



**Politecnico  
di Torino**

# **Politecnico di Torino**

Facoltà di Ingegneria

Laurea Magistrale in Ingegneria Gestionale

Estensioni dell'EMV tramite indicatori avanzati,  
indici di prestazione temporali ed analisi delle  
curve ad S

*Candidato:* **Celeste Di Cola**

*Relatore:* **Giovanni Zenezini**

*Co-relatore:* **Filippo Maria Ottaviani**

*Anno Accademico 2021-2022*

# Sommario

Abstract .....	4
<b>1. Introduzione: Approcci del Project Management .....</b>	<b>5</b>
<b>1.1 Il Project Management .....</b>	<b>5</b>
1.1.1 Definizione e triade tempo-costi-qualità .....	5
1.1.2 Ciclo di vita del software .....	6
(Discovery).....	7
Analisi .....	7
Progettazione .....	8
Sviluppo .....	8
Testing .....	8
Avvio ed entrata in produzione .....	9
Manutenzione .....	10
1.1.3 Approcci del project management.....	10
1.1.3.1. Metodologia waterfall.....	10
1.1.3.2. Metodologia agile.....	13
1.1.2.4. Soluzione ibrida del caso studio .....	18
1.1.3 Accenno alle metodologie utilizzate per stimare tempi e costi di un progetto .....	21
1.1.3.1 Pert .....	21
1.1.3.2. CPM – Critical Path method .....	22
1.1.3.3 EVM .....	24
<b>2 EVM e varianti.....</b>	<b>25</b>
2.1. EVM: Modello tradizionale, stime a finire lineari.....	25
2.1.1. Stima dei costi a finire: CEAC.....	30
2.1.2 Stima dei tempi a finire .....	32
2.1.2.1 TEAC.....	32
2.2 Alternative di calcolo del Ceac e del Teac .....	33
2.2.1 Earned Schedule, ES .....	34
2.2.2 Introduzione del rework per il calcolo del teac.....	36
2.2.3. Earned Duration .....	37
2.2.4 funzioni polinomiali.....	38
2.2.5 Simple exponential smoothing model per affinare il calcolo del Ceac .....	39
<b>3 Metodologia della ricerca.....</b>	<b>42</b>
3.1 Data preparation: estrazione, scelta del subset ed analisi del campione .....	42
3.2 Applicazione EVM tradizionale e sensibilità delle stime alle oscillazioni delle curve ad S	44

3.3	Analisi degli indicatori .....	46
-	Media cumulata (cumulative average) .....	46
-	Media mobile (simple moving average, SMA) .....	46
-	Media mobile triangolare (triangular moving average, TRIMA) .....	46
-	Media mobile pesata (Weighted moving average, WMA) .....	47
-	Media mobile esponenziale (exponential moving average) .....	47
3.4	Analisi degli errori .....	50
<b>4</b>	<b>Analisi dei risultati</b> .....	<b>52</b>
<b>5</b>	<b>Conclusioni</b> .....	<b>60</b>
	<b>Bibliografia e Sitografia</b> .....	<b>62</b>

## Abstract

Il presente lavoro di tesi, frutto dell'esperienza di tirocinio in una società di consulenza ingegneristica, si pone l'obiettivo di analizzare ed ottimizzare le modalità di gestione dell'avanzamento di progetti in ambito IT.

Inizialmente sarà svolta l'analisi del contesto specifico: dunque, sarà dapprima definito il ciclo di vita del software e successivamente sarà descritto quello che è il modus operandi, in termini di gestione, proprio dell'azienda.

A seguire, l'analisi delle principali metodologie di gestione utilizzate per monitorare lo stato avanzamento delle progettualità. In particolare, sarà posto il focus sull'earned value management e sulle varianti esistenti in letteratura.

Il terzo capitolo è composto da una prima sezione in cui saranno analizzati i dati raccolti sul campo relativi all'avanzamento di 9 progettualità e saranno definiti i criteri che sono stati adottati per clusterizzare il data set. La seconda sezione, invece, sarà dedicata all'analisi delle varie estensioni dell'earned value applicate.

Infine, seguirà l'analisi dei risultati ottenuti per definire quale degli indicatori di prestazione risulti più consistente e preciso nella previsione delle stime a finire di tempi e costi nel caso d'azienda.

La scelta sarà supportata dall'analisi di mape e deviazione standard, nonché dall'analisi e dallo studio della sensibilità delle curve ad S.

# 1. Introduzione: Approcci del Project Management

## 1.1 Il Project Management

Nel corso degli anni ha assunto rilievo sempre crescente l'esigenza di adottare protocolli organizzativi e gestori che permettessero alle imprese di generare sinergie e di aumentare l'efficienza produttiva delle proprie risorse: nel corso dello scorso secolo, si è affermato, così, il project management.

Per project management si intende l'insieme delle metodologie e delle tecniche impiegate per gestire temporaneamente e sistematicamente un'impresa complessa, volte al raggiungimento di un obiettivo chiaro e definito a priori, consistenti in un processo continuo di pianificazione e controllo di risorse differenziate, nel rispetto dei vincoli di tempi – costi – qualità.

Le proprietà che imprescindibilmente deve possedere un progetto sono le seguenti:

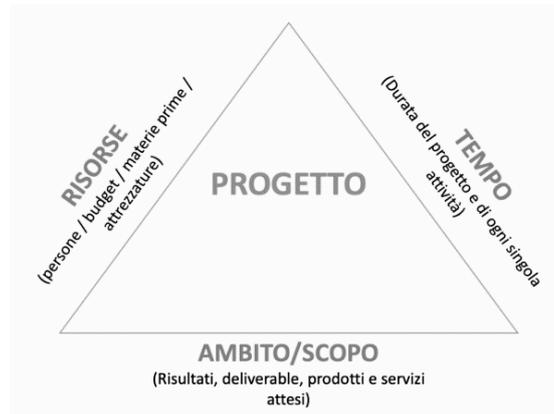
- Temporaneità: un progetto è limitato nel tempo, è nitidamente definito un inizio ed una fine;
- Possiede un obiettivo, trasparente e definito in fase preliminare di pianificazione.
- Unicità: lo scopo di un progetto è quello di realizzare qualcosa di nuovo, che sia distinguibile dagli altri progetti;
- Complessità: richiede l'integrazione e l'interazione di risorse aziendali, tecniche e manageriali;
- Soggezione ai vincoli legati alle risorse, nonché risultato del trade off tra tempo, costi e qualità.

### 1.1.1 Definizione e triade tempo-costi-qualità

Affinché il progetto possa essere realizzato, saranno utilizzate delle risorse, quali asset, risorse operative, risorse gestionali e così via. Com'è facilmente intuibile, molto spesso tali risorse sono limitate, possono avere un costo non trascurabile o potrebbero performare meno bene del previsto.

La disciplina del project management si pone l'obiettivo di trovare la combinazione di tempo, costi e qualità più efficiente possibile.

L'interrelazione dei tre elementi e l'influenza che hanno sul raggiungimento dell'obiettivo del progetto è detto "triplice vincolo". Ogni variazione di uno degli elementi comporterà una variazione degli altri. Ad esempio, l'aumento del numero di risorse comporterà un aumento dei costi e presumibilmente una riduzione dei tempi di fine completamento.



**FIGURA 1: TRIPLICE VINCOLO (TEMPO, COSTI, QUALITÀ)**

### 1.1.2 Ciclo di vita del software

Nel presente lavoro di tesi, le attività di progetto su cui è stata posta l'attenzione, nonché quelle che mi è stato possibile osservare in prima persona durante l'esperienza di tirocinio in azienda, sono quelle che hanno per fine la realizzazione di prodotti software.

Un software è un prodotto intangibile costituito da stringhe di codici che rappresentano informazioni utili al governo di un processo. È definibile come l'insieme di codici informatici e procedure, cui documentazioni annesse, che permettono ad un sistema elettronico o informatico di processare dati.

Come per ogni progetto, è fondamentale per il project management office comprendere perfettamente quale sia e come sia strutturato il flusso che porta alla creazione dell'output. Con l'espressione "ciclo di vita del software" (Software Development Life Cycle, SDLC) si indica l'insieme di fasi di un progetto software durante la sua evoluzione, dall'idea iniziale alla manutenzione.

Un forte contributo all'analisi ed alla definizione di tali flussi è stato apportato dalla disciplina dell'Ingegneria del software. L'ingegneria del software (Software Engineering, SE) è definita come l'applicazione di un approccio sistematico, disciplinato e quantificabile relativo allo sviluppo, alle operazioni e alla manutenzione di un software.

Sono stati individuati diversi modelli di ciclo di vita del software. Questi, solitamente, includono una versione o un sottoinsieme delle seguenti attività:

- Discovery
- Analisi
- Progettazione
- Sviluppo
- Documentazione
- Testing
- Produzione
- Manutenzione

#### *(Discovery)*

La prima fase è detta di "scoperta": il cliente, il fornitore oppure entrambi congiuntamente, rilevano delle esigenze del committente che potrebbero essere soddisfatte dall'implementazione di uno, più applicativi o addirittura da un nuovo software.

#### *Analisi*

Questa fase ha lo scopo di definire cosa è richiesto al sistema, indipendentemente dalla tecnologia che sarà utilizzata. È scomponibile in:

- *Analisi dei requisiti*, in cui sono elicitate e definite le funzionalità che il nuovo prodotto deve offrire. L'obiettivo della fase di analisi è quello di descrivere in modo completo e formalizzato, scendendo ad un livello di dettaglio adeguato, le funzioni che sono richieste al sistema (requisiti funzionali) ed i vincoli che tali servizi devono rispettare (requisiti non funzionali).
- *Analisi del dominio applicativo*, dunque dell'ambiente in cui il software o i nuovi applicativi saranno inseriti. Sono definiti i requisiti di dominio.

- *Analisi di fattibilità e dei costi*, comprende attività di valutazione sia di natura tecnica che natura economica (analisi costi-benefici).

*Output*: studio di fattibilità e documento di specifica dei requisiti.

### *Progettazione*

Questa fase ha lo scopo di definire come il sistema soddisferà i requisiti raccolti al punto precedente, delineando una struttura ad altissimo livello del sistema. Ciò suggerisce che, al contrario della fase precedente, questa sia strettamente correlata alle tecnologie che si è scelto di adottare.

In questa fase è progettata l'architettura, ossia l'organizzazione strutturale del sistema stesso, che comprende i suoi componenti software (detti moduli), le proprietà visibili di ciascuno di essi (l'interfaccia dei componenti) e le relazioni macroscopiche tra le parti.

*Output*: definizione della struttura di massima (architettura di alto livello) e delle caratteristiche dei singoli componenti (moduli).

### *Sviluppo*

Durante questa fase sono creati i moduli attraverso un linguaggio di programmazione. È eseguito in questa fase anche il primo debugging, ossia la rimozione di errori di sintassi e di errori più evidenti, come ad esempio la mancata inizializzazione di variabili.

*Output*: moduli codificati.

### *Testing*

Durante questa fase sono eseguite delle prove per verificare la correttezza logica e concettuale del codice. I test che sono eseguiti possono essere classificati in tre principali categorie:

- *Unit testing (Test unitari)*: sono eseguiti dagli sviluppatori stessi. In questa fase preliminare dei processi di testing sono collaudati i singoli moduli del software, dove per modulo si intende il minimo componente del sistema dotato di funzionamento autonomo.

- *SIT: System Integration testing* (test di integrazione del sistema): questa fase, cui esecuzione è curata da tester o sviluppatori specializzati, ha lo scopo di testare le funzionalità di un sistema nel suo complesso, dopo che siano stati integrati tutti i moduli del sistema.

- *UAT: User Acceptance Testing* (test di accettazione dell'utente): questa fase per questioni di compliance e conflitto di interessi risulta essere in outsourcing, dunque, sorge in capo a tester o sviluppatori esterni, i quali possano dare risposte quanto più oggettivi. È condotta alla fine dell'intero processo di test, quando il prodotto è pronto per la consegna, ed ha lo scopo di verificare se il sistema software soddisfi i requisiti del cliente. L'UAT si propone di:

- Convalidare la conformità ai requisiti, ossia se il sistema sviluppato soddisfi le specifiche del cliente;
- Definire dei criteri di prestazione, ossia se il sistema abbia raggiunto le prestazioni documentate nella dichiarazione dei requisiti del sistema;
- Definire le responsabilità del fornitore, che potrebbero variare rispetto quelle definite nel contratto.

*Output:* sistema funzionante, report di verifica e validazione.

### *Avvio ed entrata in produzione*

In seguito alla fase di collaudo, dopo che i risultati dei test abbiano raggiunto determinati standard qualitativi, il prodotto può entrare in produzione. Questa dicitura assume un significato diverso a seconda del tipo di software che sia stato realizzato. Ad esempio, qualora si trattasse di programmi destinati alla vendita verso il pubblico, rappresenterebbe il momento di rilascio sul mercato fisico (negozi), virtuale (e-commerce, download) o mobile (store smartphone). Per i programmi "custom", ossia quelli realizzati specificatamente per un cliente, questa fase rappresenta l'installazione ed il collaudo presso la sede del cliente. Infine, per le applicazioni web, rappresenta l'installazione ed il collaudo su uno o più server web ed il tuning di questi ultimi.

Al termine di questa fase, il programma inizia la propria vita operativa e potrà svolgere le funzioni per cui è stato progettato.

### *Manutenzione*

Durante la vita operativa del software può verificarsi la necessità di interventi, i quali possono essere di diverso tipo: correttivi, adattivi, preventivi o di perfezionamento. La fase di manutenzione comprende tutte le attività volte a migliorare, estendere e correggere il sistema nel tempo. Eventualmente, anche dando vita a delle vere e proprie nuove progettualità.

#### 1.1.3 Approcci del project management

Per project management si intende l'insieme delle metodologie e delle tecniche impiegate per gestire sistematicamente un'impresa complessa, volte al raggiungimento di un obiettivo chiaro e definito a priori, consistenti in un processo continuo di pianificazione e controllo di risorse differenziate, nel rispetto dei vincoli di tempi – costi – qualità.

Gli approcci sviluppati sono essenzialmente di tre tipologie: waterfall, agile e hybrid.

##### *1.1.3.1. Metodologia waterfall*

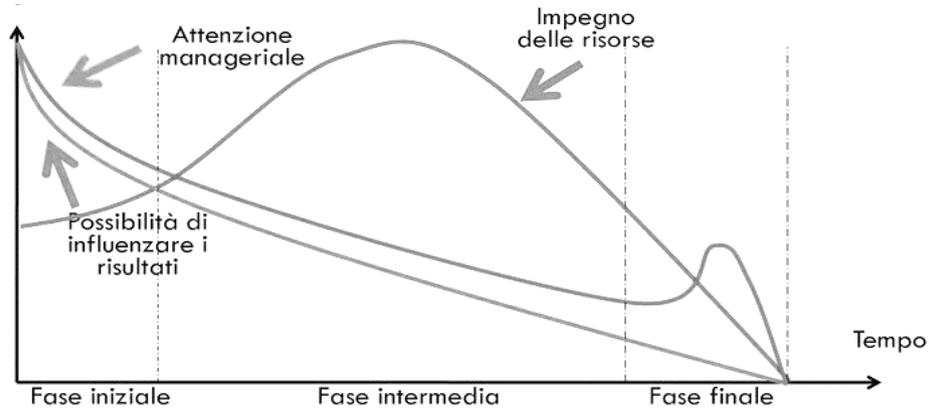
Il modello a cascata è un approccio sequenziale e lineare allo sviluppo del software. Tale metodologia, basata sulla concezione del ciclo di vita di un progetto software come una successione lineare di fasi, ne definisce consequenzialmente le modalità di produzione dei deliverables.

