



Il software ADD_B© (Automated Defect Detection)

ADD_B© (Automated Defect Detection), il software di Aisico basato sulle tecniche di Intelligenza Artificiale a servizio della gestione avanzata delle opere d'arte

Autori: [Achille Paolone](#), [Davide Bernardini](#), [Alberto Brajon](#), [Franco Ciminelli](#), [Egidio Lofrano](#) 28 Febbraio 2024

AISICO - Ispezione di ponti e viadotti con droni: Sicurezza delle infrastrutture sen...



Ogni opera d'arte presente su una rete di comunicazione rappresenta un punto delicato della catena infrastrutturale e un nodo essenziale per la funzionalità della stessa. Le opere d'arte, a causa dei noti fatti di cronaca, sono oggi, prepotentemente al centro dell'attenzione di tutta la comunità tecnica e scientifica del settore che impiega sempre più frequentemente strumenti software avanzati.

La crescente attesa di soluzioni efficaci e a costi competitivi interessa il mondo dei proprietari e dei Gestori di infrastrutture, attualmente impegnato non solo a completare il quadro conoscitivo del proprio patrimonio di opere d'arte (ponti e gallerie), ma anche a mantenere la conoscenza acquisita, valida nel tempo, ripetibile e supportata da strumenti e metodi adeguati.

Il ciclo di vita completo delle attività necessarie alla gestione delle opere d'arte (analisi multilivello, riparazione, rafforzamento e monitoraggio nel tempo) influenza anche gli aspetti organizzativi degli stakeholder e richiede risposte innovative, pensate per una prospettiva di impiego di medio periodo.

La sfida attuale è quella di porre tutte le opere d'arte del paese sotto costante monitoraggio e controllo, e ogni contributo teso a minimizzare l'impegno umano nella filiera della gestione, automatizzando la diagnostica, pianificando la priorità degli interventi, accelerando tempi e capacità di risposta nel monitoraggio e nella gestione operativa, rappresenta un contributo fondamentale nella ricerca della vittoria finale.





1. Esempio di ispezione visiva con l'ausilio dei droni

L'esperienza di Aisico

In questo contesto si inserisce il contributo di Aisico, Azienda italiana in grado di offrire servizi innovativi per il miglioramento della sicurezza delle infrastrutture e leader nell' esecuzione di crash test, analisi FEM, e prove per la certificazione e la verifica della corretta installazione delle barriere di sicurezza stradali (<https://www.aisico.com/besafe-monitoraggio-dinamico-controllo-da-remoto-ponti-viadotti-gallerie/>).

Negli ultimi anni Aisico ha maturato esperienza nel settore dell'ispezione, verifica e monitoraggio delle infrastrutture, comprese le ispezioni di ponti e gallerie attraverso l'utilizzo di veicoli ad alto rendimento, droni e software specifici proprietari.

Grazie all'esperienza maturata nella ispezione di ponti e gallerie per primari Gestori di infrastrutture tra i quali ricordiamo ANAS SpA, RFI SpA, Consorzio Autostrade Siciliane e Autostrada del Brennero, ha ideato e messo a punto una propria metodologia ispettiva di opere d'arte, innovativa e brevettata, denominata BRIGHT – Bridges Health Testing, che integra e automatizza i processi di censimento, rilievo geometrico, classificazione automatica delle difettosità, quantificazione del degrado e determinazione della Classe di Attenzione dell'infrastruttura, con una rigorosa e innovativa applicazione delle Linee Guida vigenti.

L'innovazione del metodo BRIGHT consiste nell'introduzione, all'interno della catena delle attività, di strumentazioni innovative, digitalizzazione dell'opera e utilizzo di tecniche di Intelligenza Artificiale (IA) per lo sviluppo di modelli di reti neurali a supporto della quantificazione oggettiva dei difetti rilevati e della diagnostica automatizzata, con elevata completezza e accuratezza.

