

Smart Infrastructures: le infrastrutture italiane tra sfide e innovazione

# Focus sui sistemi di monitoraggio delle infrastrutture

ing. Luca Marella  
Tim Enterprise/Olivetti

# Focus sui sistemi di monitoraggio delle infrastrutture

## INDICE

- 01 Pillole di storia nella trasformazione digitale
- 02 La convergenza tecnologica
- 03 Monitoraggio Strutturale SHM
- 04 Tecnologie per la Manutenzione Predittiva
- 05 Monitoraggio del Ciclo Idrico Integrato
- 06 Monitoraggio delle reti elettriche

# 01 Pillole di storia nella trasformazione digitale

# Smart Infrastructures: tappe fondamentali

## 1960s

### Nascita dei primi sistemi SCADA

Primi sistemi di telemetria per monitorare oleodotti e reti elettriche. La **Westinghouse** crea il sistema **PRODAC**, la **General Electric** crea il sistema **GETAC**, entrambi basati su mainframe.

## 1968

### Invenzione del PLC

Su richiesta della General Motors Dick Morley, della Bedford Associates, crea il Modicon 084 (MOdular Dlgital CONtroller). Era il primo PLC (*Programmable Logic Controller*) della storia che sostituisce la logica a relè elettro-meccanica

## 1970s

### Sviluppo dei microprocessori

Federico Faggin progetta il microprocessore Intel 4004 a 4 bit e 0,74 MHz, il primo microprocessore commerciale al mondo. Dopo aver lasciato Intel, fondò la Zilog e creò lo Z80, uno dei microprocessori più famosi e venduti della storia (usato nel Game Boy, nel Sega Master System e in moltissimi computer degli anni '80).

## 1980s

### Sviluppo del protocollo Modbus

Diventa lo standard de facto per la comunicazione industriale.

## 1990s

### Networking su Ethernet

I sistemi di controllo iniziano a utilizzare le reti aziendali e il web.

## 2006

### Nascita del paradigma IoT

Inizia la diffusione di sensori economici a basso consumo e connessi a Internet

## 2011

### Industria 4.0

Viene presentato il concetto di Smart Factory alla Fiera di Hannover da un gruppo di lavoro composto da esperti del mondo accademico e industriale tedesco.

## 2020s

### Artificial Intelligence e Digital Twin

Utilizzo della AI per la manutenzione predittiva e la creazione dei Digital Twin

# Smart Infrastructures: dalle origini ad oggi

Le Origini:  
Segnali Pneumatici e  
Meccanici

1920 - 1950

Prima dell'elettronica, il controllo avveniva tramite collegamenti fisici diretti.

- Pneumatica:**  
I sensori inviavano segnali di pressione d'aria attraverso piccoli tubi verso indicatori a lancetta.

- Limiti:**  
La distanza era limitata (poche decine di metri) e la manutenzione era complessa a causa di perdite d'aria e accumulo di condensa.

L'avvento della  
Elettronica  
e dei sistemi SCADA

1960 - 1980

Con l'avvento dei transistor e dei primi computer, nasce il concetto di **SCADA** (*Supervisory Control and Data Acquisition*).

- Monitoraggio Centralizzato:**  
Per la prima volta, i dati potevano essere trasmessi a lunghe distanze tramite segnali elettrici (4-20 mA) e successivamente protocolli seriali.

**I PLC (1968):**  
L'introduzione del Controllore Logico Programmabile ha permesso di automatizzare i processi locali, inviando solo i dati essenziali al centro di controllo.

L'era della  
Integrazione  
in Rete e dei DCS

1990 - 2010

I sistemi passano da architetture chiuse (monolitiche) a sistemi aperti e connessi su reti LAN e WAN.

- DCS (Distributed Control Systems):**  
La logica di controllo viene distribuita su più nodi, aumentando l'affidabilità.
- Standardizzazione:**  
Emergono protocolli universali come il Modbus e il TCP/IP, permettendo a componenti di produttori diversi di comunicare tra loro.

La Rivoluzione IoT e  
l'Industria 4.0

OGGI

L'integrazione dell'**Internet of Things (IoT)** ha segnato il passaggio dal monitoraggio reattivo a quello intelligente.

- Cloud Computing:**  
I dati non restano più confinati in un server locale, ma vengono memorizzati ed elaborati nel Cloud per analisi storiche massive.

- Edge Computing:**  
L'intelligenza viene spostata vicino al sensore per elaborare i dati in tempo reale prima di inviarli.

# Smart Infrastructures: pillole di storia (1/6)

1965

## Olivetti P101 Programma 101 (la Perrottina)

...quando Olivetti inventò il personal computer

- design 1962/1964
- produzione 1965/1971

Eposta al MoMa di New York  
Museum of Modern Art

**olivetti**



# Smart Infrastructures: pillole di storia (2/6)

## Perché la P101 era rivoluzionaria?

Prima della "Perottina" (dal nome del suo inventore ing. Pier Giorgio Perotto), i computer erano enormi armadi chiusi in stanze climatizzate, gestiti da tecnici in camice bianco.

La Programma 101 introdusse nel 1965 concetti che oggi diamo per scontati.

### Dimensioni da scrivania

Poteva stare nell'ufficio di un ingegnere o di un contabile.

### Semplicità di uso

Non servivano linguaggi complessi come il Fortran; la logica era accessibile anche a non esperti.

### Memoria di Massa portatile

L'uso della banda magnetica per salvare e caricare programmi (l'antenato del floppy disk).

# Smart Infrastructures: pillole di storia (3/6)

1968

## Hewlett-Packard HP 9100A

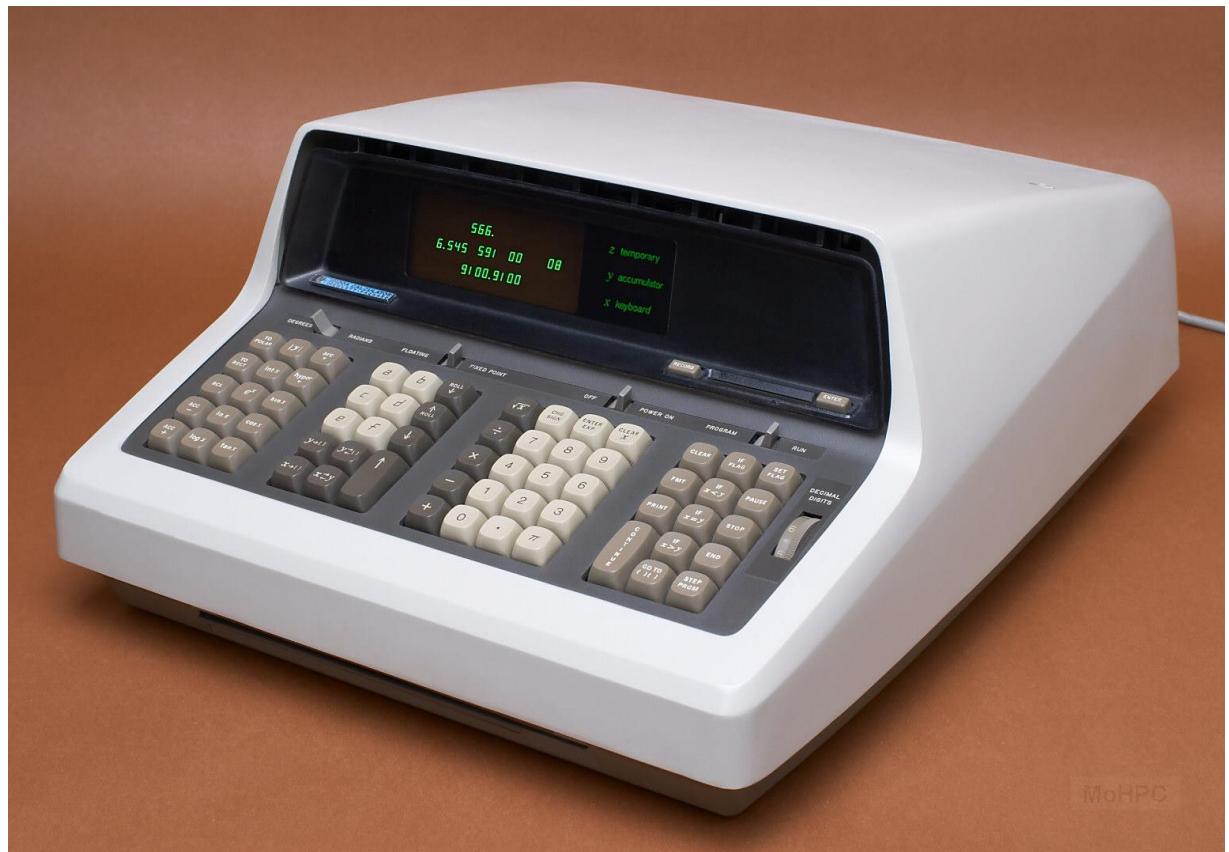
Il dispositivo che segnò l'ingresso di HP nel mondo del calcolo programmabile da tavolo.

### Dispositivo copiato dalla Olivetti P101.

L'influenza della "Programma 101" di Olivetti è evidente sia nelle dimensioni compatte per l'epoca, che nella disposizione dei comandi.

Le somiglianze tecniche erano così marcate che Olivetti intentò una causa per violazione di brevetto. HP decise di non andare a processo e accettò di pagare a Olivetti 900.000 dollari di allora (una cifra che oggi corrisponderebbe a circa 8-9 milioni di dollari) a titolo di royalty.

L'infrazione riguardava principalmente il sistema di archiviazione su logica magnetica e l'architettura logica interna che permetteva alla macchina di essere programmabile pur restando sulla scrivania.



MoHPC

## Smart Infrastructures: pillole di storia (4/6)

### 1969 – Missione Apollo 11 - Lo sbarco sulla Luna

- **16 luglio 1969**  
Lancio dal Kennedy Space Center
- **20 luglio 1969**  
Allunaggio del modulo Eagle (in Italia era la notte del 21 luglio)
- **24 luglio 1969**  
Rientro sulla Terra con ammaraggio nell'Oceano Pacifico



La NASA acquistò decine di esemplari della Olivetti P101 per pianificare la missione Apollo 11. Quando l'uomo sbarcò sulla Luna, gran parte dei calcoli balistici e la gestione delle mappe lunari erano stati eseguiti proprio sulle P101.

Gli ingegneri della NASA le preferivano perché permettevano di fare calcoli complessi direttamente sulla scrivania, senza dover "prenotare" tempo macchina sui giganteschi mainframe centrali.

# Smart Infrastructures: pillole di storia (5/6)

1980

## Sinottico Snam

Museo della Scienza  
e della Tecnica di  
Milano



Staer (Studio Tecnico Applicazioni Elettroniche Roma) è una società fondata nel 1953, tra le prime in Italia a realizzare periferiche di telecontrollo. Trasformatasi nel 2008 in Staer Sistemi s.r.l., è entrata nel gruppo Olivetti s.p.a. nel 2021.

# Smart Infrastructures: pillole di storia (6/6)

Quadri di controllo



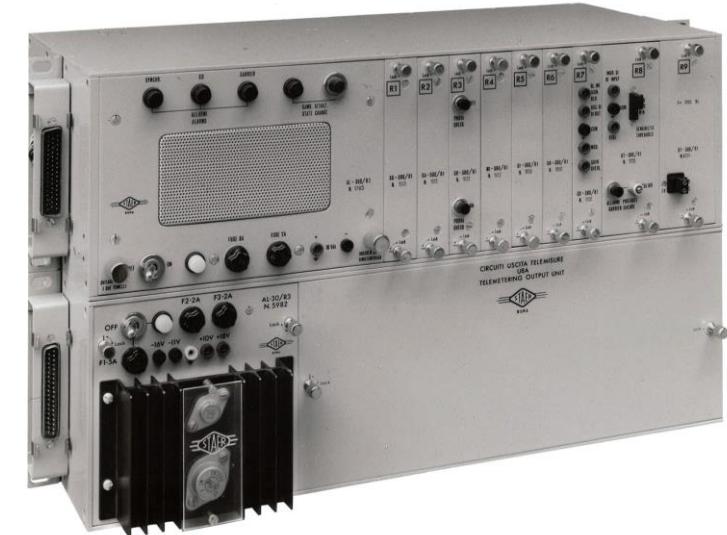
RTU  
Remote Terminal Unit



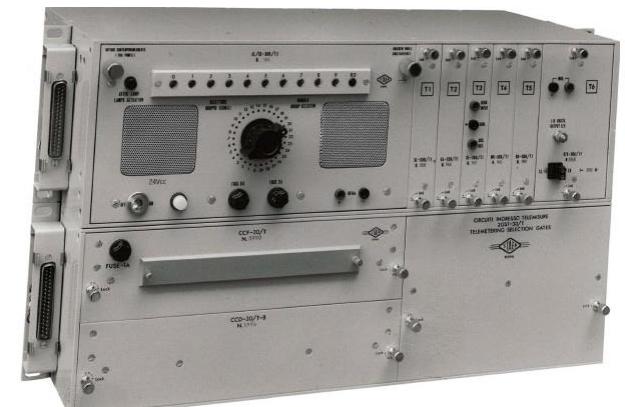
Control Room



RTU  
Remote Terminal Unit



RTU  
Remote Terminal Unit



# Smart Infrastructures: il manifesto della Digital Transformation



***If you went to bed last night as an industrial company,  
you're going to wake up this morning  
as a software and analytics company.***

Jeff Immelt (2014)  
General Electric CEO

## ***...ovvero, la Convergenza tra OT e IT***

La frase di Immelt descrive esattamente la fine del confine tra:

- **OT (Operational Technology)**, e cioè il mondo fisico degli ingranaggi e dei PLC e SCADA tradizionali.
- **IT (Information Technology)**, e cioè il mondo dei bit, del Cloud e dell'Intelligenza Artificiale.

"Svegliarsi come una software company" significa ammettere che un sensore su un ponte o su una condotta idrica è inutile se non è collegato a un algoritmo di **Analytics** capace di trasformare quel segnale elettrico in una decisione economica e/o di sicurezza infrastrutturale.

## 02 La convergenza tecnologica

# Smart Infrastructures: la convergenza tecnologica



I dati non restano più confinati in un server locale, ma vengono memorizzati ed elaborati nel Cloud per analisi storiche massive.

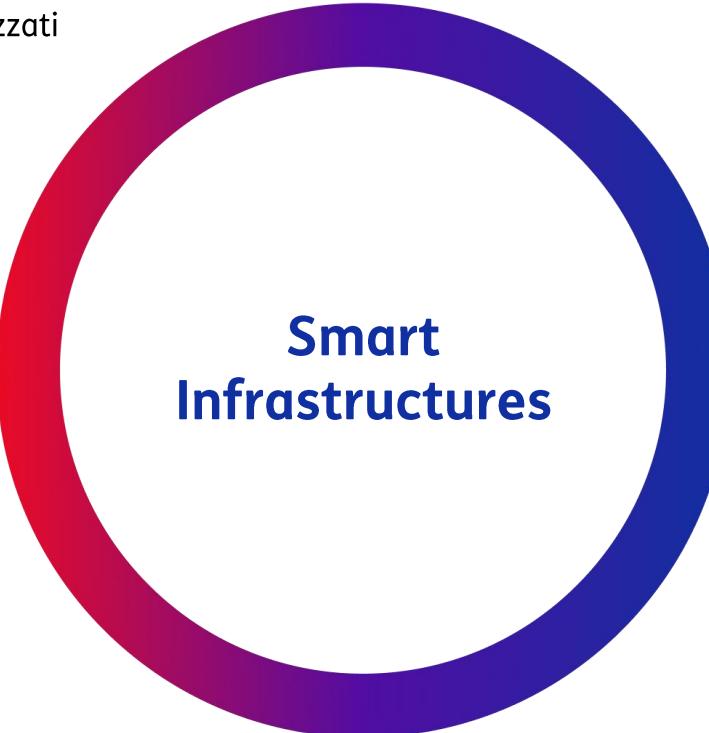


Elaborazione locale dei dati per ridurre la banda (es. un accelerometro che calcola direttamente la FFT invece di inviare il segnale grezzo).



La connettività è il sistema nervoso delle **Smart Infrastructures**.

Con le nuove tecnologie è possibile creare un'architettura di comunicazione resiliente, ibrida e intelligente, capace di operare in ambienti estremi (sottoterra, ad alta tensione o in aree remote).



Protocolli IoT e l'uso di reti LPWAN (LoRaWAN, NB-IoT) per trasmettere dati da luoghi remoti o sotterranei con batterie che durano anni.



## Artificial Intelligence

Il sistema di monitoraggio non si limita più a dire "cosa sta succedendo", ma prevede "cosa succederà". Grazie agli algoritmi di **Deep Learning**, i sistemi analizzano micro-variazioni (vibrazioni, calore, assorbimento elettrico) per identificare un guasto prima che si verifichi, riducendo i fermi impianto.



Essendo infrastrutture critiche, la protezione da attacchi informatici è diventata una priorità trasversale.

# Smart Infrastructures: BIM e DIGITAL TWIN

## BIM

E' la prima fase della creazione di un Modello Digitale. La realtà fisica viene modellata in 3D utilizzando le tecnologie BIM (*Building Information Model*).

La modellazione 3D può essere parte di un progetto o di un'attività una tantum di acquisizione dati 3D di un impianto con varie tecnologie (*laser scanner, LIDAR su droni o a terra, rilievi ordinari*).

Il modello BIM ottenuto può essere usato, peraltro, anche per realizzare interfacce grafiche evolute.

## CPS Cyber Physical System

Il modello BIM evolve in un CPS. Esso è completato con le informazioni sui materiali e sul loro comportamento fisico/meccanico per ottenere la simulazione della realtà fisica mediante calcolo numerico.

Sul modello fisico, di norma, si aggiungono sensori ed attuatori.

Il CPS, opportunamente tarato con i dati rilevati dalla sensoristica, è in grado di interagire continuamente con la realtà fisica e consente:

- Simulazioni "what-if"
- Monitoraggio in tempo reale con avvisi & alert
- Analisi di scenario

## CPS predittivi

Un CPS opportunamente progettato e realizzato è in grado di far evolvere il modello di manutenzione adottato in una società verso la *Predictive Maintenance*, e cioè verso la Manutenzione Predittiva.

