

DIGITAL INDUSTRIES SOFTWARE

# Adozione dell'approccio MBSE nello sviluppo dei veicoli

Realizzare progetti migliori e migliorare le prestazioni dei sistemi di trasmissione elettrica con l'ingegneria dei sistemi basata su modelli

## Sintesi

Nel settore automobilistico, prodotti e processi produttivi stanno diventando sempre più complessi. Questa complessità aumenta all'interno di ogni dominio ingegneristico e tra le discipline. Con l'avvento dei veicoli ibridi ed elettrici, la complessità dell'ingegneria e della gestione dei sistemi continua a crescere in modo esponenziale. In che modo, dunque, i produttori di componenti e veicoli possono continuare a sviluppare i loro prodotti allo stesso ritmo e a costi competitivi? Alcuni potrebbero essere riluttanti ad abbandonare processi ormai collaudati. Tuttavia, i produttori più all'avanguardia si sono resi conto che è giunto il momento di rivalutare il loro approccio e sviluppare nuovi processi più adatti alle esigenze odierne. Le aziende di maggiore successo stanno adottando l'ingegneria dei sistemi basata su modelli (MBSE), che consente loro di rimanere competitive, agili ed efficienti in termini di costi, affrontando al contempo le sfide legate a qualità, aumento delle normative e sostenibilità.

# Introduzione

Secondo l'International Council on Systems Engineering (INCOSE), l'MBSE è "l'applicazione formalizzata della modellazione a supporto dei requisiti di sistema, della progettazione, dell'analisi, della verifica e delle attività di validazione a partire dalla fase di progettazione concettuale e per tutta la durata dello sviluppo e delle successive fasi del ciclo di vita".

Anziché il tradizionale scambio di informazioni basato su documenti tra i team, l'MBSE utilizza un modello di sistema come mezzo principale di comunicazione e scambio di informazioni tra discipline ingegneristiche e stakeholder durante l'intero ciclo di vita dello sviluppo del sistema. Ciò consente alla modellazione di supportare e tracciare ogni singolo aspetto, dai requisiti iniziali alla progettazione e alla validazione finale, fino alle fasi successive del ciclo di vita.

Sebbene l'approccio MBSE migliori significativamente l'efficienza, consentendo di tenere traccia dei requisiti di prodotto e delle loro interconnessioni, presenta anche delle sfide:

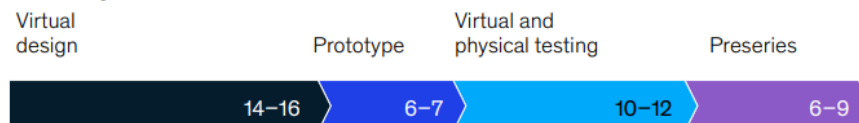
- Non tutti i requisiti possono essere modellati con il livello di precisione necessario
- È praticamente impossibile collegare tra loro in modo sincrono strumenti di modellazione eterogenei provenienti da diverse fonti

Per adottare un approccio MBSE efficace, è indispensabile utilizzare gli strumenti giusti per superare queste sfide. Questi strumenti devono collegare tutti i requisiti ai modelli corrispondenti, qualunque sia la loro origine. Devono inoltre garantire che un digital thread dei requisiti rimanga nell'ambiente di modellazione dalla fase iniziale della definizione dei requisiti alle fasi di progettazione, analisi, verifica e validazione.

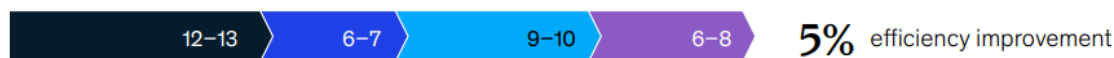
## Gli OEM hanno l'opportunità di ottenere ulteriori riduzioni dei costi a livello di ricerca e sviluppo per i veicoli BEV

### Comparison of ICE and BEV program,<sup>1</sup> product-development timelines, months

ICE average time to market (~36–44 months)



BEV average time to market with natural R&D efficiency improvement (~33–38 months)



BEV time to market, applying additional improvement levers (~23–28 months)



<sup>1</sup>For mass-market internal-combustion-engine (ICE) compared with passenger battery-electric-vehicle (BEV) above 150,000 units annually only, exclusive of commercial or industrial vehicles.  
Source: McKinsey Survey on BEV production (Spring 2020)

Figura 1. McKinsey segnala la possibilità di migliorare l'efficienza nel campo della ricerca e dello sviluppo di un ulteriore 15-20% e di ridurre il time-to-market fino a 10 mesi applicando quattro leve: modularità della piattaforma, processi agili, prototipazione virtuale e gestione della complessità.

