



ISPEZIONE VISIVA DI INFRASTRUTTURE CON AUSILIO DI SAPR

L'ISPEZIONE E L'IDENTIFICAZIONE DELLE DIFETTOSITÀ DI INFRASTRUTTURE: L'ESPERIENZA DI AISICO

AISICO è da sempre attiva nel campo della ricerca e dello sviluppo di nuove soluzioni di sistemi integrati per il monitoraggio e la sorveglianza delle infrastrutture, opere d'arte e territorio attraverso l'utilizzo di droni, strumentazione avanzata e tecnica di intelligenza artificiale.

Negli ultimi anni, seguendo la continua evoluzione normativa in materia di droni dettate dal Regolamento ENAC e dalle successive modifiche e integrazioni, AISICO ha ottenuto le autorizzazioni necessarie a diventare uno degli operatori italiani più richiesti nel campo delle operazioni specializzate con ausilio di SAPR (sistemi aeromobili a pilotaggio remoto), è in possesso delle autorizzazioni ENAC per svolgere operazioni specializzate in scenari critici e non critici, Piloti Professionisti di alto skill e in possesso di abilitazioni per tutte le categorie sotto i 25 kg di peso (VL/Mc CRO, L/Mc CRO, VI/Ap CRO, L/Ap CRO), APR di ultima generazione adatti e/o adattabili ad ogni necessità e tipologia di ispezioni.

I SISTEMI AEROMOBILI A PILOTAGGIO REMOTO

I sistemi aeromobili a pilotaggio remoto (SAPR), più comunemente noti come droni, sono aeromobili comandati a distanza. Tali mezzi aerei sono sempre più utilizzati in ambito civile, per attività connesse alla sorveglianza del territorio, rilievi fotogrammetrici e impiego in ambienti ostili, nonché per ispezioni di impianti Industriali e di infrastrutture, con particolare attenzione a ponti e viadotti.



1. La matrice DJI 210 RTK

L'utilizzo di tali strumenti nell'ambito dell'ispezione visiva di ponti e viadotti, infatti, permette ispezioni rapide e accurate e una maggiore frequenza e tempestività, con costi e rischi inferiori rispetto ai sistemi tradizionali. L'utilizzo dei droni permette di raggiungere anche i punti più remoti della infrastruttura, consentendo ai Tecnici incaricati dell'ispezione di rimanere in luoghi accessibili e sicuri e ricevendo le immagini di dettaglio dello stato della struttura in tempo reale. Si possono così ispezionare tutte le componenti strutturali di un viadotto senza la



2. Esempio di ispezione con drone

necessità di utilizzare complesse attrezzature che occupano parti della carreggiata o pongono limitazioni al traffico con conseguenti disagi per gli utenti.

I dati raccolti possono essere elaborati secondo diversi gradi di complessità, che vanno dalla semplice creazione di video o di fotografie alla realizzazione di complessi modelli 3D scattati e georiferiti che riproducono in dettaglio l'opera fino alla completa catalogazione e all'identificazione delle difettosità riscontrate durante l'ispezione. In termini di stato di degrado dell'opera, i dati elaborati possono essere archiviati e confrontati con quelli raccolti prima e dopo per una valutazione della evoluzione di eventuali difettosità riscontrate con precisione millimetrica, permettendo la corretta pianificazione di interventi di manutenzione.

Alla relativa facilità e versatilità d'impiego dei SAPR, però, si contrappone la complessità della gestione degli stessi nello spazio aereo dato che, essendo a tutti gli effetti aeromobili, è necessario che siano rispettate tutte le Norme aeronautiche finalizzate ad assicurare la sicurezza delle operazioni di volo.

AISICO è in possesso di SAPR di ultima generazione adatti ad ogni necessità e tipologia di ispezione e di software per il riconoscimento automatico dei difetti. In particolare, negli ultimi anni AISICO si è specializzata nell'ispezione e nell'analisi delle difettosità di ponti e viadotti, realizzando l'ispezione di diverse infrastrutture stradali e ferroviarie gestite dalle maggiori Concessionarie e Città Metropolitane italiane.

