

# IL CoSIM PER LA RIQUALIFICAZIONE E L'AMPLIAMENTO DELLE PERTINENZE DEL TEATRO ALLA SCALA DI MILANO

Marco Lorenzo Trani<sup>1</sup>, Manuele Cassano<sup>2</sup>, Davide Todaro<sup>3</sup>,

<sup>1</sup> Dipartimento ABC, Politecnico di Milano, [marco.trani@polimi.it](mailto:marco.trani@polimi.it)

<sup>2</sup> Dipartimento ABC, Politecnico di Milano, [manuele.cassano@polimi.it](mailto:manuele.cassano@polimi.it)

<sup>3</sup> Dipartimento ABC, Politecnico di Milano, [davide.todaro@polimi.it](mailto:davide.todaro@polimi.it)

Keywords: CoSIM, BHIMM, modellazione informativa, macchinari, cantiere, demolizione, restauro, clash detection

## Abstract

Nell'ambito del progetto PRIN 2010-2011, la ricerca dipartimentale ha affrontato, tra gli altri, il tema della 'federazione' del Construction Site Information Modeling (CoSIM) con il BHIMM, al fine di indagare i vantaggi e i limiti di aggregazione dell'apparato informativo nello stadio di progettazione e di produzione del processo edilizio, con particolare attenzione, in questo caso, agli interventi sul patrimonio architettonico esistente. Tra i diversi casi di studio ai quali si è applicata la modellazione informativa ergotecnica, quello del rifacimento delle pertinenze del Teatro alla Scala Milano, ha permesso di indagare gli aspetti del CoSIM relativi alla virtualizzazione 3D del layout di cantiere e all'analisi 4D del processo in presenza di vincoli di contesto di forte impatto sulla sua programmazione operativa. Come risultato si è ottenuto un affinamento del *template* di contestualizzazione del CoSIM, l'ampliamento di una libreria di modelli di elementi cantieristici parametrizzati e la creazione di un data base di macchine e attrezzature da cantiere tale da consentire un approccio dinamico, per LOD successivi, alla modellazione ergotecnica nello stadio di progettazione e di esecuzione, così da favorire anche la gestione in corso d'opera di un intervento, nell'ottica di prevenire criticità operative poi difficilmente dominabili dal punto di vista dei costi e dei tempi di realizzazione.

## 1. Introduzione

Il progetto dell'intervento di riqualificazione e ricostruzione delle pertinenze logistiche del Teatro alla Scala di Milano è stato assunto come caso di studio dal gruppo di ricerca facente capo al CONSILAB del Dipartimento ABC del Politecnico di Milano in considerazione delle numerose criticità contestuali incidenti su di esso. Il coinvolgimento nel gruppo di progettazione dell'intervento fin dalle prime fasi ha quindi permesso di relazionare le diverse discipline utilizzando il metodo CoSIM (*v.supra*: "Il progetto ergotecnico degli interventi sul costruito. La modellazione informativa CoSIM e i suoi strumenti"). Si è dunque sviluppata la progettazione ergotecnica dell'intervento virtualizzando l'opera e i suoi elementi con l'obiettivo di aumentare la consapevolezza delle scelte tecniche o tecnologiche del progetto, indagando nel medesimo tempo le esigenze informative del metodo e la relativa struttura e resa di disponibilità strumentale anche in funzione di un progressivo aumento di dettaglio della modellazione informativa degli elementi cantieristici, da LOD C-D a LOD E, come previsto dalla nuova norma UNI 11337. La scomposizione della informazione ergotecnica in canoni omogenei associati a detti elementi ha inoltre permesso una maggiore accuratezza nella definizione delle risorse temporali assorbite dalla programmazione operativa, nonché una migliore aderenza della progettazione in senso lato al dettato normativo sulla sicurezza del lavoro.

