

## HT\_BIM: La modellazione parametrica per l'analisi del rischio nei centri storici

### *HT\_BIM: Parametric modelling for the assessment of risk in historic centers*

I centri storici minori sono dei monumenti d'ambiente da salvaguardare perché vulnerabili sia dal punto di vista sismico che ambientale. La gestione di queste realtà urbane è particolarmente complessa a causa dell'eterogeneità dei dati relativi alle singole unità edilizie, aggregati strutturali e intero ambito urbano. Negli ultimi anni i sistemi parametrici BIM hanno dato un enorme contributo alla progettazione, pianificazione, costruzione etc. di nuovi edifici e anche alla gestione del patrimonio culturale. L'obiettivo di questo lavoro è lo sviluppo del sistema Historical Town Building Information Modeling (HT\_BIM), ovvero di un sistema BIM specifico per gli aggregati di edifici storici che, sulla base del rilievo, consente di individuare vulnerabilità legate sia ad aspetti strutturali sia a fenomeni di degrado da vento e soleggiamento.

*The small historic centers are "environment monuments" to be safeguarded because of their vulnerability both from seismic and environmental point of view. The management of these urban realities is particularly complex due to the heterogeneity of data of individual building units, structural aggregates, and entire urban areas. Recently, BIM parametric systems have contributed enormously in the design, planning, construction, etc. of new buildings and also in cultural heritage management. The aim of this work is to develop the historical town information modeling system (HT\_BIM), that is a specific BIM system for historical building aggregates that detects vulnerabilities both in structural aspects and in wind exposure and sunshine degradation phenomena.*



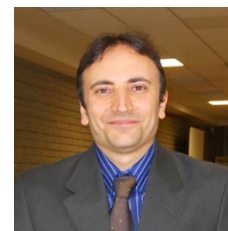
#### **Pelliccio Assunta**

Laureata in Architettura all'Università Federico II di Napoli. Ricercatore del SSD ICAR/17 presso la Facoltà di Ingegneria dell'Università degli Studi di Cassino e del Lazio Meridionale. È titolare del corso di Rappresentazione Tecnica e Progettuale (CLM Ingegneria Civile) nella stessa università.



#### **Saccucci Marco**

Ingegnere Civile e dottorando presso l'Università degli Studi di Cassino e del Lazio Meridionale in Metodi, modelli e tecnologie per l'ingegneria (XXXII Ciclo di dottorato). Svolge attività di ricerca interessandosi di rilievo e modellazione del costruito storico.



#### **Grande Ernesto**

Professore Associato ICAR 09 – Tecnica delle Costruzioni – Dipartimento di Ingegneria della Sostenibilità dell'Università degli Studi Guglielmo Marconi in Roma. Ricopre l'incarico di docente di Tecnica delle Costruzioni I, II e Progetto di Strutture I, II per i corsi di Laurea e Laurea Magistrale in Ingegneria Civile presso la Facoltà di Scienze e Tecnologie Applicate dell'Università degli Studi Guglielmo Marconi.

**Parole chiave:** BIM, centri storici, esposizione al vento, soleggiamento, analisi strutturale

**Keywords:** BIM, historic towns, wind exposure, sunshine, structural analysis

## INTRODUZIONE

Dopo gli ultimi eventi sismici che hanno interessato i comuni dell'Italia centrale, si è riaperto con vigore il dibattito sulla salvaguardia dei centri storici minori che, per l'originalità della loro composizione urbana sono considerati dei monumenti d'ambiente da tutelare e preservare: la perdita del *genius loci* espressione di quelle piccole comunità significherebbe la perdita dell'identità culturale dell'intera nazione. La maggior parte di essi è allocata sulla catena appenninica alla quale la più recente classificazione sismica ha attribuito come valore di zona 1 o 2 con la massima intensità macrosismica. A questo fattore di pericolosità se ne associano diversi altri. La particolare conformazione morfologica per esempio, che segue l'orografia del territorio, genera talvolta dei veri e propri canyon urbani con importanti effetti di degrado da vento e da (Pelluccio, 2016); inoltre, le continue trasformazioni degli organismi architettonici, che generano spesso superfetazioni, sono causa di un incremento della vulnerabilità sismica degli edifici storici. Per questo motivo la salvaguardia dei centri storici

parte da un progetto di conoscenza teso ad evidenziare i principali fattori di vulnerabilità che contribuiscono alla valutazione del rischio a cui sono soggetti gli edificati ed i possibili scenari evolutivi del territorio sul quale insistono. Queste realtà devono essere pensate non come la somma di singoli fenomeni architettonici ma nella totalità e complessità del loro fenomeno urbano, prendendo in considerazione contemporaneamente aspetti socio-economici, architettonici, urbanistici, tecnico-legislativi, territoriali, ambientali etc.. Si tratta quindi di un processo di conoscenza particolarmente complesso soprattutto nella fase di rilievo che richiede un management di dati molto eterogenei che va dalla unità edilizia all'aggregato strutturale e dall'intero nucleo urbano all'ambiente. La rappresentazione gioca un ruolo fondamentale in questo processo: modellare e visualizzare i principali fenomeni di vulnerabilità del patrimonio culturale è senza dubbio il primo passo nella riduzione del rischio a cui esso è soggetto. La recente tecnologia digitale è tra l'altro in grado di definire modelli grafici e concettuali necessari a comunicare la realtà oggettiva ma anche quella immateriale, dell'invisibile ovvero dei fenomeni am-

bientali come l'esposizione al vento o il soleggiamento etc (Cardone, 2015). Negli ultimi anni l'introduzione dei BIM, acronimo di Building Information Modeling, ha favorito molto l'integrazione tra la progettazione, la rappresentazione, la produzione e il management dell'intero ciclo di vita dei nuovi edifici. Questi sistemi associano alla visualizzazione multidimensionale database parametrici, facilitando la progettazione e la gestione degli organismi edilizi e favorendo la comunicazione tra progettisti, esecutori e stakeholders (Russell & Elger, 2008). Utilizzati anche per l'analisi e la gestione del patrimonio culturale, Historic Building Information Modeling (HBIM), la maggior parte di essi sono progettati per la singola opera edilizia, in particolare per controllare, sulla base dei dati di rilievo, il processo degli interventi di recupero o restauro (Centofanti & Brusaporci, 2013). L'obiettivo di questo lavoro è la proposta di un sistema denominato HT\_BIM, acronimo di Historical Town Building Information Modeling, pensato come strumento di supporto alla salvaguardia di un intero ambito urbano costituito da uno o più aggregati di edifici storici. Il sistema proposto è basato su informazioni generali e di dettaglio dedotte da un rilievo diretto e strumentale, e consente di esaminare differenti aspetti individuando possibili criticità strutturali e di degrado ambientale. Tra questi, la possibilità di analizzare le vulnerabilità strutturali per azioni sismiche sulla base delle informazioni contenute nel sistema HT\_BIM; l'analisi e la visualizzazione dei fenomeni di degrado ambientale dovuti al vento, con l'ausilio di gallerie del vento virtuali (Flow Design); lo studio dell'esposizione solare, con la simulazione del soleggiamento (Solar Analysis). È evidente dunque l'importanza di un sistema informativo contenente informazioni generali e di dettaglio tramite le quali sia possibile tenere conto della complessa realtà degli aggregati di edifici storici. L'HT\_BIM è un modello parametrico 3D (Autodesk Revit), ottenuto a partire da un rilievo digitale fotogrammetrico, aereo con drone e terrestre, post processato con software (Agisoft PhotoScan) che esegue l'orto-mosaicatura e restituisce, come modello 3D semplificato, una nuvola di punti con una buona approssimazione metrica. Il modello parametrico di det-