# Introduzione ai concetti di MBSE nello sviluppo della trazione elettrica

Per illustrare meglio il concetto di MBSE, prendiamo l'esempio di un sistema di trazione elettrica (e-drive). Quando si sviluppa un sistema di trazione elettrica, è possibile utilizzare l'MBSE per creare un modello che racchiuda tutti gli aspetti del sistema, dai requisiti iniziali al prodotto finale.

Il modello può rappresentare i vari componenti del sistema di trazione elettrica, tra cui il motore elettrico, l'inverter, il cambio e il sistema di raffreddamento. Il modello può anche riflettere le interazioni tra questi componenti e i diversi requisiti e vincoli del sistema in termini di prestazioni.

Il sistema di trazione elettrica è un componente cruciale nei veicoli elettrici e ibridi, in quanto è responsabile della conversione dell'energia elettrica fornita dalla batteria in energia meccanica, che aziona le ruote dell'auto. È costituito da tre componenti principali: il motore elettrico, l'elettronica di potenza o inverter e il cambio. Inoltre, il sistema di raffreddamento e i controlli costituiscono i componenti secondari dell'e-drive.

Il sistema di trazione elettrica è suddiviso in architetture funzionali separate:

- L'inverter converte la corrente da CC a CA e la regola
- Il motore elettrico converte la corrente CA in coppia e giri al minuto (RPM)
- Il cambio converte numero di giri al minuto e coppia iniziali del motore in un numero di giri al minuto e in una coppia più adatti per azionare direttamente le ruote
- Il sistema di raffreddamento gestisce le prestazioni termiche

Ogni sottosistema del sistema di trazione elettrica ha i propri requisiti e obiettivi. Ad esempio, il motore elettrico deve soddisfare gli obiettivi minimi in termini di efficienza, prestazioni termiche, rumore e vibrazioni, costi e peso. Allo stesso modo, anche l'inverter, il cambio e il sistema di raffreddamento hanno requisiti specifici.

Tuttavia, le prestazioni di ciascun sottosistema sono interdipendenti e influiscono sulle prestazioni complessive dell'intero sistema. Pertanto, è fondamentale comprendere come funziona ciascun sottosistema sia individualmente sia come parte del sistema integrato.

Ad esempio, l'efficienza e le prestazioni del motore elettrico possono essere influenzate dall'elettronica di potenza e dal sistema di raffreddamento. Anche il cambio svolge un ruolo fondamentale nell'ottimizzazione delle prestazioni e dell'efficienza del motore, garantendo che funzioni alla velocità e alla coppia più efficienti.

Comprendendo il modo in cui ciascun sottosistema interagisce con gli altri, gli ingegneri possono ottimizzare la progettazione dell'intero sistema di trazione elettrica, assicurandosi che soddisfi tutti i requisiti individuali e fornisca al contempo il massimo livello di prestazioni ed efficienza.



Figura 2. Vista esplosa di un motore elettrico.

# L'intelligenza artificiale supporta la definizione del prodotto

Nelle fasi iniziali, la definizione del prodotto comporta la creazione di una serie dettagliata di requisiti e di un modello di architettura del sistema che descrive ogni singolo aspetto del sistema e-drive. L'architettura del sistema e-drive costituisce la base dell'intero processo di sviluppo. Definisce la struttura del sistema e le relazioni tra i componenti.

Tuttavia, esplorare l'architettura e selezionare il concept migliore è altrettanto importante, se non di più. Questo comporta l'esplorazione delle opzioni di architettura dell'e-drive per identificare il design ottimale per il sistema. Con più architetture

disponibili, scegliere quella giusta può essere complesso e può richiedere molto tempo, e c'è il rischio di non riuscire a individuare l'opzione migliore.