## 2. Il caso di studio

L'intervento prevede la riqualificazione strutturale dell'accesso logistico al teatro, la demolizione di una palazzina ad esso adiacente e la sua ricostruzione a torre, finalizzata all'ampliamento del retro-palcoscenico e alla realizzazione di nuove sale prove e uffici. L'androne di accesso dei vettori di approvvigionamento del teatro (c.d. 'strettone'), la cui struttura è da riqualificare, è costituito da un volume prismatico largo poco più di 3 m e profondo circa 22 m., caratterizzato da due diverse altezze di copertura, all'interno del quale è collocata una piattaforma per il sollevamento degli autocarri dalla quota stradale alla quota di circa +2,5 m dell'attuale retro-palcoscenico. L'intervento strutturale prevede la parziale sostituzione della carpenteria metallica esistente e l'aumento della capacità portante della porzione più alta di copertura includendo le opere di rifacimento del manto impermeabile. Tale attività è propedeutica alla demolizione della adiacente palazzina. Questa si presenta come un edificio di 6 livelli fuori terra e 2 interrati raggiungendo una profondità di circa -8 m rispetto al livello stradale. La nuova costruzione prevede un approfondimento della chiusura contro terra e la realizzazione di nuovi volumi fuori terra, di cui uno a torre, da collegare alle strutture teatrali esistenti.

## 3. Applicazione CoSIM alle criticità di contesto

La modellazione informativa ergotecnica dell'intervento ha preso le mosse dalla analisi delle criticità al contorno. Ciò ha consentito ulteriori riscontri metodologici incrociati con il *template* utilizzato per la modellazione sviluppata sul caso della Basilica di S. Maria di Collemaggio (v. *supra* "Il CoSIM per il restauro generale della basilica di S. Maria di Collemaggio a L'Aquila"). La necessità di prevedere una gru a torre di altezza e sbraccio importanti (50 m; 60 m) sulla pubblica via, in assenza di vincoli laterali, ha posto subito il tema del rapporto tra il modello CoSIM e la rappresentazione in esso dei condizionamenti antropici sulla attività di cantiere (traffico veicolare, ciclabile e pedonale; illuminazione pubblica; infrastrutture interrate sotto la posizione del plinto della gru; altezza dei terminali di copertura degli edifici limitrofi). Nel medesimo tempo ha posto il problema della indicazione plausibile, nel 'modello ergotecnico allo stadio di progettazione' (UNI 11337 p.4) di attrezzature e macchinari -la gru in questo caso- effettivamente disponibili sul mercato. Per fare fronte a questa esigenza si così avviata la strutturazione di un data base relativo a macchine e attrezzature la cui interrogazione è stata posta in relazione dinamica con i LOD via via necessari al progredire della progettazione (v. *infra*). Come risultato si è pertanto ottenuta, in questo caso, una scheda informativa contenente i parametri operativi di modelli commerciali esistenti da associare all'elemento gru (modellato in forma parametrica allo scopo) da condividersi nel modello CoSIM con gli altri progettisti (e.g. per la definizione del momento ribaltante e il sovraccarico sulla condotta fognaria).

Un secondo aspetto di criticità contestuale è derivato dalla richiesta del committente, il Teatro alla Scala, di mantenere la piena operatività dell'accesso logistico sopra descritto durante i lavori. Questa esigenza presumeva il soddisfacimento di due requisiti: costante accessibilità e fruibilità dello 'strettone'. In questo caso la modellazione CoSIM ha portato a condividere con gli strutturisti il dimensionamento geometrico di massima (da loro poi finalizzato) di un tunnel provvisoriale esterno in carpenteria metallica da collegarsi per via aerea al subsistema logistico di cantiere (con funzione di area di cantiere sopraelevata ed elemento di collegamento tra le due aree di cantiere a terra) nonché la creazione di un impalcato intermedio interno allo 'strettone' da collegare alla nuova struttura metallica per consentire la contemporaneità operativa del cantiere e del teatro. La modellazione 4D per fasi cantieristiche, propria del metodo CoSIM, ha poi permesso l'individuazione, tramite una attività di *clash detection*, di rilevare e risolvere alcune interferenze fisiche legate alle sequenze operative tra la posa della nuova copertura dello strettone e il ricollocamento di alcune dorsali impiantistiche all'intradosso. Le successive figure 1-2-3-4 riportano alcune delle molteplici fasi di cantiere studiate e realizzate per rappresentare la dinamica esecutiva delle opere sopra descritte.