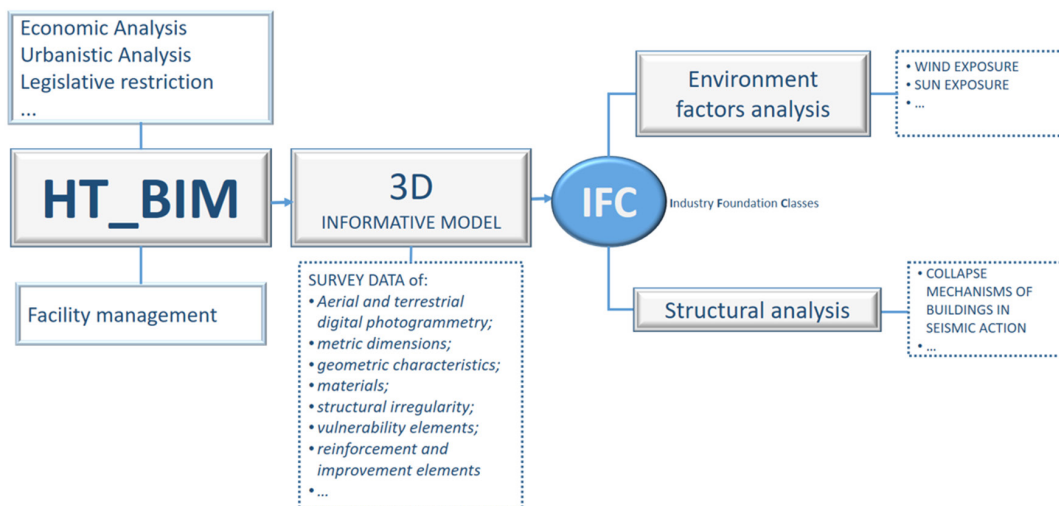


Fig. 1. Struttura del modello informativo HT\_BIM

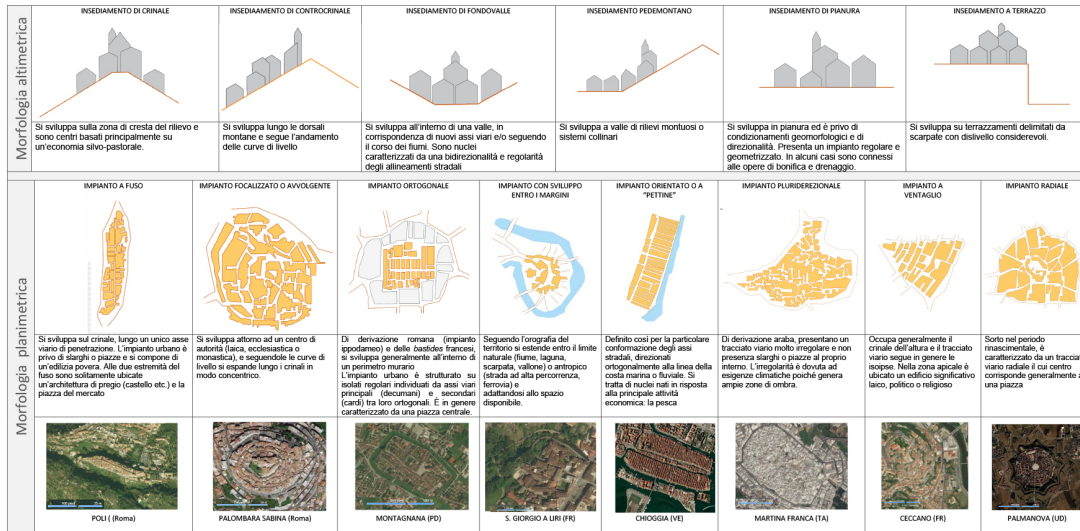


Fig. 2. Schematizzazione delle morfologie altimetriche e planimetriche più comuni dei centri storici minori

taglio dell'intero nucleo urbano si ottiene associando a quello volumetrico semplificato i dati di rilievo diretto e strumentale di aggregati o unità strutturali. L'HT\_BIM è pensato dunque come un sistema contenente informazioni di varia natura, come ad esempio lo stato di conservazione dell'edificato, i dettagli strutturali, le caratteristiche geometriche e materiche per valutazioni energetiche, e così via. Queste informazioni vengono gestite secondo differenti livelli in quanto utilizzate in differenti applicazioni e finalità. Grazie, infatti, all'ausilio di modelli di dati IFC (Industry Foundation Classes), l'HT\_BIM ha la possibilità di interfacciarsi con differenti software di analisi. Tra questi, i software di analisi strutturali consentono di esaminare la risposta sismica dei componenti edilizi degli aggregati o unità strutturali utilizzando quali dati di input proprio il set di informazioni relative alla geometria, ai materiali e ai dettagli strutturali dell'HT\_BIM. Allo stesso modo, per le analisi ambientali, utilizzando set di informazioni specifiche e plug-in interni al HT\_BIM, è possibile visualizzare il moto del vento sull'intero ambito urbano e analizzare l'irraggiamento solare sulle pareti delle singole unità abitative (Fig. 1). L'obiettivo dell'HT\_BIM è infatti di avere

uno strumento di supporto sia alle autorità locali, soprattutto in fase di pianificazione degli interventi e di gestione delle emergenze (Pelliccio, Sacucci, & Grande, 2017), sia ai tecnici che si apprestano ad intervenire su singole unità o interi aggregati. L'HT\_BIM è stato progettato, perfezionato e validato con riferimento a un caso di studio reale: un piccolo borgo denominato S. Rocco nella città di Sora.

### I CENTRI STORICI MINORI E IL BORGO S. ROCCO

I centri storici, in particolare quelli minori, sono un ingente patrimonio culturale della nazione, caratterizzati da un'elevata qualità della vita aggregativa e da una significativa identità estetica del tessuto urbano, derivante dall'incisivo rapporto empatico con l'ambiente naturale (caratteristiche morfologiche/ubicazionali, materiche/tecnologiche). La bellezza di questi luoghi è data dalla loro composizione urbana che seguendo l'orografia del territorio si inserisce rispettosa nell'ambiente circostante con semplici architetture, realizzate con materiali locali, che oggi definiremmo "sostenibili" (Pelliccio, 2016). Sorti per la maggior parte in epoca medioevale e rinascimentale,

questi nuclei si basano su modelli di impianti urbani (a fuso, avvolgente, pluridirezionale, radiale etc.) funzione delle caratteristiche altimetriche del luogo di insediamento (di crinale, controcrinale, di fondovalle, di pianura, pedemontano etc.), ripetutamente applicati al nostro territorio (Fig. 2)

La relazione che intercorre tra la morfologia plano/altimetrica e architettonica ha un ruolo fondamentale nello studio della vulnerabilità dei singoli edifici o dell'intero contesto urbano. L'analisi sismica richiede, infatti, la definizione degli aggregati o unità strutturali, fortemente condizionata dalla geometria dell'impianto urbano, e la conoscenza delle caratteristiche ubicazionali. Allo stesso modo, la particolare morfologia urbana, che genera street canyon significativi, attiva fenomeni estrinseci di degrado, dovuti ad una inadatta esposizione eolica e irraggiamento solare.

Tra i numerosi esempi di centri storici minori, il borgo S. Rocco a Sora nella provincia di Frosinone si presenta come un interessante caso di studio.

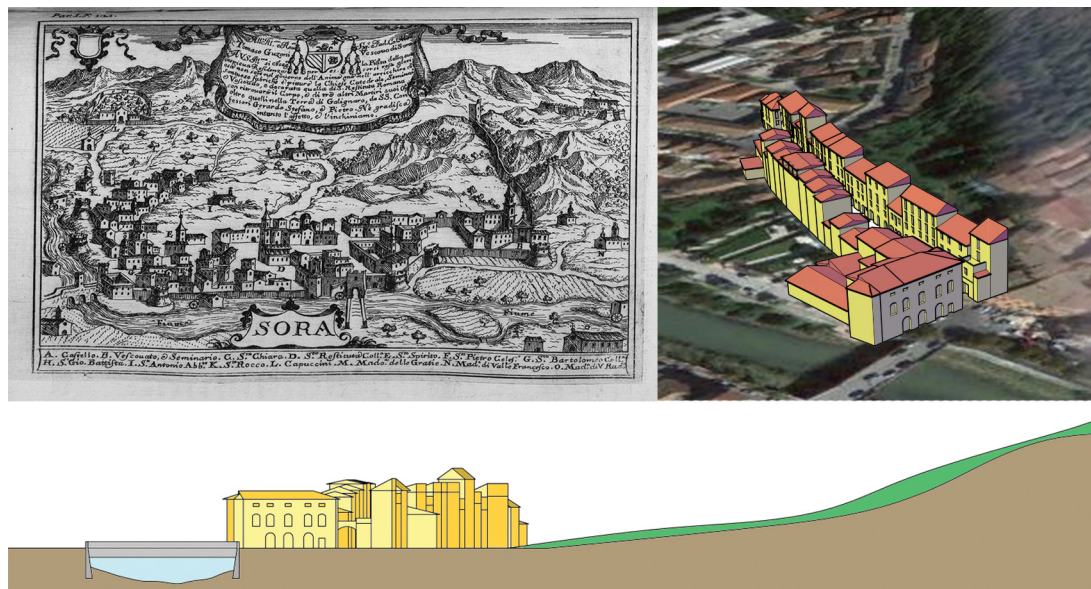
Le sue origini risalgono al VI a.C. ma assume la conformazione attuale alla prima metà del XVI. Ubicato, extra moenia, tra il fiume Liri e le pendici del monte S. Casto, si presenta come un insediamento di pia-

