



*Ministero dell'Istruzione,
dell'Università e della Ricerca*



DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE

***Dottorato di Ricerca in Ingegneria delle Strutture e del
Recupero Edilizio e Urbano***

XIII Ciclo N.S. (2012-2014)

**PROPOSTE METODOLOGICHE PER LA
PROGETTAZIONE E GESTIONE DEL PATRIMONIO
EDILIZIO MEDIANTE STRUMENTI ICT**

Davide Barbato

**Il Tutor
*prof. Barbara Messina***

**Il Coordinatore
*prof. Ciro Faella***

SOMMARIO

Introduzione.....	4
1 Aspetti generali sullo stato dell'arte del settore edilizio in Italia.....	9
1.1 Una panoramica sul patrimonio edilizio italiano	9
1.2 Le inefficienze nei metodi di progettazione	12
1.3 I costi della gestione immobiliare in Italia	16
2 Alcune cause della cattiva interoperabilità	18
2.1 Premessa.....	18
2.2 I principali strumenti di gestione degli immobili in Italia.....	20
2.3 L'idea del fascicolo del fabbricato.....	22
2.4 Dal fascicolo del fabbricato alla sua digitalizzazione	24
2.5 I differenti approcci organizzativi	27
2.6 La figura del project manager	35
3 Strumenti ICT al servizio di tecnici e manutentori.....	38
3.1 Premessa.....	38
3.2 Le opportunità offerte dall'ICT in ambito edilizio	40
3.3 Il Building Information Modeling	41
3.4 Un comune linguaggio di comunicazione	43
3.5 La realtà aumentata e i suoi principali utilizzi.....	46
3.6 Le principali applicazioni dell'AR.....	49
4 Applicazione del BIM al caso studio.....	52
4.1 Premesse.....	52
4.2 Sintesi del flusso di lavoro adottato.....	54
4.3 La proposta metodologica	56
4.4 Il caso studio	58
4.4.1 Inquadramento territoriale e descrizione dei fabbricati oggetto di studio	58
4.4.2 La modellazione architettonica	60

4.5	Analisi dell'interoperabilità tra software	66
4.5.1	ArchiCAD - Revit.....	66
4.5.2	Import del modello strutturale in Revit.....	74
4.5.3	Interoperabilità tra ArchiCAD e Robot Structural Analysis.....	80
4.5.4	Prime conclusioni.....	83
4.6	Comparazioni tra software di calcolo strutturale	84
4.6.1	La metodologia adottata	86
4.6.2	Implementazione delle strutture portanti.....	86
4.6.3	Confronto delle caratteristiche globali della struttura	93
4.6.4	Confronto delle caratteristiche locali della struttura	96
4.6.5	Analisi dei risultati	98
4.6.6	Calcolo e verifica delle armature	101
5	Dal bim al BIM.....	107
5.1	Premessa.....	107
5.2	La modellazione parametrica per l'analisi ambientale	108
5.3	L'estrapolazione delle liste di materiali	117
6	La visualizzazione in sito del database	120
6.1	Premessa.....	120
6.2	Le ICT per la divulgazione delle conoscenze	122
6.3	La realtà aumentata e le APP.....	123
6.4	InsidAR	124
6.5	La progettazione dell'APP	125
6.5.1	Realtà Aumentata con Vuforia SDK	126
6.5.2	Sviluppo dell'applicazione	129
6.5.3	Montaggio e lancio dell'APP	132
6.5.4	Risultati ottenuti	134
	Conclusioni.....	139
	Indice delle figure.....	145
	Indice delle tabelle	149
	Bibliografia.....	150

Introduzione

La crisi senza precedenti che stiamo vivendo ci obbliga ad una rilettura critica della figura dell'ingegnere e dell'architetto, da sempre direttamente interessati dalle dinamiche economiche del proprio paese di appartenenza. Si è infatti fortemente ridimensionata la capacità imprenditoriale del singolo cittadino che, nella paura di una crisi peggiore, immobilizza i propri capitali nell'attesa di tempi migliori. I settori coinvolti sono molteplici: dall'industria siderurgica a quella manifatturiera, dalle telecomunicazioni all'industria dell'auto. Non è da meno, in questo scenario poco invidiabile, l'industria delle costruzioni in cui in pochi anni sono stati bruciati migliaia di posti di lavoro¹. Tale congiuntura economica comporta, inevitabilmente, una riduzione delle commesse proprio nel settore edilizio, da sempre – motore dell'economia nazionale – trainato dal ceto medio, proprio quello maggiormente interessato dalla crisi economica, riducendo di conseguenza l'attività lavorativa di tecnici e professionisti.

Purtroppo le previsioni per il prossimo biennio (2014-2016) non sono molto incoraggianti: gli investimenti nelle nuove costruzioni tenderanno a diminuire ulteriormente passando da circa 21.000 milioni di euro del 2011 a circa 17.000 milioni di euro nel 2016².

Unico dato in controtendenza è rappresentato dal costante, ma pur sempre lento, aumento della domanda di riqualificazione del patrimonio edili-

¹ I fallimenti di Impresa hanno subito un incremento di circa il 25,3% rispetto al 2009, aumentando inevitabilmente il numero di disoccupati in tutto il territorio nazionale. Relativamente al solo settore edile, si contano circa 360 mila senza lavoro fino ad arrivare a 550 mila se si considera anche l'indotto. Fonte: ance.it/docs/docprint.aspx?docId=9720. Dati aggiornati al 22 gennaio 2013.

² Servizio Studi – Dipartimento ambiente in collaborazione con l'istituto di ricerca CRESME (a cura di), *Il recupero e la riqualificazione energetica del patrimonio edilizio: una stima dell'impatto delle misure di incentivazione*, giugno 2013.

zio esistente: l'intervento sul costruito si configura perciò come l'unica ancora di salvezza per il settore edile e per tutti i suoi membri coinvolti; infatti, se correttamente gestito e valorizzato può rappresentare una vera e propria risorsa dal potenziale inestimabile.

Dal primo convegno Re-Build¹, tenutosi a Riva del Garda (TN) nel settembre 2012, è emersa infatti la presenza massiccia di un patrimonio diffuso da risanare e riconvertire, il quale ha spinto le amministrazioni e i governi a promuovere iniziative di recupero e riqualificazione del tessuto evidenziando la necessità di riformulare i processi di intervento sulle aree urbanizzate, stimolando la ricerca di un percorso strutturato tra governance, imprese e comunità locali³. Di contro però, le difficoltà riscontrate nell'intervenire sul patrimonio edilizio esistente aprono verso la necessità di nuovi protocolli di progettazione che riguardano da una parte l'introduzione di nuove metodologie progettuali, dall'altra la possibilità di gestire (nel tempo e per l'intero ciclo di vita) lo stesso patrimonio edilizio.

Difficoltà nel reperire i dati di input per la redazione dei progetti, lungaggini burocratiche e assenza di informazioni certe sul costruito, complicano – o quantomeno prolungano – già solo i tempi di redazione di un progetto di manutenzione, senza poi parlare delle discrepanze che si riscontrano in sito tra il “progettato” e il “realizzato”, che allungano ulteriormente i tempi di ultimazione dei lavori. Tutto ciò non fa altro che scoraggiare un settore già in ginocchio e, al tempo stesso, diluire ulteriormente la gestione delle commesse da parte di tecnici interessati.

Diversi sono i tentativi del legislatore di migliorare l'aspetto gestionale del patrimonio immobiliare mediante l'introduzione di nuovi adempimenti burocratici quali: *Fascicolo delle caratteristiche dell'opera* (d.lgs. 81/2008, Tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro), il *Piano di Manutenzione della parte strutturale dell'opera* (D.M. 14 gennaio 2008, Norme Tecniche per le costruzioni), la Certificazione Energetica degli edifici (d.lgs. 192/2005, Rendimento energetico nell'edilizia), il *Piano di manutenzione dell'opera e delle sue*

³ Si vedano gli atti dell'ultimo convegno RIUSO-Rigenerazione urbana sostenibile tenutosi a Milano nell'aprile 2012 (Antonio Spinelli).

parti (d.lgs. 163/2006, Codice dei contratti pubblici) che spesso sono tra loro slegati e senza un approccio unitario e, cosa ancor più grave, frutto di modifiche e rimescolamenti di documentazioni già redatte.

A valle di queste considerazioni, il lavoro di ricerca condotto nell'ambito della tesi di dottorato, si propone di introdurre un nuovo sistema per il controllo, la gestione e la manutenzione dei fabbricati esistenti e che prenda le mosse dai nuovi strumenti di *Information and Communication Technology* (ICT). Esse rappresentano l'insieme delle tecnologie che consentono l'elaborazione e la comunicazione di informazioni mediante mezzi digitali, da implementare e successivamente da applicare ad hoc all'interno del processo di riqualificazione edilizia.

Molti sforzi si stanno compiendo in ambito internazionale circa l'implementazione delle tecnologie ICT: tra i vantaggi riscontrati si registra una forte riduzione dei tempi di elaborazione dei dati, una riduzione degli errori, omissioni e inesattezze e un conseguente incremento della produttività complessiva e, fattore di fondamentale importanza, una forte comunicazione di informazioni. Nello specifico la ricerca sviluppata ha dato esiti interessanti ed innovativi, provvedendo a implementare da una parte il *Building Information Modeling* (BIM) e dall'altra l'*Augmented Reality* (AR).

Infatti, in tale ambito, un ruolo da protagonista nelle ICT è occupato dal BIM: considerato come possibile panacea per affrontare le inefficienze interdisciplinari in progetti di costruzione⁴, rappresenta oramai una realtà consolidata nel mondo della progettazione e gestione immobiliare in ambito internazionale. Si configura come un metodo olistico e coordinato per assistere i tecnici progettisti, i committenti, i decision makers, i manutentori e tutti coloro i quali partecipano al progetto edilizio⁵. Il Building Information Modeling, se corret-

⁴ Arayici, Y., Egbu, C., Coates, P. *Building Information Modelling (BIM) implementation and remote construction projects: issues, challenges, and critiques*. Egbu C., Sidawi B. ecc., ITcon Vol. 17, Special Issue Management of remote construction sites and the role of IT Systems, pg. 75-92.

⁵ Garagnani, S.; Luciani, S.; Mingucci, R. *Building Information Modeling: la tecnologia digitale al servizio del progetto di architettura*, in: DISEGNARECON, Rivista del Diparti-

tamente utilizzato, consente di ridurre le inefficienze interdisciplinari in progetti di costruzione garantendo comunque un'elevata qualità grafica e rappresentativa dei progetti architettonici. Esso è un'ulteriore tappa dell'inarrestabile evoluzione della tecnica di comunicare le informazioni necessarie al processo edilizio. In tal senso nessuna cosa ha significato in se stessa ma solo quando ha relazione con tutte le altre che intervengono in un dato processo. Il punto di forza di tale metodologia è rappresentato dalla possibilità di interscambiare dati - e quindi informazioni - tra i diversi attori del settore edilizio⁶. Se il BIM rappresenta perciò un grande contenitore di dati, la Realtà Aumentata (Augmented Reality) consente all'utente (sia esso un progettista, un project manager o il proprietario stesso), di integrare la realtà percepita mediante la sovrapposizione di immagini digitali tali da fornire all'occorrenza tutte quelle informazioni necessarie per la corretta gestione del manufatto durante il suo intero ciclo di vita.

Data la natura del lavoro di ricerca condotto, non si può prescindere dall'utilizzo di software dedicati a tali scopi, fermo restando che non ci si sofferma sulla descrizione del funzionamento o delle potenzialità di ciascun software utilizzato, volendosi bensì dimostrare l'efficacia della metodologia implementata e, nei limiti del possibile, proporre l'utilizzo anche agli edifici di nuova costruzione.

Pertanto il progetto di tesi si pone quale obiettivo la valutazione del livello di interoperabilità tra software BIM e la validazione degli stessi mediante il confronto di risultati di analisi strutturali ed energetiche condotte con software commerciali di più ampio utilizzo in ambito nazionale; l'implementazione della metodologia per la "digitalizzazione infografica del fabbricato" mediante l'ausilio della realtà aumentata.

mento di Architettura e Pianificazione territoriale dell'Università di Bologna, giugno 2011, p. 5.

⁶ Barbato, D. *A methodological approach to BIM design*, Vaclav Skala – Union Agency, Czech Republic, giugno 2014, pp. 189-194.

Pertanto la tesi si articola in sei capitoli.

Per effettuare le verifiche e i confronti necessari a validare gli obiettivi della fase sperimentale, le analisi sismiche sono state condotte su diverse tipologie di strutture prima di riversare il lavoro nell'ultimo – e più completo – caso studio relativo ad un fabbricato di nuova realizzazione. Concepito con le più moderne tecniche costruttive, tale manufatto bene si prestava alle sperimentazioni in studio poiché per standard e tipologia di costruzione, rappresenta il "prototipo" di fabbricato presente nel territorio e avendo in più un concept progettuale pienamente corrispondente alle vigenti normative in materia di sicurezza sismica e rispetto ambientale.

Inoltre, fattore di fondamentale importanza per l'iter di ricerca intrapresa, ha visto il sottoscritto direttamente coinvolto nella fase progettuale ed esecutiva coincidente con l'inizio dell'attività di ricerca: ciò ha consentito di seguire in prima persona la sua fase evolutiva, dall'idea progettuale all'opera compiuta. Tale aspetto risulta di fondamentale importanza poiché è possibile gestire correttamente un bene solo se si ha piena conoscenza dello stesso.

Dalle analisi dei risultati ottenuti, più ampiamente decritti nelle conclusioni del presente lavoro, sono stati individuati i punti di forza e di debolezza del lavoro di ricerca e introdotti spunti di riflessione e possibili futuri sviluppi del tema trattato.

1 Aspetti generali sullo stato dell'arte del settore edilizio in Italia

1.1 Una panoramica sul patrimonio edilizio italiano

Fortemente ridimensionato dalla congiuntura economica attuale, lo slancio imprenditoriale della classe media ha trovato un brusco freno proprio a causa della grave crisi che da diversi anni, ormai, interessa il nostro territorio. La conseguenza più lampante la si registra nelle migliaia di posti di lavoro bruciati anche in quel settore – quello edilizio – da sempre motore dell'economia nazionale e trainato dal ceto medio, proprio quello maggiormente interessato dalla forte crisi economica. Si contano infatti circa 360 mila tra licenziamenti e cassaintegrazioni fino ad arrivare a circa 550 mila considerando anche l'indotto che, evidentemente, coinvolge una larga schiera di settori e aree lavorative.

Inevitabilmente, riducendosi il numero di commesse e quindi dell'attività edilizia, viene meno, o comunque subisce una forte inflessione, l'attività lavorativa di tecnici – ingegneri ed architetti e imprese – che si trovano anch'essi a dover fronteggiare un tale periodo di crisi.

Purtroppo le previsioni per il prossimo biennio (2014-2016) non sono molto incoraggianti: da indagini condotte dal CRESME (Centro di Ricerche Economiche Sociali di Mercato per l'Edilizia e il Territorio) gli investimenti nelle nuove costruzioni tenderanno a diminuire ulteriormente passando da circa 21.000 milioni di euro del 2011 a circa 17000 milioni di euro nel 2016.

In controtendenza rispetto agli investimenti nelle nuove costruzioni però, si registra l'attività imprenditoriale rivolta al recupero e alla manutenzione straordinaria degli immobili esistenti. Infatti, nel 2013, su un valore della produzione dell'intero settore delle costruzioni stimata dal CRESME in 173,5 miliardi di euro (comprensivi degli investimenti in impianti alimentati da fonti energetiche rinnovabili – impianti FER, ed escluse le spese per i trasferimenti di proprietà) la spesa in interventi di manutenzione e recupero ammonterebbe a

115,1 miliardi di euro, pari pertanto al 66,4% dell'intero fatturato dell'edilizia⁷.

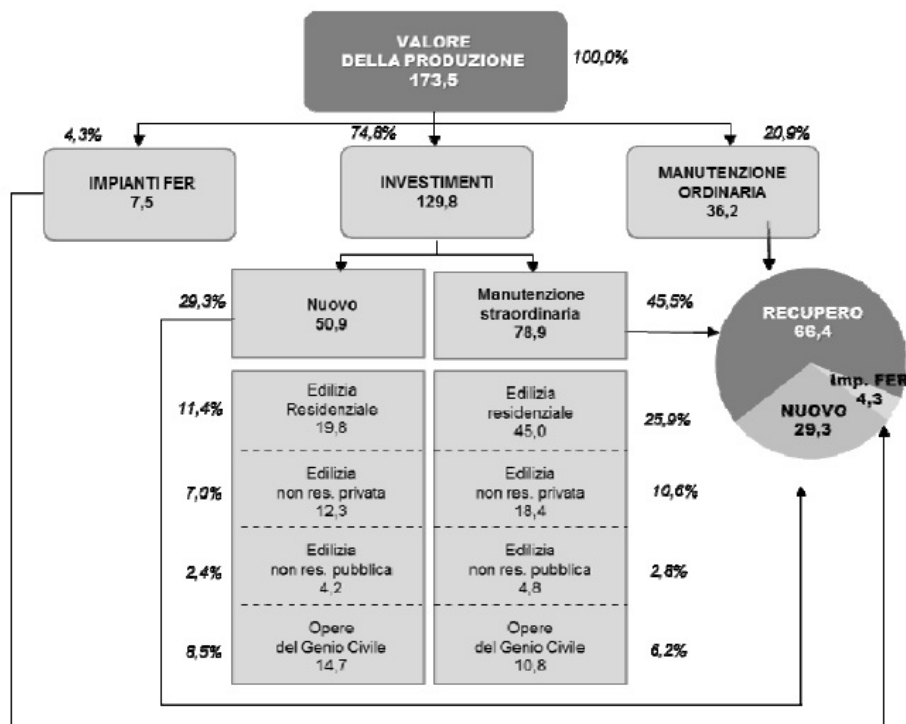


Fig. 1 Valore della produzione nel 2013 in Italia

Le motivazioni che si celano dietro questo dato sono da ricercare in due fattori tra loro contrastanti ma dal forte impatto economico: da un lato, come già anticipato, la forte riduzione di investimenti nelle nuove costruzioni, dall'altro la possibilità di godere di misure fiscali incentivanti promosse dal governo. Pertanto, la negativa valutazione sull'andamento degli investimenti in costruzioni nel 2013 è stata parzialmente mitigata dagli effetti positivi derivanti dalla proroga e dal temporaneo potenziamento degli incentivi fiscali (55% e 65%) relativi agli interventi di ristrutturazione edilizia e di riqualificazione ener-

⁷ Servizio Studi – Dipartimento ambiente in collaborazione con l'istituto di ricerca CRESME (a cura di), *Il recupero e la riqualificazione energetica del patrimonio edilizio: una stima dell'impatto delle misure di incentivazione*, pp. 15-16, giugno 2013.

getica⁸. Fattori secondari che spingono ad intervenire sull'esistente - ma comunque da non sottovalutare - riguardano la vetustà del patrimonio edilizio e l'obsolescenza delle sue componenti, associate al desiderio di personalizzare le abitazioni acquistate. Ciò motiva l'incremento di investimento nei tre ambiti principali dalla progettazione, coinvolgendo in tal senso, gli aspetti architettonici, strutturali e impiantistici degli immobili oggetto di intervento in maniera sempre crescente dal 2001 al 2011.

Tabella 1 Stock e attività di recupero al 2001 e al 2011 – Fonte CRESME

	2001		2011	
	Migliaia	%	Migliaia	%
Abitazioni esistenti	27'269	100	30'038	100
Interessate da riqualificazione nei 10 anni	11'871	43,5	17'613	58,6
- Impiantistica	9'729	35,7	12'524	41,7
- Strutture	1'833	6,7	2'756	9,2
- Estetica	7'825	28,7	9'214	30,7

Paradossalmente però, si registra comunque una elevata domanda abitativa, scaturente dalla crescita della popolazione e, soprattutto, dal numero di famiglie. Dal 2004 al 2011 le famiglie sono aumentate di circa 316.000 unità ogni anno. A fronte del forte aumento del numero delle famiglie si è invece assistito a una progressiva riduzione della produzione di nuove abitazioni. Nel periodo compreso tra il 2004 ed il 2011, risultano messe in cantiere, mediamente ogni anno, 228.000 abitazioni. Dal confronto tra abitazioni messe in cantiere e nuove famiglie, risulta un fabbisogno potenziale nel periodo considerato di circa 700.000 abitazioni. Ne deriva che esiste una domanda potenziale di abitazioni che non riesce a trasformarsi in effettiva a causa delle difficoltà della crisi economica e dell'accesso al credito⁹ (Tabella 2).

⁸ Direzione Affari Economici e Centro Studi (a cura di), *Osservatorio congiunturale sull'industria delle costruzioni*, Associazione Nazionale Costruttori Edili ANCE, EDIL-STAMPA, p.7, Roma, dicembre 2013.

⁹ Direzione Affari Economici e Centro Studi (a cura di), *op. cit.*, p. 14.

Tabella 2 Confronto fra il numero di abitazioni e la variazione del numero di famiglie in Italia

	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	totale 2004-2011	Media 2004-2011
Abitazioni (a)	301.558	310.978	295.201	281.740	219.143	163.427	131.184	123.499	1.826.730	228.341
Nuove famiglie (b)	434.502	289.766	307.040	375.075	358.715	263.842	270.751	229.870	2.529.561	316.195
Saldo (a)-(b)	-132.944	21.212	-11.839	-93.335	-139.572	-100.415	-139.567	-106.371	-702.831	

Elaborazione Ance su dati Istat

1.2 Le inefficienze nei metodi di progettazione

*“[...] Architecture, as an industry, broadly conceived, has become less and less able to deliver a superior, evolving, and popularly engaging product that can compete with other, more successful products—with cars, music, movies, sports, and travel, to name a few”.*¹⁰

Ciò era quanto affermava Michael Benedikt in un articolo del 1990 volendo sottolineare il ritardo che il settore delle costruzioni mostrava nei confronti di altri divenuti nel frattempo più evoluti e attraenti. Non riferendosi alla qualità dei prodotti o delle opere stesse progettate ma piuttosto alla industrializzazione delle sue fasi: dall’ideazione alle progettazione e quindi all’esecuzione. Tanto meno l’architettura si è messa in competizione con le industrie in crescita e tanto minore è stato il margine d’azione degli architetti di tentare almeno di ribaltare le cose. Tale gap oggi è ancor più evidente, come dimostrato da svariate indagini e ricerche condotte soprattutto nei paesi anglosassoni: numerosi sono gli sprechi e le inefficienze dovute alla tradizionale pratica di progettazione e realizzazione delle opere di ingegneria. In tal senso la prima indagine più significativa fu condotta da Paul Teicholz con il CIFE (Cen-

¹⁰ “[...] L’architettura come industria, ampiamente concepita, ha incominciato a diventare sempre meno abile a fornire prodotti evoluti di qualità superiore e popolarmente attraenti che possano competere con altri prodotti di maggior successo – come auto, musica, film, sport e viaggi”. Benedikt M., *Less for Less Yet*, in: Harvard Design Magazine, n.7, p.11, Winter/Spring 1999.

ter for Integrated Facility Engineering), presso la Stanford University¹¹ che quantificava la produttività del settore delle costruzioni: secondo tali studi negli Stati Uniti, le industrie private, tra il 1964 e il 2000, hanno raddoppiato la loro produttività, mentre per l'industria delle costruzioni nel 2000 la produttività è diminuita di circa il 30 per cento rispetto al 1964 (Fig. 2). I dati di input contenuti nel grafico sono stati ottenuti dividendo l'importo dei contratti d'appalto per il numero di uomo/ora impiegato per gli stessi contratti in studio. Le voci di costo analizzate comprendevano i costi di progettazione – architettonica e ingegneristica – i costi dei materiali e delle forniture in cantiere degli elementi prefabbricati.

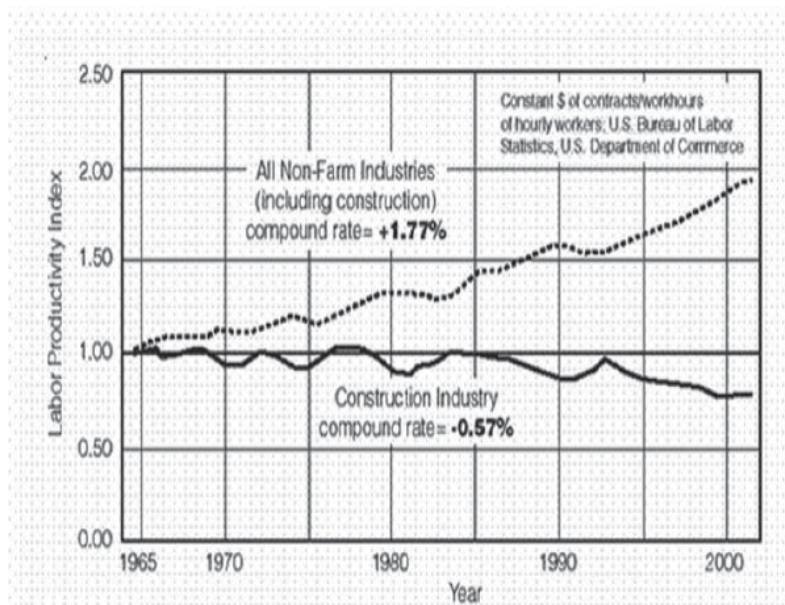


Fig. 2 Indici della produttività lavorativa nel settore delle costruzioni e nel settore produttivo privato

In sintesi, se la industrializzazione delle imprese ha portato notevoli vantaggi in termini di produzione all'interno delle aziende, lo stesso non può dirsi

¹¹ CIFE and CURT, "VDC/BIM Value survey Result", CIFE, Stanford University, 10 March 07. CIFE/CURT, 25 June 07. <http://cife.stanford.edu/VDCSurvey.pdf>.

del settore edile, in cui, data la complessità e la non riproducibilità in serie del “prodotto”, sussiste ancora un certo grado di inefficienza.

In tale senso, nel 2002 anche il National Institute of Standards and Technology (NIST) condusse un’indagine al fine di individuare le perdite economiche nel settore edile associate ai tradizionali metodi progettuali e costruttivi. L’indagine, basata su interviste dirette e sondaggi via internet, dimostra che su un totale di capitale investito per la progettazione, la realizzazione e la gestione di edifici commerciali, industriali e istituzionali, sia di nuova costruzione che in corso di costruzione – quantificato in 865 miliardi di dollari –, le perdite ammonterebbero a 15,8 miliardi (pari all’1,8

Tabella 3 Costi dovuti all’inadeguata interoperabilità nel settore AEC Statunitense (in milioni di \$) rispetto al capitale investito

Architects and Engineers^a		
NAICS 54131	Architectural services	16,988.4
NAICS 54133	Engineering services	88,180.7
Subtotal		105,169.0
Interoperability cost estimate (\$)		1,169.8
Interoperability cost estimate (%)		1.11%
General Contractors^a		
NAICS 2333	Nonresidential building construction	209,269.2
Interoperability cost estimate (\$)		1,801.6
Interoperability cost estimate (%)		0.86%
Specialty Fabricators and Suppliers^a		
NAICS 2351	Plumbing, heating, and air conditioning contractors	88,427.4
NAICS 2353	Electrical contractors	64,915.1
NAICS 23591	Structural Steel Erection contractors	8,152.7
NAICS 23592	Glass and Glazing contractors	4,045.5
NAICS 23594	Wrecking & Demolition contractors	2,304.0
NAICS 23595	Building equipment & other machinery installation contractors	9,342.9
Subtotal		177,187.7
Interoperability cost estimate (\$)		2,204.6
Interoperability cost estimate (%)		1.24%
Owners and Operators^b		
Annual value of construction put in place, 2002		374,118.0
Interoperability cost estimate (\$)		10,648.0
Interoperability cost estimate (%)		2.84%

^aU.S. Census Bureau. 2004a. “1997 Economic Census: Summary Statistics for United States 1997 (NAICS Basis). <http://www.census.gov/epcd/ec97/us/US000.HTM>. As obtained on April 1, 2004.

^bU.S. Census Bureau. 2004b. “Annual Value of Construction Set In Place.” As released on April 1, 2004 at <http://www.census.gov/const/C30/Total.pdf>.

%). Le cause sono da ricerca negli inadeguati metodi di scambio e uso delle informazioni. I costi della scadente interoperabilità sono stati valutati dal confronto tra gli attuali costi e affari con scenari ipotetici, supponendo un flusso di informazione fluido e senza ridondanza di dati.

Tabella 4 Costi (milioni di \$) dovuti all'inadeguata interoperabilità valutata per ciascun gruppo di interesse durante l'intero ciclo di vita dell'immobile

Stakeholder Group	Planning, Engineering, and Design Phase	Construction Phase	Operations and Maintenance Phase	Total
Architects and Engineers	1,007.2	147.0	15.7	1,169.8
General Contractors	485.9	1,265.3	50.4	1,801.6
Specialty Fabricators and Suppliers	442.4	1,762.2	—	2,204.6
Owners and Operators	722.8	898.0	9,027.2	10,648.0
Total	2,658.3	4,072.4	9,093.3	15,824.0

La causa di tali perdite è imputabile a uno scarso livello di interoperabilità (Tabella 4), riscontrabile in fattori quali: l'elusione (dovuta a sistemi informatici ridondanti, sistemi di gestione del processo inefficienti, eccessiva fornitura di personale IT); la mitigazione (dovuta alla re-immissione manuale di dati, e alla richiesta di gestione dell'informazione); il ritardo (dovuto a costi per inefficienze degli impiegati)¹², fattori questi che contribuiscono ad accrescere le perdite economiche. Nell'industria delle costruzioni, infatti, l'incompatibilità tra i sistemi utilizzati dai diversi professionisti spesso impedisce ai membri del team di progettazione uno scambio rapido e accurato di informazioni legate al progetto, concetto noto con il termine interoperabilità¹³. In termini pratici, il 16,8% delle perdite si verifica nella fase di progettazione, il 25,7% nella fase di

¹² Zacchei, V. *Building Information Modeling. Nuove tecnologie per l'evoluzione della progettazione-costruzione*, Aracne editrice, p. 4, Roma, 2010.

¹³ Gallaher, M.; O'Connor, A.; Dettbarn, J.; Gilday, L. *Cost Analysis of In-adequate Interoperability in the U.S. Capital facilities Industry*. Gaithersburg, Maryland, NIST (National Institute of Standards and Technology), U.S. Department of Commerce Technology Administration, 2007. <http://www.fire.nist.gov/bfrlpubs/build04/art022.html>.

costruzione e ben il 57,5% durante le fasi di manutenzioni ordinarie e straordinarie.

1.3 I costi della gestione immobiliare in Italia

Gli studi innanzi enunciati, pur sulla base di stime teoriche, sviluppate a partire da dati non sempre disponibili o accurati, meritano comunque una certa attenzione poiché evidenziano i punti deboli del sistema di gestione dell'intero iter progettuale ed esecutivo dell'opera edilizia; non a caso anche l'Economist ne mostra interesse pubblicando un articolo nel 2008 dimostrando che le perdite economiche dovute a errori di coordinamento e scarsa collaborazione nel settore edile varierebbero tra il 2% e il 5% dell'intera commessa, dimostrandosi perciò in linea con le precedenti indagini.

È evidente che il settore edile soffre ancora l'inadeguato livello di efficienza nell'implementazione di metodologie informatiche che avrebbero invece – se ben implementate – tutto il potenziale per accrescere il livello di produttività della singola azienda e quindi dell'intero settore. Se si stima che il valore della produzione edilizia nel 2013 in Italia è pari a 173,5 miliardi di euro, e di questi il 66,4% sono impiegati nel recupero edilizio (Tabella 5) e si adottano le stime statunitensi riportate in Tabella 4, in Italia le perdite economiche dovute alla scarsa interoperabilità ammonterebbero a circa 3000 milioni di euro (Tabella 6), di cui ben 1800 circa nella sola fase di manutenzione. Tendenzialmente queste cifre non possono che aumentare anche in considerazione del diverso e meno efficiente sistema normativo e regolamentare italiano.

Tabella 5 Produzione totale italiana legata al settore edile

PRODUZIONE TOTALE	2013	Valore assoluto
Recupero	66,4	115'110
Manutenzione ordinaria	18,6	36'215
Manutenzione straordinaria	40,9	78'895
- di cui Residenziale	22,9	45'003
Nuova costruzione	29,3	50'951
- di cui Residenziale	11,5	19'797
Fonti energetiche rinnovabili	4,3	7'461
	100	173'522

Le cause, come dimostrato nei capitoli successivi, sono da riscontrare nell'obsoleto ordinamento normativo e regolamentare della materia edilizia, ancorata ad una norma del 1994 – la Merloni ter –; ad un inadeguato livello di “comunicazione” tra gli attori della filiera edilizia; alla mancanza o assenza di un valido – e in alcuni casi certo – supporto documentale propedeutico alla fase decisionale che anticipa il progetto di variante, o di adeguamento o di manutenzione.

Alle incomprensioni, ai ritardi e alla frammentazione delle diverse fasi progettuali, si aggiungono necessariamente ulteriori incomprensioni, ritardi e frammentazioni durante la fase esecutive a causa della farraginosità degli appalti progettuali italiani, ragion per cui, i numeri estrapolati dalle indagini precedentemente esaminate, non possono che essere più catastrofici se rapportati alla nostra realtà nazionale.

Tabella 6 Sintesi delle possibili perdite economiche

	USA (m\$)	Italia (m€)
Capitale totale investito	865'743,9	173'522
Costi per inadeguata interoperabilità	15'824	3'171,6
Costi per fasi di intervento e manutenzione	9'027,3	1'807,8

La complessità del processo e la difficoltà della gestione dei rapporti tra i diversi attori e le diverse funzioni-competenze coinvolte nel ciclo di vita del prodotto edilizio (committente, progettazione, fornitura componenti, realizzazione) che caratterizzano in modo indifferenziato il processo produttivo delle costruzioni, sia pubblico che privato, sommate agli innumerevoli adempimenti burocratici, alla frammentarietà del sistema decisionale e agli ostacoli istituzionali, portano inevitabilmente alla perdita di qualità nei prodotti, nei processi, nei servizi e nel prodotto edilizio finale, incrementando inevitabilmente il costo dell'errore, che tutto sommato è un fattore tenuto in poco conto nel nostro Paese: tempi lunghi, fasi non sinergiche, inesperienza, debolezza nella progettazione sono considerati endemici¹⁴.

¹⁴ Zacchei, V. *Op. cit.* p.7.

2 Alcune cause della cattiva interoperabilità

2.1 Premessa

Il patrimonio edilizio italiano si compone di una notevole varietà di tipologie e tecniche costruttive che mescolandosi tra loro hanno dato vita ad un patrimonio immobiliare quasi unico in tutto il territorio europeo.

Da quanto evidenziato nel capitolo precedente, esso risulta sovrabbondante rispetto alla richiesta abitativa e alle esigenze attuali, evidenziando come la necessità di rinnovo dell'infrastruttura immobiliare sia superiore rispetto alla necessità di realizzare nuove abitazioni e nuove costruzioni in generale. Una presa di coscienza dell'importanza dell'esistente rispetto al nuovo, può, senza ombra di dubbio, rappresentare un incredibile volano economico e quindi un ulteriore tentativo di crescita occupazionale. Ciò perché, i meccanismi che si instaurano intervenendo sul patrimonio edilizio esistente, sono tali da innescare in maniera diffusa e capillare la piccola e media impresa e di conseguenza tutto l'indotto che, nel settore edilizio, rappresenta una notevole quota parte. Intervenire sull'esistente significa coinvolgere diverse aree dell'ingegneria e dell'architettura, significa abbracciare diversi settori progettuali avendo a che fare, nella maggior parte dei casi, con opere datate e realizzate nel rispetto di norme in materia di sicurezza sismica ormai superate e di efficientamento energetico che all'epoca di costruzione dell'opera, ancora non esistevano.

In tal senso, è stato lungimirante il legislatore che, recentemente, ha consentito *"[...] in deroga agli strumenti urbanistici vigenti, per uso abitativo, l'ampliamento fino al venti per cento della volumetria esistente"* (comma 1, art. 4 L.R. 1/2011) e ancora *"[...] l'aumento, entro il limite del trentacinque per cento, della volumetria esistente degli edifici residenziali per interventi di demolizione e ricostruzione"* (comma 1, art. 5 L.R. 1/2011), mediante *"[...] l'utilizzo di tecniche costruttive, anche con utilizzo di materiale eco-compatibile, che garantiscano prestazioni energetico-ambientali nel rispetto dei parametri stabiliti dagli atti di indirizzo regionali e dalla normativa vigente; il rispetto delle prescrizioni tecniche di cui al decreto ministeriale n.236/1989, attuativo della legge 9 gennaio 1989, n. 13; la conformità alle norme sulle costruzioni in zona si-*

smica [...]” (lettere a, b, c comma 5, art. 5)¹⁵. Ciò appunto per incentivare nuovamente gli investimenti in un settore ormai in stallo.

Agli ‘stimoli’ urbanistici, si sono susseguiti nuove forme incentivanti di carattere economico e, nello specifico, di tipo fiscali con l’emanazione di dispositivi atti a promuovere gli interventi su edifici esistenti con finalità diverse: ne sono un esempio le detrazioni fiscali per interventi su edifici esistenti, i finanziamenti diretti nell’ambito del QSN 2007-2013 e del POI Energia, il nuovo ‘Decreto Termiche’, il Fondo rotativo Kyoto e i Titoli di Efficienza Energetica (quest’ultimi riguardanti il settore industriale) per l’accrescimento dell’efficienza energetica; e ancora, i fondi per la prevenzione del rischio sismico così come previsto dall’articolo 11 della legge n. 77 del 24 giugno 2009 di conversione del decreto legge n. 39 del 28 aprile 2009 per la ricostruzione in Abruzzo, che prevedeva il finanziamento di interventi per la prevenzione del rischio sismico su tutto il territorio nazionale, grazie ad un fondo istituito nello stato di previsione del Ministero dell’economia e delle finanze¹⁶.

Se i tentativi di incentivare gli interventi sull’esistente sono notevoli e, dal punto di vista urbanistico, interessanti, è nelle fasi di messa a punto della strategia progettuale sul patrimonio edilizio esistente che vengono fuori le difficoltà e risultano evidenti le falle di un sistema normativo ormai datato e radicato a un modo di fare edilizia poco impulsivo. Questo perché manca un vero e proprio approccio unitario – o meglio ancora una educazione – alla gestione dei beni immobili, di cui – come anticipato – ne è ricco il nostro paese.

Risulta evidente la complessità anche solo nell’effettuare delle operazioni che, in un’era così digitalizzata come la nostra, richiederebbero un semplice click e non, come purtroppo ancora accade, attese interminabili che spesso conducono a poco o niente.

¹⁵ Bollettino ufficiale della regione Campania, “*Modifiche alla legge regionale 28 dicembre 2009, n. 19 (misure urgenti per il rilancio economico, per la riqualificazione del patrimonio esistente, per la prevenzione del rischio sismico e per la semplificazione amministrativa) e alla legge regionale 22 dicembre 2004, n. 16 (norme sul governo del territorio)*”, URL: <http://burc.regione.campania.it>.

¹⁶ Protezione civile Presidenza del Consiglio dei Ministri, Dipartimento della Protezione Civile, URL: http://www.protezionecivile.gov.it/jcms/it/piano_nazionale_art_11.wp.

Difficoltà nel reperire i dati di input per la redazione dei progetti, lungaggini burocratiche e assenza di informazioni certe sul costruito, infatti complicano – o quantomeno prolungano – già solo i tempi di redazione di un progetto di manutenzione, senza poi parlare delle discrepanze che si riscontrano in sito tra il ‘progettato’ e il ‘realizzato’, che allungano ulteriormente i tempi di ultimazione dei lavori. Tutto ciò non fa altro che scoraggiare un settore già in ginocchio e, al tempo stesso, diluire ulteriormente la gestione delle commesse da parte di tecnici interessati. Anche in questo caso, il legislatore ha tentato più volte di migliorare l’aspetto gestionale del patrimonio immobiliare mediante l’introduzione di adempimenti burocratici che, però, nella maggior parte dei casi, non hanno fatto altro che riempire scaffali e depositi di uffici ed enti preposti al loro recepimento.

2.2 I principali strumenti di gestione degli immobili in Italia

In un paese che si fonda sulle ‘carte’, la gestione e manutenzione degli immobili non può che essere la conseguenza diretta della redazione di atti o documenti che spesso sono tra loro slegati e senza un approccio unitario e, cosa ancor più grave, frutto di modifiche e rimescolamenti di documentazioni già redatte. Nello specifico tali atti preposti alla gestione del patrimonio immobiliare italiano sono rappresentati dal Piano di Manutenzione dell’opera e delle sue parti (DPR 207/2010, Regolamento attuativo del Codice dei contratti); dall’Attestato di Prestazione Energetica (Direttiva 2010/31/UE, Rendimento energetico nell’edilizia); dal Fascicolo delle caratteristiche dell’opera (d.lgs. 81/2008, Tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro), a cui si aggiunge il Fascicolo del fabbricato (a cui verrà dedicato un paragrafo a parte).

Il tutto però concretizza un grande caos documentale dovuto all’assenza di un approccio unitario al problema per avere professionalità e caratteristiche esclusivamente settoriali, ciò comportando l’incertezza sui dati da cui partire per la redazione di progetti sull’esistente e, quindi, la necessità di effettuare indagini in loco e documentali presso gli uffici preposti. Ciascuno di tali documenti avrebbe la funzione di pianificare e programmare, sulla base degli elaborati esecutivi, gli interventi a farsi sulla stessa opera, comprendendo, ad esem-

pio, raccomandazioni sull'intervento più efficace ed economicamente più vantaggioso, favorendo al tempo stesso l'attività di tutela della sicurezza dei lavoratori durante l'esercizio dell'opera e durante la gestione nell'intero ciclo di vita dell'opera eseguita.

Piano di Manutenzione dell'opera e delle sue parti¹⁷

"[...] il documento complementare al progetto strutturale che ne prevede, pianifica e programma, tenendo conto degli elaborati progettuali esecutivi dell'intera opera, l'attività di manutenzione dell'intervento al fine di mantenerne nel tempo la funzionalità, le caratteristiche di qualità, l'efficienza ed il valore economico."

Attestato di Prestazione Energetica¹⁸

"[...] L'attestato di prestazione energetica comprende raccomandazioni per il miglioramento efficace o ottimale in funzione dei costi della prestazione energetica dell'edificio o dell'unità immobiliare".

Fascicolo dell'opera¹⁹

"[...] Definire tutte le informazioni in grado di facilitare l'attività di tutela della sicurezza e della salute del personale incaricato, durante l'esercizio dell'opera, dell'esecuzione di tutti quei lavori necessari (e prevedibili), per la futura gestione (manutenzione compresa) dell'opera eseguita".

¹⁷ D.P.R. 5 ottobre 2010, n. 207, comma 1 art. 38, *Regolamento di esecuzione ed attuazione del decreto legislativo 12 aprile 2006, n. 163, recante «Codice dei contratti pubblici relativi a lavori, servizi e forniture in attuazione delle direttive 2004/17/CE e 2004/18/CE»*, URL: http://www.bosettiegatti.eu/info/norme/statali/2010_0207.htm.

¹⁸ Direttiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 19 maggio 2010 sulla prestazione energetica nell'edilizia, comma 2 art. 11, URL: http://efficienzaenergetica.acs.enea.it/doc/direttiva_2010-31-ue.pdf.

¹⁹ Decreto Legislativo 9 aprile 2008, n. 81, art. 91, *Attuazione dell'articolo 1 della legge 3 agosto 2007, n. 123, in materia di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro*, URL: http://www.bosettiegatti.eu/info/norme/statali/2008_0081.htm.

2.3 L'idea del fascicolo del fabbricato

Agli elaborati innanzi menzionati, si aggiunge un ulteriore fascicolo che, nell'idea del legislatore, avrebbe dovuto rappresentare una sintesi concreta ed efficace di tutti gli elaborati alla base della gestione durante l'intero ciclo di vita del fabbricato. Purtroppo, tra intrighi burocratici e scarsa volontà nella sua promulgazione, il fascicolo del fabbricato è ancora oggi un 'optional' di cui si fa volentieri a meno.

