

PhotoMonitoring: la fotografia digitale come strumento di monitoraggio

di Antonio Cosentino, Alessandro Brunetti, Paolo Mazzanti

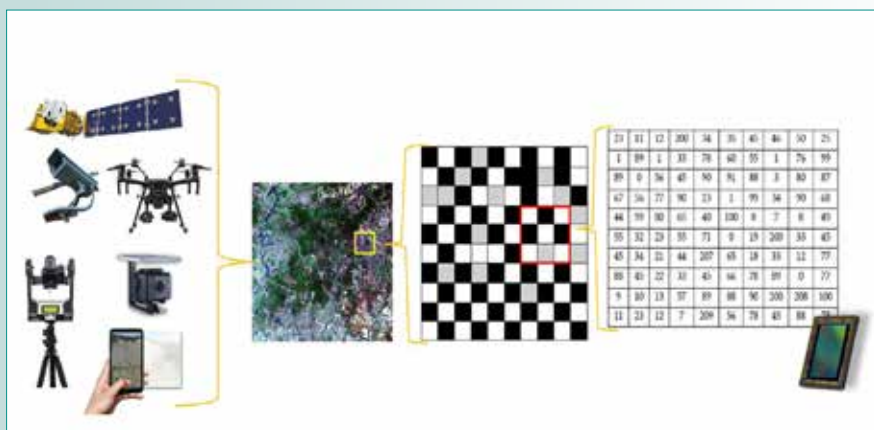


Fig. 1 – Differenti piattaforme di rilievo per la produzione di immagini digitali, ovvero matrici numeriche che possono essere utilizzate come strumento di osservazione e monitoraggio.

Poco meno di cinque lustri fa sembrava impossibile poter utilizzare una semplice e già diffusa macchina fotografica come strumento di monitoraggio attendibile per un tecnico progettista. Oggi grazie ai passi da gigante che ha fatto la tecnologia ed all'evoluzione informatica, non è più così e ciò che prima sembrava fantascienza oggi, grazie all'innovativa tecnica del Photomonitoring è realtà. Ma come si possono ottenere informazioni attendibili attraverso due semplici immagini? Il presente articolo illustra i principi generali del Photomonitoring ed i principali criteri di applicabilità di tale metodo, anche attraverso esempi applicativi di successo.

Premessa

Quando si parla di monitoraggio si intende *“l'osservazione, a scopo di controllo, di una grandezza variabile eseguita mediante appositi strumenti”* [cfr. Vocabolario Treccani], con applicazione in vari campi scientifici. Nel campo ingegneristico, diversi sensori, strumenti e tecniche sempre più evoluti sono stati sviluppati ed applicati nel corso degli anni per finalità di monitoraggio geotecnico e strutturale. Tra le tecniche di telerilevamento più originali ad oggi disponibili sul mercato, il PhotoMonitoring riveste certamente un ruolo chiave grazie a peculiari caratteristiche che lo rendono complementare a molte altre tecniche e sistemi. Il PhotoMonitoring è un'innovativa soluzione di monitoraggio che sfrutta l'enorme diffusione di sensori ottici con l'intento di eseguire, tramite un approccio non invasivo ed a distanza, il controllo delle deformazioni o dei cambiamenti dell'oggetto di interesse, qual-

siasi esso sia. Lo sfruttamento dei sensori ottici in applicazioni scientifiche prima, ed ingegneristiche poi, diventa possibile grazie all'evoluzione tecnologica della fotografia ed al passaggio dalla fotografia analogica, che sfruttava una pellicola foto sensibile (Rullino fotografico) alla fotografia digitale. L'evoluzione della tecnologia, la miniaturizzazione dei chip e la sempre maggiore diffusione di Smartphone e Tablet, ha portato, solamente nel 2019, alla produzione di oltre 15 milioni di sensori ottici e solo nel 2021 sono stati scattati circa 1,44 trilioni di foto digitali, un vero e proprio patrimonio fotografico che racchiude enormi potenzialità. Oltre alla grande diffusione dei sensori fotografici, anche a costi relativamente accessibili, un altro importante vantaggio del PhotoMonitoring è rappresentato dall'ampio numero di piattaforme su cui è possibile installare i sensori ottici, come ad esempio satelliti, piattaforme UAV (Droni) e sistemi terrestri (statici e mobili). L'ampia disponibilità di piattaforme differenti rende la tecnica del PhotoMonitoring applicabile in diversi contesti, dall'osservazione della Terra, al monitoraggio di strutture ed infrastrutture (Figura 1).

