



Convegno tecnico



RILIEVO, MANUTENZIONE, DIGITALIZZAZIONE E MONITORAGGIO IN ESERCIZIO DELLE INFRASTRUTTURE STRATEGICHE



SISTEMI DI GESTIONE E CONTROLLO DEL TERRITORIO E SUL
COSTRUITO ATTRAVERSO SATELLITI E INTELLIGENZA ARTIFICIALE

Francesco Fabbrocino e Luciano Feo

Complesso Monumentale di Santa Maria la Nova a Napoli, 23 febbraio 2022

Ordine degli Ingegneri della Provincia di Napoli



Associazione scientifico-culturale MASTER



Materials and Structures Testing and Research

con il patrocinio di



organizzano il convegno tecnico in presenza ed in FAD

RILIEVO, MANUTENZIONE, DIGITALIZZAZIONE E MONITORAGGIO IN ESERCIZIO DELLE INFRASTRUTTURE STRATEGICHE



CONTROLLO DEL COSTRUITO ATTRAVERSO L'INTELLIGENZA ARTIFICIALE

Napoli, 23 febbraio 2022

Francesco Fabbrocino e Luciano Feo

**RILIEVO,
MANUTENZIONE,
DIGITALIZZAZIONE
E MONITORAGGIO
IN ESERCIZIO DELLE
INFRASTRUTTURE
STRATEGICHE**

**Sistemi di gestione
e controllo del
territorio e sul
costruito attraverso
satelliti e
intelligenza
artificiale**

Francesco Fabbrocino
Luciano Feo

Napoli
ventitre
febbraio
duemilaventidue

Un approccio olistico

I recenti eventi di crolli e la situazione di degrado riscontrata nelle infrastrutture hanno reso necessario valutare la **sicurezza dei manufatti esistenti** mediante un **approccio olistico** che associ al processo di **valutazione globale delle strutture** e alla **valutazione locale delle caratteristiche dei materiali** la **misura diretta dei segnali di sofferenza strutturale.**



**RILIEVO,
MANUTENZIONE,
DIGITALIZZAZIONE
E MONITORAGGIO
IN ESERCIZIO DELLE
INFRASTRUTTURE
STRATEGICHE**

**Sistemi di gestione
e controllo del
territorio e sul
costruito attraverso
satelliti e
intelligenza
artificiale**

Francesco Fabbrocino
Luciano Feo

Napoli
ventitre
febbraio
duemilaventidue

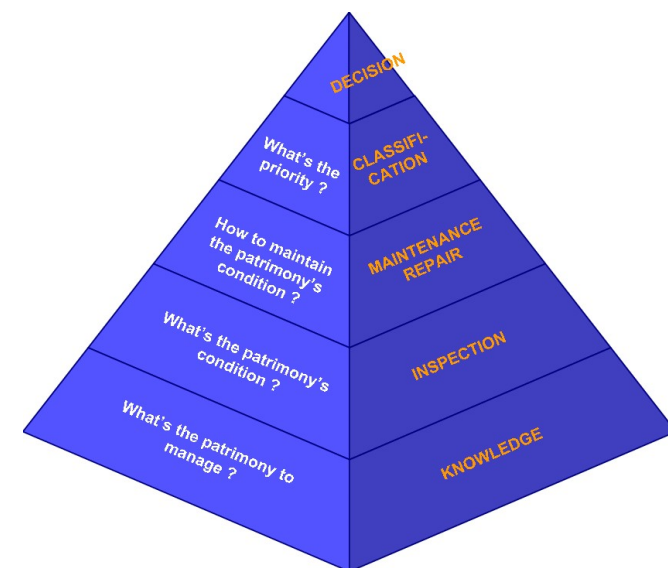
Il controllo attivo



Per raggiungere questo obiettivo, i **sistemi di monitoraggio** devono evolvere verso il cosiddetto **controllo attivo**.

Ciò richiede una **progettazione specifica del sistema di monitoraggio**, centrata sulle peculiarità strutturali proprie dell'opera monitorata.

In altri termini, la tradizionale manutenzione correttiva (**Fix-it-when-it-broke**) deve evolvere verso la più **affidabile strategia di manutenzione predittiva**, denominata «**Risk-based maintenance**» o (RBM).



risk-based maintenance (RBM)

Limiti del controllo attivo nel settore delle infrastrutture



Nel campo delle infrastrutture civili il **controllo attivo** ha incontrato finora **alcuni limiti di applicazione** rispetto al settore industriale:

- (i) la **scala** delle opere civili;
- (ii) la progettazione dei manufatti civili, fino a oggi, non ha tenuto conto dei requisiti elementari propri del **design for maintenance**: le parti critiche dei manufatti risultano spesso non ispezionabili, così come lo smontaggio e la sostituzione di elementi strutturali sono nella maggior parte dei casi assai complesse e dispendiose;
- (iii) la progettazione strutturale civile, fino agli ultimi anni, si **è spesso limitata al soddisfacimento di requisiti di resistenza**, ma non ha quasi mai tenuto conto dei requisiti di **robustezza (qualità della resistenza!!)**.

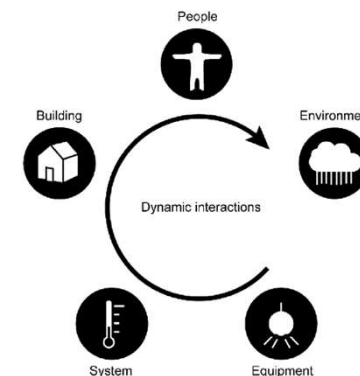
RILIEVO,
MANUTENZIONE,
DIGITALIZZAZIONE
E MONITORAGGIO
IN ESERCIZIO DELLE
INFRASTRUTTURE
STRATEGICHE

Sistemi di gestione
e controllo del
territorio e sul
costruito attraverso
satelliti e
intelligenza
artificiale

Francesco Fabbrocino
Luciano Feo

Napoli
ventitre
febbraio
duemilaventidue

Consequence-based design



In altri parole, nella **concezione e nel dimensionamento delle opere civili non sono stati applicati concetti fondamentali del consequence-based design**, ben noti in altri campi dell'ingegneria, grazie ai quali è possibile:

- **inibire il collasso sproporzionato** originato da eventi locali,
- **difendersi da eventi imprevedibili** tipo “**cigni neri**” con conseguenze catastrofiche.

RILIEVO,
MANUTENZIONE,
DIGITALIZZAZIONE
E MONITORAGGIO
IN ESERCIZIO DELLE
INFRASTRUTTURE
STRATEGICHE

Sistemi di gestione
e controllo del
territorio e sul
costruito attraverso
satelliti e
intelligenza
artificiale

Francesco Fabbrocino
Luciano Feo

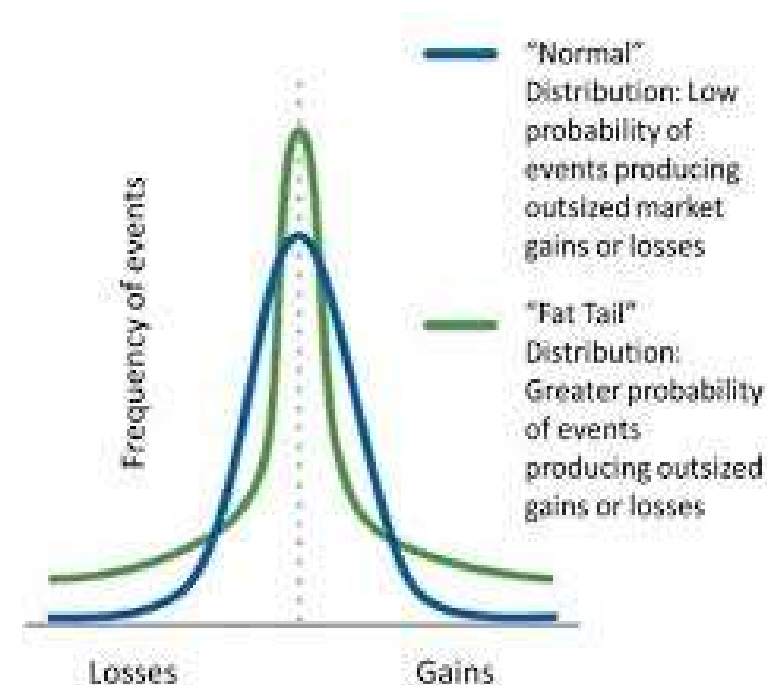
Napoli
ventitre
febbraio
duemilaventidue

FAT TAILS (code statistiche)

Inoltre, si deve tener conto che le infrastrutture civili **sono spesso caratterizzate da una risposta altamente non lineare** agli stress esterni.

E dunque, la «rassicurante» **distribuzione normale (o gaussiana)** non rappresenta adeguatamente le situazioni estreme perché sono, invece, le **code statistiche (fat tails)** che stabiliscono la sicurezza dell'opera.

Il risultato è che, in molti casi, eventi di intensità maggiore possono colpire il sistema (struttura) in maniera alquanto sproporzionata rispetto agli eventi più piccoli.