nura con una morfologia urbana sviluppata entro i margini. Il borgo è costituito da due cortine edilizie assimilabili a due grandi aggregati strutturali poiché le singole unità edilizie presentano i muri perimetrali esterni in comune oppure collegati da un sistema ad arco (Fig. 3)

### IL RILIEVO DIGITALE E TRADIZIONALE PER IL MODELLO BIM

La progettazione di un modello parametrico BIM per opere di architettura o ingegneria già esistenti richiede senza dubbio uno sforzo maggiore per l'acquisizione di tutti i dati necessari per il corretto funzionamento del sistema. L'approccio parametrico lega la geometria alla dimensione numerica o ai vincoli fisici reciproci di tutti i componenti dell'organismo architettonico. Nonostante l'ausilio di strumentazioni in grado di leggere anche le "informazioni nascoste", spesso la carenza di documentazione e la necessità di usare sondaggi pochi invasivi, implica un'accurata deduzione di informazioni geometriche e topologiche che possono essere espresse in termini di funzionalità dei componenti e di interconnessioni (Garagnani & Manfredini, 2013). Sebbene l'uso delle tecnologie digitali sia in grado di velocizzare e perfezionare sempre più la conoscenza dell'oggetto architettonico, rimane invariato il ruolo del rilevatore nel post processing per la discretizzazione e segmentazione dei singoli componenti e parti di componenti. Anche la costruzione del dataset a supporto del modello parametrico richiede l'integrazione tra dati digitali e tradizionali ottenuti secondo le procedure del rilievo diretto.

Per la definizione del modello geometrico, da qualche anno si sta diffondendo sempre più l'utilizzo di RPV (Remotely Piloted Vehicle), comunemente conosciuto come drone, che permette, grazie all'uso di sensori montati a bordo, come telecamere, termocamere etc., l'acquisizione di dati per la modellazione geometrica 3D dell'oggetto rilevato. Fino a qualche anno fa tale metodologia di rilievo era applicata soprattutto in ambito topografico per l'analisi di superfici di grandi estensioni. Recentemente, grazie all'abbattimento dei costi delle attrezzature necessarie e allo sviluppo di nuovi software applicati nell'ambito della fotogrammetria digitale, questa tecnologia è molto usata anche per i rilievi architettonici.



Il modello grafico 3D del caso di studio è stato ottenuto, infatti, grazie ad una elaborazione fotogrammetrica digitale di fotogrammi acquisiti con drone: in particolare, è stato utilizzato il drone DJI Phantom 3 Advanced con camera da 12 Mpixels (4000 x 3000) montata su gimbal a 3 assi. Per ottenere la nuvola di punti, risultato della fotogrammetria digitale, con una buona risoluzione (inferiore a 5 cm/pixel) e una adeguata scala di rappresentazione nominale, la quota di volo è stata fissata a 70mt. Mantenendo costante la velocità del drone, sono state realizzate delle strisciate fotografiche secondo la direzione longitudinale e trasversale, sulla base di una doppia griglia regolare. Durante la presa, è stata posta particolare attenzione alla sovrapposizione raccomandata tra due fotogrammi consecutivi: almeno il 70-75% longitudinalmente alla direzione di volo [overlap] e almeno il 50-60% tra due strisciate contigue [overside] (Fig. 4). I fotogrammi sono stati eseguiti con una temporizzazione stabilita [timelaps] e i parametri di rilievo (waypoints) sono stati impostati in fase di pianificazione del volo nel software di gestione del drone (Flylitchi).

Fig. 3. Borgo S. Rocco a Sora. a) 1703. Incisione all'acquaforte di G.B. Piacichelli; b) e c) modello grafico 3D del borgo (Autodesk)

Il rilievo fotogrammetrico è stato eseguito con buone condizioni meteo e illuminazione solare.

Dopo avere verificato la corretta inquadratura, qualità ed esposizione delle immagini acquisite, con l'uso del software Agisoft PhotoScan è stato creato un modello geometrico 3D, come nuvola di punti, con una buona approssimazione metrica: l'errore rilevato sulla base del confronto con i dati del rilievo diretto è stato dell'1%. (Fig. 5). La gestione della nuvola di punti così ottenuta all'interno di software di modellazione grafica richiede necessariamente una pre-elaborazione all'interno di ulteriori software, pensati proprio per favorire l'importazione, la visualizzazione e l'edit di tali oggetti (Autodesk ReCap): il software legge, infatti, la nuvola di punti come un file di testo contenente le coordinate spaziali (XYZ) e le "informazioni RGB" di ogni punto della nuvola (11,591,271 points). Con un applicativo interno a ReCap (Auto-Cleanup) è stato possibile anche ridurre il rumore con l'eliminazione automatica, ad esempio, di quei punti che presentano l'incertezza di posizionamento, aumentando in tal modo la precisione del modello.

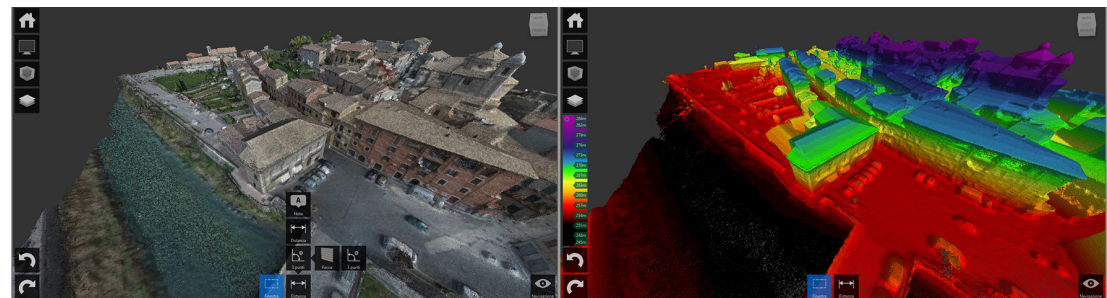
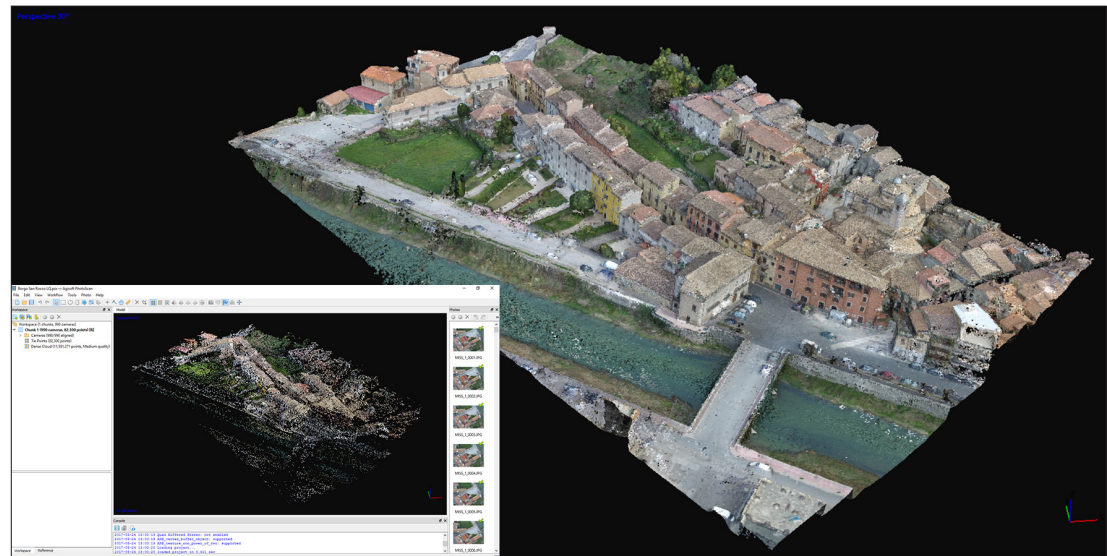
Ultimata l'ottimizzazione della nuvola di punti, è possibile verificare l'affidabilità della restituzione grafica grazie ad una serie di tool interni allo stesso software: in particolare, con gli strumenti di navigazione ed interrogazione si possono misurare le distanze, definire l'ortogonalità dei piani nel modello e individuare valori dell'elevazione suddividendole in fasce omogenee (Fig. 6). La fotogrammetria digitale è una tecnologia abbastanza economica che consente quindi di realizzare velocemente modelli volumetrici semplificati.