A seguito di un disegno di legge comunicato alla Presidenza del Senato il 29 novembre 2011, è tornata di nuovo attuale l'idea di dotare tutti i fabbricati di nuova realizzazione e oggetto di interventi edilizi di un cosiddetto Fascicolo del fabbricato. Come spesso accade nella nostra nazione ci si dota degli strumenti necessari per superare le crisi o le emergenze quando oramai è troppo tardi, quando cioè ci si trova già in fase di crisi o di emergenza. Soffermandoci alla nostra realtà regionale ad esempio la redazione dei piani stralcio dell'autorità di bacino e quindi le carte di rischio idraulico, idrogeologico e frane sono state pubblicate solo a seguito del tragico evento di Sarno del maggio del '98. Gli eventi sismici de L'Aquila del 2009 hanno perciò riportato sotto i riflettori un argomento che in realtà ha un'origine lontana riguardante l'istituzione obbligatoria del Fascicolo del Fabbricato. La maggior parte del nostro patrimonio immobiliare è datato e sottoposto ad una scarsissima, se non proprio inesistente, manutenzione e, purtroppo, fenomeni catastrofici quali inondazioni, terremoti, frane, mettono a nudo la sua vulnerabilità.

In quel disegno di legge, l'avvento delle nuove norme tecniche per le costruzioni (testo unico delle disposizioni legislative e regolamentari in materia edilizia, di cui al decreto del Presidente della Repubblica 6 giugno 2001, n. 380; ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003; ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3431 del 3 maggio 2005; decreto del Ministro delle infrastrutture del 14 gennaio 2008, recante nuove norme tecniche per le costruzioni, e la relativa circolare applicativa n. 617 del 2 febbraio 2009, direttiva del Presidente del Consiglio dei Ministri del 9 febbraio 2011), era stato promotore di un nuovo approccio progettuale: non più di tipo prescrittivo bensì di tipo prestazionale e quindi fondato sul raggiungimento dei risultati. Ciò impone di conseguenza a tutti i partecipanti alla filiera costruttiva

maggiori sforzi e responsabilità soprattutto in fase di collaudo e di esercizio dell'opera stessa.

Un primo tentativo di introduzione di detto fascicolo (anche in questo caso spinto dall'emotività del momento dettata dal crollo di una palazzina a Barletta che causò la morte di 67 persone) fu avanzato nella XIII Legislatura, durante il Governo D'Alema-I, presentando e approvando quale disegno di legge governativo, l'atto del Senato n. 4339 recante disposizioni in materia di apertura e regolazione dei mercati. Da esso, però, furono stralciati gli articoli da 5 a 12 in materia di regolazione del mercato edilizio che andarono a formare l'atto Senato 4339-bis, mai approvato. Le tematiche principali riguardavano la messa in sicurezza e la manutenzione programmata del patrimonio edilizio, demandando in maniera graduale, l'obbligo di dotazione di tale fascicolo da parte dei Comuni (art. 2 disegno di legge 4339 bis).

Il comma 1 dell'art. 1 così recitava: *"[...] Sul fascicolo sono annotate le informazioni relative all'edificio di tipo identificativo, progettuale, strutturale, impiantistico, con l'obiettivo di pervenire ad un idoneo quadro conoscitivo a partire, ove possibile, dalle fasi di costruzione dello stesso, e sono registrate le modifiche apportate rispetto alla configurazione originaria, con particolare riferimento alle componenti statiche, funzionali e impiantistiche."*

In particolare i Comuni avevano l'obbligo di individuare le aree al cui interno erano compresi i fabbricati da assoggettare prioritariamente al programma di messa in sicurezza del patrimonio edilizio, attraverso la puntuale ricognizione del singolo fabbricato e del relativo stato di conservazione, nonché l'attuazione delle misure tese a favorirne la manutenzione programmata.

Successivamente la responsabilità era trasferita ai professionisti, con anzianità di iscrizione nel rispettivo albo professionale non inferiore ad anni dieci, incaricati di predisporre tale fascicolo e ogni suo aggiornamento.

Purtroppo però tale tentativo di 'razionalizzazione e formalizzazione del processo conoscitivo e manutentivo del patrimonio edilizio' non ha mai incontrato grande condivisione di intenti a causa della presunta onerosità in fase di redazione per i proprietari e addirittura, fatto abbastanza sconcertante, per una temuta possibile perdita di valore degli immobili. Tesi confermata anche dalla sentenza del T.A.R. del Lazio che rese nulla l'obbligatorietà della sua re-

dazione, in quanto gli adempimenti previsti si ritengono eccessivamente gravosi per i proprietari ed inutili trattandosi per lo più di dati che sarebbero già in possesso della pubblica amministrazione ovvero da essa facilmente reperibili.

Allo stato attuale delle cose, il sopracitato disegno di legge n. 3032 del 2011 non ha tuttavia completato l'iter di approvazione parlamentare. Di contro però cinque regioni italiane si sono dotate di una propria legge regionale o, come per la Campania e la Basilicata, ne hanno introdotto l'obbligo con la legge sul Piano Casa.

In realtà, ad oggi, sono pochi i casi in cui la redazione del fascicolo non si concretizza in un mero 'copia e incolla' di informazioni e dati reperiti in maniera superficiale e frettolosa al solo fine di produrre 'carte' dalla dubbia valenza tecnica confermando in tal modo, quanto asserito nella sentenza del T.A.R. del Lazio del 2006.

2.4 Dal fascicolo del fabbricato alla sua digitalizzazione

Sembra evidente la necessità di dotare qualsiasi fabbricato, sia esso di tipo residenziale che industriale che agricolo, di un documento che contenga al suo interno tutte le informazioni necessarie per la conoscenza piena e approfondita del bene di riferimento.

Tali informazioni, se già possedute dalle amministrazioni comunali e provinciali, risultano in molti casi di difficile reperimento da parte di tecnici e manutentori incaricati di intervenire sull'esistente. Da una parte le lungaggini delle procedure burocratiche per l'ottenimento di documenti depositati presso gli enti di competenza, dall'altra l'assenza di tutte le informazioni necessarie, complicano le semplici operazioni di rilievo documentale che rappresenta appena la fase embrionale dell'iter progettuale (sia essa relativa a lavori di manutenzione di tipo architettonico, strutturale o impiantistica).

C'è inoltre da ricordare che gli iter burocratici e amministrativi che precedono la realizzazione di un immobile sono numerosi e molte volte si intrecciano tra di loro; come spesso si intrecciano e sovrappongono gli obblighi delle varie figure professionali chiamate a redigere i relativi progetti.

Basti pensare che già solo per l'ottenimento del certificato di agibilità relativo ad una nuova costruzione, sono richiesti (tralasciando tutte le relazioni tecniche del caso) elaborati progettuali quali: piante, sezioni e prospetti del progetto architettonico; calcoli illuminotecnici; calcoli dell'areazione e dimensionamento dei locali; planimetrie della rete fognaria di progetto; allacciamento delle reti; indicazione degli impianti tecnologici; progetto dell'impianto termico; progetto dell'impianto idrico-sanitario; progetto dell'impianto elettrico; progetto sul contenimento energetico; certificato acustico preventivo; progetto degli impianti di anti incendio; calcolo delle strutture portanti, ecc.

Si evince che la mole di lavoro e di documentazione da produrre è notevole e non da meno sarà lo sforzo che il manutentore si troverà a compiere nel caso di intervento sullo stesso edificio. Lo scopo del fascicolo del fabbricato è appunto quello di raccogliere tutte le informazioni necessarie per la corretta gestione dell'immobile e per la predisposizione di interventi successivi alla sua redazione: in esso andrebbero raccolte tutte le informazioni quali numeri e data di protocollo di tutta la documentazione prodotta ai fini dell'ottenimento del certificato di agibilità. Ad oggi, resta però in capo al tecnico incaricato della manutenzione il reperimento della documentazione tecnica necessaria per la redazione del progetto di manutenzione. A titolo di esempio, nel caso di intervento di efficientamento energetico, il progettista dovrà prima di tutto indagare sullo stato di fatto e quindi sulle tipologie, caratteristiche e stratigrafie dei materiali che compongono gli elementi opachi e trasparenti verticali, gli elementi opachi orizzontali dell'involucro edilizio su cui intervenire e, successivamente, progettare l'intervento tale da migliorare lo stato attuale delle cose e quindi il comfort abitativo.

Analogamente, il progettista strutturale chiamato ad intervenire su un edificio oggetto ad esempio di sopraelevazione, dovrà prima di tutto prendere confidenza con le strutture portanti, reperendo presso gli uffici di competenza gli elaborati progettuali strutturali utilizzati per la realizzazione delle strutture. Successivamente, dovrà procedere a campione con la verifica della documentazione progettuale mediante indagini in sito che, per la maggior parte delle volte, saranno di tipo distruttivo (carotaggi, prove di pull-out, prove per la determinazione della profondità di carbonatazione, analisi chimiche, saggi diretti,

prelievi, ecc.). Tali operazioni, proprie delle fasi di rilievo sia tecnico che documentale, comportano inevitabilmente un dispendio di risorse economiche (per il committente) e temporali (per il tecnico); quest'ultimo prima ancora di approntare il progetto di efficientamento energetico, o di adeguamento strutturale, si barcamenerà tra enti, uffici e laboratori di analisi al fine di raccogliere tutta la documentazione necessaria per poter redigere il progetto richiestogli.

È evidente che in una realtà in cui il patrimonio edilizio esistente è sovrabbondante rispetto alla richiesta abitativa e alle esigenze attuali, l'attenzione si sposta necessariamente dalla costruzione di nuovi edifici alla conservazione di quelli esistenti e alla bonifica di insediamenti dismessi.

Si rende perciò attuale la problematica relativa alla manutenzione del patrimonio edilizio sia in termini di gestione del bene che in termini di qualità dell'intervento, così da trasformare una semplice attività manutentiva in una attività di carattere manageriale, volta alla conservazione dell'edificio. La gestione, a sua volta, comprenderà sia l'organizzazione dell'intervento sia la manutenzione del bene.

Ciò si rende possibile allorché vi sia una altrettanto fondamentale conservazione dei dati (dell'immobile) nel tempo, conservazione necessaria per avere interventi efficaci e meno costosi.

Se è lodevole (ma mai portato a compimento) l'intento del legislatore di racchiudere tutte le informazioni necessarie all'interno di un unico documento cartaceo, è evidente il ritardo della nostra nazione nei riguardi di nuove forme di 'condivisione progettuale': viviamo nell'era del WEB 2.0 in cui la quantità di dati e di informazioni disponibili ha subito un incremento esponenziale permettendo da un lato un facile accesso ad essi ma allo stesso tempo creando un elevato livello di confusione, favorito dalla ridondanza e da un carente sistema di verifica e di monitoraggio²⁰.

²⁰ Osello, A., Dalmaso, D., Del Giudice, M., Erba, D., Ugliotti, F.M., Patti, E., Davardoust, S., *Interoperabilità e interdisciplinarietà dell'informazione: l'approccio BIM dal progetto SEEMPubS al progetto DIMMER*, URL: <http://www.agenziaentrate.gov.it/wps/file/Nsilib/Nsi/Documentazione/Archivio/Territorio+Italia/Archivio+Territorio+Italia+->

Sembra allora ovvia l'introduzione di un fascicolo del fabbricato digitale o, meglio ancora, la digitalizzazione del fabbricato con l'intento di fornire in tempo reale e all'occorrenza informazioni necessarie per gestire le fasi di manutenzione ordinaria, coordinare le fasi di manutenzione straordinaria e progettare i corretti interventi di carattere strutturale, impiantistico e architettonico. Il bagaglio di conoscenza si amplia, il 'libretto di istruzione' è presente e facilmente accessibile a chiunque ne abbia i diritti direttamente in loco e, in caso di necessità, risulterà di facile lettura e interpretazione.

In tale ottica, le tecnologie IC, se ben implementate, possono rappresentare, degli utili 'strumenti di lavoro' in grado di modificare drasticamente il modo di concepire il 'sistema edificio' dalla sua progettazione alla sua manutenzione, per l'intero ciclo di vita, dismissione compresa. Tali sistemi infatti consentono di non disperdere, ma anzi di immagazzinare e registrare le informazioni, in maniera puntuale garantendo una reale continuità tra le fasi progettuali e durante l'intero ciclo di vita dell'edificio.

Purtroppo l'Italia, a differenza dei paesi anglosassoni, si mostra ancora prudente nei confronti delle innovazioni, specialmente quando esse interessano il settore edile; il tutto si enfatizza ancor più quando il modello organizzativo alla base della disciplina edilizia risulta poco flessibile e poco votato all'innovazione tecnologica.

2.5 I differenti approcci organizzativi

Altro fattore che influenza i costi di progettazione e gestione delle opere in Italia è strettamente connesso al differente approccio organizzativo che, rispetto a realtà più dinamiche, si dimostrano più farraginosi e sicuramente più frammentarie, comportando necessariamente delle evidenti diseconomie. Quando si parla di approccio organizzativo si vogliono intendere le diverse modalità di gestione dell'iter procedurale che governa un intero processo e, nel caso specifico, quello edilizio. Processo che varia in funzione del modello adottato e, di conseguenza, delle iterazioni e del rapporto che si instaura tra gli ope-

ratori stessi. Ruoli e competenze variano in funzione della scelta del modello così da stabilire in alcuni casi un rapporto gerarchico fra operatori o, nel caso contrario, una partnership tra essi.

Le forme principali di organizzazione del processo edilizio sono essenzialmente due, apparentemente rigide ma in continua evoluzione: al primo caso, in cui è il committente a gestire l'intero processo, appartiene l'approccio tradizionale, tradizionale evoluto, l'approccio integrato; al secondo, in cui la gestione è affidata al costruttore, appartengono gli approcci per programmi, per sistemi aperti e per agenzie, dove cioè si sviluppa un'attività di tipo manageriale da parte del committente stesso o di un suo consulente e cioè il construction management, il project management e il management contracting.



Fig. 3 Processi edilizi, approcci tradizionali e approcci innovativi

Che si tratti di grandi o di piccoli interventi, pubblici o privati, l'appalto tradizionale è sicuramente il modello organizzativo più utilizzato e semplice che vede il committente – o meglio ancora il suo tecnico di fiducia – governare l'intero processo edilizio. Tale approccio prevede delle relazioni di tipo univoco e consequenziali fra i diversi attori dell'intera filiera, tenute insieme dal coordinamento del committente: il progettista – scelto dal committente – realizzerà il progetto coinvolgendo solo in un secondo momento il costruttore che, dovrà necessariamente adattare le proprie modalità di lavoro alle caratteristiche dell'opera da realizzare. I rischi che si corrono con questo tipo di approccio so-

no legati alla frammentarietà dell'iter progettuale e alla probabilità di 'portare' a valle un errore generato a monte. Ciò accade in quella che viene definita multi organizzazione temporanea, cioè un team composto da più organizzazioni (tecnici, imprese, ecc.) che sono indipendenti tra loro, ma che prendono decisioni interdipendenti: gli obiettivi del singolo partecipante tendono a prevalere su quelli del team, incidendo sull'efficienza e l'efficacia dell'intera organizzazione e qualità del risultato finale. Le criticità evidenziate dall'approccio tradizionale, sono state superate in maniera differente dai vari Paesi: in Francia sono subentrati i tecnici delle assicurazioni creando un equilibrio basato sulla logica dei costi iniziali; in Gran Bretagna e USA sono invece subentrati tecnici esperti in gestione dei processi, al fine di ottimizzare il seppur labile coordinamento iniziale.

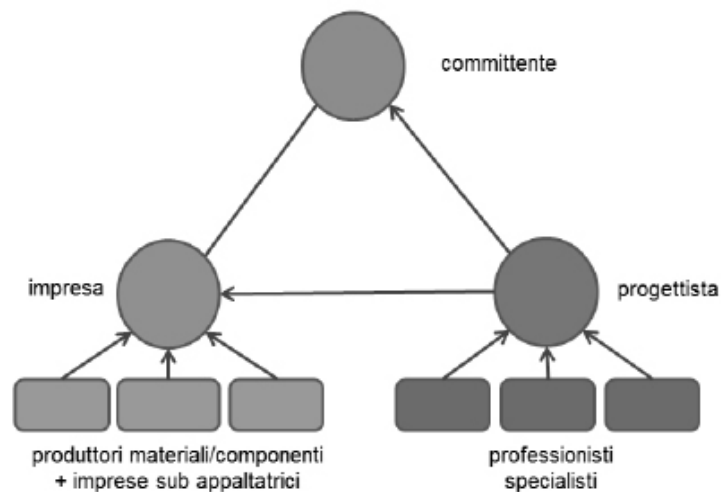


Fig. 4 Schematizzazione dell'approccio tradizionale

L'approccio tradizionale evoluto rappresenta una variante all'approccio tradizionale differenziandosi per il fatto che la committenza tende a organizzare al proprio interno una struttura tecnica di progettazione, come accade in genere con quelle istituzioni pubbliche e private che gestiscono dei patrimoni

immobiliari²¹: la struttura tecnica svolgerà contemporaneamente la funzione di progettazione, direzione lavori e gestione degli immobili.

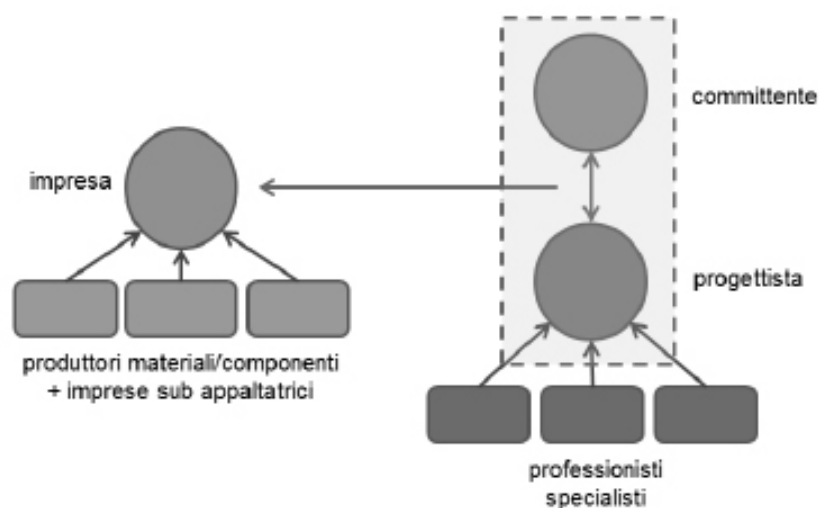


Fig. 5 Schematizzazione dell'approccio tradizionale evoluto

L'appalto integrato si configura invece come un approccio di tipo evoluto secondo il quale oltre alla realizzazione, anche la responsabilità della progettazione viene trasferita in seno all'impresa affidataria che, mediante un suo team di fiducia provvederà alla progettazione definitiva apportando migliorie al progetto preliminare eseguito dalla stazione appaltante. I vantaggi sono notevoli e legati ad una forte riduzione dei tempi e all'incremento degli aspetti tecnologici legati all'opera da realizzare. Pur essendo un approccio di tipo episodico, esso si fonda su una logica sicuramente più stabile dei precedenti.

²¹ Missori, A. *Appunti sui modelli organizzativi del processo edilizio*, Università IUAV di Venezia, Febbraio 2011, p.13.

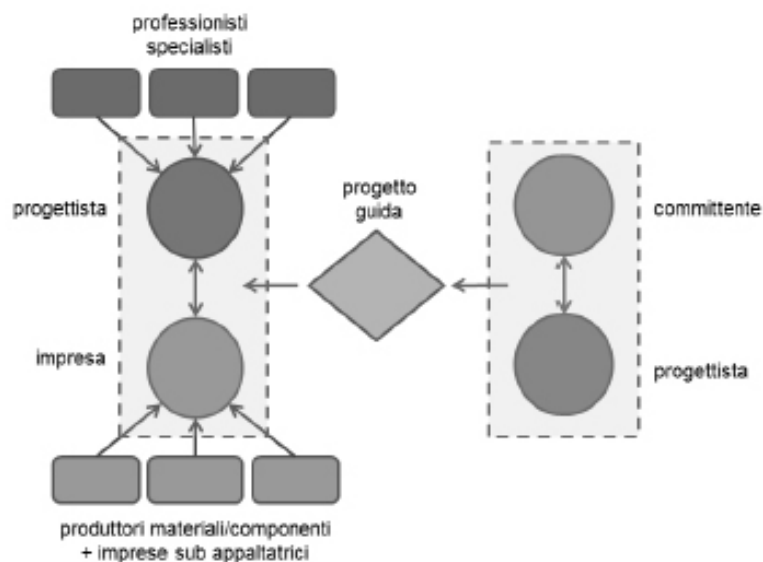


Fig. 6 Schematizzazione dell'approccio tradizionale integrato per appalto chiavi in mano

All'estero, in particolare negli Stati Uniti, sono state sviluppate diverse tipologie di approcci a gestione integrata in cui è comunque sempre il costruttore ad assumere la leadership del processo e a coordinare progettazione e costruzione: Turn Key Project; Developer Proposal; Package Deal; Design/Build; Early Tendering. Mentre i primi tre corrispondono alle formule di appalto 'chiavi in mano' gli ultimi due rappresentano appalti di 'progettazione e costruzione'. In particolare la formula dell'Early Tendering (appalto anticipato), permette al committente di scegliere il costruttore e affidargli l'appalto quando ancora il progetto è definito solo nelle sue linee generali. In questo modo il costruttore si farà carico di iniziare immediatamente la costruzione e al tempo stesso di completare il progetto.

Questo suppone che il costruttore abbia una struttura tecnica interna di progettazione e il vantaggio, per entrambe le parti, consiste in una riduzione dei tempi di intervento, in quanto esiste una sovrapposizione tra fase progettuale ed esecutiva.

Il costruttore è quindi responsabile che l'opera nel suo complesso soddisfi le esigenze del committente. Questo viene in genere assicurato dalla supervisione di consulenti della committenza che controllano la coerenza tra le linee generali del progetto iniziale e gli avanzamenti progettuali predisposti dal costruttore (verso l'approccio per agenzie). Questa formula può anche formularsi nella variante del *phased bidding* (appalto in più fasi) che consiste nell'anticipazione dell'appalto di alcune parti dell'edificio (eventualmente come appalto concorso) rispetto alle altre, ma anche questa variante è maggiormente usata nel caso degli approcci per agenzie, e cioè con la presenza di una struttura esterna di coordinamento del processo. Tale tipologia di approcci non è attuabile in Italia a causa della separazione tra la fase progettuale ed esecutiva, così come stabilito dalla Legge Merloni in materia di lavori pubblici.

La formula del *Package Deal* (appalto tutto compreso, vendita a pacchetto), rappresenta lo stadio più spinto di appalto concorso, in cui scompare la figura del progettista consulente del committente e ogni attività di progettazione è delegata al costruttore. In questo approccio il grado di fiducia riposto nell'appaltatore è massimo e il vantaggio per il committente consiste in una riduzione dei costi per via della delega anche progettuale al costruttore²².

La difficoltà del committente pubblico ad investire direttamente i propri capitali nel settore edile, ha portato alla diffusione – ed espansione – del ruolo del promotore privato non professionale, portando a nuovi approcci quali: il *Construction Management* (gestione della costruzione), *Project Management* (gestione del processo/intervento) e *Management Contracting* (gestione degli appalti). Si tratta in questo caso di approcci per agenzie a orientamento manageriale.

Nel primo caso proposto, il progettista del progetto architettonico e il *Construction manager* sono separati e indipendenti e scelti dal committente, ognuno con le proprie competenze: il progettista redige il progetto architettonico (paragonabile al nostro progetto definitivo/esecutivo) comprensivo perciò di ogni particolare esecutivo, costi compresi. L'agenzia svolge, invece, tutta la parte assistenziale e gestionale dell'opera, assistendo il progettista nella reda-

²² Missori, *Op. cit.*, p.24.

zione del progetto – assicurandosi la sua cantierabilità – predisponendo la documentazione di gara per la scelta dell’impresa, coordinando operativamente il cantiere e, infine, svolgendo le verifiche e i collaudi finali.

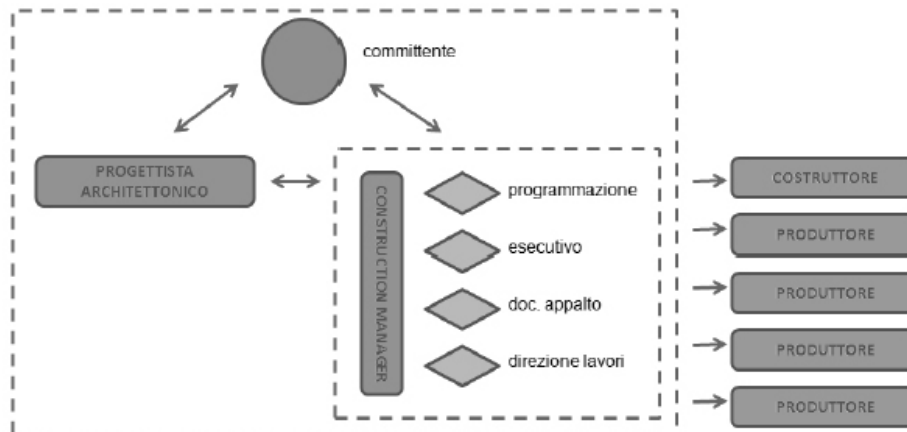


Fig. 7 Schematizzazione dell’approccio basato sul Construction Management

Il Project Management si distingue dal Costruction Management per il solo fatto che ingloba al suo interno anche la fase progettuale: il project manager oltre ad avere competenze tecniche specifiche del suo segmento di appartenenza, deve anche ricoprire un ruolo complesso e variegato, dovendosi occupare – in tali casi – della gestione del ciclo di vita di un progetto dalle fasi iniziali di partecipazione alle gare di appalto, alla realizzazione e consegna della fornitura alla committenza, alla definizione e controllo degli aspetti operativi, tecnici, economici, legali per poi dover garantire il rispetto del contratto nelle sue componenti di tempo, di costo e di qualità del lavoro. D’altronde i principi del Project Management nascono negli anni’30 negli USA proprio in campo industriale per beni di largo consumo con l’individuazione del Product manager, cioè un operatore responsabile di un prodotto (o una linea di produzione) dalla sua concezione alla sua realizzazione e assistenza post-vendita²³.

²³ Missori, *Op. cit.*, p.42.

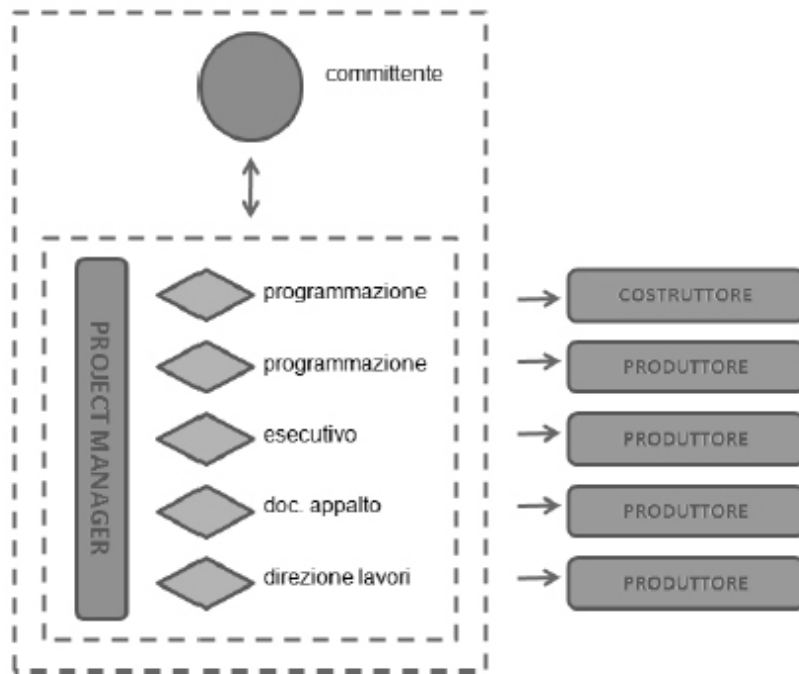


Fig. 8 Schematizzazione dell'approccio basato sul Project Management

L'evoluzione dei processi innanzi citati è rappresentata dal Management Contracting: a capo dell'agenzia vi è un contract manager specializzato nella contrattualistica degli appalti e incaricata dal committente di gestire la sola fase realizzativa senza occuparsi della progettazione. Avrà il compito perciò di adottare tutte le tecniche possibili per accelerare le fasi di progettazione, appalto ed esecuzione dei lavori tenendo sotto controllo i costi²⁴. Si deduce in tal senso che il team di progettazione spingerà la sua attività progettuale in maniera tale da rendere cantierabile il progetto. I vantaggi rispetto al project management sono evidenti: non vi sarà il rischio che nell'elaborazione del progetto esecutivo venga stravolto il progetto architettonico che di conseguenza non sarà subordinato alle altre fasi dell'iter procedurale tutelando la qualità architettonica del progetto e, contemporaneamente, rispettando i tempi e i costi

²⁴ Missori, *Op. cit.*, p.44.

imposti dalla committenza. Di contro vi è il rischio che la contrazione dei tempi infici sulle decisioni progettuali e di conseguenza sulla commissione di errori in fase di progettazione.

2.6 La figura del project manager

Da questa breve sintesi sulle diverse tipologie di approcci progettuali, si evidenzia come in Italia, rispetto ad altre realtà internazionali, manchi del tutto una visione manageriale dei beni immobili. Appare evidentemente la necessità di modificare sostanzialmente il modo di progettare e di intendere la progettazione e di introdurre al tempo stesso una nuova figura professionale in grado di gestire durante l'intero ciclo di vita, l'immobile: dalla fase di progettazione alla sua manutenzione (che sia ordinaria o straordinaria) alla sua dismissione.

L'impianto italiano infatti fa sì che il progettista sia l'operatore guida, ma la sua visione dell'investimento si ferma nel momento in cui terminano i lavori, quando in realtà la progettazione rappresenta una minima parte dell'intero ciclo di vita dell'immobile. Se è vero che il settore edilizio è da sempre stato in Italia un volano economico, è altrettanto vero che non si è investito abbastanza sulla sua gestione e controllo limitandosi perciò unicamente alla risoluzione delle problematiche al momento contingenti. Nel contempo sono aumentate le mansioni e le competenze richieste: progettazione degli impianti elettrici, efficientamento energetico, calcoli illuminotecnici, ecc., incrementando di volta in volta il volume di prestazioni richieste al fine di ottenere i relativi permessi costruttivi. La labilità del sistema edilizio italiano è senza dubbio imputabile anche alla mancata cultura dell'integrazione intesa in termini di interdisciplinarietà del progetto. Ciò presuppone la predisposizione al dialogo, alla condivisione, all'applicazione di tecniche di project management nella gestione delle attività progettuali e decisionali relative alla realizzazione di un intervento.

I tecnici saranno tenuti ad aprire le finestre del proprio studio e condividere con tutti gli altri attori della filiera progettuale il proprio operato con quello degli altri; sarà necessario passare da singoli eventi apparentemente slegati tra loro, ad un sistema più ricco, in grado di registrare simultaneamente tutti gli eventi progettuali (e realizzativi) che di volta in volta si susseguono sull'episodio architettonico in studio. Tale sistema deve perciò essere in grado

di raccogliere tutte le informazioni possibili e necessarie per la corretta gestione architettonica. In tale ottica di interoperabilità e di raggiungimento ottimizzato dell'obiettivo finale, la figura del project manager assume un ruolo fondamentale di coordinamento tra le varie discipline progettuali (strutturali, architettoniche e impiantistiche), durante la fase esecutiva vera e propria e, di conseguenza, durante la gestione nel breve e lungo periodo.

In assenza di tutto ciò il coordinamento è rimandato al cantiere e al direttore dei lavori, comportando di conseguenza maggiori tempi esecutivi e ridotta qualità del prodotto finale. I vantaggi invece di una gestione integrata della commessa edilizia sono evidenti e si esplicitano evidentemente in un maggior rispetto dell'opera in sé ma, e soprattutto, in una forte riduzione dei costi di indagine e rilievo dello stato di fatto su cui operare.

In tale ottica il Building Information Modeling rappresenta il possibile volano per un nuovo concept progettuale (e di conseguenza manageriale) dei beni architettonici. Il sistema infatti consente di non disperdere, ma anzi di immagazzinare e registrare le informazioni, in maniera puntuale garantendo una reale continuità tra le fasi progettuali e durante l'intero ciclo di vita dell'edificio. Le diverse discipline – architettura, struttura e impianti – sono tra loro legate da un comune filo conduttore che rende biunivoco l'interscambio di dati e informazioni: non più, quindi, una progettazione monodirezionale e consequenziale ma, piuttosto, una progettazione partecipativa e collaborativa.

Il BIM, che è nato per la produzione del nuovo, ha in sé esattamente le caratteristiche per consentire il consolidamento di una base dati e la possibilità di ritrovare tutte quelle informazioni che hanno giocato un ruolo importante nel processo progettuale che ha riguardato l'edificio.

Mediante una scomposizione di un modello per oggetti e a partire dagli stessi si può perciò pensare di costruire una piattaforma digitale: al concetto di interoperabilità tra le fasi progettuali si associa la sintonia della visualizzazione tridimensionale che facilita l'interscambio anche solo visuale delle informazioni e con grande affidabilità di nozioni.

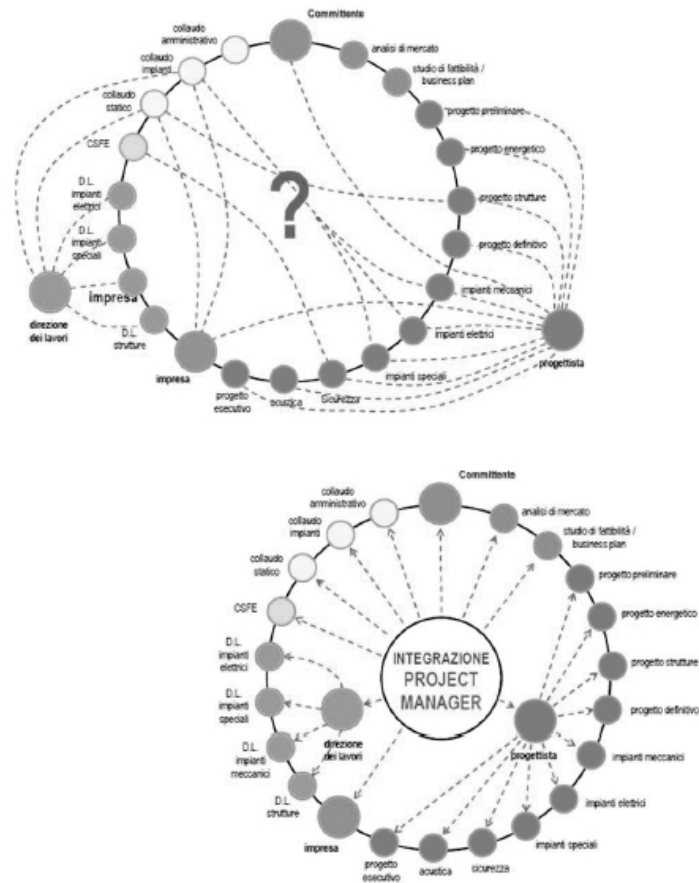


Fig. 9 Confronto tra operatori tradizionali e nuove figure professionali: coordinamento e gestione integrata

3 Strumenti ICT al servizio di tecnici e manutentori

3.1 Premessa

Quando ci si imbatte in un intervento sull'edilizia esistente risultano evidenti le inadeguatezze dell'ormai consolidato modo di progettare e gestire le opere in Italia.

L'esigenza di intervenire sul patrimonio edilizio esistente è condizionata, non solo dalla necessità di adeguare dal punto di vista tecnologico, funzionale ed energetico gli immobili esistenti, ma anche, da un lato dalla consapevolezza che risulta antieconomico dismettere il patrimonio immobiliare e dall'altro, dalla limitata possibilità espansiva dei nuovi centri urbani. *Sul volgere del nuovo millennio appare ineluttabile la condizione di dover lavorare, sempre e comunque, in stretto rapporto con l'esistente. Se fino a una ventina di anni fa questa poteva apparire una scelta di principio o di ideologia, oggi questa non è più una scelta, ma una condizione imprescindibile, di cui non si può fare a meno*²⁵.

Certo è che gli interventi sul costruito innescano una serie di eventi favorevoli che vanno al di là dell'impatto ambientale: riduzione dei consumi energetici, incremento della capacità sismica delle strutture, ma anche un'importante crescita degli indicatori economici e quindi nuovi posti di lavoro e spinta professionalizzazione delle figure tecniche interessate.

Recuperare, mantenere e riqualificare sono senza dubbio una possibile ancora di salvezza per il settore edile e per tutti i suoi membri coinvolti; infatti, se correttamente gestito e valorizzato, il patrimonio edilizio esistente può rappresentare una vera e propria risorsa dal potenziale inestimabile.

Non da poco però sono le difficoltà riscontrate nell'intervenire sul patrimonio edilizio esistente: difficoltà nel reperire i dati di input per la redazione dei progetti, lungaggini burocratiche e assenza di informazioni certe sul costruito, complicano – o quantomeno prolungano – già solo i tempi di redazione

²⁵ Brandolini, S., *La trasformazione come esigenza imprescindibile*, in Zambelli E. (a cura di), *Ristrutturazione e trasformazione del costruito*, Il Sole 24 ore, Milano, 2004.

dei progetti, senza poi parlare delle discrepanze che si riscontrano in sito tra il 'progettato' e il 'realizzato', che allungano ulteriormente i tempi di ultimazione dei lavori.

Pertanto, soffermandosi sugli interventi sul patrimonio edilizio esistente ci si scontra con l'inadeguatezza dei tradizionali metodi e strumenti di progettazione, ciò soprattutto a causa della complessità e della multidisciplinarietà degli aspetti interessati. Il progetto, già solo per la sua natura predittiva, è la sintesi di scelte operate da più attori che concorrono unitamente al raggiungimento della 'migliore soluzione' auspicabile per quell'opera o per quella circostanza. Si rende però necessario un serrato confronto tra le figure professionali coinvolte in tale fase predittiva al fine di integrare tutti i saperi intorno ad un unico obiettivo comune rappresentato dal progetto stesso. Ciò comporta l'abbandono della concezione lineare del processo progettuale, discostandosi dalla consequenzialità degli episodi progettuali: non più una rigida successione di fasi progettuali ma una continua iterazioni tra le stesse. Dal modello lineare si passa perciò ad un modello circolare, in cui le fasi progettuali procedono in parallelo con un continuo e costante controllo, ammettendo quindi la possibilità di rivedere il progetto in corso di progettazione stessa.

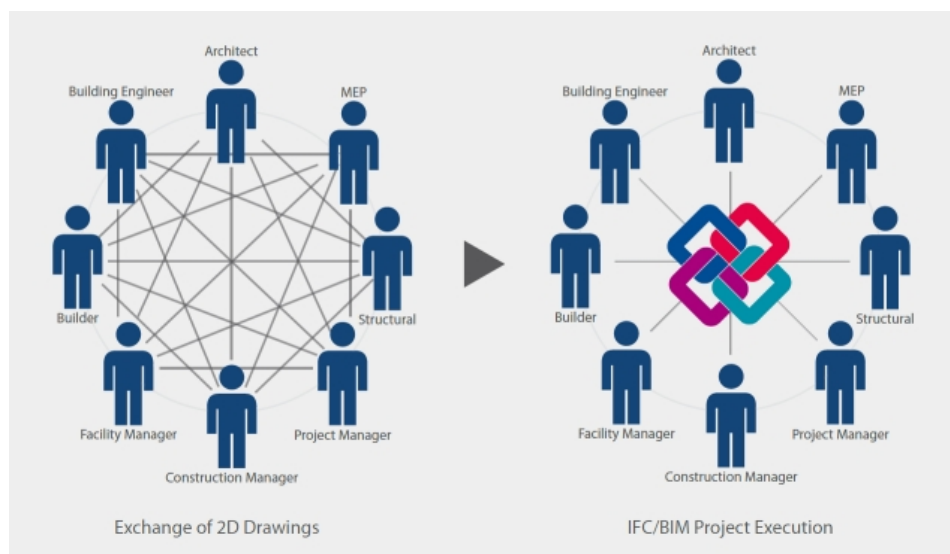


Fig. 10 Sistemi progettuali a confronto

In tale contesto è evidente la portata innovativa promossa da strumenti e piattaforme di Information and Communication Technology (ICT): esse stanno modificando il modo di lavorare, di scambiare informazioni e di produrre documenti, rappresentando un valido strumento al servizio di tecnici e progettisti, ma anche di manutentori e facility manager.

Il presente capitolo descrive perciò quelli che sono gli strumenti ICT al servizio dei professionisti coinvolti nelle fasi decisionali, progettuali, esecutive e manutentive delle opere edilizie, soffermandosi specificatamente nella metodologia del Building Information Modeling (BIM) e nella Augmented Reality (AR). Nell'ultima parte del capitolo verranno presentati anche i pochi casi in cui vi è stato un tentativo di utilizzo in parallelo di entrambe le metodologie in ambito nazionale e internazionale.

3.2 Le opportunità offerte dall'ICT in ambito edilizio

In un settore in cui la necessità di scambiarsi informazioni è alla base di qualsiasi presupposto progettuale, il mondo delle costruzioni si avvale sempre di più di strumenti e tecnologie atte a migliorarne la fruibilità e la velocità di condivisione. Tali strumenti e tecnologie rientrano nelle competenze delle cosiddette Information and Communication Technology (ICT). In tale ambito sono aumentati e continueranno ad aumentare i flussi di informazioni visualizzabili e comunicabili attraverso l'uso di mezzi digitali.

In netto aumento sono anche gli investimenti dei paesi industrializzati nelle stesse ICT aumentando, di conseguenza la produttività all'interno del settore edile e incrementando il livello qualitativo delle stesse commesse edilizie²⁶

Con l'acronimo ICT si intende perciò l'insieme delle tecnologie che consentono di elaborare e comunicare informazioni attraverso mezzi digitali. Il loro impatto sulla società moderna è profondo²⁷ avendo modificato in maniera

²⁶ Onyegiri, I., Nwachukwu, C.C., Jamike, O. *Information and communication technology in the construction industry*, in American Journal Of Scientific And Industrial Research, America, 2011, p. 461.

²⁷ Sun, M., Howard, R., *Understanding i.t. in construction*, London, Spon press, 2004.

drastica il modo di intendere il mercato e permettendo l'avanzamento della globalizzazione di cui, in un certo qual modo, ne è compartecipe.

Anche il settore delle costruzioni si trova a dover affrontare le nuove sfide proposte da tali nuovi strumenti; la tendenza infatti è quella di orientarsi sempre più verso le clientele che gioco forza diventano più esigenti: creazioni di modelli tridimensionali fotorealistici, virtual tour, sono solo alcuni delle richieste avanzate dalle committenze e che prima rappresentavano solo un di più al progetto definitivo.

3.3 Il Building Information Modeling

Nel corso degli anni l'acronimo BIM ha assunto diversi significati, ma aventi tutti un comune denominatore rappresentato dalla necessità di rendere informatizzato un modello – o meglio ancora un'opera prima pensata e poi costruita. Ad oggi le definizioni sono molteplici anche se si ritiene che l'acronimo fu coniato per la prima volta dal prof. Chuck Eastman, docente alla Carnegie Mellon University in Georgia, in un suo articolo sull'A.I.A. Journal nel 1975 definì il BIM come: “[...] *one of the most promising developments in the architecture, engineering, and construction (AEC) industries. With BIM technology, one or more accurate virtual models of a building are constructed digitally. They support design through its phases, allowing better analysis and control than manual processes. When completed, these computer generated models contain precise geometry and data needed to support the construction, fabrication, and procurement activities through which the building is realized*²⁸”.

