

POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea Magistrale
in Ingegneria Gestionale

Tesi di Laurea Magistrale

MODELLO DI INTEGRAZIONE DEL RISCHIO NELL'ESTIMATE AT
COMPLETION



Relatore

Prof. Alberto De Marco

Candidato

Valerio Lenti

Anno Accademico 2019/2020

Indice

Indice delle figure	4
Introduzione	6
Capitolo 1. L'Earned Value Management e l'Earned at Completion	8
1.1. Prerequisiti del modello	10
1.2. Il modello	16
1.3. Le stime a finire	23
Capitolo 2. Il Project Risk Management	28
2.1. Il Project Risk Management.....	30
2.2. L'identificazione del rischio	32
2.3. La Risk Breakdown Structure	36
2.4. La valutazione del rischio e la Risk Breakdown Matrix	44
2.5. La Contingency Reserve e l'Expected Monetary Value	50
Capitolo 3. Integrazione del rischio nelle stime a finire.....	54
3.1. Esempi di integrazione tra EVM e PRM	55
3.2. L'integrazione del rischio per Muhammad Jamaluddin Thaheem	61
3.3. Gli indicatori di performance e rischio nel settore delle costruzioni	67
3.4. Una nuova formulazione per il Risk Performance Index	71
Conclusione	79
Bibliografia	82

Indice delle figure

Capitolo 1

Figura 1.1: Esempio di WBS per la costruzione di una bici	11
Figura 1.2: Composizione del Project Budget Base.....	13
Figura 1.3: S-Curve	17
Figura 1.4: Parametri rilevanti ad un dato periodo sulla S-Curve di un progetto.....	18
Figura 1.5: Scostamenti CV ed SV sul grafico Tempi-Costi.....	19
Figura 1.6: Andamento di CV ed SV sulla durata di un progetto	21
Figura 1.7: Possibili stati di un progetto.....	22
Figura 1.8: Indicatori per lo US Navy's A12 Program	27

Capitolo 2

Figura 2.1: Flusso delle attività del PRMP	31
Figura 2.2: Relazione causa, rischio ed effetto.	35
Figura 2.3: Risk Breakdown Structure	37
Figura 2.4: RBS per progetti di costruzioni.....	39
Figura 2.5:Tassonomia del rischio per progetti di costruzioni	41
Figura 2.6: RBS per progetti di costruzione di derivazione accademica	42
Figura 2.7: Codifica etichette per l'assegnazione della probabilità	45
Figura 2.8: P-I Grid.....	48
Figura 2.9: Risk Breakdown Matrix.	49
Figura 2.10: Calcolo dell'Expected Monetary Value per la vittoria ad una lotteria.....	52

Capitolo 3

Figura 3.1: Stochastic S-Curve	56
--------------------------------------	----

Figura 3.2: Stime a finire nella SS-Curve.	56
Figura 3.3: Profilo grafico delle S-Curve.	57
Figura 3.4: Relazione tra qualità dei processi ed indicatori di rischio.....	60
Figura 3.5: Tabella riassuntiva dei fattori utilizzati per costruire il Risk Performance Index ..	63
Figura 3.6: Tabella riassuntiva dei pesi del Estimate at Completion	64
Figura 3.7: Risk Breakdown Matrix	73
Figura 3.8: Codifica per la valutazione della probabilità.....	74
Figura 3.9: Codifica per la valutazione dell'impatto.....	74
Figura 3. 10: Risk Breakdown Matrix (t = 0)	77
Figura 3.11: Risk Breakdown Matrix (t = 1)	78

Introduzione

Allo stato attuale l'Earned Value Management è il modello di monitoraggio dei progetti maggiormente utilizzato a livello industriale, poiché concilia una grande semplicità di applicazione ad un'ottima efficacia dei risultati. Il metodo si basa sul calcolo degli scostamenti di tempi e costi dalla pianificazione, per acquisire informazioni circa la performance dei lavori e la direzione che intraprenderanno. Nello specifico questa tesi è interessata all'Estimate at Completion, uno strumento del modello che consente di predire il costo di completamento finale dei progetti proiettando al futuro le loro performance. Questo risultato è raggiungibile grazie all'utilizzo di due indicatori nel calcolo dell'Estimate at Completion: il Cost Performance Index e lo Schedule Performance Index.

Questa tesi porrà l'accento sulle stime che prevedono l'utilizzo di entrambi gli indicatori, poiché presentano il vantaggio di incorporare sia le variazioni dei costi che quelle dei tempi, in quanto entrambe sono rilevanti ai fini della composizione del budget finale. È però necessario sottolineare che questo tipo di stime soffrono dell'assenza di altri aspetti rilevanti che influiscono sul risultato finale dei progetti. Tali circostanze si possono sintetizzare nel rischio, l'insieme di tutte le eventualità non previste che possono avere un impatto sui lavori. Proprio partendo da questo assunto, in letteratura sono presenti varie proposte di superamento dell'Estimate at Completion e questa tesi ha preso ispirazione proprio da una di queste. La ricerca in questione è "Estimated Cost at Completion: Integrating Risk into Earned Value Management" di Muhammad Jamaluddin Thahem, in cui si propone di affiancare al Cost Performance Index ed allo Schedule Performance Index un nuovo indicatore. Quest'ultimo è il Risk Performance Index, un indicatore che raggruppa diversi fattori di interesse non contemplati dall'Earned Value Management. Questa tesi insisterà su questa proposta, proverà a portarne alla luce le maggiori criticità ed in ultimo ne proporrà una nuova versione.

Per raggiungere questo risultato, il lavoro è stato strutturato come una review della letteratura che esplora i concetti più rilevanti alla base dell'Estimate at Completion e del rischio, in modo da rilevare tutte le informazioni necessarie a comprendere efficacemente la ricerca da cui si è tratta ispirazione e il nuovo indicatore che si andrà a proporre. Seguendo questa linea, il primo capitolo analizzerà l'Earned Value Management in tutti i suoi aspetti ed

in particolare esporrà i fondamentali della pianificazione, che fornisce le informazioni con cui costruire il modello, lo descriverà ed analizzerà nel dettaglio le stime a finire. Il secondo capitolo sarà invece incentrato sulla descrizione del Risk Management e indagherà il rischio e gli attuali metodi di gestione. Si illustreranno le caratteristiche del rischio, il Risk Management Process e come le eventualità inattese vengono identificate, valutate ed in parte affrontate. L'ultimo capitolo della trattazione analizzerà invece alcune possibili integrazioni presenti in letteratura e successivamente si concentrerà sull'analisi e sulla critica della ricerca citata in precedenza. Definiti anche questi si arriverà al cuore nonché al termine del lavoro, in quanto sarà presentato il suo valore aggiunto, un nuovo Risk Performance Index derivato direttamente dai tool di gestione del rischio che si crede possa superare efficacemente quello descritto in precedenza.

Capitolo 1. L'Earned Value Management e l'Earned at Completion

Lo scopo finale di qualunque progetto è il raggiungimento del successo al momento della commercializzazione, sia che questa sia interna all'organizzazione che ha condotto i lavori sia che sia diretta verso un ente esterno. L'identificazione del successo non è però univoca poiché, variando l'orizzonte dell'analisi, cambia la valutazione eseguita. Infatti, nell'analisi del successo i fattori di valutazione si differenziano in base all'aspetto in esame. Come è possibile quindi valutare il successo di un progetto? La risposta a questa domanda è nel focus di chi la esegue. La valutazione del successo deve essere condotta discretizzando gli ambiti di interesse e analizzando quello ritenuto rilevante.

Formalizzando come ambito di interesse quello della gestione dei lavori, la disciplina da analizzare è quella del project management poiché racchiude le attività di analisi, progettazione e pianificazione delle operazioni. In questo campo la dottrina riconosce ampiamente come fattore critico di successo l'*Iron Triangle*, un triangolo con i vertici che rappresentano i tempi, i costi e la qualità. La soddisfazione simultanea di questi tre fattori è un traguardo particolarmente difficile da raggiungere a causa della connessione che li unisce. Di norma è necessario scegliere un trade-off tra questi obiettivi poiché per migliorare la qualità è necessario allungare i tempi ed aumentare la spesa, per ridurre i tempi serve massimizzare lo sfruttamento delle risorse con un conseguente aumento dei costi o dedicare meno tempo alle attività con conseguente riduzione della qualità ed infine per ridurre i costi è necessario riprogrammare al ribasso i tempi o ridurre la spesa nelle risorse con conseguente riduzione della qualità. Pertanto, il raggiungimento del successo gestionale passa per un sottile equilibrio.

La letteratura ha provato a superare il concetto di iron triangle aggiungendo alla valutazione altri aspetti, ad esempio affiancando ai tre pilastri la soddisfazione del cliente si ottiene il cosiddetto *Virtus Square of Criteria*, mentre si parla di esagono quando ai tre vengono avvicinati il raggiungimento degli obiettivi strategici del cliente, la soddisfazione degli utilizzatori finali e la soddisfazione degli altri utenti (Ika, 2009). Al di là delle metriche aggiunte è importante sottolineare come accanto a tempi, costi e qualità è possibile avvicinare altri fattori che possono migliorare la comprensione del successo gestionale di un

processo. Questa tesi proverà proprio a conciliare in una stima due vertici dell'iron triangle, tempi e costi, con un altro fattore la cui valutazione è fondamentale per il raggiungimento del successo, l'analisi del rischio. Nel primo capitolo si discuteranno i tool più comuni a disposizione del project manager per raggiungere il successo gestionale di un progetto mantenendo esclusivamente il focus su tempi e costi. Sarà tralasciato, invece, il controllo della qualità in quanto disciplina a sé stante e al di fuori del contesto di trattazione della tesi. Nei capitoli successivi invece si analizzerà il rischio come fattore di successo ~~il rischio~~. Il fine ultimo è quello di migliorare la comprensione della gestione di un progetto aumentando le dimensioni oggetto di valutazione, in base all'ipotesi che, così facendo, sia possibile migliorare gli strumenti di previsione e controllo utilizzati in medias res.

1.1: L'Earned Value Management

L'Earned Value Management è un modello di pianificazione e controllo nato a fine '800 e che raggiunge un primo successo a metà del '900 quando diventa standard di controllo per il dipartimento della difesa statunitense. Nello stesso periodo lo strumento fatica a diffondersi nell'industria privata, arrivando a imporsi come standard di gestione solo negli ultimi 30 anni.

Al giorno d'oggi, l'Earned Value Management è uno degli strumenti più importanti a disposizione del project manager. Il modello permette il calcolo degli scostamenti dai valori pianificati e delle stime a finire sul progetto utilizzando i dati contabili e l'avanzamento delle attività. L'idea su cui è costruito l'Earned Value Management è che l'outlook più affidabile è quello ottenuto tenendo conto della performance del progetto. Questo concetto è espresso esplicitamente nel manuale dedicato al modello del Project Management Institute (Project Management Institute, 2011, p. 5).

"A fundamental principle of EVM is that patterns and trends of performance, when compared against a soundly developed baseline, can be excellent predictors of the future project performance. Feedback is critical to the success of any project. Timely and targeted feedback can enable project managers to identify problems early and make adjustments that can keep a project on time and on budget. EVM is considered by many to be one of the most effective performance measurement and feedback tools for managing project".

In gran parte il successo dell'Earned Value Management si deve alla capacità di integrare tempi e costi di un progetto riuscendo così a cogliere il legame che li unisce. Il modello non

limita la sua applicabilità a tempi e costi, ma permette l'uso di variabili surrogate come quelle fisiche (es. superficie, peso, ecc.) o quelle relative all'attività lavorativa (es. giornate / uomo) (Anbari, 2003).

Il successo dell'Earned Value Management si deve in gran parte alla capacità di integrare tempi e costi di un progetto riuscendo così a cogliere il legame che li unisce. Il modello non limita la sua applicabilità a tempi e costi, ma permette l'uso di variabili surrogate come quelle fisiche (es. superficie, peso, ecc.) o quelle relative all'attività lavorativa (es. giornate / uomo) (Anbari, 2003).

L'Earned Value Management può essere utilizzato lungo tutta la vita di un progetto poiché la sua efficacia rimane pressoché inalterata nei vari momenti del ciclo vita. Dato che il modello proietta al futuro le performance passate, le previsioni sono tanto più accurate quanto più dati si hanno a disposizione. Oltretutto, il suo utilizzo dall'avvio del progetto è preferibile poiché permette di prendere per tempo le azioni correttive necessarie. Il tempismo in tal senso è fondamentale poiché aumenta l'efficacia di tali azioni e ne abbatte il costo. Le peculiarità appena descritte spiegano bene la versatilità dell'Earned Value Management intesa come applicabilità in progetti ontologicamente differenti.

1.1. Prerequisiti del modello

Le operazioni preliminari indispensabili per applicare l'Earned Value Management riguardano l'identificazione, la pianificazione e la gestione delle attività e dei costi ad esse associate. Si riporta di seguito una sintesi dei framework di maggiore interesse (Project Management Institute, 2011, p. 13 - 34).

1.1.1. Organizzazione delle risorse e delle attività

La prima attività svolta all'avvio di un progetto è la redazione della Work Breakdown Structure. La WBS è diagramma gerarchico costruito con logica top-down in cui vengono identificate tutte le attività da eseguire per completare il progetto. La sua costruzione parte dall'apice o livello 1, equivalente all'intero progetto, e prosegue con lo spaccettamento delle attività nei livelli inferiori. Ogni livello della WBS segue un'unica logica che deve essere utilizzata per rappresentare tutte le attività che ne fanno parte. Le più diffuse sono: la logica funzionale, che concerne una divisione per deliverables indipendenti, la logica spaziale, la logica di scomposizione per processo di lavoro, la scomposizione fisica, la logica per obiettivi,

simile ad una scomposizione per milestone. Il processo di scomposizione termina con l'identificazione dei *work package*, pacchetti di operazioni differenziati tra loro, attribuibili ad un responsabile e descrittivi di un'unica attività. La granularità dei work package è fondamentale poiché l'eccessiva ampiezza rischia di complicarne il controllo, mentre l'eccessivo dettaglio aumenta la complessità delle operazioni. Nella Figura 1.1 si riporta un esempio di WBS.

Il passo successivo alla creazione della WBS avviene incrociando questo grafico con l'*Organization Breakdown Structure OBS*¹ in modo da assegnare in modo univoco le operazioni agli individui competenti. Questa operazione, sebbene rientri nella pianificazione delle risorse, concorre anche alla gestione dei costi, in quanto il legame tra-work package e risorsa fa da ponte nell'imputare al deliverable il costo della sua realizzazione.

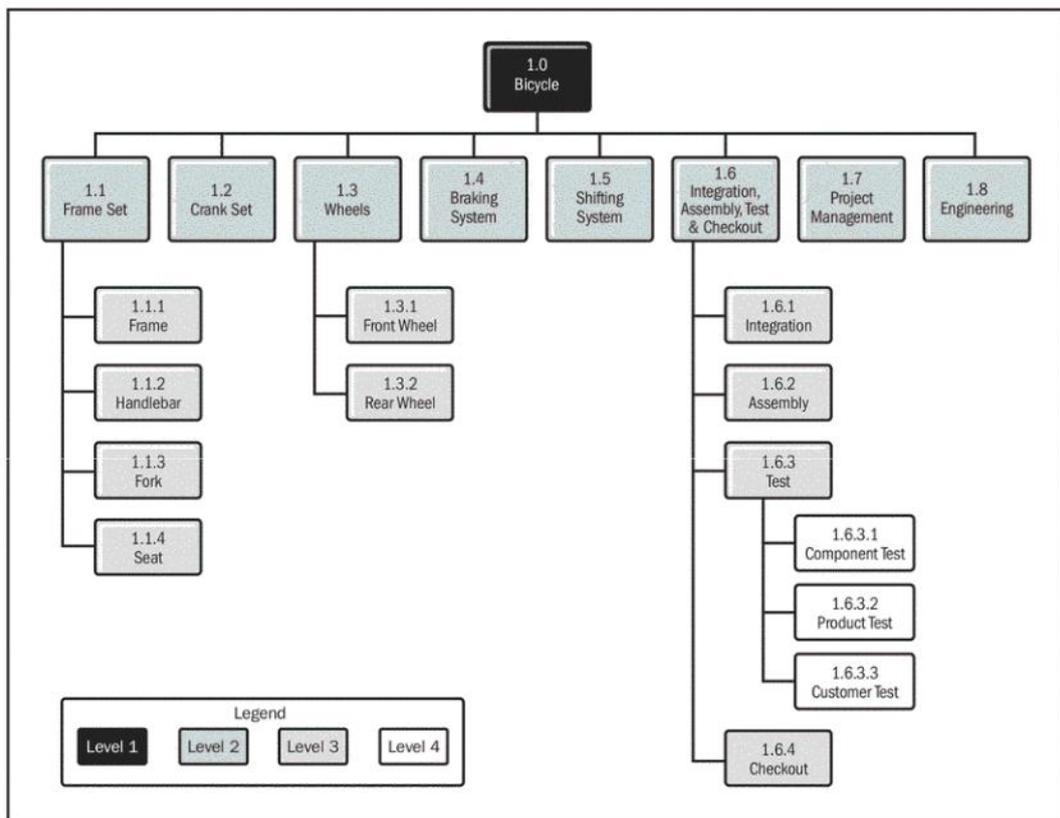


Figura 1.1: Esempio di WBS per la costruzione di una bici

¹ L'OBS è un grafo con struttura identica a quella della WBS che definisce la gerarchia delle responsabilità di un progetto. Il grado di responsabilità degli attori rispetto all'intero progetto si riduce al crescere del livello, mentre con la sua crescita del livello aumentano il tasso di operatività e la responsabilità verso contesti specifici. La chiarezza dell'OBS è fondamentale, poiché è strettamente connessa alla definizione dei ruoli e alla responsabilizzazione degli attori. L'OBS può considerarsi uno stadio pregresso della *Resource Breakdown Structure* RBS, matrice che include, oltre ai team e ai responsabili di lavoro, tutti gli elementi che concorrono alla realizzazione del progetto. Fanno infatti parte dell'RBS elementi quali i fornitori, le attrezzature, le materie prime, ecc.

1.1.2. Programmazione dei lavori

Alla fase di organizzazione di risorse e attività segue la loro pianificazione. La schedulazione è l'operazione di coordinamento delle attività che consiste a livello operativo nell'ordinare temporalmente l'esecuzione di diversi work package, a cui è necessario attribuire preventivamente una durata. Oltre al naturale susseguirsi delle attività, l'ordinamento delle operazioni è sottoposto a vincoli di varia natura. Innanzitutto, chi pianifica deve tenere conto dei vincoli di natura tecnologica che possono intercorrere tra i work package², in secondo luogo si deve tenere conto della disponibilità delle risorse umane e materiali, per non incorrere nel problema della sovrallocazione, ed infine, vanno considerati i vincoli di natura extra progettuale, come possono essere i requisiti particolari richiesti dal cliente. A valle del completamento dell'operazione si ha come risultato l'*Integrated Master Schedule*, un piano di lavoro che fa da guida al compimento del progetto. Il piano deve riflettere la struttura gerarchica della WBS, facendo in modo che al livello più basso dell'IMS corrisponda lo scopo del progetto e che sia delineata la durata complessiva delle attività. Scendendo di livello si dovrebbe assistere ad una riduzione del timing di completamento fino ad arrivare al livello più basso, in cui il tempo corrisponde alla durata dei work package.

1.1.3. Gestione del valore

Alla programmazione dei lavori segue la predisposizione del budget, che prevede una stima dei costi diretti e indiretti previsti per la realizzazione del progetto per ogni work package. Al valore così trovato si sommano i costi riferiti ai *planning package*, ovvero attività note che dovrebbero essere inserite nella WBS ma che sono temporaneamente escluse causa assenza di dettagli. La somma di questi valori concorre, assieme a WBS, OBS e schedulazione, alla formazione del cosiddetto *Control Account*, il punto di integrazione dei framework fino ad ora definiti. Per giungere al *Project Budget Base*, il budget definitivo del progetto, devono essere considerate ancora due voci di costo: l'*Undistributed Budget* e la *Management Reserve*. Il primo si riferisce ad attività non ancora identificabili nella WBS e che di

² Le dipendenze tra i work package sono raggruppabili quattro tipologie:

1. *Finish to Start*: l'attività B non può cominciare prima del termine dell'attività A ($A \rightarrow FS \rightarrow B$);
2. *Finish to Finish*: l'attività B non può finire prima del termine dell'attività A ($A \rightarrow FF \rightarrow B$);
3. *Start to Start*: l'attività B non può iniziare prima dell'inizio dell'attività A ($A \rightarrow SS \rightarrow B$);
4. *Start to Finish*: l'attività B non può finire prima dell'inizio dell'attività A ($A \rightarrow SF \rightarrow B$).

conseguenza non fanno capo alla gestione di alcun responsabile, mentre la seconda è una quota di capitale che le aziende trattengono per precauzione e che è utilizzabile dal project manager solo previa autorizzazione degli attori competenti. La Management Reserve è infatti trattenuta per affrontare eventuali richieste di modifica del budget a disposizione del project manager per eventualità non imputabili a cambiamenti dei requisiti da parte del cliente³. Questo budget è detto *Performance Measurement Baseline (PMB)*. Nella Figura 1.2 si riporta una rappresentazione grafica della composizione del Project Budget Base.

Definita a grandi linee la composizione del budget di un progetto, è bene soffermarsi sull'allocazione della riserva prevista per gli eventi inattesi, la *Contingency Reserve*. Questo fondo è stanziato nel budget come misura precauzionale da utilizzare nel caso in cui si incorra in rischi che si è deciso di accettare o in eventuali rischi residuali rimasti dopo l'adozione di azioni preventive volte a ridurre la probabilità e/o l'impatto. Vista la complessità di ripartire le quote del fondo tra i diversi work package, solitamente la Contingency Reserve si considera parte del Undistributed Budget e il suo utilizzo è a discrezione del project manager. Nei capitoli successivi si definiranno meglio i framework utili al suo calcolo.

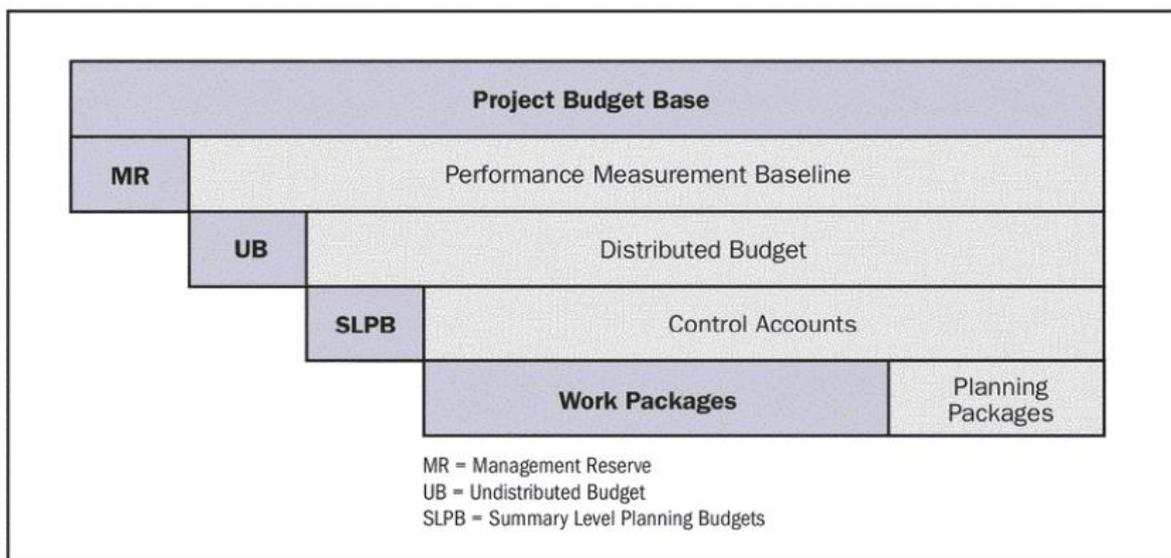


Figura 1.2: Composizione del Project Budget Base

Fonte: Project Management Institute, *Practice Standard for Earned Value Management (2nd edition)*, 2011, pag. 10

³ È prassi che le change request dei clienti, se accettate, vengono vendute come servizio extra e separato dal progetto. Pertanto, non modificano il Project Budget Base.

