

IL PROGETTO ERGOTECNICO DEGLI INTERVENTI SUL COSTRUITO. LA MODELLAZIONE INFORMATIVA CoSIM E I SUOI STRUMENTI

Marco Lorenzo Trani ¹, Manuele Cassano ²

¹ Dipartimento ABC, Politecnico di Milano, marco.trani@polimi.it

² Dipartimento ABC, Politecnico di Milano, manuele.cassano@polimi.it

Keywords: BIM, CoSIM, cantiere, restauro, progetto ergotecnico, modello aggregato, model checking.

Abstract

La progettazione ergotecnica di un intervento, al pari delle altre discipline progettuali, si sviluppa nell'ambito dei progressivi livelli di approfondimento connotanti un processo edilizio; il progetto di un sistema cantieristico, tuttavia, non si esaurisce con la gara di appalto ma risulta essere in continuo divenire anche durante la fase di esecuzione di un'opera.

Durante ciascuna fase di progettazione, lo scambio informativo tra la progettazione ergotecnica e gli altri ambiti progettuali è di fondamentale importanza per sviluppare una maggiore consapevolezza di tutto il *pool* di professionisti relativamente alla concreta fattibilità delle opere da loro progettate ed evitare incongruenze, specialmente nell'ambito di interventi sull'ambiente costruito. Come ormai noto il *Building Information Modeling* (BIM) è il metodo che meglio consente di interfacciare in maniera efficace i diversi ambiti progettuali con la progettazione ergotecnica che, in ambito BIM, si esprime come *Construction Site Information Modeling* (Co.S.I.M.); ciò al fine di ottenere una vera e propria progettazione integrata.

Al fine di migliorare il metodo CoSIM per i diversi soggetti che interagiscono con esso, la ricerca ha messo a punto specifici strumenti a supporto delle scelte progettuali ergotecniche da effettuare, avvalendosi di casi di studio riferiti a interventi sul patrimonio storico-architettonico esistente. Sono stati così realizzati: un *template* utile alla individuazione delle criticità di contesto, una serie di librerie di macchine, attrezzature e apprestamenti di cantiere parametrizzati e corredati da un loro patrimonio informativo, una serie di configurazioni spaziali tipiche utili alla scelta semi automatizzata degli apprestamenti di cantiere da inserire per la risoluzione di interferenze e alcuni database per la scelta semiautomatizzata di macchine e attrezzature di cantiere unitamente alla verifica di esistenza di modelli commerciali rispondenti alle esigenze del progetto.

1. Introduzione

La disciplina progettuale dell'ergotecnica edile, già da tempo divulgata a livello di istruzione universitaria, trova la sua prima collocazione normativa nell'ultimo decennio del '900, nell'ambito delle direttive europee sulla sicurezza del lavoro: viene così disvelata la nozione ontologica di cantiere temporaneo o mobile di ingegneria civile/edile quale 'luogo di lavoro' da progettare, ponendo da subito l'accento sulla esigenza primaria che tale progettazione deve soddisfare, ovvero la tutela della sicurezza e della salute dei lavoratori edili. Tale attenzione trovò immediato riscontro in diverse pubblicazioni dell'epoca, fortemente incentrate sul tema (Dioguardi, 1988; Davies, Tomasin, 1990).

L'evoluzione del pensiero ergotecnico aveva tuttavia già posto, negli anni precedenti, la questione del 'progetto cantieristico' in termini protosistemici, operando una distinzione tra fase preparatoria e fase esecutiva della produzione edilizia (Galetti, 1977), scomposte nelle attività progettuali economiche, operative e normative la prima e nelle attività di controllo di gestione, di produzione e amministrativo la

seconda. Ciò anche in considerazione del gap rilevabile in quegli anni tra le possibilità offerte dalla evoluzione delle tecniche costruttive e delle tecnologie cantieristiche disponibili e l'attitudine gestionale delle imprese di costruzioni dell'epoca (Hillebrandt, Cannon, 1990). Il progetto ergotecnico, tuttavia, era ancora visto come appannaggio pressoché esclusivo del mondo imprenditoriale che si trovò supportato nella acquisizione di conoscenze 'operative' dalla letteratura pubblicistica e commerciale da un lato e da quella scientifica dall'altro (Maggi, 1988); in questo frangente e in assenza di una struttura metodologica disciplinare, la progettazione ergotecnica era quindi affidata unicamente alla lungimiranza dell'imprenditore edile che intravedeva nello studio preventivo del cantiere la possibilità di ottimizzare i suoi fattori di produzione in vista del rispetto delle pattuizioni contrattuali dell'appalto e di un suo maggiore utile.

L'esigenza normativa di progettare l'allestimento e la conduzione dei cantieri temporanei o mobili irrompe nel mercato delle costruzioni nel 1994 con l'obbligo -posto dal d.lgs. n. 626 in capo ai datori di lavoro del settore- di redigere un documento di valutazione dei rischi specifico per ogni cantiere contenente le procedure operative di sicurezza da attuare. Due anni più tardi, nel 1996, con il completamento del recepimento delle direttive europee in materia di sicurezza sul lavoro (d.lgs. n. 494/1996) il debito di tutela nei confronti dei lavoratori edili viene esteso dai datori di lavoro ai committenti delle opere, trovando la sua rappresentazione progettuale nel ben noto piano di sicurezza e coordinamento al quale associare, nella fase esecutiva del procedimento, il piano operativo di sicurezza delle imprese esecutrici (1999). Ben presto risultò tuttavia evidente la necessità di ampliare il campo della progettazione ergotecnica anche alle esigenze di produttività e redditività, ignorando le quali il risultato più comune era quello di trascurare -ovvero trattare con superficialità- proprio l'esigenza della sicurezza, generatrice *ante litteram* del progetto di cantiere.

Trascorsi alcuni anni dall'entrata in vigore del d.lgs. n. 494 del 1996, sulla base di numerose esperienze maturate direttamente sul campo, l'attività di ricerca sviluppata presso l'allora Dipartimento BEST del Politecnico di Milano pose le basi della integrazione tra progetto esecutivo -nelle sue diverse declinazioni disciplinari- e progetto ergotecnico (Gottfried, Trani 2002; Trani, 2003), anche al fine di armonizzare le esigenze ergotecniche di sicurezza, produttività e redditività in un complesso progettuale unitario. Di lì a breve, il Legislatore associò univocamente il progetto ergotecnico al soddisfacimento dell'esigenza di tutela dei lavoratori edili, emanando il d.P.R. 3 luglio 2003, n. 222 recante il Regolamento sui contenuti minimi dei piani di sicurezza nei cantieri temporanei o mobili, sollecitando fin da allora il mondo della progettazione "tradizionale" (architettonica, strutturale, impiantistica, ...) a sviluppare una attività -cogente- di consapevole valutazione del rischio per gli addetti alla esecuzione delle opere progettate; ciò in collaborazione con il progettista ergotecnico, definito -fin dal 1996- 'coordinatore della sicurezza per la progettazione' ai sensi della direttiva 92/57/CEE. Il testo legislativo del 2003 porta altresì a compimento l'identificazione delle due distinte fasi della progettazione ergotecnica -di appalto e di produzione- introdotte nel 1999 dal d.lgs. n. 528 con l'obbligo di redigere il 'Piano Operativo di Sicurezza'.