Prevede, dunque, una sequenza ben definita di macro-steps, in cui l'input di ogni fase è costituito dall'output della fase che la precede: concettualmente non si procede allo step successivo senza aver terminato quello precedente.

È un approccio guidato dalla pianificazione: fissato lo scope del progetto, saranno definite a cascata tutti i deliverables, stimate le tempistiche ed i costi (per questo è definito un

metodo “predittivo”). Fondamentale è la creazione di una WBS ben strutturata e la definizione di milestone.

Come è possibile notare dal grafico 2, secondo questa gestione, il carico di lavoro delle



risorse gestionali, per quanto distribuito su tutte le fasi, è particolarmente significativo

**FIGURA 2: RISORSE, MANAGEMENT E POSSIBILITÀ DI APPORTARE MODIFICHE LUNGO IL CICLO DI VITA DEL PROGETTO**

nelle fasi iniziali del

progetto, in cui sono stabilite al dettaglio le specifiche di prodotto, pianificati i tasks ed allocate le risorse. Ciò fa sì che la possibilità di apportare modifiche decresca lungo il ciclo di vita, in quanto richiederebbe costi troppo elevati.

*Le peculiarità della metodologia waterfall sono:*

- 1) Una definizione dettagliata dei requisiti in fase preliminare del progetto;
- 2) Particolare attenzione al processo di pianificazione preventiva;
- 3) Focus sullo scope del progetto, piuttosto che sui vincoli di tempo e costo;
- 4) La comunicazione con gli stakeholders avviene prettamente in fase di analisi e di definizione delle specifiche di prodotto.

*Punti di forza del metodo Waterfall:*

- 1) I requisiti sono definiti molto chiaramente e nel dettaglio, concordati e formalizzati;
- 2) La documentazione redatta durante le varie fasi è molto ricca e ciò rappresenta uno strumento per facilitare la comprensione dei processi e la formazione di figure tecniche meno specializzate;

- 3) Pone molta attenzione e dedica molto spazio all'analisi ed alla pianificazione, ciò permette di intercettare difettosità nelle fasi preliminari del progetto;
- 4) I vincoli temporali ed il piano dei rilasci (milestone) consentono un controllo ed un monitoraggio agevole.

*Punti di debolezza del metodo Waterfall:*

- 1) È consuetudine che le fasi di pianificazione ed analisi, dovendo essere molto accurate, richiedano relativamente molto tempo e facciano ritardare le fasi successive.
- 2) In generale non è un modello che si presta bene a progetti di grandi dimensioni: difatti, se le attività sono sequenziali e non parallelizzabili, un ritardo in qualsiasi fase farebbe slittare l'intero progetto;
- 3) Questo approccio si dimostra poco flessibile a cambiamenti di requisiti o ulteriori richieste nel momento in cui il progetto risulta essere in stato avanzato. Difatti, i requisiti che siano stati già formalizzati, possono essere modificati solo attraverso procedure di escalation (ingrandimento). Ciò è particolarmente limitante, soprattutto nel contesto IT, nel quale si osservano cambiamenti tecnologici e mutano le esigenze funzionali continuamente e rapidamente.
- 4) Il cliente prende visione dei deliverables solo al momento della consegna (dunque non c'è nessun ciclo di revisione, feedback e adattamento).
- 5) Spesso quello che appare come un processo sequenziale ed efficiente si rivela essere una serie di cicli turbolenti che consumano inefficientemente risorse (tempo e soldi). Questo accade perché spesso le fasi non sono collegate linearmente tra di loro e non sono pienamente definibili i confini di ogni attività, e ciò genera continui flussi di revisione backward.

INCIDENT DEI NODI LI CHIUDIAMO PRBLEM → DI MOVIMENTARLI QUESTI INCIDENT →  
URL di DYNATRACE - \_> ANCHE SE E RIENTRATO VOGLIAMO TRACCIARE 13.03 ALLE 13.28  
NON TANTO PER I NOTTURNI

MA PER IL GIORNO → CHI LE GESTISCE LO MANDA DAL PARTITARIO GUARDARE SU  
DYNATRACE 13.03 – 13.29 → LINK DI KIBANA → DIANO SPEDIRLO AD ANAGRAFE CON  
L'URL AD ANAGRAFE →

5.10 → CHIAMARE SARA

### *1.1.3.2. Metodologia agile*

Questo secondo approccio è trasversalmente opposto al primo. La metodologia Agile adotta una visione dinamica e flessibile che pone il committente e le sue richieste al centro dei processi, anche in stato avanzato del progetto, e dà la prelazione alle esigenze del cliente piuttosto che al perseguimento di protocolli e procedure standard.

Questa metodologia, che risulta essere un vero e proprio mindset, è racchiusa nel “Manifesto Agile”, che conta dodici principi emblematici di un modo iterativo di approcciarsi al project management e meno attento a inefficienti sofismi formali.

Gestire con una visione “agile” significa definire ad alto livello le specifiche del prodotto e stabilire gradualmente i requisiti di dettaglio, in base alle esigenze del cliente ed all'avanzamento del progetto.

La pianificazione è definita “a finestra mobile”, non è rigida: copre degli orizzonti temporali relativamente molto brevi e prevede rilasci continui di pacchetti funzionanti, piuttosto che un rilascio univoco in seguito al perfezionamento finale di tutte le funzionalità. Essendo il processo di pianificazione strutturato in tal modo, è possibile aggiornare costantemente la tabella di marcia e raccogliere feedback in ingresso per riadattare il piano d'azione.

*Le peculiarità della metodologia Agile sono:*

- Definizione dei requisiti graduale e guidata dalle richieste specifiche del cliente, sollevate soprattutto in fase evoluta del progetto;

- Flessibilità, propensione all'innovazione e al cambiamento;
- Focus sul rispetto dei vincoli di tempi e costi. Lo scoping è flessibile e funzione dei vincoli. Dunque, si tende alla realizzazione di un prodotto completamente customizzato, cui caratteristiche non sono definite nelle fasi preliminari di progetto;
- Interazione e coinvolgimento continuo con gli stakeholders, cui soddisfazione è determinante per la riuscita del progetto.

#### *Punti di forza della metodologia Agile*

- Pone il focus sulle esigenze del cliente, il quale è coinvolto direttamente, garantendo un prodotto completamente customizzato;
- Ottimizzazione dei processi e riduzione degli sprechi: essendo il prodotto guidato dalle richieste del cliente, infatti, questo approccio consente uno sforzo delle risorse più mirato;
- Rilevamento più veloce di problematiche e difetti: il fatto di avere rilasci continui permette di avere feedback costanti e di limitarli su perimetri più concentrati;

Per quanto concerne la sfera burocratica, il metodo Agile scardina il binomio tradizionale della "rigida struttura verticale e forte specializzazione orizzontale": i membri dei vari team diversificano le attività e generano flussi critici ed analitici di idee che si muovono trasversalmente attraverso la squadra. Sollecitare l'intelligenza collettiva permette al singolo di sviluppare la cosiddetta "T-shape competence" che consente la possibilità di specializzarsi congiuntamente alla possibilità di sviluppare il proprio pensiero costruttivo e la propria capacità di problem solving, collaborando con esperti di altre aree e di applicare il proprio bagaglio di conoscenze e competenze in contesti diversi dal proprio.

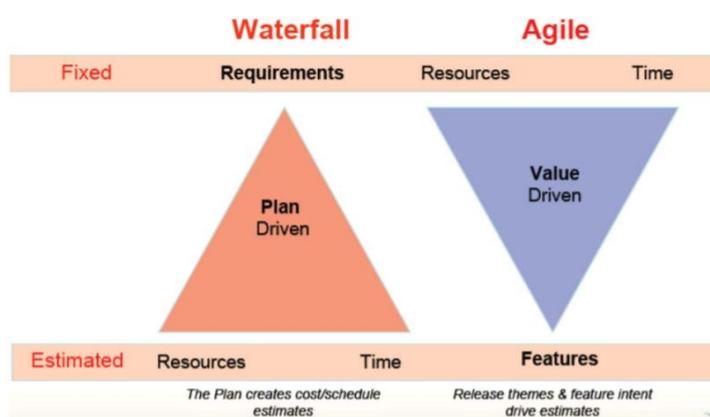
#### *Punti di debolezza del metodo Agile:*

- Le tecniche “agili” hanno una visione a breve termine e potrebbero perdere di vista gli obiettivi a lungo termine;
- Questa metodologia di gestione potrebbe richiedere costi eccessivamente elevati per sostenere i processi di change management, in quanto soluzioni organizzative agili potrebbero risultare strutturalmente incompatibili da applicare in organizzazioni molto grandi che abbiano un approccio rigido e tradizionale;
- Potrebbe non essere efficiente qualora il committente segua processi o metodi molto rigidi;
- Potrebbe generare frustrazioni e rappresentare una forzatura qualora il team non posseda il senso di responsabilizzazione e la capacità di auto-organizzarsi.

### 1.1.3.3 Confronto tra i due metodi

Come già evidenziato in precedenza, l’approccio Agile si dimostra più flessibile ai cambiamenti di requisito richiesti dal cliente. È da preferirsi, dunque, qualora il prodotto non sia accuratamente dettagliabile già nella fase preliminare di analisi.

Per questo tale visione è definita *value driven*: le decisioni gestionali sottostanti tutte le fasi di progetto sono vincolate dalle risorse e dalle tempistiche concordate con il cliente.



**FIGURA 3: CONFRONTO TRA GLI APPROCCI E FLUSSO DELLE SCELTE GESTIONALI**

Inizialmente le specifiche di prodotto saranno solo abbozzate ad alto livello per poi essere specificate esaustivamente in modo graduale, durante l’avanzamento del progetto.

Al contrario, l’approccio waterfall è definito *plan driven*: le specifiche del prodotto sono perfettamente dettagliate in fase iniziale e sulla base di queste sarà strutturata una WBS per definire tutte le attività da svolgere e per

strutturare una pianificazione. Infine, sulla base di quest'ultima e di come sono allocate le risorse, è approssimata una stima di tempi e costi.

Considerando il differente vincolo che veicola le scelte dirigenziali nei due casi (specifiche di prodotto nel caso waterfall, risorse e tempo nel caso agile), diverge anche l'impostazione progettuale e, dunque, anche l'allocazione dei costi lungo le varie fasi di progetto.

Come è possibile notare in figura 4: mentre il costo attribuibile ad un progetto usando un approccio

tradizionale segue un trend che inizialmente risulta essere molto alto (specialmente durante la fase di analisi), per poi decrescere molto velocemente e stabilizzarsi su valori

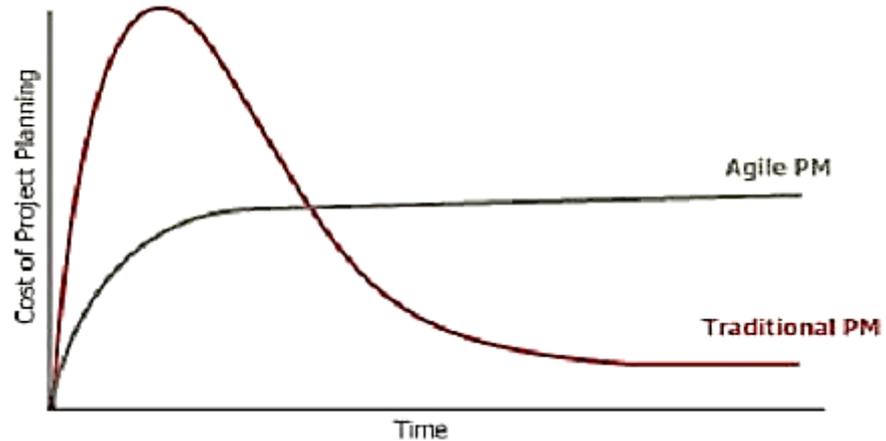


FIGURA 4 : CONFRONTO DELL'ANDAMENTO DEI COSTI DI UN PROGETTO SECONDO UNA VISIONE AGILE VS WATERFALL

stabilizzarsi su valori

relativamente molto bassi nelle fasi intermedia e finale, il costo di un progetto gestito in modo Agile tende ad assumere dei valori relativamente trascurabili all'inizio, per poi stabilizzarsi attorno ad una quota abbastanza consistente e costante fino alla fine del progetto.

Ciò comporta una diversa flessibilità al cambiamento di requisiti funzionali lungo l'avanzamento del progetto:

osservando la

figura 5 è immediato

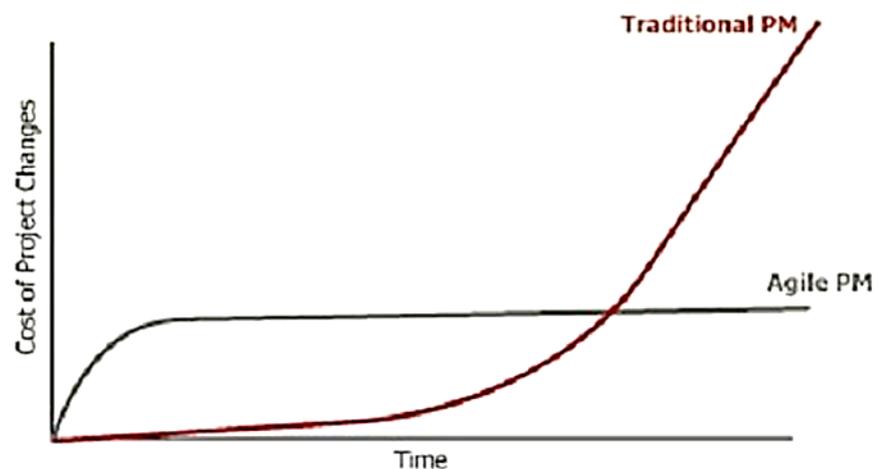
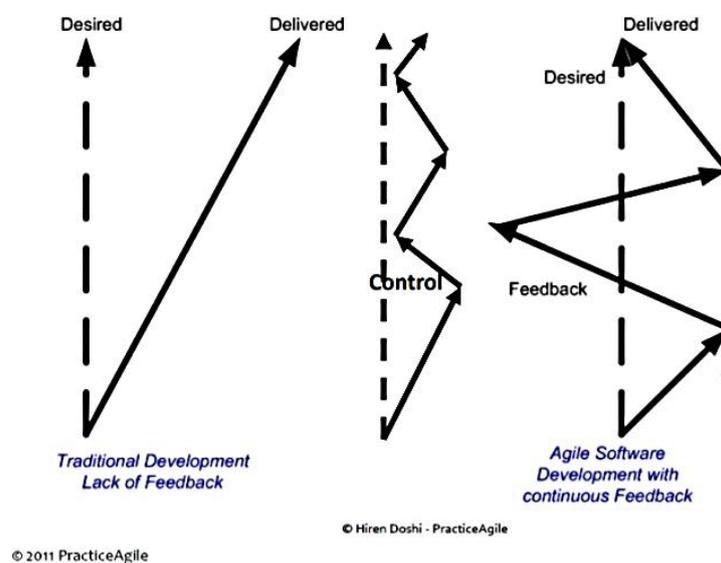


FIGURA 5: ANDAMENTO DEI COSTI DERIVANTI DA MODIFICHE, CONFRONTO TRA PROGETTO AGILE E WATERFALL

notare che le modifiche di un progetto in stato avanzato in ambiente Agile richiedono meno sforzo economico.