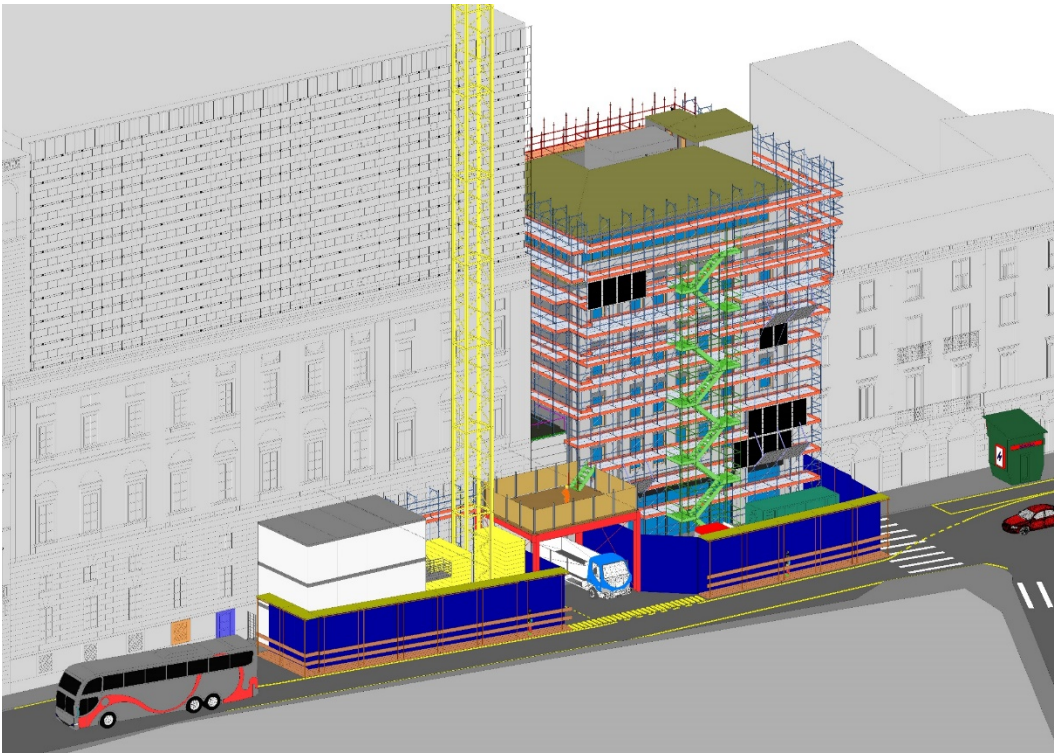


Figura 1. Modello ergotecnico allo stadio di progettazione. Vista del cantiere esterno.