Il Modello Digitale è in grado:

- di prevedere il più probabile periodo di fuori-servizio di una apparecchiatura o di una parte della struttura monitorata
- di ipotizzare le probabili cause di guasto
- di suggerire le migliori azioni correttive per ovviare al malfunzionamento

## CPS autonomi

E' il CPS più avanzato. Oltre alle prestazioni di un CPS predittivo, è un modello digitale in grado di apprendere in modo autonomo (*non supervisionato*) dalla sensoristica e da diverse fonti di dati e di informazioni, di comandare attuatori e di prendere decisioni autonome all'interno di un particolare dominio applicativo. Utilizza in modo intensivo le più innovative reti neurali ed è in grado di:

- comandare "consapevolmente" gli attuatori per ottenere le migliori prestazioni dal sistema fisico sottostante
- suggerire interventi gestionali
- prescrivere azioni correttive
- emettere diagnosi

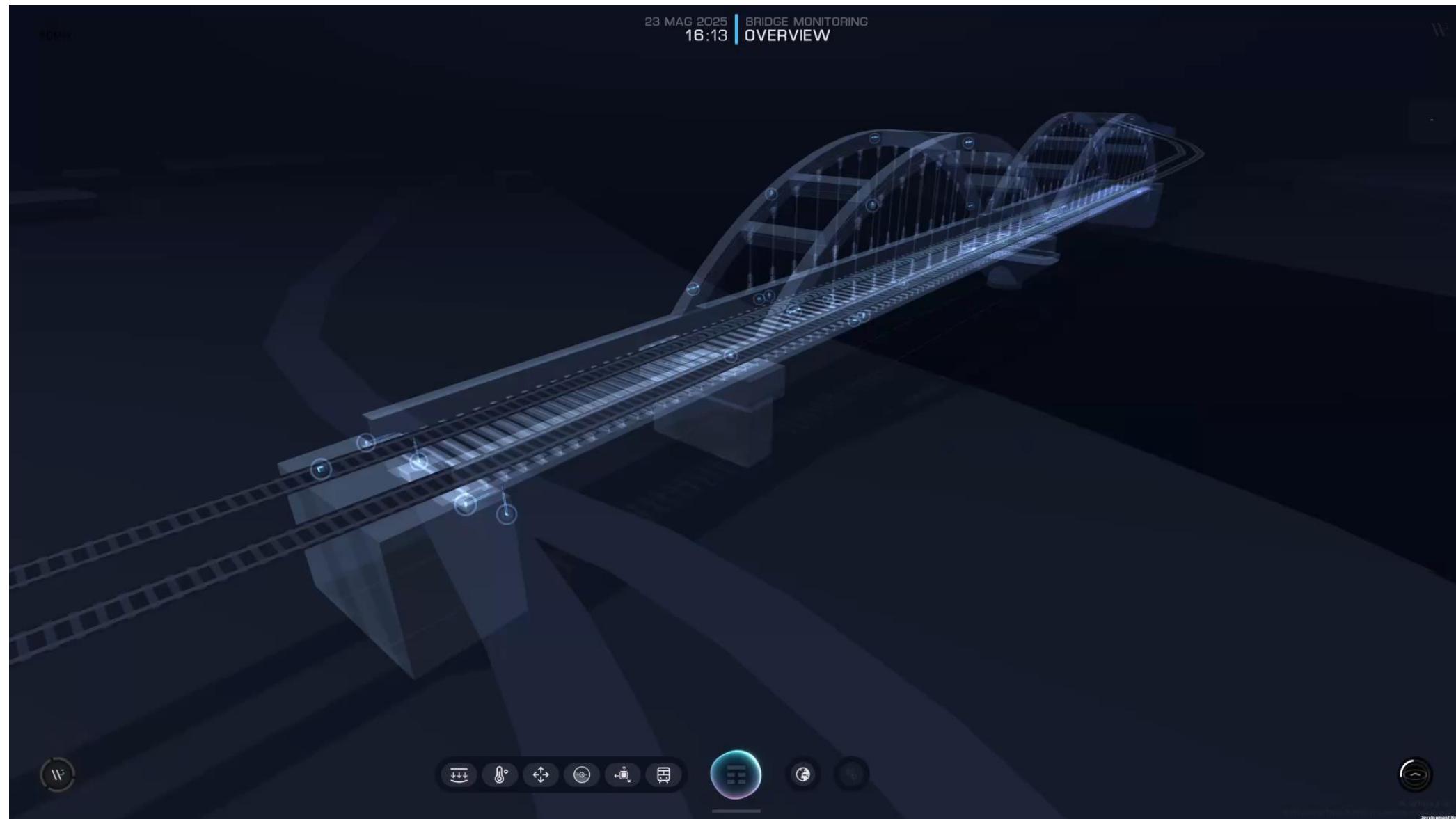
# Smart Infrastructures: tratti distintivi per dominio applicativo

Caratteristica	Monitoraggio Strutturale	Monitoraggio Ciclo Idrico Integrato	Monitoraggio Reti Elettriche
Variabili critiche	Deformazioni Vibrazioni	Pressioni Portate Qualità delle acque erogate	Tensioni Frequenze
Frequenza di Campionamento	Alta (fino al kHz per vibrazioni)	Bassa (secondi/minuti/ore)	Altissima (microsecondi)
Ambiente	Esposto (meteo, corrosione)	Spesso interrato (umidità, accesso difficile)	Elettromagnetico aggressivo
Obiettivo delle tecniche di AI	Identificazione, localizzazione e stima del danno. Manutenzione predittiva	Localizzazione delle perdite. Ottimizzazione dei consumi energetici. Manutenzione predittiva	Bilanciamento dei carichi, stabilità della rete. Manutenzione predittiva