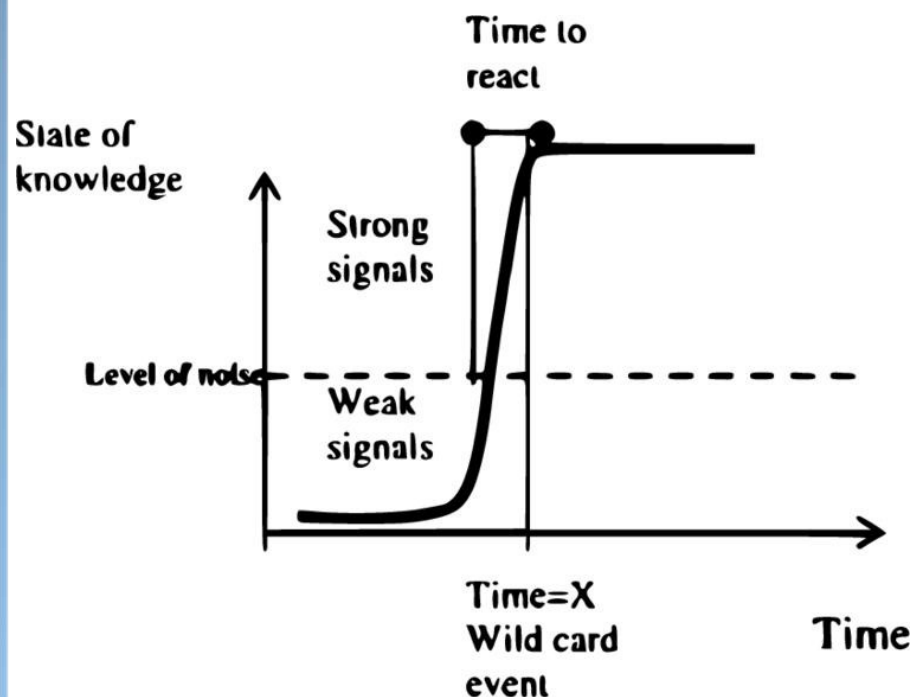
RILIEVO,
MANUTENZIONE,
DIGITALIZZAZIONE
E MONITORAGGIO
IN ESERCIZIO DELLE
INFRASTRUTTURE
STRATEGICHE

Sistemi di gestione
e controllo del
territorio e sul
costruito attraverso
satelliti e
intelligenza
artificiale

Francesco Fabbrocino
Luciano Feo

Napoli
ventitre
febbraio
duemilaventidue

SEGNALI DEBOLI O WEAK SIGNALS



Assumono, quindi, particolare importanza nel monitoraggio strutturale i cosiddetti segnali deboli (weak signals), ossia quegli indicatori di cambiamento o sofferenza che inizialmente non sono apprezzabili all'interno del rumore bianco di fondo, senza chiara correlazione con i trend macroscopici **ma che tendono a crescere e a moltiplicarsi improvvisamente e rapidamente diventando decisivi per la sicurezza dell'opera.**

**RILIEVO,
MANUTENZIONE,
DIGITALIZZAZIONE
E MONITORAGGIO
IN ESERCIZIO DELLE
INFRASTRUTTURE
STRATEGICHE**

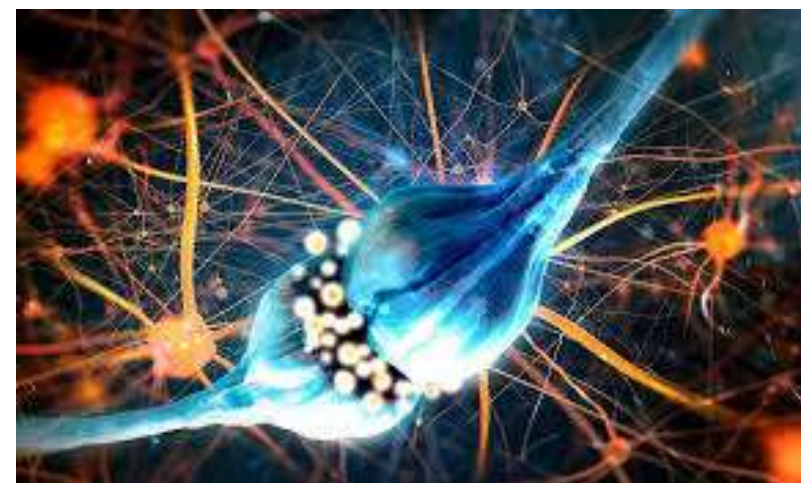
**Sistemi di gestione
e controllo del
territorio e sul
costruito attraverso
satelliti e
intelligenza
artificiale**

**Francesco Fabbrocino
Luciano Feo**

**Napoli
ventitre
febbraio
duemilaventidue**

SISTEMA DI MONITORAGGIO E CONTROLLO DEL CORPO UMANO

Questo comportamento ricorda alcuni aspetti del **corpo umano nel quale i neurotrasmettitori, attivati da cause esterne o interne, inviano al cervello la sensazione del dolore** che rappresenta un vero e proprio "allarme" di uno stato patologico e consente di intervenire.



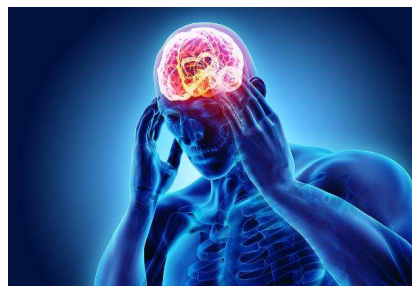
**RILIEVO,
MANUTENZIONE,
DIGITALIZZAZIONE
E MONITORAGGIO
IN ESERCIZIO DELLE
INFRASTRUTTURE
STRATEGICHE**

**Sistemi di gestione
e controllo del
territorio e sul
costruito attraverso
satelliti e
intelligenza
artificiale**

Francesco Fabbrocino
Luciano Feo

Napoli
ventitre
febbraio
duemilaventidue

SISTEMA DI MONITORAGGIO E CONTROLLO DEL CORPO UMANO



**Il superamento della soglia di
dolore (**allarme**) porta il corpo
umano ad allontanarsi dalla causa
evitando danni maggiori, o a
prendere provvedimenti di cura.**

Superamento del rumore di fondo per le strutture

Scala del dolore



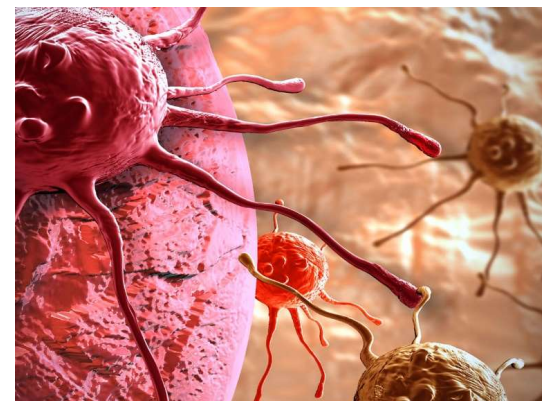
**RILIEVO,
MANUTENZIONE,
DIGITALIZZAZIONE
E MONITORAGGIO
IN ESERCIZIO DELLE
INFRASTRUTTURE
STRATEGICHE**

**Sistemi di gestione
e controllo del
territorio e sul
costruito attraverso
satelliti e
intelligenza
artificiale**

Francesco Fabbrocino
Luciano Feo

Napoli
ventitre
febbraio
duemilaventidue

SISTEMA DI MONITORAGGIO E CONTROLLO DEL CORPO UMANO



Viceversa, il **corpo non attiva il medesimo controllo nei confronti di eventi ben più gravi** come gran parte delle **neoplasie tumorali** (nella loro fase iniziale), le quali **attivano sensazioni di fastidio o dolore nel corpo umano soltanto quando la loro evoluzione è già in fase avanzata e spesso, purtroppo, non più curabile.**

Tuttavia il corpo umano, per effetto dei tumori, subisce alterazioni indirette visibili nel sangue, nel sistema linfatico e in quello ormonale.

**RILIEVO,
MANUTENZIONE,
DIGITALIZZAZIONE
E MONITORAGGIO
IN ESERCIZIO DELLE
INFRASTRUTTURE
STRATEGICHE**

**Sistemi di gestione
e controllo del
territorio e sul
costruito attraverso
satelliti e
intelligenza
artificiale**

Francesco Fabbrocino
Luciano Feo

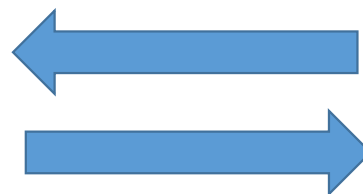
Napoli
ventitre
febbraio
duemilaventidue

SISTEMA DI MONITORAGGIO E CONTROLLO DEL CORPO UMANO

Uno dei principali scopi della ricerca oncologica è oggi l'identificazione dei cosiddetti **tumor markers**, segnali deboli (weak signals) che diagnosticano l'attivazione di degenerazioni neoplastiche già dalle prime fasi, in modo da poter intervenire tempestivamente.

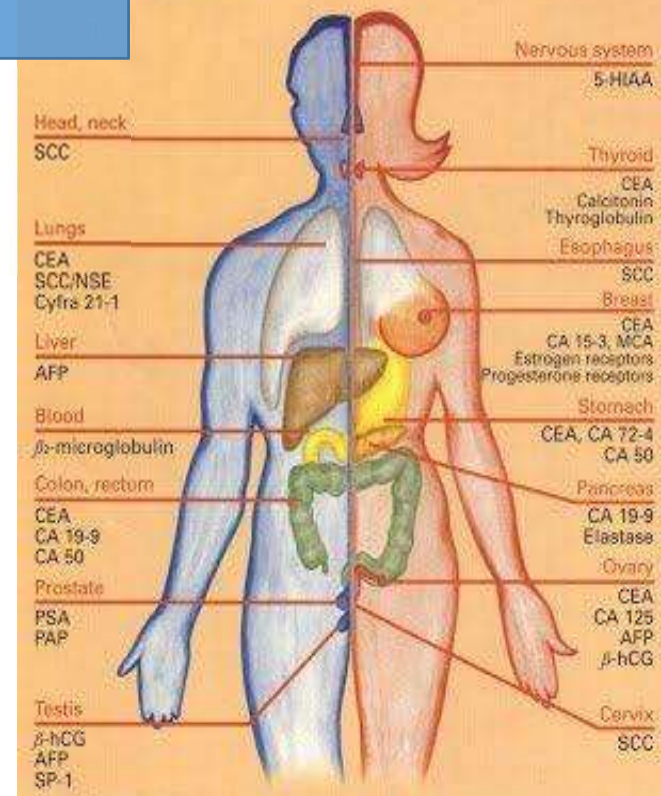
Analogamente deve muoversi il settore di diagnosi e monitoraggio nell'Ingegneria Civile **rilevando i segnali deboli (weak signals)** e mettendoli in relazione a trend macroscopici **attraverso l'intelligenza artificiale.**

