

# POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Gestionale



Tesi di Laurea Magistrale

Studio di un modello per l'integrazione della gestione dei rischi nel  
calcolo dell'EAC: analisi della letteratura e linee guida  
all'implementazione

**Relatore:** Alberto De Marco

**Correlatore:** Filippo Maria Ottaviani

**Candidato:**

Giacomo Todeschini

**Anno Accademico 2019/2020**



## RINGRAZIAMENTI

Prima di procedere con la trattazione, vorrei dedicare qualche riga a tutti coloro che mi hanno supportato e aiutato nella stesura di questo elaborato e nella vita di tutti i giorni.

Innanzitutto, ringrazio il mio relatore, il professore Alberto De Marco, per l'opportunità concessami e per aver ulteriormente acceso il mio interesse verso la disciplina del project management con il suo insegnamento. Un particolare ringraziamento desidero inoltre farlo al mio correlatore Filippo Maria Ottaviani, sempre presente e disponibile nell'indirizzarmi nella direzione corretta e nel rispondere a ogni mio dubbio. Grazie, davvero.

Non posso poi non ringraziare i miei genitori, per avermi sostenuto e per essere degli incredibili modelli di vita, e mia sorella, che ammiro e stimo moltissimo per la grande dedizione e l'impegno che mette in ogni cosa che fa. Desiderare di più come famiglia era onestamente difficile.

Ringrazio inoltre mia zia Guglielmina, probabilmente la persona più buona, gentile e disponibile che conosca e tutti i miei parenti e conoscenti che hanno contribuito a formare la persona che sono oggi.

Un grazie va inoltre ai miei amici: a Elisa, per esserci sempre stata, ad Alessandro, per la nostra lunghissima amicizia, a Lorenzo, Giove, Gianmarco, Davide, Beniamino, Alessandro, Andrea e a tutti gli altri non presenti in questa lista per mere questioni di spazio. Ringrazio anche Maria, Daniele e Giuseppe per gli anni della triennale e Cesare e Matteo per questi ultimi due anni a Torino. Grazie a tutti.

Un importante ringraziamento finale non poteva poi che andare ad Anna, mio vero punto di riferimento da diversi anni a questa parte.

Grazie di cuore a tutti,

Giacomo

## Sommario

INTRODUZIONE .....	6
PROGETTI E INCERTEZZA: UN CONNUBIO INCONTROVERTIBILE.....	7
MONITORAGGIO E CONTROLLO: IMPORTANZA E TECNICHE .....	10
ESTIMATE AT COMPLETION ED EARNED VALUE ANALYSIS .....	14
ESTIMATE AT COMPLETION: LETTERATURA .....	24
INDICI .....	25
Holeman J.B., 1975 .....	26
Lollar J.L., 1980 .....	27
Parker C.W., 1980 .....	27
Land T.J., Preston, E.L., 1980.....	28
Bright H.R., Howard T.W., 1981 .....	28
Covach et al., 1981 .....	29
Haydon J.J., Reither R.O., 1982.....	30
Blythe A.L., 1982-1984.....	30
Price J.B., 1985 .....	31
Cryer J.M., Balthazor L.R., 1986.....	31
Wallender T.J., 1986 .....	32
Totaro J.A., 1987.....	32
Reidel M.A., Chance J.L., 1989 .....	32
Altri studi .....	33
ANALISI DI REGRESSIONE .....	33
Karsch O.A., 1974.....	36
Karsch O.A., 1976.....	36
Olsen D., Ellsworth R.W., 1976.....	37
Heydinger G.N., 1977 .....	37
Busse D.E., 1977 .....	38
Weida W.J., 1977 .....	39

Watkins H., 1982.....	39
Altri Studi.....	40
ALTRE TIPOLOGIE .....	40
El-Sabban M.Z., 1973 .....	41
Hayes R.A., 1977 .....	41
Kamoon K.R.K., Budayan C., 2019 .....	42
AlHares E.F.T., Budayan C., 2019.....	43
CONSIDERAZIONI FINALI .....	44
PROJECT RISK MANAGEMENT .....	46
LA GESTIONE DEI RISCHI NEL MONITORAGGIO DI PROGETTO.....	61
ESTIMATE AT COMPLETION E RISK MANAGEMENT: LETTERATURA .....	63
Pajares J., López-Paredes A., 2010 .....	63
Creedy et al., 2010.....	65
Browning T.R., 2014.....	66
Babar et al., 2016.....	68
Miguel et al., 2019.....	69
Narbaev et al., In attesa di pubblicazione .....	70
CONSIDERAZIONI FINALI .....	72
PROPOSTA DI MODELLO.....	73
Modello proposto per il calcolo dell'EaC .....	74
Contingency Reserve.....	76
Contingency Spending Slope .....	77
Contingency Spending Performance Index .....	78
Response Effectiveness for Opportunities.....	79
Management Reserve .....	80
Management Spending Slope .....	80
Management Spending Performance Index.....	81
Fatality Performance .....	82

Reticolo del progetto .....	83
Subcritical Path Relevance.....	83
Hypercritical Path Relevance .....	84
Subcontractors Number.....	85
Change Events Number.....	85
APPLICAZIONE DESCRITTIVA.....	87
CONCLUSIONI .....	100
BIBLIOGRAFIA .....	103
SITOGRAFIA .....	106

## INTRODUZIONE

L'Earned Value è un metodo ben consolidato all'interno della cultura del project management. Esso consente infatti a coloro che sono incaricati di controllare e monitorare il progresso di un progetto di effettuare stime di tempi e costi a finire attraverso formule spesso semplici e veloci da applicare.

Tale procedimento, se accompagnato a una costante raccolta metodologica di informazioni sul progetto nel corso del tempo, permette di effettuare tali stime non solo in modo semplice, ma anche immediato. L'Earned Value consente infatti ai project manager di individuare nel minor tempo possibile eventuali scostamenti in termini di tempi e costi rispetto a quanto inizialmente preventivato per un dato istante.

Tali scostamenti possono verificarsi all'interno di un progetto per una lunga serie di motivazioni, ma la principale di esse è quella relativa ai rischi, ossia degli eventi non certi il cui impatto, nel caso si concretizzassero, può portare a conseguenza, sia in senso negativo che positivo, sull'intero progetto.

Rischi la cui gestione diventa quindi fondamentale per la buona riuscita di un progetto e che hanno ricevuto nel corso degli ultimi decenni una grande considerazione, che ha portato alla nascita di numerose metodologie e tecniche per gestirli nel migliore dei modi. Minimizzare l'impatto e la probabilità dei rischi negativi, e al contempo massimizzare quelle dei rischi positivi, è infatti ora diventata una prerogativa, con tanto di risorse e piani d'azione dedicati a tali attività.

La metodologia dell'Earned Value, con il relativo output conosciuto come EaC o Estimate at Completion, per effettuare le sue stime finali si basa solamente sui dati a consuntivo, ossia sulla storia del progetto in quanto a tempi e costi fino all'istante in cui si effettua tale analisi. In tali stime non vengono quindi considerati nel dettaglio né i rischi fino ad allora accaduti, né quelli evitati né, tantomeno, quelli che potrebbero ancora concretizzarsi.

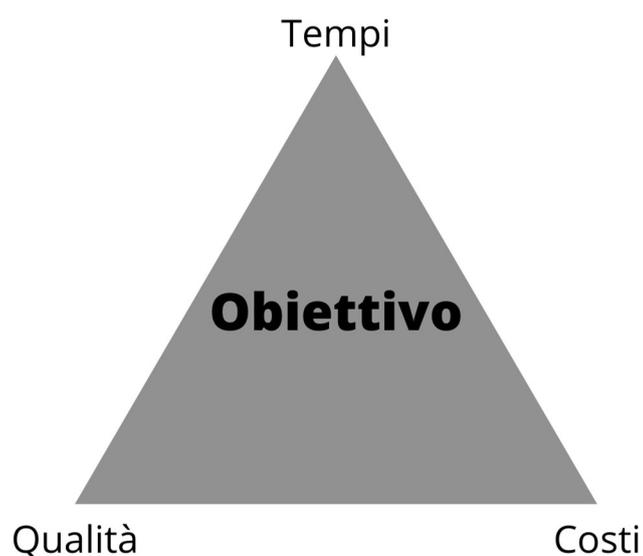
La sfida di questo elaborato è quindi quella di studiare la letteratura attuale delle metodologie di calcolo dell'Estimate at Completion e, a partire da essa, proporre un nuovo modello per prevedere quelli che sono i costi a finire di un progetto, considerando in esso anche quella che è l'importanza della gestione dei rischi.

## PROGETTI E INCERTEZZA: UN CONNUBIO INCONTROVERTIBILE

Un progetto è, per definizione stessa del Project Management Institute o P.M.I, un'iniziativa o impresa temporanea volta a realizzare un prodotto, un servizio o un risultato unico. Si tratta quindi di una commistione di risorse umane e non riunite in un'organizzazione temporanea con il fine di raggiungere un obiettivo definito, ma nuovo con risorse limitate.

Intorno ad un progetto, nella cui natura innovativa è quindi insita una incertezza sistematica, si sviluppa il project management, ossia la gestione sistemica di un'impresa complessa, unica e di durata limitata, rivolta al raggiungimento di un obiettivo chiaramente premeditato, mediante un processo continuo di pianificazione e controllo di risorse differenziate e con vincoli interdipendenti di costi, tempi e qualità. (Archibald R.D.)

Portare a compimento con successo un progetto non vuol quindi dire solamente completare quanto inizialmente prefissato, ma farlo tenendo in primo piano tre aspetti tra di loro spesso e volentieri anche in contrasto, ossia costi, tempi e qualità, i tre principali vincoli del project management, spesso raffigurati in un triangolo come in figura 1. Cercare di raggiungere l'obiettivo in tempo, infatti, potrebbe voler dire ridurre la qualità del progetto o aumentarne i costi, con il medesimo ragionamento che si può ritrovare a parti invertite per quanto riguarda il concentrarsi su uno degli altri due aspetti. Si tratta quindi di un trade-off onnipresente nella gestione di un qualsiasi progetto, che costringe il project manager a fare spesso e volentieri scelte anche difficili e dolorose.



*Figura 1: triangolo Costi/Tempi/Qualità*

A tali aspetti si vanno poi ad aggiungere numerose altre variabili, come il settore in questione o l'ambiente esterno, e tutta una serie di obiettivi. Questi obiettivi sono suddivisi in diverse categorie e il loro soddisfacimento è ovviamente cruciale per concludere con successo il progetto in questione. All'interno delle organizzazioni il project management ha quindi due macro-tipologie di obiettivi:

- Obiettivi interni: obiettivi che hanno impatto all'interno dell'organizzazione e consistono nello sfruttare in modo efficace economie di apprendimento, riducendo costi, tempi, errori e altre variabili negative durante l'esecuzione di un progetto. Gli obiettivi interni permettono al contempo di creare una banca dati con le informazioni apprese e migliorare comunicazioni e fitting tra i vari membri del team e dell'organizzazione;
- Obiettivi esterni: obiettivi che hanno effetto all'esterno dell'organizzazione e che si riflettono sui clienti, sui vari stakeholders e sul mercato in generale. Tali obiettivi sono cruciali in quanto, se soddisfatti, permettono non solo di migliorare l'immagine e il brand aziendale, ma anche di ridurre i rischi di insuccesso, ottenere una maggiore qualità e aumentare comunicazione e fiducia con i differenti stakeholders del progetto.

Un project manager, per portare a compimento un progetto rispettando i tre vincoli di costi-tempo-qualità e soddisfare i vari obiettivi, deve inoltre dirigere e gestire un numero spesso elevato di differenti attività e risorse umane, con la presenza di dipendenze di vario tipo tra di loro. Un singolo team di costruttori edili, ad esempio, potrebbe essere responsabile della costruzione di due edifici all'interno del medesimo progetto, costruzioni edificabili anche allo stesso momento. Compito del project manager è quindi anche quello di gestire le varie risorse senza sovra allocarle e consentendo un corretto e ottimizzato flusso di lavoro. Flusso di lavoro che, ovviamente, deve anche seguire quelle che sono le dipendenze funzionali delle varie attività: il tetto di un edificio, banalmente, non può ad esempio essere costruito prima delle fondamenta ed è quindi necessario schedulare in base a tali relazioni i vari task di ogni progetto.

Proprio considerando la grande quantità di informazioni, vincoli e risorse che un project manager è chiamato a gestire e a far convivere insieme durante un progetto è quindi ancor più chiaro come nei progetti sia insita una già citata grande e sistematica incertezza. Di conseguenza, è evidente quanto sia cruciale monitorare e controllare con grande cura i

progressi dei progetti nel corso del tempo, in modo tale da evitare di sfiorare troppo quelli che sono i limiti di costi, tempi e qualità prefissati e, al contempo, poter prendere il prima possibile eventuali azioni correttive che si potrebbero rendere necessarie nel corso del tempo.

A certificare ulteriormente questa incertezza fisiologica dei progetti sono infine vari studi, che raccontano di come ben il 30% dei progetti è cancellato in corso d'opera, di come più del 50% dei progetti portati a compimento sfori il budget iniziale fino al 190% e il tempo inizialmente previsto fino al 220%. (Meredith J., Mantel S., 2012) Dati che non lasciano quindi assolutamente spazio a dubbi riguardo l'importanza di un corretto ed efficace monitoraggio di ogni progetto.

## MONITORAGGIO E CONTROLLO: IMPORTANZA E TECNICHE

Per contrastare e ridurre l'incertezza di un progetto, diminuendone così l'impatto in termini di costi, tempi e qualità, si ricorre a quelli che sono il monitoraggio e il controllo delle performance del progetto e dei risultati ottenuti. Si tratta di processi gestionali che prendono luogo durante l'intero ciclo di vita di un progetto a partire dalla prima attività schedulata e che hanno come obiettivo quello di tracciare e tenere sotto controllo l'evoluzione del tutto, nel rispetto dei tre vincoli sopra citati e in base a quanto inizialmente programmato e schedulato.

Se sulla carta sembra quindi trattarsi di processi semplici, che devono limitarsi a far rispettare i ritmi di marcia, gli obiettivi e i costi inizialmente programmati, alla prova dei fatti la situazione è decisamente differente. Il monitoraggio e il controllo sono infatti attività complesse, che necessitano di un gran numero di informazioni, di dati e che devono tenere in considerazione innumerevoli variabili. Il punto cruciale, che denota la complessità di tali processi, è poi la necessità di utilizzare i dati passati per prevedere il futuro di un progetto, un'operazione già di per sé difficile, che viene resa ancor più difficoltosa a causa dell'incertezza dei progetti e dei rischi che potrebbero incorrere, di cui parleremo più approfonditamente nei capitoli seguenti.

Un monitoraggio deve infatti misurare l'andamento del progetto all'istante  $t$ , registrandone le performance, raccogliendo le informazioni necessarie e calcolando opportune metriche, e confrontare quanto ottenuto con la programmazione iniziale. In tal modo il project manager può quindi individuare e analizzare eventuali scostamenti in tempo e costi rispetto a quanto inizialmente programmato. Tramite il confronto tra preventivo e consuntivo, inoltre, è poi in seguito possibile effettuare tutta una serie di calcoli fondamentali per la gestione di un progetto, come la stima dei costi e dei tempi a finire dell'intero progetto. Il controllo, invece, è un processo che punta a comprendere le cause e i motivi alla base degli scostamenti individuati, a prendere eventuali azioni correttive e/o preventive quando necessario e a riprogrammare il progetto, ridefinendone se necessario anche gli obiettivi, nel caso in cui gli scostamenti rilevati fossero troppo rilevanti/costosi per essere completamente corretti.

Solitamente la distinzione tra monitoraggio e controllo in ambito reale non è così definita ed entrambi i processi vengono nella maggior parte dei casi riuniti all'interno di un unico processo, che prende il nome di "project control". Il project control, come facilmente immaginabile, è un processo ciclico e che ricopre l'intero ciclo di vita del progetto, partendo

da quella che è la prima attività programmata fino alla chiusura del progetto. In figura 2 è possibile osservare tale processo, che permette quindi di monitorare, prevedere e correggere il progetto ove necessario.

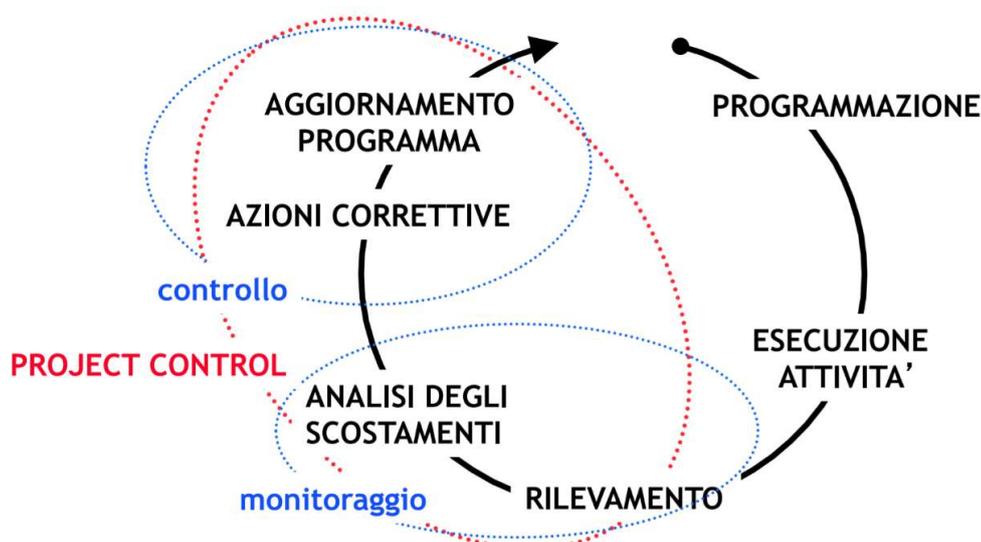


Figura 2: Project Control Cycle

Allo stato attuale la letteratura propone diverse metodologie per quanto riguarda il monitoraggio e il controllo di un progetto e la relativa misura dell'avanzamento e delle stime a finire, ma la più nota ed utilizzata è sicuramente quella conosciuta come Earned Value Analysis, da qui in avanti anche EVA.

Prima di arrivare a parlare dell'Earned Value Analysis o di altre tecniche utilizzate per il monitoraggio e il controllo dei processi, è necessario soffermarsi sulla rappresentazione grafica del progresso di un progetto in termini di costi e tempi, in modo tale da meglio comprenderne la natura e il comportamento.

Sebbene i progetti, come visto in precedenza, siano delle imprese complesse, uniche e caratterizzate da una grande incertezza, è possibile infatti definirne un comportamento standard per quanto riguarda l'utilizzo delle risorse nel corso del tempo. La rappresentazione grafica di tale comportamento, che riesce con un buon grado di accuratezza a rispecchiare lo sviluppo temporale della stragrande maggioranza dei progetti, prende il nome di S-Curve. Ovviamente esistono varie tipologie di curve in base alla natura del progetto e ad altre variabili, ma quasi tutte si riconducono alla fine dei conti alla medesima caratteristica forma ad S: piatta all'inizio, inclinata nella parte centrale e ancora piatta nell'ultima fase. Al posto dei costi cumulativi è inoltre possibile usare altre misure simili, come ad esempio la percentuale di completamento del progetto.

La S-Curve di un progetto, come denotabile dalla forma assunta, presenta la maggior parte dei costi nella sua parte centrale, ossia quella più operativa. Le due code di un progetto, invece, rappresentando rispettivamente la fase di pianificazione/programmazione e di chiusura, sono contraddistinte da un'inclinazione minore e, di conseguenza, denotano un minor utilizzo di risorse in tali fasi.

Molto importante in una curva a S è poi il punto in cui la crescita è massima, ossia il punto di flesso. Dopo tale punto, infatti, si entra nella cosiddetta parte matura del progetto, una fase in cui la maggior parte dei progressi è stata fatta e mancano quindi all'appello solo task secondari, di revisione e i controlli finali. Prima di raggiungere il plateau finale si è invece nella fase in cui vi è un maggior utilizzo di risorse e un maggior quantitativo di task importanti in atto.

A rendere tale strumento grafico ancor più importante e cruciale nel monitoraggio e controllo di un processo è poi il fatto che possono essere realizzate e successivamente confrontate più curve ad S del medesimo progetto. Attraverso il paragone tra la S-Curve del preventivo e quella del consuntivo, ad esempio, è possibile notare e quantificare eventuali scostamenti e correggerli con azioni correttive, i cui effetti saranno a loro volta rappresentati in una terza S-Curve, che mostrerà quindi quella che è la pianificazione del progetto in questione a seguito della revisione. Un esempio applicativo di tale confronto è mostrato in figura 3, in cui viene evidenziato lo scostamento individuato tra preventivo e consuntivo e la relativa revisione della schedulazione.

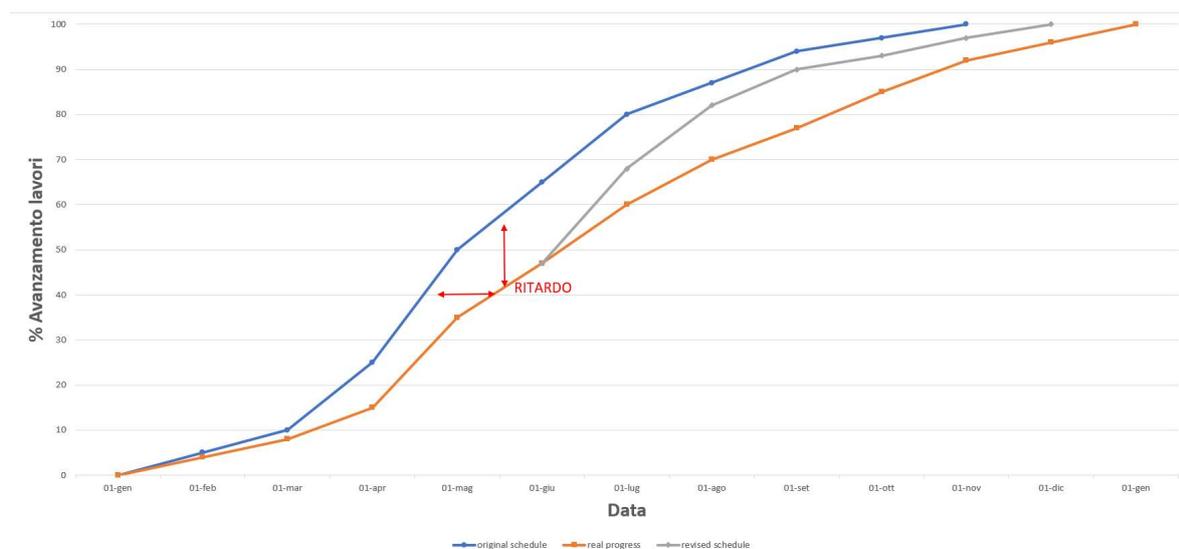


Figura 3: confronto tra S-Curve

Nonostante come visto siano le curve a S a rappresentare meglio i progressi di un progetto nel corso del tempo, esse vengono talvolta sostituite durante il monitoraggio e il calcolo delle

relative stime di tempi e costi a finire da una rappresentazione dall'andamento lineare. Tale rappresentazione permette di ottenere numerosi vantaggi, relativi soprattutto al fatto che consente calcoli semplificati e la possibilità di visualizzare in un diagramma a tre dimensioni i tre aspetti fondamentali del monitoraggio di un progetto: tempi, costi e progresso dei lavori. La rappresentazione tramite andamento lineare è inoltre molto utilizzata quando i valori a consuntivo a disposizione sono in numero ridotto e tra di loro temporalmente lontani, non consentendo di conseguenza di rappresentare la S-Curve del progetto con una buona accuratezza.

## ESTIMATE AT COMPLETION ED EARNED VALUE ANALYSIS

La stima dei tempi e dei costi a finire di un progetto è una tematica importantissima, che è stata più volte nel corso degli anni sotto la luce dei riflettori, spesso e volentieri per motivi non proprio virtuosi. Uno degli esempi più lampanti, che ha definitivamente messo in chiaro come fosse necessario dotarsi di metodologie di stima affidabili e sull'importanza di usarle nel modo corretto, è sicuramente quello relativo all'A-12 Avenger II. Si tratta di un bombardiere stealth che avrebbe dovuto rimpiazzare alla fine degli anni '80 l'A-6 Intruder, con tanto di primo volo programmato per il 1990, ma che ha invece finito per rivelarsi un fallimento economico. (Montgomery D., 1991)

Il progetto, portato congiuntamente avanti da due aziende statunitensi, McDonnell Douglas e General Dynamics, e considerato una priorità assoluta per la Marina fin dal 1984, è stato infatti cancellato ufficialmente dal Segretario della Difesa americano nel gennaio del 1991, esattamente tre anni dopo la selezione delle due società come vincitrici dell'appalto nel gennaio del 1988.

Una decisione quasi storica, che Dick Cheney, il Segretario della Difesa autore della decisione, ha così commentato: "Ho ufficialmente cancellato il progetto dell'A-12. Non è stata una decisione facile da prendere, soprattutto perché si trattava di un qualcosa di cui avevamo bisogno. Nessuno è però stato in grado né di dirmi quanto sarebbe andato a costare il progetto né quando sarebbe stato disponibile, neanche per quanto riguarda la fase di produzione in scala. I dati che mi sono stati presentati qualche mese fa si sono rivelati inesatti ed errati."

1 miliardo di over budget, 18 mesi di ritardo rispetto alla pianificazione e più di 3600 kg di peso in più rispetto a quanto inizialmente dichiarato: quello dell'A-12 al momento della cancellazione ufficiale era un progetto in forte difficoltà su tutti e tre i vincoli del project management, non riuscendo neanche minimamente a lambire gli obiettivi di costi, tempi e qualità fissati a inizio progetto.

Come emerso in seguito, anche grazie a una causa legale che si è trascinata fino al 2014 e che si è risolta con il pagamento da parte di Boeing, società con cui si era nel frattempo fusa nel 1997 McDonnell Douglas, e di General Dynamics di 200 milioni di dollari ciascuna alla Marina degli Stati Uniti d'America, le motivazioni dietro tale fallimento erano molteplici. Troppa segretezza, problemi tecnologici dovuti all'utilizzo di alcuni materiali all'avanguardia, ritardi nel comunicare gli scostamenti e delle previsioni di costi e tempi a

finire troppo ottimistiche da parte dei contractor e in contraddizione con quelle fatte effettuare da analisti terzi: questi sono alcuni tra i motivi che hanno portato alla cancellazione da parte di Dick Cheney del progetto dell'A-12, facendo registrare al governo americano perdite per diversi miliardi di dollari.

Nonostante siano quindi numerose le motivazioni dietro tutto ciò, a far pendere la decisione del Segretario della Difesa verso una cancellazione del progetto, e non a una sua continuazione o a una rimodulazione del contratto, è stato, come riferito dal portavoce del Pentagono del tempo, Pete Williams, soprattutto il fatto che nessuno era in grado di effettuarne una stima affidabile dei costi e dei tempi a finire.

Sebbene quindi quella dell'A-12 Avenger II sia una storia dalle innumerevoli sfumature e che va a ricoprire diversi ambiti, uno dei più importanti è proprio quello relativo al project management. Una vicenda che ha ulteriormente chiarito la necessità, onde evitare danni economici e di immagine, di riuscire a tracciare quelle che sono le performance di un progetto in corso d'opera e da esse stimare nel modo più affidabile possibile quelle a completamento.

Il metodo più utilizzato per fare ciò è sicuramente l'Earned Value Analysis, una metodologia che permette ai project manager di misurare proprio i progressi effettivi di un progetto nel corso del tempo. Grazie ad essa è possibile effettuare la stima dei tempi e dei costi a finire basandosi su quelle che sono le performance del progetto all'istante t. L'EaC fa infatti uso di tutta una serie di indicatori e variabili che valutano le performance e i risultati ottenuti in un dato istante nel progetto.

Le prime variabili da tenere in considerazione per poter effettuare tali stime sono le seguenti:

- BCWS o BC o Budget Value: il costo programmato per un determinato periodo o per un dato task o insieme di tasks. Si calcola con la seguente formula:

$$BCWS = Budget Cost * Work Scheduled$$

- ACWP o AV o Actual Value: il costo effettivamente sostenuto per un determinato periodo o per un dato task o insieme di tasks. Si calcola con la seguente formula:

$$ACWP = Actual Cost * Work Performed$$

- BAC o Budget a Completamento: il costo a budget, ossia a preventivo, complessivo dell'intero progetto.

A cui si va poi ad aggiungere BCWR o Budget Cost Work Remaining, ossia il costo a budget del lavoro rimanente all'istante t. Si tratta di una variabile non sempre utilizzata, almeno non nelle tradizionali formule di calcolo dell'EaC, ma che talvolta appare in diversi studi e ricerche e che è quindi stata inserita in questa trattazione per completezza e per rendere più facilmente fruibili tali documenti.