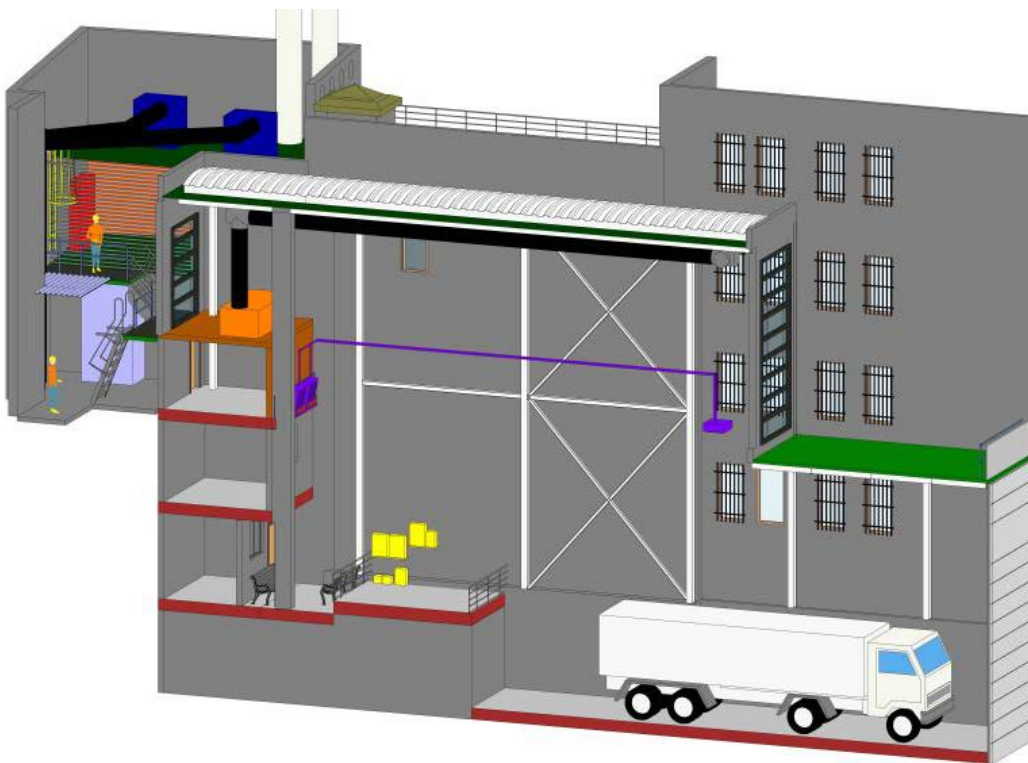


Figura 2. Modello ergotecnico allo stadio di progettazione. Vista dello stato di fatto dello 'strettone'.



Figura 3. Modello ergotecnico allo stadio di progettazione. Fase di montaggio della carpenteria metallica.



Figura 4. Modello ergotecnico allo stadio di progettazione. Rifacimento della copertura.

#### 4. Applicazione CoSIM alle criticità operative

Quale ulteriore vantaggio -non ultimo per importanza- sperimentato nella applicazione del CoSIM al caso di studio, vi è quello del soddisfacimento della prioritaria esigenza di tutela della sicurezza delle maestranze chiamate ad eseguire un'opera. Tale tutela è oggi affidata dalla Legge a tutti i progettisti, ognuno per la sua parte di competenza. Al progettista ergotecnico -coordinatore della sicurezza per la progettazione- spetta il compito di coordinare le diverse istanze. Rimane così di tutta evidenza l'importanza di un 'luogo' dove ogni progettista possa confrontarsi con i colleghi e con il coordinatore per verificare il soddisfacimento della citata esigenza da parte delle opere da lui progettate. L'esperienza condotta ha dimostrato l'efficienza del CoSIM anche sotto questo punto di vista. La modellazione 3D per fasi cantieristiche (4D) ha consentito infatti ai diversi progettisti di acquisire consapevolezza relativamente al loro operato riguardo alla sicurezza operativa delle loro scelte tecniche e tecnologiche.

Come primo esempio di 'federazione' del modello CoSIM con gli altri ambiti della progettazione, si riporta la decisione assunta di rinforzare la copertura alta dello strettone non solo in vista del posizionamento su di essa del ponteggio di protezione per la fase di demolizione del manufatto a confine ma anche come possibile area di ricollocamento impiantistico di una UTA e di temporaneo stoccaggio di materiale per la fase di ricostruzione, nonché come appoggio del ponteggio necessario alla successiva ricostruzione, in luogo di un ponteggio aereo. Ciò al contrario del lato opposto dell'edificio da demolire, dove, invece, l'andamento di facciata molto articolato e la presenza interferente delle coperture di terzi a confine ha suggerito, a corollario del progetto di demolizione, la realizzazione di una travata provvisoria di protezione 'appesa'.