Selezionando attentamente l'architettura ottimale dell'e-drive, gli ingegneri possono garantire che il sistema soddisfi tutti i requisiti e offra, al contempo, il massimo livello di prestazioni ed efficienza. Questo, a sua volta, può contribuire ad accelerare il processo di sviluppo e a ridurre il rischio di costose riprogettazioni successive.

## Gli approcci progettuali alla gestione delle prestazioni termiche del gruppo motopropulsore e della batteria variano notevolmente

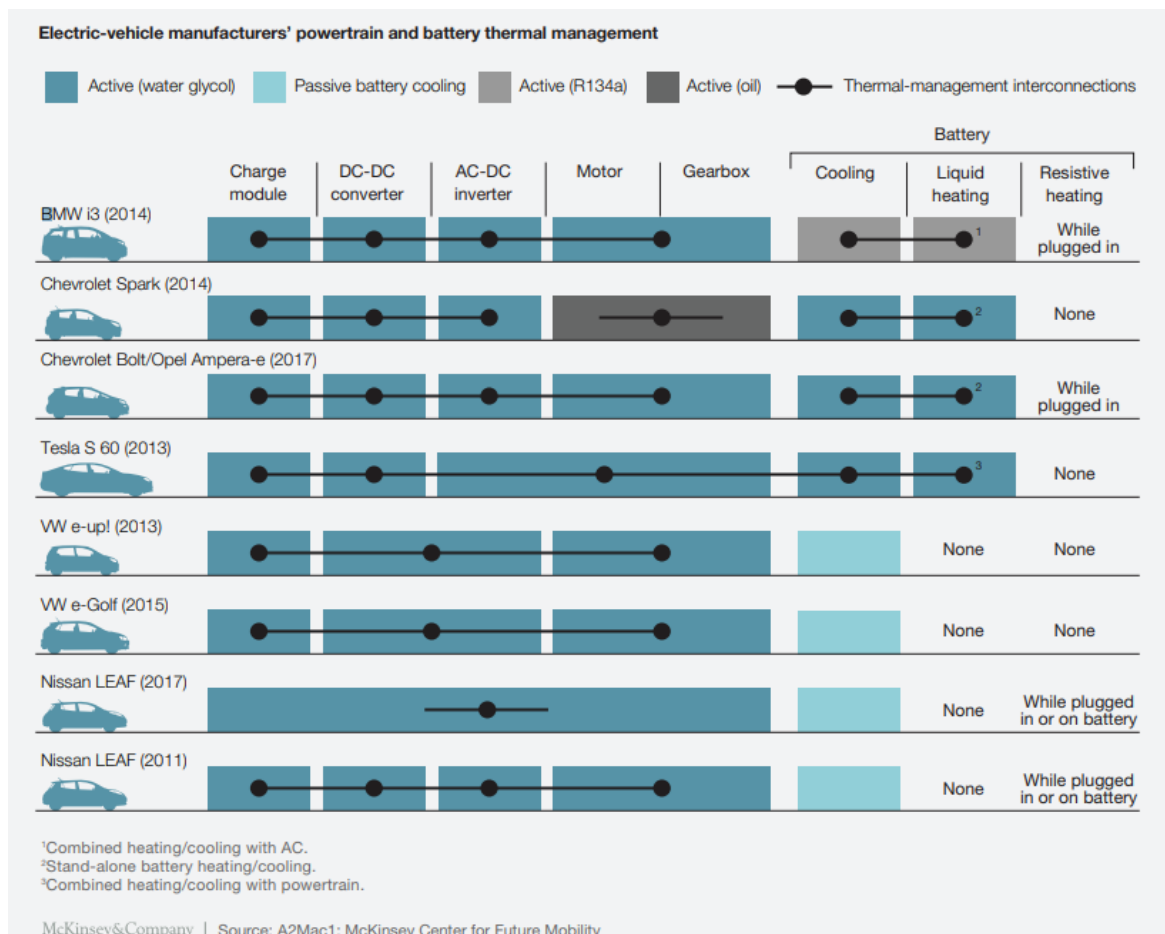


Figura 3. Uno studio di McKinsey illustra la varietà di architetture di trazione elettrica.