1.1.4. Metriche di misurazione

Determinate la WBS, l'IMS e la PMB, si hanno a disposizione i framework fondamentali in base a cui valutare l'andamento di un progetto. Successiva alla pianificazione è la fase di controllo del progetto, attività che nell'Earned Value Management è rilevante e richiede un'elevata accuratezza poiché la costruzione delle stime a finire è valutata sulla performance passata del progetto. Una cattiva gestione del controllo inficia la correttezza delle previsioni e la possibilità di eseguire correzioni sul progetto. La criticità nella valutazione della performance è duplice, poiché da un lato è necessario scegliere le corrette metriche di misura dell'avanzamento per le attività eseguite in autonomia, dall'altro vanno monitorati i fornitori per le attività concesse in outsourcing. Si riportano di seguito alcune delle metriche di misura più utilizzate per misurare l'avanzamento delle attività eseguite in autonomia (Fleming & Koffleman, 2000, p. 88 - 96):

1. *Milestone con quote stimate*: è un metodo utilizzato quando le attività da completare coprono un arco temporale medio-lungo e prevede l'assegnazione di milestone agli stati di sviluppo rilevanti del work package. L'aggiornamento dello stato di avanzamento dei lavori si registra al raggiungimento di tali deliverable, mentre il completamento si ha al raggiungimento dell'ultima milestone. La componente economica viene valutata tramite l'assegnazione di quote di valore agli intervalli tra le milestone, pertanto la contabilizzazione è di tipo spot ed avviene al raggiungimento di stati del lavoro predeterminati;
2. *Formula fissa (inizio / fine)*: questo approccio, molto frequente in passato ma meno oggi, viene utilizzato quando il work package è programmato su un arco temporale breve. Prevede l'allocazione del costo in due tranches, una all'avvio ed una al completamento dell'attività. Il metodo lavora su percentuali del totale da allocare, tipicamente 25/75, 50/50 e 75/25 che si adattano bene a situazioni frequenti in ogni progetto. Ad esempio, la formula 25/75 è tipica dell'approvvigionamento di materie prime poiché prevede la contabilizzazione del 25% del costo all'ordine delle risorse, mentre il restante 75% all'arrivo. In ogni caso, la pratica non disdegna altri tipi di distribuzione se questi soddisfano il vincolo di completa allocazione del costo;
3. *Percentuale di completamento*: il metodo è utilizzato per attività, brevi o lunghe,

scomponibili e consiste in una valutazione periodica dell'avanzamento del work package. Tale valutazione viene eseguita dal responsabile dell'attività che stima in modo soggettivo lo stato dei lavori. L'uso di stime soggettive sul controllo dell'avanzamento è ritenuto accettabile quando la definizione del work package è eccellente e la sua durata è breve. In queste condizioni la possibilità di divergere dallo stato reale dei lavori è minimizzata. Inoltre, spesso questo metodo prevede l'assoggettamento a dei vincoli, introdotti dalle aziende per superare il disallineamento negli obiettivi tra società e responsabile. Tra questi si annoverano la supervisione delle stime da parte di colleghi e/o responsabili esterni, la standardizzazione delle valutazioni per attività specifiche e l'utilizzo di cap al budget contabilizzabile prima del completamento del work package;

4. *Combinazione di percentuale di completamento e milestone*: è un metodo ampiamente utilizzato poiché è caratterizzato da una grande versatilità che consente di utilizzarlo in tutti i settori e per ogni tipo di progetto. È basato sulla misurazione soggettiva del progresso dei lavori in misura che non può eccedere il valore attribuito a determinate milestone previste per il progetto. In questo modo si limita la soggettività dei gestori del work package, sottomessi a valutazioni soggettive ma accurate, e si evita di appesantire la misurazione delle performance a causa dell'uso di metodi standard che aumentano il grado di oggettività. Questo metro racchiude i pregi di entrambi i metodi e garantisce un equilibrio tra precisione e agilità di misurazione che i due da soli non raggiungono;
5. *Unità completate equivalenti*: è un metodo utilizzato quando devono essere valutate attività ripetute nel tempo o attività simili e parallele. Per utilizzarlo è necessario conoscere il valore di completamento del singolo prodotto ed il valore totale del progetto. Consiste nel valutare il progresso dei lavori in unità completate equivalenti e non in percentuale del lavoro totale compiuto. Un'unità completata equivalente non è nient'altro che l'ammontare di valore realizzato con cui poteva essere realizzato un singolo prodotto. Il metodo è utilizzato solitamente nell'edilizia, nelle produzioni continue e quando si producono prodotti uguali in parallelo;
6. *Standard guadagnati*: il metodo, utilizzato anche in questo caso per attività ripetitive, lavora in modo simile a quello delle unità completate equivalenti. Per utilizzarlo è necessario prevedere una rigorosa programmazione delle attività con l'ausilio di dati

storici e definire uno standard di unità equivalenti da utilizzare per valutare il progredire delle operazioni.

Definita nel suo complesso la pianificazione, che come si è visto può dirsi composta da organizzazione delle risorse, schedulazione dei lavori, predisposizione del budget e metriche di misurazione dell'avanzamento, si hanno a disposizione tutte le basi da cui estrarre le informazioni per applicare l'Earned Value Management che si vedranno nel seguito.

1.2. Il modello

L'Earned Value Management si serve di quattro variabili fondamentali derivate dalla pianificazione e dalla misura dell'avanzamento dei lavori: *Planned Value (PV)*, *Earned Value (EV)*, *Actual Value (AV)* e il *Budget at Completion (BAC)*. Queste sono la base per calcolare le varianze, gli indici di performance e le previsioni sul completamento del progetto.

Il Planned Value è il valore pianificato a budget ad un dato periodo del progetto, motivo per cui è definito anche come *Budgeted Cost of Work Scheduled (BCWS)*. Si riferisce al guadagno, in senso lato, registrato con lo sviluppo o il completamento di una attività. È un valore noto al termine della pianificazione, poiché deriva direttamente dalla schedulazione dei work package cui sono assegnate le voci di costo. È tipico che all'inizio di molti progetti la curva che rappresenta l'evoluzione del PV nel tempo sia piatta, che successivamente incrementi la sua pendenza e che infine torni ad appiattirsi alla fine del progetto. La forma assunta dalla curva è simile a una S e per questo motivo è nota come *S-Curve*, vedi Figura 1.3. Il particolare andamento è dovuto all'incremento di valore guadagnato nel tempo che di norma è piccolo alla partenza ed al termine dei lavori, ed ha invece una ampia crescita nella fase centrale del progetto.

Il Budget at Completion è il costo del progetto al netto della Management Reserve, pertanto è identificabile con la Project Measurement Baseline. Equivale anche al punto di massimo raggiunto dalla S-Curve in quanto è il valore finale della cumulata del Planned Value, vedi Figura 1.3.

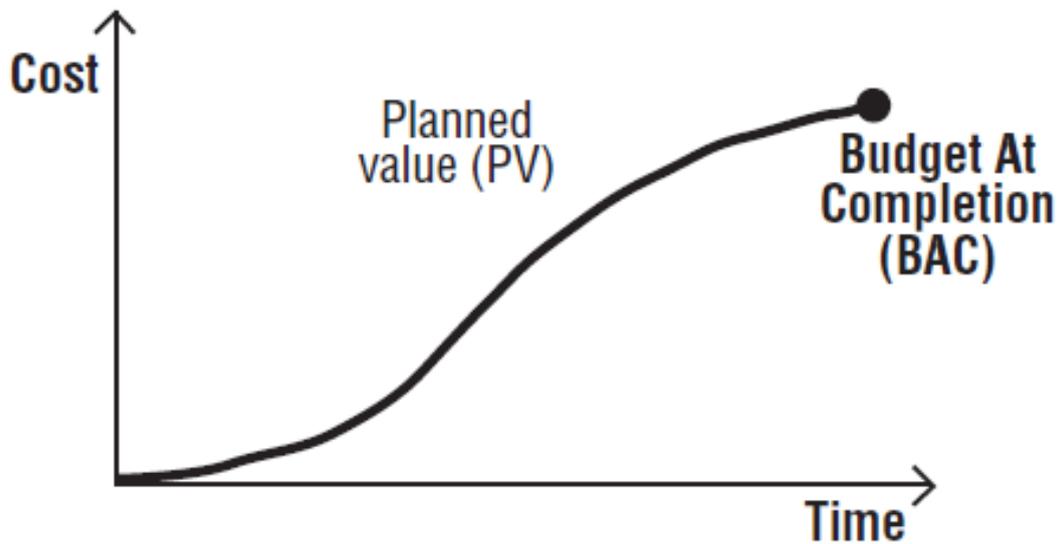


Figura 1.3: S-Curve

Fonte: Anbari, F. T. (2003, Dicembre). *Earned value project management method and extension. Project Management Journal*, p. 13.

L' Actual Cost: è il costo sostenuto ad un certo periodo del progetto, pertanto viene definito anche come *Actual Cost of Work Performed (ACWP)*. Si discosta dal Planned Value poiché nello sviluppo di un progetto i costi sostenuti assumono un valore superiore o inferiore a quello previsto. L'informazione puntuale fornita dall'Actual Value è poco identificativa dello stato complessivo del progetto e se letta singolarmente, può essere fuorviante. Ad esempio, un valore dell'AC superiore al PV potrebbe raffigurare una situazione complessiva positiva o negativa in corrispondenza di una stato di avanzamento dei valori rispettivamente superiore o inferiore a quello pianificato. Per un confronto più immediato tra PV e AC è possibile plottare anche quest'ultimo nel piano Tempi-Costi, vedi Figura 1.4.

Infine, l'Earned Value: è il valore pianificato guadagnato ad un certo periodo del progetto, ovvero è una proiezione del Budget stanziato per ogni work package sul lavoro effettivamente performato. È anche chiamato *Budgeted Cost of Work Performed (BCWS)*. Se l'Actual Cost fornisce indicazioni sullo stato dei costi di un progetto, l'Earned Value specifica l'informazione sul rispetto della pianificazione dei lavori. Come per l'AC, l'utilizzo dell'EV per trarre informazioni sul buon andamento del progetto è una pratica inaffidabile, poiché non fornisce una visione di insieme dei lavori. In Figura 1.4 è mostrato l'Earned Value sul piano Tempi-Costi.

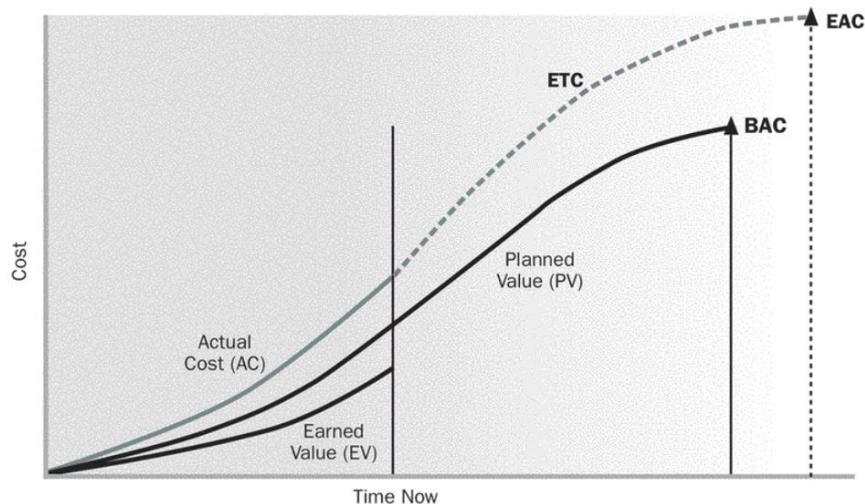


Figura 1.4: Parametri rilevanti ad un dato periodo sulla S-Curve di un progetto

Fonte: Project Management Institute. (2011). In Practice Standard for Earned Value Management (2nd Edition), p. 57.

Il metodo utilizzato per valutare le performance del progetto è l'Analisi degli scostamenti, un sistema prevede di valutare l'andamento dei valori utilizzando le variazioni dallo stato pianificato. Dal punto di vista economico l'analisi è eseguita utilizzando la cosiddetta *Cost Variance* (CV), definita come la differenza tra il Planned Value e l'Actual Cost.

$$CV = PV - AC$$

Nel caso in cui la variazione sia positiva ($CV > 0$), la spesa sostenuta dall'inizio dei lavori al periodo in analisi è minore di quella prevista, mentre se la CV è negativa ($CV < 0$) il progetto lavora fuori budget.

Per lo stato di avanzamento dei lavori, in maniera speculare a quanto visto per i costi, viene utilizzata la *Schedule Variance* (SV), calcolata a sua volta come differenza tra Planned Value ed Earned Value.

$$SV = PV - EV$$

L'interpretazione della variazione è opposta a quella della Cost Variance. Infatti, nel caso in cui la Schedule Variance sia positiva ($SV > 0$), nel periodo in esame il progetto è in ritardo rispetto alla schedulazione (sono stati eseguiti meno lavori di quelli pianificati), mentre se la variazione è negativa ($SV < 0$) il progetto è in anticipo.

Plottando sul diagramma Tempi-Costi l'Actual Cost e l'Earned Value è possibile ricavare per via grafica la Cost Variance e la Schedule Variance, una rappresentazione utile poiché consente una lettura immediata dello stato del progetto. Per farlo è necessario tagliare verticalmente le curve in corrispondenza del periodo di riferimento e misurare la distanza

che intercorre tra i punti intercettati. La distanza tra il punto individuato sulla curva del Planned Value e quello sull'Actual Cost equivale alla Cost Variance, mentre quella tra Planned Value ed Earned Value è la Schedule Variance. Se la curva dell'Actual Cost è al di sopra di quella del Planned Value il progetto è in perdita, mentre se l'Earned Value è al di sotto del Planned Value il progetto è in ritardo, vedi Figura 1.5. Invertendo la posizione delle curve di Actual Cost ed Earned Value si riscontra la situazione opposta (progetto in risparmio ed in anticipo). Attraverso il grafico è possibile anche ricavare una stima temporale quantitativa sul ritardo e sull'anticipo. Per farlo è necessario tagliare orizzontalmente le curve in corrispondenza dell'estremo dell'Earned Value e misurare la distanza che intercorre tra questo ed il punto di intersezione con il Planned Value. Il valore trovato indica un ritardo se l'Earned Value si trova a di sotto del Planned Value.

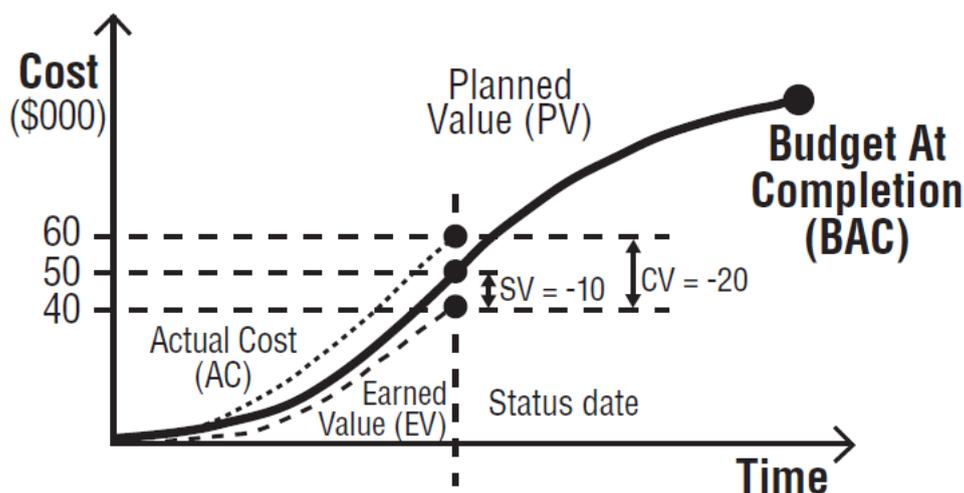


Figura 1.5: Scostamenti CV ed SV sul grafico Tempi-Costi

Fonte: Anbari, F. T. (2003, Dicembre). *Earned value project management method and extension. Project Management Journal*, p. 14.

L'analisi delle performance può essere eseguita anche utilizzando due indici che, rispetto al metodo appena descritto, assicurano un contenuto informativo differente in quanto, oltre a definire qualitativamente la bontà delle attività svolte, forniscono una stima percentuale dell'anticipo o del ritardo accumulato. I due indici utilizzati sono il *Cost Performance Index* (CPI) e lo *Schedule Performance Index* (SPI).

Il Cost Performance Index è la controparte della Cost Variance e spiega l'anticipo o il ritardo sulla pianificazione dal punto di vista economico. È definito come il rapporto tra l'Earned Value e l'Actual Cost.

$$CPI = \frac{EV}{AC}$$

Nel caso di $CPI > 1$, i costi sostenuti fino al periodo di riferimento sono inferiori a quelli preventivati e si è risparmiato un ammontare pari a $(CPI - 1)\%$, mentre se $CPI < 1$ la spesa è superiore a quella prevista e si è perso un ammontare pari a $(1 - CPI)\%$ del costo previsto. Il Cost Performance Index, al pari degli indici che si esporranno successivamente, può essere calcolato utilizzando valori di Earned Value ed Actual Value cumulativi e non, una scelta che influenza in maniera rilevante la sua stabilità nel tempo. L'aleatorietà dei risultati è una caratteristica rischiosa poiché sulla loro lettura vengono intraprese le azioni correttive e una cattiva sintesi del progetto rischia quindi di essere dannosa. Diverse ricerche si sono concentrate sulla valutazione della stabilità del CPI e tra queste uno studio di Christensen ed Heise ha generalizzato i risultati precedenti affermando che ne caso di EV ed AC cumulativi si ha stabilità per avanzamenti che vanno dal 20% al completamento delle attività, mentre per valori non cumulati l'indice non è stabile (Christensen & Heise, Costo performance index stability, 1993).

Lo Schedule Performance Index è un indice di performance che spiega l'anticipo o il ritardo sulla pianificazione dal punto di vista temporale e si basa su una formulazione analoga a quella del Cost Performance Index, in quanto è definito come il rapporto tra l'Earned Value e il Project Value.

$$SPI = \frac{EV}{PV}$$

Anche in questo caso si è davanti ad una situazione positiva se $SPI > 1$, poiché si è in anticipo sui lavori, mentre per $SPI < 1$ la situazione è negativa in quanto il progetto è in ritardo. La quantità di ritardo accumulato sulle previsioni di completamento pianificate nel caso di $SPI < 1$ è pari a $(1 - SPI)\%$, mentre nel caso di $SPI > 1$ l'anticipo accumulato sui lavori è pari a $(SPI - 1)\%$ del tempo preventivato per completare le attività.

Lo Schedule Performance Index e la Schedule Variance utilizzano due voci di costo per valutare le performance della schedulazione e poiché sia l'Earned Value che il Planned Value puntano al BAC alla fine del progetto, l'indice e la varianza tendono rispettivamente ai valori 1 e 0. Questo provoca una distorsione dei valori assunti, equivalente ad una minore affidabilità nelle fasi conclusive dei lavori, che si ripercuote sulla valutazione dell'andamento del progetto e nell'affidabilità delle stime a finire che sfruttando lo Schedule Performance

Index. La Figura 1.6 è particolarmente rappresentativa dell'entità del problema in quanto riporta il confronto tra l'andamento della Cost Variance e quello della Schedule Variance.

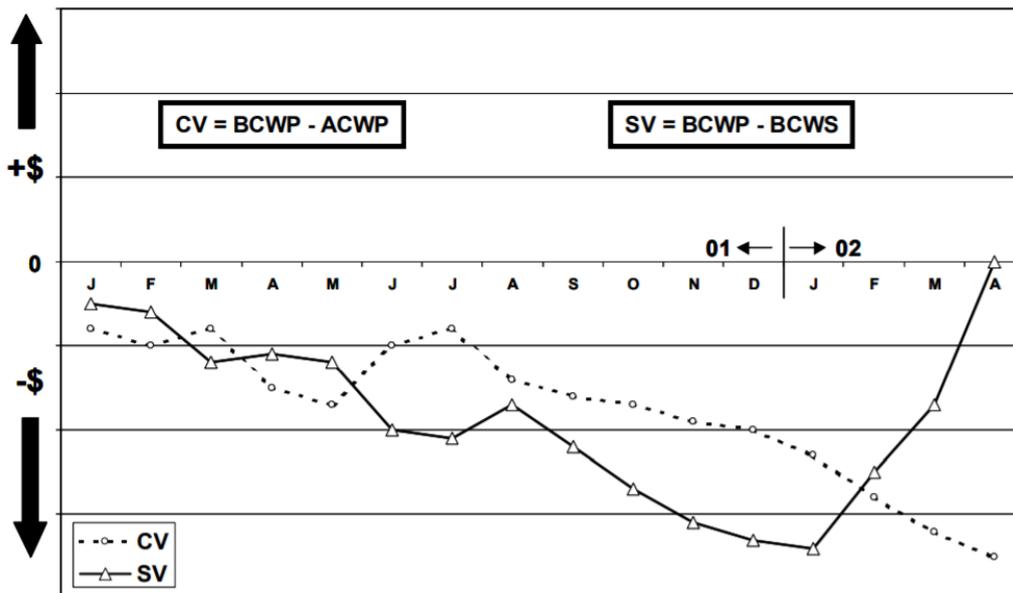


Figura 1.6: Andamento di CV ed SV sulla durata di un progetto
 Fonte: Lipke, W. H. (2003, Marzo). *Schedule is different. The measurable news*, p. 3.

La problematica è affrontata in una ricerca di Lipke che propone come possibile soluzione l'utilizzo dell'*Earned Schedule* (ES), concetto analogo all'*Earned Value* ma costruito sui tempi (Lipke, 2003). L'ES è definito analiticamente come segue.

$$ES = C + I = C + \frac{EV - PV_t}{PV_{t+1} - PV_t}$$

Nell'equazione C è l'incremento dei periodi per cui $EV > PV_t$ e $EV < PV_{t+1}$. Definito l'*Earned Schedule* è possibile calcolare la *Schedule Variance* (SV(t)) in funzione del tempo come differenza tra l'*Earned Schedule* ed il periodo attuale AT.

$$SV(t) = ES - AT$$

Nel caso in cui la $SV(t) > 0$ il progetto è in anticipo sulla schedulazione, mentre è in ritardo per $SV(t) < 0$.

Lo *Schedule Performance Index* (SPI(t)) in funzione del tempo è invece definito come rapporto tra *Earned Schedule* e periodo attuale AT.

$$SPI(t) = \frac{ES}{AT}$$

In questo caso il ritardo sulla schedulazione si ha per valori di $SV(t) < 1$ e l'anticipo per $SV(t) > 1$. SV(t) e SPI(t) risolvono il problema della distorsione dei valori nell'ultimo terzo di

progetto e garantiscono una valutazione della performance affidabile lungo tutto l'arco dei lavori.

Spostandosi sulla lettura delle varianze e degli indici, per comprendere correttamente lo stato del progetto ed intraprendere le giuste azioni correttive, è necessario che questa avvenga analizzandoli coppia. La Figura 1.7 rappresenta l'intersezione grafica tra lo Schedule Performance Index ed il Cost Performance Index e riporta le quattro possibili configurazioni che possono presentarsi durante i lavori. I quadranti B e D descrivono due casi comuni. Nel primo si è sostenuta una spesa inferiore a quella preventivata ma si è in ritardo sui lavori, pertanto è consigliabile intraprendere azioni correttive volte a ridurre il ritardo accumulato. La fattibilità delle operazioni è garantita dai risparmi accumulati. Il secondo caso descrive invece la situazione opposta alla prima e nella quale è consigliabile rallentare le attività per recuperare il gap economico perso. Infine, le circostanze descritte dai quadranti A e C possono considerarsi borderline. Nel primo caso il progetto difetta sia dal lato dei costi sostenuti che da quello delle attività svolte e di conseguenza è difficile riportare il progetto in equilibrio, poiché tipicamente le azioni mirate a portare un miglioramento in un senso impattano negativamente sull'altro. L'ultimo quadrante descrive la situazione di progetto ideale in cui si è in anticipo sui tempi ed in risparmio sui costi, una possibilità che nella realtà si verifica molto di rado.

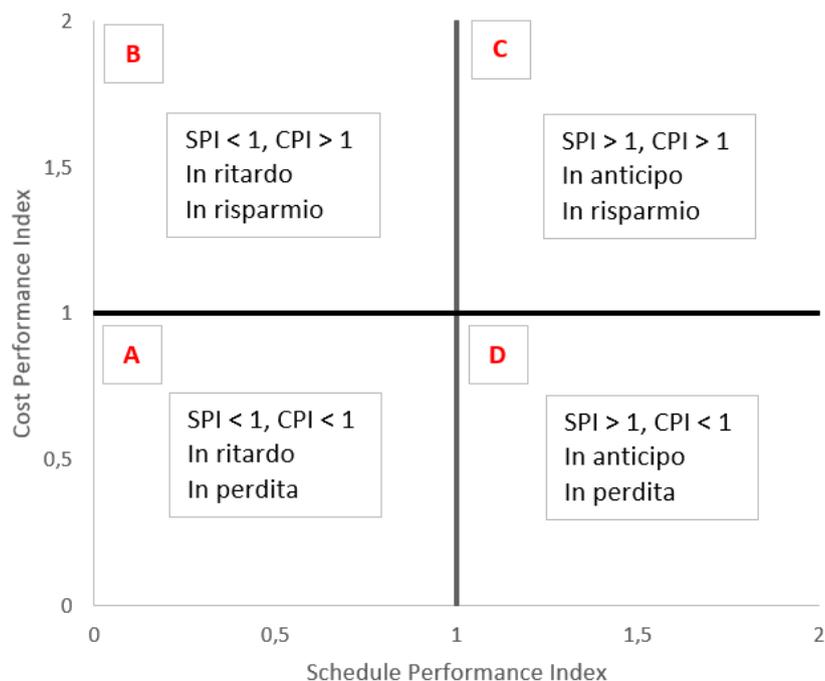


Figura 1.7: Possibili stati di un progetto

Alcune volte come misura di efficienza viene utilizzato il *Critical Ratio* (CR), detto anche *Cost Schedule Index* (CSI), definito come il prodotto tra il Cost Performance Index e lo Schedule Performance Index.

$$CR = CPI * SPI$$

L'unicità del Critical Ratio rispetto agli indici descritti in precedenza è la capacità di condensare la performance in un unico valore. Se il risultato dell'indice è superiore all'unità, esso esprime una performance complessiva molto efficiente in quanto spiega la positività di entrambi gli indici o la negatività di un indice e la contemporanea sovra compensazione dall'altro. Il caso di negatività del Critical Ratio palesa invece una performance complessivamente molto negativa dovuta a situazioni analoghe e opposte a quelle appena descritte.

Descritta questa prima parte del modello è ora possibile analizzare la parte di maggiore interesse per questa tesi, ovvero le stime a finire.

1.3. Le stime a finire

Il fine ultimo dell'Earned Value Management è quello di ricavare previsioni sui tempi e sui costi finali del progetto e questo si realizza attraverso l'uso dell'*Estimate at Completion* (EAC). Le previsioni realizzate con l'EAC mirano a valori prossimi al Budget at Completion e si discostano da quest'ultimo per la casualità degli eventi sopravvenuti, che conseguono accelerazioni o più frequentemente ritardi sul piano di esecuzione dei lavori ed allo stesso modo risparmi o sforamenti sul budget prestabilito. Secondo una classificazione realizzata da Christensen, Antolini e McKinney è possibile classificare la formulazione delle stime in tre categorie: *Index-based Method*, *Regression-based Method* ed *Other Method* (Christensen, Antolini, & McKinney, A review of estimate at completion research, 1995). La prima categoria prevede il calcolo dell'Estimate at Completion attraverso l'utilizzo degli indici di performance descritti nel paragrafo precedente. Di questa categoria fanno parte le formulazioni che saranno analizzate poiché di interesse per questa tesi, la seconda comprende quelle basate sul calcolo dell'EAC utilizzando l'analisi della regressione e la terza raggruppa tutte le restanti, ovvero quelle non classificabili tra le prime due. Una prima validità della soluzione proposta nei prossimi capitoli è confermata dalla ricerca appena citata che tra le conclusioni adduce all'assenza di superiorità di una categoria sulle altre.

Tuttavia, l'accuratezza ai primi stadi delle formulazioni Regression-based pare essere maggiore delle altre categorie, ma a livello pratico questa iniziale superiorità perde di valore a causa della scarsa diffusione del metodo.