Un'altra grande differenza riguarda il rapporto con gli stakeholders e le informazioni scambiate: in un contesto Agile sono continuamente rilasciati in produzione "piccoli pacchetti di prodotto funzionanti" e ciò permette di raccogliere feedback, correggere tempestivamente eventuali difetti e rispondere meglio a delle esigenze di completa customizzazione del prodotto.



**FIGURA 6: CONFRONTO DELLA FREQUENZA DI RILASCI E FEEDBACK CON GLI STAKEHOLDERS**

La comunicazione con gli stakeholder nella prospettiva waterfall, invece, è relegata essenzialmente alla fase iniziale. Dopodiché, avviata la fase di implementazione a seguito di tutte le analisi del prodotto e delle varie ricerche di mercato: solo in misura eccezionale saranno apportate modifiche al piano iniziale in quanto particolarmente costoso.

#### *1.1.2.4. Soluzione ibrida del caso studio*

Alla luce di quanto argomentato nei paragrafi precedenti, risulta evidente che entrambi gli approcci di project management presentano dei punti di forza e di debolezza. Inoltre, è chiaro che vi siano delle specifiche situazioni in cui il contesto favorisce l'uso di un metodo piuttosto che dell'altro, parzialmente o in toto.

Nel contesto applicativo reale, però, è raro trovare un'organizzazione strutturata in modo puramente agile o puramente waterfall. Infatti, molto spesso, sono sfruttati congiuntamente degli aspetti di entrambe le metodologie.

Nella realtà è possibile trovare varie forme di ibridazione.

Ad esempio, si parla di "approccio concomitante" quando:

- All'interno della stessa azienda alcune unità organizzative utilizzano la modalità Agile ed altre la tradizionale;
- È utilizzata una metodologia "pura" in modo circostanziale ad alcuni progetti;
- La pianificazione di alto livello utilizza un approccio waterfall mentre quella di dettaglio un approccio agile.

Un'altra forma di ibrido è quella dell'"approccio misto", realizzata quando, nonostante sia ben definibile l'applicazione di uno dei due metodi, vi sono delle contaminazioni provenienti dall'altra scuola di pensiero. Ad esempio:

- In progetti per cui sia stato adottato un approccio waterfall, sono presenti incontri di coordinamento (i quali ricordano le "sprint review" agili), analisi di lesson learned in seguito ad ogni rilascio oppure dopo le riunioni più rilevanti ed i membri del team sono gli stessi per l'intera durata dello sviluppo, permettendo lo sviluppo di competenze trasversali attraverso l'intelligenza collettiva.
- In progetti sostanzialmente agili sono inserite delle milestone per condurre delle analisi di alto livello e tools per il report di informazioni per gli stakeholders ed il management.

Nell'ampio contesto di sviluppo software anche la letteratura suggerisce un'integrazione tra i due metodi: un approccio Agile, che consenta una versione delle release software più

snella e rapida, congiuntamente ad un approccio waterfall, adottato nelle fasi preliminari, che consenta di governare meglio costi e rischi.

Fedelmente a quanto suggerisce la teoria, l'organizzazione Alten Italia, ha adottato un approccio ibrido di project management, personalizzandolo ad hoc ed aggiornandolo in base alle esigenze suggerite dall'esperienza.

#### *Elementi importati dal mondo Agile*

Presenza di continue riunioni interne di aggiornamento e allineamento (nello stile di cerimonie scrum):  
la comunicazione è considerata un elemento chiave per il successo in team. In questo contesto sono esposti anche dei report: in particolare sono riportati grafici propri del mondo agile, i "burndown chart" che si sono rivelati essere fondamentali come strumento per la condivisione degli obiettivi e motivazione.

#### *Elementi importati dal mondo tradizionale*

L'approccio di gestione waterfall è sicuramente utilizzato per la fase progettuale preliminare di analisi (dei requisiti, funzionale, tecnica). Difatti, oltre a redigere delle documentazioni molto ricche in queste fasi (come, ad esempio, l'analisi tecnica non richiesta dal contratto), in questa fase sono definite a livello di profondo dettaglio le specifiche del prodotto.

Deliverables: Alten Italia ha scomposto i propri progetti in più workorders, ossia pacchetti funzionali che godono di autonomia finanziaria. Ogni qual volta che un work package abbia superato le fasi di System test ed UAT, questo è lanciato in produzione con la release cronologicamente più vicina, anche qualora non siano stati implementati tutti i work orders.

Non sono presenti processi di pianificazione pedanti e dettagliati: l'allocazione delle risorse, supportata dalle informazioni essenziali della RBS, è abbastanza approssimativa, malleabile e su termine mensile, in modo da poter soddisfare in modo più efficace le esigenze dei vari periodi.

Gli stakeholders sono coinvolti durante tutte le fasi di progetto: ogni settimana sono state istituite delle riunioni di allineamento con il cliente, le quali hanno lo scopo ulteriore di valutare se realmente le esigenze del cliente continuano ad essere soddisfatte dagli stessi requisiti funzionali pattuiti in fase contrattuale oppure se sia necessario apportare modifiche.

Quelli di gestione non sono processi completamente trasparenti: c'è separazione verticale e specializzazione orizzontale. Per questo, ad esempio, gli sviluppatori non hanno modo di accedere alle informazioni di carattere puramente economico poiché potrebbero risultare troppo ambigue e fraintendibili.

I task sono destrutturati in sub-activities elementari grazie al supporto delle WBS.

In fase contrattuale sono definite milestone e date di release, per permettere un buon monitoraggio e definire al meglio l'avanzamento dei progetti.

Dunque, il modello adottato nella realtà dall'azienda, risulta essere una sintesi delle due visioni, assumendo un'impronta waterfall nella fase preliminare ed una gestione che richiama quella Agile lungo l'avanzamento di progetti di un settore che, come è possibile intuire, risulta essere estremamente dinamico ed in cui uno dei principali critical success factors è sicuramente l'innovazione.

### 1.1.3 Accenno alle metodologie utilizzate per stimare tempi e costi di un progetto

#### 1.1.3.1 Pert

Un'altra tecnica per la programmazione e la gestione dei tempi (ma anche dei costi) di un progetto è quella del Pert. Questa si differenzia da quella appena esposta poiché ha alla base una logica probabilistica.

Il metodo poggia su una rappresentazione delle attività e del flusso di dipendenze del tipo AOA, activity on arrow, dunque, le attività sono rappresentate come frecce, le quali collegano i nodi che ne rappresentano la durata.

È anche definito il metodo di "stima a tre punti" poiché prevede per ogni attività la determinazione di valori stimati di tre categorie: ottimale, probabile e pessimistico.

Dunque, il valore ottimistico (OT) è ottenuto a seguito di uno studio di fattibilità mediante un'analisi top-down, e rappresenta lo scenario migliore legato al completamento dell'attività.

Il valore pessimistico (PE) è ricavato a seguito dell'analisi dei rischi del progetto e tiene conto di elementi oggettivi, quali le contingency preventivate.

Il valore probabile (PR) è ottenuto indipendentemente dagli altri due, tenendo conto di indagini fatte coinvolgendo esperti del settore.

Il risultato della stima del tempo di completamento del progetto si ottiene applicando la seguente formula:

$$(OT + PE + 4 \times PR) / 6$$

In seguito, è riportato un esempio di un diagramma di Pert.

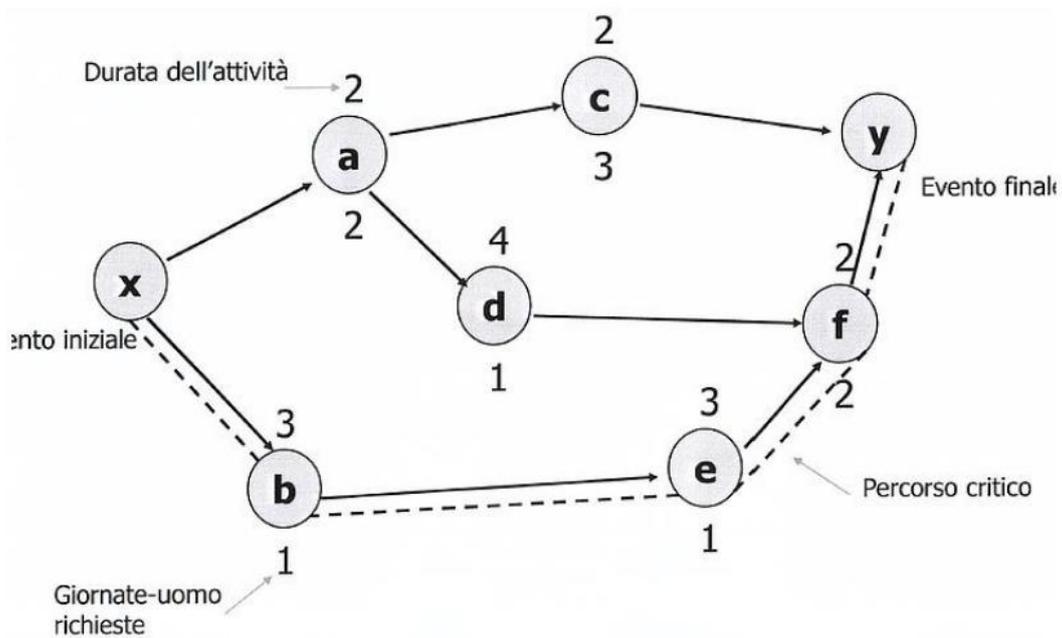


FIGURA 7: ESEMPIO DI UN DIAGRAMMA DI PERT

### 1.1.3.2. CPM – Critical Path method

Il cpm è una metodologia utilizzata nel project management per pianificare e stimare deterministicamente il costo ed il tempo che cuberà il progetto. È definito “deterministico” poiché trascura l’incertezza sui tempi di esecuzione pianificati.

Per applicare tale tecnica è necessario innanzitutto definire le attività ed i work packages che le costituiscono, nonché la dipendenza in termini di risorse. Funzionale per

l'applicazione del cpm è la definizione della WBS (Work breakdown structure) e del Gantt delle attività.

Il metodo prevede che per ogni attività siano definite:

- una durata normale ( $d_{n,i}$ ) ed un costo normale associatogli ( $cn,i$ ),
- una durata accelerata ( $d_{r,i}$ ), ossia l'intervallo di tempo minimo necessario per eseguire l'attività accelerando le fasi (ad esempio: aumentando le risorse) a cui è associato il relativo costo accelerato ( $cr,i$ ).

Le dipendenze tra i work package, che saranno alla base della costruzione del reticolo logico, dal quale sarà immediato individuare il percorso critico del progetto.

Il cpm prevede due step di analisi:

- 1) Una prima fase in cui sono determinati costi e tempi schedulando le attività "al più presto", ossia, avviando l'attività successiva non appena sia stata completata la precedente (ES, tempo di avvio al più presto; EF, tempo di fine al più presto). Visivamente, si ottiene la schedulazione comprimendo il Gantt sulla sinistra.

Procedendo sul reticolo da sinistra verso destra, sarà calcolata per ogni attività la data di fine al più presto EF come  $EF = ES + \text{durata attività}$ .

- 2) Una seconda fase in cui sono determinati costi e tempi "al più tardi", ossia, schedulando le attività il più tardi possibile (LS, data di avvio al più tardi; LF, data di fine al più tardi). Visivamente, si ottiene la schedulazione comprimendo il Gantt sulla destra.

Si procede a ritroso sul grafo orientato, dunque, a partire dall'ultima attività, per la quale  $LS = ES$  ed  $LF = LS$ . Condizionatamente alle dipendenze tra i workpackage, si procederà da destra verso sinistra, calcolando per ogni attività la data di avvio al più tardi  $LS = LF - \text{durata dell'attività}$ .

A questo punto sarà calcolato il margine di scorrimento di ogni attività come il massimo tra:

- la differenza  $\Delta 1 = LF - EF$
- Il delta  $\Delta 2 = LS - ES$

Il margine di scorrimento (SL, slack) indica di quanto un task può essere ritardato senza modificare la data di fine progetto. Le attività a cui è associato uno slack pari a 0 saranno quelle definite “critiche”, che comporranno il percorso critico.

In basso è riportato un esempio di grafo e di percorso critico.

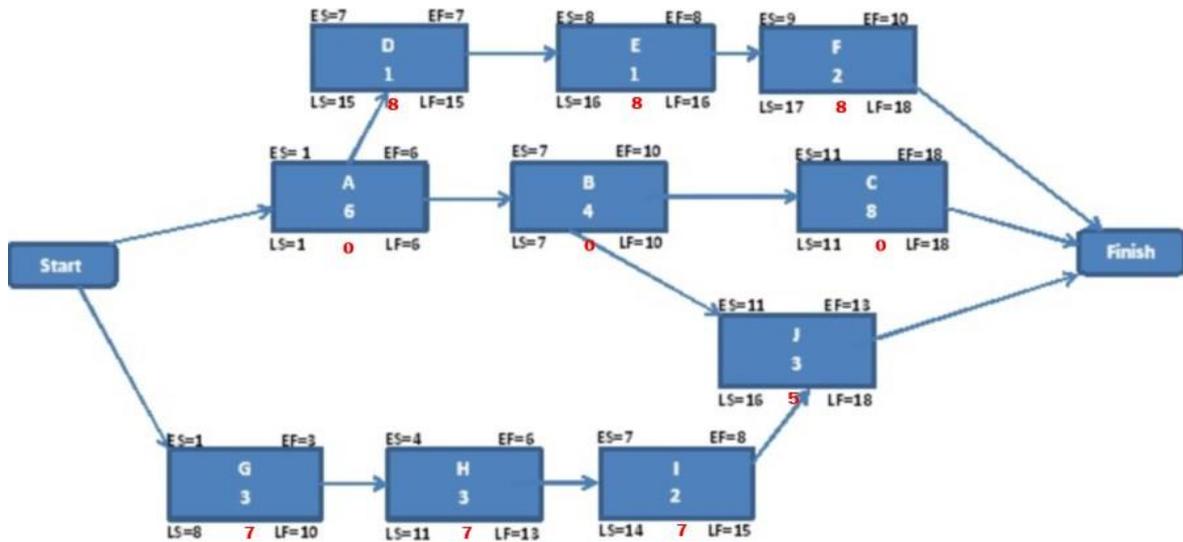


FIGURA 8: APPLICAZIONE DEL CPM E DI PERCORSO CRITICO (SLACK = 0)

### 1.1.3.3 EVM

La tecnica dell’earned value, conosciuto anche come EVA (earned value analysis), è uno dei metodi più apprezzati ed utilizzati nel panorama del project management. Consente di gestire e monitorare l’avanzamento del progetto in corso d’opera, nonché di intercettare eventuali criticità in modo da poter applicare strategie mitigative.

L’EVM e le sue proprietà sono espone nel dettaglio nel capitolo successivo.

## 2 EVM e varianti

### 2.1. EVM: Modello tradizionale, stime a finire lineari

Tra le metodologie più usate nella disciplina del project management per controllare e stimare costi e durate di un progetto vi è sicuramente l'Earned Value Method. La gestione efficace di un progetto consiste principalmente (ma non solo) nel rispetto di tempi e costi prefissati a budget.

Nella realtà, tuttavia, è molto comune che i tempi e i costi calcolati alla fine del progetto non siano quelli che erano stati previsti contrattualmente nella fase preliminare del progetto.

