

Marco Alvisè Bragadin<sup>1</sup>, Kalle Kähkönen<sup>2</sup>,

<sup>1</sup> Dipartimento di Architettura, Università di Bologna, Italia

<sup>2</sup> Faculty of Built Environment, Tampere University, Finland

marcoalvisè.bragadin@unibo.it

kalle.kahkonen@tuni.fi

**Abstract.** Il cronoprogramma è il documento più importante della costruzione in quanto indica la durata complessiva dei lavori, le fasi, i tempi, i costi, le dipendenze logiche, la qualità e la sicurezza. Pertanto, la qualità del programma dei lavori presentato da un appaltatore deve essere valutata prima della consegna dei lavori o in fase di appalto. Sono pochi gli standard internazionali di riferimento per la qualità della programmazione e la maggior parte di essi non è specifica per il settore delle costruzioni. Si propone una procedura di valutazione della qualità specifico per il settore delle costruzioni basato su 75 requisiti. Con lo scopo di realizzare un proof-of-concept del metodo proposto, si analizzano tre differenti programmi per uno stesso caso di studio di riqualificazione sismica.

**Parole chiave:** Costruzione; Cronoprogramma; Qualità; Programmazione; Project Management.

## Introduzione

Il cronoprogramma è un documento della costruzione che da informazioni sul progetto di fondamentale importanza, quali la durata complessiva dei lavori, le fasi di costruzione, i tempi di esecuzione dei work-packages, i costi per periodo delle attività, la sequenza logica dei lavori, le informazioni e le disposizioni per la qualità e la sicurezza. La qualità del cronoprogramma deve essere pertanto valutata. Infatti, un buon programma dei lavori non garantisce il successo del progetto, ma sicuramente un programma mediocre porterà al successo pochi progetti. Il programma esecutivo dei lavori presentato dall'appaltatore deve quindi essere valutato dalla stazione appaltante prima della consegna dei lavori o nella fase di gara. Dopo l'approvazione, il programma diviene il riferimento per il controllo del progetto e quindi diventa uno dei documenti contrattuali più importanti. I project managers, i responsabili del procedimento, i direttori dei lavori e i direttori di cantiere useranno il programma esecutivo

## Schedule quality evaluation for Construction Project Management

**Abstract.** The construction schedule is the most important construction document as it indicates total project duration, project stages and times of activities, costs, logical sequences, quality and safety. Hence, the quality of a phase schedule presented by a contractor must be assessed by the owner's consultant either before the commencement of works or during the bidding phase. Only few international standards concerning schedule quality exist, and most of them are not specific for construction. A construction-oriented schedule quality evaluation procedure, based upon a set of 75 requirements has been proposed. Three different versions of a construction schedule for a case study of a seismic rehabilitation project have been evaluated with the aim of performing the proposed method's proof-of-concept.

**Keywords:** Construction; Project schedule; Quality; Construction planning; Project Management.

approvato, la *baseline*, per giustificare o per negare le richieste di proroga dei tempi, o per valutare l'efficienza del processo e la possibilità di un completamento nei tempi previsti o in ritardo. Pertanto, la valutazione della qualità di un programma lavori può essere di fondamentale importanza in questa fase di progetto. La qualità di un programma lavori può essere identificata come il livello di rispondenza del programma e del processo di programmazione ad un insieme di requisiti di prestazione. Basandosi su questo approccio valutativo è stato proposto un metodo di valutazione della qualità denominato "*Schedule Health Assessment*". L'obiettivo della ricerca sottesa al presente lavoro è di testare il metodo "*Schedule Health Assessment*" e di capire se può essere efficacemente utilizzato per valutare il programma esecutivo dell'appaltatore nella fase di gara, ove richiesto.

## Qualità della programmazione: stato dell'arte

In generale la letteratura indica tre componenti fondamentali della valutazione della qualità di un programma lavori: a) standard di qualità del cronoprogramma; b) sviluppo del processo di programmazione e differenti livelli di dettaglio; c) valutazione del programma esecutivo dell'appaltatore ed approvazione della baseline.

La comunità scientifica ha espresso molte volte la necessità dello sviluppo di buone pratiche per l'assicurazione delle qualità del processo di programmazione e dei suoi prodotti nel settore delle costruzioni (Moosavi and Mosehli, 2014). Alcuni standard sono già stati emessi per valutare la qualità della programmazione, ma molti di essi sono estranei al settore delle costruzioni e non sono

## Introduction

The construction project schedule is a construction document that gives project information of capital importance, as it indicates total project duration, project stages and times of work packages, activity costs per time period, logical sequence of works, quality and safety - oriented information and provisions. Hence, the quality of the project schedule needs to be assessed. A good quality schedule does not guarantee project success, but of course a poor schedule will lead to success in very few cases.

The construction schedule presented by a contractor needs to be assessed by the owner's consultant before the commencement of works or even before, during the bidding process. After approval, the schedule becomes the baseline for project control and, therefore, it becomes one of the most im-

portant contract documents. Project supervisors or construction managers frequently use a baseline schedule to either justify or deny a request of time extensions, or to evaluate process efficiency and the possibility of timely or late completion. Therefore, schedule quality detection can play a major role in this project step. Schedule quality is understood as the schedule's level of accomplishment and the scheduling process to a set of performance requirements. Based on this quality evaluation approach, a Schedule Health Assessment method has been proposed. The aim of the research work behind this paper is to provide further testing to the Schedule Health Assessment proposed method, and to understand if it can be used to evaluate the contractor's schedule in the bidding phase.

mirati alla procedura di approvazione della baseline (PMI, 2007; Douglas - AACE, 2009; US - DCMA, 2012; APM, 2012; GAO, 2012; PMSC, 2012). La qualità è intesa come il livello di rispondenza di un prodotto e di un processo ai requisiti di prestazione (ISO 9000:2015). Pertanto, la qualità di un programma lavori può essere definita come il livello di rispondenza ad un determinato insieme di requisiti. Le linee guida AACE International (Douglas, 2006; Douglas, 2009; Douglas and Gransberg, 2009) includono la “Schedule Quality Analysis” e le raccomandazioni per la costruibilità del programma, intesa come aderenza del programma alle reali fasi di cantiere. Lo standard operativo per la programmazione del Project Management Institute (2007) include un metodo di valutazione della qualità che può essere utilizzato per sviluppare un programma di buona qualità. La guida GAO per la valutazione della programmazione (GAO, 2012) individua dieci buone pratiche obbligatorie per sviluppare i programmi di progetto. L’agenzia statunitense DCMA ha definito i ben noti 14 indicatori che permettono di identificare aree potenzialmente problematiche di un programma generale esecutivo dell’appaltatore (DCMA, 2012). Quasi tutti questi standard che riguardano la qualità del cronoprogramma non sono specifici per le costruzioni e sottostimano la fase di programmazione. Il processo di programmazione tradizionale, in ambito internazionale classifica in due grandi categorie i programmi in relazione al livello di dettaglio: il programma generale di durata, *Master Schedule*; e il programma dettagliato. Il *Master Schedule* è il livello di programmazione più completo che interessa tutte le fasi costruttive e tutti i componenti. Generalmente il *Master Schedule* è sviluppato dal committente mentre l’appaltatore o il “*General Contractor*” sviluppa il programma dettagliato dopo la

