

Mission del GAP - Geomatic Application and Processing

Eva Savina Malinverni¹[0000-0001-6582-2943], Roberto Pierdicca¹[0000-0002-9160-834X],
 Francesco Di Stefano¹[0000-0002-0604-7163], Fabio Piccinini¹[0000-0002-8593-4851],
 Stefano Chiappini²[0000-0001-8776-2232], Alban Gorreja¹[0000-0003-0016-418X],
 Mattia Balestra²[0000-0002-3741-3621], Awal Rahali¹[0000-0001-5518-8520]

¹ Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Architettura, UNIVPM - Via Breccie Bianche, 12, 60131, Ancona, Italia {e.s.malinverni;r.pierdicca;f.distefano;f.piccinini}@staff.univpm.it; {a.gorreja; a.rahali}@pm.univpm.it

² Dipartimento di Scienze Agrarie, Alimentari ed Ambientali, UNIVPM – Via Breccie Bianche, 8, 60131, Ancona, Italia {s.chiappini; m.balestra}@pm.univpm.it

Abstract. GAP è un laboratorio di ricerca che integra diverse tecnologie, tra cui l'uso di sensori per l'acquisizione di dati, l'elaborazione la segmentazione di questi ultimi, la modellazione 2D/3D, per l'archiviazione, l'analisi e la gestione di dati metrici e dati semantici a scala sia territoriale/urbana sia architettonica. Utilizzando un ampio set di strumenti e metodologie di rilievo, l'attività del laboratorio è finalizzata all'elaborazione di dati geo-spaziali certificati per scopi di monitoraggio ambientale, controllo del paesaggio, beni culturali e dinamiche spazio-temporali, con una particolare attenzione alla qualità e all'accuratezza statistica del prodotto finale. L'attività multidisciplinare ha permesso di sviluppare progetti innovativi verso la nuova visione dello *space sensing*, sempre conservando l'identità delle discipline geomatiche.

Parole chiave: Geomatica, mission, GEO-AI

1 Introduzione

GAP (Geomatic Application & Processing) è un laboratorio di ricerca dell'Università Politecnica delle Marche, coordinato dal docente ordinario di Geomatica, Prof.ssa Eva Savina Malinverni, che integra diverse tecnologie, tra cui l'uso di sensori per l'acquisizione di dati, l'elaborazione la segmentazione di questi ultimi, la modellazione 2D/3D, per l'archiviazione, l'analisi e la gestione di dati metrici e dati semantici a scala sia territoriale/urbana sia architettonica (GIS, CityGML, BIM).

Utilizzando un ampio set di strumenti e metodologie di rilievo (GPS, laser scanner, SLAM, Mobile Mapping, UAV, *remote sensing*, fotogrammetria digitale e sferica, sensori per il monitoraggio) l'attività del laboratorio è finalizzata all'elaborazione di dati geo-spaziali certificati per scopi di monitoraggio ambientale, controllo del paesaggio, beni culturali e dinamiche spazio-temporali, con una particolare attenzione alla qualità

e all'accuratezza statistica del prodotto finale. La visione multidisciplinare del gruppo, confermata da diverse collaborazioni esterne, ha permesso nel corso degli ultimi anni di sviluppare progetti innovativi verso la nuova visione dello *space sensing*, sempre conservando l'identità delle discipline geomatiche.

La principale *mission* del laboratorio di ricerca è la scoperta e la condivisione del valore digitale attraverso sfide GEO-AI (Geomatics – Artificial Intelligence). Lo sfruttamento degli approcci GEO-AI sta diventando sempre più diffuso in diversi domini. I dati geomatici diventando sempre più complessi ed eterogenei, vengono raccolti con tecniche multi-source tali da richiedere crescenti capacità computazionali, e, soprattutto, potenti strumenti di elaborazione ed interpretazione.

Tale contributo vuol proporre una panoramica delle soluzioni innovative che la Geomatica, avvalendosi delle esperienze del gruppo di ricerca GAP, ha rivolto ai settori territoriale, forestale, agricolo, urbano, architettonico ed archeologico, applicando tecniche integrate di acquisizione dati e combinando le informazioni multidisciplinari per organizzarle e renderle disponibili a diverse scale e diversi livelli di utilizzo.

In sintesi, queste innovazioni sperimentate dal gruppo GAP definiscono i ruoli che vengono attribuiti alle tecnologie geomatiche, ai sistemi informativi, all'uso dell'intelligenza artificiale e della realtà virtuale e alla multidisciplinarietà.

2 Mission del GAP

2.1 Il ruolo della geomatica

Al giorno d'oggi, l'elaborazione di grandi quantità di dati e informazioni in modo interdisciplinare e interoperabile si basa su una crescente varietà di strumenti e metodi di raccolta dei dati. Il binomio scienza-tecnologia direttamente connesso alle discipline geospaziali consente il continuo sviluppo di tecniche di acquisizione e rappresentazione dei dati.