Principi Generali del PhotoMonitoring

Il PhotoMonitoring si basa sul concetto di *“Digital Image Processing”*, ovvero l'elaborazione di immagini digitali con lo scopo di ottenere dati ed informazioni per scopi di teleri-

levamento. Fondamentalmente, il PhotoMonitoring si basa sull'estrazione di informazioni attraverso il confronto di diversi tipi di immagini (ad esempio, immagini satellitari, aeree o terrestri) raccolte in tempi diversi sulla stessa area e scena. In particolare, la tecnica consente di effettuare le seguenti analisi principali:

- **Change Detection (CD)**
- Analisi in grado di identificare la posizione e l'entità dei cambiamenti tra una coppia di immagini acquisite in tempi diversi. Questa analisi può essere effettuata attraverso una semplice differenza di immagini pixel per pixel, oppure attraverso algoritmi più specifici in grado di effettuare analisi a tutto campo (Figura 2).
- **Digital Image Correlation (DIC)** - Misurazione ottico-numerica in grado di misurare spostamenti o deformazioni superficiali 2D a tutto campo di qualsiasi tipo di oggetto nella scena di ripresa fotografica. Le deformazioni vengono calcolate confrontando ed elaborando immagini digitali della superficie dello stesso "oggetto" raccolte prima e dopo l'evento di deformazione/spostamento grazie ad un processo di "pattern tracking" (Figura 2).

Applicabilità del Metodo

Lo sfruttamento del massimo potenziale del PhotoMonitoring, come innovativa tecnica di monitoraggio, dipende da alcuni aspetti e prerequisiti generali relativi al sensore e alla piattaforma utilizzati ed alla scena/oggetto che si intende studiare. Per meglio comprendere ed apprezzare l'applicabilità del metodo è essenziale chiarire il concetto di "risoluzione" delle immagini digitali, in quanto essa rappresenta uno dei prerequisiti chiave da considerare in fase di pianificazione del monitoraggio e può incidere in modo non trascurabile sul risultato finale.

Secondo l'Enciclopedia Treccani la Risoluzione è *"la separazione minima tra due punti molto prossimi tra loro per la quale essi possano essere presi come risultati di misure individuali e distinte"*. Nell'ambito delle immagini digitali esistono quattro differenti tipologie di risoluzione:

► Risoluzione Geometrica

- Viene comunemente riferita al numero di pixel (celle della matrice) che costituiscono l'immagine digitale. In tal senso, maggiore è il numero dei pixel, maggiore sarà la risoluzione e minore sarà la dimensione minima degli oggetti ripresi che può essere rilevata.

► Risoluzione Radiometrica

- Rappresenta la minima differenza di intensità che un sensore può rilevare tra due valori di energia. Maggiore è la risoluzione radiometrica di un sensore, più sensibile è nel registrare piccole differenze nell'energia riflessa o emessa.

► Risoluzione Spettrale

- Rappresenta il numero di bande spettrali di acquisizione e la loro ampiezza. Può essere anche definita come la capacità di risolvere le caratteristiche di un oggetto nel campo elettromagnetico.

► Risoluzione Temporale

- Viene definita come il periodo di tempo che intercorre tra due riprese successive di una stessa area, detta comunemente anche "frequenza di campionamento".