Sempre in tema di ponteggi, l'approccio 4D alla modellazione ergotecnica nello stadio di progettazione ha consentito una precisa definizione della sequenza di montaggio delle opere provvisorie interne allo strettone. La modellazione parametrica appositamente sviluppata per l'elemento cantieristico 'ponteggio', infatti, ha permesso di ottimizzare -automatizzandola- la computazione dei costi di montaggio-uso-smontaggio prevista dalla legge.

La condivisione dell'apparato informativo del CoSIM, attraverso una azione di *clash detection* condivisa con gli strutturisti ha affrontato un ulteriore aspetto di criticità operativa, connesso alla fase di avvio delle opere di scavo e di realizzazione di una berlinese di micropali. Al fine di mantenere la staticità delle strutture dopo avere eliminato i solai, il progetto prevedeva la realizzazione di una carpenteria metallica di contenimento delle chiusure verticali interrata (Figura 5).

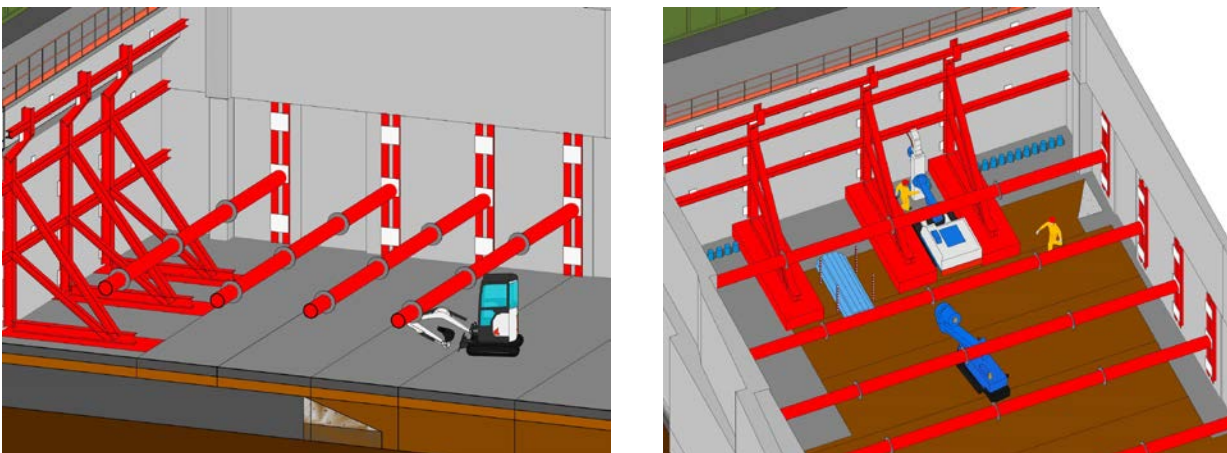


Figura 5. Clash detection relativa alla altezza e al passo delle opere provvisorie.

Il posizionamento di queste strutture ha rivelato una serie di criticità operative connesse alla disponibilità di spazio operativo per le macchine da cantiere in termini di altezza dei puntoni (insufficiente al passaggio dei mezzi) e passo delle sbadacchiature metalliche (insufficiente per una sicura alimentazione della palificatrice). Anche in questo caso il modello CoSIM ha contribuito (considerati anche altri fattori progettuali) alla soluzione della criticità operativa mediante una modifica del progetto delle carpenterie provvisorie.

