



Selezione dell'intervento di adeguamento sismico: il ruolo del BIM nel processo decisionale

Nicola Caterino^{a,b}, Antonio Ianniello^a, Giorgio Varchetta^a, Iolanda Nuzzo^b, Edoardo Cosenza^{b,c}

^aDepartment of Engineering, University of Naples Parthenope, Centro Direzionale Isola C4, 80143 Napoli, Italy

^bConstruction Technologies Institute, National Research Council of Italy, San Giuliano Milanese (MI), Italy

^cDepartment of Structures for Engineering and Architecture, University of Naples Federico II, via Claudio 21, Napoli, Italy

Keywords: Adeguamento sismico; problema decisionale; progettazione BIM; interfaccia grafica

ABSTRACT

In questo lavoro si presenta uno strumento innovativo, implementato in ambiente BIM, per il supporto alla decisione in ambito di adeguamento sismico di opere esistenti. Oggi esistono, difatti, numerose tecnologie di retrofit sismico, anche molto differenti tra loro, e l'individuazione di quella ottimale, contestualizzata rispetto allo specifica struttura, è quasi sempre un problema complesso a causa della molteplicità di criteri socio-economici e tecnici da dover considerare, spesso in conflitto tra loro. L'implementazione di un metodo decisionale multi-criterio consente, in quest'ottica, di confrontare soluzioni alternative in funzione dei vari criteri ritenuti significativi, assegnando a ciascuno di essi dei pesi e individuando, infine, la soluzione migliore nei confronti di questi. In quest'ottica, il BIM è ritenuto uno strumento molto efficace per fornire informazioni di natura anche molto differente, in un unico modello integrato. L'integrazione del problema decisionale in ambiente BIM consente non solo di attingere una notevole semplificazione nell'implementazione dello stesso, per quanto fornisce una completezza di informazioni necessaria al decisore per realizzare una scelta quanto più consapevole ed informata.

1 INTRODUZIONE

L'Italia è un paese caratterizzato da un alto rischio sismico, sia a causa di un livello di pericolosità sismica piuttosto significativo che per la presenza di un patrimonio edilizio ad alta esposizione, vista la densità abitativa e il valore artistico, nonché fortemente vulnerabile. Infatti, il boom edilizio degli anni '70-'80 ha visto la realizzazione di numerosi edifici progettati solo per carichi verticali. Ne consegue che l'adeguamento sismico degli edifici esistenti è oggi un problema molto attuale, teso alla mitigazione del rischio. Esso consiste nella realizzazione di interventi volti a far sì che la capacità della struttura sia almeno pari alla domanda che il moto sismico del suolo produce, e si propone come scopo ultimo quello di ridurre la vulnerabilità dell'edificio ad un livello accettabile. Gli interventi atti all'adeguamento delle strutture sono molteplici, i quali conseguono l'obiettivo attraverso l'implementazione di tecnologie differenti. Per quanto detto, data una

struttura da adeguare, il progettista strutturale è chiamato ad operare la selezione del tipo di intervento all'interno di una gamma piuttosto vasta. I criteri di giudizio dei possibili interventi, necessari per operare tale selezione, sono anch'essi numerosi, comprendendo sia criteri tecnici (prestazioni strutturali, protezione degli elementi non strutturali, compatibilità strutturale, ecc.) che socio-economici (costi di installazione, costi di manutenzione, durata dei lavori, disturbo nell'uso dell'edificio, compatibilità estetico-funzionale, ecc.). Tali criteri sono generalmente conflittuali, nel senso che non esiste una soluzione di adeguamento che soddisfi tutti al meglio contemporaneamente: la selezione va dunque operata cercando di individuare quella caratterizzata dalla migliore risposta globale ai criteri visti nel loro insieme. Appare ovvio che non possa definirsi una tipologia di intervento di adeguamento migliore in senso assoluto e che la stessa vada individuata di volta in volta, in funzione delle peculiarità del caso in esame. Vista la molteplicità di alternative e di criteri di giudizio, tale selezione può risultare anche molto complessa. In questo contesto, l'impiego di