Ciò accade soprattutto quando i progetti sono legati a settori in cui gli aspetti tecnologici del progetto stesso sono complesse e dinamiche.

Il metodo EVM permette di monitorare lo stato avanzamento del progetto e di individuare, in corso d'opera, la presenza di criticità mediamente l'analisi degli scostamenti del binomio costo-durata attuali rispetto a quello pianificato.

Per analizzare il funzionamento ed i limiti di questa metodologia è necessario, però, approfondire i concetti e le definizioni che ne costituiscono le fondamenta. Le variabili su cui poggia l'analisi l'EVM sono:

- BC, budget cost;
- WS, Work Scheduled;
- AC, Actual cost;
- WP, Work Performed.

A partire da queste variabili e parametri, sono calcolati i seguenti indicatori:

- Il Planned Value (PV, BCWS), ossia il budget programmato per ogni periodo (stimato prima che il progetto sia avviato).

- È calcolato come il prodotto tra quantità di lavoro programmata per il periodo ed il costo delle risorse coinvolte:

$$\text{BCWS} = \text{budget cost} \times \text{work scheduled}$$

- L'actual cost (AC, ACWP), che rappresenta il costo realmente sostenuto per ogni periodo (misurato in corso d'opera). Questo è dato dal prodotto di costo attuale e lavoro effettivamente performed:

$$\text{ACWP} = \text{Actual cost} \times \text{work performed}$$

Lo scostamento di queste due variabili valutate in corso d'opera permette di fare supposizioni statiche riguardo un eventuale anticipo o ritardo nell'esecuzione del progetto, nonché riguardo eventuali over and under cost.

È definito "scostamento contabile" la differenza tra Planned value ed actual cost:

$$\text{scostamento contabile} = \text{BCWS} - \text{ACWP}$$

Tuttavia, quest'indice non fornisce reali indicazioni della quantità di lavoro effettivamente realizzato.

Per questo, è stata introdotta un'ulteriore misura, ossia quella dell'earned value.

L'Earned Value (EV, BCWP) rappresenta il lavoro effettivamente eseguito utilizzando il budget pianificato inizialmente, ed è calcolato come il prodotto di budget pianificato inizialmente e lavoro effettuato fino al momento in esame.

$$\text{Earned Value} = \text{BCWP} = \text{Budget cost} \times \text{Work performed}$$

Quest'ultima variabile, calcolata in corso di avanzamento del progetto, permette di individuare eventuali anticipi o ritardi nei tempi di esecuzione, nonché di individuare se il costo che si sta sostenendo sia maggiore o minore di quello previsto.

La criticità che subentra nell'applicazione nella pratica di questa metodologia è la determinazione del work performed, ossia del lavoro effettivamente realizzato.

Nel contesto che ho avuto modo di approfondire con l'esperienza di tirocinio, dunque riguardante lo sviluppo di progetti software, le tecniche utilizzate per calcolare l'effettivo avanzamento dei progetti in corso d'opera sono legate alla WBS e al concetto di milestone. Le due metodologie adottate, a seconda della complessità del progetto, sono:

- Identificazione di milestone, ossia di eventi chiave che rappresentano la conclusione di fasi intermedie di progetto, a cui è associato un peso relativo all'effort necessario per raggiungerle. La percentuale di avanzamento del progetto è calcolata come:

$$\% \text{ avanzamento} = \sum Mi * pi$$

(dove  $M_i$  rappresenta la  $i$ -esima milestone ed è una variabile booleana,  $M_i = 1$  se la milestone è stata completata, viceversa  $M_i = 0$ ;  $P_i$  rappresenta il peso della fase in esame rispetto all'attività complessiva).

- Per ciò che concerne la fase di sviluppo del software (sviluppo da intendersi come fase del ciclo di vita del software), è adottata la tecnica dell'ON e OFF. Ovvero, a partire dalla scomposizione dell'attività progettuale ottenuta dalla WBS (definita precedentemente in fase di pianificazione), lo stato delle sub-activities è cambiato da OFF (0%) ad ON (100%) nel momento in cui l'attività è completata. La WBS (work breakdown structure) rappresenta la scomposizione della progettualità nelle sub-activities più elementari che la compongono.

Per definizione, ad ogni task è associato un peso ponderato relativamente all'intero progetto.

Dall'analisi delle variabili appena esposte, è possibile calcolare i seguenti indicatori di performance:

- Cost Variance (CV): è calcolato come la differenza tra earned value ed actual cost.

$$CV = BCWP - ACWP$$

Un valore negativo di questo indice suggerisce che il costo del progetto sta superando quello che era stato pianificato a budget. Viceversa, un CV positivo indica che si sta risparmiando sul budget.

- Cost Performance Index (CPI): è calcolato come il rapporto tra earned value ed actual cost

$$CPI = BCWP / ACWP$$

Un valore inferiore ad 1 del CPI indica che i costi sostenuti fino al momento di esame sono maggiori rispetto ai pianificati, viceversa un valore maggiore di 1 indica che si sta spendendo meno di quello che era stato preventivato in fase di pianificazione.

- Schedule Variance (SV): è calcolato come la differenza tra earned value e planned value.

$$SV = BCWP - BCWS$$

Un valore negativo è sintomo di ritardo rispetto alla pianificazione. Invece SV maggiore di 0 indica che si è in anticipo rispetto al piano iniziale.

- Schedule Performance Index (SPI): è calcolato come il rapporto tra Earned value e planned value.

$$SPI = BCWP/BCWS$$

SPI minore di 1 è conseguenza di un ritardo, viceversa, un valore superiore ad uno implica che, nel momento di riferimento, si è in anticipo sulla pianificazione.

L'andamento di earned value, planned value ed actual cost sono spesso riportati cumulativamente in funzione dei time period. In modo da poter visualizzare i trend di avanzamento in modo immediato.

Fisiologicamente un progetto cui ciclo di vita è tendenzialmente waterfall presenta questo andamento ad S, dunque crescente in modo molto accentuato nelle fasi intermedie del progetto, mentre in modo meno marcato all'avvio e verso la fine.

Un esempio di questa tendenza di avanzamento è riportato in seguito.

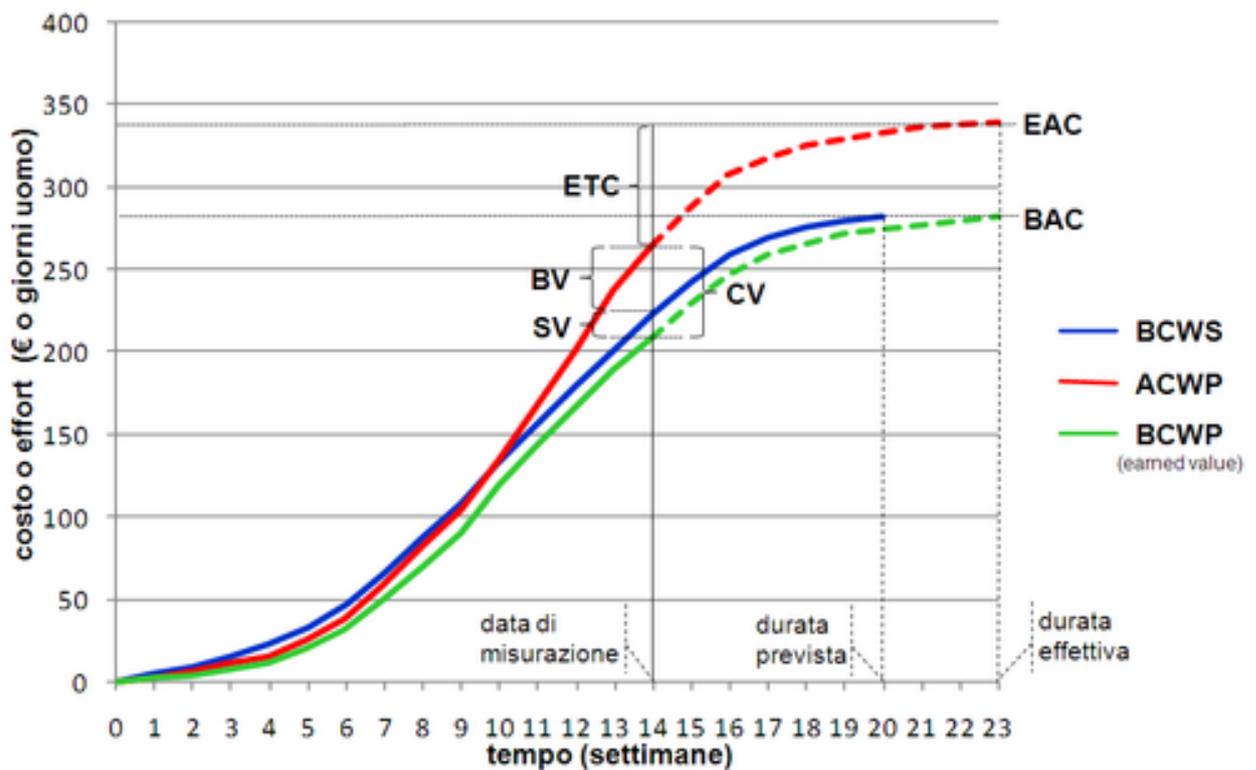


FIGURA 9: AVANZAMENTO DEL PROGETTO, CURVE AD S.

A partire dagli indici appena elencati e considerando i parametri progettuali, è possibile calcolare le stime a finire di tempi e costi di progetto, ossia il time at completion (teac) ed il costo at completion (ceac).

Dopo aver analizzato, nella teoria, come strutturalmente sono calcolate le due stime nel modello tradizionale, si procederà con l'analisi di ulteriori stime a finire presenti in letteratura.

Dalle analisi e dalle osservazioni su errori e scostamenti delle stime calcolate con i vari metodi, rispetto agli andamenti effettivi dei progetti, saranno testate varie tecniche predittive su dati realmente acquisiti in azienda, al fine di formulare un algoritmo predittivo di costi e durata che abbia maggior fitting rispetto la tecnica tradizionale dell'earned value.

### 2.1.1. Stima dei costi a finire: CEAC

Con cost estimate at completion (CEAC o EAC) si definisce la stima a finire dei costi totali di un progetto. La disciplina del Project management riconosce più approcci al calcolo di tale previsione:

- approccio di stima tradizionale:

**CEAC = Spesa effettivamente sostenuta (in t) + la quantificazione, con costi a budget, del lavoro restante**

$$**CEAC = ACWP(t) + (BAC - BCWP(t))**$$

$$**CEAC = BAC - (BCWP(t)) - ACWP(t)**$$

$$**CEAC = BAC - CV(t)**$$

Ove il bac rappresenta il costo totale di progetto stimato prima dell'avvio.

Tale approccio poggia sull'assunzione, che rappresenta al tempo stesso una forte limitazione di questo modello, secondo cui, a prescindere da quale sia stata la

produttività fino al momento della stima (tempo t), l'andamento applicato da t fino alla fine del progetto sarà quello dettato dal budget preventivato.

- approccio di stima rivisitato:

$$CEAC = BAC - \frac{(BCWP(t)) - ACWP(t)}{CI}$$

Tale approccio, invece, poggia sull'assunzione secondo cui il coefficiente di produttività manifestato dalle risorse fino al momento t dell'analisi rimarrà costante fino alla fine della progettualità. Dunque, sarà rivalutata la produttività delle risorse in base a quella

A partire dunque dal costo totale stanziato a budget, il BAC, un Cost Index minore di uno, ossia qualora si stiano sostenendo costi superiori a quelli preventivati, porterà ad un CEAC maggiore del BAC. Viceversa, un CI maggiore di uno, farà sì che il costo al completamento sia minore di quello predefinito a budget.

- approccio pessimistico

$$CEAC = \frac{BAC}{SI * CI}$$

Quest'ultimo approccio considera, oltre all'influenza di un eventuale ritardo o anticipo sul costo a finire del progetto, anche l'effetto di un'eventuale perdita o guadagno dal punto di vista di costi (dunque l'eventuale variazione dei costi effettivi rispetto a quelli preventivati).

Tale approccio è definito pessimistico poiché quando i due indici SI e CI presentano trend affini (contemporaneamente sono entrambi maggiori o minori di 1), l'effetto sull'EAC è

amplificato. Viceversa, l'effetto di queste leve tende a controbilanciarsi nel momento in cui presentino tendenze opposte.

Nella pratica, quando l'SI è minore di 1, tale stima è cautelativa; viceversa, quando l'SI è maggiore di 1, il suo apporto tende ad essere ragionevolmente trascurato.

## 2.1.2 Stima dei tempi a finire

### 2.1.2.1 TEAC

Analogamente alle supposizioni deducibili sul costo appena esposte (ceac), è possibile fare delle previsioni simili sui tempi di completamento del progetto. È definito Time estimate at completion (TEAC o AC)

I due approcci al calcolo di questa stima sono i seguenti:

- Approccio di stima tradizionale:

**TEAC = periodo attuale (t) + (lavoro rimanente / tasso di produttività a schedulazione)**

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

Dove PD (Planned duration) è il tempo di completamento preventivato in fase preliminare del progetto. Il parametro T, invece, indica il momento in cui è svolta l'analisi.

Così come per il calcolo del ceac, l'approccio tradizionale è limitante: difatti, presuppone che il work rate, dal momento T fino alla fine del progetto, sia costante e pari a quello preventivato a priori a budget.

Si noti che: se BCWP = BCWS, allora il teac sarà esattamente pari alla PD.

- Approccio di stima rivisitato

-

$$TEAC = AT + (BAC - BCWP) * \frac{PD - T}{BAC - BCWS} * \frac{1}{SPI}$$

Questo approccio inserisce nel calcolo del tempo di completamento l'indice SI (o SPI): qualora lo schedule index sia minore di 1, dunque il progetto sta avanzando in una situazione di inefficienza, i tempi previsti per il completamento si allungheranno.

Si noti che: se BCWP = BCWS, ciò è sempre verificato al tempo 0, allora il teac sarà pari a AT + (PD - T)/SI.

## 2.2 Alternative di calcolo del Ceac e del Teac

La scienza del project management riconosce come attendibili le stime appena esposte. Tuttavia, nella pratica, in base a diversi fattori come la lunghezza, la complessità del progetto o le tecnologie alla base, non sempre con l'EVM si ottengono delle stime che fittino soddisfacentemente.

Per questo, nel corso del tempo, sono stati condotti studi ed esperimenti sulle varie forme funzionali che legano i vari parametri e variabili di progetto che compongono il ceac ed il teac., allo scopo di predire l'avanzamento dei progetti in modo più accurato, definire preventivamente potenziali criticità e mettere in atto eventuali azioni per mitigare ritardi ed overcosts.

Saranno esposte in questo paragrafo le stime che sono state più accreditate.

### 2.2.1 Earned Schedule, ES

La metodologia dell'earned schedule, cui paternità è attribuibile a Walter Lipke, nasce recentemente, nel 2003, e rappresenta un'estensione della teoria e della pratica dell'earned value management.

Integrata a partire dal 2005 negli standard dettati dal PMI, permette di elaborare considerazioni più significative sui tempi di completamento, utilizzando, appunto, il tempo come unità di riferimento (e non i costi).

Difatti, l'Earned value è un indicatore di valore e non di schedulazione, e, basare la stima dei tempi a finire sull'ev potrebbe portare a risultati devianti: mentre l'earned value fornisce una stima di quando è probabile che il progetto sia completato (più o meno affidabile in base a quale degli approcci è utilizzato, tradizionale, rivisitato o pessimistico), l'earned schedule produce una comprensione della probabilità di completamento in precisi momenti nel tempo, utilizzando solamente i dati già reperiti per l'analisi dell'ev.