La figura 6 riporta un'altra conseguenza positiva riscontrata con l'applicazione del CoSIM, questa volta riferita al progetto ergotecnico. L'approccio per fasi di cantiere, infatti, ha consentito di rilevare mediante *clash detection*, la scelta inadatta effettuata inizialmente per la scala a torre provvisoria di discesa alle quote di interrato. Essa infatti è risultata fisicamente interferente con le opere provvisorie. Si è quindi proceduto alla ricerca di un modello commerciale idoneo, rendendo così plausibile il modello CoSIM realizzato

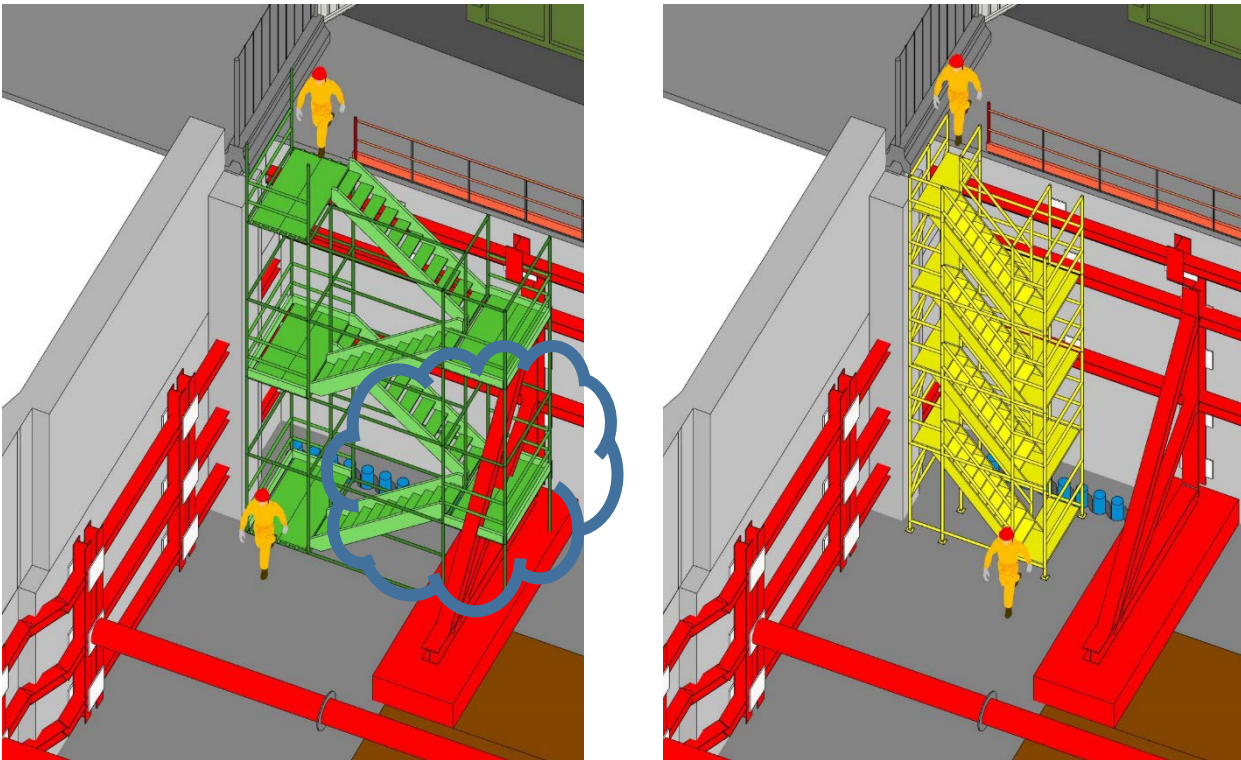


Figura 6. Clash detection relativa alla tipologia di scala a torre provvisoria e sua risoluzione.