firma del contratto e lo presenta al committente per l’approvazione. Nel caso di appalti di progettazione ed esecuzione l’appaltatore sviluppa un *Master Schedule* che comprende le fasi di progettazione e lo presenta alla stazione appaltante per l’approvazione. Si tratta in questo caso di un *Integrated Master Schedule* (DCMA, 2012). Invece, la Guida al Project Management del Project Management Institute - PMI (2013) propone tre livelli di approfondimento della programmazione, mentre lo standard operativo per la programmazione “*Practice Standard for Scheduling*” (PMI, 2007) indica cinque livelli di successivo dettaglio. Seppänen, Ballard and Pesonen (2010) propongono quattro livelli nel contesto del *Last Planner System* e del *Location-Based Management System*. La guida per la valutazione della programmazione del governo statunitense (GAO, 2012) definisce invece tre livelli di dettaglio. Un approccio simile si ritrova nel contesto italiano dei lavori pubblici, con la differenza che il programma di livello intermedio è orientato alla sicurezza in cantiere ed è contenuto nel Piano di Sicurezza e Coordinamento. Il codice dei contratti D.lgs. n. 50/2016 identifica il *Master Schedule* come il cronoprogramma di progetto ed il programma con il maggior dettaglio come il “*Programma Esecutivo Dettagliato*” dell’appaltatore che una volta approvato diventa la *baseline*. De La Garza (1990) definisce un insieme di principi per la programmazione allo scopo di automatizzare il processo di valutazione del programma dell’appaltatore, mentre Russell e Udaipurwala (2000) indicano che la valutazione di qualità di un programma lavori di un appaltatore deve essere relazionata alla strategia costruttiva. Zafar e Rasmussen (2001) evidenziano l’importanza dell’approvazione del programma *baseline* nei progetti di costruzione e che la prima causa di rigetto è il non rispet-

#### Schedule quality: previous work

Three main components of the quality assessment of a Project Schedule can be found in the literature: a) Schedule quality standards; b) the development of scheduling process and different levels of detail; and c) Contractor’s schedule evaluation and baseline approval.

The scheduling community has repeatedly expressed the need for schedule development recommended practices to ensure the quality of the scheduling processes and of the scheduling deliverables in the construction sector (Moosavi and Mosehli, 2014). There are some industrial standards, which cover procedures to achieve schedule quality, but most of these standards are outside the construction context, and they do not aim at the baseline approval procedure (PMI, 2007; Douglas - AACE, 2009; US - DCMA,

2012; APM, 2012; GAO, 2012; PMSC, 2012). Quality is considered the extent to which both product and processes meet performance requirements (ISO 9000:2015). Construction schedule quality can, thus, be defined as the level of compliance with a certain set of requirements. AACE International (AACE) Recommended Practices (Douglas, 2006; Douglas, 2009; Douglas and Gransberg, 2009) include the “Schedule Quality Analysis” and a guideline for schedule constructability. The ‘Practice Standard for Scheduling’ proposed by the Project Management Institute (2007) entails a schedule quality assessment method that can be used to develop a good quality schedule. The GAO “Schedule Assessment Guide” (2012) describes ten recommended best practices for project schedules. The US Defense Contract Management Agency (DCMA) has de-

veloped 14 metric points aimed at identifying potential problem areas with a contractor’s Integrated Master Schedule (DCMA, 2012). Almost all existing standards about schedule quality are not construction-oriented, and the schedule development phase is not sufficiently highlighted.

Traditional scheduling processes classify schedules into two main classes related to level of detail: Master schedule and Detailed schedule. The Master Schedule is the most complete schedule for a construction project, and it covers all construction phases and elements. Generally, the owner’s project team develops the Master Schedule, while the General Contractor develops the detailed schedule upon the award of contract, and submits it to the owner for approval, with the exception of design – build projects. In this case, the General Contractor also performs the

detailed design phase, and submits either a master schedule or an Integrated Master Schedule to the owner (DCMA, 2012).

The Project Management Body of Knowledge (2013), instead, proposes a three-level schedule definition, while the Practice Standard for Scheduling of PMI (2007) indicates a hierarchy of five levels of schedule development. Seppänen, Ballard and Pesonen (2010) propose a scheduling process articulated into four levels of detail (i.e., Master Schedule, Phase Schedule, Look-ahead Schedule and Weekly Plan), in the context of the combination of the Last Planner System and of the Location-Based Management System. Instead, the GAO Schedule Assessment Guide (GAO, 2012) defines three levels of detail for schedules. A similar approach can be found in the Italian context of public works, with the difference of the

to delle specifiche contrattuali. Moosavi e Moselhi (2012, 2014) individuano una metodologia strutturata per la valutazione e l'approvazione dei programmi dettagliati degli appaltatori basata su di una check list. Han, Choi and O'Connor (2016) indicano che la qualità del programma di *baseline* può essere valutata tramite 49 requisiti riconosciuti nel settore delle costruzioni.

In questo contesto, tre sono i fondamentali requisiti che devono essere soddisfatti dal programma di *baseline* dell'appaltatore. Il primo è la durata complessiva dei lavori, in quanto l'ultimazione in ritardo non è ammissibile. Il secondo requisito riguarda la produttività che deve essere espressa dal processo costruttivo. Il terzo riguarda la sicurezza e salute della fase di costruzione, infatti il cronoprogramma specifico per la sicurezza deve indicare un flusso sicuro del lavoro, evitando l'esposizione ai rischi dei lavoratori. Questi tre requisiti sono tutti contenuti nei documenti contrattuali e per questo l'approvazione del programma di *baseline* deve essere basato su di essi.