Questo è possibile mediante il concetto chiave che questa metodologia integra alla disciplina dell'earned value management: la definizione, su orizzonte temporale, del momento in cui il lavoro pianificato a budget sarebbe dovuto corrispondere al valore del lavoro svolto fino al momento dell'analisi (t).

Nella pratica, le due metodologie, ev ed es, sono integrate sinergicamente ed utilizzate simultaneamente con limiti di confidenza statistica, in modo da ottenere risultati più attendibili in termini di costo e durata al completamento del progetto.

L'Earned Schedule è così calcolato:

$$ES = C + I = C + \frac{EV - PV(c)}{(PV(c+1) - PV(c))}$$

Il parametro C rappresenta il numero di intervalli temporali in cui risulta che l'EV sia maggiore o uguale al PV (BCWS). Dunque, concettualmente rappresenta il numero di periodi interi della baseline completati.

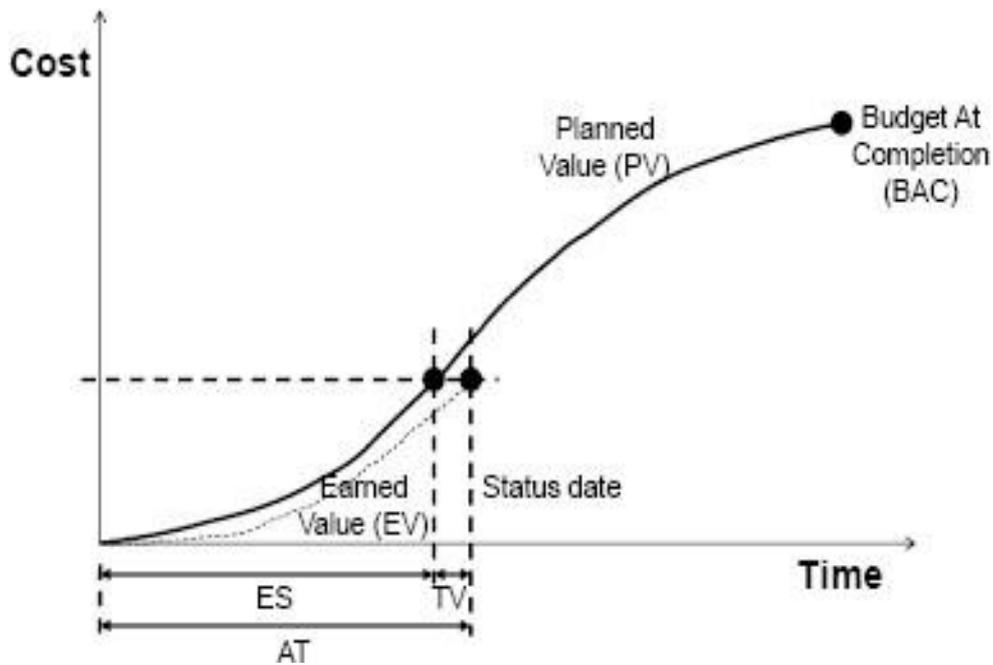


FIGURA 10: RAPPRESENTAZIONE GRAFICA DELL' EARNED SCHEDULE

Gli indici di performance utilizzati per calcolare gli scostamenti differiscono leggermente da quelli dell'EVM.

È definita, in questo contesto, la schedule variance ( $SV(t)$ ) come la differenza tra l'ES e l'AT (actual time, ossia il numero di periodi intercorsi da quando è stato avviato il progetto a  $t$ ):

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

Ove,  $SV(t)$  positivo indica un anticipo rispetto al piano inizialmente schedulato, viceversa  $SV(t)$  minore di 0 indica un ritardo. Quest'indice, calcolato in quest'ottica in cui è funzione del tempo, risulta restituire considerazioni più confidenti rispetto allo schedule variance calcolato con il metodo tradizionale dell'EV, in cui, per l'appunto, è calcolato con l'unità di misura del valore ( $SV(\$)$ ).

Infine, anche lo schedule perform index (SPI) è calcolato diversamente, ossia:

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

Il Teac è dunque calcolato come:

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

$$TEAC = T + \frac{PD - C + \frac{EV - PV(c)}{(PV(c+1) - PV(c))}}{C + \frac{EV - PV(c)}{(PV(c+1) - PV(c))}} \cdot AT$$

### 2.2.2 Introduzione del rework per il calcolo del teac

Si consideri la generica formula per il calcolo del TEAC (calcolato con l'Earned Schedule) :

$$TEAC = AT + \frac{(PD - ES)}{PF}$$

Dove PF indica il fattore di performance.

Finora abbiamo visto il TEAC espresso in funzione di:

- PF = 1
- PF = SPI(t) = ES/AT

A partire da questa formula, Lipke valutò un'alternativa al teac. Più nello specifico, nelle integrò alla formula tradizionale dell'earned value il *fattore R*, il quale rappresenta le rilavorazioni. Dunque, ridefinisce la formula dell'Earned Value come:

$$EV(e) = EV - R$$

$$R = (1 - PC^n e^{-m(1-PC)}) (1 - p) EV$$

Dove: PC rappresenta la percentuale di completamento del progetto (= EV/BAC); p è detto "p-factor" e rappresenta il grado di aderenza della schedulazione (P=1 indica perfetta

aderenza,  $P=0$  rappresenta non aderenza); gli esponenti  $n$  ed  $m$  sono tradizionalmente settati a 1 e 0,5.

Dopo aver trovato l'EV (e), si procede con il calcolo dell'ES(e), da cui è possibile ricavare l'SPI(t,e) come:

$$SPI(t,e) = ES(e) / AT = (C + (EV(e) - PV(c)) / (PV(c + 1) - PV(c))) / AT$$

L'SPI(t,e) corrisponde, per l'appunto, al Performance Factor utilizzato per il calcolo del teac.

### 2.2.3. Earned Duration

Il concetto di Earned Duration (ED) nasce nel 2014 (Khamooshi & Golafshani) per sopperire al gap concettuale introdotto dall'earned schedule. L'Earned Schedule, infatti, utilizzando i costi come metro di approssimazione dell'avanzamento progettuale, potrebbe deviare la stima della durata.

L'innovazione del metodo dell'earned duration consiste nel fatto che utilizzi esclusivamente il tempo per il calcolo degli indicatori di progresso, sganciandosi completamente dall'influenza dei costi e degli indici connessi.

$$ED = t + \frac{TED - TPD_t}{TPD_{t+1} - TPD_t} UC$$

Ove:

$$TED = \Sigma ED$$

$$TPD = \Sigma PD$$

In seguito è riportato un confronto grafico tra l'applicazione del metodo ED ed ES.

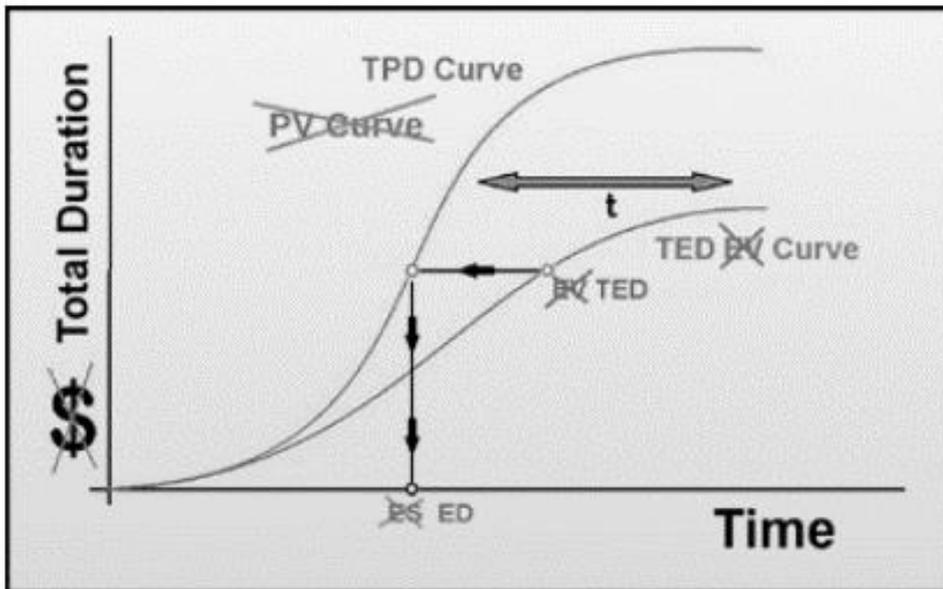


FIGURA 11: SIMILARITÀ TRA EARNED SCHEDULE ED EARNED DURATION

#### 2.2.4 funzioni polinomiali

Per mitigare l'effetto dell'incertezza sulle curve di avanzamento pianificate, uno tra i metodi più accreditati in letteratura è quello dell'integrazione delle teorie fuzzy, mediante funzioni polinomiali, alla metodologia dell'earned value.

La logica fuzzy (o logica "sfocata") rappresenta un'estensione della logica booleana. Legata alla teoria degli insiemi "sfocati" (cui paternità è attribuita a Lotfi A. Zadeh), è costruita sul principio secondo cui è possibile attribuire ad una proposizione un grado di verità pari a 0 (proposizione falsa), 1 (proposizione vera), ma anche un valore continuo compreso tra i due estremi (proposizione parzialmente vera / falsa).

Formalmente tale grado di verità, che nel linguaggio proprio della teoria degli insiemi è definito grado di appartenenza (all'insieme vero / falso), è determinato da un'apposita funzione di appartenenza  $\mu_F$ :  $\mu_F(x) = \mu$

dove:

- $x$  rappresenta i predicati da valutare, appartenenti all'insieme dei predicati  $X$ .  
 $x \in X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ ;
- $\mu$  rappresenta il grado di verità della proposizione / grado di appartenenza all'insieme definito.

La logica fuzzy si compone di tre passaggi:

1. fuzzification: è la fase iniziale in cui le variabili reali sono trasformate in variabili linguistiche usando degli attributi. Solitamente sono utilizzati dai tre ai sette attributi, e questi sono definiti sia per le variabili in input che in output. Il grado di appartenenza è stabilito mediante la funzione già citata.
2. Fuzzy inference: è definito il comportamento del sistema usando regole condizionali del tipo <When> , <Then>.
3. Defuzzification: i risultati dell'inferenza (numerici) sono esplicitati mediante attributi linguistici.

La logica fuzzy è implementata nel metodo dell'earned value method mediante la funzione polinomiale.

Un modello polinomiale di grado ( $D$ ) può essere una funzione lineare ( $D=1$ ), quadratica ( $D=2$ ), cubica ( $D=3$ ) e così via, a seconda del numero di fattori che si ritengono influenti.

### 2.2.5 Simple exponential smoothing model per affinare il calcolo del Ceac

Un'altra forma funzionale applicabile alle variabili di progetto ed ai parametri già definiti per l'applicazione dell'earned value è quella esponenziale. La scelta di questo costrutto funzionale deriva dal fatto che in molte circostanze è risultato empiricamente evidente che le attività non fossero completamente indipendenti ma che, per l'appunto, fossero flessibili ed esistesse una correlazione con le precedenti. Nello specifico sarà analizzata la tecnologia

dello smoothing esponenziale, utilizzata (e non solo in questo contesto) qualora la tendenza ed i valori medi della variabile in analisi cambino lentamente nel tempo.

In particolare, sarà analizzata l'applicazione della tecnica dello "smoothing esponenziale semplice" (SES, simple exponential smoothing) al CPI, con l'obiettivo di calcolare una stima più attendibile del costo al completamento.

Brown scelse questa forma funzionale basandosi sul fatto che le serie temporali sono stabili e che, dunque, fosse necessario, al momento del calcolo della stima, attribuire dei pesi più consistenti per i dati più recenti. Il livellamento esponenziale, appunto, non dà stesso peso ad ogni osservazione nel tempo, ma si differenzia anche dalla semplice media mobile, che trascura i dati più lontani nel tempo. Invece, considera i dati anche molto lontani nel tempo ponderandoli in base al grado di influenza sulle osservazioni attuali, la quale all'aumentare della storicità diminuisce e converge a 0.

Il principio è che il valore di "smoothing esponenziale" di qualunque periodo è pari alla media ponderata del valore di osservazione effettivo del periodo corrente e del valore di livellamento esponenziale del periodo che lo precede; l'equazione che riassume il principio è la seguente

$$S_t = \alpha y_t + (1 - \alpha) S_{t-1}$$

Dove  $S_t$  rappresenta la variabile di osservazione al tempo  $t$ ,  $y_t$  è il valore reale osservato al tempo  $t$ ,  $s(t-1)$  rappresenta il valore della variabile che era stata predetta per il periodo precedente, mentre  $\alpha$  rappresenta una costante compresa nell'intervallo  $[0;1]$ .

Nel caso di previsione, non si ha a disposizione  $y_t$ , per cui la tecnica di smoothing esponenziale semplice è applicata nuovamente nell'equazione.

Applicando questa tecnica di smorzamento per la quantificazione del CPI, e per la successiva previsione del CEAC, si ottiene che:

$$CPI'(t) = \alpha CPI(t) + (1 - \alpha)CPI'(t - 1)$$

$$CEAC = AC + \frac{BAC - EV}{CPI'(t)}$$



### 3 Metodologia della ricerca

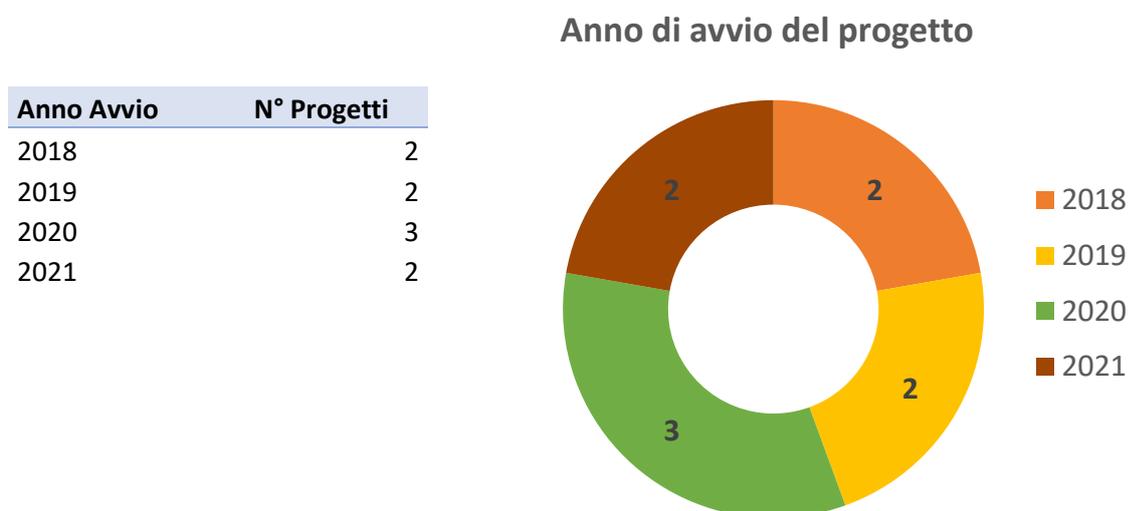
#### 3.1 Data preparation: estrazione, scelta del subset ed analisi del campione

I dati estratti su cui saranno testate le varie alternative funzionali dell'earned value fanno riferimento ad un campione di 19 progetti. I criteri secondo cui è stato selezionato il subset di progettualità sono:

- Durata minima: 6 mesi
- Tecnologie affini (linguaggio di programmazione)

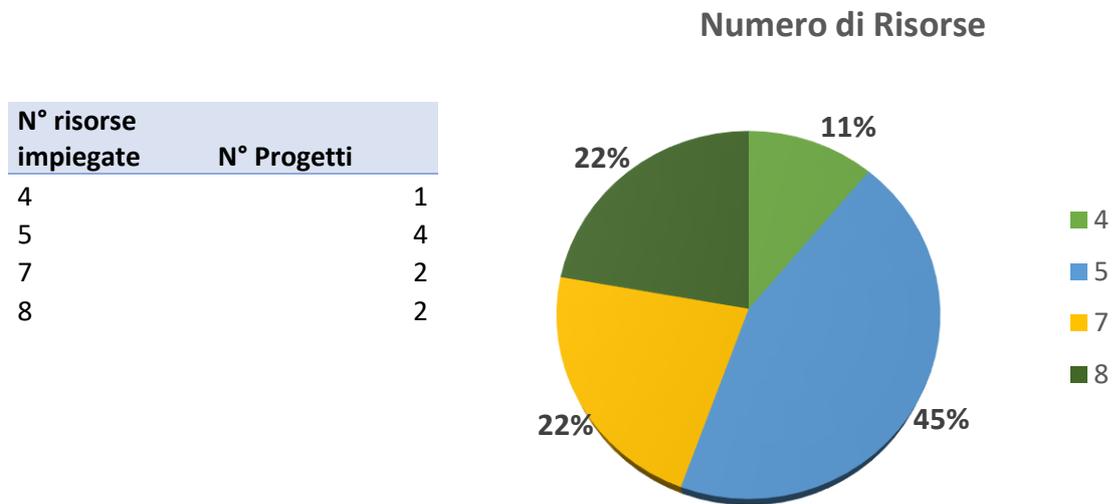
In questo paragrafo sarà esaminato il campione, il quale, a seguito di un processo di normalizzazione, sarà l'oggetto dell'analisi.