Rilievo e rappresentazione sono strettamente legati tra loro, come dimostra lo stretto legame tra le discipline tradizionalmente associate al rilievo, come la Geodesia, la Topografia, la Fotogrammetria e il Telerilevamento, e quelle legate alla rappresentazione, come la Cartografia [1].

I dati geomatici sono acquisiti da vari sistemi e piattaforme (Figura 1), generando informazioni eterogenee geospaziali e spazio-temporali; infatti, le tecniche di acquisizione forniscono dati geomatici differenti, tra cui immagini RGB, Multi-Iper Spettrali, nuvole di punti, traiettorie GNSS, traiettorie indoor tramite sensori WiFi [2] o Visual Inertial Odometry [3]. Gli algoritmi esistenti per l'elaborazione dei dati funzionano principalmente con approcci manuali o semiautomatici. L'automazione completa non ha ancora raggiunto un grado di affidabilità e precisione tale da affidare completamente l'elaborazione al solo software.

Gli strumenti della geomatica comprendono: satelliti, droni, macchine fotografiche, stazioni totali, antenne GNSS, laser scanner ed altri strumenti minori. L'integrazione dei dati derivanti da questi strumenti garantisce una moltitudine di casi applicativi su diverse scale di riferimento.

Ad esempio, su piccola scala le immagini satellitari offrono grandi opportunità. L'accessibilità a questo tipo di dato permette di poter analizzare e monitorare il territorio, il paesaggio e aree da mappare. I satelliti delle stazioni orbitanti delle costellazioni Sentinel (ESA) operano con diversi sensori. Le immagini ottenute con tecnica SAR sono utili per eseguire, ad esempio, monitoraggi della subsidenza del terreno e valutare le conseguenze sulle strutture che sorgono su di esso. Dati che possono essere confrontati con quelli ottenuti con la tecnica della livellazione topografica [4]. Le immagini satellitari multi-banda, multi-iper spettrali e pancromatiche sono state utilizzate durante la nostra attività di ricerca per poter ottenere modelli DTM del terreno, per tecniche di *object-detection*, ma anche con algoritmi di *shadow detection* per il riconoscimento di siti archeologici [5].

Per casi studio su larga scala trovano applicazione strumenti quali fotocamere digitali reflex, camere sferiche e droni per tecniche fotogrammetriche e laser scanner mobili con tecnologie visual-inerzial-odometrica e SLAM. Relativamente alla fotogrammetria sferica, il GAP conserva tutt'ora la ricca eredità tramandata dal Prof. Fangi [6]. Sono molteplici i casi studio in cui il GAP ha eseguito rilievi integrando questi sensori close-range [7], [8]. L'opportunità di aver testato sensori mobili 3D LiDAR in diversi ambiti applicativi (ambiente urbano, ambiente indoor, patrimonio costruito e archeologico, ambienti underground e ambienti agricoli e forestali) ha permesso al GAP di conoscere i vantaggi e le limitazioni dell'uso di tale tecnica [9].

La forte spinta tecnologica ha inoltre permesso alla geomatica di impiegare strumentazione tecnica anche in settori che, tipicamente, erano meno coinvolti: i settori agronomici e forestali. Questi hanno ottenuto notevoli successi grazie alle efficienti ed accurate informazioni ottenute tramite l'utilizzo della tecnologia di recente sviluppo. In particolare, le possibilità introdotte dal *remote sensing* o dal *proximal sensing*, risultano adatte per operare classificazioni della distribuzione di habitat forestali, soddisfacendo così la richiesta di elaborazione di mappature risultanti dal monitoraggio dello stato di conservazione degli habitat nel territorio UE (Rete Natura 2000) e della biodiversità. Grazie alla continua disponibilità di dati satellitari multi-temporali, è possibile definire *time-series* per quantificare i cambiamenti stagionali e inter-annuali nella fenologia della vegetazione [10].

Seguendo la struttura del diagramma di Boehler (2001) sulle tecniche geomatiche classificate in rapporto alla scala e alla complessità dell'oggetto, restano quelle tecniche di tipo "puntuale" che sono principalmente usate per scopo di monitoraggio. Rientrano in questa categoria la attività legate al Structural Health Monitoring (SHM): disciplina finalizzata all'analisi e alla diagnostica dello stato di salute strutturale del patrimonio edilizio esistente e delle infrastrutture in generale. Con l'utilizzo delle tecnologie IoT e wireless, dotate di un ampio raggio di comunicazione LoRaWAN, è possibile registrare, in continuo, accelerazioni di tipo ambientale sia da fenomeni di tipo antropico che naturale [11].