# 03 Monitoraggio strutturale SHM

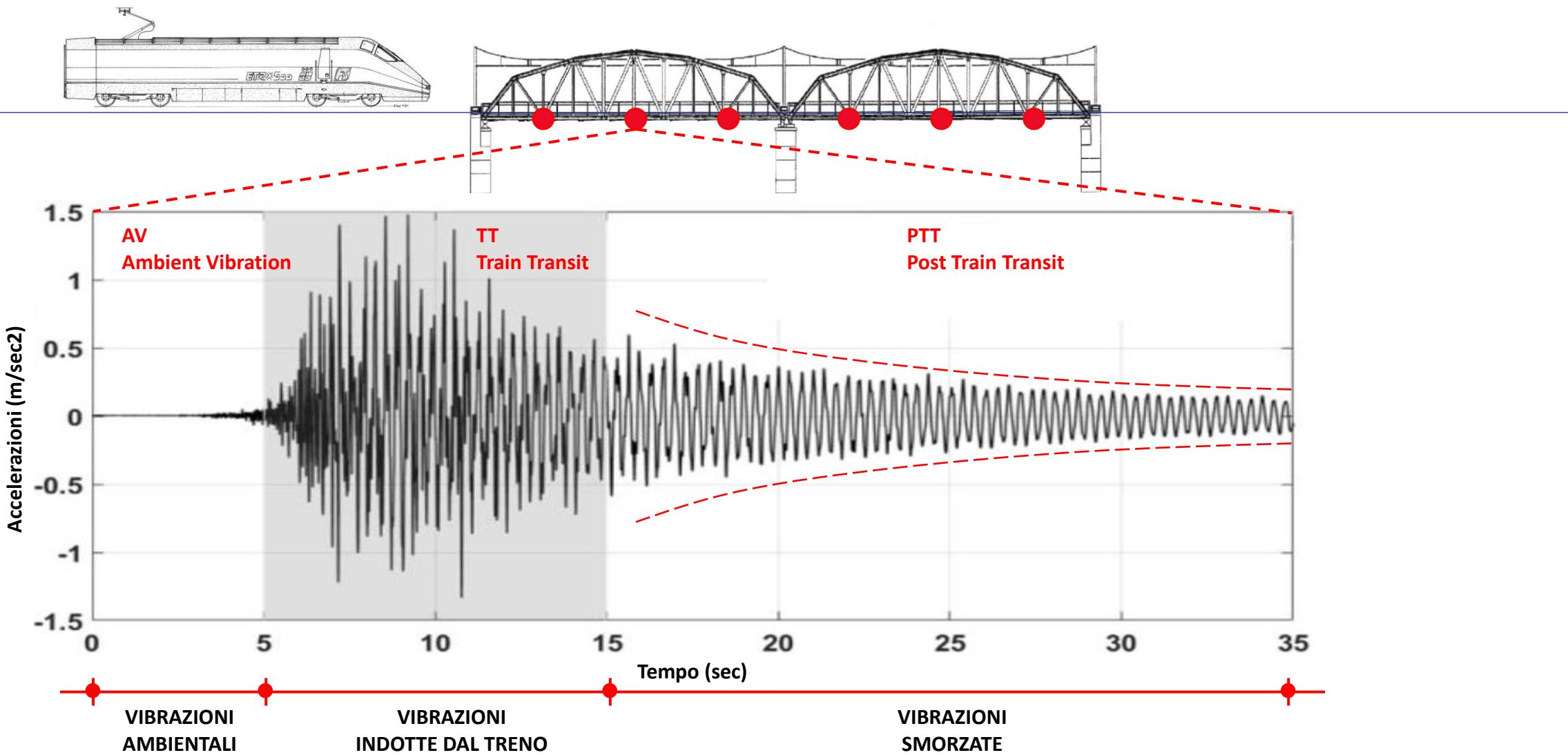
## Structural Health Monitoring

# Monitoraggio strutturale: un ponte ferroviario

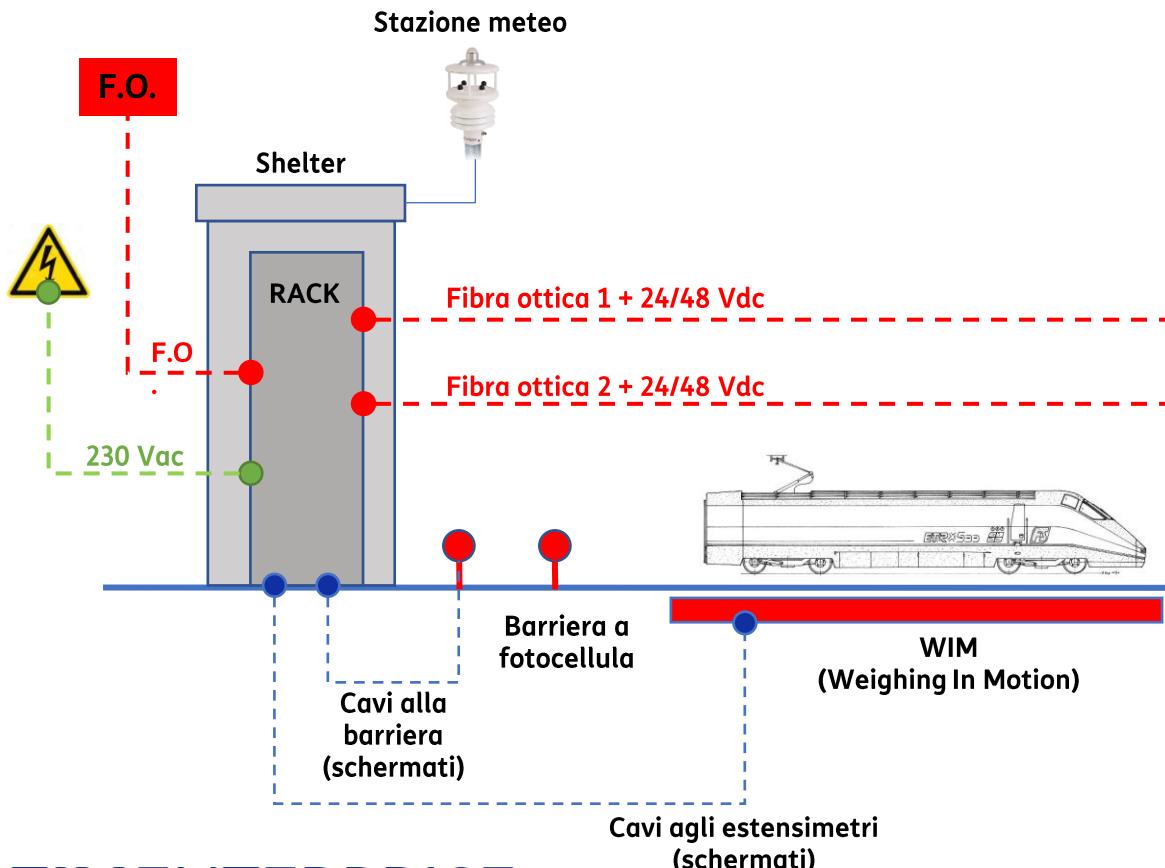


# Monitoraggio strutturale: un ponte ferroviario

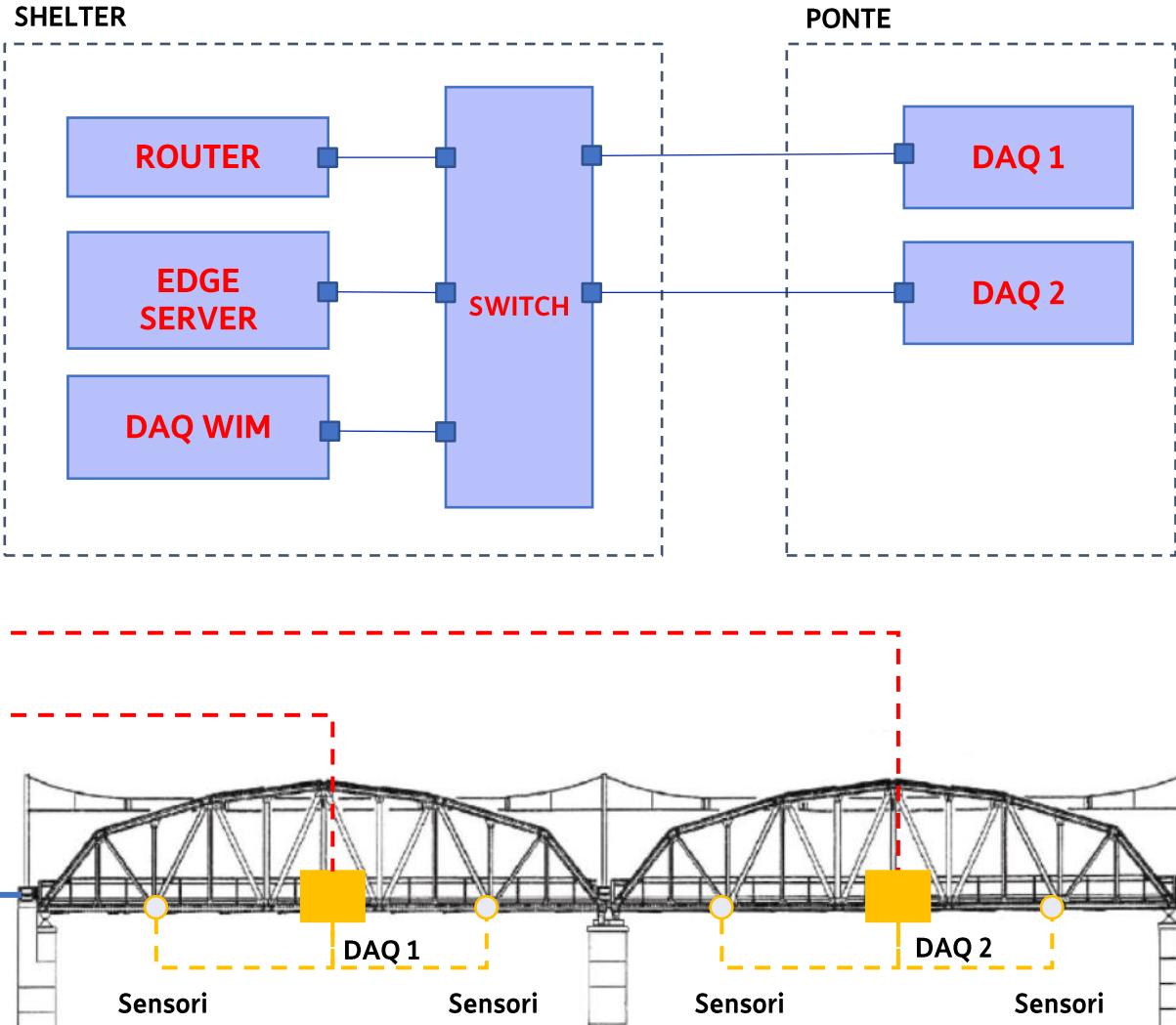
● Accelerometri triassiali



# Monitoraggio strutturale: un ponte ferroviario



DETTAGLIO DELLA CONNESSIONE FRA GLI APPARATI

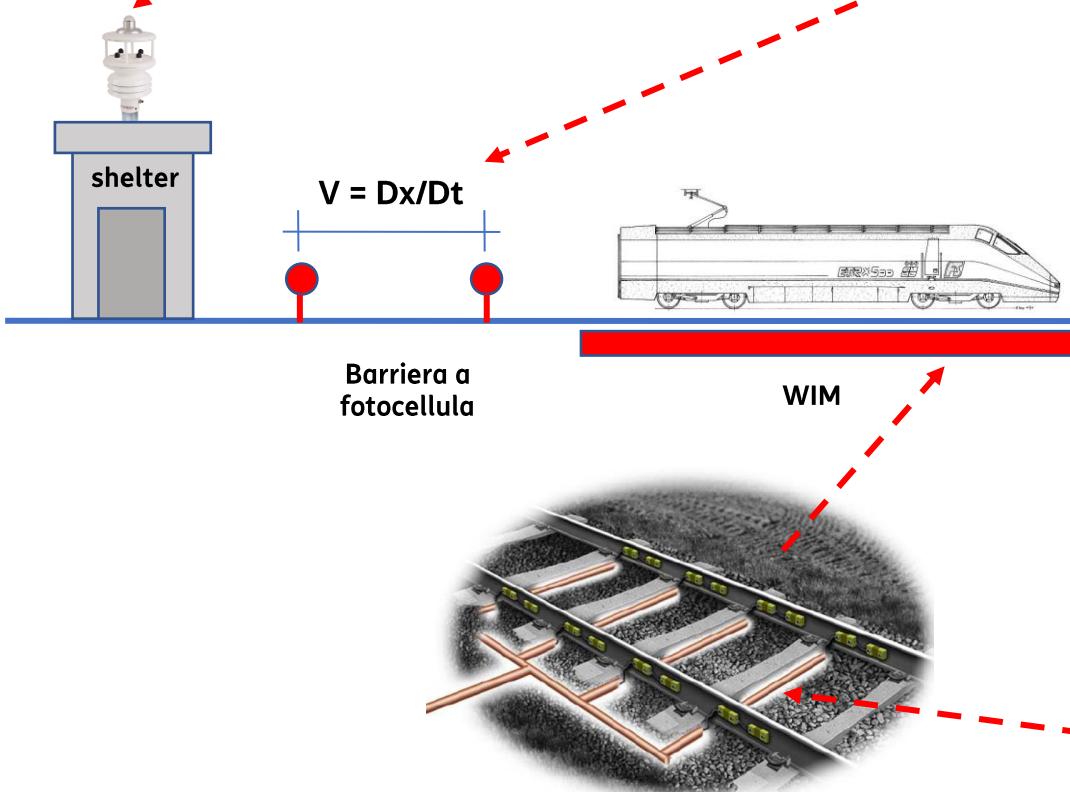


# Monitoraggio strutturale: un ponte ferroviario

## Sensoristica di trigger

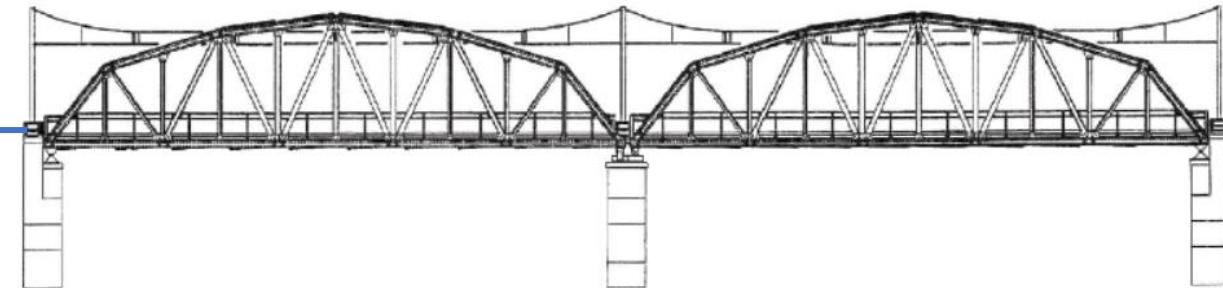
### STAZIONE METEO E SISMA DETECTOR

Temperatura esterna, anemometro, pluviometro, pressione atmosferica, piranometro per radiazione solare, igrometro, accelerometro.



### TRANSITO E VELOCITÀ DEI CONVOGLI

Sistema per rilevare il passaggio dei convogli e per stimare la velocità degli stessi (ad esempio con barriere digitali) e per la registrazione dell'orario di passaggio in modo sincronizzato con l'acquisizione dei segnali dei sensori.

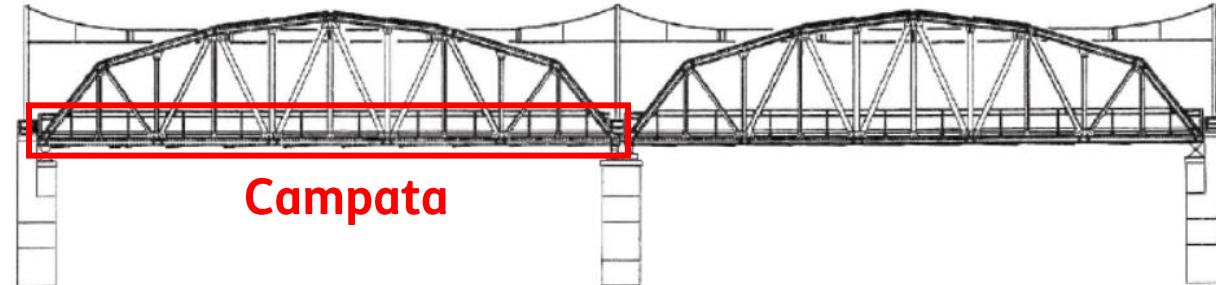


### STIMA DEL CARICO ASSIALE TRANSITANTE

Sistema per stimare i carichi assiali transitanti sull'opera sulla base delle deformazioni di taglio della rotaia (ad esempio, attraverso strain gauges montati sui binari).

# Monitoraggio strutturale: un ponte ferroviario

## Sensoristica di struttura



### Spostamenti e rotazioni

Mediante **accelerometri** e **inclinometri**, per valutare la risposta statica e dinamica  
soddisfare gli obiettivi generali del sistema



### Stati tensionali/deformativi nelle zone significative

Mediante **estensimetri** (strain gauges)



### Spostamenti in corrispondenza di appoggi mobili e/o dei giunti

Mediante trasduttori di spostamento **LVDT** (Linear Variable Differential Trasformer)



### Accelerazioni

Mediante **accelerometri**, per valutare la risposta dinamica, ricavare le frequenze proprie ed i modi di vibrare e altre quantità necessarie a soddisfare gli obiettivi generali del sistema

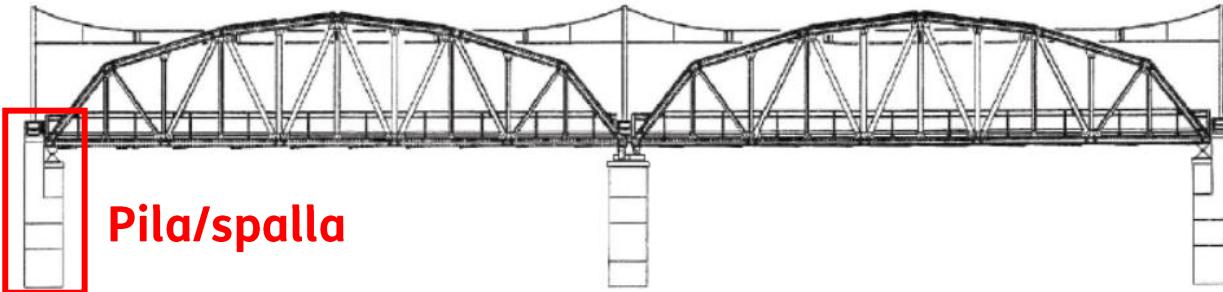
# Monitoraggio strutturale: un ponte ferroviario

## Sensoristica di struttura



### Spostamenti e rotazioni

Mediante **accelerometri e inclinometri**, per valutare la risposta statica e dinamica



Pila/spalla

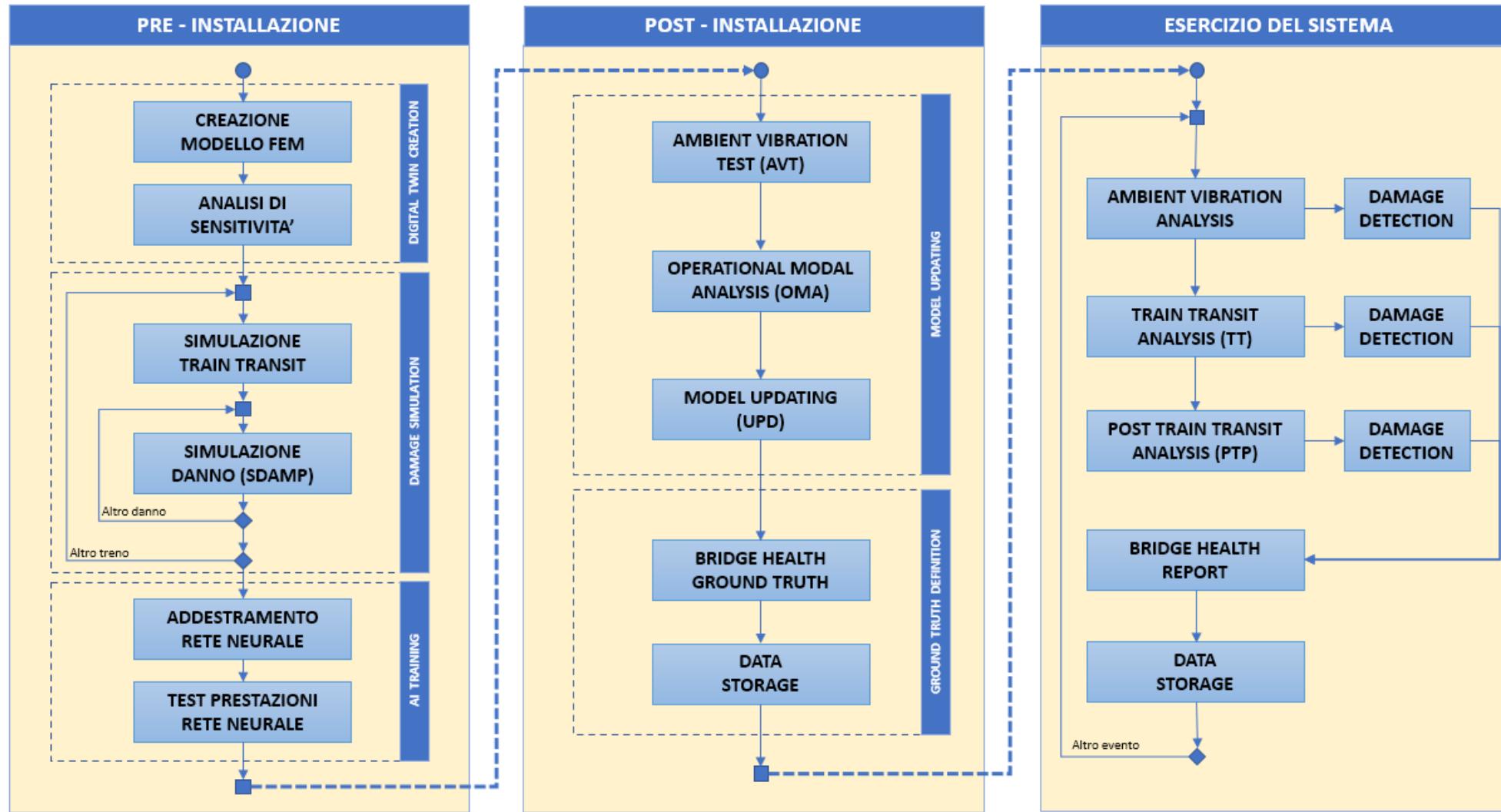


### Accelerazioni

Mediante **accelerometri**, per valutare la risposta dinamica, ricavare le frequenze proprie ed i modi di vibrare e altre quantità necessarie a soddisfare gli obiettivi generali del sistema

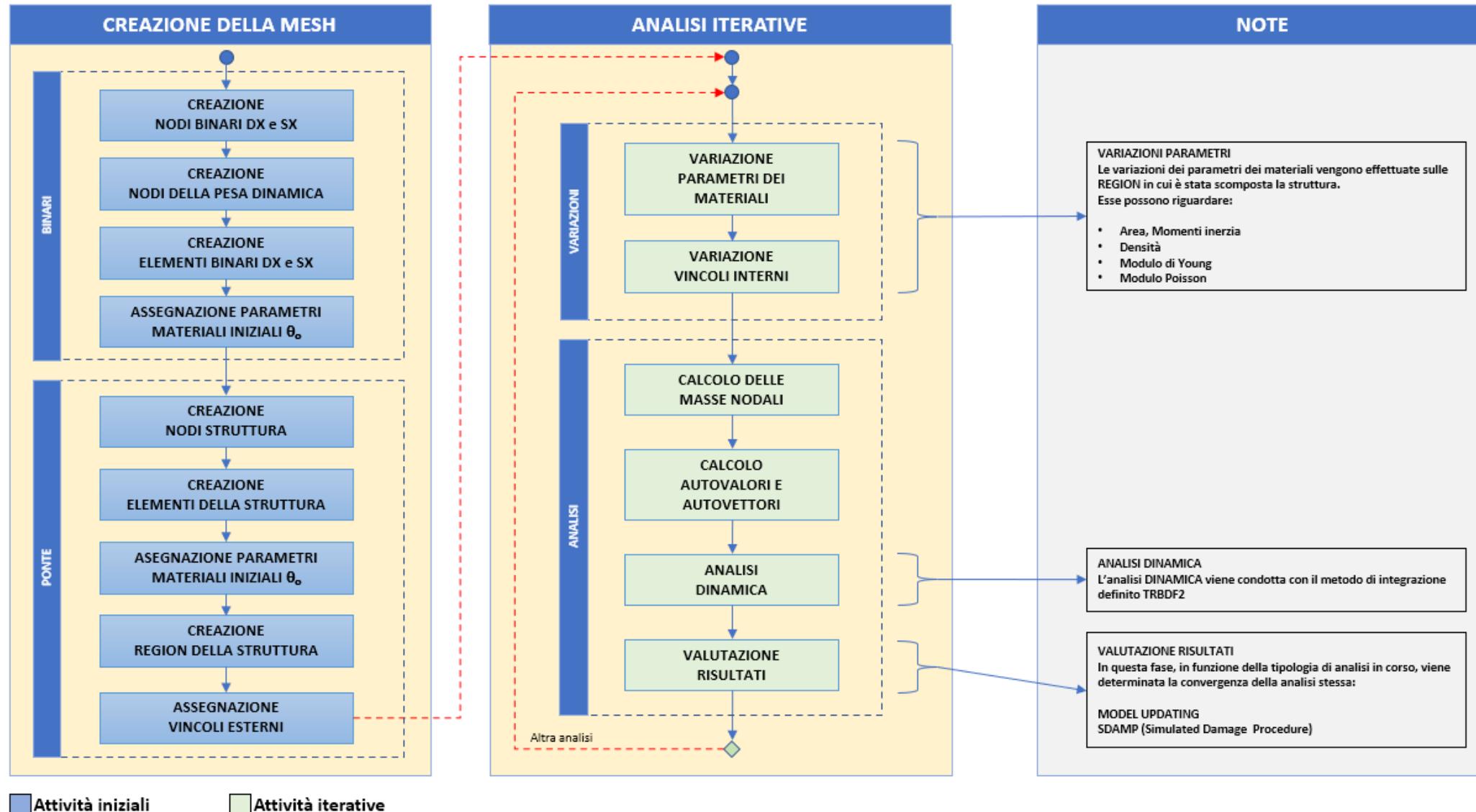
# Monitoraggio strutturale: un ponte ferroviario

## Fasi della creazione del SHM



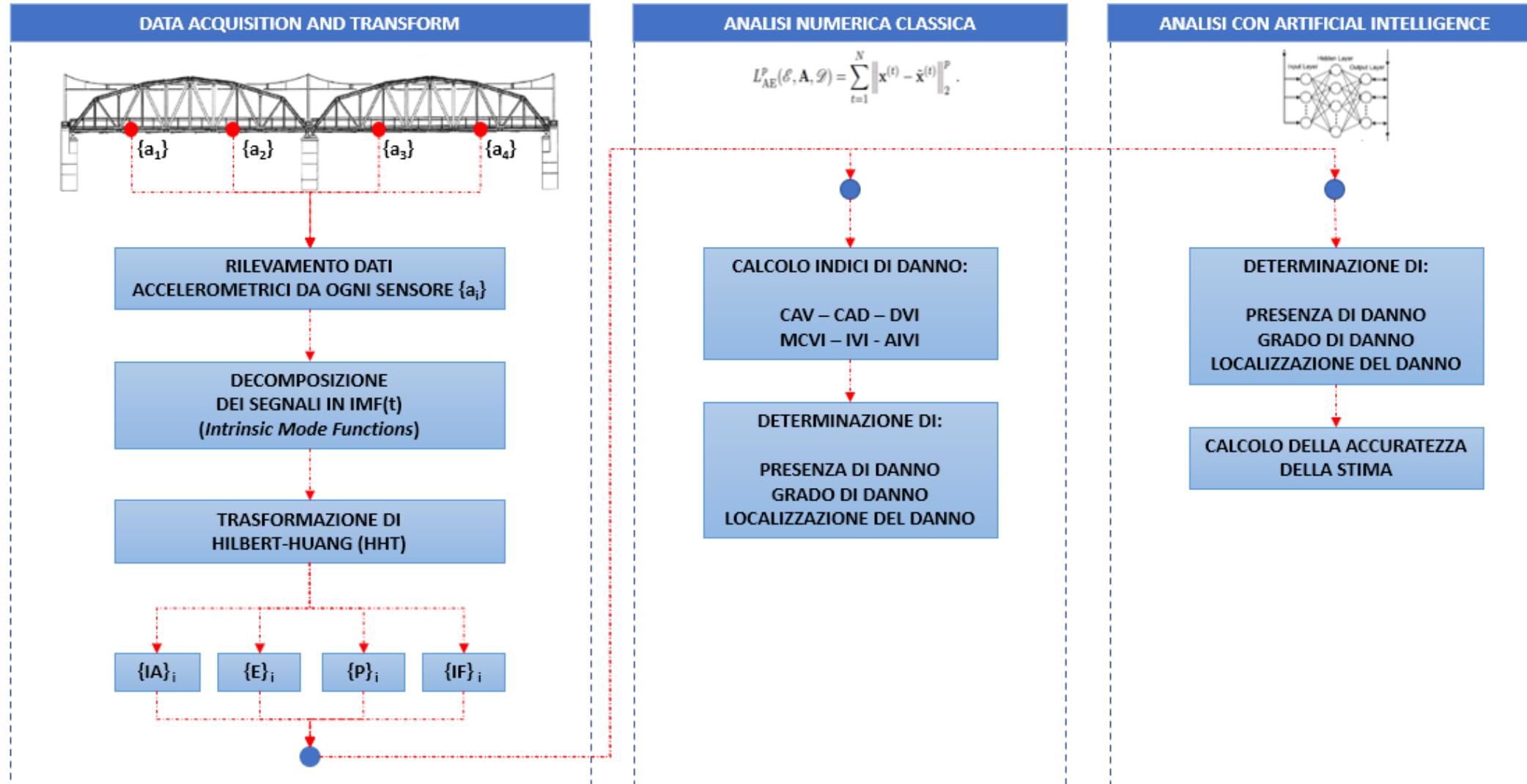
# Monitoraggio strutturale: un ponte ferroviario

## Fasi della analisi FEM



# Monitoraggio strutturale: un ponte ferroviario

## Analisi vibrazionale (VBA, Vibration Based Analysis)



## 04 Tecnologie per la Manutenzione Predittiva

# Manutenzione predittiva: generalità

## DEFINIZIONE DI MANUTENZIONE (normativa UNI EN 13306/2003)

Combinazione di tutte le azioni tecniche, amministrative e gestionali, previste durante il ciclo di vita di un'entità, destinate a mantenerla o riportarla in uno stato in cui possa eseguire la funzione richiesta.

