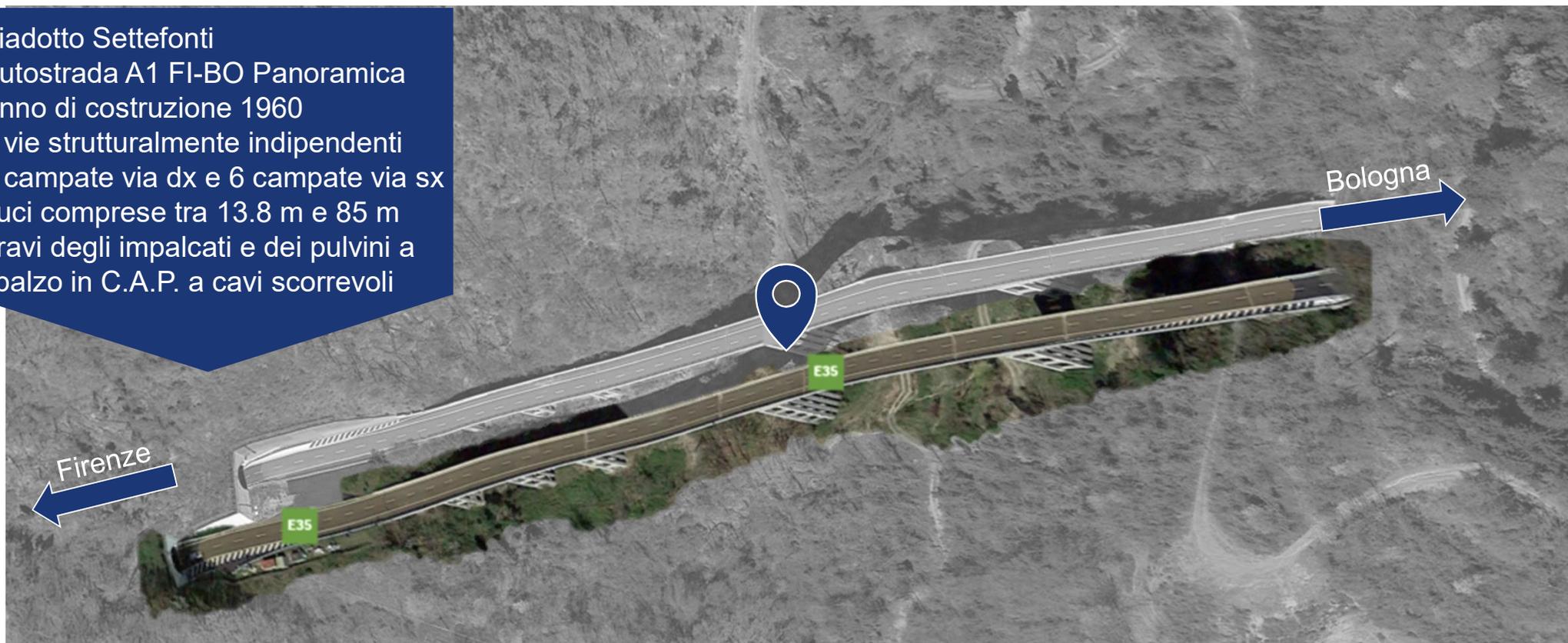


Standardizzazione dei sistemi SHM (tipologia di sensori, algoritmi, criteri di rischio, ..)

3. PROGETTI DI SPERIMENTAZIONE E RAPPORTI CON LE UNIVERSITA'

ARGO+: Progetti di Ricerca e Sperimentazione – Viadotto Settefonti

Viadotto Settefonti
Autostrada A1 FI-BO Panoramica
Anno di costruzione 1960
2 vie strutturalmente indipendenti
7 campate via dx e 6 campate via sx
Luci comprese tra 13.8 m e 85 m
Travi degli impalcati e dei pulvini a sbalzo in C.A.P. a cavi scorrevoli



3. PROGETTI DI SPERIMENTAZIONE E RAPPORTI CON LE UNIVERSITA'

ARGO+: Viadotto Settefonti – Obiettivi del progetto

a.