Si tratta di indicatori particolarmente significativi, ma che non devono essere usati impropriamente. Utilizzando solamente l'ACWP per misurare quella che è l'avanzamento di un progetto si ricorrerebbe infatti ad esempio in gravi errori, visto che, come precedentemente illustrato, l'Actual Value si basa solamente su quanto effettivamente speso e, quindi, sul consuntivo. Stimare costi e tempi a finire tramite solamente l'ACWP sarebbe di conseguenza decisamente sbagliato e porterebbe a previsioni imprecise ed errate a causa del fatto che nell'Actual Cost Work Performed non è presente nessuna informazione relativa al lavoro svolto. In altre parole, non viene tenuto in considerazione quanto effettivamente fatto, ma solo quanto è stato speso a un dato istante.

Il confronto diretto tra ACWP e BCWS, ossia tra consuntivo e preventivo a livello contabile, è quindi formalmente errato, in quanto da esso si ottiene solo la differenza tra ciò che è stato speso, senza tenere in considerazione cosa è stato effettivamente realizzato nell'istante oggetto di analisi. Tramite tale confronto non viene infatti considerata la correlazione tra lavoro svolto e costi sostenuti, non riuscendo di conseguenza a mostrare un'eventuale minore o maggiore avanzamento dei lavori a parità di costo in base a quanto inizialmente programmato.

Per ovviare a tali problematiche, e riuscire quindi a tenere nello stesso momento in considerazione costi sostenuti e lavoro compiuto, viene preso in considerazione all'interno dell'Earned Value Analysis il valore a budget del lavoro effettivamente svolto a un dato istante.

Con l'introduzione di tale concetto è quindi possibile ora illustrare questa terza variabile dal ruolo cruciale, ossia:

- BCWP o EV o Earned Value: il costo a budget del lavoro effettivamente eseguito in un determinato periodo o per un dato task o insieme di task. Si calcola con la seguente formula:

$$BCWP = Budget Cost * Work Performed$$

Tale variabile ha il grande vantaggio di consentire un'analisi efficace e repentina di quelli che sono gli eventuali scostamenti, permettendo di poter prendere in maniera più reattiva le azioni necessarie per riportare il progetto sui giusti binari. Tale valutazione può essere fatta con due modalità differenti per adempiere a diverse finalità:

- Metodo sintetico: si focalizza sullo scostamento tempi/costi tra preventivo e consuntivo a livello globale, considerando il progetto nella sua interezza. Viene utilizzato per comunicare a manager e stakeholder lo stato del processo, in modo semplice e preciso;
- Metodo analitico: modalità più operativa che analizza gli scostamenti individuati per singola attività, permettendo un controllo più efficace degli scostamenti critici e l'adozione di strategie di risposta a tali scostamenti.

Grazie alle tre variabili precedentemente descritte è quindi possibile monitorare e valutare quelli che sono i progressi di un progetto e confrontarli rispetto a quanto inizialmente schedato. Con tale finalità vengono quindi introdotti diversi indicatori di performance, volti ad analizzare quelle che sono le prestazioni del progetto in termini di costi e tempo.

Per quanto riguarda i costi:

- Cost Variance o CV: indicatore di performance che quantifica le prestazioni del progetto in quanto a costi e identifica eventuali under budget/over budget. Se la CV è positiva il progetto sta performando meglio di quanto preventivato in termini di costi, se negativa, invece, il progetto sta utilizzando più risorse monetarie del dovuto. Un termine nullo indica invece un progetto in linea con quanto inizialmente schedato. La Cost Variance si può calcolare con la seguente formula:

$$CV = BCWP - ACWP$$

- Cost Performance Index o CPI: indicatore che valuta la performance del progetto in termini di costi. Un valore maggiore di 1 indica che il progetto sta performando meglio di quanto inizialmente schedato, mentre un valore minore di 1 denota una performance minore rispetto a quella a preventivo. Un valore pari a 1, infine, sta ad indicare come il progetto stia esattamente in regola con il budget previsto. Il Cost Performance Index può così essere calcolato:

$$CPI = \frac{BCWP}{ACWP}$$

Per quanto riguarda i tempi, invece:

- Schedule Variance o SV: indicatore di performance che quantifica le prestazioni del progetto in quanto a tempi e identifica eventuali anticipi/ritardi rispetto alla tabella di marcia. Una SV positiva indica come il progetto sia in anticipo rispetto quanto inizialmente schedulato, mentre un valore di SV negativo sta a significare la presenza di un ritardo. Un valore di SV nullo, infine, denota come il progetto sia esattamente al punto che ci aspettava all'inizio. La Schedule Variance può essere calcolata con la seguente formula:

$$SV = BCWP - BCWS$$

- Schedule Performance Index o SPI: indicatore che valuta la performance del progetto in termini di tempi. Un valore maggiore di 1 indica che il progetto è avanti rispetto alla tabella di marcia, mentre un valore minore di 1 denota come il progetto sia invece in ritardo. Un SPI pari a 1 indica infine come il progetto sia nell'istante in esame esattamente al punto inizialmente schedulato in fase di programmazione. Lo Schedule Performance Index può essere calcolato con la seguente formula:

$$SPI = \frac{BCWP}{BCWS}$$

CPI e SPI sono solitamente calcolati su base ricorrente – solitamente mensile – e in quanto tali possono anche essere visti come indicatori cumulativi o di media. Per meglio distinguere queste varie modalità nel corso di tale elaborato saranno utilizzate le seguenti notazioni, espresse ora per comodità e semplicità di lettura utilizzando solo il Cost Performance Index, ma che valgono ovviamente anche per lo Schedule Performance Index con i medesimi ragionamenti:

- CPI, basato su quello che è l'istante più recente;
- $CPI_c$ , indicatore cumulativo fino all'istante più recente;
- $CPI_x$ , indicatore medio calcolato su quelli che sono gli x mesi più recenti; può essere calcolato con due differenti formule:

$$CPI_x = \sum \frac{BCWP_x}{ACWP_x} \text{ oppure } CPI_x = \frac{\sum CPI}{x}$$

$CPI_3$ , ad esempio, rappresenta la media degli ultimi tre mesi, ossia di quello corrente e dei due antecedenti.

Un'altra variabile utilizzata per effettuare le stime a finire è quella inerente all'Earned Schedule o ES. Tale variabile permette di calcolare SV e SPI sostituendosi a BCWP, con entrambi gli indicatori di performance che mantengono lo stesso significato e la stessa modalità di lettura del metodo precedentemente descritto. L'Earned Schedule può essere calcolato con la seguente formula:

$$ES = c + \frac{BCWP - BCWS(c)}{BCWS(c + 1) - BCWS(c)}$$

Dove  $c$  è il numero di periodi in cui BCWP, ossia l'Earned Value, è maggiore di BCWS, ossia il Budget Value.  $BCWS(c)$  e  $BCWS(c+1)$  sono quindi rispettivamente il valore pianificato rispettivamente all'istante  $c$  e all'istante  $c+1$ . Il calcolo dell'Earned Schedule, a differenza del metodo precedente, richiede quindi uno storico dei progressi del progetto e non solo i dati a finire e all'istante  $t$ . Una volta ottenuti SV e SPI tramite ES il procedimento da seguire è invece il medesimo descritto in precedenza.

Attraverso l'utilizzo delle variabili e degli indicatori di performance fino ad ora presentati è possibile effettuare delle stime di quelli che sono i costi e i tempi a finire dell'intero progetto. Gli approcci presentati, sia per quanto riguarda i costi che i tempi, sono due e si differenziano per la filosofia alla loro base. Dato un istante  $t$ , infatti, l'approccio original considera i task ancora da completare del progetto seguendo quanto inizialmente previsto, mentre l'approccio revise riflette sul futuro tenendo in considerazione quanto avvenuto fino a quel momento.

La stima dei costi a finire, conosciuta come EaC o Estimate at Completion, è rappresentata dalla somma dei costi totali all'istante  $t$  e la stima dei costi che verranno sostenuti da tale istante fino al completamento del progetto. L'EaC può essere così calcolato:

- Original approach:

$$EaC = ACWP + (BAC - BCWP) = BAC - CV$$

- Revise approach:

$$EaC = ACWP + \frac{BAC - BCWP}{CPI} = \frac{BAC}{CPI}$$

La stima dei tempi a finire, conosciuta anche come AC o Actual Completion Date, è invece rappresentata dalla somma del tempo all'istante  $t$  e la stima del tempo rimanente da tale istante fino al completamento del progetto. L'AC può così essere calcolata, considerando

PD, ossia Planned Date, come tempo di completamento previsto a budget e T l'istante attuale:

- Original approach:

$$AC = T + (BAC - BCWP) * \frac{PD - T}{BAC - BCWS}$$

- Revise approach:

$$AC = T + (BAC - BCWP) * \frac{PD - T}{(BAC - BCWS) * SPI} = \frac{PD}{SPI}$$

Cost e Schedule Performance Index, oltre che per stimare tempi e costi a finire dei progetti, si rivelano inoltre fondamentali per consultarne lo stato. Prendendo un diagramma cartesiano e mettendo come misure degli assi CPI e SPI è infatti possibile inserire al suo interno i vari stati del progetto nel corso del tempo, individuando e analizzando quindi possibili trend. Tramite il posizionamento dei punti, inoltre, è possibile anche dedurre in modo intuitivo lo stato globale del progetto, che sarà quindi rispettoso di tempi e costi se entrambi gli indicatori sono maggiori di 1, solo dei costi se ad essere maggiore di uno è solo il Cost Performance Index e così via.

A partire da CPI e SPI è inoltre possibile individuare un ulteriore indicatore di performance, il Critical Ratio, che è così definito:

$$Critical Ratio = CPI * SPI$$

Il Critical Ratio sa rivelarsi un indicatore di performance fondamentale in quanto riesce a suggerire eventuali azioni da prendere in base al suo valore. Un valore pari o minore a 0,5, ad esempio, denota gravi problemi nel progresso del progetto e impone di consultare il più celermente possibile il top management, mentre un valore intorno al 0,9 fa trasparire qualche difficoltà e consiglia quindi di tenere sott'occhio l'evolversi del progetto. In figura 4 è comunque possibile osservare i vari limiti di controllo con le relative azioni proposte in base al valore del Critical Ratio.



Figura 4: Critical Ratio e limiti di controllo

In seguito al monitoraggio potrebbero quindi in definitiva emergere delle situazioni in cui è necessario intervenire durante il controllo per riportare il progetto sui giusti binari, correggendolo quindi in corso d'opera.

Attraverso l'utilizzo delle variabili e degli indicatori visti finora, nel caso in cui un progetto fosse in ritardo e fosse necessario rientrare nel tempo inizialmente pianificato, è possibile effettuare delle stime in cui il progetto rispetta il PD. In tal caso l'EaC assume valori maggiori a causa del crashing necessario per riportare nelle giuste tempistiche il progetto. L'Estimate at Completion può in questo caso essere calcolato con la seguente formula:

$$EaC = \frac{BAC}{CPI * SPI}$$

Come facilmente prevedibile tale metodologia aumenta mediamente di molto i costi del progetto ed è quindi consigliata solo nei casi in cui sia cruciale, a causa di penali o altri motivi, rispettare la schedulazione originale del progetto.

Vi è poi in letteratura un ulteriore metodo, conosciuto come Composite Index, in cui l'apporto di CPI e SPI è pesato. Di seguito la formula per il calcolo dell'Estimate at Completion con tale metodologia:

$$EaC = ACWP + \frac{BAC - BCWP}{w_1 * CPI + w_2 * SPI} = \frac{BAC}{w_1 * CPI + w_2 * SPI}$$

Tale formula è solitamente usata con come pesi 0,8 per CPI e 0,2 per SPI e al valore totale del denominatore concorrono quindi per l'80% il Cost Performance Index e per il 20% lo Schedule Performance Index.

Il controllo e la conseguente necessità di prendere decisioni sul progetto non si basa però solamente sul mero calcolo dell'EaC e la bontà di eventuali azioni correttive dipende infatti da numerosi altri aspetti. Innanzitutto, più tali azioni vengono prese temporalmente prima, più esse hanno effetto e meno vengono a costare. Intervenire sulla schedulazione e, più in generale sull'intero progetto, nelle fasi iniziali aumenta infatti i benefici e la possibilità di riuscita della correzione, riducendone al contempo i costi e la necessità di dover incorrere in azioni maggiormente drastiche.

Un altro aspetto fondamentale, oltre a quello temporale, per rendere più efficaci eventuali azioni correttive è quello di avere una pianificazione flessibile. Una pianificazione flessibile è una pianificazione dotata ad esempio di buffer nei cammini critici e sub-critici, ossia quegli insiemi di task tra di loro collegati il cui ritardo porterebbe a scostamenti temporali dell'intero progetto, e nella presenza di un budget apposito per prendere eventuali azioni correttive.

Ma quali sono le azioni che potrebbero essere prese per riportare sotto controllo un progetto? Per accelerare lo stato di un progetto è possibile riallocare le risorse, spostandole dai task meno critici a quelli più critici, ed effettuare del crashing, ossia ridurre quello che è il tempo inizialmente schedulato per un'attività o insieme di attività. Un project crashing può essere ottenuto in diversi modi, come aggiungendo risorse ai task interessati, cambiando metodologia e tecniche o, ancora, condizioni operative, aumentando quindi ad esempio i turni di lavoro dei dipendenti, introducendo straordinari o altro ancora.

Tali metodologie di azioni correttive mirano quindi principalmente a ridurre quelli che sono i tempi di un progetto aumentandone nella maggior parte dei casi anche il costo. Tale trade-off non è però limitato solo a tempo e costi, ma include anche la qualità. Intervenire o concentrarsi su uno dei tre aspetti, infatti, produce effetti sugli altri due e non è purtroppo sempre possibile raggiungere gli obiettivi prefissati sia in termini di tempi che di costi che di qualità.

Ridurre i tempi o, comunque, concentrarsi su tale aspetto infatti:

- comporta un aumento dei costi a causa di turni di lavoro più lunghi, straordinari, necessità di nuovo equipaggiamento e di dipendenti più qualificati. Al contempo una riduzione dei tempi potrebbe portare anche dei benefici in termine di costo al progetto, a causa di minori costi fissi e costi opportunità;

- causa una riduzione della qualità, dovuta come risultato di nuove assunzioni e turni di lavoro più lunghi.

Cercare di contenere i costi, invece:

- dilata la durata complessiva del progetto, riducendone la velocità di progressione a causa di minori risorse disponibili, sia umane che non, e all'uso di lavoratori e strumentazione di qualità minore;
- riduce la qualità finale del progetto a causa di una qualità minore delle risorse umane e non utilizzate per il progetto.

Avere come focus la qualità, infine:

- può portare ad una data di completamento lavori più lontana, in quanto i lavori di qualità elevata richiedono più tempo per essere portati a termine e potrebbero richiedere rilavorazioni per raggiungere gli standard prefissati;
- comporta un aumento dei costi a causa della più frequente necessità di rilavorazioni, per assoldare forza lavoro più qualificata e per delle risorse di qualità maggiore.

Come facilmente osservabile il monitoraggio e il controllo di un progetto non sono quindi delle attività né ripetitive né tantomeno semplici. Le variabili da tenere in esame sono infatti molteplici ed è spesso impossibile tenerle tutte in considerazione nel modo più adeguato. A rendere il tutto ancor più complesso sono poi i trade-off di cui sopra, che rendono ancor più difficoltose le scelte decisionali del project manager. Le stime a finire di tempi e costi sono poi per l'appunto stime e in quanto tali non rappresentano tassativamente quella che è o sarà la realtà dei fatti.

Avere un metodo in grado di predire con una buona accuratezza tempi e costi a finire di un progetto in medias res è quindi assolutamente fondamentale, in quanto permetterebbe di prendere decisioni migliori, più efficaci e più tempestive.

## ESTIMATE AT COMPLETION: LETTERATURA

Tale capitolo ha come scopo quello di illustrare nella maniera più esaustiva possibile, pur non potendo andare a coprire ogni singolo studio fatto sull'argomento, le varie ricerche e analisi svolte nel corso del tempo inerenti al calcolo dell'EaC.

Prima di cominciare a scendere nel dettaglio, è però necessario chiarire come tutte le formule presenti in questo elaborato, così come la procedura descritta nel capitolo precedente per la stima di tempi e costi a finire, si basino fortemente sui dati e sulle informazioni raccolte per il progetto in questione. L'affidabilità delle attività di controllo, pianificazione, programmazione, budget e raccolta dati deve quindi essere alta se si vuole ottenere delle stime di tempi e costi a finire anch'esse affidabili.

Il concetto principale alla base del calcolo della stima dei costi e dei tempi a finire di un progetto si sviluppa sui dati e le performance del progetto in un dato istante, sommando a quanto fatto finora una stima del lavoro ancora da fare. Per effettuare tale stima sono molte le strade che si possono percorrere, ma esse possono essere riassunte in due macrocategorie:

- Metodo analitici, attraverso i quali si rivaluta completamente da zero l'effort necessario di ogni task rimanente, partendo dal livello più basso. Si tratta di un metodo complesso, lungo, e, volendo, anche propenso a errori. Per essere eseguito nel modo più corretto possibile, esso deve inoltre essere svolto dal responsabile del progetto, in quanto l'unico a sapere con esattezza il modo di lavorare proprio e del proprio team, i compiti ancora da svolgere e tutti i vari dettagli della propria organizzazione;
- Metodo matematico, il più utilizzato anche a causa del grande quantitativo di risorse e tempo necessarie per eseguire il metodo analitico. Attraverso l'utilizzo di equazioni, regressioni e altro si calcola quindi quello che è l'Estimate at Completion del progetto.

L'elaborato in questione, volendo proporre un'analisi della letteratura delle varie formule per il calcolo dell'EaC e proporre in seguito una nuova metodologia per integrare in essa la gestione dei rischi, si concentrerà quindi solamente sui vari studi inerenti al metodo matematico, ossia a quello più versatile e utilizzato al giorno d'oggi.

Volendo ora discernere ulteriormente tale macrocategoria, il metodo matematico può a sua volta essere diviso in altre sottocategorie. (McKinney J.W., 1991 - Christensen et al., 1995)

Riprendendo la classificazione già presente in letteratura, le suddivisioni ulteriori del metodo matematico in base alle varie caratteristiche delle formule sono principalmente tre:

- Indici, ossia metodologie e formule basate su quelli che sono i cosiddetti Past Performance Factor. Metodologia vista in parte in precedenza nel capitolo “Estimate at Completion ed Earned Value Analysis”;
- Analisi di regressione, ossia stima dell’EaC attraverso delle equazioni di regressione, sia lineari che non;
- Altre tipologie, categoria che racchiude tutte le varie tecniche non incluse nelle due precedenti. Possiamo in essa ad esempio trovare modelli che fanno uso di machine learning e intelligenza artificiale o basate sull’euristica.

Così come per la suddivisione in categorie, anche la successiva raccolta di ricerche e studi sull’argomento parte dai lavori svolti da David S. Christensen, Richard C. Antolini e John W. McKinney. I loro elaborati hanno però due limiti principali: il primo è temporale, essendo il più recente dei loro trattati datato marzo 1995, ossia oltre venticinque anni fa, e il secondo trova invece fondamento nel fatto che il loro campo di ricerca si è concentrato soprattutto sulla tematica inerente al Governo degli Stati Uniti d’America e al relativo Dipartimento della Difesa.

## INDICI

Soffermandoci su quello che è il primo metodo, buona parte delle formule per il calcolo dell’Estimate at Completion si basano sulle variabili conosciute come Past Performance Factor viste in precedenza, ossia il costo a budget del lavoro schedato (BCWS), il costo a budget del lavoro effettuato (BCWP) e il costo effettivo del lavoro effettuato (ACWP). Da essi è poi possibile ottenere, sempre come illustrato nel capitolo “Estimate at Completion E Earned Value Analysis”, altri indicatori fondamentali come il Cost Performance Index (CPI) e lo Schedule Performance Index (SPI).

Per ottenere i loro valori nel modo più corretto e veritiero possibile è essenziale possedere delle informazioni affidabili sul progetto, sia per quanto riguarda quelle elaborate in fase di pianificazione che per quelle estratte durante il controllo dell’effettivo progresso del progetto. Solitamente tali dati sono raccolti su base mensile, e tramite essi possono essere computati sia dati cumulativi che informazioni sulla media delle performance ottenute.

La formula generica alla base della quasi totalità degli studi appartenenti alla categoria Indici è la seguente, ossia:

$$EaC = ACWP + \frac{BAC - BCWP}{Index} = \frac{BAC}{Index}$$

Come facilmente osservabile si utilizza quindi lo stesso modus operandi visto in precedenza, differendo solamente per quello che è il denominatore della frazione e che è conosciuto come Indice o Index, da cui il nome della categoria. In Tabella 1 è possibile osservare i quattro gruppi principali in cui si suddivide tale indice.

Index	Formula
<b>Cost Performance Index (CPI)</b>	BCWP / ACWP
<b>Schedule Performance Index (SPI)</b>	BCWP / BCWS
<b>Critical Ratio o Schedule Cost Index (SCI)</b>	CPI * SPI
<b>Composite Index</b>	$w_1 * CPI + w_2 * SPI$

Tabella 1: Index per calcolo EaC

Di seguito i principali studi appartenenti a tale categoria svolti nel corso degli anni e che riguardano sia la proposta di nuove formule che studi comparativi tra diverse modalità preesistenti per calcolare l'EaC.

Holeman J.B., 1975

Sebbene non possa essere propriamente classificato come un sistema di calcolo dell'EaC basato sugli indici, uno dei primi studi inerenti al calcolo dell'Estimate at Completion è quello di J.B. Holeman, che propone tre differenti metodi, il primo dei quali è quello che prevede come indice CPI. Il secondo si sviluppa invece attraverso giudizi soggettivi dei project manager e pone una particolare attenzione anche all'inflazione, ai cambiamenti della schedulazione e dell'overhead e a problemi tecnici inaspettati. Di seguito la formula di questo secondo modello, in cui i problemi tecnici sono assunti come inclusi nel CPI e le quattro rimanenti variabili, come i costi contrattuali, derivano da stime soggettive degli esperti:

$$EaC = \frac{BAC}{CPI + \Delta Inflazione + \Delta Overhead} + \Delta CostiCont. + \Delta Programmazione$$

Il terzo metodo prevede invece una serie di step per computare quelli che sono i range possibili dei Performance Factor da cui calcolare poi l'Estimate at Completion del progetto. Per fare ciò si stabiliscono tre diversi valori, provenienti dalla distribuzione delle performance del progetto o in base alla probabilità, e da essi, tramite la simulazione Monte Carlo, si ottengono varie stime, poi suddivise in diversi intervalli con la relativa frequenza. In seguito a ciò i dati ottenuti vengono posti su un grafico e da essi si ottiene l'EaC medio tra quelli proposti. Il modello di Holeman non è purtroppo stato validato con dati provenienti da progetti reali, ma è comunque particolarmente interessante perché uno dei primi a introdurre nel calcolo dell'Estimate at Completion variabili differenti dai classici past performance factors.

Lollar J.L., 1980

James Lollar ha invece proposto un modello basato sul Composite Index, facendo variare i pesi di CPI e SPI in base a quelli che sono i valori di Cost e Schedule Variance. Data la classica formula del Composite Index, il coefficiente del Cost Performance Index è quindi così calcolato nel modello di J. Lollar:

$$w_1 = \frac{CV}{CV + SV}$$

Mentre il coefficiente dello Schedule Performance Index è:

$$w_2 = \frac{SV}{CV + SV}$$

Metodo, quello di Lollar, che è però stato presentato nel lavoro dello studioso senza particolari spiegazioni o giustificazioni, con la logica dietro esso che è quindi per la maggior parte ignota. Negli studi in cui è stato testato, come in quello di Blythe che verrà analizzato a breve, tale formula si è inoltre rivelata meno accurata delle altre. Un suo utilizzo non è quindi consigliato, in quanto le performance offerte sono peggiori di quelle di altri modelli e non presenta vantaggi evidenti, come ad esempio nella velocità di calcolo, rispetto a essi.

Parker C.W., 1980

Il metodo proposto da Parker consiste nel prendere il composite index e variare i coefficienti di CPI e SPI modificandoli di volta in volta di 0.1, con il project manager che è in seguito chiamato a scegliere la combinazione migliore tra quelle prese in esame in base a quelle che sono le caratteristiche del progetto. Una ricerca che mette quindi in luce come, neanche nel

caso delle variabili del composite index, esista una combinazione unica per qualsiasi tipologia di progetto.

Land T.J., Preston, E.L., 1980

Land e Preston hanno confrontato nei loro studi l'equazione di regressione non lineare di Karsch, che verrà analizzata più a fondo nel prossimo paragrafo, e diverse formule lineari per il calcolo dell'EaC provenienti dall'Automated Financial Analysis Program, un programma informatico utilizzato al tempo che consentiva agli analisti di scegliere tra differenti EaC proposti.

Le formule presenti in tale programma si sviluppavano attraverso la seguente equazione di base:

$$EaC = ACWP + ETC$$

dove a variare è ETC, variabile che può essere calcolata nei seguenti modi:

- $ETC = (1 - CVIc) * BCWR$
- $ETC = (1 - CVI3) * BCWR$
- $ETC = (1 - CVI) * BCWR$
- $ETC = \left[ 1 - \left( BCWP_3 - \frac{ACWP_3}{BCWP_3} \right) \right] * BCWR$
- $ETC = (1 - CVW * CVI + SVW * SVI) * BCWR$  con CVW e SVW pesi

In tali formule compaiono due nuove variabili, ossia CVI e SVI, rispettivamente calcolabili come il rapporto tra la Cost Variance e BCWP e tra lo Schedule Variance e BCWP.

Attraverso l'utilizzo di 20 diversi progetti e di 5 ulteriori per calcolare un parametro necessario per il modello di Karsch, Land e Preston hanno affermato nei loro studi come i modelli non lineari non fossero per forza più accurati di quelli lineari, a nessun punto particolare del progresso di un progetto. Uno studio che ha quindi consolidato la bontà e la legittimità dell'approssimazione lineare dei progressi di un progetto al fine di stimarne tempi e costi a finire.

Bright H.R., Howard T.W., 1981

Un altro studio comparativo è stato effettuato su 11 differenti progetti da Bright e Howard, che hanno confrontato le formule utilizzate per il calcolo dell'EaC dall'Automated Contractor Performance Measurement System (ACPMS) e due regressioni, una lineare e una

non lineare. Tra le formule utilizzate dall'ACPMS possiamo trovare modelli con come indice CPI, CPI<sub>3</sub>, CPI<sub>6</sub>, CPI<sub>12</sub>, CPI\*SPI e diverse varianti del composite index.

Gli studi di Bright e Howard sono stati effettuati confrontando le stime su diverse percentuali di completamento dei progetti e normalizzando per diversi fattori, come ad esempio il non completamento del contratto o ulteriori obiettivi. In base a tali ricerche Bright e Howard hanno concluso che tra quelle da loro esaminate non esiste una formula migliore delle altre in assoluto e le performance di ognuna di esse dipende fortemente dalla percentuale di completamento del progetto. L'importanza dell'SPI diminuisce ad esempio con il progredire del progetto, in quanto le formule con un composite index che davano maggior rilevanza all'SPI si sono rivelate più accurate nelle fasi iniziali rispetto a quelle finali. Il Critical Ratio come indice si è invece dimostrata un'ottima scelta, in grado di ottenere stime accurate, nella frazione temporale che va dal 31% al 80% del progresso di un progetto, rivelandosi però meno accurata successivamente. Quando si presenta un aumento repentino della Cost Variance nelle fasi intermedie, inoltre, è consigliato usare indici mediati su periodi brevi piuttosto che lunghi. Bright e Howard hanno infine concluso nella loro trattazione come i modelli per il calcolo dell'EaC basati sulla regressione fossero mediamente più accurati di quelli fondati sugli indici.

Anche in questo studio emerge quindi nuovamente la non esistenza di una formula universale, con il modello di calcolo dell'EaC che deve non solo essere scelto in base alla tipologia del progetto in questione, ma anche in base alla sua percentuale di progresso.

Covach et al., 1981

Anche gli studi di Covach, Haydon e Reither si sono concentrati sul valutare diverse formule per il calcolo dell'EaC, confrontandone le performance su 21 differenti progetti. Oggetto delle analisi sono state 12 formule basate sugli indici e 12 sulla regressione, con ognuna di queste due categorie che è stata valutata in modo separato.

Dall'analisi in questione non è emersa la superiorità assoluta di nessuna formula tra quelle prese in considerazione. Nella ricerca di Covach, Haydon e Reither è inoltre presente un'interessante parte dedicata a delle interviste a diversi responsabili di progetto, che ha fatto emergere i diversi punti:

- I trend, positivi o negativi, di performance di un progetto difficilmente si invertono nel corso del tempo;

- I manager vogliono usare strumenti di stima di tempi e costi a finire semplici e veloci da applicare;
- Le problematiche possono cominciare ad apparire fin dalle fasi di schedulazione.

Si conferma anche in questo studio, quindi, il fatto che non sembra esistere una formula assoluta e universale, in grado di performare al meglio nella stima di tempi e costi a finire in ogni tipologia di progetto.