metodi di decisione multicriterio (Multi – Criteria Decision Making, MCDM), già comunemente adottati nel campo dell'ingegneria sismica, (Caterino et al. 2008, Caterino et al. 2009, Caterino e Cosenza 2018), forniscono, un valido supporto al decisore (cosiddetto Decision Maker, DM) quando lo stesso è chiamato a prendere decisioni in problemi complessi, caratterizzati cioè da numerose possibili soluzioni alternative e numerosi criteri rispetto ai quali queste ultime devono essere giudicate. Tuttavia, utilizzando i suddetti metodi con una metodologia di progettazione classica si va inevitabilmente incontro a delle criticità. In primo luogo, per tale progettazione si prevede l'elaborazione di molti file di progetto separati e realizzati da diversi tecnici dei vari settori disciplinari, rendendo così difficile stabilire decisioni in merito ai criteri selezionati, tenendo conto in maniera chiara di tutte le variabili e problematiche progettuali che insorgono durante la progettazione completa di un determinato intervento. In secondo luogo, la progettazione classica rende difficoltose le comunicazioni tra il progettista e committente (la quale rappresenta il decisore), perché gli elaborati che saranno a supporto del decisore stesso saranno esclusivamente di tipo tecnico (tavole, modelli di calcolo e relazioni).

Per ovviare alle suddette criticità, si è pensato di integrare la metodologia di progettazione BIM alle procedure decisionali, in particolar modo ai metodi MCDM.

Il Building Information Modeling (BIM) consiste in una metodologia di progettazione e gestione delle opere civili che permette l'integrazione in un modello 3D, unico e condiviso, di tutti i livelli di progettazione quali architettonico, strutturale ed impiantistico, mediante una modellazione parametrica ad oggetti (Salzano, 2015). La possibilità del BIM di gestire tutti gli aspetti progettuali delle varie discipline di un'opera civile è garantita dall'interoperabilità tra il modello BIM e le varie applicazioni software di calcolo strutturale e architettonico, di impianti e di facility management. Essa si definisce come la capacità di condividere e scambiare rapidamente ed accuratamente i dati e le informazioni di prodotti e di processi tra i sistemi utilizzati dal team di progettazione migliorando l'efficacia e l'efficienza del processo edilizio. I processi BIM interessano tutto il ciclo di vita dell'edificio, compreso la gestione/manutenzione e la dismissione nell'ottica del BLM (Building Lifecycle Management), realizzando così progetti 4D (gestione dei tempi attraverso l'integrazione del modello BIM con il cronoprogramma dei

lavori), 5D (gestione dei costi) e 6D (Facility Management).

Numerosi sono gli studi che mostrano i vantaggi ed i benefici derivanti dall'utilizzo del BIM, come la riduzione del tasso di errore, sia in fase di progettazione che di costruzione, con conseguente riduzione dei tempi e costi di realizzazione di un'opera, nonché riduzione o annullamento delle incongruenze tra i livelli progettuali

Il BIM ha sancito l'avvento di nuove frontiere nei processi di "Decision-Making" e nella gestione del processo edilizio, impensabili in passato con i tradizionali strumenti a disposizione dei progettisti. Difatti, l'approccio ad un problema decisionale complesso, coinvolgente numerosi criteri può essere notevolmente agevolato attraverso l'impiego della piattaforma BIM. In tale contesto si pone l'obiettivo del presente lavoro, finalizzato a dimostrare come poter integrare gli innovativi strumenti di gestione BIM con la metodologia MCDM volta all'adeguamento sismico di un'opera.

2 METODI DECISIONALI PER L'ADEGUAMENTO SISMICO

Il progettista strutturale chiamato ad adeguare dal punto di vista sismico un edificio esistente deve operare, in generale, la selezione del tipo di intervento all'interno di una gamma molto vasta. Tale scelta può essere tutt'altro che semplice, tenendo conto del fatto che numerosi sono anche i diversi punti di vista (criteri) ai quali è necessario sottoporre a paragone le molteplici soluzioni. A tal riguardo, Thermou e Elnashai (2002), raggruppando i criteri di scelta in due famiglie distinte, forniscono la seguente lista di possibili aspetti da considerare.