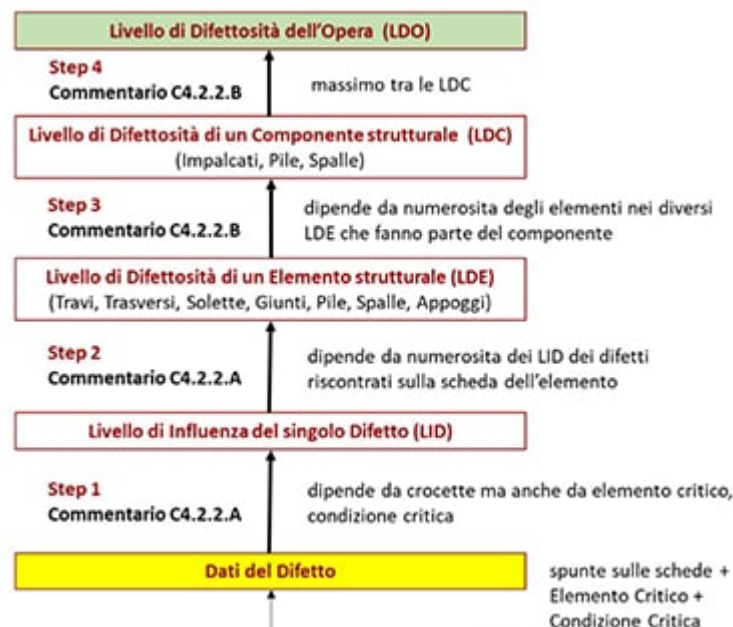
Gerarchia dei Livelli di Difettosità:

ogni difetto è caratterizzato sulla scheda da 4 informazioni
G ∈ { 1, 2, 3, 4, 5 }, **K1** ∈ { 0,2, 0,5, 1,0 }
K2 ∈ { 0,2, 0,5, 1,0 }, **PS** ∈ { 0, 1 }
 il ruolo che il singolo difetto gioca nelle CD dipende però da due altri fattori che non sono specificati nella scheda

E_CR ∈ { 0, 1 }
 il difetto interessa un **elemento critico** (Sella Gerber, cavi di precompressione,...) Assegnato a priori

C_CR ∈ { 0, 1 }
 il difetto rilevato determina una **condizione critica** che provoca pericolo immediato. Il pericolo immediato può essere determinato dalla posizione del difetto in zona critica (ad es. fessure in zona critica) combinato con l'intensità, oppure qualsiasi altra cosa si ritenga poter costituire pericolo immediato Assegnato a posteriori (ispezione)