Bisogna tenere in considerazione che, in funzione di questi requisiti, è possibile individuare le caratteristiche del sistema (es. tipologia di sensore e ottica, ubicazione del sistema) tali da raggiungere le condizioni ottimali richieste per effettuare il monitoraggio ed il controllo del fenomeno oggetto di indagine. Oltre agli aspetti legati al sensore è necessario far riferimento anche ad alcuni prerequisiti generali legati all'ambiente che si intende esaminare e che non rappresentano fattori di secondaria importanza rispetto

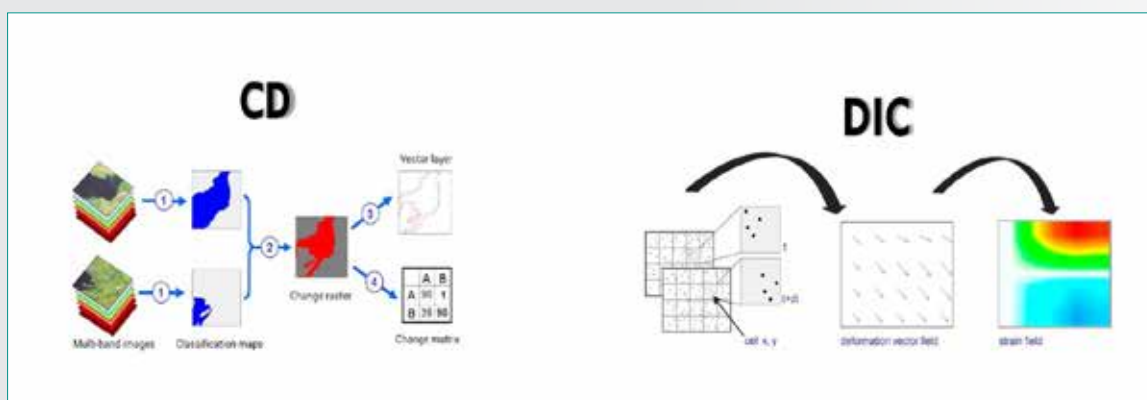


Fig. 2 – Schemi esemplificativi di Change Detection (CD) ed Digital Image Correlation (DIC).

a quelli fin qui esposti. È di alta rilevanza che le immagini vengano scattate con buone condizioni di visibilità, ovvero in assenza di nebbia o nuvole; oltretutto è importante che le condizioni di illuminazione risultino il più possibile simili tra le diverse foto da analizzare. Un altro importantissimo fattore da considerare è legato all'adeguato "speckle pattern" che la scena deve presentare. La maggior parte delle analisi di PhotoMonitoring si basa, infatti, sulla ricerca della corrispondenza di *feature* all'interno delle immagini acquisite; per tale motivo, risulta ben evidente l'importanza che riveste la presenza di un *speckle pattern*, artificiale o naturale, inteso come una apprezzabile e caotica variabilità radiometrica spaziale nelle diverse porzioni dell'immagine che si intende analizzare (Figura 3). La maggior parte delle applicazioni di PhotoMonitoring, anche grazie all'evoluzione degli algoritmi, vedono l'utilizzo di una tecnica di monitoraggio completamente contactless che sfrutta il pattern naturale. Tenendo in considerazione i prerequisiti generali principali sopra illustrati, si possono raggiungere valori di precisione delle analisi di 1/50 di pixel