Dal punto di vista economico e sociale:

- il costo da sostenere in rapporto all'importanza della struttura;
- la disponibilità di manodopera;
- la durata dei lavori e del conseguente disturbo alle normali attività;
- il disturbo agli occupanti;
- il conseguimento degli obiettivi prestazionali fissati dal proprietario;
- la compatibilità funzionale ed estetica dell'intervento nei confronti dell'edificio preesistente;
- la reversibilità dell'intervento;
- il livello del controllo di qualità;
- il significato politico e/o storico della struttura.

Dal punto di vista tecnico, invece:

- compatibilità strutturale con il sistema strutturale preesistente;
- regolarità di rigidezze, resistenze e duttilità;
- adeguatezza delle rigidezze, resistenze e duttilità locali;
- protezione nei confronti del danneggiamento non strutturale;
- capacità del sistema di fondazione;
- disponibilità di materiali e tecnologie necessari per l'intervento.

Tale lista di criteri non è necessariamente da intendersi come esaustiva e valida in ogni caso. Pertanto secondo le particolarità del caso in esame, è opportuno considerare la possibilità di aggiungere criteri di giudizio diversi da quelli proposti. Ad esempio negli ultimi anni risultano decisamente interessanti i criteri di scelta che tengono conto delle detrazioni fiscali e delle eventuali perdite future (PAM), come già mostrato da Caterino e Cosenza (2018).

Alla lista dei possibili criteri da selezionare per applicare il metodo MCDM c'è la necessità di assegnare a ciascuno di essi un peso. Tale esigenza discende dalla necessità del decisore di differenziare l'importanza che, a suo parere, ciascun criterio deve avere nella selezione dell'alternativa ottima. I pesi dei criteri assumono un ruolo fondamentale nel processo decisionale. In base al valore ad essi attribuito, infatti, alcune valutazioni delle alternative saranno amplificate, altre saranno ridotte: la classificazione finale delle alternative può essere, in generale, stravolta in corrispondenza di variazioni sensibili del valore dei pesi. Essi possono avere una significativa influenza sulla soluzione finale del problema decisionale, ed è per questo che risulta essere particolarmente importante garantire che il decisore abbia espresso i suoi giudizi in modo sufficientemente coerente (eseguendo una verifica di consistenza dei giudizi) e, soprattutto, che la soluzione finale del problema decisionale non cambi in corrispondenza di piccole modifiche nel valore dei pesi. Per tal motivo, a seguito dell'applicazione del metodo MCDM selezionato bisogna eseguire un'analisi di sensibilità della soluzione ottima nei confronti dei pesi stessi.

A seguito delle fasi di applicazione sopra citate, seguirà la valutazione delle possibili alternative di adeguamento. Questa fase della procedura decisionale consiste nella valutazione delle alternative di adeguamento considerate rispetto ai criteri di giudizio prescelti. Il risultato finale sarà la compilazione della matrice di

decisione, di dimensione $n \times m$ il cui elemento generico i, j rappresenta la misura della prestazione offerta dall'alternativa A_i nei confronti del criterio C_j . Tale matrice, insieme al vettore dei pesi dei criteri, costituirà il punto di partenza per il metodo decisionale TOPSIS (Hwang e Yoon, 1981), adottato in questo lavoro, che meglio si presta al problema dell'adeguamento sismico. Esso fornirà la classifica finale delle alternative e, con essa, la selezione della "migliore" scelta.

Vista la molteplicità di alternative e di criteri di giudizio, la selezione della soluzione di adeguamento sismico può risultare anche molto complessa. È da questa osservazione che scaturisce l'idea portante del presente lavoro ovvero l'integrazione dei metodi di decisione multicriterio (Multi-Criteria Decision Making, MCDM), finalizzati alla scelta dell'intervento di adeguamento sismico di un dato edificio, al metodo progettuale BIM. La metodologia BIM permette l'ottimizzazione di tutto il processo edilizio, essendo uno strumento a supporto della gestione di tutte le fasi per la realizzazione e la gestione di un'opera. Inoltre può essere utilizzato per migliorare il processo decisionale (Decision Making) nella progettazione degli edifici. Esso infatti riduce la quantità di lavoro necessario per valutare più opzioni possibili nella fase iniziale della realizzazione del progetto stesso, e dunque le decisioni complesse da prendere durante tutte le fasi che portano al compimento di un'opera, possono essere supportate dalla metodologia BIM (Ustinovičius et al., 2005).