Il Project Management Institute fornisce indicazioni su tre diversi metodi di calcolo dell'Estimate at Completion, tutti appartenenti alla categoria degli Index-based Method (Project Management Institute, 2017, p. 264 - 265). Il primo, che non sfrutta alcun indice ma che è riportato poiché concettualmente affine ai successivi, prevede di calcolare l'EAC come somma tra il costo sostenuto e quello da realizzare per completare il progetto. A livello analitico è definito come somma tra l'Actual Cost e l'Estimate to Complete (ETC), a sua volta ottenuto come differenza tra il Budget at Completion e l'Earned Value.

$$EAC_1 = AC + ETC = AC + (BAC - EV)$$

La stima fornita da questa formulazione rileva la performance del progetto solo nella componente dell'Actual Cost. Eventuali efficienze ed inefficienze non pesano sull'Estimate to Completion poiché è una semplice variazione contabile utile a ricavare il costo ancora da sostenere. La formulazione poggia sull'assunto che dal periodo di calcolo in avanti l'esecuzione dei lavori prosegue in linea con il piano stabilito.

Il secondo metodo fornito per il calcolo dell'Estimate at Completion differisce dal precedente sia nelle intenzioni che nell'aspetto analitico. Esso appartiene propriamente alla categoria degli Index-based Method, poiché definisce la stima a finire come rapporto tra il Budget at Completion ed il Cost Performance Index.

$$EAC_2 = \frac{BAC}{CPI}$$

La formulazione offre come risultato una rimodulazione dell'intero costo di progetto, sotto l'ipotesi che la performance realizzata fino al periodo in esame sia la stessa che si realizzerà nella prosecuzione dei lavori. L'Earned at Completion così calcolato è spesso aggettivato come pessimista, in quanto nel caso di sfioramento del budget ($CPI < 1$) sovrastima l'aumento dei costi. Osservando questa proprietà da una posizione garantista essa può essere valutata in modo positivo o almeno accettabile, ma un'analisi più accurata comprende il rischio in cui si può incorrere utilizzandola. Infatti, se nel caso di performance negativa è garantito un buon margine di sicurezza, in quello di performance positiva si rischia di ricadere nella trappola dell'ottimismo e di sottostimare il costo residuo di completamento.

Un comportamento di questo tipo è dannoso e rischia di dissipare i buoni risultati ottenuti al tempo in esame.

L'ultima formulazione per il calcolo dell'Estimate at Completion fornita dal Project Management Institute è una combinazione delle precedenti. Essa prevede di sommare al costo attuale quello residuo, rimodulando quest'ultimo attraverso la performance tenuta durante i lavori. In questo caso il Project Management Institute consiglia l'utilizzo del Cost Schedule Index o Critical Ratio in sostituzione del Cost Performance Index.

$$EAC_3 = AC + \frac{ETC}{CR} = AC + \frac{(BAC - EV)}{(CPI * SPI)}$$

Questa formulazione è consigliata dal Project Management Institute nel caso in cui l'Earned to Completion è influenzato in modo rilevante dalla schedulazione.

A seguito della formalizzazione dello Schedule Performance di Lipke è cresciuto l'interesse per la realizzazione di stime a finire della durata basate sugli indici di tempo. Alcune ricerche sull'argomento sono state eseguite da Henderson, che ha proposto due formulazioni ricavate sulla falsa riga rispettivamente dell' EAC_2 ed EAC_3 (Henderson, *Earned schedule: A breakthrough extension to Earned Value Theory? A retrospective analysis of real project data*, 2003) (Henderson, 2007). L'autore si riferisce ad entrambe come *Indipendet Earned at Completion* (IEAC) e le differenzia in *short form* e *long form*. La prima prevede di calcolare la durata finale di un progetto rapportando la *Project Duration* (PD) e lo Schedule Performance Index su base temporale.

$$IEAC = \frac{PD}{SPI(t)}$$

Vandevoorde e Vanhoucke, a seguito di un'analisi comparativa con le formulazioni mirate al budget, hanno riscontrato l'assenza della superiorità di una stima sulle altre nelle fasi iniziali e finali dei progetti. Tuttavia, l'IEAC sembra garantire un'accuratezza superiore nelle fasi conclusive dei lavori. Sebbene questo risultato sia positivo la sua entità non è tale da preferirlo completamente agli altri, pertanto consigliano di basare la scelta dell'equazione da utilizzare unicamente sulla competenza del project manager nel suo utilizzo (Vandevoorde & Vanhoucke, 2006).

La seconda formulazione di Henderson prevede di sommare al periodo attuale la durata residua rivista sulla performance della schedulazione.

$$IEAC = AT + \frac{(PD - ES)}{SPI(t)}$$

Secondo i suoi studi le stime così realizzate forniscono risultati più accurati di quelle che sfruttano i dati contabili, specialmente all'aumentare del ritardo accumulato dal progetto in chiusura, ma nonostante questo l'IEAC è da considerare un'integrazione che arricchisce l'Earned Value Management e non un suo superamento.

Visto l'affiancarsi di queste stime a quelle viste in precedenza, spesso si utilizza la notazione di *Cost Estimate at Completion* (CEAC) per le stime che mirano ai costi e di *Time Estimate at Completion* (TEAC) per quelle che prevedono la durata.

Riprendendo l'EAC₃ e generalizzando il denominatore al secondo membro, si ricava la formulazione tipica dell'Index-based Method ipotizzata da Christensen e McKinney (Christensen, Antolini, & McKinney, A review of estimate at completion research, 1995).

$$EAC = AC + \frac{(BAC - EV)}{INDEX}$$

L'idea alla base della generalizzazione è la sostituibilità dell'indice. In precedenza, si sono viste due formulazioni che prevedono rispettivamente il Critical Ratio e lo Schedule Performance Index di Lipke e sulla stessa linea è possibile identificare altre soluzioni a patto che rispettino l'adimensionalità dell'indicatore. Perciò, la forma degli indicatori di performance illustrati in precedenza è adatta allo scopo ed allo stesso modo lo sarebbero il Cost Performance Index e lo Schedule Performance Index. CPI, SPI e CR sono tre delle quattro possibili configurazioni identificate da Christensen come possibile indice (Christensen, Project advocacy and the estimate at completion problem, 1966). La quarta formulazione prevede di utilizzare la somma pesata del CPI e del SPI, ottenendo così la stima che segue.

$$EAC = AC + \frac{(BAC - EV)}{W_1 * CPI + W_2 * SPI}$$

Nell'equazione W_1 e W_2 sono i pesi attribuiti agli indici e solitamente hanno somma pari a 1. Il valore dei pesi può variare in base al giudizio del project manager, ma spesso si tende a utilizzare i valori $W_1 = 0,8$ e $W_2 = 0,2$. Come esposto ancora da Christensen, l'uso di questi fattori è stato largamente confermato dall'utilizzo del dipartimento della difesa statunitense, poiché questa combinazione permette di combinare in modo ottimale il valore dell'SPI e del CPI (Christensen, Value Cost Management Report to Evaluate the Contractor's Estimate at

Completion, 1999, p. 290) Infatti, come valutato dallo stesso per il programma A12 della United States Navy con pesi pari a 0,8 e 0,2, rispettivamente per CPI ed SPI, si ottiene un ottimo compromesso rispetto ai valori singoli dei due indici o al loro prodotto.

Performance factor	Performance factor value	EAC (Millions)
CPI x SPI	0.5481	\$ 6,612
SPI	0.7168	\$ 5,514
.8 CPI x .2 SPI	0.7551	\$ 5,334
CPI	0.7646	\$ 5,292

Figura 1.8: Indicatori per lo US Navy's A12 Program

Fonte: Christensen, D. S. (1999). Value Cost Management Report to Evaluate the Contractor's Estimate at Completion. p.290.

In Figura 1.8, si può notare come ovviamente il prodotto ponderato dei due indici sia compreso tra i due valori e che, dato il maggiore peso del fattore W1, il risultato sia prossimo al Cost Performance Index. In questo modo si riesce a mantenere il valore del risultato vicino all'indice più affidabile, in quanto come si è visto l'SPI calcolato sul budget presenta distorsioni, ma allo stesso tempo si tengono in considerazione i costi dovuti ai ritardi. Inoltre, come riporta Hillson, il risultato di questa formulazione fornisce un valore più utile di quello del prodotto puro, poiché il risultato di quest'ultimo è eccessivamente severo e sovrastima di molto i costi finali.

In definitiva, quest'ultima formulazione è quella di maggiore interesse per questa tesi poiché permette di integrare in un'unica stima più aspetti della performance del progetto e di ponderarne l'importanza nel corso del progetto.

Capitolo 2. Il Project Risk Management

Il primo capitolo ha avuto come obiettivo illustrare come l'Earned Value Management sia uno strumento in grado di controllare la corretta esecuzione delle attività in un progetto attraverso gli scostamenti dal piano iniziale, la performance dei lavori e le stime a finire. Sebbene il modello e le sue integrazioni forniscano risultati interessanti ed utili allo scopo, il calcolo delle stime a finire è vincolato a due sole variabili quali il costo ed il tempo. Questi come già esposto, assieme al controllo della qualità, sono ampiamente riconosciuti come i tre fattori critici nel raggiungimento del successo gestionale e la fortuna dell'Earned Value Management si deve proprio alla capacità di integrarle in un metodo dall'applicazione semplice. Se da un lato è positiva, dall'altro una sintesi di questo tipo consegue ad una certa approssimazione delle previsioni. Infatti, limitare l'analisi di un sistema complesso a pochi fattori rilevanti comporta la perdita delle informazioni fornite dai parametri non considerati, che non sono trascurabili se valutati nel loro insieme.

La valutazione del rischio è l'aspetto più rilevante nei progetti che non viene rilevato dall'analisi dell'Earned Value Management. Questa materia studia gli eventi positivi e negativi che possono verificarsi ed impattare sul progetto. Le principali caratteristiche della loro esplorazione sono tre: l'identificazione degli eventi possibili, la probabilità che accadano e la valutazione dell'entità che un loro impatto avrebbe sul progetto (Lam, Wang, Lee, & Tsang, 2007, p. 485). Questo tipo di studio ha una complessità elevata poiché i rischi oltre ad essere inattesi, si svolgono in contesti molto differenti tra loro. Infatti, su un singolo progetto vanno valutate le eventualità imprevedute che agiscono su diverse sfere, come possono essere quella economico-finanziaria, quella tecnologica, quella progettuale e molte altre. Oltre a questo, la valutazione dell'impatto che può avere l'avvenimento è di difficile interpretazione, poiché dipende dalla tipologia del servizio e varia con l'oggetto dello studio. Ancora, la ricerca delle probabilità di accadimento è difficoltosa poiché dipendente dalla casualità dei fatti. In un contesto aleatorio come questo assume un valore fondamentale l'esperienza maturata nei progetti pregressi degli attori che svolgono le analisi, un fattore che assume il ruolo di vero key success factor. Ad ogni modo l'analisi non si ferma solo all'identificazione del contesto e alla valutazione degli eventi, ma prosegue con altre attività quali il controllo dei rischi e la scelta della risposta alle situazioni verificate.

Un'ipotesi fondamentale su cui si basa l'analisi del rischio è l'assenza di pregiudizio sulla

qualità degli eventi inattesi. Infatti, sebbene il termine abbia un'accezione negativa gli eventi inattesi possono avere un impatto sia positivo che negativo. In tal senso un esempio particolarmente esplicativo è quello del tasso di cambio delle valute. Ipotizzando un acquisto o una contrattazione con un ente estero che opera con una divisa diversa, possono palesarsi nel corso dei lavori due eventualità. Nel caso in cui la moneta estera si svaluti si crea vantaggio economico del contraente sul mercato del fornitore, con conseguente riduzione dei costi e miglioramento della performance finanziaria, e allo stesso modo la rivalutazione di questa divisa sulla moneta dell'acquirente consegue la perdita di potere d'acquisto e di conseguenza registra lo sfioramento del budget preventivato.

Il concetto appena descritto si rivede perfettamente nella definizione fornita dal Project Management Institute nel manuale dedicato al project risk management (Project Management Institute, 2017, p. 395).

“The objectives of project risk management are to increase the probability and/or impact of positive risks and to decrease the probability and/or impact of negative risks, in order to optimize the chances of project success.”

Questa concezione del rischio segna un distacco tra i comportamenti da adottare nell'affrontare gli eventi inattesi, formalizzando la separazione tra i rischi con impatto positivo da quelli con impatto negativo. Per questo motivo, spesso si preferisce distinguere le due casistiche identificando gli eventi positivi come opportunità e quelli negativi come minacce. Sebbene la differenza concettuale sia netta, a livello operativo è conveniente che le due classi siano integrate in un'unica metodologia e nel caso dell'analisi del rischio questa è il Project Risk Management. Infatti, giacché le peculiarità dell'argomento quali probabilità e impatto sono comuni per minacce e opportunità, è più efficiente evitare di studiare separatamente gli eventi con diverso effetto per non raddoppiare lo sforzo. Così facendo l'unica distinzione in cui si incorrerà sarà la diversa risposta all'evento inatteso.

Il Project Risk Management è la metodologia del Project Management che raggruppa i framework standard con cui si indaga ed affronta il rischio. Tutti i concetti descritti fino a questo momento sono propri del metodo e fanno da base alle nozioni che si vedranno in seguito. In questo capitolo si esplorerà il Risk Management per comprendere l'essenza del rischio e valutare quali informazioni è possibile integrare nell'Earned Value Management. Un'ulteriore precisazione su questo aspetto è doverosa. L'Earned Value Management ed il

Project Risk Management sono due aree differenti nei progetti che lavorano in parallelo e si arricchiscono mutuamente anche se non sono integrate. Una valutazione d'insieme delle informazioni che forniscono è indispensabile per procedere in modo sicuro e consapevole allo svolgimento delle attività, e proprio l'assenza di un tool che integri le due metodologie è il vuoto in cui vuole inserirsi questa tesi.

2.1. Il Project Risk Management

L'integrazione del Project Risk Management in un progetto ha lo scopo di fotografare con maggior dettaglio i possibili scenari in cui si può evolvere ed in questo modo può arricchire e completare l'informativa disponibile alla prima stesura del piano delle attività e nel loro svolgimento. Questa componente della gestione è un aspetto critico, poiché l'incorrere di rischi non controllati danneggia il raggiungimento degli standard previsti sui key success factor spiegati dall'iron triangle e sui loro derivati.

Il Project Risk Management prevede l'esecuzione del cosiddetto *Plan Risk Management Process (PRMP)*, un processo che ha inizio con la redazione del *Project Charter*⁴ e che prosegue fino al termine dei lavori con un andamento ciclico delle attività che lo compongono. Affinché si possa redigere il piano è necessario che siano state preventivamente identificate le risorse, pianificato il budget, sviluppato il piano di lavoro e definite le metriche di controllo degli avanzamenti. Questi elementi, descritti nel capitolo precedente, assieme ai dati di contesto dell'attività quali la natura del progetto, quella del prodotto, le informazioni sugli attori attivi e le loro interazioni, o ancora i dati geografici e quelli socioculturali dell'ambiente, sono il perimetro su cui si devono innanzitutto identificare eventi inattesi.

Il Project Management Institute definisce il Plan Risk Management Process come il processo di esecuzione integrata di cinque attività, quali l'identificazione dei rischi, una loro analisi qualitativa, un'analisi quantitativa, la redazione di un piano di risposta ed infine il monitoraggio ed il controllo (Project Management Institute, 2009). Lo svolgersi di queste attività sancisce la diversità di questo processo da quelli visti fino ad ora, poiché spiega una

⁴ Il Project Charter è un documento di pianificazione ad alta astrazione, redatto dal project manager prima dell'avvio di un progetto, con lo scopo di comunicare agli stakeholder le sue linee guida e di fare da base contrattuale tra committente e contraente. Esso include informazioni tra le quali si annoverano la visione del prodotto in realizzazione e le sue caratteristiche, una descrizione di indirizzo dei lavori, un dettaglio su tempi, costi e qualità ipotizzati, nonché per l'appunto un'overview generale dei rischi identificati (Rakos, et al., 2004, p. 81-91).

dinamicità nell'esecuzione ancora mai riscontrata. Infatti, le fasi finali del processo, ovvero risposta e controllo, vanno ad incrinare i presupposti consolidati con le attività di identificazione e analisi quando sopraggiunge l'incorrere degli eventi in osservazione. Si rende così necessaria una rivisitazione dell'identificazione e delle analisi inizialmente compiute, e di conseguenza saranno necessari un nuovo piano di risposta e la ripresa del monitoraggio. Il flusso di lavoro scaturito da questo susseguirsi di attività determina un andamento ciclico e delinea la proprietà caratteristica del processo, ovvero l'auto aggiustamento dei risultati, vedi Figura 2.1. In favore di questa peculiarità, le operazioni si ripetono dinamicamente lungo l'intera durata dei progetti, arrivando ad avere l'accuratezza migliore proprio al loro termine. Ciò è dovuto principalmente all'aumento di disponibilità delle informazioni, che scarseggia ai primi stadi e raggiunge il suo massimo al termine del progetto.

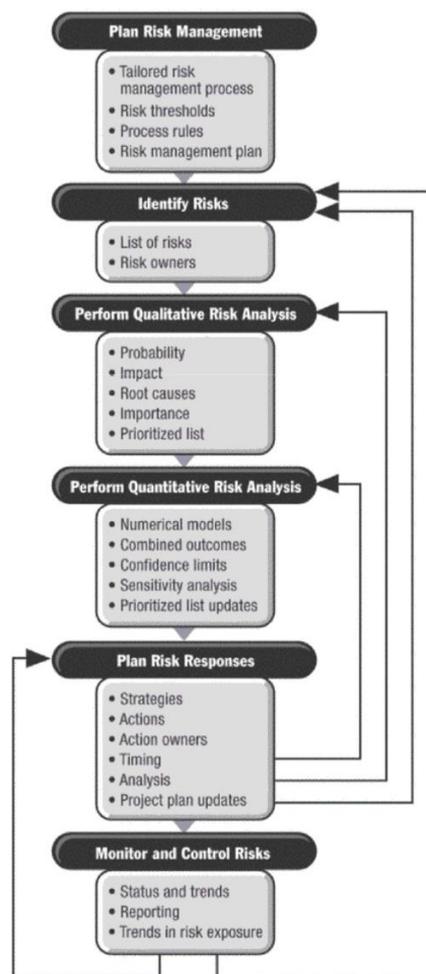


Figura 2.1: Flusso delle attività del PRMP

Fonte: Project Management Institute. (2009). *Practice standard for project risk management*. Newtown Square. p. 17

La formulazione del processo fornita dal PMI non è l'unica presente in letteratura poiché molti autori hanno definito in maniera differente le varie fasi del Risk Management Process, aggiungendone alcune per dare rilievo ad azioni specifiche o raggruppandole per rendere più compatto il processo. Tra quelle che prevedono di generalizzare il processo, una formulazione molto interessante è quella che prevede di raggruppare in un'unica fase la valutazione del rischio. In questo caso il ciclo delle attività è composto da *Risk Identification*, *Risk Assessment*, *Risk Response* e *Risk Monitoring* (Banaitiene & Banaitis, 2012). Questa formulazione è particolarmente interessante poiché sintetizza tutti gli aspetti rilevanti senza tralasciare alcuna attività ed allo stesso tempo permette di snellire il processo. I paragrafi successivi si soffermeranno sulla descrizione le prime due fasi di questo processo, con lo scopo di analizzare due framework che si pensa possano essere ben integrati nell'Earned Value Management.

2.2. L'identificazione del rischio

Il processo di identificazione del rischio è il primo step del Risk Management Process ed è allo stesso tempo riconosciuto come il più importante in quanto la valutazione, la risposta ed il controllo si riferiscono per l'appunto ai rischi identificati in questo primo stadio. La mancata identificazione dell'evento è quindi considerabile come l'errore di maggiore impatto nel processo. Questa fase si compone di due attività: l'identificazione, ovvero ricerca dei rischi la vera e propria, e la classificazione (Chapman, 1997, p. 277).

Il metodo con cui identificare i rischi è una disciplina particolarmente discussa nella letteratura ed allo stesso modo nella pratica è possibile operare con l'ausilio di molteplici tecniche. Il Project Management Institute fornisce una classificazione di questi metodi secondo tre prospettive diverse (Project Management Institute, 2009, p. 27-28).

La prima categoria di tool per identificare i rischi è la *review storica*, che comprende l'insieme delle tecniche che sfruttano le conoscenze di progetti pregressi per l'identificazione. Il metodo è funzionale nell'eseguire la ricerca in quanto in progetti simili nella natura e nelle dimensioni si possono riscontrare rischi analoghi. Tuttavia, sebbene la similarità sia la caratteristica che permette questo tipo di ricerca, è anche il suo vincolo più grande poiché limita l'usabilità dei dati ad un numero limitato di progetti (Tadayon, Jaafar, & Nasri, 2012, p. 60).

Il secondo metodo di identificazione proposto dal Project Management Institute è la

cosiddetta *valutazione corrente*. L'idea su cui si basa è che la conoscenza del progetto e un'analisi dettagliata delle sue caratteristiche permettano di identificare in modo efficace i rischi che possono sopraggiungere. Il presupposto di partenza ha quindi una radice opposta a quella della review storica e ciò si rivede nella sua ampia applicabilità.

Infine, l'ultimo metodo indicato dal PMI raggruppa le cosiddette *tecniche creative*, un insieme inclusivo dei tool che sfruttano l'immaginazione per identificare. Questo gruppo di tecniche prevede la partecipazione di molti attori alle attività e spesso sfrutta il lavoro in gruppo. Così facendo è possibile utilizzare il confronto tra individui con diverso background e obiettivi differenti per migliorare la qualità del risultato.

Se il Project Management Institute si è limitato a classificare le varie tecniche di identificazione, diversi studi si sono soffermati su singoli tool, studiandoli ed evidenziando i vantaggi e gli svantaggi che presentano. Una ricerca particolarmente interessante che analizza una grande varietà di metodi è stata realizzata da Grimaldi, Rafele e Cagliano ed è riportata come quarto capitolo del Risk Management - Current Issues and Challenges di Banaitiene e Banaitis. Tra i vari risultati lo studio descrive le tecniche, esplora i loro punti di forza e di debolezza ed infine le confronta. La ricerca valuta trentuno tool che vengono utilizzati nel Risk Management Process e tra questi ben ventiquattro trovano applicazione nell'ambito dell'identificazione del rischio (Grimaldi, Rafele, & Cagliano, 2012). Analizzando lo studio si può rilevare come le tecniche di identificazione appartenenti ad un'unica classe tra quelle proposte dal Project Management Institute presentino tra loro diverse similitudini. Ad esempio, comparando due tecniche creative, il *brainstorming* e il *metodo Delphi*, si riscontrano caratteristiche comuni quali il lavoro in gruppo, i risultati non viziati dal pregiudizio di singoli individui ed il rischio che quest'ultimo sia fortemente influenzato dalla qualità dei partecipanti, intesa come carattere nel primo caso e competenza nel secondo. Allo stesso tempo però il brainstorming soffre se nel gruppo di lavoro si crea un ambiente malsano, mentre il metodo Delphi pecca nella possibilità di risolvere verbalmente eventuali conflitti. È evidente quindi che ci sia affinità tra le tecniche, ma che allo stesso tempo si osservano alcune differenze. Se un confronto di questo tipo viene eseguito su tool appartenenti a categorie diverse, la somiglianza invece viene a mancare. Si prenda ad esempio la *checklist*, appartenente al gruppo della review storica, e la si raffronti con le tecniche descritte in precedenza. Tra le sue caratteristiche si annoverano la possibilità di essere realizzata da un singolo individuo, l'efficacia maggiore per i settori maturi e

l'eccessiva dipendenza dalle conoscenze pregresse. La prima caratteristica si oppone alla tipicità del lavoro in gruppo delle tecniche precedenti, mentre le ultime spiegano che la checklist opera a livello di settore e non sugli individui. Pertanto, in questo caso si nota la totale assenza di caratteristiche comuni.

Il confronto appena proposto ha lo scopo di evidenziare che sebbene alcune tecniche possano avere tratti in comune, ognuna di esse presenta un ventaglio di vantaggi e svantaggi unici, e per questo alcuni tool saranno preferibili per certi progetti. Si pensi ad esempio all'utilizzo di una checklist per una costruzione civile. In questo caso, vista la storicità del settore, i suoi rischi fondamentali sono noti ed il suo basso tasso di innovazione riduce la probabilità che ne insorgano di nuovi, pertanto questa tecnica può produrre ottimi risultati. Sfortunatamente l'esempio appena portato non è descrittivo della totalità dei progetti ed in molti casi fattori come la customizzazione o l'innovazione portano all'insorgere di nuove eventualità. Per superare il problema spesso l'identificazione del rischio viene eseguita con l'ausilio di tecniche differenti, in modo combinare i diversi vantaggi e di minimizzare l'impatto delle controindicazioni (Hillson, *Extending the risk process to manage opportunities*, 2002, p. 237)

Una componente importante nell'identificazione del rischio è la particolare attenzione che va posta nel definirli dopo averli trovati. Il rischio infatti è un concetto che si inserisce nel rapporto causa-effetto tra due eventi, vedi Figura 2.2, e non è raro che si crei confusione tra il rischio in sé e la situazione che gli è a monte o a valle. Ciò può portare ad un deterioramento del risultato causato da un aumento o una diminuzione dei rischi identificati. Per evitare di incorrere in ambiguità di questo tipo è utile rifarsi alla cosiddetta logica *what-if*, che prevede di vagliare le diverse ipotesi sottoponendole alla formulazione "cosa succederebbe se...". Questa semplice proposizione permette di minimizzare la possibilità di valutare in malo modo i rischi e di conseguenza di migliorare il risultato che si ottiene (De Marco, 2018, p. 188).

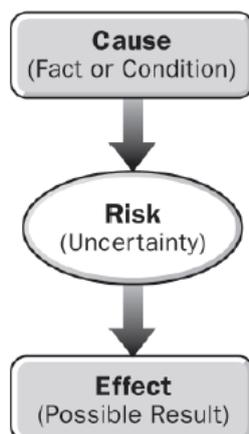


Figura 2.2: Relazione causa, rischio ed effetto

Fonte: Project Management Institute. (2009). Practice standard for project risk management. Newtown Square. p.29.