Haydon J.J., Reither R.O., 1982

Haydon e Riether nell'anno seguente hanno espanso il loro lavoro con Covach, cercando di proporre una stima puntuale dai vari EaC presi in considerazione nel 1981. Come primo passo di tale procedimento sono state calcolate le varie stime tramite le formule basate sugli indici presenti nello studio precedente e, in seguito, l'intervallo dei risultati ottenuti è stato ampliato del 2,5%, con la mediana che è diventata l'Estimate at Completion prescelto del singolo metodo.

Tale metodologia è stata applicata su 21 diversi progetti, 15 dei quali completi e 6 nelle fasi conclusive, ed è emerso come nel caso in cui l'EaC del contractor fosse minore di quello trovato con il metodo di Haydon e Riether, quest'ultimo fosse più accurato e quindi migliore nel 79% dei casi.

Blythe A.L., 1982-1984

Gli studi di Blythe nel 1982, che ha confrontato su 26 differenti progetti – 7 di Ricerca e Sviluppo, 19 di produzione - diversi metodi per calcolare l'EaC tra cui quello di Parker e di Lollar, hanno successivamente stabilito come un coefficiente di 0.2 per lo Schedule Performance Index e di 0.8 per il Cost Performance Index restituisse la stima più affidabile rispetto alle altre combinazioni possibili di Composite Index.

Tali studi hanno inoltre sottolineato come, nonostante fossero spesso e volentieri troppo ottimistici, gli EaC ottenuti dalla revisione analitica, e non matematica come i vari modelli presenti in questo capitolo, del Contractor si rivelassero i più affidabili. Il modello di Lollar, come precedentemente citato, si è invece rivelato il meno preciso tra quelli presi in esami per questo studio.

Partendo proprio da tali risultati, Blythe ha nel 1984 proposto una formula basata sull'EaC calcolato dal contractor, corretta per un fattore ottenuto tramite regressione. Di seguito la formula, con AEaC Adjusted Estimate at Completion:

$$AEaC = \frac{EaC}{0.9108 + 0.0892 * \frac{BCWP}{BAC}}$$

Sempre con il medesimo metodo Blythe ha poi studiato una formula in grado di calcolare la deviazione standard SE dell'EaC del contractor, ossia:

$$SE = EaC * (0.1289 - 0.0925 * \frac{BCWP}{BAC})$$

Da cui ha ottenuto infine l'intervallo di confidenza dell'EaC:

$$AEaC \pm SE$$

Un modello rivelatosi accurato ed efficace, che ha però come limite quello di utilizzare un fattore correttivo ottenuto basandosi solamente sui 26 progetti studiati nell'elaborato. Manca quindi la validazione su un numero maggiore di progetti, anche di altre tipologie o provenienti da altri settori rispetto a quelli considerati da Blythe.

Price J.B., 1985

Gli studi di Price nel 1985 si sono sviluppati sul confronto tra 5 differenti metodi per calcolare l'Estimate at Completion su 57 differenti progetti. Tra le formule prese in considerazione possiamo trovarne tre con come indice rispettivamente CPI, CPI<sub>c</sub> e CPI<sub>3</sub> e due con dei particolari indici composti. Il primo di essi si sviluppa come composizione percentuale di Cost e Schedule Variance, mentre il secondo come composizione per il 12% di CPI, per il 24% di CPI<sub>3</sub> e per il 64% di CPI<sub>c</sub>.

A risultare come più affidabili in seguito a tale test sono stata la prima formula con il Composite Index, seguita da CPI<sub>c</sub> e CPI<sub>3</sub>. Come affermato anche da John W. McKinney, tale studio si è però basato solamente su progetti in corso d'opera e non è stato validato su nessun progetto effettivamente portato a conclusione. La bontà di tali conclusioni non è quindi assodata.

Cryer J.M., Balthazor L.R., 1986

Cryer e Balthazor hanno ripreso gli studi di Blythe, suddividendo però i progetti in Ricerca e Sviluppo e Produzione, invece di analizzarli tutti insieme. Gli studi effettuati hanno sempre portato ad una maggiore affidabilità di quello che è l'EaC del contractor, ma a risultati diversi per quanto riguarda i fattori correttivi dell'EaC. Un'ulteriore dimostrazione dei dubbi emersi per il modello di Blythe, il cui fattore correttivo non può di conseguenza essere considerato come universalmente valido.

Ad essere differenti sono inoltre risultati anche i pesi per l'indice composito, che secondo Cryer e Balthazor sono ottimali in 0.1 per lo SPI e 0.9 per il CPI, con 0.2 e 0.8 che restano invece la scelta più affidabile solo nei progetti di R&D. Anche in questo caso un'ulteriore dimostrazione di come il composite index non disponga di due pesi univoci in grado di renderlo più efficace in modo univoco per ogni progetto.

Wallender T.J., 1986

Wallender nello stesso anno ha invece con il suo paper di ricerca confermato quanto già messo in luce nello studio di Blythe nel 1982, ossia la superiorità della suddivisione dei pesi del Composite Index in 0.2 per lo Schedule Performance Index e dello 0.8 per il Cost Performance Index in uno studio basato su 44 differenti progetti. Un fatto che è però stato smentito dall'evidenza e da numerosi altri studi, come quello di Cryer e Balthazor visto in precedenza. La suddivisione 0,2-0,8 può in ogni caso essere sicuramente considerata come valida e accurata per numerosi progetti, ma di sicuro non essere ritenuta come universalmente migliore rispetto alle altre.

Totaro J.A., 1987

Il modello di Totaro si sviluppa attorno al Composite Index, ma propone a differenza di Lollar e Parker di stabilire quelli che sono i pesi di CPI e SPI non come un qualcosa di definitivo e stabilito in partenza, bensì come delle variabili che cambiano in base a quelli che sono i progressi del progetto in corso d'opera.

Lo scopo di tale metodologia è quello di ridurre l'importanza dello Schedule Performance Index e di aumentare quella del Cost Performance Index con il progredire del progetto. I valori iniziali di entrambi i pesi, secondo il modello di Totaro, sono alla fine determinati, così come successo anche nello studio di Parker, da degli analisti in base a quelle che sono le caratteristiche del progetto, come ad esempio le risorse richieste e la conoscenza del team di lavoro.

Reidel M.A., Chance J.L., 1989

Reidel e Chance nel 1989 hanno proseguito gli studi fatti da Price nel 1985, confrontando in 56 differenti progetti, 16 di ricerca e sviluppo e 40 di produzione, sei differenti formule. Tra di esse possiamo trovare come indici CPI,  $CPI_c$  e  $CPI_3$ , una con come indice il prodotto tra CPI e SPI, o Critical Ratio, una con indice composito con i pesi distribuiti come dagli studi di Wallander e infine una seconda formula con indice composito con coefficienti variabili. Di seguito tale sesta formula, con  $\alpha$  percentuale di completamento del progetto:

$$EaC = \frac{BAC}{\alpha CPI + (1 - \alpha)SPI}$$

Tutte le formule sono state testate sui 56 progetti in quattro differenti fasi di completamento, ossia 25%, 50%, 75% e 100%, ed è stata definita la più accurata quella con la minor deviazione standard media. Lo studio ha sottolineato come in base al tipo di progetto, al settore e ad altre variabili possano rivelarsi differenti i metodi più affidabili per calcolare l'Estimate at Completion. Per i progetti di R&D si sono ad esempio mostrate come più affidabili le formule con indice il Critical Ratio o  $CPI_3$ , mentre per la produzione il Composite Index con i pesi basati sul modello di Wallander, ossia dello 0.2 per lo Schedule Performance Index e dello 0.8 e  $CPI_C$ .

#### Altri studi

Oltre a quelli elencati, vi sono poi numerosi studi non inclusi in questa trattazione. Tra di essi possiamo trovare ad esempio il modello di Jakowski del 1977, in cui i pesi per il calcolo del Composite Index vengono calcolati in base alla deviazione standard dei due indicatori e in cui viene poi usato solamente il CPI come Index nelle prime e nelle ultime fasi del processo. Purtroppo, del modello di Jakowski si è persa la documentazione originale e se ne trova traccia solo in altri lavori, come in quello di Covach.

#### ANALISI DI REGRESSIONE

Dopo aver visto quelli che sono i principali e più significativi studi per il calcolo dell'Estimate at Completion basati sugli indici e sui cosiddetti Past Performance Factor, questa sezione si concentra invece sulle ricerche svolte nel corso del tempo sviluppate sull'analisi di regressione. Così come nel capitolo precedente e in quello successivo, anche in questo sono presentati e analizzati numerosi studi sulla materia, in un elenco che non vuole né può essere però omnicomprensivo, bensì solo essere rappresentativo di quelle che sono le principali ricerche.

L'analisi di regressione consiste nel quantificare le relazioni causali tra delle variabili. In un'analisi di regressione sono quindi presenti una variabile dipendente, solitamente indicata come Y e che in questo caso è solitamente l'EaC, e una o più variabili indipendenti, di solito X, che contribuiscono con differenti pesi a determinare quella che è la variabile dipendente.

Nelle equazioni di regressione è inoltre presente l'errore o residuo della regressione  $\epsilon$ , che è costituito dai fattori omessi, ossia da quelle variabili che influenzano Y e che non sono state inserite all'interno del modello. Considerando come l'analisi di regressione venga effettuata

su campi spesso complessi e colmi di variabili, come appunto la stima dei costi e dei tempi a finire o l'econometria, includere tutte le possibili variabili è molto difficile e dispendioso, se non addirittura impossibile e, pertanto, tali fattori omessi sono spesso e volentieri presenti.  $\varepsilon$ , inoltre, contiene al suo interno anche l'errore della misura di  $Y$ . In alcuni casi tale valore può essere assunto pari a 0, ossia nullo.

La relazione tra la variabile dipendente e quelle indipendenti può in ogni caso assumere differenti forme e può quindi essere:

- Lineare con singolo regressore: regressione con una singola variabile indipendente che prende forma lineare e in cui la pendenza della retta di regressione è l'effetto atteso sulla variabile dipendente di una variazione unitaria della variabile indipendente. La formula classica della regressione lineare con singolo regressore è la seguente:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \varepsilon$$

dove  $\beta_0$  è l'intercetta della retta e  $\beta_1$  il coefficiente angolare della regressione;

- Lineare con più regressori: regressione sempre lineare, ma in cui le variabili sono molteplici per ridurre quello che è il termine d'errore e ottenere una stima più accurata di quella che è la variabile dipendente. Di seguito una formula esemplificativa con due variabili indipendenti:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \varepsilon$$

in cui  $\beta_1$  è l'effetto su  $Y$  di una variazione unitaria di  $X_1$  tenendo  $X_2$  costante e  $\beta_2$  l'effetto su  $Y$  di una variazione unitaria di  $X_2$  tenendo  $X_1$  costante;

- Non lineare polinomiale: funzioni di regressione non lineare che viene approssimata ad una quadratica, una cubica o a un'altra funzione polinomiale dal grado più alto. In questo caso i regressori sono quindi potenze della medesima variabile indipendente. Una funzione di regressione non lineare polinomiale è per esempio la seguente:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \beta_2 X^2 + \varepsilon$$

- Non lineare con trasformazione logaritmica: anche in questo caso la funzione di regressione non è lineare, ma sia la variabile dipendente che quelle indipendenti possono venire trasformate in logaritmi. Tale trasformazione è molto utile in quanto permette di modellare la relazione tra le variabili in termini percentuali e non più lineari. Ne esistono tre tipologie, ossia:

1. Lineare-Logaritmica: in cui solo le variabili indipendenti sono state trasformate in logaritmi, ossia ad esempio:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 \ln(X) + \varepsilon$$

in tale forma, conosciuta anche come lin-log un aumento dell'1% di X porta a una variazione di Y pari a  $0,01\beta_1$ ;

2. Logaritmica - Lineare: in cui è invece solo la variabile dipendente ad essere trasformata in forma logaritmica. Di seguito un esempio:

$$\ln(Y) = \beta_0 + \beta_1 X + \varepsilon$$

in questo caso, ossia nell'altresì conosciuta forma log-lin, una variazione unitaria di X produce un cambiamento del  $100\%\beta_1$ ;

3. Logaritmica – Logaritmica: in cui infine sono sia la variabile dipendente che quelle indipendenti ad essere in forma logaritmica:

$$\ln(Y) = \beta_0 + \beta_1 \ln(X) + \varepsilon$$

in questo terzo e ultimo caso di equazioni non lineari con trasformazione logaritmica, ossia log-log, una variazione dell'1% in X produce una variazione del  $\beta_1\%$  nella variabile dipendente Y.  $\beta_1$  ha quindi in questo caso l'interpretazione di coefficiente di elasticità.

Per costruire un modello di calcolo dell'Estimate at Completion secondo analisi di regressione sono quindi necessari una serie di passaggi, che possono essere descritti come di seguito:

1. Selezione delle variabili indipendenti di interesse che verranno incluse all'interno del modello;
2. Scelta della forma della funzione dell'analisi di regressione, ossia ad esempio lineare con uno o più regressori;
3. Effettuare assunzioni sul termine di errore o residuo  $\varepsilon$ , ossia sulla variabile casuale di cui bisogna ipotizzare il valore atteso e, solitamente, anche la distribuzione di probabilità;
4. Effettuare assunzioni sulle variabili indipendenti individuate al punto 1 e sulla loro relazione con il termine di errore  $\varepsilon$ .

In tabella 2 è presente un breve schema riassuntivo delle varie forme di equazioni di regressione riscontrabili in questa trattazione.

Forma	Formula
Lineare con singolo regressore	$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \varepsilon$
Lineare con più regressori	$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \varepsilon$
Non lineare polinomiale	$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \beta_2 X^2 + \varepsilon$
Non lineare con trasformazione logaritmica lin-log	$Y = \beta_0 + \beta_1 \ln(X) + \varepsilon$
Non lineare con trasformazione logaritmica log-lin	$\ln(Y) = \beta_0 + \beta_1 X + \varepsilon$
Non lineare con trasformazione logaritmica log-log	$\ln(Y) = \beta_0 + \beta_1 \ln(X) + \varepsilon$

Tabella 2: tipologie di equazioni di regressione

A differenza dei modelli basati sugli indici, che per la maggior parte dei casi possono essere calcolati anche a mano o comunque senza l'ausilio di un calcolatore, le equazioni di regressione necessitano invece del supporto di un computer per trovare i valori ricercati e calcolare i dati statistici richiesti per analizzare l'equazione (deviazione standard,  $R^2$ , F-Test, T-Test). Nell'analisi di regressione è inoltre necessario disporre di un dataset abbastanza grande su cui testare il modello. Di seguito quelli che sono i principali modelli di regressione proposti dalla letteratura nel corso degli anni per il calcolo dell'Estimate at Completion.

Karsch O.A., 1974

Karsch nel suo studio del 1974, notando come la crescita nel lungo periodo di ACWP e BCWP non fosse lineare, ha proposto il seguente modello di regressione:

$$Y = b_1 * X^{b_2}$$

che ha confrontato con una formula con come indice  $CPI_c$  in due differenti varianti, ossia:

1. Con vincolo, in cui  $b_2$  è preso come una costante fissata per l'intera durata del progetto;
2. Senza vincolo, in cui  $b_2$  è invece una variabile che viene nuovamente calcolata ogni mese, ossia ad ogni nuova raccolta dati.

In seguito a tali studi è emerso come il modello con regressione con vincolo fosse il più accurato tra quelli confrontati nella maggior parte del ciclo di vita del progetto.

Karsch O.A., 1976

Due anni dopo, nel 1976, Karsch ha approfondito su 13 differenti progetti provenienti dal settore aereo e missilistico il modello proposto nel 1974, cercando di determinare un range

di valori per  $b_2$  del modello di regressione con vincolo. Tali analisi hanno confermato quando precedentemente già emerso nella ricerca del 1984, ossia la superiorità della regressione con vincolo tra i modelli confrontati da Karsch e fatto emergere dei valori di  $b_2$  compresi per i contratti di produzione tra 0.94 e 1.13, con i valori più comuni che spaziano tra 1 e 1.1.

Sia negli studi del 1974 che in quelli del 1976, infine, Karsch ha raccomandato di effettuare ulteriori studi riguardanti la stima della costante  $b_2$  presente nel modello di regressione con vincolo. Si tratta quindi di studi promettenti per quanto riguarda l'utilizzo dell'analisi di regressione nel calcolo dell'Estimate at Completion, ma che necessitano di essere ulteriormente approfonditi.

Olsen D., Ellsworth R.W., 1976

Olsen ed Ellsworth hanno discusso in un paper scientifico un modello per il calcolo dell'EaC basato sulle time series proveniente dal B-1 System Program Office ed eseguito tramite il programma per calcolatore GETSA. Di seguito la formula di tale metodo di stima:

$$F_t = \alpha S_{t-1} + (1 - \alpha)F_{t-1}$$

in cui  $\alpha$  è una costante,  $F_t$  la stima per il periodo t,  $F_{t-1}$  la stima per il periodo t-1 e  $S_{t-1}$ , infine, i costi del periodo t-1. Insieme a tale formula, nel lavoro di Olsen ed Ellsworth, sono state utilizzati altri modelli, come equazioni di regressione ed equazioni dalla forma esponenziale.

In conclusione, ai loro studi, Olsen ed Ellsworth hanno evidenziato come utilizzare un singolo metodo non sia la scelta più saggia nelle operazioni di calcolo dell'Estimate at Completion e hanno sottolineato l'importanza del parere degli esperti e di una puntigliosa documentazione delle performance di progetto. Ritorna quindi nuovamente la non esistenza di un modello per il calcolo dell'EaC unico e universale, in grado di rivelarsi sempre superiore alle altre alternative.

Heydinger G.N., 1977

L'equazione di regressione con vincolo di Karsch è stata poi studiata, insieme a formule per il calcolo dell'EaC basate sugli indici e su due ulteriori modelli di regressione, da Heydinger nel 1977. Queste due nuove formule sono entrambe provenienti dalla Space and Missile System Organization o SAMSO e sono una con forma lineare e una basata su una versione modificata dell'equazione di Erlang.

Il primo di queste due modelli di regressione della SAMSO consiste nella regressione in sequenza di BCWP e ACWP del mese corrente e dei cinque precedenti nel tempo, con il valore dell'EaC stimato che è pari al valore di ACWP nel punto in cui BCWP è uguale a BAC. Lo stesso modus operandi è seguito anche dal secondo modello, introdotto per la prima volta negli studi di Heydinger, con l'unica differenza che, a differenza del precedente, esso permette di stimare anche i tempi a finire con BCWS. Di seguito quella che è la formula del secondo modello:

$$Y = a * X^b * e^{cX}$$

in cui la variabile dipendente è ACWP, BCWP o BCWS e X è invece il numero cumulativo di mesi al momento della stima.

Da tale studio è emerso come il metodo più accurato tra quelli presi in considerazione fosse proprio quest'ultima equazione di regressione non lineare. Heydinger ha in ogni caso consigliato di effettuare ulteriori ricerche sull'effettiva bontà di tale tecnica, in quanto la base dati utilizzata non era abbastanza ampia. Tale studio si è quindi rivelato un'altra dimostrazione della bontà della scelta di utilizzare l'analisi di regressione per il calcolo dell'EaC e, contestualmente, anche una testimonianza di come sia necessario possedere una base dati ampia per poter studiare tali modelli basati sulla regressione.

Busse D.E., 1977

Nel medesimo anno degli studi di Heydinger, anche Busse ha approfondito l'equazione di Karsch, proponendo un modo alternativo per calcolarne i coefficienti. Di seguito il modello non lineare di Busse:

$$EaC = Z * BAC^e$$

In cui e è il cosiddetto sensitivity factor, che viene calcolato con la seguente formula:

$$e = \frac{\frac{ACWP_c}{ACWP}}{\frac{BCWP_c}{BCWP}}$$

Il modello di Busse è risultato in ogni caso da questi studi in diverse fasi di completamento del progetto meno accurato rispetto al modello di Karsch del 1974.

Weida W.J., 1977

In una ricerca del 1977 Weida ha proposto, dopo lo studio di 22 diversi progetti, un modello in cui la stima dell'Estimate at Completion seguisse tramite delle equazioni di regressione non lineari quella che è la forma ad S dei costi di un progetto nel corso del tempo. A rendere tale soluzione particolarmente interessante e degna di nota è poi il fatto che essa permette di produrre diversi livelli di stima per l'EaC, ossia worst, best and most likely con tanto di intervallo di confidenza.

Per ottenere tale risultato, Weida ha diviso tale curva in due differenti equazioni di regressione con forma quadratica o logaritmica e individuate come prima e seconda metà della curva a S, ossia:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \beta_2 X^2 \text{ oppure } Y = aX^b$$

Attraverso un articolato metodo matematico, che prevede il passaggio tra le due equazioni per il calcolo del punto di flessione della curva a S e l'elaborazione di una nuova intercetta di Y, è poi possibile calcolare quello che è l'Estimate at Completion a un dato punto.

Si tratta quindi di un modello complesso da applicare, che cozza, come raccolto da Covach nel 1981, con le necessità espresse dai manager di avere uno strumento semplice e veloce da applicare, ma anche, come anche dichiarato da David S. Christensen, Richard C. Antolini e John W. McKinney, di un qualcosa di innovativo e doveroso di essere preso in grande considerazione con ulteriori studi.

Watkins H., 1982

Notando come le metodologie precedenti per il calcolo dell'EaC fossero spesso imperfette, Watkins nel 1982 ha proposto un nuovo modello, basato sulla curva di Rayleigh-Norden e sulla regressione. La scelta di tale distribuzione deriva dal fatto che i pattern ricorrenti di manodopera eccessiva e dismissione di progetti, come dichiarato dallo stesso Watkins, seguono proprio la curva di Rayleigh-Norden.

Attraverso una serie di trasformazioni matematiche, partendo dall'equazione di Rayleigh-Norden, il modello di Watkins assume la seguente forma:

$$\ln\left(\frac{\dot{Y}}{t}\right) = \ln\left(\frac{K}{t_d^2}\right) + \left(-\frac{1}{2t_d^2}\right) * t^2$$

dove  $Y$  è l'ACWP al periodo prescelto,  $K$  il costo cumulativo a completamento,  $t$  il numero di periodi passati dall'istante attuale all'inizio del progetto e  $t_d$  una variabile derivata da  $t$  durante le trasformazioni matematiche precedenti.

Watkins ha inoltre considerato nel suo modello anche l'effetto dell'inflazione, una variabile in grado di ridurre fortemente la bontà delle stime di tempi di costi e tempi a finire se non affrontata con la giusta attenzione. Il modello proposto ha prodotto buoni risultati, con un errore minore del 3% nelle ultime fasi del progetto. Non si trova invece traccia nel lavoro di Watkins di aggiustamenti per l'autocorrelazione. In definitiva, uno studio che presenta un modello particolarmente interessante sia in quanto a risultati che per il ragionamento dietro esso, considerando variabili importanti come l'inflazione, ma che deve ancor essere completamente validato.

### Altri Studi

Anche in questo caso, come nel precedente capitolo dedicato agli indici, molti studi non sono stati inclusi nella trattazione. Tra di essi possiamo ad esempio trovare il modello di Chacko del 1981 in cui è la metodologia stessa a adattarsi ai dati e non viceversa, proponendo quindi una sorta di modello adattivo di forecasting, che varia ogni qualvolta è reso disponibile un nuovo dato temporale sulle performance del progetto. Il modello di Chacko, che necessita delle informazioni di almeno 5 mesi per produrre stime, si è rivelato piuttosto accurato per le stime a breve termine ma, purtroppo, ad oggi si sono persi i dati su tale studio, di cui è possibile trovarne traccia solamente in un estratto di una rivista scientifica o citato in lavori analoghi sulla tematica.

### ALTRE TIPOLOGIE

In questa terza e ultima categoria sono racchiusi tutti gli altri modelli che non sono riconducibili a una delle due sezioni viste in precedenza, ossia indici e analisi di regressione. In tale sotto-capitolo sono quindi inclusi i vari studi basati su intelligenza artificiale, machine learning, distribuzioni di probabilità e di tutto ciò che non è strettamente collegato a indici o equazioni di regressione.

Così come nelle sezioni precedenti, anche questa categoria per forza di cose non include tutte le ricerche e gli studi fatti ad oggi sull'argomento, bensì solamente quelli considerati più utili ed esplicativi per il fine di questo elaborato.

El-Sabban M.Z., 1973

Nel 1973 El-Sabban ha proposto un modello per il calcolo dell'EaC che si sviluppa attraverso l'utilizzo delle probabilità e del teorema di Bayes. All'inizio del progetto viene assunta per l'Estimate at Completion una distribuzione normale, con media e varianza. Con l'avanzare del progetto, e la conseguente sempre maggiore disponibilità di dati, tali valori probabilistici vengono aggiornati.

Di seguito il modello di El-Sabban, partendo dalla media dell'EaC:

$$E(\mu) = \frac{c * ACWP * \sigma_0^2 + c^2 * BAC * \sigma_a^2}{\sigma_0^2 + c^2 * \sigma_a^2}$$

in cui  $c$  è pari a  $BAC/BCWP$ ,  $\sigma_0$  a  $0.05/BAC$  e  $\sigma_a$  a  $0.1/ACWP$ . Le motivazioni dietro la scelta di utilizzare 0.1 e 0.05 non sono purtroppo presenti nell'elaborato di El-Sabban e vengono quindi considerate come date. La varianza dell'EaC, secondo il modello, è invece così calcolata:

$$V(\mu) = \frac{c^2 * \sigma_a^2 * \sigma_0^2}{\sigma_0^2 + c^2 * \sigma_a^2}$$

A rendere particolarmente interessante tale modello è soprattutto il fatto che, non necessitando di una lunga serie di dati prima di poter produrre stime affidabili, esso è particolarmente efficace nelle prime fasi di un progetto. La scelta delle variabili utilizzate nel modello ha però instillato dei dubbi in altri studiosi, che hanno messo in discussione soprattutto il fatto di basare il calcolo della probabilità a priori solo su quelli che sono i costi attuali e non anche su quelli a budget del progetto. La non presenza delle motivazioni dietro i coefficienti utilizzati nella formula per il calcolo dell'Estimate at Completion è inoltre un altro dei punti critici del modello.

Hayes R.A., 1977

Partendo proprio da tali considerazioni, Hayes ha nel 1977 ripreso in mano nei propri studi il lavoro di El-Sabban di quattro anni prima, modificandolo utilizzando BCWS e non ACWP come variabile utilizzata per il calcolo della probabilità a priori. Nella procedura di Hayes ACWP è presa invece come riferimento per gli aggiornamenti della media e della varianza dell'Estimate at Completion.

Nel suo studio Hayes ha confrontato questo modello modificato di El-Sabban con un secondo modello basato sugli indici e  $CPI_c$  e la regressione non lineare proposta da Karsch.

Il risultato di tali lavori ha portato a una superiorità, almeno nei 5 differenti progetti su cui sono state testate le tre metodologie, della formula di Karsch, con il modello modificato di El-Sabban che si è comunque comportato meglio rispetto alla formula basata su  $CPI_c$  come indice.

Anche in tale caso è stato sottolineato come a differenza di altre metodologie, la scelta di utilizzare modelli basati sulla probabilità bayesiana si rivela azzeccata nel caso in cui si volesse avere stime affidabili con pochi dati a disposizione. Come già visto più volte in precedenza, quindi, la scelta di un modello per il calcolo dell'EaC deve basarsi su differenti aspetti, come tipologia di progetto e la sua percentuale di completamento, oltre che sulle necessità del project manager.

[Kamoona K.R.K., Budayan C., 2019](#)

Nel 2019 Kamoona e Budayan hanno proposto una metodologia per il calcolo dell'Estimate at Completion basata su reti neurali, ossia un sistema di deep learning a strati di nodi interconnessi chiamati neuroni e solitamente composto da uno strato di input, uno di output e uno o più strati intermedi, e un algoritmo genetico. Un algoritmo genetico è un algoritmo evolutivo di ottimizzazione riconosciuto come efficace nel risolvere problemi non lineari o stocastici. Metodo che è stato testato su quindici differenti progetti edili in Iraq e confrontato direttamente con un algoritmo basato sulla cosiddetta metodologia brute force, ossia un algoritmo che prova indiscriminatamente tutte le variabili possibili fino ad arrivare al risultato migliore.

A rendere particolarmente interessante l'utilizzo delle reti neurali per il calcolo dell'EaC è il fatto che i diversi strati che la compongono permettono di riprodurre in modo accurato funzioni non lineari e altamente variabili, come può appunto essere la curva dei costi di un progetto. L'utilizzo dell'intelligenza artificiale all'intero del problema di calcolo dell'EaC permette inoltre, secondo lo studio di Kamoona e Budayan, di superare i limiti fisiologici dei modelli basati sugli indici, in quanto consente di replicare quello che è l'intelletto umano e la sua capacità di risolvere problemi complessi.