I dati progettuali selezionati fanno riferimento agli ultimi quattro anni. In calce è mostrato il dettaglio relativo all'anno di avvio delle progettualità. È interessante notare che, nonostante il momento storico caratterizzato dalla pandemia, l'esecuzione del lavoro non sia stato sensibilmente impattato.

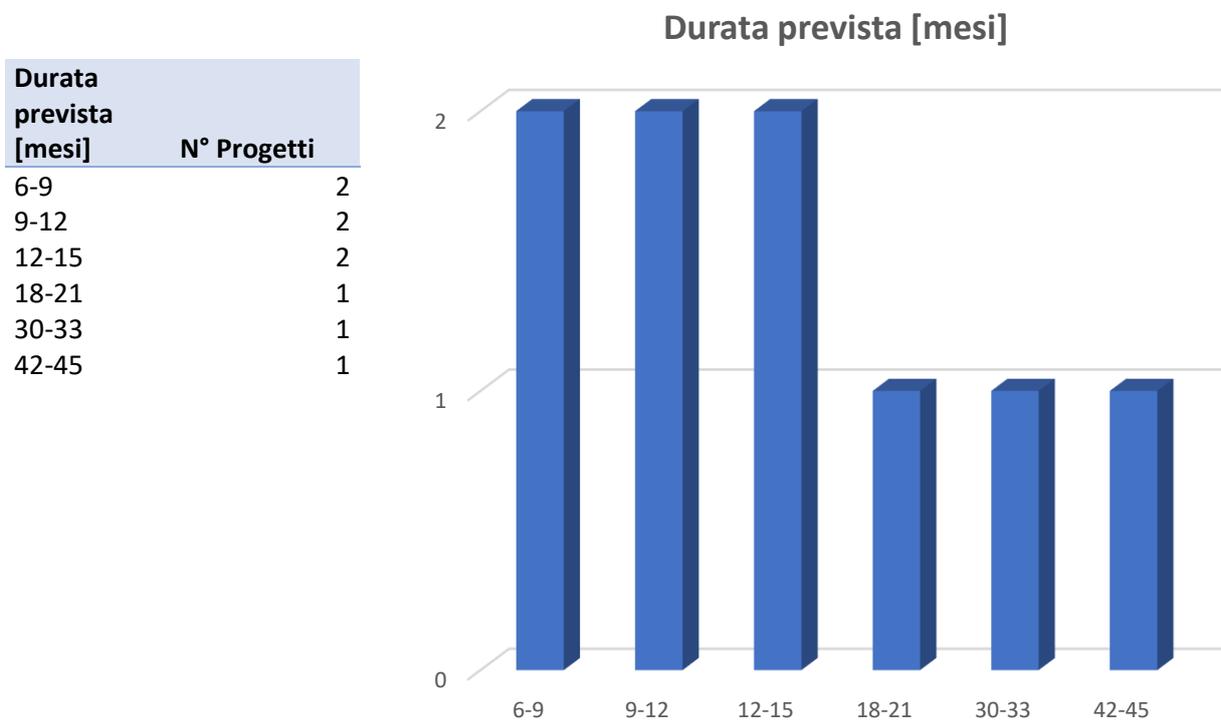


**FIGURA 12: ANALISI DEL CAMPIONE (ANNO DI AVVIO)**

In seguito, sono riportate le specifiche in termini di numero di risorse e di durata del campione.



**FIGURA 13: ANALISI DEL CAMPIONE (NUMERO DI RISORSE)**



**FIGURA 14: ANALISI DEL CAMPIONE (ANNO DI AVVIO)**

### 3.2 Applicazione EVM tradizionale e sensibilità delle stime alle oscillazioni delle curve ad S

Per il calcolo della durata e del costo finale dei progetti sono state analizzate in prima battuta le tradizionali formule per la stima dell'EVM, ovvero quelle realmente utilizzate per la previsione in azienda.

Dunque, la stima del costo a finire, in corso d'opera ( $AC(t)$ ) è stata calcolata come:

$$CEAC = AC + \frac{BAC - EV}{cPF}$$

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

Mentre la stima della durata finale, rivisitata in corso d'opera ( $AT=t$ ), è stata calcolata come:

$$TEAC = AT + \frac{PD - AT}{sPF}$$

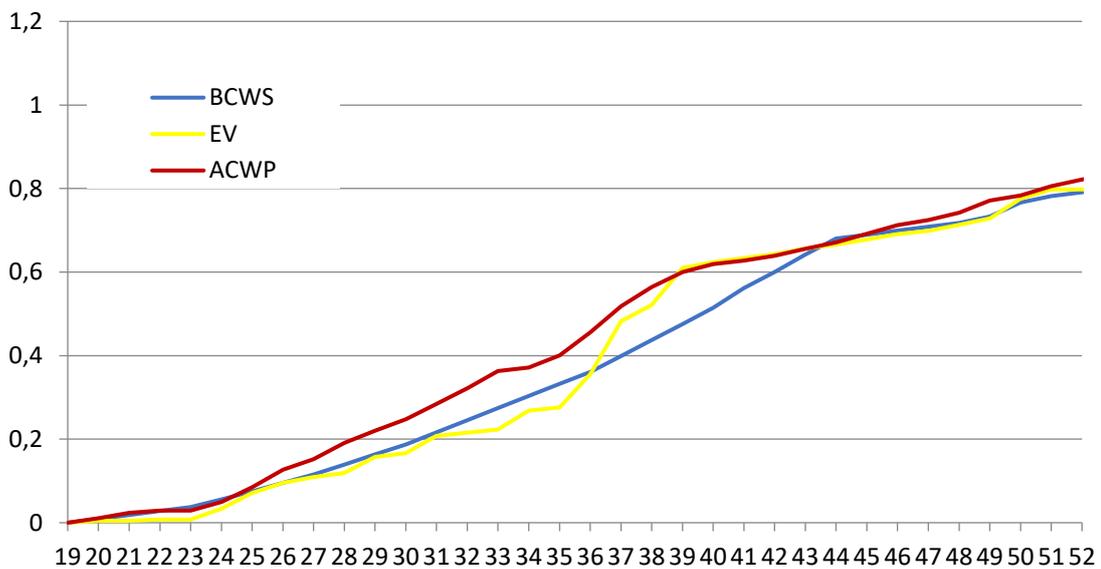
$$sPF = SPI = \frac{BCWP}{BCWS}$$

In figura 15 è riportato l'andamento normalizzato di EV, ACWP e BCWS, relativi ad un progetto estratto dal campione. È immediato osservare che l'andamento dell'earned value in alcuni periodi della baseline si scosta da quello preventivato a budget e da quello dell'ACWP. Si faccia riferimento, ad esempio, al range  $t = (36; 38]$ .

Si nota un'accelerazione sostanziale dell'EV che denota un aumento della produttività, dunque, del lavoro realizzato in quel lasso temporale, la quale si riassetta e torna a fittare con quella schedulata a partire da  $t=42$ .

Tuttavia, gli indicatori CEAC e TEAC, calcolati secondo la metodologia tradizionale dell'EVM, risultano estremamente sensibili alle oscillazioni ed agli scostamenti tra le tre curve. Difatti, una previsione del costo a finire, fornita in un periodo in cui la curva ACWP risulta avere un valore maggiore dell'EV (nell'esempio  $t = [26;38]$ ), sarebbe maggiorata del fattore al denominatore  $cPF = CPI = EV / ACWP (< 1)$ .

Così come per  $t = (36;41]$ , una previsione in termini di durata finale del progetto, risulterebbe deviata (a ribasso), essendo EV maggiore del BCWP. Difatti, risulta un fattore di performance al denominatore maggiore di 1 ( $sPF = SPI = BCWP / BCWS > 1$ ).



**FIGURA 15: CURVE AD S DI UN PROGETTO ESTRATTO DAL CAMPIONE**

Per limitare la sensibilità delle previsioni agli scostamenti fisiologicamente presenti e registrati durante l'avanzamento delle progettualità, sono state analizzate e testate sui dati raccolti altri fattori di performance (cPF; sPF) per il calcolo delle stime, formulati come forme funzionali di CPI ed SPI.

### 3.3 Analisi degli indicatori

I principali indicatori alla base dei fattori di performance (cPF; sPF), con cui sono state calcolate le stime a finire di tempi e costi, sono i seguenti:

- Media cumulata (cumulative average)

La media cumulata è calcolata, nell'istante  $t$ , come la sommatoria, rispetto ai time bucket totali, delle occorrenze registrate fino al periodo  $t$ .

$$CA_t = \sum \frac{x_t}{n}$$

- Media mobile (simple moving average, SMA)

La media mobile semplice è un indicatore che attribuisce uguale significatività ad ogni singolo dato su cui è calcolata la media, non attribuendo il peso in modo inversamente proporzionale in funzione del tempo.

È calcolata come:

$$SMA = \sum \frac{x_t}{t}$$

- Media mobile triangolare (triangular moving average, TRIMA)

La media mobile triangolare, agli atti pratici, possiede la particolarità di attribuire ai valori centrali della serie un peso relativo maggiore rispetto a quello degli estremi.

È calcolata come:

$$TRIMA = \sum \frac{SMA_m}{Nm}$$

Dove:

- $SMA_m = \sum \frac{x_{Nm}}{Nm} =$  media mobile semplice in un round;
- $N =$  periodi totali ;  $N_m =$  periodi di ogni round, convenzionalmente  $N_m = N/2$ .
  
- Media mobile pesata (Weighted moving average, WMA)

La media mobile pesata, al contrario delle precedenti, attribuisce maggiore significatività ai dati più recenti rispetto ai più vecchi. I dati di ogni periodo sono ponderati in modo inversamente proporzionalmente alla storicità.

È calcolata come:

$$WMA = \frac{(x_n \cdot n) + (x_{n-1} \cdot (n-1)) + (x_{n-2} \cdot (n-2)) + \dots + (x_1 \cdot (1))}{n \frac{(n+1)}{2}}$$

Dove  $n =$  periodi totali.

- Media mobile esponenziale (exponential moving average)

La media esponenziale mobile, come la precedente, attribuisce maggior peso alle occorrenze più recenti. Ciò rende questo indicatore più reattivo e fulmineo ai cambiamenti di trend. Tuttavia, per quanto possa cogliere e accentuare eventuali variazioni dell'andamento, risulta deviante sul lungo termine, amplificando, al rialzo e al ribasso, l'effetto di scostamenti dal trend previsto.

È calcolato come:

$$EMA(t) = EMA(t-1) + SF * [x(t) - EMA(t-1)]$$

Dove :

- $x(t)$  = sta ad indicare il valore reale della variabile nell'istante  $t$  (nel presente caso sarà il CPI per la stima del CEAC; l'SPI per la stima del TEAC);
- SF è un valore di livellamento, calcolato come:

$$SF = \frac{2}{n + 1}$$

Con  $n$  = numero di periodi totale.

- Doppia media mobile esponenziale (double exponential moving average, DEMA)

La doppia media esponenziale mobile (DEMA) è un indicatore utilizzato quando si vuole maggiore reattività, rispetto alla media mobile esponenziale semplice, nell'individuazione di inversioni di trend.

È calcolata come:

$$DEMA = (2 * EMA(t)) - EMA(EMA_N)$$

Dove:

- $EMA_N$  è media esponenziale semplice di un periodo retroattivo su  $N$  periodi;
- $EMA$  sarà calcolato con lo stesso periodo di look-back dell' $EMA_N$

- Tripla media mobile esponenziale (triple exponential moving average)

La tripla media esponenziale mobile (TEMA) amplifica la reattività dell'indicatore precedente. È calcolata come:

$$TEMA = 3 * EMA1 + 3 * EMA2 + EMA3$$

Dove:

- $EMA1 = EMA(t)$ ;
- $EMA2 = EMA \text{ di } (EMA1)$
- $EMA3 = EMA \text{ di } (EMA2)$

- Media mobile di convergenza-divergenza (Moving average convergence divergence)

Tale indicatore è calcolato come la differenza tra due medie mobili, solitamente esponenziali, di “look-back period” differenti. Si tratta di un indicatore “momentum”, ossia che insegue i trend. È definita come:

$$MACD = EMA(T1) - EMA(T2)$$

Nel caso presente gli intervalli di tempo su cui sono state calcolate le medie mobili sono stati rispettivamente: T1= 3; T2= 6.

- Momentum (MOM)

Il MOM appartiene è un indicatore appartenente alla famiglia degli oscillatori. È uno degli oscillatori più semplici da calcolare e permette di cogliere nell’immediato la tendenza della variabile in esame.

Una tendenza neutrale, ossia né rialzista e né ribassista della variabile, è restituita dal valore 0.

È calcolato come:

$$MOM = x(t) - x(t - 3)$$

Per l’inizializzazione sono state considerate semplicemente le differenze delle variabili calcolate per delta di tempo pari a 1, ossia:

$$MOM = x(1) \quad \text{per } (t = 1)$$

$$MOM = x(t) - x(t - 1) \quad \text{per } (t = 2; 3)$$

- Oscillatore a media mobile esponenziale tripla (TRIX)

Il TRIX è un indicatore del momento rappresentante il tasso percentuale di due medie mobili esponenziali triple.