Prendiamo l'esempio del sistema e-drive precedente. In questo sistema possono essere utilizzati vari tipi di motori elettrici, inclusi motori a induzione e a magneti permanenti. È qui che l'esplorazione dell'architettura diventa fondamentale. La selezione del concept giusto durante le prime fasi del processo di progettazione è essenziale, poiché qualsiasi decisione errata può portare a una rilavorazione significativa in un secondo momento durante il ciclo di sviluppo. Ciò può comportare tempistiche di sviluppo molto più lunghe di quanto inizialmente previsto, aumentando in ultima analisi i costi e ritardando il lancio del prodotto.

Lo scopo dell'esplorazione delle architetture di trazione elettrica nelle prime fasi di progettazione è quello di consentire agli ingegneri di conoscere tutte le possibili combinazioni di inverter, motore e cambio che soddisfano i requisiti, i vincoli e gli obiettivi di prestazione definiti. Questo processo prevede l'analisi delle combinazioni di tipi e dimensioni dei motori e delle diverse configurazioni di cambio e inverter.

Esplorando l'architettura, gli ingegneri di sistema possono identificare la combinazione ottimale di motore, cambio e inverter per fornire le prestazioni desiderate e soddisfare tutti i requisiti e i vincoli. Questo processo garantisce che il sistema di trazione elettrica sia progettato per funzionare in modo ottimale ed efficiente, affinché sia possibile ottenere un prodotto finale migliore.

Per guidare l'esplorazione dell'architettura nell'esempio del sistema di trazione elettrica, i produttori sfruttano la potenza del software Simcenter™ Amesim™ e di Simcenter™ Studio. Questi strumenti software combinano la simulazione di sistema best-in-class con l'intelligenza artificiale (AI) per fornire una piattaforma avanzata per l'esplorazione delle opzioni di architettura dell'e-drive.

Il processo inizia con la creazione di un modello di architettura di sistema e la definizione dei vincoli di progettazione. Questa operazione può essere eseguita nell'ambiente di modellazione dell'architettura preferito, quali System Modeling Workbench di Siemens Digital Industries Software o gli strumenti System Modeling Language (SysML). All'interno del modello di sistema, l'intento progettuale viene descritto utilizzando funzioni, componenti e vincoli. Con queste informazioni, la piattaforma di AI generativa offerta da Simcenter Studio può iniziare a generare le possibili architetture. La piattaforma utilizza algoritmi avanzati per analizzare il modello di architettura e generare una serie di potenziali combinazioni di architetture di e-drive.

Le opzioni di architettura vengono quindi valutate con il software Simcenter Amesim utilizzato per la simulazione del sistema. Ciò consente agli ingegneri di simulare le prestazioni di ciascuna opzione di architettura, inclusi fattori quali efficienza, prestazioni termiche, rumore e vibrazioni, costi e peso. Combinando la potenza di Simcenter Amesim

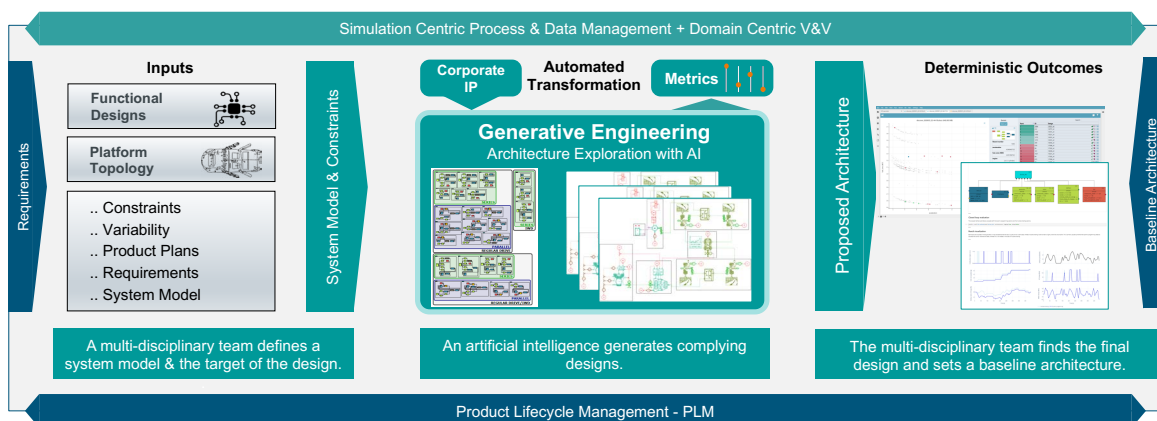


Figura 4. Nella fase di definizione del prodotto, le soluzioni Simcenter partono dai requisiti e dagli obiettivi di ciascun sottosistema per analizzare le diverse opzioni di architettura di e-drive e identificare il design ottimale.