3 IL BIM NEL PROCESSO EDILIZIO E DI DECISION MAKING PER L'ADEGUAMENTO SISMICO

L'impiego del metodo progettuale BIM può fornire un supporto significativo all'implementazione della procedura decisionale. Esso infatti prevede un unico modello integrato di tutte le discipline, nel quale sono presenti tutte le informazioni necessarie alle valutazioni oggettive, in modo tale da rendere più chiara e trasparente la comunicazione tra progettista e decisore. Tale argomento è estremamente nuovo per la comunità scientifica, ma ci sono state già applicazioni di questo tipo riguardanti l'adeguamento sismico degli edifici (Anelli et al. 2016, Pavlovskis et al. 2017, Asadi et al. 2019).

È noto che il metodo decisionale TOPSIS, selezionato in questo studio, prevede la determinazione preventiva della matrice di decisione e dei pesi dei criteri. La completezza

del modello in BIM, ricco di informazioni grafiche tridimensionali e parametriche, può facilitare il processo decisionale, mettendo a disposizione del DM un quadro informativo globale. Inoltre, un'ulteriore semplificazione è data dal canale comunicativo più diretto e chiaro tra lo stesso ed il progettista. Tuttavia, per fornire un'ulteriore agevolazione al DM, si è cercato ulteriormente di migliorare la procedura, realizzando un'interfaccia nel modello BIM, che permetta in modo diretto l'applicazione del metodo, eseguendo un'intervista al DM (Figura 1). Infatti l'utilizzo del BIM, accoppiato al metodo dell'autovalore di Saaty (1980), permette l'applicazione del problema decisionale in modo piuttosto semplice, perché richiede confronti considerando solo due criteri alla volta. A ciascuno di tali confronti corrisponde un giudizio di importanza relativa (a_{ij}) tra i due criteri considerati (C_i e C_j), espresso numericamente con l'ausilio della scala di Saaty. Per accoppiare il processo sopra descritto, finalizzato all'esecuzione dell'intervista che il DM è tenuto a sostenere nell'ambiente BIM, è stato realizzato uno script sulla piattaforma DYNAMO di Autodesk, il quale è un ambiente di programmazione visuale (Visual Programming Language) open source estremamente flessibile. Esso permette di comporre algoritmi personalizzati attraverso un'interfaccia grafica a blocchi (nodi) (**Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**) e non tramite sintassi scritta (ossia la digitalizzazione di un listato di codici). Tale piattaforma si presenta come plugin di Revit Autodesk, e dunque è perfettamente integrato al modello BIM realizzato. Lo script è così organizzato: tra i vari box di scelta (choice C_i - C_j , nell'esempio riportato in Figura 3 C_1 - C_2), sono presenti i nodi che permettono di ottenere l'acquisizione dei dati che poi successivamente andranno elaborati in maniera automatizzata in un foglio di calcolo Excel. Infatti, è presente la stringa che richiede la preferenza tra i due criteri messi a confronto ("choose preference between C_1 and C_2 ") e la stringa che permette di inserire il livello di gradimento secondo la scala di Saaty (1980) (importance C_1 - C_2). Queste informazioni sono collegate ad un ulteriore nodo, il quale permette di posizionarle in un apposito foglio di calcolo programmato. In questo modo è possibile ottenere la matrice dei confronti binari, utile al conseguimento dei pesi dei criteri. Questo script ha permesso di ottenere l'interfaccia in ambiente BIM di REVIT, potendo direttamente, dal modello REVIT, avere accesso al pannello di controllo e compilare l'intervista.

Con tale strumento si è dato al DM il vantaggio di esprimere giudizi in maniera più consapevole delle conseguenze che gli interventi provocano, avendo la possibilità di vedere come il modello cambia al variare dell'alternativa di adeguamento. In altre parole con il supporto che offre il BIM, il decisore può analizzare come al variare degli interventi, cambiano le quantità associate ai diversi criteri (costi, tempi, compatibilità architettonica, ecc.). Quest'approccio consente un coinvolgimento concreto del decisore che viene a conoscenza, attraverso il modello 4D – ovvero incluso il tempo, con il cronoprogramma - di quello che deve realmente attendersi durante l'esecuzione di ciascuno degli interventi alternativi.