È calcolato come:

$$TRIX = \frac{TEMA(t) - TEMA(t - 1)}{TEMA(t - 1)}$$

### 3.4 Analisi degli errori

Per quantificare il livello di fitting dei vari indicatori sono stati calcolati per ogni soluzione due indicatori statistici di errore nella previsione: il mape e la deviazione standard.

- MAPE

Il mape (mean absolute percentage error, errore medio assoluto percentuale) è una misura dell'accuratezza della previsione statistica. È definito come:

$$MAPE = \frac{100\%}{n} \sum \left| \frac{X_t - F_t}{X_t} \right|$$

Dove  $X_t$  rappresenta il valore reale della variabile che si vuole stimare, mentre  $F_t$  rappresenta la previsione.

Il mape rappresenta, dunque, la somma, sugli  $n$  periodi, degli scostamenti assoluti tra previsione e valore reale, rapportati al valore reale registrato nel periodo ed al numero di occorrenze totali (ossia il numero di time period  $n$ ).

- Deviazione standard

La deviazione standard è un indice di dispersione statistico che rappresenta la stima della variabilità di una variabile casuale o di un campione di una popolazione.

Nella pratica, la deviazione standard o scarto quadratico medio, sintetizza le deviazioni di una variabile casuale dalla media.

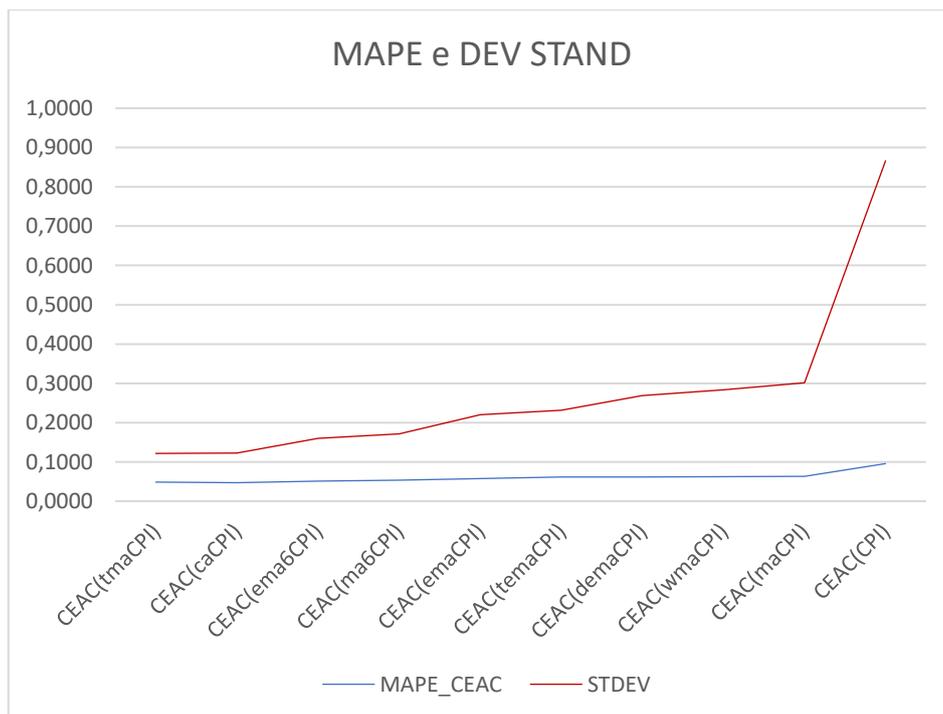
È calcolata come:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum (x_i - \mu_x)^2}$$

Nella scelta della soluzione ottima sono state valutate congiuntamente le due misure, mape e deviazione standard, preferendo un intervallo di confidenza relativamente più ristretto piuttosto che una media percentuale degli errori minore.

## 4 Analisi dei risultati

Dall'analisi dei risultati ottenuti emerge che il miglior indicatore del CPI utilizzato per la previsione dei costi a finire è il TRIMA (tmaCPI), ossia la media mobile triangolare. Si noti nel grafico successivo la differenza di prestazioni, in termini di errore e deviazione standard, rispetto alle stime ottenute con il CPI.



**FIGURA 16: ANALISI DI MAPE E DEV. STANDARD LEGATI ALLE ESTENSIONI NEL CALCOLO DEL CEAC**

Modello	MAPE_CEAC	STDEV
CEAC(tmaCPI)	0.0483	0.0733
CEAC(CPI)	0.0956	0.7706

Per quanto riguarda, invece, la stima dei tempi a finire, l'SPI, è possibile notare come il miglior indicatore dell'SPI utilizzato per la stima dei tempi a finire sia quello della media cumulata. Tuttavia, diversamente dalla stima precedente, non sussiste una differenza

sostanziale tra il CEAC(SPI) ed il CEAC(caSPI). La media cumulata risulta perfezionare la stima, tuttavia di una percentuale quasi irrilevante.

È ulteriormente significativa la differenza dell'ordine di grandezza che sussiste tra MAPE e deviazione standard: la durata progettuale è stimata con un errore percentuale medio che si aggira intorno a 0,5. Tuttavia, è rilevante l'entità della deviazione standard, che si aggira intorno alle 4 unità. Come si evincerà dalle successive analisi delle curve ad S, la previsione della durata oscilla in un intervallo di confidenza decisamente ampio.

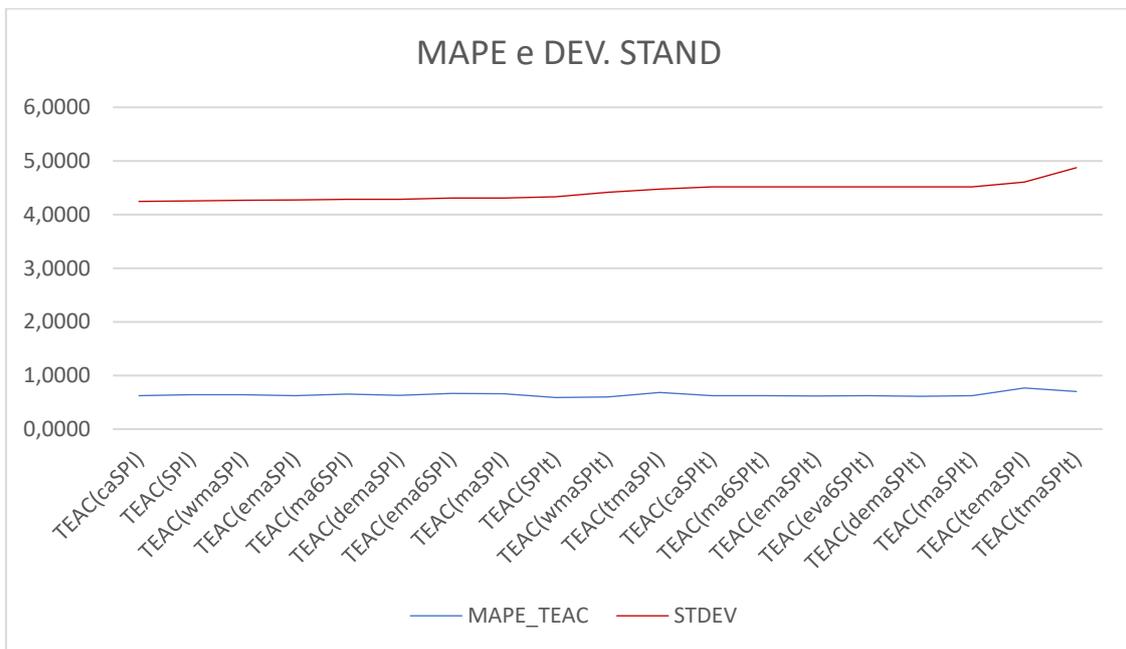


FIGURA 17: ANALISI DI MAPE E DEV. STANDARD LEGATI ALLE ESTENSIONI NEL CALCOLO DEL TEAC

Model	MAPE_TEAC	STDEV
TEAC(caSPI)	0.6249	4.2457
TEAC(SPI)	0.6424	4.2566
TEAC(SPIt)	0.5894	4.3351

In primo luogo, sono stati messi in relazione l'errore medio percentuale del TEAC e del CEAC calcolati con le formule ad hoc (dunque con la trima e la media cumulata) per identificare ulteriori outliers che potenzialmente potrebbero essere indice di fenomeni eccezionali, e dunque rendere necessario un ulteriore approfondimento.

Dalla figura 18 emerge che i MAPE sono relativamente alti per due progettualità: per il progetto 7 lato costi, per il progetto 9 lato durata.

Per dettagliare le analisi e spiegare gli scostamenti registrati, sono riportate in figura 19 gli andamenti di AC, WP e WS dei nove progetti costituenti il campione.

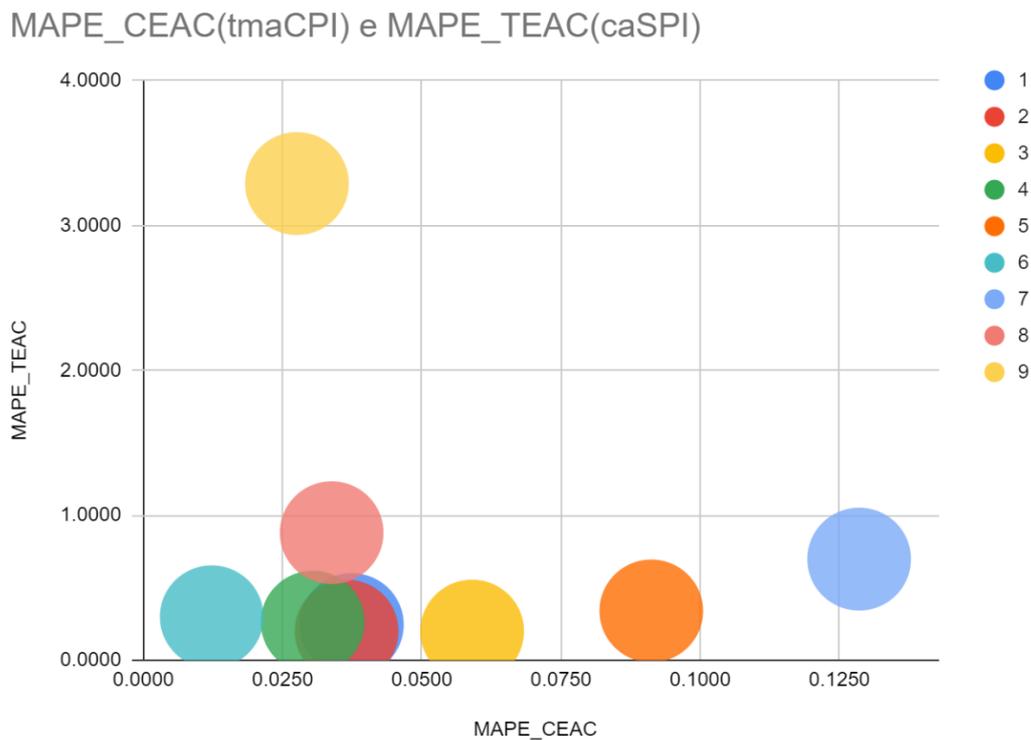


Figura 18: Confronto tra mape ceac (media triangolare) e mape teac (media cumulata) in base alle progettualità

L'entità del MAPE relativo al CEAC del progetto 7 è attribuibile all'obiettivo del progetto. Lo scopo della progettualità consisteva, infatti, in un intervento software di alto impatto e su una sezione molto trafficata, per cui era stato preventivata a budget una quota di contingency sostanziosa.

Inoltre, essendo questa operazione così delicata e situandosi ipoteticamente nella fascia più a rischio della matrice probabilità-impatto, ha richiesto dettagliate analisi preliminari. Per questo sono stati ingaggiati gruppi terzi per occuparsi nello specifico dell'analisi funzionale e dei requisiti.

Dall'analisi delle curve per il progetto in questione si evince, difatti, che, nella fase iniziale, corrispondente alle analisi preliminari all'avvio, l'effort realmente consuntivato sia quasi nullo. Dopodiché si pronuncia un picco di costi (AC), a cui segue l'aumento del lavoro cumulativo performato.

La produttività, nel tratto successivo, ossia quello delle fasi di sviluppo e test, segue a pieno regime, fino alle ultime settimane, dove il trend della curva (WP) tende a stabilizzarsi, come fisiologicamente accade per progetti a stampo tendenzialmente waterfall (presentandosi così come una curva ad "s").

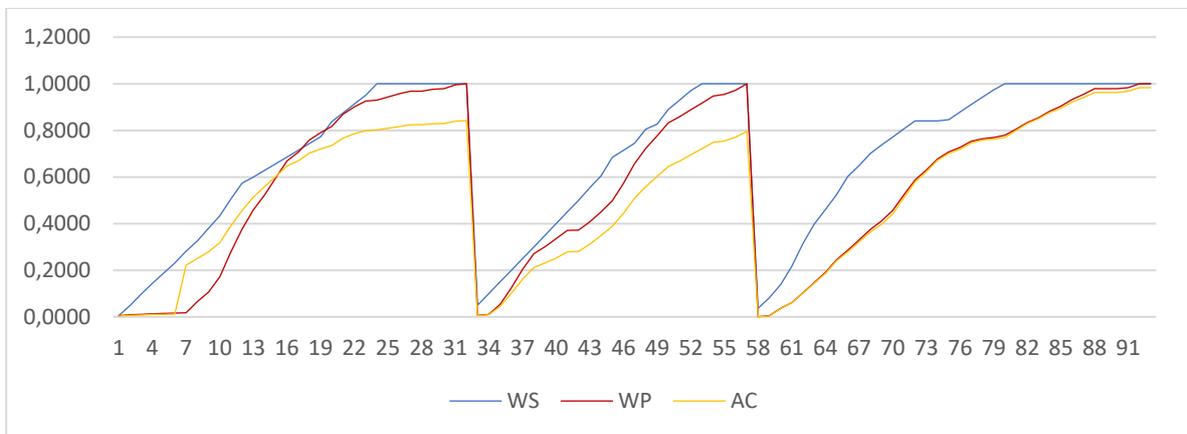
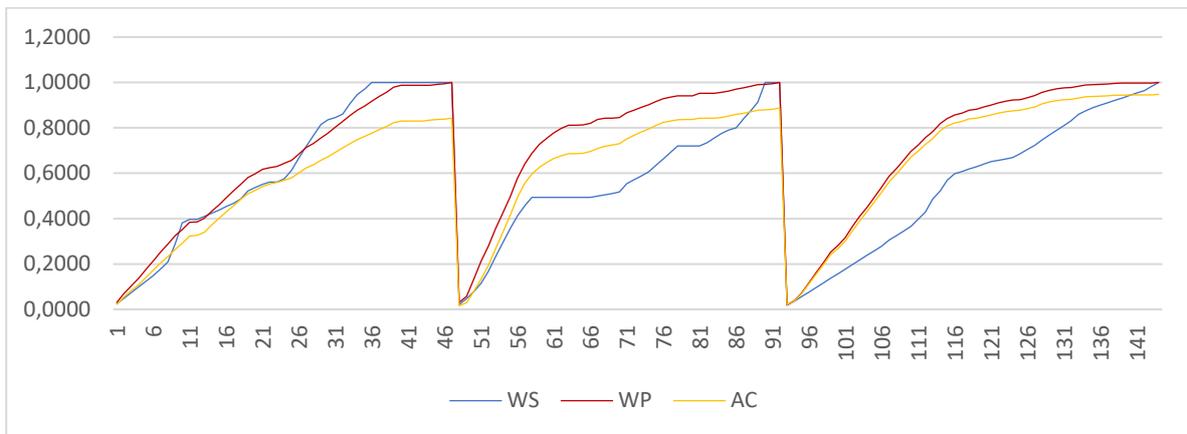
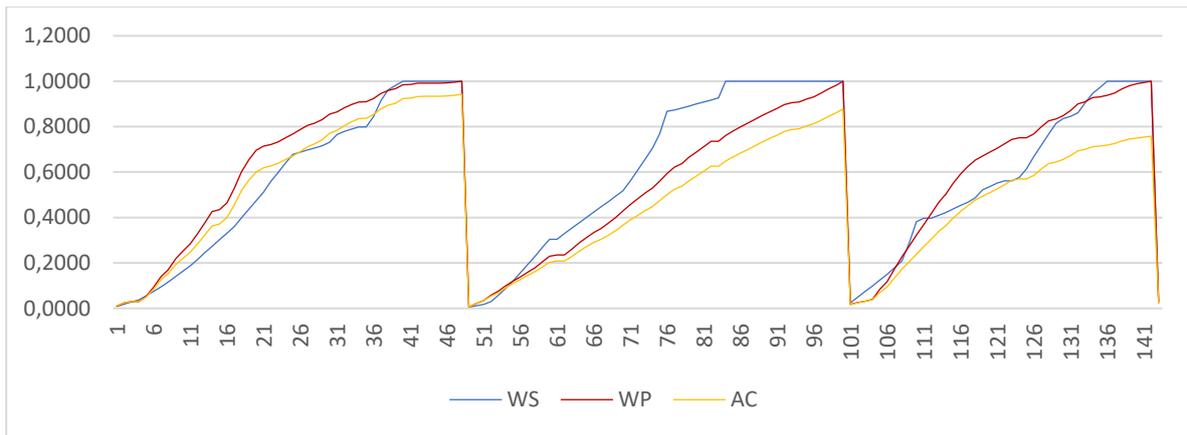
Per quanto riguarda il progetto 9, invece, si nota immediatamente che le curve del performato e dello schedato sono molto scostanti. In più, è istantaneo constatare che la curva dei costi, in questo caso, non lascia margine alla chiusura del progetto.