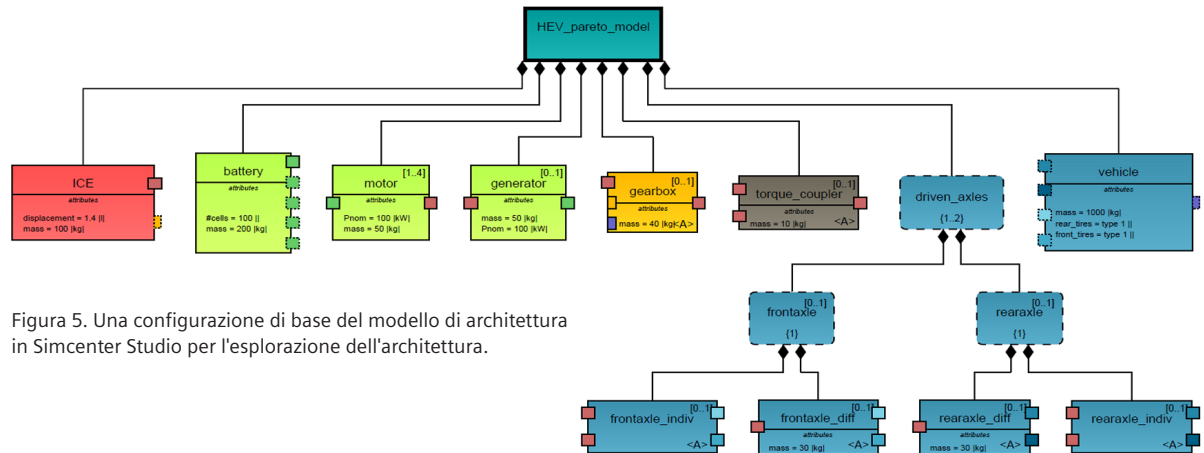


Figura 5. Una configurazione di base del modello di architettura in Simcenter Studio per l'esplorazione dell'architettura.

e Simcenter Studio, gli ingegneri possono esplorare un'ampia gamma di architetture di e-drive e identificare il design ottimale per il sistema.

Il risultato è un processo semplificato ed efficiente per l'esplorazione delle opzioni di architettura dell'e-drive, che consente di ridurre i tempi e i costi di sviluppo garantendo al contempo un livello di prestazioni ed efficienza ottimale.

#### Veicolo elettrico – Analisi del veicolo, specifiche del motore elettrico e della batteria

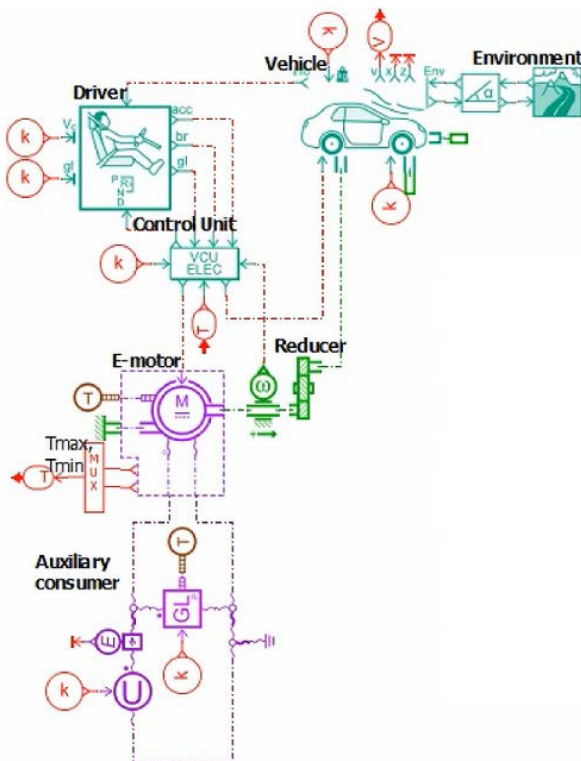


Figura 6. Modello 1D di un gruppo motopropulsore in Simcenter Amesim per la valutazione delle prestazioni di ciascuna architettura.