# Manutenzione predittiva: un esempio elementare

## La lampadina di un impianto di illuminazione

COMPLESSITÀ'

### Manutenzione correttiva:

Si aspetta che la lampadina si fulmini per cambiarla  
Sistema semplice ed economico, ma si resta al buio all'improvviso.

### Manutenzione preventiva:

Si cambia la lampadina ogni anno, anche se funziona ancora.  
Si sprecano lampadine che magari durava ancora, ma non si resta al buio.

### Manutenzione on condition (CBM, Condition Based Maintenance):

La lampadina è dotata di un sensore di assorbimento in corrente A. Se l'assorbimento supera un certo valore di soglia, e cioè se  $A > A_S$ , si cambia la lampadina.

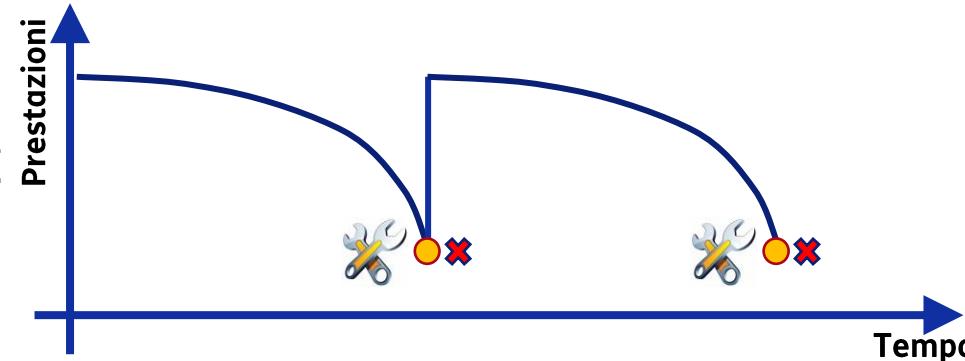
Quindi, per la sostituzione si attende che si manifesti un problema che può evolvere in un guasto.  
Non si sprecano lampadine come nella Preventiva e non si resta al buio.

### Manutenzione predittiva (PdM, Predictive Maintenance):

La lampadina è dotata di un sensore di assorbimento in corrente A. In base al superamento di una soglia, e sulla scorta della curva degli assorbimenti negli ultimi 3 mesi, il sistema prevede che la lampadina si fulminerà entro 15 giorni.  
Non si sprecano lampadine, non si rischia il black-out improvviso, ma è necessario installare un sistema di monitoraggio, controllo e predizione.

# Manutenzione predittiva: approcci alla gestione del guasto (1/2)

## MANUTENZIONE CORRETTIVA (su guasto)

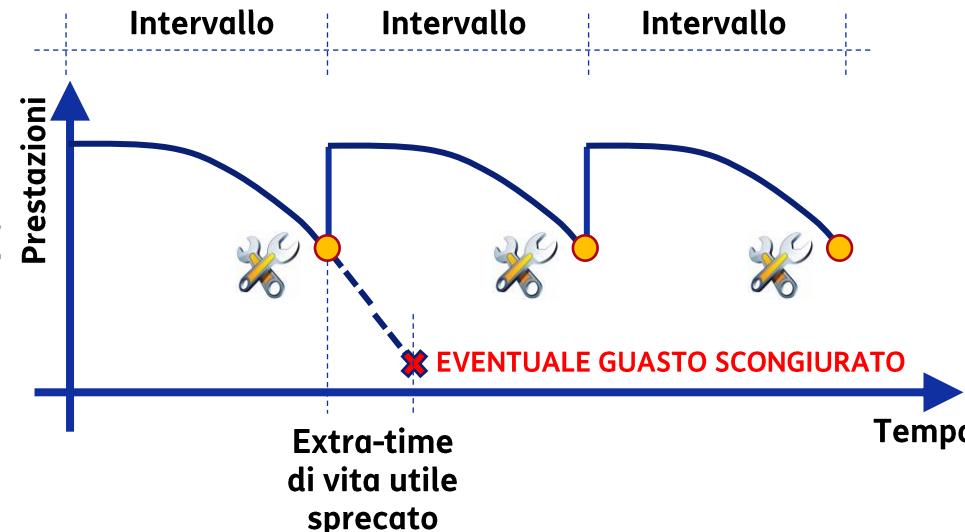


## INTERVENIRE SU GUASTO

La manutenzione correttiva prevede di intervenire dopo che l'apparecchiatura si è guastata.

*Si interviene perché la macchina è fuori servizio*

## MANUTENZIONE PREVENTIVA (programmata)



## INTERVENIRE A PRESCINDERE

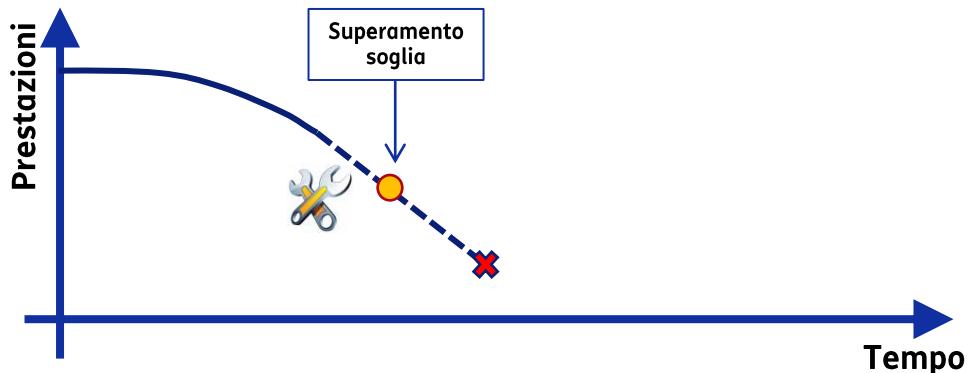
La manutenzione preventiva prevede interventi ad intervalli regolari senza considerare le condizioni effettive della apparecchiatura.

- Questo approccio riduce il rischio di guasti rispetto alla manutenzione correttiva, ma si traduce in costi di manutenzione più elevati, tempi di fermo più lunghi e aumenti dei costi associati alla necessità di scorte e parti di ricambio.
- Non previene guasti imprevisti in quanto le condizioni dell'asset vengono misurate solo periodicamente, anziché monitorate e analizzate continuamente in tempo reale.

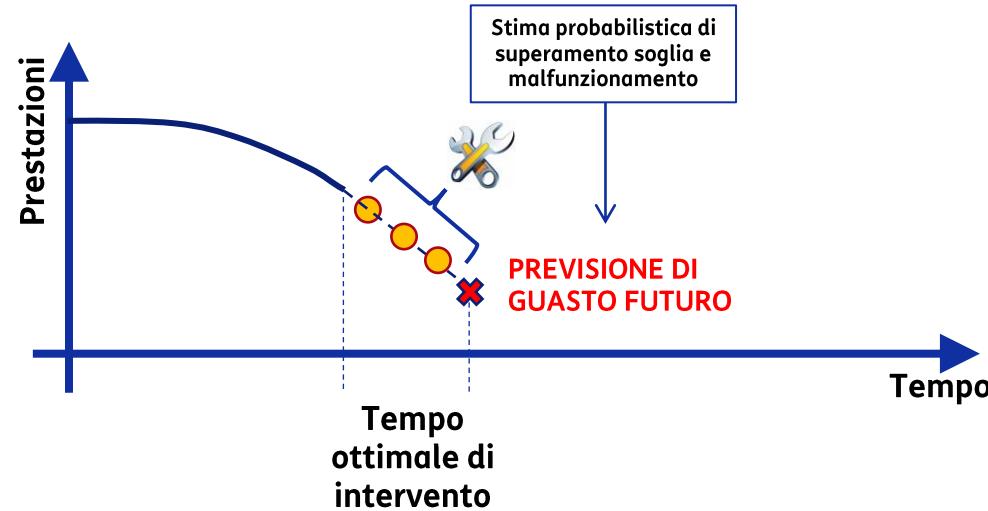
*Si interviene perché sono passati 3 mesi dall'ultimo intervento*

# Manutenzione predittiva: approcci alla gestione del guasto (1/2)

## MANUTENZIONE ON CONDITION



## MANUTENZIONE PREDITTIVA



### INTERVENIRE SOLO QUANDO LA MACCHINA LO CHIEDE.

La manutenzione On Condition supera la rigidità dei calendari fissi basandosi sullo stato di salute oggettivo del componente. Interviene solo quando i parametri operativi (come usura, vibrazioni o calore) mostrano un degrado misurabile, riducendo le sostituzioni premature di parti ancora efficienti.

Pur ottimizzando la vita utile dei componenti rispetto alla preventiva, richiede una soglia di allarme precisa: se il monitoraggio non è costante o la sensibilità dei sensori è errata, il preavviso potrebbe non essere sufficiente a evitare un fermo impianto critico.

*Si interviene perché un parametro ha superato una soglia critica.*

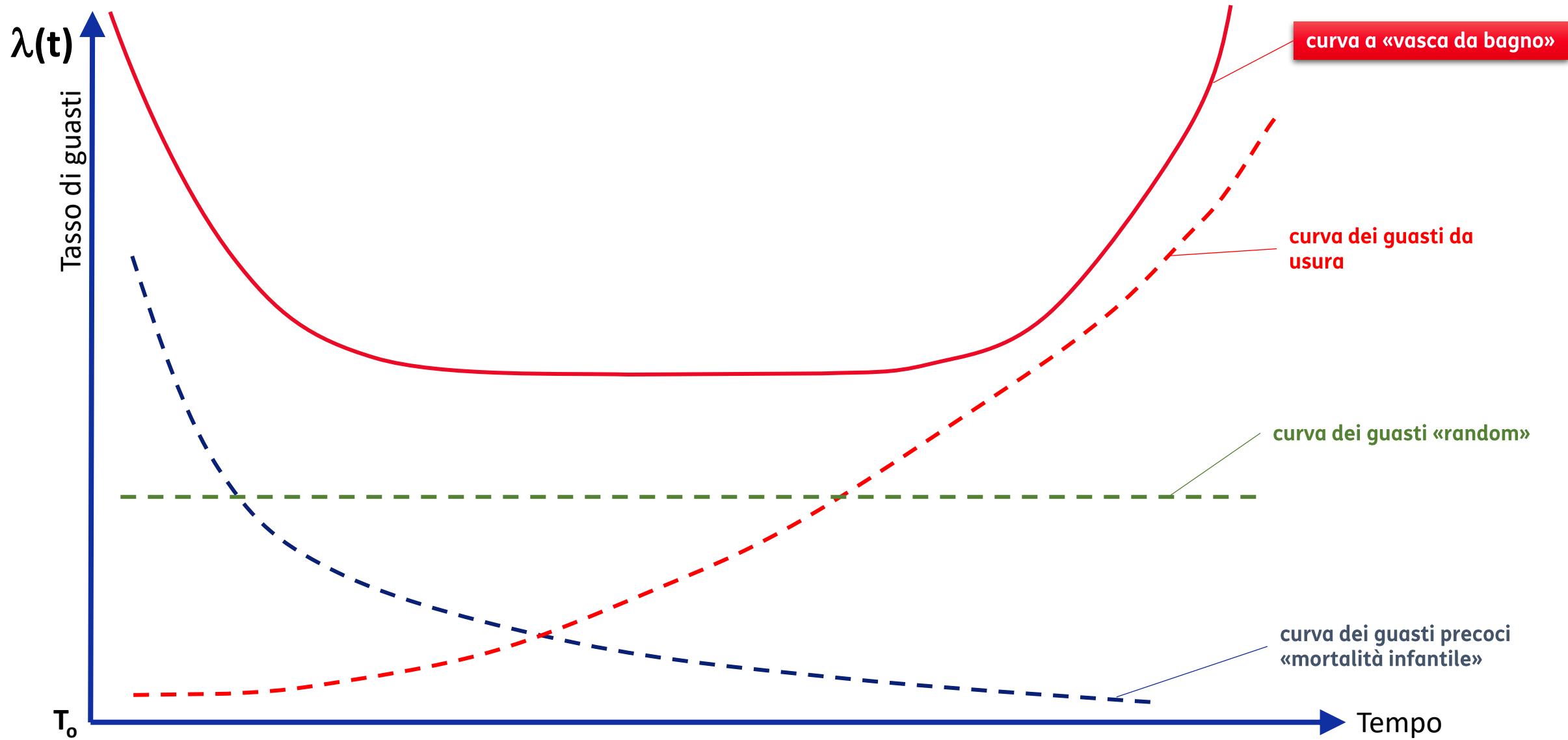
### INTERVENIRE AL MOMENTO GIUSTO, NÉ TROPPO PRESTO NÉ TROPPO TARDI, ovvero sapere oggi cosa accadrà domani per intervenire esattamente quando serve.

La manutenzione predittiva risolve i problemi degli altri approcci: monitora continuamente le condizioni delle apparecchiature e fornisce stime costanti di quando si guasterà o richiederà manutenzione.

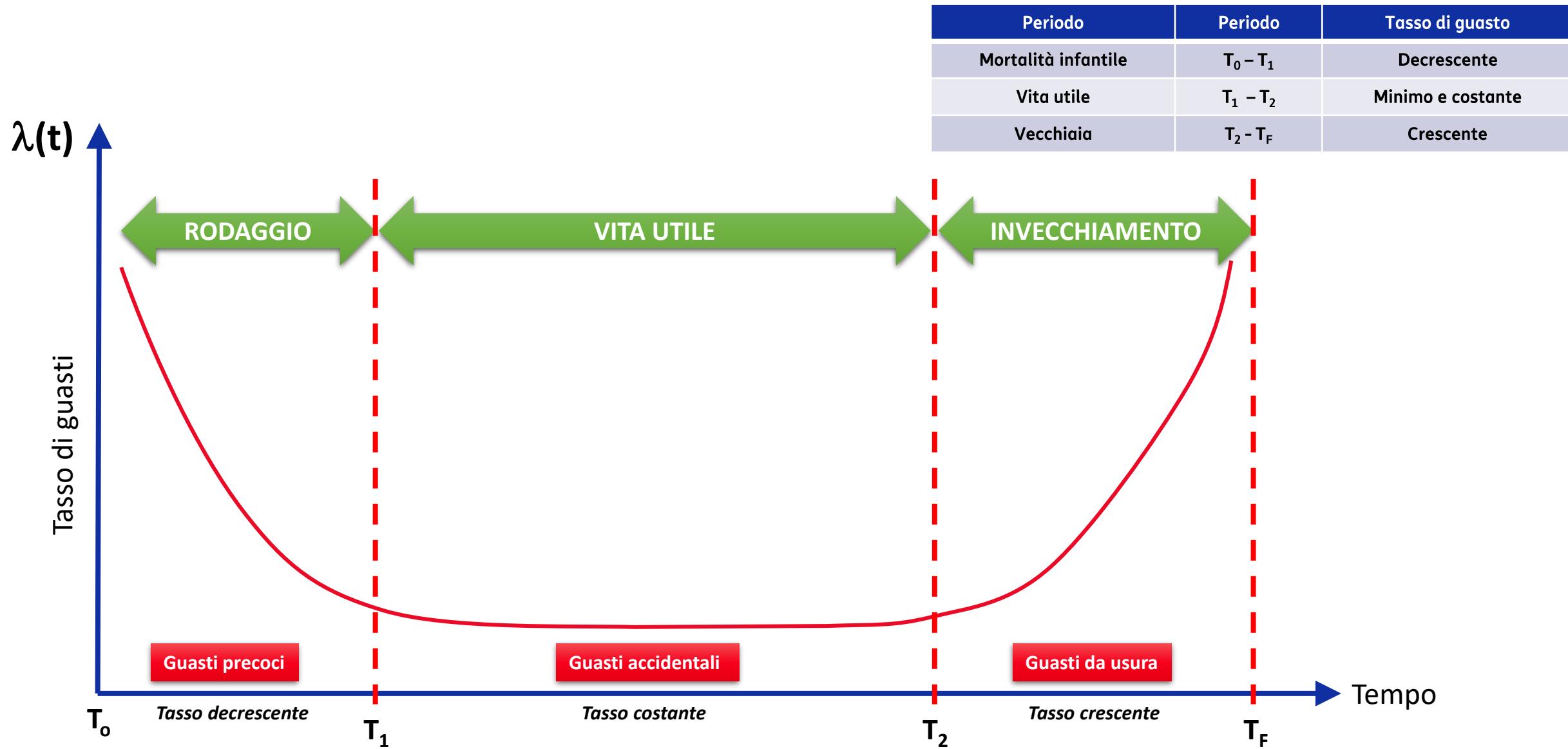
- Riduce al minimo i tempi di fermo imprevisti
- Riduce i costi operativi garantendo che la manutenzione venga eseguita solo quando necessario.

