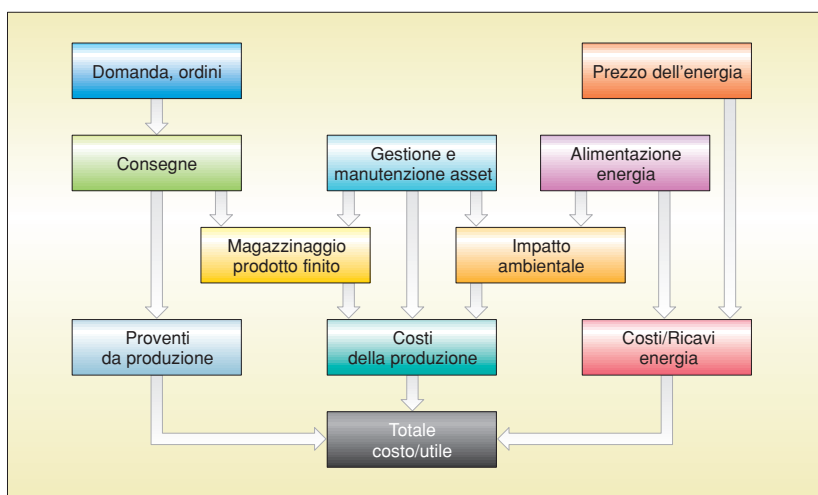


Prestazioni **ottimizzate** a costi ridotti



I. I principali fattori sui quali influisce la gestione di un asset industriale. I riquadri alla seconda riga rappresentano le decisioni da ottimizzare. I riquadri alla quarta riga rappresentano gli indicatori economici (costi/ricavi).

All'inizio di questo decennio, ABB ha avviato una collaborazione accademica strategica con l'Istituto federale svizzero della tecnologia, l'ETH di Zurigo, per affrontare una questione cruciale.

Il problema di come assicurare una gestione ottimale degli asset produttivi è già stato oggetto di numerosi studi nel passato. Il progresso tecnologico, tuttavia, ha spostato lo spettro delle possibili soluzioni, aprendo la porta a nuovi paradigmi.

In termini più concreti, la più avanzata tecnologia informatica di ABB, i dispositivi di comunicazione e i sensori consentono oggi di accedere direttamente online a nuove tipologie di dati. La maggiore efficienza degli algoritmi e la maggiore velocità di calcolo consentono

di affrontare problemi di ottimizzazione matematica, non trattabili fino a qualche decennio fa. In base all'esperienza acquisita in diversi casi di studio con asset di diverso tipo, ad esempio impianti elettrici a ciclo combinato, cementifici, convertitori di frequenza per motori e sistemi di alimentazione, ABB ed ETH in collaborazione sono riusciti a raggiungere una fase decisiva.

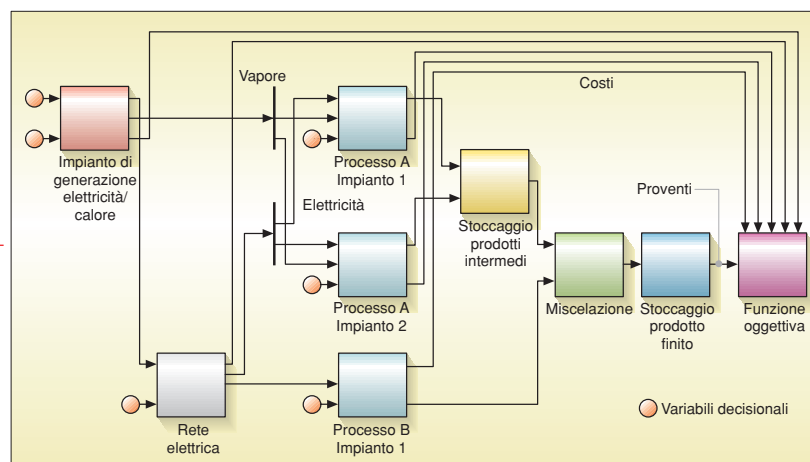
La metodologia sviluppata consentirà a chi possiede asset industriali di gestirli in modo

La crescente concorrenza, l'accelerazione dei consumi di risorse limitate e normative ambientali sempre più restrittive comportano un'erosione dei margini.