I recenti progressi nell'intelligenza artificiale hanno rivoluzionato lo spazio della simulazione, fornendo agli ingegneri strumenti potenti per esplorare molte potenziali opzioni di architettura. Con l'aiuto dell'intelligenza artificiale, gli ingegneri possono ora valutare dozzine o addirittura centinaia di potenziali architetture di e-drive da un solo modello di architettura di sistema.

Questo approccio innovativo consente agli ingegneri di prendere decisioni informate e di arrivare a un'architettura di base che soddisfi gli obiettivi del sistema. Esplorando e valutando un'ampia gamma di opzioni di architettura, gli ingegneri possono identificare i progetti più promettenti e sviluppare una serie di requisiti di sistema validati che diventano la base per l'intero processo di sviluppo, verifica e validazione degli e-drive.

La fase successiva del processo di sviluppo dell'e-drive consiste nel collegare l'architettura e i requisiti al resto dei flussi di lavoro di simulazione a livello delle varie discipline. È qui che MBSE esprime il suo vero potenziale, fornendo un solido framework per l'integrazione dei diversi modelli e strumenti di simulazione utilizzati nel processo di sviluppo.

## Connessione di ambiti ingegneristici e verifica e validazione a circuito chiuso

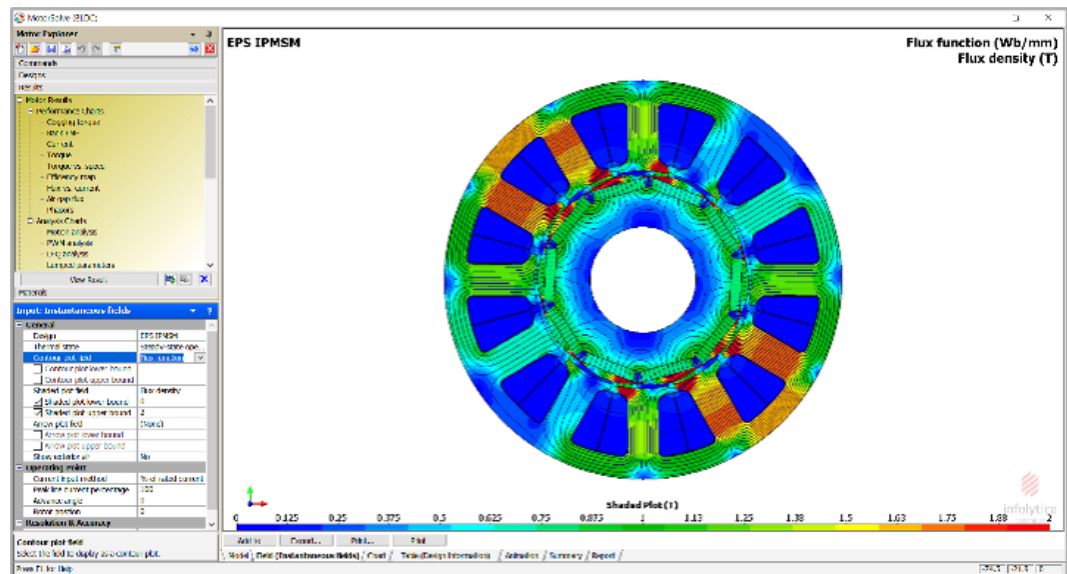


Figura 7. Con il software Simcenter Motorsolve, gli ingegneri possono progettare e analizzare le prestazioni di motori a magneti permanenti, a induzione, sincroni, a commutazione elettronica e a spazzole.

Continuiamo con l'esempio del sistema di trazione elettrica. Al termine della fase di definizione del prodotto, l'ingegnere capo chiede all'ingegnere termotecnico di eseguire un'analisi termica approfondita del progetto del motore selezionato. L'obiettivo è valutare il comportamento termico del motore in diverse condizioni operative e determinare se il meccanismo di raffreddamento attuale è sufficiente a mantenere la temperatura del motore entro limiti accettabili.