## 5. Scelta di attrezzature e macchine di cantiere

I risultati della modellazione CoSIM e della clash detection che ne consegue applicati al caso di studio hanno evidenziato la necessità di disporre di un data base di macchine e attrezzature da cantiere in grado di esprimere una risposta dinamica, secondo diversi LOD, alle esigenze di progettazione ergotecnica, così da poter valutare la plausibilità delle scelte effettuate in relazione alla disponibilità del mercato di riferimento. A partire dalla individuazione dei parametri operativi necessari al progettista ergotecnico per un ampio repertorio di attrezzature si è quindi proceduto alla modellazione di elementi cantieristici parametrizzati in modo da adattarsi alle esigenze del cantiere da un lato e alla disponibilità commerciale dall'altro. Si è così realizzato uno strumento semi-automatizzato di supporto alle scelte ergotecniche in grado di velocizzare la fase di modellazione CoSIM.

La realizzazione delle librerie di macchinari è stata suddivisa in due categorie corrispondenti alle due principali fasi di modellazione ergotecnica: allo stadio di progettazione, corrispondente alla metaprogettazione del cantiere (LOD C-D) e allo stadio di produzione, corrispondente alla fase esecutiva del processo edilizio (LOD E). Le due categorie si differenziano per il livello di dettaglio grafico (Figura 7,

Figura 8) degli elementi e per la tipologia di informazioni in essi contenute. Infatti nella fase di metaprogettazione l'attrezzatura di cantiere viene rappresentata mediante solidi aventi dimensioni calcolate e differenti configurazioni, sufficienti a soddisfare la gamma di parametri operativi necessari al progetto ergotecnico in questa fase (configurazioni operative, variabili di produttività, ecc.). Allo stadio di produzione, invece, la macchina viene rappresentata mediante solidi aventi dimensioni pari alle dimensioni di fabbrica, con i suoi componenti principali modellati (cabine, bracci, trattori, zavorre, utensili, ecc.) in forma comunque semplificata per non appesantire la gestione informatica del modello; all'elemento sono associati i dati di fabbricazione della casa produttrice e i dati di gestione della macchina. La scheda tecnica della attrezzatura viene in ogni caso 'collegata' alla scheda dell'elemento modellato.

Le immagini di figura 9 rappresentano l'interfaccia grafica di inserimento dei dati per la ricerca della attrezzatura adatta al cantiere che si sta progettando, nel caso di una gru. Assegnati i parametri operativi contestuali, si inserisce nel modello ergotecnico l'elemento cantieristico ottenuto (LOD C-D) e se ne verifica la compatibilità nelle diverse configurazioni operative necessarie. Una volta stabilito che la macchina scelta potrà essere effettivamente utilizzata all'interno del contesto in cui si sta progettando si possono inserire i dati di progetto derivati dalla macchina all'interno dell'interfaccia del database. Il database a questo punto restituirà l'elenco dei modelli commerciali compatibili con i parametri inseriti, confermando così al progettista la plausibilità della sua scelta. Allo stadio di esecuzione, il progetto ergotecnico sviluppato dall'impresa affidataria potrà tenere conto delle indicazioni reperibili nel modello CoSIM scegliendo nel mercato della vendita o del noleggio una delle attrezzature (LOD E) compatibili con la situazione cantieristica da implementare.

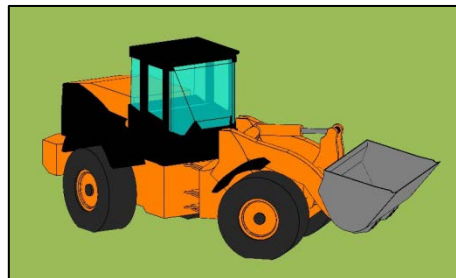
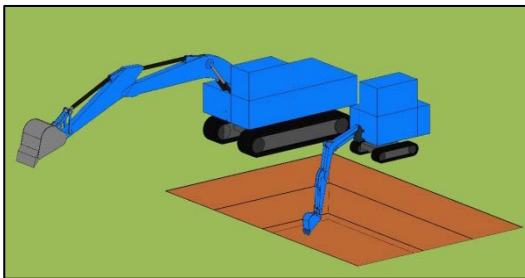