Con il trascorrere del tempo e l'incremento dell'esperienza derivante dalla costante osservazione diretta sul campo di un ampio repertorio di cantieri temporanei o mobili, edili e infrastrutturali, la ricerca ergotecnica è proseguita per *step* incrementali (Trani et al. 2005, 2007) fino a postulare in via definitiva il concetto di 'sistema cantieristico' individuandone i sub-sistemi, gli elementi, le loro relazioni e la loro rappresentazione progettuale, ordinando il progetto ergotecnico in specifici ambiti sub-disciplinari (Trani, 2012).

Negli stessi anni, ha iniziato a farsi strada in Italia il metodo progettuale del Building Information Modeling - BIM- che ha subito trovato una apprezzabile sponda per la sua diffusione proprio nel mondo delle più importanti imprese di costruzioni italiane, nell'ambito della realizzazione dei nuovi centri direzionali, residenziali ed espositivi di Milano e Torino (Porta Nuova, Unicredit, Bosco Verticale, City-Life, EXPO 2015, San Paolo di Torino, Regione Piemonte).

2. Il metodo BIM e il patrimonio architettonico esistente

Pur risultando evidente l'utilità di evolvere anche la conservazione e la gestione del patrimonio architettonico esistente verso un approccio *BIM-oriented*, gli aspetti a lungo maggiormente studiati di tale metodo si sono tuttavia concentrati sugli interventi di nuova costruzione o, al massimo, su aspetti di *facility-management* connessi a edifici di recente realizzazione. Nell'ambito di un'ampia rassegna bibliografica, Volk osserva, ad esempio, una scarsa implementazione del metodo BIM sul patrimonio esistente, sia dal punto di vista industriale che della ricerca scientifica, le cui ragioni sono ricondotte alla difficoltà di convertire in oggetto BIM elementi architettonici preesistenti nonché di assegnare loro un adeguato patrimonio informativo (Volk et al. 2014)

Il processo di organizzazione sistematica del progetto ergotecnico precedentemente delineato, non ha tuttavia trascurato le peculiarità connotanti gli interventi sul costruito, le cui maggiori complessità risiedono nell'analisi e risoluzione delle criticità connesse al contesto e nella scarsità di informazioni disponibili relative allo stato di fatto dell'edificio/monumento e alla storia degli interventi da questo subiti nel corso degli anni/secoli. Il gruppo di ricerca facente capo al Laboratorio Cantieri Edili e Civili del Dipartimento ABC del Politecnico di Milano (CONSILAB) ha quindi indagato tali aspetti muovendosi lungo la filiera del Building Heritage Information Modelling -BHIM- altresì detto HBIM (Historic Building Information Modelling). Questo ambito, in particolare, ha ricevuto un notevole impulso a partire dal miglioramento delle tecniche di rilievo 3D mediante laser scanner. Queste hanno consentito, ad esempio, di creare librerie di oggetti (e.g. colonne di ordini classici) connotabili non solo mediante superfici ma parametricamente (Murphy et al. 2013; Apollonio et al. 2012). Un altro filone di ricerca di fondamentale importanza per il successivo sviluppo di un progetto ergotecnico di restauro è quello della rappresentazione-incorporazione in un modello BIM dello stato di fatto di conservazione ovvero del degrado di un oggetto (elemento) architettonico esistente. Oreni et al. (2014) si sono quindi mossi in questa direzione, indagando in modo approfondito le relazioni di interoperabilità tra il rilievo laser scanner (anche aereo) dei manufatti e la loro modellazione 3D finalizzata alla gestione (progetto) della conservazione. La disponibilità di un archivio informativo siffatto, collegato agli 'oggetti edilizi' costituenti un'opera architettonica, consente così al progetto di restauro (ivi inclusi i suoi aspetti ergotecnici) la definizione di linee di intervento conservativo/manutentivo maggiormente mirate, più efficienti e, non ultimo, più economiche e più sicure per le maestranze.

3. Il Construction Site Information Modeling (Co.S.I.M.)

La codifica degli ambiti disciplinari del progetto ergotecnico richiamata nell'Introduzione ha indubbiamente facilitato la migrazione di tale ambito progettuale verso il metodo BIM, attraverso lo studio metodico e l'individuazione degli aspetti informativi connotanti le diverse fasi del progetto ergotecnico nell'ambito di un processo edilizio: quella di appalto e quella di produzione; ciò attraverso una costante verifica sul campo della applicabilità dei metodi e degli strumenti via via individuati e perfezionati (Trani et al. 2014, 2015).

Rimanendo il progetto di cantiere la formalizzazione, in senso lato, del 'come-si-fa' di un'opera progettata in ogni sua declinazione tecnologica, l'apparato rappresentativo e informativo del modello BIM di un manufatto è stato quindi indagato per facilitare la congruenza e la coerenza degli elementi tecnici progettati o esistenti (oggetti BIM) con le possibilità offerte dalle tecniche esecutive e dagli elementi cantieristici disponibili. (Trani et al. 2016).