Difetto->Elemento->Componente->Opera

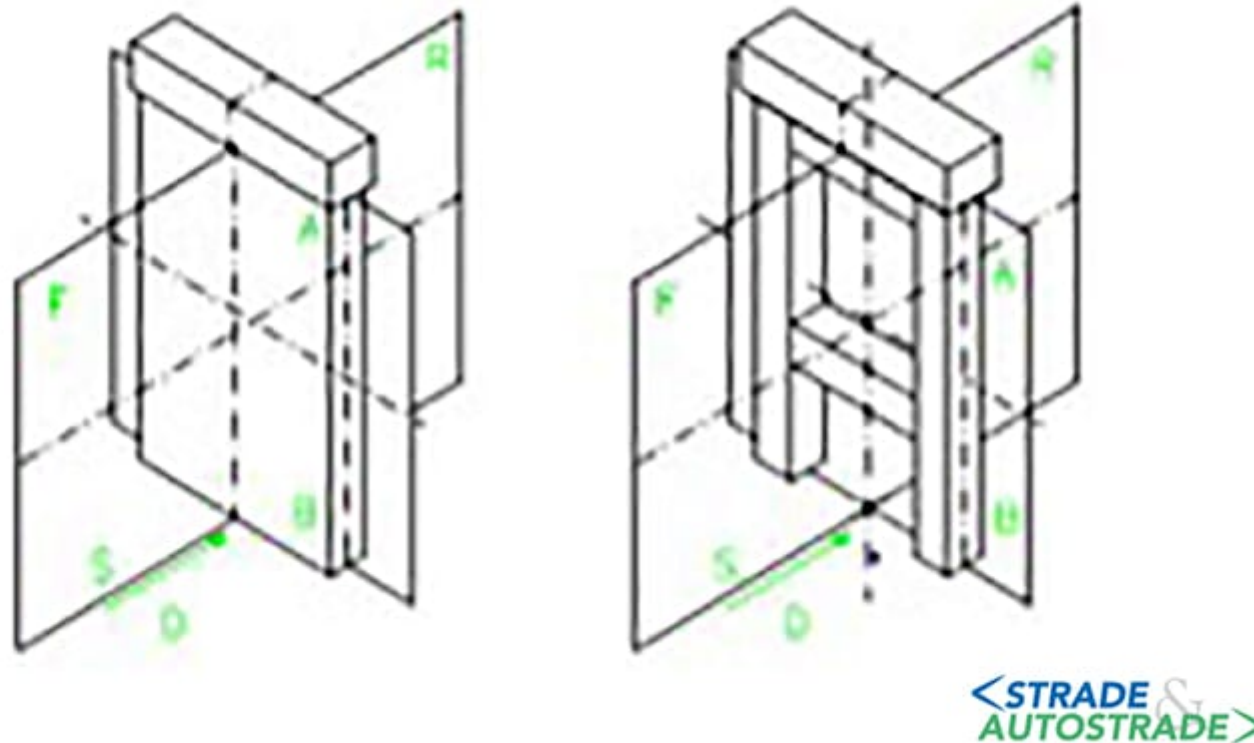


2. Flow chart per la determinazione del livello di difettosità

L'ausilio nell'esecuzione di rilievi di droni ad alta precisione, la realizzazione di modelli 3D digitali gemelli dell'opera, perfettamente misurabili e scalabili, con i quali eseguire l'analisi difettologica, costantemente utilizzati dal Aisico nella valutazione dello stato di degrado della infrastruttura, costituiranno nel prossimo futuro la metodologia più diffusamente adottata dalle stazioni appaltanti per l'esecuzione di ispezioni visive, divenendo, di fatto, lo standard operativo di più largo impiego.

Anche la crescente adozione delle tecniche di apprendimento automatico, come l'utilizzo di reti neurali convoluzionali (CNN o ConvNet), che si basano sulla connettività tra i neuroni ispirata all'organizzazione della corteccia visiva animale, sta offrendo alla diagnostica strutturale visiva prospettive che possono essere paragonate al campo visivo umano e sarà una tecnologia ampiamente diffusa nel prossimo futuro.

E proprio grazie a tali tecniche che Aisico ha sviluppato il software ADD_B© (Automated Defect Detection_Bridge), che costituisce la risposta attesa alla potenziale riduzione di tempi e costi delle operazioni, aprendo a modalità di profilazione digitali delle opere, sganciate dal contesto umano della valutazione e quindi maggiormente oggettive e ripetibili.



3. Esempio di scomposizione in quadranti di una pila

La collaborazione con l'Università Sapienza di Roma

La necessità di approfondire e valorizzare le prestazioni del software ADD_B© nella valutazione strutturale eseguita da Aisico su numerosi ponti ferroviari e stradali, ha ispirato la collaborazione tra Aisico e il Dipartimento Ingegneria Strutturale e Geotecnica (DISG) dell'Università

Sapienza”, punto di riferimento nel settore delle opere d’arte, attivamente impegnato nell’applicazione del nuovo e complesso quadro normativo.

La collaborazione si è concretizzata nello sviluppo del progetto IR-RAD-IA (Ispezioni e Rappresentazioni basati sul Riconoscimento Assistito dei Difetti e sull’Intelligenza Artificiale).

Lo scopo del progetto è quello di confrontare le prestazioni dell’intelligenza artificiale applicata alle strutture esistenti, quali ponti in c.a., c.a.p. e muratura, sfruttando un ampio data set di informazioni, costruito con le valutazioni operate da tecnici esperti, quantificando le differenze e migliorando le modalità di approccio.

Un ulteriore oggetto di analisi è stata la valutazione del Livello di Difettosità del Quadrante (LDQ), sviluppato analogamente al Livello di Difettosità dell’Opera (LDO) delle LG22, e in cui, secondo l’approccio di Aisico, interviene il calcolo dell’Indice di Degrado Ponderato (IDP) proposto da Aisico stessa. Tale valutazione è confrontata con quella che è stata progressivamente messa a punto dall’Università e applicata a casi reali, secondo le modalità di seguito descritte.