Dallo studio è emerso come, ovviamente, la metodologia basata sull'algoritmo brute force sia la migliore, ma anche come anche il metodo basato su reti neurali e algoritmi genetici sia più accurato rispetto alle tradizionali metodologie. Considerando come un approccio brute force non sia sempre possibile, per la mole di dati e la quantità di informazioni richieste, oltre che per l'attesa necessaria prima di ottenere l'output, si tratta quindi di un ottimo

risultato, che merita di essere approfondito ed espanso in altri settori, oltre a quello delle costruzioni, in modo tale da verificarne l'effettiva efficacia come metodologia generale per il calcolo dell'EaC.

Un secondo è importante aspetto emerso dal lavoro di Kamoona e Budayan del 2019 è poi quello relativo al numero di variabili ottimali per la stima dell'Estimate at Completion in ognuna delle due metodologie. I due ricercatori hanno infatti provato a considerare per entrambi i modelli fino a otto differenti variabili, comprese, oltre ai classici CV, SV, CPI, SPI, anche dati relativi ai subcontractor, change order, climate effect e altro. Il risultato è stato che i risultati migliori sono stati ottenuti, sia per la metodologia basata sul brute force che per quella sull'algorithm genetico, non utilizzando tutte le variabili a disposizione. In particolare, la versione di algoritmo genetico rivelatasi più accurata è quella che fa affidamento solamente su CV, SV e CPI, senza considerare quindi le altre variabili messe a disposizione. Risultato che necessita certamente di ulteriori ricerche a riguardo, ma che apre al contempo la strada a nuove possibilità di calcolo dell'EaC senza utilizzare un numero elevato di dati e variabili, rendendo così semplice, veloce e immediata la stima dei costi e dei tempi a finire di un progetto.

AlHares E.F.T., Budayan C., 2019

Nel corso del 2019 AlHares e Budayan hanno presentato uno studio basato sempre sull'intelligenza artificiale, ma in cui è utilizzata, invece di un modello basato su reti neurali, una metodologia che si sviluppa attorno l'Extreme Learning Machine, un'evoluzione delle reti neurali che si contraddistingue per un'elevata capacità di mimare il comportamento della mente umana e dalla non necessità, a differenza delle reti neurali classiche, di effettuare il tuning dei neuroni nascosti.

AlHares e Budayan hanno proposto nel loro modello per il calcolo dell'Estimate at Completion l'utilizzo dell'Extreme Learning Machine in connubio con il Global Harmony Search, un algoritmo di ottimizzazione che cerca di mimare il processo di improvvisazione dei musicisti e che è qui usato in fase di input per determinare le variabili che possono influenzare il calcolo dell'EaC. Tale modello è stato confrontato con la medesima metodologia, ma basata su reti neurali classiche e con l'algorithm brute force come benchmark. Metodologia che è infine stata testata su undici differenti progetti edili negli Emirati Arabi Uniti e con come input nove differenti variabili, come CV, SV, CPI, SPI e

altri indicatori relativi al cambiamento climatico, ai subcontractor, ai change order e all'inflazione dei prezzi.

Dal lavoro di AlHares e Budayan del 2019 è emerso come l'Extreme Learning Machine sia in grado di ottenere risultati migliori rispetto alle reti neurali, sia quando usata insieme all'algoritmo Global Harmony Search che a quello Brute Force, risultando quindi più affidabile e accurato nello stimare l'Estimate at Completion. Da tenere in grande considerazione è poi il fatto che, come successo nello studio di Kamoona e Budayan, anche in questo caso i risultati migliori non si sono ottenuti utilizzando tutte le variabili in gioco, bensì un loro sottoinsieme, che nel caso dell'Extreme Learning Machine con il Global Harmony Search è composto solamente da CV, SV e SPI. In questo caso, a differenza dello studio precedentemente citato di Kamoona e Budaya, l'algoritmo brute force ha ottenuto i risultati migliori con un minor numero di variabili sia per quanto riguarda l'Extreme Learning Machine che le reti neurali, risultando in ogni caso comunque più dispendioso in quanto a tempo.

Nonostante i dati emersi dalle ricerche inerenti all'intelligenza artificiale, come sottolineato anche da AlHares e Budayan nel loro lavoro, è importante non dimenticare come tali metodologie possano talvolta risultare black box, ossia non mostrare all'utente finale il procedimento che ha portato al risultato ottenuto dall'algoritmo, e richiedere molto tempo e un grande quantitativo di dati disponibili. Caratteristiche che non sempre è possibile abbracciare durante la gestione di un progetto, dove gli stakeholder sono numerosi e le stime di tempi e costi a finire devono essere intellegibili.

#### CONSIDERAZIONI FINALI

Dallo studio della letteratura sulle metodologie di calcolo dell'Estimate at Completion emergono numerosi spunti di riflessione. Il primo, nonché il più importante, è quello relativo al fatto che non esiste ad oggi, e probabilmente neanche mai esisterà, un modello universale e perfetto per ogni casistica disponibile. Le variabili da tenere in considerazione sono infatti molteplici e vanno a coinvolgere le peculiarità e le caratteristiche proprie di ogni settore, oltre che del singolo progetto. Un altro aspetto importante, nella scelta di un determinato modello di calcolo dell'EaC, è inoltre la percentuale di completamento del progetto stesso. In linea ipotetica, quindi, la scelta migliore sarebbe quella di sviluppare per ogni progetto un modello ad hoc, che sappia tenere in considerazione tutte le varie informazioni ad esso relative. Progettare una formula per il calcolo dell'EaC diversa ogni volta è però una

procedura complessa, oltre che fisiologicamente prona a molteplici errori, che può difficilmente essere implementata, se non con modelli black box poco intellegibili da manager e dirigenti.

Assodato come aspirare a un modello unico in grado di surclassare le altre formule, qualsiasi siano le caratteristiche e le peculiarità di un progetto, sia allo stato attuale quasi utopico, dallo studio della letteratura emerge inoltre come nessuna delle tre metodologie possibili, ossia quelle basate su indici, regressione o altro, sia migliore a priori delle altre e non è quindi neanche in questo caso possibile definire delle preferenze decise su una di esse.

Sebbene in linea di massima buona parte degli studi ha evidenziato per i modelli basati sulle equazioni di regressione risultati migliori rispetto agli indici per quanto riguarda la stima nelle prime parti del progetto, tale superiorità non è definita in ogni frangente e ci sono diversi studi che hanno invece trovato più accurati metodi basati sui Past Performance Factor o su ulteriori tipologie di formule. Trovare una soluzione migliore in assoluto, senza prendere in considerazioni le variabili del progetto e del settore, è quindi in poche parole impossibile allo stato attuale.

Se però in passato il basarsi sugli indici era quasi sempre lo standard, a causa soprattutto delle risorse computazionali richieste da un'analisi di regressione o da un'applicazione basata sull'intelligenza artificiale e il machine learning, ora la situazione è cambiata e i modelli che richiedono l'utilizzo di un calcolatore possono venire integrati e utilizzati operativamente con molta meno difficoltà rispetto al passato.

Un ultimo aspetto, che non deve assolutamente essere dimenticato, è poi quello relativo alla facilità di calcolo e all'intellegibilità della formula. Come emerso in numerose ricerche, infatti, i manager necessitano di modelli facilmente eseguibili e in grado di portare risultati che possano essere trasmessi senza difficoltà ai dirigenti. Effettuare la stima più affidabile e precisa di tempi e costi a finire è quindi importante, ma lo è anche farlo seguendo i capisaldi della facilità di utilizzo e della comprensibilità dei dati. Un trade-off, quindi, sicuramente da non sottovalutare nella scelta del modello per il calcolo dell'Estimate at Completion da adottare nel proprio progetto.

## PROJECT RISK MANAGEMENT

A influire pesantemente sulle performance di un progetto, portando a cambiamenti potenzialmente anche parecchio significativi in termini di costi, tempo e qualità, sono inoltre i rischi. Si tratta di un aspetto che non viene preso in considerazione, se non indirettamente, da metodologie come l'Estimate at Completion, ma che è invece fondamentale per comprendere a fondo lo stato del progetto e prevedere come esso possa finire, oltre che ovviamente per permettere anche di prendere eventuali azioni correttive nel momento più opportuno.

Un passaggio non spesso chiarissimo a tutti è quello al fatto che, nonostante il rischio sia nel linguaggio comune inteso con un'accezione prettamente negativa, esso può avere anche dei benefici all'interno dell'ambito del project management. Il rischio, come definito dal Project Management Institute stesso, infatti, è un evento o condizione incerta che, se si dovesse verificare, avrebbe un effetto positivo o negativo sugli obiettivi di progetto.

Il concetto di rischio è inoltre strettamente legato a quello di probabilità, in quanto non si tratta di un evento certo, bensì appunto di un qualcosa di solamente possibile. Unendo quindi i concetti di effetti sul progetto e di probabilità di avvenimento, è possibile definire in modo più allargato le varie casistiche:

- Rischio negativo o minaccia: evento probabile e non certo che se si manifesta causa danni in termini di costi, tempo e qualità al progetto;
- Rischio positivo o opportunità: evento probabile e non certo che se si manifesta causa vantaggi in termini di costi, tempo e qualità al progetto;
- Rischio speculativo: evento probabile e non certo che se si manifesta può causare sia danni che vantaggi in termini di costi, tempo e qualità al progetto;
- Rischio certo o vincolo progettuale: evento di cui vi è certezza del suo accadimento e pertanto non può essere propriamente definito come rischio;
- Fatalità: evento totalmente imprevedibile, il cui accadimento non poteva essere previsto e di cui non c'era quindi nessuna conoscenza a priori.

È quindi chiaro come il rischio sia un qualcosa di insito e presente in ogni progetto, nonché come un qualcosa di strettamente correlato con il futuro e con la sua relativa incertezza. Come facilmente intuibile, inoltre, i rischi possono essere di diversa tipologia, come ad esempio finanziaria, operativa, legale o altro ancora, e molti sono anche i possibili impatti sul progetto che essi possano avere in caso di accadimento. Se è quindi intuitivo come

l'obiettivo finale sia quello di massimizzare le probabilità di avvenimento delle opportunità e al contempo ridurre quelle dei rischi, alla prova dei fatti tale procedimento si rivela parecchio arduo, complesso e articolato. Gestire con successo e nel modo corretto i rischi insiti nei progetti è però cruciale per portarli a compimento nel migliore dei modi, evitando di incorrere in costi e tempi maggiori di quelli preventivati e al contempo sfruttando al massimo ogni opportunità possibile.

Per meglio comprendere come gestire nel modo più efficace i rischi di un progetto è innanzitutto necessario classificarli in base alla loro origine, ossia:

- Origine interna: rischi provenienti direttamente dall'interno dell'organizzazione e in quanto tali dominabili, se non completamente almeno in parte, da essa. Tra di essi possiamo ad esempio trovare rischi commerciali, tecnici, umani ecc.;
- Origine esterna: rischi provenienti dall'esterno dell'organizzazione e in quanto tali non dominabili da essa. Tra di essi possiamo ad esempio trovare rischi politici, economici, sociali, naturali ecc.

Un altro aspetto fondamentale su cui concentrarsi è poi quello relativo alla natura degli effetti dei vari rischi nel caso in cui essi avessero effettivamente luogo. I danni provocati da un rischio possono infatti essere:

- Diretti: danni che inficiano direttamente il progresso e le performance del progetto e dell'organizzazione; possono essere ad esempio slittamenti temporali, costi imprevisti o obiettivi non raggiunti totalmente o non nel modo corretto;
- Indiretti: danni che non agiscono direttamente sul progresso e sulle performance di progetto e organizzazione, ma in modo indiretto; possono essere ad esempio cadute di immagine e reputazione, effetti su attività collegate e altro ancora.

Come intuibile, quindi, la gravità complessiva del rischio e del relativo danno dipende da una lunga serie di fattori, come i task e le risorse colpite da tale rischio, la tipologia e la durata del danno, la probabilità e frequenza con cui il rischio si manifesta effettivamente e, infine, anche la bontà e l'efficacia dei controlli e delle azioni correttive adottate per prevenire o ridurre quelli che sono gli effetti complessivi del rischio.

In base alla grande variabilità insita nei rischi e agli effetti spesso e volentieri significativi che essi possono avere, è quindi evidente come sia necessario gestirli nel migliore dei modi e che il lasciare il tutto al caso non sia di conseguenza una strada percorribile se si vuole

ottenere un progetto efficace ed in grado di rispettare il più possibile le previsioni originarie in termini di tempi, costi e qualità e al contempo sfruttare le occasioni che potrebbero presentarsi.

Per tale motivo si ricorre al Risk Management, che, come definito dal Project Management Body of Knowledge, è il processo sistematico di identificare, analizzare e prendere delle decisioni sul rischio di un progetto. Il Risk Management consiste nel massimizzare la probabilità di avvenimento e le conseguenze delle opportunità o rischi positivi e nel minimizzare la probabilità di avvenimento e conseguenze di tutti quei rischi ed eventi che possano portare a ritardi, minore qualità o maggiori costi rispetto agli obiettivi di progetto. Il Risk Management punta a diminuire il rischio di fallimento di un progetto, in quanto implica l'analisi dell'obiettivo finale in relazione con le diverse variabili presenti all'interno di esso. (Sanchez et al., 2009) Un processo quindi fondamentale, che se mal realizzato può portare a gravi problematiche all'interno del progetto. Basti ad esempio pensare come secondo il Project Management Institute un Risk Management carente sia uno dei principali motivi di fallimento di un progetto in più del 30% dei casi. Il Risk Management ricopre infatti un ruolo cruciale nel preservare l'intero valore del progetto in ogni suo livello.

L'importanza della gestione dei rischi non è però sempre stato un aspetto fondamentale e, anzi, fino a poco tempo fa il Risk Management era un processo esclusivo di pochi progetti, ossia solamente quelli dalle dimensioni significative, dai risvolti ambientali, o in campi specifici. Con il proseguire degli anni il Risk Management ha cominciato a prendere però piede anche in tutti gli altri settori, diventando un processo cruciale anche in progetti dal minor respiro e dalle dimensioni più ridotte. In un mercato sempre più concorrenziale, agguerrito e in continua evoluzione, infatti, mancare gli obiettivi stabiliti a inizio progetto potrebbe portare a significative conseguenze, con il time to market che al contempo non può dilatarsi troppo. Da non sottovalutare, da questo punto di vista, sono poi le continue innovazioni, che portano a cambiamenti repentini della tecnologia e, di conseguenza, ad una maggiore incertezza da gestire.

Sebbene a prima vista il Risk Management possa sembrare molto simile al Project Management, in realtà essi differiscono su diversi fronti. Finalità, metodologie, risorse disponibili e altro ancora sono infatti tra di loro ben diversi e nella tabella 3 è possibile osservare in maniera sintetica quelle che sono le principali differenze tra i due processi, che

spaziano dalle finalità fino alle metodologie adottate, passando per quelle che sono le risorse utilizzate, i costi e, infine, anche il metodo alla base delle analisi.

Differenti possono poi essere anche le modalità con cui Project e Risk Management si correlano, con diverse scuole di pensiero che sono attualmente utilizzate. Le due strade più gettonate sono quella che vede il Risk Management come un progetto separato dal Project Management e gestito a sé stante e quella che prevede invece il Risk Management come un processo interno al Project Management.

Quello che emerge è però come entrambi i processi siano in ogni caso tra loro fortemente correlati e come entrambi vadano a toccare l'intero ciclo di vita del processo, a partire dalle sue fasi iniziali, passando per quelle più operative, fino ad arrivare al suo effettivo completamento.

	<b>Project Management</b>	<b>Risk Management</b>
<b>Finalità</b>	Raggiungere quanto inizialmente prefissato in termini di costi, tempi e qualità.	Ridurre probabilità e danno di eventi negativi e massimizzare probabilità ed effetti degli eventi positivi.
<b>Metodologia</b>	Intervento previsto solamente nel caso in cui emergesse un problema.	Gestione dei rischi e relativo intervento prima dell'effettivo avvenimento dell'evento.
<b>Analisi</b>	Forward – da quanto inizialmente preventivato al completamento del progetto.	Backward – dalle possibili ragioni di insuccesso o slittamento alle relative cause.
<b>Costi</b>	Contabilità di progetto.	Contabilità a latere, a margine di quella di progetto.
<b>Risorse</b>	In base ai task e agli sforzi necessari per raggiungere gli obiettivi inizialmente prefissati.	In base a quella che è l'esposizione al rischio del progetto.

*Tabella 3: Differenze Project e Risk Management*

I compiti del risk manager, che può essere sia la stessa persona del project manager che un altro individuo in base alle dimensioni e all'entità del progetto, si possono dividere in due differenti fasi principali, a loro volta rispettivamente suddivisibili in altre due fasi.

- Identificazione del rischio o Risk Assessment, consiste nella identificazione e successiva valutazione sia sul piano qualitativo che quantitativo dei rischi che potrebbero coinvolgere il progetto. È composta da Identificazione e Quantificazione dei rischi;
- Risposta al rischio o Risk Response, consiste nel delineare e attuare adeguate risposte ai rischi inerenti al progetto e al successivo controllo dell'effettiva bontà e riuscita

delle azioni correttive. È composta da Pianificazione e Controllo delle azioni correttive.

Prima di entrare nel dettaglio di ognuna di queste due differenti fasi, è però necessario chiarire come uno degli aspetti più importanti per svolgerle entrambe nel migliore dei modi sia quello relativo alla presenza e alla bontà di un database interno. L'assenza di un database o una sua bassa qualità, presentando ad esempio dati incompleti o condizionati da bias personali, può infatti portare a gravi errori nella gestione del rischio, mentre un database ricco e curato può rivelarsi un *quid non indifferente* in tutte le varie fasi e portare a una migliore qualità dell'intero processo.

La primissima fase del Risk Management, facente parte del Risk Assessment, è quindi quella relativa all'identificazione del rischio. Rischio che ha una causa, ossia un'origine che può essere sia interna che esterna al progetto o all'organizzazione, una manifestazione che avviene con una data probabilità e, infine, delle conseguenze, ossia gli impatti del rischio.

Come facilmente immaginabile sia le fonti, come le probabilità e le conseguenze, sono fortemente variabili e possono quindi essere di diversi tipi. Un rischio può infatti ad esempio avere origine nelle caratteristiche finali del prodotto, in qualche stima fatta a inizio progetto, nella qualità e nella competenza delle risorse, nelle clausole dei contratti e in molto altro ancora.

Per questi e altri motivi quella di identificazione dei rischi e delle loro caratteristiche è una fase molto complessa e articolata, che può essere affrontata in differenti modi, riassumibili in due macrocategorie. L'identificazione dei rischi può infatti avvenire attraverso due insiemi di tecniche tra loro diametralmente opposte, ossia partendo dalle cause per arrivare agli effetti dei vari rischi o viceversa, cominciando quindi dai possibili effetti del rischio, sia che essi siano positivi che negativi, per giungere alle relative cause.

Per quanto riguarda l'approccio cause-effetti sono varie le tecniche che possono essere utilizzate e tra di esse possiamo annoverare tra le altre le interviste, in cui vengono interpellati project manager ed esperti del campo in questione esponendo loro le caratteristiche del progetto, e i questionari o checklist, strumento veloce e flessibile che viene proposto ai vari membri del team di progetto, project manager compreso. Altre tecniche facenti parti di questa categoria sono poi l'internal audit, in cui vengono messi sotto analisi i task e processi che possono essere valutati in seguito ad una mappatura dei processi, e la What-if Analysis, in cui attraverso una serie di domande e risposte si ottengono delle tabelle

elencanti i vari potenziali rischi emersi per il progetto in questione. Importante è anche la Risk Breakdown Structure o RBS, ossia la suddivisione in più fasi degli eventi rischiosi in diverse categorie, riuscendo così a catalogarli in tipi, classi e gruppi.

Per identificare i rischi attraverso le metodologie effetti-cause si può invece ricorrere a numerose altre tecniche, come il diagramma di Ishikawa, in cui si identificano cause principali e secondarie dei rischi con una metodologia backward, o l'Event Tree Analysis, in cui a partire da un evento iniziale si analizzano i vari effetti che esso può avere sul progetto, basandosi quindi su una metodologia forward. Altre tecniche facenti parte della metodologia effetti-cause sono poi quelle reticolari, in cui si analizza il reticolo del progetto in base a quello che è il suo percorso critico, ossia quello più rischioso in quanto uno slittamento dei task che lo compongono inficerebbe direttamente sui tempi e costi a finire del progetto.

Dopo aver identificato quelli che sono i possibili rischi è necessario quantificarli, in modo tale da capirne meglio gravità ed effetti. Un'operazione resa particolarmente complessa dalla natura dei rischi, che, in quanto incerti per definizione, non permettono di disporre sempre di informazioni certe o oggettive a riguardo. Quantificare un rischio non è inoltre un'operazione fine a sé stessa, o comunque limitata all'avere dei riferimenti, ma è fondamentale per stabilire delle priorità, in modo tale da poter meglio organizzare quella che è la gestione dei vari rischi e stanziare un budget adeguato a gestirli nel modo corretto.

Per quantificare il rischio vi sono diversi metodi. Uno dei più efficaci e adottati a livello globale è sicuramente il Risk Exposure, che è così calcolato:

$$\text{Risk Exposure} = p * I(R)$$

In cui  $p$  è la probabilità con cui il rischio può manifestarsi, in base ovviamente agli elementi precedentemente identificati, e  $I$  l'impatto del danno nel caso in cui esso si avverasse. Un rischio con la probabilità di accadere del 2% e un impatto stimato di 10mila euro, avrebbe quindi associato un Risk Exposure di 200, mentre un secondo rischio con  $p$  pari a 80% e  $I$  a 800 euro, avrebbe un Risk Exposure molto più alto del primo rischio e pari a 640, sebbene presenti un impatto decisamente minore al primo.

Il Risk Exposure, quindi, è un valore molto utile, in grado di classificare i vari rischi e di assegnare a loro un grado di priorità. Molto importante è però tenere in considerazione che

di per sé il Risk Exposure non ha un significato reale ed è quindi utilizzato solamente per poter gestire il ranking dei vari rischi identificati nel progetto.

Probabilità di avvenimento e entità dell'impatto di ogni singolo rischio non sono però valori di cui è possibile avere un valore reale ed è di conseguenza necessario produrne delle stime. L'assegnazione di un valore al rischio può essere effettuata in diversi modi, ossia:

- Qualitativo: in cui non vengono quantificati probabilità e impatto dei vari rischi, ma discretizzati su dei valori predefiniti, come ad esempio alta, media, bassa per la probabilità e critico, medio, marginale per quanto riguarda l'impatto;
- Semi-quantitativo: con tale approccio i vari livelli descrittivi identificati con una metodologia qualitativa vengono associati a dei valori numerici;
- Quantitativo: ad oggi probabilità e rischio vengono associati dei valori numerici stimati attraverso diverse tecniche.

La quantificazione del rischio può essere più o meno oggettiva e precisa in base alle informazioni disponibili e alle metodologie utilizzate. Attraverso le serie storiche, ad esempio, si possono utilizzare i dati presenti nei database aziendali per stimare con una buona precisione e probabilità i rischi conosciuti all'interno dell'organizzazione. Un'altra metodologia utilizzata, in questo caso soprattutto per valutare il rischio di fallimento globale dell'intero processo, è poi quella del giudizio degli esperti, che tramite il loro know-how e dei questionari, fanno emergere delle stime di rischio basate sulle loro competenze multidisciplinari.

Sono inoltre spesso utilizzate per quantificare il rischio nell'ottica della criticità dei singoli task del processo delle tecniche reticolari, come il Critical Path Method o il PERT, in cui si valuta l'influenza dei rischi sulle attività critiche e si prende in considerazione l'entità e i relativi effetti di eventuali slittamenti di attività non critiche.

In supporto o sostituzione di tutte queste metodologie, a cui se ne aggiungono molte altre non presenti nell'elenco precedente, sono spesso usate delle tecniche di simulazione, come il Metodo Montecarlo, che permettono di simulare la situazione in cui sono presenti determinati rischi.

La scelta della tecnica da usare non è però dovuta solamente al grado di conoscenza del rischio o alle preferenze del project manager, ma deve basarsi anche sulla tipologia di rischio

che si vuole andare a quantificare. Di seguito le tecniche più utilizzate ed efficaci in base alla classificazione dei rischi per diverse tipologie:

- Rischi operativi e tecnici: diagrammi causa-effetto con relative probabilità, matrici rischi-task e What-If analysis con probabilità dei vari eventi;
- Rischi economici: tecniche di stima dei costi, come ad esempio con il criterio dell'Expected Monetary Value o EVM, e tecniche reticolari sui costi;
- Rischi della pianificazione: tecniche basate sul calcolo della probabilità e tecniche reticolari sui tempi.

Una volta quantificati impatto e probabilità dei vari rischi con una delle tecniche sopra citate, è possibile valutare in modo più dettagliato un singolo rischio usando due ulteriori metriche, che hanno origine dal Risk Exposure. La prima, con c grado di controllabilità del rischio, è:

$$Rischio = \frac{p * I}{c}$$

La seconda metrica, molto simile alla prima, utilizza la variabile e, ossia grado di evitabilità del rischio, ed è la seguente:

$$Rischio = p * I * e$$

Quantificare e analizzare i singoli rischi del progetto è quindi fondamentale, in quanto permette di comprendere più a fondo che impatti potrebbero avere luogo e con quale probabilità. Non basta però fermarsi a tale livello per avere una visione globale ed è infatti necessario stimare quella che è la situazione dell'intero progetto. Per fare ciò viene utilizzata un'altra metrica, ossia l'esposizione ai rischi del progetto, che viene calcolata con la seguente formula, in cui il Budget è la somma delle risorse economiche stanziare per ridurre i rischi del progetto e  $R_i$  sono tutti i rischi identificati per il progetto in questione:

$$Esposizione\ del\ progetto = \frac{MAX(\sum R_i)}{Budget}$$

L'output principale della prima delle due fasi del Project Risk Management è il Risk Assessment Report, un documento in cui vengono stilati tutti i rischi individuati e quantificati, elencandone i relativi attributi, come una descrizione, il possibile danno economico, la probabilità di avvenimento, il periodo in cui potrebbe accadere e i task interessati, eventuali correlazioni con altri possibili eventi e ulteriori informazioni utili per la gestione di tutti i vari rischi del progetto.

Un altro elemento fondamentale appartenente alla quantificazione del rischio è poi sicuramente la Risk Breakdown Matrix o Matrice RBM. Tale matrice, infatti, consente di strutturare in modo gerarchico i vari elementi di rischio, permettendo così al project manager di classificare i rischi più importanti e le attività più soggette a rischio dell'intero progetto. Nelle righe della Matrice RBM abbiamo infatti i vari work package della WBS, ossia dei "pacchetti" di lavoro chiaramente identificabili e, nei limiti del possibile, attribuibili a un singolo centro di lavoro, associati all'impatto, mentre le colonne sono attribuite ai vari elementi della RBS, ossia la Risk Breakdown Structure, con le relative probabilità di accadimento di ognuno di essi.

Con questi elementi si può quindi dichiarare conclusa la prima fase di identificazione e quantificazione del rischio, ossia la fase di Risk Assessment, e passare alla risposta al rischio o Risk Response. La finalità di questa seconda sezione della gestione del rischio è quella di prendere coscienza dei possibili rischi e opportunità che potrebbero incorrere durante il progetto e mettere in atto tutte quelle azioni volte a prevenire, sorvegliare e contrastare o, nel caso fossero positivi, favorire i rischi presenti nel Risk Assessment Report.

Così come la fase precedente, anche il Risk Response si divide in due parti distinte:

- Pianificazione: in cui si pianificano e applicano le misure correttive o di prevenzione adottate per i vari rischi;
- Controllo: in cui si monitorano efficacia e stato delle misure adottate, prendendo eventualmente provvedimenti in base alle loro performance.

Il primo aspetto da tenere in grande considerazione nella fase di pianificazione, è che, oltre che assolutamente antieconomico e non conveniente a livello finanziario, è anche impossibile tenere in considerazione e pianificare risposte per tutti i rischi/opportunità individuati in precedenza. Sui rischi esterni, inoltre, è molto spesso impossibile anche solo pensare a qualche azione correttiva efficace e in grado di dominare il rischio. Il tutto senza poi dimenticare come sia anche utopistico pensare di essere stati in grado di identificare con correttezza nelle fasi precedenti ogni singolo rischio. L'opzione rischio zero, in altre parole, non esiste.

Una volta fatto proprio questo semplice ma fondamentale punto, l'obiettivo della prima fase del Risk Response è quella di definire e implementare interventi e risposte per minimizzare probabilità e impatti delle minacce e al contempo massimizzare effetti e possibilità di avvenimento delle opportunità.

Non tutti i rischi si gestiscono inoltre allo stesso modo e le varie azioni correttive, con tanto di modus operandi e informazioni sul rischio, sono raccolte all'interno del Risk Plan, un documento in cui sono appunto stilati tutti i vari rischi su cui si è deciso di agire con i relativi piani di intervento.

Il Risk Plan può infatti essere considerato il risultato delle fasi di identificazione, quantificazione e pianificazione della risposta ai rischi. All'interno di esso sono difatti elencati non solo i vari rischi e la relativa severità, ossia l'ammontare del danno economico e la probabilità di accadimento, ma anche tutte le contromisure adottate. Nel Risk Plan sono quindi presenti descrizione, responsabile, costo e rischio residuo di tutte quelle strategie adottate come risposta ai rischi in esso presenti.