Dall'incontro tra la progettazione delle diverse filiere tematiche (architettura, strutture, impianti, ecc.) e il progetto di cantiere nasce così il Construction Site Information Modeling (Co.S.I.M., cfr. Figura 1), messo a punto dal gruppo di ricerca facente capo al CONSILAB del Dipartimento ABC del Politecnico di Milano, dopo avere indagato diversi aspetti della progettazione ergotecnica. Assunti quali livelli di dettaglio informativo (LOD: Level of Development) quelli della norma UNI 11337 parte 4^a, il CoSIM si definisce quindi come la modellazione informativa della fase esecutiva del procedimento atta alla rappresentazione dei diversi ambiti del progetto ergotecnico nello stadio di progettazione e nello stadio di esecuzione dei lavori,

organizzata sulla base di specifici LOD normalizzati. In particolare, si ha che il modello ergotecnico allo stadio di progettazione consiste nella modellazione informativa meta-progettuale del cantiere atta a definire le esigenze di produttività, sostenibilità, sicurezza e redditività degli interventi pianificati allo scopo di indirizzare, ottimizzandole, le scelte progettuali delle altre discipline; mentre il modello ergotecnico alla stadio di produzione consiste nella modellazione informativa operativa del cantiere atta a soddisfare le esigenze postulate nel precedente stadio di progettazione individuando la effettiva organizzazione del cantiere e delle risorse tecniche e di sicurezza necessarie (attrezzature, apprestamenti, presidi di prevenzione e protezione). Al primo vengono assegnati i LOD A, B, C-D; al secondo si applica generalmente il LOD E. Proprio il concetto di LOD consente di interfacciare le diverse discipline progettuali con il progetto ergotecnico seguendo la declinazione classica di progettazione preliminare (oggi: studio di fattibilità tecnico-economica), definitiva ed esecutiva (Figura 2, Figura 3, Figura 4). L'analisi condotta ha messo in luce una esigenza ricorrente di model checking tra BIM e CoSIM per consentire, da un lato, un controllo generale di coerenza e congruenza e, dall'altro, una ottimizzazione delle risorse informatiche necessarie a ciascun modello, ad evitare che il livello di dettaglio dell'uno non influisca negativamente sul livello di dettaglio dell'altro, appesantendo reciprocamente la gestione dei files. La snellezza informatica del metodo, infatti, è condizione essenziale per la sua diffusione su larga scala, come atteso dalla comunità tecnica e scientifica italiana.

Il diverso peso informatico dei due modelli è generato da aspetti della modellazione diversi per ogni ambito progettuale; ad esempio, nel modello CoSIM, il tema della parametrizzazione delle macchine e delle attrezzature di cantiere assorbe un'ingente quantità di memoria informatica, al pari dei dettagli artistico-architettonici nei cantieri di restauro monumentale. La ricerca ha pertanto individuato livelli CoSIM propri di diverse situazioni progettuali, assegnando al progetto di cantiere, specialmente nei casi di restauro, un LOD adattato -semplificato- alle esigenze.

Il model checking, BIM-CoSIM, inoltre, è di fondamentale importanza per valutare la praticabilità tecnico-economica delle scelte progettuali ad ogni livello per garantire il rispetto dei tempi e dei costi attesi dal committente, nel rispetto della esigenza di sicurezza delle maestranze, così come richiesto dalla legge ai diversi progettisti.

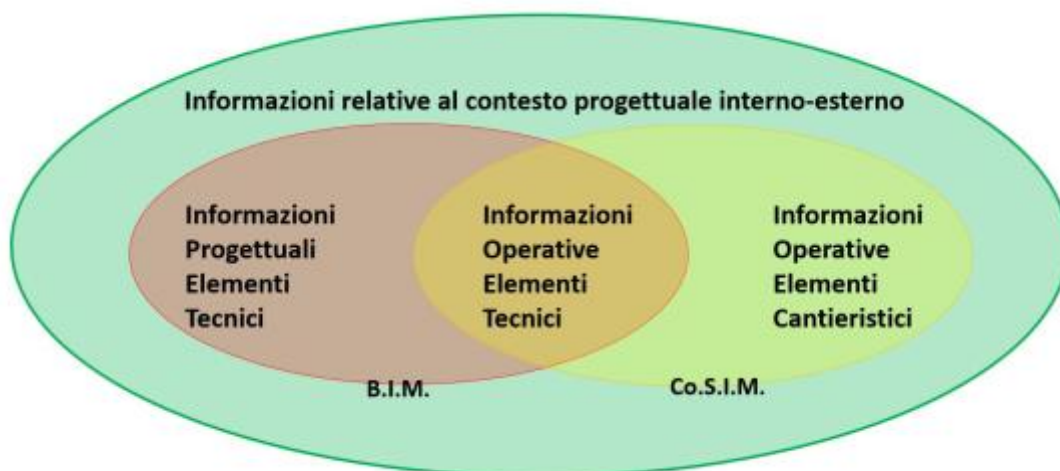


Figura 1. Gemmazione del Co.S.I.M.

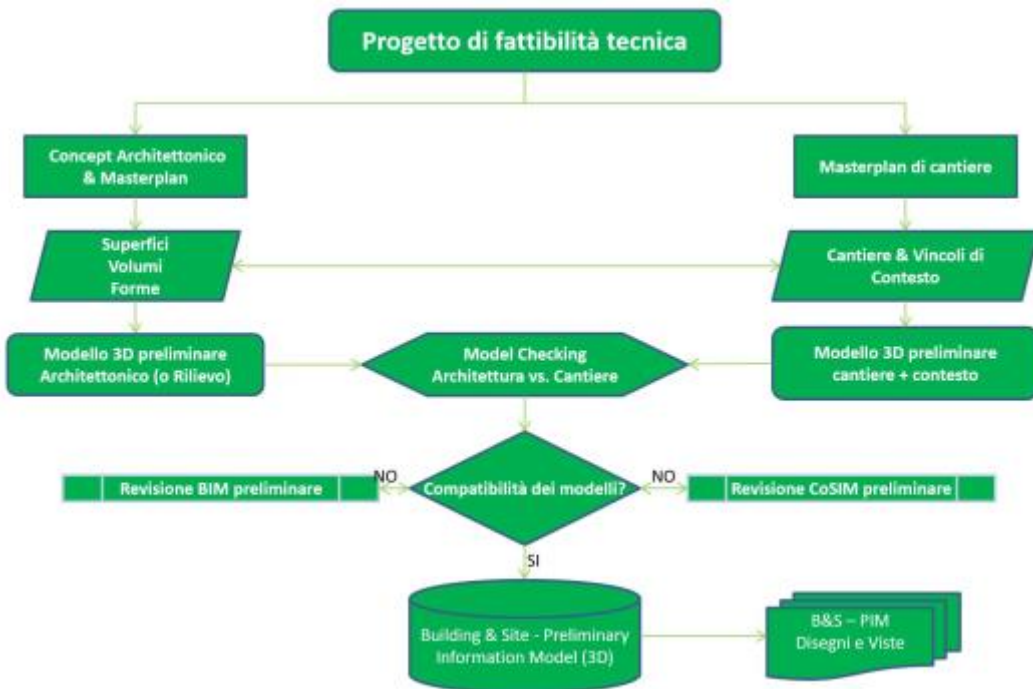


Figura 2. Rapporto tra il progetto ergotecnico e le altre discipline nel “Progetto di fattibilità tecnica”