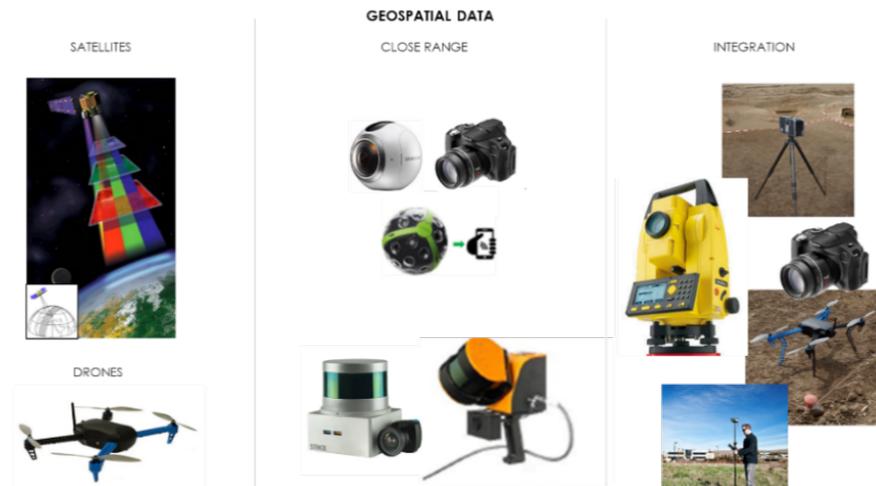


Fig. 1. Tecniche geomatiche usate dal GAP per l'acquisizione di dati geospaziali.

2.2 Il ruolo dei sistemi informativi

La frammentazione delle informazioni rappresenta una sfida aperta nel settore Architecture Engineering and Construction (AEC), incluso il patrimonio costruito, causando notevoli difficoltà nella gestione delle stesse. Diversi metodi e strumenti sono stati sviluppati per mitigare tale perdita come i sistemi informativi (BIM e GIS) (Figura 2). Una volta raccolti i dati, vanno interpretati e processati per ottenere: modelli 3D nel caso di dati geometrici e modelli relazionali in caso di dati non geometrici. I dati diventano informazioni leggibili, e possono essere sufficienti così come sono o essere facilmente integrabili in altri ambienti di gestione. Ad esempio il BIM funge da "raccoltore" caratterizzato da un modello 3D e da un database relazionale con le informazioni ad esso collegate. La gestione delle informazioni si sviluppa attraverso la definizione di un'ontologia che identifica i domini per raggruppare sintatticamente e collegare semanticamente le informazioni. Il BIM, come software parametrico, è caratterizzato da una struttura gerarchica delle informazioni per cui è difficile implementare uno schema ontologico. Si intende con HBIM un sistema BIM personalizzato per il patrimonio costruito. Un approccio integrato alla modellazione della conoscenza viene raggiunto combinando una rappresentazione empirica (ontologia) e visual-descrittiva (modello 3D). L'ulteriore grado di conoscenza si ottiene con dati provenienti da altre tecniche di informazione, come il GIS. L'interoperabilità tra BIM e GIS è assicurata attraverso la definizione di un'ontologia semantica unificata che permette la standardizzazione delle informazioni e favorisce la gestione e condivisione eterogenea dei dati attraverso web semantico. I database a grafo sono un ambiente di storage e interrogazione dei dati molto potente. Essi consentono, dopo una dovuta definizione semantica, di integrare informazioni da diversi ambienti quali GIS e BIM [12]. Ciò che contraddistingue il database a grafo dal sistema informativo territoriale è anche la possibilità di eseguire query sul modello, basato sulle relazioni del database.

La gestione dei dati acquisiti viene affidata a diversi sistemi informativi, i quali sono sempre più in stretta collaborazione tra loro per permettere una gestione più efficiente ed efficace da parte degli utenti e degli *stakeholders*. Questo perché i sistemi informativi hanno sempre più necessità di integrare informazioni provenienti da altri ambienti di sviluppo e catalogazione di informazioni. La ricerca in questo ambito trova terreno fertile perché non vi è ancora un'interoperabilità tra diversi sistemi informativi e laddove è possibile è quasi sempre grazie a grandi case produttrici di software o piattaforme interoperabili commerciali, quindi non *open-source*.

In questi anni di ricerca sono stati sviluppati modelli sempre più smart in grado di integrare informazioni esterne al classico modello GIS [13], sfruttando le potenzialità di *open standard*, come il CityGML (OGC- Open Geospatial Consortium) che permettono non solo lo storage di informazioni 3D ma anche di catalogare le informazioni dell'arredo urbano.