Questo ha permesso di mettere a punto una metodologia tecnica e una struttura in grado di affrontare ispezioni di opere stradali e ferroviarie - anche rilevanti - in tempi brevi, con risultati certi e nel rigoroso rispetto delle Normative vigenti.

L'ISPEZIONE E L'IDENTIFICAZIONE DELLE DIFETTOSITÀ

La metodologia

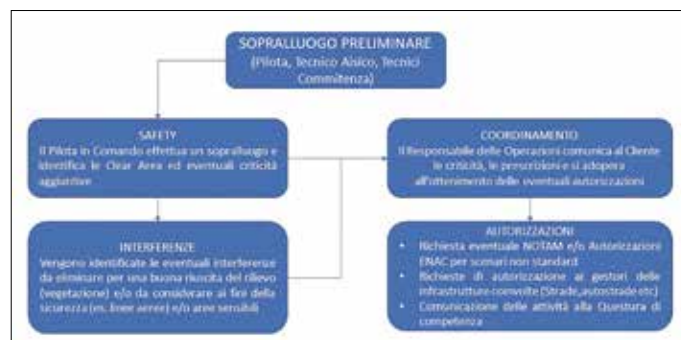
In linea generale, la procedura per l'ispezione di ponti e viadotti messa a punto dalla AISICO prevede tre fasi, una prima fase di preparazione del rilievo, una seconda operativa di volo ed acquisizione dati sul campo, ed una terza di elaborazione dei dati acquisiti.

La prima fase ha lo scopo di organizzare il rilievo con SAPR in maniera da minimizzare i tempi di esecuzione, i costi e le eventuali criticità.

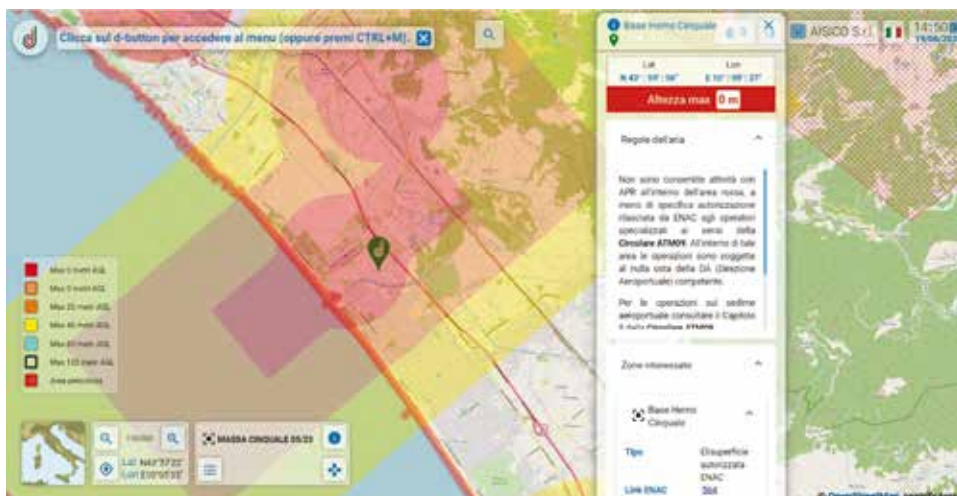
Una volta individuata l'opera da ispezionare si procederà in stretta collaborazione tra gli Ingegneri incaricati del controllo delle difettosità, i referenti dell'Ente gestore della infrastruttura e la squadra di piloti di APR al fine di redigere un K-Plan dell'opera nel quale, in funzione della tipologia di ponte e in accordo con il manuale ispettivo dell'Ente stesso, si individueranno tutti gli elementi che compongono la struttura.

Nel caso non fosse presente un manuale di riferimento, AISICO provvederà a redigerne uno in accordo con il Gestore della infrastruttura.

In funzione della tipologia di ponte, dei suoi componenti strutturali e della sua lunghezza, si procederà alla scelta del numero di squadre (pilota, co-pilota, osservatore) da utilizzare per il rilievo. Sempre durante questa fase, si realizzerà il sopralluogo in maniera da verificare le zone di accesso al luogo del rilievo, la presenza di eventuali aree di interferenza, di vegetazione o di eventuali ostacoli al volo del drone che creerebbero problemi alla realizzazione di un corretto rilievo, impedendo il volo stesso o nascondendo parti dell'opera interessate alla ispezione.



