

The Shape and Semantics Modelling Group

B. Falcidieno¹, F. Giannini¹, M. Spagnuolo¹, R. Albertoni¹, M. Attene¹, S. Biasotti¹, C. E. Catalano¹,
M. De Martino¹, M. Monti¹, M. Mortara¹, G. Patanè¹ and C. Pizzi¹

¹ CNR-IMATI, Sez. Genova, Italy

Abstract

Presentiamo le attività del gruppo di ricerca denominato “Shape and Semantics Modelling” operante presso la sezione di Genova dell’Istituto di Matematica Applicata e Tecnologie Informatiche “E. Magenes” del Consiglio Nazionale delle Ricerche.

1. Breve storia del gruppo

Il gruppo di ricerca si costituisce negli anni '80 sotto la guida di Bianca Falcidieno e affronta problemi sia teorici che applicativi in grafica e modellazione geometrica. L'intuizione fondamentale è che gran parte dell'informazione grafica è geometrica, e quindi un forte background matematico in geometria e topologia è un punto di forza, soprattutto nella definizione ed elaborazione di modelli computazionali. Da qui nacque un primo fruttuoso filone di ricerca in modellazione geometrica, geometria e topologia computazionale, dapprima applicato alla sintesi e analisi di superfici 3D e successivamente alla rappresentazione ed elaborazione di modelli di oggetti tridimensionali. In parallelo, la ricerca venne dedicata anche allo studio e sviluppo di software standard per la rappresentazione, l'elaborazione e l'archiviazione dell'informazione grafica tridimensionale.

Oltre agli aspetti di matematica computazionale e di informatica il gruppo si è dedicato agli aspetti applicativi delle ricerche sviluppate. Le prime applicazioni furono rivolte alla rappresentazione del territorio e dell'ambiente con lo sviluppo di modelli digitali di terreno basati su mesh triangolari per dei primi sistemi informativi geografici (GIS), e alla progettazione, produzione e analisi di prodotti industriali, con lo sviluppo dei primi in sistemi di Computer Aided Design and Manufacturing (CAD e CAM).

Dagli anni '90 aumentò la consapevolezza che i modelli puramente geometrici, arricchiti solo da attributi grafici erano validi solo per applicazioni finalizzate alla pura visualizzazione, e non venivano utilizzati dalle applicazioni reali come strumenti di indagine e di comunicazione delle conoscenze ad essi associate. Il gruppo introdusse il concetto di *shape*, che, oltre alla forma geometrica e agli aspetti visuali includeva caratteristiche di struttura, significato ed evoluzione nel tempo. È di quegli anni infatti l'organizzazione da parte di IMATI delle prime conferenze internazionali di Shape Modelling e la collaborazione con gruppi di ricerca e industrie in Giappone.

All'inizio degli anni 2000, IMATI consolida la sua posizione di leadership internazionale sui temi della modellazione semantica della forma e si concentra su come risolvere i problemi legati al passaggio da una modellazione principalmente basata sulla geometria ad una modellazione di tipo semantico, utilizzabile nei contesti applicativi come base di conoscenza e strumento di indagine e apprendimento. Dal 2004 al 2008, l'IMATI coordina la rete di eccellenza AIM@SHAPE all'interno del programma europeo FP6, cui partecipano 13 prestigiosi centri di ricerca e università in Europa, con il coinvolgimento di circa 150 ricercatori e studenti di dottorato. Questo progetto, durato 4 anni, ha costituito una pietra miliare per la definizione di nuove teorie per rappresentare forme digitali basate sulla semantica e lo sviluppo di metodi e strumenti per costruire, trasmettere, archiviare e processare queste rappresentazioni nei diversi contesti applicativi: l'annotazione semantica di modelli 3D viene proposta per la prima volta come chiave per costruire, processare, trasmettere, e archiviare rappresentazioni basate sulla semantica, formalizzata nei diversi contesti applicativi.

L'evoluzione delle ricerche è sintetizzata dal nome assunto dal gruppo *Shape and Semantics Modelling* (SSMG), che riflette come la modellazione debba riguardare e integrare gli aspetti geometrici e semantici. Il gruppo attualmente annovera al suo interno 12 tra ricercatori e tecnologi e 10 tra dottorandi, postdoc e altro personale in formazione.

2. Linee di ricerca

Le competenze distintive del gruppo si articolano in attività che spaziano dalla modellazione e analisi di dati 3/nD alla modellazione semantica, alla matematica applicata.

Il gruppo si occupa di metodi e algoritmi per la modellazione, l'analisi e il confronto di contenuto digitale per il trattamento di forme 3/nD. Questo ha portato ad acquisire competenze metodologiche in geometry processing, intendendo la forma come insieme di aspetti geometrici, strutturali e semantici e competenze

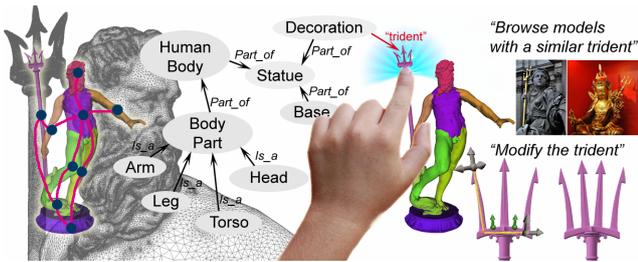


Figure 1: Esempio di tecniche sviluppate dallo SSMG.

specifiche in acquisizione, ricostruzione e riproduzione di forme 3D; nel trattamento di grosse moli di dati; nell'analisi, classificazione e retrieval di forme 3D, vedi Figura 1.