Il GIS offre una vasta gamma di applicazioni nella gestione di qualsiasi tipo di risorsa che può essere descritta su scala geografica. Esso rappresenta uno strumento essenziale per il processo decisionale, soprattutto quando si devono gestire dati eterogenei in medesimi fenomeni [14]. Di fatto, le caratteristiche dei GIS vengono ampiamente adottate in molti campi di applicazione, compresi la gestione delle risorse energetiche [15], crescita urbana e popolazione [16], applicazioni di Land Cover/Land Use [17], patrimonio culturale e archeologia [18]. Per quanto riguarda invece l'ambito della gestione dei dati provenienti da rilievi urbani è stato adottato il software QGIS per integrare ortofoto, DTM (Digital Terrain Modeling), DSM (Digital Surface Modeling), nuvole di punti generate da rilievi fotogrammetrici aerei e LiDAR terrestre, e foto 360°. Grazie all'integrazione del linguaggio di programmazione Python in QGIS, è possibile sviluppare degli script in grado di estrarre automaticamente delle informazioni relative ad alcune caratteristiche geometriche degli edifici, che insieme ad altri dati vengono frequentemente utilizzati come input iniziale per una valutazione speditiva dell'indice di vulnerabilità sismica [19].

Per sottolineare la multidisciplinarietà del gruppo GAP, si sottolinea anche l'attivo contributo apportato in progetti di *precision farming* presso il centro di ricerca universitario interdipartimentale SFARM – Smart Farming. La definizione di ontologia nei processi di digitalizzazione delle colture agricole, al fine di creare un laboratorio robotico agricolo per la coltura agricola e la sicurezza alimentare, risponde alla crescente richiesta di rinnovamento agricolo, supportato anche dalla politica della Commissione Europea [20].

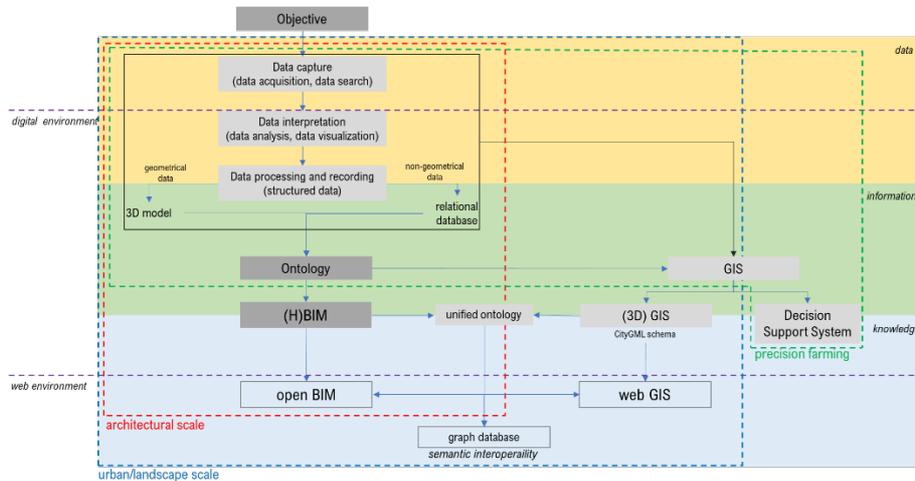


Fig. 2. Sistemi informativi per la gestione dei dati geospaziali nei progetti di ricerca del GAP

2.3 Il ruolo dell'intelligenza artificiale

Al crescere della complessità dei dati, aumenta la necessità di metodi affidabili e convenienti per ridurre l'intervento umano. Con l'ingresso della geomatica nell'era dei *big data*, l'analisi e l'uso delle informazioni contenute in questa enorme quantità di dati richiedono approcci computazionali efficienti ed affidabili, come il Machine Learning (ML) e il Deep Learning (DL) [21]. La caratteristica principale dell'Intelligenza Artificiale (AI) è l'apprendimento automatico, determinante all'interno di dati complessi e non lineari; a tal proposito, la letteratura dimostra come molti algoritmi DL e AI sono stati sviluppati e applicati con successo in molte applicazioni geomatiche [22], [23]. A seconda del tipo di dati raccolti, vengono proposti diversi metodi di intelligenza artificiale per la classificazione, la segmentazione semantica o *object detection* [24].

Considerando gli ultimi risultati nella raccolta e nell'elaborazione dei dati [25], la geomatica sta affrontando un cambiamento radicale per affrontare le suddette sfide: da un lato, ridurre la necessità di intervento manuale per enormi set di dati e, dall'altro, migliorare i metodi per facilitarne l'interpretazione.

L'integrazione di AI, ML e DL con la geomatica è ampiamente riconosciuta e definita come GEO-AI.

In questo ambito, il GAP ha sviluppato molteplici metodologie, ed in diversi ambiti, con l'obiettivo di semplificare le procedure di processamento ed interpretazione di dati complessi. All'interno di questo contributo se ne vogliono evidenziare quattro, più significativi, che hanno dei risvolti non soltanto nella comunità scientifica ma che creano anche delle ripercussioni e degli impatti sociali significativi. Le applicazioni riguardano la *fault detection* negli impianti fotovoltaici, la segmentazione automatica di mosaici antichi, la segmentazione semantica di nuvole di punti ed infine la clusterizzazione di traiettorie veicolari urbane.