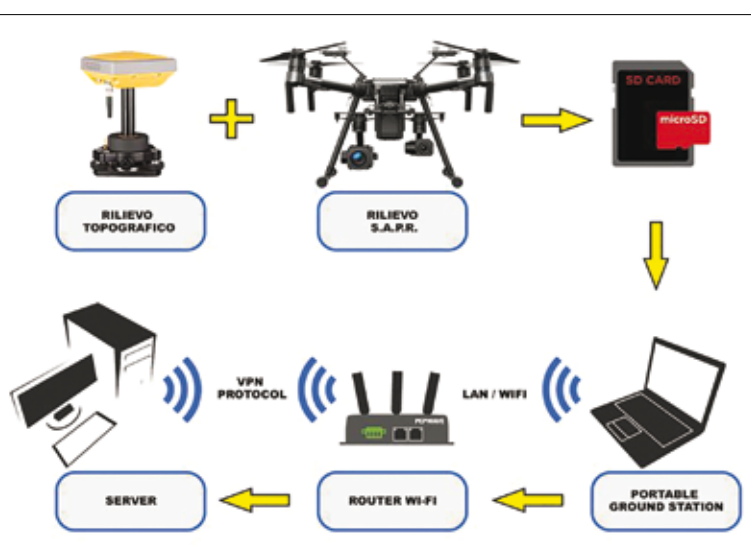
3A, 3B e 3C. La schematizzazione della metodologia di ispezione



4. La verifica dello spazio aereo sul portale AIP-ENAV



5. Le analisi degli spazi aerei e delle criticità a terra



6. La schematizzazione processo invio dati rilievo

In concomitanza con le operazioni appena descritte, si procederà alla richiesta di tutte le autorizzazioni necessarie al volo, NOTAM e/o Autorizzazioni ENAC per scenari non standard, richieste di autorizzazione ai Gestori delle infrastrutture coinvolte, comunicazione delle attività alla Questura di competenza.

Una volta risolte tutte le interferenze rimossa la vegetazione in eccesso, ottenute le autorizzazioni necessarie al volo e concordata l'eventuale chiusura temporanea (15 min. circa) delle strade che interferiscono con il volo, si può procedere con la realizzazione del rilievo vero e proprio (fase 2).

Il rilievo sarà realizzato attraverso un numero di voli utili alla ripresa fotografica dell'intera opera in modo che la distanza di volo dall'opera sia tale che, nelle foto, l'elemento ripreso sia maggiore o uguale al 70% rispetto all'ambiente esterno, gestendo in tempo reale il sensore RGB e l'esposizione ISO al fine di ottenere una serie di fotografie tutte con la corretta esposizione e tali da garantire, inoltre, una sovrapposizione almeno del 60% in senso verticale e del 30% in senso orizzontale.

Il numero delle squadre sarà deciso in funzione dei tempi di rilievo. Per avere un ordine di grandezza di riferimento possiamo affermare che, in media, due squadre eseguono il rilievo completo di un viadotto di lunghezza intorno al chilometro e di

altezza media delle pile intorno ai 60 m in soli tre giorni. Nel caso si volessero modificare i tempi di rilievo, si potrà semplicemente modificare il numero delle squadre di volo. Infine, a ogni rilievo con drone sarà abbinato sempre un rilievo topografico con stazione totale.

Il rilievo topografico è fondamentale per la corretta realizzazione dell'elaborazione dei dati in post processing (fase 3). L'invio dei dati avviene in tempo reale direttamente dal sito ispezionato.

L'ELABORAZIONE DEI DATI

L'elaborazione dei dati prevede la compilazione del K-Plan, nel quale sono stati preventivamente identificati tutti i componenti strutturali del ponte esaminato e la loro suddivisione nei suoi elementi e sotto elementi, in accordo con il manuale ispettivo dell'ente gestore.

All'interno delle colonne dedicate verranno inserite le note dalle quali l'operatore potrà, in qualunque momento, individuare in maniera rapida e precisa quali componenti siano stati ispezionati e dove siano state riscontrate le eventuali difettosità.