Al termine della fase di identificazione dei rischi vera e propria si ottiene come risultato un insieme di possibili eventi che possono avere impatto positivo o negativo sul progetto. Questi elementi hanno un'eterogeneità elevata poiché differiscono nelle cause, negli effetti, nella probabilità di realizzazione, nell'impatto e nell'essere una minaccia o un'opportunità. Sopraggiunge quindi l'esigenza di organizzare le informazioni ottenute in modo da renderle maggiormente comprensibili e gestibili. Questa organizzazione normalmente viene eseguita raggruppando i rischi trovati in categorie. Tra queste una largamente utilizzata prevede di dividere i rischi in esterni ed interni, con l'obiettivo di separare gli eventi sotto il controllo del Project Management Team da quelli su cui non c'è controllo o su cui questo è al più indiretto. In questo modo si riesce a separare quelli su cui è possibile intervenire in modo diretto da quelli su cui l'impatto delle decisioni correttive non è immediato. Un'altra classificazione molto comune è quella funzionale, che prevede la separazione dei rischi in gruppi caratterizzati dal ruolo svolto nel progetto. Un esempio delle possibili categorie realizzabili con questo raggruppamento sono i rischi commerciali, quelli produttivi, quelli legati alla progettazione o ancora quelli naturali. Il numero di gruppi che si vengono a formare seguendo questa logica dipende dalla complessità del progetto e dal livello di dettaglio con cui si scelgono le diverse funzioni. La sua utilità acquisisce rilevanza soprattutto per progetti di dimensioni elevate o molto complessi poiché permette di settorializzare l'analisi ed avere maggior controllo sui diversi processi.

Le classificazioni appena riportate sono state scelte come esempio poiché trovano larga applicazione a livello industriale ma, come già detto, è possibile riorganizzare i rischi identificati utilizzando diverse logiche. Infatti, nessuna classificazione si dimostra in generale

superiore alle altre in quanto ognuna aumenta il focus dell'analisi su alcune caratteristiche e ne mette in secondo piano altre. Pertanto, la scelta della logica da utilizzare deve basarsi unicamente sulla massimizzazione dell'efficacia della gestione e dipende quindi dalla natura e dalle caratteristiche del progetto.

Se le logiche di categorizzazione sono fondamentali poiché permettono di aumentare la rilevanza di alcune caratteristiche, lo stesso si può dire sul framework che prevede il loro utilizzo. Questo è la *Risk Breakdown Structure* RBS, un diagramma gerarchico che ricalca la Work Breakdown Structure e gli altri diagrammi descritti nel capitolo precedente, e che si è imposto come tool standard per la classificazione del rischio. Ulteriori dettagli saranno forniti nel paragrafo successivo, incentrato proprio sulla sua descrizione e sulla sua caratteristica più peculiare, ovvero lo stretto legame tra la sua struttura e la natura del progetto.

2.3. La Risk Breakdown Structure

Nel capitolo precedente è stata illustrata la Work Breakdown Structure, un diagramma gerarchico che ha lo scopo di garantire un elevato livello di dettaglio delle attività ed allo stesso tempo avere una visione di insieme del prodotto. Questo framework è attualmente lo standard su cui poggia l'intero processo di gestione del rischio di un progetto. Quando si parla di Risk Management, la Risk Breakdown Structure, sulla falsa riga di quanto avviene per la WBS per la pianificazione, è considerabile come il tool più importante poiché è la base dell'intero processo. La struttura dell'RBS è analoga a quella della WBS, si tratta infatti di un diagramma gerarchico costruito con logica top-down in cui il livello di dettaglio aumenta con la ramificazione, vedi Figura 2.3. Anche in questo caso al primo livello del diagramma corrisponde l'intero progetto ed i livelli successivi spiegano il suo frazionamento in diverse categorie. Queste possono essere identificate secondo diverse logiche, tra cui quelle descritte nel paragrafo precedente.

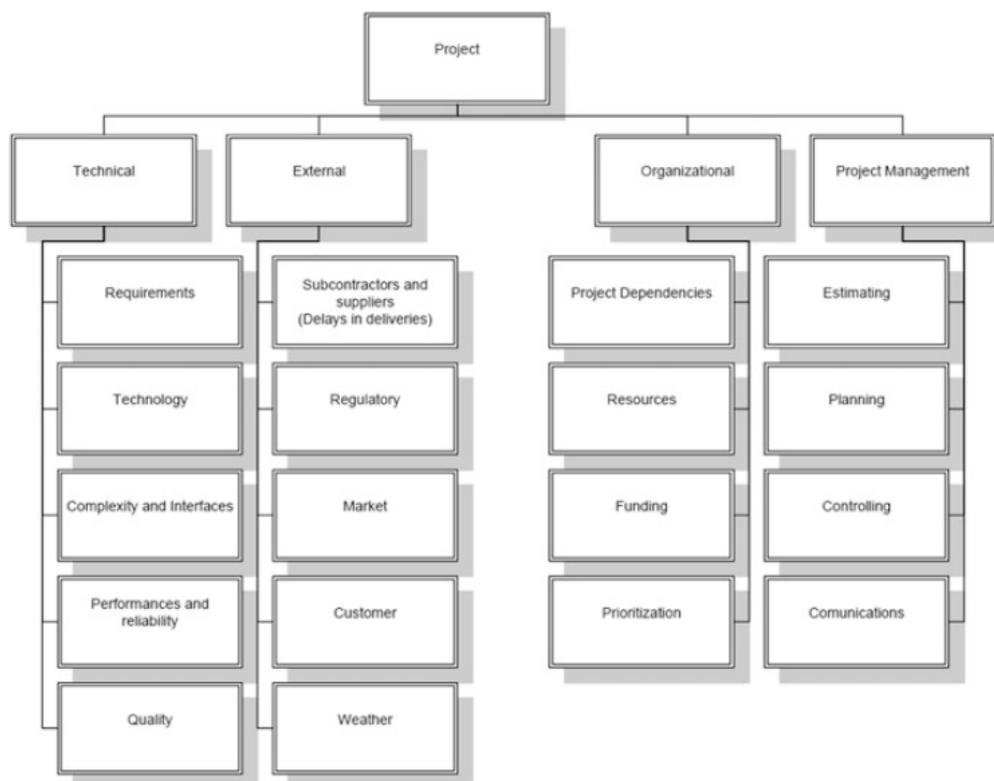


Figura 2.3: Risk Breakdown Structure

Fonte: De Marco, A. (2018). *Project Management for Facility Constructions: A Guide for Engineers and Architects (Second ed.)*. International Publishing Springer. p.190.

All'interno del Risk Management Process l'utilità della Risk Breakdown Structure è molteplice, poiché il suo utilizzo non è limitato alla sola fase di identificazione. Infatti, come riportano Hillson, Grimaldi e Rafele l'utilità dell'RBS si ravvede in diverse situazioni (Hillson, Grimaldi, & Rafele, *Managing Project Risks Using a Cross Risk Breakdown Matrix*, 2006, p. 62-63):

1. *Identificazione del rischio*: il diagramma è utile in fase di identificazione per due motivi. I livelli più alti della RBS possono essere utili per eseguire un confronto con quelli già riscontrati, mentre i livelli più bassi sono utili per verificare di aver esplorato ogni ambito del progetto;
2. *Valutazione dei rischi*: mappando i rischi con l'RBS, in fase di valutazione è possibile capire in quale ramo del progetto si è più esposti al rischio. Questa conoscenza è fondamentale perché permette di concentrare lo sforzo di elaborazione della risposta nelle aree che presentano maggiore criticità;
3. *Confronto delle alternative*: nel caso in cui sia necessario eseguire una comparazione, ad esempio sui possibili sviluppi del progetto o tra offerte di diversi fornitori, è

possibile applicare l'RBS alle diverse alternative per valutare i rischi associati ad ognuna di esse;

4. *Segnalazione del rischio*: la Risk Breakdown Structure può essere utilizzata come codifica per evitare incomprensioni nel linguaggio utilizzato quando si comunica argomenti inerenti al rischio. Inoltre, può essere un documento utile per proporre una sintesi dell'analisi del rischio agli stakeholder;
5. *Lezioni per il futuro*: il diagramma può essere sfruttato per accumulare l'esperienza per progetti futuri se viene utilizzato in modo simile ad una checklist. Esso può essere utile sia se utilizzato con una struttura generica che faccia da base per esplorare i rischi di progetti specifici, sia se utilizzata in una forma customizzata sulla natura del progetto in analisi.

Quando si parla di RBS non si può non sottolineare come la sua struttura sia fortemente condizionata dalla natura del progetto. Infatti, i rischi che occorrono in progetti della stessa industry presentano similitudini tra loro e si distaccano in modo più o meno forte da quelli appartenenti ad altri settori. Ciò si verifica in virtù della connessione tra l'attività ed il rischio ad esso associato. L'evidenza di questo assunto è implicita se si confronta un progetto nell'ambito delle costruzioni civili ed uno che ha come scopo, ad esempio, lo sviluppo di un software. Le due opere non presentano alcuna similitudine nei lavori e di conseguenza è difficile che possano ritrovarsi analogie nei rischi. Al più tra progetti di natura diversa è possibile trovare corrispondenze nei rischi proprio quando le eventualità sono slegate dal settore, come possono essere i rischi commerciali, sociali, politici o ambientali. Per questo motivo è possibile studiare le Risk Breakdown Structure per specializzarle a livello di settore. La letteratura considera questo concetto basilare, si veda ad esempio (Hillson, Using a Risk Breakdown Structure in project management, 2003, p. 87-89), e molti autori si sono impegnati a sviluppare RBS tipiche. Tra i vari settori quello che presenta il maggior numero di studi è quello delle costruzioni, per il quale è presente un'ampia letteratura mirata all'elaborazione Risk Breakdown Structure in specifici progetti. Tra le varie ricerche una molto citata e spesso presa come riferimento in molte altre analisi, si vedano ad esempio (Rasool, Denys, Franck, & Halidou, 2011) o (Rasool, Franck, Denys, & Halidou, 2012), è l'RBS riportata in Figura 2.4 (Tah & Carr, 2001).

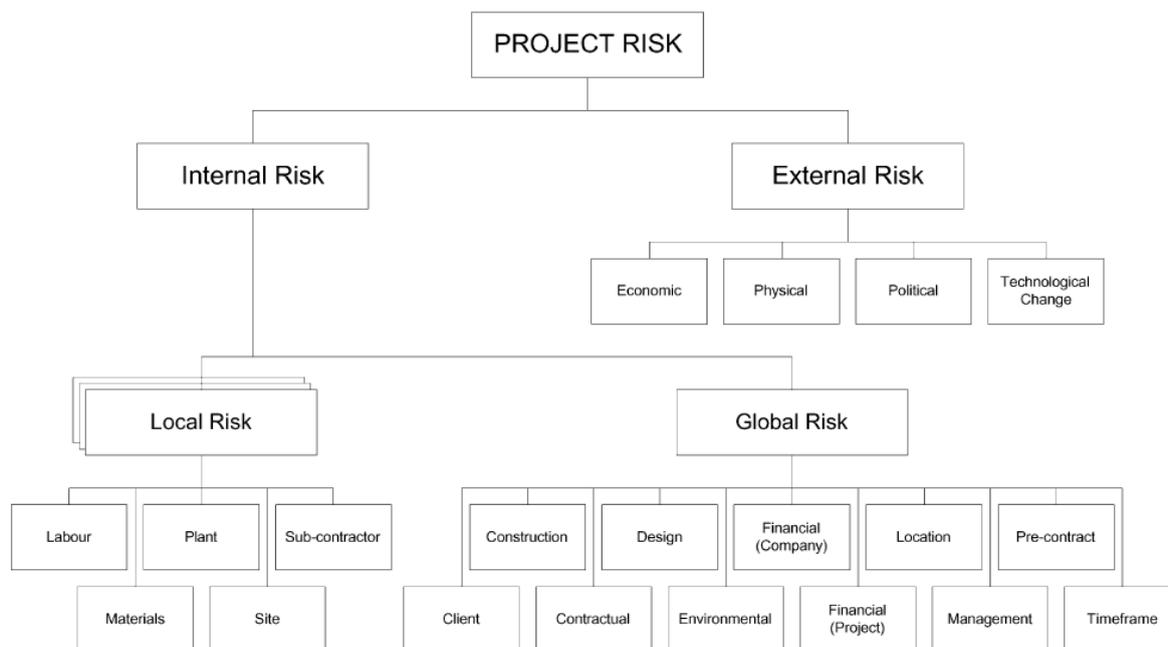


Figura 2.4: RBS per progetti di costruzioni

Fonte: Tah, J., & Carr, V. (2001). Towards a framework for project risk knowledge management in the construction supply chain. *Advances in Engineering Software*, 32, 835-846. p. 838.

Questo diagramma propone una struttura su quattro livelli che presenta la particolarità di avere il terzo asimmetrico, poiché prevede due diverse logiche. Leggendo l'RBS a partire dal primo stadio, si riscontra subito una sua scomposizione in due categorie, i rischi interni e quelli esterni. Il secondo livello ha infatti lo scopo di marcare una prima distinzione tra gli aspetti rispettivamente più e meno controllabili dal Project Management Team nel progetto. A seguire si assiste ad una distinzione della logica discriminante nei due rami che si vengono a creare. Il ramo dei rischi esterni prevede una scomposizione funzionale che identifica quattro classi ulteriori, ovvero i rischi relativi alla sfera economica, fisica, politica e al cambiamento tecnologico. A sua volta il ramo dei rischi esterni propone una scomposizione logica in rischi locali e globali. Gli autori hanno previsto questa ulteriore suddivisione nel terzo livello per dividere i rischi assegnabili ad un work package, concetto che si vedrà in seguito, da quelli che secondo loro dovrebbero essere assegnati all'intero progetto. Infine, il quarto torna a suddividere i rischi interni secondo una logica funzionale.

Questa RBS è particolarmente interessante per la qualità e la quantità dei rischi, poiché permeano ogni aspetto di un progetto costruttivo. Confrontando i risultati ottenuti con RBS per specifici progetti costruttivi di altre ricerche, è possibile notare come i rischi identificati da queste sono inclusi nel diagramma appena proposto. Si vedano ad esempio (Hamzaouia, Taillandierb, Mehdizadehb, Breyseb, & Allala, 2015), (El-Sayegh & Mansour, 2015) o

(Sigmunda & Radujkovic, 2014) in cui sono ipotizzate tre diverse RBS per altrettante opere costruttive differenti tra loro. Se si vuole invece confrontare la ricerca con altre più generali, vale la pena prendere in considerazione quella di Sun e Meng, uno studio altrettanto considerato in letteratura e che propone una analisi della tassonomia del rischio per il settore delle costruzioni (Sun & Meng, 2009), vedi Figura 2.5. In questo caso non si propone una RBS vera e propria ma è presente una scomposizione delle cause del rischio, assimilabili ai rischi stessi, su tre livelli, grazie ai quali le due ricerche sono confrontabili. In particolare, prevede al primo livello una separazione del rischio in tre categorie, i rischi esterni, i rischi interni e le cause organizzative. Le prime due classi ed i livelli loro sottostanti definiscono rischi già presenti e ben rilevati nella struttura vista in precedenza. L'ultima invece esplora aspetti che è possibile ritrovare in Tah e Carr ma a cui non è stata data la stessa rilevanza. Questa categoria esplora per l'appunto la componente organizzativa, un aspetto che vista la complessità che possono raggiungere le opere ha acquisito negli ultimi anni una notevole importanza. I livelli sottostanti questa classe a loro volta dividono i rischi in *process related*, *technology related* e *people related*. La prima classe è rilevante anche nel diagramma di Tah e Carr, la seconda si potrebbe inquadrare alla larga nella categoria del management (al quarto livello nel ramo dei rischi interni globali), mentre la terza è di difficile inquadramento. È evidente che inserire il rischio organizzativo al primo livello ha l'obiettivo di concentrare il focus su questa categoria. Al contempo però, la sua presenza tra rischi interni ed esterni comporta la perdita di una parte delle informazioni sulla controllabilità dei rischi. Quindi confrontando i due diagrammi emergono differenze che impediscono di propendere oggettivamente verso l'uno o l'altro. Questa evidenza non crea problemi ai fini della trattazione poiché i due esempi hanno esclusivamente l'obiettivo mostrare il lavoro che si cela dietro la costruzione di una RBS customizzata per un settore. In tal senso, le due proposte hanno rilevato che solitamente individui diversi identificano la maggior parte dei rischi comuni, ma che allo stesso tempo i diagrammi di autori diversi mostrano delle differenze. Queste sono causate prevalentemente dalla scelta delle gerarchie, che indirizzano il focus dell'analisi e per questo possono variare con la sensibilità dell'autore, e dalla presenza o meno di categorie di rischio in una o nell'altra struttura, circostanza dovuta dell'ambiguità intrinseca nell'identificazione del rischio e per questo strettamente collegata alla valutazione soggettiva dell'evento.

Vista la problematica insistenza della soggettività nel ricercare una struttura generalizzata

per il settore delle costruzioni è necessario superare l'individualità dell'autore nella costruzione del diagramma. In tal senso viene in aiuto una ricerca di Barlish, De Marco e Thaheem che propone di mostrare le differenze tra la percezione dei rischi da parte degli accademici e degli operatori di settore (Barlish, Marco, & Thaheem, 2013).

Level 1	Level 2	Level 3
External causes	Environmental factors	Conservation restrictions Weather conditions (wind, temperature, rain, etc.) Natural disaster (flood, earthquake, etc.) Geological conditions Unforeseen ground conditions
	Political factors	Changes in government policies (environmental protection, sustainability, waste recycle, brown field use, etc.) Changes in legislations on employment, and working conditions Delays in planning permission approval
	Social factors	Demography change and its impact on labour demand and supply Skill shortage on certain trades Opposition of neighbouring community
	Economical factors	Economic development cycle and its impact on demand Inflation impact on material, equipment and labour price fluctuation Market competition
	Technological factors	New materials New construction methods Technology complexity
Organisational causes	Process related	Organisation business strategy Business procedures, including payment practice Quality Assurance procedures
	People related	Competence and skills Culture and ethics
	Technology related	IT and communication systems Technical supports
Project internal causes	Client generated	Requirement change and variation Funding change, i.e., shortage of funding Slow decision making Payment delays Difficulty in site acquisition
	Design consultant generated	Poor, incomplete drawings Design changes due to poor brief, errors and omissions Inconsistent site conditions
	Contractor/subcontractor generated	Poor project plan/schedule Poor site/project management skills Delays in appointing subcontractor Delay of subcontractors' work Poor workmanship Low productivity Poor logistic control
	Others	Poor interdisciplinary communication Team instability, i.e., disputes, bankruptcy, etc. Inappropriate project organisational structure

Figura 2.5: Tassonomia del rischio per progetti di costruzioni

Fonte: Sun, M., & Meng, X. (2009). Taxonomy for change causes and effects in construction projects. International Journal of Project Management, 27, 560–572. p. 567.

Nel farlo gli autori hanno costruito due costruito due RBS ispirate rispettivamente alla letteratura e al settore industriale. La prima di queste è quella di maggiore interesse per questa tesi, poiché supera il problema della soggettività dell'autore. Infatti, è stata realizzata

estraendo i rischi più rilevanti identificati in 18 pubblicazioni letterarie, di cui fanno parte anche quelle presentate in precedenza, e di conseguenza va a limare gli aspetti critici presenti in ognuna di esse attraverso una loro summa. Per questo motivo il diagramma proposto può essere considerato da questa tesi come la Risk Breakdown Structure di riferimento per il settore delle costruzioni, vedi Figura 2.6.

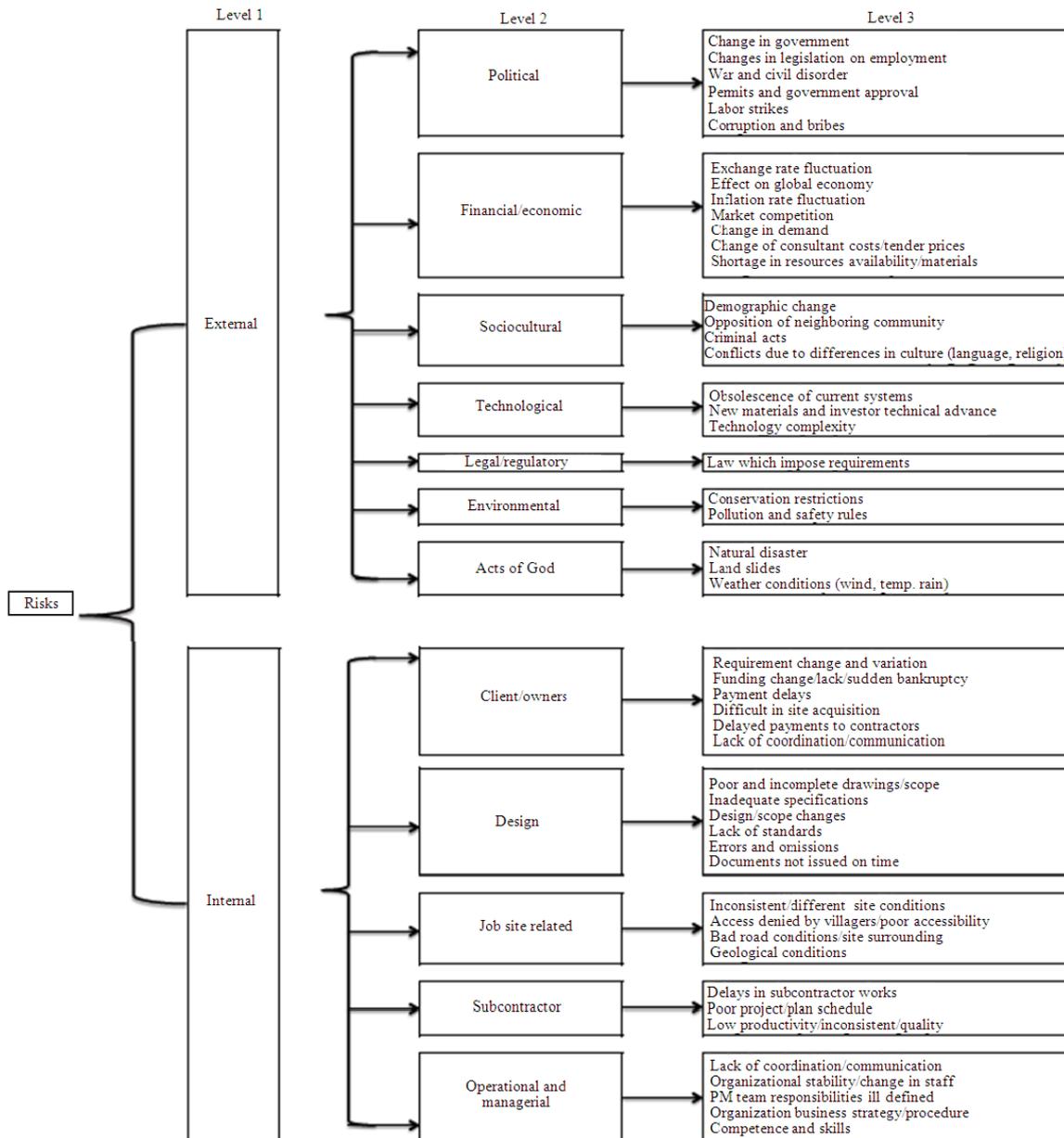


Figura 2.6: RBS per progetti di costruzione di derivazione accademica

Fonte: Barlish, K., Marco, A. D., & Thaheem, M. J. (2013). Construction Risk Taxonomy: An International Convergence of Academic and Industry Perspectives. American Journal of Applied Sciences, 10(7), p. 709.

Oltre a questo aspetto è importante valutare anche i risultati portati dal lavoro perché in una trattazione del rischio il disallineamento nella prospettiva tra gli accademici ed i professionisti del settore è un aspetto da non trascurare. Come detto in precedenza, per

poter confrontare le due visioni è stata realizzata una seconda RBS ricavando le informazioni con un'indagine condotta su operatori del settore. Il campione di intervistati è eterogeneo in quanto il loro background differisce nell'area di provenienza, nel posizionamento delle aziende di appartenenza nella filiera e nel ruolo ricoperto, pertanto esso può dirsi rappresentativo del settore.

Il confronto tra i due diagrammi ha portato a risultati interessanti. In primis, gli autori hanno desunto che i professionisti mostrano una sensibilità al rischio molto più dinamica degli accademici, ovvero tendono a considerare maggiormente le eventualità di apparizione più recente. Questo avviene probabilmente perché la letteratura non è a contatto diretto con le nuove eventualità e questa mancanza di conoscenza ne riduce l'importanza. Allo stesso modo però pare che la letteratura abbia una visione più di lungo periodo, mentre i professionisti si soffermano maggiormente sulle eventualità che sentono più vicine. Anche questa differenza può essere spiegata con la diversa vicinanza ai problemi, in quanto è probabile che nell'industria gli operatori siano focalizzati maggiormente su quello che devono affrontare nell'immediato. Tra i vari risultati questi due sono quelli più interessanti per questa trattazione in quanto mostrano che il problema della sensibilità è reale, a maggior ragione quando il background degli attori è differente. Pertanto, in un'ottica di miglioramento del processo di gestione del rischio è auspicabile che i due mondi lavorino assieme allineando le prospettive per trarne giovamento reciproco. Infatti, l'operatività è utile nel comprendere le situazioni emergenti nel settore, che richiedono tempo alla letteratura per essere correttamente assimilati, ma allo stesso tempo la pressione tipica di questo lavoro, dovuta al necessario mantenimento del progetto nei vincoli di tempo e costo, può causare errori di valutazione dei rischi nel lungo periodo.

Con quest'ultimo aspetto può dirsi sufficientemente esplorata la materia delle Risk Breakdown Structure. Prima di concludere si vuole però ricordare che la descrizione appena presentata per le RBS tipiche ha preso come esempio il settore delle costruzioni poiché maggiormente esplorato in letteratura. Ciò non toglie che altri diagrammi siano stati ipotizzati per altri settori. Si veda ad esempio Hillson, che in una ricerca già citata ha riportato proposte di RBS tipiche per progetti in ambito di sviluppo software, progettazioni costruttive, progettazioni ingegneristiche, forniture energetiche e ancora sviluppo farmaceutico (Hillson, Using a Risk Breakdown Structure in project management, 2003, p. 88-93). Questo dimostra che in ogni settore è viva la necessità di unificare l'identificazione e

codificare i rischi per standardizzare l'attività di ricerca, con conseguente semplificazione del Risk Management Process, e che è riconosciuto che l'RBS abbia la capacità di specializzarsi e catturare il legame tra rischio e natura del progetto.