Ma come reagire ai vari rischi e che strategie adottare per prevenire certe situazioni? La fase di selezione di una modalità d'intervento dipende da numerosi fattori, come la possibilità e il costo di gestire un rischio, la capacità decisionale del project/risk manager e le caratteristiche del rischio in questione. Nonostante siano quindi molte le variabili a entrare in gioco nell'elaborazione di una strategia di risposta al rischio, è comunque possibile stilare una sorta di guida sulla tipologia di strategia consigliata, basandosi su quelli che sono impatto e probabilità di avvenimento dei vari rischi.

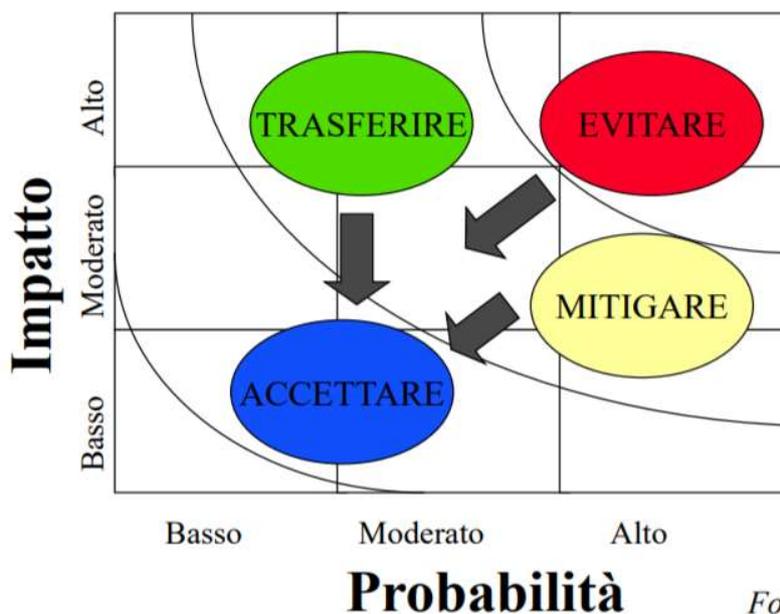


Figura 5: Strategie di risposta al rischio

Come osservabile in figura 5, sono quattro le macrocategorie di strategie consigliate in base a rischio e probabilità di avvenimento dei rischi:

- **Accettare:** quando impatto e probabilità di avvenimento sono bassi. In tal caso si accettano quelli che sono i rischi e ci si “limita” a monitorarli. Con l’adozione di tale strategia i vari rischi sono quindi inseriti nella baseline ed è necessario pianificare piani di recupero e allocare le risorse necessarie per gestire tali rischi. Nel caso di opportunità si tratta quindi di ignorarle;
- **Mitigare:** quando l’impatto è medio-basso e la probabilità di avvenimento alta. In tal caso si cerca di ridurre l’impatto dei rischi modificando procedure e processi. Si spostano poi, se possibile, quelle che sono le attività rischiose all’esterno del critical path del progetto per evitare il più possibile eventuali slittamenti. Se la strategia viene invece applicata ad una opportunità l’obiettivo è quello di favorirla e potenziarne gli effetti positivi;
- **Trasferire:** quando l’impatto del rischio è alto e la probabilità di avvenimento medio-bassa. Questo tipo di strategia prevede di trasferire appunto il rischio in questione a una terza parte, come ad esempio dei fornitori. Le tipologie di trasferimento sono due: tramite assicurazione, spostando quindi su altrui le eventuali conseguenze economiche, o non assicurativo, affidandosi in tal caso ad esempio a committenti esterni e all’outsourcing. Se tale strategia viene applicata a un’opportunità porta a dividerne i benefici se realizzata;
- **Evitare:** quando impatto e probabilità di avvenimento sono alti. Si tratta della strategia più drastica, che potrebbe portare addirittura a rinunciare al processo o a certe attività se considerate troppo rischiose. In tal caso si cercano soluzioni tecnologiche alternative, si riducono i vincoli o si modificano gli obiettivi del progetto. Nel caso di opportunità si cerca invece di sfruttarle al massimo.

Come facilmente osservabile, le quattro strategie possono essere ulteriormente raggruppate in due ulteriori macro-gruppi, ossia:

- Risposte tattiche, ossia accettare e mitigare;
- Risposte strategiche, ossia trasferire ed evitare.

I piani d’azione, di qualsiasi tipologia essi siano, possono portare diversi effetti sul rischio, riducendone ad esempio l’impatto o la probabilità o, ancora, annullandoli del tutto o mitigandoli solo in parte. Per tale motivo è quindi possibile valutare i vari rischi in due istanti ben definiti: prima e dopo l’adozione di determinati piani d’azione. Proprio in base a ciò è possibile introdurre due ulteriori concetti di rischio:

- Rischio inerente o incondizionato: rischio originale, pari a quando non è stato attivato alcun piano di risposta;
- Rischio residuo: porzione di rischio rimanente in seguito all'attuazione delle misure del management volte a ridurre e mitigare impatto e probabilità di accadimento degli eventi negativi.

Attraverso l'utilizzo di questi due valori è possibile calcolare un ulteriore indice, il Risk Management Plan Effectiveness Index o RPMEI. Tale indice si rivela fondamentale in quanto riesce ad esprimere in percentuale la capacità di rispondere agli elementi di rischio e l'efficacia delle strategie di risposta al rischio adottate. La bontà dell'indice dipende ovviamente in gran parte dalle fasi precedenti della gestione del rischio, ossia dalla identificazione e quantificazione dei rischi e dalla stima degli effetti dei vari piani di risposta ai rischi. Il Risk Management Plan Effectiveness Index può così essere calcolato:

$$RPMEI = \left( 1 - \frac{\text{Rischio residuo}}{\text{Rischio incondizionato}} \right) * 100$$

Più il valore di RPMEI è elevato, e più si avvicina quindi al 100%, e più i piani d'azione di risposta ai rischi adottati sono in grado di rispondere ad essi. Un basso valore di RPMEI indica quindi un progetto fortemente esposto ai rischi e che potrebbe necessitare di ulteriori strategie di risposta ad essi. Importante notare come in ogni caso tale indice si basi solamente della riduzione degli effetti di rischio dovuta alle strategie di risposta e non tenga quindi in considerazione nel suo valore finale ad esempio l'entità dei vari rischi o del costo dei piani d'azione attuati.

Come visto, in seguito all'adozione delle misure adottate dal management in risposta ai rischi, sono comunque presenti dei rischi residui, che devono essere a loro volta gestiti. Per farlo nel modo corretto si implementa un contingency plan, ossia dei piani d'azione che saranno attuati nel caso in cui i rischi residui si manifestassero effettivamente. Da tenere in grande considerazione in tale ambito è il fatto che, come visto in precedenza, anche in questo caso non tutti i rischi necessitano di essere gestiti. Potrebbe infatti capitare che l'adozione di un piano di risposta o, in questo caso, di un contingency plan potrebbe risultare più costosa e di conseguenza meno conveniente rispetto alla semplice accettazione del rischio stesso. In tal caso è quindi più efficiente semplicemente allocare delle risorse per mitigare o assorbire l'impatto del rischio nel caso in cui esso si verificasse. Per i rischi residui in cui si ritenesse

invece necessario stabilire un contingency plan, esso dovrebbe essere pianificato in base all'impatto del rischio stesso.

Essendo il contingency plan dei piani di risposta nel caso in cui si presentassero dei rischi residui, è necessario per sostenere i costi relativi a tali piani associare ad esso un budget dedicato che prende il nome di contingency budget o contingency reserve. L'entità di tale budget può anche essere stabilita come una percentuale del costo dell'intero progetto o basandosi sulle performance di progetti passati, ma sono molti i metodi di stima basati su diverse scuole di pensiero che permettono di effettuare stime più accurate. Tra di esse possiamo ad esempio trovare:

- EMV o Expected Monetary Value, in cui si calcola la contingency reserve basandosi sui danni e sulla probabilità di avvenimento dei vari rischi. Combinando i valori ottenuti è infatti possibile stabilire l'entità del budget;
- Alberi di decisione, in cui si creano i vari stati in cui potrebbe trovarsi il progetto nel corso del tempo in base all'effettivo avvenimento dei diversi rischi;
- Monte Carlo o altri simulatori, in cui si stabilisce l'entità del contingency budget in base alla probabilità del progetto di finire nei tempi prefissati. Metodo molto preciso, ma che necessita spesso e volentieri di più risorse dei precedenti.

Una decisione molto importante da prendere in tale ambito è poi quella di tenere in considerazione tutti i rischi e i relativi impatti o solamente quelli che potrebbero colpire le attività facenti parte dei cammini critici e sub-critici.

La definizione di una corretta contingency reserve è essenziale per la buona riuscita di un progetto. Un ammontare troppo elevato di contingency budget, infatti, porta a una cattiva gestione delle risorse economiche del progetto, andando a ridurre la sua marginalità, e al contempo blocca delle risorse che potrebbero invece essere determinanti per altri progetti (Dey et al., 1996). Stabilire un contingency budget troppo ridotto porta d'altro canto ad una situazione troppo rigida e prona a performance meno soddisfacenti di quanto preventivato inizialmente (Touran A., 2003). Da ciò si evince come la scelta di affidare la quantificazione della contingency reserve a una mera percentuale dell'intero costo di progetto sia un qualcosa di, se possibile, evitabile e l'affidarsi a metodi più articolati e precisi consigliabile.

Grazie all'utilizzo di tale budget, che è discrezione del project manager, è in ogni caso quindi possibile gestire tutti quei rischi che si presentassero in seguito all'adozione delle varie azioni correttive.

In aggiunta alla contingency reserve è inoltre utilizzata nel Risk Management anche la Management Reserve, ossia un budget dedicato alla gestione delle fatalità, ossia quei rischi impossibili da prevedere e tutti quei rischi di cui non è stato possibile quantificare l'impatto e/o la probabilità.

Proprio considerando la totale imprevedibilità delle fatalità, la management reserve non è quindi stimabile con i metodi precedentemente citati e la sua entità viene stabilita o come percentuale dei costi dell'intero progetto o basandosi sugli over budget dei progetti precedenti della società. A differenza della contingency reserve, infine, la contingency budget necessita per essere utilizzata dell'autorizzazione anche del referente del progetto nel top management e non solo del project manager.

Una volta stabiliti budget, contromisure e aver stilato il Risk Plan, documento fondamentale di quanto fatto fino ad ora, si passa all'ultima fase del Risk Management, ossia la fase di controllo del rischio.

Questa ultima sezione del processo di gestione dei rischi, per quanto possa all'apparenza sembrare la meno operativa delle quattro, è in realtà fondamentale e cruciale ai fini di una buona riuscita del processo e di riflesso dell'intero progetto. Il controllo del rischio consiste nell'analizzare l'evoluzione dei vari rischi con il fine di pianificare e attuare dove possibile degli interventi finalizzati al miglioramento dei tre vincoli del progetto: tempo, costi e qualità.

In altre parole, in tale fase si verifica l'effettiva bontà dei piani precedentemente pianificati, revisionandoli in meglio nel caso in cui ciò si rivelasse necessario. Di seguito le principali fasi in cui è suddivisa tale analisi:

- Verifica dell'effettivo accadimento dei vari rischi;
- Analisi degli scostamenti effettivi in termini di costi, tempo e qualità rispetto a quanto inizialmente preventivato;
- Individuazione delle cause di tali scostamenti;
- Valutazione di eventuali azioni correttive, con tanto di uso della contingency reserve nel caso si rivelasse necessario;
- Aggiornamento del risk plan in base all'analisi effettuata e ai rischi realizzatisi/non realizzatisi.

Oltre ai rischi identificati e inseriti nel Risk Plan, potrebbero però anche emergere nel corso del progetto ulteriori rischi non previsti inizialmente. Nel caso in cui si verificasse tale eventualità, si rende necessario stimare l'impatto dei nuovi rischi, individuare delle contromisure adeguate e, se conveniente, attuarle e, infine, aggiornare il Risk Plan inserendo al suo interno anche tali rischi non precedentemente inclusi.

Per quanto riguarda i rischi inclusi sin dal principio nel Risk Plan, nel caso essi si verificano effettivamente, verrebbero attivate le contromisure stabilite in precedenza, mentre se essi non avessero luogo, le scelte sarebbero molteplici. Le risorse inizialmente stanziare per tale rischio potrebbero infatti essere destinate a:

- Finanziare le contromisure a rischi avvenuti ma non previsti in precedenza;
- Coprire i costi di eventuali e futuri rischi imprevisti;
- Aumentare le risorse del contingency plan e l'efficacia delle contromisure pianificate per i vari rischi;
- Ridurre i costi del progetto e di conseguenza incrementarne il margine.

L'aspetto fondamentale, che denota l'importanza di tutto il processo, a partire dall'identificazione dei rischi fino al controllo della bontà delle contromisure adottate, è proprio quello relativo alla gestione del rischio durante l'intero ciclo di vita del progetto. Identificare, prevedere e pianificare permette infatti di mitigare fortemente gli impatti negativi sul progetto, riducendo ritardi, cali qualitativi e aumenti dei costi.

Il Risk Management è quindi sicuramente un processo complesso, lungo e che va ad abbracciare tutte le varie fasi del progetto, ma che riesce a portare benefici non indifferenti se applicato nel modo corretto e con le giuste basi tecniche ed economiche. Una cosa deve in ogni caso essere chiara: i rischi non possono essere totalmente annullati e bisogna quindi imparare a convivere con essi, gestendoli nel modo più appropriato.

## LA GESTIONE DEI RISCHI NEL MONITORAGGIO DI PROGETTO

Come più volte dichiarato nel corso di questo elaborato, un progetto ha insito al suo interno un'incertezza sistematica, dovuta al suo essere un qualcosa di innovativo, unico e soggetto a tre differenti vincoli tra di loro talvolta anche in contraddizione. Un progetto è quindi un qualcosa di complesso e in continua evoluzione.

Per questi motivi, come abbiamo avuto modo di vedere, è necessario monitorare e controllare con attenzione nel corso del tempo i progressi del progetto, per individuare eventuali scostamenti e riportare, quando possibile, il tutto sui giusti binari. I metodi al giorno d'oggi maggiormente usati, come il calcolo dell'Estimate at Completion, permettono di adempiere a questo compito, monitorando quindi quelli che sono i progressi del progetto ad un dato istante e al contempo stimandone tempi e costi a finire, ma non tengono in considerazione in tale stima quella che è la gestione corrente dei rischi del progetto. Rischi che sono invece una variabile principale all'interno dei progetti e di primaria importanza per quanto riguarda il raggiungimento dei loro obiettivi

Sebbene i dati delle performance del progetto all'istante in cui si effettua il monitoraggio, dai quali si procede poi alla stima dei tempi e costi a finire tramite l'EAC o altri metodi, siano dovuti e tengono in considerazione quelli che sono i rischi fino ad allora avvertiti, con i relativi impatti e le varie ed eventuali azioni correttive, le principali metodologie attuali non li prendono invece in considerazione nella fase successiva, ossia nel prevedere le performance finali del progetto.

Considerando come i rischi, e la loro relativa gestione da parte del management, siano invece cruciali in quelli che sono i risultati a livello di tempi, costi e qualità di un progetto, è quindi chiaro come il non considerarli nella fase delle stime a finire possa portare a delle valutazioni talvolta errate o non troppo precise. Il che si traduce, non solo potenzialmente in costi maggiori, tempi più lunghi, qualità minore o una combinazione di questi tre effetti, ma anche in probabili danni d'immagine con il committente esterno e i vari stakeholders.

Introdurre i rischi all'interno del calcolo della stima dei tempi e costi a finire di un progetto non è però semplice e, soprattutto, non vi è oggi una strada unica e adottata a livello universale per farlo. Al contrario, invece, metodi come l'Estimate at Completion, oltre a essere globalmente riconosciuti e utilizzati, permettono dei calcoli semplici, immediati e facili da comprendere, e restituiscono come output delle stime magari non sempre precisissime, ma in grado di garantire un buon livello di affidabilità.

Nonostante la bontà dei metodi classici, tenere in considerazione i rischi in tali stime potrebbe però rivelarsi essenziale in molti ambiti, dove ad esempio l'accuratezza di tali valutazioni deve essere il più alta possibile o in progetti dove i rischi sono molti e potenzialmente dirompenti. Anche nei progetti più semplici e meno articolati, l'integrazione dei rischi all'interno dei modelli di stima di tempi e costi a finire di un progetto potrebbe comunque portare a numerosi vantaggi, come una maggiore marginalità o una reputazione migliore. Per questo motivo è quindi essenziale studiare nuove metodologie, che provino a tenere in considerazione nel calcolo di queste stime a finire i rischi e la loro gestione in corso d'opera all'interno del progetto, in modo tale da aumentarne l'accuratezza e la precisione, oltre che portare ulteriori benefici all'organizzazione e al progetto stesso.

## ESTIMATE AT COMPLETION E RISK MANAGEMENT: LETTERATURA

Prima di procedere con l'esposizione di un nuovo modello per il calcolo della stima dei tempi e dei costi a finire di un progetto che tenga in considerazione anche quella che è la gestione dei rischi, è necessario sottolineare come questo elaborato non sia certo il primo a trattare l'argomento. Prima di oggi sono infatti stati svolti numerosi studi sulla materia, ma senza che uno standard ben definito si sia imposto sugli altri.

Per meglio delineare il panorama attuale, questo capitolo conterrà, come visto in precedenza anche nella precedente sezione dedicata alle ricerche sulle metodologie di calcolo dell'EaC, una letteratura non esaustiva ma significativa di quelli che sono ad oggi i principali studi e modelli fatti per integrare il controllo e il monitoraggio dei rischi all'interno di un progetto nel calcolo dell'Estimate at Completion.

Di seguito quindi alcuni modelli significativi che hanno cercato di tenere in considerazione il Risk Management all'interno del calcolo dell'EaC.

### Pajares J., López-Paredes A., 2010

Pajares e López-Paredes nel 2010 hanno provato a integrare i rischi all'interno dei classici metodi per il calcolo dell'Estimate at Completion, introducendo delle metriche apposite sia per quanti riguarda i costi che la schedulazione del progetto. Per fare ciò hanno inserito all'interno del loro modello la probabilità, dando sia al progetto che ai diversi task che lo compongono una durata/costo medio e una durata/costo massimo a un dato livello di confidenza deciso dal project manager responsabile.

Il modello del 2010 nasce a partire dal concetto di risk baseline, ossia il rischio residuale rimanente dall'istante  $t$  alla fine del progetto. Dal risk baseline Pajares e López-Paredes hanno sviluppato due differenti indicatori, uno per lo scheduling di progetto e uno per i costi, che hanno come obiettivo quello di facilitare l'adozione da parte dei project manager di misure correttive con un maggior anticipo. Lo studio non punta quindi a ottimizzare e rendere più efficace la stima dei costi e tempi a finire, ma a supportare il processo decisionale dei manager.

Considerando come il rischio complessivo di progetto con il proseguo del progetto stesso tenda a decrescere, il project risk all'istante  $t$  può essere considerato come la somma dei rischi delle attività non ancora portate a compimento, tenendo in considerazione le performance fino all'istante in questione. Pajares e López-Paredes, prima di esporre gli

indicatori di supporto al processo decisionale, hanno introdotto all'interno del loro elaborato due differenti buffer:

- Cost Project Buffer o CPB, che è pari alla differenza tra il costo massimo del progetto dato un certo valore di confidenza e il suo costo medio;
- Schedule Project Buffer o SPB, che è pari alla differenza tra la durata massima di progetto dato un certo valore di confidenza e la sua durata media.

L'intervallo di confidenza nella proposta di Pajares e Lòpez-Paredes è deciso dal project manager o dal board direttivo e i buffer sono divisi, attraverso dei pesi, su tutti gli slot temporali del progetto.

I due indicatori derivanti da tali concetti, e che vengono poi utilizzati come strumento decisionale, sono invece i seguenti, anche in questo caso uno dedicato ai costi e uno allo scheduling del progetto.

- Schedule Control Index o SCoI, definito come:

$$SCoI = ASB_t + SV_t = ASB_t + ES_t - AT$$

in cui ASB è lo Schedule Project Buffer cumulativo e SV è la Schedule Variance all'istante t. Se SCoI ha un valore negativo significa che la deviazione dello scheduling è più elevata di quanto inizialmente preventivato e, di conseguenza, indica la presenza di una situazione di rischio sotto tale aspetto;

- Cost Control Index o CCoI, definito come:

$$SCoI = ACB_t + CV_t = ACB_t + EV_t - AC$$

in cui ACB è lo Schedule Cost Buffer cumulativo e CV è il Cost Variance all'istante t. Funziona quindi come per il SCoI, con la sola differenza che l'istante t non è quello attuale, bensì quello pari all'Earned Schedule. Anche in questo caso un valore negativo di SCoI sta a indicare come la deviazione dei costi sia maggiore rispetto a quella preventivata inizialmente e rappresenta un campanello d'allarme sulla situazione attuale del progetto lato costi.

Per quanto il modello non punti a migliorare l'efficacia del calcolo dell'EaC, bensì ad espanderlo, e in quanto tale si tratti quindi un po' della mosca bianca in questo elenco di ricerche dedicate all'integrazione dei rischi nella stima a finire di un progetto, lo studio di Pajares e Lòpez-Paredes è particolarmente interessante. Degno di nota è in particolar modo l'approccio con cui è stata affrontata la tematica dei rischi, in una modalità poco invasiva e che necessita di dati facilmente reperibili. Purtroppo, lo studio non presenta particolari casi

di studio, se non uno molto semplice e non reale, e la sua utilità ed efficacia deve quindi ancor essere esplorata in casi reali. Innegabile in ogni caso come quello proposto dai due studiosi sia uno strumento comodo da utilizzare e in grado di dare concreto supporto al project manager.

Creedy et al., 2010

Anche quella di Creedy, Skitmore e Wong Kwok Wai Johnny del 2010, così come quella di Pajares e Lòpez-Paredes del medesimo anno, è una ricerca non correlata nello stretto senso della parola alla stima di tempi e costi a finire di un dato progetto, bensì allo studio dei vari centri di rischio di un progetto e della loro correlazione con i maggiori costi a finire di un progetto.

Lo studio, che si è basato sul settore edilizio e in particolare sulla costruzione di opere autostradali, nasce dal fatto che i costi finali di costruzione di tali autostrade presentano in media un overcost di circa il 28% rispetto a quanto inizialmente preventivato. Una situazione che porta gravi danni sia d'immagine che economici alle aziende dietro a tali opere e che, se risolta con stime di tempi e costi a finire più accurate, porterebbe di conseguenza a tali società numerosi vantaggi, come una maggiore credibilità. Obiettivo del lavoro di Creedy, Skitmore e Wong Kwok Wai Johnny è quindi stato quello di investigare tutti quelle fonti di rischio che potrebbero portare il progetto fuori da quanto inizialmente programmato in termini di costi, valutare se alcune di esse sono tra di loro correlate e sviluppare dei modelli di regressione che permettano di avere come variabile dipendente l'aumento in percentuale dei costi di progetto.

Partendo dalla letteratura inerente ai rischi del settore, interviste e dataset, Creedy, Skitmore e Wong Kwok Wai Johnny sono arrivati a comporre un database formato da 231 progetti di opere autostradali, tutti portati al prezzo corrente, e a individuare 28 possibili fattori di rischio. L'elicitarne un pool di otto esperti ha permesso poi di associare un valore numerico a dieci fattori di rischio del settore in base al loro collegamento con l'aumento dei costi, con le variabili più determinanti in tal senso che sono state definite la presenza di change order, ossia di cambiamenti all'interno di un progetto, e una carente analisi iniziale del progetto.

Lo studio alla fine non ha portato però a risultati evidenti né sulla correlazione tra diverse fonti di rischio né tra di esse e l'overcost in percentuale del progetto. L'unica, debole, correlazione emersa è quella con le dimensioni di un progetto, con lo studio che dimostra come più un progetto sia grande, meno gli overcost saranno in percentuale maggiori. Ipotesi

che però cozza con quanto emerso da altri studi citati dallo stesso lavoro di Creedy, Skitmore e Wong Kwok Wai Johnny, dove il risultato è esattamente l'opposto. Da tale lavoro emergono in ogni caso diversi aspetti interessanti, come il fatto che i diversi fattori di rischio non siano tra loro correlati e di come uno dei principali tra essi siano i change order. Si tratta quindi di un lavoro meritevole di attenzioni, che necessita però di essere approfondito sia per quanto riguarda lo stesso campo, includendo anche progetti dalle dimensioni minori di un milione di dollari australiani e provenienti da più zone del mondo, che in altri campi, che non siano solo quello edile.

#### Browning T.R., 2014

Browning ha proposto nel suo studio un framework per tenere in considerazione il valore di un progetto, considerando nella sua analisi anche i rischi. Il primo passo di tale studio è stato quello di definire quattro differenti aspetti del valore di un progetto:

- Valore desiderato: ossia quello che si aspettano e vogliono gli stakeholder dal progetto in questione;
- Valore attuale: il valore effettivo del progetto, non è detto che sia pari a quello desiderato dagli stakeholders;
- Valore obiettivo: valore definito in fase di programmazione in quanto a deadline, budget e specifiche tecniche;
- Valore probabile: quello che si presuppone avere al termine di un progetto quando si è nel mezzo di esso. Più ci si avvicina alla fine del progetto più si avvicina a quello che è il valore attuale.

Tra questi aspetti del valore di un progetto, secondo Browning, si inseriscono due potenziali gap, ossia:

- Goal Value Gap: la differenza che si va a formare tra il valore obiettivo e quello probabile, ossia tra quello che si preventivava di raggiungere a inizio progetto e quello che si stima essere quello finale;
- Stakeholder Value Gap: la differenza tra il valore desiderato dagli stakeholder e quello che si era preventivato come obiettivo del progetto.

Come facilmente osservabile, in base alla teoria di Browning ottenere un quantitativo di valore pari a quello obiettivo potrebbe non significare soddisfare gli stakeholder del progetto e tale aspetto porta alla luce l'importanza di saper riconoscere con cura le aspettative delle

parti interessate al progetto e al contempo definire degli obiettivi che le soddisfano. Lo scopo dello studio di Browning è proprio quello di quantificare queste tipologie di valori, di gap e metterle in relazione con i rischi e le opportunità che contraddistinguono ogni singolo progetto.

Il primo passo del modello di Browning, il cosiddetto Project Value, Risk and Opportunity Framework o PRVO, consiste nel quantificare il valore obiettivo del progetto, attraverso un vettore discretizzato dei principali desideri degli stakeholder. Una volta fatto questo passaggio si ottiene un ulteriore vettore contenente un valore obiettivo per ogni desiderio individuato: il valore obiettivo finale può poi essere definito come sommatoria di tutti i valori obiettivo singoli o come il minimo tra di essi. Con tale procedura si cerca di minimizzare il più possibile gli errori nella definizione del valore obiettivo e, di conseguenza, quello che è lo Stakeholder Value Gap.

Il secondo passo del PRVO si basa invece sulla definizione del valore probabile, in cui per ogni attributo si stima un valore pessimistico/ottimistico/più probabile. Una volta assegnato un valore ad ogni variabile, il valore probabile finale è come per il valore obiettivo finale definito come sommatoria di tutti i valori probabili singoli o come il minimo tra di essi. Con la definizione di questi due valori è quindi possibile ottenere il Goal Value Gap, un cui valore positivo indica un progetto dal valore superiore a quello obiettivo, e presumibilmente anche a quello desiderato, mentre un valore negativo indica un probabile valore finale minore di quello obiettivo e, di conseguenza, anche molto probabilmente di quello degli stakeholder.

Rischi e opportunità sono considerati all'interno del progetto sempre come vettori, con l'impatto di tali rischi che è definito come la variazione del singolo attributo rispetto al suo valore obiettivo pesata per quella che è la probabilità di avvenimento.

Il PRVO, che è stato testato nel corso dello studio in due differenti progetti, si è rivelato in essi efficace e adatto per essere applicato a diverse tipologie di progetto. Tale framework necessita di una accurata analisi a monte di identificazione e quantificazione dei desideri dei vari stakeholder e può quindi rivelarsi in diversi casi complesso da applicare a causa della mancanza di tempo per effettuare tali ricerche o per l'eccessiva difficoltà di estrarre tali informazioni. La ricerca di Browning ha messo in ogni caso in luce l'importanza della giusta definizione degli obiettivi di progetto, che devono essere in linea con quelli desiderati dai vari stakeholders.

Babar et al., 2016

Concentrandosi su quello che è il settore delle costruzioni e dell'edilizia, spesso pronò a scenari incerti e incline ai rischi, Babar, Thaheem e Ayub hanno proposto nel loro studio del 2016 un nuovo modello per la stima dei costi a finire di un progetto basato sui past performance factor e contenente come variabile nell'indice una terza variabile inerente al rischio, oltre che i classici SPI e CPI.