Da opportuni collegamenti ipertestuali si potrà accedere dal K-Plan direttamente alle foto di dettaglio degli elementi, dei sottoelementi strutturali e dei rispettivi difetti riscontrati, raccolti all'interno di una catalogazione fotografica suddivisa esattamente secondo i componenti strutturali identificati per la tipologia di opera ispezionata.

Per una maggiore identificazione in termini di posizione degli elementi strutturali e dei difetti, qualunque sia la tipologia o dimensione del viadotto ispezionato verrà definito sempre un verso di percorrenza e un conseguente lato destro e sinistro. Le campate e le pile saranno identificate secondo un numero progressivo che rispetterà il verso di percorrenza stabilito. Questo permette di identificare in maniera univoca la pila o la campata che si sta analizzando in termini di difettosità. In generale, il viadotto esaminato sarà suddiviso in campate, formate dall'impalcato corrispondente e dalla pila di estremità numerate secondo il verso di percorrenza. Le campate iniziali e finali saranno composte anche dalle rispettive spalle, denominate spalla 1 e spalla 2. Ogni campata sarà a sua volta suddivisa in impalcati e pile, a loro volta suddivisi nei singoli elementi e negli eventuali sotto elementi che li compongono. Per ogni campata saranno anche identificati i componenti non strutturali, quali ad esempio marciapiedi, barriere di sicurezza, parapetti, ecc.. Per ogni singola campata verrà redatto un singolo foglio di lavoro all'interno del K-Plan.

L'IDENTIFICAZIONE DEI DIFETTI: IL SOFTWARE ADD_B

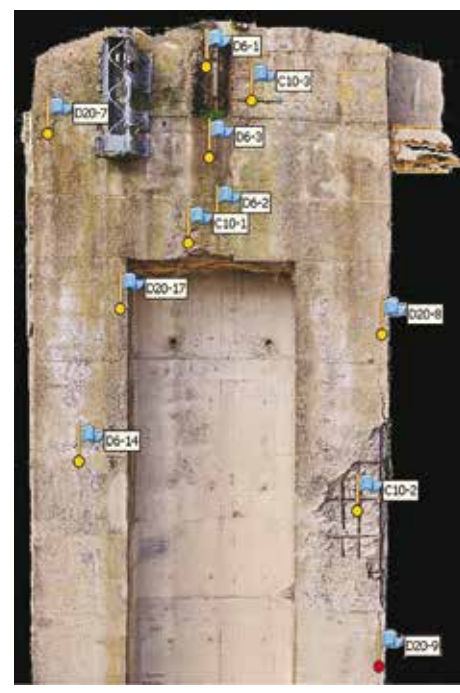
Una volta scomposta la struttura in maniera definita e univoca si passerà all'identificazione delle difettosità a partire dall'analisi del modello 3D scalato, che replica fedelmente la struttura anche in termini di dimensioni misurabili e georeferenziate.

Una prima identificazione delle difettosità avviene attraverso l'utilizzo di un software messo a punto da AISICO, denominato ADD_B© (Auto Defect Detection_Bridge).

Tale software è in grado di riconoscere e di classificare velocemente e in automatico una serie di difetti presenti sulle opere d'arte delle infrastrutture attraverso avanzate tecniche di elaborazione delle immagini digitale (image processing) e nuovi modelli di intelligenza artificiale (deep learning) in ambiente MATLAB. A partire dalle porzioni di struttura di interesse, estrapolate dal modello 3D, realizzato grazie alle immagini dettagliate acquisite dal drone (L'SW), tramite modelli di apprendimento supervisionato riconosce e classifica il difetto assistendo in prima battuta l'Ingegnere che si dovrà occupare della identificazione e della classificazione dei difetti durante la fase di diagnostica, soprattutto nella fase di valutazione dello stato di degrado in termini di estensione e di intensità del difetto rilevato da una procedura automatizzata che rende la diagnostica dello stato di degrado più veloce e sicura. L'SW è in grado di suddividere porzioni di ortofoto estratte dal modello in accordo con quanto stabilito dal manuale delle ispezioni e di individuare, per le diverse zone ispezionate, alcune classi di difetti quali armature scoperte, fessurazioni, dilavamenti, infiltrazioni di acqua, efflorescenze, ammaloramenti del calcestruzzo e difetti di esecuzione.