### Schedule Health Assessment

Nella ricerca in corso di svolgimento sul tema della qualità della programmazione, è stata proposta una procedura di valutazione della qualità del cronoprogramma denominata *Schedule Health Assessment*, che si propone possa essere utilizzata per la procedura di valutazione ed approvazione del programma esecutivo proposto dall'appaltatore (Bragadin and Kähkönen, 2016, Bragadin, 2018). L'approccio proposto è stato sviluppato a partire da una analisi della letteratura nella quale sono stati evidenziati 156 differenti requisiti di qualità per la programmazione. Questi requisiti sono stati classificati, analizzati e raggruppati per lo specifico soggetto, contenu-

intermediate schedule being safety-oriented and included in the Health and Safety Coordination plan. In Italy, the law applicable for public works' Code of Contracts (Legislative Decree no. 50/2016) identifies the Master Schedule as the "Cronoprogramma". In this hierarchy, the third level of development of the construction schedule is the detailed schedule "Programma Esecutivo Dettagliato", developed by the contractor and submitted to the owner's works supervisor ("Direttore dei Lavori"). When approved by the owner the contractor's schedule becomes the baseline.

De La Garza (1990) defines a subset of scheduling principles to enable the contractor's schedule evaluation process for subsequent automation, while Russell and Udaipurwala (2000) indicate that quality assessment of a contractor's construction schedule should

be related to construction strategy. Zafar and Rasmussen (2001) highlight the importance of the baseline schedule approval in construction projects, and indicate that non-compliance with the contract is the major cause of rejection of the phase schedule. Moosavi and Moselhi (2012; 2014) define a structured methodology for the evaluation and approval of contractors' detailed schedule, based on a checklist. Han, Choi and O'Connor (2016) indicate that the quality of a baseline schedule can be evaluated by 49 construction industry-recognised schedule quality metrics.

In this context, the contractor's baseline schedule has to meet three major requirements. The first is the total project duration: no late completion is allowed. The second requirement is about the needed production rate of the construction process. The third

concerns health and safety of the construction process. The safety-oriented schedule should indicate a safe flow of work, avoiding hazard exposure of crews performing construction operations. All these three requirements are included in contract documents and, therefore, baseline schedule approval should be based on them.

1. Requisiti generali di programmazione;
2. Requisiti del processo costruttivo;
3. Requisiti di meccanica della schedulazione;
4. Requisiti di costo e risorse;
5. Requisiti del processo di controllo.

Ogni indicatore ha l'obiettivo di misurare la prestazione del processo di programmazione e del cronoprogramma dei lavori stesso. Il processo di sviluppo di un programma è normalmente articolato in tre fasi per la preparazione di: i) *Master Schedule*; ii) *baseline* (nella fase di progettazione operativa); iii) aggiornamento del programma (nella fase di controllo). Pertanto, il controllo di qualità della programmazione e del programma deve essere realizzato in queste fasi, e di conseguenza se lo *Schedule Health Assessment* è realizzato nella fase progettuale per un *Master Schedule* devono essere usati solo gli indicatori numero 1, 2 e 3 che utilizzano 55 requisiti. In caso di valutazione di un programma dettagliato nella fase di gara o di progettazione operativa per la definizione della *baseline*, si include anche l'indicatore numero 4 e si applicano quindi 64 requisiti. Se lo *Schedule Health Assessment* è svolto nella fase di aggiornamento della programmazione vengono utilizzati tutti e cinque gli indicatori e si applica l'insieme completo dei 75 requisiti (Fig. 1; Tab. 1). La valutazione si svolge semplicemente controllando la rispondenza di ogni re-

quirements have been classified, analysed and grouped by specific subject, content and purpose. These requirements have been used as background data to indicate a set of 75 detailed requirements of schedule and scheduling quality. The complete list and explanation of the detailed requirements can be found in Bragadin and Kähkönen (2016). The proposed procedure is based upon five schedule health indicators that group 75 requirements related to the quality of schedule and scheduling process. The indicators are the following:

### Schedule Health Assessment

The research behind this paper proposes a Schedule Health Assessment procedure to evaluate schedule quality. It suggests adopting the Schedule Health Assessment approach for the contractor's schedule review and approval (Bragadin and Kähkönen, 2016; Bragadin, 2018).

The proposed approach originates from a literature analysis in which 156 different quality requirements for scheduling have been detected. These

requirements have been classified, analysed and grouped by specific subject, content and purpose. These requirements have been used as background data to indicate a set of 75 detailed requirements of schedule and scheduling quality. The complete list and explanation of the detailed requirements can be found in Bragadin and Kähkönen (2016). The proposed procedure is based upon five schedule health indicators that group 75 requirements related to the quality of schedule and scheduling process. The indicators are the following:

1. general requirements;
2. construction process requirements;
3. schedule mechanics requirements;
4. cost and resources requirements;
5. control process requirements.

Each Indicator measures the performance of the scheduling process and of the construction schedule itself.