ALTO	Difetti di gravità alta o medio-alta (G=5 o G=4) e di qualsiasi intensità su elementi critici (selle Gerber, appoggi, cavi di precompressione, fondazioni scalzate, si veda definizione del § 3.3) o presenza di condizioni critiche (quadri fessurativi molto estesi ed intensi, cinematismi in atto, incipiente perdita di appoggio)
MEDIO-ALTO	Difetti di gravità alta o medio-alta (G=5 o G=4) e di intensità elevata su elementi la cui crisi può compromettere la statica dell’opera, come segnalato nella scheda di rilievo all’Allegato B
MEDIO	Difetti di gravità alta o medio-alta (G=5 o G=4) e di intensità elevata su elementi la cui crisi non può compromettere il comportamento statico globale dell’opera e difetti di gravità alta (G=5) e di intensità medio-bassa
MEDIO-BASSO	Difetti di gravità medio-alta (G=4) con intensità medio-bassa e difetti di gravità media e bassa (G=3, G=2, G=1) e di qualsiasi intensità, in numero elevato

BASSO

Difetti di gravità media e bassa (G=3, G=2, G=1) e di qualsiasi intensità, in numero esiguo



4. Tabella 4.5 LG22: la classificazione del livello di difettosità

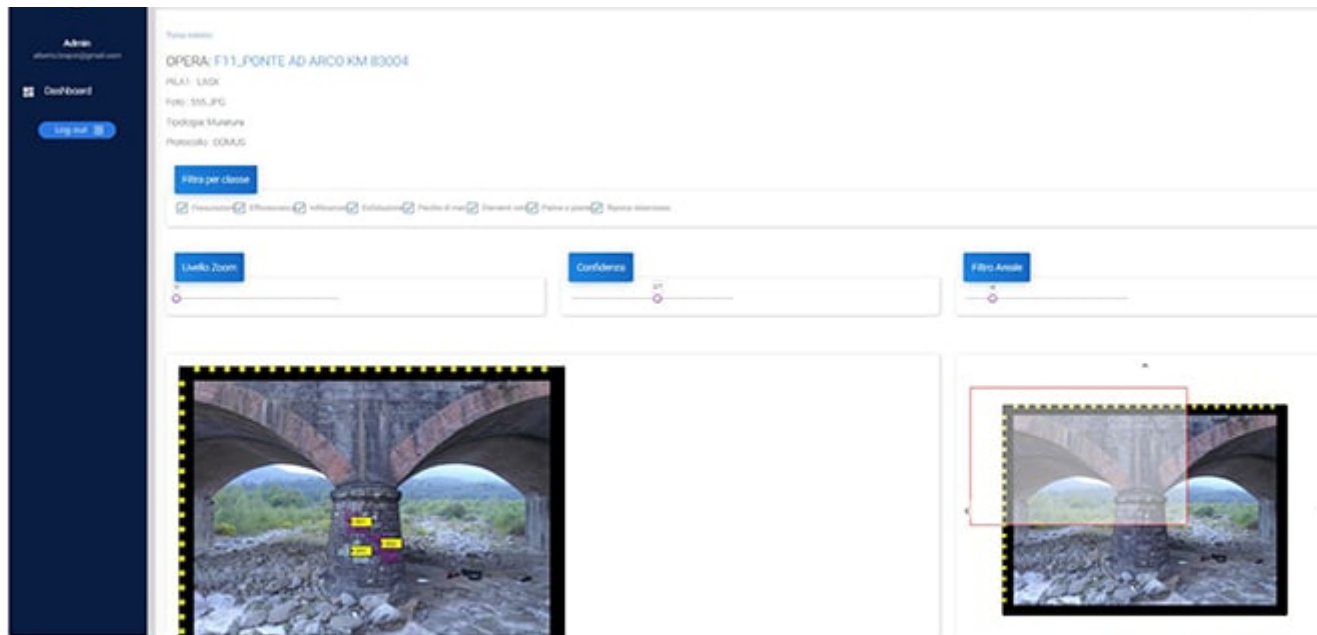
In base alle LG22, per la determinazione del Livello di Difettosità dell'Opera (LDO), gli elementi strutturali dell'opera sono categorizzati in sette gruppi di componenti strutturali (travi, trasversi, solette, pile, spalle, appoggi e giunti). Per ciascun elemento appartenente al relativo componente (impalcati, pile e spalle) viene compilata una scheda difettologica nella quale vengono rilevati i difetti presenti.