Questo terzo indicatore, che prende il nome completo di Risk Performance Index o RPI, è costituito dalla sommatoria pesata di 16 differenti variabili inerenti alla qualità, la sicurezza, la soddisfazione degli stakeholder e i rischi emerse dalla letteratura. Variabili convalidate in quanto a importanza e peso grazie a una serie di interviste fatte a professionisti e accademici e validate in seguito con dei test statistici. A differenza di SPI e CPI, che possono anche superare l'unità, RPI è una variabile che può assumere valori compresi tra lo 0 e l'1.

Di seguito la formula proposta da Babar, Thaheem e Ayub:

$$EAC = AC + \frac{BAC - BCWP}{w_1 * CPI + w_2 * SPI + w_3 * RPI}$$

In cui  $w_1$ ,  $w_2$  e  $w_3$  sono i pesi assegnati ai tre indicatori e che sommati arrivano all'unità, riproponendo quindi gli stessi concetti alla base del composite index, ma espansi per tenere in considerazione anche questo terzo indicatore introdotto nello studio. L'importanza delle diverse variabili e, di conseguenza, dei relativi pesi, come suggerito da studi precedenti, non è fisso nel corso del tempo e Babar, Thaheem e Ayub hanno quindi sviluppato quattro differenti combinazioni di pesi, in base al quarto in cui si trova il progetto (0-25%, 26-50%, 51-75%, 76-100%). Per ottenere i pesi di CPI, SPI e RPI in ognuno dei quattro quarti, sono state svolte altre interviste a manager e professionisti con alle spalle almeno due progetti nel settore edilizio.

Quello che è emerso dal lavoro di Babar, Thaheem e Ayub è che tale modello si è rivelato più accurato dei classici metodi per il calcolo dell'EAC, proponendo stime con una variazione media rispetto al BAC del 1,08%, mentre i metodi tradizionali hanno una variazione media del 2.15% in tale settore. Per essere applicato con successo, come sottolineato nello stesso studio, tale metodologia deve però necessitare di una grande accuratezza e quantità di dati, provenienti anche da numerose interviste a esperti e professionisti. Da non sottovalutare è infine il fatto che le 15 variabili facenti parte del RPI potrebbero essere espanse o modificate, in base al settore o ad altri studi, in modo tale da

rendere ancor più accurato il modello o per renderlo più adatto a un determinato settore che non sia quello edilizio o delle costruzioni.

Miguel et al., 2019

Oltre che sulla gestione del rischio all'interno di un progetto, Miguel, Madria e Polancos si sono concentrati anche sulla qualità, ossia sul terzo vincolo fondamentale di ogni progetto insieme ai tempi e ai costi. Il voler concentrarsi anche sulla qualità nasce dal fatto che solitamente i problemi sotto tale terzo aspetto sono osservabili solamente nelle fasi finali di un progetto e poterli prevedere con un più largo anticipo potrebbe rivelarsi un quid non indifferente per un project manager. Non raggiungere determinati standard, del resto, porta tra le altre cose a dei necessari rework, che finiscono per dilatare anche i costi e i tempi complessivi del progetto.

Il modello utilizza il metodo dell'Earned Schedule, visto in precedenza nel capitolo dedicato all'Estimate at Completion, e due differenti serie di indicatori, una dedicata alla qualità e l'altra al rischio. Per quanto riguarda le metriche per il controllo della performance qualitativa del progetto ne sono state utilizzate sette differenti e possiamo trovare tra di esse ad esempio l'aver superato o meno i vari requisiti di qualità a ogni milestone, la percentuale di EV con la qualità richiesta, il costo e il tempo stimato del rework e altri indicatori da essi derivati.

Le metriche sul rischio utilizzate sono invece 6, con Miguel, Madria e Polancos che hanno considerato nel loro modello:

1. Rework Cost Impact Rate o  $RC_i$ , ossia:

$$RC_i = \frac{Cost\ Impact}{ACWP}$$

dove Cost Impact è pari ai costi effettivi e stimati di quelli che sono i rework necessari del singolo rischio;

2. Rework Time Impact Rate o  $RT_i$ , ossia:

$$RT_i = \frac{Time\ Impact}{Actual\ Time}$$

dove Time Impact è pari ai tempi effettivi e stimati di quelli che sono i rework necessari del singolo rischio e Actual Time è pari al tempo passato dall'inizio del progetto all'istante attuale;

3. Cost Risk Value o CRV, ossia:

$$CRV = BAC - (EaC + cost\ risk)$$

in cui cost risk è la somma tra i costi dei rischi collegati e non alla qualità del progetto. Il CRV calcola quindi la Cost Variance finale del progetto, assumendo che il costo del rework necessario all'istante della misurazione sia proporzionale a quello nei task rimanenti;

4. Schedule Risk Value o SRV, ossia:

$$SRV = BAC - (AC + \text{schedule risk})$$

in cui schedule risk è la somma tra i costi dei rischi collegati e non alla qualità del progetto e AC è l'estimate time at completion. Il SRV calcola quindi la Schedule Variance finale del progetto, assumendo che le tempistiche per i rework necessari all'istante della misurazione siano proporzionali a quelle nei task rimanenti;

5. Cost Risk Index o CRI, ossia:

$$CRI = \frac{CRV}{BAC}$$

che misura quanto critico è il costo del rischio rispetto ai costi inizialmente pianificati per il progetto;

6. Schedule Risk Index o SRI, ossia:

$$SRI = \frac{SRV}{PD}$$

in cui PD è la data pianificata di completamento e che misura quanto critico è il rischio inerentemente alla schedulazione rispetto a quanto inizialmente pianificato per il progetto;

Tale modello è stato testato su un progetto d'esempio, denotando buoni risultati e soprattutto la capacità di far emergere alcuni costi nascosti nelle metodologie classiche, come quelli di rework e quelli inerenti al rischio. Si tratta quindi di un modello degno di nota, ma che in attesa di prove su progetti reali appartenenti a diversi ambiti, necessita ancora di essere approfondito.

Narbaev et al., In attesa di pubblicazione

A provare a integrare nelle tradizionali metodologie di calcolo dell'Estimate at Completion il Risk Management sono stati anche Narbaev, De Marco e Vanhouche, che hanno nel loro studio preso in considerazione quella che è la spesa della contingency reserve all'interno di un progetto e il comportamento del manager nella sua gestione. I project manager possono infatti prendere azioni differenti per prevenire e rispondere ai rischi in base alla loro attitudine. Attitudine che nello studio viene distinta in tre differenti categorie di comportamento: proattiva, quando il project manager preferisce spendere prima la

contingency per prevenire i rischi, reattiva, quando invece il manager reagisce ai rischi solo quand'essi si presentano e, infine, neutrale, che può essere considerata come una via di mezzo tra le due categorie precedentemente citate e che implica un uso della contingency costante nel corso del progetto.

Il modello proposto da Narbaev, De Marco e Vanhouche si fonda, oltre che sull'integrazione della spesa della contingency reserve nel corso del tempo, sul modello per il calcolo dell'EaC di Narbaev e De Marco del 2014, che si sviluppa su una regressione non lineare basata sul Gompertz growth model o GGM, ossia:

$$EaC = AC + [GGM(CF) - GGM]xBAC$$

in cui GGM(CF) e GGM rappresentano il consumo del BAC. Un modello che nello studio del 2014 si è rivelato come superiore dei metodi classici per quanto riguarda l'accuratezza del calcolo dell'Estimate at Completion.

Lo studio riprende quindi il modello del 2014 e integra all'interno di esso la spesa della contingency, che qui viene considerata come percentuale del budget a completamento, una pratica che come descritto nei precedenti capitoli è nota in letteratura. Per semplicità GGM(CF) - GGM viene d'ora in avanti indicato con il simbolo  $\Omega$ . Considerando tale notazione e l'integrazione della contingency nel modello, l'Estimate at Completion viene calcolato come di seguito:

$$EaC = AC + \Omega x BAC + \Omega x Contingency$$

Formula che in base a quella che è l'attitudine dei project manager si suddivide poi in tre differenti forme, seguendo quindi il tasso di spesa della contingency che è regolato da  $\Omega$ :

- Proattiva, attitudine contrassegnata da un tasso di spesa della contingency decrescente, regolato da  $\Omega^2$ :

$$EaC = AC + \Omega x BAC + \Omega^2 x Contingency$$

- Reattiva, attitudine in cui il tasso di spesa della contingency è invece crescente nel tempo e viene regolato da  $\sqrt{\Omega}$ :

$$EaC = AC + \Omega x BAC + \sqrt{\Omega} x Contingency$$

- Neutrale, attitudine in cui il tasso di spesa della contingency reserve è costante nel corso del tempo e viene regolato da  $\Omega$ :

$$EaC = AC + \Omega x BAC + \Omega x Contingency$$

Lo studio, testato su due progetti aereospaziali, ha portato alla definizione di un modello accurato per il calcolo dell'EaC e, soprattutto, alla conclusione che il modo in cui la Contingency Reserve viene spesa all'interno del progetto sia una variabile da tenere in considerazione per rendere più accurati i metodi per la stima di tempi e costi a finire. La scelta di considerare la spesa della contingency attuale come indicatore dei rischi futuri si è quindi rivelata valida.

#### CONSIDERAZIONI FINALI

Nel corso degli ultimi anni sono già stati effettuati diversi studi che cercano di integrare la gestione dei rischi all'interno della stima dei tempi e dei costi a finire di un progetto. Tali ricerche sono andate a toccare diverse tipologie di modelli di EaC e, soprattutto, a considerare vari aspetti inerenti al rischio, come ad esempio le aspettative degli stakeholder, costi e tempi di rework, la qualità attesa di un progetto e molto altro ancora.

Tutti spunti interessanti e dal grande valore, ma che vanno a basarsi su caratteristiche e informazioni non sempre facili da ottenere all'interno di un progetto e che si sviluppano su modelli non sempre facilmente comprensibili dai non addetti ai lavori o agli esponenti del team di progetto, come ad esempio dal direttivo che deve essere sempre informato delle performance del progetto in questione.

## PROPOSTA DI MODELLO

In seguito allo studio della letteratura dei vari metodi per la stime a finire di tempi e costi di progetto, è quindi chiaro come un modello per il calcolo dell'Estimate at Completion che sia valido ed efficace abbia bisogno di alcune caratteristiche ben definite, che possono essere riassunte nei seguenti punti:

- **Semplice da applicare:** come evidenziato fin dagli anni '80 (Covach et al., 1981), i manager vogliono essere in grado di effettuare le stime di tempi e costi a finire attraverso metodi semplici e veloci. Su tale aspetto si va poi ad aggiungere la necessità di non utilizzare KPI e indicatori complessi o che necessitano di estrapolazioni costose e lunghe di dati, come ad esempio analisi ricorrenti e articolate sul singolo task. A opzioni arzigogolate e complesse sono quindi preferiti modelli in grado di restituire stime in modo celere e senza l'utilizzo di dati complessi da recuperare;
- **Comprensibile:** i project manager devono nella maggior parte dei casi rendere conto delle performance di un progetto a un project sponsor o a superiori non sempre vicini a quella che è l'operatività sul campo. Un modello efficace per il calcolo dell'Estimate at Completion deve quindi essere in grado di essere comprensibile con semplicità anche dal board direttivo e utilizzare di conseguenza metriche da esso intellegibili;
- **Generale:** come visto in precedenza, i progetti sono una costante di praticamente ogni settore e sono, anche all'interno della stessa area, spesso e volentieri tra di loro molto differenti. Per produrre una stima puntuale dei tempi e dei costi a finire di un dato progetto, la strada migliore sarebbe quindi quella di elaborare un modello in grado di tenere conto delle variabili uniche del progetto in questione, compreso il parere soggettivo degli esperti e dei responsabili di tale impresa temporanea. Questo aspetto, oltre a cozzare decisamente con la necessità di avere un modello semplice da utilizzare e comprendere, crea considerevoli difficoltà proprio nella creazione del modello stesso. Per questo motivo la proposta di questo elaborato, così come quella di molti studi precedenti, si concentra sulla creazione di un modello che possa essere applicato a più progetti possibile.

Un aspetto da tenere in grande considerazione, oltre a quelli precedentemente elencati, è quello relativo alla maggiore potenza e diffusione dei calcolatori al giorno d'oggi rispetto al

periodo storico in cui sono stati stilati numerosi degli studi sull'argomento analizzati in precedenza. Se decine di anni fa il calcolo di un'equazione di regressione poteva rivelarsi complesso per diversi manager, ora grazie agli strumenti odierni esso può invece essere svolto senza troppe problematiche all'interno di qualsivoglia progetto.

Prima di andare a presentare il modello dell'elaborato, è inoltre necessario specificare come sia per forza di cose impossibile inserire tutte le variabili possibili e immaginabili correlate al rischio al suo interno. Questo per principalmente tre diversi motivi: il primo è che individuarle e quantificarle tutte in modo esaustivo è molto difficile se non quasi utopico, il secondo che per molte di queste variabili, anche se individuate, è difficile ottenere dati in modo semplice e affidabile, cozzando quindi con il primo punto individuato dallo studio, e, infine, il terzo che non è per forza detto, come testimoniato da più studi, che inserire tutte le variabili possibili sia la scelta migliore per ottenere una formula per il calcolo dell'Estimate at Completion efficace e affidabile. (Kamoona K.R.K., Budayan C., 2019 - AlHares E.F.T., Budayan C., 2019)

Un modello quindi semplice, comprensibile e generale, che non richieda inoltre conoscenze particolari in vari ambiti, come della simulazione Monte Carlo o della statistica Bayesiana (El-Sabban M.Z., 1973), e che non necessiti neanche di input lunghi e difficili da ottenere, come ad esempio di interviste e questionari (Babar et al., 2016). Il tutto nell'ottica di rendere l'utilizzo del metodo il più semplice e veloce possibile per i project manager: una conditio sine qua non per elaborare una metodologia per il calcolo dell'EaC che possa essere applicata sul campo in modo efficace su più progetti possibile.

### Modello proposto per il calcolo dell'EaC

Il modello proposto da questo elaborato è un'equazione di regressione, con come variabile dipendente l'Estimate at Completion e come variabili indipendenti una serie di fattori composta sia da elementi noti in letteratura, come il Cost Performance Index e lo Schedule Performance Index, che da altre variabili proposte per l'occasione inerenti ai rischi di progetto. Una scelta, quella di utilizzare un'equazione di regressione per il calcolo dell'EaC, già presente in letteratura in diverse forme e che ha spesso prodotto risultati validi e affidabili. Come forma viene utilizzata un'equazione non lineare polinomiale, in grado ossia di contenere al suo interno più variabili indipendenti e di meglio rappresentare l'andamento non lineare di quelli che sono i costi del progetto. La scelta di utilizzare un'equazione di regressione non lineare è più volte presente in letteratura, sia nelle metodologie classiche per

il calcolo dell'EaC (Karsch O.A., 1974-1976 - Weida W.J., 1977) che negli studi che cercano di integrare i rischi all'interno di un modello per il calcolo dell'Estimate at Completion (Narbaev et al., In attesa di pubblicazione). In entrambi i casi si è rivelata una scelta in grado di produrre stime affidabili e precise.

Di seguito quella che è quindi la formula indicativa di questo secondo modello:

$$EaC = \beta_0 + \sum \beta_i X_i^j + \varepsilon$$

in cui  $X_i$  sono le "i" variabili considerati per il calcolo dell'Estimate at Completion, j il grado della variabile e  $\beta_i$  i relativi coefficienti. Tra le variabili prese in considerazione possiamo trovare i seguenti indicatori, già visti nei metodi classici di calcolo dell'EaC:

- Cost Variance o CV;
- Schedule Variance o SV;
- Cost Performance Index o CPI;
- Schedule Performance Index o SPI;
- Budget a Completamento o BAC.

A tali variabili se ne vanno poi ad aggiungere altre, basate su numerosi elementi e fonti di rischio all'interno del progetto, emerse come particolarmente significative dagli studi analizzati precedentemente. Tali variabili altro non sono infatti che indicatori relativi al rischio del progetto e che considerati insieme riescono a produrre una visione generale di quelli che possono essere gli effetti dei rischi sui costi e tempi complessivi. Di seguito sono elencati i vari indicatori presenti nella regressione, divisi in base ai diversi fattori che vogliono andare a misurare.

Di tali variabili deve essere verificato che non esista tra di loro una correlazione, che possa quindi falsare il calcolo dell'Estimate at Completion, e che abbiano effettivamente un ruolo significativo nella stima dei costi a finire di un progetto. Per il primo punto è in ogni caso interessante notare come le diverse fonti di rischio individuate non siano solitamente tra di loro correlate. (Creedy et al., 2010) Ciò, per quanto interessante, non porta ovviamente per una lunga serie di motivi a rendere superfluo il cercare eventuali correlazioni tra le variabili, che dovranno quindi essere verificate. L'effettiva analisi e prova di questi due punti viene lasciata a studi successivi sull'argomento, a causa dell'attuale assenza di un dataset

abbastanza grande e dotato delle informazioni richieste, necessario per validare il modello e poter di conseguenza studiare l'eventuale correlazione e significatività delle variabili individuate. Per questo motivo per le varie fonti di rischio individuate dalla letteratura vengono proposte più variabili, che vanno ad analizzarle in modo differente e da diversi punti di vista. Una volta che sarà disponibile il dataset necessario per la validazione del modello, sarà facile individuare quali variabili riescono a dare un miglior approccio nella produzione di stime a finire del progetto.

### Contingency Reserve

Uno degli aspetti più importanti inerenti ai rischi di un progetto è sicuramente la contingency reserve, un budget che, come descritto nei precedenti capitoli, deve essere misurato con grande attenzione, onde evitare una cattiva gestione economica del progetto, nel caso fosse troppo elevato rispetto a quanto necessario, o delle performance peggiori del previsto, se fosse invece minore di quello ottimale. (Dey et al., 1996 - Touran A., 2003) Quantificare correttamente la contingency reserve è poi fondamentale anche per analizzarne il tasso di spesa durante il progetto stesso.

L'importanza del valutare come viene spesa la contingency reserve in un progetto al fine di rendere più affidabile e accurato il calcolo dell'Estimate at Completion è presente in diversi lavori, come in "Risk-based cost estimates at completion: Integrating cost contingency into earned value management cost forecasting" (Narbaev et al., In attesa di pubblicazione). Nel loro studio viene considerato anche quello che è l'atteggiamento del manager, che può comportarsi in diversi modi dinnanzi ai rischi. Nelle variabili seguenti tale aspetto non è presente per conseguire una maggiore semplicità del modello e renderlo così più veloce da applicare. Si potrebbe quindi potenzialmente ottenere un risultato meno affidabile rispetto a quello ottenibile considerando anche la propensione al rischio dei manager, ma è innegabile come il trade-off della semplicità, che ricordiamo essere uno dei principali capisaldi dell'elaborato, sia evidente. Da non dimenticare è poi in ogni caso come rispetto ai metodi classici per la stima di tempi e costi a finire venga considerato in tale modello un aspetto in più studi definito come rilevante per il calcolo dell'EaC.

I seguenti indicatori vanno quindi a misurare il comportamento di spesa della contingency reserve, in modo tale da introdurre all'interno dell'equazione di regressione per il calcolo del RPI delle variabili inerenti a tale aspetto. Una scelta, quella di studiare la spesa della contingency backward per stimare il comportamento dei rischi in ottica forward, validata

anche da altri lavori, come il precedentemente citato studio di Narbaev, De Marco e Vanhouche.

### Contingency Spending Slope

La contingency reserve è, come visto in precedenza, un budget stanziato all'inizio di un progetto per fare fronte ai vari rischi che potrebbero presentarsi nel corso di esso. Si assume, così come fatto in uno dei modelli del precedentemente citato studio di Narbaev, De Marco e Vanhouche, per un progetto una spesa per la contingency dall'andamento a S. La contingency viene quindi indicativamente spesa come nel grafico in figura 6. Seguendo quanto già visto con l'andamento dei costi del progetto, anche la spesa della contingency nel corso del tempo può in ogni caso, volendo ulteriormente semplificare, essere assunta come lineare.

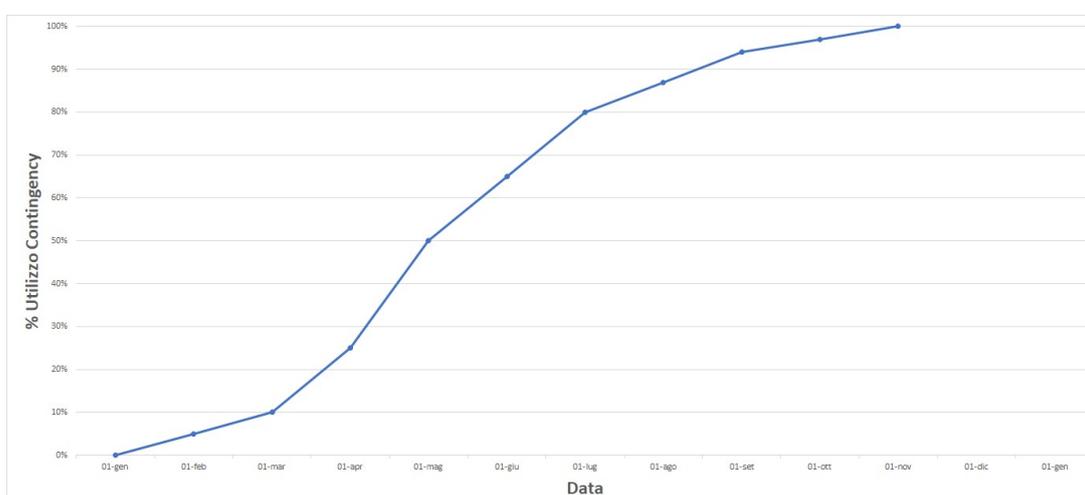


Figura 6: andamento a S dell'utilizzo della contingency reserve

Per osservare quello che è l'andamento della spesa della contingency reserve nel corso del tempo viene considerato all'interno della equazione di regressione quello che è il Contingency Spending Slope o CSS, ossia il coefficiente angolare di tale curva nel tratto che arriva al periodo attuale da quello precedente. Il CSS viene quindi calcolato con la seguente formula:

$$CSS = \frac{Contingency_t - Contingency_{t-1}}{t - t_{-1}}$$

In tal modo si ottiene un valore che assume proprio il medesimo concetto alla base del coefficiente angolare di una qualsiasi retta e in quanto tale permette di vedere l'inclinazione del tasso di spesa della contingency nell'istante dato. Un valore positivo di CSS sta quindi a significare che la contingency sta venendo spesa, mentre un valore nullo indica che

nell'ultimo periodo non è stato speso niente lato contingency. Il valore, sia che esso sia maggiore che pari a zero, di CSS indica infine l'inclinazione della spesa della contingency nell'ultimo periodo, ossia la pendenza.

Un secondo approccio per il calcolo della Contingency Spending Slope è invece quello di non considerare solo il coefficiente angolare della curva di spesa all'istante t, ma di prenderlo come media dei coefficienti fino a tale istante. Con tale metodologia il CSS viene calcolato come di seguito.

$$CSS = \frac{\sum_{i=1}^t m_i}{t}$$

dove  $m_i$  è il coefficiente angolare della curva all'istante i e t è il periodo attuale, ossia il numero di periodi totali di cui sono disponibili i dati.

Un approccio simile al secondo è poi il terzo, in cui viene sempre calcolata la Contingency Spending Slope all'istante t come media dei coefficienti angolari fino a tale istante, ma in cui viene dato un valore maggiore agli istanti più recenti dei coefficienti angolari della curva di spesa della contingency reserve. Il CSS può quindi essere come di seguito calcolato:

$$CSS = \frac{\sum_{i=1}^t \frac{i}{t} m_i}{\sum_{i=1}^t \frac{i}{t}}$$

dove  $m_i$  è il coefficiente angolare della curva all'istante i e t è il periodo attuale, ossia il numero di periodi totali di cui sono disponibili i dati. In tal modo si riesce quindi a dare un peso maggiore ai coefficienti angolari della curva di spesa man mano che si avvicinano all'istante attuale, creando così un trend che si possa riflettere su quelle che sono le stime dei costi a finire del progetto.

### Contingency Spending Performance Index

Questo indicatore di performance ha come obiettivo quello di valutare le prestazioni del progetto per quanto riguarda quella che è la spesa della contingency reserve. Assumendo per essa un andamento a S o, per semplificare ulteriormente, lineare, il Contingency Spending Performance Index o CSPI può essere calcolato come di seguito:

$$CSPI = \frac{BCS}{ACS}$$

in cui BCS è la spesa della contingency reserve a budget per l'istante t, mentre ACS è la spesa effettiva della contingency, sempre inerente all'istante t inteso non come istante attuale, ma come istante relativo all'Earned Schedule, seguendo un ragionamento presente in letteratura su variabili simili. (Pajares J., López-Paredes A., 2010) Nel caso in cui non fosse stata definita a priori una curva di spesa della contingency reserve, in modo tale da stimare il BCS, è comunque possibile ottenere tale valore assumendo tale curva come lineare e BCS pari al rapporto tra la contingency reserve e la percentuale di completamento pianificata per l'istante t. Un indicatore che ricorda la logica alla base dei vari CPI e SPI, indicatori chiave nelle varie metodologie per la stima di tempi e costi a finire.

Così come nel CPI e nel SPI, anche per il CSPI un valore maggiore di uno sta a significare come l'impatto dei rischi all'istante t sia minore rispetto a quanto inizialmente preventivato, mentre un valore minore dell'unità rispecchia una spesa per i rischi maggiore di quanto previsto e, di conseguenza, una possibilità maggiore di sfiorare quello che è il budget stanziato per i rischi. Un CSPI pari a uno, infine, indica come la situazione riguardante la spesa della contingency reserve sia perfettamente in linea con le previsioni.

#### Response Effectiveness for Opportunities

Come descritto anche nei precedenti capitoli, all'interno di un progetto esistono sia rischi negativi, che se realizzati hanno quindi un impatto negativo su costi e tempi del progetto, che rischi positivi, che prendono il nome di opportunità e che hanno invece un impatto positivo su tempi e costi. Prendere in considerazione le opportunità di un progetto nel calcolo dell'Estimate at Completion potrebbe quindi essere determinante per aumentare l'affidabilità della stima dei costi a finire.

Non essendo le opportunità degli eventi negativi a cui dover attingere da un budget se avvenute, viene utilizzato in questo elaborato il Response Effectiveness for Opportunities o  $RE_{Opp}$ , un indicatore introdotto nel 2018 dal paper "Measuring the Effectiveness of Risk Assessment in Project Portfolio Management" (De Marco et al., 2018). Tale indicatore, se preso nell'istante t e non a completamento del progetto come visto nello studio, permette di osservare la bontà attuale delle strategie adottate per massimizzare le opportunità e, di conseguenza, stimarne l'impatto a finire. Il Response Effectiveness for Opportunities è così definito:

$$RE_{Opp} = \frac{MI_{OCR}}{MI_{OCR} + MI_{OCNR}}$$

ossia come rapporto tra l'impatto monetario delle opportunità effettivamente realizzatosi all'istante  $t$  e la somma dell'impatto monetario delle opportunità realizzate e non al medesimo istante. Il tutto riferendosi solo a quelle opportunità che avrebbero potuto effettivamente avverarsi ed essere concluse a tale istante, non considerando quindi tutte quelle inerenti a task, attività o altro non ancora attive o concluse.

Il  $RE_{Opp}$  è un indicatore che varia da 0 ad 1, con un valore più positivo per il management più ci si avvicina all'unità, ossia alla realizzazione di più opportunità possibili su quelle totali.

### Management Reserve

Gli indicatori seguenti si concentrano sul misurare le performance di un progetto per quanto riguarda la spesa della management reserve, cioè di quel budget di progetto riservato alle fatalità, ossia a quei rischi di cui non è stato possibile prevedere né l'impatto né tantomeno le probabilità di accadimento. Così come i rischi, anche le fatalità possono rivelarsi determinanti nella definizione di tempi e costi a finire di un progetto.

### Management Spending Slope

Per osservare quello che è l'andamento della spesa della management reserve nel corso del tempo viene considerato all'interno della equazione di regressione quello che è il Management Spending Slope o MSS, ossia il coefficiente angolare di tale curva nel tratto che arriva al periodo attuale da quello precedente. Il MSS viene quindi calcolato con la seguente formula:

$$MSS = \frac{Management_t - Management_{t-1}}{t - t_{-1}}$$

In tal modo si ottiene un valore che assume proprio il medesimo concetto alla base del coefficiente angolare di una qualsiasi retta e in quanto tale permette di vedere l'inclinazione del tasso di spesa della management reserve nell'istante dato. Un valore positivo di MSS sta quindi a significare che la management reserve sta venendo spesa, mentre un valore nullo indica che nell'ultimo periodo non è stato speso niente lato management. Il valore, sia che esso sia maggiore che pari a zero, di MSS indica infine l'inclinazione della spesa della management reserve nell'ultimo periodo, ossia la pendenza.