**Monitoraggio
del costruito**



**Intelligenza
artificiale (AI)**

Tumor Markers



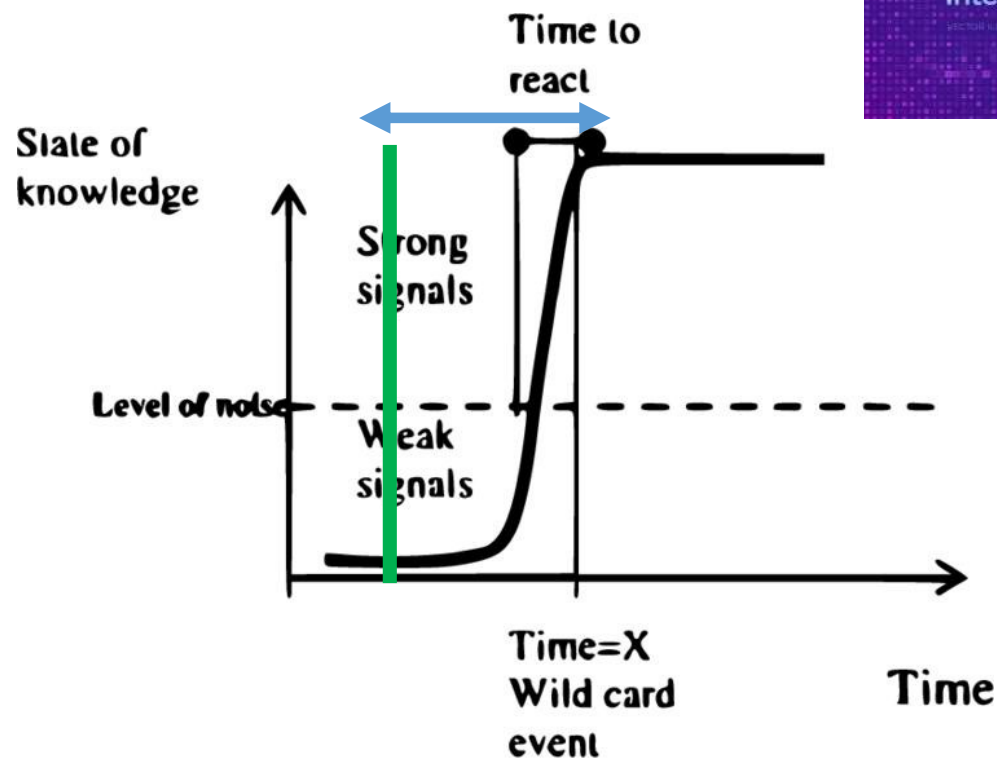
**RILIEVO,
MANUTENZIONE,
DIGITALIZZAZIONE
E MONITORAGGIO
IN ESERCIZIO DELLE
INFRASTRUTTURE
STRATEGICHE**

**Sistemi di gestione
e controllo del
territorio e sul
costruito attraverso
satelliti e
intelligenza
artificiale**

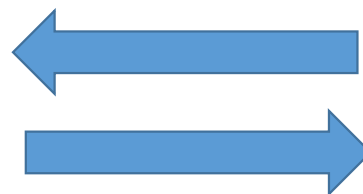
Francesco Fabbrocino
Luciano Feo

Napoli
ventitre
febbraio
duemilaventidue

SISTEMA DI MONITORAGGIO E CONTROLLO DEL CORPO UMANO



**Monitoraggio
del costruito**



**Intelligenza
artificiale (AI)**

RILIEVO,
MANUTENZIONE,
DIGITALIZZAZIONE
E MONITORAGGIO
IN ESERCIZIO DELLE
INFRASTRUTTURE
STRATEGICHE

Sistemi di gestione
e controllo del
territorio e sul
costruito attraverso
satelliti e
intelligenza
artificiale

Francesco Fabbrocino
Luciano Feo

Napoli
ventitre
febbraio
duemilaventidue

L'intelligenza artificiale



Definizione

«L'intelligenza artificiale (AI o IA) è essenzialmente definita come la capacità di una macchina di imitare il comportamento umano intelligente (capacità cognitiva) attraverso la manipolazione di simboli e basi di conoscenza strutturate simbolicamente.»

Negli ultimi anni, c'è stato un crescente interesse per l'uso dell'IA in tutti i domini dell'ingegneria, che ha alimentato molte visioni e speranze.

**RILIEVO,
MANUTENZIONE,
DIGITALIZZAZIONE
E MONITORAGGIO
IN ESERCIZIO DELLE
INFRASTRUTTURE
STRATEGICHE**

**Sistemi di gestione
e controllo del
territorio e sul
costruito attraverso
satelliti e
intelligenza
artificiale**

Francesco Fabbrocino
Luciano Feo

Napoli
ventitre
febbraio
duemilaventidue

L'intelligenza artificiale nell' ingegneria civile



L'obiettivo iniziale dell'IA era, però, quello di **realizzare una macchina intelligente con tutte le capacità intellettive e cognitive di un essere umano (IA "forte")**, inclusa l'**immaginazione**.



**RILIEVO,
MANUTENZIONE,
DIGITALIZZAZIONE
E MONITORAGGIO
IN ESERCIZIO DELLE
INFRASTRUTTURE
STRATEGICHE**

**Sistemi di gestione
e controllo del
territorio e sul
costruito attraverso
satelliti e
intelligenza
artificiale**

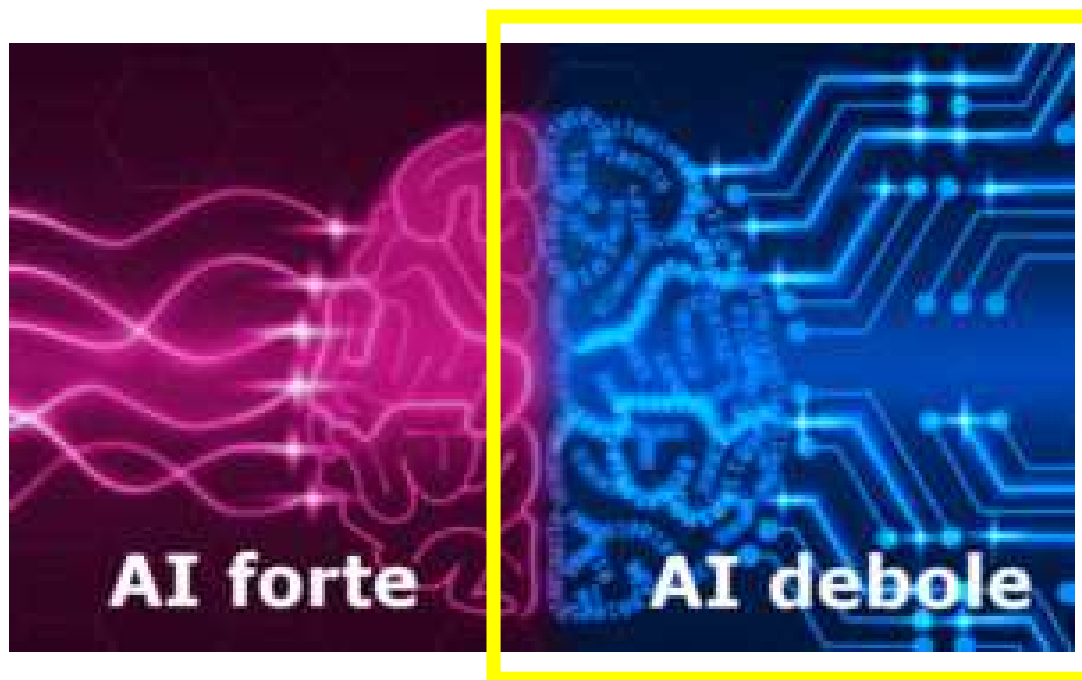
Francesco Fabbrocino
Luciano Feo

Napoli
ventitre
febbraio
duemilaventidue

L'intelligenza artificiale nell' ingegneria civile



A fronte di questa utopistica **IA "forte"**, la tecnologia ha – per ora – sviluppato applicazioni riconducibili a una **IA "debole"**, **definibile come l'intelligenza (applicativa)** di una macchina che risolve problemi specifici attraverso alcune capacità cognitive conferitegli.



RILIEVO,
MANUTENZIONE,
DIGITALIZZAZIONE
E MONITORAGGIO
IN ESERCIZIO DELLE
INFRASTRUTTURE
STRATEGICHE

Sistemi di gestione
e controllo del
territorio e sul
costruito attraverso
satelliti e
intelligenza
artificiale

Francesco Fabbrocino
Luciano Feo

Napoli
ventitre
febbraio
duemilaventidue

L'intelligenza artificiale nell'ingegneria civile

Anche nell'Ingegneria Civile l'IA ha suscitato notevole interesse tra diversi ricercatori:

- *Shahin et al.* hanno studiato le applicazioni dell'IA **nell'ingegneria geotecnica**;
- *Saka et al.* hanno condotto un'indagine sugli algoritmi matematici nell'ottimizzazione della **progettazione di strutture a telaio in acciaio**;
- *Adeli et al.* hanno effettuato una revisione dei progressi nell'ottimizzazione di **grattacieli**;
- *Garcia-Segura et al.*, hanno condotto un'indagine sull'applicazione di metodi decisionali multi-criterio per l'analisi dei **ponti sospesi**;
- *Sanchez et al.* hanno invece presentato una rassegna sulle applicazioni delle reti neurali artificiali, una branca dell'IA, per le infrastrutture civili che include **il monitoraggio della salute strutturale (SHM), l'identificazione del sistema strutturale, la progettazione e l'ottimizzazione strutturale**;
- *Zavadskas et al.* hanno esaminato i metodi dell'avanguardia applicati al **processo decisionale sostenibile nell'ingegneria civile, nell'edilizia e nella tecnologia degli edifici**.