La costruzione di un modello parametrico di dettaglio richiede l'importazione della nuvola in un software di modellazione grafica, come ad esempio Revit, e la geometrizzazione dei singoli componenti architettonici a cui associare una banca di dati del rilievo diretto (documentario, metrico, materico, del danno etc.) e, dove necessario, strumentale (termocamere).

Fig. 4. Direzione delle strisciate fotografiche eseguite da drone

Fig. 5. Borgo S. Rocco. Visualizzazione ed edit della nuvola di punti

Fig. 6. Borgo S. Rocco. Navigazione ed interrogazione della nuvola di punti all'interno del software Recap: a) analisi dell'ortogonalità dei piani; b) individuazione delle fasce di elevazione



## HT\_BIM: HISTORICAL TOWNS\_ BUILDING INFORMATION MODELLING

Il modello numerico dell'intero borgo è stato realizzato con un sistema di Building Information Modeling (BIM).

L'uso di questi sistemi nella progettazione e realizzazione di nuovi edifici è ormai ampiamente diffusa tanto da essere considerati da alcuni come "... un'iniziativa politica per affrontare la scarsa produttività nel settore delle costruzioni" (Mihindu & Arayici, 2008). Il BIM si basa sull'interoperabilità tra la modellazione grafica 3D ed il dataset di tutte le informazioni relative alla geometria, materiali, strutture portanti, caratteristiche termiche e di performance energetica, impianti, costi, sicurezza, manutenzione, demolizione, smaltimento ecc.: con l'insieme di questi dati restituisce un modello dinamico dove, già dalla fase progettuale, ad ogni variazione grafica corrisponde una variazione delle prestazioni dell'organismo edilizio e degli elaborati tecnici di base (piante, prospetti, sezioni (Fai, Graham, Duckworth, Wood, & Attar, 2011). Nel caso del patrimonio edilizio esistente, l'uso del BIM deve invece confrontarsi con le incertezze sullo stato di conservazione, con la carenza di documentazione e soprattutto con la conversione dei dati semantici acquisiti dalla lettura dell'opera architettonica (Volk, Stengel, & Schultmann, 2014).

Ciò nonostante, negli ultimi anni sono numerosi i modelli informativi sviluppati per risolvere soprattutto l'interrelazione tra i dati di rilievo (digitali o tradizionali) e il modello grafico parametrico. Alcuni di essi si basano su una sintesi ragionata dei dati poiché spesso la quantità dell'informazione non corrisponde sempre ad una precisa conoscenza dell'opera (Lo Turco, Santagata, Parrinello, Valenti, & Inzerillo, 2016); altri modelli sono stati pensati per risolvere la definizione della morfologia dell'oggetto, acquisita con fotogrammetrie digitali o apparecchiature a scansione laser, poiché l'importazione spesso richiede un rimodellamento a mano in quanto l'estrazione automatica delle funzioni nel software disponibile non è ancora così efficace (Garagnani & Manferdini, 2013). Molti passi in avanti si stanno compiendo anche nell'uso di modelli BIM derivati da nuvole di punti per la simulazione strutturale agli elementi finiti: è dimostrato che per eseguire un'analisi FEM su un modello BIM non

più è richiesta la drastica riduzione della qualità del modello stesso (Barazzetti, et al., 2015).

In letteratura non sono facilmente reperibili modelli HBIM, applicati ad un intero ambito urbano per l'analisi e la gestione delle vulnerabilità ambientali e strutturali, la cui principale peculiarità è la multiscalarità. Per l'analisi dei fenomeni ambientali, in particolare quella del vento, è sufficiente, infatti, ricorrere a un modello volumetrico semplificato 3D dell'intero nucleo urbano; per l'analisi strutturale o energetica sono necessari modelli parametrici di dettaglio 3D, che racchiudono informazioni sia relative agli aggregati strutturali sia alle singole unità abitative. La progettazione del modello parametrico 3D del caso di studio, ottenuto con il software Autodesk Revit, si basa sulla nuvola di punti acquisita con il rilievo digitale fotogrammetrico. Ciò ha consentito una significativa rapidità nella fase della modellazione di volumi semplificati, molto importante quando l'oggetto di studio è particolarmente grande e complesso. Il file della nuvola, con estensione (.rcp) è stato poi importato nel sistema BIM e georeferenziato. Il software legge l'insieme dei punti della nuvola come snap e individua automaticamente le direzioni prevalenti (quelle su cui converge la maggior parte dei punti), ossia il contorno degli oggetti rilevati (esterno dell'aggregato) (Fig. 7).

Fig. 7. Integrazione del modello parametrico 3D alla nuvola di punti del rilievo fotogrammetrico digitale



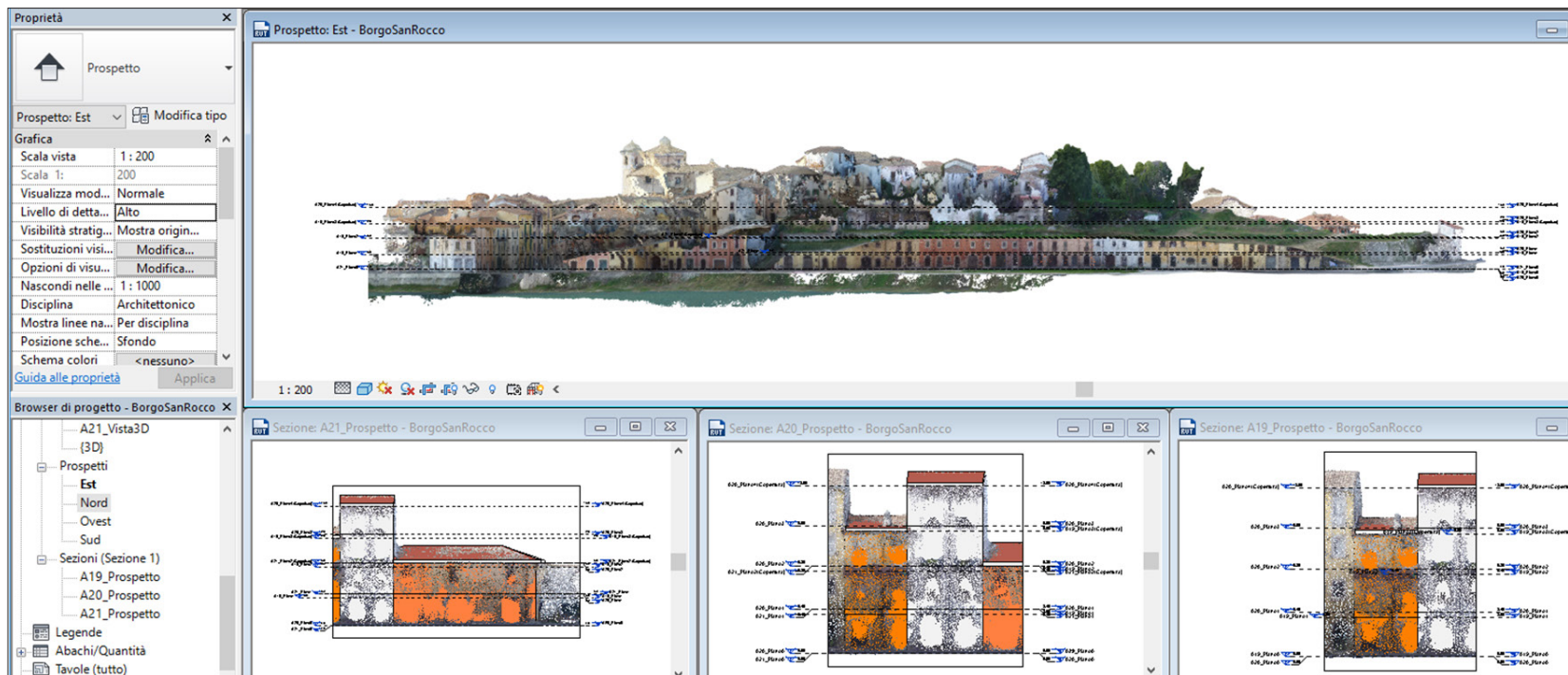


Fig. 8. Individuazione dei livelli all'interno della nuvola di punti per la costruzione del modello parametrico 3D