La strategia in grado di assicurare la sopravvivenza nel lungo periodo: massimizzare il rendimento ottimizzando le attività aziendali nel rispetto dei vincoli ecologici

2. Processo di produzione industriale con generazione di elettricità.

Alcuni impianti del processo richiedono energia termica ed elettrica. L'elettricità può essere venduta o acquistata dalla rete.



economicamente efficiente e nel rispetto dell'ambiente. Tale obiettivo si consegue associando strategie insite nella teoria del controllo ottimale con modelli econometrici tipici degli asset industriali - per riuscire letteralmente a ottenere di più con meno.

Ma quali sono le differenze tra questo nuovo sistema ABB-ETH per l'ottimizzazione degli asset industriali e le soluzioni preesistenti? Che tipo di processi industriali ne trarranno maggiori vantaggi? E, soprattutto, quali saranno i vantaggi competitivi e l'impatto finanziario per i proprietari di asset?

Gestione degli asset industriali

Un produttore industriale che desideri quantificare la performance di un impianto finisce inesorabilmente per valutare una serie di indicatori economici.

Proprio come con un asset finanziario, anche un impianto presuppone un investimento e, a titolo di rendimento, genera proventi attraverso la produzione.

Per ABB la gestione degli asset industriali ha un significato ben preciso: si tratta della gestione operativa di apparecchiature per generare o trasmettere elettricità o per produrre manufatti nel modo più efficiente possibile. Schematizzando, la performance di un asset risulta dalla combinazione dei seguenti fattori principali (figura 1):

- fattori esterni: richiesta di un prodotto finito, prezzo dell'energia;
- variabili decisionali: realizzazione di un prodotto finito, gestione e manutenzione degli as-

set produttivi, generazione e consumo di energia;

- fattori condizionati: magazzinaggio del prodotto finito, tasse ambientali, costi energetici, costi di produzione e proventi legati alla produzione.

L'aspetto principale da comprendere è come la performance operativa di un asset sia collegata alle decisioni del produttore. Una possibile rappresentazione di asset gestito è indicata nella figura 1. La freccia indica l'influsso diretto tra i fattori collegati.

Questo modello semplificato di asset illustra diversi punti fondamentali: i fattori propulsivi sottostanti il processo produttivo sono la domanda (cioè gli ordini) e il prezzo dell'energia (e di altre risorse primarie). Una previsione affidabile di questi due fattori è importante ed essenziale. Inoltre, la gestione degli asset riguarda tre diverse categorie decisionali (seconda riga nella figura 1):

- in che misura è opportuno soddisfare la domanda, ossia, quanto prodotto sarà necessario consegnare?
- come vanno gestiti gli asset produttivi e quando vanno previsti gli interventi di manutenzione?
- come si deve fornire (o eventualmente generare) l'energia necessaria?

Solitamente il produttore deve considerare un determinato orizzonte di pianificazione per prendere le sue decisioni, ad esempio di un paio di settimane.

Per semplificare, nell'esempio si postula che il target di consegna sia il primo elemento deciso - in base alla domanda prevista e ai vincoli

degli asset di produzione. Tale decisione relativa alla consegna influirà direttamente sui proventi delle vendite e sui livelli delle scorte (riduzione degli inventari).

In questo modello semplificato, il produttore pianifica la gestione e la manutenzione dei suoi asset. La sua decisione influirà direttamente sul livello delle scorte (aumento degli inventari) e sui costi di produzione, che comprendono le variabili relative all'impatto ambientale (eventuali tasse sulle emissioni di CO₂). Per quanto riguarda le aziende elettriche, produzione significa generazione di potenza. Nelle centrali idroelettriche, il livello delle riserve idriche può essere considerato come il livello di scorte.

La terza decisione che il produttore dovrà prendere riguarda la fornitura di risorse primarie, specialmente di energia. In base al tipo di asset industriale, il consumo energetico può essere eterogeneo (calore, combustibile, materia prima). In alcune applicazioni si ha una generazione di energia, ad esempio nelle centrali elettriche a ciclo combinato, negli impianti a carbone, ecc.