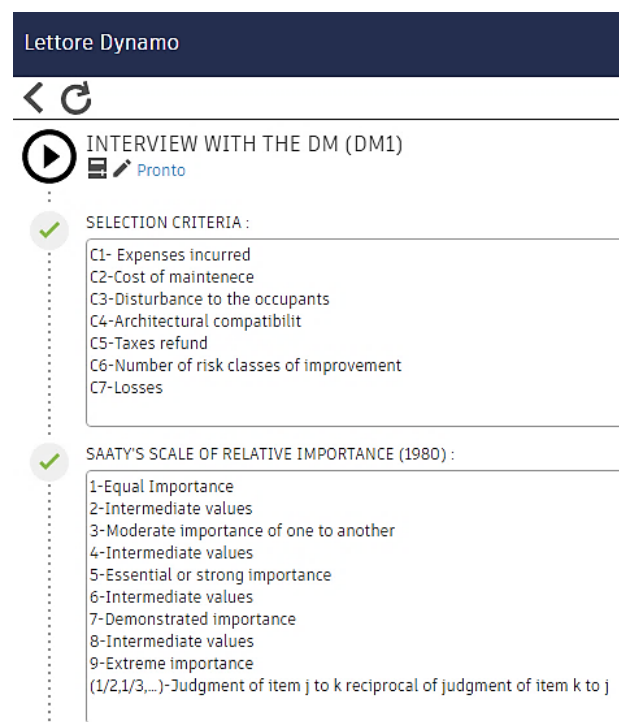


Figura 1 Interfaccia di Dynamo che mostra l'intervista al DM sui vari criteri.