Per ogni difetto si definisce il Livello di Influenza del Difetto (LID) funzione della gravità, dell'intensità e dell'estensione del difetto rilevati nelle schede difettologiche compilate in sede di ispezione, nonché della valutazione della presenza di Elementi Critici o Condizioni Critiche nel senso del par. 3.3 delle LG22.

Detta valutazione del Livello di Difettosità dell'opera rimane, ad oggi, espressa in modo qualitativo (vedasi il flow chart schematico–fonte DISG di Figura 2), così come l'indicazione sul rischio, basato sull'attribuzione di una Classe di Attenzione.

L'algoritmo IDP, Indice di Degrado Ponderato, sviluppato da Aisico è invece un indice numerico, che si applica ad ogni singolo elemento strutturale in cui l'opera può essere scomposta (Figura 3), in accordo con le suddivisioni previste dalla Stazione Appaltante di riferimento, anche nel caso fosse differente rispetto alla procedura standard delle LG22, che prevederebbe la compilazione di una singola scheda difettologica, ad esempio una per ogni elemento pila.





5. L'interfaccia HMI del software ADD_B

In questo modo, si intende stimare quantitativamente il degrado e individuare il “quadrante” più critico sul quale sono presenti i difetti più gravi. Il calcolo dell'indice di degrado ponderato può essere opportunamente esteso all'elemento, alla campata, al ponte, alla rete di ponti.

L'idea è quella di arricchire il rilievo qualitativo dei difetti visibili sulle opere e di superare la soggettività che lo ispira, mediante la determinazione analitica dell'Indice di difettosità (Id_q), riferita a ogni quadrante in cui è suddiviso l'elemento strutturale, attraverso l'applicazione della formula

$$Id_q = \sum_{i=0}^n G_i * K1_i * K2_i \quad (1)$$

in cui Id_q è definito come la sommatoria, estesa a $i = 0, 1, \dots, n$ con n numero di difetti, del coefficiente di importanza G di ciascun difetto

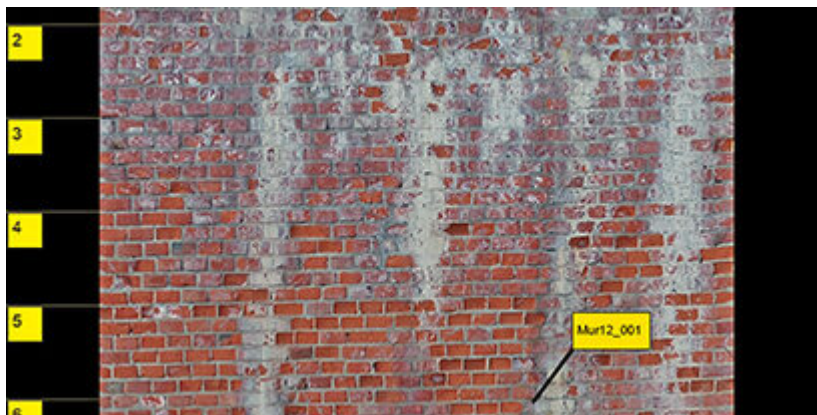
quadrante moltiplicato per il fattore K1 di estensione del difetto e per il fattore K2 di intensità del difetto.

