

# La **simulazione dinamica** di processo per la pianificazione dei test e la **messa in servizio** degli impianti

La messa in servizio di un impianto presenta molteplici criticità dal punto di vista di conduzione del processo e di taratura del sistema di controllo. Un simulatore dinamico dell'intero sistema (processo+controllo) consente di approcciare il problema con una metodologia mista, basata sull'utilizzo sinergico del simulatore e delle prove direttamente eseguite sul processo reale. Tale metodologia consente di determinare efficaci strategie di test, ad elevato margine di sicurezza, che riducono il livello di stress nelle parti critiche dell'impianto, anche in presenza di fenomeni dinamici difficilmente prevedibili e quantificabili in fase di progettazione. Inoltre, questo approccio consente di affinare direttamente sul campo sia le strategie di gestione dell'impianto che le filosofie di regolazione e controllo.

**Andrea Bartolini**  
**Erika Calderara**

Il periodo di "messa in servizio" di un impianto si estende, generalmente, dal termine della fase di montaggio alla consegna al gestore finale e comprende molteplici fasi, operative e di test.

Dal punto di vista del sistema di controllo, escludendo i test preliminari atti a verificare la correttezza dei cablaggi, la funzionalità degli attuatori e delle parti di potenza, la fase di messa in servizio può essere scomposta in quattro attività ben distinte: tuning preliminare dei loop; verifica della risposta del processo e fine tuning; analisi della risposta del sistema in caso di eventi critici; eventuale messa in servizio successiva alla consegna dell'impianto.

Nel seguito queste attività sono analizzate in dettaglio, ponendo particolare riguardo all'interazione con le fasi di test sull'impianto.

## *Tuning preliminare dei loop*

Questa attività consiste principalmente nella determinazione dei parametri di primo start-up dei regolatori necessari per far funzionare in modo stabile l'impianto a basso/medio carico, senza particolari esigenze di performance. Pertanto lo scopo che ci si prefigge è determinare in breve tempo un set di parametri che garantisca una buona stabilità del sistema a fronte di modeste variazioni dei set point e delle variabili in gioco.

Dal punto di vista dell'attività di test, in questa fase è di fondamentale importanza conoscere o poter stimare le dinamiche dominanti del processo sotto controllo, al fine di poter definire un set significativo di test che non risulti troppo stressante per l'impianto, tenendo anche conto del

fatto che i loop in fase di taratura (o non ancora tarati) sono per lo più lasciati in manuale.

Un'altra problematica comune è determinare un set di procedure di prova che consentano di portare il processo in punti di lavoro ben precisi, molte volte senza disporre di adeguata strumentazione in campo.

## *Verifica della risposta del processo e fine tuning*

In questa fase gli specialisti di automazione operano con gli specialisti di processo, al fine di determinare le corrette procedure operative per la conduzione dell'impianto ed un set di parametri per i regolatori in grado di ottenere elevata flessibilità e robustezza al variare delle condizioni operative ed ambientali. Va inoltre assicurato un alto grado di stabilità del sistema complessivo, a fronte di variazione dei set point e delle variabili in gioco paragonabili a quelle del normale esercizio. L'impianto lavora in tutte le condizioni operative, dal minimo al massimo carico; il set di test deve pertanto essere in grado di condurre il processo nei punti di funzionamento di interesse, rispettando le esigenze dell'esercizio ed i limiti fisici del sistema.

L'esperienza consolidata su impianti simili, unita alle indicazioni dei fornitori di macchine o parti di impianto, possono fornire un buon punto di partenza per questa fase di tuning; tuttavia l'esigenza di performance sempre crescenti e di linee di produzione sempre più efficienti ed automatizzate, porta allo sviluppo di nuove soluzioni che impongono un'estensione ed un'affinamento di quanto deducibile dal consolidato. Va infine considerato che la messa in servizio è il primo momento in

## **GLI AUTORI**

A. Bartolini, specialista in automazione e controllo, Actsolutions Srl; E. Calderara, specialista di processo, Enel Ingegneria e Innovazione Spa

cui si presentano le problematiche di interconnessione (di processo e di controllo) dovute al fatto che le singole forniture di impianto vengono fatte lavorare in modo coordinato.