*Si interviene perché la stima prevede che un parametro supererà una soglia critica tra 3 mesi.*

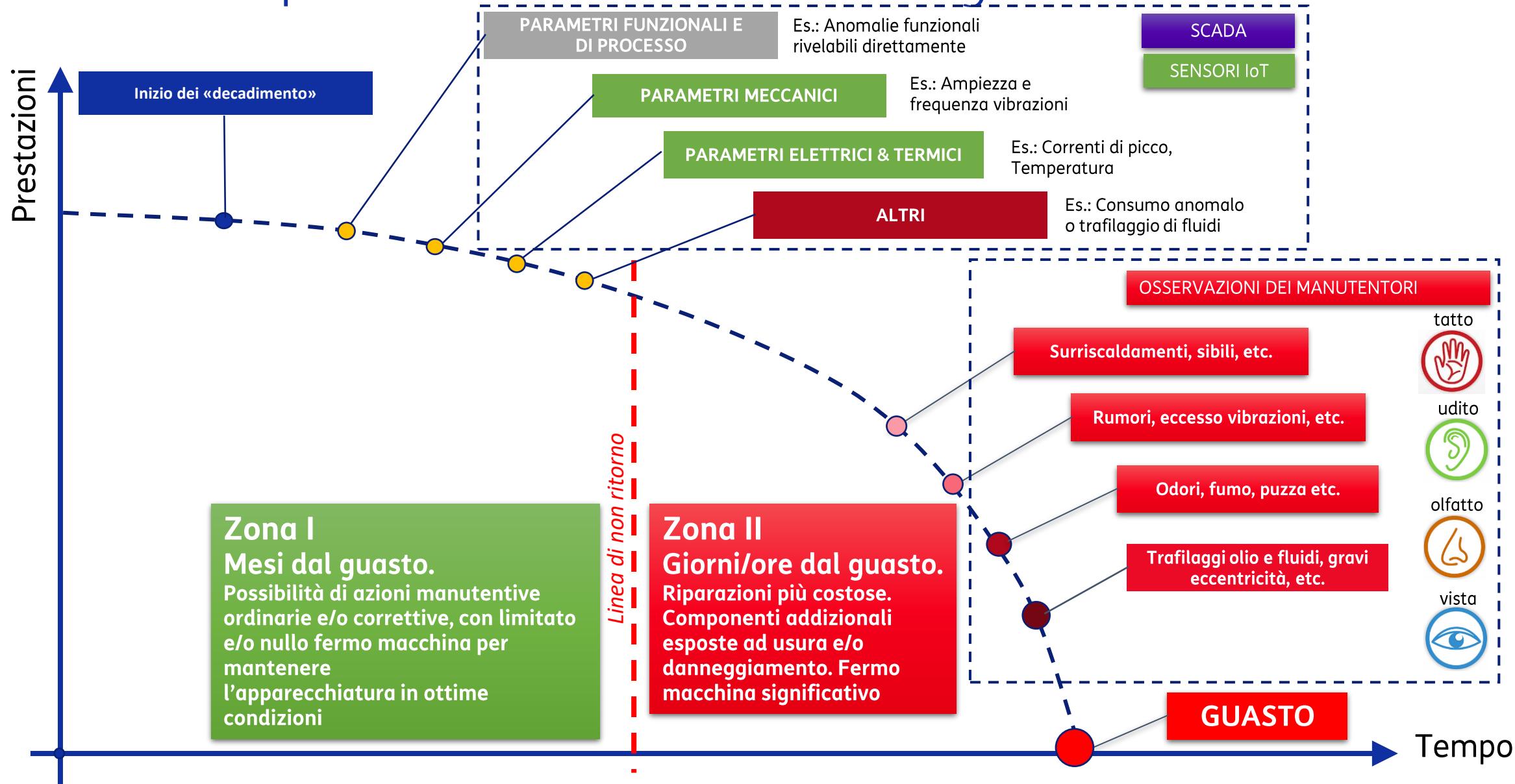
# Manutenzione predittiva: la curva a vasca da bagno



# Manutenzione predittiva: rodaggio, vita utile, invecchiamento



# Manutenzione predittiva: evoluzione del degrado



# Manutenzione predittiva: comparazione tra gli approcci

APPROCCIO	VANTAGGI	SVANTAGGI
<b>CORRETTIVA</b> <i>su guasto o a rottura</i> «Break-Down System»	<ul style="list-style-type: none"> <li>Personale necessario minimo</li> <li>Investimento iniziale più basso</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Meno efficiente e conveniente</li> <li>Aumento dei costi non pianificabili a priori</li> <li>Tempi di fermo, manodopera, riparazione</li> <li>Uso inefficiente del personale</li> </ul>
<b>PREVENTIVA programmata</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Più efficiente ed economico rispetto al paradigma correttivo: si ottiene un risparmio del 12-18%</li> <li>Meno guasti alle apparecchiature</li> <li>Si allunga il tempo di piena operatività degli impianti</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>E' difficile l'assegnazione di priorità tra le diverse apparecchiature ed interventi</li> <li>Spesso si effettuano attività di manutenzione non necessarie</li> </ul>
<b>SU CONDIZIONE</b> <i>CBM, Condition Based Maintenance</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Approccio altamente efficiente ed economico: 2-3X ulteriore risparmio rispetto alla manutenzione preventiva</li> <li>Utilizza indicatori di degrado (tipicamente sensori) come input per prevedere quando apparato potrebbe guastarsi</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Il monitoraggio basato su condizione fornisce informazioni deterministiche, ma non si spinge a prevedere le condizioni future dell'asset</li> </ul>
<b>PREDITTIVA</b> <i>PdM, Predictive Maintenance</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Approccio altamente efficiente ed economico con ulteriore risparmio rispetto alla manutenzione CBM</li> <li>Minimizza i tempi di fermo macchina e l'occorrenza di guasti alle apparecchiature</li> <li>Consente di migliorare la pianificazione delle attività di manutenzione</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Investimento iniziale più elevato rispetto alla CBM (personale, formazione, apparecchiature)</li> <li>Vantaggi non immediatamente visibili</li> <li>I modelli di machine learning e deep learning richiedono tempo per il tune-up</li> <li>E' molto efficace solo quando integrato in sistemi CMMS* e supportato da interventi organizzativi delle attività di manutenzione</li> </ul>

\*CMMS, Computerized Maintenance Management System

# Manutenzione predittiva: definizione finale

Dal punto di vista matematico e ingegneristico, la **manutenzione predittiva (PdM)** può essere definita come un problema di

## stima stocastica e inferenza statistica

applicata alla degradazione di un sistema fisico.

Mentre la manutenzione *On Condition* si limita a osservare se una variabile supera una soglia  $L$ , la manutenzione predittiva cerca di modellare la funzione di evoluzione nel tempo dello stato del sistema per prevedere l'istante futuro in cui avverrà il guasto.

Volendo riassumere la differenza tra la Manutenzione Predittiva e la manutenzione *On Condition* in una formula:

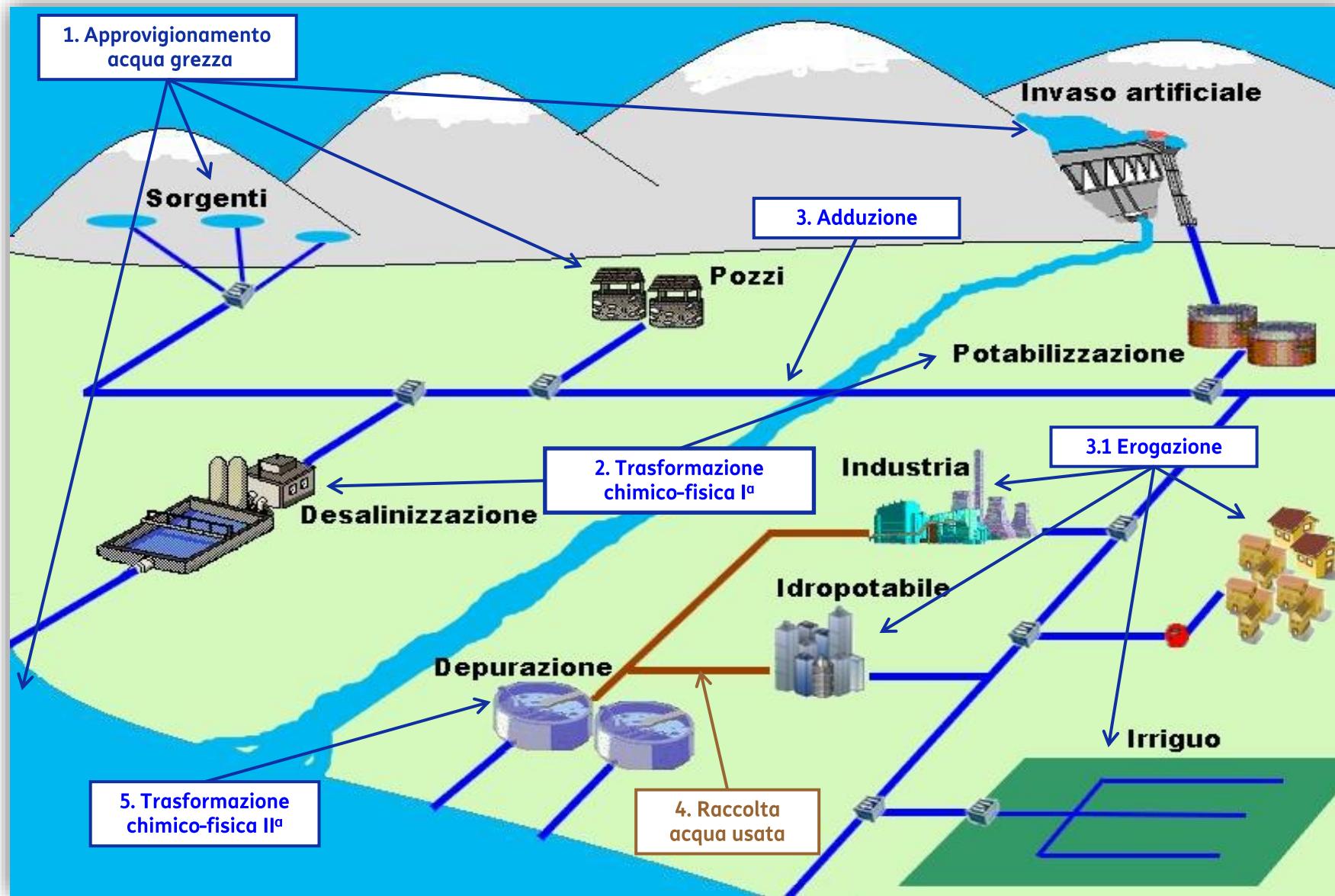
**On Condition:** si interviene se  $x(t) > L$

**Predittiva:** si interviene se la probabilità  $P(x(t + \Delta t) \geq L) \geq \alpha$

essendo  $\alpha$  il livello di confidenza o tolleranza al rischio scelto dal gestore.

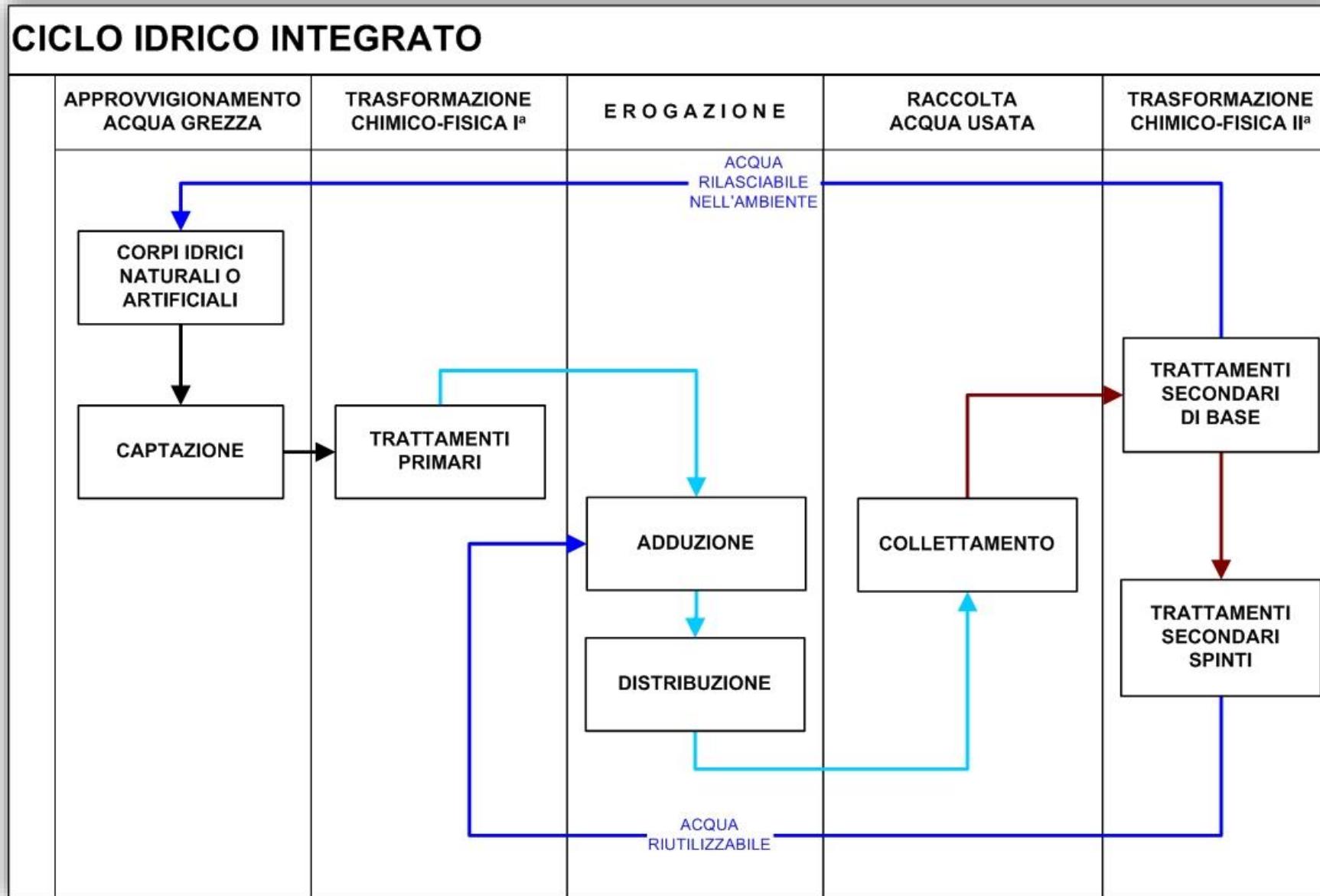
## 05 Monitoraggio del ciclo idrico integrato

# Monitoraggio ciclo idrico integrato: lo scenario di riferimento



6\*

# Monitoraggio ciclo idrico integrato: lo scenario di riferimento



# Monitoraggio ciclo idrico integrato: le linee di lavorazione

#	Tipologia	Esempi
1	<b>Approvvigionamento</b>	Sorgenti Pozzi Presa da invaso naturale od artificiale Derivazione da fiume Alimentazione da altra fonte (altro acquedotto)
2	<b>Aumento di energia</b>	Pompaggio da serbatoio Pompaggio da pozzi Pompaggio di rilancio in linea
3	<b>Riduzione di energia</b>	Torrino piezometrico Smorzatrice
4	<b>Trasformazione chimico/fisica</b>	Potabilizzazione / dissalazione etc. Trattamento dei reflui
5	<b>Accumulo e/o compenso</b>	Serbatoio naturale o artificiale
6	<b>Manovra e/o Regolazione</b>	Camera di manovra di linea
7	<b>Controllo parametri idraulici</b>	Nodo controllo P e/o Q
8	<b>Partizione / concentrazione</b>	Presa in carico Presa a pelo libero Partitore a pressione Partitore a pelo libero Concentratore a pressione Concentratore a pelo libero
9	<b>Distribuzione, Erogazione o consegna</b>	Adduzioni esterne Reti idriche interne per utenze civili (Abitato) Reti idriche per utenze industriali Reti idriche per utenze irrigue
10	<b>Collettamento</b>	Opere di collettamento