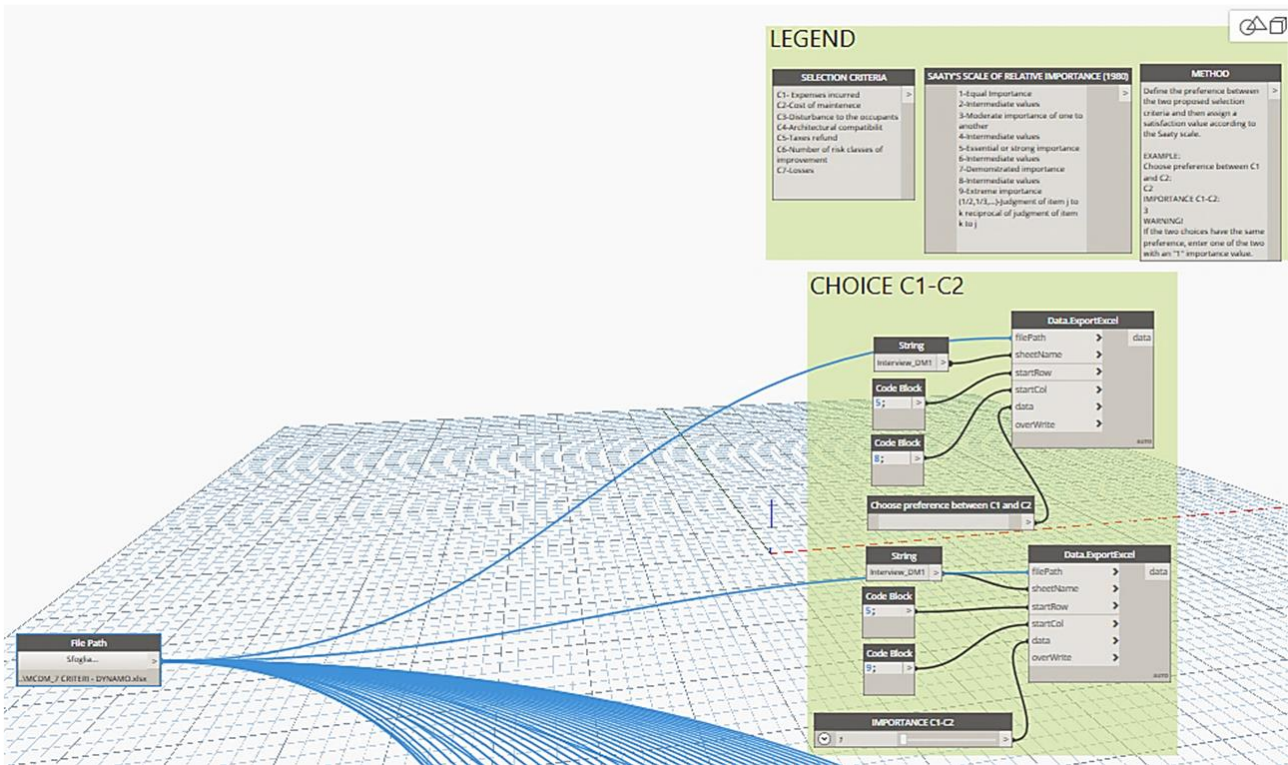


Figura 2 Stralcio dello script Dynamo realizzato

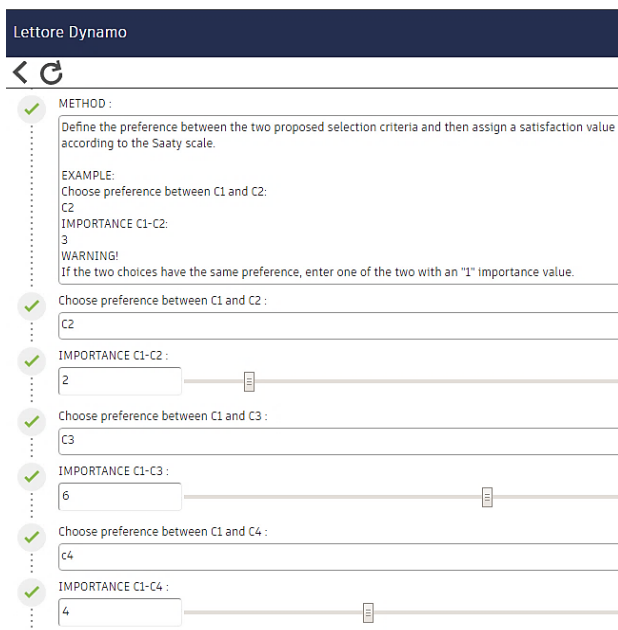


Figura 3 Interfaccia di Dynamo attraverso cui il DM esprime una preferenza tra due criteri

Per quanto sopra descritto, in conclusione si può affermare che l'approccio è sicuramente di fondamentale importanza anche per quelli che sono i criteri di giudizio *qualitativo* come ad esempio la *compatibilità architettonica*, per i quali il DM è chiamato ad operare giudizi di tipo linguistico.

Accoppiando quindi l'utilizzo del BIM e del DYNAMO ai MCDM, si può raggiungere con maggiore semplicità e chiarezza la conversione in termini *quantitativi* dei suddetti giudizi.

Affinché possa compiersi la compilazione numerica della matrice di decisione (e possa, cioè, rendersi applicabile un qualsivoglia metodo MCDM; il TOPSIS, nella fattispecie) è, allora, necessario operare preventivamente una conversione di tali variabili qualitative in termini quantitativi, dunque, con le stesse modalità descritte sopra si è realizzato uno script DYNAMO, con il medesimo scopo, ottenendo così l'interfaccia in ambiente BIM (Figura 4) che permetta ai diversi tipi di decisori, di prendere le giuste decisioni nei confronti della compatibilità architettonica rispetto alle varie possibili alternative.

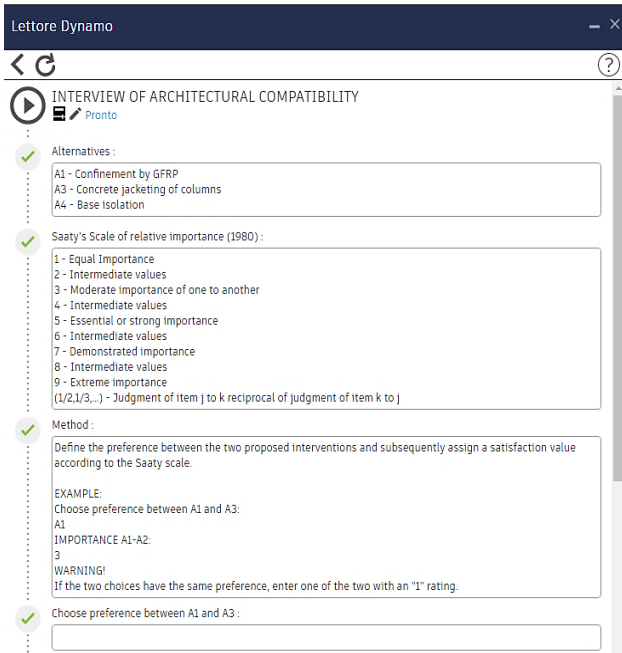


Figura 4 Interfaccia di Dynamo attraverso cui il DM esprime preferenze tra le possibili alternative nei confronti della compatibilità architettonica