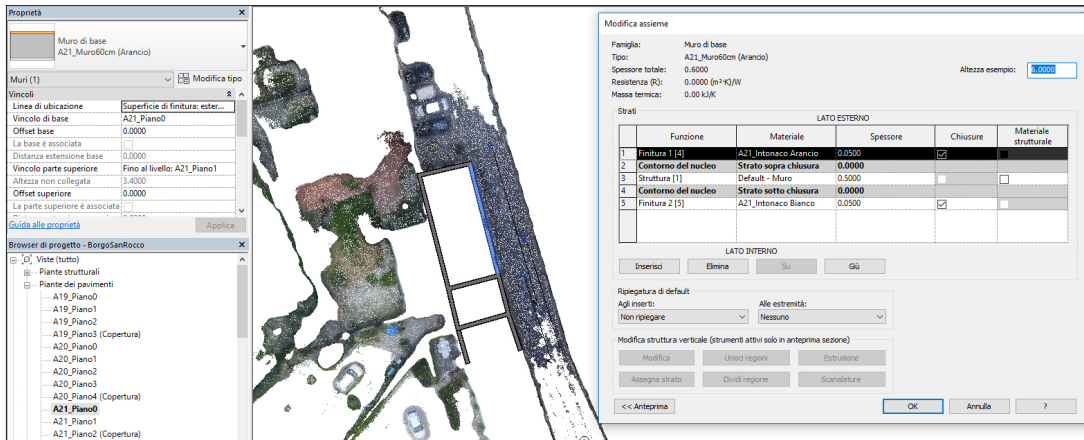
Fig. 9. Modello parametrico 3D BIM delle unità strutturali

Verificata la correttezza metrica e l'esatta collocazione geografica, sono stati individuati i livelli dei vari piani di ogni singolo edificio (compreso quello di gronda e di colmo delle coperture a falda che caratterizzano il borgo) prendendo come riferimento all'interno della nuvola il sistema di bucatore (finestre e porte) e confrontato con i dati del rilievo diretto (Garagnani & Manfredini, 2013) (Fig. 8).

Dal punto di vista strutturale, le due cortine edilizie che si fronteggiano nel borgo si presentano come due grandi aggregati, poiché le singole unità hanno i muri perimetrali comuni oppure sono collegate tra loro da sistemi ad arco. Gli edifici hanno un'altezza variabile tra due e quattro piani fuori terra fino ad un massimo di 12 metri con una tipologia costruttiva in muratura portante. Il passaggio dal modello volumetrico generale alla modellazione parametrica 3D di dettaglio ha richiesto la progettazione BIM delle singole unità

strutturali. In particolare, con i dati di rilievo documentario (rilievi del post terremoto 1984) e diretto, sono stati modellati i componenti strutturali ed architettonici con le caratteristiche, geometriche e materiche di cui si compongono. Nello specifico, i componenti murari verticali, hanno uno spessore variabile, per i piani terra, da un max di 70cm ad un min di 50cm, con riseghe strutturali ai piani superiori dell'ordine del 15%. Gli apparecchi murari sono generalmente ad opera incerta in pietra calcarea, con un adeguato rapporto malta/materiale lapideo.

Gli orizzontamenti sono eterogenei e presentano un accentuato disallineamento. Alcuni di essi conservano ancora solai lignei con travi di castagno a sezione circolare e valere regolari, ma non per l'intero sviluppo del singolo edificio. Ulteriori tipologie come solai latero-cementizi gettati in opera, con putrelle e tavelloni e superfici voltate a botte caratterizzano le unità del



borgo. Sulla base della tradizione costruttiva locale e della stratigrafia del terreno, le fondazioni si ipotizzano del tipo superficiali dirette. I tetti, nelle estremità a padiglione e nella zona centrale a capanna oppure a falda unica, in alcuni casi presentano capriate lignee. Gli elementi di collegamento verticale si trovano in posizione longitudinale in tutte le unità. Gli orizzontamenti sono eterogenei e presentano un accentuato disallineamento. Alcuni di essi conservano ancora solai lignei con travi di castagno a sezione circolare e valere regolari, ma non per l'intero sviluppo del singolo edificio. Ulteriori tipologie come solai latero-cementizi gettati in opera, con putrelle e tavelloni e superfici voltate a botte caratterizzano le unità del borgo. Sulla base della tradizione costruttiva locale e della stratigrafia del terreno, le fondazioni si ipotizzano del tipo superficiali dirette. I tetti, nelle estremità a padiglione e nella zona centrale a capanna oppure a falda unica, in alcuni casi presentano capriate lignee. Gli elementi di collegamento verticale si trovano in posizione longitudinale in tutte le unità.

SCHEDE DI VALUTAZIONE DEL MECCANISMO DI COLLASSO PER EDIFICI IN MURATURA		05A		5 - CARATTERISTICHE STRUTTURALI	
<b>1 - INFORMAZIONI GENERALI</b>		Lazio		1 N° impalcati con struttura a volta	
1 Regione	Lazio	Frosinone		2 Tipologia solaio	
2 Provincia	Frosinone	Sora		impalcato 1 laterocemento	
3 Città	Sora	Borgo San Rocco		impalcato 2 impalcato 6	
4 Indirizzo	Borgo San Rocco	0000000043		impalcato 3 impalcato 7	
5 Aggregato Strutturale	0000000043	05A		impalcato 4 impalcato 8	
6 Unità strutturale	05A	Abitazione		impalcato 5 impalcato 9	
7 Destinazione d'uso	Abitazione	mercoledì 15 giugno 2016		impalcato 6 impalcato 10	
8 Data di rilievo	mercoledì 15 giugno 2016	Marco Saccucci		3 Orditura solaio rispetto alla facciata	
9 Rilevatore	Marco Saccucci			impalcato 1 Parallelo impalcato 6	
<b>2 - DATI SUL TESSUTO URBANO</b>		37		impalcato 2 impalcato 7	
1 N° di US nell'AS	Interna	37		impalcato 3 impalcato 8	
2 Posizione dell'US rispetto all'AS	Interna	Si		impalcato 4 impalcato 9	
3 Connessione con pareti adiacenti	Si			impalcato 5 impalcato 10	
<b>3 - CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DELLA FACCIATA</b>		37		4 Tipologia tetto	
1 Orientamento della facciata	Sud-Est			5 Orditura del tetto	
2 Numero di piani dell'edificio	2			6 Tipo di muratura	
3 Numero di piani della facciata	2			7 Catene	
4 Lunghezza facciata [m]	10.50			impalcato 1 No impalcato 6	
5 Altezza totale facciata [m]	9.70			impalcato 2 impalcato 7	
6 Presenza in parete del timpano	No			impalcato 3 impalcato 8	
7 Altezza timpano (se presente)	0.00			impalcato 4 impalcato 9	
8 Snellezza	13.85714286			impalcato 5 impalcato 10	
<b>4 - CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DELLE BUCATURE</b>				8 Ammortamento impalcato	
1 Numero di bucatore per piano				impalcato 1 No impalcato 6	
piano 1	3 piano 6			impalcato 2 impalcato 7	
piano 2	2 piano 7			impalcato 3 impalcato 8	
piano 3	1 piano 8			impalcato 4 impalcato 9	
piano 4	1 piano 9			impalcato 5 impalcato 10	
piano 5	1 piano 10				
2 Stimma dimensioni aperture [m]				9 Cordolo in sommità	
base	1.20			Parallelo alla facciata	
altezza	1.50			Pietrame disordinata	
3 Altezza fascia orizzontale superiore [m]	0.60			No	
4 Bucature allineate verticalmente	Si				
<b>5 - CARATTERISTICHE STRUTTURE MURICHE PIANTA</b>					
1 Spessore muro inferiore della facciata [m]	0.70				
2 Spessore muro superiore (%)	80%				
3 N° pareti portanti interne perp. alla facciata	1				
4 Luce tra le pareti perp. alla facciata	10.50				
5 Discontinuità sezioni murarie	Si				
6 Ammortamento pareti perpendicolari alla facciata	Si				
<b>6 - MECCANISMO DI COLLASSO</b>					
1 Possibile meccanismo di collasso		D			
<b>7 - INTERFERENZA</b>					
1 Lunghezza ingombro al suolo [m]		9,70			