Con lo stesso acronimo ma trasformando la 'm' di modeling in model, l'AIA California Council definì il BIM come “[...] *a digital representation of physical and functional characteristics of a facility. As such it serves as a shared knowledge resource for information about a facility forming a reliable basis for decisions during its lifecycle from inception onward. A basic premise of BIM is*

²⁸ Eastman, C.; Teicholz, P.; Sacks, R.; Liston, K. *BIM handbook. A guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors*, John Wiley & Sons, Hoboken, New Jersey, 2008, p. 1.

collaboration by different stake-holders at different phases of the lifecycle of a facility to insert, extract, up-date, or modify information in the BIM to support and reflect the roles of that stakeholder. The BIM is a shared digital representation founded on open standards for interoperability²⁹.

E ancora, *“BIM is not a software application. BIM is an information based system that builds long-term value and advances innovation. It improves how projects get designed and built. It builds economic value in many areas. It improves the environment and people’s lives. BIM is an evolutionary change in how people relate to the built environment. The speed of this change creates many opportunities for ambiguity. [...] we define BIM as Beyond Information Models to align with the universal nature of the concept³⁰”* come scrive Jernigan F. E. introducendo un ulteriore significato dell’acronimo BIM.

Quale che sia la definizione che si vuol dare, il BIM rappresenta un’opportunità, una chance offerta dalle ICT a tutti gli attori della filiera edilizia di migliorare ed elevare il proprio livello di produttività: tutte le informazioni relative ad un manufatto sono racchiuse in un unico grande ‘contenitore informatizzato’ esplorabile e implementabile all’occorrenza.

Confrontando la progettazione tradizionale con quella BIM Based, le differenze sono sostanziali. Con il metodo di progettazione CAD-Based, di corrente uso in Italia, il progetto – e quindi l’opera progettata – è il risultato di un serrato intrecciarsi di collegamenti e di interscambi di dati e informazioni tra diversificate figure professionali che, gioco forza, comportano un incremento del rischio di errori, omissioni o creazione di interferenze le quali nella fase realizzativa danno luogo alla necessità di redazione di più di una progettazione in variante (malcostume tutto italiano).

²⁹ AIA California Council, *A Working definition – Integrated Project Delivery*, Mc Graw Hill Construction, 2007, p. 2.

³⁰ Jernigan, F.E., *BIG BIM little bim. The approach to building information modeling*, Salisbury, USA, 2007, p. 22.

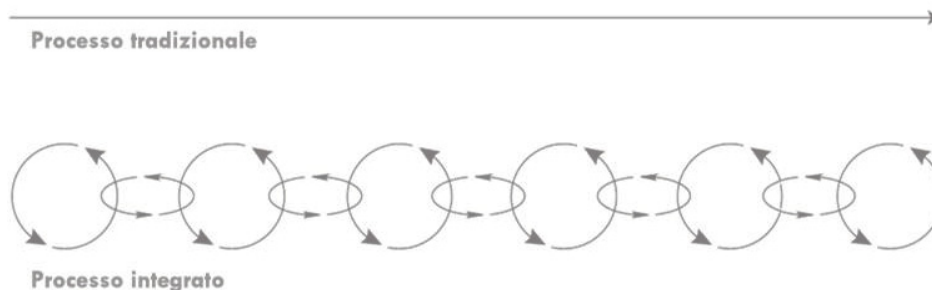


Fig. 11 Rappresentazione concettuale del processo progettuale tradizionale di tipo lineare e quello integrato

Con la progettazione BIM-Based, invece, il progetto è al centro del processo decisionale, esecutivo e manutentivo, non essendo costituito da semplici linee che delimitano ad esempio la stratigrafie di un muro o la sezione di un pilastro, ma da un database intelligente contenente al suo interno svariate informazioni riguardanti le specifiche caratteristiche tecniche fisiche e meccaniche di quel muro o di quel pilastro.

3.4 Un comune linguaggio di comunicazione

Nella concezione attuale dell'acronimo BIM inteso come Building Information Modeling, il vero progresso, nonché il suo punto di forza fondamentale, è rappresentato dalla capacità di 'leggere', 'tradurre' e simultaneamente implementare nuove informazioni e dati, il tutto mediante un comune linguaggio di comunicazione. Il pregio sta perciò nel rendere aperta e implementabile la comunicabilità – sempre intesa in termini di condivisione di database – tra tutti gli attori coinvolti nella filiera dell'edilizia: dai progettisti, agli esecutori; dai manager, ai manutentori.

In assenza di uno scambio aperto e con un numero limitato di errori 'interpretativi', la metodologia Building Information Modeling non avrebbe ragione di essere, limitandosi al massimo ad un semplice scambio di modelli, o meglio ancora di geometrie, tridimensionali, ma privi di informazioni utili, cosa

che, tra l'altro, software di modellazione tridimensionale già realizzano a pieno.

Per definire in maniera inequivocabile come procedere allo scambio delle informazioni, sono necessari dettagliati standard tecnici, poiché gli utenti che trasferiscono i dati lo fanno utilizzando diversi tipi di software. Questi software conterranno perciò al loro interno tutti gli standard necessari alla rilettera delle informazioni all'interno della propria architettura.

Agli inizi degli anni Ottanta dello scorso secolo, cominciarono a prendere piede i primi approcci di condivisione delle informazioni di progetto mediante la diffusione dei formati di interscambio di tipo libero, aperto quali: il .dxf, il .dwg, il .pdf, solo per citarne alcuni. La diffusione fu immediata anche grazie all'intervento nel mercato di grandi case produttrici di software (Autodesk nel 1982, Apple Lisa Operating System nel 1984, Nemetschek nel 1984, ecc.).

Ad onore del vero, pur essendovi la possibilità di scambiare dati mediante uno stesso formato di file, ancora non si soddisfacevano a pieno le reali esigenze di interoperabilità, oltre che tra tecnici, nel settore industriale, portando perciò la International Organization for Standardization (ISO) alla emanazione degli STandard for the Exchange of Product model data (Norme per lo Scambio dei dati dei Prodotti): il primo standard internazionale contenente le regole per l'integrazione, la presentazione e lo scambio di dati senza ambiguità e adatta a tutti i sistemi informatici.

Ad oggi nel settore AEC esistono quattro modi principali per lo scambio di dati tra due applicazioni: diretto; collegamenti proprietari tra specifici strumenti BIM; formati di scambio proprietari; formati di modello di scambio di dati pubblici come ad esempio quello IFC o il Green Building eXtensible Markup Language (gbXML) e l'Industry Foundation Classes (IFC).

Mentre i primi due rappresentano una tipologia di interscambio di dati abbastanza chiusa – poiché resa possibile sono nel caso di utilizzo di programmi della stessa casa madre o mediante appositi traduttori – gli ultimi due formati rappresentano gli standard pubblici per la condivisione di informazioni in ambiente BIM. Nello specifico, il gbXML è utilizzato per trasferire le informazioni necessarie per le analisi energetiche; l'IFC sta diventando lo standard principale per lo scambio di grandi quantità di dati (per modelli di qualsiasi ti-

pologia di costruzione) racchiudendo in sé un ricco database che comprende informazioni di carattere fisico e meccaniche dell'opera implementata.



Fig. 12 Gli open standard più utilizzati nel settore AEC

Uno sforzo continuo in tal senso è in corso dal 1994, dalla *International Alliance for Interoperability (IAI)*, ora chiamata *buildingSMART Alliance* e *buildingSMART International* (buildingSMART, 2011). La BuildingSMART ha infatti sviluppato uno standard aperto per lo scambio di dati tra i programmi BIM chiamato *Industry Foundation Classes (IFC)*³¹.

Di volta in volta, le IFC vengono aggiornate aggiungendo, ad ogni successiva versione, la possibilità di rappresentare più entità e, di conseguenza, maggiori relazioni tra le discipline progettuali nell'intero ciclo di vita dell'opera. Le specifiche IFC sono basate su classi di oggetti omogenei per caratteristiche, che sono utili per rappresentare i componenti di un qualsiasi organismo edilizio e descriverne le reciproche relazioni. Secondo tale logica esse definiscono un criterio di relazione tra diverse entità organizzate secondo una scala gerarchica di cui fanno parte le entità radicate e le entità non radicate. Le *IfcRoot* sono entità singole caratterizzate da un nome, descrizione e caratteristiche di revisione; le non radicate fanno sempre riferimento alle entità radicate. All'interno delle *IfcRoot* si individuano tre concetti astratti rappresentati dalle *IfcObjectDefinition* che contengono informazioni quali i parametri dimensionali, le *IfcRelationship* che stabiliscono le relazioni tra gli oggetti e le *IfcPropertyDefinition*

³¹ Hitchcock, R.J., Wong, J. *op. cit.*, p. 1089.

che definiscono la generalizzazione di tutte le caratteristiche (cioè un raggruppamento di singole proprietà), che possono essere assegnate agli oggetti.

Le IFC forniscono uno standard per la condivisione di informazioni coerenti tra software utilizzati durante l'intero ciclo di vita del fabbricato. Le applicazioni conformi alle IFC condividono e scambiano dati in maniera diretta e trasparente senza la necessità di convertire il file in altro formato. Modelli infografici creati da un software in grado di gestire il formato IFC, possono essere trasmessi ad altre applicazioni la quale a sua volta può aggiungerne altre o modificare quelle esistenti creando, in questo modo, un vero e proprio archivio di progetto condiviso.

Basti pensare, ad esempio, al caso degli studi energetici o illuminotecnici: il modello tridimensionale – eventualmente già realizzato per scopi architettonici – sarà arricchito di tutte quelle informazioni necessarie al successivo calcolo implementando unicamente le caratteristiche dei materiali utilizzati e modificando, ad esempio, gli oggetti, gli sporti e così via. Il tutto all'interno di una stessa piattaforma di programmi, o in altri software in grado di gestire i dati di input provenienti dall'esterno. La diffusione di tale standard comunicativo è notevole e sempre più in espansione: basti pensare che il governo danese ha reso obbligatorio l'uso del formato IFC per tutti i progetti di edilizia pubblica sovvenzionata. La Senate Properties – agenzia del Ministero delle Finanze Finlandese – richiede ormai da anni in tutti i loro progetti come strumento di gestione l'utilizzo di software compatibili IFC e BIM.

Anche se notevoli sono gli sforzi profusi per il miglioramento dell'interoperabilità con l'uso di 'open standard', si registrano tuttavia delle mancanze, omissioni o cattive interpretazioni nella rilettura di alcuni modelli allorché gli stessi vengono importati in nuovi programmi per le successive implementazioni o calcolazioni.

3.5 La realtà aumentata e i suoi principali utilizzi

Rientrando anch'essa tra gli strumenti ICT, la Realtà Aumentata (AR) sta trovando sempre più ampio utilizzo in vari settori industriali e non.

Il termine Augmented Reality (AR) venne coniato nel 1990 da due ricercatori dei laboratori della Boeing, Tom Caudell e David Minzell. I due scienziati,

al lavoro su un prototipo che rimpiazzasse gli strumenti di bordo di un aereo, svilupparono un congegno indossabile sul viso dei piloti in grado di visualizzare velocemente la rotta e tutte le informazioni correlate ai decolli e agli atterraggi. La realtà così visualizzata venne battezzata realtà aumentata, perché al mondo reale venivano aggiunte informazioni di altro tipo³².

Successivamente, nel 1997 lo stesso termine fu usato da Ronald Azuma definendo “[...] *Augmented Reality (AR) is a variation of Virtual Environments (VE), or Virtual Reality as it is more commonly called. VE technologies completely immerse a user inside a synthetic environment. While immersed, the user cannot see the real world around him. In contrast, AR allows the user to see the real world, with virtual objects superimposed upon or composited with the real world. Therefore, AR supplements reality, rather than completely replacing it. Ideally, it would appear to the user that the virtual and real objects coexisted in the same space, similar to the effects achieved in the film "Who Framed Roger Rabbit?"*³³”.

A differenza della realtà virtuale che sostituisce la visione del mondo reale con la creazione di un mondo artificiale, la realtà aumentata arricchisce la

³² Compagno, M., *Applicazioni della Augmented Reality nel settore dell'editoria scolastica*, 2013, URL: https://www.academia.edu/7219610/Applicazioni_della_Augmented_Reality_nel_settore_delleditoria_scolastica.

³³ “La Realtà Aumentata è una variazione degli Ambienti Virtuali (AV), o Realtà Virtuale com'è più comunemente chiamata. La tecnologia AV immerge completamente l'utente in un ambiente artificiale. E durante tale immersione, l'utente non può vedere il mondo reale che lo circonda. Al contrario, la RA permette all'utente di vedere il mondo reale, con oggetti virtuali sovrapposti o mescolati con il mondo reale. Perciò, la realtà aumentata integra la realtà, piuttosto che rimpiazzarla completamente. Idealmente l'utente ha l'impressione che gli oggetti virtuali e quelli reali coesistano nello stesso spazio, come gli effetti ottenuti nel film “chi ha incastrato Roger Rabbit”. Azuma, R.T., *A Survey of Augmented Reality*, In *Presence: Teleoperators and Virtual Environments 6*, Janet Weisenberger and Roy Ruddle, USA, 1997, p. 355.

percezione del mondo sovrapponendo ad esso oggetti più o meno interattivi che, in alcuni dei casi, possono essere creati mediante la realtà virtuale. Si parla perciò di una estensione della realtà virtuale perché nella realtà aumentata l'utente continua a percepire l'ambiente reale, ma a questo possono sovrapporsi e integrarsi delle immagini digitali o dati prodotti ad hoc che arricchiscono la realtà di informazioni utili per portare a compimento situazioni complesse. Si registra perciò una combinazione tra digitale e reale all'interno dei quali l'utente continua a muoversi interagendo in prima persona con gli oggetti.

A tale definizione si affianca il concetto di Mixed Reality (MR) introdotto per la prima volta da Paul Milgram e Fumio Kishino intendendo con tale termine “[...] anywhere between the extrema of the virtuality continuum”³⁴ proponendo un range i cui estremi sono costituiti da una parte dalla realtà – vera e realmente percepita – dall'altra dal mondo virtuale – frutto di know how specialistico della computer grafica. Tra i due estremi si collocano, appunto, i diversi livelli di Mixed Reality: l'Augmented Reality in cui gli oggetti virtuali entrano a far parte della scena reale; e l'Augmented Virtuality in cui, viceversa, gli oggetti reali ‘invadono’ la scena virtuale.

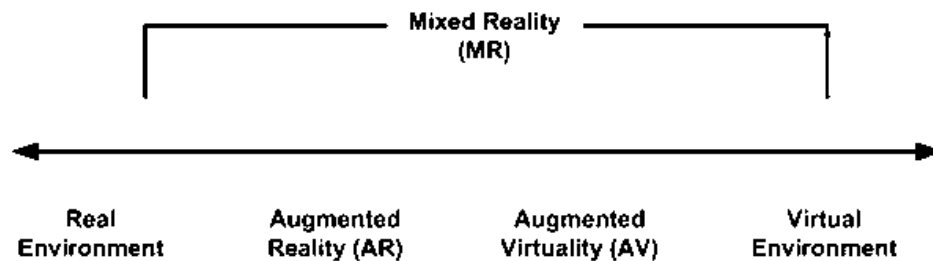


Fig. 13 Virtuality continuum

³⁴ Milgram, P., Kishino, A.F., *Taxonomy of Mixed Reality Visual Displays*, IEICE Transactions on Information and Systems, E77-D (12), pp. 1321–1329.

3.6 Le principali applicazioni dell'AR

Se le funzionalità possono essere essenzialmente di due tipologie riguardanti l'interattività con la scena e visualizzazioni avanzate, le applicazioni possono essere svariate includendo il campo medico, il campo industriale e manutentivo, il campo informativo "[...] For example, a hand held display could provide information about the contents of library shelves as the user walks around the library³⁵", e ancora nel settore pubblicitario, dell'intrattenimento e in quello militare.

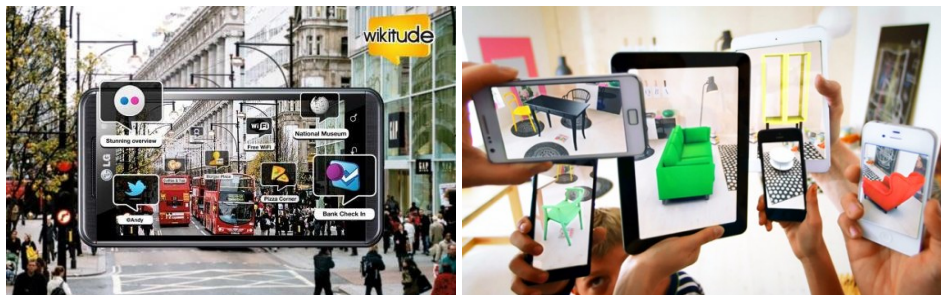


Fig. 14 Esempi di utilizzi della AR

Non poteva essere da meno il settore immobiliare: in tal caso la realtà aumentata viene utilizzata per proporre soluzioni di arredamento, oppure mostrare al cliente soluzioni e finiture diverse. Per l'edilizia e l'architettura, la realtà aumentata si sta dimostrando di notevole supporto a tecnici, architetti e ingegneri per la presentazione di progetti in modellazione tridimensionale rendendo possibile la concretizzazione di modelli 3D nel mondo reale.

Sicuramente, in Italia, il più significativo esempio di interdisciplinarietà nel settore delle ICT – e dell'edilizia – è rappresentato dal progetto Smart Energy Efficient Middleware for Public Spaces (SEEMPubS): è un progetto STREP (Small or medium-scale focused research project) della durata di 36 mesi iniziato a settembre 2010 e finanziato dalla Commissione Europea nell'ambito del VII Programma Quadro – Call 5 NMP-ENV-ENERGY-ICT-EeB – Obiettivo

³⁵ Azuma, R.T., *Op. cit.*, p. 360.

EeB.ICT.2010.10-2: Energy-efficient Buildings³⁶. L'obiettivo è quello di ridurre le emissioni di CO₂ realizzando un sistema ICT intelligente di monitoraggio e controllo del consumo energetico negli edifici e negli spazi pubblici esistenti. In tale ambito, il BIM si presta bene alla creazione di modelli parametrici per l'effettuazione di simulazioni energetiche (nello specifico, analisi illuminotecniche ed energetiche). Parallelamente, altre sperimentazioni sono in corso per rendere disponibili ai diversi utenti (studenti, impiegati, tecnici, energy manager, ecc.) i dati relativi al consumo energetico in tempo reale sfruttando un Web Portal dedicato, dei QRCode e l'Augmented Reality (AR)³⁷.

In ambito internazionale spicca il progetto di ricerca finlandese AR4BC (Augmented Reality for Building and Construction) promosso dalla VTT Technical Research Centre of Finland, il cui obiettivo è quello di portare direttamente in cantiere i contenuti del BIM 4D tramite soluzioni mobile e miste di realtà aumentata³⁸.

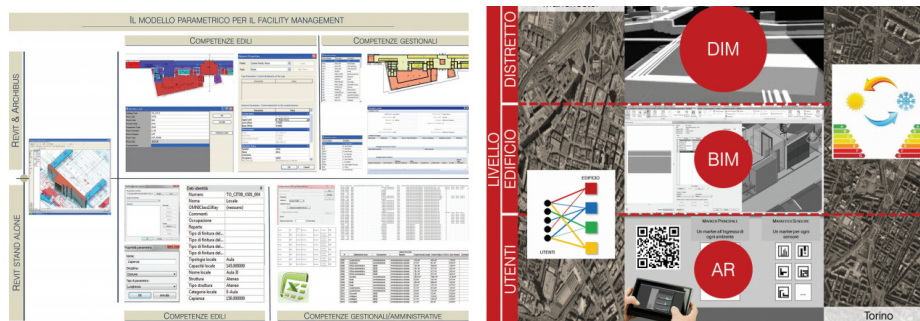


Fig. 15 Progetto Smart Energy Efficient Middleware for Public Spaces (SEEMPubS)

³⁶ Istituto Superiore Mario Boella, SEEMPubS FP7 STREP: Energy-efficient Buildings, URL: <http://www.ismb.it/node/268>.

³⁷ Osello, A. Il futuro del disegno con il BIM per ingegneri e architetti, Dario Flaccovio Editore, Palermo, 2012, p. 191

³⁸ Woodward, C.; Hakkarainen, M.; Korkalo, O.; Kantonen, T.; Aittala, M.; Rainio, K.; Kähkönen, K. Mixed reality for mobile construction site visualization and communication, in: 10th International Conference on Construction Applications of Virtual Reality, 2010, p. 36



Fig. 16 Progetto di ricerca AR4BC (Augmented Reality for Building and Construction)

4 Applicazione del BIM al caso studio

4.1 Premesse

L'analisi fin qui condotta ha permesso di fare una macro fotografia sullo stato del patrimonio edilizio italiano evidenziando, anche mediante l'ausilio di dati numerici, i costi che si celano dietro lo scarso livello comunicativo tra i vari attori partecipanti alla filiera edilizia. Le cause, come sottolineato più volte, sono da riscontrare essenzialmente in tre fattori principali e cioè, nell'obsoleto ordinamento normativo e regolamentare della materia edilizia italiana, ancorata a una norma 'poco dinamica'; ad un modo di progettare basato nella maggioranza dei casi nel sistema CAD che facilita la frammentazione delle fasi progettuali aumentando il rischio di errori, e infine, nella mancanza o assenza di un valido – e in alcuni casi certo – supporto documentale propedeutico alla fase decisionale che anticipa il progetto di variante o di adeguamento o di manutenzione. Eppure, come già sottolineato, gli strumenti per ovviare a tali perdite economiche ci sono e, in alcune realtà più dinamiche sono già ampiamente in uso.

Si passa a questo punto alla parte più sperimentale delle ricerche condotte ovvero alla messa a punto della metodologia progettuale che mira a ridurre l'inefficienza progettuale – intesa in termini di comunicazione tra gli attori del processo edilizio – proponendo la creazione di un database documentale che sia di semplice lettura e accesso per tecnici e manutentori.

Pertanto, l'obiettivo del progetto di ricerca è quello di implementare una metodologia progettuale di supporto a tecnici e manutentori nell'individuazione delle informazioni di partenza necessarie per la redazione di progetti di manutenzione e/o di adeguamento consentendo, di riflesso, una riduzione delle perdite economiche precedentemente rilevate.

A tale scopo è stato preso a riferimento un caso esemplificativo, mediante il quale affrontare due problematiche differenti: l'una relativa allo studio del livello di interoperabilità che intercorre tra vari software BIM – simu-

lando a tal proposito un vero e proprio workflow progettuale – e alle modalità di risoluzione dei ‘difetti di comunicazione’. L’altra, relativa invece alla comparazione di analisi sismiche ed energetiche condotte confrontando i risultati ottenuti da software BIM e software di utilizzo corrente.

Il caso studio preso in esame è un complesso residenziale di nuova costruzione costituito da due corpi di fabbrica che, per caratteristiche geometriche, strutturali e impiantistiche, nonché per la presenza massiccia di elementi costruttivi e tecnologici caratterizzati da forme non particolarmente semplici da modellare, ben si prestava alle sperimentazioni da condursi. Forme complesse e articolate, sapiente gioco di vuoti e di pieni, elementi funzionali creati ad hoc, hanno consentito di spingere la modellazione tridimensionale oltre i tradizionali standard, consentendo di verificare anche la ‘propensione’ di tali software alla creazione di geometrie non convenzionali. Inoltre, la possibilità di accedere agevolmente agli elaborati esecutivi – sia architettonici che strutturali – hanno spinto la scelta verso questo caso studio.

In questa fase è stata perciò innanzitutto valutata l’applicabilità del BIM all’edificio individuato, verificando, in prima istanza, l’elasticità del software alla modellazione di forme complesse. Quindi è stato simulato un flusso di lavoro tipico di chi intende lavorare nell’ottica della progettazione collaborativa, valutando il livello di interoperabilità tra software prodotti da case madri differenti. Il passaggio dei modelli infografici da un programma all’altro è stato effettuato a partire da formati di file differenti, al fine di valutare la qualità dei dati importati dall’uno all’altro, individuando quello più congeniale alle finalità richieste e, nel caso di difetti interpretativi, si è ragionato su come procedere alla risoluzione ottimale degli stessi. Successivamente, sempre nell’ottica della simulazione progettuale, si è proceduto alla comparazione dell’analisi sismica tra il modello BIM e la stessa struttura modellata con un software di uso comune: in tal caso è stata condotta un’analisi dinamica con spettro di risposta. In particolare, è stato confrontato anzitutto il comportamento globale della struttura, e successivamente il comportamento locale della stessa. Infine, il

modello parametrico è stato ulteriormente arricchito, implementando un'analisi ambientale e con la successiva parametrizzazione del database.

Questo lavoro mette le basi per un lavoro molto più ampio finalizzato alla creazione di un protocollo di gestione delle commesse edilizie in ambiente BIM, individuando le soluzioni ottimali per la correzione di errori interpretativi al fine di migliorare l'interoperabilità tra software e quindi tra i fruitori stessi. Al tempo stesso, le comparazioni vogliono dimostrare la bontà – o meno – dei risultati ottenuti e ottenibili con l'utilizzo di software BIM, rappresentando un valido punto di partenza per simulazioni – sia sismiche che energetiche – più spinte.

A valle delle simulazioni e delle successive calcolazioni effettuate il modello infografico creato si trasforma in un database documentale da cui attingere informazioni di carattere tecnico e tecnologico necessario per la redazione di progetti di recupero – inteso come manutenzione ordinaria e straordinaria – sull'edificio oggetto di studio. Come per un 'contenitore di dati' sarà possibile estrarre all'occorrenza l'informazione di cui si ha bisogno per le successive implementazioni e soprattutto per la progettazione di interventi a farsi.

I progettisti, i manutentori, i project manager, ma anche le Amministrazioni, così facendo, potranno gestire l'iter edilizio in maniera più efficiente – riducendo sensibilmente il margine di errore e le perdite economiche – rispetto a quanto avviene oggi.

4.2 Sintesi del flusso di lavoro adottato

Il flusso di lavoro individuato per perseguire l'obiettivo precedentemente descritto (Fig. 17), è stato sviluppato in maniera tale da convogliare nell'ambito della stessa sperimentazione, alcune delle problematiche a cui un progettista (indifferentemente dal settore di competenza), potrebbe andare incontro.

Ragione per cui, pur potendo modellare l'evento architettonico direttamente con uno solo dei software utilizzati, si è preferito allargare il ventaglio di possibilità, studiando a fondo il livello di interoperabilità tra i diversi programmi proposti. A tal proposito, si è proceduto progettando il modello architettonico del fabbricato con un primo software; successivamente – mediante diversi

test di export dei file – si è individuato il formato più idoneo per l’esportazione del modello parametrico in altro programma BIM. Quindi, previa manipolazione del modello nel nuovo ambiente di lavoro, si è proceduto con la modellazione degli impianti di scarico e la realizzazione delle tavole di gestione degli spazi. Contemporaneamente è stata condotta l’analisi strutturale – e successiva comparazione dei risultati di calcolo – e, in parallelo, l’analisi energetica – e successivo confronto dei risultati con altro software. Le calcolazioni sono state portate a totale compimento, con la conseguente rigenerazione del modello finale e la conseguenziale trasformazione del modello parametrico da bim a BIM. Nel corso dei procedimenti messi in atto sono stati di volta in volta valutati vantaggi e svantaggi riscontrati nell’adozione della metodologia proposta.

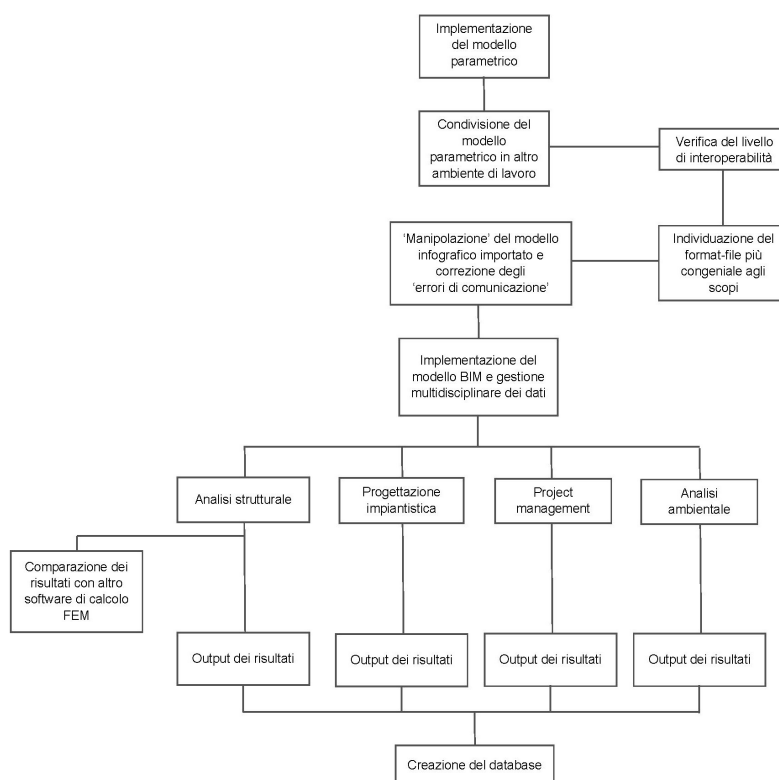


Fig. 17 Schema sinottico della metodologia implementata

4.3 La proposta metodologica

Aumenta sempre di più la consapevolezza delle potenzialità della metodologia alla base della progettazione collaborativa: tecnici, imprenditori e amministrazioni si avvicinano sempre più spesso al nuovo modo di intendere la progettazione e la gestione di un'opera, così da avere uno screening dell'intero ciclo di vita dell'opera stessa.

In un periodo in cui è di voga la condivisione digitale di qualsiasi genere e materia, la quantità di dati e di informazioni disponibili a valle di un progetto edilizio ha subito un incremento esponenziale; sempre più spesso si sente parlare di piattaforme di progettazione o ambienti di condivisione, intendendo in tal senso, la formazione sempre più spinta di database di progettazione.

Per cui, da una parte la settorializzazione delle discipline – e di conseguenza la nascita di team work – dall'altra la necessità di ridurre i tempi di gestione di una commessa edilizia, stanno spingendo verso un nuovo modo di intendere la progettazione, alla cui base vi è proprio il concetto di 'condivisione'³⁹.

Il Building Information Modeling, se correttamente implementato, può rappresentare una possibile panacea per risolvere il problema delle inefficienze nel settore edilizio: da un unico 'file' si dipartono tutte le discipline progettuali che investono l'intera filiera edilizia compresa la gestione delle risorse immobiliari. Il flusso di informazioni immagazzinabili è in continuo divenire, ma sempre e comunque gestibili e modificabili all'occorrenza. I vantaggi nell'utilizzo di tale metodologia sono notevoli ma presuppongo la contingenza di due aspetti fondamentali: la sensibilità della classe di progettisti, (intesa come apertura verso questo nuovo orizzonte progettuale), e la capacità comunicativa tra software BIM-based, rappresentata dalla possibilità di interscambiare dati e quindi informazioni. Infatti se da un lato gli attori sono responsabili e artefici delle soluzioni adottate potendo integrare a vicenda le varie ipotesi progettuali e abbinare il proprio lavoro con quello degli altri, dall'altro è indi-

³⁹ Barbato, D. *Un'ipotesi di gestione condivisa dei dati BIM*, V Congreso Internacional de Expresión Gráfica, XI Congreso Nacional de Profesores de Expresión Gráfica en Ingeniería, Arquitectura y Áreas Afines, EGraFIA 2014, Rosario (Argentina), 2014, p. 761.

spensabile che i software di diverse case madri siano in grado di comunicare tra di loro, interscambiando i modelli generati dai diversi attori del settore edilizio senza la perdita di informazione. Se viene meno l'uno o l'altro presupposto, vengono meno le potenzialità della progettazione collaborativa e la sua ragione di essere.

Certo, non è tutto oro ciò che luccica. Le sfide e gli imprevisti sono sempre dietro l'angolo: compatibilità di gestione delle commesse, protocolli di progettazione, assenza di vere e proprie linee guida, sfiduciano i tecnici più restii alle innovazioni. D'altronde anche il CAD trovò inizialmente degli oppositori prima di imporsi decretando il definitivo pensionamento del tavolo da disegno e delle penne a china. Anche in quel caso, i benefici potenziali erano da ricercare nella capacità di analisi integrata e riduzione di errori in fase di progettazione.

È evidente che la teoria che si nasconde dietro il BIM fornisce una serie di questioni fondamentali (che devono necessariamente essere risolte) relative alla tipologia di dati da implementare – soprattutto in funzione del tipo di progetto – e alla gestione degli stessi. Per cui, è stato fornito un possibile flusso di lavoro per l'esecuzione di un progetto edilizio che, partendo da una pianificazione architettonica, si svincola tra le altre discipline – strutturali, impiantistiche e gestionali – fino a giungere all'estrapolazione di dati numerici, qualitativi e quantitativi, del progetto in essere. Per far ciò sono stati utilizzati due software BIM diversi e ognuno preposto a una particolare fase progettuale, in particolare: la modellazione architettonica è stata condotta con Archicad 16, la gestione dei data base, invece, in Revit 2014 che ha fatto anche da 'fulcro' per le successive implementazioni progettuali. Il tutto al fine di analizzare criticamente la capacità collaborativa tra software BIM prodotti da case madri differenti, ma ampiamente utilizzati in ambito professionale. Pur potendo modellare direttamente il manufatto, con uno solo dei software sopra indicati, si è preferito perciò verificarne la compatibilità e la capacità di interscambio dei dati e, eventualmente, l'iter procedurale in caso di perdita di informazioni. Si sottolinea nuovamente che il modus operandi è pressoché lo stesso per tutti i software BIM e che nel caso studio si è preferito isolare le sperimentazioni utilizzando i software maggiormente in uso in ambito nazionale.

4.4 Il caso studio

4.4.1 Inquadramento territoriale e descrizione dei fabbricati oggetto di studio

Il complesso residenziale in studio è costituito da due corpi di fabbrica di recente ultimazione. L'inizio dei lavori ha coinciso grosso modo con l'inizio delle attività di ricerca, consentendo di poter seguirne la costruzione praticamente dall'inizio fine al loro termine. I fabbricati constano di due piani fuori terra, più un piano interrato adibito a depositi e garage. Il piano terra, a quota +0,50 rispetto al piano campagna, è costituito da locali adibiti ad attività commerciali o professionali, mentre, l'ultimo piano ospita appartamenti di varie dimensioni. Complessivamente l'area di sedime dei fabbricati occupa una superficie rettangolare di 600 m², ogni fabbricato, invece, ha superficie lorda di 250 m² quadrati con altezza al colmo di 10,40 m. La struttura portante è del tipo intelaiato in cemento armato, gli orizzontamenti sono del tipo alleggerito con la frapposizione tra i travetti in cemento armato di pannellature di polistirolo. Particolare attenzione è stata prestata alla fase di scelta dei materiali di finitura, anche nel rispetto dei regolamenti comunali in materia di decoro urbano. Oltre all'aspetto estetico, si è tenuto conto della sicurezza sismica e dell'impatto energetico che la nuova costruzione avrebbe avuto sull'ambiente: i materiali che compongono gli elementi opachi verticali e trasparenti sono pienamente rispondenti alle normative in materia di risparmio energetico conferendo a ciascun appartamento alte classi energetiche.

La scelta del caso studio è ricaduta su questi fabbricati poiché essi, come già precisato, per caratteristiche sia tipologiche che strutturali, bene si prestavano a 'prototipo' per le implementazioni in studio.

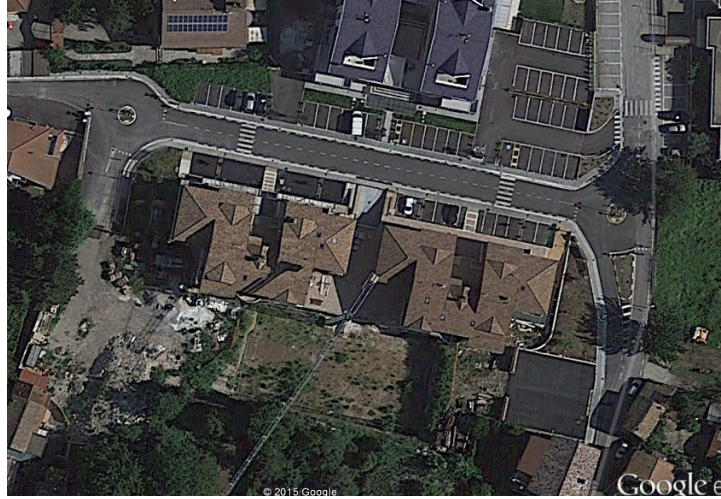


Fig. 18 Vista dall'alto del complesso residenziale



Fig. 19 Fasi costruttive del fabbricato



Fig. 20 Vista frontale del fabbricato ultimato

4.4.2 La modellazione architettonica

Il primo software utilizzato per la simulazione del workflow è ArchiCAD 16 prodotto dalla Graphisoft, con esso è stato implementato il progetto architettonico del fabbricato oggetto di studio. Riconosciuto come il primo 'software verticale', fu commercializzato per la prima volta nel 1982 dalla software house Graphisoft⁴⁰. Oggi conta circa 150.000 utilizzatori in tutto il mondo grazie all'introduzione di oggetti parametrici che ne rendono immediato e di semplice apprendimento l'utilizzo.

Per poter procedere alla modellazione tridimensionale del fabbricato oggetto di studio, è stato necessario reperire gli elaborati grafici progettuali in formato CAD. Solo successivamente, a partire da essi è stato possibile procedere con il lavoro di modellazione direttamente in ambiente bim.

Prima ancora di modellare il fabbricato, si è proceduto con la creazione delle stratigrafie di materiali che compongono gli elementi opachi verticali e orizzontali e quindi gli elementi trasparenti verticali secondo le caratteristiche riscontrate in loco.

Sono stati perciò inseriti tutti i materiali che compongono ad esempio l'elemento 'muro perimetrale' e di pari passo definite le stratigrafie di materiali che compongono, ad esempio, il pacchetto murario, stabilendo per ciascuno di esso lo stile di rappresentazione nel rispetto delle normative grafiche.

⁴⁰ AA.VV., *Fatti su Archicad*, Retrieved March 25, 2014, URL: <http://fatti-su.it/archicad>.

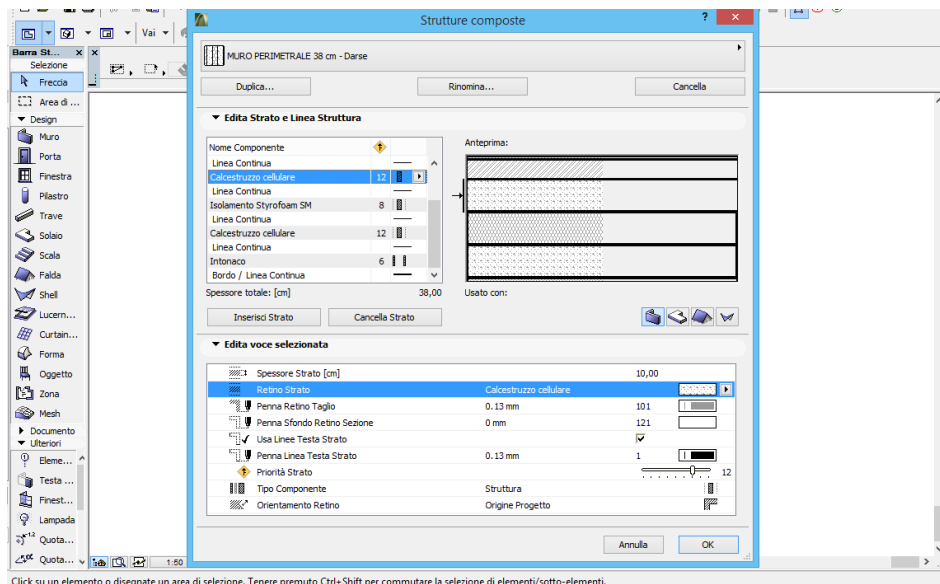


Fig. 21 Creazione del pacchetto murario perimetrale

Allo stesso modo, si è proceduto con i divisori interni, i solai e gli infissi sia interni che esterni: prima la definizione dei materiali e poi la corrispondente rappresentazione bidimensionale degli stessi.

Il programma è perfettamente attrezzato per lavorare in collaborazione con utenti di altri sistemi CAD, particolarmente quelli che supportano il formato DWG, nativo di AutoCAD, e lo standard industriale DXF. Inoltre, la presenza di un add-on DXF/DWG, rende totalmente interoperabili i due programmi consentendo di effettuare tutte le operazioni necessarie alla sovrapposizione del modello bidimensionale realizzato in AutoCAD e importato in ArchiCAD.

Ultima operazione da effettuare prima di cominciare a modellare, riguarda la creazione dei piani (o livelli) di appartenenza definendo, per ciascuno di essi la quota (assoluta o relativa); in tal modo, nell'interscambio tra i vari software si avrà maggior controllo dell'edificio in progettazione e – aspetto di maggiore importanza – il computo delle quantità dei materiali utilizzato sarà riferibile a ciascuno di esso.

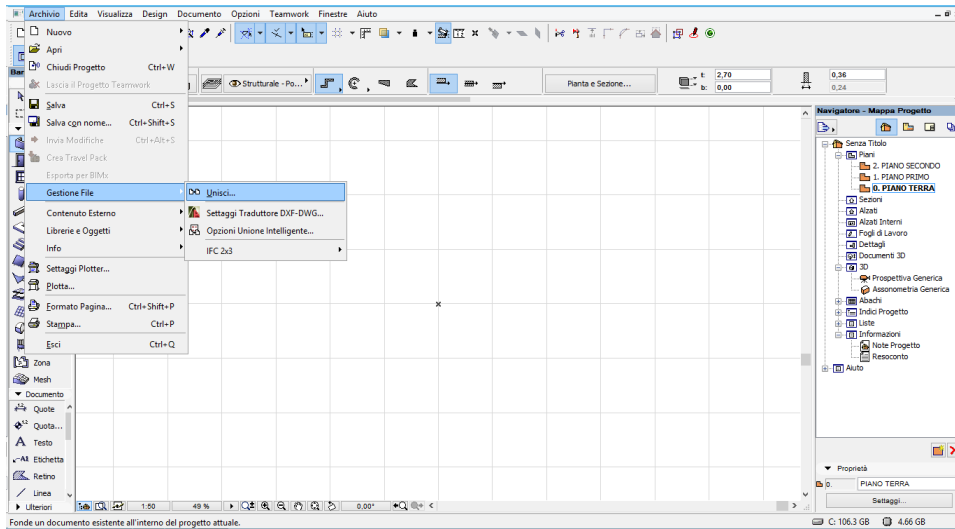


Fig. 22 Interfaccia grafica di ArchiCAD e import del file CAD

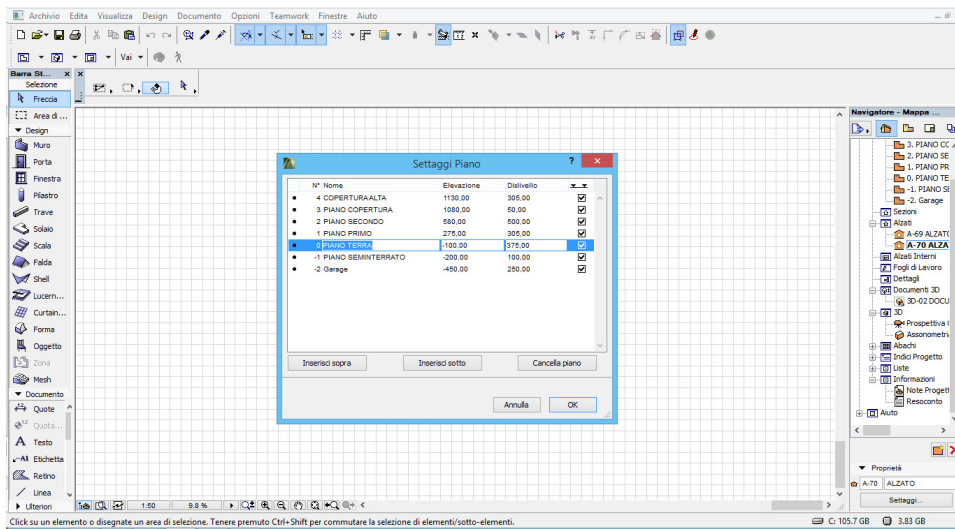


Fig. 23 Settaggio dei diversi livelli di lavoro

A questo punto, caricato il file DWG e con il database dei principali elementi da inserire già creati, l'operatore può procedere sovrapponendo alle linee 2D del file CAD gli elementi tridimensionali del modello parametrico, generando in automatico anche i prospetti. Come in tutti i processi edilizi, è oppor-

tuno procedere anzitutto alla modellazione degli elementi caratteristici di un progetto architettonico: partendo dalla definizione dei vuoti e dei pieni, si modellano i tamponamenti, i solai piani, i divisori interni, le falde di copertura, quindi le aperture e gli infissi e infine tutte quelle parti accessorie che completano l'opera dal punto di vista architettonico-formale.