La squadra di Ingegneri esperti di difettosità integrerà l'analisi del viadotto a partire sia dal modello 3D che dalle foto di dettaglio acquisite durante il rilievo, integrando tutti quei difetti attualmente non riscontrabili dal software.

I singoli difetti riscontrati sono identificati attraverso un codice alfanumerico unico che, in accordo con la nomenclatura stabilita con la Committenza, prima riporta la tipologia del difetto e successivamente un numero indicante il progressivo



7A e 7B. Esempi di applicazione del SW ADD_B©

8. Esempio identificazione difetti in codice alfanumerico



9. Esempio di ponte ad archi in muratura



10. La realizzazione del modello 3D ponte ad archi in muratura

dello stesso difetto riscontrato nell'intero elemento ispezionato; in funzione degli elementi strutturali identificati in termini di posizione, tipologia, intensità ed estensione, essi verranno catalogati all'interno di un file Excel facilmente consultabile dall'operatore.

Gli stessi difetti saranno visibili direttamente sul modello 3D scalato, georeferenziato e misurabile che riproduce fedelmente l'opera ispezionata. Direttamente dal modello 3D l'operatore, oltre a visionare tipologia e posizione dei difetti, potrà estrapolare le foto di dettaglio della zona interessata. In questo modo, le difettosità riscontrate sono facilmente consultabili attraverso l'elenco contenuto all'interno del file Excel dei difetti, direttamente dalle fotografie contenute nell'elemento corrispondente nella catalogazione fotografica dell'elemento corrispondente e a partire dal modello 3D che riproduce l'intera opera.

Infatti, nel modello 3D - sia completo sia dei soli elementi parziali - attraverso opportuni marker è possibile visualizzare il posizionamento e la tipologia del difetto presente nel sotto-

elemento identificato a seconda della tipologia di ponte e in accordo con l'Ente gestore.

A corredo dell'intero lavoro verranno poi prodotte delle relazioni riassuntive che elencano la metodologia ispettiva, la nomenclatura utilizzata, le difettosità riscontrate ed eventuali situazioni critiche di dettaglio corredate delle tabelle difetti e delle foto di dettaglio.

CONCLUSIONI

In sintesi, utilizzando questa metodologia messa a punto da AISICO sarà possibile conoscere in dettaglio lo stato dell'arte di una infrastruttura attraverso la verifica della presenza o meno di difetti, riscontrabile dal K-Plan, dal quale è possibile accedere alle foto di riferimento di ogni singolo componente strutturale e dei suoi difetti.

La posizione e la tipologia dei difetti riscontrati nei rispettivi sottoelementi dei componenti strutturali possono essere individuati a partire dalla catalogazione fotografica, ma anche direttamente dal modello 3D dal quale è possibile estrapolare le fotografie di riferimento.



11. Esempio di inserimento marker difetti modello 3D

Il valore di intensità e di estensione del difetto è leggibile dal file Excel riepilogativo. L'ispezione così eseguita risulta completa e facilmente fruibile in ogni momento da ogni operatore che lo necessiti.

Tale database permette, inoltre, una facile archiviazione del risultato della ispezione che può essere agevolmente aggiornato attraverso voli di controllo con drone, in tempi diversi e secondo delle priorità stabilite a priori. In questo modo, è possibile stabilire un confronto tra le immagini del difetto in tempi diversi stabilendone l'evoluzione e tenendo sotto controllo lo stato dell'arte dell'intero ponte in maniera da programmare eventuali manutenzioni o ispezioni aggiuntive, senza la necessità di essere sul posto o di creare difficoltà al traffico stradale o ferroviario. ■

⁽¹⁾ Architetto, Coordinatore post-processing e identificazioni difetti rilievi con SAPR di Progetti e Servizi Srl

⁽²⁾ Ingegnere, Project Manager ispezioni con ausilio di SAPR di AISICO Srl