**RILIEVO,
MANUTENZIONE,
DIGITALIZZAZIONE
E MONITORAGGIO
IN ESERCIZIO DELLE
INFRASTRUTTURE
STRATEGICHE**

**Sistemi di gestione
e controllo del
territorio e sul
costruito attraverso
satelliti e
intelligenza
artificiale**

Francesco Fabbrocino
Luciano Feo

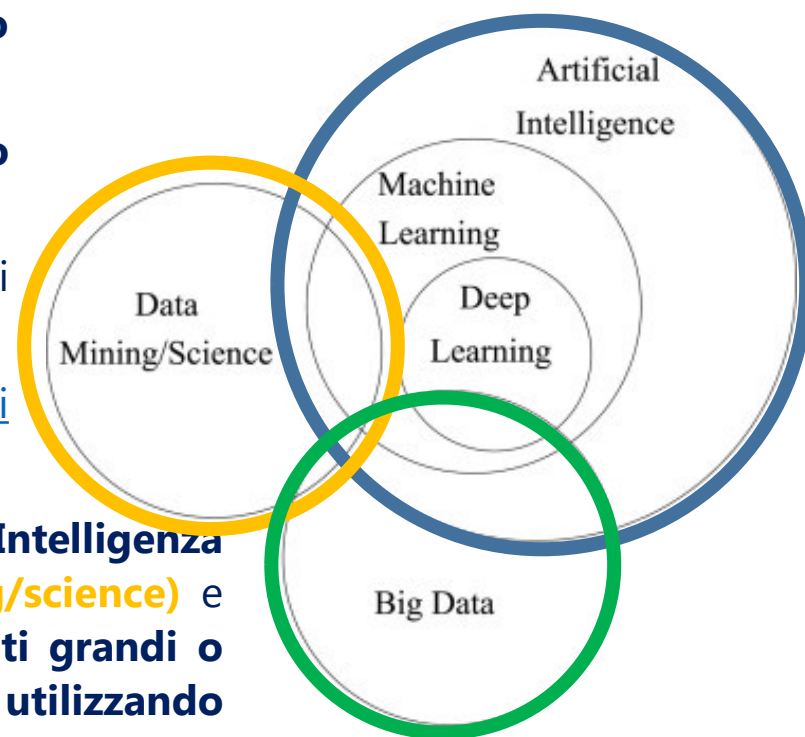
Napoli
ventitre
febbraio
duemilaventidue

L'intelligenza artificiale

Tra le diverse tecniche di IA che si stanno affermando nell'ingegneria strutturale rientrano, in particolare:

- **il machine learning (ML) o l'apprendimento automatico,**
- **il deep learning (DL) o apprendimento profondo,**
- il pattern recognition (PR) o riconoscimento di modelli,
- le reti neurali, ed in particolare [le reti neurali convoluzionali](#) (CNN).

Inoltre, è anche importante distinguere l'**Intelligenza Artificiale** dalla **scienza dei dati (Data mining/science)** e dai **big data** i quali si riferiscono a set di dati grandi o complessi che sono difficili da rappresentare utilizzando le tecniche di elaborazione dei dati convenzionali.



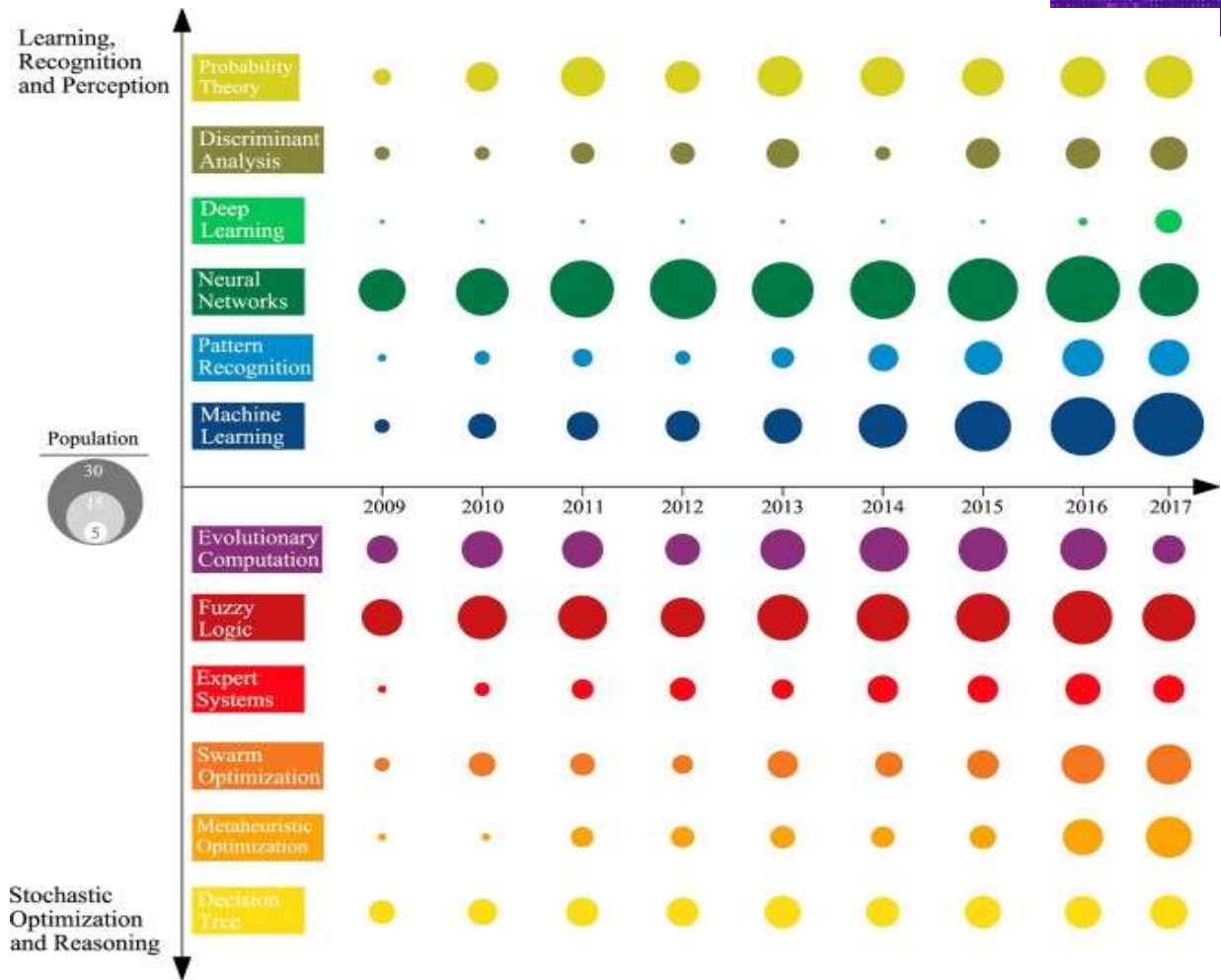
**RILIEVO,
MANUTENZIONE,
DIGITALIZZAZIONE
E MONITORAGGIO
IN ESERCIZIO DELLE
INFRASTRUTTURE
STRATEGICHE**

**Sistemi di gestione
e controllo del
territorio e sul
costruito attraverso
satelliti e
intelligenza
artificiale**

Francesco Fabbrocino
Luciano Feo

Napoli
ventitre
febbraio
duemilaventidue

**Sviluppo della ricerca sull'uso di diversi
rami dell'IA nell'ingegneria strutturale**



**RILIEVO,
MANUTENZIONE,
DIGITALIZZAZIONE
E MONITORAGGIO
IN ESERCIZIO DELLE
INFRASTRUTTURE
STRATEGICHE**

**Sistemi di gestione
e controllo del
territorio e sul
costruito attraverso
satelliti e
intelligenza
artificiale**

Francesco Fabbrocino
Luciano Feo

Napoli
ventitre
febbraio
duemilaventidue

**Migliorare le prestazioni dei metodi di
intelligenza artificiale nell'ingegneria strutturale**



	Metodi di Intelligenza Artificiale		
	Riconoscimento del modello	Apprendimento automatico	Apprendimento approfondito
Vantaggi	Applicabile ai sistemi SHM tradizionali e basati sui dati	Applicabile per sistemi SHM tradizionali e basati sui dati	Applicabile per sistemi SHM basati sulla visione
	Non necessita necessariamente di grandi quantità di dati	Integrabile con IoT per applicazioni intelligenti	Efficace quando si tratta di grandi quantità di set di dati
Svantaggi	Può essere utilizzato efficacemente per problemi di classificazione e riconoscimento	Applicabile per problemi di ottimizzazione	Applicabile per l'interpretazione di Big Data nelle città intelligenti
	Non può essere integrato direttamente con Iot per applicazioni intelligenti e intelligenti	Non necessita necessariamente di grandi quantità di dati	Integrabile con IoT per applicazioni intelligenti
	Non implica apprendimento	Computazionalmente efficiente	Computazionalmente efficiente
		Non può essere utilizzato per i nuovi sistemi SHM basati sulla visione basati su immagini	Non può essere utilizzato in modo efficace per i sistemi SHM tradizionali
			È necessaria una grande quantità di dati per prestazioni efficienti

RILIEVO,
MANUTENZIONE,
DIGITALIZZAZIONE
E MONITORAGGIO
IN ESERCIZIO DELLE
INFRASTRUTTURE
STRATEGICHE

Sistemi di gestione
e controllo del
territorio e sul
costruito attraverso
satelliti e
intelligenza
artificiale

Francesco Fabbrocino
Luciano Feo

Napoli
ventitre
febbraio
duemilaventidue

L'intelligenza artificiale applicata alle infrastrutture.