Il gruppo è coinvolto nella ricerca e sviluppo di metodi per la codifica e l'elaborazione della conoscenza con focus specifico su applicazioni che utilizzano in modo significativo contenuti digitali 3/nD (product modelling, creative design, manufacturing, sistemi informativi geografici, medicina, gaming e simulazione, beni culturali). L'obiettivo è l'integrazione e lo sfruttamento di descrizioni semantiche nei modelli tradizionali per la realizzazione di nuovi metodi di codifica dei contenuti semanticamente ricchi che possano essere automaticamente interpretati, elaborati e visualizzati nella maniera più idonea al contesto in esame. Vengono inoltre sviluppati strumenti per l'annotazione, esplorazione e analisi semantica delle risorse. L'attività include la definizione di metodi per il consumo di dati pubblicati, strutturati e collegati secondo il paradigma del Linked Data best practice con focus specifico sulle problematiche legate alla qualità dei linkset tra le risorse collegate e al consumo delle risorse stesse.

Le attività di ricerca del gruppo nell'ambito della matematica applicata hanno carattere sia teorico (formalizzazione di strutture e metodi per la manipolazione di forma, dimostrazioni di proprietà) che computazionale (sviluppo di algoritmi). In particolare, lo SSMG è attivo nella geometria computazionale e geometria differenziale discreta per la rappresentazione e l'analisi di forma mediante complessi simpliciali; nella topologia algebrica e differenziale per l'analisi di proprietà di forma attraverso funzioni vettoriali definite su varietà; nella definizione di metodi di approssimazione di dati discreti mediante funzioni implicite (funzioni di base radiali, moving least-squares) e tecniche discrete multi-risolutive; nell'analisi spettrale di varietà e discretizzazione del nucleo del calore su superfici e volumi; nell'analisi geometrica e morfologica multi-scala di varietà.

Le metodologie sviluppate trovano applicazione in diversi contesti, quali lo sviluppo di metodi geometrici per l'analisi e l'annotazione semantica di manufatti 3D; la modellazione e analisi della similarità tra forme; lo sviluppo di motori di ricerca 3D e il riconoscimento automatico; il monitoraggio ambientale; lo sviluppo di metodi per l'analisi di dati MRI segmentati e la caratterizzazione di strutture anatomiche e patologie del sistema muscolo-scheletrico.

3. Attività progettuale

Lo SSMG ha partecipato e partecipa a numerosi progetti internazionali e nazionali; è attualmente coinvolto in 3 progetti Horizon 2020 tra cui *CAXMAN - Computer Aided Technologies for Additive Manufacturing*, in cui lo SSMG studia processi automatici per trasformare un modello di design in istruzioni di stampa ottimizzate che tengono conto dei risultati di simulazioni sia strutturali che termiche; *GRAVITATE - Geometric Reconstruction And novel semantic reunification of cultural heritage objects*, un progetto sui Beni Culturali in cui vengono sviluppati i processi di analisi e esplorazione basati su diverse modalità di confronto di forma.

Inoltre è coinvolto nei progetti ERC Advanced Grant *CHANGE - New Challenges for (adaptive) PDE solvers: the interplay of Analysis and Geometry* e *FP7 IQmulus - A High-volume Fusion and Analysis Platform for Geospatial Point Clouds, Coverages and Volumetric Data Sets*, in cui lo SSMG è responsabile dell'attività progettuale sullo sviluppo di nuovi servizi per l'elaborazione di grosse moli di dati eterogenei e la caratterizzazione di eventi atmosferici che variano nel tempo.

In ambito nazionale il gruppo attualmente partecipa a vari progetti regionali per applicazioni biomedicali e collaborazioni industriali per il geometry processing e coordina alcuni sottoprogetti del Progetto Bandiera la Fabbrica del Futuro quali *Pro2Evo: Product and Process Co-Evolution Management via Modular Pallet configuration (2014)* e *Pro2ReFix Product and Process CoEvolution Management via Reconfigurable Fixtures (2016)*.

4. Strumentazioni e infrastrutture

I laboratori dell'IMATI di Genova sono dotati di uno scanner laser per la digitalizzazione di oggetti e di una stampante 3D per la fabbricazione di prototipi a partire da modelli digitali. Grazie a questi strumenti il gruppo ha potuto sviluppare un know how relativo a tutte le fasi della transizione da reale a virtuale e vice versa. La ricerca ha prodotto strumenti innovativi, sia teorici che pratici (es. software), per l'elaborazione della geometria di forme 3D con focus alle moderne tecniche di modellazione e acquisizione che permettono di rappresentare in forma digitale oggetti 3D anche molto complessi.

Inoltre, il gruppo ha sviluppato e mantiene la Virtual Visualisation Service (VVS) (<http://visionair.ge.imati.cnr.it/>), un'infrastruttura realizzata nell'ambito del progetto EU infrastrutture VISIONAIR sulla base del Digital Shape Workbench sviluppato nella rete di Eccellenza AIM@SHAPE coordinata da IMATI nell'FP6. L'infrastruttura supporta la condivisione e il riutilizzo di modelli di multidimensionali (immagini, video, modelli 3D, nuvole di punti, etc.) e strumenti software per la loro analisi ed elaborazione. È attualmente uno dei repository più utilizzati in ambito computer graphics e geometric modelling per il benchmarking di algoritmi, e implementa una search engine 3D per il ritrovamento di risorse per similarità di forma.