Le decisioni in merito alla fornitura di energia influiscono direttamente sui costi (o sui proventi qualora l'energia sia venduta). Esse determinano inoltre l'entità dell'impatto ambientale.

Il costo dell'energia, a sua volta, è in funzione della quantità di energia fornita e del suo prezzo. Quest'ultimo può essere strettamente correlato al tempo, specialmente nel caso dell'elettricità.

Infine, i proventi e i costi di produzione quantificano la performance complessiva di gestio-

ne degli asset. Come è possibile supportare le aziende nel prendere questo tipo di decisioni finalizzate o ottimizzare la performance?

Applicazione di nuove tecniche matematiche

Per trovare applicazione nella pratica, il modello introdotto nella precedente sezione deve essere esteso e personalizzato in base alle peculiarità degli asset di produzione.

La relazione tra la decisione e le variabili di processo deve essere quantificata, in modo tale da costituire i criteri di misura in base ai quali potrà essere ottimizzata la gestione degli asset. Sviluppando le competenze maturate nel corso negli anni, ABB ha elaborato modelli econometrici estremamente dettagliati per specifici settori.

Una volta stabilito il modello econometrico di un particolare asset industriale, sarà possibile applicare le seguenti tecniche matematiche avanzate. È stato recentemente sviluppato presso l'Institute of Automatic Control della ETH [1] un ambiente che comprende sistemi di modellistica definiti da leggi fisiche, regole logiche e vincoli operativi interdipendenti, noti come sistemi Mld (Mixed Logical Dynamical). I sistemi Mld possono rappresentare in modo efficiente i modelli industriali dinamici soggetti a vincoli operativi. Si tratta di ibridi nel senso che è possibile integrare nello stesso setup variabili discrete (ad esempio modalità operative diverse) e variabili costanti (ad esempio quantità fisiche).

L'ambiente Mld associato alla tecnica di controllo ottimizzata nota come Mpc (Model Predictive Control, Controllo predittivo del modello) [2] consente di esprimere una funzione oggettiva costi/ricavi rispetto a un orizzonte sfuggente.

Questa combinazione consente di tradurre il problema dell'ottimizzazione econometrica in un programma con fattori di scala eterogenei (1) risolvibile su PC.

Per contro, lo standard preesistente calcola un programma, vale a dire un piano operativo degli asset produttivi [4]. Il piano (ad anello a-

perto) è valido a condizione che l'andamento futuro delle relative variabili sia preventivamente noto con precisione. Sfortunatamente, nella pratica spesso gli eventi determinano cambiamenti durante l'esecuzione di un programma, rendendo il piano iniziale meno utile.

Utilizzando invece un approccio Mld-Mpc, si ottiene un meccanismo che tiene conto dello stato del sistema e, in base alle ultime informazioni in ciascuna fase temporale, suggerisce come regolare in modo ottimale la gestione degli asset - rispondendo nel contempo a numerosi vincoli. Inoltre, impostando appositi vincoli nel modello Mld, è possibile specificare l'entità delle modifiche che si possono apportare alla pianificazione.

Si tratta di un considerevole miglioramento rispetto agli approcci attualmente utilizzati, in quanto il piano (ad anello aperto) è di tipo reattivo e pertanto costituisce un aiuto prezioso per gestire i cambiamenti.

Un esempio pratico

La nuova metodologia è illustrata in figura 2 con un processo di produzione che richiede sia energia termica che elettrica. L'elettricità può essere generata in loco utilizzando una centrale elettrica a ciclo combinato, oppure può essere acquistata attraverso la rete di alimentazione. Il vapore viene prodotto solo quando l'impianto di generazione elettrica è in funzione.

La produzione comprende cinque fasi: processo primario, magazzinaggio prodotti intermedi, processo secondario, miscelazione e stoccaggio finale. Il processo primario utilizza elet-

tricità e vapore.

Questo processo, che può essere eseguito su due diversi impianti (Processo A, impianto 1 e 2), crea un primo prodotto intermedio, che viene immagazzinato in un'unità di stoccaggio intermedia. Un secondo tipo di processo, che non richiede vapore, avviene in parallelo (Processo B).