2.4. La valutazione del rischio e la Risk Breakdown Matrix

Dopo aver descritto le tecniche di individuazione dei rischi, la loro classificazione e la Risk Breakdown Structure, sono stati esplorati tutti gli aspetti della fase di identificazione del rischio su cui questa tesi ha interesse. Da questo momento il focus si sposterà sull'attività successiva del processo di gestione ovvero la valutazione. Come definito in precedenza il Risk Management Process prevede una fase di valutazione qualitativa dei rischi ed una quantitativa. La prima prevede di migliorare la classificazione e di attribuire una stima di merito alla probabilità e all'impatto di ognuno di essi. La seconda si occupa di applicare modelli matematici per ricavare informazioni sull'impatto che i rischi possono avere e quindi per definire gli ipotetici scenari futuri del progetto. L'interesse di questa tesi nell'ambito della valutazione del rischio risiede unicamente nella parte qualitativa, poiché si ha la volontà di andare ad analizzare la *Risk Breakdown Matrix* RBM, un framework che sarà illustrato in seguito. Prima di arrivarci è necessario infatti eseguire i dovuti approfondimenti riguardo alla bidimensionalità del rischio. Come già definito, questo possiede due fattori caratterizzanti, ovvero la probabilità e l'impatto. Per ogni rischio queste due peculiarità vengono studiate separatamente e successivamente vengono ricongiunte nel caratterizzarlo. L'analisi qualitativa della probabilità viene eseguita associando ogni rischio ad un'etichetta preventivamente definita. Le etichette sono solitamente parole o frasi utilizzate per definire una certa probabilità di accadimento dell'evento. Questa analisi è di semplice applicazione ma spesso rischia di incorrere in alcuni problemi, tra cui i principali sono il numero delle etichette che si utilizzano, l'ambiguità dei termini e quella tra questi ultimi e la probabilità che vogliono indicare (Hillson, *Effective Opportunity Management for Projects*, 2003, p. 90-93). Il primo problema non ha una vera soluzione ma si può superare basando il numero di classi sulla complessità di un progetto. Di norma vengono utilizzate tre classi per i progetti più semplici ma si può arrivare anche alla decina. Un buon compromesso è l'utilizzo di cinque categorie poiché permette di classificare in modo abbastanza vario i rischi ma non incrementa eccessivamente la complessità dell'analisi. Il secondo problema, ovvero l'ambiguità dei termini, per quanto possa sembrare banale è effettivamente un fattore da

non trascurare. Infatti, nel caso in cui si sia scelto di sfruttare molte etichette è facile dover ricorrere a termini simili per differenziare le classi. Si pensi ad esempio alla confusione che possono creare parole come *improbabile* o *inverosimile*. Per questo motivo è necessario utilizzare delle label che evitano in ogni modo l'insorgere di ambiguità, come ad esempio quelle che prevedono l'utilizzo di aggettivi per distinguere classi simili, vedi Figura 2.6. Infine, per superare il problema dell'ambiguità che si può creare tra la classe e la probabilità che rappresenta, è possibile assegnare preventivamente ad ogni categoria il valore di una probabilità specifica o l'intervallo tra due valori. Nel primo caso si assegneranno ad ogni classe i rischi che si ritiene si avvicinino maggiormente, per difetto o per eccesso, al valore cui si riferisce, mentre nel secondo caso si attribuirà il rischio alla classe cui si crede che appartenga.

Probability label	Phrase
Very Low	Improbable
Low	Unlikely
Medium	Possible
High	Probable
Very High	Likely

Figura 2.7: Codifica etichette per l'assegnazione della probabilità
Fonte: Hillson, D. (2003). *Effective Opportunity Management for Projects*. New York: Dekker. p.91.

Un'alternativa all'analisi qualitativa è quella semi qualitativa, che si differenzia dalla prima poiché prevede l'attribuzione di un punteggio alla classe di probabilità. Questo metodo è preferibile rispetto al precedente in quanto consente di eseguire operazioni matematiche sulle categorie dei rischi ed elimina le ambiguità che le label possono introdurre. Di norma è previsto che la scala di punteggio sia di tipo cardinale e che il valore minimo sia pari ad uno. In questo modo si evita che i calcoli possano essere corrotti dalla proprietà di assorbimento dello 0 nella moltiplicazione. I punteggi vengono attribuiti alle varie classi seguendo un ordinamento crescente della probabilità, in modo che la categoria dei meno probabili abbia valore 1 e le successive un valore crescente.

L'analisi qualitativa degli impatti si esegue in modo non dissimile da quella delle probabilità. Anche in questo caso infatti si identificano delle classi di impatto in cui poter inquadrare i rischi. È proprio nella combinazione tra rischio e classe che emerge la differenza tra le due analisi. In quella qualitativa si è illustrato un metodo di attribuzione che non considera la molteplicità nel collegamento, poiché ad un rischio viene univocamente associata una

probabilità. Ciò non è vero per gli impatti, in quanto l'intensità del rischio varia con l'attività su cui questo insiste e addirittura può essere differente sulla stessa attività se insorge in momenti diversi. Si immagini ad esempio un rischio comune come il ritardo di una fornitura, un'attività che può ripetersi più volte in un'opera. Visto che l'operazione su cui insiste il rischio è sempre la stessa si potrebbe pensare che anche l'impatto non cambi, ma ciò non è vero in quanto devono essere considerati altri fattori come ad esempio la schedulazione delle operazioni. Infatti, l'effetto della singola attività sul progetto potrebbe rovinoso se questa fa parte del percorso critico⁵, mentre potrebbe non inficiare lo svolgimento dei lavori se questa è secondaria. Pertanto, nel caso dell'analisi qualitativa degli impatti la valutazione del rischio deve essere eseguita su tutte le attività su cui questo insiste e tutte le volte che può avvenire. Poiché ciò aumenta esponenzialmente la durata necessaria ad eseguire l'analisi, si è soliti attuarla considerando esclusivamente le attività del percorso critico o sub-critiche e prendendo in considerazione solo le minacce. A livello operativo l'operazione di categorizzazione dei rischi è analoga a quella delle probabilità. Ciò che varia nei due casi è la misura dell'effetto poiché questo può essere valutato con diverse metriche. Infatti, la valutazione si può eseguire su percentuali del costo di progetto, del costo dell'attività o ancora si può lavorare sulle durate. Anche in questo caso può emergere la necessità di convertire le informazioni in dati maggiormente utilizzabili e si arriva a sfruttare l'analisi semi qualitativa. La logica che segue è analoga alla precedente, così come le caratteristiche della scala. Anche in questo caso all'impatto minore corrisponderà il valore 1 e gli altri punteggi saranno attribuiti per impatto crescente.

Definiti qualitativamente sia la probabilità che l'impatto è possibile combinare i due fattori per conoscere lo stato del rischio su una attività. Questa operazione si esegue con per rendere confrontabili i rischi e capire su quali è necessario intervenire e quali invece possono essere trascurati. L'attività in questione è detta prioritizzazione ed è eseguibile utilizzando due framework, la P-I Grid e la Risk Breakdown Matrix. Entrambi gli strumenti si basano sull'assunto che se il rischio è definito su due fattori, quali probabilità e impatto, ad esso può essere associata anche una funzione matematica che li combini per descriverlo

⁵ Il percorso critico è definito da Project Management Institute come *"la sequenza di attività che rappresenta il percorso più lungo di un progetto, che determina la durata più breve possibile"* (Project Management Institute, 2017, p. 704). Questo concetto emerge nel Critical Path Method, un metodo che studia i diversi percorsi della schedulazione e la loro flessibilità per valutare appunto la durata probabile di un progetto.

(Williams, 1996, p. 185). La formulazione in questione è la *Risk Exposure* (R), detta anche *Risk Severity* (De Marco, 2018, p. 191), ed è definita come il prodotto tra la probabilità e l'impatto di due rischi:

$$R = P * I$$

Il risultato della risk exposure fornisce una sintesi del pericolo effettivo che il rischio comporta sul progetto. Se i valori di probabilità ed impatto utilizzati nel calcolo sono definiti su una scala semi qualitativa, il codominio della risk exposure è limitato ed i suoi valori sono discreti. In fase di analisi del rischio questa caratteristica può essere molto utile poiché consente di confrontare le diverse eventualità su una scala di pericolosità nota e discreta. La formulazione della Risk Exposure è molto semplice ma riesce a catturare la vera essenza del rischio. Questo concetto si esprime meglio analizzando l'indicatore al variare delle sue componenti. In caso di probabilità ed impatto bassi il valore della risk exposure è basso e ovviamente cresce con i due parametri. Questo implica che consente di valutare anche le situazioni intermedie, ovvero quelle in cui un fattore è elevato e l'altro è basso, le quali, in assenza di un metodo per quantificare le differenze tra i rischi, sono proprio più critiche da valutare. In questi casi infatti si tende a considerare maggiormente quelli con probabilità alta rispetto a quelli con alto impatto (Zhi, 1995, p. 234).

Tornando all'attività di prioritizzazione, il primo framework tramite cui questa si può eseguire è la P-I Grid, una griglia che incrocia le classi di probabilità e impatto ed assegna un punteggio ad ogni combinazione. La logica con cui questo viene attribuito dipende dal tipo di analisi eseguita nella valutazione di probabilità e impatto. Nel caso in cui questa sia puramente qualitativa si sfrutta una logica posizionale, che assegna ad ogni rischio una posizione in una classifica di priorità. Normalmente il primo posto spetta alla combinazione di probabilità ed impatto più alto, mentre le posizioni successive si assegnano al ridursi di questi valori. Nel caso in cui più rischi abbiano probabilità ed impatto con valori opposti, viene data priorità a quelli con impatto maggiore, vedi le celle 2 e 3 della Figura 2.8.

PROBABILITY	VHI	15	10	6	3	1
	HI	19	14	9	5	2
	MED	22	18	13	8	4
	LO	24	21	17	12	7
	VLO	25	23	20	16	11
		VLO	LO	MED	HI	VHI
		IMPACT				

Figura 2.8: P-I Grid

Fonte: Hillson, D. (2003). Effective Opportunity Management for Projects. New York: Dekker. p.98.

Quando invece la valutazione dei fattori è di tipo semi qualitativo, come si è detto in precedenza, si assegna un punteggio anziché una label ed in questo caso è possibile assegnare ad ogni combinazione un valore pari al prodotto tra la probabilità e l'impatto. Questo metodo equivale ad utilizzare la risk exposure per popolare ogni cella (Ward, 1999, p. 332). Una volta eseguita la valutazione tramite la griglia per ogni coppia attività/rischio, si ottiene una loro classifica basata sulla pericolosità che hanno sul progetto.

Oltre alla P-I Grid si è già detto che la prioritizzazione del rischio è eseguibile utilizzando la Risk Breakdown Matrix, una matrice che incrocia le attività di un progetto e i rischi individuati. Per farlo utilizza come fonti la Work Breakdown Structure e la Risk Breakdown Structure (Aleshin, 2001, p. 211), vedi Figura 2.9, poiché i due diagrammi sono efficacemente confrontabili grazie alla comune struttura gerarchica (Iranmanesh, Jalili, & Pirmoradi, 2007, p. 999). L'RBM permette quindi di associare ad ogni work package le diverse eventualità in cui essi possono incorrere. Questa caratteristica è il motivo principale per cui il diagramma ha una efficacia maggiore della P-I Grid, in quanto permette di avere una visione d'insieme dello stato del rischio su una attività o sull'intero progetto, risultato che la griglie precedenti non riescono a fornire. La Risk Breakdown Matrix presenta quindi su un asse i diversi work package della WBS e sull'altro i rischi dell'ultimo livello della RBS. Poiché è uno dei costrutti utilizzati per creare la matrice, la scelta di quest'ultima è fondamentale per garantire la sua efficacia. Come si è visto in precedenza, infatti, la struttura dell'RBS può variare da formulazioni generiche ad altre più specifiche. Pertanto, per avere maggior successo è preferibile utilizzare una Risk Breakdown Structure tipica per un settore, in modo da

garantire il miglior dettaglio sui rischi che incorrono sul progetto (Rafele, Hillson, & Grimaldi, 2005, p. 1).

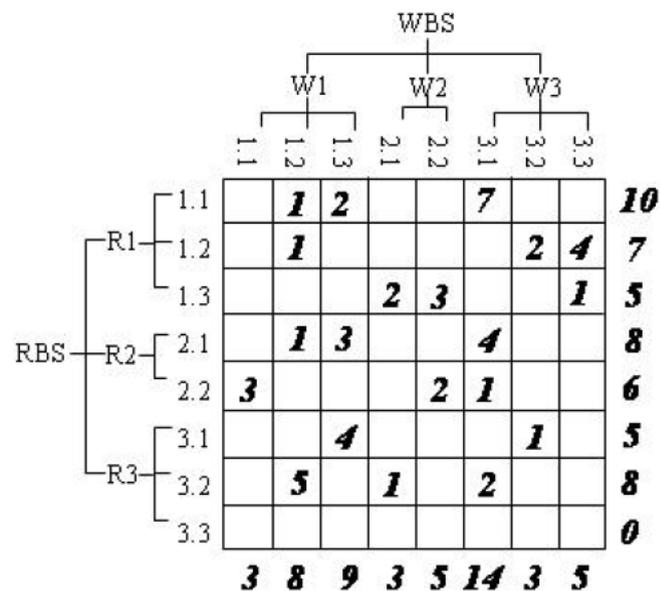


Figura 2.9: Risk Breakdown Matrix

Fonte: Hillson, D. (2003). *Effective Opportunity Management for Projects*. New York: Dekker. p.111.

Nella Risk Breakdown Matrix gli incroci tra le righe e le colonne sono popolati con il valore della risk exposure ed anche in questo caso, come per la P-I Grid, il punteggio consente di assegnare la priorità ai rischi. Una volta valutate le attività, solitamente quelle critiche o sub critiche, la prioritizzazione può essere di tre tipologie. La prima prevede di classificare l'associazione tra singolo rischio e singola attività, ottenendo un risultato speculare a quello ricavato utilizzando le griglie di probabilità / impatto. La seconda valuta tutti i rischi che incorrono su una singola attività e pone quindi il focus sul work package. Infine, la terza prevede di concentrare l'analisi sul singolo rischio nell'intero progetto e valuta quindi la singola eventualità su tutti i work package. Per seguire il secondo ed il terzo metodo è necessario aggregare i rischi e proprio questa operazione segna la differenza tra i due. Prendendo come riferimento la Figura 2.9, per valutare il work package è necessario sommare il valore della risk exposure per colonna, mentre per valutare il rischio questa operazione deve essere eseguita per righe.

Trattato anche quest'ultimo argomento lo studio della valutazione del rischio è concluso e rimane un ultimo concetto da esplorare nell'ambito del rischio ovvero la Contingency Reserve. Questa è stata introdotta nel capitolo precedente ma il suo approfondimento è rimasto in sospeso in quanto è strettamente legato alla valutazione appena descritta. Il

prossimo paragrafo sarà incentrato sulla sua descrizione in modo da concludere la trattazione del Risk Management Process ed avviarsi verso la conclusione del lavoro.

2.5. La Contingency Reserve e l'Expected Monetary Value

Nel corso della descrizione del budget del primo capitolo, è stato introdotto il concetto di Contingency Reserve, definita come un accantonamento di risorse a disposizione del Project Manager e utilizzata nell'affrontare l'incorrere di evenienze non prevedibili preliminarmente accettate. La questa definizione acquista un più rilevanza dopo aver definito il concetto di rischio, ma entrando nello specifico è necessario sottolineare che la sua quantificazione avviene durante la predisposizione della risposta al rischio. Le possibili azioni di risposta sono quattro e tra queste una prevede proprio lo stanziamento della Contingency Reserve. Le quattro risposte al rischio definite dal Risk Management sono le seguenti (De Marco, 2018, p. 193-194):

1. Accettare: è la risposta che si prevede quando la probabilità e l'impatto di un evento intatteso sono bassi. È giustificata dal fatto che anche in caso di realizzazione del rischio, eventualità remota vista la probabilità che lo caratterizza, le ripercussioni sul progetto sono basse. Per questo motivo non si pianifica una risposta specifica per ogni attività, ma si prevede di allocare delle risorse straordinarie con cui affrontare qualunque eventualità in cui si incorra;
2. Mitigare: è la risposta che si intraprende quando la probabilità di accadimento di un rischio è elevata ma il suo impatto è basso. In questo caso vista l'alta probabilità che l'avvenimento si realizzi, si prova a ridurre l'effetto che l'evento può avere sul progetto e solitamente questo si realizza allocando maggiori risorse sulle attività su cui questo insiste. Qui la parola risorse è usata in senso lato e può includere risorse fisiche, umane o buffer temporali, che consentono all'attività di completarsi con una durata maggiore;
3. Trasferire: è la risposta prevista nel caso in cui la probabilità di avvenimento del rischio sia bassa ed il suo impatto sia elevato. Se l'accettazione si basava sulla riduzione dell'impatto dell'evento, il trasferimento prevede di evitare che questo abbia effetti sul progetto. Per compiere questa operazione è necessario che la responsabilità dell'avvenimento passi ad un altro attore, misura che solitamente si realizza stipulando assicurazioni. Ciò comporta una copertura in caso di realizzazione

del rischio, ma al contempo prevede un costo pari al premio da riconoscere allo stakeholder che decide di assumerlo;

4. Evitare: evitare un'attività è la misura che si rende necessaria quando sia la probabilità che l'impatto del rischio ad essa associato sono elevati. Questa misura si applica quando il rischio per il progetto è troppo elevato e si realizza modificando i work-package o sostituendoli con altri equivalenti ma meno rischiosi. In alternativa è possibile variare gli obiettivi del progetto in termini di durata e costo per mitigare la pericolosità di queste attività.

Pertanto, la Contingency Reserve viene pianificata a seguito dell'accettazione dei rischi, per tutelarsi dalla possibilità che effettivamente si realizzino dato che non è stata intrapresa una risposta specifica. Ovviamente, il valore che assume questo fondo non prevede di coprire tutti i possibili ritardi o tutte le possibili perdite, poiché presuppone che vista la bassa probabilità che li caratterizza se ne possano concretizzare pochi.

È interessante notare che solitamente l'utilizzo della riserva durante il progetto non è costante, in quanto essa viene sfruttata maggiormente nei primi stadi, caratterizzati dall'incertezza massima, e proseguendo con lo sviluppo viene spesa in quantità minore (Shrivastava, 2014). D'altro canto è necessario che le coperture allocate siano riviste nel tempo in quanto esse riflettono il Risk Management Process, che come più volte ripetuto è un processo ciclico che si attua lungo tutta la durata del progetto.

Ancora è utile notare che data la natura incerta delle eventualità coperte dalla Contingency Reserve, è possibile che al termine dei lavori essa non sia completamente esaurita. In questi casi le risorse rimanenti assumono un altro ruolo, poiché possono essere utilizzate come profitto aggiuntivo, possono servire per apportare miglioramenti al progetto e infine possono essere restituite al cliente per dimostrare di aver concluso i lavori ad un costo inferiore di quello preventivato (Marco, Rafele, & Thaheem, 2016).

Il calcolo della Contingency Reserve solitamente viene realizzato sfruttando il concetto di *Expected Monetary Value* (EMV), definito dal Project Management Institute come il costo ponderato medio atteso delle eventualità incerte (Project Management Institute, 2009, p. 94). Concettualmente la formulazione dell'EMV è alquanto simile a quella della Risk Exposure, in quanto prevede di moltiplicare la probabilità di realizzazione di un rischio per il suo impatto. La differenza tra i due metodi si osserva nella probabilità utilizzata, in quanto, se nella risk exposure essa è quella di accadimento del rischio, nell'Expected Monetary Value

è quella di realizzazione di uno specifico impatto, vedi Figura 2.10. Infatti, l'EVM prevede di associare la probabilità che lo caratterizza ad ogni possibile impatto dell'evento. Pertanto, il calcolo del valore atteso di ogni rischio si effettuerà sommando i prodotti tra le varie probabilità, la cui somma deve essere pari ad 1, e i relativi impatti attesi. Quanto al risultato dell'Expected Monetary Value, esso rappresenterà il payoff atteso per il rischio su una determinata attività. Analiticamente ciò si esprime attraverso la formulazione seguente.

$$EMV = \sum P_i * I_i$$

Nell'equazione P_i è la possibilità di realizzazione di uno scenario ed I_i è l'impatto associato allo scenario in considerazione.

WINNINGS	PROBABILITY	EXPECTED VALUE
\$1	0.25	\$0.25
\$10	0.01	\$0.10
\$1,000	0.0001	\$0.10
\$1,000,000	0.0000001	\$0.10
0	0.7398999	\$0

$EMV = \$0.25 + \$0.10 + \$0.10 + \$0.10 + \$0.00 = \0.55

Figura 2.10: Calcolo dell'Expected Monetary Value per la vittoria ad una lotteria

Fonte: Pritchard, C. L. (2015). Risk Management: Concepts and Guidance (5 ed.). Philadelphia: PA: Auerbach Publications. p.209.

Ad ogni modo, il concetto di Expected Monetary Value non è strettamente legato al calcolo della Contingency Reserve, in quanto è un costrutto che trova applicazione in tutti i contesti in cui è necessario calcolare il valore atteso di un evento incerto. Limitandosi al solo Project Management, esso può essere utilizzato in ogni fase dello sviluppo del progetto (Pritchard, 2015), si pensi ad esempio ad un suo utilizzo in fase di pianificazione per decidere quali attività è conveniente eseguire o in fase di gestione del rischio per discriminare quale risposta sia più adatta. Inoltre, va sottolineato che l'Expected Monetary Value non è limitato al solo calcolo dei costi, ma può essere utilizzato anche per valutare i tempi associati alle attività incerte. Sfruttando questa caratteristica è possibile calcolare dei buffer temporali da inserire alla fine della pianificazione sulla falsa riga di quanto fatto con la Contingency Reserve nella predisposizione del budget.

Con la trattazione della Contingency Reserve si è completato il percorso di descrizione

dell'Earned Value Management iniziato nel primo capitolo ed allo stesso tempo si è conclusa l'esplorazione del Project Risk Management. Con questo capitolo si sono illustrate le caratteristiche del rischio, di è spiegato come si sviluppa il suo processo di gestione e si sono approfonditi i framework che saranno riutilizzati in seguito, ovvero la Risk Breakdown Structure e la Risk Breakdown Matrix. In questo modo è possibile avere una maggiore comprensione nella proposta di integrazione tra la pianificazione e la gestione del rischio che si illustrerà nel capitolo successivo.

Capitolo 3. Integrazione del rischio nelle stime a finire

Nei capitoli precedenti di questa tesi sono state esplorate due discipline cardine del Project Management, ovvero l'Earned Value Management ed il Project Risk Management. Nel primo sono stati descritti i framework preliminari, le generalità del modello e gli indici di performance per avere basi solide su cui descrivere il concetto maggiormente importante per questa tesi, ovvero le stime a finire. A seguito di questa analisi è emerso che l'Earned Value Management è effettivamente uno strumento molto utile nelle mani di un Project Manager, ma che allo stesso tempo è focalizzato solo sui tempi ed i costi e di conseguenza trascura altri fattori rilevanti. Inoltre, esso si regge sull'ipotesi molto forte che l'andamento del progetto segua le prestazioni tenute fino a quel momento.

Nel secondo capitolo si è invece descritta l'analisi del rischio di cui sono state esplorate le generalità del concetto, il tipico processo di gestione e sono state valutate due operazioni rilevanti quali la sua identificazione e la sua valutazione. È emerso che l'analisi prevede di valutare tutte le eventualità che possono interessare di un progetto, le quali spesso insistono in ambiti diversi come possono essere la qualità, la soddisfazione degli stakeholder, gli aspetti ambientali, ecc., e che nel farlo segue una prospettiva che guarda al futuro.

È evidente quindi che l'orizzonte temporale dei due processi sia complementare, così come l'ambito di indagine, dato che il Risk Management rileva le i fattori critici che ricadono fuori dal perimetro dell'Earned Value Management. Questi due presupposti sono quelli in cui vuole inserirsi questa tesi con lo scopo di integrare i due modelli per sintetizzare il contenuto informativo a disposizione del Project Manager. In particolare, si proporrà una combinazione degli strumenti più peculiari visti fino ad ora, ovvero l'Estimate at Completion per l'Earned Value Management e i diagrammi Risk Breakdown Structure e Risk Breakdown Matrix per il Risk Management. In vero, vista la forte complementarità che intercorre tra il processo di gestione del valore e quello di gestione del rischio, altre ricerche hanno in comune con questa tesi l'obiettivo di integrarle. È interessante comprendere questi studi poiché ognuno di essi propone una integrazione peculiare e la loro conoscenza aiuta a migliorare la comprensione globale del problema. Per questo motivo, prima di presentare la proposta di questo lavoro si analizzeranno alcuni esempi di integrazione

3.1. Esempi di integrazione tra EVM e PRM

La maggior parte delle ricerche che provano ad integrare nell'Earned Value Management il concetto di rischio, lo fanno seguendo una strada notevolmente diversa da quella che si proporrà. Infatti, sono legate in larga scala allo sfruttamento di metodi quantitativi per studiare le distribuzioni di probabilità del costo totale e della programmazione del progetto. Di seguito si illustreranno due ricerche utili per capire su che presupposti si è mossa fino a questo momento la letteratura, per solcare in maniera netta la differenza tra questo tipo di proposte e quella che si presenterà alla fine del capitolo.