Oltretutto, avendo realizzato il modello BIM comprensivo di tutte le informazioni anche di natura economica, esso permette di ottenere con semplicità eventuali modifiche ai computi metrici estimativi, con la massima trasparenza andando ad avvantaggiare ancora una volta le decisioni del DM.

In estrema conclusione facendo riferimento al modello 4D sopra citato, il BIM permette di avere il controllo del lavoro anche in funzione del tempo con il compimento di cronoprogrammi integrati al modello; realizzati con l'ausilio del software PROJECT di Microsoft (Figura 5),

permettendo la realizzazione delle cronogrammi dell'avanzamento dei lavori, attraverso il software NAVISWORKS di Autodesk. Supportando ancora una volta il DM nel processo decisionale, permettendogli di valutare le varie alternative prendendo visione dell'avanzamento delle attività di cantiere attraverso le animazioni sopracitate.

4 CONCLUSIONI

Il presente lavoro propone uno strumento innovativo, implementato in ambiente BIM, per supportare il decisore nell'ambito di un problema di decision-making finalizzato alla scelta dell'intervento di adeguamento sismico ottimale di una struttura esistente. Il retrofit sismico è un problema molto attuale in Italia, territorio caratterizzato da un patrimonio edilizio fortemente vulnerabile. La ricerca e lo sviluppo di differenti soluzioni di adeguamento sismico ha determinato la necessità di soppesare e confrontare tecnologie alternative, anche molto differenti tra loro. L'individuazione della soluzione "migliore" in senso assoluto è, nei fatti, un esercizio impossibile, vista la numerosità dei fattori socio-economici e tecnici coinvolti nel problema. Diversamente, in funzione della specifica struttura in esame, è necessario definire l'intervento che meglio si adatti alle particolari condizioni, ricercando l'alternativa che soddisfi, nel migliore dei modi, tutti i criteri interessati. Lo strumento che meglio si appresta a tenere in considerazione, in maniera integrata, aspetti di natura anche molto differente legati alla progettazione di una struttura è certamente il