L'ingegnere termotecnico utilizzerà strumenti software come l'analisi a elementi finiti (FEA) o la fluidodinamica computazionale (CFD) per eseguire

le analisi termiche in regime stazionario e transitorio del motore. Questa analisi prenderà in considerazione le caratteristiche termiche del motore, come la resistenza termica, la capacità e la costante di tempo, nonché le condizioni operative, come il carico e la temperatura ambiente.

Una volta completata l'analisi termica, l'ingegnere termotecnico valuterà i risultati e determinerà se la temperatura del motore rientra nei limiti accettabili.

Se necessario, possono essere suggerite modifiche al meccanismo di raffreddamento o al design del motore per garantire che la temperatura rimanga entro l'intervallo accettabile.

L'ingegnere termotecnico può effettuare misurazioni della temperatura sul motore durante il funzionamento per verificare l'analisi. I risultati del processo di analisi e verifica saranno condivisi con l'ingegnere capo, che aggiornerà il modello di architettura con i nuovi parametri termici. In questo modo, l'intero sistema di trazione elettrica sarà ottimizzato per garantire le prestazioni termiche desiderate e il prodotto soddisferà tutte le specifiche e i requisiti.

### Sfide relative all'ingegneria connessa

Nonostante siano un fattore critico, i flussi di lavoro che coinvolgono lo sviluppo e la simulazione dell'architettura sono troppo spesso scollegati tra loro, e questo causa inefficienze ed errori. Ad esempio, se vengono apportate modifiche al modello di architettura del sistema, potrebbe essere difficile trasmettere tali modifiche ai modelli di simulazione, con conseguenti errori e ritardi. È vero anche il contrario: i risultati della simulazione devono essere aggiornati e resi disponibili a tutte le parti interessate il prima possibile, in modo che tutti possano accedere ai risultati più recenti.

Questa disconnessione è spesso dovuta alla mancanza di un digital thread end-to-end, che impedisce una collaborazione e una comunicazione efficaci. Questo è contrario ai principi dell'MBSE, che mira a garantire una migliore collaborazione e comunicazione tra tutti gli stakeholder.

Un digital thread è un fattore critico nella definizione e nell'adozione dell'MBSE all'interno di un'azienda. Il digital thread può essere definito come una rappresentazione digitale continua dello sviluppo di un prodotto e dei relativi dati durante il ciclo di vita del prodotto. Il digital thread collega tutte le fasi del processo di sviluppo del prodotto, fornendo una visione olistica del prodotto e dei relativi dati. Ciò contribuisce a migliorare la collaborazione, l'efficienza e le prestazioni durante l'intero ciclo di vita del prodotto.

In questo caso, i produttori sfruttano la potenza del gestore dei flussi di lavoro del software HEEDS™ insieme al software di simulazione Teamcenter® per stabilire una perfetta integrazione tra architettura di sistema, requisiti e parametri con i flussi di lavoro di simulazione nel software Simcenter Motorsolve™ per la simulazione elettromagnetica e l'analisi termica in stato stazionario e transitorio.

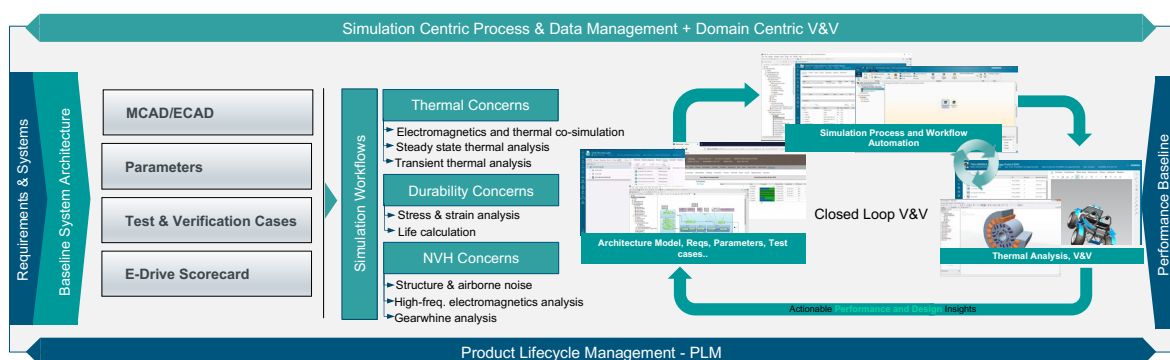


Figura 8. La connessione tra i vari ambiti ingegneristici tramite un digital thread migliora la collaborazione e aumenta l'efficienza e le prestazioni durante l'intero ciclo di vita del prodotto.