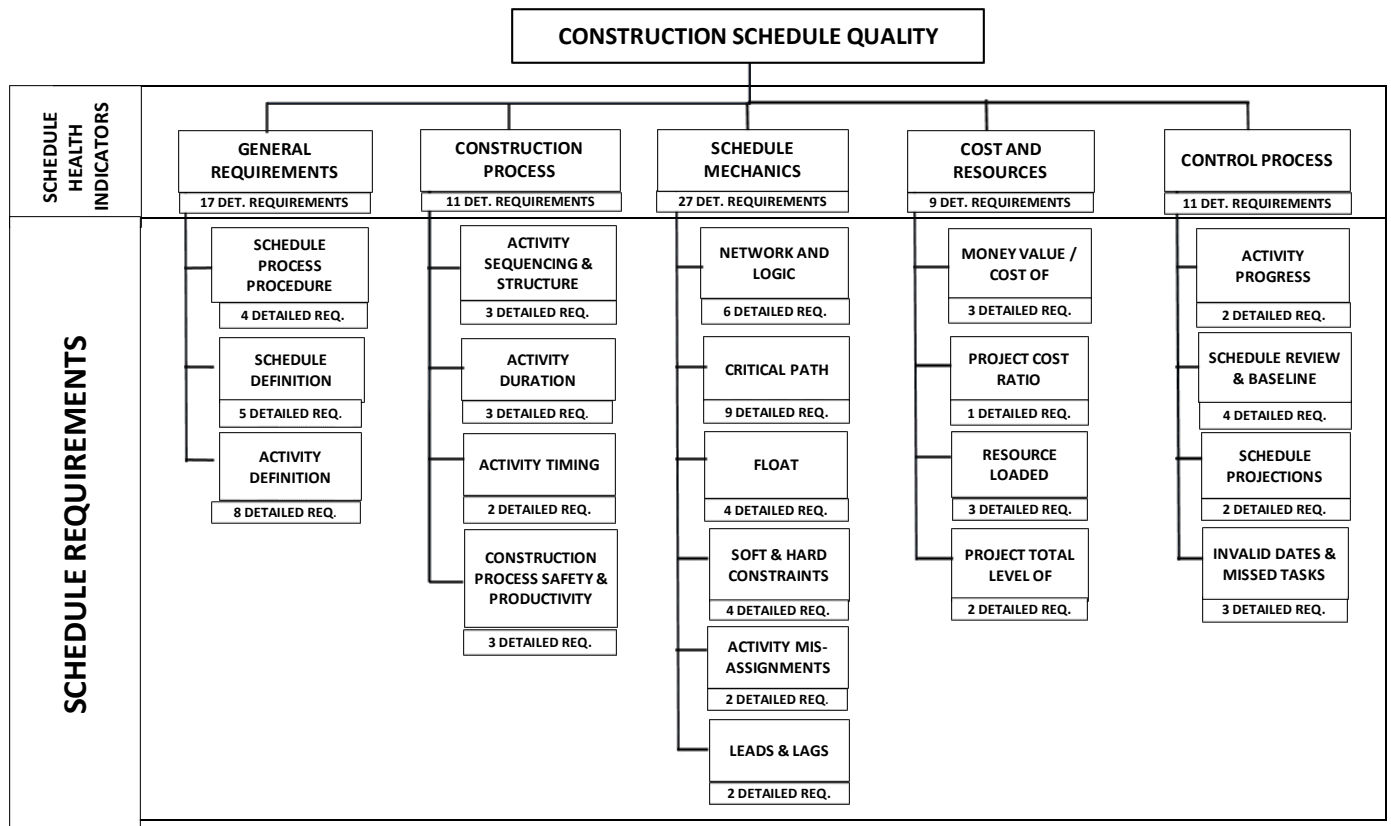
quisito nel programma con una checklist, assegnando un punto per ogni requisito soddisfatto, zero in caso contrario. Quindi è possibile svolgere la valutazione di qualità in modo molto semplice e rapido. Per la valutazione è necessario considerare l'importanza relativa di ogni indicatore sulla qualità globale. Infatti, i cinque indicatori di prestazione, *Schedule Health Indicator*, non hanno la stessa importanza nel processo di pianificazione

e programmazione. Mentre alcuni studi e linee guida si focalizzano sui requisiti di costruibilità, ovvero l'indicatore numero 2, Requisiti del processo costruttivo (De la Garza, 1990, Dzeng and Lee, 2004, Douglas and Gransberg 2009), la maggior parte delle linee guida, insieme a Moosavi e Mosehli (2012), focalizzano l'importanza dello sviluppo della programmazione e della meccanica reticolare, ovvero gli indicatori numero 1, i Requisiti

Tab.01 |

SCHEDULE HEALTH INDICATORS:		GENERAL	CONSTRUCT. PROCESS	SCHEDULE MECH.	COST AND RES.	CONTROL PROCESS	TOTAL WEIGHT	
		(17 Req.)	(11 Req.)	(27 Req.)	(9 Req.)	(11 Req.)		
SCHEDULE DEVELOPMENT PHASES	PREPARATION PHASE	MASTER SCHEDULE	31%	20%	49%	/	/	100%
	UPDATING PHASE	BASELINE SCHEDULE	27%	17%	42%	14%	/	100%
		SCHEDULE UPDATING	23%	15%	36%	12%	14%	100%

01 |



generali, e 3, i Requisiti di meccanica della schedulazione (PMI, 2007, US DICMA 2012; PMSC – NDIA, 2012). Sebbene i requisiti relativi ai costi ed alla allocazione delle risorse siano ritenuti componenti fondamentali del project management, essi sembrano avere nella letteratura una importanza minore per la qualità di un programma. Lo stesso dicasi per i requisiti di *project control*. Ad esclusione dei requisiti basati su specifiche contrattuali, non si hanno ulteriori informazioni concernenti l'importanza relativa degli indicatori di qualità e dei requisiti di dettaglio, mentre il numero dei requisiti che compongono ogni indicatore sembra indicare una gerarchia simile a quella presente in letteratura. Pertanto, il presente metodo propone di pesare ogni *Schedule Health Indicator* in funzione del numero dei requisiti di dettaglio che lo compongono, in relazione al numero totale dei requisiti (Tab. 1). Un approccio simile è descritto nel lavoro di Zwikael and Globerson (2004). Con queste ipotesi il primo passo della procedura di valutazione di qualità può essere completato. Il secondo passo si sviluppa considerando i requisiti dati dalle specifiche contrattuali, come descritto nel testo seguente.

I progetti del Settore delle costruzioni sono processi produttivi su commessa, basati su di un contratto, quindi una valutazione delle specifiche contrattuali deve essere sviluppata. Nei progetti reali infatti la *baseline* per il controllo dell'avanzamento deve soddisfare le specifiche contrattuali. L'approccio proposto per il controllo di qualità della *baseline* e la sua approvazione si basa quindi sia su di una valutazione basata sul contratto che sullo *Schedule Health Assessment*. La valutazione basata sul contratto fornisce una valutazione sintetica di alcune caratteristiche del programma del tipo Yes/No, passa/non passa, mentre la procedura *Schedule Health Assessment* fornisce un indicatore com-

pletivo “di salute”, *Total Schedule Health Indicator*, che indica un livello di qualità. I fondamentali requisiti contrattuali possono essere sintetizzati come segue:

- durata contrattuale del progetto: non è permesso il ritardo del completamento dei lavori;
- WBS check: l'ambito totale del lavoro come descritto nella Work Breakdown Structure WBS deve essere realizzato nei limiti previsti dal programma; i costi e le risorse devono essere allocati se richiesto;
- logica del processo: il flusso del lavoro indicato dalla logica del processo produttivo del programma di *baseline* deve essere fattibile e sicuro; non sono ammesse interferenze.

Per l'approvazione basata sul contratto il programma di *baseline* deve soddisfare i tre succitati requisiti. Si noti che questi tre requisiti sono inclusi già nella procedura di *Schedule Health Assessment* come requisiti di dettaglio (Bragadin and Kahkonen, 2016), ma il loro soddisfacimento deve essere maggiormente enfatizzato con una valutazione separata per evidenziare la loro importanza nei programmi e progetti basati su contratto. Quindi, per la procedura proposta di valutazione della *baseline* sono utilizzati gli indicatori di qualità di *baseline* in coordinamento con le specifiche di contratto Yes/No. Si osservi che se una specifica di contratto non è soddisfatta dal programma, questo non può essere accettato dal committente come programma di *baseline* (Fig. 2).