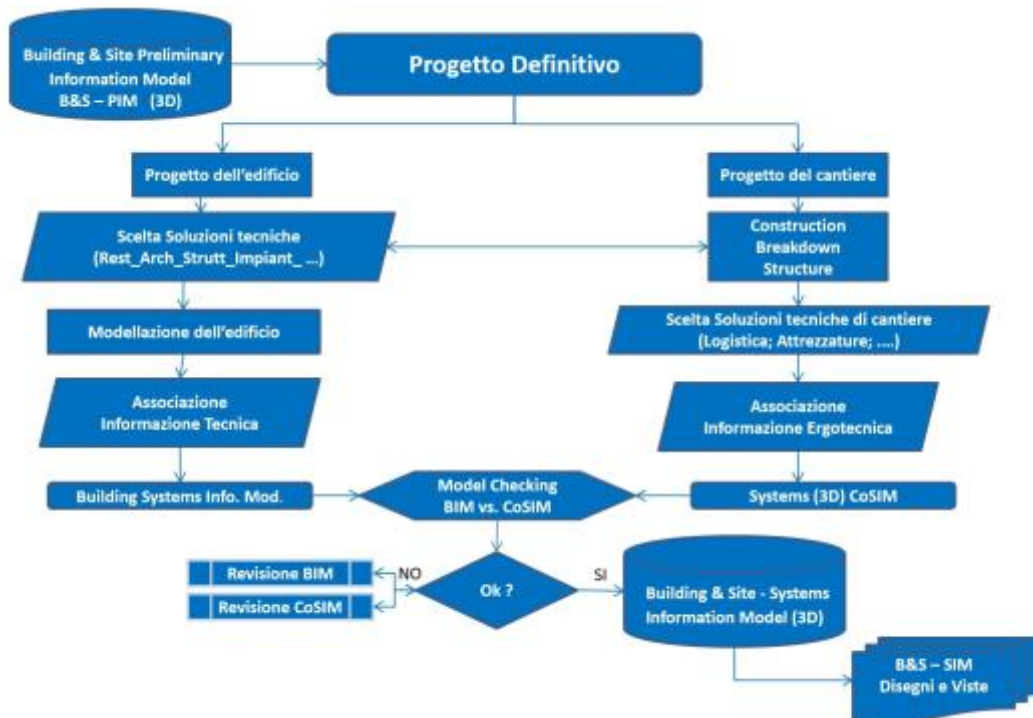


Figura 3. Rapporto tra il progetto ergotecnico e le altre discipline nel livello “Definitivo”

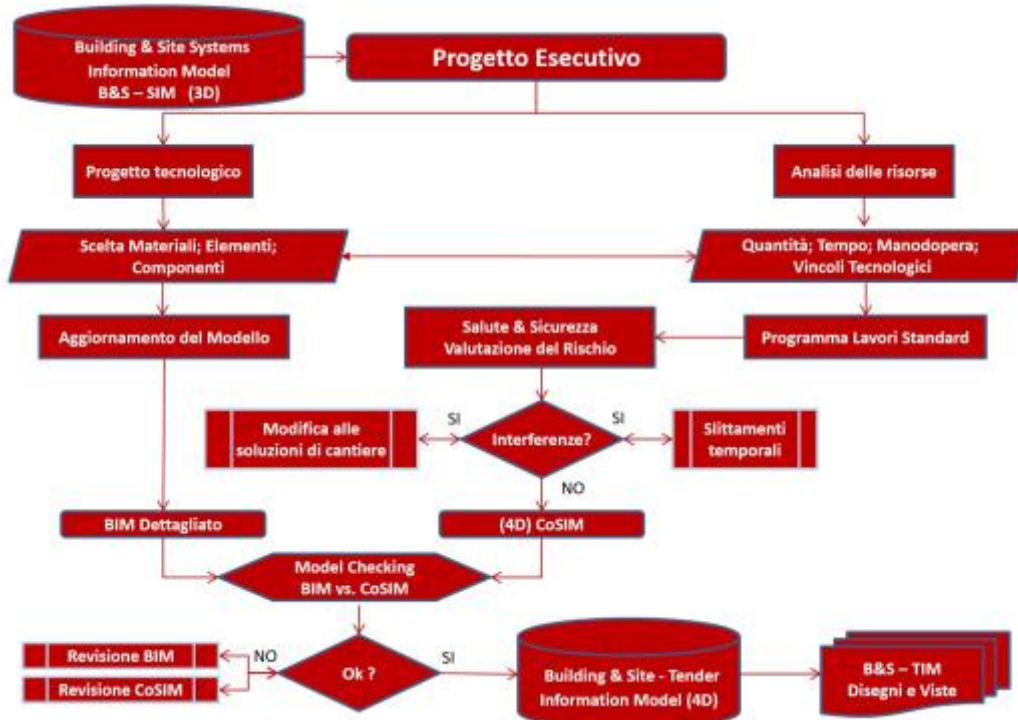


Figura 4. Rapporto tra il progetto ergotecnico e le altre discipline nel livello “Esecutivo”

3.1 Il Co.S.I.M. per il restauro

Poiché la vastità del patrimonio di edifici storici presenti in Italia non consente l’avvio di una campagna massiva di modellazione informativa (sia nel pubblico che nel privato) atta a raccogliere in un contenitore BIM ogni elemento disponibile relativo alla storia costruttiva, funzionale e manutentiva di ogni edificio, è necessario avvicinarsi al tema della digitalizzazione del patrimonio storico immobiliare per gradi, a partire dalla modellazione informativa degli interventi che da oggi in poi verranno eseguiti su di esso. Si tratta cioè di pensare -progettare- una sorta di modello BIM ‘temporaneo’, inizialmente limitato all’intervento da eseguire, avente però un carattere di scalabilità verso l’alto così da poter essere implementato nel tempo con ogni ulteriore informazione utile disponibile o successivamente reperibile. L’efficacia di un modello siffatto non può evidentemente trascurare di registrare gli aspetti ergotecnici indagati e le criticità contestuali affrontate e risolte in occasione un intervento sull’edificio o sul monumento, così da storicizzarli e renderli disponibili per le successive attività gestionali sul manufatto.

