

PROGETTO BIMM

BIMM: Strutture Topologiche, Geometriche e Algebriche nel *Building Information Mathematical Modeling* attraverso *Point Cloud* da satellite, aero-droni e terreno.

Enormi quantità di dati sono oggi fornite dai satelliti di Osservazione della Terra, che richiedono sempre più metodi automatici di elaborazione per la segmentazione e classificazione. Il progetto BIMM intende trasformare automaticamente nuvole di punti 3D, generate da satelliti, aero-droni e direttamente sul terreno, in modelli geometrici della costruzione in formati BIM (*Building Information Modeling*), piattaforme software per la progettazione e il controllo della costruzione di progetti edilizi di media e vasta scala, oggi richiesti dalle normative italiane ed europee per gli appalti di notevole entità.

La società *GMATICS*, co-finanziatrice di questo progetto di dottorato industriale, è una start-up innovativa, costituita grazie all'incubazione presso l'ESA BIC-Lazio di Lazio Innova, focalizzata su applicazioni geo-spaziali basate su dati satellitari, aerei e da drone tramite l'uso di tecniche di Intelligenza Artificiale. Nel 2020, *GMATICS* ha ottenuto un volume di business di 320k€ e la previsione per il 2021 è di 600k€, sempre con margine e cash flow positivi). *GMATICS* sfrutta l'esperienza di business dell'ing. Maranesi, fondatore di e-GEOS (Joint Venture tra l'Agenzia Spaziale Italiana e Telespazio) e suo Amministratore Delegato dal 2001 al 2016. Il team di *GMATICS* (circa dieci persone) è composto solo da laureati e include Dottori di Ricerca in EO, IA, GI e ICT. I servizi innovativi applicativi vengono sviluppati, in collaborazione con Università ed Enti di Ricerca, nell'ambito di contratti acquisiti su base competitive con l'Agenzia Spaziale Europea e la Commissione Europea (MAFIS, DYDAS, EMNTEL, AI4EO, GAMS). Servizi applicativi pre-operativi sono in fase di sperimentazione e attivazione presso diversi clienti pubblici e privati.

In particolare, *GMATICS* ha recentemente acquisito un contratto dall'Agenzia Spaziale Europea per la realizzazione di un Proof of Concept di un Digital Twin della città (Roma) in relazione all'interferenza di alberi verso il sistema di illuminazione pubblica e al bilanciamento della domanda di energia e il potenziale di energia rinnovabile da sistemi fotovoltaici.

La società ha identificato la rappresentazione tridimensionale ad alta definizione della città come uno strato informativo essenziale per poter erogare servizi in ambito urbano. In particolare, l'obiettivo di *GMATICS* è di disporre di un workflow automatizzato per passare da nuvole di punti da rilevamenti aerei, satellitari e da drone a strati informativi vettoriali, rappresentanti "oggetti", e di abbinare a questi degli attributi descrittivi di diversa natura e finalizzati a diversi scopi. La rappresentazione 3D della città e delle sue infrastrutture è di grande interesse sia per servizi ai Comuni sia per servizi alle utilities e per altre industrie che operano nel tessuto urbano.

Tramite la partecipazione al progetto *GMATICS* intende acquisire conoscenze specifiche nell'ambito della ricerca che verrà realizzata, al fine di tradurre i risultati prodotti in capacità operative di analisi dati e di servizi al mercato.

Il progetto BIMM trova terreno fertile e il migliore contesto scientifico nel Dottorato di Matematica del Dipartimento di Eccellenza di Matematica e Fisica di Roma Tre, dove sono

state svolte nell'ultimo decennio ricerche di punta nell'ambito del *Geometric and Solid Modeling*, e nel quale esiste una solida tradizione di eccellenza nelle Scienze matematiche ed in particolare nella Geometria Algebrica.

Sul versante accademico il candidato vincitore della borsa industriale:

- nel primo anno dovrà approfondire le conoscenze matematiche di base necessarie, in particolare nello studio delle strutture algebriche astratte, della topologia algebrica e nelle applicazioni numeriche della geometria, modellazione solida inclusa, utilizzando strutture ibride di calcolo ad alte prestazioni (con numerose CPU e GPU), disponibili nei laboratori del dipartimento di Matematica e Fisica. Tra l'altro dovrà apprendere le tecniche e utilizzare i servizi di elaborazione sui più diffusi sistemi di *cloud computing* commerciale, usando linguaggi di programmazione scientifica di ultima generazione e librerie per la *Data Science*.
- nel secondo anno dovrà approfondire i nuovi contributi prodotti dal suo lavoro personale e andare come *visiting student* in uno dei laboratori USA con cui stiamo portando avanti collaborazioni scientifiche da molti anni: lo ICSI (*International Computer Science Institute*) di Berkeley; e/o lo ICES (*Institute of Computational Engineering and Sciences*) di Austin. Sempre nel secondo anno verranno compiuti esperimenti e test-case di tecniche co-omologiche di classificazione semantica degli elementi solidi estratti dalle nuvole di punti prese in esame nei *test-case*.
- nel terzo anno si dedicherà alla scrittura della tesi di dottorato e alla messa a punto dei prototipi software sviluppati, a partire dalle librerie software già disponibili, in particolare per la visione interattiva su web di enormi big point cloud costituiti di miliardi di punti e gli *arrangement* dello spazio. Lo scopo ultimo è quello di estrarne e classificare i componenti solidi nelle categorie semantiche del settore delle costruzioni: *sistema ambientale* e *sistema tecnologico* (UNI EN ISO 12006-2:2020), le norme quadro internazionali per lo sviluppo di sistemi di classificazione dell'ambiente costruito.