### Caso di studio

Un caso di studio basato su di un gioco di simulazione è stato utilizzato per sviluppare la valutazione del programma di *baseline*. Il caso di studio consisteva nel progetto di recupero edilizio di una pinacoteca in una piccola cittadina del nord Italia per il quale tre

The development process of a construction schedule usually consists of three stages: preparation of i) master schedule and ii) baseline schedule (in the planning stage), and iii) schedule updating (in the control stage). Therefore, quality checking of schedules and scheduling process should be implemented in relation to those stages. If the Schedule Health Assessment is performed in the preparation phase for a master schedule, a set of weights related to indicators one, two and three will be used, involving only 55 requirements. In case of evaluation of a detailed schedule during the bid phase for project baseline definition, the indicator number four will be included and the related set will apply (64 requirements). If the Schedule Health Assessment is performed in the schedule updating phase, all indicators will be needed, along with the

complete set of 75 requirements (Fig. 1 and Tab. 1).

The evaluation can be performed easily by checking the specified detailed requirements with a checklist: one point is earned for each fulfilled requirement, otherwise no points are given. Therefore, a quality assessment of the construction schedule can be performed with a rather simple method. But for evaluation purposes the procedure needs to take into account the relative importance of each indicator to the global quality of the schedule. Indeed, the five Schedule Health Indicators do not have the same importance in the planning and scheduling process. While some of the studies and recommended practices focus on requirements related to constructability, i.e., indicator no. 2 Construction Process Requirements (De la Garza, 1990, Dzenge and Lee, 2004,

Douglas and Gransberg 2009), most guidelines, as observed by Moosavi and Mosehli (2012), underscore the importance of schedule development and mechanics, i.e., indicators no. 1 General Requirements, and 3 Schedule Mechanics Requirements (PMI, 2007, US DICMA 2012; PMSC – NDIA, 2012). Although the cost and resource loading requirements are believed to be basic components of project management, they seem to have less value for schedule quality as described in the literature cited above. The same can be said for project control requirements. Excluding contract-based requirements, there is no other prior information concerning the relative importance of indicators and detailed requirements, and the number of each set of requirements composing each Indicator reveals a similar hierarchy found in literature. Therefore, the pro-

posed method weighs each Schedule Health Indicator based on the number of the detailed requirement, compared to the grand total (Tab. 1). A similar approach can be found in the work of Zwikael and Globerson (2004). A first step of the quality evaluation procedure can be completed with this assumption. A second step of the evaluation procedure needs to be performed considering contract specification requirements, as described in the following text.

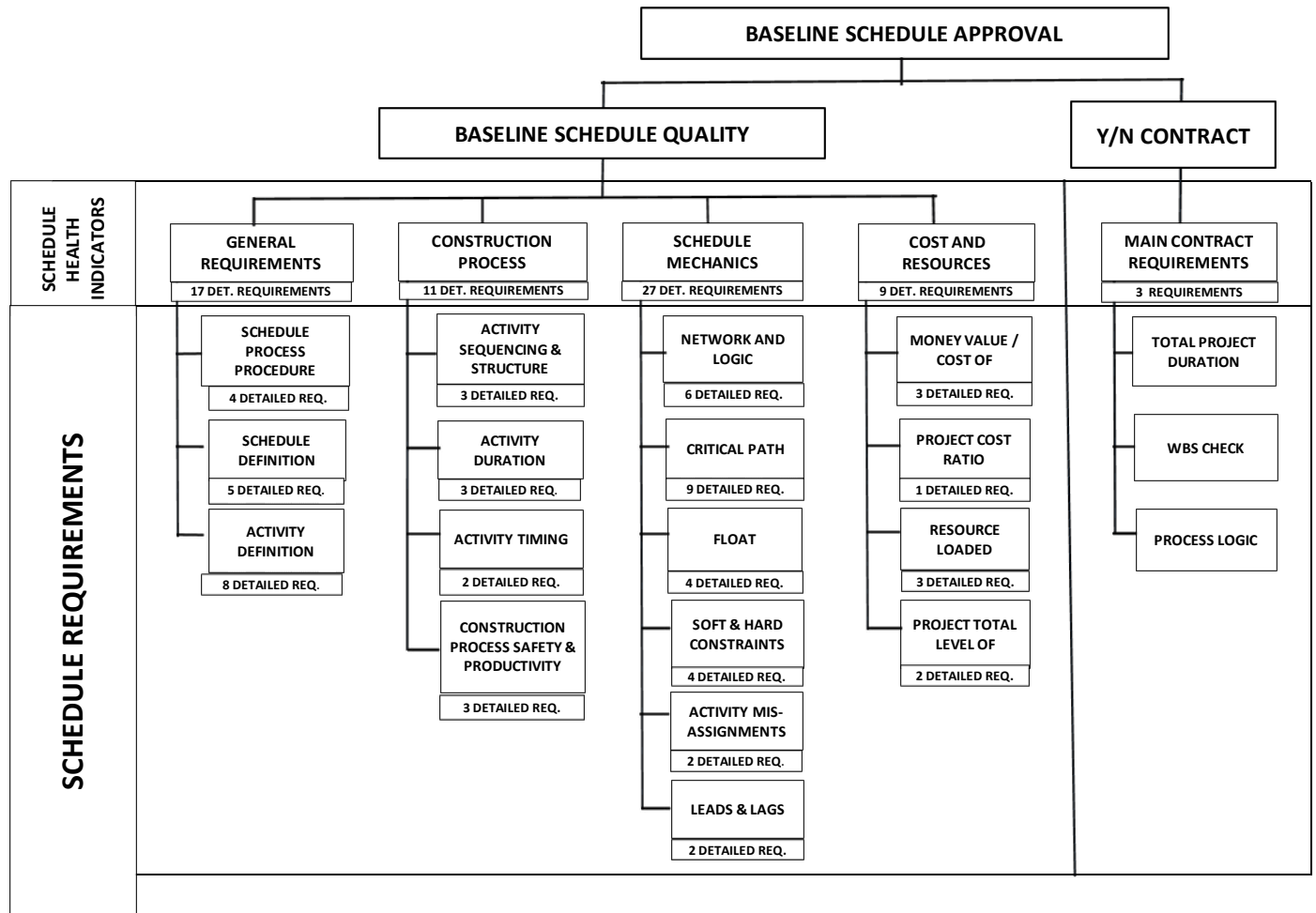
Construction projects are contract-based projects; therefore, a contract-based evaluation should be performed. Indeed, in actual projects, a baseline schedule that fulfils contractual specifications creates the basis for project control. The proposed approach for baseline schedule quality assessment and approval relies on both the contract-based evaluation and the Sched-