#### *Analisi della risposta del sistema in caso di eventi critici*

La stabilità del sistema complessivo (processo+controllo) deve essere garantita anche a fronte di eventi critici, quali il trip dei dispositivi principali di processo e/o di controllo.

A fronte di ogni evento critico, il sistema processo+controllo deve essere in grado di condurre l'impianto in una condizione stabile e sicura, garantendo in ogni momento del transitorio l'incolumità del personale di impianto e di quanti eventualmente presenti nei pressi dell'impianto. Il controllo efficace degli eventi critici consente di gestire impianti complessi attraverso il coordinamento fra le protezioni attive e quelle passive, permettendo di progettare l'intero sistema di sicurezza in modo mirato rispetto alle caratteristiche del processo ed alla realizzazione meccanica dei componenti.

I test effettuati in questa fase sono generalmente delle simulazioni di trip, operate "spegnendo" selettivamente alcuni dispositivi. Si comprende pertanto l'alta criticità di questa famiglia di test, che esige da parte del sistema di controllo un alto grado di performance dinamica, al fine di limitare lo stress dell'impianto ed evitare di condurre il processo vicino alla zona di intervento delle protezioni passive.

#### *Eventuale messa in servizio successiva alla consegna dell'impianto*

Nella vita di un impianto capita sovente il caso in cui parti di processo sono modificate per migliorare le performance d'esercizio oppure introdurre nuove funzionalità. Due delle maggiori difficoltà, in questa fase, sono prevedere il comportamento del sistema a seguito delle modifiche effettuate e stabilire le nuove specifiche operative, soprattutto quando le condizioni del processo in esercizio non sono completamente definite (ad esempio per scarsità di strumentazione in campo). Inoltre le modifiche effettuate possono interferire con la taratura del sistema di controllo dei loop esistenti, degradandone le prestazioni dinamiche ed il margine di stabilità, oppure

possono introdurre nuovi loop di controllo che devono essere messi in servizio.

Anche in questo caso gli specialisti di automazione operano insieme agli specialisti di processo, per individuare i loop critici coinvolti nelle modifiche effettuate sull'impianto e determinare le azioni da intraprendere per ottenere il corretto grado di stabilità, le prestazioni dinamiche e le performance desiderate per il sistema complessivo.

In questo tipo di attività la definizione dei test deve anche considerare i maggiori vincoli derivanti dall'esercizio dell'impianto, fermo restando tutto quanto già illustrato nei precedenti paragrafi.

#### **Pianificazione dei test**

Tutte le fasi sopra descritte prevedono l'esecuzione di test sull'impianto, mirati a determinare i comportamenti dinamici del sistema complessivo (processo + controllo) a fronte di variazioni delle variabili libere di processo, siano esse set-point, condizioni operative o trip di componenti. La pianificazione di tali test deve tenere conto di molteplici esigenze concorrenti, quali la significatività delle variazioni impresse, la reale fattibilità delle manovre, la disponibilità dell'impianto rispetto al normale esercizio, il margine di rischio dei test in rapporto alle quantità di informazioni che se ne possono trarre.

In fase di pianificazione dei test un simulatore dinamico di impianto può essere di valido supporto su tutti i fronti sopra elencati; nel seguito si analizzeranno le tipologie di test viste nei paragrafi precedenti, evidenziando i vantaggi che può fornire la simulazione dinamica dei transitori.

#### *Test per la rilevazione delle caratteristiche dinamiche dominanti*

Questo tipo di test è utilizzato prevalentemente in fase di tuning preliminare dei loop. Vi sono in letteratura molti metodi per assolvere a tale scopo ed i moderni sistemi di controllo offrono diversi algoritmi di autotuning.