I principali vantaggi nell'utilizzare tale software sono evidenti già dai primi click: librerie di oggetti parametrici – modificabili a seconda delle proprie esigenze – e successive creazioni di viste fotorealistiche o concettuali che forniscono una lettura chiara dei materiali, degli ambienti, dell'organizzazione spaziale e delle possibili interferenze, sono solo alcuni dei punti di forza del software utilizzato. Più complessa, ed è forse questa la pecca maggiore di alcuni software bim, è la modellazione delle superfici complesse e di tutti quei volumi ottenibili mediante operazioni multiple e quindi non contenuti nel seppur ricco data base del programma.

In altre parole, ArchiCAD (ma vale lo stesso per altri prodotti BIM) supporta bene la modifica di elementi già presenti nella propria libreria, ma si presenta poco flessibile alla creazione di nuovi, richiedendo tempi maggiori per la loro modellazione.

Lavorando nell'ottica di una progettazione collaborativa, è indispensabile provvedere anche alla definizione degli elementi portanti, quindi, nel caso specifico, travi, pilastri e solai, definendo per gli stessi la 'funzione strutturale' (Fig. 24). La selezione di una delle tre funzioni possibili (portante, non portante, o non definita) consentirà, in fase di interscambio dati, il riconoscimento del comportamento che avrà ciascuna elemento importato. Infatti, esportando il file in formato .IFC, la funzione strutturale, precedentemente assegnata, aggrupperà in automatico agli stessi elementi la proprietà portante, rendendone più agevole l'identificazione. Con queste prime operazioni, quello che inizialmente era un semplice modello tridimensionale, viene, implementazione dopo implementazione, trasformato in un bim, connotando ogni elemento costituente il progetto di una sua caratteristica intrinseca.

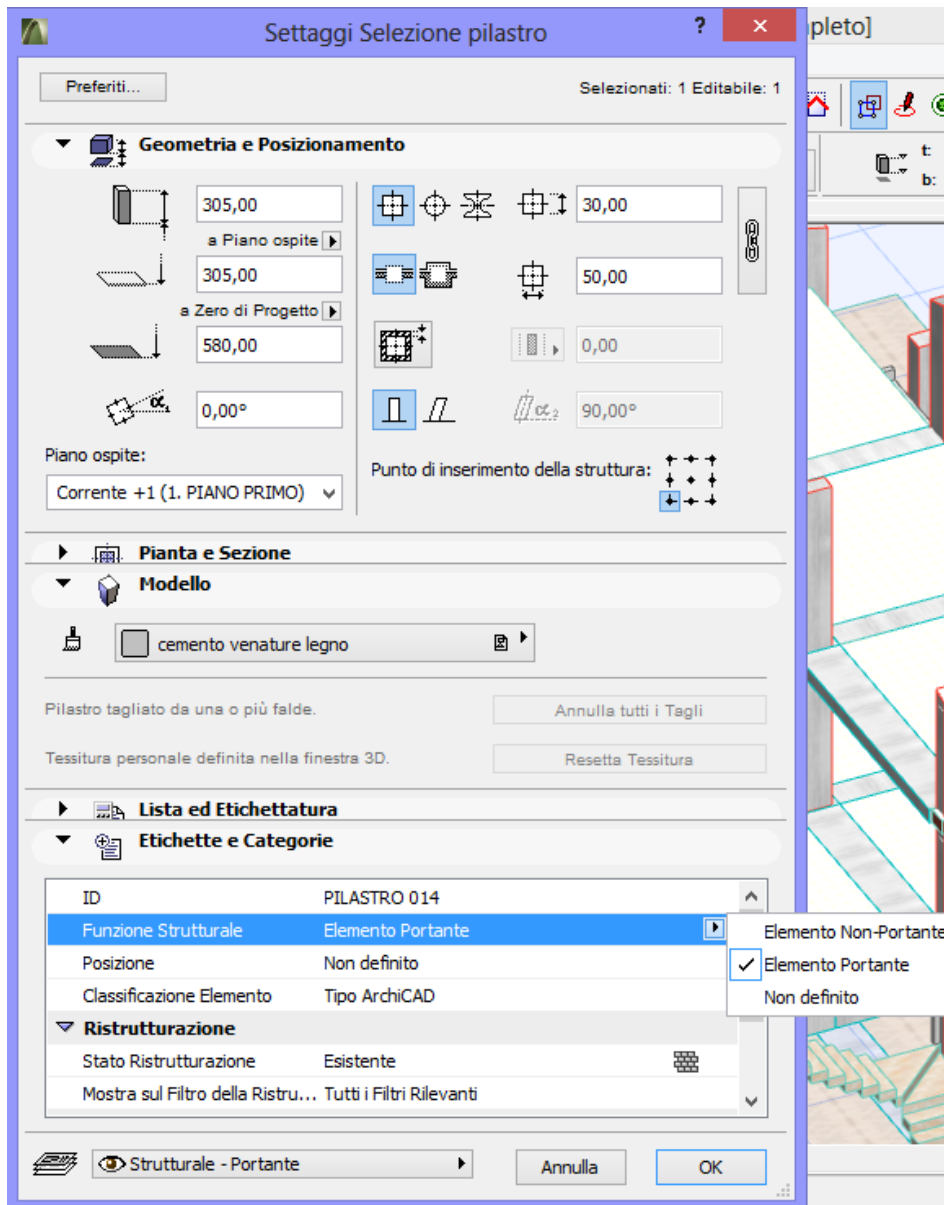


Fig. 24 Input della funzione 'portante' degli elementi strutturali

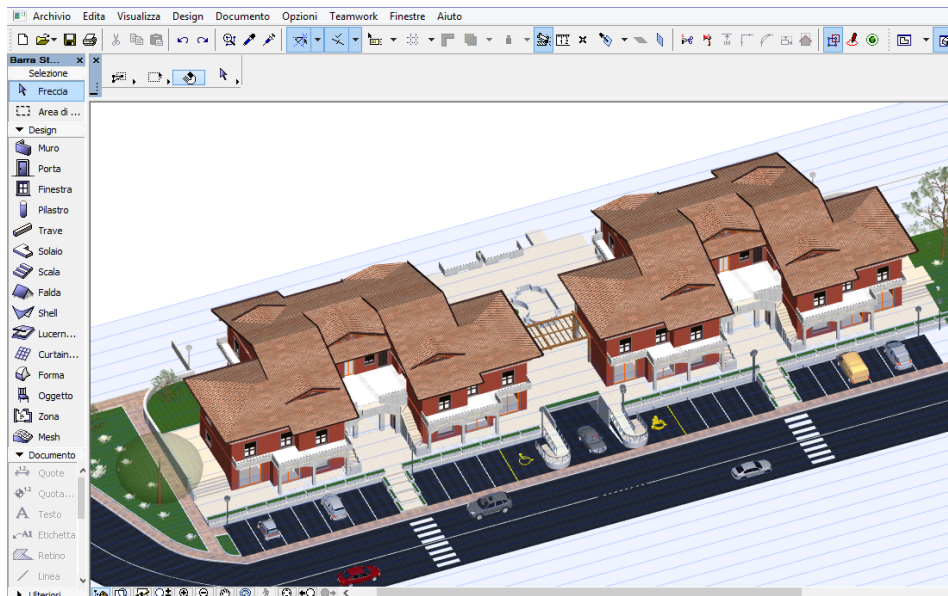


Fig. 25 Visualizzazione del modello infografico

Il modello infografico generato è stato completato in ogni sua parte: è infatti facilmente leggibile la tipologia dei materiali utilizzati, il loro differente utilizzo in funzione delle prestazioni richieste e anche l'occhio inesperto ha la capacità di interpretare quel gioco di vuoti e di pieni che contraddistingue qualsiasi progetto edilizio.

Attraverso l'applicazione di 'filtri' è possibile selezionare e quindi visualizzare le diverse discipline che caratterizzano il progetto realizzato, nonché tutti gli elaborati grafici bidimensionali che contraddistinguono un progetto definitivo.

A questo punto, a seconda delle esigenze progettuali, si può procedere con l'inserimento di luci, camere fotografiche e caratterizzazione dei materiali per l'ottenimento di render fotorealistici, viste tridimensionali o, più semplicemente, elaborati bidimensionali quali piante, prospetti e sezioni.

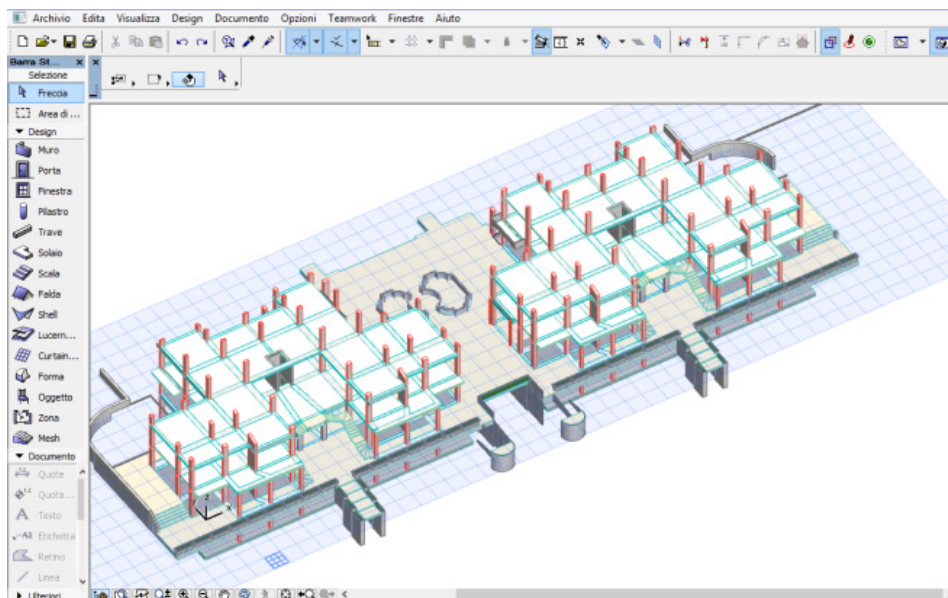


Fig. 26 Visualizzazione dei soli elementi con caratteristiche ‘portanti’

4.5 Analisi dell’interoperabilità tra software

Data l’inutilità di trattare in sincrono entrambi i corpi di fabbrica costituenti il complesso residenziale, da questo momento in poi, le trattazioni hanno riguardato uno solo dei due edifici. In questo paragrafo viene analizzato il livello di interoperabilità tra software diversi simulando l’interscambio di ‘file’ che in ambito lavorativo si verifica tra professionisti di settori, o aree disciplinari differenti. Allo scopo è stata analizzata l’interoperabilità tra i seguenti software: ArchiCad/Revit; ArchiCAD/Robot Structural Analysis; Revit/Robot Structural Analysis; infine sono state proposte delle possibili soluzioni per la risoluzione dei problemi di ‘comunicazione’ che si sono verificati nel passaggio del modello da un software all’altro.

4.5.1 ArchiCAD - Revit

A progetto architettonico ultimato, il modello è stato esportato come Industry Foundation Class versione 2x3 (IFC2x3) per simulare le successive fasi progettuali con un altro applicativo bim: Revit, – utilizzato sia come ‘ponte’ per

il software agli elementi finiti Robot Structural Analysis, che come ‘gestore’ dei dati multidisciplinari.

Revit nasce nel 1997 in Massachusetts dalla Charles River Software, software house di Leonid Raiz e Irwin Jungreis, sviluppatori chiave di PTC s’ Pro/Engineer software per la progettazione meccanica, con l’intento di portare la potenza della modellazione parametrica nel settore edile.

Il lavoro di sviluppatori di software e architetti, affiancati da membri del calibro di Dave Lemont, Jon Hirschtick – fondatore di SolidWorks – e Arol Wolford – fondatore del gruppo CMD –, ha fatto sì che Revit diventasse uno dei colossi della progettazione bim.

Fin dall’inizio, l’obiettivo era quello di consentire ad architetti e altri professionisti dell’edilizia di progettare e documentare un edificio con la creazione di un modello tridimensionale parametrico che includeva oltre che la geometria, informazioni sulla progettazione e la costruzione, mettendo le basi della metodologia nota come Building Information Modeling⁴¹.

All’apertura in Revit, del modello IFC2x3 precedentemente esportato, sono subito evidenti le difficoltà comunicative tra i due software. Pur parlando lo stesso linguaggio le traduzioni nel passaggio dall’uno all’altro programma hanno prodotto – nello specifico caso studio – una serie di incomprensioni di seguito descritte. L’operatore, prima ancora di entrare nell’ambiente di lavoro di Revit, viene accolto da una finestra che traduce in messaggi le inesattezze nell’interscambio di dati tra i due programmi: si tratta di ben centoquattro avvertimenti tra cui settantanove errori e venticinque avvisi (Fig. 27).

⁴¹ AA.VV. Revit Architecture: How to work with floor, <http://www.streamica.com/#!/v/F6q9yJGSiqc>, Retrieved May 5, 2013.

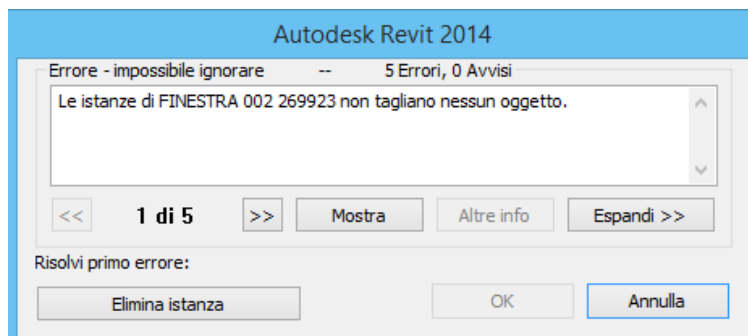
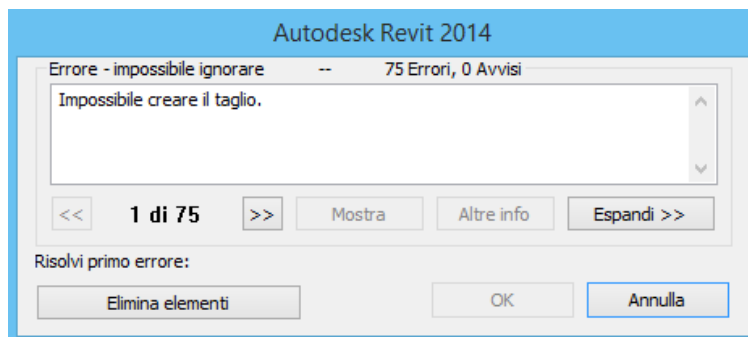
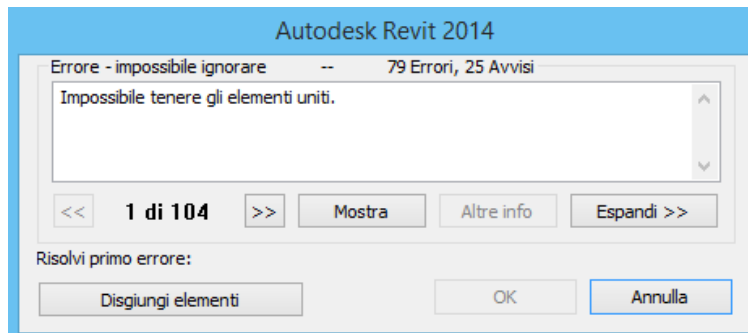


Fig. 27 Finestra degli avvertimenti successiva all'importazione del modello in Revit

La maggior parte di essi è riconducibile a una cattiva interpretazione delle intersezioni tra muri o alla difficoltà di tagliare quinte murarie e pilastri con le corrispondenti falde di copertura (Fig. 27).

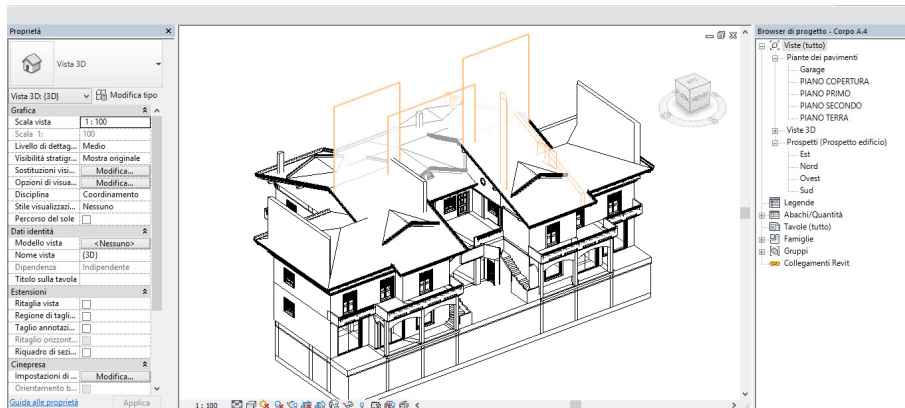


Fig. 28 Apertura del modello infografico in Revit

In alcuni casi, come per le grondaie delle falde di copertura (Fig. 29), Revit non riconosce la loro intersezione, prolungando senza intersecare i due elementi consecutivi e tra loro ortogonali.

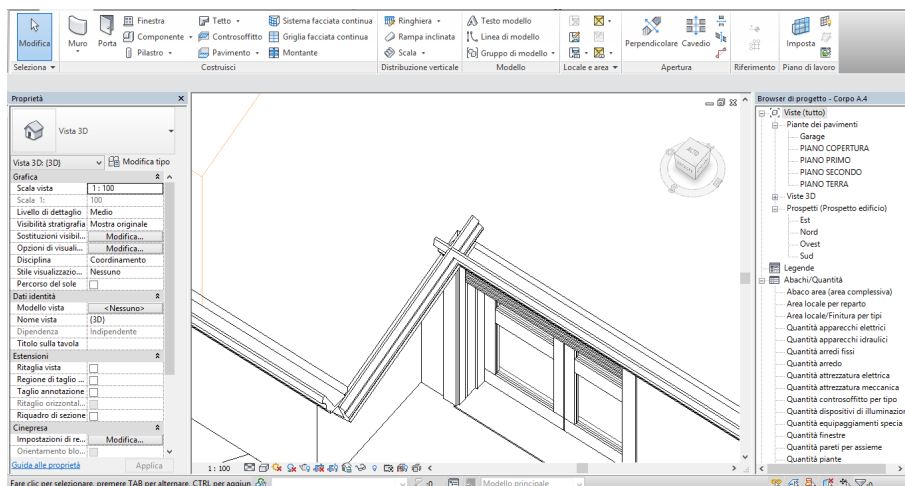


Fig. 29 Errata intersezione delle grondaie

Per la risoluzione della maggior parte degli errori visualizzati è stato necessario procedere con la disgiunzione degli elementi (nel caso dei tagli e delle intersezioni) e con la eliminazione delle istanze e delle famiglie scorrettamente importate. A questo punto, una volta entrati nell'ambiente di lavoro del soft-

ware americano, sono apparse ancor più evidenti le geometrie che lo stesso non riesce a gestire: si tratta di tutti quei volumi creati in ArchiCAD mediante semplici operazioni booleane di unione e sottrazioni di volumi.

Alcuni elementi di libreria presenti in ArchiCAD e assenti però in Revit, vengono gestiti in maniera ambigua, come succede ad esempio, con la finestra ad oblò presente nella muratura a chiusura dei sottotetti: infatti procedendo con la cancellazione dello stesso, Revit procede alla cancellazione anche dei muri portanti presenti al piano interrato (Fig. 30).

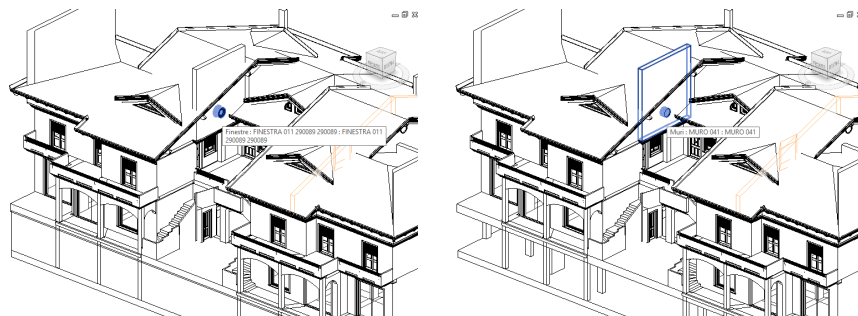


Fig. 30 Cancellazione dell'oblò all'ultimo impalcato e conseguente cancellazione dei muri portanti in fondazione



Fig. 31 Cattiva intersezione dei rompagni e risoluzione della connessione

Relativamente ad alcune intersezioni tra muri, come accade ad esempio in corrispondenza di alcuni rompagni sul ballatoio di ingresso, esse non vengono correttamente implementate (Fig. 31).

Visualizzando il modello infografico in pianta, non si ha traccia dei relativi riempimenti che denotano univocamente il tipo di materiale utilizzato (Fig. 31); analogo discorso per le caratteristiche termiche dei singoli elementi: mancano queste non da poco poiché costringono l'operatore a selezionare, per ciascun materiale, sia la relativa simbologia, che tutte quelle caratteristiche termiche indispensabili per condurre l'analisi energetica dell'involucro edilizio in studio.

D'altra parte però, le stratigrafie (spessori e materiali) che compongono gli elementi opachi verticali e orizzontali vengono mantenute: il pacchetto murario costituito da blocchi in calcestruzzo e pannelli di isolamento e completato su entrambi i lati da intonaco, così come modellato in ArchiCAD, viene riproposto fedelmente in Revit, lo stesso accade per il solaio – costituito sia dalla sua struttura portante che portata – mantiene la sua composizione.

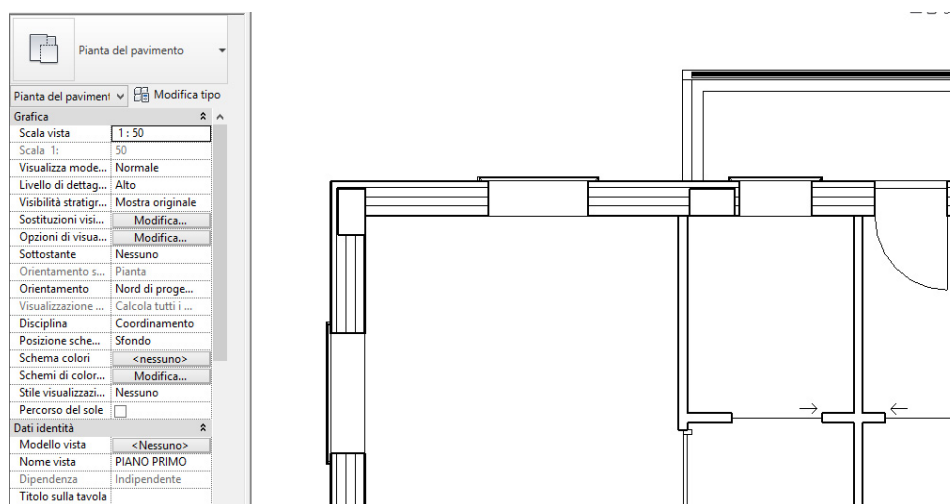


Fig. 32 Perdita delle caratteristiche grafiche

Isolando dal modello le sole strutture portanti, si evince una ulteriore incomprendimento nel passaggio da ArchiCAD a Revit: il software prodotto dall'Autodesk infatti, non riconosce automaticamente la disciplina 'Struttura' nel browser di progetto ma solo la disciplina 'Architettonica' e 'Coordinamento', pur avendo precedentemente implementato le strutture portanti. Inoltre,

isolando le sole strutture portanti – pilastri travi e setti – il software non riconosce la differenza tra murature portanti e rompagni.

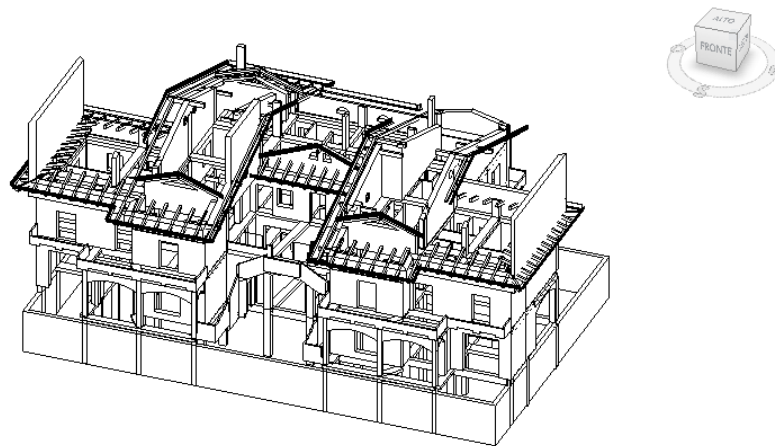


Fig. 33 Errata individuazione delle strutture portanti verticali e orizzontali

Per la risoluzione degli errori riscontrati, nella maggior parte dei casi è stato necessario procedere alla modellazione ex-novo degli elementi geometrici; come ad esempio per i setti portanti in fondazione – a seguito della cancellazione dell’oblò del sottotetto – o per le grondaie di copertura.

Procedendo con la modellazione degli elementi costruttivi mal interpretati nel passaggio da ArchiCAD a Revit, si è proceduto anche con l’arricchimento dello stesso modello infografico con nuovi elementi architettonici e impiantistici che amplificano ulteriormente il ventaglio d’utilizzo della metodologia. In particolare, sono stati inseriti gli impianti igienico sanitari con le relative condutture di scarico. Elementi che spesso vengono solo rappresentati in formato bidimensionale senza aver cura dell’effettivo posizionamento e dell’iterazione che gli stessi assumono nel contesto architettonico e di cui è facile perderne traccia proprio perché assorbiti da altre parti visibili della struttura. Si pensi ad esempio alla fitta rete di condotte di scarico che collegano i servizi igienici alla fecale, di cui in certi casi se ne perde traccia perché totalmente inglobata nella muratura. La modellazione di tali elementi, oltre che necessaria

per il calcolo degli impianti igienico-sanitaria, costituisce appunto un ulteriore tassello da inserire nel database infografico del fabbricato in studio (Fig. 34).

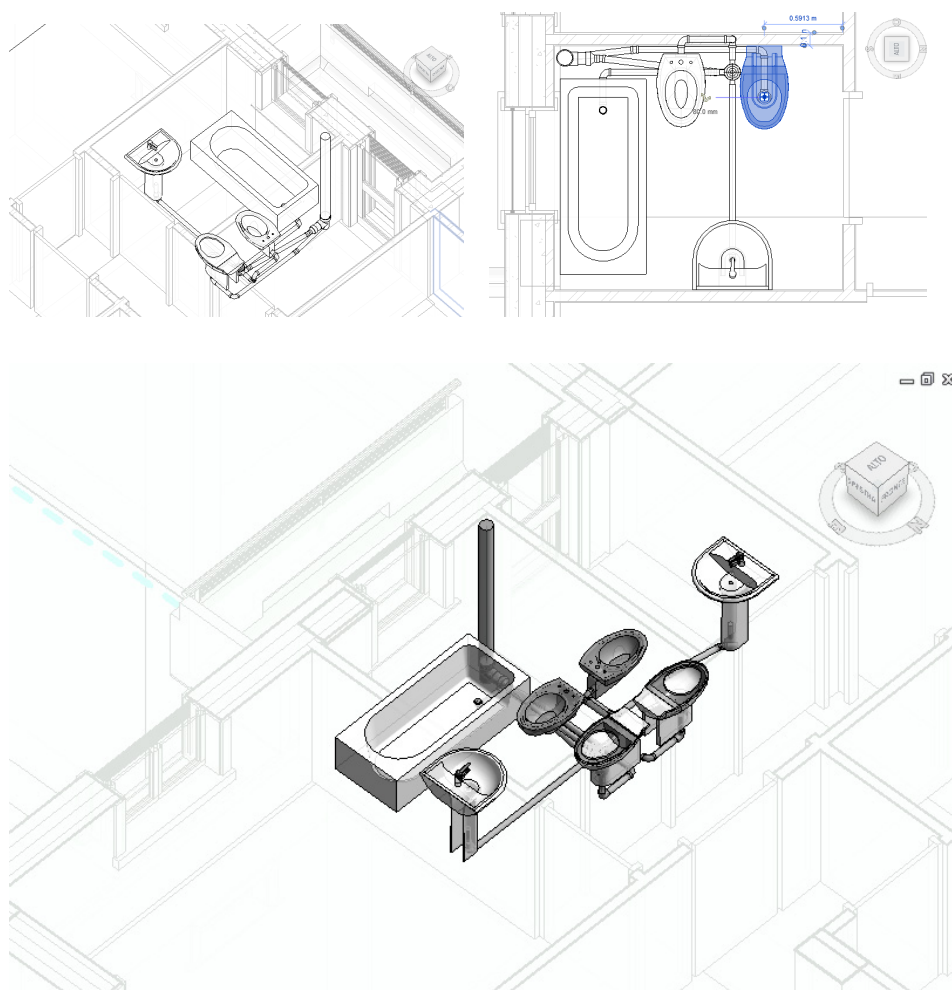


Fig. 34 Viste assometriche e dall'alto degli impianti di scarico

Ritornando alla verifica dell'interoperabilità, discorso a parte è stato condotto per la individuazione degli elementi portanti.

In questo caso, infatti è possibile importare in Revit solo gli elementi che assolvono la funzione strutturale, ciò mediante il traduttore 'Interscambio dati

con Revit Structure': esso consente di importare le sole strutture portanti – quelle cioè che hanno funzione strutturale così come illustrato al par.4.4.2.

4.5.2 Import del modello strutturale in Revit

Per assicurare l'interoperabilità tra i due programmi in esame è indispensabile seguire un 'protocollo' di progettazione tale da garantire da una parte la velocità di input di dati e dall'altra, probabilmente l'aspetto più importante, una riduzione di elementi ridondanti. Il flusso di lavoro di seguito analizzato prende le basi da quanto proposto sulla guida operativa di ArchiCAD 16. Anche se, come vedremo più avanti, è possibile far interagire direttamente il file creato in ArchiCAD con il software agli elementi finiti preposto per l'analisi strutturale - in questo caso Autodesk Robot Structural Analysis - si è preferito ipotizzare un ulteriore 'passaggio di file', per un check-in dei dati di ingresso prima di procedere con la successiva analisi agli elementi finiti. Il software utilizzato come 'fulcro' del processo BIM è l'Autodesk Revit Architecture 2014: si tratta di un programma di modellazione informatica intelligente degli edifici in grado di integrare un modello fisico con un modello analitico editabile indipendentemente per l'analisi strutturale, la progettazione (sia architettonica che impiantistica), e la documentazione. Essendo interessati all'esportazione delle sole strutture portanti, ArchiCAD fornisce la possibilità di caricare in Revit solo quegli elementi che assolvono a tale funzione: il riconoscimento avviene in automatico avendo precedentemente differenziato gli elementi con funzione strutturale da quelli aventi funzione non strutturale, per cui i dati in ingresso vengono tradotti nel file .IFC e gestiti direttamente in Revit Structure. ArchiCAD offre un traduttore incorporato le cui impostazioni sono ottimizzate per l'esportazione dei modelli in Revit Structure mediante il formato .IFC.

Esso da un lato interpreta il modello architettonico semplificandolo di tutte le parti accessorie, e dall'altro ottimizza i dati in ingresso e quindi del modello implementato. Naturalmente è possibile definire i propri traduttori personalizzati, in base alle proprie esigenze specifiche.

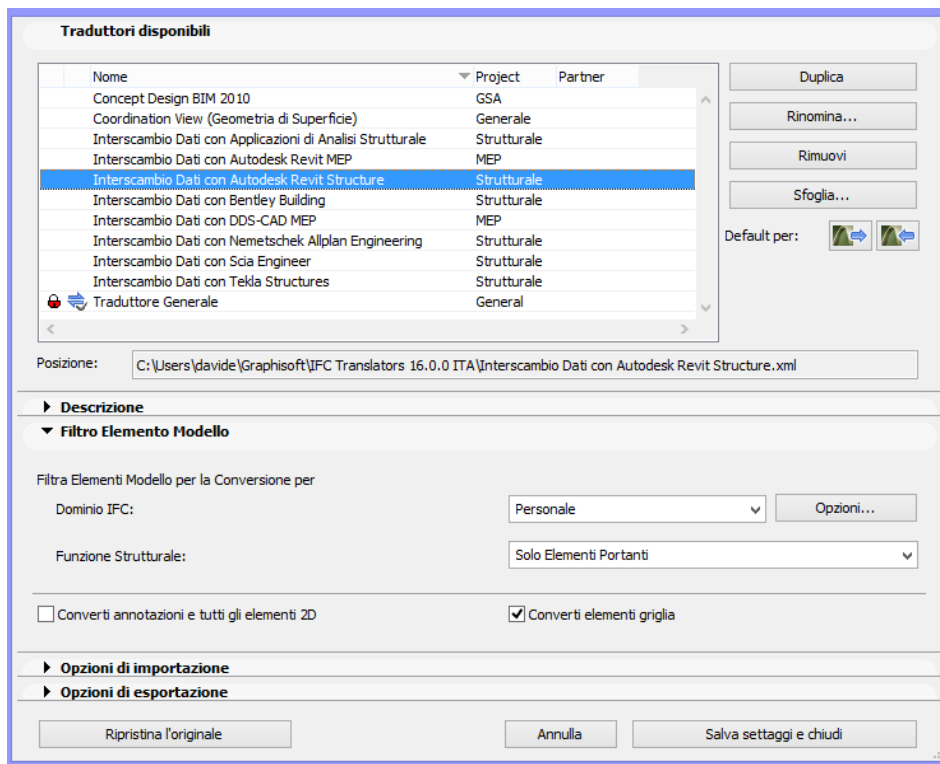


Fig. 35 Interfaccia dei traduttori disponibili in ArchiCAD

Questo significa che se il filtro elemento modello è impostato su solo 'elementi portanti', verranno esportati soltanto gli elementi classificati in ArchiCAD come portanti il che rappresenta un grande vantaggio, evitando allo strutturista la pulizia di tutti gli elementi architettonici che non hanno alcun interesse nell'analisi strutturale. Il file così esportato, di estensione .IFC, è pronto per essere caricato in Revit. A seguito della fase di importazione, la cui durata varia in funzione della complessità geometrica del modello da rigenerare, il modello infografico precedentemente creato in ArchiCAD viene caricato in Revit: nel passaggio da un software all'altro vengono riconosciute le quote degli impalcati, le dimensioni degli elementi costruttivi il nome delle singole viste.

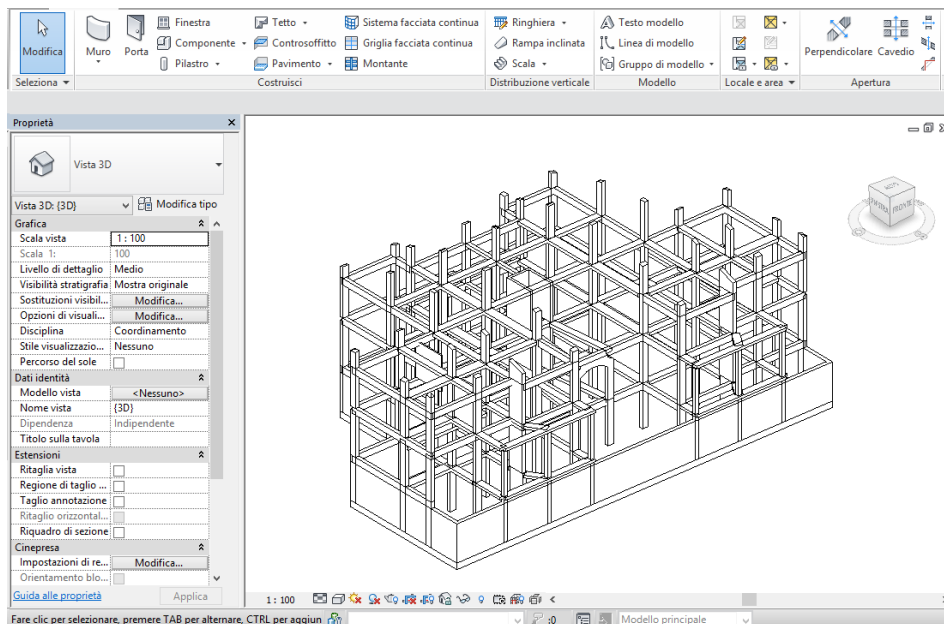


Fig. 36 Importazione in Revit delle sole strutture portanti

Travi e pilastri perciò mantengono la stessa geometria - sezione e dimensioni - imputata in fase di progettazione architettonica ma sono privi delle informazioni necessarie per la successiva analisi strutturale. Inoltre i pilastri collocati all'ultimo impalcato vengono trasformati in masse, molto probabilmente, per via del taglio effettuato con le falde di copertura.

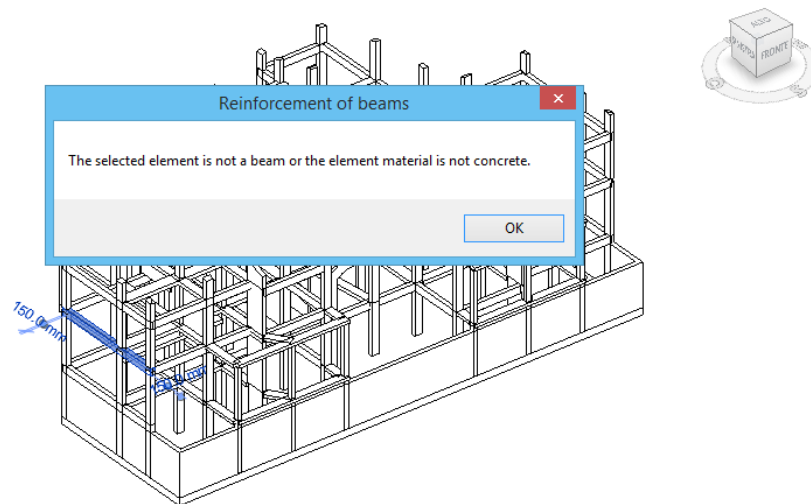


Fig. 37 Cattiva gestione del modello bim implementato

A riprova di quanto appena sottolineato, inviando il modello appena importato da Revit a Robot Structural Analysis, si evidenziano gli errori prima enunciati. Il collegamento tra i due software Autodesk avviene mediante un add-on che consente il trasferimento in maniera diretta tra i due programmi.

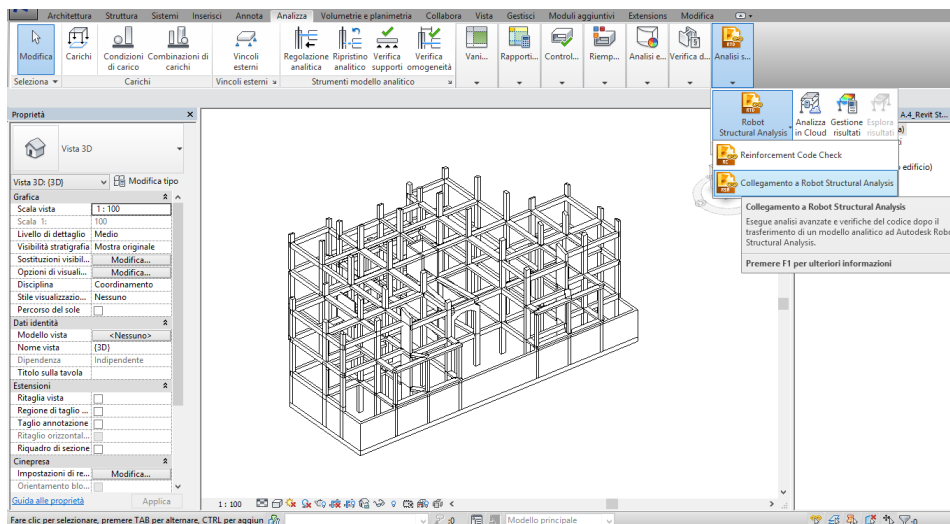


Fig. 38 Fase di esportazione da Revit a Robot mediante add-on

Una volta importato il modello in Robot, si verificano le seguenti incongruità rispetto al modello strutturale originariamente generato in ArchiCAD: le travi non vengono importate nel modello; alcune pilastrate non rispettano gli allineamenti verticali ma, pilastri appartenenti allo stesso filo, risultano disassati; i pilastri dell'ultimo impalcato non vengono tagliati rispetto alla falda.

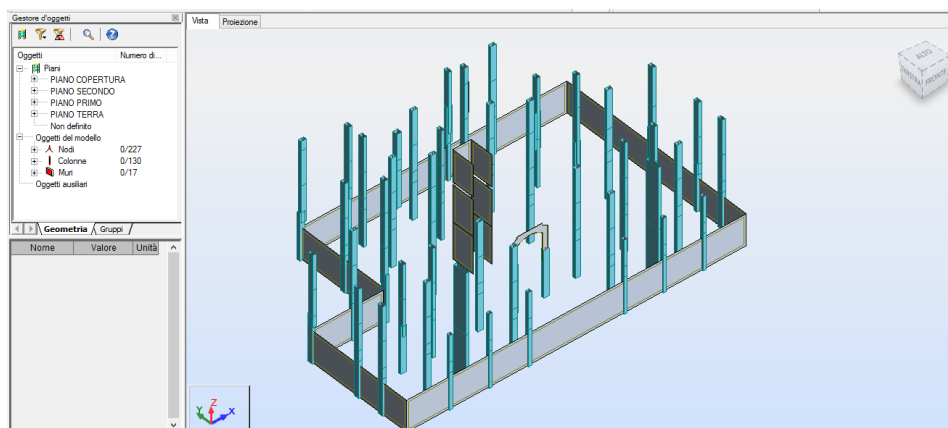


Fig. 39 Visualizzazione del modello FEM importato in Robot

Per la risoluzione delle incongruità riscontrate, si è preferito risolvere il problema a monte – quindi in Revit – procedendo come di seguito riportato.

Entrando nel dettaglio gli inconvenienti da superare sono tre: il primo riguardante il riconoscimento della funzione strutturale dei pilastri; il secondo relativo ai pilastri dell'impalcato di copertura e l'ultimo riguardante la ridefinizione degli elementi portanti orizzontali. Per i primi due aspetti si è ritenuto opportuno procedere in ambiente Revit dove sono stati modellate due famiglie di pilastri di sezione pari a quelle presenti nel modello architettonico e aventi le proprietà meccaniche richieste dal progettista strutturale (calcestruzzo gettato in opera classe C25/30). Quindi con lo strumento 'copia le proprietà del tipo' sono state caricate le proprietà dei pilastri modellati in Revit su quelli importati da ArchiCAD: così facendo i pilastri che inizialmente erano semplici elementi geometrici tridimensionali sono diventati elementi strutturali e quindi con funzione portante (Fig. 40).