gruppi di studenti di una laurea magistrale in ingegneria edile – architettura hanno prodotto tre programmi lavori differenti nell’ambito del laboratorio di construction management. I tre programmi di progetto sono stati sviluppati con il software MS Project e sono descritti in un sintetico “*Basis of Schedules*” in tabella 2. Un estratto del modello reticolare di un programma (quello del programma #1) è rappresentato in figura 3. Nel gioco di simulazione ogni programma è stato valutato con l’approccio *Schedule Health Assessment* e la valutazione dei requisiti contrattuali proposta per l’approvazione del programma baseline (Tab. 3).

**Discussione dei risultati ed analisi di sensitività** L’output della procedura di *Schedule Health Assessment* per un programma di baseline (Tab.1) include la valutazione di quattro categorie differenti di requisiti, chiamati *Schedule Health Indicators*: requisiti generali

di programmazione, di processo costruttivo, di meccanica della schedulazione e di costi e risorse. Ogni indicatore è composto da un insieme di requisiti di programmazione per un totale di 64 requisiti (Fig.1). Il numero totale di requisiti non cambia e quindi neanche il numero totale di requisiti che sono soddisfatti nella valutazione *Schedule Health Assessment* (Fig. 4). Questo approccio permette di effettuare una valutazione dettagliata e quantitativa di un cronoprogramma con l’uso di una check list e di un foglio elettronico. L’output della procedura dipende anche dal peso relative di ogni indicatore. Nell’approccio proposto il peso di ogni indicatore è direttamente proporzionale (DP) al numero di requisiti che compongono ogni indicatore. Poiché questi pesi sono responsabili del valore di output della procedura di valutazione della qualità, è stata eseguita una analisi di sensitività a valori diversi dei pesi degli indicatori. Pertanto, ognuno dei quattro indicatori è stato anche pesato con un valore relativo

02 |



Tab.02 |

BASIS OF SCHEDULES (BOS)	
Schedule purpose	
The Schedule was developed by construction companies bidding for the contract, for a simulation game	
Project scope	
Project Location: Northern Italy	
Purpose: seismic rehabilitation construction project	
Type of contract: fixed price / lump sum	
Period of performance	
Expected project duration: 950 consecutive calendar days	
Schedule features and Critical Path:	
Schedule #1	
duration (working days): 573 days	
total task number: 376 (97 summary tasks & 279 tasks)	
Critical Path: single path (work site facilities, foundation reinforcement, demolitions, reinforcement of structures, roof renovation, HVAC, finishing, site facilities dismantling)	
Manpower cost and resources loaded	
Schedule #2	
duration (working days): 520 days	
total task number: 355 (96 summary tasks & 259 tasks)	
Critical Path: multiple paths (work site facilities, demolitions, reinforcement of structures, dismantling of site facilities)	
Manpower cost and resources loaded	
Schedule #3	
duration (working days): 1068 days	
total task number: 842 (442 summary tasks & 400 tasks)	
Critical Path: single path (work site facilities, roof renovation, reinforcement of structures, finishing, dismantling of site facilities).	

ule Health Assessment. The contract-based evaluation provides a pass/fail (Yes/No) assessment of the schedule, while the Schedule Health Assessment procedure provides a total health indicator of the schedule for quality ranking. Main contract requirements are summarised as follows:

- total project duration: no late completion is allowed;
- WBS check: the total scope of work, as described in the WBS, to be performed within the estimated deadlines of the schedule; cost and resources are loaded upon request;
- process logic: a feasible and safe flow of work to be indicated by the process logic of baseline schedule; no interferences are allowed.

For the contract-based approval, the baseline schedule must fulfil all these three baseline requirements. Note that these three baseline requirements

are already included in the Schedule Health Assessment procedure as detailed requirements (Bragadin and Kahkonen, 2016), but their fulfilment should be emphasised by a separate evaluation to highlight their importance in contract-based schedules and projects. Hence, for the baseline evaluation procedure, the baseline schedule health indicators are then used in coordination with the Yes/No contract specification. Note that if a contract specification is not fulfilled by the schedule, it cannot be accepted by the owner as a baseline schedule (Fig. 2).

#### Case Study

A case study based on a simulation game concerning an actual building project was used to carry out the proposed baseline schedule evaluation. Three groups of students of a university master programme in building en-

Tab.03 |

BASELINE SCHEDULE EVALUATION - DP								
Estimated Contract Time: 950 days								
Schedule ID	Contract specifications:			Schedule Health Indicators:				
	Total project duration	WBS check	Process rationale	1) General	2) Construction	3) Mechanics	4) Cost & res.	SH index
Schedule #1	yes	yes	yes	19%	15%	33%	8%	75%
Schedule #2	yes	yes	yes	13%	15%	23%	8%	59%
Schedule #3	no	yes	yes	14%	17%	39%	3%	73%

uguale per tutti (EQ, il 25%), oppure per una terza analisi è stato dato un peso maggiore ai primi tre indicatori (generale, costruttivo, meccanica, il 27% ognuno per un totale di 81%) e un peso inferiore è stato dato all'indicatore dei costi e delle risorse (19%). Quest'ultima analisi è stata etichettata Major-Minor (MM). I risultati dell'analisi di sensitività sono presentati in tabella 4. L'analisi di sensitività conferma la valutazione realizzata, in quanto la posizione relativa data dal livello di qualità complessivo *SH index* per i tre programmi resta invariata, ed inoltre il valore *SH index* del programma #1 è sostanzialmente lo stesso nelle tre analisi.

Oltre al valore di *SH index*, i tre requisiti contrattuali che concernono la durata totale dei lavori, la WBS e la logica di processo sono valutati per i fini dell'approvazione della baseline. I risultati ottenuti indicano che solo due programmi passano l'esame delle tre specifiche contrattuali (Tab. 3), in quanto il programma #3

gineering and architecture developed three different project schedules for a renovation building project of an Art Gallery in a small town in northern Italy, during a construction management workshop. The three project schedules were developed with the software MS Project, and they are described in the essential Basis of Schedules in table 2. An excerpt of a network model (of schedule #1) is displayed in figure 3. In the simulation game, each schedule has been evaluated with the Schedule Health Assessment approach, and by assessing contract requirements for the proposed procedure's baseline schedule approval (Tab. 3).