Il progetto in esame presenta un numero di risorse assegnato pari a 8, ossia il massimo nel range del campione, e la data di avvio risulta essere il 01/09/2020.

Dalla schedulazione risulta che, nelle prime 10 settimane, delle 8 risorse effettivamente selezionate e allocate sul progetto, soltanto 4 abbiano consuntivato delle ore sulla commessa.

Dall'analisi dello storico dei progetti, emerge che la data di avvio della progettualità coincida con la data di avvio di ben altri 6 progetti, ricadendo questa in uno dei due periodi dell'anno in cui è stato disposto nuovo budget da parte del cliente.

Per questo, delle 8 risorse che inizialmente erano state predisposte, solo 4, nelle prime settimane, sono state effettivamente operative. Ragion per cui il trend della produttività reale non è crescente come quello che era stato preventivato ed il progetto ha tardato nella chiusura (di circa 15 settimane) e non ha prodotto marginalità per l'azienda.



**FIGURA 19: ANALISI DELLE CURVE AD S DEI PROGETTI COSTITUENTI IL CAMPIONE.**

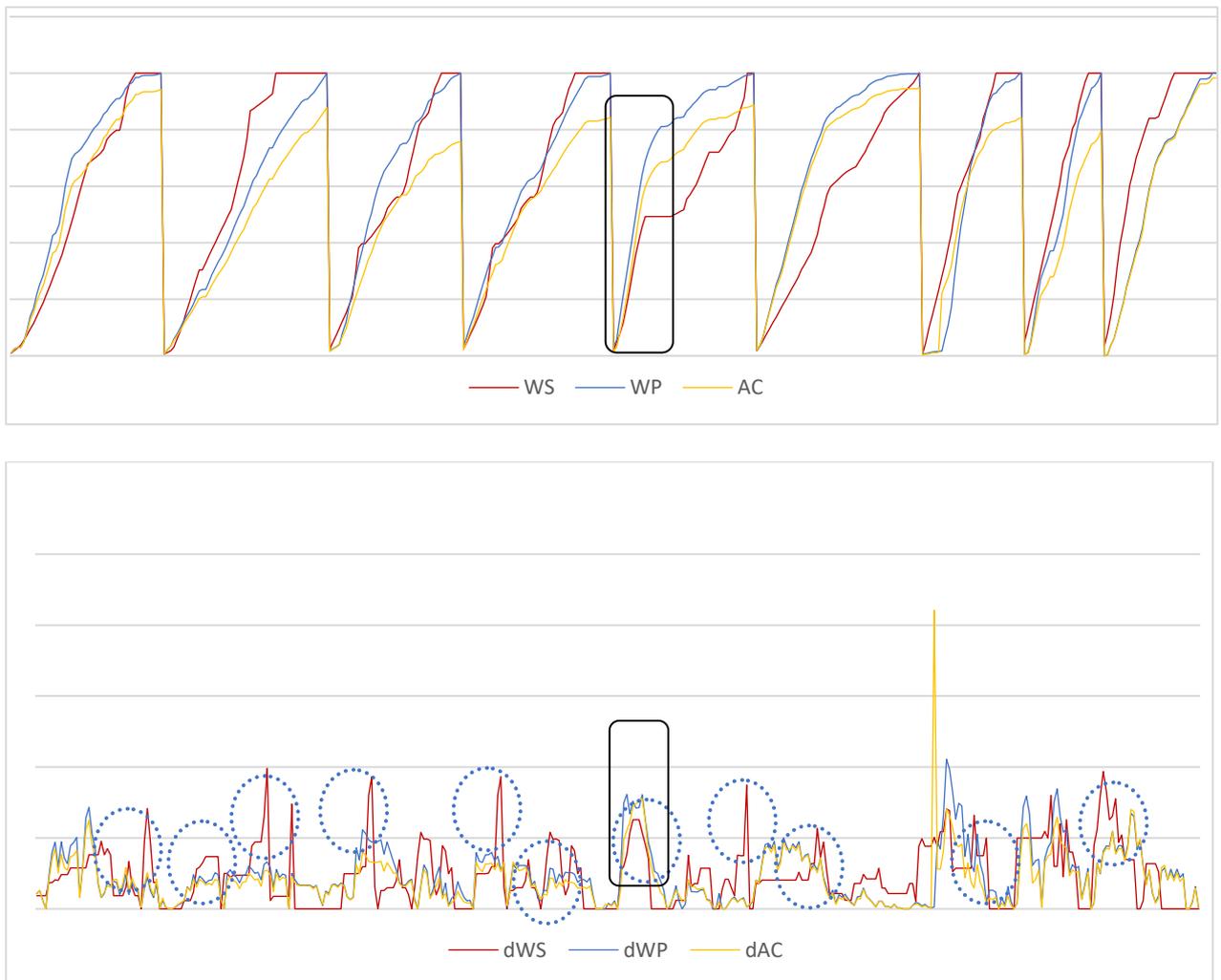
Dall'analisi delle curve ad S è possibile trarre delle conclusioni sulle modalità di gestione dei progetti dell'azienda, legate strutturalmente al settore e ai processi di PM specifici adottati in azienda.

Innanzitutto, è immediato notare come le curve WP e del WS non siano trasponibili.

Difatti, il processo di pianificazione, dunque di allocazione del budget per fasi di progetto avviene, di prassi, per analogia ed in modo standard, a meno di rare eccezioni (ad esempio progetti particolarmente complessi). Solitamente, infatti, il budget è allocato con le seguenti percentuali:

- 5% per la fase di analisi;
- 55% per la fase di sviluppo;
- 15% per la fase di test in system;
- 15% per la fase degli uat;
- 10% per la fase che segue il rilascio in produzione (dunque per la gestione di difetti progettuali nella fase di follow up).

Ciò spiega, in molti casi, l'andamento quasi lineare della curva del lavoro schedulato (WS).



**FIGURA 20: CONFRONTO TRA CURVE AD S E DERIVATA PRIMA.**

Sulla base dell'andamento delle curve, è possibile ricavarne la derivata prima. Coerentemente con quanto appena ipotizzato, sono presenti dei picchi di produttività schedulata che i team non riescono a sostenere. L'unica eccezione è data dal progetto 5.

Dunque, emerge che l'andamento delle curve WP e WS diverga, essendo la pianificazione non è perfezionata ad hoc ma quasi standard.

Un altro fattore che potrebbe aver inciso su tali scostamenti, in particolare sull'andamento della curva del lavoro performato (WP), è legato al turnover del personale.

Essendo una società di consulenza, è fisiologico un ricambio del personale relativamente frequente. Ciò implica che vi sia una buona percentuale di risorse junior, le quali devono essere formate e la cui produttività non è a regime, almeno per i primi mesi.

Un'altra considerazione che sorge immediata riguarda i costi e l'andamento lungo i time period. Ad eccezione del progetto 1, 6 e del progetto 9 (quest'ultimo compariva anche come outlier a seguito dell'analisi incrociata dei mape), nel campione esaminato i costi sostenuti tendono ad essere significativamente inferiori rispetto a quelli a preventivati.

Ed in particolare, il delta tra BCWP ed ACWP, che rappresenta il margine, tende a crescere all'avanzare dell'esecuzione del progetto.

Questo è legato principalmente a come sono convenzionalmente predisposte le offerte al cliente: l'azienda di consulenza in questione, a seguito del contratto, pluriennale, di manutenzione dei prodotti software in perimetro, possiede un legame con il cliente "atipico". Difatti, nel corso degli ultimi anni, si è stabilita una vera e propria partnership e una solida continuità della fornitura.

Ciò implica che molto spesso, le offerte d'acquisto proposte (ODA), prevedano il budget per ulteriori piccole attività urgenti (dell'ordine di grandezza di poche giornate).

Tuttavia, in proporzione, questo non risulta essere un fattore troppo rilevante quantitativamente.

In proporzione, infatti, la quota rilevante dei margini è da attribuire alla capacità dell'azienda di cogliere le occasioni e di crearle proattivamente, in virtù della solidità del legame stabilito con il cliente ed alla contingency predisposta, essendo il legame

Un'altra considerazione che è opportuno fare riguarda le chiusure dei progetti. Difatti, si nota che, del campione analizzato, per i progetti 2, 3, 4, 7, 8 e 9 si è registrato un ritardo nella chiusura. Differentemente, per i progetti 5 e 6, l'esecuzione dei progetti è stata terminata con largo anticipo.

La tendenza generale è quella di sovraccaricare la pianificazione, e sono a dimostrazione di ciò anche le considerazioni appena esposte. In particolare, si ritiene che la standardizzazione della fase di fase di scheduling sia il principale fattore della presenza di ritardi.

Per i progetti completati in ritardo emerge che nella fase iniziale il WS risulta essere maggiore del lavoro performato. Il solo budget temporale predisposto per la fase di analisi risulta a mio parere insufficiente.

L'andamento delle due curve nella fase preliminare del progetto è innanzitutto derivante da ciò, poiché è necessario terminare le analisi per il completamento della milestone e per l'aggiornamento del wp nelle reportistiche

Inoltre, dedicare un margine cronologico così limitato per tale fase porta a richiedere picchi di produttività nelle fasi centrali – ultime ( $w_p > w_s$  nelle prime fasi, come nei progetti 1 e 4) ed addirittura ritardare la chiusura dei progetti. La ragione sta nel fatto che dedicare poco margine alla fase di analisi funzionale e dei requisiti potrebbe introdurre delle regressioni in fase di sviluppo e di testing, le quali necessiteranno di interventi software in seguito.

## 5 Conclusioni

Dall'analisi di mape e deviazione standard dei vari indicatori applicati, emerge che per la stima del CEAC la migliore funzione del CPI sia quella della media mobile triangolare; per la stima del TEAC il miglior indicatore risulta essere, invece, la media cumulata.

Coerentemente alle considerazioni precedentemente esposte l'indicatore che presenta il fitting migliore con i risultati effettivi è la media mobile triangolare (per il calcolo del costo a finire). Difatti, tale media ha la peculiarità di stimare il trend di crescita eludendo i valori agli estremi del range del dataset, dunque attribuendo il peso preponderante ai valori centrali. L'indicatore in questione fornisce dei risultati decisamente performanti rispetto alla formulazione classica.

Risulta coerente alle osservazioni empiriche anche che la best choice risultante dai test dell'indicatore dell'SPI per la previsione del TEAC, ossia la media cumulata, non perfezioni significativamente la stima tradizionale. Questo risulta sintomo di una schedulazione abbastanza standardizzata, che porta spesso a chiudere i progetti con ritardo o largo anticipo.

Diretta conseguenza di ciò è il poco budget allocato per la fase preliminare di analisi, che spiega:

- lo scostamento verso destra del primo tratto del BCWP;
- Laddove invece la produttività effettiva sembra tale da permettere che il  $WP > WS$  nella fase iniziale, nella maggior parte dei progetti si verificano ritardi nella chiusura. Ciò è sintomo dell'introduzione di regressioni che sono poi corrette in fase di sviluppo / system test.

Altri fattori che portano a deviare le previsioni sono:

- Presenza, durante l'anno lavorativo, di momenti specifici in cui avviene lo sblocco del budget, che portano a far sì che le risorse lavorino contemporaneamente su molte progettualità e che la loro produttività sia meno elevata;

- Turnover di personale tecnico, caratteristica strutturale delle aziende di consulenza, che portano le società ad avere una percentuale di organico inesperto e da formare.

## Bibliografia e Sitografia

- <http://people.disim.univaq.it/~adimarco/teaching/sweng13/articoloSoftwareProcessModels.pdf>
- <https://www.docenti.unina.it/webdocenti-be/allegati/materiale-didattico/133565>
- <https://vitolavecchia.altervista.org/fasi-del-ciclo-di-vita-del-software-in-informatica>
- <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.667.9896&rep=rep1&type=pdf>
- <https://vitolavecchia.altervista.org/project-management-differenza-tra-approccio-waterfall-e-metodologia-agile>
- <https://www.humanwareonline.com/project-management/center/pmbok-agile/>
- <https://www.agilemarketingitalia.com/metodo-agile-pro-e-contro>
- Components of the earned schedule (Adapted from Anbari, 2003; Lipke, 2009; Lipke et al., 2009; Kwak & Anbari, 2010; Turner et al., 2010)
- Doskócil, Radek Article Fuzzy logic: An instrument for the evaluation of project status  
Revista de Métodos Cuantitativos para la Economía y la Empresa Provided in Cooperation with: Universidad Pablo de Olavide, Sevilla
- Abdelazeem S. Abdelazeem & Ahmed H. Ibrahim (2020): Evaluation of project cost and schedule performance using fuzzy theory-based polynomial function, International Journal of Construction Management, DOI: 10.1080/15623599.2020.1809061
- J. Batselier, M. Vanhoucke, 2015. Evaluation of deterministic state-of-the-art forecasting approaches for project duration based on earned value management, Int. J. Proj. Manag.
- Bovteev S.V., Kanyukova S.V. Development of methodology for time management of construction projects  
Magazine of Civil Engineering. 2016. No. 2. Pp. 102-112. doi: 10.5862/MCE.62.1
- Testing earned schedule forecasting Reliability, Walter Lipke, 2015
- An extension of the EVM analysis for project monitoring: The Cost Control Index and the Schedule Control Index, Javier Pajares ✱, Adolfo López-Paredes, 27 April 2010
- <https://www.avatrade.it/education/technical-analysis-indicators-strategies>