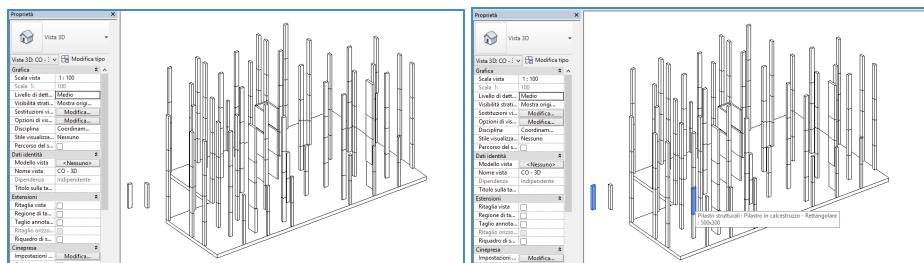


Fig. 40 Input delle caratteristiche strutturali dei pilastri

Discorso a parte per quanto riguarda le travi, infatti, procedendo in maniera analoga a quanto sopra descritto, non si è arrivati ad alcun risultato soddisfacente per cui si è resa necessaria la modellazione ex novo degli stessi elementi strutturali direttamente in ambiente Revit. Effettuate tutte le correzioni necessarie alla ri-definizione del modello strutturale, in automatico l'intersezione tra travi e pilastri genera il modello analitico: i nodi che, all'interno di un qualsiasi programma di calcolo agli elementi finiti, rappresentano i punti di collegamento delle aste, rappresentano allo stesso tempo gli elementi alla base dell'analisi matriciale (Fig. 41).

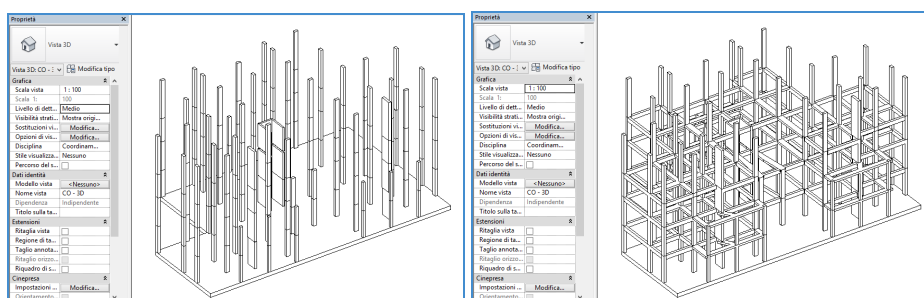


Fig. 41 Modellazione ex-novo delle strutture portanti orizzontali

A questo punto, importando nuovamente il modello infografico in Robot Structural Analysis, il software riconosce – in automatico tutti gli elementi portanti, sia orizzontali che verticali e con essi tutte le caratteristiche geometriche – lunghezza, coordinate cartesiane dei nodi – e meccaniche – inerzia, modulo

di elasticità, ecc. A tal punto il progettista strutturale, verificata la bontà delle ipotesi condotte in fase di progettazione architettonica, può procedere, laddove necessario, alle eventuali modifiche da apportare al modello implementato: l’inserimento dei carichi e delle relative combinazioni, particolari condizioni di vincolo e al contorno, sono solo alcune delle operazioni di routine che precedono il calcolo strutturale vero e proprio.

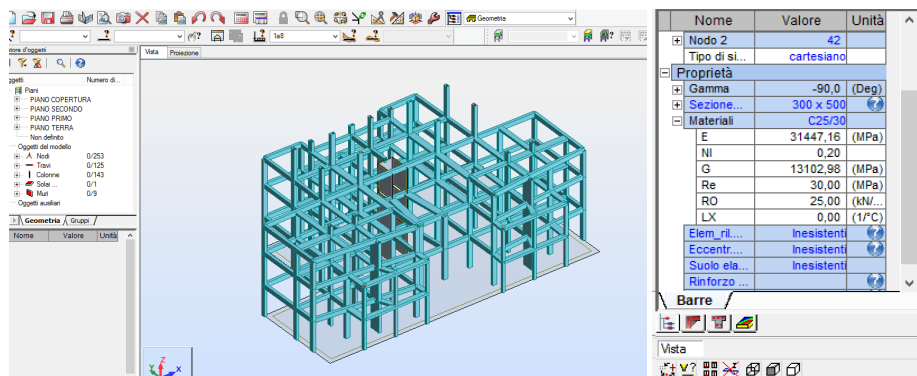


Fig. 42 Import del modello strutturale corretto e individuazione delle caratteristiche strutturali degli elementi portanti

4.5.3 Interoperabilità tra ArchiCAD e Robot Structural Analysis

In questo paragrafo si vuole analizzare il livello di interoperabilità esistente per il tramite del file IFC generato in ArchiCAD e importato in Robot.

Tale circostanza si verifica quando, anziché utilizzare un programma – nel caso del paragrafo precedente Revit – come software di check-in, si vogliono svincolare tutte le discipline progettuali – in questo caso solo le strutture – a partire dal modello architettonico. Pertanto, al fine di importare in Robot solo le strutture portanti, la prima operazione da fare consiste nell’attivare la visualizzazione delle sole strutture portanti mediante il comando ‘visualizzazione parziale della struttura’ presente nel menù ‘documenti’ (Fig. 43).

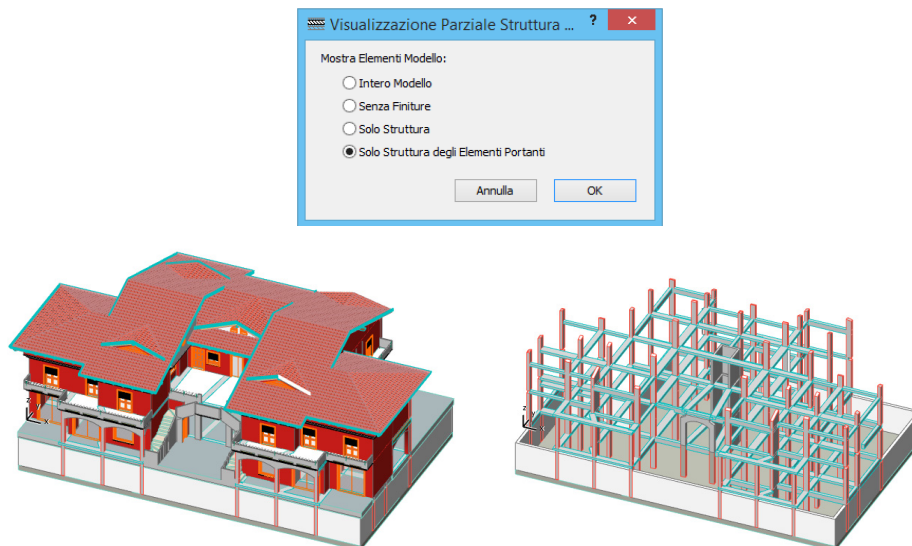


Fig. 43 Passaggio dalla visualizzazione completa alle sole strutture portanti

Così facendo, il software in automatico visualizzerà unicamente gli elementi portanti, oscurando tutti gli altri. Salvato il file in formato IFC2x3, si procede all'apertura dello stesso in Robot Structural Analysis mediante la funzione 'apri progetto'.

All'apertura del programma si visualizzano correttamente sia gli impalcati che le quote di ognuno di essi, stesso discorso per le caratteristiche meccaniche degli elementi. Per quanto riguarda le geometrie si evince chiaramente che i due programmi assumono diversi sistemi di riferimento locale – Robot assume l'asse X del riferimento coincidente con l'asse dell'elemento strutturale – e in particolare ruotato di 90°.

Per risolvere l'inconveniente esistono due metodi: il primo consiste nel selezionare tutti gli elementi e modificare il parametro 'gamma' presente nel menù delle proprietà impostandolo pari a 90°; il secondo, invece nel modificare l'impostazione di default del parametro 'gamma' presente in Geometria > Proprietà > Angolo gamma e impostare il 'valore speciale' pari a 90°.

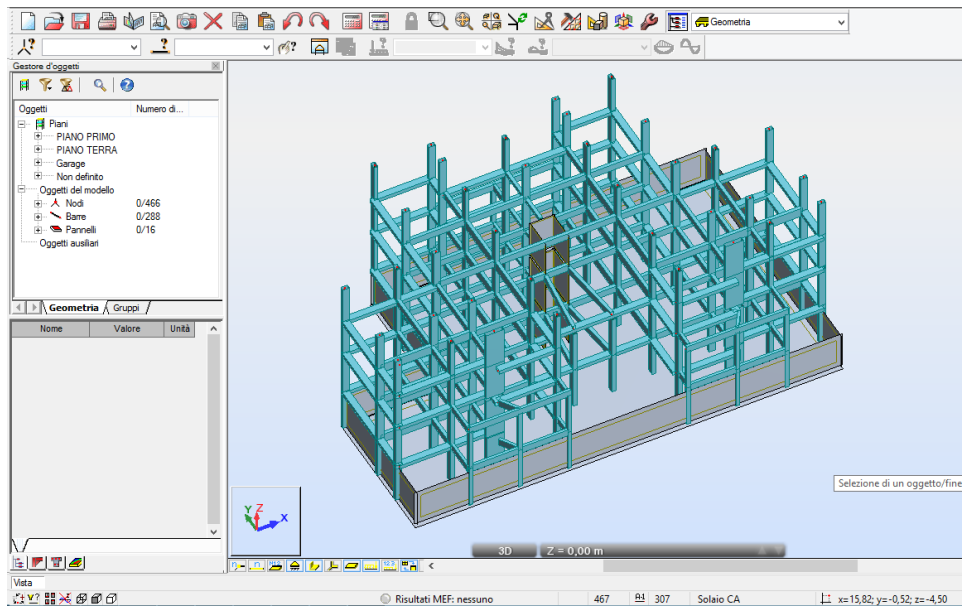


Fig. 44 Visualizzazione delle strutture portanti ruotate rispetto alle impostazioni iniziali

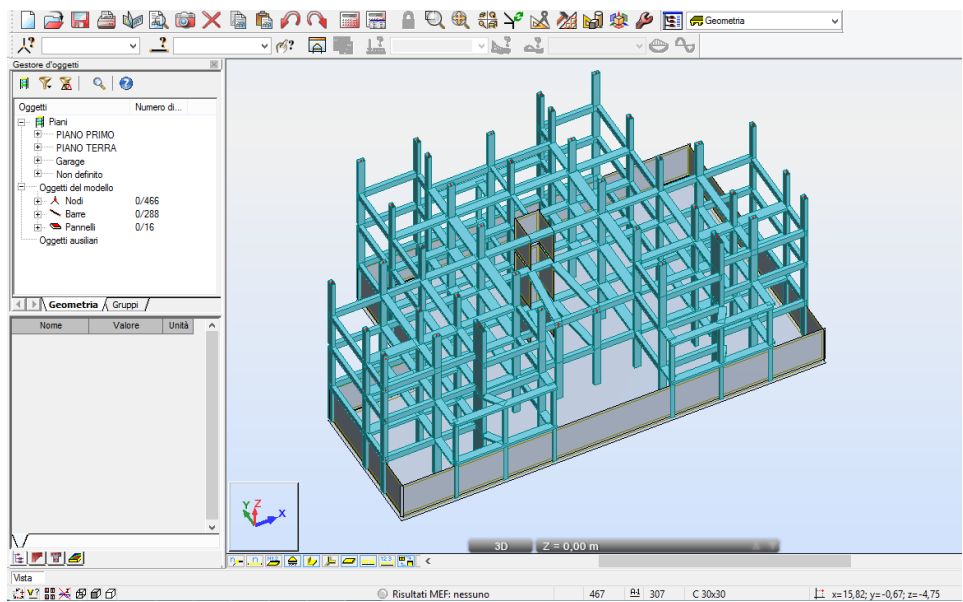


Fig. 45 Correzione del sistema di riferimento locale in Robot

4.5.4 Prime conclusioni

Lo studio condotto fino a questo punto ha fornito dei primi risultati della ricerca: la verifica del livello di interoperabilità tra software differenti. Il primo utilizzato come supporto alla progettazione architettonica – ArchiCAD 16 – il secondo – Revit 2014 – come ‘ponte’ per le successive implementazioni progettuali riguardanti l’analisi strutturale – a tal fine è stato utilizzato un terzo software, Robot Structural Analysis 2014 – e le successive implementazioni riguardanti la progettazione degli impianti di smaltimento delle acque reflue e l’analisi energetica del fabbricato. Per il caso studio proposto, si è evidenziato un mediocre livello di interoperabilità tra tali software, in particolare nel passaggio del modello infografico da ArchiCAD a Revit, la maggior parte delle inesattezze si sono verificate in corrispondenza di quelle geometrie complesse generate mediante intersezioni di volumi o in corrispondenza dei tagli di tramezzi e pilastri, che il software crea in maniera automatica con le falde di copertura. Poche semplici operazioni hanno però consentito di correggere gli errori generati in fase di importazione, restituendo così all’operatore un modello perfettamente implementabile per le successive fasi progettuali.

In maniera analoga si è investigato sul livello di interoperabilità tra ArchiCAD e Robot, relativamente alla sola parte strutturale dell’edificio in studio. In questo caso, l’unica discrepanza tra il modello di partenza e quello d’arrivo è stata riscontrata nel differente sistema di riferimento esistente tra i due programmi, rendendo perciò necessaria una sola operazione per allineare il modello strutturale a quello architettonico.

Pertanto, lo studio condotto evidenzia i limiti e i vantaggi che i progettisti possono riscontrare nell’utilizzare la metodologia BIM proposta. Essa, allo stato attuale, è ancora strettamente legata ai software che si utilizzano anche a causa dell’assenza di protocolli e linee guida in grado di indirizzare i tecnici verso la ‘rivoluzione metodologica progettuale’ derivante dal BIM. Al tempo stesso però le software house dovrebbero tendere verso una maggiore interoperabilità che, se tra programmi della stessa casa madre è garantita, in alcuni casi costringe a stratagemmi o manipolazioni per pervenire al risultato auspicato. Nonostante tutto i benefici, rispetto ai tradizionali metodi di progettazione basati sul CAD, sono notevoli: il 2D/3D CAD descrive un edificio rappresentan-

dolo in maniera statica, quasi decontestualizzata; gli elaborati grafici che si ottengono quali piante, sezioni e prospetti sembrano in qualche modo slegati l'un l'altro: una semplice modifica di una di queste visualizzazioni richiederebbe l'aggiornamento di tutte le altre viste, operazione che comporterebbe maggiori rischi errori e tempi di consegna prolungati. Input dopo input gli elementi caratterizzando il progetto cominciano a prendere 'vita', immagazzinando al loro interno – in un unico database – tutte quelle informazioni che nella prassi comune sono sparpagliate tra file diversi e dal contenuto – in certi casi – tra loro discordanti. La sperimentazione di seguito condotta, ancora prendendo a base il caso studio, ha permesso di effettuare una comparazione tra software di analisi sismica: l'uno basato sulla metodologia bim, l'altro di utilizzo comune nel settore della progettazione strutturale.

4.6 Comparazioni tra software di calcolo strutturale

Con le Norme Tecniche per le Costruzioni del 2008, sono state incluse specifiche regole per la validazione della progettazione e modellazione delle strutture. Tale disciplina, per i risvolti sociali – ed economici – che investe, è assai complicata e richiede specifiche competenze che, dato il lavoro di ricerca condotto, vanno al di là di quelle che sono gli obiettivi prefissati nella seguente tesi di dottorato.

Infatti, quando si mettono a confronto due o più programmi di calcolo, entrano in gioco diverse professionalità che investono ad ampio raggio la disciplina dell'analisi e del calcolo strutturale. Investigare sulla commissione dei cosiddetti endoerrori, da parte di un software o dell'altro, implicherebbe, per esempio, un maggior numero di confronti su più casi studio, alterando di volta in volta le condizioni al contorno e le caratteristiche intrinseche delle strutture analizzate, fino a condurre anni di prove e simulazioni.

Solo mediante considerazioni probabilistiche che diano scarti entro certe piccole soglie ed in certi peculiari risultati⁴², è possibile escludere la commissione degli endoerrori generici. Il Cap. 10 delle NTC 2008, infatti, parla di

⁴² Rugarli, P., *La valutazione del calcolo strutturale*, Castalia srl, Milano, 2012, p. 8.

‘elaborazioni diverse’ intendendo eseguite con algoritmi solutori diversi e, di conseguenza, con software diversi.

In questa fase, perciò, volendo verificare la confrontabilità dei risultati di una analisi sismica condotta mediante due differenti software, ci si limiterà a un confronto del comportamento globale della struttura e successivamente al confronto in termini di spostamento dei risultati ottenuti dal programma che utilizza la metodologia bim – Robot Structural Analysis 2014 – e un programma di calcolo di utilizzo comune nella pratica professionale in Italia – CDSWin Release 2013, consapevoli che non si tratta né di una validazione strutturale, né tantomeno di un controllo su un software. Successive analisi più dettagliate potranno eventualmente evidenziare carenze e punti di forza dei software utilizzati.

Dal punto di vista strutturale, il fabbricato in esame si compone di quattro impalcati – supporti rigidi dal punto di vista estensionale – e strutture portanti verticali e orizzontali in cemento armato. Le calcolazioni sono state effettuate considerando la stessa non regolare in piante né in elevazione. Data la tipologia di struttura, è stato adottato quale fattore di struttura – sia in direzione X che in direzione Y – il valore di 2,76, avendo supposto una classe di duttilità bassa e trattandosi di struttura a telaio a più piani a più campate.

Per il caso studio è stata condotta un’analisi dinamica modale con spettro di risposta a masse concentrate sui piani sismici: i software in automatico provvederanno all’applicazione di un’unica forza sul baricentro delle rigidezze di ciascun piano sismico, forza calcolata tenendo conto della massa dell’impalcato in questione e delle masse presenti sugli interpiani vicini, che invece non saranno direttamente soggetti all’effetto sismico.

I carichi portati in conto riguardano il peso proprio (calcolato in automatico da entrambi i programmi), i sovraccarichi permanenti (pari a 250 kg/m) i carichi accidentali (pari a 750 kg/m) entrambi considerati gravanti su ciascun elemento portate orizzontale e con destinazione d’uso di tipo abitazione.

Parametri sismici			
Vita Nominale	50 anni	Analisi sismica	Dinamica
Classe d'uso	II	Stato limite	SLV
Caratteristiche sito		Caratteristiche costruzione	
Longitud. Est	12,5	q _x	2,76
Latitud. Nord	45	q _y	2,76
Categoria suolo	A	Carichi	
Coeff. Topografico	1	Permanente	250 kg/m
Caratteristiche sisma		Accidentale	750 kg/m
Direzione sisma	0	Uso	Abitazione
Sisma verticale	NO	Combinazioni di carico	
Numero modi	10	Statica	$\gamma_{G1} G_1 + \gamma_{G2} G_2 + \gamma_{Q1} Q_{k1}$
Tipo Combinazione	CQC	Sisma X	$G_1 + G_2 + \Psi_{21} Q_{k1} + E_x + 0,3E_y$
Coeff. Di Smorzamento	0,05	SismaY	$G_1 + G_2 + \Psi_{21} Q_{k1} + 0,3E_x + E_y$

Fig. 46 Parametri dell'analisi sismica

4.6.1 La metodologia adottata

Al fine di poter operare il confronto tra i due software in studio, si è proceduto prima di tutto con la modellazione delle strutture portanti in CDSWin, così come predimensionate precedentemente in fase di progettazione architettonica; quindi con l'implementazione dei carichi gravanti su di esse e con l'inserimento dei parametri necessari per l'analisi sismica. Relativamente al software Robot, le strutture portanti sono le stesse ricavate nella fase di interscambio dei dati dal software Revit a Robot stesso. Implementati i carichi e i parametri del caso, sono stati estrapolati i dati necessari per i confronti del caso.

4.6.2 Implementazione delle strutture portanti

Prodotto dalla software house STS, CDSWin è un programma per la risoluzione di schemi strutturali tridimensionali per la cui realizzazione possono essere impiegati come materiali costitutivi, singolarmente o anche contemporaneamente, il calcestruzzo armato ordinario, l'acciaio ed il legno. Il programma, utilizzando il metodo agli elementi finiti, consente di sviluppare un'analisi statica o sismica (statica o dinamica). La modellazione delle strutture in ambiente CDSWin, presuppone, come punto di partenza, la conoscenza del progetto architettonico in formato DWG. A partire da esso – caricato nell'ambiente di lavoro e posizionato come sottolucido di riferimento – è infatti possibile procedere con l'inserimento prima delle quote degli impalcati, poi dei fili fissi e

quindi dei pilastri. In questa fase è indispensabile prestare la massima attenzione possibile, al fine di evitare errori di input che potrebbero costringere l'operatore a dover eseguire il lavoro da capo. Successivamente si procede con la modellazione delle travi e quindi dei carichi gravanti sulla struttura. A questo punto il modello strutturale è completo di ogni sua parte.

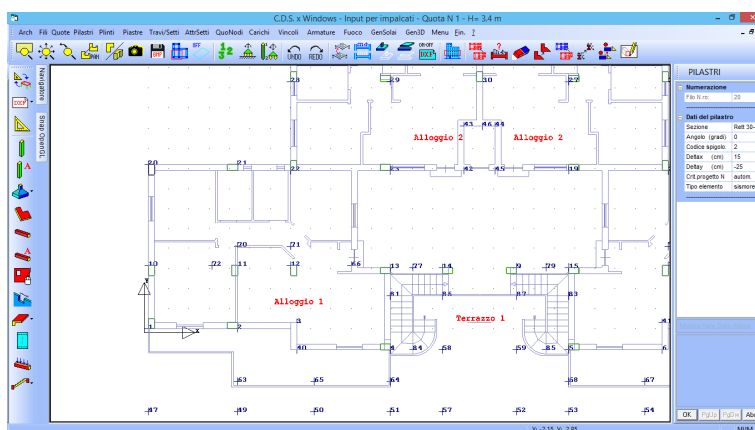


Fig. 47 Inserimento dei fili fissi e dei pilastri a partire dal DWG

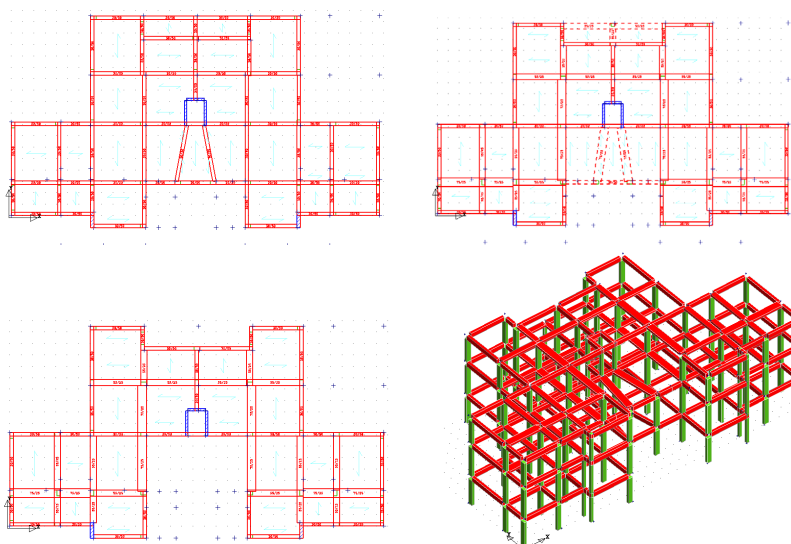


Fig. 48 Modello FEM in CDSWin

Relativamente al modello strutturale su base bim, si è adottato quello precedentemente implementato in Revit e poi caricato in Robot. Come anticipato al par. 4.5.2, sono state necessarie diverse manipolazioni quali modellazioni eX novo e modifica delle caratteristiche dei materiali prima di iniziare a lavorare sul modello strutturale.

La prima operazione da effettuare consiste nella scelta della normativa secondo cui procedere con il progetto e le verifiche sismiche – prima – e degli elementi strutturali – poi – ; in tal senso, perciò, si procede accedendo alle ‘preferenze del progetto’ impostando le norme di progettazione (suddivise in funzione del tipo di materiale strutturale), la tipologia di analisi strutturale che si vuole condurre (modale, non lineare, sismica) e, infine, il sistema metrico che si vuole utilizzare e la gestione delle cartelle dei materiali e dei suoli.

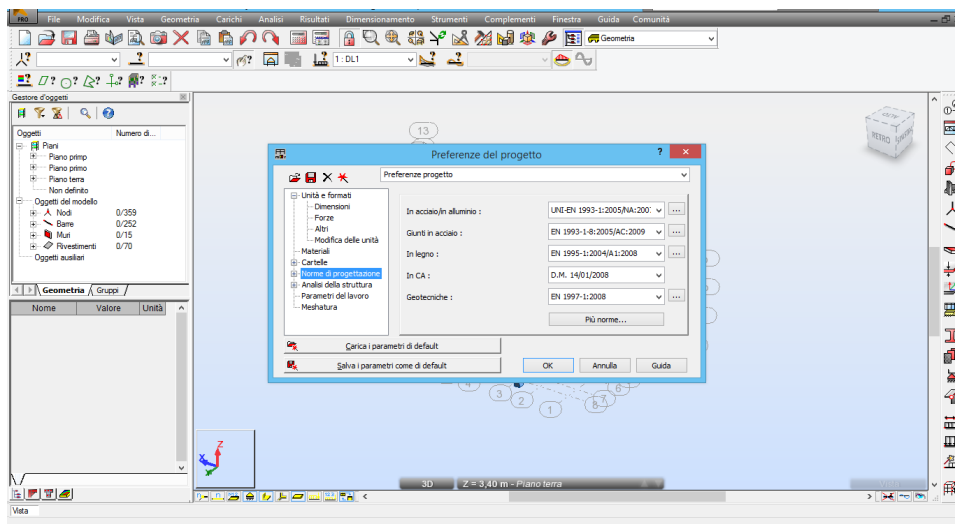


Fig. 49 Input delle preferenze del progetto

Dal punto di vista funzionale, il software è dotato di un ‘gestore d’oggetti’ che consente di selezionare in maniera intelligente i vari componenti della struttura – nodi, barre, muri o rivestimenti – proponendone una suddivisione anche per piani di appartenenza. In alternativa, è possibile agire mediante l’utilizzo delle griglie che consentono di selezionare un intero telaio piano (in

proiezione verticale o orizzontale) consentendo l'intervento dell'operatore sugli elementi portanti di uno specifico piano di appartenenza in maniera più speditiva.

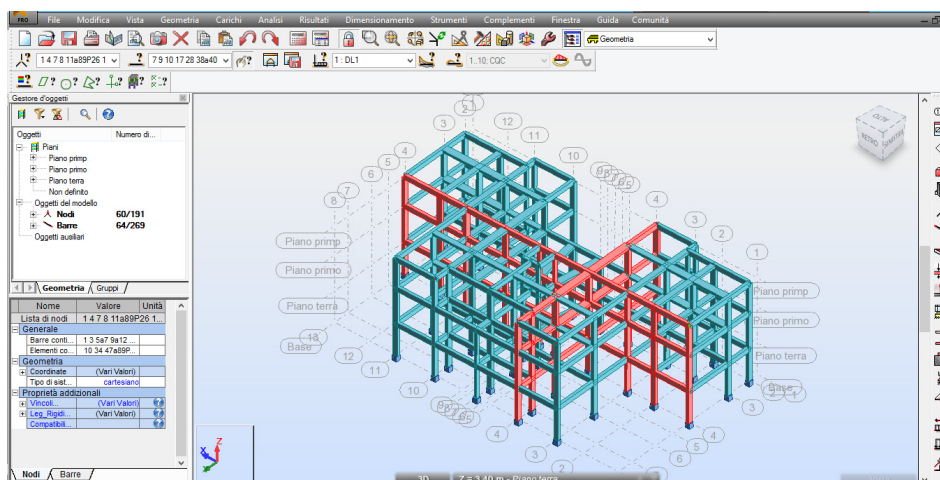


Fig. 50 Schermata di lavoro in Robot

Più macchinosa si presenta invece la fase di input dei carichi e in particolare la loro definizione e le rispettive condizioni di carico.

L'operatore, infatti, di volta in volta è tenuto ad inserire manualmente la condizione di carico desiderata (peso proprio, sovraccarico permanente, carichi accidentali, ecc.), quindi, successivamente, nelle opzioni di calcolo, procedere all'applicazione del coefficiente di combinazione, al fine di trasformare i carichi in masse. In tal senso, con il supporto della Tabella 7 tratta dalle Norme Tecniche delle Costruzioni 2008, si ricava il coefficiente ψ_{2j} da inserire nella slot 'coefficiente'.

Tabella 7 Valore dei coefficienti di combinazione – tratta da NTC 2008

Categoria/Azione variabile	ψ_{0j}	ψ_{1j}	ψ_{2j}
Categoria A Ambienti ad uso residenziale	0,7	0,5	0,3
Categoria B Uffici	0,7	0,5	0,3
Categoria C Ambienti suscettibili di affollamento	0,7	0,7	0,6

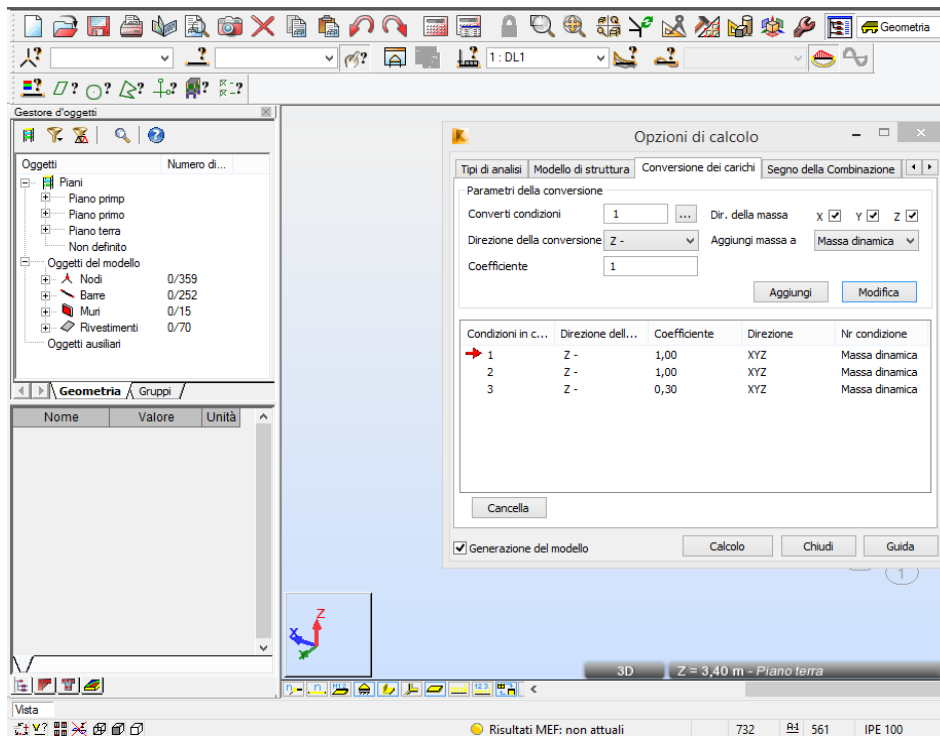


Fig. 51 Inserimento manuale dei coefficienti di combinazione

Una volta definita la tipologia di analisi da condurre – dinamica lineare con spettro di risposta –, si procede con la definizione dei parametri sismici: vita nominale e classe d'uso, le coordinate geografiche del sito, categoria del sottosuolo e quella topografica e il fattore di struttura per entrambe le direzioni.

A questo punto il software in automatico, introduce ulteriori condizioni di carico tra cui: il sisma in direzione X, in direzione Y e in direzione z o le combinazioni di solo sisma (ad esempio $SLV\ 1 + X\ 0.3 + Y\ 0.3 + Z$); non resta che combinare in maniera automatica o manuale, le singole condizioni di carico al fine di creare le combinazioni di carico. Nel caso in esame sono state settate automaticamente undici combinazioni di carico (semplificate) e manualmente due combinazioni di carico: l'una tenendo conto dell'azione del sisma in direzione X e il 30% del sisma in direzione Y; l'altra portando in conto per intero il

sisma in direzione Y e il 30% del sisma in direzione X; in entrambi i casi sono stati considerati per intero i carichi permanenti.

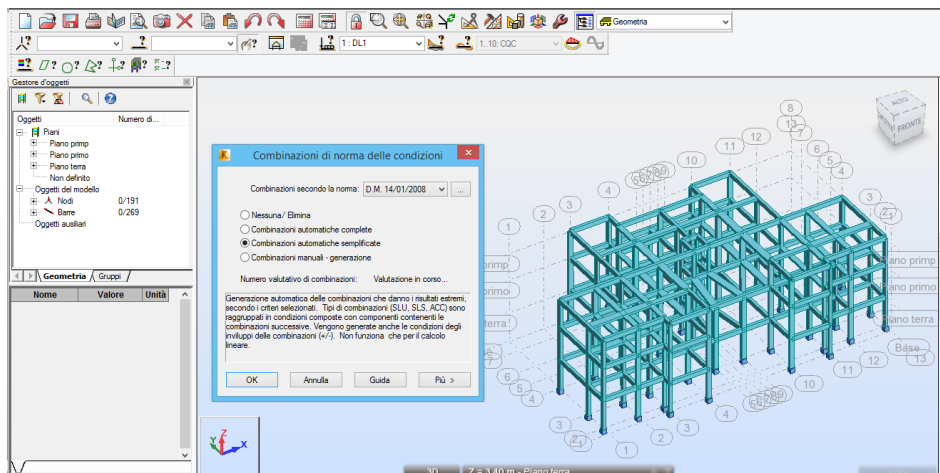


Fig. 52 Combinazioni di carico automatiche semplificate

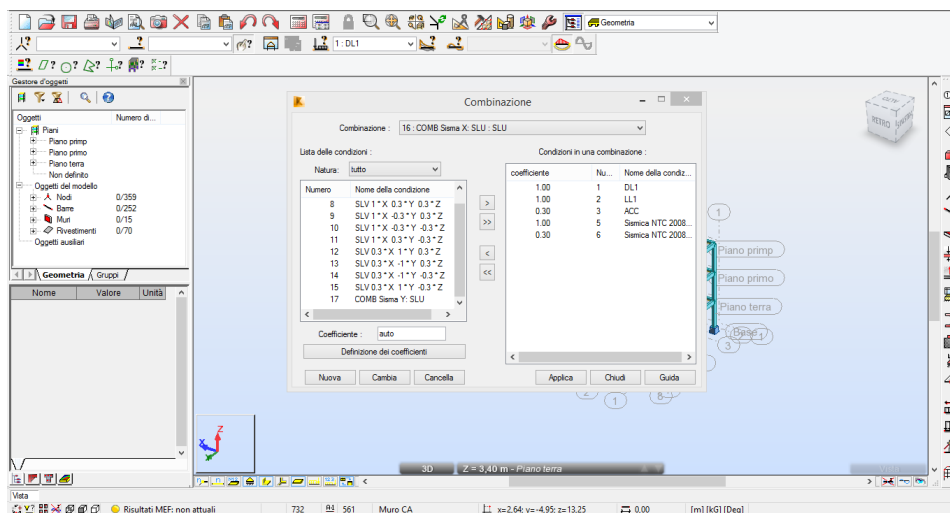


Fig. 53 Impostazione manuale di una combinazione di carico

A questo punto è possibile procedere con l'inserimento dei carichi sulla struttura: per tale operazione si è preferito adottare dei carichi lineari applicati

direttamente sulle strutture portanti orizzontali, nello specifico sono stati computati unicamente sovraccarichi permanente e sovraccarichi accidentali.

Selezionate le travi di ciascun impalcato, si procede con l'inserimento dei carichi che, in questo caso, saranno del tipo 'uniformi' e applicati direttamente alle barre.

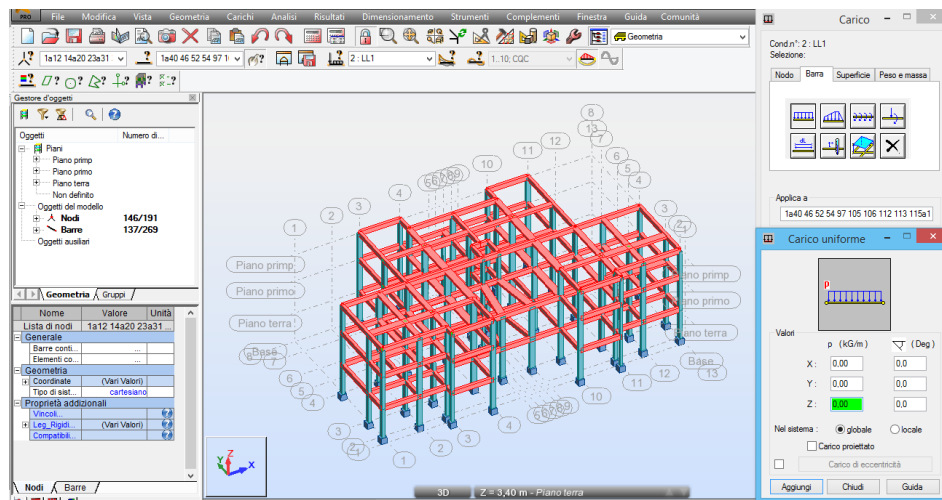


Fig. 54 Inserimento dei rivestimenti

Tale operazione è stata ripetuta per ogni condizione di carico presente associando a ciascuna di essa il rispettivo valore numerico nel sistema di riferimento globale.

Il modello strutturale è completo di ogni sua parte: dalla geometria degli elementi che lo compongono ai carichi; dalle condizioni di vincolo, alle condizioni al contorno, pertanto è possibile lanciare l'analisi sismica e valutare i risultati.

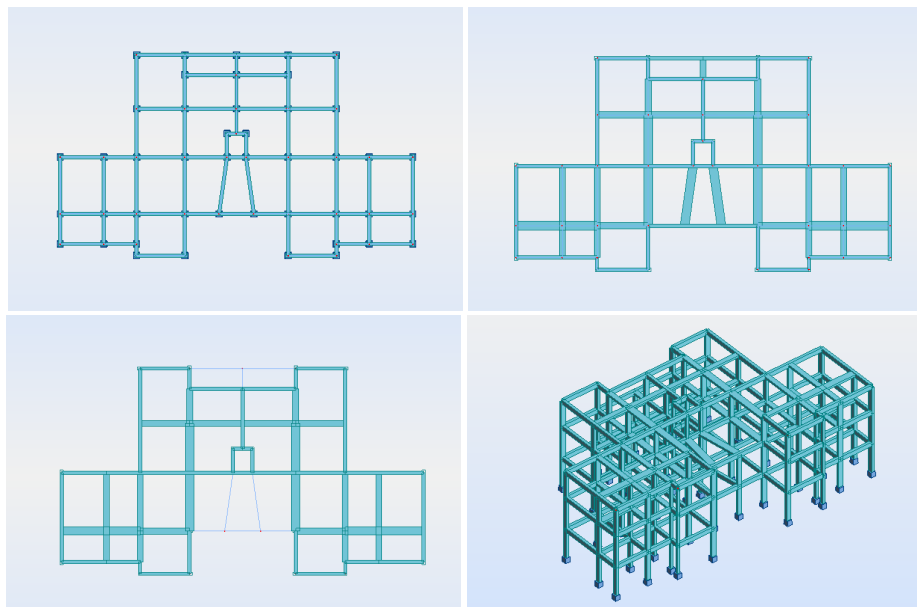


Fig. 55 Modello FEM in Robot

4.6.3 Confronto delle caratteristiche globali della struttura

Costruito il modello numerico, si procede con l'analisi del comportamento globale delle due strutture, mettendo a confronto anzitutto le caratteristiche modali, quindi confrontando il comportamento locale delle stesse confrontando gli spostamenti dei nodi di alcune pilastrate più significative.

Pur trattandosi di analisi preliminari, si tratta comunque di parametri di risposta di un edificio che rivestono una grande importanza, essendo strettamente correlati con il danneggiamento prodotto sulla struttura.

Per il caso studio sono riportate in Tabella 8 le caratteristiche modali della struttura con i valori dei periodi delle frequenze e delle percentuali di massa attivata da ciascun modo di vibrare valutati con entrambi i software di calcolo.

In linea generale, osservando le forme modali è possibile notare che, per entrambi i software, il primo modo è puramente traslazionale nella direzione più rigida cioè quella X dove il valore del periodo di vibrazione è il più elevato. Ovviamente di conseguenza la massa partecipante in direzione Y per tale modo

è praticamente nulla. Viceversa, il secondo modo è puramente traslazionale nella direzione più rigida cioè quella Y dove il valore del periodo di vibrazione è il più elevato. Raffrontando i risultati ottenuti da entrambi i software si evince che sia i periodi che la percentuale di massa eccitata per ogni singolo modo sono tra loro più che confrontabili.

Tabella 8 Confronto caratteristiche modali

	Periodo [sec]		M_{mod}/M_{eff} [%]	
	RSA	CDS	RSA	CDS
1	0,33	0,31	78,3	79,79
2	0,33	0,31	84,11	83,73
3	0,30	0,29	6,48	4,84
4	0,10	0,10	12,35	12,63
5	0,10	0,09	13,56	14,03
6	0,09	0,09	0,2	0,04
7	0,07	0,06	2,65	2,69
8	0,07	0,06	2,32	2,24
9	0,06	0,06	0,03	0,01

Dato il tipo di struttura studiata le percentuali di massa modale partecipante nella direzione verticale z sono stati trascurati perché pari a zero: ciò perché la struttura analizzata non rientra tra quelle contemplate dalla normativa per le quali si renda necessario il calcolo della componente verticale del sisma (da analizzare nel caso di strutture spingenti, con luci superiori a 20 metri o per strutture prefabbricate).

Le figure a seguire riportano un confronto grafico delle deformate modali relative al primo, al secondo e al terzo modo di vibrare della struttura.