Le prime importanti applicazioni dell'Intelligenza Artificiale (IA) risalgono agli anni ottanta del secolo scorso, con le reti neurali e gli algoritmi genetici.

Soltanto nell'ultimo decennio, grazie alla **nuova potenza computazionale**, all'esuberante **disponibilità di dati (Big Data)**, alla **sensoristica a basso costo (IoT, Internet of Things)** e ai **progressi teorici nella ricerca**, **l'interesse accademico ed industriale è esploso con enormi investimenti da parte di aziende e università.**



**RILIEVO,
MANUTENZIONE,
DIGITALIZZAZIONE
E MONITORAGGIO
IN ESERCIZIO DELLE
INFRASTRUTTURE
STRATEGICHE**

**Sistemi di gestione
e controllo del
territorio e sul
costruito attraverso
satelliti e
intelligenza
artificiale**

Francesco Fabbrocino
Luciano Feo

Napoli
ventitre
febbraio
duemilaventidue

Applicazioni dell'intelligenza artificiale al controllo delle infrastrutture



Il monitoraggio delle strutture (SHM)

Negli ultimi anni, in particolare, diversi progetti di ricerca scientifica stanno approfondendo lo studio delle tecniche dell'intelligenza artificiale per il **monitoraggio delle strutture (SHM)** ed, in particolare, per i processi di **individuazione, valutazione e predizione del danno strutturale**.

**RILIEVO,
MANUTENZIONE,
DIGITALIZZAZIONE
E MONITORAGGIO
IN ESERCIZIO DELLE
INFRASTRUTTURE
STRATEGICHE**

**Sistemi di gestione
e controllo del
territorio e sul
costruito attraverso
satelliti e
intelligenza
artificiale**

Francesco Fabbrocino
Luciano Feo

Napoli
ventitre
febbraio
duemilaventidue

**Applicazioni dell'intelligenza artificiale
al controllo delle infrastrutture**

**Fasi dell'attività di un sistema di SHM
basato sull'Intelligenza Artificiale**



Primo Obiettivo: fornire un buon livello di conoscenza (LC) dell'opera, mediante:

- (i) analisi del progetto (valutazione globale),**
- (ii) indagini dirette sui materiali (valutazione locale),**
- (iii) identificazione dello stato di danneggiamento, ricavabile per il tramite di sistemi di monitoraggio attivo (stato di sofferenza).**

**RILIEVO,
MANUTENZIONE,
DIGITALIZZAZIONE
E MONITORAGGIO
IN ESERCIZIO DELLE
INFRASTRUTTURE
STRATEGICHE**

**Sistemi di gestione
e controllo del
territorio e sul
costruito attraverso
satelliti e
intelligenza
artificiale**

Francesco Fabbrocino
Luciano Feo

Napoli
ventitre
febbraio
duemilaventidue

Applicazioni dell'intelligenza artificiale al controllo delle infrastrutture



Secondo obiettivo: "classificazione" del danno con la valutazione della sua estensione e localizzazione più probabile.

Tale attività implica il «clustering» delle informazioni, vale a dire **la selezione e il raggruppamento di elementi omogenei in un insieme di dati, e la scelta dell'algoritmo di classificazione più adatto alla problematica richiesta.**

**RILIEVO,
MANUTENZIONE,
DIGITALIZZAZIONE
E MONITORAGGIO
IN ESERCIZIO DELLE
INFRASTRUTTURE
STRATEGICHE**

**Sistemi di gestione
e controllo del
territorio e sul
costruito attraverso
satelliti e
intelligenza
artificiale**

Francesco Fabbrocino
Luciano Feo

Napoli
ventitre
febbraio
duemilaventidue

Applicazioni dell'intelligenza artificiale al controllo delle infrastrutture



Terzo obiettivo: occorre fornire al sistema:

- la capacità cognitiva di valutazione del ruolo,
- l'importanza e le potenziali conseguenze delle eventuali anomalie rilevate, anche in relazione alle sollecitazioni e ai carichi esterni.

Il **sistema dev'essere** quindi opportunamente **istruito con l'aggiunta del database di tutti i possibili meccanismi di collasso locale e globale (PFM, potential failure modes)**, e vale a dire di ciò che rappresenta - **nell'esperienza cognitiva umana** - il **dataset dei pericoli dai quali stare lontani**.

CREAZIONE DI UN SISTEMA ESPERTO

RILIEVO,
MANUTENZIONE,
DIGITALIZZAZIONE
E MONITORAGGIO
IN ESERCIZIO DELLE
INFRASTRUTTURE
STRATEGICHE

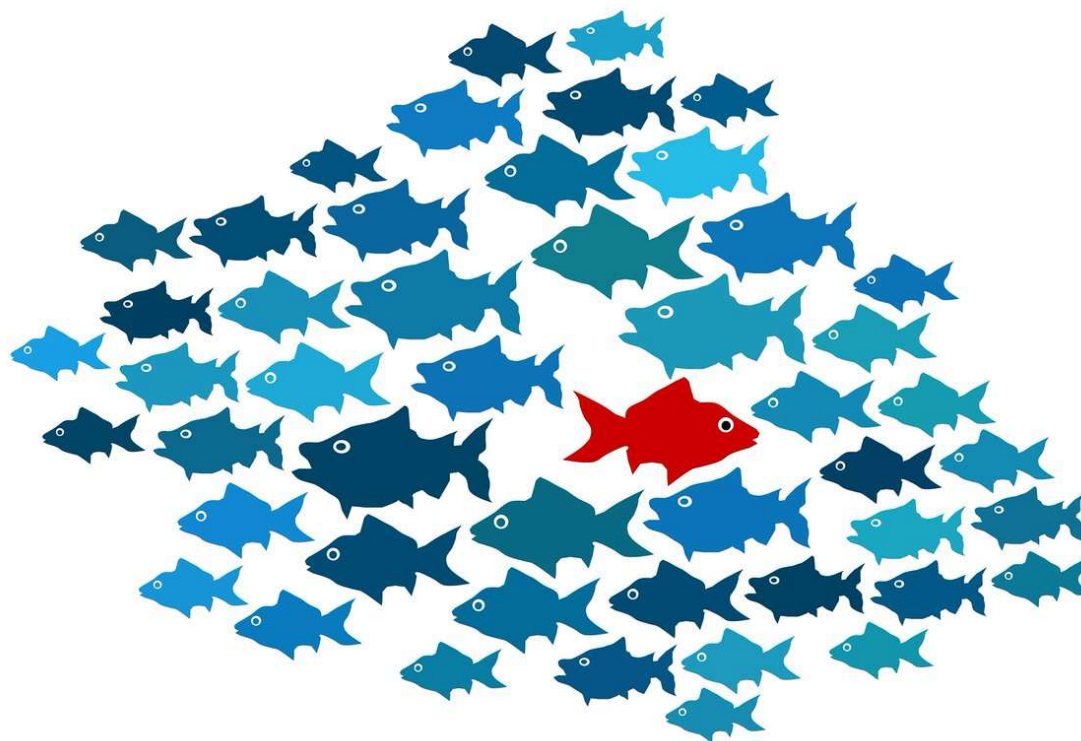
Sistemi di gestione
e controllo del
territorio e sul
costruito attraverso
satelliti e
intelligenza
artificiale

Francesco Fabbrocino
Luciano Feo

Napoli
ventitre
febbraio
duemilaventidue

Applicazioni dell'intelligenza artificiale al controllo delle infrastrutture

A questo punto il sistema esperto sarà in grado di eseguire **Anomaly detection**, ossia distinguere un **segnale standard** da **uno patologico**.



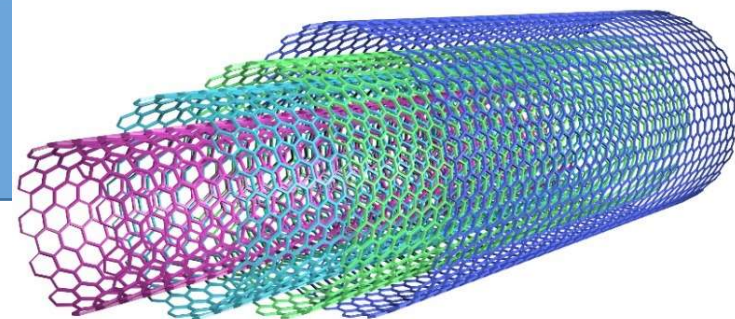
**RILIEVO,
MANUTENZIONE,
DIGITALIZZAZIONE
E MONITORAGGIO
IN ESERCIZIO DELLE
INFRASTRUTTURE
STRATEGICHE**

**Sistemi di gestione
e controllo del
territorio e sul
costruito attraverso
satelliti e
intelligenza
artificiale**

Francesco Fabbrocino
Luciano Feo

Napoli
ventitre
febbraio
duemilaventidue

**La nostra ricerca sui materiali
intelligenti.**

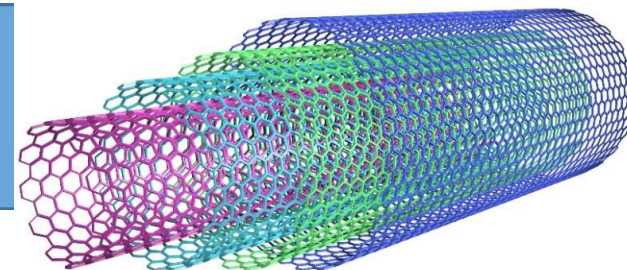


BANDO PRIN 2020
COSTRUZIONI INNOVATIVE E GREEN.
"OPPORTUNITIES AND CHALLENGES OF NANOTECHNOLOGY IN ADVANCED AND
GREEN CONSTRUCTION MATERIALS"

Studi dei materiali intelligenti per il monitoraggio della salute strutturale (SHM)

I recenti progressi nelle nanotecnologie hanno fatto emergere una nuova classe di sensori, ai cosiddetti materiali autosensibili, che possono fornire metodi per valutare e monitorare le condizioni di una infrastruttura.