Anche per il Management Spending Slope vi è poi un secondo approccio, che vede il MSS come il coefficiente angolare medio della curva di spesa della management reserve fino all'istante in questione. Il MSS può quindi essere come di seguito calcolato:

$$MSS = \frac{\sum_{i=1}^t m_i}{t}$$

dove  $m_i$  è il coefficiente angolare della curva all'istante  $i$  e  $t$  è il periodo attuale, ossia il numero di periodi totali di cui sono disponibili i dati.

Un terzo e ultimo approccio per il calcolo di questa variabile è infine quello che vede il Management Spending Slope o MSS come media pesata dei coefficienti angolari della curva di spesa della Management Reserve. In questa metodologia viene quindi dato un valore maggiore agli istanti più recenti dei coefficienti angolari della curva di spesa della management reserve. Il MSS può quindi essere come di seguito calcolato:

$$MSS = \frac{\sum_{i=1}^t \frac{i}{t} m_i}{\sum_{i=1}^t \frac{i}{t}}$$

dove  $m_i$  è il coefficiente angolare della curva all'istante  $i$  e  $t$  è il periodo attuale, ossia il numero di periodi totali di cui sono disponibili i dati. In tal modo si riesce quindi a dare un peso maggiore ai coefficienti angolari della curva di spesa man mano che si avvicinano all'istante attuale, creando così un trend che si possa riflettere su quelle che sono le stime dei costi a finire del progetto.

### Management Spending Performance Index

Così come è necessario monitorare in corso d'opera lo stato dei rischi individuati e di cui è stato stimato un impatto e una probabilità di accadimento, così è fondamentale tenere sotto attenta osservazione anche le fatalità che potrebbero incorrere in un progetto. Ovviamente in questo caso, trattandosi di eventi totalmente imprevedibili, è necessario fare delle assunzioni del caso, assumendo che tali fatalità si presentino in modo costante nel corso del tempo, portando di conseguenza a una cumulata dalla forma lineare.

Seguendo la filosofia alla base anche del Contingency Spending Performance Index, il Management Spending Performance Index o MSPI, si può calcolare con la seguente formula:

$$MSPI = \frac{BMS}{AMS}$$

in cui BMS è la spesa della management reserve a budget e AMS è invece la spesa effettiva della management reserve; entrambe all'istante t dell'Earned Schedule. Considerando come le fatalità siano completamente imprevedibili sia in termini di impatto che di probabilità di avvenimento, con la management reserve che è di conseguenza solitamente stimata come percentuale del budget dell'intero progetto, BMS all'istante t è considerato come il rapporto tra la management reserve e la percentuale di completamento pianificata per l'istante t. In un progetto considerato di 10 mesi inizialmente, BMS al quarto mese sarà quindi pari al 40% della management reserve stanziata inizialmente.

Come in precedenza visto per la CSPI, anche per la MSPI un valore maggiore di uno indica come l'impatto delle fatalità all'istante t sia minore rispetto a quanto inizialmente preventivato, mentre un valore minore dell'unità rispecchia una spesa per le fatalità maggiore di quanto previsto e, di conseguenza, una possibilità maggiore di sfiorare quella che è la management reserve. Un MSPI pari a uno, infine, indica come la situazione riguardante la spesa della management reserve sia perfettamente in linea con le previsioni di andamento lineare di spesa.

#### Fatality Performance

Un'altra variabile che va a considerare, come il Management Spending Performance Index, le performance riguardanti le fatalità nel progetto ma in un modo differente è il Fatality Performance o FT, che è calcolata come di seguito:

$$FT = \frac{\text{Management Reserve}}{\% \text{ completamento}} - \sum I$$

in cui I è l'impatto delle varie fatalità avvenute all'istante t. FT può quindi assumere sia valori positivi che negativi, denotando nel primo caso un progetto fino all'istante oggetto di analisi non troppo soggetto a fatalità e nel secondo caso un progetto che ha invece già pesantemente eroso la management reserve. Un valore troppo negativo è quindi sintomo di un progetto in balia di rischi imprevedibili.

A tale indicatore può venire associato un fattore di correzione, definito come Fatality Correction Factor o FCF, basato sul numero di fatalità effettivamente avvenute. Tale fattore viene calcolato come il rapporto tra il numero di fatalità presentatesi all'istante t e la media di fatalità di un progetto per l'organizzazione, secondo quindi stime per analogia come succede per la definizione della management reserve, pesata per la % di completamento. Ossia, in formula:

$$FCF = \frac{\#Fatalità\ avvenute}{\frac{\text{Numero medio di fatalità}}{\% completamento}}$$

Un valore di FCF maggiore di 1 porta quindi ad amplificare il Fatality Performance, sottolineando come il progetto in questione sia soggetto a un numero maggiore di fatalità rispetto a quanto inizialmente previsto, mentre un valore minore dell'unità sta a indicare un progetto che al momento della rilevazione è andato incontro a meno fatalità di quelle solitamente incontrate da un progetto dell'organizzazione.

### Reticolo del progetto

I seguenti indicatori hanno come scopo quello di tenere in considerazione in questo modello quelle che sono le caratteristiche del reticolo del progetto in questione, ossia della presenza e della relativa importanza di eventuali cammini subcritici e ipercritici. L'importanza di considerare i cammini critici, e di conseguenza anche quelli subcritici, nell'economia del monitoraggio e controllo di un progetto, è già stata sottolineata nella letteratura, in cui vengono ad esempio introdotti degli indicatori di rischio in materia all'interno del calcolo dell'EaC. (Pajares J., López-Paredes A., 2010)

### Subcritical Path Relevance

Un aspetto inerente al rischio che deve essere considerato all'interno del Risk Performance Index è sicuramente quello relativo ai cammini subcritici, ossia a quelle catene di task che non sono ancora critiche, ossia che possono traslare per un determinato quantitativo di tempo prima di far slittare l'intero progetto, ma che hanno uno slittamento totale possibile prossimo allo zero.

Per definire quelli che sono i cammini subcritici di un progetto è quindi necessario individuare tali catene con uno slittamento ridotto, che può essere differente in base al progetto in questione. Trattandosi di un'assunzione del project manager, analisi specifiche sul singolo progetto e sul valore di tale percentuale sono consigliate per meglio individuare quelli che sono i percorsi subcritici degni di nota.

Il Subcritical Path Relevance o SPR è quindi una variabile che va a misurare l'impatto dei cammini subcritici nei vari istanti del progetto, non limitandosi a farlo solamente come analisi iniziale. All'istante t viene infatti calcolata la rilevanza dei cammini subcritici, che ben può essere differente rispetto allo scenario iniziale. Se ad esempio all'inizio del progetto una catena di attività ha uno slittamento possibile di dieci giorni su un totale di 12 mesi essa

è sicuramente subcritica, ma se lo slittamento rimane di dieci giorni anche a un mese dalla fine del progetto tale insieme di task non è più considerabile come subcritico. Il Subcritical Path Relevance è quindi una variabile che va a considerare nell'istante dato quelli che sono i vari cammini subcritici e il loro relativo impatto, basandosi su tali concetti di dinamicità e cambiamento dei subcritical path. Prima di passare al calcolo del SPR, è necessario introdurre l'indice di criticità di un cammino  $\lambda$ , calcolato come di seguito:

$$\lambda = \frac{\alpha_2 - \beta}{\alpha_2 - \alpha_1}$$

in cui  $\alpha_1$  è lo slittamento minimo dell'intero reticolo, ossia nella quasi totalità dei casi zero,  $\alpha_2$  lo slittamento massimo e  $\beta$  lo slittamento totale del percorso che si sta analizzando. Tale valore viene considerato solamente per i vari cammini che hanno come indice di criticità un valore maggiore di 0.9. Valore assunto come tale per indicare un percorso subcritico e che può essere di conseguenza modificato in base alle caratteristiche del progetto o in base a ulteriori studi sull'argomento.

Il SPR può quindi essere calcolato come:

$$SPR = \sum \lambda_i \quad per \lambda > 0,9$$

### Hypercritical Path Relevance

Così come esistono dei cammini subcritici, in un progetto possono presentarsi anche dei cammini ipercritici, ossia dei percorsi che hanno uno slittamento possibile minore di 0. Se tali cammini si presentano all'inizio di un progetto, su di essi interviene subito il project manager per ridurre la durata, allocando ad esempio maggiori risorse su di essi o ripensando parte del progetto.

Proprio considerando la grande importanza di tali percorsi sui tempi e costi finali di un progetto, monitorare l'insorgere di cammini ipercritici e soprattutto considerarli all'interno del Risk Performance Index è quindi fondamentale per rendere più affidabile il calcolo dell'Estimate at Completion. La metodologia per il calcolo dell'Hypercritical Path Relevance o HPR è molto simile a quella utilizzata per il Subcritical Path Relevance e differisce per il fatto che a venire presi in considerazioni sono solamente quei cammini con indice di criticità maggiore di uno. L'HPR viene infatti calcolato con la seguente formula, in cui n è il numero di cammini ipercritici all'istante t:

$$HPR = \sum \lambda_i$$

### Subcontractors Number

All'interno di un progetto, soprattutto in quelli più complessi e articolati, è normale che dei task o degli insiemi di task vengano appaltati a uno o più subcontractors. Tale pratica è molto comune nei progetti, in quanto, oltre ad aprire la strada a ragionamenti economici di make or buy, consente anche di ridurre il carico delle proprie risorse, ottenere personale più qualificato per qualche attività e molto altro ancora.

Subappaltare delle parti di un progetto dà però potenzialmente luogo anche a delle fonti di rischio, visto che affidarsi a imprese terze significa anche assicurarsi che tutti facciano i propri compiti e dover organizzare le loro attività nel migliore dei modi. Il numero di subappaltatori può infatti essere considerato un'importante variabile di rischio per diverse motivazioni. (Pajares J., López-Paredes A., 2010) Se ad esempio venissero posticipati i task di qualche subcontractor per qualsiasi motivo, potrebbe crearsi poi un gap temporale in quanto non è assicurato che chiunque abbia preso in appalto tali compiti possa posticiparli senza problemi e avere lo stesso numero di risorse disponibili in tale slot temporale successivo. Tale aspetto, ossia la presenza di subappaltatori, potrebbe inoltre essere significativo in materia di stima di tempi e costi a finire di un progetto. (Kamoona K.R.K., Budayan C., 2019 - AlHares E.F.T., Budayan C., 2019) La variabile Subcontractors Number o SN ha quindi come obiettivo quello di tenere in considerazione proprio tale aspetto, ed è calcolata come la somma del numero di subcontractor attivi all'istante t e quelli da qui a fine del progetto, senza considerare quindi quelli che hanno già completato i propri compiti. SN è quindi calcolabile come:

$$SN = \#subcontractor_t + \#subcontractor$$

in cui  $\#subcontractor_t$  è il numero di subappaltatori presenti all'istante t, mentre  $\#subcontractor$  è il numero di quelli che interverranno da qui alla fine del progetto.

### Change Events Number

Un ulteriore aspetto importante ritrovabile in letteratura per quanto riguarda costi e tempi a finire maggiori rispetto a quanto preventivato inizialmente è poi quello relativo alla presenza di cambiamenti al progetto in corso d'opera. (Creedy et al., 2010) Si tratta sia di change orders, ossia quelle modifiche in corso d'opera al progetto prese in accordo bilaterale tra appaltatore e committente, che di change directive, che hanno il medesimo effetto di far

cambiare obiettivo, tempi d'esecuzione e costi totali del progetto, ma che a differenza dei change order sono delle modifiche unilaterali da parte del cliente. Vengono quindi considerati sia quei cambiamenti apportati dall'appaltatore, resosi necessari ad esempio in seguito alla realizzazione di qualche rischio, sia quelli richiesti dal cliente.

Sia i change order che i change directive portano quindi alla modifica di alcuni termini del contratto, modifiche che vanno ad influire e aggiornare quelli che sono i tempi e i costi a completamento del progetto pianificati inizialmente. Il rischio da considerare non è quindi in questo caso tanto l'entità della modifica, che è appunto già tenuta in considerazione nel budget di progetto, bensì la maggiore variabilità e altri imprevisti contenuti all'interno di questi cambiamenti inizialmente non previsti.

Vista la grande rilevanza dei change orders e dei change directive emersa nel calcolo dell'EaC, il Change Events Number è una variabile che ne tiene in considerazione la presenza all'interno del progetto in questione. Prendendo con  $\#changeorder_t$  il numero di change orders attualmente ancora presenti all'istante t, ossia il cui effetto non si è ancora totalmente esaurito per il completamento di quanto richiesto in tale cambiamento, e per  $\#changedirective_t$  il medesimo concetto ma applicato ai change directive, il Change Events Number o CEN è pari a:

$$CEN = \#changeorder_t + \#changedirective_t$$

## APPLICAZIONE DESCRITTIVA

Sfortunatamente non è stato possibile in questo elaborato proporre una validazione statistica del modello, verificandone quindi la bontà in quanto a variabili scelte e l'effettiva efficacia nel calcolo dell'Estimate at Completion. Per farlo sarebbe stato necessario disporre di un dataset composto da numerosi progetti, con tutte le relative informazioni per i vari istanti di tempo in quanto a contingency reserve, management reserve, reticolo e tutti gli altri dati richiesti dalle variabili precedentemente descritte. Purtroppo, tale dataset non si è rivelato al momento della stesura dell'elaborato disponibile, rendendo di conseguenza impossibile la validazione statistica del progetto.

Considerando però come gli indicatori proposti da tale elaborato siano basati su caratteristiche e informazioni presenti in letteratura come aspetti determinanti per la gestione dei rischi all'interno di un progetto e in molti casi validati anche come elementi in grado di rendere più efficace e accurato il calcolo dell'EaC, come le modalità di spesa della contingency reserve nello studio di Narbaev, De Marco e Vanhouche, emerge come tale modello sia meritevole di attenzioni e un suo studio necessario.

Demandando la validazione statistica a ricerche successive, quando sarà quindi disponibile il dataset necessario per eseguirla, in questo elaborato viene trattata un'applicazione descrittiva del modello, proponendone una guida metodologica per applicarlo nel migliore dei modi all'interno di un progetto o, più in generale, in un'organizzazione.

Le basi per introdurre l'Earned Value Management e la stima di tempi e costi a finire in un progetto risiedono nel tracciare e rendere disponibili le principali informazioni su di esso nei vari istanti di tempo. Si tratta di un qualcosa di fondamentale e imprescindibile per qualsivoglia metodologia per il calcolo dell'Estimate at Completion, con i vari dati e relativi indicatori necessari che devono quindi essere raccolti in modo accurato e costante. Va da sé quindi come introdurre un procedimento di raccolta dei dati efficace e il meno pronò agli errori possibile sia cruciale, non solo per poter a posteriori valutare con maggiori gradi di controllo le performance di un progetto, ma anche per farlo in corso d'opera e, soprattutto, consentire l'applicazione dei vari modelli per il calcolo dell'Estimate at Completion. Senza di esso la stima di tempi e costi a finire sarà più complessa e inaccurata, portando a ritardi e overcost maggiori il progetto, oltre che danni economici e potenzialmente anche d'immagine all'azienda o alle aziende dietro esso. Tutti aspetti che avrebbero potuto essere evitati o quantomeno limitati con una raccolta dati valida ed efficace.

A tali aspetti, che sono fondamentali per l'adozione dei metodi classici di calcolo dell'Estimate at Completion, in questo elaborato si aggiunge, sempre in tale ottica, anche la crucialità della corretta adozione dei paradigmi del Risk Management, ossia delle procedure di Risk Assessment e Risk Response viste in precedenza. Risk Management che in ogni caso dovrebbe essere presente in ogni progetto per gestire al meglio la grande incertezza insita in essi e che assume in quest'elaborato un'importanza ancor maggiore, diventando parte integrante nel calcolo dell'EaC del progetto stesso.

Prima di andare a osservare e descrivere più nel dettaglio quelle che sono le procedure e gli accorgimenti necessari per ogni indicatore proposto nel modello, vengono presentati due progetti reali che verranno utilizzati in seguito con compito esemplificativo dove possibile. Entrambi i progetti sono stati utilizzati anche nello studio di Narbaev, De Marco e Vanhouche e provengono dalla medesima impresa che ha richiesto di rimanere anonima e che appartiene al settore aerospaziale. Mercato aerospaziale scelto in questa analisi descrittiva in quanto si tratta di un settore dove i progetti sono complessi e richiedono di conseguenza l'adozione di standard e pratiche per essere monitorati e controllati nel migliore dei modi.

Il primo di questi due progetti, i cui dati possono essere osservati in tabella 4, è inerente al design e al conseguente sviluppo di un veicolo autonomo dotato di razzi e senza capacità di rientrare nell'atmosfera adibito al rifornimento della International Space Station. Un progetto che ha avuto termine in 41 mesi, esattamente come previsto, non incorrendo quindi in ritardi temporali. I dati sono in migliaia di euro.

<b>Periodo</b>	<b>AV</b>	<b>PV</b>	<b>EV</b>	<b>Contingency spesa</b>	<b>Management spesa</b>
<b>1</b>	87.547,152	87.547,152	87.855,425	-	-
<b>2</b>	92.733,149	92.733,149	93.794,285	-	-
<b>3</b>	93.837,403	93.837,403	93.999,871	1.437,000	-
<b>4</b>	97.341,745	97.341,745	99.370,310	1.437,000	-
<b>5</b>	100.195,798	103.937,135	101.113,156	3.011,500	-
<b>6</b>	102.452,840	105.634,790	103.385,909	3.011,500	-
<b>7</b>	103.693,566	106.779,892	104.634,049	3.011,500	-
<b>8</b>	105.413,700	108.162,891	106.378,752	3.011,500	-
<b>9</b>	107.891,813	110.693,593	109.688,815	3.011,500	-
<b>10</b>	109.536,977	112.640,997	109.999,309	4.742,000	100,000
<b>11</b>	112.007,279	114.944,681	112.480,078	4.742,000	100,000
<b>12</b>	115.526,071	117.819,374	117.179,567	4.742,000	100,000
<b>13</b>	116.984,866	119.062,668	118.538,779	4.742,000	100,000
<b>14</b>	119.462,708	120.966,524	121.165,688	4.742,000	100,000

15	119.701,224	121.175,456	119.825,908	5.367,000	1.433,000
16	124.233,539	125.687,103	126.011,311	5.367,000	1.433,000
17	125.853,649	127.102,705	127.429,138	5.867,000	1.193,000
18	127.174,700	128.639,990	128.767,162	5.867,000	1.193,000
19	128.160,217	130.005,520	129.765,922	5.867,000	1.193,000
20	128.516,951	130.389,579	130.127,041	5.867,000	1.193,000
21	131.070,752	132.308,492	132.713,353	5.867,000	1.193,000
22	132.634,418	134.503,395	134.269,332	5.867,000	1.193,000
23	134.387,728	135.938,903	137.457,071	5.867,000	1.193,000
24	137.204,332	138.641,511	136.682,367	6.567,000	1.933,000
25	138.220,024	139.204,340	137.709,468	6.567,000	1.933,000
26	139.218,832	140.477,812	138.720,495	6.567,000	1.933,000
27	140.209,000	141.514,761	139.724,006	6.567,000	1.933,000
28	140.799,905	142.234,744	140.322,137	6.567,000	1.933,000
29	142.055,301	143.109,090	141.593,285	6.567,000	1.933,000
30	143.154,940	143.978,520	142.706,852	6.567,000	1.933,000
31	144.072,079	144.986,982	143.605,920	6.567,000	1.933,000
32	145.010,589	145.713,643	144.556,217	6.567,000	1.933,000
33	145.948,253	146.866,205	145.091,004	6.567,000	1.933,000
34	146.714,048	147.744,985	145.866,498	6.567,000	1.933,000
35	147.471,751	148.252,524	146.630,171	6.567,000	1.933,000
36	147.994,386	148.696,549	147.160,350	6.567,000	1.933,000
37	148.547,616	148.997,911	147.698,030	6.567,000	1.933,000
38	148.770,965	149.215,252	147.924,164	6.567,000	1.933,000
39	148.806,959	149.500,246	147.960,614	6.567,000	1.933,000
40	149.367,030	149.680,202	148.527,602	6.567,000	1.933,000
41	149.721,938	150.032,804	150.032,804	6.567,000	1.933,000

Tabella 4: dati progetto uno

Il secondo progetto, invece, riguarda il design e lo sviluppo di un veicolo autonomo sperimentale dotato di una grande aerodinamicità e della capacità di rientrare nell'atmosfera. I principali dati e indicatori di questo secondo progetto sono presenti in tabella 5. Il secondo progetto, a differenza del precedente, si è concluso due mesi dopo quanto inizialmente previsto in fase di progettazione. Anche in questo caso i dati indicati nella tabella seguente sono in migliaia di euro.

Periodo	AV	PV	EV	Contingency spesa	Management spesa
1	815,100	815,100	815,100	-	-
2	1.683,000	2.040,000	1.683,000	-	-
3	2.574,000	3.060,000	2.516,287	-	-
4	3.498,000	3.901,500	3.344,579	-	-
5	4.389,000	4.590,000	4.178,175	-	-
6	5.266,800	5.431,500	5.013,810	-	-
7	6.144,600	6.120,000	5.849,445	-	-
8	7.022,400	6.961,500	6.685,079	-	-
9	8.006,600	7.905,000	7.622,003	-	-

10	8.778,000	8.415,000	8.356,349	-	-
11	9.363,200	8.976,000	8.913,439	-	-
12	9.975,000	9.562,500	9.495,852	-	-
13	10.586,800	10.455,000	10.089,130	500,000	-
14	11.278,400	10.812,000	10.748,219	500,000	-
15	13.539,400	12.979,500	12.902,932	500,000	-
16	13.832,000	13.515,000	13.181,778	500,000	-
17	14.418,000	13.770,000	13.681,762	500,000	-
18	14.765,100	14.101,500	14.011,137	500,000	-
19	15.379,200	14.688,000	14.593,879	500,000	-
20	16.153,500	15.810,000	15.335,601	700,000	-
21	16.847,700	16.090,500	15.994,652	700,000	-
22	17.088,000	16.320,000	16.222,785	700,000	-
23	17.355,000	16.830,000	16.476,266	700,000	-
24	18.460,400	17.850,000	17.610,758	1.000,000	-
25	18.886,000	18.105,000	18.016,770	1.000,000	-
26	19.710,600	18.895,500	18.803,418	1.000,000	-
27	21.014,000	19.635,000	20.046,828	1.000,000	-
28	21.840,000	21.165,000	21.396,098	1.900,000	400,000
29	22.100,000	21.675,000	21.658,000	2.300,000	400,000
30	23.062,000	22.618,500	22.609,804	2.800,000	400,000
31	22.880,000	23.056,000	23.059,451	2.800,000	400,000
32	23.140,000	22.695,000	22.688,047	2.800,000	500,000
33	23.400,000	22.950,000	22.942,969	2.800,000	500,000
34	23.660,000	23.460,000	23.197,891	2.800,000	500,000
35	24.050,000	23.587,500	23.580,273	2.800,000	500,000
36	24.518,000	24.046,500	24.039,133	2.800,000	500,000
37	24.700,000	24.480,000	24.217,578	2.800,000	500,000
38	25.186,000	25.500,000	24.990,000	3.200,000	500,000
39	25.344,000	-	25.245,000	3.200,000	500,000
40	25.600,000	-	25.500,000	3.200,000	500,000

Tabella 5: dati progetto due

Il primo passo è quindi quello di introdurre delle corrette ed efficaci procedure per controllare e monitorare le performance di progetto. Essendo le chiavi di questo modello la semplicità e la comprensibilità, non saranno necessarie procedure particolarmente complesse o onerose per introdurre il tracciamento dei dati necessari, ma è comunque richiesto più dei semplici dati utilizzati nei metodi tradizionali. Oltre ai dati necessari per l'adozione dell'Earned Value Management, e per calcolare quindi tutti quegli indicatori inerenti ad esso come il Cost Performance Index e lo Schedule Performance Index, sarà quindi necessario tenere sottotraccia anche altre informazioni sulle performance del progetto. Il che non solo consentirà di applicare il modello, ma anche di avere in ogni istante temporale uno screenshot del progetto più ricco d'informazioni rispetto al solito.

Per il calcolo del Contingency Spending Slope sarà quindi necessario monitorare la spesa della contingency reserve nei vari istanti di tempo. Un qualcosa che viene già calcolato nel caso in cui sia presente nell'organizzazione un processo di Risk Management e che permette di comprendere come sta venendo spesa la contingency all'interno di un progetto e di conseguenza come stanno venendo gestiti i rischi. Il Contingency Spending Slope può essere facilmente calcolato con dati già presenti all'interno dell'organizzazione, senza richiedere particolari elaborazioni. Ragionamenti analoghi che possono essere fatti anche per quanto riguarda il Management Spending Slope, trattandosi sempre di un coefficiente angolare applicato però in questo caso alla Management Reserve e non alla Contingency Reserve. Due variabili calcolabili quindi facilmente e senza bisogno di informazioni particolarmente complesse da ottenere. In tabella 6 e figura 7 è possibile osservare quelli che sono Contingency e Management Spending Slope del primo progetto. Per rendere più chiara la visualizzazione sono stati inseriti in tabella solo i periodi in cui il coefficiente angolare è diverso da zero, ossia quelli in cui la contingency e/o la management reserve spesa cambiano effettivamente.

Periodo	Contingency Spending Slope	Management Spending Slope
3	1.437,000	0
5	1.574,500	0
10	1.730,500	100,000
15	625,000	1.330,000
17	500,000	-240,000
24	700,000	740,000

Tabella 6: CSS e MSS progetto uno

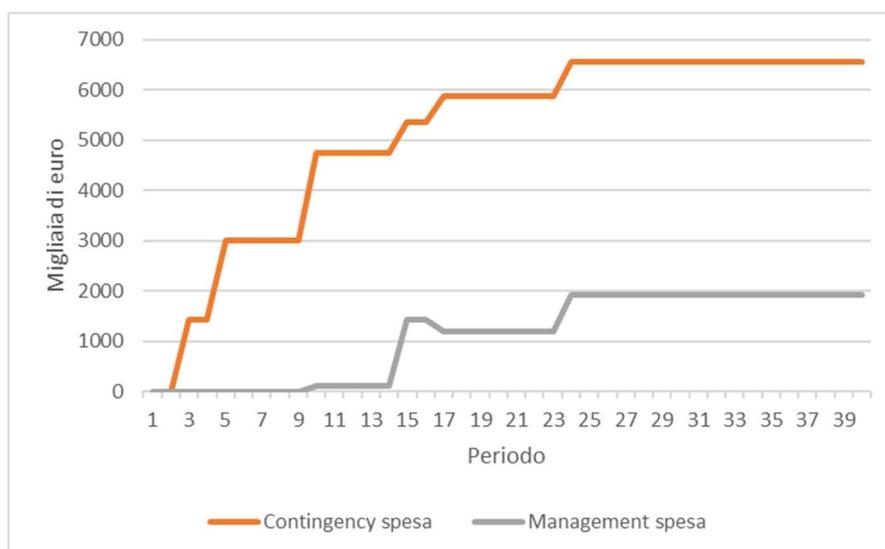


Figura 7: Contingency e Management progetto uno

Come facilmente osservabile nel primo progetto sono solamente sei i periodi sui quarantuno totali, ossia poco meno del 15%, in cui vi è una spesa della Contingency Reserve e quattro, quasi il 10%, in cui è invece la Management Reserve a cambiare. Il coefficiente angolare medio delle due curve, considerando l'intero lasso di tempo del progetto, è di 160,171 e di 47,146 per rispettivamente la Contingency e la Management Reserve. Particolarmente significativo è inoltre ciò che accade al periodo 17, con la spesa della Management Reserve che ha un segno negativo. Purtroppo, nei dati del progetto non è indicato a cosa è dovuta tale variazione e se è quindi riconducibile a una fatalità con impatto positivo realizzatasi o se è invece relativa a un aumento di budget in corso d'opera. Nel secondo caso, ovviamente, tale variazione non deve essere considerata nel calcolo della relativa variabile. Applicando tale modello a un progetto reale tale dubbio in ogni caso non si presenterà, in quanto sarà ben chiaro al project manager del progetto il perché di ogni variazione nel budget.

In tabella 7 e figura 8 sono invece osservabili quelli che sono Contingency Spending Slope e Management Spending Slope del progetto 2. Il tutto, come in precedenza, mostrando solo quei periodi in cui essi sono diversi da zero.