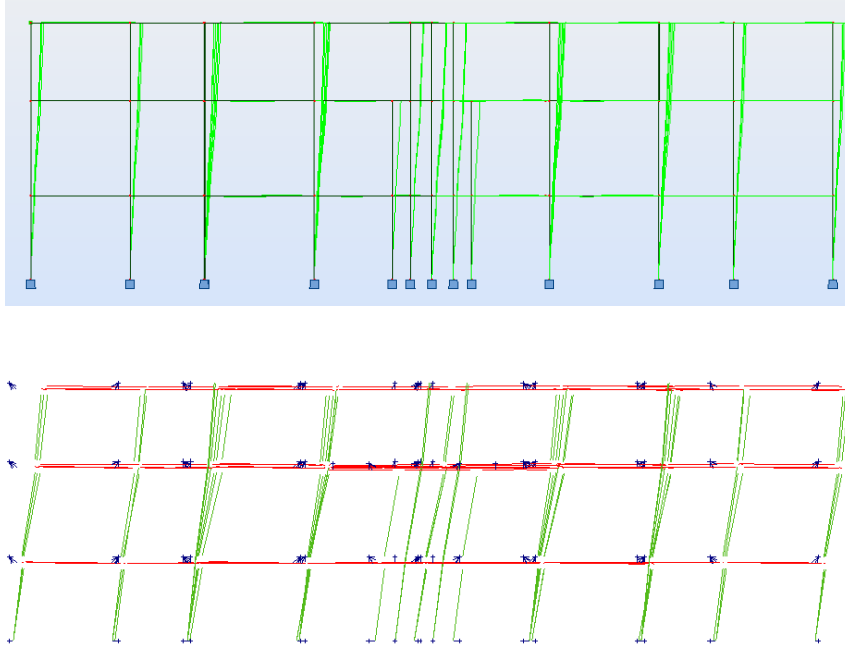


Fig. 56 Confronto fra deformate modali, primo modo di vibrare

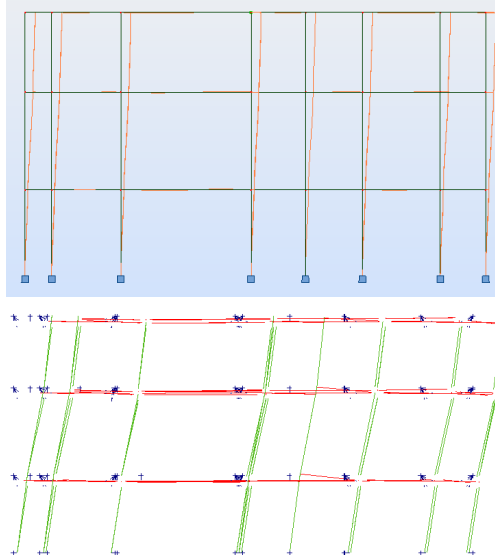


Fig. 57 Confronto fra deformate modali, secondo modo di vibrare

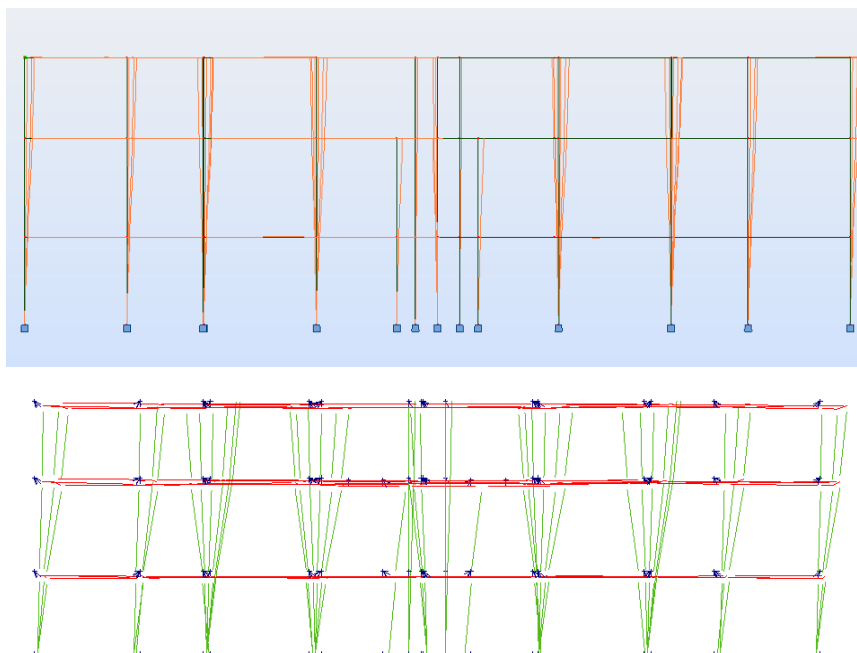


Fig. 58 Confronto fra deformate modali, terzo modo di vibrare

4.6.4 Confronto delle caratteristiche locali della struttura

Il confronto precedentemente effettuato tra i due software di calcolo ha consentito di spostare l'attenzione dalle caratteristiche globali della struttura (periodo e percentuale di massa eccitata) alle caratteristiche locali di alcuni punti ritenuti significativi della struttura stessa. Per rendere il confronto più efficace sono stati valutati gli spostamenti di alcuni punti più significativi della struttura, appartenenti a tre a tre a cinque pilastrate differenti. Quindi, in funzione di ogni combinazione di carico analizzata, si è valutato lo spostamento nel piano XY di ciascun nodo (tre per ogni piano) di cinque pilastrate differenti. Le combinazioni di carico considerate sono due l'una con prevalenza di sisma in direzione X e 30% in direzione Y, l'altra prevalenza di sisma in direzione Y e 30% in direzione X, a cui si somma peso proprio, sovraccarico permanente e un'aliquota del 30% di sovraccarico accidentale (Fig. 46).

Tabella 9 Confronto degli spostamenti nodali riferiti alle due condizioni di carico sismiche

Nodo	Sisma X				Sisma Y			
	RSA		CDS		RSA		CDS	
	Sx [mm]	Sy [mm]	Sx [mm]	Sy [mm]	Sx [mm]	Sy [mm]	Sx [mm]	Sy [mm]
3	1,437	1,076	1,334	1,347	0,447	1,772	0,352	1,747
2	1,118	0,834	1,044	1,069	0,347	1,371	0,275	1,374
1	0,443	0,313	0,416	0,4	0,137	0,522	0,11	0,519
6	1,756	0,505	1,742	0,473	0,547	1,612	0,471	1,467
5	1,365	0,394	1,365	0,385	0,424	1,247	0,368	1,155
4	0,534	0,148	0,531	0,144	0,165	0,475	0,143	0,436
9	1,582	0,665	1,445	0,706	0,487	1,657	0,385	1,542
8	1,232	0,517	1,132	0,567	0,379	1,283	0,301	1,213
7	0,485	0,194	0,446	0,212	0,149	0,489	0,119	0,458
12	1,437	1,083	1,334	-0,452	0,447	1,795	0,352	1,2
11	1,118	0,84	1,044	-0,339	0,347	1,39	0,275	0,945
10	0,443	0,316	0,416	-0,127	0,137	0,529	0,11	0,358
15	1,802	0,829	1,445	0,182	0,563	1,715	0,385	1,382
14	1,231	0,52	1,132	0,157	0,378	1,288	0,301	1,088
13	0,485	0,195	0,446	0,059	0,149	0,49	0,119	0,411
18	1,788	0,82	1,847	0,97	0,537	1,699	0,501	1,627
17	1,392	0,637	1,447	0,774	0,418	1,315	0,392	1,279
16	0,544	0,239	0,561	0,289	0,163	0,501	0,152	0,483
21	1,788	0,82	1,847	-0,079	0,537	1,699	0,501	1,307
20	1,392	0,637	1,447	-0,047	0,418	1,316	0,392	1,029
19	0,544	0,239	0,561	-0,018	0,163	0,501	0,152	0,389

Valutando gli spostamenti dei nodi nel piano XY per ciascuna combinazione di carico, si nota la coerenza dei due modelli come per altro era già stato dimostrato nell'analisi del comportamento globale della struttura, essendo i valori tra loro confrontabili (Tabella 9).

Le differenze maggiori riguardano gli spostamenti dei nodi nella direzione Y dei nodi 10-11-12 e 19-20-21 quando la struttura è soggetta a sisma prevalente in direzione X: le differenze in questo caso risultano abbastanza rilevanti, arrivando a superare anche il millimetro. In generale però i due modelli risultano

alquanto sovrapponibili sia in termini di comportamento globale della struttura che, in termini di comportamento locale della stessa.

Tabella 10 Valutazione delle variazioni di spostamento

Nodo	Sisma X		Sisma Y	
	Δx	Δy	Δx	Δy
3	0,103	0,271	0,095	0,025
2	0,074	0,235	0,072	0,003
1	0,027	0,087	0,027	0,003
6	0,014	0,032	0,076	0,145
5	0	0,009	0,056	0,092
4	0,003	0,004	0,022	0,039
9	0,137	0,041	0,102	0,115
8	0,1	0,05	0,078	0,07
7	0,039	0,018	0,03	0,031
12	0,103	1,535	0,095	0,595
11	0,074	1,179	0,072	0,445
10	0,027	0,443	0,027	0,171
15	0,357	0,647	0,178	0,333
14	0,099	0,363	0,077	0,2
13	0,039	0,136	0,03	0,079
18	0,059	0,15	0,036	0,072
17	0,055	0,137	0,026	0,036
16	0,017	0,05	0,011	0,018
21	0,059	0,899	0,036	0,392
20	0,055	0,684	0,026	0,287
19	0,017	0,257	0,011	0,112

4.6.5 Analisi dei risultati

A comparazione effettuata, si è proceduto con l'analisi dei risultati e il dimensionamento delle strutture portanti calcolando, in particolare, le armature all'interno di travi e pilastri.

Terminato perciò il confronto tra i due software e con esso il calcolo della struttura, i risultati dell'analisi possono essere visualizzati sia in forma grafica (diagrammando ad esempio le caratteristiche della sollecitazione, gli spostamenti e altri dati di report per tutta la struttura in esame, o per singola barra), o in forma tabellare, visualizzando perciò le stesse informazioni suddivise per barre o nodi. Alternativamente, è possibile optare per una visualizzazione mista che include sia la forma grafica che quella tabellare (Fig. 59).

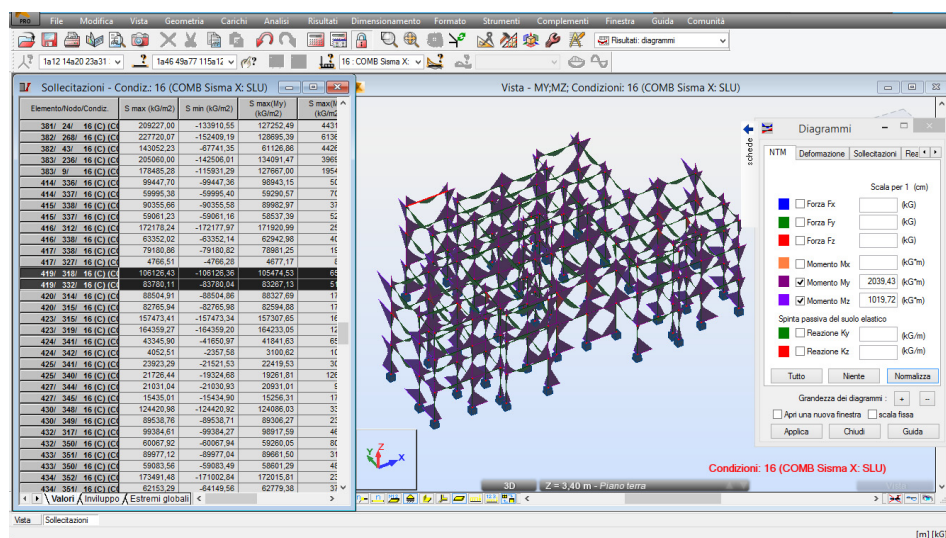


Fig. 59 Visualizzazione dei risultati

Per una analisi dei risultati più approfondita, è possibile procedere con un'analisi puntuale, visualizzando in maniera rigorosa le sollecitazioni gravanti sulla singola barra, sia essa trave o pilastro.

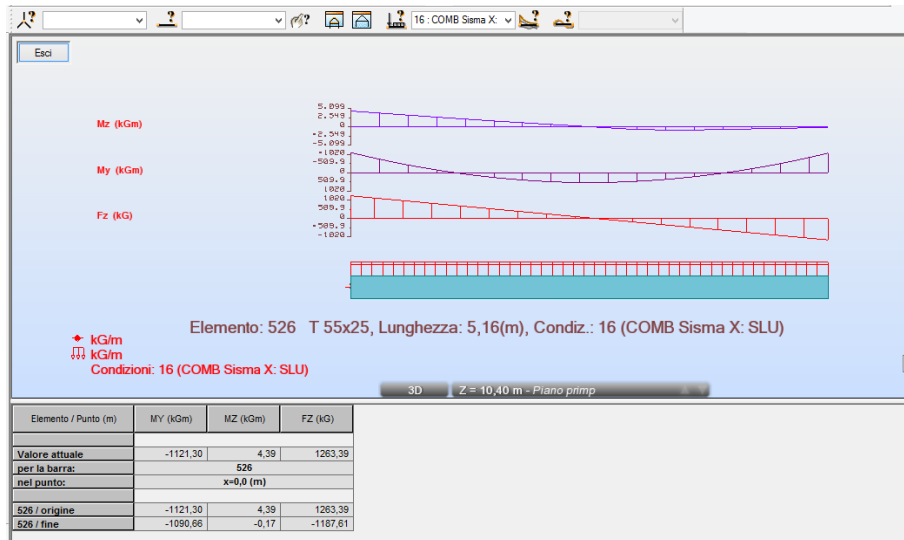


Fig. 60 Report dell'analisi dettagliata per la singola asta

Dopo aver terminato l'analisi della struttura, è possibile visualizzare le mappe delle sollecitazioni relative alla sezione trasversale e longitudinale della barra selezionata della struttura, in particolare vengono visualizzate le sollecitazioni estreme calcolate nella sezione selezionata (tensione normale, tangenziale, di torsione) definendo il valore della coordinata in cui è stato ottenuto il valore sollecitazione corrispondente.

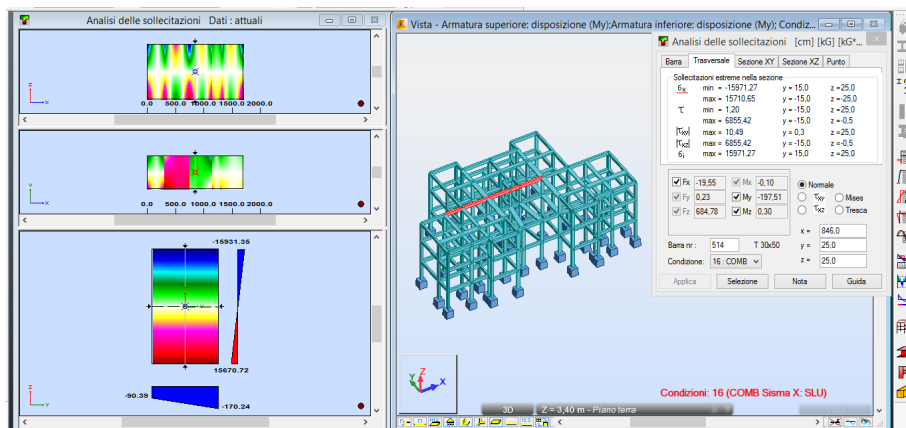


Fig. 61 Visualizzazione delle tensioni trasversali delle membrature

4.6.6 Calcolo e verifica delle armature

Per il calcolo delle armature, Robot offre una duplice procedura uno che consente di calcolare l'area di armatura reale, l'altro invece per il calcolo dell'armatura teorica (e quindi dell'area di armatura necessaria); per il nostro caso studio è stata utilizzata la procedura di calcolo dell'armatura reale.

Tale procedura si presenta molto snella poiché consente all'operatore di scegliere di volta in volta di personalizzare le opzioni di calcolo delle armature. Preliminarmente perciò vanno selezionate le strutture portanti orizzontali e caricate nel modulo di progettazione mediante il comando "Armatura reale degli elementi in c.a." Durante tale procedura, è possibile procedere per piani di appartenenza – procedura che appesantisce meno le elaborazioni – o caricando per intero la struttura da calcolare e quindi con la scelta combinazioni di carico da contemplare per il calcolo delle armature (Fig. 62).

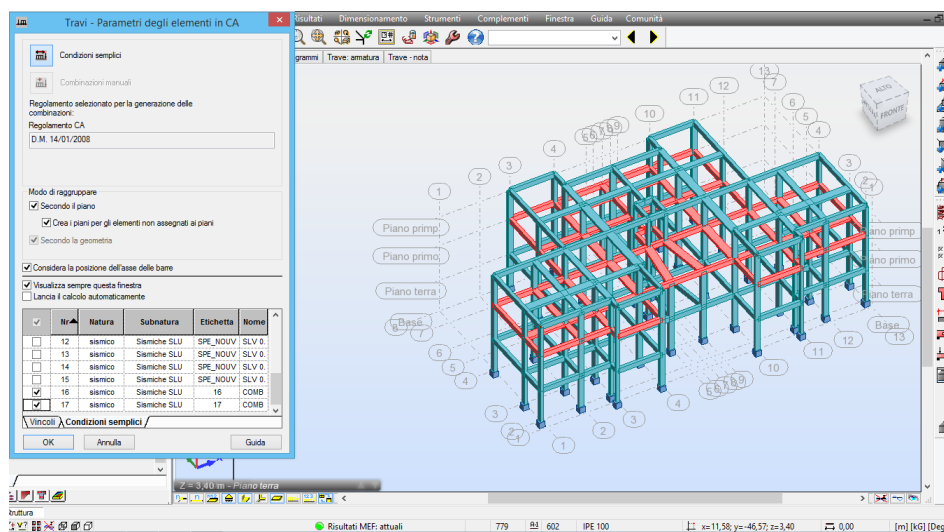


Fig. 62 Scelta degli elementi da calcolare e delle combinazioni di carico

Prima di procedere con la valutazione dell'armatura reale, sono state personalizzate le opzioni di calcolo che riguardano la tipologia di calcestruzzo, la tipologia di armatura longitudinale e trasversale, e i requisiti sismici – come ad esempio la classe di duttilità – da adottare.

Successivamente vengono settati i parametri dell'armatura, in cui va settata la conformazione geometrica delle barre di armatura – sia longitudinale che trasversale – e i criteri da adottare per le sovrapposizioni delle barre e il loro ancoraggio (Fig. 63).

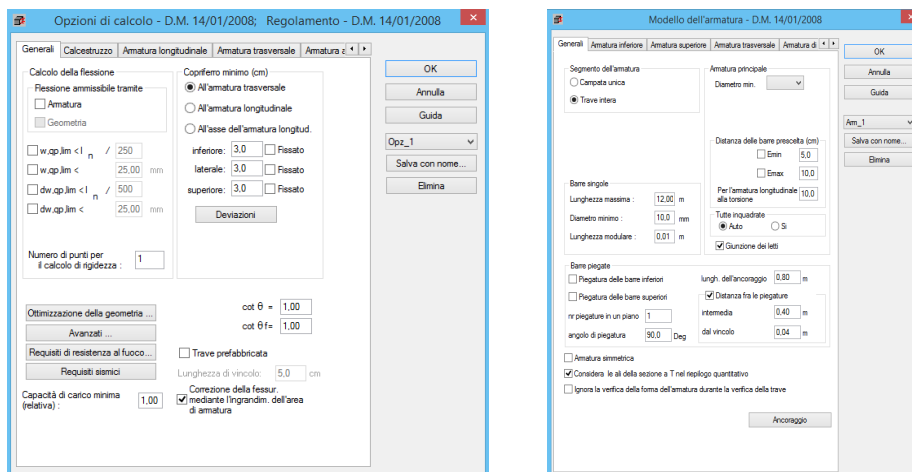


Fig. 63 Finestre delle opzioni di calcolo e del modello di armatura

Settate tutte le opzioni, si procede con il calcolo delle armature secondo le opzioni precedentemente scelte: i risultati sono immediatamente visibili e tra essi, i diagrammi delle caratteristiche delle sollecitazioni e dei momenti e tagli resistenti (sia in funzione dell'armatura reale che di quella torica); è inoltre possibile visualizzare in 2D e 3D le barre di armatura, la loro disposizione e le sovrapposizioni tra esse.

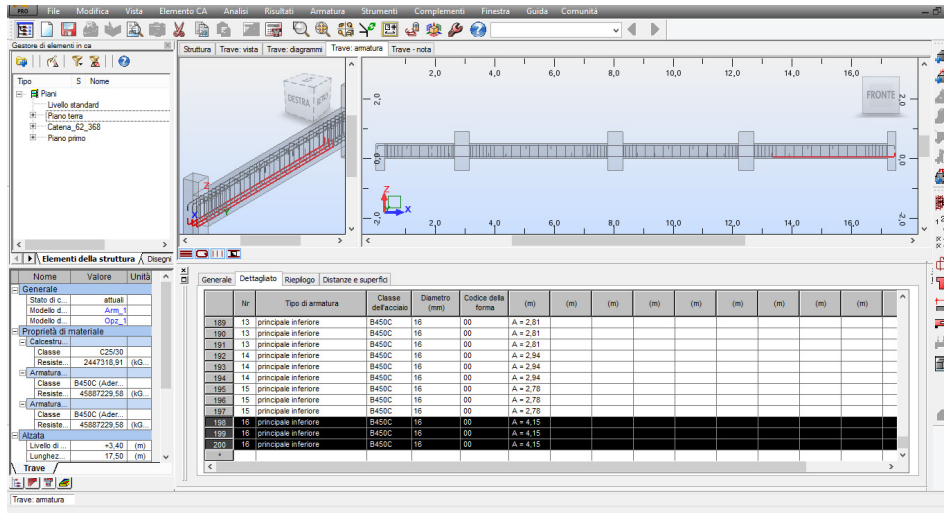


Fig. 64 Report delle caratteristiche delle armature

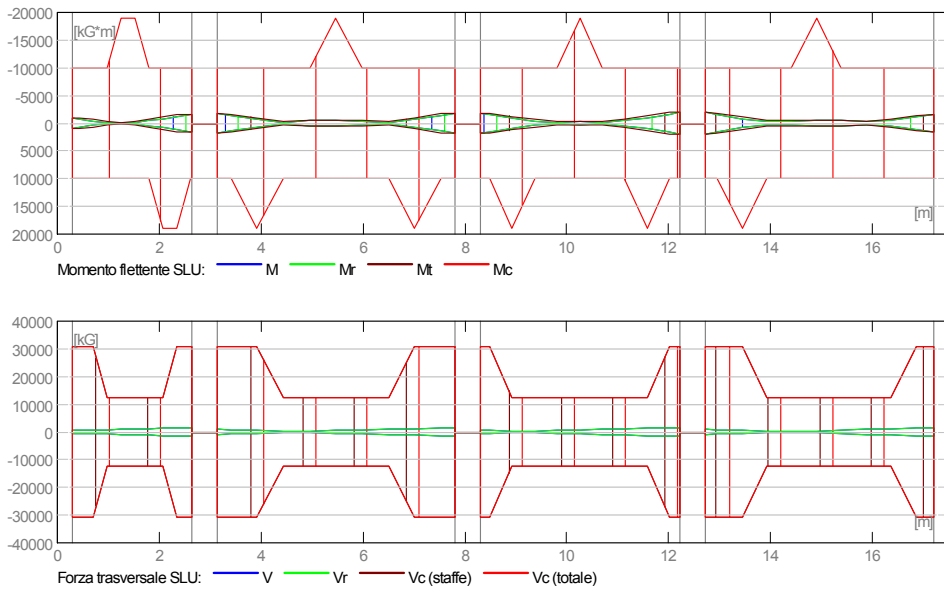


Fig. 65 Visualizzazione dei diagrammi delle sollecitazioni e resistenti

In modo del tutto analogo si procede per il calcolo delle armature dei pilastri, procedendo anzitutto con la selezione delle pilastrate che si vogliono

calcolare, quindi settando nuovamente le opzioni di calcolo e i parametri dell'armatura (Fig. 66).

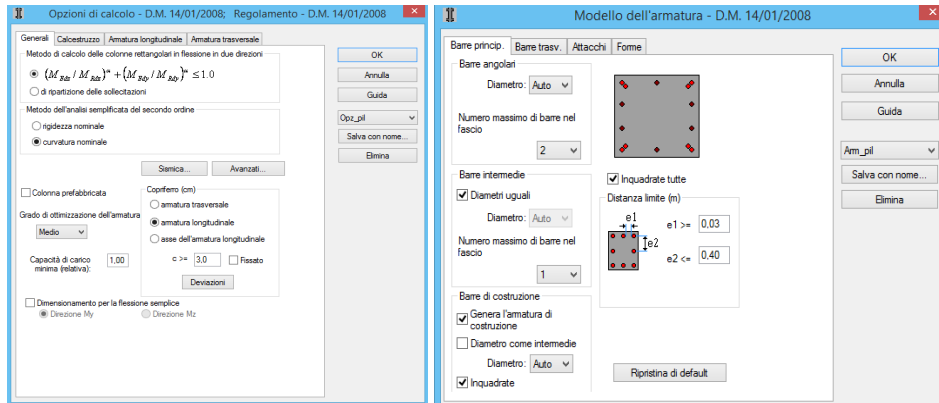


Fig. 66 Finestre delle opzioni di calcolo e del modello di armatura

Lanciato il calcolo, come visto precedentemente per le armature delle travi, è possibile visualizzare i principali risultati già dalla schermata di report, visualizzando per ciascuna combinazione di carico i coefficienti di sicurezza della sezione in c.a., e il relativo dominio di resistenza.

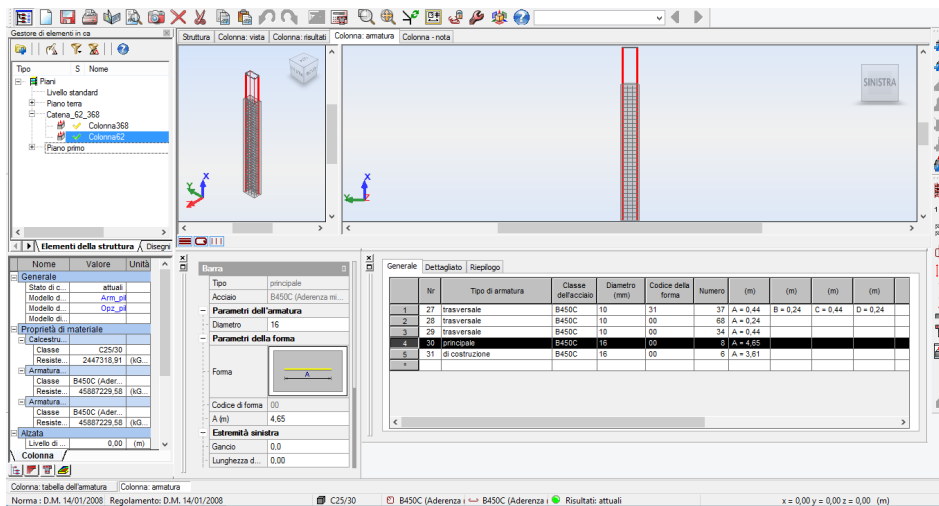


Fig. 67 Report delle caratteristiche delle armature

Effettuato il calcolo delle membrature portanti, è possibile estrapolare gli esecutivi strutturali da utilizzare ad esempio in cantiere per la realizzazione dell'opera. La modalità di visualizzazione degli esecutivi strutturali in forma bidimensionale associata alla possibilità di visualizzare in 3D la disposizione delle armature nelle membrature e nei nodi, fanno sì che gli addetti ai lavori possano lavorare in modo più efficace focalizzando l'attenzione sulla realizzazione dell'opera e non sulla sua documentazione. La precisione, la coerenza e la qualità degli output di progetto amplificano la visione del progetto che da sterile visualizzazione bidimensionale – e comunque soggetta ad interpretazioni personali da parte dell'esecutore – si trasforma in una visione amplificata dello stesso, consentendo, perciò, di risolvere a monte – e quindi in fase di progettazione dell'opera – dubbi esecutivi e realizzativi.

La potenzialità degli strumenti bim si evidenzia maggiormente quando, a calcolazioni eseguite, si procede all'integrazione dei dati appena ottenuti con il modello di partenze che – nel nostro caso studio – è rappresentato dal modello architettonico. A partire da esso, manipolato all'occorrenza al fine di ottenere un buon modello analitico di partenza, sono state estrapolate le sole strutture portanti per eseguirne il calcolo strutturale. Come anticipato, il collegamento tra software che si basano sulla metodologia bim, è di tipo bidirezionale, ragione per cui, se in principio è stato inviato a Robot il solo modello analitico – indispensabile per condurre il calcolo agli elementi finiti – ora, Robot, ha restituito a Revit lo stesso modello ma includendo i carichi, le combinazioni di carico e – elemento che ci interessa maggiormente – le barre di armatura longitudinale e trasversale sia di pilastri che di travi.

Il modello di partenza perciò è stato arricchito con ulteriori informazioni, sia di carattere grafico intendendo con esso la visualizzazione delle armature, che di carattere analitico, consentendo l'effettuazione di computi metrici relativi ai quantitativi di calcestruzzo e di armatura, divisa a sua volta per tipologia e diametro.

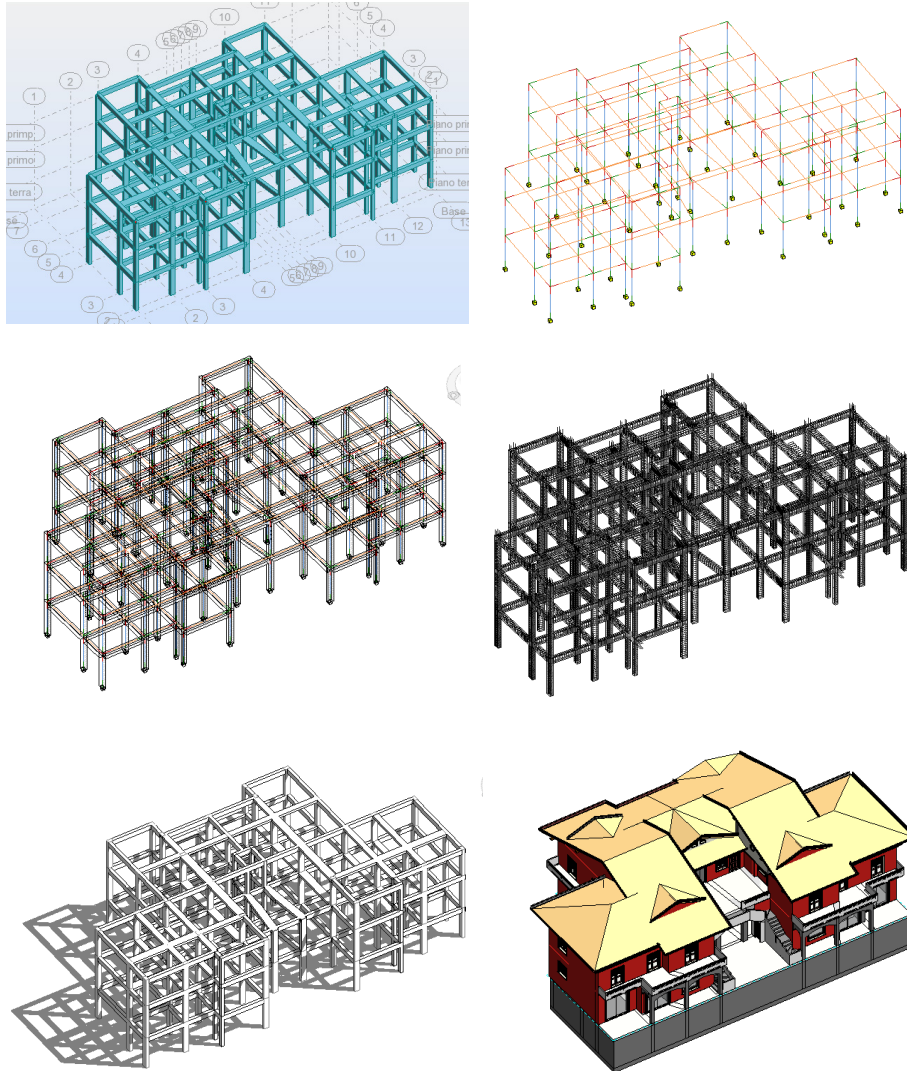


Fig. 68 Interscambio biunivoco dal modello architettonico a quello strutturale

5 Dal bim al BIM

5.1 Premessa

Alla base della metodologia messa in atto vi è l'esigenza di ottimizzare e rendere più fluida una pratica – quella edilizia – che per sua natura si presenta spesso farraginosa e altamente frammentaria. A maggior ragione, nei progetti basati su protocolli CAD, tale rischio aumenta, incrementando la commissione di errori che in taluni casi vengono scovati quando è troppo tardi.

Un processo BIM, invece annulla i rischi di interpretazione poiché ogni singolo dato, sia esso geometrico, numerico o altro, è legato al modello stesso. Tale infrastruttura 'digitale' consente perciò di archiviare, richiamare, esportare qualsiasi metadato che caratterizza l'evento architettonico. Questo perché i software appartenenti alla famiglia dei BIM, hanno la capacità di rispondere a interrogazioni complesse, caratterizzando il modello infografico con le singole specifiche ricercate, sia mediante l'utilizzo di variabili grafiche che numeriche o mediante più complessi sistemi di rappresentazione.

Pertanto, il progettista, il direttore dei lavori, il costruttore o il facility manager potranno in maniera agevole e semi-automatica, effettuare con un click operazioni che in passato richiedevano maggiori tempi di esecuzione e più alto rischio di errore. Si pensi ad esempio alle stringenti normative in materia di risparmio energetico che impongono, per le nuove e vecchie costruzioni, il raggiungimento di elevati standard qualitativi.

Mediante gli strumenti BIM risulta agevole verificare e approntare anche solo una scelta di massima sulla tipologia di materiali da utilizzare, sull'orientamento o più semplicemente sugli sporti degli oggetti, al fine di garantire il raggiungimento dei requisiti minimi di legge. Scelti i materiali da costruzione, occorre determinarne la quantità per la redazione di computi metrici: anziché cominciare il lavoro da capo e dedurli a partire da file CAD bidimensionali, nuovamente con un click si ottengono tutte le informazioni su tipologie, quantità e ubicazioni degli stessi.

A tal proposito il BIM rappresenta un valido alleato per la stesura di database per l'ottimizzazione di tempi e risorse legati ai processi di gestione e di catalogazione degli spazi e di computo dei materiali.

Nel presente capitolo viene analizzato a titolo di esempio come determinare le caratteristiche ambientali dell'edificio in studio e come procedere per la corretta formazione del database per la definizione delle liste di materiali edili da impiegare per la realizzazione del fabbricato in studio.

5.2 La modellazione parametrica per l'analisi ambientale

Già in fase di modellazione parametrica dell'edificio in studio sono state definite le caratteristiche fisiche e termiche dei materiali da utilizzarsi per la realizzazione dell'opera e per ogni singolo elemento costruttivo costituente, ad esempio, la corrispondente stratigrafia (Fig. 69). Ciò consente di individuare a priori le caratteristiche prestazionali dei diversi elementi costruttivi di cui l'opera si compone, consentendo al progettista di individuare a monte – in fase di progettazione appunto – i punti di forza e di debolezza che consentono il raggiungimento o meno degli standard prestazionali prescelti.

Conducibilità termica, calore specifico, densità, emissività, ecc. sono solo alcuni dei parametri che è possibile settare e modificare all'occorrenza in funzione del livello prestazionale desiderato (Fig. 70). Il progetto va però contestualizzato ad una realtà ambientale che varierà da sito a sito, per cui, oltre a definire le caratteristiche intrinseche dell'opera in progettazione, vanno definite le condizioni al contorno – e quindi estrinseche alla struttura stessa – relative principalmente alla posizione del sito e all'orientamento del fabbricato rispetto al Nord di progetto, ricavando, in funzione delle stesse, le condizioni ambientali basilari per la realizzazione di un progetto energetico.

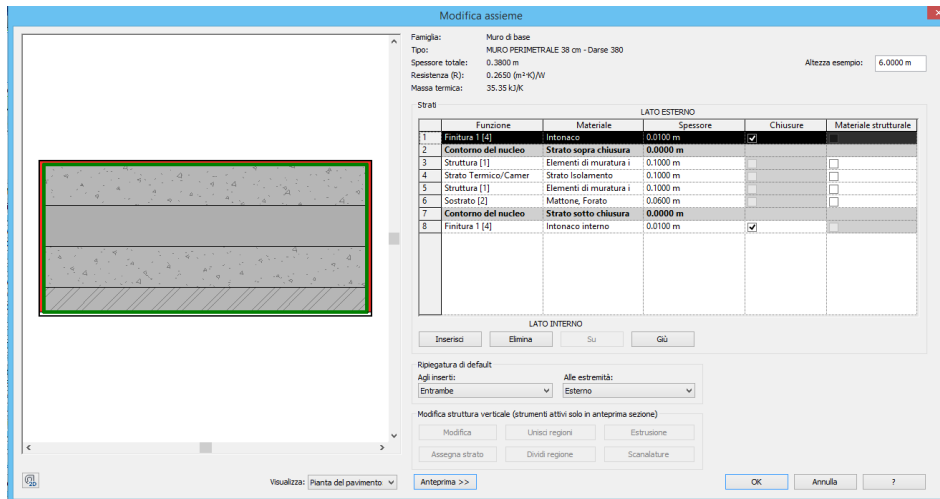


Fig. 69 Stratigrafia degli elementi opachi verticali

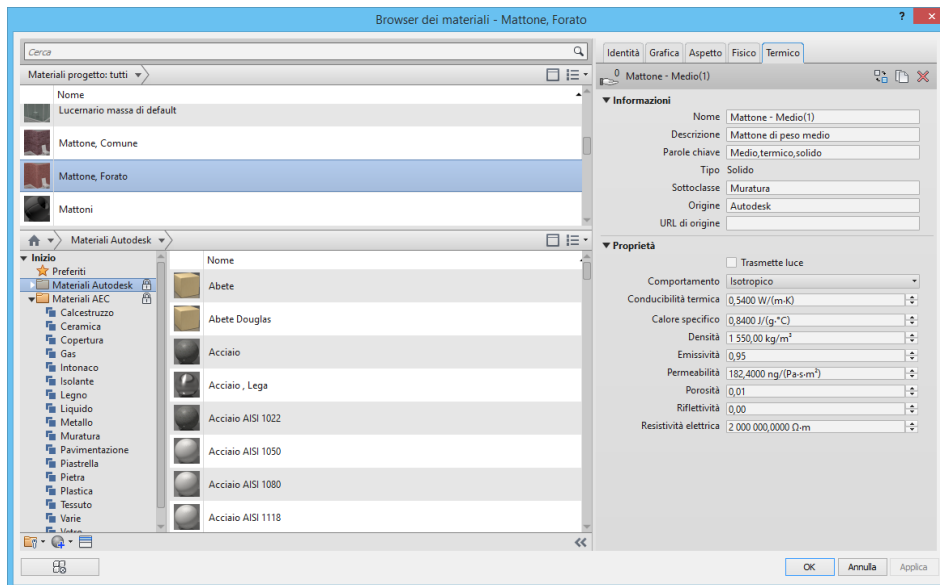


Fig. 70 Definizione dei parametri termici

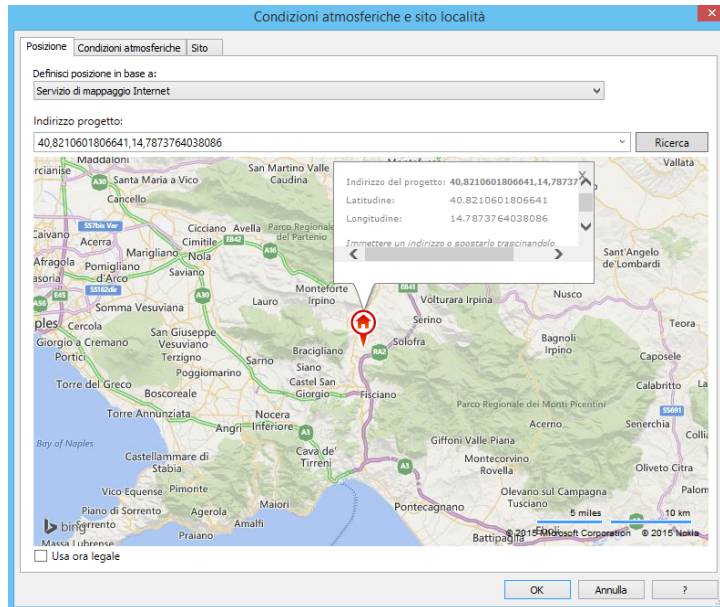


Fig. 71 Individuazione del sito di intervento

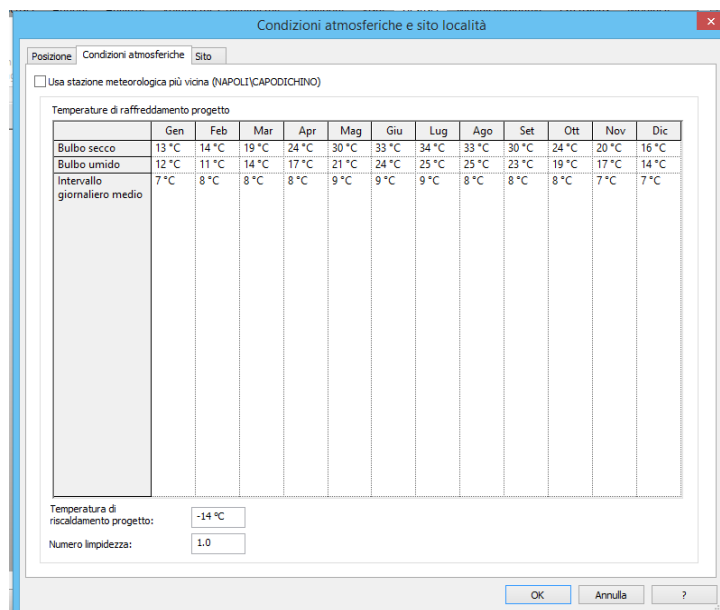


Fig. 72 Determinazione delle condizioni ambientali del sito

Gli output ottenuti sono molteplici ma tutti di importanza fondamentale per la determinazione dell'impatto energetico dell'intero edificio: consumo energetico ed emissioni di CO₂, prestazioni termiche, consumo idrico e i relativi costi, irraggiamento solare incidente su vetrate e superfici, controllo delle illuminazioni e delle ombre in qualsiasi periodo dell'anno, rappresentano un bagaglio di informazioni che arricchiscono ulteriormente il database digitale dell'edificio (Fig. 73). A questo punto è possibile effettuare una duplice tipologia di indagine energetica: la prima consiste nel 'trasferire' il modello appena implementato in applicativi ad hoc che si occupano prettamente di tale tematica – il collegamento è di tipo bidirezionale consentendo l'estrapolazione di documentazioni quali l'Attestato di Prestazione Energetica, il protocollo LEED⁴³, ecc. senza la necessità di impostare nuovamente le caratteristiche dei materiali – la seconda tipologia consente invece di impostare le caratteristiche di massima degli elementi costruttivi e di effettuare un'analisi ambientale sfruttando i parametri di calcolo contenuti all'interno del proprio database⁴⁴. Per l'attività di ricerca si è optato per la seconda scelta valutando gli apporti energetici a partire dalle caratteristiche di massima degli elementi costruttivi.

Fattori prestazioni edificio

Località:	40,8210601806641,14,7873764038086
Stazione meteorologica:	160478
Temperatura esterna:	Max: 35°C/Min.: -3°C
Area di pavimento:	577 m ²
Area muro esterno:	97 m ²
Alimentazione illuminazione media:	7.53 W/m ²
Persone:	14 persone
Rapporto finestre esterne:	0,37
Costo elettrico:	\$ 0,28/kWh
Costo carburante:	\$ 1,41/Therm

⁴³ Nel corso degli anni sono stati implementati diversi applicativi che consentono a software non BIM di interfacciarsi con software BIM. Ciò ha consentito a tali software house di ampliare il ventaglio di utilizzatori.

⁴⁴ Il software utilizzato consente di effettuare l'analisi ambientale a partire da caratteristiche di materiali caricate di default. Mediante l'opzione "Costruzioni concettuali", è possibile specificare le costruzioni da utilizzare per i diversi tipi di superfici di massa.