#### Discussion of results and sensitivity analysis

The output of the schedule quality assessment procedure for a baseline schedule (Tab. 1) includes the evalua-

tion of four different categories of requirements, termed Schedule Health Indicators: general schedule requirements, construction process, schedule mechanics and cost & resources. Each indicator comprises a set of schedule requirements for a total number of 64 requirements (Fig.1). The total number of requirements does not change, and neither does the number of fulfilled requirements in the Schedule Health Assessment evaluation (Fig. 4). This approach allows to perform a detailed and quantitative evaluation of schedule quality with a checklist and a spreadsheet. The output of the schedule health assessment procedure also depends on the relative weights of each indicator. In the proposed approach the weight of each indicator is directly proportional (DP) to the number of requirements that compose each indicator. Given that they are respon-

03 | Screenshot di un estratto del reticolo del cronoprogramma #1  
*Screenshot of an excerpt of network model of schedule #1*

04 | Diagrammi radar dello Schedule Health Assessment per i programmi #1, #2 e #3  
*Radar diagram of Schedule Health Assessment for schedule #1, #2 and #3*

Tab.04 | Analisi di sensitività per lo Schedule Health Assessment  
*Sensitivity analysis of Schedule Health Assessment*

Schedule ID	SH index (DP)	SH index (EQ)	SH (MM)
Schedule #1	75%	74%	75%
Schedule #2	59%	62%	63%
Schedule #3	73%	67%	71%

Tab.04

non soddisfa il requisito della durata complessiva di *baseline*. Lo *Schedule Health Assessment* produce tre diversi livelli di qualità della programmazione (si vedano gli *SH index* delle Tab. 3 e 4). Il programma #1 ottiene il miglior valore dell'indice di qualità (SH ≈ 75%), mentre il programma #3 ha un buon valore SH, ma non soddisfa una specifica contrattuale. Il valore più basso di SH è quello del programma #2, che in ogni modo soddisfa tutte e tre le specifiche contrattuali. Il programma #3 ottiene un valore molto buono nell'indicatore numero 3 (meccanica di schedulazione), ma ha una bassa prestazione nell'indicatore numero 4 (costi e risorse). Pertanto, la differenza tra l'indice *Schedule Health SH* è grande tra i programmi #1 e #2, ma piccolo tra #1 e #3. I diagrammi radar che rappresentano questi risultati sono rappresentati in figura 4.

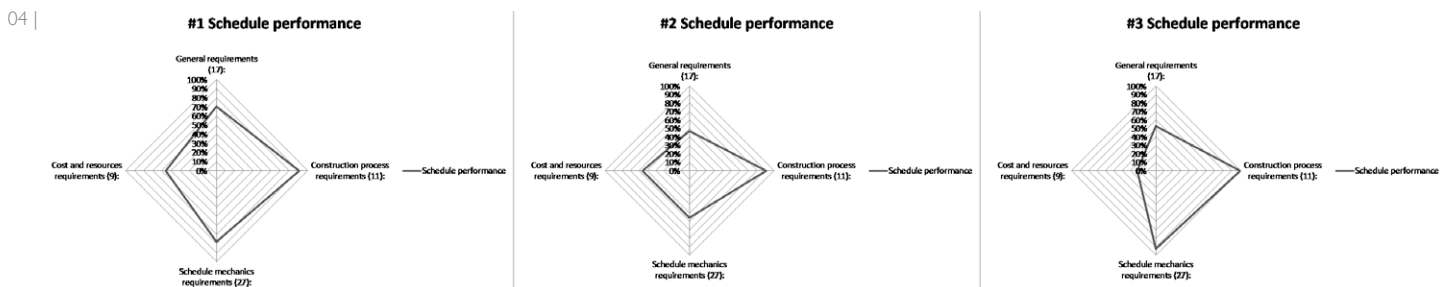
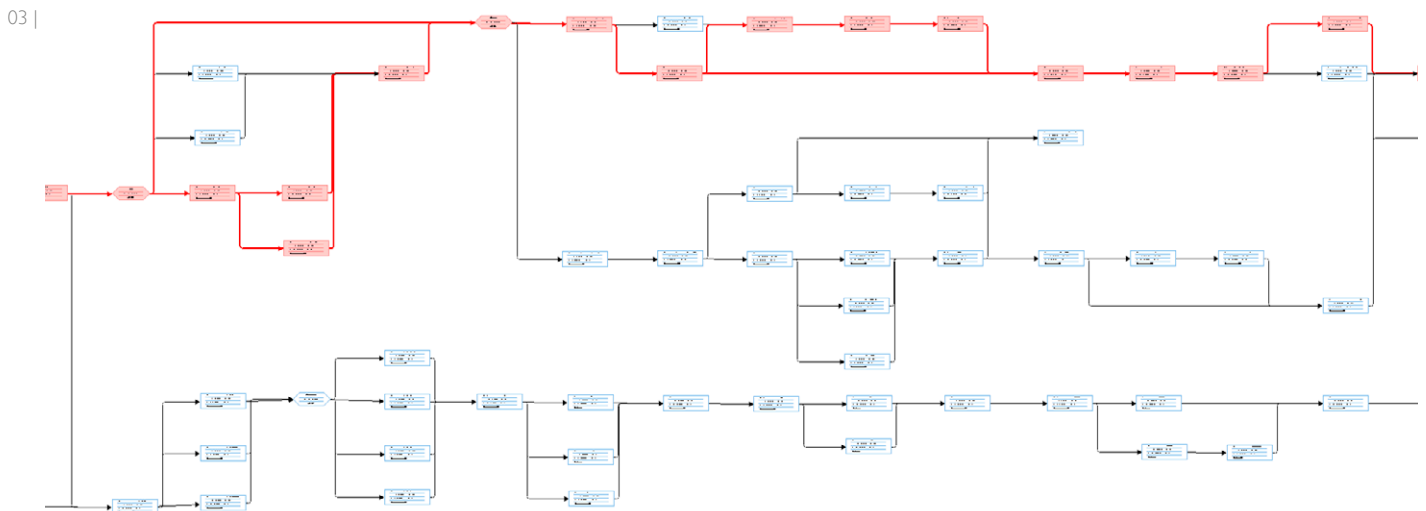
### Conclusioni

La qualità del programma dei lavori non garantisce l'effettiva qualità dei processi e dei prodotti di costruzione, ma sicuramente un cronoprogramma di buona qualità è il primo passo per raggiungere gli obiettivi del progetto. Il programma dei lavori è infatti la base per l'esecuzione e il controllo dei lavori poiché indica per ogni fase del progetto e per ogni *work package* le risorse,

i costi e le durate programmate ed effettive. La valutazione della qualità di un programma dei lavori viene raramente eseguita in modo strutturato. Il risultato del lavoro di ricerca è la comprensione del livello di soddisfacimento dei requisiti di qualità per ciascun programma valutato. Pertanto, è possibile selezionare il programma migliore e la corrispondente progettazione del processo. I limiti del lavoro presentato riguardano la valutazione di un singolo caso di studio pilota e la valutazione delle sue tre varianti di programma lavori. I futuri lavori di ricerca continueranno a studiare l'approccio per la valutazione della qualità di un programma con l'obiettivo di testare il metodo proposto su un numero maggiore di progetti e dati.