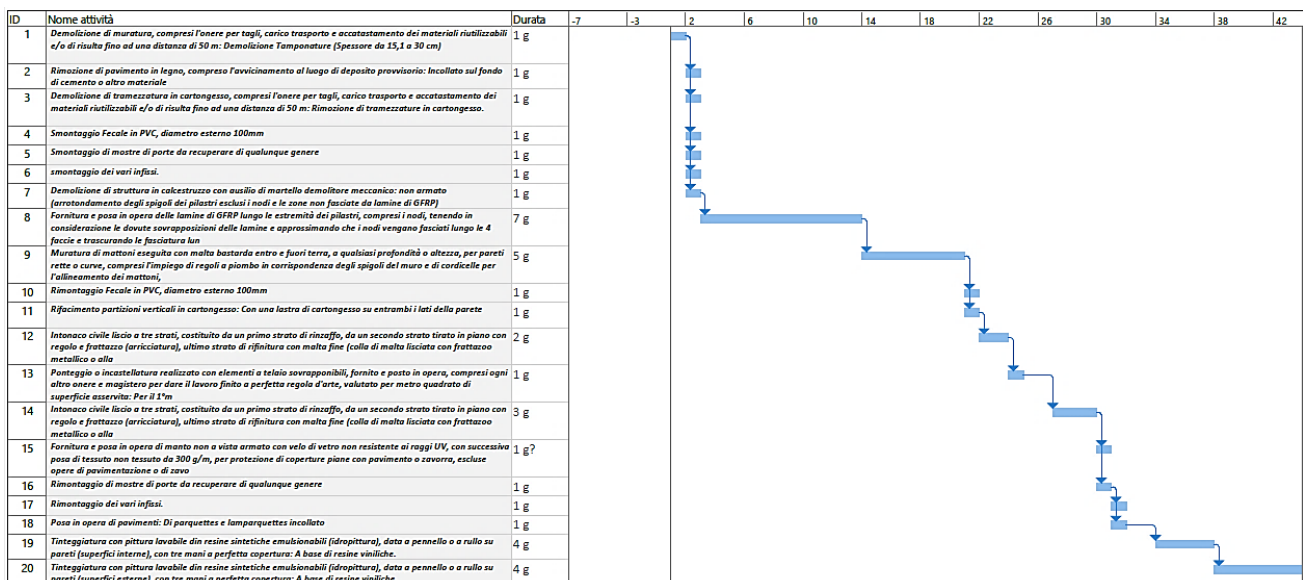


Figura 5 Cronoprogramma dei lavori con grafico di Gantt realizzato in Project

BIM. Da qui l'idea, sviluppata e presentata nel presente lavoro, di implementare un tool in ambiente BIM, che consenta di intervistare il decisore e individuare, attraverso la definizione dell'importanza relativa di ciascun criterio, l'alternativa di retrofit sismico migliore. A tal fine, è stato sviluppato uno script sulla piattaforma DYNAMO di Autodesk, fornendo un'utile interfaccia che guida il decisore nell'intervista. Quest'approccio rende il DM effettivamente consapevole delle conseguenze legate a ciascuna soluzione di adeguamento sismico analizzata, in particolar modo nei confronti dei tempi e costi, nonché difficoltà esecutive, determinate da ciascuna alternativa.

Saaty, T.L., *Fundamentals of Decision Making and Priority Theory with the AHP*, RWS Publications, Pittsburgh, PA., USA, 1994.

Saaty T.L., *Decision making for leaders : the Analytic Hierarchy Process for decision in a complex world*, RWS Publications, Pittsburgh, PA., USA, 315 p., 1999.

REFERENCES

- Caterino, N., Iervolino, I., Manfredi, G., Cosenza, E., 2008. Multi-criteria decision making for seismic retrofitting of RC structures. *J Earthquake Eng*, 12(4):555–83. <https://doi.org/10.1080/13632460701572872>.
- Caterino, N., Iervolino, I., Manfredi, G., Cosenza, E., 2009. Comparative analysis of multi-criteria decision making methods for seismic structural retrofitting. *Comput-Aided Civ Infrastruct Eng*, 24(1):14. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8667.2009.00599.x>.
- Caterino, N., Cosenza, E., 2018. A multi-criteria for selecting the seismic retrofit intervention for an existing structure for expected losses and tax incentives in Italy. *Engineering Structures*, 174: 840-850.
- Salzano, A., 2015. Metodologie BIM per la progettazione integrata di interventi di riqualificazione e rinforzo strutturale orientati alla sostenibilità ambientale. [Tesi di dottorato].
- Thermou, G.E., Elnashai, A.S., 2002. Report about SPEAR Project, Performance Parameters and Criteria for Assessment and Rehabilitation, A.S., I.C. of Science, Technology and Medicine, UK.
- Hwang, C.L., Yoon, K., 1981. Multiple Attribute Decision Making, *Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems 186*, Springer-Verlag: Berlin.
- Ustinovičius, L., Popov, V., Migilinskas, D., 2005. Automated management, modeling and choosing of economically effective variant in construction, *Transport and Telecommunication* 6(1) (2005) 183–189.
- Anelli, A., Vona, M., Santa-Cruz, S., Laterza, M., Tarque, N., 2016. MCDM Methods for the identification of intervention strategies for seismic retrofitting of school buildings, *World engineering conference on disaster risk reduction*. 5 - 6 December 2016 Lima, Peru.
- Pavlovskis, M., Antucheviciene, J., Migilinskas, D., 2017. Assessment of buildings redevelopment possibilities using MCDM and BIM techniques, *Procedia Engineering* 172, pp 846 – 850.
- Asadia, E., Salmanb, A.M., Lia, Y., 2019. Multi-criteria decision-making for seismic resilience and sustainability assessment of diagrid buildings. *Engineering Structure* 191 pp. 229 – 246.
- Saaty, T.L., *The Analytic Hierarchy Process*, McGraw-Hill, New York, NY, USA, 1980.