Entrambi i prodotti intermedi vengono miscelati nella fase di miscelazione. Il prodotto finale viene immagazzinato e infine consegnato in base alla domanda.

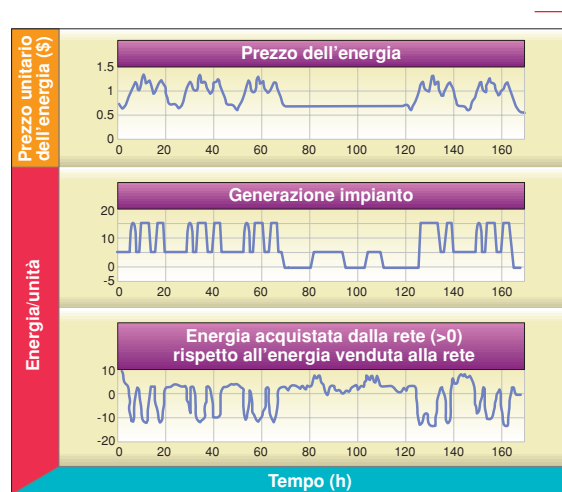
La gestione degli impianti di produzione è soggetta a una serie di vincoli. L'avviamento di un impianto fermo comporta costi supplementari. Quando un impianto è in funzione, la velocità di produzione non può scendere al di sotto di un livello minimo stabilito. Se l'impianto si arresta, dovrà rimanere inattivo per un periodo di tempo minimo.

I volumi di stoccaggio del prodotto intermedio e finito (limitati) vanno gestiti in base a determinate proporzioni di miscelazione e agli ordinativi.

Anche l'impianto per la generazione di elettricità deve rispettare una serie di vincoli operativi. Tempi di avviamento, tempi di fermo e di funzionamento minimi, livello minimo e massimo di generazione e prezzo di elettricità in base al tempo sono tutti fattori che contribuiscono alla complessità del problema dell'ottimizzazione.

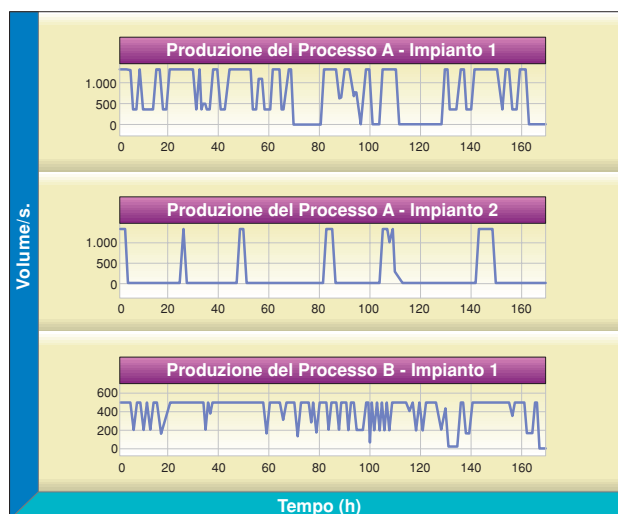
In questo problema, le variabili decisionali come indicate in figura 2 sono:

1) la quantità di elettricità generata dall'im-



3. Andamento nel tempo di prezzo dell'elettricità (tracciato superiore), potenza generata (tracciato intermedio) e scambio di elettricità con la rete (tracciato inferiore).

(1) Un programma con fattori di scala eterogenei è la minimizzazione o la massimizzazione di una funzione lineare di variabili discrete e costanti soggette a vincoli lineari.



4. Funzionamento ottimizzato degli impianti di processo primario e secondario (l'impianto 2 ha costi più elevati).

pianto di generazione elettrica locale;
 2) quantità di vapore da produrre;
 3) la quantità di elettricità da acquistare o vendere alla rete;
 4) e 5) i parametri operativi degli impianti di processo primario;
 6) il funzionamento del processo secondario.
 La consegna del prodotto finito in base alla domanda (ordinativi).