Identificare e confrontare tra loro diversi **metodi di monitoraggio** e **tecnologie** per individuare le più adatte ad essere applicate su un numero più elevato di opere

b.

Sviluppare e validare gli **algoritmi** da utilizzare per l'**analisi dei dati** provenienti dal sistema di monitoraggio

c.

Analisi di sensitività per valutare la variazione dei parametri di riferimento al variare della tipologia, estensione, posizione e entità del danneggiamento, al fine di identificare i parametri maggiormente rappresentativi di condizioni di danno

d.

Sviluppo di Sistemi di Supporto alle Decisioni **data-based**, per l'individuazione di anomalie sulla base di sistemi di monitoraggio

e.

Analisi del comportamento dell'opera per capire fino a che punto sia possibile spingere la riduzione dei sensori senza perdere le informazioni essenziali per la sicurezza della struttura

f.

Identificare le **caratteristiche tecniche minime** (accuratezza, precisione, sincronizzazione...) dei sensori da utilizzare su un numero più elevato di opere

g.

Caratterizzare le **influenze ambientali** sull'opera e sugli strumenti di misura



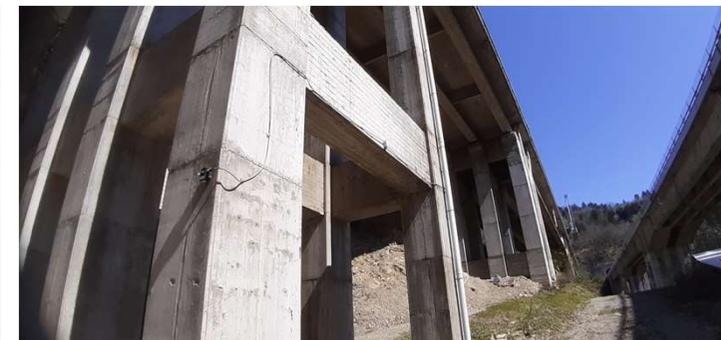
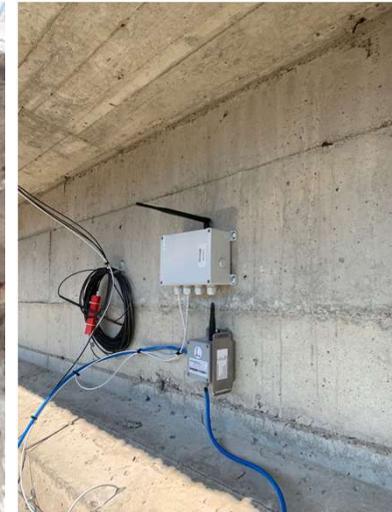
3. PROGETTI DI SPERIMENTAZIONE E RAPPORTI CON LE UNIVERSITA'

ARGO+: Viadotto Settefonti – Sensoristica

Sensori Installati – Misure DINAMICHE

Comportamento vibrazionale, sismico e durante il transito di un carico mobile

- **ESTENSIMETRI** su selle Gerber per **apertura giunti e spostamenti relativi** per sisma
- **STRAIN GAUGES** per misura di **deformazioni** in mezzeria della campata e nel capitello
- **STRAIN GAUGES ottici** per la misura delle **deformazioni per taglio** agli appoggi
- **ACCELEROMETRI** per accelerazioni in esercizio
- **ACCELEROMETRI** per misure vibrazionali ad alta frequenza per **sisma**