Per il primo ambito, ovvero quello della identificazione dei danni negli impianti fotovoltaici, è stato proposto in letteratura un framework di deep learning mask detection denominato solAIr [26] un sistema di intelligenza artificiale basato sul *deep learning* per il rilevamento di cellule anomale in immagini fotovoltaiche ottenute da UAV dotati di sensore a infrarossi termici. Il sistema proposto si basa sull'architettura della rete neurale convoluzionale chiamata (Mask R-CNN), adottata perché esegue simultaneamente il rilevamento di oggetti e la instance segmentation, rendendolo utile per l'attività di ispezione automatizzata. Il sistema viene addestrato e valutato sul set di dati delle immagini termiche fotovoltaiche pubblicamente disponibile. Inoltre, vengono confrontate e valutate le prestazioni di tre reti neurali profonde (DNN) all'avanguardia, tra cui UNet, FPNet e LinkNet. I risultati mostrano l'efficacia e l'adeguatezza dell'approccio su metriche dello stato dell'arte.

Per quanto concerne invece la segmentazione di tessere di mosaico, l'approccio è stato ideato in quanto gli archeologi, oggi, basano i loro studi principalmente sull'operazione manuale e sull'osservazione visiva che, sebbene ancora fondamentale, dovrebbe essere supportata da una procedura automatizzata di estrazione delle informazioni. In questo contesto è stato implementato Mo.Se (Mosaic Segmentation) [27], un algoritmo che sfrutta tecniche di DL e segmentazione delle immagini; la metodologia combina U-Net 3 Network con l'algoritmo Watershed. Lo scopo finale è definire un flusso di lavoro che stabilisca i passaggi per eseguire una segmentazione robusta e ottenere una rappresentazione digitale (vettoriale) di un mosaico. Il processo di segmentazione automatica è stato testato con l'ortofotografia ad alta risoluzione di un antico mosaico seguendo una procedura di fotogrammetria aerea. Il nostro approccio è stato testato sulla pavimentazione della Chiesa di Santo Stefano a Umm ar-Rasas, un sito archeologico giordano. I risultati sperimentali mostrano che questo framework generalizzato produce buone prestazioni, ottenendo una maggiore precisione rispetto ad altri approcci all'avanguardia. Mo.Se. è stato validato utilizzando set di dati pubblicamente disponibili come benchmark, dimostrando che la combinazione di metodi basati sull'apprendimento con metodi procedurali migliora le prestazioni di segmentazione in termini di accuratezza complessiva, che è quasi il 10% superiore.

La terza tematica scelta nell'ambito della GEO-AI riguarda la segmentazione semantica di nuvole di punti. Quest'ultima, rispetto al trattamento di dati mono o bi-dimensionali, presenta un livello di complessità superiore, per la loro natura non strutturata e disordinata. Nonostante la letteratura degli ultimi anni fornisca un nutrito e crescente numero di reti neurali in grado di processare nuvole di punti, le problematiche da risolvere sono molteplici; tra le altre, la complessità computazionale e l'unicità di elementi che riguardano il patrimonio culturale architettonico. Proprio in quest'ultimo caso, il contributo del GAP ha riguardato il miglioramento della rete DGCNN (Dynamic Graph Convolutional Neural Network –DGCNN), alla quale vengono aggiunte caratteristiche rilevanti del dato come il colore RGB codificato HSV. Gli esperimenti sono stati eseguiti su un set di dati DCH completamente nuovo, nel quale sono state selezionate 11 nuvole di punti annotate, derivate dall'unione di più scansioni o dall'integrazione di queste ultime con rilievi fotogrammetrici [28]. Tale flusso di lavoro potrebbe rappresentare una linea guida per ulteriori esperimenti da parte

di altri ricercatori che si occupano di segmentazione semantica delle nuvole di punti con approcci DL applicati al settore dei beni culturali [29].

Un ulteriore approccio di AI, questa volta generativo, è stato utilizzato per la previsione del traffico veicolare utilizzando Floating Car Data (FCD). La previsione della traiettoria dei veicoli è un argomento di crescente interesse negli ultimi anni, poiché esistono applicazioni in diversi settori che vanno dalla guida autonoma alla previsione della congestione del traffico e alla pianificazione urbana. La previsione delle traiettorie a partire da Floating Car Data (FCD) è un compito complesso che presenta diverse sfide. Un lavoro importante e di rilievo, pubblicato nella prestigiosa rivista Plos One [30]. In questo lavoro, è stato proposto e validato un modello di DL basato su architetture di Long Short-Term Memory e Generative Adversarial Network; in particolare, il nostro modello GAN-3 può essere utilizzato per generare previsioni multiple in scenari multimodali. Questi approcci vengono valutati con le nostre metriche di errore recentemente proposte N-ADE e N-FDE, che normalizzano alcune distorsioni nelle metriche standard di errore di spostamento medio (ADE) e errore di spostamento finale (FDE). Gli esperimenti sono stati condotti utilizzando set di dati raccolti in quattro grandi città italiane (Roma, Milano, Napoli e Torino), considerando diverse lunghezze di traiettoria per analizzare la crescita dell'errore su un numero maggiore di fasi temporali.