Intensità utilizzo energetico (EUI)

EUI elettricità:	84 kWh/m ² /anno
EUI carburante:	494 MJ/m ² /anno
EUI totale:	798 MJ/m ² /anno

Utilizzo/costo energetico ciclo di vita

Utilizzo elettricità ciclo di vita:	1,460,439 kWh
Utilizzo carburante ciclo di vita:	8,553,288 MJ
Costo energetico ciclo di vita:	\$ 234.789

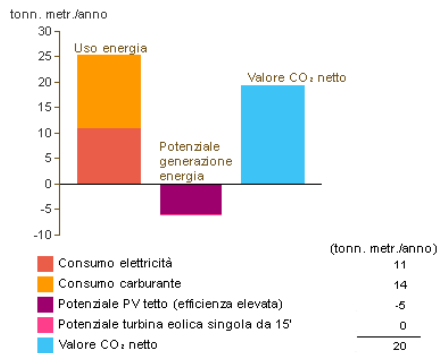
*Durata di 30 anni e 6,1% di riduzione sui costi

Potenziale energetico rinnovabile

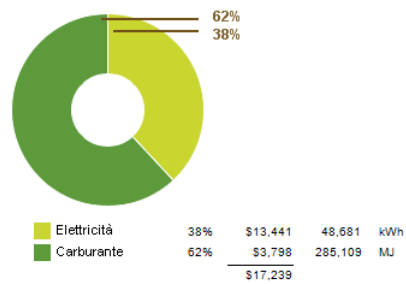
Sistema PV da tetto (efficienza bassa):	8,348 kWh/anno
Sistema PV da tetto (efficienza media):	16,695 kWh/anno
Sistema PV da tetto (efficienza elevata):	25,043 kWh/anno
Potenziale turbina eolica singola da 15':	1,202 kWh/anno

*Si presume un'efficienza PV pari al 5%, 10% e 15% per i sistemi ad efficienza elevata, media e bassa

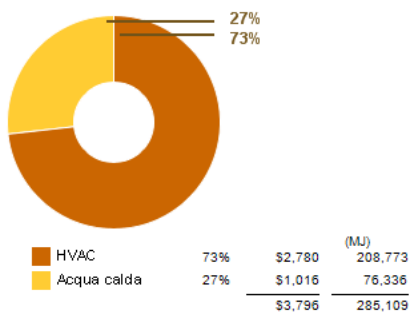
Emissioni carbonio annuali



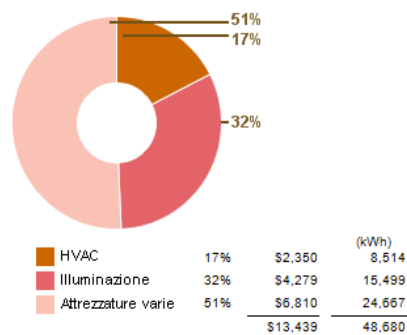
Costo/utilizzo energetico annuale



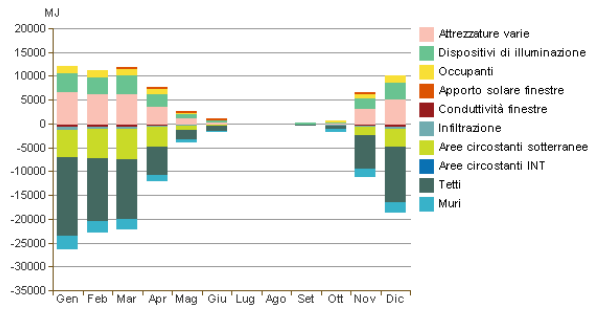
Utilizzo energetico: carburante



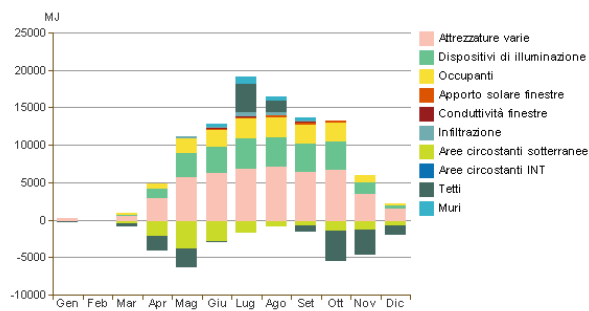
Utilizzo energetico: elettricità



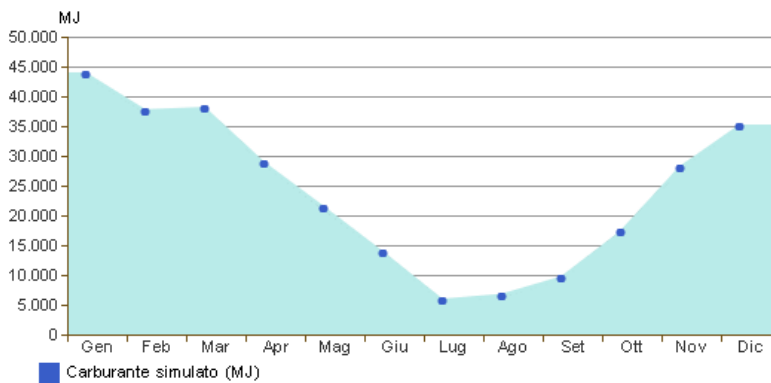
Carico di riscaldamento mensile



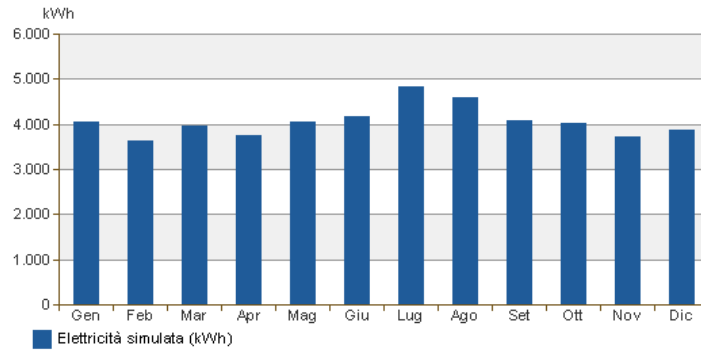
Carico di raffreddamento mensile



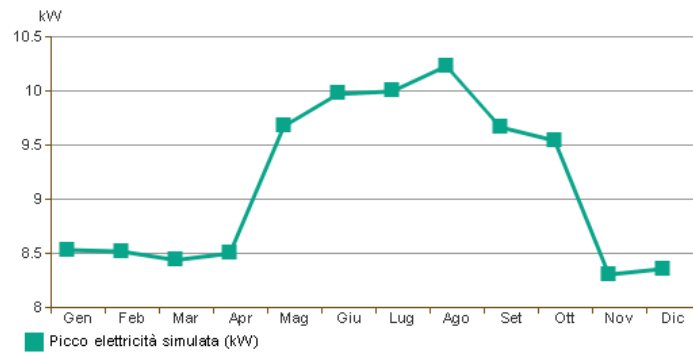
Consumo carburante mensile



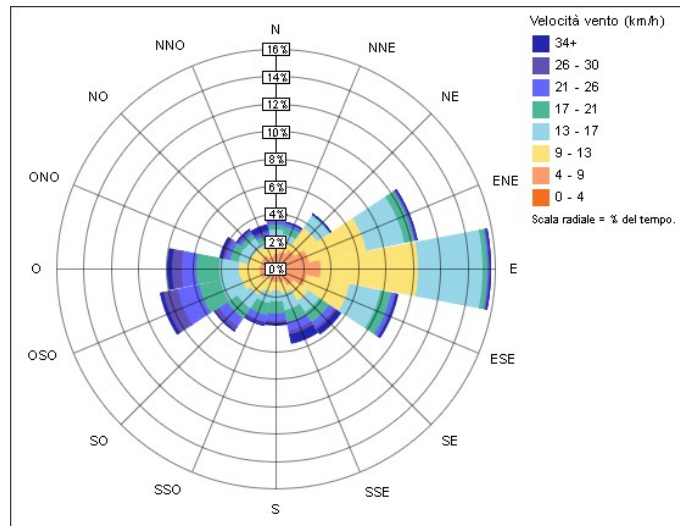
Consumo elettricità mensile



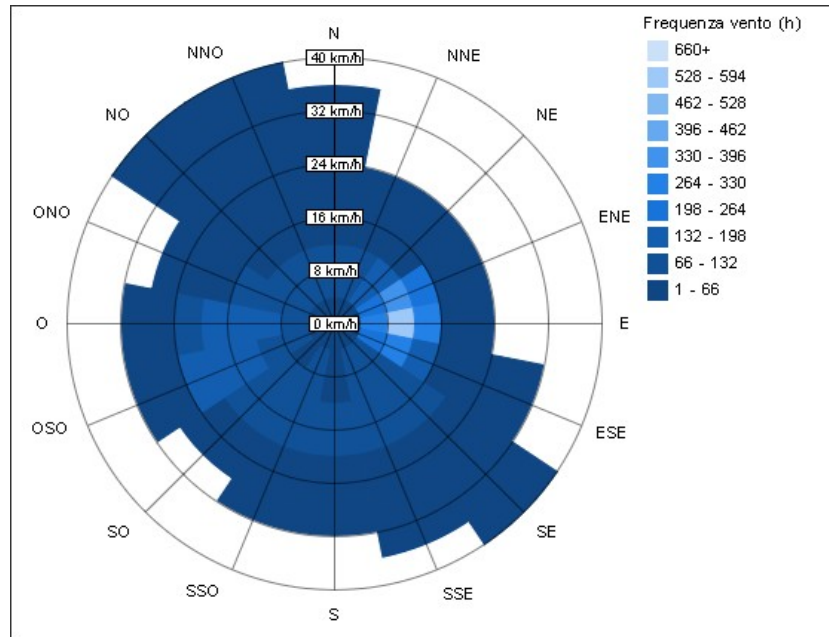
Richiesta picco mensile



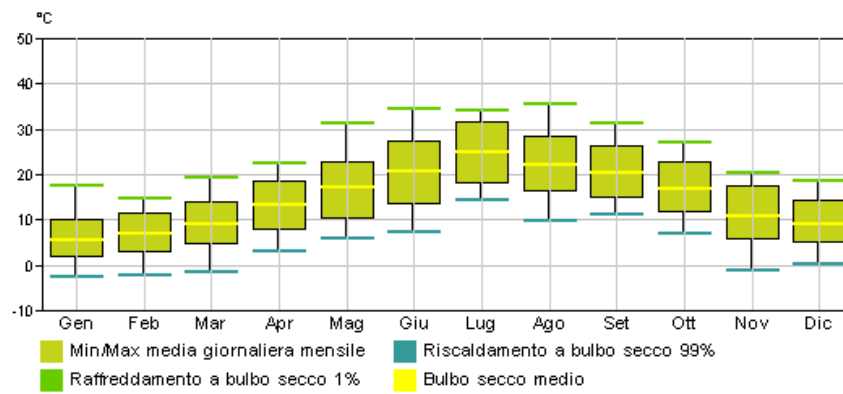
Rosa dei venti annuale (distribuzione velocità)



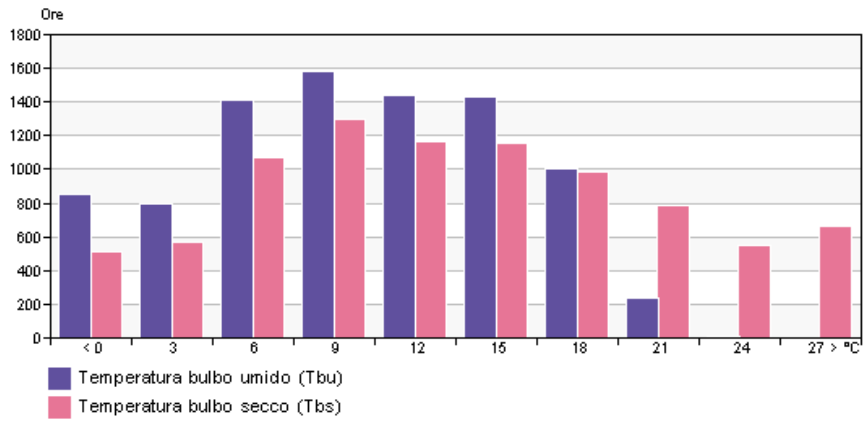
Rosa dei venti annuale (distribuzione frequenza)



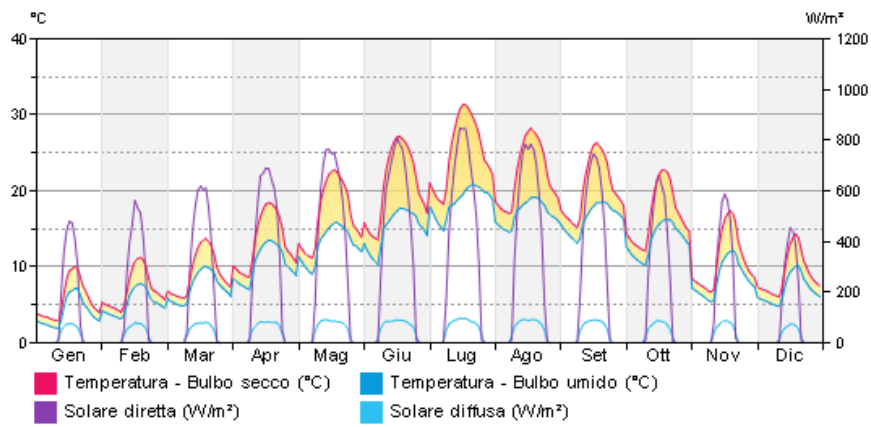
Dati di progettazione mensili



Intervalli temperatura annuale



Medie condizioni atmosferiche diurne



Umidità

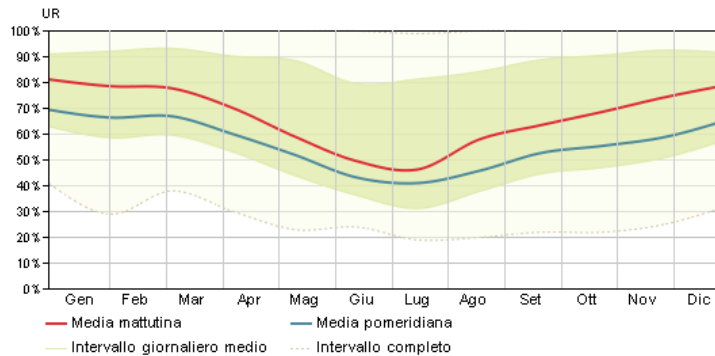


Fig. 73 Report completo dell'analisi ambientale

In questo importante contesto, il BIM consente di studiare e mettere a punto diverse soluzioni per la progettazione sostenibile in maniera molto più diretta: il risparmio di energia avviene già in fase di progettazione sia di edifici di nuova costruzione che nel caso di ristrutturazioni.

L'uso di informazioni coordinate e coerenti con la possibilità di condurre simulazioni energetiche seduta stante, consente di migliorare l'aspetto decisionale propedeutico alla fase esecutiva: prevedere le risposte dell'edificio prima ancora di iniziare i lavori e soprattutto a partire dalla una stessa piattaforma progettuale consente all'architetto, all'ingegnere e al progettista di progettare edifici energeticamente efficienti riducendo notevolmente i margini di errori, dovuti ad esempio alla semplice ri-modellazione del fabbricato in studio su altro applicativo.

5.3 L'estrapolazione delle liste di materiali

La ricchezza del database informatico implementato nel corso delle varie fasi progettuali rappresenta una fonte di informazioni fondamentali per chi si occupa della gestione integrata dei servizi e processi connessi agli edifici e agli spazi circostanti. La mole di informazioni estrapolabile da un processo progettuale basato sul bim è notevole come notevole è il risparmio e l'ottimizzazione dei tempi e delle risorse connessi ai processi di gestione. Ad ultimazione del

processo progettuale finora attuato, si vogliono evidenziare le potenzialità e le problematiche connesse all'estrapolazione di liste di materiali. In particolare, per il caso studio in analisi, sono stati estrapolati i quantitativi di mattoni forati occorrenti per la realizzazione dei compagni e dei divisori interni. Tali liste di materiali sono state inoltre organizzate per piani di appartenenza e per tipologia di muro (Tabella 11).

Tabella 11 Stima sommaria delle quantità di mattoni forati utilizzati

Tipo	Materiale: Nome	Lunghezza [m]	Materiale: Area [m ²]	Livello
<i>TOMPAGNO</i>				
<i>Muro perimetrale 38 cm</i>	<i>Mattone, Forato</i>	<i>28,04</i>	<i>60,49</i>	<i>PIANO TERRA</i>
	<i>Mattone, Forato</i>	<i>231,78</i>	<i>493,12</i>	<i>PIANO PRIMO</i>
	<i>Mattone, Forato</i>	<i>141,8</i>	<i>355,14</i>	<i>PIANO SECONDO</i>
		401,62	908,75	TOTALE
<i>DIVISORI INTERNI</i>				
<i>Tramezzi</i>	<i>Mattone, Forato</i>	<i>121,96</i>	<i>288,43</i>	<i>PIANO PRIMO</i>
		121,96	288,43	TOTALE

Ulteriore valutazione è stata effettuata per il computo dei materiali occorrenti per la realizzazione delle pilastrate e delle travature in conglomerato cementizio armato, in questo caso gli abachi sono stati estrapolati in funzione del tipo di materiale utilizzato e, come nel caso precedente, suddivisi per livelli di appartenenza (Tabella 12).

Tabella 12 Stima delle quantità di alcuni materiali strutturali utilizzati

<i>Stima dei materiali utilizzati per le pilastrate</i>						
Tipo	Materiale	Volume [m ³]	Materiale	Volume armatura longitudinale [m ³]	Peso armatura [kg]	Livello
<i>Pilastri</i>	<i>Cls gettato in opera C25/30</i>	<i>23,941</i>	<i>Acciaio B450C</i>	<i>0,425</i>	<i>3336,25</i>	<i>Piano interrato</i>
		<i>23,94</i>		<i>0,425</i>	<i>3336,25</i>	<i>Piano terra</i>
		<i>20,86</i>		<i>0,403</i>	<i>3163,55</i>	<i>Piano primo</i>
		<i>10,42</i>		<i>0,211</i>	<i>1656,35</i>	<i>Piano secondo</i>
		55,222		1,039	11492,40	TOTALE

<i>Stima dei materiali utilizzati per le travi</i>						
Tipo	Materiale	Volume [m ³]	Materiale	Volume armatura longitudinale [m ³]	Peso armatura [kg]	Livello
<i>Travi</i>	<i>Cls gettato in opera C25/30</i>	<i>58,02</i>	<i>Acciaio B450C</i>	<i>0,679</i>	<i>5334,00</i>	<i>Piano terra</i>
		<i>60,34</i>		<i>0,844</i>	<i>6623,00</i>	<i>Piano primo</i>
		<i>60,34</i>		<i>0,844</i>	<i>6624,00</i>	<i>Piano secondo</i>
		178,70		2,367	18581,00	TOTALE

I vantaggi sono evidenti, operando in questo modo è possibile gestire in maniera diretta un gran numero di dati mediante il rilevamento automatico delle quantità di materiali impiegati filtrandoli, ad esempio, in funzione delle esigenze del caso. Altro aspetto di fondamentale importanza è rappresentato dall'aggiornamento automatico dei dati relativi a possibili modifiche del modello (si immagini di dover variare la dimensione o il numero di pilastri), i parametri ad esso collegati verrebbero ricalcolati aggiornando in automatico gli abachi.

Bisogna comunque prestare particolare attenzione in quanto si tratta di liste di materiali e non di computi metrici veri e propri. In tal senso, infatti, sono stati riscontrati delle inesattezze nella stima delle quantità.

Quando un elemento architettonico interseca o si sovrappone ad un altro, la parte in comune tra i due elementi viene comunque conteggiata anche se non presente e visibile nel disegno stesso. Ad esempio un paramento murario interseca un pilastro, il software calcola correttamente il volume complessivo del muro (sottraendo quello del pilastro), ma non calcola in maniera separata e puntuale il volume dei singoli materiali che compongono la stratigrafia, quindi anche materiali che dovrebbero avere volume nullo (perché occupato interamente dal pilastro), assumono un valore diverso da zero. In tal senso perciò, più che un computo dei materiali, si tratta di una stima sommaria delle quantità di materiali impiegati.

6 La visualizzazione in sito del database

6.1 Premessa

Le implementazioni messe in atto durante il workflow proposto nell'ambito della ricerca condotta, sono confluite in un contesto applicativo integrato che trova nel BIM la sintesi perfetta per la gestione progettuale, esecutiva e manutentiva dell'opera realizzata. Gli sforzi concettuali – e non solo – degli attori della filiera edilizia sono stati convogliati in unico database che raccoglie al suo interno tutte quelle informazioni indispensabili per l'esecuzione – ad esempio – di progetti di variante, o progetti di manutenzione ordinaria o straordinaria, o più semplicemente per la gestione dell'opera durante l'intero ciclo di vita. Quello che inizialmente si presentava come un modello tridimensionale, ha assunto, implementazione dopo implementazione, le fattezze di un modello dell'edificio informatizzato, digitale, dotato cioè di informazioni di carattere tecnico, economico, e prestazionale di qualsiasi natura, siano esse di tipo fisico-ambientale (con le implementazioni delle caratteristiche termiche degli elementi che compongono gli involucri) che di carattere strutturale (con il calcolo delle membrature portanti e delle relative armature), che di tipo numerico con l'estrapolazione delle liste di materiali e delle relative quantità.

La metodologia è infatti in grado di supportare ogni singola fase della vita utile del progetto e successivamente del fabbricato: l'architetto interagisce con lo strutturista, che contemporaneamente si interfaccia con l'impiantista, questi a sua volta scambia i propri output progettuali con l'architetto e così via, il tutto in totale autonomia ma con perfetta sincronizzazione di intenti, scopi e obiettivi da perseguire.

Il progetto assume le fattezze di una 'scatola' che, fase dopo fase, implementazione dopo implementazione, viene riempita idealmente di informazioni, avvenimenti tecnici ed elementi tecnologici di cui è indispensabile non perderne memoria. I contenuti, pur essendo digitalizzati, sono reali e tangibili e all'occorrenza sovrapponibili: progetto architettonico, strutturale, impiantistico, meccanico, illuminotecnico, le schede tecniche dei materiali utilizzati (di qualsiasi genere e natura), i manuali di uso e manutenzione, ecc., rappresenta-

no una quota parte fondamentale delle informazioni da custodire e richiamare all'occorrenza. Si perché il rischio maggiore che si corre in questi casi è quello di non saper dove cercare il dato di cui si ha bisogno. Sorge a questo punto il problema di estrapolare tale informazione in maniera intelligente e con il minor dispendio di risorse e, fattore per certi versi innovativo, direttamente in sito.

Il presente capitolo descrive un'ulteriore parte sperimentale della ricerca condotta affrontando, nello specifico, la tematica di diffusione e visualizzazione in sito del database informatico creato mediante la metodologia proposta e, in particolare, mediante il bim.

All'uopo, si è giunti alla realizzazione ex-novo di un'applicazione per smartphone e tablet che, mediante la Realtà Aumentata, consente di gestire in maniera intelligente le principali informazioni di cui si necessita per la manutenzione ordinaria e straordinaria dell'immobile oggetto di studio. Visualizzazioni interattive, menu navigabili e download in sito delle principali caratteristiche tecniche dei materiali impiegati, sono solo alcune delle funzionalità messe in atto, ma che rappresentano un primo passo – ma fondamentale – per la digitalizzazione infografica del fabbricato.

La proposta nasce dall'evidente necessità di dotare qualsiasi fabbricato, sia di nuova che di vecchia costruzione, di un database accessibile e di chiara lettura da parte di chi ne abbia i diritti – proprietari, manager, manutentori, tecnici abilitati –, al fine di informatizzare un processo che di per sé già è informatizzato ma che però risulta carente dal punto di vista dell'accessibilità ai dati di input.

Nel corso della implementazione del modello digitale, passando dal 3D al bim, sono state aggiunte di volta in volta informazioni su informazioni e, mattoncino su mattoncino, il modello è stato arricchito di dati di fondamentale importanza.

Ad oggi però tali dati (come pure gli stessi elaborati esecutivi) risultano vaghi e lacunosi e, fattore di maggiore importanza, discordanti rispetto allo

stato reale delle cose, producendo gioco forza errori e inesattezza nelle fasi di gestione e manutenzione degli immobili. Tali circostanze non fanno altro che produrre ulteriori diseconomie inficiando inevitabilmente anche la qualità del prodotto finale.

Associando al bim – e quindi alla sua banca dati informatizzata – la visualizzazione digitale in sito, si può fornire uno strumento utile per la corretta gestione degli immobili apportando un notevole vantaggio durante l'intero ciclo di vita dell'immobile.

6.2 Le ICT per la divulgazione delle conoscenze

Stiamo assistendo ad una rivoluzione epocale nel modo di comunicare e diffondere conoscenze e, compartecipe di tale rivoluzione, è indubbiamente il mondo delle ICT che svolgono un ruolo cruciale in materia di crescita dell'innovazione, della creatività e della competitività di tutti i settori industriali e di servizi⁴⁵. In questa fase della ricerca si è mirato a sviluppare uno strumento in grado di comunicare in maniera semplice e intuitiva parte delle informazioni immagazzinate durante le diverse fasi progettuali messe in atto fino a questo punto. A tal proposito le ICT aprono gli orizzonti verso nuove tematiche connesse appunto alle tecnologie delle informazioni e delle comunicazioni. L'obiettivo perciò, è stato quello di sviluppare un mezzo di comunicazione in grado di 'entrare all'interno delle cose' e aumentare la percezione della realtà. Gli sforzi sono confluiti nella realizzazione di un'APP per strumenti digitali che sfrutta le potenzialità della realtà aumentata.

Contenuti digitali interattivi, accesso al database documentale, sono solo alcune delle funzioni messe in atto, ma che costituiscono un valido punto di partenza per successive implementazioni e ricerche in tale ambito. In tale prospettiva bene si presta la tecnologia della Realtà Aumentata che, anche grazie alla diffusione di dispositivi smart quali tablet e smartphone, sta prendendo sempre più piede nei settori industriali, commerciali e divulgativi in generale.

⁴⁵ AA.VV. *7PQ le risposte di domani cominciano oggi*, Comunità Europea, p. 8, URL: http://ec.europa.eu/research/fp7/pdf/fp7-factsheets_it.pdf.

I vantaggi nell'utilizzo della Realtà Aumentata, stanno nel fatto che questa consente di aumentare la percezione del mondo, sovrapponendo ad esso oggetti più o meno interattivi che, in alcuni casi, possono essere creati mediante la realtà virtuale. Rappresenta l'anello congiungente la realtà virtuale con quella realmente percepita, perché in essa l'utente continua a percepire l'ambiente reale, ma con la possibilità di sovrapporre a questo immagini digitali o dati prodotti ad hoc che arricchiscono la realtà di informazioni utili per semplificare operazioni altrimenti complesse. Si registra perciò una combinazione tra digitale e reale, al cui interno l'utente continua a muoversi interagendo in prima persona con gli oggetti. Pertanto le potenzialità sono enormi e ciò soprattutto nel settore delle 'mobile communication'.

6.3 La realtà aumentata e le APP

Quando si parla di APP si parla di applicazioni informatiche create ad hoc per smartphone e tablet depurate di tutto ciò che è superfluo dato il suo utilizzo su dispositivi meno performanti rispetto ai tradizionali pc. Le APP che implementano la realtà aumentata possono essere essenzialmente di due tipologie: la prima adatta a strumenti smart in grado di geolocalizzare i punti di interesse in maniera automatica – mediante l'utilizzo di GPS – e sovrapporvi quindi i contenuti richiesti; la seconda che, invece, sfrutta l'uso di marker che, riconosciuti dallo smartphone ad esempio, sovrappongono alla scena contenuti multimediali. Le applicazioni inoltre possono essere di tipo interattivo, consentendo all'utente di scegliere tra varie opzioni – organizzate ad esempio mediante menu – e di navigare all'interno dell'applicazione stessa, o al contrario, di tipo 'statiche' che consentono invece solo la visualizzazione e l'inserimento di una scena virtuale all'interno della realtà. Si contano ormai innumerevoli APP che sfruttano la realtà aumentata per fini commerciali, culturali e divulgativi, nonché per l'intrattenimento multimediale; minore è la diffusione delle stesse APP nel settore edile e, in particolar modo, per la gestione digitale degli immobili. Lo spirito di tale ricerca è appunto la realizzazione di un'APP che consenta di ampliare il bagaglio conoscitivo degli ambienti a cui si riferisce e fornire un valido strumento per la visualizzazione di parte del database formatosi durante le fasi progettuali attuate con il bim.

6.4 InsidAR

InsidAR è l'applicazione per smartphone e tablet pensata e implementata per 'aumentare' la percezione della realtà in ambito edile: essa è in grado di fornire delle informazioni sia sotto forma di modelli tridimensionali che mediante testi e documentazioni direttamente scaricabili da un cloud di supporto, consentendo all'utente di immergersi all'interno della realtà aumentandone i contenuti. È rivolta a chi si occupa della manutenzione dell'immobile e a tecnici e progettisti che necessitano di informazioni per la redazione di progetti di variante o di dati di verifica direttamente in sito. Essa rappresenta il punto di arrivo – e conseguentemente il nuovo punto di partenza – delle sperimentazioni condotte nell'ambito del dottorato di ricerca: è infatti lo strumento messo a punto per spingere la gestione e la manutenzione degli immobili verso nuovi orizzonti, non più – e non solo – documentazione cartacea, bensì un database digitale da cui attingere informazioni.

L'icona ideata per l'APP implementata (Fig. 74) mette l'accento sul concetto di database, o meglio ancora di 'contenitore di informazioni per l'AEC': l'ideazione, il progetto dell'opera e la sua realizzazione, si sono concretizzati in un unico modello bim intelligente e interoperabile, a questo punto però, si rende necessaria l'estrapolazione delle informazioni che, contenute in una scatola aperta e immaginaria, sono pronte per essere visualizzate e utilizzate per successive implementazioni. Quindi il bim rappresenta la scatola, la realtà aumentata lo strumento per fruire delle informazioni in essa contenute.

La Realtà Aumentata bene si presta a tali applicazioni dato il forte impatto immersivo e la diretta fruibilità alle informazioni. L'applicazione richiede, ad oggi, l'utilizzo di marker che rappresentano i punti di controllo univoci per ogni tipo di informazione da visualizzare: infatti, la metodologia messa in atto, consiste nell'associare ad ogni marker, previamente scansionato dal dispositivo mobile, un certo numero e tipo di informazione che a loro volta sono associate a determinati punti di controllo. In tal modo l'utente può avere informazioni associate direttamente a quel determinato punto di controllo.



Fig. 74 Icona dell'APP InsidAR

Al fine di garantire una maggiore immersione, i comandi diretti sono stati progettati in maniera tale da collocarsi nella parte bassa dello schermo e in modo da occupare tutta la larghezza dello stesso così da individuare i limiti inferiori e laterali di visualizzazione.

6.5 La progettazione dell'APP

Lo sviluppo dell'applicazione di Realtà Aumentata ha visto il contemporaneo utilizzo di due applicativi, preposti uno all'interpretazione delle immagini rilevate dalla fotocamera e l'altro alla ricostruzione della scena. A tal proposito per il riconoscimento delle immagini si utilizzano gli SDK (Software Development Kit), che altro non sono che pacchetti di strumenti per lo sviluppo di software. Per poter implementare applicazioni di qualsiasi tipo gli SDK necessitano di ambiente di sviluppo software conosciuto in informatica come IDE (Integrated Development Environment, o anche Integrated Design Environment o Integrated Debugging Environment), cioè software che in fase di progettazione assiste i programmatori nello sviluppo del codice sorgente di un programma: ad esempio segnalando errori di sintassi del codice direttamente in fase di scrittura oltre a tutta una serie di strumenti e funzionalità di supporto alla fase

di sviluppo e debugging. Il ‘collegamento’ tra l’applicativo SDK e l’IDE si realizza mediante un ulteriore software che funge anche da piattaforma di sviluppo che consente di connettere il database generato dagli SDK, svilupparlo tramite i sistemi IDE e successivamente visualizzarlo direttamente sullo schermo del proprio smartphone o tablet. Il software utilizzato per il tracciamento dell’immagine e la definizione della sua posizione nello spazio è Vuforia di Qualcomm; lo sviluppo del codice di calcolo è stato portato avanti con Mono-Develop-Unity, mentre il collegamento tra il sistema SDK e IDE è stato realizzato grazie a una piattaforma di sviluppo – Unity3D – che al tempo stesso rende i modelli 3D e le interfacce utente.

6.5.1 Realtà Aumentata con Vuforia SDK

Vuforia è un SDK per smartphone e tablet che permette l’implementazione di applicazioni in AR per dispositivi mobili e smart in generale. Questo software sfrutta la tecnologia connessa alla computer vision di riconoscere e realizzare il tracciamento degli oggetti catturati dalla videocamera in tempo reale. È possibile decidere la gerarchia degli elementi da visualizzare, ciò in funzione del tipo di ‘messaggio’ da trasmettere al fruitore dell’applicazione. D’altra parte, in generale, conviene non eccedere con gli oggetti da visualizzare al fine di non appesantire l’APP e di non gravare troppo sulla CPU e GPU del dispositivo mobile. In questo progetto la versione utilizzata di Vuforia SDK è la 3.0.9, l’ultima disponibile durante la realizzazione dell’APP.

La capacità di Vuforia di registrare le immagini consente agli sviluppatori di posizionare e orientare nello spazio reale oggetti virtuali, che possono essere sia tridimensionali che bidimensionali o file video, in funzione delle immagini reali che vengono visualizzate direttamente dalla fotocamera di uno smartphone. Il Vuforia SDK supporta diversi tipi di target, sia in 2D che in 3D, consentendo anche la configurazione multi-obiettivo. L’SDK dispone di altre funzionalità aggiuntive come la rilevazione di occlusioni di immagini localizzate – mediante l’utilizzo di pulsanti virtuali; la scelta e selezione del target immagine in tempo reale e la capacità di riconfigurare e creare set di destinazione a seconda dello scenario. Tali funzionalità però non saranno utilizzate per l’APP implementata. Infatti, Vuforia fornisce anche delle librerie software disponibili

– API (Application Programming Interface) – per diversi linguaggi di programmazione quali Java, C++, C# e linguaggi .Net, il tutto attraverso un'estensione del software di interscambio e motore di gioco con modulo IDE integrato, Unity3D. Per l'APP InsidAR, Vuforia SDK è stato usato per la creazione e il tracciamento degli Image Target. Si tratta di immagini che Vuforia SDK è in grado di rilevare e monitorare: l'accuratezza di queste immagini è basata sul numero e sulle peculiarità che avranno tali immagini, come ad esempio, il contrasto elevato, l'assenza di motivi ripetitivi, la ricchezza dei dettagli. Il Vuforia SDK utilizza una serie di algoritmi per rilevare e monitorare le caratteristiche intrinseche delle immagini da utilizzare come Image Tracker, riconoscendole e confrontandole con le immagini contenute all'interno di database noto. Una volta riconosciuto il target, Vuforia SDK seguirà l'immagine lungo l'intero campo visivo della fotocamera.

Come è stato detto in precedenza, uno degli scopi principali di Vuforia è l'interazione tra elementi reali e virtuali; tale gestione avviene mediante l'utilizzo di tracce e modelli caricati on line e generati dallo strumento TMS.

La TMS assegna un indice di valutazione ad ogni immagine che viene caricata sul sistema e ognuna di essa viene classificata con un punteggio (sotto forma di stelle da zero a cinque) che riflette quanto bene l'immagine può essere rilevata e monitorata. Più è alto il punteggio, maggiore sarà la capacità di rilevamento dell'immagine; un punteggio pari a zero comporterebbe il caricamento di un target che non sarebbe affatto rilevato e monitorato dal sistema in RA.

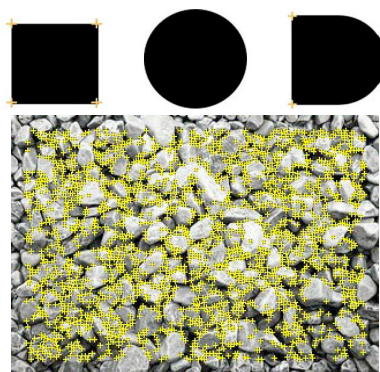


Fig. 75 Confronto tra immagini senza e con caratteristiche riconoscibili

Forme curve o arrotondate con scarsi contrasti, ma anche motivi ripetitivi e dalla accentuata simmetria rotatoria vengono rilevati con difficoltà dal sistema; di contro, immagini con forte contrasto, prive di simmetria e ripetività avranno un numero maggiore di punti di controllo e di conseguenza un punteggio più alto nella capacità di rilevamento dell'immagine (Fig. 75).

Per il progetto dell'APP sono stati caricati tre file distinti nella sezione Target Management System caricandoli direttamente sul sito in formato JPG: essi per tipologia e geometria sono definiti come Quick Response Code (o codice QR) che altro non sono che codici a barre bidimensionali costituiti da moduli neri all'interno di uno sfondo bianco solitamente quadrato (Fig. 76).



Fig. 76 Codici QR implementati per l'APP InsidAR

Per ogni progetto è possibile caricare più image target e, una volta deciso quali di queste caricare nel progetto in Realtà Aumentata, è possibile scaricare il database ad esso associato: in particolare in funzione dell'interfaccia di sviluppo, il database è scaricabile come Unity Editor o SDK (Fig. 77).

Download Database

All targets in database will be downloaded

Name:

AR_Unisa

Select a development platform:

SDK (Eclipse, Ant, Xcode, etc.)

Unity Editor

Cancel

Download

Fig. 77 Download del database in Unity Editor

6.5.2 Sviluppo dell'applicazione

L'ambiente selezionato per l'implementazione dell'applicazione è il software Unity3D: si tratta di motore di sviluppo pienamente compatibile con le librerie di Vuforia SDK e con i sistemi Android e iOS. Unity è un motore di sviluppo completamente integrato che fornisce ricche funzionalità per la creazione di giochi e contenuti 3D interattivi. Può essere utilizzato per assemblare le scene e gli ambienti aggiungendo all'occorrenza illuminazione, audio, effetti speciali e animazione; contemporaneamente consente di effettuare prove e modifiche di giochi e, a programmazione eseguita, pubblicare il gioco o l'APP sulla piattaforma prescelta, come ad esempio su sistema operativo Windows, Linux, iOS, Android, ecc. L'estensione Vuforia per Unity consente il rilevamento e il monitoraggio nell'IDE di Unity permettendo la creazione di applicazioni AR e giochi.

Prescindendo dall'installazione dei software e delle librerie associate ad ognuno di esso, si focalizza l'attenzione maggiormente sulla fase di esportazione del modello tridimensionale e su parte della programmazione necessaria all'implementazione dell'APP.

Per una più corretta gestione dei modelli tridimensionali in ambiente Unity, l'edificio in studio è stato precedentemente importato da Revit in 3ds Max 2014 mediante il formato FBX e successivamente, sempre sotto forma di file FBX, da 3ds Max a Unity 3D.

In questo modo è stato possibile intervenire in maniera diretta sui singoli elementi che costituiscono il modello tridimensionale: lo stesso infatti è stato scomposto in tante parti quanti sono gli elementi che costituiscono il modello stesso e non in un unico 'blocco' difficilmente modificabile.

Caricato il progetto nella cartella Assets di Unity, all'apertura del programma, il modello appare direttamente nella finestra del progetto.

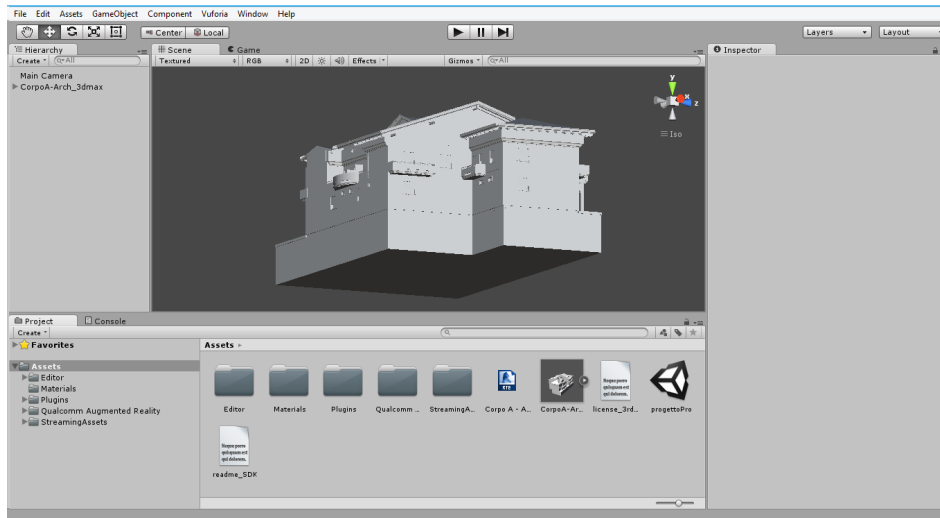


Fig. 78 Passaggio del modello dalla cartella Assets all'ambiente di lavoro di Unity

Per l'APP in studio sono state isolate dall'intero fabbricato tre scene principali riguardanti la prima l'impianto di scarico idrico sanitario di uno degli appartamenti; la seconda la visualizzazione di un nodo strutturale – un'intersezione tra travi e pilastri – con relativa armatura; la terza riguardante l'intera stratigrafia di un elemento opaco verticale dell'edificio.

Isolati i tre modelli tridimensionali all'interno dell'ambiente di lavoro, si procede con il montaggio del progetto: in serie, si collocano dall'alto verso il basso i singoli nodi che costituiscono le scene definendo così una opportuna struttura gerarchica, o ad albero, tra i nodi che a loro volta possono essere del tipo 'padre', 'figlio' o 'foglia'. Da ogni singolo nodo possono dipartirsi più rami del progetto che, in serie o in parallelo, condividono operazioni e dati di output che verranno visualizzati nelle scene in RA.

Posizionata opportunamente la camera, impostate le luci all'interno dell'area di lavoro e caricati per ognuno dei tre modelli 3D il rispettivo 'image target', le scene grafiche sono automaticamente create.

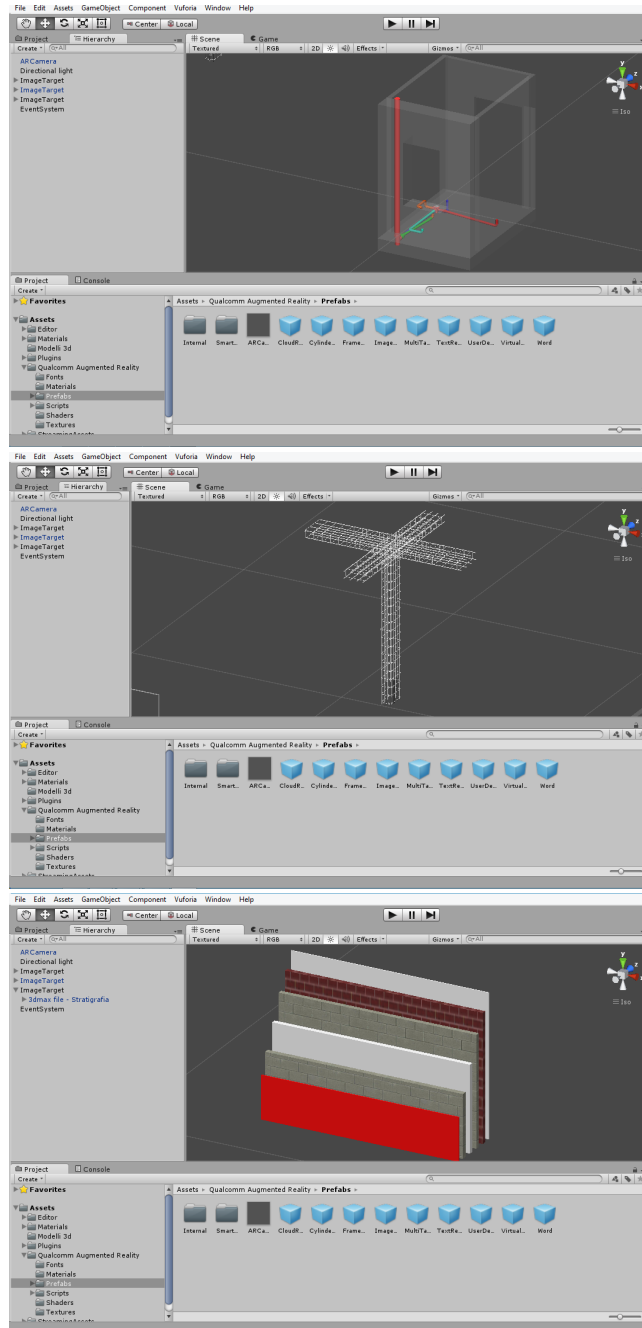


Fig. 79 Visualizzazione delle scene implementate in RA

Di default il software consente semplicemente di visualizzare un file – 2D, 3D, video, ecc – associato ad un determinato target, nel momento in cui lo stesso viene catturato dallo schermo del dispositivo mobile. Pertanto per rendere più funzionale l’APP agli scopi prefissati, per le due ambientazioni implementate in InsidAR è stato necessario intervenire sugli script di programmazione al fine di modificare l’interfaccia grafica, introducendo una barra inferiore con le credenziali del programmatore (Fig. 81) e i tasti a schermo che ampliarono l’esperienza in RA: uno consente di uscire dall’applicazione, con conseguente risparmio di RAM dello smartphone, l’altro collega l’operatore direttamente ad un cloud di servizio nel quale sono contenute informazioni di carattere tecnico relative all’oggetto inquadrato.

6.5.3 Montaggio e lancio dell’APP

Per poter montare l’APP sul proprio dispositivo mobile, è necessario installare un ulteriore software preposto al trasferimento del codice dal pc al dispositivo: il software ‘Android SDK’ consente di interfacciare lo smartphone al pc mediante il trasferimento di opportuni driver di comunicazione. Quando si installa Android SDK è possibile scegliere diverse API, ma nel caso specifico è stato installato l’API 9, attraverso il Manager SDK e, utilizzando quale sistema operativo Windows, sono stati scaricati i driver Platform Tools e USB drivers associati (Fig. 80).