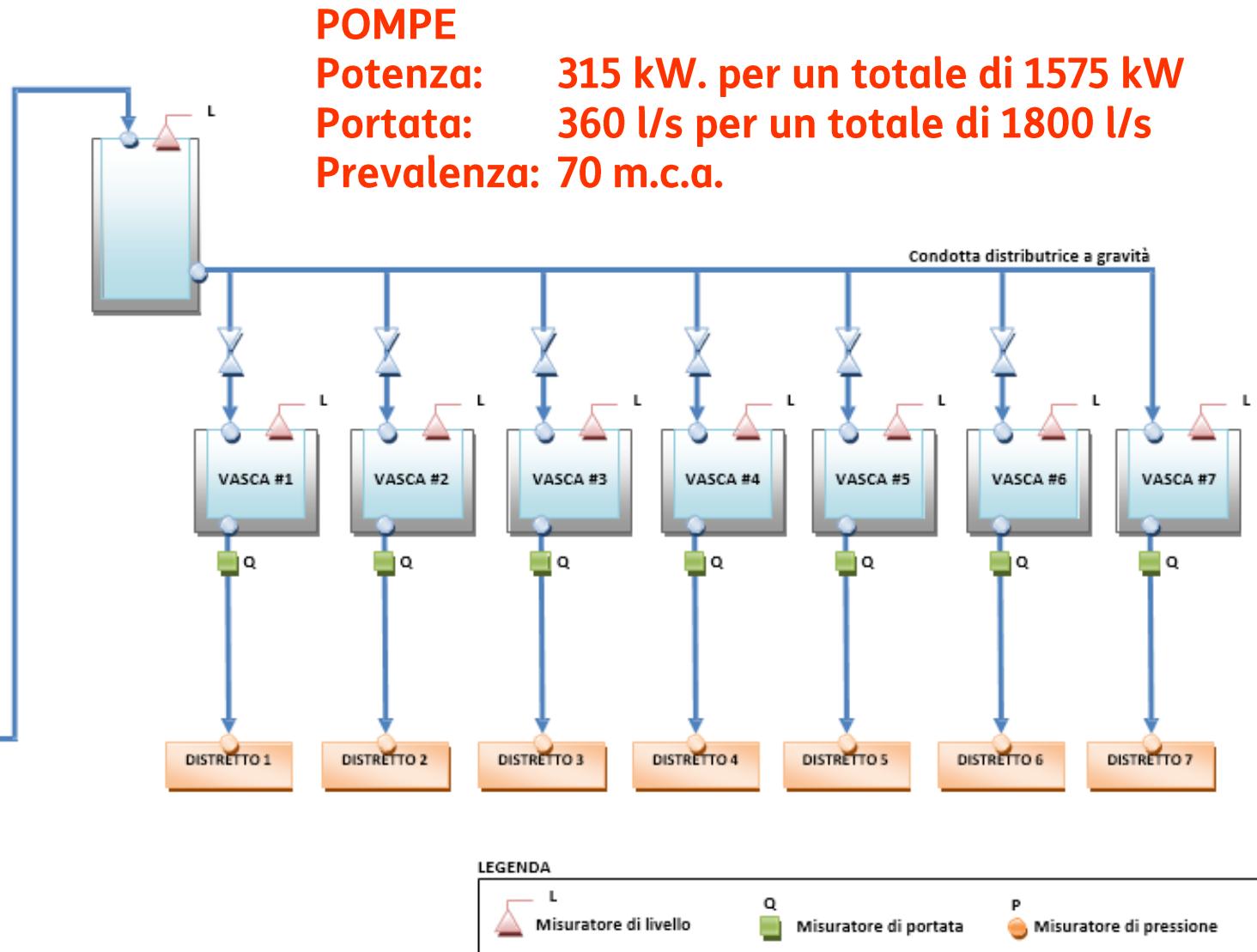
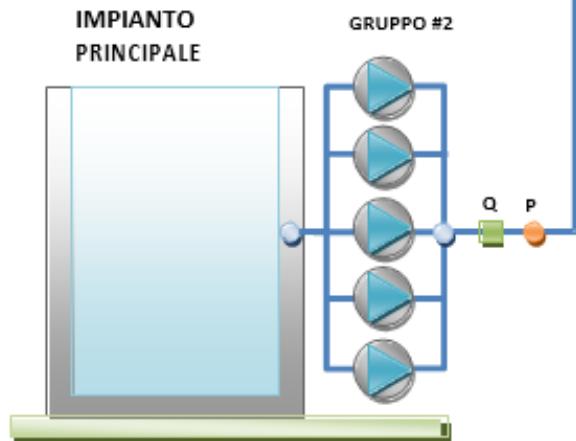
**ENERGIVORO**

**DISSIPATIVO**



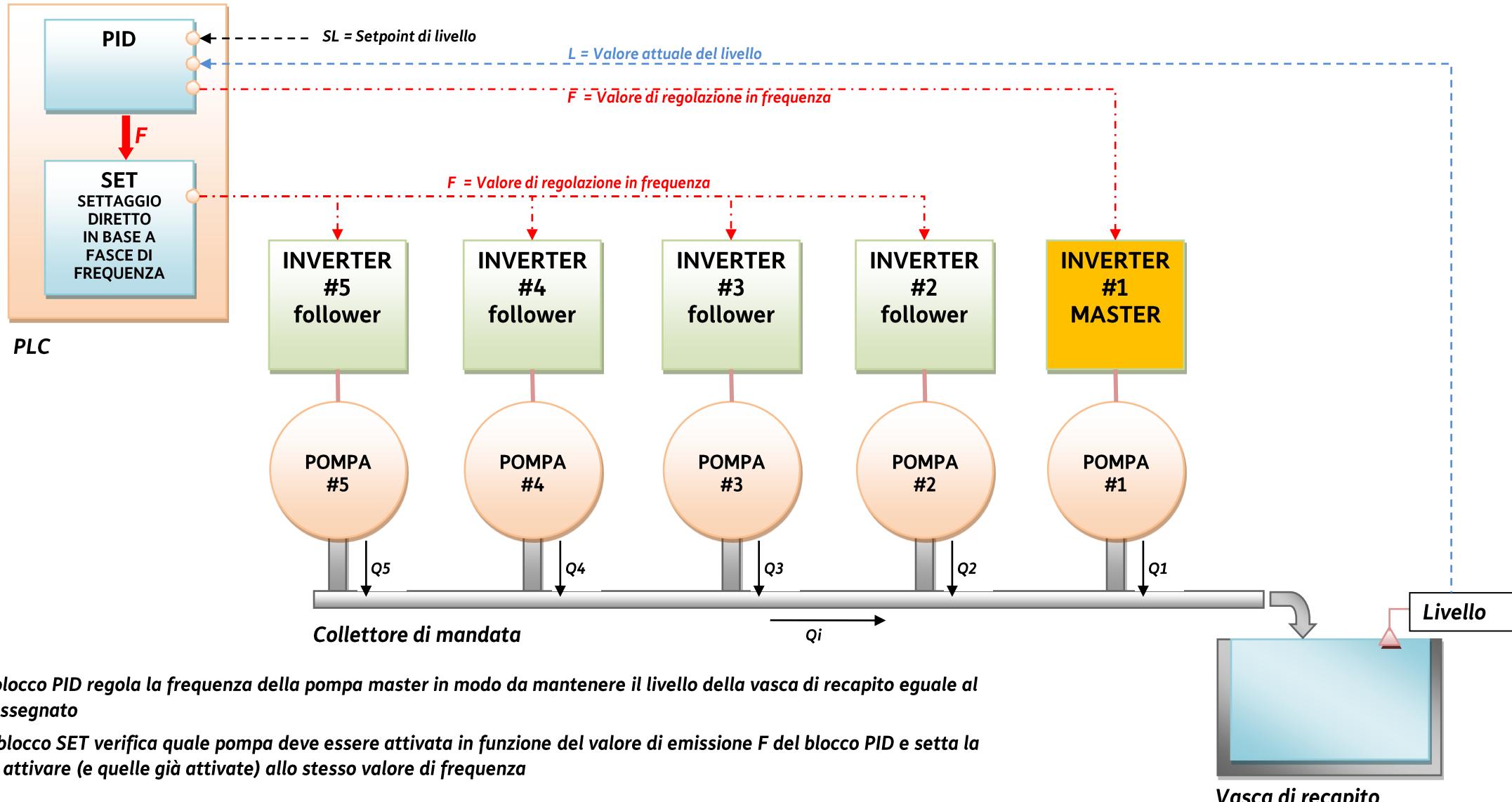
# Monitoraggio ciclo idrico integrato: monitoraggio di impianti energivori

## Impianto di pompaggio ad uso irriguo: schema



# Monitoraggio ciclo idrico integrato: monitoraggio di impianti energivori

## Impianto di pompaggio ad uso irriguo: dotazione tecnologica



**PID:** Il blocco PID regola la frequenza della pompa master in modo da mantenere il livello della vasca di recapito eguale al setpoint assegnato

**SET:** Il blocco SET verifica quale pompa deve essere attivata in funzione del valore di emissione  $F$  del blocco PID e setta la pompa da attivare (e quelle già attivate) allo stesso valore di frequenza

# Monitoraggio ciclo idrico integrato: monitoraggio di impianti energivori

## Impianto di pompaggio ad uso irriguo: flusso dell'algoritmo di controllo

- 1) Ogni pompa è pilotata da un convertitore di frequenza dedicato (**VFD, Variable Frequency Driver**)
- 2) Tutte le pompe devono avere le stesse caratteristiche di portata e prevalenza
- 3) Tutti gli VFDs che pilotano le pompe devono avere le stesse caratteristiche (taglia e potenza elettrica)
- 4) Una delle pompe assume il ruolo di **master** mentre le altre assumono il ruolo di **followers**
- 5) La strategia è basata su un **closed loop (PID)** che pilota la pompa **master** in modo da mantenere un livello costante nella vasca di recapito servita dal gruppo di pompaggio; poichè la vasca di accumulo serve le utenze irrigue a valle con una condotta a gravità, il livello della vasca è proporzionale al fabbisogno idraulico di valle, e quindi alle portate derivate
- 6) L'uscita di regolazione del PID determina il valore di frequenza (e quindi di velocità) da assegnare al VFD della pompa master; tale valore è assegnato anche ai VFDs delle pompe **followers** in modo che istante per istante tutte le pompe girino alla stessa frequenza/velocità.
- 7) L'attivazione e la disattivazione delle **pompe followers** viene effettuata in base a determinati valori di frequenza/velocità emessi dal PID di controllo della pompa master (*ad esempio, quando l'emissione PID raggiunge il 75% del fondo scala viene inserita la pompa successiva e così via*)
- 8) La pompa **master** e le pompe **followers** sono pertanto pilotate in modo da soddisfare la portata complessiva necessaria a mantenere costante il livello della vasca di recapito, che come detto è funzione della richiesta idrica delle utenze di valle, mantenendo un regime di funzionamento ottimale.

# Monitoraggio ciclo idrico integrato: monitoraggio di impianti energivori

## Impianto di pompaggio ad uso irriguo: supervisione locale

Feedback dei singoli inverters

Schema Strategie Turni Inverters Pompe Attivazioni Strategia: AUTOMATICO PER LIVELLO

INVERTER 1	INVERTER 2	INVERTER 3	INVERTER 4	INVERTER 5
READY	READY	READY	READY	READY
RUN	RUN	RUN	RUN	RUN
FAULT	FAULT	FAULT	FAULT	FAULT
Velocità (RPM) <b>0.00</b>				
Frequenza (Hz) <b>0.00</b>				
Corrente (A) <b>0.00</b>				
Potenza (kW) <b>0.00</b>				
Temperatura (°C) <b>0.00</b>				
Ore di marcia <b>0.00</b>				

Energia Diagnostica Trend Allarmi Help 2019/03/10 - 10:20:26

Settaggio dei set-points

Schema Strategie Turni Inverters Pompe Attivazioni Strategia: AUTOMATICO PER LIVELLO

Livello torrino (m) **0.00**

Setpoint livello torrino (m)

Attuale: **0.00**  
Nuovo settaggio: **0.00**  
Set

ORDINE DI ATTIVAZIONE ATTUALE

0	0	0	0	0
NO INFO				
NO INFO				

Velocità di gruppo (RPM) **0.00**

AUTOMAZIONE PER LIVELLO

Velocità di gruppo (RPM) **0.00**

Velocità (RPM) **0** | Velocità (RPM) **0** | Velocità (RPM) **0** | Velocità (RPM) **0** | Velocità (RPM) **0**

Pompa 1 | Pompa 2 | Pompa 3 | Pompa 4 | Pompa 5

Starting | Stopping | Avvia

USCITA VERSO TORRINO

Galleggianti  
livello BASSO

Parametri PID

Energia Diagnostica Trend Allarmi Help 2019/03/10 - 12:09:05

# Monitoraggio ciclo idrico integrato: pillole di storia (1/2)

## Sextus Julius Frontinus (40 – 103 d.C.)

Uno dei più famosi ingegneri Romani, nato nella Gallia Narbonensis e nominato nel 95 d.C. Commissario alle Acque di Roma (*Curator Aquarum*) sotto l'imperatore Nerva.

Ha scritto un trattato in due libri: ***De Aquaeductu Urbis Romae*** nel quale descrive in dettaglio le sorgenti, la lunghezza e le funzioni di ciascuno degli acquedotti romani.

E' ricordato per una frase:

**"... Con una tale schiera di indispensabili strutture che convogliano così tanta acqua, paragonatele, se volete, con le inattive e statiche Piramidi o con le inutili, sebbene famose, opere dei Greci."**

Era un manager pubblico, un odierno ***Commissario ad Acta***, pragmatico e concreto, al quale interessava ben poco la bellezza di un'opera e badava piuttosto alla sua funzionalità. Frontinus rappresenta l'origine della gestione sistematica e della modellazione descrittiva. Fu il primo a capire che per gestire una rete complessa servivano dati precisi, standardizzazione (la ***quinaria***) e una manutenzione programmata basata su mappe e rilievi.



Resti dell'Acquedotto Acqua Claudia

# Monitoraggio ciclo idrico integrato: pillole di storia (2/2)

Durante la sua attività di ***Curator Aquarum*** Sextus Julius Frontinus :

- ✓ descrisse i sistemi idrici di Roma e promulgò le leggi relative al suo uso e manutenzione (dimensione dei canali e portate degli acquedotti Aqua Appia, Aqua Alsietina, Aqua Tepula, Anio Novus, Aqua Virgo and Aqua Claudia etc.).
- ✓ descrisse la qualità delle acque erogate da ciascun sistema idrico in funzione delle fonti di approvvigionamento (fiumi, laghi o sorgenti).
- ✓ predispose schemi e mappe dei sistemi idrici per valutarne lo stato di consistenza prima di dare inizio alle attività di manutenzione ordinaria e straordinaria.
- ✓ **affrontò il problema delle sottrazioni non autorizzate di volumi idrici da parte, fra gli altri, dei proprietari terrieri e mercanti.**
- ✓ **inizio una campagna di ricerca perdite e trafugazioni, mediante un meticoloso controllo dei prelievi e delle erogazioni di ciascuno schema idrico (con rudimentali sistemi di misura) per poi analizzare i differenziali delle portate. Introduce il concetto di quinaria, un'unità di misura standard per la portata dell'acqua basata sul diametro dei tubi di piombo.**



Segovia - Spagna



Port du Gard - Francia



Tarragona - Spagna

# Monitoraggio ciclo idrico integrato: le perdite in rete dal punto di vista fisico (1/3)



Portata effluente da un foro sotto pressione (foronomia)

$$Q = A C_d \sqrt{P} = A C_d P^{0,5}$$

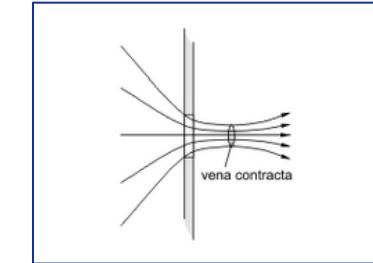
essendo:

$Q$  = portata effluente dal foro

$A$  = area della sezione del foro

$C_d$  = coefficiente d'efflusso (0,611 per bordo a 90°, Kirchoff, 1869)