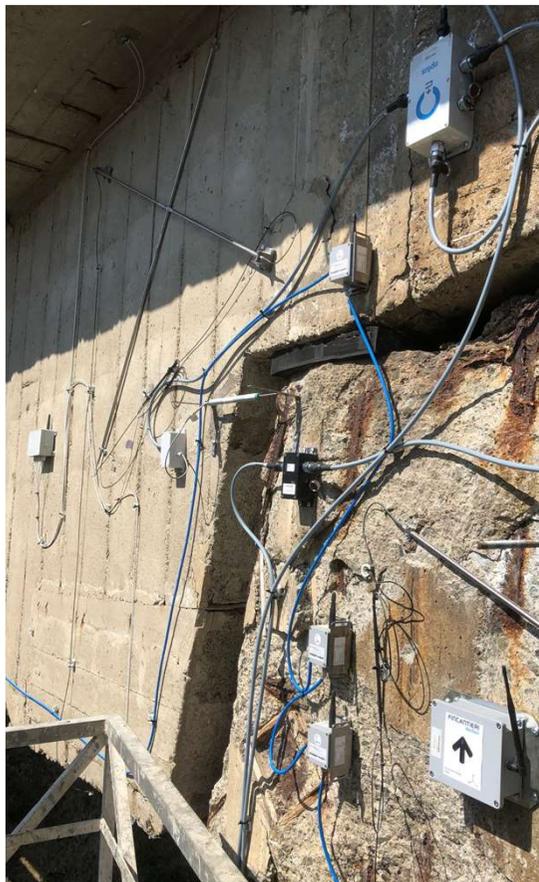
3. PROGETTI DI SPERIMENTAZIONE E RAPPORTI CON LE UNIVERSITA'

ARGO+: Viadotto Settefonti – Sensoristica

Sensori Installati – Misure STATICHE

Comportamento di lungo periodo

- **PRISMI OTTICI** e stazioni totali per la misura degli **spostamenti**
- **INCLINOMETRI** triassiali per la misura di **distorsione** di spalle, pile e impalcato
- **ESTENSIMETRI** su selle Gerber per **apertura dei giunti**
- **STRAIN GAUGES** per misura di deformazioni in mezzeria della campata e nel capitello
- **STRAIN GAUGES** ottici per la misura delle **deformazioni** per taglio agli appoggi
- **CELLE DI CARICO** su barre Dywidag per la misura della tensione e relative perdite
- **FESSURIMETRI** in corrispondenza di fessure per monitorare eventuale loro propagazione
- **TERMORESISTENZE** per temperatura



3. PROGETTI DI SPERIMENTAZIONE E RAPPORTI CON LE UNIVERSITA'

ARGO+: Viadotto Settefonti – Modelli FEM

- | | | |
|----------|---|--|
| 1 | Verifica manuale
singola trave | <p>Verifica manuale di una singola trave e confronto delle tensioni ad intradosso ed estradosso trave con i valori di tensione riportati nella relazione di calcolo originale del viadotto.</p> |
| 2 | Modello FEM
singola trave | <p>Modello F.E.M. della singola trave attraverso elementi solidi 3D. I risultati ottenuti in questa fase vengono confrontati con la verifica manuale al fine di validare il modello F.E.M. e le scelte di modellazione.</p> |
| 3 | Modello FEM intero
impalcato | <p>Modello F.E.M. dell'intero impalcato attraverso elementi solidi 3D. Aggiornamento del modello sulla base dei dati di monitoraggio (model updating)</p> |
| 4 | Modello FEM intera
opera | <p>Modello F.E.M. dell'intera opera attraverso elementi piani 2D. Aggiornamento del modello sulla base dei dati di monitoraggio (model updating)</p> |
| 6 | Simulazione
scenari di danno | <p>Simulazione di diversi scenari di danno, variando estensione, posizione e entità del danneggiamento sui 3 diversi modelli FEM</p> |
| 7 | Valutazione
variazioni param | <p>Valutazione delle variazioni registrate dai principali parametri di riferimento nei diversi scenari di danno (sia sotto carico che come valori residui)</p> |
| 8 | Ottimizzazione
layout sistema | <p>Valutazione della posizione, numero, caratteristiche, tipologia di sensori per monitorare in maniera «ottimizzata» l'opera</p> |