Se il metodo BIM può essere definito come un ‘integratore’ progettuale in grado di mettere in comunicazione i diversi ambiti della progettazione facilitando la condivisione delle scelte e delle informazioni tra i diversi soggetti attuatori, è altrettanto noto come negli interventi di restauro architettonico spesso le scelte progettuali siano condizionate da aspetti di praticabilità ergotecnica delle stesse. La ricerca di un metodo di lavoro BIM condivisibile tra i diversi attori della progettazione di un intervento di restauro ha pertanto indagato, in particolare, tre ambiti, relazionandoli:

- il rilievo del manufatto;
- il progetto tecnologico (in senso lato) dell’intervento;
- il progetto ergotecnico dell’intervento.

Come campo di prova sono stati assunti tre progetti, presentati in memorie successive: il restauro delle facciate della Torre Velasca di Milano, il restauro generale della Basilica di S. Maria di Collemaggio a L’Aquila; il rifacimento delle pertinenze del Teatro alla Scala di Milano.

Nel caso di un intervento sul costruito il diagramma di interazione tra progetto di cantiere e progetto di restauro genericamente inteso ha dei passaggi maggiormente elaborati rispetto alle nuove costruzioni. Si

passa da un primo modello che proviene dal rilievo e che viene restituito al livello di dettaglio che le diverse discipline progettuali esigono, per arrivare poi a formulare la fase di progettazione vera e proprio dell'intervento, fino alla fase operativa in cui è necessario relazionare il sito con una serie di problematiche operative, di attrezzature e di apprestamenti che devono essere studiate con un livello di dettaglio importante anche perché spesso accade di intervenire in spazi molto ristretti. Dato che le tempistiche non sono un aspetto secondario, anche per il loro impatto sui costi, il tutto va adeguatamente coordinato al fine di ottenere un buon esito dell'intervento (Figura 5).

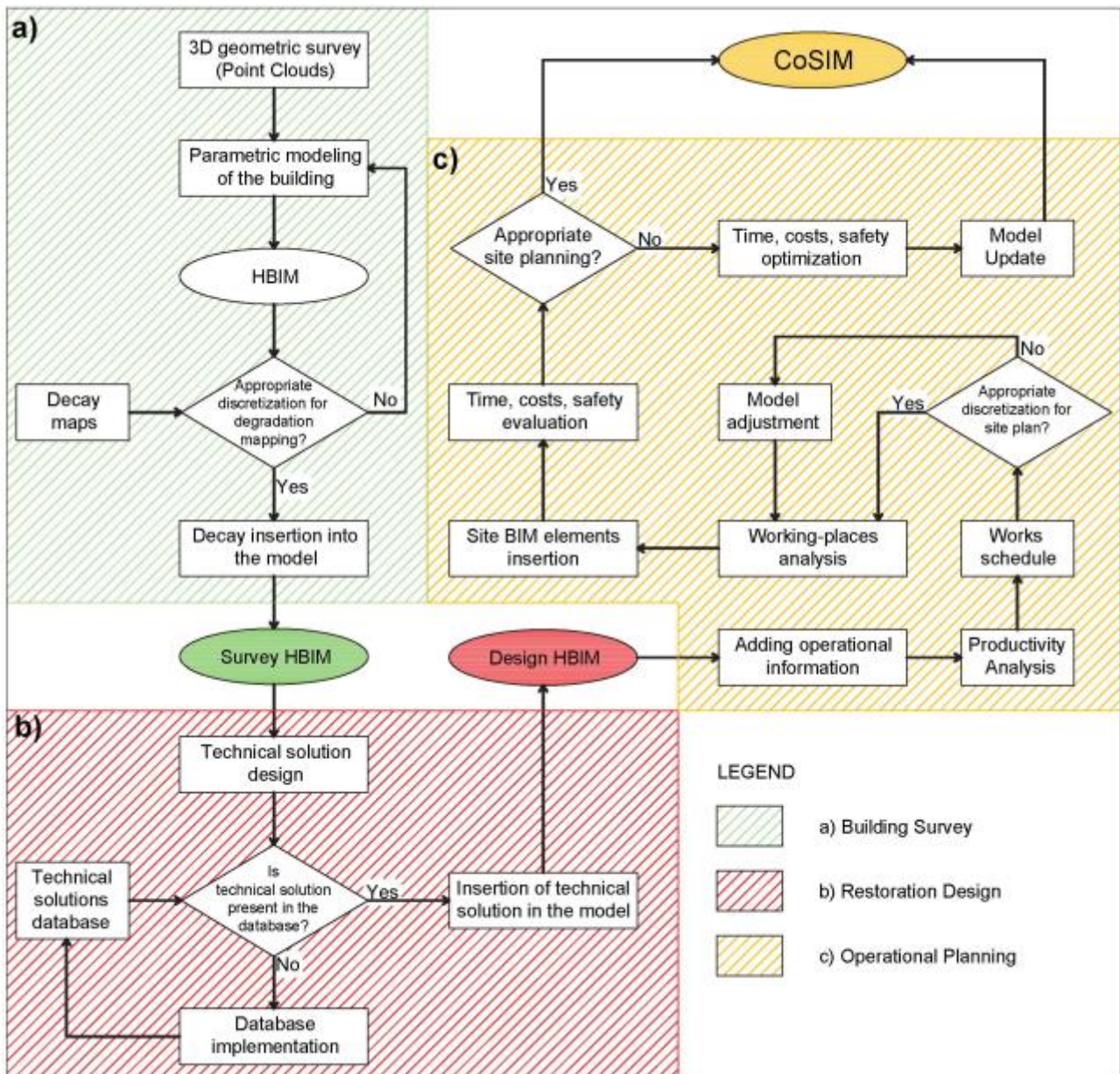


Figura 5. Rapporto tra il modello di rilievo, progettuale ed ergonomico

4. Strumenti a supporto del Co.S.I.M.

Al fine di poter ottimizzare e rendere più efficace la progettazione CoSIM, il gruppo di ricerca ha sviluppato alcuni strumenti da utilizzare da parte dei diversi soggetti coinvolti nella progettazione ergotecnica. Sono stati sviluppati ad esempio un *template* per la valutazione delle criticità; diverse librerie di elementi cantieristici parametrizzati dotati del loro patrimonio informativo; un certo numero di configurazioni spaziali di cantiere in modo da arrivare nel modo più rapido possibile all'identificazione delle necessarie opere provvisorie o di prevenzione; database di modelli commerciali di macchine e attrezzature in modo tale da consentire al progettista ergotecnico -nella fase metaprogettuale del cantiere- di scegliere, attraverso una serie di maschere interattive, elementi cantieristici effettivamente esistenti sul mercato che consentano di rendere il progetto maggiormente plausibile così che successivamente l'Impresa possa meglio definire le proprie scelte anche a livello commerciale. Gli strumenti individuati sono stati testati nel corso degli anni sugli interventi precedentemente citati.