Periodo	Contingency Spending Slope	Management Spending Slope
13	500,000	0
20	200,000	0
24	300,000	0
28	900,000	400,000
29	400,000	0
30	500,000	0
32	0	100,000
38	400,000	0

Tabella 7: CSS e MSS progetto due

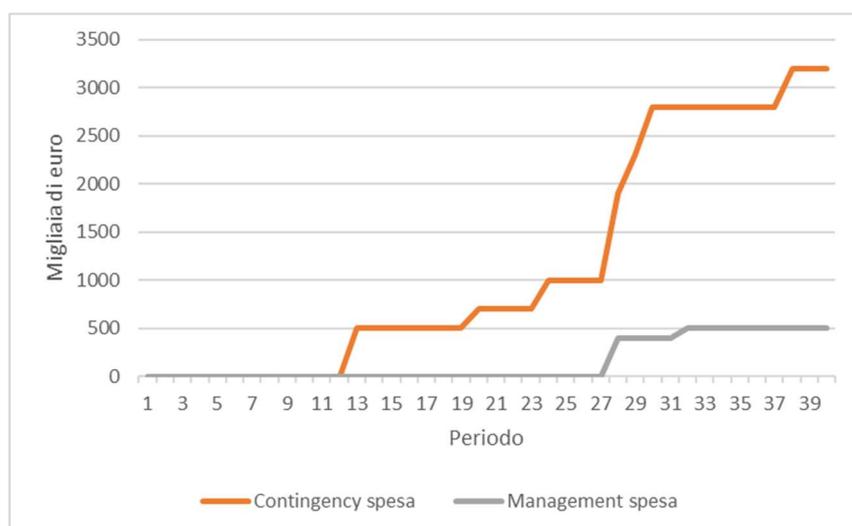


Figura 8: Contingency e Management progetto due

Nel secondo progetto la Contingency Reserve varia in sette periodi su quaranta totali, il 17,5% delle volte, mentre la Management Reserve è stata spesa solo in due periodi, ossia nel 5% di essi. Il coefficiente angolare medio è invece di 80,000 per quanto riguarda la Contingency Reserve e di 12,500 per la Management Reserve.

Molto interessante è notare come, sebbene si tratti di due progetti appartenenti al medesimo settore e alla stessa impresa, sia la Contingency che la Management Reserve vengono spese in modalità differenti. Mentre nel progetto uno entrambi i budget vengono spesi nella prima metà abbondante, circa fino al 58% di completamento, nel progetto due la situazione è differente, con la Contingency che viene spesa fino al periodo trentotto, ossia fino al 95% del progetto. La Management Reserve, sempre nel secondo progetto, non viene spesa fino al 70% del progetto, mentre nel primo progetto essa è utilizzata fin dal primo quarto. Considerando ciò e come il primo progetto sia finito in tempo e nel rispetto del budget, mentre il secondo ha avuto termine due mesi dopo rispetto a quanto inizialmente preventivato, è evidente il fatto di come, limitandosi a questi due soli progetti, rischi e fatalità siano due elementi essenziali per gestire nel miglior modo possibile tempi e costi a finire di un progetto. L'insorgere di rischi e fatalità in fasi precedenti del progetto ha infatti dato più spazio di manovra al project manager e al suo team, che ha quindi potuto gestire il tutto al meglio e rimettere in carreggiata il progetto. Cosa che molto probabilmente non è stata completamente possibile nel secondo progetto, dove i rischi si sono presentati anche al periodo trentotto su quaranta, rendendo plausibilmente più complesso e meno incisivo l'intervento correttivo e portando a overrun e overcost.

Così come per le variabili precedentemente accennate, anche il Contingency Spending Performance Index è facilmente calcolabile, nonostante necessiti però di un contenuto informativo maggiore, richiedendo anche quella che dovrebbe essere la spesa a budget della contingency reserve a un dato istante. Per calcolarla le strade sono principalmente due, una più articolata e precisa e una seconda che approssima invece il tasso di spesa preventivato della contingency rendendolo costante. Il primo consiste, tramite un accurato studio dell'RBM, nell'assegnare i vari rischi individuati nel progetto ai relativi task, riuscendo così a stabilire quella che è la spesa della contingency reserve a budget per un dato istante. Per applicare tale metodo di controllo e tracciamento è quindi necessario aver eseguito con particolare attenzione le fasi di identificazione e quantificazione dei rischi di progetto, con la relativa stesura dell'RBM. Nel secondo metodo la spesa del contingency budget è assunta come costante e, per quanto tale scelta sia una semplificazione, si tratta di una procedura più

semplice e adatta per quei progetti per cui non è stata effettuata un processo di Risk Management accurato e per quelli dove la contingency reserve è stata stabilita come percentuale del BAC del progetto. Per il calcolo del Response Effectiveness for Opportunities servono dati analoghi a quelli necessari per il Contingency Spending Performance Index, avendo tale indicatore bisogno delle informazioni sull'impatto monetario delle opportunità all'istante t e sul numero totale di opportunità che avrebbero potuto realizzarsi al medesimo istante. Dati, quindi, provenienti anche in questo caso dalla RBM. Per tutti e due gli indicatori si tratta quindi di informazioni estraibili senza la necessità di applicare ulteriori procedure lunghe e costose oltre a quelle già presenti nei processi di Risk Management, ma solo di qualche piccolo accorgimento. Purtroppo, non è stata resa disponibile per lo studio di questo modello la Risk Breakdown Matrix, così come neanche la Work Breakdown Matrix e il reticolo, di nessuno dei due progetti. Non è quindi possibile calcolare, come fatto in precedenza per CSS e MSS, il valore delle variabili che fanno affidamento a tali strutture per i due progetti del settore aerospaziale. Trattandosi di progetti complessi e provenienti da un'organizzazione e da un settore dove gli standard, le tecniche e le regole del project management sono accuratamente implementate e osservate, sarebbe stato inoltre sbagliato non basarsi sui dati contenuti nella matrice RBM e considerare, come da secondo metodo, il tasso di spesa preventivato per il Contingency Budget costante. Per un project manager si tratta in ogni caso di indicatori che necessitano di informazioni facilmente reperibili e di non difficile calcolo.

Per quanto riguarda gli indicatori rimanenti relativi alle fatalità e al management reserve, oltre quindi al già citato Management Spending Slope, i dati necessari sono simili e ancor più facili da recuperare. Essendo le fatalità, per loro stessa definizione, degli eventi totalmente imprevedibili, i vari indicatori proposti da questo modello necessitano solamente delle informazioni sugli impatti e sul numero di fatalità una volta avvenute e sull'entità della management reserve. Management reserve che, nella maggior parte dei casi, è definita come semplice percentuale del budget totale di progetto. Assumendo, per semplificare, il tasso di spesa preventivato della Management Reserve come costante, il Management Spending Performance Index o MSPI è quindi semplicemente calcolabile, come osservabile in tabella 8 e 9 per rispettivamente il primo e il secondo progetto.

<b>Periodo</b>	<b>MSPI</b>	<b>Periodo</b>	<b>MSPI</b>
<b>1</b>	-	<b>22</b>	0,869415
<b>2</b>	-	<b>23</b>	0,908934
<b>3</b>	-	<b>24</b>	0,585362

4	-	25	0,609752
5	-	26	0,634142
6	-	27	0,658532
7	-	28	0,682922
8	-	29	0,707312
9	-	30	0,731702
10	4,7146	31	0,756092
11	5,18606	32	0,780482
12	5,65752	33	0,804872
13	6,12898	34	0,829262
14	6,60044	35	0,853652
15	0,493503	36	0,878042
16	0,526403	37	0,902432
17	0,671821	38	0,926823
18	0,711339	39	0,951213
19	0,750858	40	0,975603
20	0,790377	41	1
21	0,829896	-	-

Tabella 8: Management Spending Performance Index progetto uno

Nel primo progetto aerospaziale è possibile constatare come fino al periodo dieci non sono avvenute fatalità e, di conseguenza, essendo il denominatore del MSPI pari a zero, non è stato indicato il valore dell'indicatore. Valore che è però assimilabile ad infinito, essendo il budget per le fatalità in tale periodo infinitamente più grande di quanto è stato speso di Management Reserve. Fino al periodo quattordici, inoltre, l'MSPI è superiore a uno, per poi scendere sotto l'unità fino alla fine del progetto a causa di un rischio dall'impatto particolarmente elevato avvenuto nel periodo quindici.

Periodo	MSPI	Periodo	MSPI
1	-	21	-
2	-	22	-
3	-	23	-
4	-	24	-
5	-	25	-
6	-	26	-
7	-	27	-
8	-	28	0,875
9	-	29	0,90625
10	-	30	0,9375
11	-	31	0,96875
12	-	32	0,8
13	-	33	0,825
14	-	34	0,85
15	-	35	0,875
16	-	36	0,9
17	-	37	0,925

<b>18</b>	-	<b>38</b>	0,95
<b>19</b>	-	<b>39</b>	0,975
<b>20</b>	-	<b>40</b>	1

*Tabella 9: Management Spending Performance Index progetto due*

Il secondo progetto, come osservabile anche dalla curva di spesa della Management Reserve presente in figura 8, non è invece incorso in fatalità fino al periodo ventotto, con i primi ventisette valori di MSPI che possono quindi, seguendo il ragionamento fatto per il modello precedente, essere assimilati a infinito non essendo stata spesa in essi neanche una minima parte della Management Reserve.

Anche in questo caso, come in precedenza per il CSS e MSS, è interessante notare come la situazione dei due progetti, per quanto siano provenienti dalla stessa impresa e dal medesimo settore, sia tra di loro non troppo simile. Discrepanza che è in ogni caso riconducibile a quanto notato precedentemente, visto che sia il Management Spending Performance Index che il Management Spending Slope sono riconducibili agli stessi dati, ossia a quella che è la spesa della Management Reserve. Scendendo ora nel dettaglio delle tabelle 8 e 9 si può notare come, mentre il secondo progetto ha avuto per il 67,5% valori maggiori di 1 di MSPI, scendendo al minimo a 0,8, il primo progetto presenta valori superiori all'unità solo nel 34% dei periodi, scendendo anche sotto lo 0,5 nel periodo quindici. Il che significa che in tale periodo è stato speso un quantitativo di Management Reserve più del doppio rispetto quanto inizialmente preventivato per tale periodo.

Per quanto riguarda gli indicatori presenti in questo modello relativi al reticolo di un progetto, ossia Subcritical Path Relevance e Hypercritical Path Relevance, è necessario inserire all'interno dell'organizzazione di progetto e aziendale un sistema di tracciamento di periodo in periodo di quello che è l'avanzamento dei singoli task. In tal modo è possibile non solo calcolare i due indicatori sopra indicati, ma anche potenzialmente migliorare sensibilmente la capacità di controllo delle performance di progetto. L'aver a disposizione in ogni istante di tempo una visione di quelli che sono i cammini più critici, e di conseguenza i singoli task più importanti, permette infatti al project manager di gestire nel migliore dei modi le risorse disponibili, assegnando ad esempio un maggior numero di operai dove necessario, e di prevenire, nel limite del possibile, eventuali ritardi nel progetto. Anche in questo caso si tratta quindi di dati e di informazioni facilmente reperibili, di cui deve solo essere introdotta, nel caso non lo fosse già, all'interno delle procedure di progetto un sistema che permette di recuperarli in ogni istante. La non presenza dei dati di WBS e reticolo per i due progetti presi in esame ha purtroppo reso impossibile il calcolo di tali variabili in questa

applicazione descrittiva. Per rendere esplicativo il procedimento per ottenere tali variabili, viene comunque di seguito presentato un semplice progetto con relativo reticolo, in cui vengono calcolati tali indicatori. In tabella 10 sono presenti le attività o task che lo compongono, con tanto di durata in mesi e legami temporali, mentre in figura 9 viene mostrato quello che è il reticolo del progetto in questione ottenuto dai dati presenti nella tabella.

Attività	Durata	Predecessore	Attività	Durata	Predecessore
A	5	-	H	5	D
B	7	A	I	4	A
C	4	A	J	4	E
D	5	A	K	4	F
E	4	A	L	5	G
F	3	B	M	6	J
G	6	C	-	-	-

Tabella 10: attività progetto esplicativo

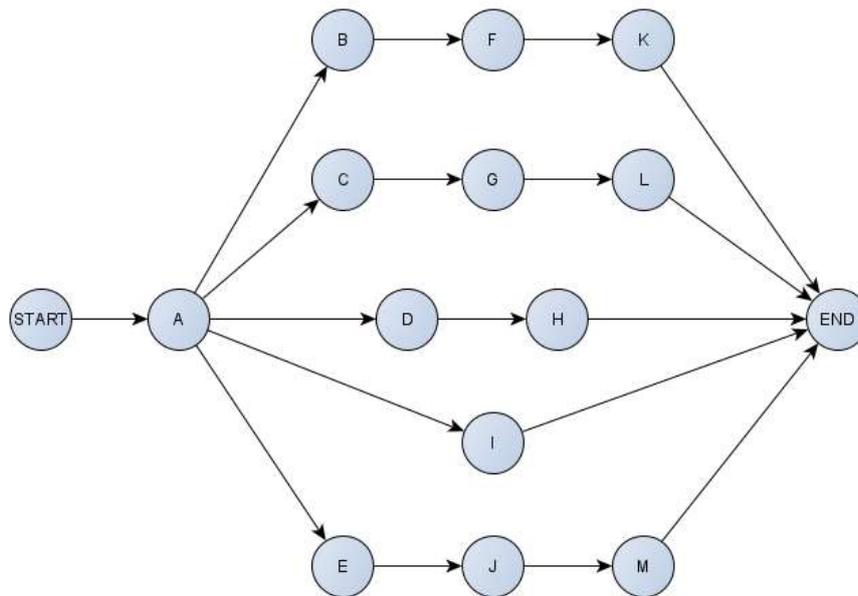


Figura 9: reticolo esplicativo

Come osservabile, si tratta di un reticolo dotato di 5 differenti cammini dalla diversa durata e di un numero differente di task. Con le solo informazioni di durata e dei vincoli di precedenza è possibile calcolare quelli che sono i relativi indici di criticità di ogni cammino e, di conseguenza, anche le due variabili necessarie per il modello, ossia Subcritical Path Relevance e Hypercritical Path Relevance. In tabella 11 tutte le informazioni a riguardo.

Cammino	Durata	Slittamento	Indice di criticità ( $\lambda$ )
A – B – F – K	19	1	0.91
A – C – G – L	20	0	1

<b>A - D - H</b>	15	5	0.55
<b>A - I</b>	9	11	0
<b>A - E - J - M</b>	19	1	0.91

*Tabella 11: durata e indice di criticità dei cammini*

Il reticolo preso come esempio ha di conseguenza SPR pari a 1,82 e HPR nullo, in quanto non sono presenti cammini dal percorso ipercritico. Evidente come, a partire da semplici informazioni sul reticolo, sia possibile calcolare le due variabili, che non richiedono quindi al project manager processi di raccolta dati lunghi, complessi o costosi. Per quanto le informazioni sul reticolo, come i vincoli tra le varie attività, siano poi definiti fin dalla fase di pianificazione del progetto, Subcritical Path Relevance e Hypercritical Path Relevance potrebbero invece differire nei vari istanti ed essere di conseguenza elementi potenzialmente validi in quella che è la determinazione dell'Estimate at Completion.

Per quanto riguarda l'indicatore Subcontractors Number, invece, al fine di poterlo calcolare è necessario sapere solamente a un dato istante il numero di subcontractor attualmente al lavoro e il numero di subcontractor che interverranno dall'istante in questione fino alla fine del progetto. Si tratta quindi di informazioni facilmente reperibili, contando banalmente il numero di contratti relativi a subcontractor, e che richiede semplicemente nelle fasi iniziali del progetto di associare ognuna delle società terze necessarie a una o più task del progetto in base a quelli che sono i loro compiti. Una procedura, quindi, nella maggior parte dei casi non complessa e che permette di calcolare in ogni istante questo indicatore.

Il Change Events Number, infine, richiede a un dato istante di sapere quello che è il numero totale di change order e change directive fino ad allora avvenuti. Un'informazione, quindi, facilmente recuperabile all'interno di un progetto da parte del project manager e che consente di ottenere tale variabile senza grossi esborsi monetari o di tempo. Sia per quanto riguarda il Subcontractors Number che il Change Events Number non è stato possibile calcolare, a causa della mancanza dei dati e delle informazioni necessarie, tali variabili per i due progetti presi come esempio. Trattandosi di semplici conteggi di informazioni ben evidenti, presenti in entrambi i casi in documenti ufficiali, è però chiaro come siano tutti e due indicatori facili e veloci da calcolare.

Come facilmente osservabile, tutte le variabili proposte da questo modello seguono quindi il principio della semplicità e sono di conseguenza tutte molto veloci e poco costose da calcolare. Oltre alla possibilità di applicare il modello proposto, da non sottovalutare è inoltre il grande vantaggio portato dal racimolare queste informazioni, grazie alle quali diventa

possibile per un project manager tenere sotto controllo in modo migliore e sotto diversi piani le performance attuali di un progetto in corso d'opera. Basti ad esempio pensare a come l'aver sott'occhio in ogni singolo istante quelli che sono i cammini più critici di un progetto o, ancora, il tasso di spesa della contingency e della management reserve, possa dare una mano nel processo decisionale e prevenire ancor più il rischio di costi e tempi a finire maggiori di quanto inizialmente preventivato.

## CONCLUSIONI

I progetti sono una costante della vita di ogni azienda e in quanto tali necessitano di essere gestiti nel migliore dei modi. Incorrere in overcost e overrun, oltre che portare danni economici, può infatti causare anche problemi all'immagine dell'impresa. Per questo motivo l'essere in grado di stimare con precisione tempi e costi a finire di un progetto in corso d'opera con grande precisione si rivela uno strumento importantissimo nelle attività di un project manager.

Come visto in questo elaborato, in letteratura sono presenti diverse metodologie e scuole di pensiero per il calcolo dell'Estimate at Completion o EaC, ma solamente una minima parte di esse tiene solo parzialmente in considerazione l'importanza dei rischi all'interno della stima di tempi e costi a finire di un progetto. Rischi che sono invece un aspetto fondamentale di ogni progetto e che sono spesso e volentieri una delle principali cause di variazioni in materia di tempi e costi all'interno di esso. Una correlazione, quella tra le varie fonti di rischio e la stima a finire di tempi e costi di un progetto, fondata e ben presente, la cui esistenza è stata analizzata e confermata da numerosi studi.

Proprio nella grande rilevanza dei rischi, così come delle opportunità e delle fatalità, nelle performance di progetto e delle relative stime a finire, trova quindi origine la necessità di integrare all'interno dell'Estimate at Completion alcune variabili che li tengano in considerazione, permettendo così di ottenere delle stime più accurate e in grado di rappresentare in modo migliore quella che sarà la situazione finale del progetto in quanto a tempi e costi. Un'opportunità, quella di migliorare tali procedimenti e output, che porta, come ampiamente visto, numerosi vantaggi sia al progetto che all'organizzazione, risultando un quid non indifferente e degno di nota per qualsiasi società che faccia uso di progetti all'interno di essa.

In letteratura sono presenti diversi studi sull'argomento che, consci dell'importanza e delle opportunità di tale correlazione, hanno provato a integrare i concetti del Risk Management all'interno dell'EaC. Ricerche che hanno portato a modelli per la stima a finire che si sono spesso rivelati più accurati di quelli tradizionali, rimarcando quindi la bontà della scelta di inserire variabili inerenti al rischio nella formula dell'Estimate at Completion. Tali studi, per quanto validi, si sono però concentrati o su determinati settori, come quello edilizio (Babar et al., 2016), o solo su alcune fonti di rischio, come sul ruolo della spesa della contingency reserve all'interno di un progetto. (Narbaev et al., In attesa di pubblicazione) Altri invece,

per quanto interessanti, hanno seguito strade efficaci ma impervie e complesse, difficili e lunghe da integrare all'interno di un progetto. (Browning T.R., 2014)

Assodata la bontà della scelta di integrare i rischi nel calcolo delle stime a finire di un progetto, il presente elaborato nasce quindi dalla necessità del farlo in un modo semplice ed intellegibile. I project manager hanno infatti bisogno di un modello per il calcolo dell'Estimate at Completion non solo efficace e in grado di ottenere stime accurate, ma che sia anche semplice ed economico da implementare, oltre che veloce nel produrre il proprio output. I dirigenti dell'organizzazione, così come i project manager, devono inoltre essere in grado di comprendere il perché delle stime prodotte e da ciò nasce la necessità di una formula intellegibile e che non assuma quindi gli stilemi di un modello black box. (AlHares E.F.T., Budayan C., 2019) A questi due capisaldi se ne aggiunge poi un terzo, ossia quello di avere un modello il più generale possibile, che sia in grado di adattarsi in modo efficace a progetti di differente tipologia o provenienti da diversi settori.

Il modello proposto parte quindi proprio da questi tre pilastri, per soddisfare bisogni sulle metodologie per il calcolo dell'EaC emersi fin dal 1981 (Covach et al., 1981), e presenta, oltre ai classici indicatori usati nella formula standard, diverse variabili aggiuntive correlate ai principali fattori di rischio di un progetto, come contingency e management reserve, il reticolo di un progetto e molti altri ancora. Il vantaggio di questo modello rispetto alle precedenti proposte, oltre che nell'essere accessibile e semplice da calcolare, risiede quindi nel fatto che include in esso numerose variabili basate su differenti fonti di rischio e non si concentra solo su alcune di esse. Variabili la cui correlazione con quelli che sono tempi e costi a finire di un progetto è stata studiata in più paper e che sono qui rappresentate per essere calcolate in modo semplice basandosi su dati facili da ottenere. Le informazioni richieste che esulano dalle procedure base di project e risk management sono poi ottenibili con procedimenti snelli e fluidi, che introducono all'interno del progetto e dell'organizzazione, oltre che i dati necessari per applicare il modello, anche la possibilità di ottenere differenti istantanee sulle performance di progetto, risultando quindi anche di supporto al processo decisionale.

L'impossibilità di avere a disposizione un dataset contenente le informazioni su un sufficiente numero di progetti ha purtroppo reso impossibile la validazione statistica del modello. Ulteriori studi sull'argomento dovrebbero quindi proseguire prima di tutto sotto tale aspetto, per poi, nel caso si ritenesse necessario da un'organizzazione, concentrarsi sulla

definizione delle variabili più significative tra quelle consigliate per ogni settore industriale ed economico. Sebbene il modello proposto sia stato sviluppato attorno all'essere generale, e quindi applicabile e utilizzabile in progetti di ogni tipologia, è chiaro come l'importanza delle diverse variabili nel calcolo dell'Estimate at Completion possa differire di settore in settore. Il numero di subcontractor, ad esempio, è sicuramente un fattore determinante per la stima di tempi e costi a finire di un progetto appartenente al settore edile, ma potrebbe avere un'importanza minore in altri settori. Nel caso si volesse ottenere un modello ancor più accurato e dedicato a un particolare settore sarebbe quindi questa la strada da seguire. Obiettivo del modello presentato è in ogni caso quello di essere generale e pertanto essere applicabile con successo a ogni tipologia di progetto.

Quello che è chiaro è invece come l'applicazione dei concetti dell'Earned Value Management e la stima dei tempi e costi a finire di un progetto siano aspetti determinanti per la sua buona riuscita. Integrare nel calcolo dell'EaC quello che è il Project Risk Management permette di rendere tali stime ancor più accurate e precise, riducendo overrun, overcost e aumentando di conseguenza la sostenibilità e i risultati economici di un'impresa. Farlo in modo semplice, intellegibile e generale come nel modello proposto permette di aumentare ancor di più l'efficacia di tali strumenti e la bontà delle stime proposte, riuscendo al contempo a dotare il project manager di nuove informazioni sulle performance di un progetto in corso d'opera, aiutandolo così nei processi decisionale. L'adozione del modello, richiedendo un tracciamento semplice di informazioni relative a numerosi fattori di rischio e non solo, può inoltre facilmente favorire l'insorgere di best practices all'interno del singolo progetto e dell'intera organizzazione. Uno strumento, quindi, in grado di portare potenzialmente numerosi benefici non solo al calcolo delle stime a finire di un progetto, ma anche al project management nel suo complesso e all'intera organizzazione.

## BIBLIOGRAFIA

- McKinney J.W., 1991, *Estimate at Completion Research – A Review and Evaluation*
- Christensen D.S., Antolini R.C., McKinney J.W., 1995, *A Review of Estimate at Completion Research*
- Nystrom T.D., 1995, *A Comparative Study of Linear and Non-Linear Estimate at Completion Methods*
- Holeman J.B., 1975, *A Product Improved Method for Developing A Program Management Office Estimate Cost at Completion*
- Lollar J.L., 1980, *Cost Performance Analysis Program for Use on Hand-Held Programmable Calculators*
- Parker C.W., 1980, *C/SCSC and C/SSR Cost Performance Analysis Programs*
- Land T.J., Preston E.L., 1980, *A Comparative Analysis of Two Cost Performance Forecasting Models*
- Bright H.R., Howard T.W., 1981, *Weapon System Cost Control: Forecasting Contract Completion Costs*
- Covach J., Haydon J.J., Reither R.O., 1981, *A Study to Determine Indicators and Methods to Compute Estimate at Completion (EAC)*
- Haydon J.J., Reither R.O., 1982, *Methods of Estimating Contract Cost at Completion*
- Blythe A.L., 1982, *Validation of ASD/ACCM's Cost Performance Analysis Algorithm*
- Price J.B., 1985, *An Evaluation of CPRA Estimate at Completion Techniques Based Upon AFWAL Cost/Schedule Control System Criteria Data*
- Cryer J.M., Balthazor L.R., 1986, *Evaluation of Weighted Indices on Algorithms Utilized for Calculating Independent Estimates at Completion*
- Wallender T.J., 1986, *HQ Air Force Systems Command Estimate at Completion Formula Justification*
- Totaro J.A., 1987, *A Logical Approach to Estimate at Completion Formulas*
- Reidel M.A., Chance J.L., 1989, *Estimates at Completion (EAC): A Guide to Their Calculation and Application for Aircraft, Avionics, and Engine Programs*

- Karsch O.A., 1974, *A Cost Performance Forecasting Concept and Model*
- Karsch O.A., 1976, *A Production Study Sequel to the Cost Performance Forecasting Concept and Model*
- Olsen D., Ellsworth R.W., 1976, *Forecasting Techniques Employed in a Line Organization*
- Heydinger G.N., 1977, *Space and Missile Systems Organization Cost Performance Forecasting Study*
- Busse D.E., 1977, *A Cost Performance Forecasting Model*
- Weida W.J., 1977, *A General Technique for R&D Cost Forecasting*
- Watkins H., 1982, *An Application of Rayleigh Curve Theory To Contract Cost Estimation and Control*
- El-Sabban M.Z., 1973, *Forecast of Schedule/Cost Status utilizing Cost Performance Reports of the Cost/Schedule Control Systems Criteria: A Bayesian Approach*
- Hayes R.A., 1977, *An evaluation of a Bayesian approach to compute Estimate at Completion for Weapon System Programs*
- Kamoona K.R.K., Budayan C., 2019, *Implementation of Genetic Algorithm Integrated with the Deep Neural Network for Estimating at Completion Simulation*
- AlHares E.F.T., Budayan C., 2019, *Estimation at Completion Simulation Using the Potential of Soft Computing Models: Case Study of Construction Engineering Projects*
- Pajares J., López-Paredes A., 2010, *An extension of the EVM analysis for project monitoring: The Cost Control Index and the Schedule Control Index*
- Creedy G.D., Skitmore M., Wong Kwok Wai Johnny, 2010, *Evaluation of Risk Factors Leading to Cost Overrun in Delivery of Highway Construction Projects*
- Browning T.R., 2014, *A Quantitative Framework for Managing Project Value, Risk, and Opportunity*
- Babar S., Thaheem M.J., Ayub B., 2016, *Estimate Cost at Completion: Integrating Risk into Earned Value Management*
- Miguel A., Madria W., Polancos R., 2019, *Project Management Model: Integrating Earned Schedule, Quality, and Risk in Earned Value Management*

Narbaev T., De Marco A., Vanhoucke M., In attesa di pubblicazione, *Risk-based cost estimates at completion: Integrating cost contingency into earned value management cost forecasting*

Vignesh N., Sowmya S., 2013, *Analysis of “Estimate at Completion” of a Project's duration to improve “Earned Value Management System”*

Dey P.K., Tabucanon M.T., Ogunlana S.O., 1996, *Petroleum Pipeline construction planning: a conceptual framework*

Touran A., 2003, *Probabilistic model for cost contingency*

Sanchez H., Pellerin R., Bourgault M., Pellerin R., 2009, *Risk management applied to projects, programs, and portfolios*

De Marco A., Rafele C., Guida R., Grimaldi S., 2018, *Measuring the Effectiveness of Risk Assessment in Project Portfolio Management*

Christensen D.D., 2015, *Cost Overrun Optimism: Fact of Fiction?*, Defense Acquisition Research Journal

ICB4 – IPMA Italy Individual Competence Baseline

Project Management Institute, 2017, *A Guide to the Project Management Body of Knowledge*

Meredith J.R., Mantel S.J., 2012, *Project Management: A Managerial Approach*

## SITOGRAFIA

Sherman F., Bizfluent, 2019, *How to Calculate Contingency Reserves Using Expected Value Method*, <https://bizfluent.com/12811137/how-to-calculate-contingency-reserves-using-expected-value-method>

Montgomery D., Air Force Mag, 1991, *How the A-12 Went Down*, <https://www.airforcemag.com/article/0491navy/>

Project Management Institute (PMI), 2016, *The high cost of low performance – How will you improve business results?*, <https://www.pmi.org/-/media/pmi/documents/public/pdf/learning/thought-leadership/pulse/pulse-of-the-profession-2016.pdf>