Il primo studio che si vuole illustrare è quello di Barraza, Back e Mata, i primi ad introdurre in modo semplice la componente stocastica nelle previsioni dell'Earned Value Management, che come si è visto hanno una natura deterministica (Barraza, Back, & Mata, 2004). Il metodo sviluppato dagli autori trova applicazione in fase di monitoraggio e controllo delle attività, pertanto esula dalla pianificazione iniziale, in quanto credono che possa sviluppare la sua efficacia prevalentemente in queste fasi del progetto. Si basa sull'utilizzo della Stochastic S-Curve, di seguito SS-Curve, un insieme di S-Curve corredate da distribuzioni di probabilità per ogni avanzamento del progetto. La costruzione di questo diagramma è iterativa e si realizza definendo varie S-Curve caratterizzate ognuna da un valore finale ipotetico del fattore tempo o costo. Avendo a disposizione queste curve è quindi possibile ricavare la distribuzione di probabilità ad esse associata per ogni avanzamento, vedi Figura 3.1. Tra le varie funzioni la S-Curve costituita in fase di pianificazione assume il ruolo di media della distribuzione e di conseguenza nella distribuzione normale dell'ultimo avanzamento il valor medio del BAC e della DAC equivalgono al costo e alla durata pianificati. La *Duration at Completion* (DAC) non è nient'altro che la durata del progetto, in precedenza chiamata PD. Completata la costruzione della SS-Curve, il metodo prevede di valutare la prestazione del progetto sfruttando i concetti di Cost Variance e Schedule Variance. In particolare, gli autori definiscono come *At Completion Cost Variation* (ACV) la variazione dei costi finali e come *At Completion Time Variation* (ATV) la variazione sulle durate finali. La prima viene calcolata come differenza tra il BAC e l'EAC e, sulla stessa linea, la seconda è la differenza tra DAC e *Time at Completion* (TAC), vedi Figura 3.2. Per il calcolo dell'EAC e del TAC gli autori prevedono di utilizzare alcune formulazioni già descritte nel primo capitolo, motivo per cui non si approfondirà questo aspetto. Va specificato che nella ricerca si

propone di scegliere le loro formule di calcolo in relazione alla peculiarità delle attività. In particolare, le discriminanti sono la possibilità che i lavori siano iniziati o meno e la presenza o meno di correlazione tra i work-package. Tornando al calcolo delle stime, queste, note la SS-Curve e le informazioni sullo stato attuale dei tempi e dei costi, vengono calcolate simulando nuovamente degli scenari in modo da creare una nuova distribuzione dell'EAC e del TAC. Proprio attraverso questa lo studio ha introdotto la variabilità del progetto nelle stime. Ovviamente la variabilità è dovuta agli eventi inattesi che sopraggiungono del corso dei lavori, pertanto l'utilizzo della SS-Curve può dirsi essere un'integrazione del rischio nell'Earned Value Management.

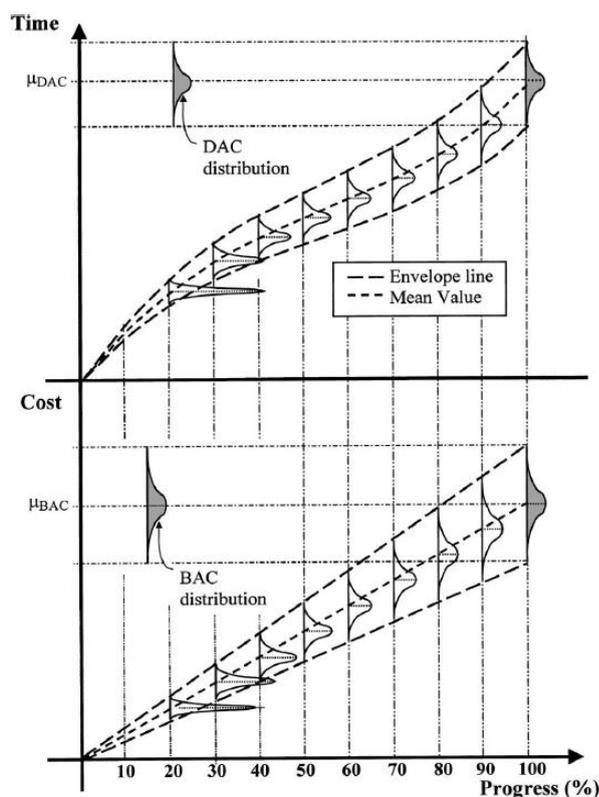


Figura 3.1: Stochastic S-Curve

Fonte: Barraza, G. A., Back, W. E., & Mata, F. (2004). Probabilistic Forecasting of Project Performance Using Stochastic S Curves. *Journal of construction engineering and management*, 130(1), p. 27.

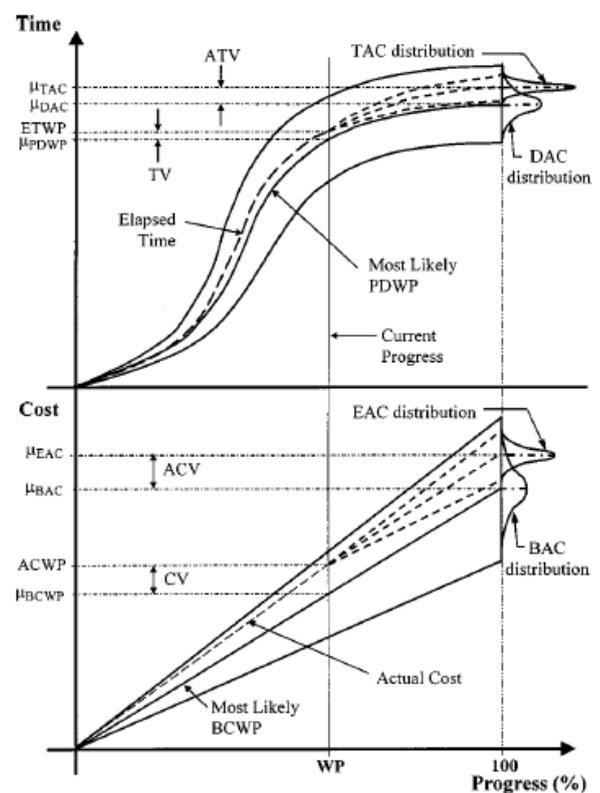


Figura 3.2: Stime a finire nella SS-Curve

Fonte: Barraza, G. A., Back, W. E., & Mata, F. (2004). Probabilistic Forecasting of Project Performance Using Stochastic S Curves. *Journal of construction engineering and management*, 130(1), p. 27.

L'integrazione così eseguita presenta però una criticità, ovvero assimila il rischio in modo silenzioso. Infatti, nel processo di creazione della SS-Curve e nel calcolo delle stime a finire non vengono utilizzati i risultati del Project Risk Management.

Ciò non può dirsi per la seconda ricerca si vuole illustrare, uno studio di Hillson che propone un piano di integrazione tra l'Earned Value Management e il Project Risk Management

Process, con lo scopo di accrescere le sinergie tra le due attività. Il programma si struttura in tre sezioni, che prevedono rispettivamente la creazione di un piano di spesa base, la predizione dei risultati futuri e la valutazione dell'efficacia della gestione del rischio (Hillson, *Earned Value Management and Risk Management: A Practical Synergy*, 2014). Il primo stadio di questo progetto inizia con la redazione del piano di lavoro, che prevede prima l'applicazione dell'Earned Value Management, per definire il Planned Value e la S-Curve, e successivamente l'esecuzione del processo di gestione del rischio, attraverso l'identificazione, la valutazione e la predisposizione della risposta. A seguito di questi passaggi si hanno a disposizione la pianificazione del progetto ed i rischi ad esso associati, motivo per cui l'autore identifica questo momento come il più propizio per iniziare ad unire i due processi. Per farlo prevede di stimare l'incertezza del piano, attraverso la Simulazione Montecarlo, per costruire una mappa di tempi-costi dei possibili percorsi del progetto al verificarsi o meno delle opportunità e delle minacce. Questa azione è simile nelle intenzioni e nella realizzazione alla SS-Curve, ma si distingue da questa in quanto è basata sui rischi definiti con il Risk Management Process. Anche in questo caso si ottiene come risultato un insieme di S-Curve tra le quali spiccano per rilevanza la curva di minimo costo e minimo tempo, che rappresenta la miglior prestazione raggiungibile dal progetto, quella di massimo costo e massimo tempo, che rappresenta la performance peggiore, e la cosiddetta curva attesa, vedi Figura 3.3.

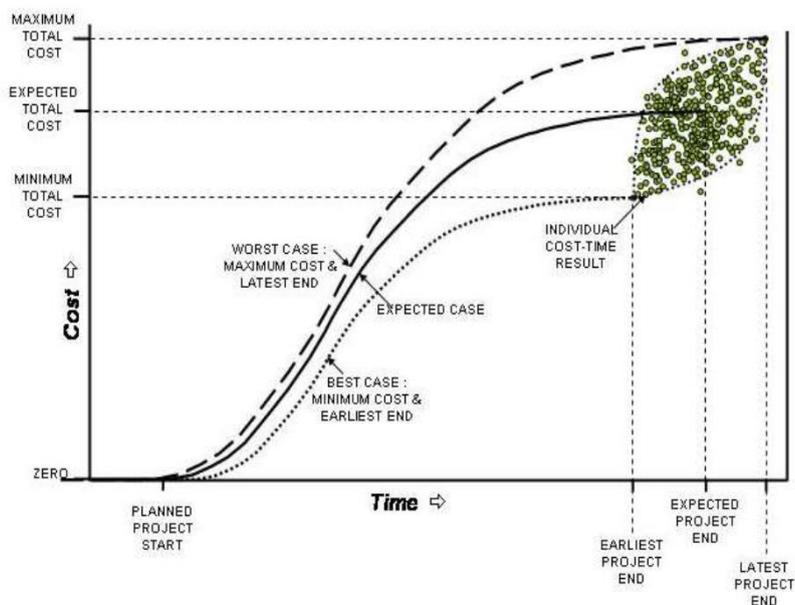


Figura 3.3: Profilo grafico delle S-Curve

Fonte: Hillson, D. (2014, Aprile). *Earned Value Management and Risk Management: A Practical Synergy*. *Project Management World Journal*, 3(4). p. 5.

L'insieme dei punti finali di tutte le curve assume tipicamente la forma di un'ellisse, motivo per cui è chiamato *eyeball plot* o *football plot*, e presenta come punti di minimo e massimo quelli delle curve esterne, ovvero il risultato migliore e peggiore del progetto.

La curva attesa è quella per cui il valore finale è pari al baricentro dell'area coperta dei possibili stati finali del progetto. Data la sua costruzione, essa rappresenta il miglior compromesso sul rischio poiché non sbilancia in alcun modo il progetto in favore di una visione più o meno pessimistica. La curva attesa si differenzia nettamente dalla S-Curve costruita con l'EVM poiché incorpora oltre alla pianificazione del progetto anche l'analisi del rischio. Proprio questa dualità è ciò che spinge l'autore nell'indicarla come riferimento del progetto in sostituzione della S-Curve derivata dalla pianificazione.

Con la creazione della curva attesa, termina la prima fase del piano di integrazione dei due processi, che lascia il posto alla predizione dello sviluppo del progetto. Qui l'autore propone di utilizzare l'Estimate at Completion nella formulazione più generale mostrata nel primo capitolo, ovvero quella che lo vede costituito dalla somma dell'Actual Cost e dell'Estimate to Complete, con quest'ultimo rivisto utilizzando un generico indicatore. La mancata qualificazione dell'indice da utilizzare è una scelta voluta, in quanto vuole sottolineare che tutte le possibilità presentano lo stesso peccato originale, ovvero sono legate unicamente alla performance passata e visto l'errato presupposto comune, l'autore evita di consigliarne alcuno. Secondo lui questo problema è superabile proprio con l'integrazione del rischio poiché incorpora una prospettiva che guarda in avanti anziché indietro. La sua inclusione nell'EAC è relativamente semplice e si concretizza nel sommando alla stima un valore della contingency calcolato sull'ultima versione del Risk Management Process. Infatti, come si è visto nel capitolo precedente, il processo è ciclico e di conseguenza prevede una riesame dei rischi trovati che tenga conto delle eventualità già sopravvenute e di quelle di nuova identificazione. A seguito di questa seconda identificazione segue una nuovamente fase di valutazione in cui si vanno a rivalutare i fattori di incertezza per ogni combinazione work-package/rischio e di conseguenza, l'inserimento di nuova Contingency Reserve nel piano, consente di rivederlo sullo stato del rischio attuale. In alternativa a questa soluzione l'autore propone di applicare nuovamente la Simulazione Montecarlo per rivedere gli scenari futuri, anche in questo caso al netto dell'aggiornamento Risk Management Process. In questo contesto la simulazione non si applica all'intero progetto ma esclusivamente sulla sua parte ancora in completamento. Questo tipo di fruizione della Simulazione Montecarlo consente

anche di indagare quale risposta ad eventuali minacce e opportunità sia più opportuna. Infatti, è possibile giocare con la logica what-if modificando (anche azzerando) le probabilità collegate ad alcuni rischi, per valutare la conseguenza del loro impatto sulla progetto. In questo modo è possibile identificare quali siano effettivamente i più significativi ed intraprendere azioni adatte ad affrontarli. A livello grafico ciò si realizza con il cosiddetto *onion-ring diagram*, un fascio di S-Curve che si dirime dall'ultimo punto noto della curva attesa.

Con le operazioni di stima si conclude la seconda sezione proposta dall'autore che lascia il posto all'ultima sezione prevista, quella che ha lo scopo di valutare il processo di gestione del rischio ed in parte la pianificazione. L'analisi prevede di acquisire le informazioni sull'efficacia dei processi utilizzando gli indici di performance SPI e CPI, in modo non dissimile da quanto visto nel primo capitolo. La valutazione dei processi viene eseguita partendo dal valore dei due indicatori, che è indicativo della situazione in cui si trova il progetto, per desumere a ritroso quali sono i motivi che hanno portato a questo stato. Questa analisi si distingue da quella descritto nel primo capitolo poiché non si ferma ad una valutazione generale dello stato del progetto, ma prevede di utilizzare i valori del CPI e dell'SPI per validare quale processo sia necessario rivedere. Il concetto è particolarmente sensato, in quanto una cattiva performance può essere causata sia da una cattiva gestione del rischio che da errori in fase di pianificazione. In particolare, seguendo quanto riportato in Figura 3.4, i valori degli indici superiori all'unità indicano una buona efficacia del processo di gestione, mentre se il valore è inferiore all'unità è probabile che il processo presenti alcune lacune. Valori estremi per un indice, sia positivi che negativi, sono invece sempre indicativi di una cattiva pianificazione. In particolare, una situazione eccessivamente positiva con molta probabilità è dovuta ad una pianificazione di scarso livello, che ha sovrastimato i requisiti del progetto, e nel caso opposto, ovvero per valori estremamente bassi, probabilmente si è strutturata una schedulazione errata o la stima delle risorse necessarie per eseguire le attività è stata al ribasso.

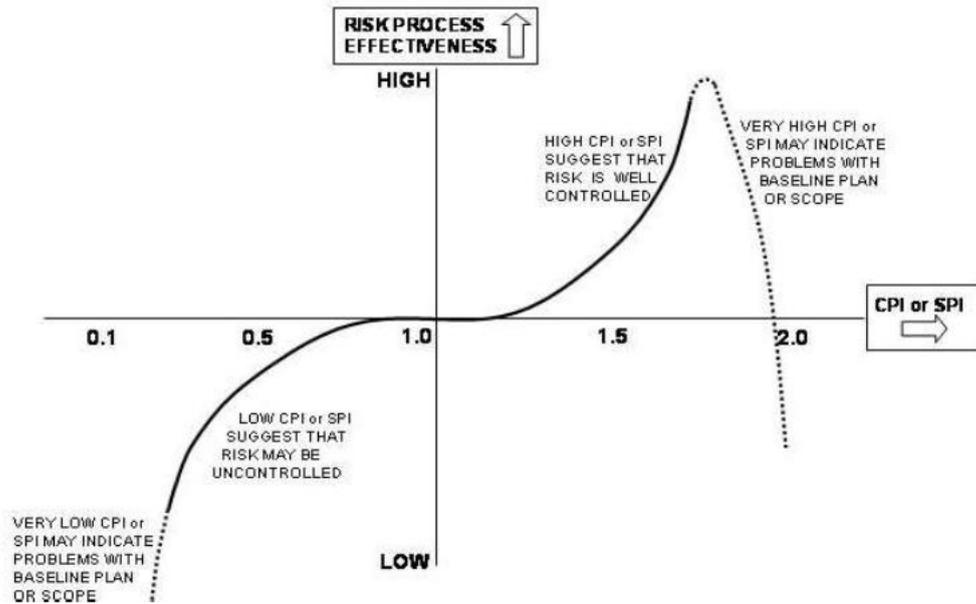


Figura 3.4: Relazione tra qualità dei processi ed indicatori di rischio
Fonte: Hillson, D. (2014, Aprile). Earned Value Management and Risk Management: A Practical Synergy. Project Management World Journal, 3(4). p. 8.

Ancora l'analisi può soffermarsi sul trend degli indici nello svolgimento progetto. In generale, una certa variabilità dei valori è naturale durante lo sviluppo e di conseguenza non richiede una rivisitazione del Risk Management Process, ma ciò non toglie che è possibile definire delle soglie critiche che una volta superate indicano la presenza di problemi dovuti ad una mancata identificazione di alcune eventualità o ad una errata valutazione delle probabilità e degli impatti. Se ciò accade è necessario rivisitare il Risk Management Process per prevedere risposte atte ad indirizzare il progetto sui giusti binari. Relativamente ai limiti critici del CPI e dell'SPI, lo studio utilizza valori puramente esemplificativi, poiché le soglie corrette sono strettamente legate alla natura del progetto e alle sue tipicità, pertanto è consigliato di desumerli con una review storica del valore che assumono in progetti passati.

Infine, l'autore propone un diagramma combinato del valore del CPI e dell'SPI, simile a quello visto nel primo capitolo in Figura 1.7, che più che valutare la qualità della gestione del rischio definisce come è conveniente indirizzare il processo. Come già visto nel Capitolo 1 le situazione che si possono presentare sono quattro, una per ogni quadrante del diagramma:

1. $CPI > 1, SPI > 1$: il progetto è nella migliore situazione possibile, quindi si dovrebbe lavorare sul mantenimento dello stato e sull'accrescere il guadagno. In questa situazione è opportuno rivedere il processo di gestione per intercettare il più possibile le opportunità;

2. $CPI > 1$, $SPI < 1$: la situazione complessiva è intermedia ed è preferibile focalizzare lo sforzo nel rispondere ai rischi che hanno impatto sulla schedulazione;
3. $CPI < 1$, $SPI > 1$: anche in questo caso ci si trova in una situazione intermedia, ma è opposta alla precedente. Dato che i lavori sono in anticipo è opportuno concentrarsi nell'affrontare le eventualità che impattano sui costi;
4. $CPI < 1$, $SPI < 1$: il progetto è nella situazione peggiore, pertanto è necessario intraprendere azioni decise per evitare le minacce.

Con quest'ultimo controllo si conclude anche la terza sezione del programma. È evidente che rispetto alla prima ricerca descritta ci sia una evoluzione che ha alla base la consapevolezza della complementarità dei due processi. Questa ricerca è molto più vicina della precedente alla soluzione che si vuole proporre proprio per il modo in cui viene sfruttato il Risk Management Process ed in verità la sua complessità dell'integrazione è addirittura superiore alla proposta di questa tesi sotto alcuni aspetti. Permane però una differenza sostanziale con quanto si proporrà successivamente, in quanto gli studi visti fino ad ora propongono un'integrazione del rischio nelle stime a finire basate su processi quantitativi e si ritiene che un approccio soft che preveda l'utilizzo di una analisi semi qualitativa permetterebbe di disporre di strumenti dalla maggiore applicabilità e che quindi possono riscuotere maggior successo a livello industriale.

3.2. L'integrazione del rischio per Muhammad Jamaluddin Thaheem

Dopo aver esplorato uno degli indirizzi con cui in letteratura si è provato ad integrare il rischio nell'Earned Value Management, è il momento di analizzare quello su cui vuole insistere questa tesi. Prima di farlo è necessario illustrare lo studio da cui ha tratto ispirazione questo lavoro, la ricerca *Estimated Cost at Completion: Integrating Risk into Earned Value Management* di Muhammad Jamaluddin Thahem, una proposta di integrazione tra rischio ed Earned Value Management in cui l'autore ha proposto di inserirlo direttamente nelle stime a finire. Per farlo, la ricerca prevede di affiancare un indice di rischio, il *Risk Performance Index* (RPI), al CPI e all'SPI nel calcolo dell'Estimate at Completion (Thaheem, 2016). In particolare, la stima a finire proposta è la seguente.

$$EAC = AC + \frac{BAC - EV}{W_1 * CPI + W_2 * SPI + W_3 * RPI}$$

L'idea dell'autore è vincente in quanto permette l'inclusione del fattore rischio nell'Earned

Value Management senza alterare la semplicità tipica di questo modello, una caratteristica che è venuta meno nelle proposte precedenti. La complessità della ricerca si ravvede invece nel metodo utilizzato per formulare l'indicatore, che è particolarmente complesso. In primis, l'analisi si è concentrata sullo studio dei KPI con cui è poter valutare i progetti del settore delle costruzioni, con l'obiettivo di identificare quali fattori critici possono essere incorporati nell'indice di rischio. Da questo studio sono emersi diversi aspetti rilevanti oltre ai noti costi e tempi, si veda ad esempio Kim per cui i fattori critici sono qualità, soddisfazione degli stakeholder e sicurezza (Kim & Reinschmidt, 2010). Attraverso lo studio della letteratura l'autore ha raccolto 55 variabili costituenti e le ha raggruppate in quattro categorie: qualità, sicurezza, soddisfazione degli stakeholder e altri. Per valutare la rilevanza di ogni indicatore sono state strutturate interviste con professionisti del settore e accademici, in cui si chiedeva di attribuire un punteggio da -3 a +3 su una scala di effetto positivo dell'eventualità sul progetto. Le informazioni ottenute sono state sottoposte ad una validazione statistica dell'affidabilità e successivamente è stata calcolata l'importanza di ogni fattore costituente rispetto agli altri. Questo aspetto è stato affrontato realizzando un indice di importanza, il *Relative Important Index* RII, ottenuto rapportando il punteggio totale di ogni variabile al punteggio massimo disponibile.

$$RII = \frac{\sum W}{A * N}$$

Nell'equazione W è il peso attribuito al fattore costituente da ogni intervistato, A equivale al peso massimo, ovvero 3, ed N è il numero degli intervistati. Si sono considerati accettabili i valori con un'importanza relativa superiore a 0,5 e ciò ha conseguito ad una riduzione del numero di fattori costituenti da 55 a 16. Con le variabili rimanenti sono stati composti quattro KPI identificativi dei gruppi inizialmente identificati, una misura che si è resa necessaria per evitare la sovrapposizione degli effetti comuni alle diverse variabili. I quattro indicatori sono il *Quality Performance Indicator* (QPI), il *Safety Performance Indicator* (SFPI), lo *Stakeholder Satisfaction Performance Indicator* (SSPI) e l'*Other Performance Indicator* (OPI).

$$QPI = \alpha_1 * \kappa_1 + \alpha_2 * \kappa_2 + \alpha_3(0.34\kappa_3 + 0.33\kappa_4 + 0.33\kappa_1) + \alpha_4 * \kappa_4 + \alpha_5 * \kappa_5$$

$$SFPI = \beta_1(0.5\kappa_6 + 0.33\kappa_7) + \beta_2 * \kappa_7 + \beta_3 * \kappa_8 + \beta_4 * \kappa_9$$

$$SSPI = \gamma_1 * \kappa_{10} + \gamma_2 * \kappa_{11} + \gamma_3(0.34\kappa_{12} + 0.33\kappa_{10} + 0.33\kappa_{11})$$

$$OPI = \rho_1(0.3\kappa_{13} + 0.2\kappa_1 + 0.2\kappa_5 + 0.2\kappa_3 + 0.1\kappa_{13}) + \rho_2 * \kappa_{14} + \rho_3 * \kappa_{15} + \rho_4(0.6\kappa_{16} + 0.4\kappa_{10})$$

Nelle equazioni i termini κ_i indicano il valore della variabile costituente, compreso tra 0 e 1, mentre α_i , β_i , γ_i e ρ_i indicano il peso del fattore costituente nel gruppo di appartenenza e vengono calcolati con lo stesso metodo utilizzato per l'RII. Una volta definiti i KPI l'autore ha infine costruito l'indicatore di rischio RPI, calcolato come somma pesata dei quattro indicatori.

$$RPI = \omega_1 * QPI + \omega_2 * SFPI + \omega_3 * SSPI + \omega_4 * OPI$$

In questo caso i pesi ω_i , calcolati in modo analogo ad α_i , β_i , γ_i , ρ_i e all'indice RII, rappresentano l'importanza relativa di un gruppo rispetto agli altri. In Figura 3.5 si riporta la situazione riassuntiva del valore dei pesi per le variabili costituenti nel loro gruppo e tra i vari gruppi nell'RPI.

KPI report	Normalized KPI weight	CV report	CVs	CV weightings report	CV RII	Normalized CV weight		
ω_1	0.29902	K ₁	Quality				0.187	
			K ₂	Nonconformance rate	α_1	0.53846		
			K ₃	Personnel quality training	α_2	0.52991		0.184
			K ₄	Quality systems	α_3	0.5641		0.196
			K ₅	Rework/defects	α_4	0.71795		0.249
ω_2	0.23513	K ₆	Safety				0.268	
			K ₇	Strategic quality management	α_5	0.52991		0.184
			K ₈	Accident frequency ratio	β_1	0.60684		0.268
			K ₉	Management personnel with standard certification	β_2	0.63248		0.279
ω_3	0.21739	K ₁₀	Stakeholder satisfaction				0.351	
			K ₁₁	Safety equipment and maintenance	β_3	0.50427		0.223
			K ₁₂	Safety training	β_4	0.52137		0.230
ω_4	0.24844	K ₁₃	Others				0.225	
			K ₁₄	Change orders	γ_1	0.73504		0.351
			K ₁₅	Conflicts/disputes/claims	γ_2	0.76923		0.367
			K ₁₆	Stakeholder satisfaction	γ_3	0.58974		0.282
ω_4	0.24844	K ₁₃	Others				0.225	
			K ₁₄	Design process	ρ_1	0.53846		0.225
			K ₁₅	Land acquisition	ρ_2	0.58974		0.246
			K ₁₆	Project management activities	ρ_3	0.64957		0.271
ω_4	0.24844	K ₁₆	Others				0.257	
			K ₁₆	Wastage	ρ_4	0.61538		0.257

Figura 3.5: Tabella riassuntiva dei fattori utilizzati per costruire il Risk Performance Index

Fonte: Thaheem, M. J. (2016, Ottobre). Estimated Cost at Completion: Integrating Risk into Earned Value Management. Journal of Construction Engineering and Management, 143(3).p.5.

Terminata la trattazione dell'indice RPI, lo studio presenta una seconda fase di raccolta dei dati, questa volta dedicata all'individuazione dei pesi W_1 , W_2 e W_3 . Poiché l'importanza degli indicatori non è assoluta, anzi è probabile che vari durante lo sviluppo del progetto, sono stati previsti quattro valori per ogni peso, uno per ogni quarto del suo sviluppo.