(*sub-pixel resolution*) o anche maggiori in condizioni ottimali. Per effettuare monitoraggio attraverso la tecnica del PhotoMonitoring, siano esse analisi di DIC o di CD, e poter estrapolare informazioni attendibili rispetto ad una grandezza variabile da tenere sotto controllo (quantità di spostamento, velocità di spostamento, cambiamenti, etc.) è necessario che le immagini da analizzare siano sottoposte in via preliminare ad un processo di allineamento preciso, ovvero ad uno step di "co-registrazione". L'obiettivo di questo step è quello di ottenere due o più immagini confrontabili; questo diventa possibile attraverso diverse tipologie di trasformazioni che si applicano alle immagini da allineare (Slave), rispetto ad un'immagine di riferimento (Master). La fase di Co-registrazione risulta quindi un passaggio cardine ed indispensabile per il PhotoMonitoring. L'utilizzo di avanzati algoritmi per l'elaborazione di immagini digitali, quindi, è una condizione sine qua non il patrimonio fotografico non potrebbe essere sfruttato ai fini del monitoraggio. Per rispondere a questa esigenza è stato sviluppato IRIS (<https://www.photomonitoring.com/iris/>), un software modulare di PhotoMonitoring in grado di analizzare i dati acquisiti da diverse piattaforme e sensori, ideato e prodotto da NHAZCA S.r.l. start-up dell'Università di Roma "La Sapienza" traendo spunto da numerosi anni di ricerca portata avanti presso il Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Roma "Sapienza". IRIS è concepito per lavorare con immagini terrestri, aeree e satellitari di qualsiasi tipo di sensore (ottici, termici, nel vicino infrarosso, Radar ecc.), e dispone di diversi moduli che permettono di effettuare, all'interno dello stesso ambiente: il Pre-Processing dei dati (per l'ottimizzazione delle immagini di input, prima del processing), la co-registrazione delle immagini, il rilevamento dei cambiamenti (*Change Detection*) e la correlazione digitale delle immagini (*Digital Image Correlation*) ed il Post-Processing dei risultati ottenuti (per l'ottimizzazione ed il miglioramento della leggibilità ultima dei risultati ottenuti). La Digital Image Correlation invece il software si avvale di diversi tipi di algoritmi che sfruttano differenti tecniche di analisi (Feature Tracking; Template Matching; Phase Correlation; etc.). Le applicazioni di analisi degli spostamenti possono essere eseguite attraverso una singola coppia di immagini (approccio a singola analisi) o attraverso una pila di immagini che ritraggono la stessa area (approccio multi-master). Le analisi eseguite con un approccio multi-master consentono inoltre di ricostruire l'evoluzione temporale del fenomeno e di estrapolare non solo la mappa di spostamento, ma anche le serie temporali di spostamento per aree o pixel. Questa applicazione permette, se disponibile un sistema di acquisizione in continuo che trasmette i dati anche in tempo reale, di automatizzare



(a)



(b)

Fig. 3 - a) Esempio di speckle pattern artificiale; b) Esempio di speckle pattern naturalmente presente in una scena di ripresa satellitare.

il monitoraggio, e grazie a moduli specifici implementati sul software IRIS avere un sistema di analisi autosufficiente in continuo e/o in tempo reale. La tecnica DIC può essere applicata in differenti contesti e con differenti finalità, dall'*Earth Observation* (EO), con l'obiettivo di monitorare ed osservare eventi naturali; allo *Structural Health Monitoring* (SHM), per condurre analisi statiche e dinamiche di strutture e infra-

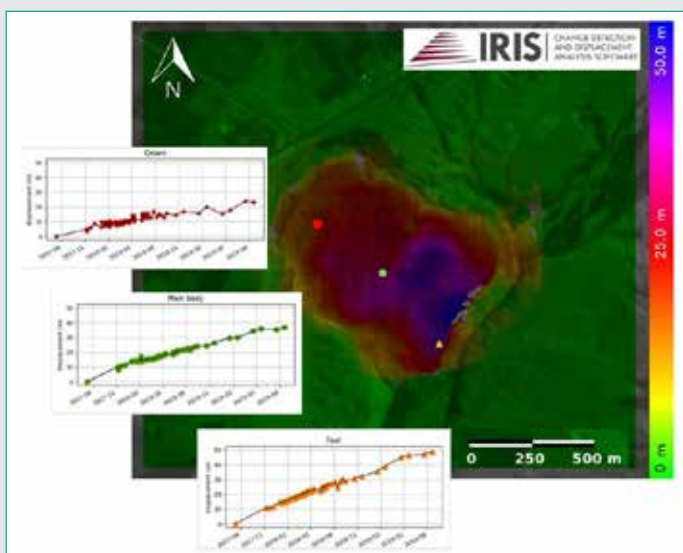
strutture, senza la necessità di installare sensori a contatto. Una delle applicazioni più innovative di questa tecnica è proprio il monitoraggio dinamico di strutture ed infrastrutture con finalità SHM. Queste possono essere condotte effettuando riprese video, con adeguate caratteristiche di risoluzione e Frame Rate, della struttura da monitorare, con cui, attraverso un modulo appositamente sviluppato sul software IRIS, ef-

