

# Total Cost of Ownership di asset complessi: un modello gerarchico per il controllo dei costi lungo il ciclo di vita

## Introduzione

Nel mondo industriale la capacità di stimare e controllare i costi lungo l'intero ciclo di vita di un asset è una risorsa fondamentale per supportare decisioni strategiche e garantire la sostenibilità finanziaria e operativa sul lungo periodo. L'importanza del controllo dei costi cresce al crescere della complessità degli asset. In settori come le infrastrutture ferroviarie, gli acquedotti, le reti stradali o di distribuzione di fonti energetiche, gli asset sono spesso caratterizzati da costi operativi e manutentivi accumulati negli anni che superano di gran lunga l'investimento iniziale. Ad esempio, il costo di manutenzione annuale di una rete ferroviaria o di un acquedotto può incidere pesantemente sul budget operativo di un'azienda, e **decisioni prese senza considerare l'intero ciclo di vita** rischiano di risultare in spese imprevedute, interruzioni del servizio o insostenibilità finanziaria. In quest'ottica, il concetto di *costo totale di proprietà o costo totale di possesso* (**Total Cost of Ownership - TCO**) rappresenta un riferimento essenziale che sintetizza il costo complessivo – costituito dal prezzo di acquisto iniziale e da tutte le spese operative, di manutenzione e di fine vita accumulate lungo il ciclo di vita dell'asset – associato a un bene, asset o sistema dalla sua acquisizione fino alla dismissione.

Un'analisi del TCO rigorosa e strutturata è cruciale: permette di individuare dove – e idealmente quando – si generano i costi, di stimare a priori l'impatto economico di guasti o interventi, e di pianificare strategie di gestione e manutenzione ottimizzate per minimizzare il costo totale nel corso degli anni.

## Il Total Cost of Ownership (TCO)

Il concetto di **Total Cost of Ownership** nasce in ambito acquisti, inizialmente per aiutare le aziende a capire il costo reale legato all'acquisto di un bene o servizio oltre al semplice prezzo di fornitura. Ad esempio, già negli anni '90 alcuni autori sottolineavano come nel TCO andassero inclusi costi aggiuntivi quali il trasporto, l'installazione, l'eventuale training, lo stoccaggio, i fermi macchina dovuti a guasti, la manutenzione e infine lo smaltimento o il recupero a fine vita. In sostanza, il TCO **espande il perimetro** dell'analisi economica: dall'acquisizione iniziale fino all'ultimo giorno di utilizzo dell'asset, ogni voce di costo rilevante viene considerata (Tabella 1).

Sommare tutte queste componenti fornisce una stima del TCO dell'asset. Questo semplice modello, **già di per sé potente**, consente di valutare scenari molto diversi. Ad esempio, confrontando il TCO di due macchinari alternativi, uno più costoso ma energeticamente efficiente e uno economico ma con alti costi di manutenzione, un'azienda può prendere decisioni più informate su quale investimento risulterà vantaggioso nel lungo termine. Allo stesso modo, il TCO può guidare decisioni su *make or buy* (acquistare un servizio o farlo internamente), sulla scelta tra fornitori, sulla definizione di contratti di service e livelli di servizio, ecc., in ottica di minimizzare i costi totali a parità di prestazioni.

Nonostante la sua utilità, il modello TCO classico presenta alcune lacune quando applicato a sistemi molto complessi. In letteratura non esiste uno standard unico di riferimento valido per ogni dominio: ciascuna organizzazione