4.1 Il *template* per l'analisi delle criticità

Il *template* messo a punto consente, inserendovi il modello, di evidenziare immediatamente una serie di vincoli al contorno (criticità) che possono influire negativamente sulla gestione dei tempi e sui costi dell'intervento.

La Figura 6, ad esempio, mostra il *template* applicato alle pertinenze del Teatro alla Scala, mediante il quale è stato possibile, nella fase preliminare di modellazione, evidenziare con immediatezza, avvalendosi di un codice colore, la tipologia di criticità operativa con cui è stato necessario confrontarsi per addivenire a una soluzione operativa conforme.

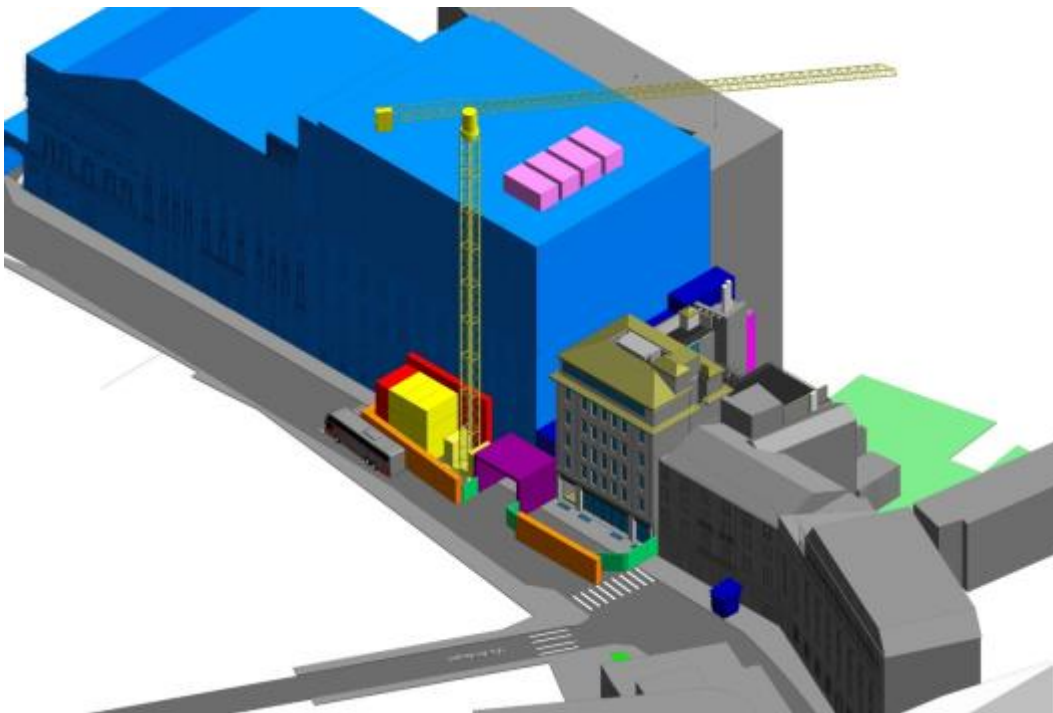


Figura 6. Il *template* per la contestualizzazione

4.2 I database delle configurazioni spaziali e delle attrezzature

Nelle immagini di Figura 7 sono riportate alcune rappresentazioni delle circa 70 configurazioni spaziali predisposte dalla ricerca al fine di rappresentare le mutue relazioni tra gli elementi funzionali-spaziali di un cantiere quali ad esempio i percorsi pedonali, i percorsi carrabili, le aree di lavoro e i relativi volumi di potenziale interferenza. A partire da questa gamma di situazioni è stato messo a punto un data base di possibili soluzioni conformi di cantiere semi automatizzate in grado di prevenire o proteggere nei confronti di potenziali eventi nocivi per la produttività del cantiere o dannosi per gli addetti. Tale metodo di analisi è stato vantaggiosamente sperimentato, in particolare nel modello CoSIM della Basilica di S. Maria di Collemaggio, di cui si rende conto in altra memoria.