fettuare analisi Frame by Frame ottenendo così serie temporali e frequenze tipiche di oscillazione.

Il Software sviluppato e distribuito da Nhazca è uno strumento estremamente potente e versatile, tale da essere stato integrato e reso accessibile agli utenti come servizio di elaborazione Cloud on-demand in più piattaforme GEP di sfruttamento come ESA Charter Mapper per finalità di EO.

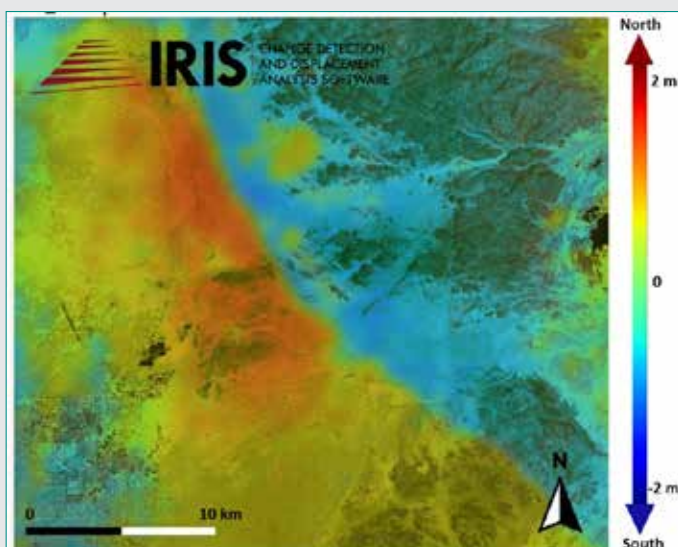
Esempi di Applicazioni

Di seguito si riportano una serie di esempi in differenti ambiti applicativi, dall'*Earth Observation* (EO) fino allo *Structural Health Monitoring* (SHM).



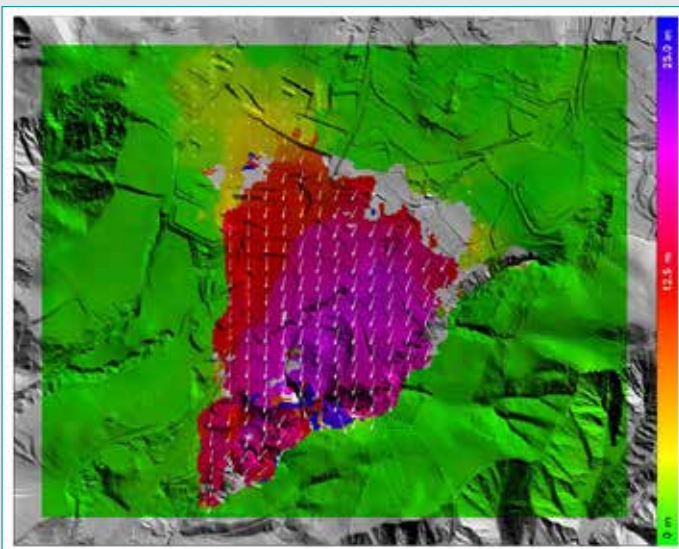
- *Ambito:* Earth Observation- Arequipa Landslide (Perù)
- *Piattaforma:* Satellitare
- *Dati:* Immagini Sentinel-2
- *Risoluzione* Immagini: 10 m/Px
- *Applicazione:* Digital Image Correlation (DIC)
- *Descrizione Risultati:*

Le analisi hanno mostrato un tasso di spostamento diverso per i diversi anni e per le diverse aree di frana, con uno spostamento massimo misurato per l'area del piede di 50 m. E' stato inoltre possibile ricavare le serie temporali di spostamento per le differenti zone della frana.