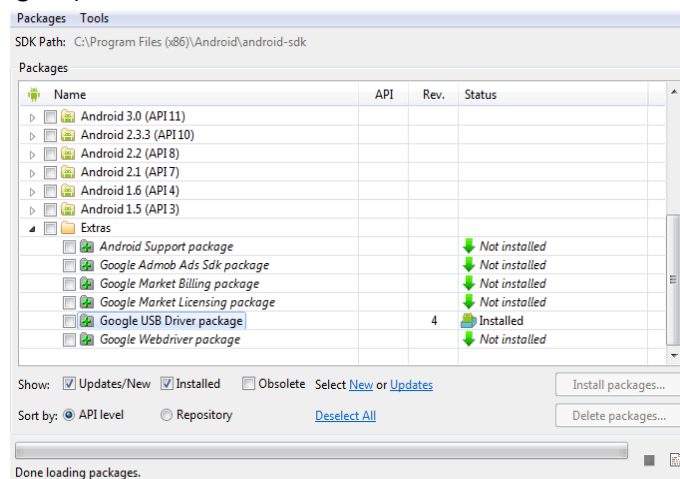


Fig. 80 Screen dell’Android SDK Manager

Collegato il dispositivo mobile al pc e settate le ultime impostazioni, quali ad esempio il nome dell'applicazione, l'icona e la risoluzione ecc. si procede con il trasferimento vero e proprio dell'APP dal pc allo smartphone (Fig. 82).

```

using UnityEngine;
/// <summary>
/// A custom handler that implements the ITrackableEventHandler interface.
/// </summary>
public class menu : MonoBehaviour,
ITrackableEventHandler
{
    #region PRIVATE_MEMBER_VARIABLES

    private TrackableBehaviour mTrackableBehaviour;
    private bool foundSomething;
    #endregion // PRIVATE_MEMBER_VARIABLES

    #region UNITY_MONOBEHAVIOUR_METHODS

    void Start()
    {
        foundSomething = false;
        mTrackableBehaviour = GetComponent<TrackableBehaviour>();
        if (mTrackableBehaviour)
        {
            mTrackableBehaviour.RegisterTrackableEventHandler(this);
        }
    }

    #endregion // UNITY_MONOBEHAVIOUR_METHODS

    #region PUBLIC_METHODS

    /// <summary>
    /// Implementation of the ITrackableEventHandler function called when the
    /// tracking state changes.
    /// </summary>
    public void OnTrackableStateChanged(
        TrackableBehaviour.Status previousStatus,
        TrackableBehaviour.Status newStatus)
    {
        if (newStatus == TrackableBehaviour.Status.DETECTED ||
            newStatus == TrackableBehaviour.Status.TRACKED ||
            newStatus == TrackableBehaviour.Status.EXTENDED_TRACKED)
        {
            OnTrackingFound();
        }
        else
        {
            OnTrackingLost();
        }
    }

    void OnGUI () {
        GUI.Box (new Rect (20, Screen.height-25, Screen.width-35, 20), "Powered by D. Barbato");
    }
}

```

Fig. 81 Stringa di programmazione per la modifica dell'interfaccia grafica

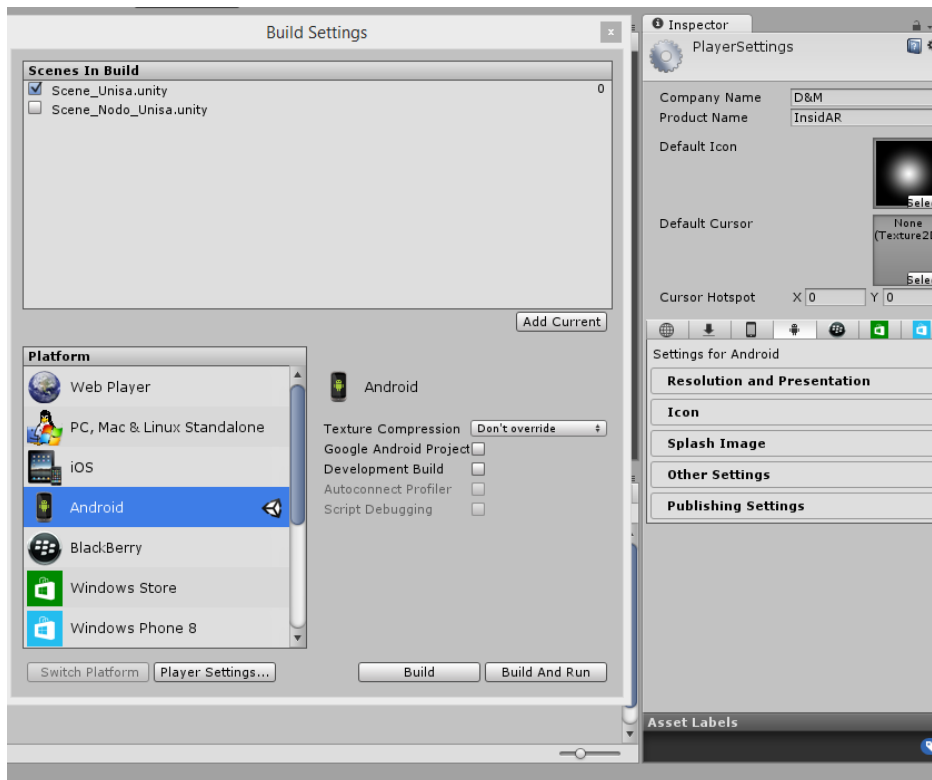


Fig. 82 Settaggio delle impostazioni grafiche dell'APP

6.5.4 Risultati ottenuti

Per l'applicazione InsidAR sono state realizzate due tipologie di ambientazioni su tre scene differenti; le ambientazioni sono del tipo visualizzativo e visualizzativo-conoscitivo. Procedendo con ordine, l'ambientazione visualizzativa consente di sovrapporre, alla realtà, il modello 3D degli impianti di scarico di un appartamento che altrimenti risulterebbero inglobati all'intero del solaio e dei divisori interni e quindi non visibili.

Nell'ambito dell'ambientazione visualizzativa-conoscitiva, sono state portate avanti due esperienze differenti, una che consente di visualizzare le barre di armatura appartenenti ad un nodo strutturale, costituito da un pilastro e quattro travi confluenti nella sua estremità superiore; la seconda che

consente invece di visualizzare i diversi strati di materiale che compongono un pacchetto murario, nello specifico l'elemento opaco verticale dell'involucro edilizio in studio, visualizzandone la composizione, gli spessori e la successione stratigrafica.

L'aspetto conoscitivo è rappresentato dalla possibilità di scaricare direttamente sul proprio dispositivo mobile – e quindi risalire – alle specifiche tecniche dei materiali utilizzati, agli stabilimenti di produzioni e alle date di getto degli elementi strutturali, oppure, alle caratteristiche termiche, alla composizione, l'impiego, la modalità di applicazione dei materiali utilizzati, nonché alla loro manutenzione. Si tratta di informazioni basilari per poter gestire al meglio parte dell'edificio in studio e per poter impostare senza errori un progetto di manutenzione dell'immobile.

Per le scene implementate è sufficiente avviare l'applicazione direttamente dal proprio smartphone e inquadrare a centro schermo il marker opportunamente collocato all'interno dell'immobile in studio. La Fig. 83 mostra il posizionamento di ciascun marker contraddistinto dalla 'scatola aperta', pronta cioè a fornire tutte le informazioni al suo interno contenute.

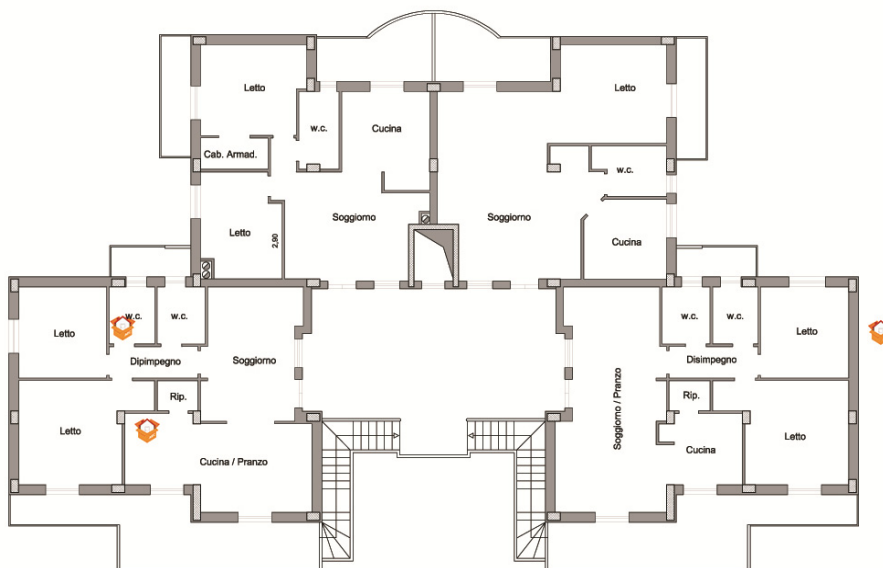


Fig. 83 Pianta dell'immobile e disposizione dei marker

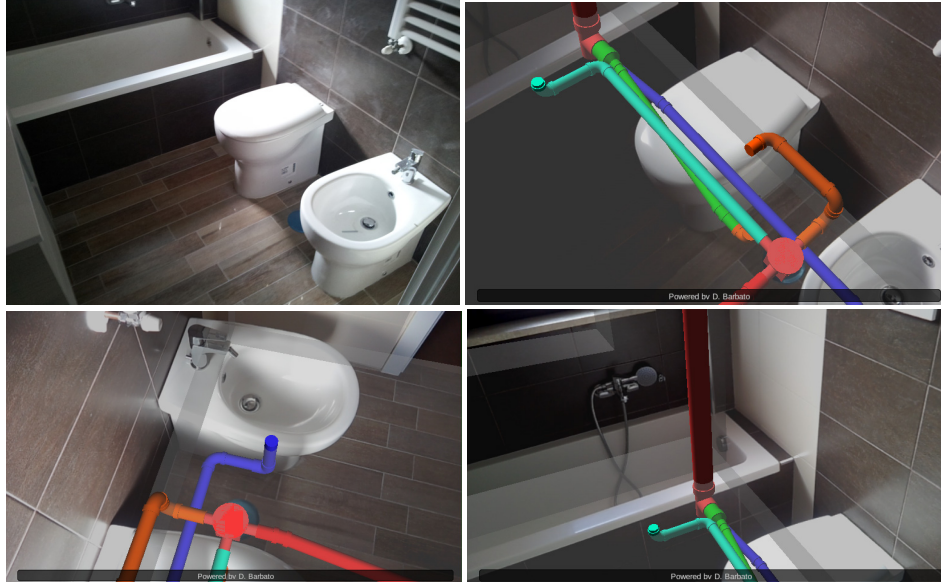


Fig. 84 Visualizzazione in sito degli impianti di scarico dei servizi igienici

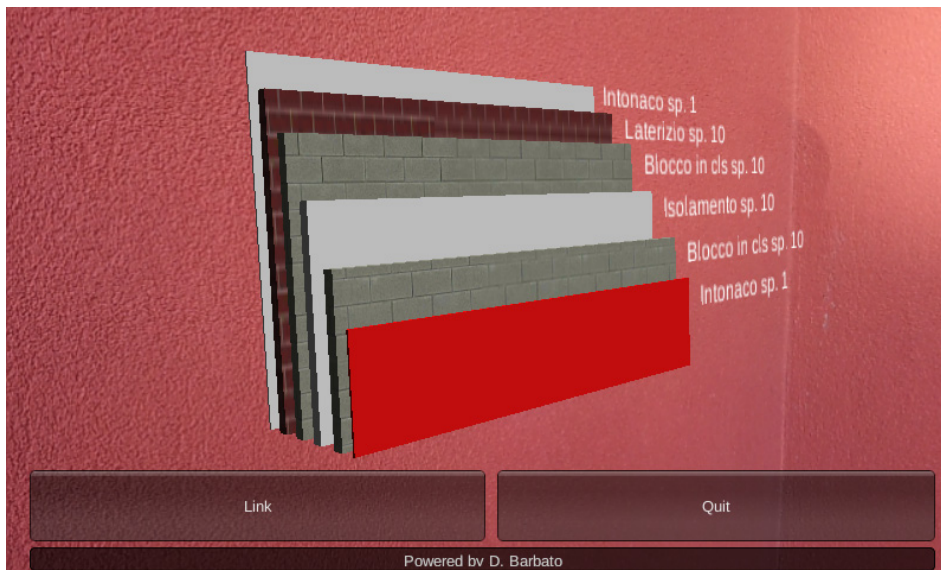


Fig. 85 Visualizzazione della stratigrafia di un tomagno



Fig. 86 Visualizzazione in sito di un nodo strutturale

L'utente può muoversi liberamente attorno all'immagine mirata, il dispositivo mobile può essere inclinato, così come l'oggetto può essere spostato. Il vantaggio della RA per tali dispositivi è legato al fatto che vi è totale libertà nei movimenti consentendo di visualizzare l'iterazione tra realtà e realtà virtuale da ogni angolazione.

Una delle questioni più intricate riguarda la scomparsa del target dallo schermo nell'uso dell'applicazione AR: tale inconveniente è stato compensato impostando in fase di progettazione dell'APP la funzione 'Extended tracking': pur perdendo di vista il marker dallo schermo, il modello virtuale continua ad essere visualizzato a video, anche se tende a rototraslare rispetto alla posizione originaria perdendo l'origine del proprio sistema di riferimento locale.

È perciò preferibile mantenere sempre visibile sullo schermo del dispositivo il marker di riferimento.

In generale, interagire con un'applicazione in Realtà Aumentata è sempre una esperienza particolare proprio per la capacità di immergere l'operatore in un mondo virtuale dandone il senso della percezione e consentendo all'utente di 'modificare' l'ambiente che a sua volta risponde alle azioni dell'utente. Nello specifico, con l'APP InsidAR, oltre che l'immersione nel virtuale, si è voluta enfatizzare anche l'immersione nel 'documentale' con il download di allegati indispensabili per la conoscenza della storia dell'immobile in studio: si tratta, infatti, di informazioni indispensabili che la gestione dell'edificio e delle sue parti.

Conclusioni

L'esperienza maturata nell'ambito del Dottorato di ricerca apre le porte verso nuovi orizzonti nel settore della progettazione e gestione del patrimonio edilizio. Da un'analisi della letteratura in materia, appaiono evidenti i punti deboli dell'attuale sistema di gestione dell'intero iter progettuale ed esecutivo delle commesse edilizie: ciò soprattutto in realtà come quella italiana in cui, da una parte gli approcci progettuali, dall'altra la ritrosia ad abbandonare i 'tradizionali' metodi di progettazione, rendono ancor più complicato l'approdo verso nuove metodologie di progettazione e di gestione.

Incomprensioni, ritardi e frammentazione nelle diverse fasi progettuali, si amplificano nelle fasi esecutive portando inevitabilmente a diseconomie di scala che indeboliscono ulteriormente un settore già in ginocchio.

Tra l'altro forte, soprattutto in Italia, è l'esigenza di intervenire sul patrimonio edilizio esistente, esigenza legata alla necessità di adeguare dal punto di vista tecnologico, funzionale ed energetico gli immobili esistenti ma anche dalla consapevolezza che, da un lato risulta antieconomico dismettere il patrimonio immobiliare e dall'altro, la limitata possibilità espansiva dei nuovi centri urbani. Il recupero e la riqualificazione possono senza dubbio rappresentare un momento di slancio per tutti i soggetti coinvolti nel settore delle costruzioni.

Non sempre però è agevole intervenire sul patrimonio edilizio esistente: assenza di documentazione tecnica adeguata che informi il manutentore o il progettista sull'opera oggetto di studio, discordanze tra lo stato di fatto e di progetto evidenziano ancor più l'obsolescenza di un modo di 'fare edilizia' oramai datato e poco produttivo.

Da anni ormai, sicuramente meno in Italia, il BIM rappresenta una nuova metodologia di lavoro che investe e rivoluziona drasticamente il modo di intendere l'intero iter progettuale esecutivo e manutentivo nel settore edile. Maggiore efficienza nel processo e incremento di qualità del prodotto finale, sono solo alcuni dei vantaggi proposti da tale metodologia.

Le principali ragioni sono da riscontrare nella diminuzione delle varianti sui progetti, proprio a seguito della riduzione degli errori e delle omissioni progettuali. Circostanze che inducono di riflesso a immediati benefici finanziari legati, tra l'altro, alla riduzione dei tempi stessi di esecuzione di una commessa edilizia. Tutto ciò presuppone la necessità di una forte interazione tra le figure professionali coinvolte, interazione che si concretizza in un linguaggio di interscambio comune, universale che nel caso del BIM si identifica nell'IFC.

Dall'analisi del caso studio implementato mediante le metodologie di progettazione BIM, è emerso che, se da un lato l'offerta di programmi è sempre più ampia, la capacità comunicativa tra gli stessi risulta ancora in alcuni casi scarsa. Le software house introducono nel mercato i loro strumenti BIM, promettendo una sempre più spinta condivisione di dati e di informazioni, che, se è massima tra programmi della stessa casa produttrice, in alcuni casi è carente – o comunque limitata – nel caso di produttori diversi. In tal senso, anche a causa dell'assenza di veri e propri protocolli procedurali, sono stati individuati diversi percorsi da seguire per ridurre le manipolazioni sul modello infografico già realizzato e al contempo per ridurre le inefficienze progettuali.

Nell'ottica della simulazione di un flusso di lavoro, il lavoro di ricerca è proseguito per due strade parallele: da un lato è stata condotta un'analisi sismica del fabbricato oggetto di studio, dall'altro, invece, si è proseguito con l'arricchimento del database dell'edificio introducendo informazioni di caratteristiche energetiche e ambientali.

Soddisfacente, seppur preliminare, l'analisi sismica condotta confrontando i risultati ottenuti tra due software di cui uno BIM: dallo studio del comportamento globale delle due strutture e, successivamente, del comportamento locale delle stesse è emersa una sostanziale comparabilità dei risultati ottenuti. Pur trattandosi di analisi preliminari, si tratta comunque di parametri di risposta di un edificio che rivestono una grande importanza, essendo strettamente correlati con il danneggiamento prodotto sulla struttura e che sottolineano l'affidabilità dell'uno e dell'altro codice di calcolo.

L'analisi ambientale e la possibilità di interfacciare qualsiasi modello bim con altri software – non bim – preposti al calcolo energetico, hanno consentito di ampliare l'esperienza progettuale arricchendo il database informativo. La possibilità di estrapolare dati e informazioni numeriche hanno ulteriormente ampliato il bagaglio conoscitivo intrinseco all'opera progettata.

Si è dimostrato come, procedendo da un concetto di progettazione lineare a uno circolare è stato possibile far confluire tutti gli sforzi dei protagonisti direttamente coinvolti nella realizzazione di un'opera di architettura, in unico database che conserva al suo interno, tutte quelle informazioni indispensabili per l'esecuzione – ad esempio – di progetti di variante, o progetti di manutenzione ordinaria o straordinaria, o più semplicemente per la gestione dell'opera durante l'intero ciclo di vita.

Procedendo step by step si è passati progressivamente da un modello tridimensionale a un modello parametrico, informatizzato – un bim, appunto – fino a giungere alla rappresentazione digitale delle caratteristiche fisiche e funzionali del fabbricato. Il BIM funge da risorsa di informazioni per la conoscenza condivisa dell'edificio formando una base affidabile per le decisioni durante il suo intero ciclo di vita, dalla nascita in poi.

L'iter di ricerca si è completato con la realizzazione di un'APP per strumenti smart in grado di immergere l'operatore all'interno dell'edificio e specificatamente, all'interno del database delle caratteristiche fisiche, funzionali e prestazionali. InsidAR, l'APP messa a punto nel corso dell'attività di Dottorato, rappresenta una innovazione nell'ambito delle APP di Realtà Aumentata proprio perché è in grado di 'legare' due strumenti ICT ampiamente utilizzati in ambito internazionale, ma mai in maniera congiunta: dalla 'scatola' vengono estratti contenuti digitalizzati, reali e tangibili e all'occorrenza sovrapponibili. Le informazioni necessarie per la manutenzione – sia essa ordinaria o straordinaria – sono perciò custodite all'interno della 'scatola' e estraibili all'occorrenza.

I benefici ottenuti dalla metodologia messa in atto sono notevoli, uno fra tutti la digitalizzazione dell'edificio e delle sue parti: ogni fase progettuale concorre, in maniera univoca, alla definizione delle componenti dell'edificio.

Un pilastro, ad esempio, oltre ad essere un volume, è un elemento strutturale, costituito da uno specifico materiale, da una specifica armatura, fornita da uno specifico produttore. Per cui, ogni parte dell'edificio è fortemente collegata a tutte le altre validando il concetto che nessuna cosa ha significato in se stessa ma solo quando ha relazione con tutte le altre che intervengono in un dato processo.

Dal workflow condotto, sono emersi alcuni limiti legati anzitutto alla limitata interoperabilità di software bim di case madri differenti che hanno costretto all'individuazione di un possibile percorso da intraprendere per ridurre le inefficienze comunicative. L'iterazione risulta perciò ancora strettamente legata ai programmi che si utilizzano. Se la condivisione dei dati è più coerente tra software della stessa casa produttrice, nel caso di produttori differenti essa risulta ancora carente o comunque limitata. Sono state perciò formulate ipotesi procedurali circa la risoluzione di quei difetti di comunicazione emersi nella simulazione del workflow. Altro limite riscontrato risiede nella tipologia di esecutivi strutturali ottenibili: essi risultano ancora insoddisfacenti, costringendo l'operatore ad ulteriori manipolazioni sugli stessi.

A valle di queste considerazioni è possibile delineare nuovi filoni di ricerca che investono a cascata sia gli aspetti legati alla interoperabilità tra software, che gli aspetti strutturali che visualizzativi-divulgativi della base dati.

Le analisi condotte in ambito sismico evidenziano l'affidabilità dei risultati ottenuti ed ottenibili, confermando che il BIM si manifesta come uno strumento più che valido per la progettazione edilizia nelle sue diverse discipline. Le analisi effettuate pur nella loro esaustività rappresentano oggi un incoraggiante punto di partenza per l'effettuazione di analisi più dettagliate, e volendo sofisticate – ad esempio una pushover analysis in ambito strutturale.

Confronti su analisi sismiche più dettagliate e su casi studio più complessi – che si distaccano cioè dalle usuali tipologie costruttive – potrebbero enfatizzare o meno l'utilizzo di tali metodologie. Creazione di plug-in migliorativi per l'ottenimento degli esecutivi strutturali in conformità alle norme in materia di disegno tecnico.

Infine l'APP realizzata rappresenta indubbiamente un punto di partenza ma che però limita, ad oggi, l'esperienza immersiva a pochi casi isolati. Si potrebbero implementare nuove funzioni all'interno della stessa, consentendo la possibilità di estrarre informazioni di varia natura: riferimenti catastali, dati dei progettisti, fino alla visualizzazione in tempo reale dei consumi energetici di ogni vano dell'edificio in studio per consentire un monitoraggio accurato attraverso reti o sensori wireless in grado di interagire con moduli di controllo e quindi correggere – ridurre cioè i consumi – fino ad accostarsi alle previsioni effettuate in sede di calcolo.

Infine, in alternativa all'utilizzo di QCode la georeferenziazione del modello infografico rispetto ad un determinato sistema di riferimento locale co-sicché semplicemente collocandosi, con l'APP avviata, nel punto di accesso alle informazioni, si allarghi l'esperienza in Realtà Aumentata.

Indice delle figure

Fig. 1 Valore della produzione nel 2013 in Italia	10
Fig. 2 Indici della produttività lavorativa nel settore delle costruzioni e nel settore produttivo privato	13
Fig. 3 Processi edilizi, approcci tradizionali e approcci innovativi.....	28
Fig. 4 Schematizzazione dell'approccio tradizionale	29
Fig. 5 Schematizzazione dell'approccio tradizionale evoluto.....	30
Fig. 6 Schematizzazione dell'approccio tradizionale integrato per appalto chiavi in mano	31
Fig. 7 Schematizzazione dell'approccio basato sul Construction Management	33
Fig. 8 Schematizzazione dell'approccio basato sul Project Management.....	34
Fig. 9 Confronto tra operatori tradizionali e nuove figure professionali: coordinamento e gestione integrata	37
Fig. 10 Sistemi progettuali a confronto	39
Fig. 11 Rappresentazione concettuale del processo progettuale tradizionale di tipo lineare e quello integrato	43
Fig. 12 Gli open standard più utilizzati nel settore AEC	45
Fig. 13 Virtuality continuum	48
Fig. 14 Esempi di utilizzi della AR.....	49
Fig. 15 Progetto Smart Energy Efficient Middleware for Public Spaces (SEEMPubS).....	50
Fig. 16 Progetto di ricerca AR4BC (Augmented Reality for Building and Construction)	51
Fig. 17 Schema sinottico della metodologia implementata	55
Fig. 18 Vista dall'alto del complesso residenziale	59
Fig. 19 Fasi costruttive del fabbricato	59
Fig. 20 Vista frontale del fabbricato ultimato	59
Fig. 21 Creazione del pacchetto murario perimetrale	61
Fig. 22 Interfaccia grafica di ArchiCAD e import del file CAD	62
Fig. 23 Settaggio dei diversi livelli di lavoro	62
Fig. 24 Input della funzione 'portante' degli elementi strutturali.....	64
Fig. 25 Visualizzazione del modello infografico.....	65

Fig. 26	Visualizzazione dei soli elementi con caratteristiche 'portanti'	66
Fig. 27	Finestra degli avvertimenti successiva all'importazione del modello in Revit	68
Fig. 28	Apertura del modello infografico in Revit	69
Fig. 29	Errata intersezione delle grondaie.....	69
Fig. 30	Cancellazione dell'oblò all'ultimo impalcato e conseguente cancellazione dei muri portanti in fondazione	70
Fig. 31	Cattiva intersezione dei tompagni e risoluzione della connessione.....	70
Fig. 32	Perdita delle caratteristiche grafiche.....	71
Fig. 33	Errata individuazione delle strutture portanti verticali e orizzontali	72
Fig. 34	Viste assonometriche e dall'alto degli impianti di scarico.....	73
Fig. 35	Interfaccia dei traduttori disponibili in ArchiCAD	75
Fig. 36	Importazione in Revit delle sole strutture portanti	76
Fig. 37	Cattiva gestione del modello bim implementato	77
Fig. 38	Fase di esportazione da Revit a Robot mediante add-on	77
Fig. 39	Visualizzazione del modello FEM importato in Robot	78
Fig. 40	Input delle caratteristiche strutturali dei pilastri	79
Fig. 41	Modellazione ex-novo delle strutture portanti orizzontali	79
Fig. 42	Import del modello strutturale corretto e individuazione delle caratteristiche strutturali degli elementi portanti.....	80
Fig. 43	Passaggio dalla visualizzazione completa alle sole strutture portanti... ..	81
Fig. 44	Visualizzazione delle strutture portanti ruotate rispetto alle impostazioni iniziali	82
Fig. 45	Correzione del sistema di riferimento locale in Robot	82
Fig. 46	Parametri dell'analisi sismica.....	86
Fig. 47	Inserimento dei fili fissi e dei pilastri a partire dal DWG	87
Fig. 48	Modello FEM in CDSWin	87
Fig. 49	Input delle preferenze del progetto	88
Fig. 50	Schermata di lavoro in Robot	89
Fig. 51	Inserimento manuale dei coefficienti di combinazione	90
Fig. 52	Combinazioni di carico automatiche semplificate.....	91
Fig. 53	Impostazione manuale di una combinazione di carico.....	91
Fig. 54	Inserimento dei rivestimenti.....	92

Fig. 55 Modello FEM in Robot	93
Fig. 56 Confronto fra deformate modali, primo modo di vibrare	95
Fig. 57 Confronto fra deformate modali, secondo modo di vibrare	95
Fig. 58 Confronto fra deformate modali, terzo modo di vibrare	96
Fig. 59 Visualizzazione dei risultati	99
Fig. 60 Report dell'analisi dettagliata per la singola asta.....	100
Fig. 61 Visualizzazione delle tensioni trasversali delle membrature.....	100
Fig. 62 Scelta degli elementi da calcolare e delle combinazioni di carico	101
Fig. 63 Finestre delle opzioni di calcolo e del modello di armatura.....	102
Fig. 64 Report delle caratteristiche delle armature	103
Fig. 65 Visualizzazione dei diagrammi delle sollecitazioni e resistenti	103
Fig. 66 Finestre delle opzioni di calcolo e del modello di armatura.....	104
Fig. 67 Report delle caratteristiche delle armature	104
Fig. 68 Interscambio biunivoco dal modello architettonico a quello strutturale	106
Fig. 69 Stratigrafia degli elementi opachi verticali	109
Fig. 70 Definizione dei parametri termici.....	109
Fig. 71 Individuazione del sito di intervento	110
Fig. 72 Determinazione delle condizioni ambientali del sito	110
Fig. 73 Report completo dell'analisi ambientale.....	117
Fig. 74 Icona dell'APP InsidAR	125
Fig. 75 Confronto tra immagini senza e con caratteristiche riconoscibili	127
Fig. 76 Codici QR implementati per l'APP InsidAR	128
Fig. 77 Download del database in Unity Editor	128
Fig. 78 Passaggio del modello dalla cartella Assets all'ambiente di lavoro di Unity	130
Fig. 79 Visualizzazione delle scene implementate in RA.....	131
Fig. 80 Screen dell'Android SDK Manager.....	132
Fig. 81 Stringa di programmazione per la modifica dell'interfaccia grafica....	133
Fig. 82 Settaggio delle impostazioni grafiche dell'APP.....	134
Fig. 83 Pianta dell'immobile e disposizione dei marker.....	135
Fig. 84 Visualizzazione in sito degli impianti di scarico dei servizi igienici	136
Fig. 85 Visualizzazione della stratigrafia di un tompagno	136

Fig. 86 Visualizzazione in sito di un nodo strutturale..... 137

Indice delle tabelle

Tabella 1 Stock e attività di recupero al 2001 e al 2011 – <i>Fonte CRESME</i>	11
Tabella 2 Confronto fra il numero di abitazioni e la variazione del numero di famiglie in Italia	12
Tabella 3 Costi dovuti all'inadeguata interoperabilità nel settore AEC Statunitense (in milioni di \$) rispetto al capitale investito.....	14
Tabella 4 Costi (milioni di \$) dovuti all'inadeguata interoperabilità valutata per ciascun gruppo di interesse durante l'intero ciclo di vita dell'immobile..	15
Tabella 5 Produzione totale italiana legata al settore edile.....	16
Tabella 6 Sintesi delle possibili perdite economiche.....	17
Tabella 7 Valore dei coefficienti di combinazione – tratta da NTC 2008	89
Tabella 8 Confronto caratteristiche modali	94
Tabella 9 Confronto degli spostamenti nodali riferiti alle due condizioni di carico sismiche.....	97
Tabella 10 Valutazione delle variazioni di spostamento	98
Tabella 11 Stima sommaria delle quantità di mattoni forati utilizzati	118
Tabella 12 Stima delle quantità di alcuni materiali strutturali utilizzati	118

Bibliografia

AA.VV. *7PQ le risposte di domani cominciano oggi*, Comunità Europea, URL: http://ec.europa.eu/research/fp7/pdf/fp7-factsheets_it.pdf

AA.VV. *Fatti su Archicad*, URL: <http://fatti-su.it/archicad>, Retrieved March 25, 2014

AA.VV. *Revit Architecture: How to work with floor*, <http://www.streamica.com/#!/v/F6q9yJGSiqc>, Retrieved May 5, 2013

AA.VV. <http://download.graphisoft.com/ftp/techsupport/downloads/interoperability/GRAPHISOFT%20ArchiCAD%20Connection%20for%20Revit%202014.pdf>

AA.VV. *ROBOT Millennium versione 19.0. Manuale per l'utente*, RoboBAT, Milano, 2008

AA.VV. *Manuale d'uso CDSWin + CDMaWin Strutture in c.a., acciaio, legno e muratura*, STS S.r.l., Siracusa, 2013

AIA California Council, *A Working definition – Integrated Project Delivery*, McGraw Hill Construction, California, 2007

Arayici, Y.; Egbu, C.; Coates, P. *Building Information Modelling (BIM) implementation and remote construction projects: issues, challenges, and critiques*, Egbu C., Sidawi B. ecc., in: *IT-con Vol. 17, Special Issue Management of remote construction sites and the role of IT Systems*, Manchester, 2012

Arlati, E. *Modellazione e gestione del patrimonio edilizio esistente*, Ingenio, San Marino, 2013

Associated General Contractors Of America, *The Contractor's Guide to BIM*, 1st ed., AGC Research Foundation, Las Vegas, Nevada, 2005;

Azuma, R.T. *A Survey of Augmented Reality*, In *Presence: Teleoperators and Virtual Environments 6*, Janet Weisenberger and Roy Ruddle, USA, 1997

Barbato, D. *A methodological approach to BIM design*, Vaclav Skala – Union Agency, Czech Republic, 2014

Barbato, D. *Un'ipotesi di gestione condivisa dei dati BIM*, V Congreso Internacional de Expresión Gráfica, XI Congreso Nacional de Profesores de Expresión Gráfica en Ingeniería, Arquitectura y Áreas Afines, EGraFIA 2014, Rosario (Argentina), 2014

Bazjanac, V.; Kiviniemi, A. *Reduction, simplification, translation and interpretation in the exchange of model data*, In: *Proceedings of the 24th Conference. Bringing ITC knowledge to work*, California, USA, 2007

Beetz, J.; Berlo, L.; Laat, R.; Helm, P. *Bimserver.org—An Open Source IFC Model Server*, In: *Proceedings of the CIP W78 conference*, Cairo, 2010

Benedikt, M. *Less for Less Yet*, in: *Harvard Design Magazine*, n.7, Winter/Spring, Texas, 1999

Bollettino ufficiale della regione Campania, *Modifiche alla legge regionale 28 dicembre 2009, n. 19 (misure urgenti per il rilancio economico, per la riqualificazione del patrimonio esistente, per la prevenzione del rischio sismico e per la semplificazione amministrativa) e alla legge regionale 22 dicembre 2004, n. 16 (norme sul governo del territorio)*, dicembre 2009, URL: <http://burc.regione.campania.it>

Brad, H. *BIM and Construction Management: Proven Tools, Methods, and Workflows*, John Wiley and Sons, Somerset, 2009

Brandolini, S. *La trasformazione come esigenza imprescindibile*, in: Zambelli E. (a cura di), *Ristrutturazione e trasformazione del costruito*, Il Sole 24 ore, Milano, 2004

Caffi, V.; Daniotti, B.; Lo Turco, M.; Madeddu, D.; Muscogiuri, D.; Novello, G.; Pavan, A.; Pignataro, M. *Il processo edilizio supportato dal BIMM: l'approccio InnovANCE*, In: *ISTeA*, Bari, 2014

Cappochin, S.; Torre, A. *Recupero edilizio e restauro. Sei casi di utilizzo del sistema Building Information Modeling per la progettazione di interventi su edifici da ristrutturare e di valore storico*, Gruppo24Ore, Milano, 2010

Cecchi, R., Corona, R., Spampatti, P. *ArchiCAD 15. Guida all'uso*, Edizioni Fag, Milano, 2011

CIFE and CURT, "VDC/BIM Value survey Result", CIFE, Stanford University, 10 March 07. CIFE/CURT, 25 June 07. <http://cife.stanford.edu/VDCSurvey.pdf>, Stanford, 2007

Ciribini A., *Level of Detail e Level of Development: i processi di committenza e l'Information Modelling*, in *TECHNE Journal of Technology for Architecture and Environment*, SITdA, Roma, 2013;

Ciribini, A. *L'information Modeling e il settore delle costruzioni: IIM e BIM*, Maggioli Editore, Rimini, 2013

COBIM, *Common BIM Requirements*, Finnish Senate Properties, Finland, 2012

Compagno, M. *Applicazioni della Augmented Reality nel settore dell'editoria scolastica*, 2013, URL: https://www.academia.edu/7219610/Applicazioni_della_Augmented_Reality_nel_settore_delle_ditoria_scolastica, Siena, 2013

D'Auria, S.; Barbato, D. *Standardisation of the design process using BIM software*, in: Gambardella, C. (a cura di), *Le Vie dei Mercanti*. Heritage Architecture

Landesign, Atti del XI Forum Internazionale di Studi Le vie dei Mercanti, 13-15 Giugno 2013, Aversa-Capri, Italia, La scuola di Pitagora editrice, Napoli, 2013

Decreto Legislativo 9 aprile 2008, n. 81, art. 91, *Attuazione dell'articolo 1 della legge 3 agosto 2007, n. 123, in materia di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro*, URL: http://www.bosettiegatti.eu/info/norme/statali/2008_0081.htm

Direzione Affari Economici e Centro Studi (a cura di), *Osservatorio congiunturale sull'industria delle costruzioni*, Associazione Nazionale Costruttori Edili ANCE, EDILSTAMPA, Roma, 2013

D.P.R. 5 ottobre 2010, n. 207, comma1 art. 38, *Regolamento di esecuzione ed attuazione del decreto legislativo 12 aprile 2006, n. 163, recante «Codice dei contratti pubblici relativi a lavori, servizi e forniture in attuazione delle direttive 2004/17/CE e 2004/18/CE»*, URL: http://www.bosettiegatti.eu/info/norme/statali/2010_0207.htm

Eastman, C.; Teicholz, P.; Sacks, R.; Liston, K. *BIM handbook. A guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors*, John Wiley & Sons, Hoboken, New Jersey, 2008

El Habbak, H.; Cushnan, D. *Developing AR Games for iOS and Android*, Packt Publishing, Birmingham, 2013

Fai, S.; Filippi, M.; Paliaga, S.; *Parametric Modelling (BIM) for the Documentation of Vernacular Construction Methods: a BIM model for the Commissariat Building*, ISPRS Ann. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci., Ottawa, 2013

Feiner, S.; Blair, M.; Marcus, H.; Eliot, S. *Windows on the World: 2D Windows for 3D Augmented Reality*. Proceeding UIST 93 Proceedings of the 6th annual ACM symposium on User interface software and technology, New York, 1993

Fioravanti, A.; Loffreda, G.; Trento, A. *An innovative comprehensive knowledge model of architectural design process*, in: *International Journal of Design Sciences & Technology*, Volume 18 Number 1, Parigi, 2011

Gallaher, M.; O'Connor, A.; Dettbarn, J.; Gilday, L. *Cost Analysis of Inadequate Interoperability in the U.S. Capital facilities Industry*. Gaithersburg, Maryland, NIST (National Institute of Standards and Technology), U.S. Department of commerce Technology Administration, 2007. <http://www.fire.nist.gov/bfrlpubs/build04/art022.html>

Garagnani, S.; Luciani, S.; Mingucci, R. *Building Information Modeling: la tecnologia digitale al servizio del progetto di architettura*, in: *DISEGNARECON*, Rivista del Dipartimento di Architettura e Pianificazione territoriale dell'Università di Bologna, 2011

Garzino, G.; Lo Turco, M. *Dal disegno digitale alla progettazione parametrica*, in GARZINO G. (a cura di), *Disegno (e) in_ formazione*, Maggioli Editore, Rimini, 2011

Ghasemi, M.R.; Saeed K. *Practical application of structural design and analysis by Autodesk Robot Structural Analysis Professional*, Naghoos Publication, Iran, 2012

Giallocosta, G.; Torricelli, M. *Quali "valori, qualità ed efficacia" nei processi di produzione e gestione delle opere pubbliche in Italia*, in *TECHNE Journal of Technology for Architecture and Environment*, SITdA, Roma, 2013

Kymmell, W. *Building Information Modeling. Planning and Managing Construction Projects with 4D CAD and Simulations*, McGraw_Hill Construction, Sacramento, California, 2008

Hakkarainen M.; Woodward C.; Rainio K. *Software architecture for mobile mixed reality and 4D BIM interaction*, In: Proc. 25th CIB W78 Conference, Istanbul, 2009

Istituto Superiore Mario Boella, *SEEMPubS FP7 STREP: Energy-efficient Buildings*, URL: <http://www.ismb.it/node/268>, 2014

Jernigan, F.E. *BIG BIM little bim. The approach to building information modeling*, Salisbury, USA, 2007

Milgram, P.; Kishino, A.F. *Taxonomy of Mixed Reality Visual Displays*, IEICE Transactions on Information and Systems, E77-D (12), Giappone, 1994

Milgram, P.; Drascic, D.; Grodski, J.J.; Restogi, A.; Zhai, S.; Zhou, C. *Merging Real and Virtual Worlds*, Proceedings of IMAGINA '95, Monte Carlo, 1995

Missori, A. *Appunti sui modelli organizzativi del processo edilizio*, Università IUAV di Venezia, Venezia, 2011

Onyegiri, I.; Nwachukwu, C.C.; Jamike, O. *Information and communication technology in the construction industry*, in: *American Journal Of Scientific And Industrial Research*, America, 2011

Osello, A. *Il futuro del disegno con il BIM per ingegneri e architetti*, Dario Flaccovio Editore, Palermo, 2012

Osello, A.; Dalmasso, D.; Del Giudice, M.; Erba, D.; Ugliotti, F.M.; Patti, E.; Davardoust, S. *Interoperabilità e interdisciplinarietà dell'informazione: l'approccio BIM dal progetto SEEMPubS al progetto DIMMER*, URL: <http://www.agenziaentrate.gov.it/wps/file/Nsilib/Nsi/Documentazione/Archivio/Territorio+Italia/Archivio+Territorio+Italia+-+Versione+Italiana/Territorio+Italia+2+2013/Interdisciplinaria+e+interoperabilita/Osello.pdf>

Parlamento Europeo e del Consiglio del 19 maggio 2010, *Direttiva 2010/31/UE sulla prestazione energetica nell'edilizia, comma 2 art. 11*, URL: http://efficienzaenergetica.acs.enea.it/doc/direttiva_2010-31-ue.pdf

Pozzoli, S.; Villa, W. *Autodesk Revit Architecture 2013. Guida avanzata*, Tecniche Nuove, Milano, 2013

Protezione civile Presidenza del Consiglio dei Ministri, Dipartimento della Protezione Civile, URL: http://www.protezionecivile.gov.it/jcms/it/piano_nazionale_art_11.wp

Prune, E. *Autodesk Revit Architecture 2013. La grande guida*, Mondadori Informatica, Milano, 2013

Rekimoto, J. *Matric: A realtime object identification and registration method for Augmented Reality*, in: *Asia Pacific Computer Human Interaction (APCHI 1998)*, Kangawa, Giappone, 1998

Rugarli, P. *La valiunzione del calcolo strutturale*, Castalia srl, Milano, 2012

Saggio, A. *Introduzione alla rivoluzione informatica in architettura*, Carocci Editore, Roma, 2007

Servizio Studi – Dipartimento ambiente in collaborazione con l'istituto di ricerca CRESME (a cura di), *Il recupero e la riqualificazione energetica del patrimonio edilizio: una stima dell'impatto delle misure di incentivazione*, 2013

Smith, D. K.; Tardif, M. *Building information modeling: a strategic implementation guide for architects, engineers, constructors, and real estate asset managers*, John Wiley and Sons, 2009

Sorgato, M. *ArchiCAD 15. La grande guida*, Mondadori informatica, Milano, 2011

Sun, M.; Howard, R. *Understanding i.t. in construction*, Spon press, London, 2004

Woodward, C.; Hakkarainen, M.; Korkalo, O.; Kantonen, T.; Aittala, M.; Rainio, K.; Kähkönen, K. *Mixed reality for mobile construction site visualization and communication*, in: 10th International Conference on Construction Applications of Virtual Reality, Giappone, 2010

Zacchei, V. *Building Information Modeling. Nuove tecnologie per l'evoluzione della progettazione-costruzione*, Aracne editrice, Roma, 2010