Calcestruzzo intelligente

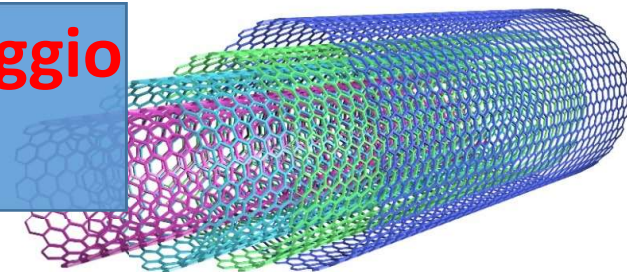


Obiettivo: utilizzare sensori fabbricati utilizzando una matrice cementizia con nanoinclusioni di nanotubi di carbonio per

- la valutazione delle condizioni delle strutture in calcestruzzo,
- per rilevare le prime fasi della corrosione delle armature.

Di conseguenza, i metodi di intelligenza artificiale possono essere efficaci nell'interpretazione dei dati dei sensori.

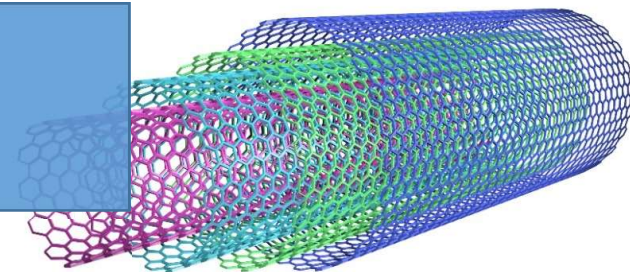
Materiali intelligenti per il monitoraggio della salute strutturale (SHM)



I **nanotubi di carbonio (CNT)** sono i candidati ideali per creare **materiali «intelligenti»** a matrice cementizia, grazie alle loro **caratteristiche piezoresistive** che provocano **variazioni della resistività elettrica** del materiale in seguito alla **deformazione**.

I **materiali modificati su nanoscala** **possiedono proprietà meccaniche, elettriche e termiche notevolmente migliorate** rispetto a quelle su **scala micro e macro**.

Materiali auto-rilevanti



Questa nuova classe di **materiali cementizi modificati**, **sensibili alla deformazione**, sono denominati **auto-rilevanti** e sono in grado di tradurre la **deformazione meccanica** che agisce su di essi in **variazioni delle loro proprietà elettriche**, come resistenza e reattanza.

RILIEVO,
MANUTENZIONE,
DIGITALIZZAZIONE
E MONITORAGGIO
IN ESERCIZIO DELLE
INFRASTRUTTURE
STRATEGICHE

Sistemi di gestione
e controllo del
territorio e sul
costruito attraverso
satelliti e
intelligenza
artificiale

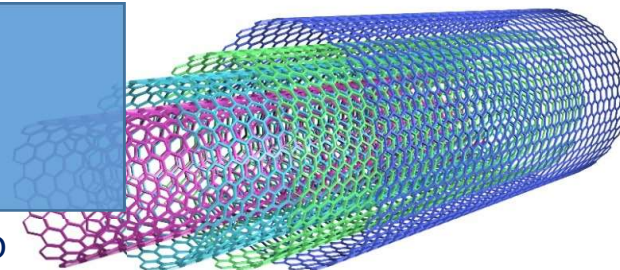
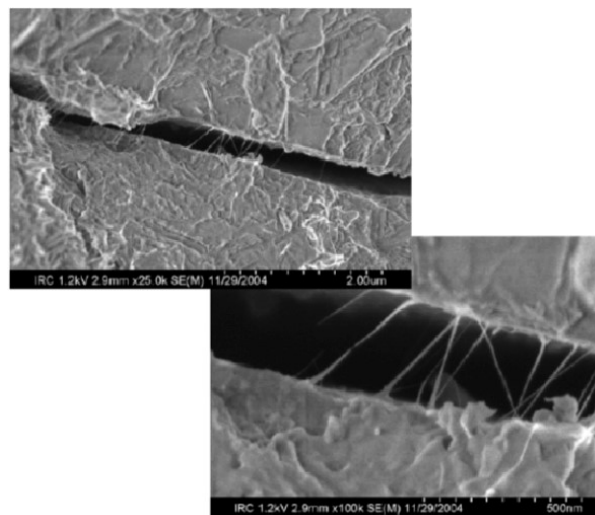
Francesco Fabbrocino
Luciano Feo

Napoli
ventitre
febbraio
duemilaventidue

Applicazioni

Un materiale cementizio intelligente può essere utilizzato per **monitorare l'emergenza e l'evoluzione di danni come le microfratture.**

Mediante opportuni **algoritmi** di intelligenza artificiale è possibile stabilire un **collegamento automatico tra l'osservazione sperimentale e le condizioni della struttura, riconoscendo tempestivamente le anomalie di comportamento dovute al danno incipiente.**



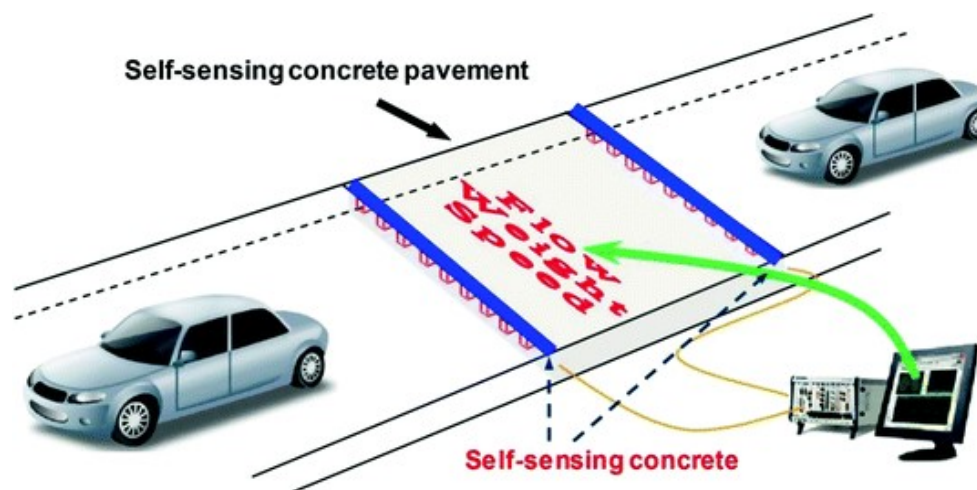
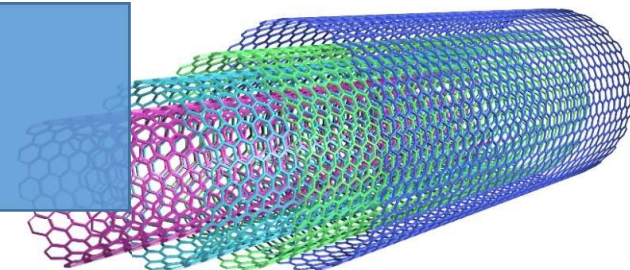
RILIEVO,
MANUTENZIONE,
DIGITALIZZAZIONE
E MONITORAGGIO
IN ESERCIZIO DELLE
INFRASTRUTTURE
STRATEGICHE

Sistemi di gestione
e controllo del
territorio e sul
costruito attraverso
satelliti e
intelligenza
artificiale

Francesco Fabbrocino
Luciano Feo

Napoli
ventitre
febbraio
duemilaventidue

Monitoraggio di pavimentazioni in calcestruzzo e asfalto



Esempi di possibili applicazioni includono il **monitoraggio di pavimentazioni in calcestruzzo e asfalto**.

Di fatto, i risultati sperimentali hanno mostrato una grande **capacità** del materiale di **rilevare** la **presenza di carichi**, compressivi e impulsivi, come quelli risultanti dal passaggio di veicoli e quindi la possibilità di **integrare** al **monitoraggio della salute strutturale**, il **monitoraggio veicolare** dell'infrastruttura.

**RILIEVO,
MANUTENZIONE,
DIGITALIZZAZIONE
E MONITORAGGIO
IN ESERCIZIO DELLE
INFRASTRUTTURE
STRATEGICHE**

**Sistemi di gestione
e controllo del
territorio e sul
costruito attraverso
satelliti e
intelligenza
artificiale**

Francesco Fabbrocino
Luciano Feo

Napoli
ventitre
febbraio
duemilaventidue

MATERIALI SMART A BASE DI CEMENTO PER SMART CITIES



Prova su strada di pavimentazione in calcestruzzo CNT autosensibile
Sezione di prova presso il Minnesota Road Research Facility (MnROAD) vicino ad
Albertville, Minnesota. 33

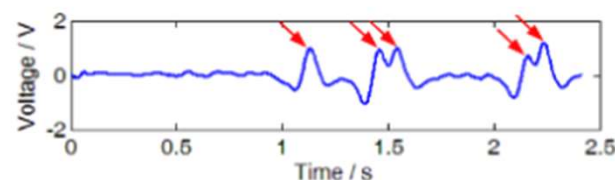
**RILIEVO,
MANUTENZIONE,
DIGITALIZZAZIONE
E MONITORAGGIO
IN ESERCIZIO DELLE
INFRASTRUTTURE
STRATEGICHE**

**Sistemi di gestione
e controllo del
territorio e sul
costruito attraverso
satelliti e
intelligenza
artificiale**

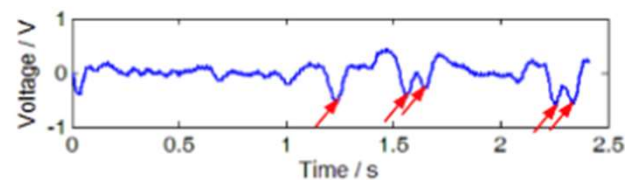
Francesco Fabbrocino
Luciano Feo

Napoli
ventitre
febbraio
duemilaventidue

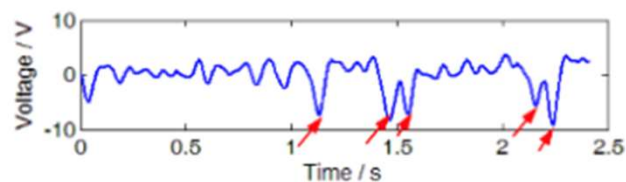
MATERIALI SMART A BASE DI CEMENTO PER SMART CITIES