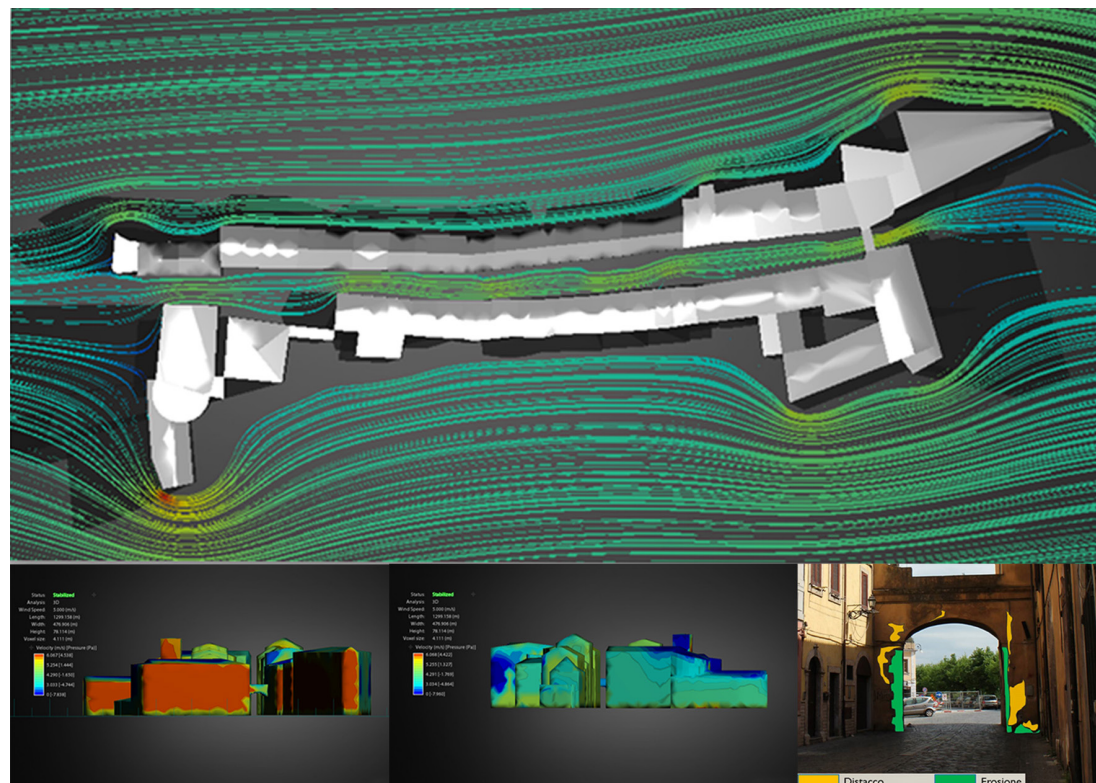
Fig. 10. Visualizzazione del database interno al modello parametrico 3D HT\_BIM  
Fig. 11. a) Disallineamento quote orizzontamenti; b) sistema bucatore incongruo; c) unità strutturali soggette a presidi di miglioramento e rinforzo  
Fig. 12. Set di informazioni per la verifica sismica



## HT\_BIM PER L'ANALISI DEI FATTORI AMBIENTALI: ESPOSIZIONE AL VENTO E SOLEGGIAMENTO

La conformazione plano-altimetrica dei centri storici minori genera spesso canyon urbani all'interno dei quali le variazioni della temperatura (urban heat island) e gli effetti del vento influenzano la qualità dell'aria, generando fenomeni di degradazione delle superfici degli edifici, come ad esempio, l'alveolizzazione. Da alcuni anni in commercio sono usati software computazionali in grado di visualizzare i flussi d'aria soprattutto in campo aerodinamico e l'apporto di energia solare sugli edifici per ottimizzarne l'esposizione solare o migliorarne l'efficienza energetica (Konrath, Klein, & Schröder, 2008). Tali software (e.g. Flow Design), che si basano su applicazioni per analisi fluidodinamiche [Computational Fluid Dynamics (CFD)], permettono di simulare, in modo semplificato, una galleria del vento virtuale parametrica, costruita sulla base di dati anemometrici di letteratura, nell'intorno del modello grafico 3D: il sistema visualizza le aree con maggiore e minore velocità del vento ed è in grado di gestire il flusso transitorio utilizzando il metodo ai volumi finiti (Finite Volume Method approach). Oltre alla visualizzazione delle linee di flusso, questi software sono in grado di simulare anche i livelli dei valori delle pressioni del vento in superficie (Fig. 13). Dal confronto con il rilievo diretto emerge una discreta correlazione tra il risultato delle analisi virtuali e i fenomeni di degrado rilevati sul campo. Come è noto, le applicazioni per l'analisi del vento sulle architetture implicano un grado di incertezza molto elevato: le velocità e le direzioni del vento non sono mai fissate nella vita reale.

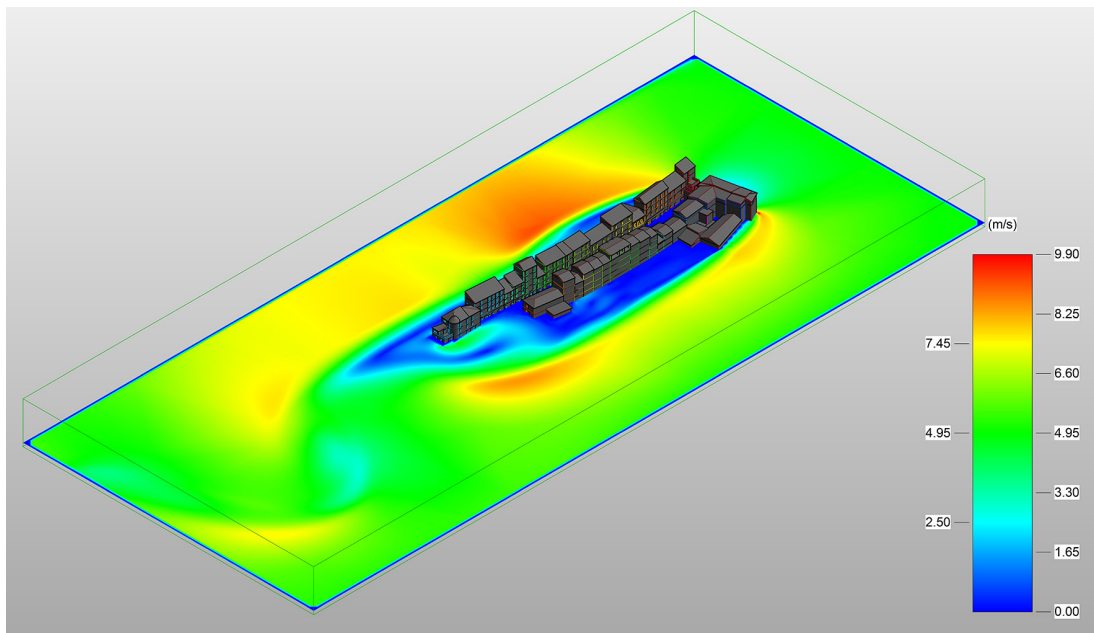
Il caso di studio si presenta come uno street canyon: orientato N.N.O., presenta uno sviluppo longitudinale di 146 metri e la sezione trasversale variabile (4m÷11m). La forte asimmetria in altezza non permette di classificare questa struttura urbana in maniera univoca come un'unica famiglia di "street canyon": sulla base del rapporto di aspetto in sezione ( $H$ =altezza dell'edificio  $W$ =larghezza della sede stradale), in funzione del punto di minima e massima larghezza della strada, il Borgo può essere definito rispettivamente come deep e regular canyon; mentre in relazione al rapporto d'aspetto in pianta ( $L$  = lunghezza della strada;  $H$  = altezza degli edifici) è corretto parlare di very long canyon. Queste