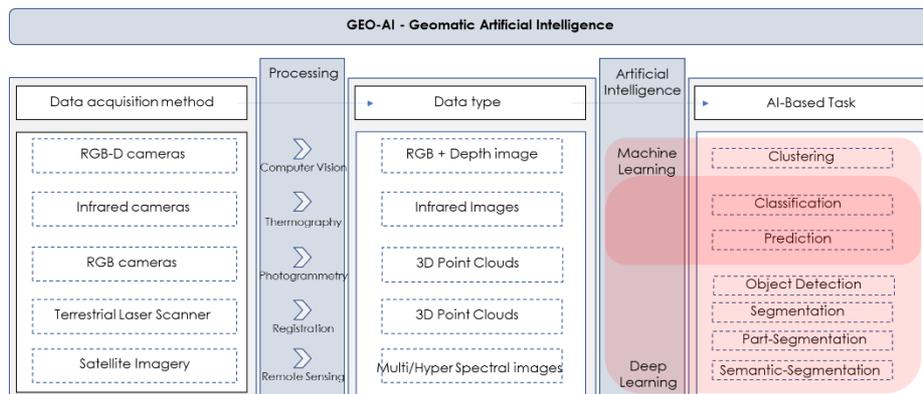


Fig. 3. Le sfide GEO-AI del GAP

2.4 Il ruolo della multidisciplinarietà

Gli studi storici, strutturali e morfologici non dovrebbero essere considerati come comparti separati, solo in questo modo la conoscenza può essere condivisa e diffusa in modo più efficiente, affidabile e conveniente. Gli strumenti della geomatica, l'apporto dei sistemi informativi e dell'AI hanno fatto sì che il GAP sia stato di supporto per la gestione di progetti internazionali di grande impatto in collaborazione con il CNR per progetti di archeologia di siti situati in Perù, Vietnam e Giordania per citarne alcuni.

In questi anni di ricerca le collaborazioni con enti locali e internazionali hanno portato a progetti in tutto il mondo, alcuni esempi sono la Missione Italiana in Perù (MIPE) per rilevare il sito archeologico Chan Chan oppure il rilievo della torre dello

Stilita e della chiesa di St. Stephen in Giordania in collaborazione con il Ministero degli Affari Esteri della Cooperazione Internazionale (MAECI). Oltre alla documentazione sotto forma di database relazionali di questi siti, tali progetti si sono basati anche sulla creazione di mappe tematiche in ambiente GIS e disseminazione tramite piattaforme web-GIS e divulgazione immersiva e accessibile delle informazioni tramite tour virtuali.

3 Conclusioni

L'esperienza, le capacità tecniche e la volontà di portare innovazione in ambito geomatico hanno portato al formarsi di un gruppo di ricerca sempre più grande e multidisciplinare. Le competenze dei singoli e la possibilità di integrare queste competenze laddove necessario fa sì che il GAP si confermi come un gruppo di ricerca preparato in ambito geomatico. Ciò permette di raccogliere tutte le sfide che la ricerca stessa pone. Grazie al progresso tecnologico, i tanti strumenti geomatici offrono prestazioni sempre migliori e permettono di eseguire rilievi su diverse scale e su ambiti: dai classici rilievi topografici ai rilievi ambientali o forestali e architettonici. Ottenendo grandi quantità di dati, con accuratezze al millimetro, in poco tempo e con grande facilità. I sistemi informativi giocano un ruolo chiave dopo questa fase di acquisizione del dato. Il GAP si distingue in quest'ultima: il nostro team ha dato prova, negli anni, di poter sviluppare modelli sempre più SMART e *user friendly*, non fermandosi ai semplici modelli GIS, ma sperimentando l'integrazione tra sistemi informativi, l'implementazione di database a grafo e rendendo queste piattaforme accessibili ad un maggior numero di utenti dalle differenti competenze. L'ontologia gioca un ruolo chiave nella strutturazione semantica dell'informazione e favorisce l'interoperabilità tra questi sistemi informativi.

L'intelligenza artificiale sta cambiando profondamente tutti gli ambiti della geomatica. Le caratteristiche dei dati in ambito geospaziale sono particolarmente adatte agli approcci ML/DL. Soprattutto, l'interpretazione della geomatica 3D basata su ML/DL ci permette di trascendere la modellazione geospaziale esplicita e, quindi, di superare le complesse ricostruzioni euristiche e le astrazioni basate sui modelli.