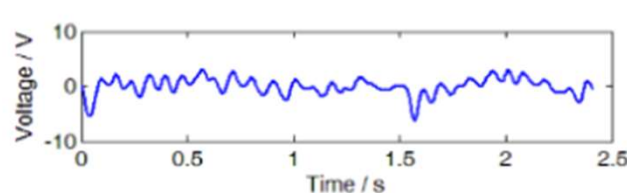
(a) Cast-in-place CNT concrete sensor



(b) Pre-cast CNT concrete sensor



(c) Strain gauge in the middle of cast-in-place CNT concrete sensor



(d) Strain gauge in the middle of pre-cast CNT concrete sensor

Risultati di rilevamento del camion che passa a velocità più elevata

RILIEVO,
MANUTENZIONE,
DIGITALIZZAZIONE
E MONITORAGGIO
IN ESERCIZIO DELLE
INFRASTRUTTURE
STRATEGICHE

Sistemi di gestione
e controllo del
territorio e sul
costruito attraverso
satelliti e
intelligenza
artificiale

Francesco Fabbrocino
Luciano Feo

Napoli
ventitre
febbraio
duemilaventidue

CALCESTRUZZI AUTORIPARANTI



I materiali cementizi hanno una naturale **capacità di autoguarigione**, che è stata segnalata per la prima volta dall'Accademia francese delle scienze nel 1836 (De Rooji et al., 2011).

Questa capacità può essere rafforzata **dall'integrazione di strategie chimiche e biochimiche**.

Ad esempio, è stato dimostrato che il calcestruzzo autorigenerante utilizza agenti chimici a base di capsule che vengono rilasciati quando si formano crepe e aiutano a sigillarle (Dry, 1993). Li et al. (1998) hanno dimostrato la fattibilità su scala di laboratorio del fenomeno dell'autoguarigione passiva utilizzando tubi di vetro cavi riempiti con un composto chimico.

RILIEVO,
MANUTENZIONE,
DIGITALIZZAZIONE
E MONITORAGGIO
IN ESERCIZIO DELLE
INFRASTRUTTURE
STRATEGICHE

Sistemi di gestione
e controllo del
territorio e sul
costruito attraverso
satelliti e
intelligenza
artificiale

Francesco Fabbrocino
Luciano Feo

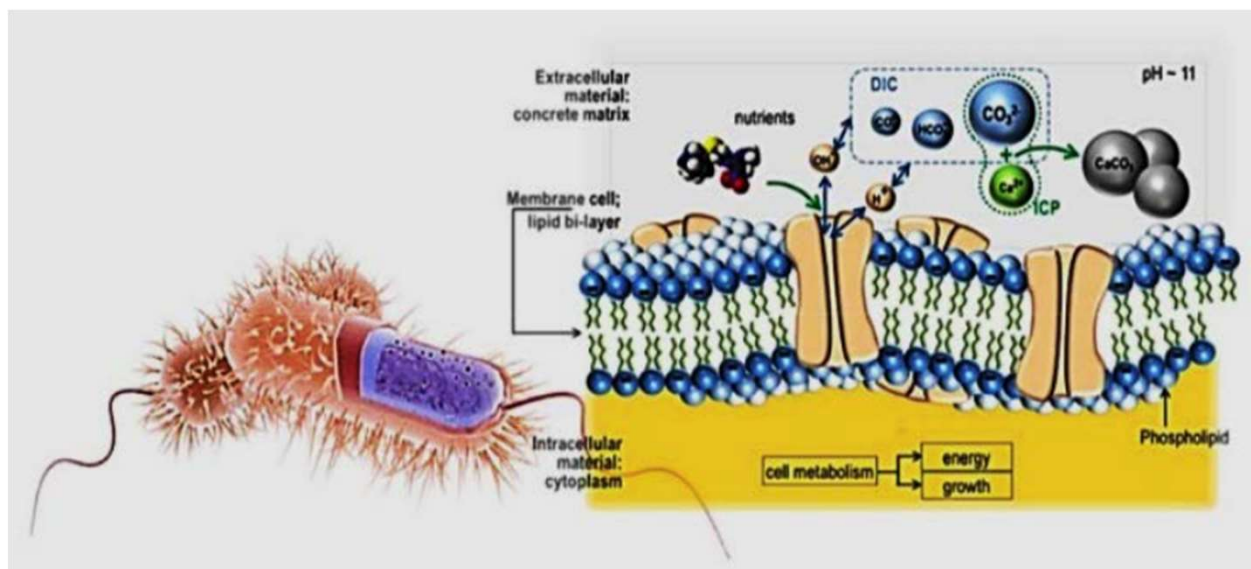
Napoli
ventitre
febbraio
duemilaventidue

BIO-CALCESTRUZZI

L'autoguarigione delle crepe.

Dimostrata da Gollapudi et al. (1995) seguito da Jonkers et al. (2008) e Tittelboom et al. (2010).

Ispirata alla biologia marina, essa imita il processo di autoguarigione in alcune specie animali che generano **composti di calcio attraverso attività batteriche**.



Meccanismo di lavoro della guarigione del bio-calcestruzzo a base biologica sviluppato da Microlab (Sangadji, 2015)

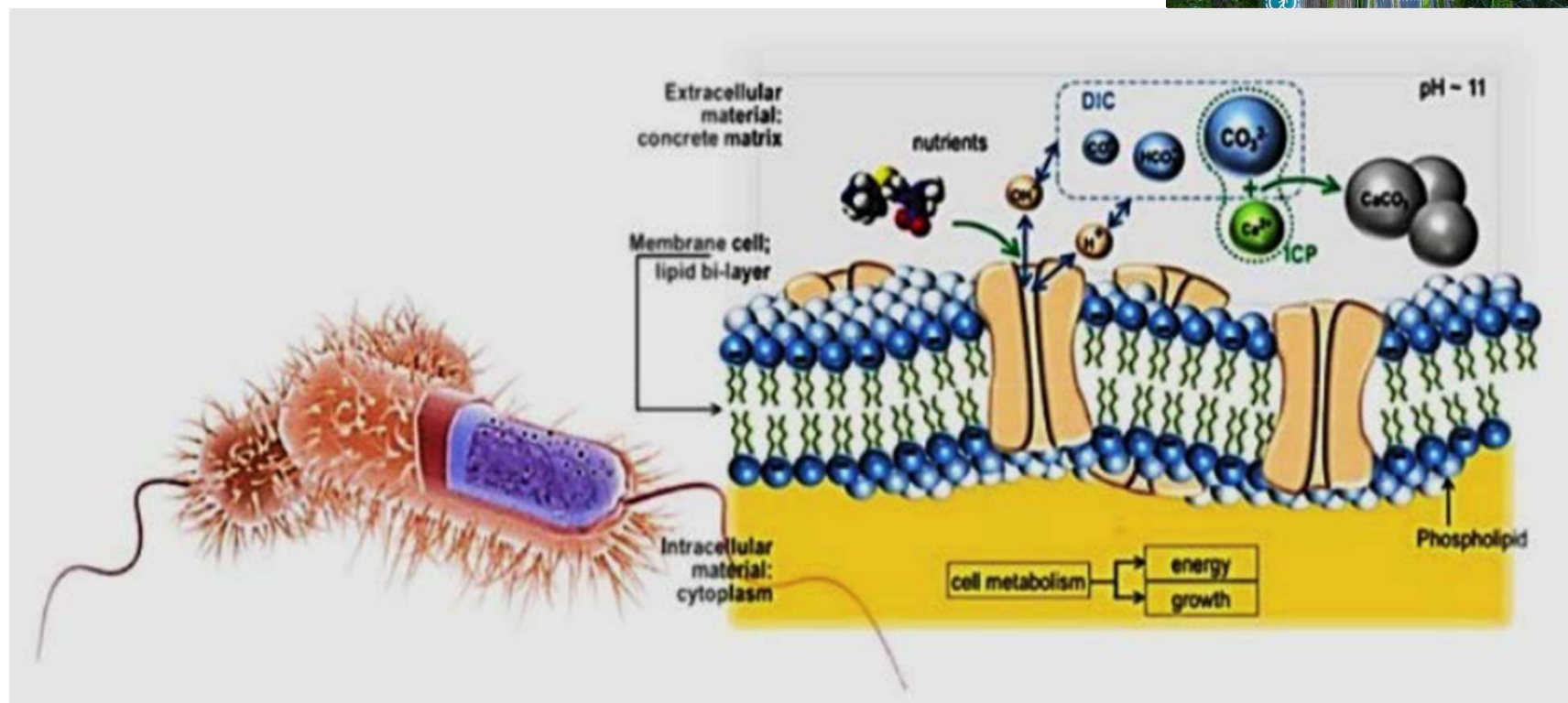
**RILIEVO,
MANUTENZIONE,
DIGITALIZZAZIONE
E MONITORAGGIO
IN ESERCIZIO DELLE
INFRASTRUTTURE
STRATEGICHE**

**Sistemi di gestione
e controllo del
territorio e sul
costruito attraverso
satelliti e
intelligenza
artificiale**

Francesco Fabbrocino
Luciano Feo

Napoli
ventitre
febbraio
duemilaventidue

BIO-CALCESTRUZZI



CONCLUSIONI



L'adozione dell'IA, implica, tuttavia, importanti questioni **etiche e di responsabilità** associate all'utilizzo degli output del **sistema esperto**, ossia al loro **ruolo di supporto alle decisioni umane o di autorità decisionale autonoma**.