particolari caratteristiche del Borgo hanno generato significativi fenomeni di degrado quali alveolizzazione e distacco dell'intonaco per i quali si richiede l'analisi e la visualizzazione della distribuzione del flusso e delle relative velocità del vento per individuare le cause e le aree più problematiche. A questo scopo è stata definita, con un applicativo interno al software Revit (plug-in Flow Design) la galleria del vento virtuale in cui i valori delle velocità sono stati ricavati dall'atlante eolico e le dimensioni della galleria sono state definite in base alle grandezze caratteristiche del modello. Il sistema mostra le distribuzioni di flusso diverse in condizioni di vento diverse. (Fig. 14).

L'accuratezza della simulazione dell'azione eolica sugli edifici del borgo (Flow Design) dipende dall'affidabilità

Fig. 13. Analisi dell'azione del vento in una galleria virtuale (Flow Design). a) Visualizzazione delle linee di flusso del vento; b) e c) visualizzazione delle pressioni del vento in superficie; d) effetti del degrado da vento



del modello grafico, che, nel caso di studio, è volutamente scevro degli elementi topografici che caratterizzano la località, (monte S. Casto e fiume Liri) ma che incidono molto sull'andamento della velocità del vento. Inoltre, la correlazione tra il campo di velocità dell'aria e la distribuzione delle pressioni sulle facciate degli edifici per il vento dovrà essere numericamente convalidata grazie all'ausilio dell'analisi Particle Image Velocimetry (PIV) per mezzo di una galleria del vento reale. Definita la galleria del vento virtuale nell'HT\_BIM, sarà possibile controllare ad esempio come eventuali interventi progettuali urbani possano ridurre i fenomeni di degrado da vento: l'inserimento, di una cortina di alberi, è infatti in grado di generare cambiamenti del campo di moto del vento. Analogamente alcuni software analizzano anche l'irraggiamento solare che è la principale causa di alterazione cromatica delle superfici e di dilatazione termica dei materiali (uniforme e differenziale) e può provocare la creazione di deformazioni e microfrazture che possono ad esempio portare al distacco degli intonaci e a fenomeni di erosione. Grazie all'applicativo "Solar Analysis" di Revit il sistema valuta le effettive condizioni di insolazione a cui l'aggregato edilizio è soggetto: costruisce automaticamente diagrammi solari e simula il percorso del sole in ogni stagione e con intervalli di tempo personalizzabili rispetto al modello; visualizza le ombre e riflessioni animate e complesse, generando diagrammi per l'analisi dell'ombreggiamento; calcola la radiazione solare incidente su una superficie e visualizza l'insolazione cumulativa annua. La procedura è stata attivata nel sistema HT\_BIM e applicata al caso di studio. Per l'individuazione corretta della parabola solare il modello è stato geolocalizzato; sono stati poi definiti gli intervalli temporali più significativi (equinozio e solstizio) e la fascia oraria giornaliera per la quale effettuare la simulazione. Il sistema restituisce per ogni elemento di superficie delle unità edilizie del borgo, diverse informazioni tra cui l'apporto solare (Fig. 15). L'obiettivo di questa analisi è l'individuazione degli elementi per i quali sono necessari gli interventi di efficientamento energetico, evitando di agire sull'intero involucro. La dinamicità del sistema BIM consente, inoltre, di verificare il miglioramento della classe energetica dopo l'esecuzione dell'intervento stesso.

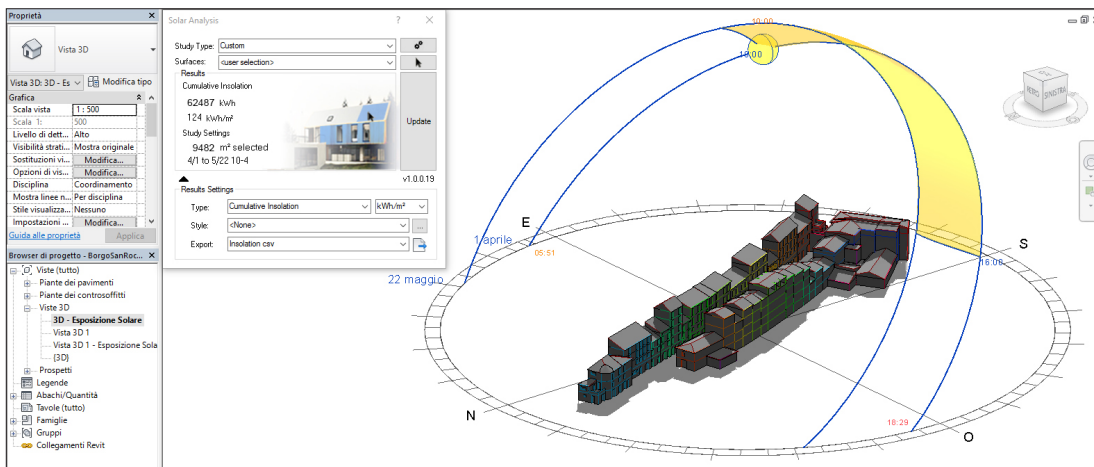


Fig. 14. Analisi della distribuzione del flusso del vento nell'intorno del borgo. Dal blu al rosso le aree di minore e maggiore velocità del vento.  
Fig. 15. Analisi del soleggiamento e dell'apporto solare sulle superfici delle unità edilizie

## HT\_BIM: ANALISI STRUTTURALI

L'introduzione del BIM e la possibilità di interfacciarlo con software di modellazione/analisi strutturale ha rappresentato un grosso passo avanti in quanto consente a questi ultimi di riconoscere le informazioni riportate nel modello BIM 'traducendole' in dati di input.

L'affidabilità del modello strutturale ottenuto, nonché dei risultati che derivano dalla successiva analisi strutturale, è fortemente condizionata dai dati importati dal modello BIM, ovvero dal rilievo. Nel caso degli edifici storici in muratura le informazioni relative alla geometria, alla disposizione degli elementi strutturali e ai materiali spesso non sono sufficienti per lo sviluppo di un modello strutturale affidabile. Giocano infatti un ruolo determinate sulla risposta sismica delle strutture in muratura esistenti ulteriori informazioni come lo stato dei materiali, danni preesistenti e, soprattutto, i dettagli costruttivi (ammorzamento tra le pareti ortogonali, cordoli di piano o sommitali, catene, piattabande, etc.). Nel caso poi degli aggregati strutturali è importante tenere conto dell'eterogeneità di tali dettagli tra le varie unità in quanto il comportamento locale della singola unità è influenzato da quelle adiacenti.

Ciò mette in luce come il procedimento di interfaccia BIM-software di analisi strutturale non può essere un processo totalmente automatizzato: il ruolo dello strutturista rimane centrale nell'analisi delle informazioni emerse dal rilievo e riportate nel modello BIM, nonché della loro trasposizione nel modello agli elementi finiti per il calcolo strutturale (Formisano, 2017).