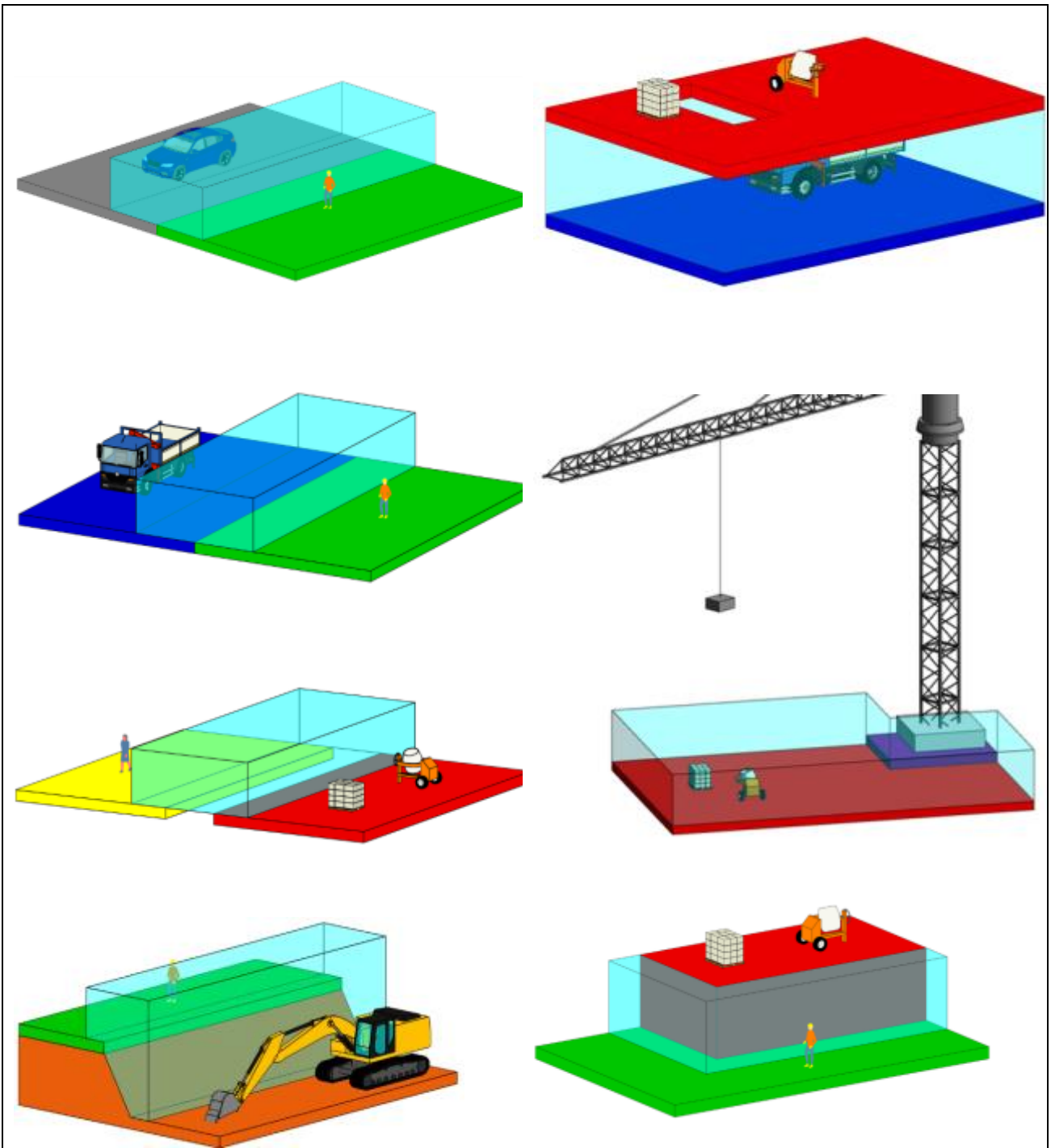


Figura 7. Unità funzionali-spaziali di cantiere e loro mute relazioni

Per quanto riguarda la scelta delle attrezzature e delle macchine di cantiere da inserire nel modello CoSIM ci si è concentrati maggiormente sulla loro modellazione parametrica per famiglie, fino ad un LOD di livello C-D. In particolare è stato condotto uno studio approfondito sui parametri operativi significativi per la metaprogettazione ergotecnica, codificandoli e organizzandoli in un apposito data base interrogabile di oltre 500 configurazioni commerciali. In Figura 8 si riporta una delle schede preparatorie per la modellazione parametrica delle attrezzature, mentre in figura 9 si riporta un esempio di macchina parametrizzata.

Autogru		
Requisito	Definizione	Caratteristiche (variabili e attributi)
<u>Accessibilità/Manovrabilità</u>	Compatibilità con l'area di accesso al cantiere	Dimensioni Peso Raggi di sterzata Pendenza superabile Angolo col terreno anteriore e posteriore Carico sugli assi
	Compatibilità con l'autogru di movimentazione (accesso a fondo scavo)	Dimensioni Peso
<u>Possibilità di stazionamento</u>	Compatibilità con gli spazi disponibili	Dimensioni Peso
<u>Possibilità di piazzamento</u>	Compatibilità con area di cantiere assegnata	Dimensioni con stabilizzatori e piastre ripartitrici Raggio rotazione coda Dimensioni falcone Carico sugli stabilizzatori Spazio attorno agli stabilizzatori
<u>Mobilità relativa</u>	Compatibilità con i vincoli di cantiere	Rotazione braccio Sollevamento braccio Allungamento braccio
<u>Idoneità al lavoro</u>	Compatibilità con carichi da movimentare	Portata relativa a sbraccio e altezza richiesti

Figura 8. Scheda per la parametrizzazione di una autogru

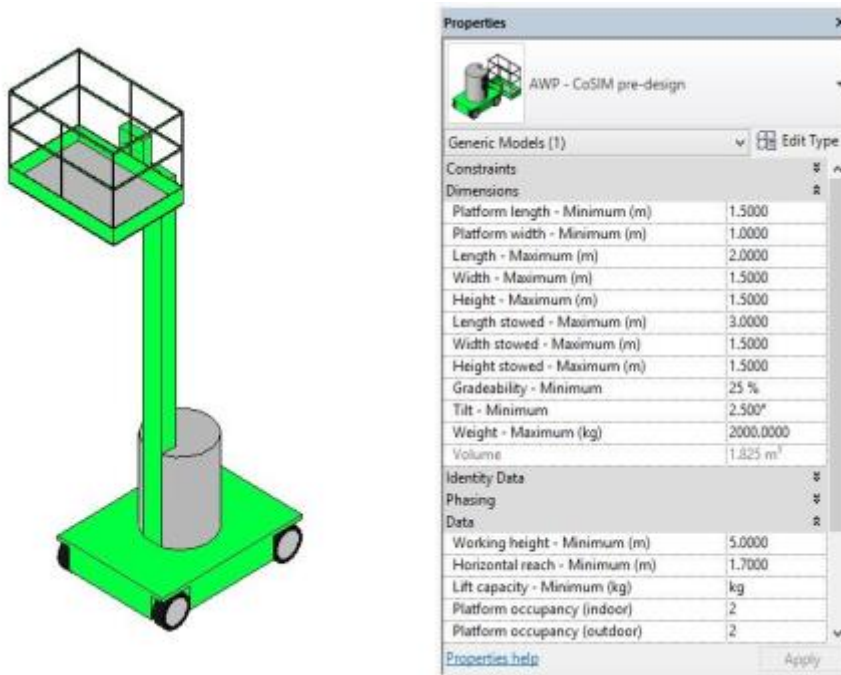


Figura 9. Modellazione parametrica di una piattaforma di lavoro elevabile (PLE)

5. Conclusioni

La messa a punto del sistema di governo della progettazione ergotecnica è relativamente recente, tuttavia la sua impostazione per sottosistemi e ambiti disciplinari -ognuno connotato da un suo patrimonio informativo- ha egregiamente dimostrato, nei casi di studio analizzati, la sua propensione ad essere applicata in ambiente BIM, consentendo l'avanzamento del concetto di modellazione informativa fino alla definizione del progetto produttivo di un bene edilizio tale da generare un Construction Site Information Model: Co.S.I.M. . La stessa norma UNI-11337 sulla 'Gestione digitale dei processi informativi delle costruzioni' di recentissima pubblicazione ha poi assunto tale risultato introducendo il concetto di progetto ergotecnico allo stadio di progettazione e di progetto ergotecnico allo stadio di produzione.

Il tema della progettazione cantieristica in ambiente BIM ha dimostrato la sua piena efficacia proprio nell'analisi di interventi sul patrimonio storico-architettonico esistente, nell'ambito dei quali è stato possibile coinvolgere il gruppo di ricerca fin dalle prime fasi di progettazione degli stessi.