Le informazioni questa volta sono state ricavate attraverso la somministrazione di un questionario online, tramite cui, al termine della raccolta, sono state ritenute accettabili 101 risposte. Anche in questo caso l'indagine è stata eseguita su professionisti del settore e su

accademici, e anche questa volta i dati ricavati sono stati sottoposti ad un controllo statistico che ne validasse l'affidabilità. Nel questionario è stato chiesto agli intervistati di attribuire un valore di importanza, compreso tra 0 e 100%, ad ogni peso per ognuno dei quattro periodi. Dai risultati della raccolta sono stati ricavati i valori di W_1 , W_2 e W_3 per ogni periodo e successivamente l'autore li ha normalizzati per poterli inserire nell'Estimate at Completion, vedi Figura 3.6.

Index	Complementary weight
0-25% project completion	
Cost performance Index	0.4209
Schedule performance Index	0.3011
Risk performance Index	0.2780
26-50% project completion	
Cost performance Index	0.4200
Schedule performance Index	0.3209
Risk performance Index	0.2591
51-75% project completion	
Cost performance Index	0.4355
Schedule performance Index	0.3174
Risk performance Index	0.2471
76-100% project completion	
Cost performance Index	0.4365
Schedule performance Index	0.3027
Risk performance Index	0.2607

Figura 3.6: Tabella riassuntiva dei pesi del Estimate at Completion

Fonte: Thaheem, M. J. (2016, Ottobre). Estimated Cost at Completion: Integrating Risk into Earned Value Management. Journal of Construction Engineering and Management, 143(3).p.5.

Dopo aver descritto gli aspetti salienti della ricerca è interessante analizzare le criticità che presenta, in quanto i risultati ottenuti per validare la proposta non sono eccellenti. Di seguito si riportano i problemi che si ritiene siano la causa degli scarsi risultati applicativi.

La prima criticità si identifica nella qualità campione utilizzato per valutare i 55 fattori costituenti trovati dall'autore. Il numero di intervistati e la loro eterogeneità sembra coerente con l'analisi che è stata condotta ed è ottimo che nella composizione del campione si siano previsti sia professionisti che accademici dato che, come si è visto nel capitolo precedente, la visione delle due categorie è differente ed una loro mediazione è auspicabile. Permangono dubbi invece sull'esperienza degli intervistati in quanto più del 15% ha un'esperienza tra i 3 ed i 5 anni ed è specificato solo che l'esperienza dei restanti è maggiore di 5 anni. L'assenza di sicurezze da questo punto di vista è alquanto ambigua poiché, in un'analisi puramente qualitativa come questa, la competenza è l'aspetto più rilevante e si acquisisce solo con la maturità nel lavoro. Come controprova di questa evidenza si veda ad esempio la ricerca già presentata di Barlish, De Marco e dello stesso Thaheem in cui l'esperienza minima degli intervistati era di 15 anni (Barlish, Marco, & Thaheem, 2013).

Altri dubbi sorgono invece sul principio scelto per accettare o meno le variabili costituenti. Il criterio utilizzato è stato quello di considerare insignificanti i fattori per cui il Relative Important Index assumeva un valore inferiore a 0.50, ma la scelta di questa soglia non è stata esaustivamente giustificata. Nel documento viene accennato di aver preso in considerazione la soglia di 0.599 utilizzata da Muhwezi, Acai e Otim in una ricerca che utilizzava l'RII, ma che questo limite di accettazione non permetteva di cogliere un impatto sufficientemente ampio e per questo motivo alla fine si è optato per un valore meno stringente (Muhwezi, Acai, & Otim, 2014). La scelta di variare la soglia per aumentare il numero di variabili accettate non è di per sé criticabile, poiché anche nel caso della ricerca appena citata questa è stata arbitraria, ma ci si domanda quale circostanza l'abbia resa necessaria. Analizzando i valori assunti dall'RII per le variabili costituenti che hanno superato la soglia, gli unici resi disponibili dall'autore, si può evincere senza questo allentamento solo sette variabili sarebbero state accettate e tra queste solo quattro avrebbero superato il limite imposto di appena 5 punti percentuali. Questo è dovuto principalmente al fatto che i valori dell'RII che sono stati trovati sono in generale molto bassi, specie se confrontati con quelli presentati da Muhwezi, Acai e Otim. Diverse circostanze possono aver causato questo fenomeno e tra queste solo una ha risvolti positivi per la ricerca.

La prima è la possibilità che il campione sia molto eterogeneo dal punto di vista della posizione e del background degli intervistati, il che potrebbe conseguire un giudizio delle variabili molto diverso e quindi rappresentativo del settore. Questa circostanza non sembra però rispecchiarsi troppo nel campione, in quanto l'autore specifica che la maggior parte dei professionisti sono Project Manager e ciò porta a pensare che le loro scelte possano essere quantomeno simili. Pertanto, non si ritiene che la causa principale di questo fenomeno sia questa.

La seconda possibile spiegazione che si crede possa aver causato il fenomeno risiede nella scelta della scala utilizzata per valutare le variabili. Come si è detto è stato richiesto agli intervistati di assegnare un punteggio su una scala che va da -3, che indica il massimo effetto negativo, a +3, a sua volta il massimo effetto positivo, e questa scelta potrebbe non essere la migliore alternativa per eseguire l'operazione. Infatti, sembra difficile che in questo contesto gli intervistati possano dividersi sull'accezione positiva o negativa di una variabile, quindi in prima battuta la scelta risulta essere pressoché inutile. Al più può dirsi dannosa in quanto l'attribuzione del punteggio 0 può aver reso nullo il quesito di alcuni rispondenti. Per questi

motivi si crede che l'utilizzo di una scala di punteggi, ad esempio da 1 a 3 o da 1 a 5, che valutasse la rilevanza del fattore sarebbe stata più coerente con l'obiettivo. Tra l'altro una scala come questa è stata utilizzata da Muhwezi, Acai e Otim proprio nella ricerca citata dall'autore in riferimento alla soglia.

Infine, la terza possibile causa del fenomeno che si ipotizza, nonché la più dannosa, è la possibilità che una distribuzione dei risultati con una variabilità elevata dei punteggi possa essere dovuta ad una disponibilità delle variabili costituenti non rappresentativa dei fattori di influenza su un progetto. Questo aspetto è di difficile valutazione visti i pochi fattori messi a conoscenza del lettore, ma il dubbio permane in quanto le variabili accettate non sembrano coprire globalmente le categorie di rischio mostrate nel capitolo precedente per il settore delle costruzioni, ad esempio è evidente che nei KPI proposti non si palesi alcun fattore assimilabile ai rischi esterni visti nelle RBS. Questo fenomeno potrebbe essere dovuto all'impossibilità nel misurare la maggior parte di questi aspetti, si pensi ad esempio agli aspetti socioculturali, legislativi o ambientali.

Questo punto si lega indissolubilmente ad un altro aspetto che si ipotizza essere problematico nella costruzione dell'indicatore di rischio, ovvero la sua completezza. Sebbene questo indicatore voglia porsi come una sintesi degli aspetti più rilevanti di un progetto, il loro numero sembra essere riduttivo rispetto alla sua variabilità progetto. La stessa scelta del ridurre le variabili costituenti è ritenuta in realtà di scarsa efficacia se si vuole integrare il rischio nell'Earned Value Management. Ciò acquisisce maggiore vigore se si relaziona la valutazione richiesta agli intervistati alle caratteristiche tipiche del rischio. Infatti, chiedere di valutare le variabili in relazione all'effetto che possono avere sul progetto pare alquanto discutibile, visto che i rischi vivono della dualità probabilità-impatto. Sarebbe pertanto utile sapere in che direzione si sia mosso il quesito, poiché per come è stato presentato dall'autore sembra riferirsi solo all'impatto che esso può avere.

Infine, in relazione alla costruzione dell'indicatore permane un'ultima perplessità, questa volta relativa allo sfruttamento dei dati di valutazione delle variabili costituenti per calcolare i pesi da attribuire agli indici QPI, SFPI, SSPI e OPI. Infatti, non si ritiene corretto che le considerazioni degli intervistati possano essere estese alla valutazione di una intera categoria, poiché il quesito esulava da questo aspetto ed era focalizzato sulle singole variabili. Pertanto, questo utilizzo dei dati sembra essere forzato, poiché per ricavare informazioni affidabili sarebbe stato necessario eseguire una indagine ulteriore che

richiedesse esplicitamente di pesare i quattro indici.

L'ultima critica che si intende muovere nei confronti del lavoro è relativa all'attribuzione dei pesi degli indici CPI, SPI e RPI nella formula dell'EAC. È stata apprezzata la scelta dell'autore di far variare questi valori durante lo sviluppo di un progetto, in quanto nel primo capitolo si è visto come la stabilità degli indicatori sia variabile nei diversi momenti del progetto e quindi l'utilizzo di pesi dinamici può consentire una riduzione di questi effetti destabilizzanti. L'utilizzo del tipo di indagine scelta, basata anche in questo caso su interviste ad esperti, non è però condivisa, poiché si ritiene che un'analisi quantitativa avrebbe potuto portare risultati più attendibili. Ad ogni modo, quest'ultimo problema si ritiene meno rilevante dei precedenti in quanto, come si è visto al termine del primo capitolo, il calcolo dei valori di ponderazione degli indici nell'Estimate at Completion è effettivamente un aspetto di cui la letteratura si è occupata poco.

Con quest'ultimo punto può dirsi conclusa anche l'analisi degli aspetti non convincenti della ricerca e di conseguenza la trattazione della stessa. Per sintetizzare quanto visto è possibile dire che la quasi totalità delle criticità rilevate sono relative alla costruzione dell'indice RPI, mentre si l'idea di inserire un indicatore di rischio nell'EAC è valutata più che positivamente. Per questo motivo la trattazione insisterà su questa linea e proverò a risolvere gli aspetti non convincenti di questo lavoro.

3.3. Gli indicatori di performance e rischio nel settore delle costruzioni

L'esigenza di produrre indicatori di performance per i processi è uno dei temi maggiormente affrontati in letteratura in svariati ambiti. Questo fenomeno si deve alla capacità di questi strumenti di tradurre la distanza che intercorre tra lo stato di un processo e il raggiungimento del suo obiettivo in dati semplici, completi e sintetici. Fino ad ora si è visto come l'Earned Value Management si occupi di produrre indicatori di performance che permettono di controllare l'andamento del progetto e di fornire previsioni sulla performance finale. Il Cost Performance Index e lo Schedule Performance Index in tal senso sono vincenti vista la semplicità di calcolo e facilità di utilizzo, ma la lettura del progetto che spiegano potrebbe essere migliorata in quanto la coppia di KPI è incapace di rappresentare tutta la sua variabilità. Dato che ogni indicatore può investigare una sola dimensione in un processo e solo una lettura d'insieme di vari KPI è rappresentativa del suo stato complessivo (Franceschini, Galetto, & Maisano, 2011), è evidente che il contenuto informativo che questi

forniscono è incompleto. Infatti, si è visto nella proposta di integrazione di Hillson che per avere una lettura completa di un progetto è necessario assicurare all'Earned Value Management le informazioni fornite dal Risk Management Process. Le prime ricerche presentate in questo capitolo hanno effettivamente seguito questa strada, ma nel farlo hanno di fatto modificato l'EVM piuttosto che arricchirlo. L'ultimo studio ha invece intercettato esattamente l'esigenza di affiancare agli indicatori di tempo e costo un KPI che contenesse le informazioni non correlate a questi aspetti, ma sembra che non sia riuscito a cogliere tutte le variabili che possono influenzare i lavori. Si ritiene che questa difficoltà sia superabile utilizzando un Risk Performance Index che tragga le informazioni sul rischio direttamente dal Risk Management Process, ma prima di proporre questa soluzione si vogliono analizzare gli indicatori di rischio proposti nei progetti costruttivi per verificare che la proposta che si formulerà non trascuri aspetti rilevanti.

La prime ricerche da cui partire sono sicuramente quelle utilizzate da Thaheem nello studio dei KPI, in quanto sono aspetti presenti nel suo Risk Performance Index e di conseguenza sono componenti necessarie in un nuovo indicatore. Uno studio molto interessante tra quelli citati è quello di Chan e Chan che identifica ben otto KPI per la valutazione di un progetto (Chan & Chan, 2004). Gli indicatori in questione provano a misurare il successo gestionale di un progetto sotto i seguenti aspetti: qualità, soddisfazione degli stakeholder, sicurezza e salute, soddisfazione dell'utente, performance ambientali ed infine profittabilità. Nello studio gli autori hanno indicato come calcolare i KPI identificati ed è interessante che per alcuni aspetti gli indicatori siano molteplici, il che presuppone che per cogliere lo stato effettivo di un fenomeno in alcuni casi è necessario analizzarlo da diverse prospettive. Con la descrizione di questa ricerca è facile notare che diversi aspetti ritenuti rilevanti dagli autori non sono stati considerati nel Risk Performance Index definito in precedenza e questo avvalorava l'ipotesi che l'indicatore fosse incompleto. Per fugare ogni dubbio di seguito si illustreranno alcune ricerche che avvalorino questa tesi e che permettano di migliorare la conoscenza degli aspetti rilevanti.

Spesso le ricerche che indagano singoli aspetti lo fanno approfondendoli maggiormente rispetto a quanto fatto dallo studio di Chan e Chan o li valutano in progetti specifici in cui è possibile far emergere casistiche particolari, si vedano ad esempio (Lee, Rhee, Kim, & Lee, 2013) e (Eom & Joon, 2009). La prima ricerca ha analizzato i problemi che conseguono ad una scarsa qualità del prodotto in un progetto di costruzioni. Nel caso specifico si tratta della

costruzione di una autostrada, un progetto in cui gli autori hanno studiato quali sono i componenti su cui la qualità assume maggior peso e per ognuno di questi hanno costruito un indicatore. Infine, i KPI sono stati raggruppati in un unico Quality Performance Index che sintetizza la qualità complessiva del progetto. La ricerca è interessante in quanto fa notare che scendendo nel dettaglio del progetto è possibile realizzare indicatori sempre più specifici e precisi, ma che in ultima istanza è preferibile ottenere un solo KPI che favorisca la comprensione e sia di lettura più immediata. Ciò conferma la bontà dell'idea di riunire più variabili di un progetto in un unico KPI che sintetizzi lo stato del rischio.

La seconda ricerca appena citata è invece incentrata completamente sul rischio ambientale. In letteratura questo tema è studiato meno di altri aspetti, poiché spesso si considera più impattanti sul progetto, si vedano ad esempio la qualità o la soddisfazione degli stakeholder, ma vista la rilevanza che sta assumendo nella società è sicuramente da non prendere sottogamba. Gli autori vedono questo rischio come causa di un aumento dei costi e dei ritardi a seguito delle controversie che tipicamente sorgono con terze parti. Analizzando le cause più comuni di queste contese, gli autori hanno rilevato che nei progetti di costruzioni i problemi ambientali più frequenti riguardano la generazione del rumore e delle vibrazioni, ma non è raro che a questi si affianchino l'inquinamento atmosferico, dei fiumi e delle acque. Per valutare l'impatto ambientale gli autori hanno costruito un KPI che aiuta a valutare il contesto di lavoro, l'*Environmental Risk Index (ERI)*, con lo scopo di permettere l'attuazione tempestiva di misure atte a prevenire le controversie.

Altre ricerche, più che soffermarsi sull'analisi di un'unica variabile, hanno provato a definire quali sono i fattori di influenza più rilevanti nei progetti di costruzioni, in modo non dissimile da quanto fatto da Chan e Chan. Questi studi sono particolarmente rilevanti per questa tesi in quanto permettono sia di validare gli aspetti noti che di individuarne di nuovi. Tra queste è interessante citare lo studio di Toor e Ogunlana in cui gli autori hanno analizzato come varie categorie di stakeholder valutano i diversi KPI di un progetto particolarmente complesso come la costruzione di un aeroporto (Toor & Ogunlana, 2010). Nella fase iniziale della ricerca sono state eseguite una review della letteratura sugli indicatori e delle interviste con accademici e professionisti, a seguito di cui sono stati identificati i KPI ritenuti maggiormente rilevanti. Successivamente attraverso dei questionari è stato chiesto agli intervistati di valutare l'importanza dei fattori su una scala da 1 a 5, in cui il valore minimo indica "Per niente importante" ed il massimo "Estremamente importante". In questo modo è stata

ricavata la lista di KPI (molto qualitativi e che gli autori si sono ripromessi di approfondire in seguito) di seguito riportata in ordine di importanza: tempo, costo, conformità alle specifiche, efficienza, efficacia, sicurezza, qualità delle lavorazioni, qualità attesa dagli stakeholders e riduzione dei conflitti.

Un'altra ricerca di questo tipo, questa volta ad opera di Heravi e Ilbeigi, ha invece definito come indicatori di performance rilevanti per progetti costruttivi il Profitability Performance Index, il Product Quality Performance Index, il Client Satisfaction Index, il Contractor's Professional Profit Satisfaction Index ed infine l'Investment Performance Index (Heravi & Ilbeigi, 2012). Gli ultimi due sono in realtà legati al successo complessivo del progetto più che a quello gestionale, ma sono stati riportati per coerenza di trattazione.

Ancora altre ricerche che analizzano il tema potrebbero essere citate, si veda ad esempio (Yeung, Chan, & Chan, 2009), ma ai fini della trattazione inutile in quanto gli aspetti gli aspetti universalmente considerati maggiormente rilevanti sono stati presentati e validati da più ricerche. A seguito di tutti gli esempi trattati si rafforza l'idea che il Risk Performance Index debba considerare più aspetti di quanto fatto da Thaheem per poter cogliere in modo efficace tutti i fattori di influenza su un progetto. È interessante anche notare che tutte i KPI illustrati fino ad ora sembrano lavorare su aspetti ben valutati con il Risk Management. In particolare, sembra esserci una forte corrispondenza tra gli indicatori che la letteratura riconosce come rilevanti e i rischi maggiormente critici che si sono visti nella trattazione delle RBS per i progetti di costruzioni. Per questo motivo sembra che l'ipotesi di ricavare un indicatore di rischio dalle informazioni generate dal Risk Management sia valida.

Prima di concludere si vuole però citare un ultimo studio che suggerisce un indice di valutazione delle performance costruito su un concetto già noto a questo lavoro. La ricerca, redatta da Razi, Ali e Ramli, ha lo scopo di costruire un indicatore di rischio per valutare la rilevanza delle eventualità e comprendere come vari la risposta adottata tra investitori pubblici e privati (Razi, Ali, & Ramli, 2020). Per ricavare l'indicatore gli autori hanno interrogato alcuni professionisti del settore delle costruzioni, chiedendo di confrontare a coppie i rischi che secondo la loro esperienza influiscono maggiormente nei progetti di partenariato pubblico-privato. Con la frequenza delle risposte ricavate gli autori hanno definito una probabilità per questi rischi e successivamente sfruttando un software statistico hanno ricavato gli impatti ad essi associati per via quantitativa. Acquisiti questi dati hanno ipotizzato di poter utilizzare come metro di valutazione della performance il prodotto tra la

probabilità e gli impatti calcolati, ovvero la Risk Exposure descritta nel paragrafo precedente. L'utilizzo del suo calcolo per valutare quale rischio sia più o meno grave sul progetto non è una novità, ma lo stesso non si può dire della scelta di utilizzare il valore ottenuto per indirizzare la strategia di un progetto, in modo non dissimile da quanto avviene con il CPI e l'SPI se letti in combinazione. Così facendo gli autori assimilano la Risk Exposure ai due indicatori, facendo presagire che le informazioni che fornisce possano essere utili nell'analisi di un progetto.

3.4. Una nuova formulazione per il Risk Performance Index

Giunti a questo punto della lavoro è ora di definire la proposta di integrazione del rischio nelle previsioni dello stato finale di un progetto. La trattazione è stata costruita in modo da arrivare a questo punto in possesso di tutte le informazioni necessarie per comprendere efficacemente le stime a finire, le generalità ed i metodi di gestione del rischio e le implicazioni scaturite dall'unire questi due concetti.

Come si è appreso nel primo capitolo l'Earned Value Management ha tra le sue priorità la realizzazione di previsioni attraverso la misura dell'Estimate at Completion ed in particolare questa operazione è eseguibile attraverso l'uso degli indicatori Cost Performance Index e Schedule Performance Index. La formulazione della stima in cui si crede sia più opportuno inserire il nuovo indicatore è la seguente:

$$EAC = AC + \frac{(BAC - EV)}{(W_1 * CPI + W_2 * SPI)}$$

Questa scelta non è casuale e dipende dalla capacità della formula di includere i principali fattori di valutazione di un progetto, ovvero il tempo ed il costo, e la possibilità incrementarne o ridurne il peso, che consente di ponderarli in modo diverso in varie fasi del progetto. Infatti, come è stato specificato nel primo capito la loro stabilità dei non è assoluta e questa caratteristica può essere particolarmente utile per limitarne i difetti.

Allo stesso modo è ampiamente riconosciuto in letteratura che il tempo ed il costo sono sì le variabili di maggiore influenza sui progetto, ma allo stesso tempo non sono realmente in grado di fornire una valutazione completa della sua performance. Questo è il motivo per cui diversi autori hanno valutato la possibilità di affiancare a questi KPI altri indici che valutino gli aspetti residuali e a questa evidenza si affianca quanto visto nella trattazione in merito alla nota incompletezza dell'Earned Value Management, che viene sempre accompagnato

dal Project Risk Management per completarne il contenuto informativo. Ciò si rivede anche nelle stime a finire, la cui costruzione è segnata dal bias della prospettiva basata unicamente sulla performance passata del progetto. Nel calcolo delle previsioni questa distorsione, unitamente all'incompletezza di CPI ed SPI, è superabile prevedendo un terzo indicatore. Quanto fatto da Thaheem con il Risk Performance Index pecca in tal senso di un contenuto informativo non sufficientemente ampio e di una prospettiva non orientata al futuro. Proprio partendo da questo presupposto si è ritenuto che il modo più efficace per ricavare l'RPI sia quello di sfruttare la Risk Breakdown Matrix. Questa infatti è costituita da tutte le eventualità che possono avere un impatto sul progetto, considera perciò molti aspetti che lo influenzano, ed associa ad ognuna di esse una valutazione delle sue possibili conseguenze future. Inoltre, la sua costruzione può basarsi sulle Risk Breakdown Structure specializzate per un certo settore e questo consente di integrare nelle stime anche la natura del progetto e di conseguenza le tipicità che lo caratterizzano. Una costruzione di questo tipo permetterebbe anche di standardizzare il calcolo delle previsioni nella stessa industry, dato che vari progetti sfrutterebbero la stessa matrice.

Entrando nel dettaglio la formulazione proposta per calcolare il Risk Performance Index è la seguente.

$$RPI = \frac{\sum P_0(r_i) * I_0(r_i, w_j)}{\sum P_t(r_i) * I_t(r_i, w_j)} = \frac{PRE_0}{PRE_t}$$

Nell'equazione r_i è l' i -esimo rischio dell'RBS, w_j è il j -esimo work-package della WBS, $P_0(r_i)$ è la probabilità di accadimento dell' i -esimo rischio alla partenza del progetto, $I_0(r_i, w_j)$ è l'impatto dell' i -esimo rischio sul j -esimo work-package alla partenza del progetto, $P_t(r_i)$ è la probabilità di accadimento dell' i -esimo rischio al tempo t ed infine $I_t(r_i, w_j)$ è l'impatto dell' i -esimo rischio sul j -esimo work-package al tempo t . Tutte queste informazioni possono essere dedotte direttamente dalla Risk Breakdown Matrix come è visibile in Figura 3.7.

t	$r_1 P(r_1)$	$r_2 P(r_2)$	$r_3 P(r_3)$	$r_4 P(r_4)$	$r_5 P(r_5)$
w_1	$I(r_1;w_1)$	$I(r_2;w_1)$	$I(r_3;w_1)$	$I(r_4;w_1)$	$I(r_5;w_1)$
w_2	$I(r_1;w_2)$	$I(r_2;w_2)$	$I(r_3;w_2)$	$I(r_4;w_2)$	$I(r_5;w_2)$
w_3	$I(r_1;w_3)$	$I(r_2;w_3)$	$I(r_3;w_3)$	$I(r_4;w_3)$	$I(r_5;w_3)$
w_4	$I(r_1;w_4)$	$I(r_2;w_4)$	$I(r_3;w_4)$	$I(r_4;w_4)$	$I(r_5;w_4)$
w_5	$I(r_1;w_5)$	$I(r_2;w_5)$	$I(r_3;w_5)$	$I(r_4;w_5)$	$I(r_5;w_5)$

Figura 3.7: Risk Breakdown Matrix

Sia il numeratore che il denominatore dell'RPI sono uguali alla somma della Risk Exposure di ogni coppia rischio/work-package di un determinato avanzamento del progetto e questo valore è stato rinominato *Project Risk Exposure* (PRE). Il PRE è assimilabile ad una fotografia dello stato del rischio per un certo avanzamento dei lavori, poiché se la Risk Exposure è indicativa della gravità del rischio su una attività, la somma della gravità dei vari eventi identifica il peso del fattore rischio sull'intero progetto. Grazie alla natura ciclica del Project Risk Management Process, che garantisce continui aggiornamenti dei valori di probabilità ed impatto della Risk Breakdown Matrix, ogni periodo può essere caratterizzato da un valore dello stato del rischio e di conseguenza l'andamento del PRE è studiabile nel tempo.

Avendo quantificato il concetto di rischio, la valutazione della sua evoluzione può avvenire in modo simile a quanto l'Earned Value Management propone di fare per i tempi e per i costi. Se per questi la performance è calcolata rapportando i valori reali e pianificati, allo stesso modo il rischio potrà essere valutato rapportando il suo stato all'avvio del progetto e quello ad un determinato avanzamento. Affinché la misura sia realmente confrontabile e per permettere il paragone tra diversi progetti, è però necessario che il metro di giudizio applicato al calcolo della probabilità e degli impatti rimanga costante nel tempo. In coerenza con quanto visto nel capitolo precedente si propongono due codifiche per la valutazione di queste variabili, vedi Figura 3.8 e Figura 3.9. Per la loro realizzazione ci si è basati sui problemi che affliggono le valutazioni qualitative e sulle diverse scale trovate nella letteratura presentata per valutare i rischi e i fattori di influenza nei progetti di costruzioni.