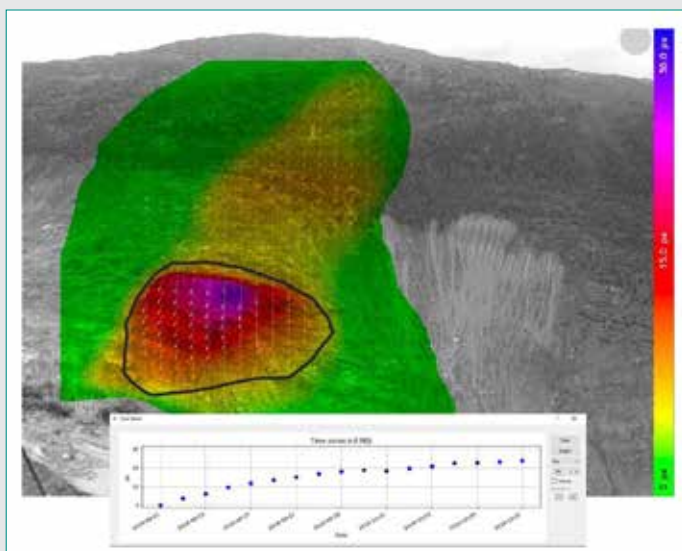


- *Ambito:* Earth Observation- Ridgecrest Earthquake (California)
- *Piattaforma:* Satellitare
- *Dati:* Immagini Landsat 8
- *Risoluzione* Immagini: 15 m/Px
- *Applicazione:* Digital Image Correlation (DIC)
- *Descrizione Risultati:*

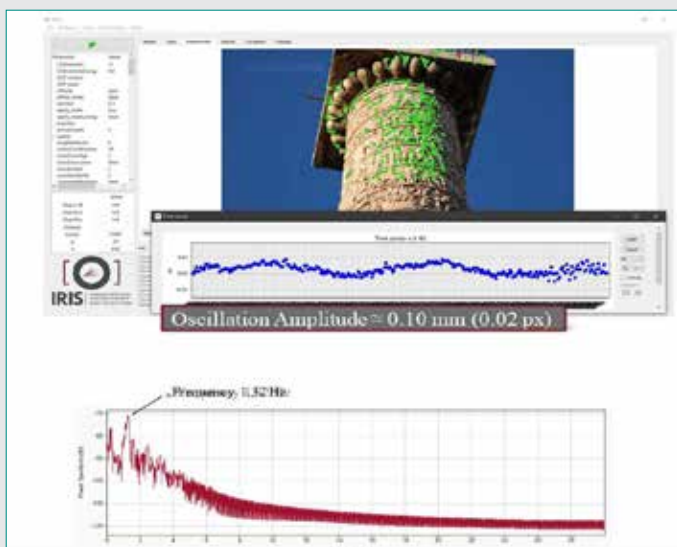
Le analisi hanno mostrato lo spostamento avvenuto lungo la linea di faglia in direzione nord-sud, con una precisione stimata di circa 30 cm.



- *Ambito:* Earth Observation- Frana di Montescaglioso (Italia)
- *Piattaforma:* Aerea
- *Dati:* Lidar Aereo
- *Risoluzione Immagini:* 1 m/Px
- *Applicazione:* Digital Image Correlation (DIC)
- *Descrizione Risultati:* Le analisi hanno permesso di ricostruire l'evento franoso di Montescaglioso evidenziando che lo spostamento è avvenuto con una direzione prevalente S-SW e con uno spostamento massimo di 22 m.