Le future linee di ricerca comprenderanno il miglioramento degli algoritmi per superare i limiti delle attuali "black box", che dovranno essere interpretabili e spiegabili. La percezione delle DNN come algoritmi "black box" rende difficile giustificare eticamente il loro uso in decisioni per applicazioni reali. Il rovescio della medaglia è la trasparenza, che rende difficile la ricerca di una comprensione diretta del meccanismo di funzionamento di un modello. Pertanto, l'introduzione di tecniche di *interpretability* e *explainability* è fondamentale, compresa la visualizzazione dei risultati per l'analisi da parte degli esseri umani. Altrimenti, gli esperti di dominio esiterebbero a utilizzare tecniche che non siano direttamente interpretabili, trattabili e affidabili, vista la crescente richiesta di una AI che non sia solo automatica, ma anche etica.

IL GAP sta portando avanti molte altre ricerche andando a sviluppare nuove tecniche per la valorizzazione e la misurazione dei beni archeologici ed architettonici, per il

monitoraggio degli ambienti e per la continuazione della propria missione, iniziata tanti anni fa con le misure della nostra Terra da parte dei padri fondatori della geomatica.

Riferimenti bibliografici

1. G. Konecny, "Recent global changes in geomatics education," *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci.*, vol. 34, no. 6, pp. 9–14, 2002.
2. A. Gorreja and E. Savina, "Indoor tracking e analisi dati Wi-Fi in ambito GDO Introduzione," pp. 279–286.
3. E. Angelats, P. F. Espín-López, J. A. Navarro, and M. E. Parés, "Performance analysis of the iopes seamless indoor-outdoor positioning approach," *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci. - ISPRS Arch.*, vol. 43, no. B4-2021, pp. 229–235, 2021, doi: 10.5194/isprs-archives-XLIII-B4-2021-229-2021.
4. F. Di Stefano, M. Cuevas-Gonzalez, G. Luzi, and E. S. Malinverni, "Assessing levelling and DInSAR for deformation monitoring in seismic region," 2022.
5. S. Chiappini, F. Di Stefano, E. S. Malinverni, and R. Pierdicca, "Algorithms for Enhancing Satellite Imagery to Discover Archaeological Finds Covered by Shadow.," in *International Conference on Computational Science and Its Applications*, 2020, pp. 664–673. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-030-58814-4_53.
6. G. Fangì and C. Nardinocchi, "Photogrammetric processing of spherical panoramas," *Photogramm. Rec.*, vol. 28, no. 143, pp. 293–311, 2013, doi: 10.1111/phor.12031.
7. M. Calvano, A. Gorreja, A. Rahali, Cessari L., and E. Malinverni, E. S. & Gigliarelli, "The dynamic digital survey. Integration between digital processes for the documentation of some monasteries in the Gjirokastra area.," 2022.
8. F. Di Stefano, S. Chiappini, F. Piccinini, and R. Pierdicca, "Integration and Assessment Between 3D Data from Different Geomatics Techniques. Case Study: The Ancient Urban Walls of San Ginesio (Italy)," 2020, doi: https://doi.org/10.1007/978-3-030-62800-0_15.
9. F. Di Stefano, S. Chiappini, A. Gorreja, M. Balestra, and R. Pierdicca, "Mobile 3D scan LiDAR: a literature review," *Geomatics, Nat. Hazards Risk*, vol. 12, no. 1, pp. 2387–2429, 2021, doi: 10.1080/19475705.2021.1964617.
10. J. A. Caparros-Santiago, V. Rodriguez-Galiano, and J. Dash, "Land surface phenology as indicator of global terrestrial ecosystem dynamics: A systematic review," *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.*, vol. 171, no. December 2020, pp. 330–347, 2021, doi: 10.1016/j.isprsjprs.2020.11.019.
11. A. Rahali, E. S. Malinverni, R. Pierdicca, A. Pierdicca, G. Potenza, and M. Lucesoli, "Integrated survey approaches for monitoring procedures during yard phases," 2022.
12. E. S. Malinverni, B. Naticchia, J. L. Lerma Garcia, A. Gorreja, J. Lopez Uriarte, and F. Di Stefano, "A semantic graph database for the interoperability of 3D GIS data," *Appl. Geomatics*, vol. 14, pp. 53–66, 2022, doi: 10.1007/s12518-020-00334-3.