Valutazione	Probabilità stimata (%)	Punteggio
Molto improbabile	0 - 20	1
Improbabile	20 - 40	2
Possibile	40 - 60	3
Probabile	60 - 80	4
Molto probabile	80 - 100	5

Figura 3.8: Codifica per la valutazione della probabilità

Impatto stimato	Punteggio
Molto basso	1
Basso	2
Medio	3
Alto	4
Molto alto	5

Figura 3.9: Codifica per la valutazione dell'impatto

Per validare l'indicatore è inoltre necessario analizzare le sue caratteristiche, in modo da capire se può essere inserito efficacemente nell'Estimate at Completion. Innanzitutto, è possibile notare che, al pari del Cost Performance Index e dello Schedule Performance Index, il Risk Performance Index è adimensionale ed è quindi in linea teorica inseribile nella formula. Inoltre, la valutazione della performance fornita dall'indicatore è concorde con quanto visto per gli altri due:

1. $RPI > 1$: lo stato del rischio sul progetto è inferiore a quanto preventivato e di conseguenza aumenta la probabilità che il costo finale del progetto si riduca;
2. $RPI = 1$: lo stato del rischio sul progetto è uguale a quanto pianificato e di conseguenza non si attende variazione alcuna variazione sul costo pianificato;
3. $RPI < 1$: lo stato del rischio sul progetto è maggiore di quanto preventivato e di conseguenza aumenta la probabilità che il costo finale del progetto aumenti.

Anche l'effetto che la variazione dell'indicatore ha sull'Estimate at Completion è concorde con quanto avviene per il CPI e l'SPI. Infatti, mantenendo costanti gli altri parametri, una crescita dell'RPI è indicativa di un peggioramento del rischio di progetto in quanto comporta la crescita dell'EAC, mentre una sua riduzione è equivalente ad un miglioramento dello stato del rischio e consegue ad una riduzione del costo stimato.

Infine, per validare l'utilizzo di questo indicatore è possibile evidenziare anche che di norma nell'Estimate at Completion sono già presenti delle informazioni tratte dalla sua sorgente. Si

tratta della Contingency Reserve che come si è visto è parte dell'Undistributed Budget ed in quanto tale fa parte di costi pianificati utilizzati per il calcolo delle stime. Essa viene calcolata attingendo alle informazioni fornite dalla valutazione del rischio ed è pertanto in linea con la proposta che si suggerisce.

Una volta definito l'indicatore è importante sottolineare che la sua costruzione si è basata interamente sulla letteratura del settore delle costruzioni, pertanto, anche se si immagina una efficacia tale per cui potrebbe essere utilizzato in altri settori, la proposta deve ritenersi valida per quest'ultimo. Sotto questa ipotesi si fornirà ora un esempio di calcolo in cui sarà utilizzata la Risk Breakdown Structure tipica di questa industry che è stata mostrata di nel capitolo precedente. A questa si affiancheranno dei work package fittizi per costruire una Risk Breakdown Matrix per due ipotetici avanzamenti di un progetto. I punteggi di probabilità ed impatto proveranno a simulare una situazione reale, saranno attribuiti utilizzando le scale presentate in precedenza e varieranno nei due stadi del progetto fittizio in analisi. La Figura 3.10, che rappresenta il diagramma all'avvio dei lavori, è stata costruita tenendo presente che in questa fase del processo di gestione del rischio sono già state messe in atto le prime azioni di risposta e che di norma vengono valutati solo quelli delle attività critiche o sub critiche. In particolare, si può notare come non tutti i rischi siano stati considerati, ad esempio sono presente poche eventualità economico-finanziarie in quanto si è supposto che queste possano essere trasferite o che siano mitigate da clausole contrattuali. Come soglia di accettazione si è scelto di utilizzare un valore della Risk Exposure pari a 4, ma questo è puramente arbitrario in quanto dipende dalla predisposizione al rischio del Project Manager e di conseguenza non è imponibile. È chiaro però che per permettere una corretta misurazione della performance, è necessario che rimanga invariata nel corso del progetto e per questo motivo lo è stato utilizzato anche nel secondo diagramma, vedi Figura 3.11. In quest'ultimo si è pensato ad un aumento della probabilità di alcuni rischi, si è immaginata una riduzione della stabilità politica e l'insorgere di problemi nella progettazione, è stato considerato che nel tempo la rilevanza delle attività può variare e che alcune possano essersi concluse, circostanze che conseguono una variazione positiva o negativa di alcuni impatti e l'eliminazione di alcuni rischi. Conclusa questa fase di progettazione degli scenari è stato possibile calcolare il valore della loro PRE e l'indicatore RPI.

$$RPI = \frac{PRE_0}{PRE_1} = \frac{793}{810} = 0,97$$

Il risultato è in linea con le ipotesi di sviluppo del progetto fittizio, in quanto gli effetti peggiorativi sono mitigati dalla conclusione di alcune attività, che vengono quindi scomutate dal calcolo del rischio di progetto. Il fenomeno della riduzione del PRE nel tempo è un fattore non secondario che deve essere registrato nel peso utilizzato per l'indice nel calcolo delle stime a finire.

Con la conclusione dell'esempio di calcolo dell'indicatore può dirsi conclusa anche la trattazione della nuova formulazione del Risk Performance Index. La verifica del modello attraverso l'applicazione su casi reali sarebbe necessaria per validarne i risultati, ma vista la complessa ricerca dei dati di cui necessiterebbe questa attività è un lavoro che esula dalle possibilità di questa tesi. Inoltre, l'esecuzione di questa operazione è subordinata anche allo studio dei pesi da attribuire agli indicatori CPI, SPI e RPI, in quanto, sebbene in prima battuta potrebbero essere utile utilizzare i valori forniti da Thaheem, il raggiungimento dei risultati passa inconfutabilmente dalla loro analisi.

		Probabilita	PM Team	Design 1	Design 2	Design 3	Furniture 1	Furniture 2	Site 1	Site 2	Construction 1	Construction 2	Construction 3	Construction 4	Subcontractor 1	Subcontractor 2	Subcontractor 3	M			
Risk	External	Political	Changes in government	1	5														5		
			Changes in legislation on employment	1	5															5	
			War and civil disorder	1	5															5	
			Permits and government approval	2	5															10	
			Labor strikes	2	4															8	
		Corruption and bribes	1																	0	
		Financial / Economic	Exchange rate fluctuation	2																	0
			Effect on global economy	1																	0
			Inflation rate fluctuation	2					2	3											10
			Market competition	1																	0
			Change in demand	2																	0
			Change of consultant costs/tender prices	3													4	4	2		30
			Shortage in resources availability/material	3					5	4											27
		Sociocultural	Demographic change	1																	0
			Opposition of neighboring community	4	5																20
	Criminal acts		3	4																12	
	Conflicts due to differences in culture		3																	0	
	Technological	Obsolescence of current systems	1																	0	
		New materials and investor technical advance	3		2															6	
	Legal / Regulatory	Technology complexity	4	3	1															16	
		Law which impose requirements	5	4	4	1														45	
	Environmental	Conservation Restrictions	3						2	3										15	
		Pollution and safety rules	5						4	4										40	
	Acts of god	Natural disaster	1						4		5	5	5	5						24	
		Land slides	1												4					4	
		Weather conditions	3								2	4	4							30	
	Internal	Client / Owners	Requirement change and variation	3	3	3															18
			Funding change/lack/sudden bankruptcy	1																	0
			Payment delays	4					3												12
			Difficult in site acquisition	2						2	2										8
			Delayed payments to contractors	2																	0
		Design	Lack of coordination/communication	5	3	3	3														45
			Poor and incomplete drawings/scope	3		2	2														12
			Inadequate specifications	4	3	3							3	3	2						56
			Design/scope changes	2	5	5															20
Lack of standards			2	4	2	4														20	
Error or omissions			2																	0	
Documents not issued on time			2	2	2	2														12	
Job site related		Inconsistent/different site conditions	2																	0	
		Access denied by villagers/poor accessibility	2																	0	
		Bad road conditions/site surrounding	3						5	5										30	
Subcontractor	Geological conditions	4						3	2										20		
	Delays in subcontractor works	4													5	5	5		60		
	Poor project/plan schedule	3														2			6		
	Low productivity/inconsistent/quality	5													3	3			30		
Operational and managerial	Lack of coordination/communication	5								4	4	5	3						80		
	Organizational stability/change in staff	3													3	3	3		27		
	PM team responsibilities ill defined	1	5																5		
	Organization business strategy/procedure	1																	0		
	Competence and skills	2		2	2						2	2	2						20		
Σ			38	29	21	20	10	7	20	16	13	16	19	16	15	17	10	793			

Figura 3. 10: Risk Breakdown Matrix (t = 0)

		Probabilita	PM Team	Design 1	Design 2	Design 3	Furniture 1	Furniture 2	Site 1	Site 2	Construction 1	Construction 2	Construction 3	Construction 4	Subcontractor 1	Subcontractor 2	Subcontractor 3	N				
Risk	External	Political	Changes in government	1	5														5			
			Changes in legislation on employment	3	5																15	
			War and civil disorder	3	5																15	
			Permits and government approval	4	5																20	
			Labor strikes	4	4																16	
		Corruption and bribes	1																		0	
		Financial / Economic	Exchange rate fluctuation	2																	0	
			Effect on global economy	1																	0	
			Inflation rate fluctuation	3				2	3												15	
			Market competition	1																	0	
			Change in demand	2																	0	
		Sociocultural	Change of consultant costs/tender prices	3													4	4	2		30	
			Shortage in resources availability/material	3				5	4												27	
			Demographic change	1																	0	
			Opposition of neighboring community	5	5																25	
			Criminal acts	3	4																12	
			Conflicts due to differences in culture	3																	0	
			Technological	Obsolescence of current systems	1																	0
				New materials and investor technical advance	3			2														6
	Technology complexity			4				1													4	
	Legal / Regulatory		Law which impose requirements	3		4	1														15	
		Conservation Restrictions	3						2	3										15		
	Environmental	Pollution and safety rules	5						4	4										40		
		Natural disaster	1						4		3	5	5	5						22		
	Acts of god	Land slides	1												4					4		
		Weather conditions	3								1	4	4							27		
	Internal	Client / Owners	Requirement change and variation	3		5														15		
			Funding change/lack/sudden bankruptcy	1																	0	
			Payment delays	4				3													12	
			Difficult in site acquisition	2						2	2										8	
			Delayed payments to contractors	2																	0	
		Design	Lack of coordination/communication	5		5	3														40	
			Poor and incomplete drawings/scope	4		2	2														16	
			Inadequate specifications	5		3							5	4	3						75	
			Design/scope changes	4			5														20	
			Lack of standards	2		2	4														12	
		Job site related	Error or omissions	3																	0	
			Documents not issued on time	2		2	2														8	
			Inconsistent/different site conditions	2																	0	
			Access denied by villagers/poor accessibility	2																	0	
			Bad road conditions/site surrounding	3						5	5										30	
			Geological conditions	4						3	2										20	
			Subcontractor	Delays in subcontractor works	5													5	5	5		75
		Poor project/plan schedule		4													3	2			20	
		Low productivity/inconsistent/quality		5													3	3			30	
	Operational and managerial	Lack of coordination/communication	5								2	4	5	3						70		
		Organizational stability/change in staff	3													3	3	3		27		
PM team responsibilities ill defined		1	5																5			
Organization business strategy/procedure		1																	0			
Competence and skills		2			2						1		2	2					14			
Σ			38	0	25	20	10	7	20	16	7	18	20	17	18	17	10	810				

Figura 3.11: Risk Breakdown Matrix (t = 1)

Conclusione

Questa tesi ha avuto come obiettivo quello di provare a migliorare le stime a finire fornite dall'Earned Value Management, integrandole con un costrutto derivato dal Project Risk Management per completarne il contenuto informativo. Per raggiungere questo scopo si è innanzitutto descritto il modello di riferimento attingendo sia da fonti dalla letteratura ufficiale del Project Management e che da quella di derivazione accademica. Da questa review è emerso che il calcolo delle stime, realizzato con l'Estimate at Completion, è un'operazione indissolubilmente legata all'indicatore di performance utilizzato e che ne incorpora gli svantaggi. Lo sfruttamento di un solo indicatore vincola l'affidabilità del risultato alla sua performance ed è noto che nessuno di quelli normalmente utilizzati, ovvero il Cost Performance Index e lo Schedule Performance Index, può dirsi pienamente efficace in tutto l'arco del progetto. Il primo, infatti, risulta essere stabile da avanzamenti superiori al 20%, mentre il secondo è distorto alla conclusione di un progetto in quanto per sua natura è pari a 1 al termine dei lavori. Utilizzando invece una combinazione dei due indicatori, i risultati che si ottengono sono influenzati dalla forma che assume la funzione che li integra. Il caso del Critical Ratio è esemplare in tal senso, in quanto è meno vantaggioso delle formulazioni che prevedono un solo KPI a causa dell'eccessiva severità dei risultati che consegue. D'altro canto, una combinazione pesata dei due fattori pare essere il miglior compromesso allo stato attuale, poiché riduce lo svantaggio che si riscontra sfruttando una singola variabile ed allo stesso tempo consegue un valore dell'Estimate at Completion che si colloca tra quelli ottenibili con tali formulazioni. La letteratura accademica è però alquanto povera di ricerche che mirano ad indentificare i pesi da attribuire e le maggiori informazioni a disposizione derivano dalla US Army, che, nel corso dei decenni, ha appurato che si ottengono i migliori risultati con un peso pari a 0,8 per il Cost Performance Index e pari a 0,2 per lo Schedule Performance Index. È però anche noto che una variazione di questi pesi durante lo sviluppo di un progetto potrebbe minimizzare i problemi degli indicatori, pertanto è auspicabile, anche in considerazione di quando sarà esposto in seguito, che la letteratura esplori questo aspetto.

Benché le stime a finire formulate pesando i due indicatori siano più complete delle altre, esse presentano comunque due difetti rilevanti. Infatti, vengono calcolate basandosi unicamente su informazioni passate e riducono i fattori di influenza di un progetto a sole due

variabili, pertanto il risultato non tiene conto del possibile miglioramento o peggioramento della performance dei lavori e trascura diversi aspetti rilevanti. Soffermandosi sul settore delle costruzioni, che presenta la più ampia letteratura, per superare questi problemi alcune ricerche hanno provato a rendere stocastico l'Earned Value Management, mentre altre lo hanno integrato con il Risk Management. Quasi tutte queste proposte hanno però portato ad un aumento della complessità dei modelli e ciò ne sfavorisce l'applicabilità. Questo problema non si riscontrata invece in "Estimated Cost at Completion: Integrating Risk into Earned Value Management" di Muhammad Jamaluddin Thahem, in cui l'autore ha proposto di inserire nel calcolo delle stime a finire un nuovo indicatore, il Risk Performance Index. Quest'ultimo è derivato da altri KPI che registrano la performance del progetto dal punto di vista della qualità, della soddisfazione degli stakeholder, della sicurezza e di altri aspetti minori. L'idea è interessante ma, probabilmente a causa dello scarso numero di fattori inclusi nell'RPI o del metodo utilizzato per costruirlo, non ha conseguito risultati esaltanti.

In considerazione delle problematiche mostrate da questo indicatore si è ritenuto che un suo superamento necessitasse di una formulazione più rigorosa e che includesse molti più fattori di influenza per un progetto. Inoltre, noti i problemi che affliggono l'Estimate at Completion ed in virtù della complementarità tra l'Earned Value Management ed il Project Risk Management, si è pensato di che fosse una buona idea derivare il nuovo Risk Performance Index direttamente da quest'ultimo modello. Per renderlo possibile, è stato necessario esplorare il PRM per illustrare gli aspetti che lo caratterizzano maggiormente ed in particolare, oltre alle generalità del concetto di rischio, si è posto un focus su tre tool utili allo scopo di questo lavoro: le Risk Breakdown Structure tipiche, per le quali si è fornito un esempio nel caso del settore delle costruzioni, la Risk Exposure, il tool che permette la quantificazione, ed infine la Risk Breakdown Matrix, un diagramma inclusivo di entrambi i concetti precedenti. Dalla loro analisi è emerso che nell'ambito del Risk Management era assente una valutazione dello stato di rischio complessivo su un progetto, ma che fossero disponibili tutte le informazioni necessarie per realizzarla.

Per colmare questa lacuna si è ideata la Project Risk Exposure, una misura della gravità del rischio su un singolo scenario che, al pari di ogni altra misura, è confrontabile e quindi permette di studiare il rischio complessivo di un progetto. Utilizzando il metodo degli scostamenti essa può valutare la sua variazione nel tempo, mentre, in modo analogo a quanto avviene per il Cost Performance Index e per lo Schedule Performance Index,

rapportando i suoi valori si può ricavare un indicatore di performance, il nuovo Risk Performance Index. In virtù delle sue caratteristiche, come l'elevato contenuto informativo, la replicabilità, la struttura simile a quella del CPI e dell'SPI, ecc., pare che non presenti nessuno dei problemi individuati dall'indicatore precedente, pertanto dovrebbe conseguire risultati migliori. Sfortunatamente in questa tesi non è stato possibile testarlo su casi reali per certificarne la bontà, ma si auspica che ciò sia realizzabile in futuro. Inoltre, si spera anche che la letteratura si soffermi maggiormente sullo studio dei pesi da attribuire agli indicatori nell'Estimate at Completion, poiché il miglioramento dell'Earned Value Management passa necessariamente dal loro perfezionamento.

Bibliografia

- Ahmed, A., Kayis, B., Amornsawadwatana, & Sataporn. (2007). A review of techniques for risk management in projects. *Benchmarking: An International Journal*, 14(1), p. 22-36.
- Aleshin, A. (2001). Risk management of international projects in Russia. *International Journal of Project Management*, 19, 207-222.
- Anbari, F. T. (2003, Dicembre). Earned value project management method and extension. *Project Management Journal*, p. 12.
- Banaitiene, N., & Banaitis, A. (2012). *Risk Management - Current Issues and Challenges*. Londra: Nerija Banaitiene.
- Barlish, K., Marco, A. D., & Thaheem, M. J. (2013). Construction Risk Taxonomy: An International Convergence of Academic and Industry Perspectives. *American Journal of Applied Sciences*, 10(7), p. 706-713.
- Barraza, G. A., Back, W. E., & Mata, F. (2004). Probabilistic Forecasting of Project Performance Using Stochastic S Curves. *Journal of construction engineering and management*, 130(1), p. 25-32.
- Chan, A. P., & Chan, A. P. (2004). Key performance indicators for measuring construction success. *Benchmarking: an international journal*.
- Chapman, C. (1997). Project risk analysis and management - PRAM the generic process . *International Journal of Project Management* , 15(5), 273-281.
- Christensen, D. S. (1966). Project advocacy and the estimate at completion problem. *Journal of Cost Analysis*, p. 35-60.
- Christensen, D. S. (1999). *Value Cost Management Report to Evaluate the Contractor's Estimate at Completion*.
- Christensen, D. S., & Heise, S. R. (1993). Costo performance index stability. *National Contract Management Journal*.
- Christensen, D. S., Antolini, R. C., & McKinney, J. W. (1995, Marzo). A review of estimate at completion research. *The Journal of Cost Analysis*, p. 41-62.
- De Marco, A. (2018). *Project Management for Facility Constructions: A Guide for Engineers and Architects* (Second Edition ed.). International Publishing Springer.
- El-Sayegh, S. M., & Mansour, M. H. (2015, Novembre). Risk Assessment and Allocation in Highway Construction Projects in the UAE. *Journal of Management in Engineering*,

31(6).

- Eom, C. S., & J. H. (2009). Risk Index Model for Minimizing Environmental Disputes in Construction. *Journal of Construction Engineering and Management*, 135(1), p. 34-41.
- Fleming, Q., & Koffleman, J. M. (2000). *Earned Value Project Management* (4th Edition). Project Management Institute.
- Franceschini, F., Galetto, M., & Maisano, D. (2011). *Indicatori e Misure di Prestazione per la Gestione dei Processi*. Clut.
- Grimaldi, S., Rafele, C., & Cagliano, A. C. (2012). A Framework to Select Techniques Supporting Project Risk Management. In N. Banaitiene, & A. Banaitis, *Risk Management - Current Issues and Challenges* (p. 67-92). Londra: Nerija Banaitiene.
- Hamzaouia, F., Taillandierb, F., Mehdizadehb, R., Breysseb, D., & Allala, A. (2015). Evolutive Risk Breakdown Structure for managing construction project risks: application to a railway project in Algeria. *European Journal of Environmental and Civil Engineering*, 19(2), 238–262.
- Henderson, K. (2003). Earned schedule: A breakthrough extension to Earned Value Theory? A retrospective analysis of real project data. *The measurable news*.
- Henderson, K. (2007). Earned schedule a breakthrough, extension to earned value management. *PMI Asia Pacific Global Congress Proceedings – Hong Kong*.
- Heravi, G., & Ilbeigi, M. (2012). Development of a comprehensive model for construction project success evaluation by contractors. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 19(5), p. 526-542.
- Hillson, D. (2002). Extending the risk process to manage opportunities. *International Journal of Project Management*, 20, p. 235-240.
- Hillson, D. (2003). *Effective Opportunity Management for Projects*. New York: Dekker.
- Hillson, D. (2003, Gennaio). Using a Risk Breakdown Structure in project management. *Journal of Facilities Management*, 2(1), p. 85-97.
- Hillson, D. (2014, Aprile). Earned Value Management and Risk Management: A Practical Synergy. *Project Management World Journal*, 3(4).
- Hillson, D., Grimaldi, S., & Rafele, C. (2006). Managing Project Risks Using a Cross Risk Breakdown Matrix. *Risk Management*, 8, 61-76.
- Ika, L. A. (2009, Dicembre). Project success as a topic in project. *Project Management Journal*, p. 8.

- Iranmanesh, H., Jalili, M., & Pirmoradi, Z. (2007). Developing a New Structure for Determining Time Risk Priority using Risk Breakdown Matrix in EPC Projects. *IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management*, (p. 999-1003). Singapore.
- Kerzner, H. (2017). *Project management metrics, KPIs, and Dashboards: a Guide to Measuring and Monitoring project performance*. Wiley-Blackwell.
- Kim, B., & Reinschmidt, K. (2010). Probabilistic forecasting of project. *Journal of Construction Engineering and Management*, 136(8), p. 834-843.
- Lam, K., Wang, D., Lee, P. T., & Tsang, Y. (2007). Modelling risk allocation decision in construction contracts. *International Journal of Project Management*, 485-493.
- Lee, Y.-J., Rhee, S.-K., Kim, D.-S., & Lee, C. (2013). Assessment of Expressway Construction Using Quality Performance Index (QPI). *Journal of Civil Engineering*, 17(2), p. 377-385.
- Lipke, W. H. (2003, Marzo). Schedule is different. *The measurable news*, p. 10 - 15.
- Marco, A. D., Rafele, C., & Thaheem, M. J. (2016). Dynamic Management of Risk Contingency in Complex Design-Build Projects. *Journal of Construction Engineering and Management*, 142(2).
- Muhwezi, L., Acai, J., & Otim, G. (2014). An Assessment of the Factors Causing Delays on Building Construction Projects in Uganda. *International Journal of Construction Engineering and Management*, 3(1), p. 13-23.
- Pritchard, C. L. (2015). *Risk Management: Concepts and Guidance* (5 ed.). Philadelphia: PA: Auerbach Publications.
- Project Management Institute. (2009). *Practice standard for project risk management*. Newtown Square.
- Project Management Institute. (2011). *Practice Standard for Earned Value Management (2nd Edition)*. Newtown Square.
- Project Management Institute. (2017). *A guide to the project management body of knowledge (PMBOK Guide)* (Sesta Edizione ed.). Newtown Square.
- Rafele, C., Hillson, D., & Grimaldi, S. (2005). *Understanding Project Risk Exposure Using the Two-Dimensional Risk Breakdown Matrix*. Project Management Institute.
- Rakos, J., Dhanraj, K., Kennedy, S., Fleck, L., Jackson, S., & Harris, J. (2004). *The Practical Guide to Project Management Documentation*. John Wiley & Sons, Incorporated.
- Rasool, M., Denys, B., Franck, T., & Halidou, N. (2011). *Advanced methodology of Risk*

breakdown structure developing for risk management of tunneling and construction projects.

- Rasool, M., Franck, T., Denys, B., & Halidou, N. (2012, Giugno). Methodology and tools for risk evaluation in construction projects using Risk Breakdown Structure. *European Journal of Environmental and Civil Engineering*, 16, p. 78-98.
- Razi, P. Z., Ali, M. I., & Ramli, N. I. (2020). Incorporation of Risk Index for Risk Response and Risk Mitigation Strategies of Public-Private Partnership (PPP) Housing Construction Project in Malaysia. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*.
- Shrivastava, N. K. (2014). A Model to Develop and Use Risk Contingency Reserve. *PMI Global Congress Proceedings*. Phoenix.
- Sigmunda, Z., & Radujkovic, M. (2014). Risk Breakdown Structure for construction projects on existing buildings. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 119, 894 – 901.
- Sun, M., & Meng, X. (2009). Taxonomy for change causes and effects in construction projects. *International Journal of Project Management*, 27, 560–572.
- Tadayon, M., Jaafar, M., & Nasri, E. (2012). An Assessment of Risk Identification in Large Construction Projects in Iran. *Journal of Construction in Developing Countries*, 57-69.
- Tah, J., & Carr, V. (2001). Towards a framework for project risk knowledge management in the construction supply chain. *Advances in Engeneering Software*, 32, 835-846.
- Thaheem, M. J. (2016, Ottobre). Estimated Cost at Completion: Integrating Risk into Earned Value Management. *Journal of Construction Engineering and Management*, 143(3).
- Toor, S.-u.-R., & Ogunlana, S. O. (2010). Beyond the 'iron triangle': Stakeholder perception of key performance indicators (KPIs) for large-scale public sector development projects. *International Journal of Project Management*, 28, p. 228–236.
- Vandevoorde, S., & Vanhoucke, M. (2006). A comparison of different project duration forecasting methods. *Internetalional Journal of Project Management*.
- Ward, S. C. (1999). Assessing and managing important risk. *International Journal of Project Management*, 17(6), 331-336.
- Williams, T. M. (1996). The two-dimensionality of project risk. *International Journal of Project Managemen*, 14(3), 185-186.
- Yeung, J. F., Chan, A. P., & Chan, D. W. (2009). Developing a Performance Index for Relationship-Based Construction Projects in Australia: Delphi Study. *Journal of Management in Engineering*, 25(2), p. 59-68.

Zhi, H. (1995). Risk management for overseas construction projects. *International Journal of Project Management*, 13(4), 231-237.