- *Ambito:* Earth Observation- Frana dell'Aletsch (Svizzera)
- *Piattaforma:* Terrestre
- *Dati:* Camera fissa Reflex
- *Risoluzione Immagini:* 0.50 m/Px
- *Applicazione:* Digital Image Correlation (DIC)
- *Descrizione Risultati:* Le indagini condotte partendo da una camera fissa presente presso il sito hanno consentito di ricostruire l'evoluzione temporale dell'evento franoso di dell'Aletsch, permettendo di osservare l'evoluzione giornaliera dell'evento franoso tra settembre ed ottobre 2016 e di ricavare le serie temporali di spostamento.



- *Ambito:* Structural Health Monitoring- Colonna Marco Aurelio (Roma)
- *Piattaforma:* Terrestre
- *Dati:* Video ricavato da Camera mobile Reflex
- *Risoluzione Immagini:* 5mm/Px
- *Applicazione:* Digital Image Correlation (DIC) – Analisi Dinamica
- *Descrizione Risultati:* Attraverso un video realizzato con camera mobile Reflex è stata ricavata la serie temporale di spostamento della colonna. Facendo uno studio in frequenza di questa serie temporale è stato ottenuta, e poi validata, la frequenza di oscillazione principale della colonna, pari a 1,32 Hz.

Conclusioni

Nell'articolo è stata introdotta la tecnica del PhotoMonitoring, illustrando in modo sintetico i principi fondamentali alla base di tale tecnica e dell'applicabilità del metodo, mostrando anche alcuni esempi pratici di applicazione in differenti contesti e per diverse finalità. Il PhotoMonitoring rappresenta, nel campo del monitoraggio geotecnico-strutturale, una tecnica che si avvale di strumenti di misura alla portata di tutti ed estremamente versatile, considerate le molteplici tipologie di sensori e di piattaforme (terrestri fisse, terrestri mobili, drone, aerea e satellitare) che ne rendono possibile l'applicabilità in molteplici contesti applicativi che spaziano dal controllo del territorio al monitoraggio statico e dinamico di strutture e infrastrutture. Il PhotoMonitoring, in conclusione può essere certamente considerato un prezioso strumento di tutti i giorni a supporto di studi professionali e singoli professionisti, società di progettazione, Enti territoriali, gestori di strutture o infrastrutture, ecc., che consente di acquisire un patrimonio informativo quantitativo, oggettivo e replicabile, per finalità di ispezione e monitoraggio, a costi competitivi rispetto alle alternative di mercato, risultando così una tecnologia alla portata di tutti, o quasi tutti.

PAROLE CHIAVE

FOTOMONITORAGGIO; MONITORAGGIO STRUTTURALE; MONITORAGGIO GEOTECNICO; PIATTAFORME FISSE; PIATTAFORME MOBILI; DRONI; SATELLITI; AEREI

ABSTRACT

Just under five years ago it seemed impossible to be able to use a simple and already widespread camera as a reliable monitoring tool for a design engineer. Today, thanks to the giant strides made by technology and IT evolution, this is no longer the case and what once seemed like science fiction is now reality, thanks to the innovative Photomonitoring technique. But how can you obtain reliable information through two simple images? This article illustrates the general principles of Photomonitoring and the main applicability criteria of this method, also through successful application examples.

AUTORE

ANTONIO COSENTINO
ANTONIO.COSENTINO@INTELLEGEARTH.COM
INTELLEGEARTH E DIPARTIMENTO DI SCIENZE DELLA TERRA,
SAPIENZA UNIVERSITÀ DI ROMA
ALESSANDRO BRUNETTI NHAZCA - START-UP SAPIENZA UNIVERSITÀ DI ROMA

PAOLO MAZZANTI
INTELLEGEARTH, NHAZCA E DIPARTIMENTO DI SCIENZE DELLA TERRA, SAPIENZA UNIVERSITÀ DI ROMA



ArcGIS Platform

The power of maps
and location intelligence
in operations