La possibilità di disporre di un simulatore dinamico di impianto consente di stimare "in anticipo" la dinamica dominante del sistema, senza stressare il sistema reale ed aumentando il margine di sicurezza delle procedure di test. È possibile effettuare una stima preliminare della dinamica dominante del sistema ed utilizzarla come

guida nella definizione delle procedure da impiegare per le prove sull'impianto reale (ad esempio per definire l'intensità delle variazioni da applicare come forzanti), che comunque sono sempre indispensabili. Il simulatore può inoltre essere utilizzato per valutare procedure estremamente "customizzate" sull'impianto, qualora ci si trovi in presenza di processi che presentano peculiarità o complessità non canoniche (per esempio in presenza di loop con diversi regolatori, annidati e/o in parallelo, oppure nel caso di loop differenti fortemente accoppiati o ancora in presenza di processi che presentino particolari difficoltà di conduzione).

Va fatto notare, infine, che l'esperienza acquisita su simulatori di diverse tipologie di impianto consente di identificare problematiche affini in impianti a prima vista molto differenti, permettendo di mettere a punto procedure di test di validità generale applicabili alle diverse tipologie. Infatti la possibilità di effettuare campagne di test simulati in tempi relativamente brevi (anche in tempi successivi alla messa in servizio) consente di testare le medesime soluzioni sulle diverse tipologie, anche a distanza di anni, quando problematiche affini si presentano in impianti e tempi diversi.

#### *Esempio 1*

La fase di messa in linea dei ventilatori booster, normalmente utilizzati nei circuiti fumi degli impianti di retrofit (cfr figura 1), richiede il pareggio fra la portata di gas uscente dalla camera di combustione e quella estratta dal ventilatore, al fine di minimizzare le perturbazioni di pressione quando si chiudono le serrande di bypass del retrofit. Tale pareggio di portata si ottiene modulando la posizione delle pale del ventilatore booster, mediante opportuno loop di controllo.

L'utilizzo di simulatori su diversi circuiti di retrofit ha consentito di individuare una comune strategia di "preposizionamento" in anello aperto delle pale, che consente di ridurre al minimo le perturbazioni di pressione in camera di combustione a partire dai primi test di taratura del controllo del ventilatore booster.

Le figure 1 e 2 mostrano rispettivamente lo schema tipico di un circuito aerulico di retrofit ed una curva di "preposizionamento" ottenuta mediante test sul sistema

reale. L'impianto di retrofit è composto dalla serie del ventilatore booster (BF) con il reattore ad assorbimento (ABS) e può essere posto "in linea" o "bypassato" agendo sulle serrande di isolamento (bianche nello schema della figura 1).

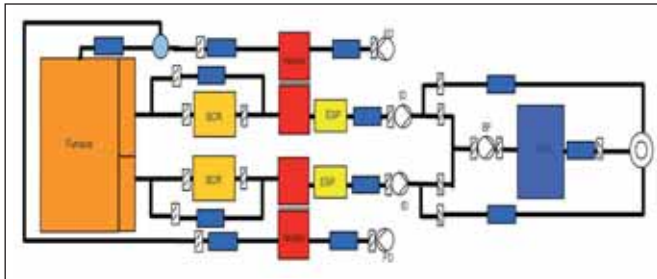


Figura 1 - Schema tipico di circuito aeraulico di retrofit

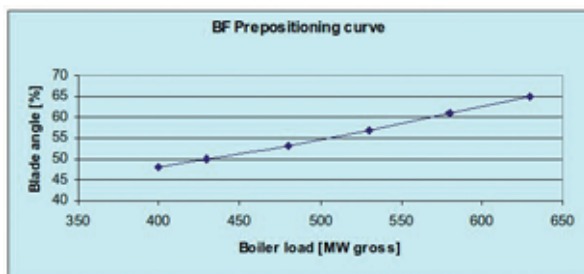


Figura 2 - Curva di preposizionamento

La figura 3 mostra un transitorio reale di allineamento del ventilatore booster in un circuito aeraulico complesso (più di 10 ventilatori, booster da 10 MW, diversi ricircoli e camini, torre evaporativa) per il quale non si disponeva di simulatore. Il risultato è stato ottenuto applicando la metodologia di preposizionamento in anello aperto sviluppata con le simulazioni dei circuiti canonici.