**Donatella Fochesato**,  
Responsabile Asset  
Management, RFI



**Lorenzo Di Pasquale**, Asset  
Management,  
RFI



**Emanuele Dovere,**  
Vice Direttore  
Master MeGMI



**Giovanni Ruggeri,**  
Collaboratore  
CELS, Università  
degli studi di  
Bergamo



**Mattia Galimberti,**  
Collaboratore  
CELS, Università  
degli studi di  
Bergamo

VOCE DI COSTO	DESCRIZIONE
Costi di acquisizione iniziale	Prezzo di acquisto o di costruzione dell'asset, comprensivo di costi di installazione, collaudo e avviamento (commissioning) e della formazione del personale.
Costi operativi e di esercizio	Spese necessarie per utilizzare l'asset durante la sua vita utile, inclusi costi energetici (ad esempio elettricità o carburante), costi per i consumabili (materie prime, parti di ricambio di routine), costi del personale operatore e gli eventuali costi amministrativi di gestione.
Costi di manutenzione	Costi per la manutenzione programmata (ordinaria) e straordinaria. Include interventi periodici di ispezione, taratura, sostituzione di componenti usurati, nonché la riparazione di guasti imprevisti. Spesso in questa voce si considerano anche i costi indiretti dovuti ai fermi impianto per manutenzione o guasto, ad esempio la perdita di produttività o di servizio durante il downtime.
Costi di aggiornamento o miglioramento	Costi legati agli investimenti futuri per ammodernare l'asset, adeguarlo a nuove normative, potenziarne le prestazioni o estendere la vita utile (revamping, retrofit, upgrade tecnologici, espansioni di capacità, ecc.).
Costi di fine vita	Costi per la dismissione, lo smaltimento o la bonifica a fine ciclo di vita. In alcuni casi l'asset può avere un valore residuo positivo (rivendita dell'usato, recupero di componenti o materiali) che va a compensare in parte i costi di smantellamento; in altri casi vi sono oneri di smaltimento rifiuti, penali ambientali o costi di ripristino del sito.

Tabella 1 - Principali voci di costo nel TCO

tende a definire una struttura dei costi ad hoc per il proprio caso, rendendo talvolta difficile il confronto. Inoltre, spesso alcune componenti di costo vengono trattate come valori deterministici (cioè noti e fissi) mentre altre sono stimate in modo probabilistico. Questo accade perché alcune voci di costo, ad esempio quelle relative a guasti, imprevisti o manutenzioni straordinarie, dipendono da eventi futuri incerti e sono fortemente influenzate da variabili esterne (condizioni operative, uso effettivo, usura, ecc.). In questi casi, è più realistico adottare un approccio probabilistico, utilizzando ad esempio distribuzioni derivate da dati storici, analisi di affidabilità o simulazioni, per generare diversi scenari in cui tali voci di costo assumono diversi valori. Quando invece si trattano costi come quelli di acquisto iniziale, licenze o canoni contrattuali, che sono spesso noti a priori o stabiliti da contratti, è possibile includerli nell'analisi come valori deterministici. Questa eterogeneità può complicare l'aggregazione dei risultati e la comprensione complessiva del rischio. In questo caso, strumenti come la **simulazione Monte Carlo** possono rivelarsi utilissimi: simulando migliaia di scenari in cui i vari costi non noti a priori fluttuano secondo le distribuzioni assegnate, si può ottenere una distribuzione possibile per il costo totale.

Un limite importante dei tradizionali calcoli di TCO, evidenziato da recenti studi, è la tendenza a **considerare i beni o gli asset in modo isolato**, ignorando le interdipendenze di un

sistema più ampio. Molti modelli TCO consolidati si concentrano su un singolo macchinario o componente, senza considerare che quegli asset spesso fanno parte di un sistema di asset più grande (una "rete" o un impianto integrato) le cui parti influenzano reciprocamente i costi. Di conseguenza, applicare il modello TCO sommando i costi di singoli componenti potrebbe portare a sottostimare il costo totale effettivo, perché **non tiene conto dei costi nascosti a livello di sistema** che emergono solo quando gli elementi operano in sinergia.