Figura 7. Escavatore LOD C-D

Figura 8. Escavatore LOD E

DATABASE GRU		
<b>INSERISCI VALORI DI RICERCA - 1</b>		
Tipo di basamento		
Sbraccio operativo		m
Altezza sotto gancio		m
CONDIZIONI DI CARICO	Distanza di carico 1	m
	Portata 1	t
	Distanza di carico 2	m
	Portata 2	t
	Distanza di carico 3	m
	Portata 3	t
<b>1 - CERCA</b>		
<b>INSERISCI VALORI DI RICERCA - 2</b>		
Altezza gru sopra braccio		m
Dimensioni massime basamento		m (max) m (min)
Lunghezza massima braccio		m
<b>2 - CERCA</b>		
<b>3 - CERCA MODELLI IDONEI</b>		

Ricerca - 1

Sbraccio operativo m

Portata 1 t

Dist. 1 m

Portata 2 t

Distanza 2 m

Portata 3 t

Distanza 3 m

Condizioni di carico

Altezza sotto gancio m

Annula Inserisci

Figura 9. Interfaccia grafica del data base realizzato.

## 6. Conclusioni

Il caso di studio affrontato dal gruppo di ricerca del CONSILAB del Dipartimento ABC del Politecnico di Milano nell'ambito del PRIN 2010-2011 ha messo in luce le potenzialità del CoSIM nell'ambito di interventi complessi quali gli interventi sull'ambiente costruito. Il metodo, infatti, ha dimostrato una forte propensione ad anticipare l'individuazione delle criticità contestuali e operative di un cantiere nella fase di progettazione di un'opera, anche in virtù dell'approccio 4D per fasi di realizzazione. È così possibile evitare le conseguenze negative di tali criticità in termini di incremento di tempi e costi della fase esecutiva del procedimento.

Il CoSIM si pone dunque quale imprescindibile punto di riferimento per una azione di clash detection ergotecnica, facilmente estendibile ai cosiddetti 'modelli federati' delle altre discipline progettuali. Per la sua efficacia necessita tuttavia di ampie librerie di elementi cantieristici modellati e di data base associati, dei quali la ricerca ha tracciato le linee di sviluppo da percorrere a partire dai repertori appositamente generati.

Un altro possibile sviluppo della ricerca applicata al CoSIM sarà quello del model checking, riferito alle regole cogenti e volontarie per assicurare la miglior tutela della salute e della sicurezza delle maestranze.

## Bibliografia

- 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*, 285-295.
- Sulankivi, K., Kähkönen, K., Mäkelä, T., & Kiviniemi, M. (2010). 4D-BIM for Construction Safety Planning, W099 - Special Track 18th CIB World Building Congress, Salford, UK
- Trani, M., Bossi, B., Minotti, M. (2013). Construction Site Design: A systematic Approach, *Creative Construction Conference 2013*. Budapest, Hungary, July 6-9, 2013, 787-795.
- Trani, M., Bossi, B., Cassano, M., Todaro, D., 2015. BIM oriented equipment choice on construction site, in: *ISEC 2015, Sustainable Solutions in Structural Engineering and Construction*.
- Trani, M., Cassano, M., Todaro, D., Bossi, B., 2015. BIM level of detail for construction site design, in: *Procedia Engineering*, Elsevier, 123, 581-589
- Vimonsatit, V., & Lim, M. (2014). Use of BIM tools for site layout planning, *ASEA-SEC-2 Sustainable Solutions in Structural Engineering and Construction*, Bangkok, Thailand, November 3-7, 2014, 755-760.
- Zhang, S., Teizer, J., Lee, J., Eastman, C., Venugopal, M. (2013). Building Information Modeling (BIM) and Safety: Automatic Safety Checking of Construction Models and Schedules. *Automation in Construction*, pp. 183-195.