$P$  = pressione media in asse del foro

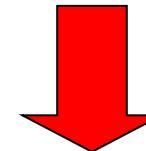


**La gestione  
real-time della  
pressione riduce le  
perdite effettive**

**E' l'autofinanziamento!**

## Monitoraggio ciclo idrico integrato: le perdite in rete dal punto di vista fisico (2/3)

**Le perdite reagiscono in modo differente alla pressione:**



**FAVAD (Fixed And Variable Area Discharges)**



$$Q_{p1} = Q_{p0} \left( \frac{p_1}{p_0} \right)^{N1}$$

**essendo:**

$Q_{p1}$  = portata al livello di pressione  $p_0$

$Q_{p0}$  = portata al livello di pressione  $p_1$

$N1$  = esponente

## Monitoraggio ciclo idrico integrato: le perdite in rete dal punto di vista fisico (3/3)



**Perdite dovute  
a corrosione e/o  
su tubi rigidi** → **N1 = 0,5**



**Perdite su giunti** → **N1 = 1,5**



**Perdite  
longitudinali** → **N1 = 2,5**

# Monitoraggio ciclo idrico integrato: fluttuazione delle pressioni

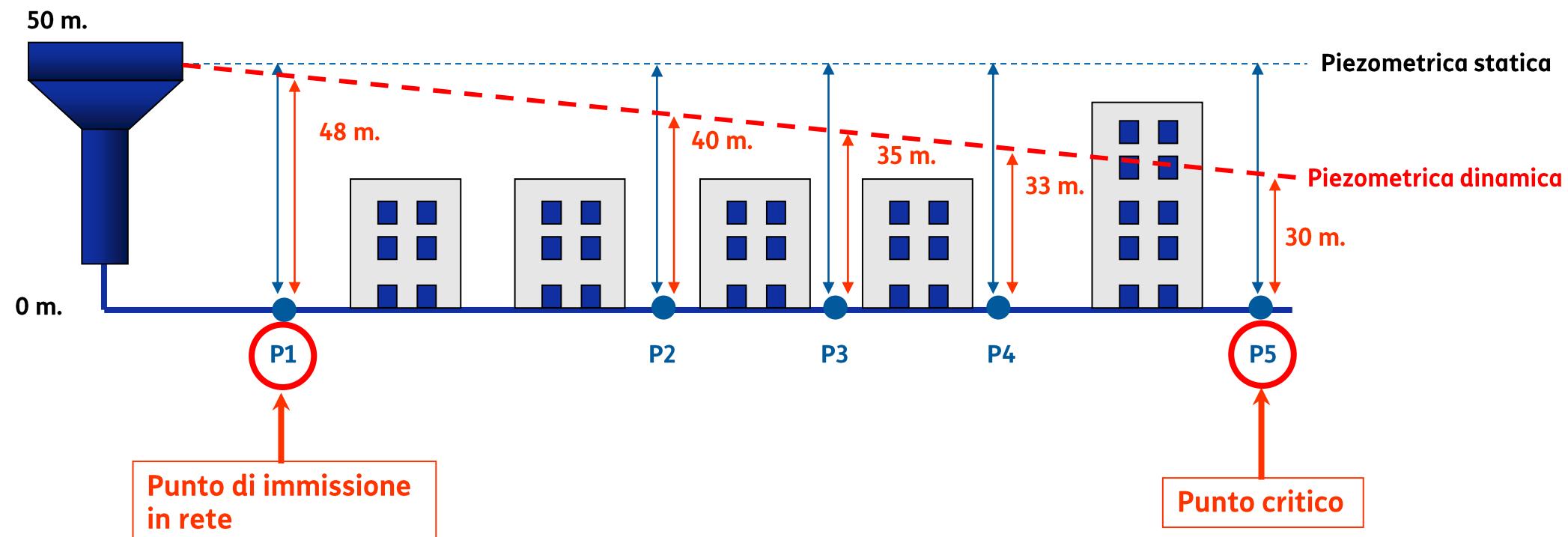
2\*

## Fluttuazioni giornaliere

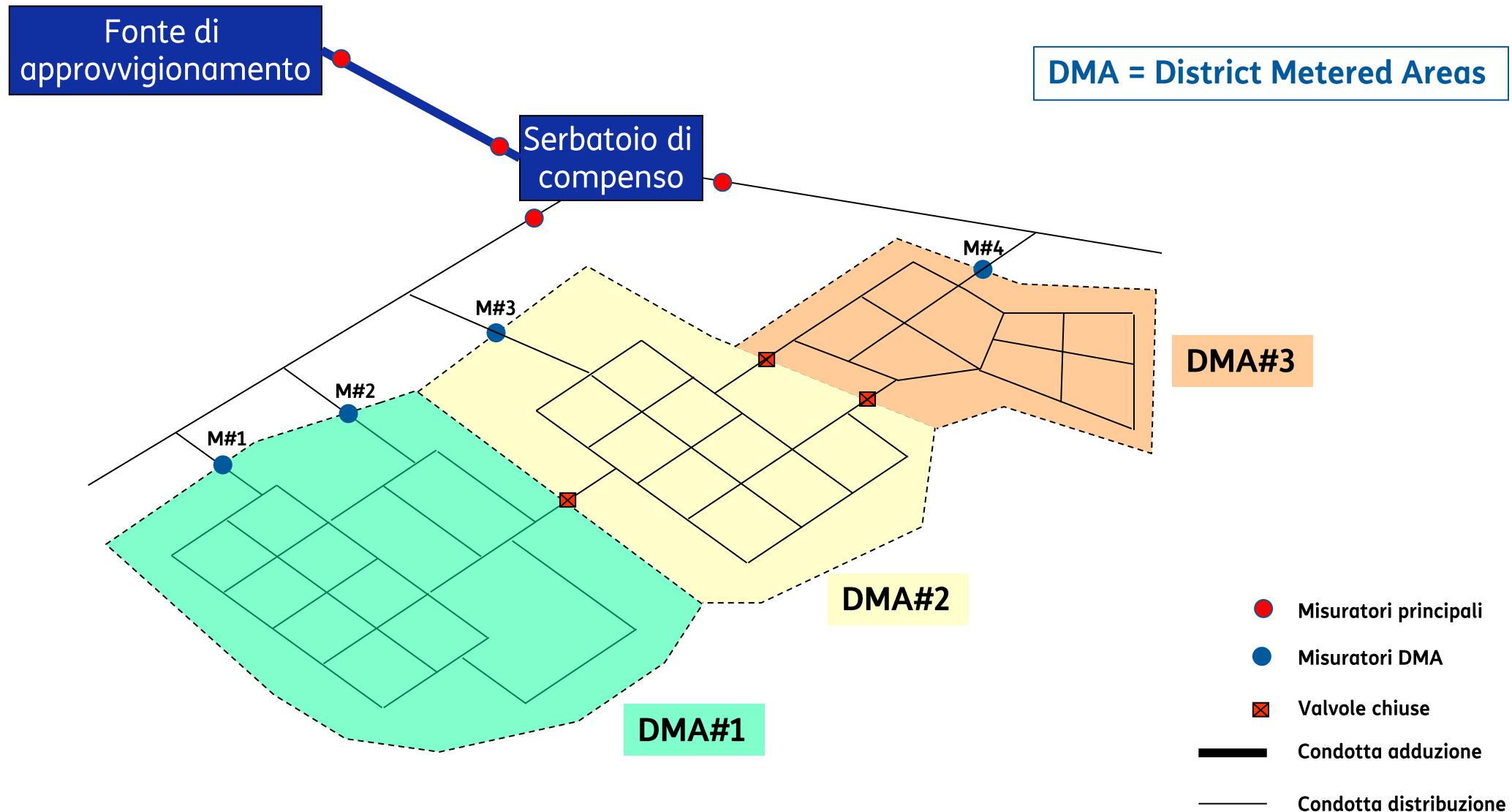
Alta domanda mattutina e serale  
Bassa domanda pomeridiana e notturna

## Fluttuazioni stagionali

Week-end, periodi caldi  
Periodi di vacanze (irrigazione, maggiori consumi)



# Monitoraggio ciclo idrico integrato: la distrettualizzazione



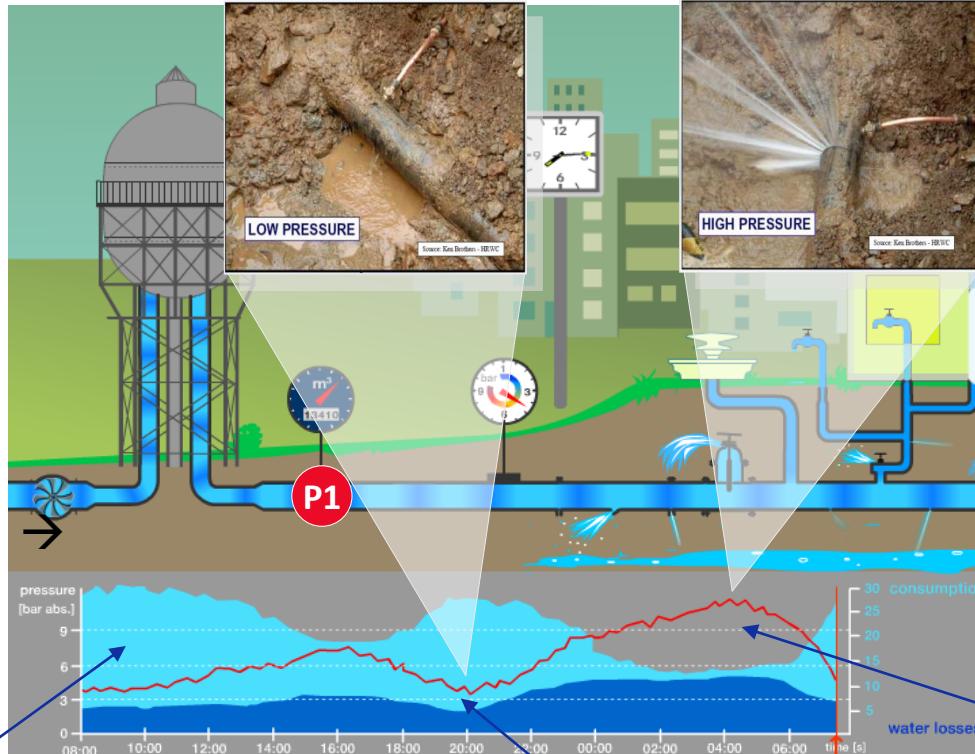
# Monitoraggio ciclo idrico integrato: il Pressure Management

## ASSUNTO:

I consumi variabili nel tempo (giornaliere e stagionali) causano oscillazioni di pressioni nelle reti idriche interne.

P1

Nodo di controllo della pressione in ingresso alla zona regolata (DMA o PMZ).



### Correlazione inversa fra portate e pressioni:

- Basse portate (bassi consumi) → Alte pressioni
- Alte portate (alti consumi) → Basse pressioni

### Correlazione diretta fra perdite e pressioni:

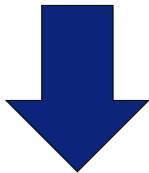
- Alte pressioni → alte perdite
- Basse pressioni → basse perdite

### Legenda

- Pressione nel nodo P1 (pressure)
- Portata nel nodo P1 (consumption)
- Perdite (water loss)

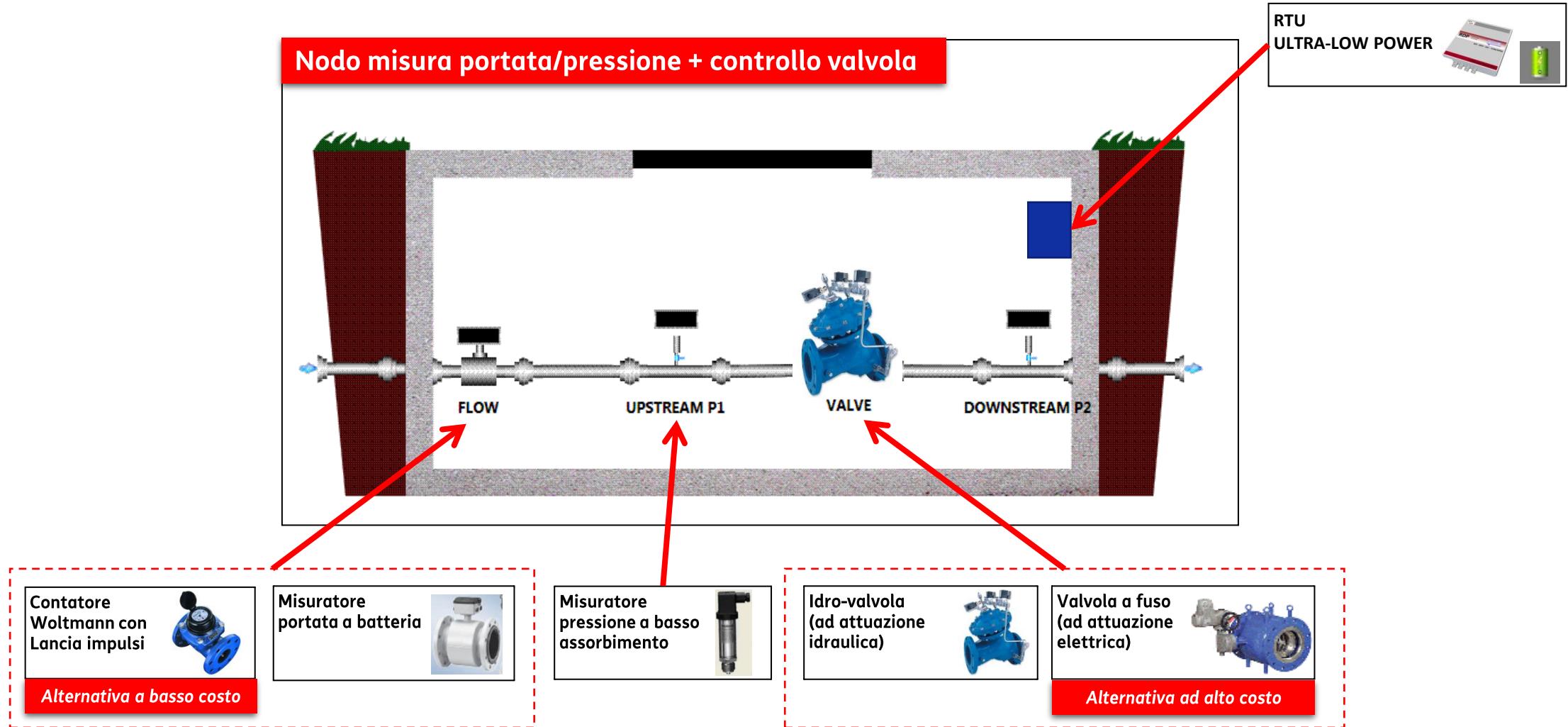
# Monitoraggio ciclo idrico integrato: il Pressure Management

**IL PRESSURE MANAGEMENT**  
*(gestione della pressione)*  
**è una tecnologia basata su tecnologie HW/SW**  
**ed ha l'obiettivo di eliminare la pressione**  
**in eccesso nelle reti idriche interne ....**

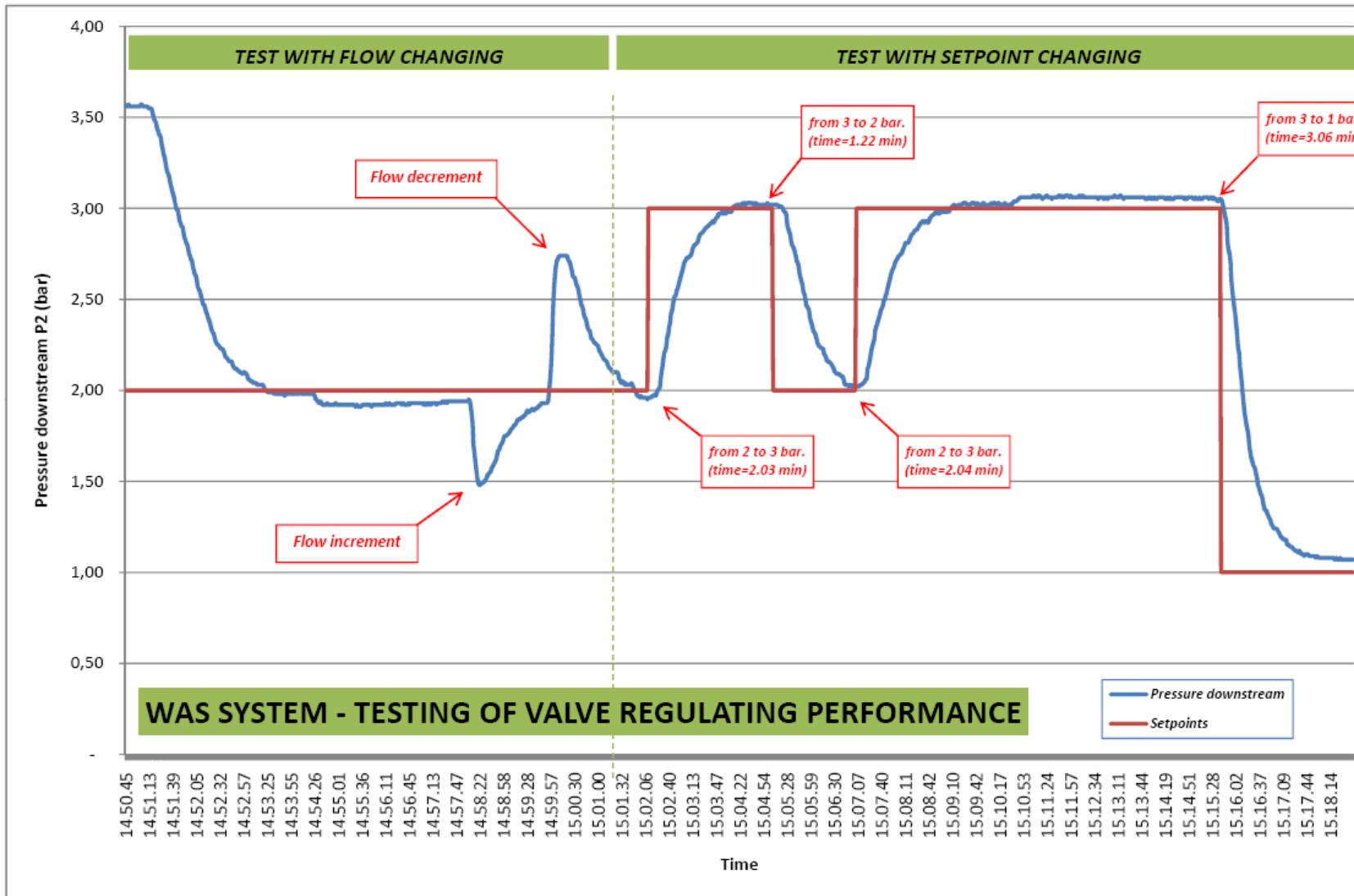


**... e quindi  
ottimizzare l'erogazione idrica  
con notevoli risparmi:  
✓ sul costo di produzione dell'acqua  
✓ sulla gestione della rete**

# Monitoraggio ciclo idrico integrato: un esempio di implementazione ODU



# Monitoraggio ciclo idrico integrato: la risposta dell'algoritmo di controllo



Legenda

- Pressione a valle P2 (down-stream)
- Set point di pressione

L'algoritmo di controllo implementato è un PID:

P = proporzionale  
I = Integrativo  
D = derivativo

# Monitoraggio ciclo idrico integrato: il Digital Twin della rete idrica

L'era del calcolo  
manuale

**Hardy Cross**  
1936

Nel 1936, **Hardy Cross**, un ingegnere strutturale americano, pubblicò il metodo del **bilanciamento dei carichi**.

- **Il Principio:**

Il metodo si basa su un processo iterativo di correzione delle portate ipotizzate in ogni "maglia" (loop) della rete fino a quando la somma delle perdite di carico lungo la maglia è prossima a zero.

- **L'Impatto:**

Per decenni, il "Metodo Hardy Cross" è stato l'unico strumento pratico per gli ingegneri. Tuttavia, era lento, soggetto a errori umani e difficile da applicare a reti con centinaia di nodi.

Il metodo del  
Gradiente Globale

**Ezio Todini**  
1988

**Ezio Todini**, professore dell'Università di Bologna, introduce insieme a Pilati il **Global Gradient Algorithm (GGA)**, detto il Metodo del Gradiente, che diventerà il "cuore" dei moderni motori di calcolo, incluso EPANET.

- **Vantaggi:**

Il **GGA** tratta l'intera rete come un unico sistema matriciale. È estremamente stabile, converge rapidamente anche in reti complesse e permette di gestire facilmente componenti come pompe e valvole di regolazione.

- **Evoluzione Recent:**

Todini ha continuato a spingere i confini della ricerca introducendo concetti come l'**Analisi dipendente dalla Pressione (PDA)**, dove la portata erogata ai rubinetti dipende dalla pressione effettiva disponibile, superando il limite dei modelli classici che ipotizzano richieste fisse anche in caso di guasti.

EPANET

(Environment Protection Agency)

**Lewis Rossman**  
1993

Con la diffusione dei calcolatori elettronici, i metodi iterativi sono stati automatizzati. La vera svolta "democratica" nel settore è avvenuta grazie a **Lewis Rossman**, ricercatore dell'EPA (Environmental Protection Agency) statunitense. Nel 1993 viene rilasciato **EPANET**.

- **Il Motore di Calcolo:**

Rossman implementò l'algoritmo del "Metodo del Gradiente" di Todini, che permetteva di risolvere simultaneamente le equazioni di continuità ai nodi e di conservazione dell'energia nelle condotte.