### Il caso degli asset complessi

Quando si tratta di asset complessi composti da più sottosistemi interdipendenti, stimare il TCO diventa particolarmente sfidante. Immaginiamo ad esempio il caso di una rete ferroviaria: questa comprende stazioni, binari, sistemi di segnalamento e controllo, impianti di alimentazione elettrica, materiale rotabile e così via. Ciascun sottosistema ha un proprio ciclo di vita e proprie voci di costo, ma l'azienda ferroviaria è interessata al costo totale **dell'intero sistema integrato (o almeno di una sua parte)**, perché è così che il valore viene effettivamente fruito (il servizio di trasporto dipende dall'insieme coordinato di tutti questi elementi). Analogamente, un gestore di acquedotto possiede impianti di pompaggio, reti di tubazioni, serbatoi, stazioni di trattamento e potabilizzazione: ogni parte è un asset a sé stante, ma è l'insieme integrato che eroga il servizio idrico e di cui si vuole capire il



costo totale di proprietà.

In scenari come questi, **il TCO del sistema non è semplicemente la somma dei TCO dei singoli sottosistemi**. Dall'interazione e dall'interdipendenza delle varie parti possono emergere **costi aggiuntivi** che non comparirebbero valutando le singole unità separatamente. Alcuni esempi di queste voci di costo legate alla complessità del sistema sono:

- **Costi di integrazione:** spese necessarie per far funzionare insieme i diversi sottosistemi. Possono includere attività di ingegneria d'integrazione, configurazione di interfacce tra sistemi software/hardware, sincronizzazione di protocolli o procedure operative e formazione specifica per gestire il sistema integrato. Ad esempio, collegare un nuovo impianto a una rete esistente richiede spesso manodopera specializzata e calibratura di sistemi che rappresentano costi extra rispetto ai singoli asset presi a sé.
- **Costi di sincronizzazione:** oneri dovuti al coordinamento e alla pianificazione congiunta delle attività sui diversi asset. Un caso tipico è la manutenzione coordinata: quando si ferma un impianto per manutenzione, può essere necessario fermarne contemporaneamente altri collegati, oppure organizzare le finestre di fermo in modo da minimizzare l'impatto sul servizio complessivo. Questa sincronizzazione può comportare costi aggiuntivi (ad esempio dover impiegare più squadre contemporaneamente, oppure accettare periodi di sub-ottimo operativo).
- **Costi da effetto cascata di guasto:** in un sistema interdipendente, il guasto di un componente può provocare il fermo, il malfun-

zionamento o il danneggiamento anche di altri componenti correlati. Ciò genera costi indiretti a catena. Ad esempio, il guasto di una sottostazione elettrica in una rete ferroviaria non solo richiede la riparazione di quella sottostazione, ma può causare interruzioni sul servizio ferroviario in un'intera zona, con costi in penali, rimborsi o danno d'immagine.

- **Inefficienze di scala o di sistema:** quando più asset condividono risorse o operano insieme, possono sorgere inefficienze aggiuntive. Ad esempio, più macchinari che condividono la stessa fonte di alimentazione potrebbero portare a carichi di picco che richiedono potenziamenti infrastrutturali; oppure l'uso intensivo e contemporaneo di più componenti su una stessa linea può causare un'usura accelerata di qualche elemento comune (un collo di bottiglia) aumentando i costi di sostituzione più di quanto previsto considerando ogni componente singolarmente.

Queste voci evidenziano come, per sistemi complessi, **le interazioni tra i diversi componenti dell'asset complesso possono avere un impatto rilevante sul costo complessivo**. Ignorarle significa rischiare discrepanze tra costi previsti e costi reali. Per i manager e i responsabili operativi ciò si traduce in potenziali sforamenti di budget e difficoltà nel capire su quale parte dell'infrastruttura intervenire per ottenere il miglior beneficio economico. È quindi necessario un approccio al TCO che **incorpori la struttura modulare e gerarchica** dell'asset, rendendo espliciti i legami tra le parti e i costi che ne derivano. □



**Enrico Cagnoni,**  
Collaboratore CELS,  
Università degli  
studi di Bergamo



**Roberto Pinto,**  
Professore,  
Università degli  
studi di Bergamo