Ottimizzando la funzione oggettiva complessiva, si consegue la gestione combinata ottimale degli asset (figure 3 e 5). Tutti i tracciati corrispondono a un orizzonte sfuggente di una settimana. In figura 3, il tracciato superiore rappresenta il prezzo stabilito dell'elettricità fornita dalla rete. Il secondo tracciato indica la generazione dell'impianto conseguente al processo di ottimizzazione.

Il tracciato inferiore illustra lo scambio di elettricità - i valori negativi indicano la vendita di elettricità alla rete. È interessante notare che l'impianto di generazione elettrica rimane inattivo solo durante periodi prolungati di elettricità a prezzo ridotto.

Per contro, la massima quantità di elettricità è generata durante i periodi in cui i prezzi sono elevati e l'eccesso viene venduto per massimizzare i rendimenti.

La figura 4 indica l'operazione pianificata degli impianti di processo. Poiché ha costi di produzione più bassi, l'impianto 1 viene utilizzato più spesso dell'impianto 2. Nota: poiché entrambi gli impianti richiedono vapore, sono fun-

zionanti solo quando la centrale elettrica locale è attiva (vale a dire quando è disponibile energia termica). La figura 5 indica le variazioni del livello delle scorte di prodotto finito nel tempo (tracciato intermedio).

Possiamo vedere che l'ottimizzazione sfrutta il periodo in cui il prezzo dell'energia è più basso per aumentare le scorte. L'ultimo tracciato rappresenta la domanda di prodotto finito.

Protezione dall'incertezza

Su quale questione di rilevanza pratica dovrebbero concentrarsi gli sforzi della ricerca? Uno dei principali effetti della liberalizzazione dei mercati è che l'industria si trova sempre più esposta all'incertezza.

Essa influisce su vari aspetti della catena di fornitura: fornitori, prezzi delle materie prime, qualità, domanda, mercati finanziari e altri parametri. Tale situazione sta comportando un passaggio dalla pianificazione deterministica alla gestione dei rischi operativi.

Il passaggio non è ancora completo poiché la formulazione standard della pianificazione e i problemi di programmazione rimangono deterministici. Si conviene implicitamente che il processo sia esente da problemi e - di conseguenza - che sia possibile prevedere con precisione ciò che avverrà in futuro. Nella pratica, tuttavia, tale assunto rigoroso solitamente non regge - talvolta si hanno deviazioni di notevole entità. Ma da dove deriva questo stato di in-

certezza? La performance di un sistema produttivo dipende non solo dalle sue variabili controllate (e quindi certe) ma anche da perturbazioni non misurabili (e quindi incerte), ad esempio variazioni delle condizioni delle macchine o della qualità del prodotto iniziale. Un altro esempio di disturbi incerti è relativo alla previsione della domanda, che determina la pianificazione della produzione.

Consideriamo di seguito due esempi.

Produzione di cemento: Tra i principali problemi decisionali si annoverano l'ottimizzazione del processo di combustione nel forno e la programmazione della produzione di diverse qualità di cemento su diversi impianti. Vi è incertezza relativamente alla domanda, a eventuali interruzioni dell'alimentazione elettrica, ai parametri di processo e ai costi di produzione.

Generazione elettrica: Le principali decisioni comprendono: programmazione dell'attività degli impianti, vendita di elettricità, offerte sul mercato spot e pianificazione degli interventi di manutenzione. Vi è incertezza a livello di domanda (carico), del prezzo spot futuro, del prezzo del combustibile e di eventuali interruzioni dell'alimentazione elettrica. Si ravvisa pertanto l'esigenza di soluzioni di ottimizzazione efficienti che tengano esplicitamente conto dell'incertezza.

Impatto economico ed ecologico

Qual è il ruolo degli aspetti ambientali nell'ottimizzazione econometrica? Di primo acchito,

gli obiettivi economici spesso paiono in contrasto con quelli ecologici.

Non è necessariamente così: in realtà, il problema di ripartire in modo ottimale risorse limitate è per sua stessa definizione un problema economico. Inoltre, il significato di "ottimale" è strettamente legato alla normativa.

La figura 1 mostra che il fattore ambientale è un elemento che può influire sugli aspetti econometrici complessivi.