- **Standardizzazione:**

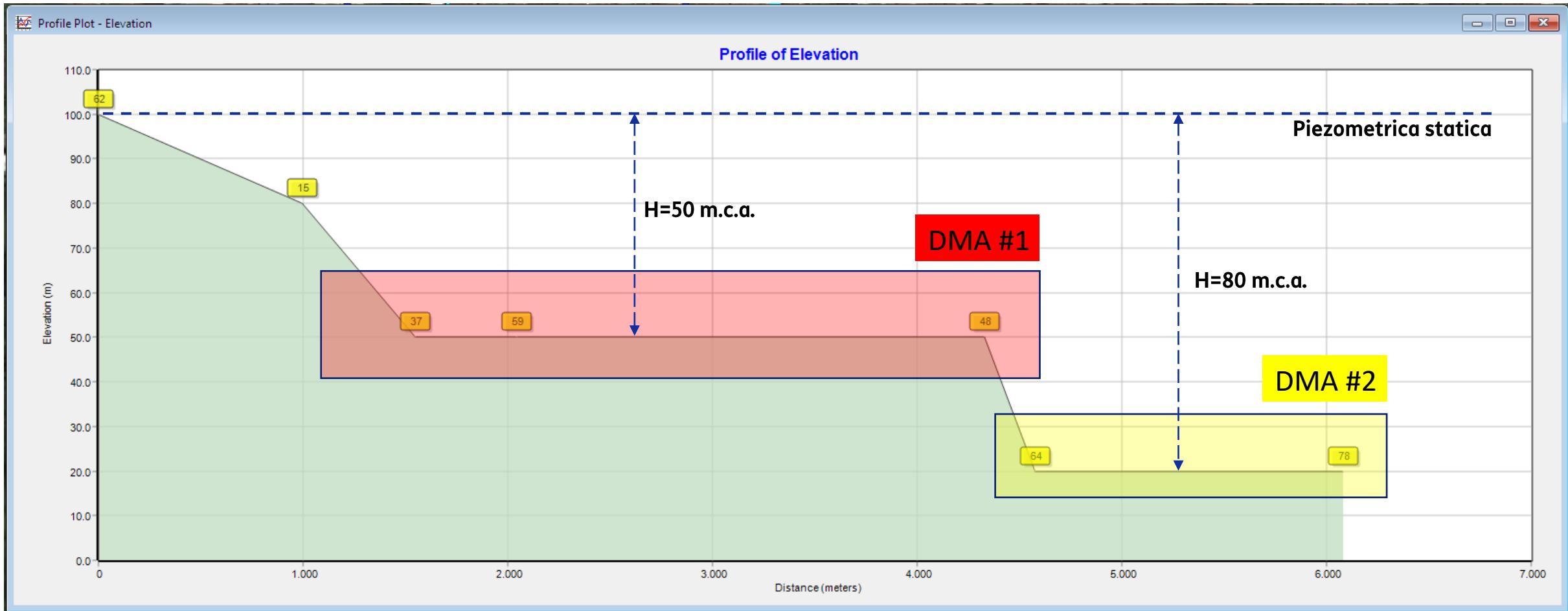
EPANET non era solo un software, ma è diventato il formato standard (.inp) per l'interscambio di dati idraulici in tutto il mondo. Ha introdotto la simulazione di **periodo esteso (EPS)**, permettendo, ad esempio, di valutare come i livelli dei serbatoi e le pressioni variano nell'arco delle 24 ore.

# Monitoraggio ciclo idrico integrato: il Digital Twin della rete idrica



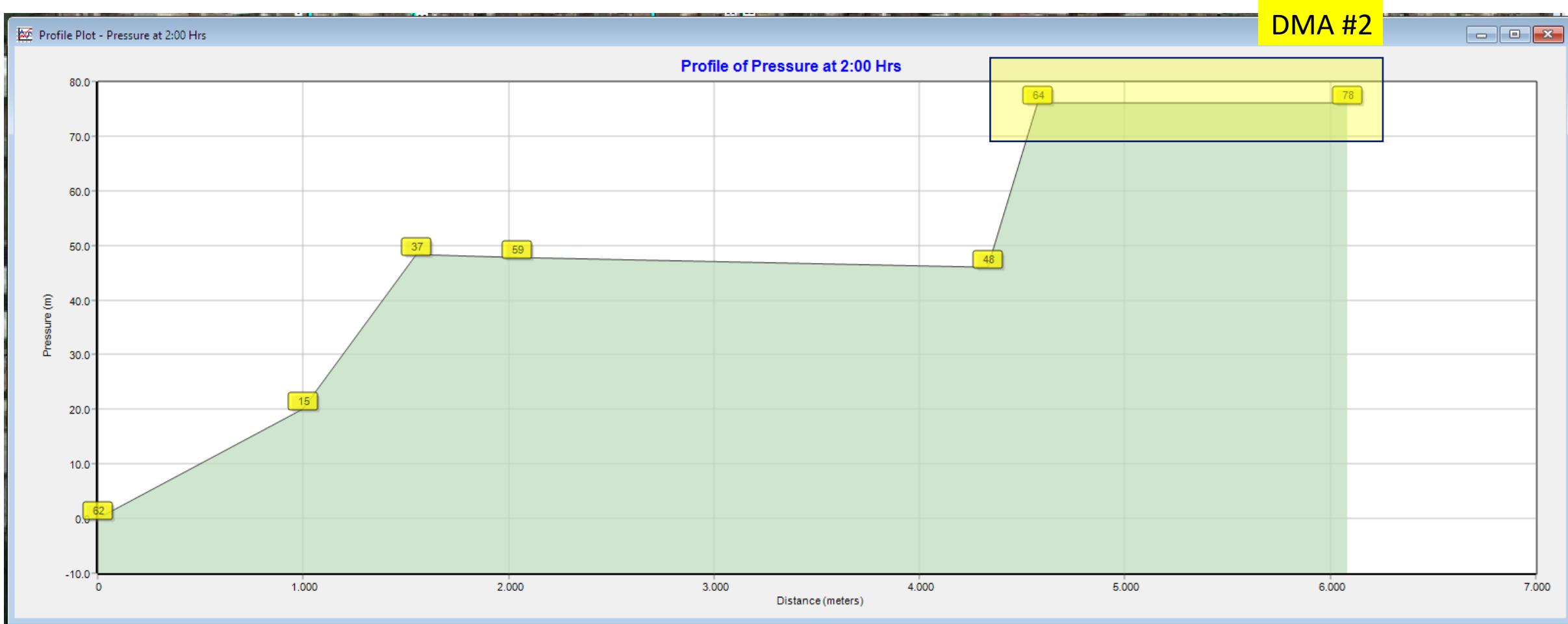
# Monitoraggio ciclo idrico integrato: il Digital Twin della rete idrica

## Profilo del piano campagna (lungo i nodi 62 - 15 - 37 - 59 - 48 - 64 - 78)



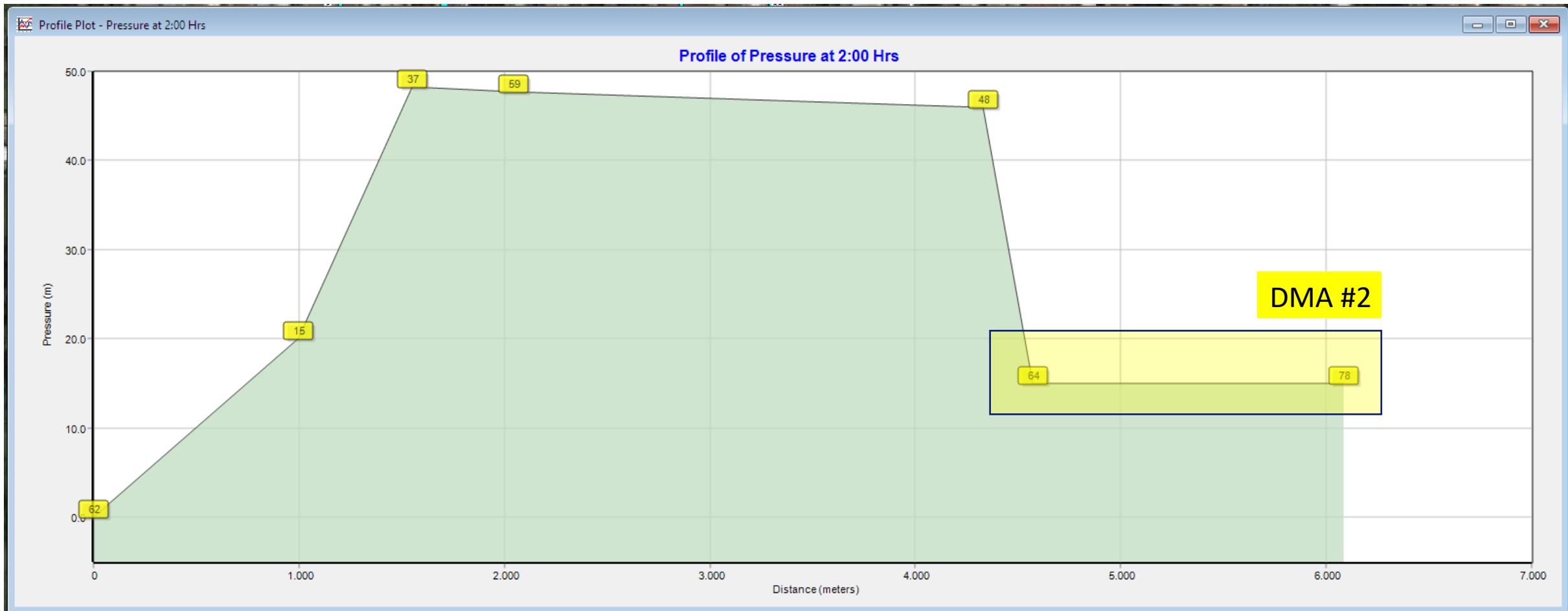
# Monitoraggio ciclo idrico integrato: il Digital Twin della rete idrica

**Andamento della pressione lungo i nodi 62 - 15 - 37 - 59 - 48 - 64 - 78 alle ore 2:00  
(senza regolazione della pressione)**

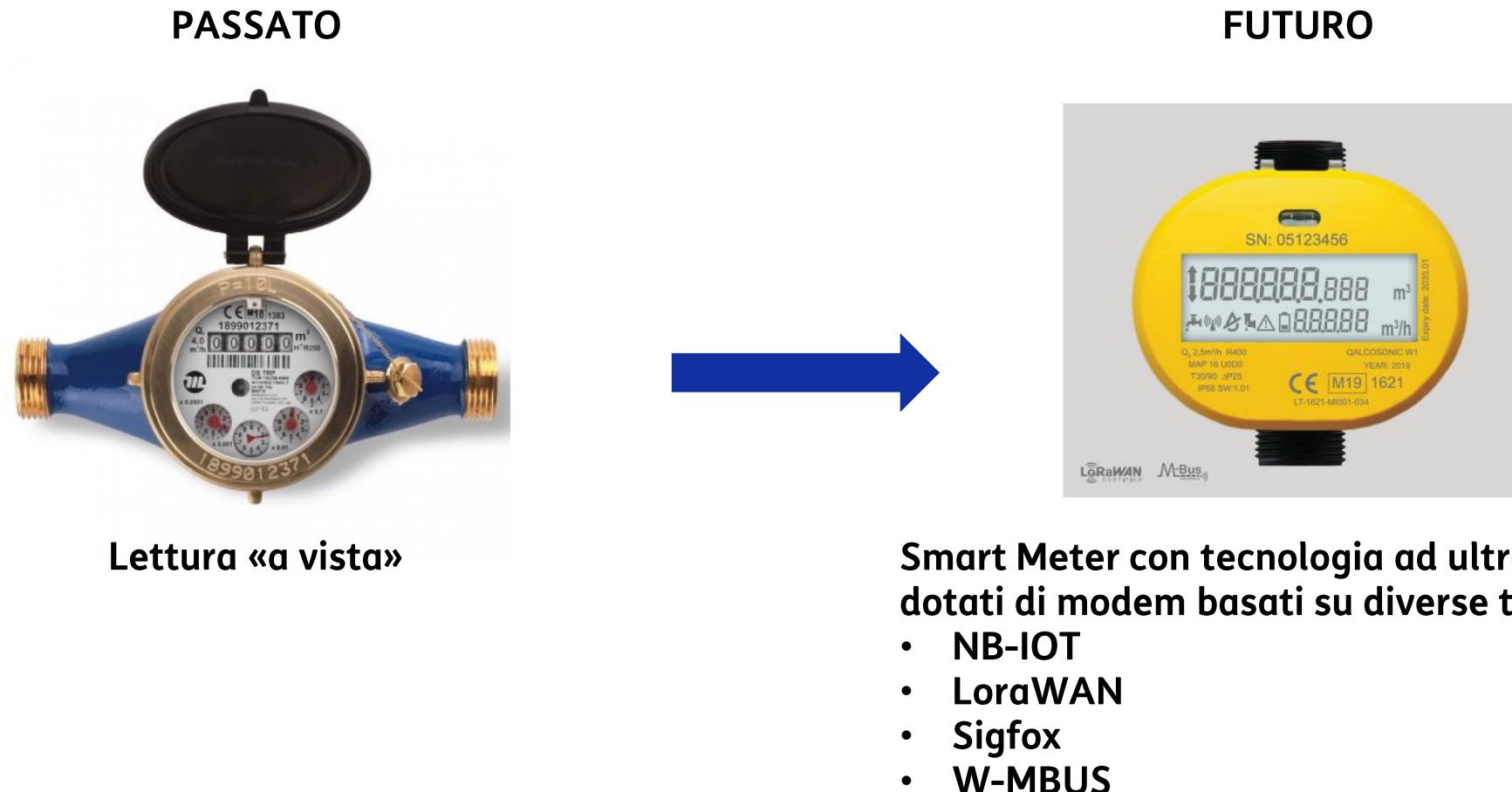


# Monitoraggio ciclo idrico integrato: il Digital Twin della rete idrica

**Andamento della pressione lungo i nodi 62 - 15 - 37 - 59 - 48 - 64 - 78 alle ore 2:00  
(con regolazione della pressione)**



# Monitoraggio ciclo idrico integrato: la transizione nella telettura di contatori



# Monitoraggio ciclo idrico integrato: alcuni vantaggi della telelettura dei contatori

- ✓ **Aumento dell'efficienza di lettura dei contatori idrici:**  
*il monitoraggio centralizzato aumenta la frequenza e la precisione delle letture dei contatori riducendo le spese operative*
- ✓ **Redazione dei bilanci idrici:**  
*la telelettura dei contatori rende possibile la redazione dei bilanci idrici in «near-real-time»*
- ✓ **Identificazione tempestiva di perdite in rete idrica interna:**  
*l'identificazione tempestiva di perdite in rete è in grado di ridurre i volumi persi di acqua e di limitare gli eventuali danni collaterali*
- ✓ **Maggiore precisione di fatturazione:**  
*elimina le letture stimate, migliorando il processo di riscossione delle bollette ed evitando spiacevoli sorprese nelle fatture inviate ai clienti in “acconto”*
- ✓ **Aumenta l'efficienza dei team di campo:**  
*la possibilità di accedere in modo remoto, con smartphone o tablet, ai dati storici degli utenti, ai dati del GIS e ad altre informazioni fondamentali sulla rete riduce gli spostamenti delle squadre di campo da/verso gli uffici centrali del gestore, velocizzando i tempi di riparazione*
- ✓ **Miglioramento del servizio offerto ai clienti:**  
*l'utilizzo di portali web consente ai clienti del gestore di monitorare in tempo reale i propri livelli di utilizzo ed i trends di consumo; ciò incoraggia comportamenti virtuosi e consapevoli nell'uso di acqua, contribuendo alla conservazione di preziosa risorsa idrica*

## 06 Monitoraggio reti elettriche

# Monitoraggio strutturale: i tralicci dell'Alta Tensione

## 2018: La Tempesta Vaia

La **tempesta Vaia** è stata una forte tempesta mediterranea che si è verificata tra il 26 e il 30 del 2018, con raffiche di vento a livello uragano e forti piogge, che hanno provocato danni da inondazioni e schianti da vento in Francia, Svizzera, Italia, Austria e Croazia.

Vaia ha abbattuto una quantità enorme di alberi, stimata tra i **14 e 40 milioni**, sradicando principalmente abeti rossi e devastando **oltre 42.000 ettari di bosco** tra Veneto, Trentino e Friuli, causando danni economici ingenti e cambiando per sempre il paesaggio alpino,

In Europa esiste la possibilità di pagare per dare il proprio nome a un evento meteorologico: l'Istituto di Meteorologia della Università libera di Berlino fin dagli anni cinquanta del XX secolo mette a disposizione un nome di donna in modo da assegnarla in modo casuale a uno specifico evento (*aree di alta o bassa pressione*).

L'evento del 26-30 ottobre 2018 ha preso il nome della signora **Vaia Jakobs**, manager di un grande gruppo multinazionale di materassi, grazie al regalo «originale» da parte di suo fratello.



# Monitoraggio strutturale: i tralicci dell'Alta Tensione

## La tecnologia usata dopo la Tempesta Vaia: IoT4Grid

### Contesto

Installazione di sensori strutturali (accelerometri, inclinometri, strain gauge, sensori meteo) e dispositivi di acquisizione IoT wireless su oltre 1200 tralicci della rete nazionale ad alta tensione per tracciare lo stato manutentivo delle linee, segnalare l'insorgenza di fenomeni critici, la perdita di verticalità dei sostegni o l'insorgenza di carichi meccanici limite sui conduttori.



### Hardware e Software

- **Digil:** apparato di digitalizzazione del traliccio a cui sono collegati i sensori di traliccio, alimentata da pannelli solari e batterie LiFePO4
- **IoT Box:** dispositivo di raccolta dati provenienti dalle Digil e backhauling su Fibra o 4G comprendente un gateway LoraWAN e alimentazione ad alta resilienza a pannelli solari
- **Software di Device Management** basato su sistema SCADA EvoX



### Benefici

Il sistema è stato installato da Staer Sistemi/Olivetti nelle regioni alpine devastate dalla Tempesta Vaia a partire dal 2019, ed ha consentito negli anni a venire di limitare episodi power outage e conseguenti disagi alla popolazione ed alle attività produttive.



Diamo alle infrastrutture  
un domani digitale.