13. F. Di Stefano, A. Gorreja, F. Piccinini, R. Pierdicca, and E. S. Malinverni, "3D Gis for a Smart Management System Applied To Historical Villages Damaged By Earthquake," pp. 255–260, 2021, doi: 10.4995/arqueologica9.2021.12132.
14. F. Piccinini, R. Pierdicca, and E. S. Malinverni, "A relational conceptual model in GIS for the management of photovoltaic systems," *Energies*, vol. 13, no. 11, pp. 1–21, 2020, doi: 10.3390/en13112860.
15. B. Resch *et al.*, "GIS-based planning and modeling for renewable energy: Challenges and future research avenues," *ISPRS Int. J. Geo-Information*, vol. 3, no. 2, pp. 662–692, 2014, doi: 10.3390/ijgi3020662.
16. H. Bagan and Y. Yamagata, "Analysis of urban growth and estimating population density using satellite images of nighttime lights and land-use and population data," *GIScience Remote Sens.*, vol. 52, no. 6, pp. 765–780, 2015, doi: 10.1080/15481603.2015.1072400.
17. S. Abdullahi, B. Pradhan, S. Mansor, and A. R. M. Shariff, "GIS-based modeling for the spatial measurement and evaluation of mixed land use development for a compact city," *GIScience Remote Sens.*, vol. 52, no. 1, pp. 18–39, 2015, doi: 10.1080/15481603.2014.993854.
18. E. S. Malinverni, R. Pierdicca, F. Colosi, and R. Orazi, "Dissemination in archaeology: a GIS-based StoryMap for Chan Chan," *J. Cult. Herit. Manag. Sustain. Dev.*, vol. 9, no. 4, pp. 500–519, 2019, doi: 10.1108/JCHMSD-07-2018-0048.
19. F. Piccinini *et al.*, "Preservation of Villages in Central Italy : Geomatic Techniques ' Integration and GIS Strategies for the Post-Earthquake Assessment," 2022.
20. S. Chiappini *et al.*, "An Ontology-Based Study for the Design of a Database for Data Management in Precision Farming," in *International Mid-Term Conference of the Italian Association of Agricultural Engineering*, 2019, pp. 811–818.
21. Y. Lecun, Y. Bengio, and G. Hinton, "Deep learning," *Nature*, vol. 521, no. 7553, pp. 436–444, 2015, doi: 10.1038/nature14539.
22. J. Antonio Martín-Jiménez, S. Zazo, J. J. Arranz Justel, P. Rodríguez-González, and D. González-Aguilera, "Road safety evaluation through automatic extraction of road horizontal alignments from Mobile LiDAR System and inductive reasoning based on a decision tree," *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.*, vol. 146, no. October, pp. 334–346, 2018, doi: 10.1016/j.isprsjprs.2018.10.004.
23. C. Zhang, P. M. Atkinson, C. George, Z. Wen, M. Diazgranados, and F. Gerard, "Identifying and mapping individual plants in a highly diverse high-elevation ecosystem using UAV imagery and deep learning," *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.*, vol. 169, no. September, pp. 280–291, 2020, doi: 10.1016/j.isprsjprs.2020.09.025.
24. D. Hong, N. Yokoya, G. S. Xia, J. Chanussot, and X. X. Zhu, "X-ModalNet: A semi-supervised deep cross-modal network for classification of remote sensing data," *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.*, vol. 167, no. June, pp. 12–23, 2020, doi: 10.1016/j.isprsjprs.2020.06.014.

25. E. Grilli, F. Menna, and F. Remondino, "A review of point clouds segmentation and classification algorithms," *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci. - ISPRS Arch.*, vol. 42, no. 2W3, pp. 339–344, 2017, doi: 10.5194/isprs-archives-XLII-2-W3-339-2017.
26. R. Pierdicca, M. Paolanti, A. Felicetti, F. Piccinini, and P. Zingaretti, "Automatic faults detection of photovoltaic farms: Solair, a deep learning-based system for thermal images," *Energies*, vol. 13, no. 24, pp. 1–17, 2020, doi: 10.3390/en13246496.
27. A. Felicetti, M. Paolanti, P. Zingaretti, R. Pierdicca, and E. S. Malinverni, "Mo.Se.: Mosaic Image Segmentation Based On Deep Cascading Learning," *Virtual Archaeol. Rev.*, vol. 12, no. 24, pp. 25–38, 2021, doi: 10.4995/VAR.2021.14179.
28. F. Matrone *et al.*, "A BENCHMARK for LARGE-SCALE HERITAGE POINT CLOUD SEMANTIC SEGMENTATION," *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci. - ISPRS Arch.*, vol. 43, no. B2, pp. 1419–1426, 2020, doi: 10.5194/isprs-archives-XLIII-B2-2020-1419-2020.
29. R. Pierdicca *et al.*, "Point cloud semantic segmentation using a deep learning framework for cultural heritage," *Remote Sens.*, vol. 12, no. 6, pp. 1–23, 2020, doi: 10.3390/rs12061005.
30. L. Rossi, A. Ajmar, M. Paolanti, and R. Pierdicca, "Vehicle trajectory prediction and generation using LSTM models and GANs," *PLoS One*, vol. 16, no. 7, p. e0253868, 2021, doi: 10.1371/journal.pone.0253868.
31. R. Pierdicca, C. Intrigila, F. Piccinini, E. S. Malinverni, I. Giannetti, and G. Caruso, "Multidisciplinary Approach for the Analysis of Structural Heritage at Risk: The Case Study of Stylite Tower at Umm ar-Rasas (Jordan)," *Int. J. Archit. Herit.*, pp. 1–25, Sep. 2021, doi: 10.1080/15583058.2021.1966554.