### REFERENCES

Association for Project Management, APM (2012), *The Scheduling Maturity Model*, APM U.K.  
 Bragadin, M.A. (2018), "Quality driven scheduling in construction", *Tampere university of technology*, Publication n. 1536.  
 Bragadin, M. and Kähkönen, K. (2016), "Schedule Health Assessment of Construction Projects", *Construction Management and Economics*, n. 34:12, pp. 875-897.





De La Garza, J.M. (1990), "Knowledge-Elicitation Study in Construction Scheduling Domain", *Journal of Computing in Civil Engineering*, n. 4(2), pp. 135-153.

Douglas, E.E. (2006), "Recommended Practice n. 14R-90: Schedule Quality Analysis", *AACE International*.

Douglas, E.E. (2009), "Recommended Practice n. 48R-06: Schedule constructability review", *AACE International*.

Douglas, E.E. and Gransberg, D.D. (2009), "Recommended Practice n. 30R-03: Implementing project constructability", *AACE International*.

Dzeng, R.J. and Lee, H.Y. (2004), "Critiquing contractors' scheduling by integrating rule-based and case-based reasoning", *Automation in Construction*, n. 13, pp. 665-678.

Han, Choi and O'Connor (2016), "Quality of Baseline Schedules: Lesson from Higher Education Capital Facility Project", *Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice*, n. 143(1).

Kenley, R. and Seppänen, O. (2010), *Location-Based Management for Construction: planning, scheduling and control*, Spon Press, Routledge, U.K.

Moosavi, S.F. and Moselhi, O. (2012), "Schedule Assessment and Evaluation", *Proceedings of the Construction Research Congress 2012* (American Association of Civil Engineering ASCE).

Moosavi, S.F. and Moselhi, O. (2014), "Review of Detailed Schedules in Building Construction", *Journal of Legal Affairs and Dispute Resolution in Engineering and Construction* (ASCE).

Program Management System Committee - PMSC (2012), *Planning and Scheduling Excellence Guide (PASEG) v. 2.0.*, National Defense Industrial Association (NDIA).

Project Management Institute (2007), *Practice Standard for Scheduling*, PMI Project Management Institute, Inc. U.S.

Project Management Institute (2013), *A Guide to the Project Management Body of Knowledge*, PMI Project Management Institute, Inc. U.S.

sible for the final output of the quality assessment, a sensitivity evaluation to different weights was performed. Hence, each of the four indicators was weighted with the same weight (equal weight EQ, i.e., 25%) or as a third run; a major weight was given to the first three indicators (general, construction, mechanics, 27% each for a grand total of 81%) and a minor weight was given to the cost and resource indicator (19%). The latter run was termed Major-Minor (MM). The results of the sensitivity analysis are reported in Table 4. The sensitivity analysis confirms the evaluation performed, as the relative position of the quality grade SH index of the three schedules remains unchanged, and also the SH index of schedule #1 is almost the same in the three simulations. In addition to the SH index, the three contract requirements concerning to-

tal project duration, WBS and process logic are evaluated for the baseline approval purpose. The results obtained propose that only two schedules pass all three mandatory contract specifications (Tab. 3), since schedule #3 does not accomplish the evaluated baseline completion. The Schedule Health Assessment produces three different grades of schedule quality (i.e., SH index of Tab. 3 and Tab. 4). Schedule #1 produces the best quality index value (SH  $\approx$  75%), while Schedule #3 has a good SH value, but one contract specification is missing. The worst SH value is that of schedule #2 that, anyhow, meets all the three requested contract specifications. Schedule #3 achieves a very good grade in indicator no. 3 (Schedule mechanics), but poor performance in indicator no. 4 (cost and resources). Therefore, the difference between the Schedule Health grade SH

Russell, A.D. and Udaipurwala A. (2000), "Assessing the Quality of a Construction Schedule", *Proceedings of the Construction Congress VI: Building together for a Better Tomorrow in an Increasingly complex World* (American Association of Civil Engineering ASCE).

Seppänen, O., Ballard, G. and Pesonen, S., (2010), "The Combination of Last Planner System and Location-Based Management System", *Lean Construction Journal*, pp. 43-54.

U.S. Defense Contract Management Agency - DCMA (2012), *Earned Value Management System (EVMS) Program Analysis Pamphlet (PAP)*, U. S. Department of Defense DCMA.

United States Government Accountability Office - GAO (2012), *GAO Schedule Assessment guide*, GAO-12-120G, U.S.

Zafar, Z.Q. and Rasmussen, D. (2001), "Baseline Schedule Approval", *Cost Engineering*, Vol. 43, N. 8, pp. 41-43.

Zwikael, O. and Globerson, S. (2004), "Evaluating the quality of project planning: a model and field results", *International Journal of Production Research*, Vol. 42, Issue 8, pp. 1545-1556.

is large between schedules #1 and #2, but small between #1 and #3. Radar diagrams displaying these results can be found in figures no. 4.

### Conclusions

The quality of a construction schedule does not guarantee the actual quality of the construction processes and products, but it is evident that a good quality schedule is the first step to achieve project objectives. The project schedule is, in fact, the basis for project execution and control as it indicates the planned and actual resources, costs and durations for each project phase and work packages. Quality assessment of a construction schedule is rarely performed in a structured manner. The output of the research work is an understanding of the level of fulfillment of quality requirements for each evaluated schedule. It is, thus, possible

to select the best schedule and the corresponding process design. In this paper, limitations concern the evaluation of a single pilot study, and its three evaluated variations of the project schedule. Future research work will continue to investigate the schedule quality approach with the aim of testing the proposed method on a larger number of projects and data.