La metodologia applicata nel progetto utilizza e approfondisce risultati già ottenuti: (a) la cosiddetta rappresentazione algebrica lineare (LAR) con matrici sparse di complessi cellulari di tipo molto generale [4], con celle anche non semplicemente connesse e non necessariamente convesse; (b) la rappresentazione completa della topologia di partizioni dello spazio a due e tre dimensioni con complessi di catene; e i corrispondenti operatori di bordo e cobordo [2]; (c) le relazioni di bordo, che sono state ampiamente studiate, scoprendo connessioni profonde tra le partizioni dello spazio (*arrangements*) e le algebre solide finite sistema ambientale [3]. Al contrario, le relazioni di cobordismo, collegate alle caratteristiche degli autovettori delle matrici di inerzia e di Eulero, restano da studiare, e potrebbero fornire indicazioni fondamentali per la classificazione semantica (*AI e Data Science*) degli elementi costruttivi del sistema tecnologico-ambientale.

Sul versante tecnologico-informatico, il candidato alla borsa dovrà approfondire le sue competenze nei linguaggi di programmazione e nel calcolo parallelo, convertendo alcune librerie chiave scritte in *Julia* [5] in prototipi *Haskell*. Questo viene utilizzato sia nell'accademia che nell'industria, sfruttando funzionalità avanzate del linguaggio di programmazione come le classi di tipo, che consentono l'overloading degli operatori indipendente dai tipi, e lo sviluppo semplicissimo di *domain-specific language* (DSL) specializzati per un particolare dominio applicativo. Nel calcolo parallelo il candidato dovrà sviluppare competenze appropriate nell'utilizzo *server-side* di architetture con GPU multiple,

disponibili nei lab del dipartimento.

Gli obiettivi intermedi del progetto BIMM, sono legati al **trasferimento scientifico e tecnologico** verso l'azienda co-finanziatrice. Questi obiettivi saranno perseguiti sia dal dottorando che dal suo tutor accademico attraverso giornate di studio nella sede GMatics, entro il numero di mesi dall'inizio del progetto indicati in tabella:

Obiettivi parziali	O1	O2	O3	O4	O5	O6
entro mesi	3	6	6	12	18	36

O1. Trasferimento di competenze di grafica 3D, solid modeling e BIM all'azienda co-finanziatrice;

O2. Trasferimento competenze di Algebra Lineare e Topologia Algebrica relative al progetto.

O3. Elementi di programmazione scientifica in Julia (simile a Python per sintassi, a MatLab per stile del calcolo matriciale, per efficienza a C, per meta-programmazione e gestione di librerie ad alto livello a Lisp e C++, rispettivamente [5].

O4. Analisi delle librerie Julia Open Source già disponibili per Modellazione Solida basata su Topologia Algebrica.

O5. Progettazione di una pipeline dataflow di funzioni di calcolo in ambiente parallelo e distribuito, per la trasformazione di Point Cloud in file IFC di input per sistemi BIM

O6. Sviluppo TDD (Test Development Driven) di un package opensource prototipale BIMM.jl su github.com, operante su due test case, e della documentazione e dei test relativi.

RIFERIMENTI

[1] Paoluzzi, A.: Geometric Programming for Computer Aided Design, John Wiley & Sons, Chichester, UK, 2003. <https://doi.org/10.1002/0470013885>

[2] Paoluzzi, A.; Shapiro, V.; DiCarlo, A.; Furiani, F.; Martella, G.; Scorzelli, G.: Topological computing of arrangements with (co)chains, ACM Trans. Spatial Algorithms Syst., vol. 7, no. 1, Oct. 2020. <https://doi.org/10.1145/3401988>

[3] Paoluzzi, A.; Shapiro, V.; DiCarlo, A.; Scorzelli, G.: and Elia Onofri, Finite Boolean Algebras for Solid Geometry using Julia's Sparse Arrays, arXiv e-prints, <https://arxiv.org/abs/1910.11848>

[4] DiCarlo, A.; Shapiro, V.; Paoluzzi, A.: Linear Algebraic Representation for Topological Structures, Computer-Aided Design, 46:1, 269-274, January 2014, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S001044851300184X>

[5] Bezanson, j.; Edelman, A.; Karpinski, S.; Shah, V.B.: A Fresh Approach to Numerical Computing, SIAM Review, 59: 65–98. (2017) <https://doi.org/10.1137/141000671>.