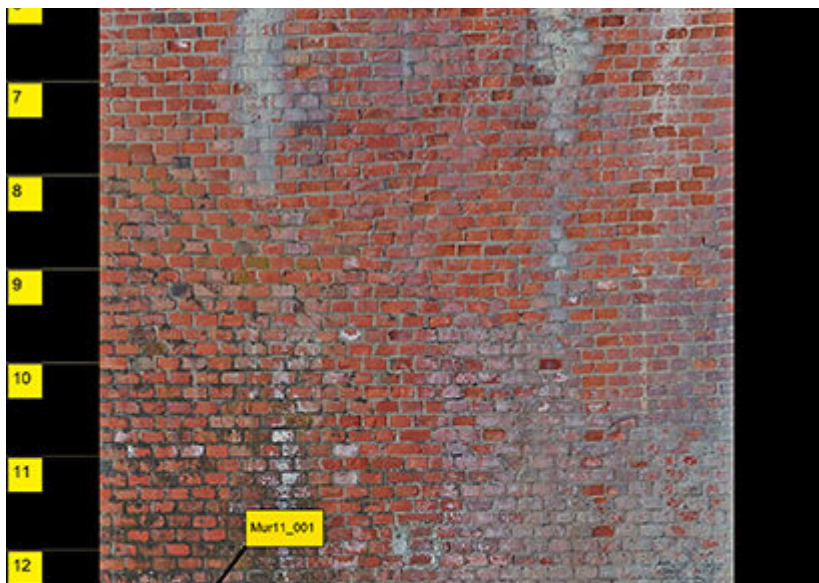
L'Idq concorre successivamente attraverso un algoritmo ideato da Aisico nella formulazione dell'indice di degrado ponderato (IDP) e quindi del livello di difettosità del quadrante (LDQ).

In sintesi, il calcolo dell'IDP assegna un valore numerico a ciascun quadrante dell'opera esaminata, sulla base dei dati di ogni difetto presente, ovvero G, K1 e K2.

Il livello di difettosità del quadrante (LDQ) sarà poi assegnato prendendo in considerazione il valore del coefficiente G di importanza del difetto più alto e l'importanza del quadrante sul quale è presente il difetto, rispettivamente identificato come “critico” (se danneggiato compromette la stabilità), “potenzialmente compromettente” (se danneggiato può compromettere la stabilità), “non compromettente” (se danneggiato non compromette la stabilità).

Il risultato è quindi espresso attraverso un valore numerico che, mediante opportune tabelle di equivalenza, può essere ricondotto a un giudizio qualitativo.





6A. Identificazione e classificazione automatica dei difetti con ADD_B© su un quadrante di un'opera in muratura

Alcuni risultati

Per mostrare il funzionamento del software ADD_B© si propongono una serie di screenshot dell'interfaccia grafica HMI (Human-Machine Interface, Figura 5) e alcune foto, ritraenti elementi strutturali di opere in muratura e in calcestruzzo armato, restituite dal SW a seguito dell'analisi con CNN.

Le Figure 6A e 6B mostrano un output del SW ADD_B©: la Figura 6A mostra le anomalie che sono rilevate dalla rete neurale, la quale le rappresenta i difetti per mezzo di ROI (Region of Interest) colorate e assegna loro la classe difettologica (l'anomalia B001 è una efflorescenza, la C001 è una infiltrazione, etc.); le anomalie così identificate dalla CNN sono poi valide dall'operatore (e quindi divengono difetti verificati); in Figura 6B i marker che identificano i difetti validati dall'operatore: Mur12 è l'efflorescenza, Mur11 le macchie di colore scuro.

Le Figure 7A e 7B rappresentano l'output per un altro elemento di un'opera in calcestruzzo armato. Nella Figura 7A si notano le zone di

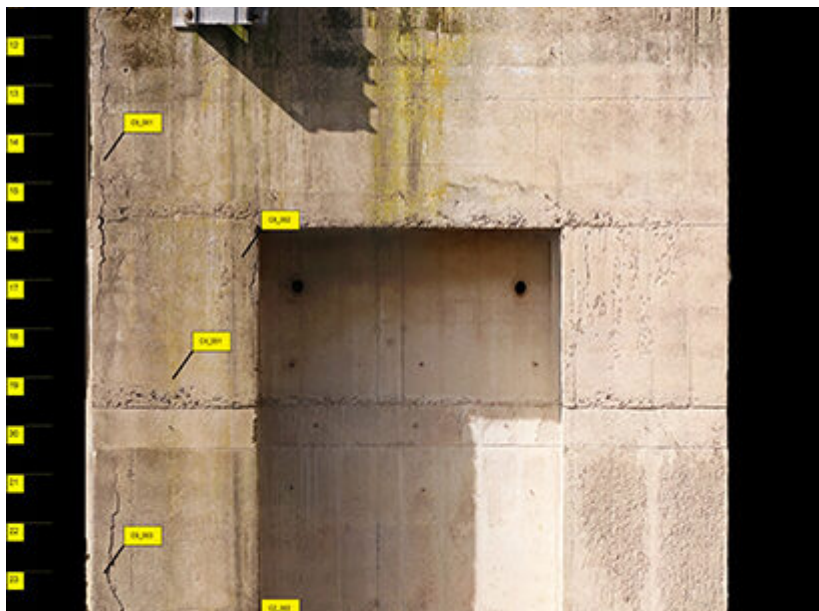
Le Figure 7A e 7B rappresentano l'output per un altro elemento, di un'opera in calcestruzzo armato. Nella Figura 7A si notano le zone difettose a cui la rete neurale ha assegnato le "tile" e la classe difettologica:

- A001, A002, A003 (fessurazioni);
- A001 (armature scoperte);
- C001 e C002 (infiltrazioni);
- D001 (difetti di esecuzione).

Tali anomalie sono state tutte verificate dall'operatore il quale ha validato i difetti consequenziali. Lo si appura con la Figura 7B nella quale i flag riportano in codice identificativo dei difetti: nell'ordine C9_001, C9_002, C9_003 (fessure verticali); C6_001 (armature ossidate e/o corrose); C2_001 e C2_002 (macchie di umidità attiva); C4_001 (vespai).

Circa il sistema di valutazione del rischio tramite algoritmo IDP, i primi esiti mostrano che – una volta ricondotto a un giudizio qualitativo in linea con i modelli 'tradizionali' per CdA secondo linee guida – l'indice numerico messo a punto da Aisico tende a sovrastimare di una classe il Livello di difettosità del quadrante.





7A. Identificazione e classificazione automatica dei difetti con ADD_B© su un quadrante di un'opera in calcestruzzo armato

Conclusioni

In sintesi, il software ADD_B© per la individuazione e catalogazione automatica dei difetti tramite Intelligenza Artificiale ha mostrato un'affidabilità del 95% rispetto alla stessa operazione eseguita da un esperto Ingegnere in modo manuale, ma con tempi estremamente ridotti.

In particolare, durante la valorizzazione del software da parte dell'Università, sono state riscontrate alcune osservazioni:

1. il numero dei difetti riscontrati con il software è in qualche caso inferiore rispetto alla procedura manuale: questa differenza in parte è dovuta al fatto che in caso di sovrapposizione dei difetti, come in presenza di distacco del copriferro con conseguente ossidazione delle armature, l'algoritmo non sempre è in grado di riconoscere entrambi i difetti, ma solamente quello con indice di gravità G più importante (ovvero le armature

ossidate nel caso citato);

2. una buona affidabilità nei confronti della rilevazione dei difetti derivanti da infiltrazioni di acque meteoriche e dilavamenti, a parte qualche leggera traslazione delle aree soggette a degrado e la mancata rilevazione di alcune aree che presentano macchie di umidità con colorazioni leggermente differenti o con zone in ombra che hanno generato dei falsi positivi;
3. per quanto riguarda l'analisi comparativa del sistema di valutazione del rischio, tramite algoritmo IDP di Aisico e modelli "tradizionali" per CdA secondo LG è emerso un buon allineamento delle risultanze con una tendenza a sovrastimare il livello di difettosità del quadrante associato all'indice di Degrado Ponderato di quadrante. Tale primo risultato, peraltro a favore delle valutazioni di sicurezza, è in corso di approfondimento e successivamente migliorabile al crescere delle informazioni di riferimento.

Tali osservazioni, attualmente risolte tramite la validazione delle difettosità riscontrate tramite operatore qualificato, sono tuttora in corso di risoluzione al fine di garantire un'affidabilità e operatività ancor maggiori rispetto a quelle fino ad ora verificate.

> Se questo articolo ti è piaciuto, iscriviti alla Newsletter mensile al link <http://eepurl.com/dpKhWL> <

Articolo proposto su "Strade & Autostrade online"

Tag Tecnologie Associazioni e Organizzazioni Università la Sapienza di Roma Aziende Aisico Srl

Tecnologie Ispezioni Droni Monitoraggio Software IA - Intelligenza artificiale