Ci si pone una domanda legittima, sebbene in qualche misura speculativa: in che misura l'approccio suggerito può contribuire alla sostenibilità?

Anche in questo caso, si considerano gli esempi della produzione di cemento e della generazione di energia elettrica.

Nel primo esempio, un impianto tipico consuma circa 70 kg di carbone per produrre una tonnellata di cemento.

Il processo crea circa 175 kg ⁽²⁾ di anidride carbonica (CO₂). Ora, se il forno da cemento funziona in base a una strategia di combustione ottimizzata (ad esempio, utilizzando anche combustibili alternativi), che comporti una riduzione del 3% del carbone per un impianto che produce 350 tonnellate di cemento l'ora, la corrispondente riduzione di CO₂ sarà di 16.000 tonnellate/anno.

Applicata alla produzione globale di cemento (1,8 x 10⁹ tonnellate/anno), la riduzione teorica sarà di 10 milioni di tonnellate di CO₂ l'anno.

Una centrale standard con turbine a gas (efficienza termica: 35%) richiede circa 220 kg di gas naturale per generare un MWh di energia elettrica.

La combustione del combustibile crea circa 600 kg di anidride carbonica. È ragionevole ritenere che si possa ridurre il consumo di combustibile dell'1% ottimizzando la gestione/manutenzione.

Per un impianto con una potenza media di 100 MW, la riduzione annua di CO₂ corrisponde a 5.200 tonnellate.

⁽²⁾ La cifra riflette l'emissione di CO₂ determinata dal processo termico. Il processo chimico (calcinazione) produce una quantità molto maggiore di CO₂.

5. Prezzo dell'elettricità (tracciato superiore), livello di stoccaggio di prodotto finito (tracciato intermedio) e consegne di prodotto finito (tracciato inferiore).



Per estensione a tutte le turbine a gas (mondialmente: 4,5% x 10¹²/anno [3]), la riduzione di CO₂ sarebbe di oltre 25 milioni di tonnellate l'anno. Una quantificazione economica dell'impatto ambientale, ad esempio tramite i diritti di emissione scambiati in modo dinamico sul mercato, aumenterebbe notevolmente l'incidenza del costo ecologico nell'ottimizzazione complessiva degli asset.

Poniamo che una tonnellata di CO₂ sia scambiata a un prezzo di 10 dollari, il valore del risparmio di CO₂ in una centrale da 100 MW potrebbe essere di 50.000 dollari l'anno.

Per un impianto che produca 350 tonnellate di cemento, la riduzione di emissioni annua avrebbe un valore di Usd 160.000. Si otterrebbero inoltre risparmi molto più consistenti grazie alla riduzione del costo del combustibile.

Conclusione

Uno dei principali obiettivi di un industriale consiste nell'assicurare e consolidare la redditività dei suoi asset.

La capacità di dedicare in modo dinamico risorse limitate in modo ottimale è di importanza cruciale. I clienti ABB avranno di conseguenza sempre più bisogno di soluzioni che consentano loro di controllare e ottimizzare i processi produttivi, proteggendo le proprie decisioni dalle incertezze. Insieme all'esperienza di ETH Zurich, la tecnologia ABB ha fatto in-

gresso in una nuova fase: ottimizzazione tangibile della produzione e gestione dei rischi operativi sono oggi più vicini.

A. Poncet, ABB Schweiz, Corporate Research Baden-Dättwil (Svizzera).

M. Morari, Swiss Federal Institute of Technology, ETH Zurich (Svizzera).

readerservice.it n. 55

Bibliografia

- [1] A. Bemporad, M. Morari, "Control of systems integrative logic, dynamics, and constraints", *Automatica* 35 (1999) 3, 407-427.
- [2] M. Morari, J.H. Lee, "Model Predictive Control - Past, Present and Future", *Computers and Chemical Engineering* 23 (1999), 667-682.
- [3] International Energy Outlook 2004. Report DOE/EIA-0484, Energy Information Administration, US Department of Energy, 2004.
- [4] M. Pinedo, *Scheduling - Theory, Algorithms, and Systems*. Prentice-Hall, 2nd edition, 2002.