Per questo motivo l'HT\_BIM che viene proposto in questo lavoro con riferimento agli edifici storici in muratura in aggregato si basa su un database di informazioni dedotte da rilievi dove, oltre a un set di dati riguardanti prevalentemente la geometria della struttura, vi sono una serie di informazioni riguardanti aspetti strutturali di dettaglio. Mentre il primo set di informazioni viene tradotto in elementi finiti e proprietà degli stessi in automatico nel passaggio BIM - modello strutturale, il secondo set di informazioni viene invece tradotto solo in simboli grafici e linee di costruzione. Ad esempio, vi saranno delle linee verticali in corrispondenza delle intersezioni tra le pareti,



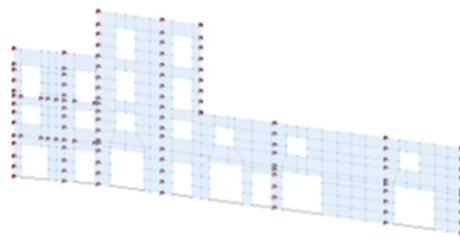
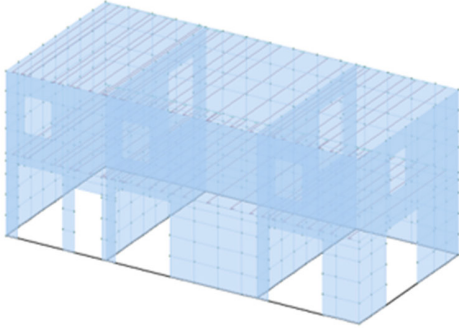
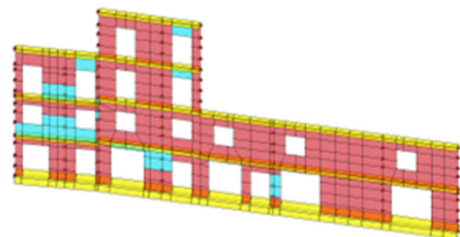
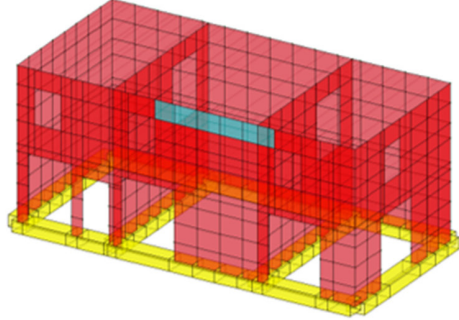
	Facciata Perimetrale	Singola Unità Strutturale
Modello BIM		
Modello PRO_SAP		
Risultati analisi		

Fig. 16. Modellazione in PROSAP: stato delle verifiche con le azioni sismiche di progetto come spettro di risposta. In rosa sono visualizzati gli elementi non verificati

delle linee orizzontali in corrispondenza dei solai, dei simboli nelle zone rinforzate, etc. Grazie all'interazione tra HT\_BIM e software di analisi strutturale è possibile eseguire un'analisi semplificata finalizzata ad analizzare la risposta fuori piano, nella quale si tiene conto dei dettagli strutturali emersi dal rilievo trasformando i simboli grafici in opportune condizioni di vincolo o di svincolo. I risultati dedotti da tale modellazione hanno come obiettivo quello di mettere in luce come alcune carenze strutturali influenzano la risposta sismica globale o locale delle pareti.

Questo processo ha il vantaggio di poter partire da un'analisi semplificata della sola parete perimetrale dell'intero aggregato, di individuare le unità con maggiori criticità e di passare poi ad un'analisi globale di tali unità separatamente dall'aggregato. Ciò consente allo strutturista di esaminare differenti scenari nel caso di mancanza di informazioni e dunque di capire le situazioni più sfavorevoli.

Il procedimento descritto è stato applicato al caso di studio. In particolare, in figura 16 sono mostrati i passaggi relativi all'importazione dall'HT\_BIM al programma di analisi strutturale Pro\_SAP sia per il caso della sola facciata perimetrale sia per il caso di un'unità dell'aggregato. In particolare, viene mostrata l'importazione della geometria della parete, alla quale sono altresì assegnati spessori e materiali dedotti dal modello HT\_BIM, e la presenza dei simboli grafici, trasformati successivamente in condizioni di vincolo o di svincolo. Nella stessa figura sono riportati i risultati in termini di stato delle verifiche ottenute considerando le azioni sismiche di progetto definite in termini di spettro di risposta. Sebbene le due modellazioni siano differenti, i risultati ottenuti evidenziano il non soddisfacimento delle verifiche previste dalla normativa sia per la maggior parte degli elementi costituenti la parete perimetrale dell'aggregato sia per la singola unità considerata.

## CONCLUSIONI

Il sistema L'HT\_BIM è un importante strumento per la gestione dei centri storici minori sia per l'analisi della vulnerabilità sismica che dei fenomeni ambientali, quali l'esposizione eolica e l'irraggiamento solare. Si tratta di un sistema parametrico multiscala in grado di fornire alle Amministrazioni locali le informazioni sugli edifici con maggiori vulnerabilità strutturale, e quindi consentire loro di attuare una pianificazione sulla base della priorità degli interventi; ma anche le informazioni necessarie per una corretta redazione del piano di recupero poiché guida alla scelta degli apparati e componenti edilizi strettamente necessari per interventi di efficientamento energetico, sempre più richiesti dalla Comunità Europea.

## BIBLIOGRAFIA

Barazzetti, L., Banfi, F., Brumana, R., Gusmeroli, G., Oreni, D., Previtali, M., . . . Schiantarelli, G. (2015). *BIM from laser clouds and finite element analysis: combining structural analysis and geometric complexity*. Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 40, 345.

Cardone, V. (2015). *Modelli grafici dell'architettura e del territorio*. Maggioli Editore.

Centofanti, M., & Brusaporci, S. (2013). *Architectural 3D modeling in historical buildings knowledge and restoration processes*.

Fai, S., Graham, K., Duckworth, T., Wood, N., & Attar, R. (2011). *Building information modelling and heritage documentation*. Proceedings of the 23rd International Symposium, International Scientific Committee for Documentation of Cultural Heritage (CIPA), Prague, Czech Republic, (p. 12-16).

Formisano, A. (2017). *Theoretical and numerical seismic analysis of masonry building aggregates: case studies in San Pio Delle Camere (L'Aquila, Italy)*. Journal of Earthquake Engineering, 21, 227-245.

Garagnani, S., & Manferdini, A. M. (2013). *Parametric accuracy: Building Information Modeling process applied to the cultural heritage preservation*. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 5, W1.

Garagnani, S., Luciani, S. C., & Minguzzi, R. (2011). *Building Information Modeling: la tecnologia digitale al servizio del progetto di architettura*. DISEGNARECON, 4, 5-19.

Konrath, R., Klein, C., & Schröder, A. (2008). *PSP and PIV Investigations on the VFE-2 Configuration*

*in Sub- and Transonic Flow*. 46th AIAA Aerospace Sciences Meeting and Exhibit, Aerospace Sciences Meetings. Reno.

Lo Turco, M., Santagati, C., Parrinello, S., Valenti, G. M., & Inzerillo, L. (2016). *BIM e beni architettonici: verso una metodologia operativa per la conoscenza e la gestione del patrimonio culturale-BIM and architectural heritage: towards an operational methodology for the knowledge and the management of Cultural Heritage*. DISEGNARECON, . . . , 9, 161-169.

Mihindu, S., & Arayici, Y. (2008). *Digital construction through BIM systems will drive the re-engineering of construction business practices*. Visualisation, 2008 International Conference, (p. 29-34).

Pelliccio, A. (2016). *Cognitive analysis for historical towns: digital representation and computational simulation to investigate the effects of solar radiation and wind exposure*. In S. Bertocci, & M. Bini (A cura di), *Le ragioni del disegno/The reasons of drawing*. Vol. unico, p. 547-552. Roma: Gangemi editore spa.

Pelliccio, A., Saccucci, M., & Grande, E. (2017). *An integrated modeling system (BIM) for a quick and reliable evaluation of the "interference" for the historical building aggregates: Limit Emergency Condition (CLE)*. Territori e frontiere della rappresentazione [UID2017]. Napoli. (in press)

Russell, P., & Elger, D. (2008). *The meaning of BIM. Architecture in Computro [26th eCAADe Conference Proceedings, (p. 531-536)*. Antwerpen.

Volk, R., Stengel, J., & Schultmann, F. (2014). *Building Information Modeling (BIM) for existing buildings—Literature review and future needs*. Automation in construction, 38, 109-127.