Oltre alla messa a punto della sequenza procedurale e degli strumenti illustrati in questa memoria e meglio descritti nelle successive, l'attività di ricerca e sviluppo è stata occasione di utili affinamenti progettuali in ciascuno dei casi di studio affrontati, incrementando la 'consapevolezza' delle altre discipline progettuali sulle ricadute 'ergotecniche' delle loro scelte, a partire dalla visualizzazione tridimensionale e informativa del progetto cantieristico sviluppato col metodo Co.S.I.M. . Si cita, ad esempio, la soluzione delle criticità connesse al sistema delle opere provvisorie di sollevamento delle navate nel cantiere di Collemaggio, alla ottimizzazione delle sequenze di trasformazione dei ponteggi nel cantiere della Torre Velasca, alla scelta degli apprestamenti e delle attrezzature per la realizzazione delle opere di contenimento del terreno nel cantiere di ampliamento del Teatro alla Scala.

I risultati positivi fin qui ottenuti dovranno in ogni caso essere ulteriormente testati in nuovi casi di studio, al fine di migliorare e generalizzare il più possibile l'applicabilità degli strumenti individuati. In particolare, si prevede di ampliare il numero di *record* presenti nei data base realizzati e semplificando ulteriormente il sistema di *query*.

Bibliografia

- Apollonio, F. I., Gaiani, M., Sun, Z. 2012. BIM-based modeling and data enrichment of classical architectural buildings. In: SCIRES-IT, 2012, 2(2), 41-62.
- Azhar, S., Behringer, A., Sattineni, A., Maqsood, T. 2012. BIM for Facilitating Construction Safety Planning and Management at Jobsites, in: CIB W099 International Conference on Modelling and Building Health and Safety, 82–92.
- Davies, V.J., Tomasin, K., 1990, Construction safety Handbook, Second edition. London. Thomas Telford Publishing.
- Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., Listo, K. 2012, BIM handbook: A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors Wiley, Hoboken (New Jersey) p. 490.
- Fratelli Dioguardi S.p.A., a cura di, 1988, Il Piano di sicurezza, Edizioni del sole 24 ore, Milano.
- Galetti L., 1977, Elementi di Ergotecnica Edile. Milano, Ed. CLUP.
- Gottfried A., Trani M.L. 2002. Manuale di sicurezza nei cantieri edili. Milano. Hoepli.
- Hare, B., Cameron, I., Roy Duff, A. 2006. Exploring the integration of health and safety with preconstruction planning. *Engineering, construction and architectural management*, 13(5), 438-450.
- Hillebrandt, P., M., Cannon, J., The modern construction firm. London. Macmillan.
- Kassem, M., Dawood, N., Chavada, R. 2015. Construction workspace management within an Industry Foundation Class-Compliant 4D tool. *Automation in Construction*. 52, 42–58.
- Kim, H., Anderson, K., Lee, S., Hildreth, J., 2013. Generating construction schedules through automatic data extraction using open BIM (building information modeling) technology. *Automation in Construction*. 35, 285–295.
- Kim, K., Teizer, J. 2014. Automatic design and planning of scaffolding systems using building information modeling. *Advanced Engineering Informatics*, 28, 66–80.
- Kiviniemi, M., Kähkönen, K., Mäkelä, T., Merivirta, M.-L., Sulankivi, K., 2011. BIM-based Safety Management and Communication for Building Construction, *Vtt Tiedotteita – Research Notes 2597*.
- Maggi, P.N. 1984. Metodi e strumenti di progettazione edilizia. Milano. Ed. Clup.
- Moon, H., Kim, H., Kim, C., Kang, L. 2014. Development of a schedule-workspace interference management system simultaneously considering the overlap level of parallel schedules and workspaces. *Autom. in Constr.* 39, 93–105.
- Murphy, M., McGovern, E., Pavia, S. 2013. Historic building information modelling-adding intelligence to laser and image based surveys of european classical architecture. in *ISPRS journal of photogrammetry and remote sensing*, 2013, 76, 89-102.
- Oreni, D., Brumana, R., Della Torre, S., Banfi, F., Previtali, M.. 2014. Survey turned into HBIM: the restoration and the work involved concerning the basilica di Collemaggio after the earthquake (L'Aquila). In *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume II-5, 2014, pp. 267-273.
- Sulankivi, K., Mäkelä, T., Kiviniemi, M., 2009. BIM-based site layout and safety planning, in: *VTT Symposium (Valtion Teknillinen Tutkimuskeskus)*. 125–140.
- Trani M.L. 2012. Cantieri Edili e Civili. Sant'Arcangelo di Romagna. Ed. Maggioli
- Trani M.L., Di Melchiorre S..2005. Operating & Safety information in the construction stage, a performance-based approach, CIB W102 International Conference, 2005, Lisbona.
- Trani M.L. 2003. Organizzazione del cantiere. Milano. Ed. Clup.
- Trani, M., Bossi, B., Cassano, M., Todaro, D. 2015. BIM oriented equipment choice on construction site, in: *ISEC 2015, Sust. Sol. In Struct. Eng. And Constr.* pp. 1139–1144.
- Trani, M., Cassano, M., Todaro, D., Bossi, B. 2015. BIM level of detail for construction site design, *Procedia engineering*, 123, 2015, 581-589.
- Trani, M.L., Cassano, M., Minotti, M., Todaro, D. 2014. Construction site BIM requirements. *Proc. 30th Annu. Assoc. Res. Constr. Manag. Conf. ARCOM 2014*, 663–672.
- Trani, M.L., Cassano, M., Todaro, D. 2016. BIM design flow for construction site, in: *Interaction between Theory and Practice in Civil Engineering and Construction, EURO-MED-SEC-1, 2016, ISEC, Istanbul*.
- Turchini G., Trani M.L. 2007. The criticality report as a tool for time and cost critical factors analysis for renovations and recovery intervention in Italy, in *Innovation in structural engineering and construction*. Melbourne (AUS), 2007
- Vimonsatit, V., Lim, M. 2014. Use of BIM tools for site layout planning, in: *Sustainable Solutions in Structural Engineering and Construction*. pp. 755–760.
- Volk, R., Stengel, J., Schultmann, F. 2014. Building Information Modelling (BIM) for existing buildings – literature review and future needs. *Automation in Construction*, 2014, 38, pp. 109-127.

- Wang, J., Liu, J., Shou, W., Wang, X., Hou, L. 2014. Integrating Building Information Modelling and Firefly Algorithm to Optimize Tower Crane Layout, in: The 31st International Symposium on Automation and Robotics in Construction and Mining (ISARC 2014)
- Zhou, W., Georgakis, P., Heesom, D., Feng, X. 2012. Model-based groupware solution for distributed real-time collaborative 4D planning via teamwork. *J. Comput. Civ. Eng.* 597–612