CONCLUSIONI

Artificial
Intelligence

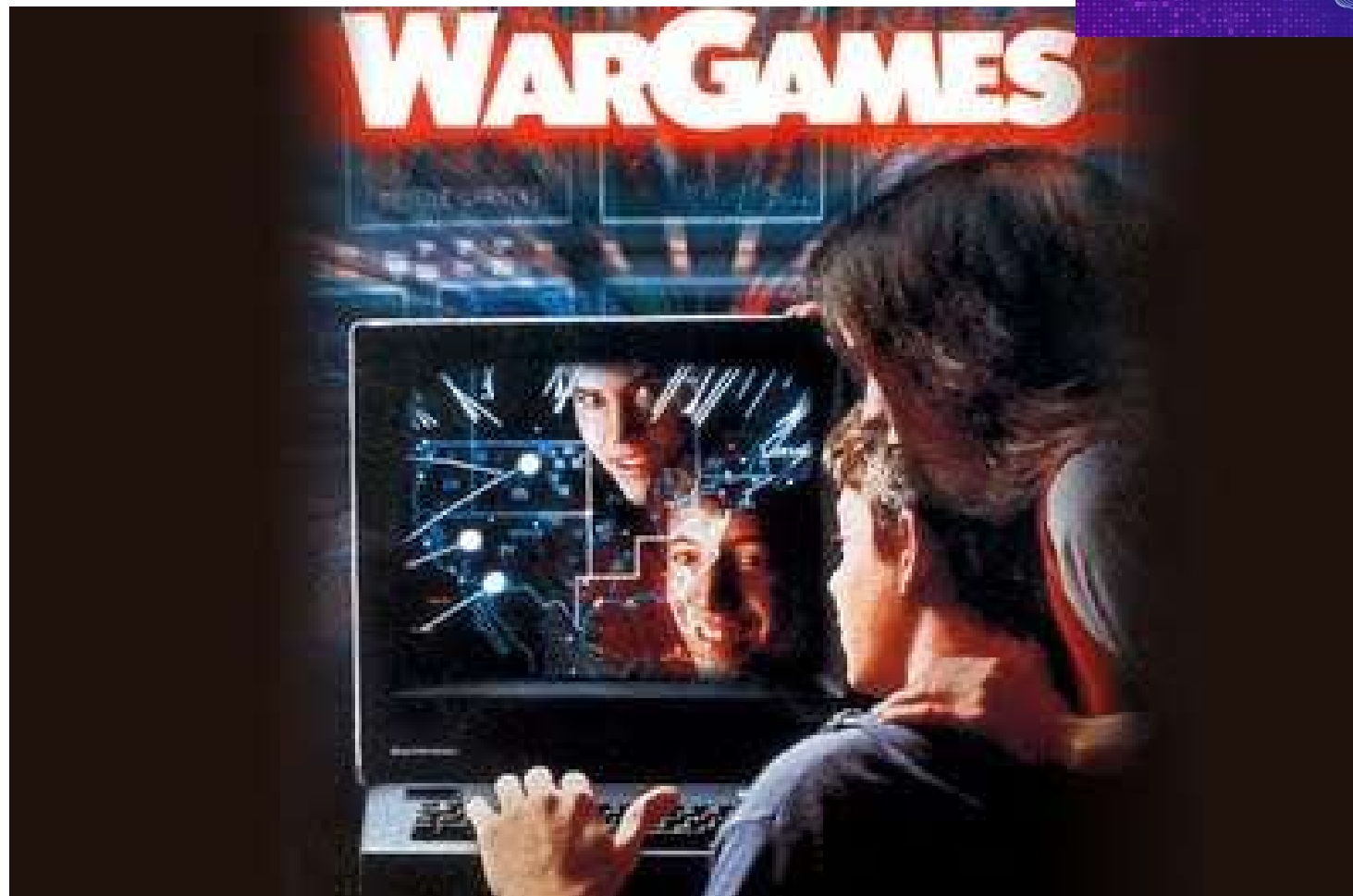


**RILIEVO,
MANUTENZIONE,
DIGITALIZZAZIONE
E MONITORAGGIO
IN ESERCIZIO DELLE
INFRASTRUTTURE
STRATEGICHE**

**Sistemi di gestione
e controllo del
territorio e sul
costruito attraverso
satelliti e
intelligenza
artificiale**

Francesco Fabbrocino
Luciano Feo

Napoli
ventitre
febbraio
duemilaventidue

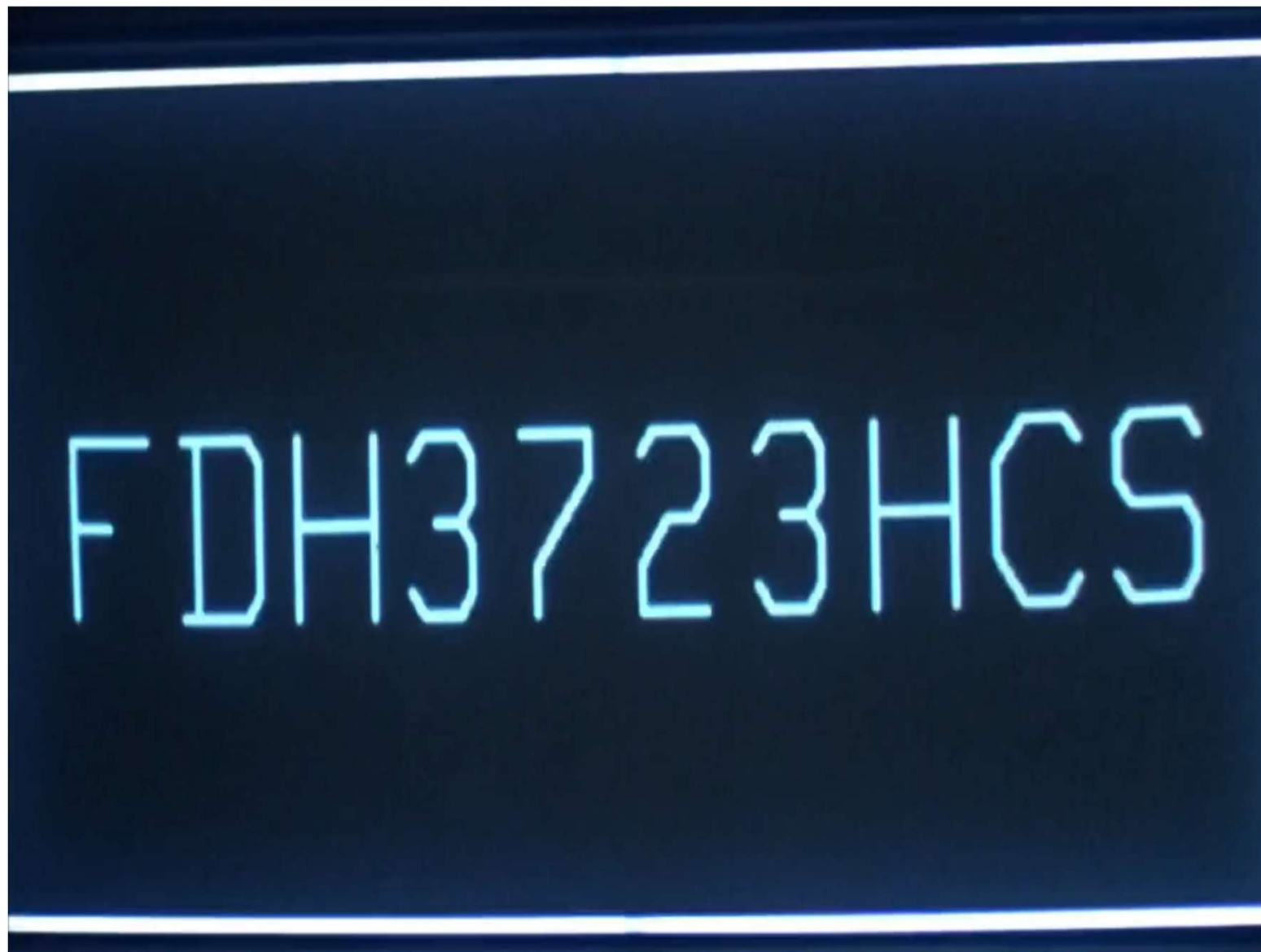


**RILIEVO,
MANUTENZIONE,
DIGITALIZZAZIONE
E MONITORAGGIO
IN ESERCIZIO DELLE
INFRASTRUTTURE
STRATEGICHE**

**Sistemi di gestione
e controllo del
territorio e sul
costruito attraverso
satelliti e
intelligenza
artificiale**

Francesco Fabbrocino
Luciano Feo

Napoli
ventitre
febbraio
duemilaventidue



**RILIEVO,
MANUTENZIONE,
DIGITALIZZAZIONE
E MONITORAGGIO
IN ESERCIZIO DELLE
INFRASTRUTTURE
STRATEGICHE**

**Sistemi di gestione
e controllo del
territorio e sul
costruito attraverso
satelliti e
intelligenza
artificiale**

Francesco Fabbrocino
Luciano Feo

Napoli
ventitre
febbraio
duemilaventidue

CONCLUSIONI



Risolve tali decisive questioni, l'inserimento degli algoritmi di intelligenza artificiale nei processi di controllo delle strutture civili potrà rappresentare uno strumento efficace per migliorare le politiche di gestione e manutenzione di patrimoni infrastrutturali complessi.

**RILIEVO,
MANUTENZIONE,
DIGITALIZZAZIONE
E MONITORAGGIO
IN ESERCIZIO DELLE
INFRASTRUTTURE
STRATEGICHE**

**Sistemi di gestione
e controllo del
territorio e sul
costruito attraverso
satelliti e
intelligenza
artificiale**

Francesco Fabbrocino
Luciano Feo

Napoli
ventitre
febbraio
duemilaventidue

CONCLUSIONI

GRAZIE PER L'ATTENZIONE