Simcenter Amesim, Simcenter Studio, HEEDS, Teamcenter Simulation, Simcenter Motorsolve e System Modeling Workbench fanno parte del portfolio Siemens Xcelerator, il portfolio completo e integrato di software, hardware e servizi.

Il processo inizia con la richiesta dell'ingegnere capo a un ingegnere termotecnico di svolgere un'analisi termica. La richiesta viene creata nell'ambiente Teamcenter, dove modello di architettura del sistema, requisiti, parametri, progettazione meccanica assistita da computer (MCAD) e CAD per l'elettronica sono integrati in un'unica richiesta di analisi termica, per garantire una migliore tracciabilità. Questa richiesta di analisi

viene quindi collegata a Simcenter Motorsolve tramite Teamcenter Simulation e il gestore di flussi di lavoro di HEEDS, fornendo all'ingegnere termotecnico tutti i parametri e i dati necessari per eseguire correttamente l'analisi termica del motore.

Teamcenter Simulation e il gestore dei flussi di lavoro di HEEDS vengono utilizzati per implementare il digital thread per la simulazione e il test. Quest'ultimo sfrutta i dati di simulazione e test connessi con il modello di architettura del sistema e la gestione del ciclo di vita del prodotto (PLM) aziendale, creando automaticamente relazioni tra i dati di progettazione e i modelli utilizzati per tutte le fasi di sviluppo del prodotto. Consente di ottenere la tracciabilità completa in tutti i domini delle prestazioni: simulazione, processo di test e gestione dei dati.

## Conclusione

Per sfruttare appieno i vantaggi dell'MBSE, è necessario andare oltre la modellazione dell'architettura in silos. Nel fare ciò, è fondamentale investire tempo fin dalle prime fasi e sfruttare i progressi dell'intelligenza artificiale per determinare l'architettura corretta, riducendo così al minimo gli interventi di rielaborazione della modellazione nelle fasi successive del progetto.

Inoltre, il modello di architettura deve essere progettato per essere riutilizzabile in più discipline ingegneristiche. Ciò consente la perfetta integrazione dei flussi di lavoro di progettazione e garantisce che tutte le modifiche apportate in un dominio si

riflettano sull'intero sistema, riducendo il rischio di errori e incongruenze. Inoltre, un modello di architettura riutilizzabile può aiutare a ridurre i costi di sviluppo, migliorare il time-to-market e aumentare l'efficienza complessiva nel processo di sviluppo.

Nel complesso, l'utilizzo dell'MBSE per lo sviluppo di un sistema di trazione elettrica può favorire un processo di sviluppo più snello ed efficace, con conseguente miglioramento dei progetti e delle prestazioni.

## **Siemens Digital Industries Software**

Americhe: 1 800 498 5351

EMEA: 00 800 70002222

Asia-Pacifico: 001 800 03061910

Altri numeri sono disponibili [qui](#).

**Siemens Digital Industries Software** aiuta le aziende di tutte le dimensioni ad avviare un percorso di trasformazione digitale utilizzando il software, l'hardware e i servizi della piattaforma Siemens Xcelerator. Il software e il digital twin esteso di Siemens consentono alle aziende di ottimizzare i processi di progettazione, ingegnerizzazione e produzione per trasformare le idee di oggi nei prodotti sostenibili di domani. Dai chip ai sistemi, dai prodotti ai processi, in tutti i settori industriali, Siemens permette di creare oggi i prodotti di domani. [Siemens Digital Industries Software](#) – Accelerating transformation.

[siemens.com/software](https://www.siemens.com/software)

© 2023 Siemens. Un elenco di brand Siemens è disponibile [qui](#).  
Tutti gli altri marchi commerciali, marchi registrati o marchi di servizio appartengono ai rispettivi detentori.

85211-D6-IT 10/24 LOC