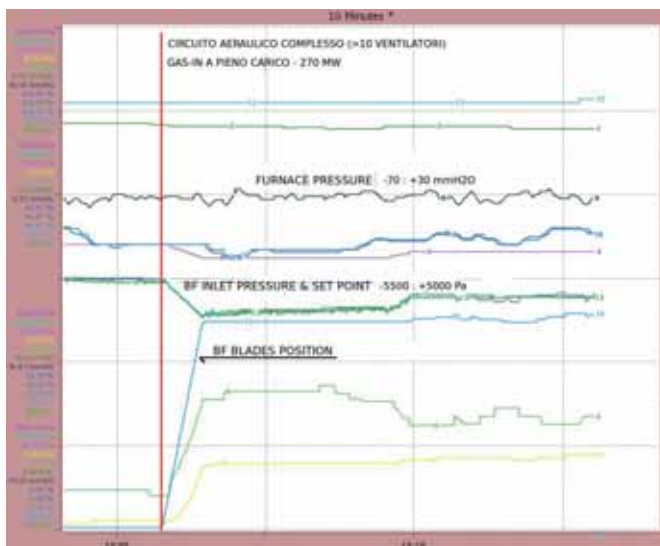


Figura 3 - Transitorio di allineamento booster

Come si può osservare, il transitorio di allineamento non provoca sensibili variazioni della pressione in camera di combustione (le scale delle misure di pressione e del set point sono indicate in figura 3).

La rampa iniziale corrisponde al preposizionamento della pala del booster, che viene rilasciato in regolazione dopo la chiusura delle serrande di bypass del retrofit.

*Test per la verifica delle performance di impianto e fine tuning*

La verifica delle performance di impianto è un'attività principalmente basata sulla misura dei dati di processo e delle risposte dinamiche del sistema di controllo, che vengono successivamente elaborate in modo congiunto dagli specialisti di automazione e processo al fine di determi-

nare le performance reali dell'impianto. In base alle performance rilevate, le procedure di conduzione del processo e la taratura del sistema di controllo possono essere affinate per massimizzare le prestazioni dell'impianto e mantenere il corretto grado di stabilità del sistema complessivo. Se si dispone di un simulatore dinamico di impianto, questa fase è normalmente sfruttata per effettuare una validazione dei

modelli, in modo da riprodurre con la maggiore fedeltà possibile il compor-

tamento dell'impianto reale. Una volta effettuata la validazione del simulatore, è possibile indagare quale sia il comportamento del sistema portato al limite di prestazione dinamica, senza stressare l'impianto reale. In generale questo consente di simulare dei test difficilmente effettuabili sull'impianto in normale esercizio (soprattutto per motivi di garanzia della continuità di esercizio) e permette di individuare in tempi ragionevoli strategie di fine-tuning e conduzione del processo che tengono conto di una vasta gamma di situazioni difficilmente testabili sull'impianto (ad esempio si possono testare velocemente le medesime soluzioni su diversi assetti operativi dell'impianto, oppure si possono provare strategie diverse, riproducendo con esattezza le medesime condizioni al contorno, o ancora si possono effettuare in tempi brevi affinzioni successive dei parametri di processo e di controllo, fino ad ottenere le performance desiderate).

*Esempio 2*

Negli impianti a ciclo combinato per la produzione di energia può essere conveniente determinare una gestione della "spinning reserve" che consenta di soddisfare i requisiti statici e dinamici del codice di rete ottimizzando al tempo stesso la quantità di energia esportabile.

Le figure 4 e 5 mostrano un caso reale per il quale questa problematica è stata analizzata con l'ausilio di un simulatore dinamico, ottenendo indicazioni per la conduzione delle principali macchine (turbogas, turbina a vapore e post-combustore di caldaia) al fine di ottimizzare la gestione della "spinning reserve", rispettando i requisiti del codice di rete in termini di rapidità di intervento in regolazione primaria di frequenza. In particolare è stata studiata

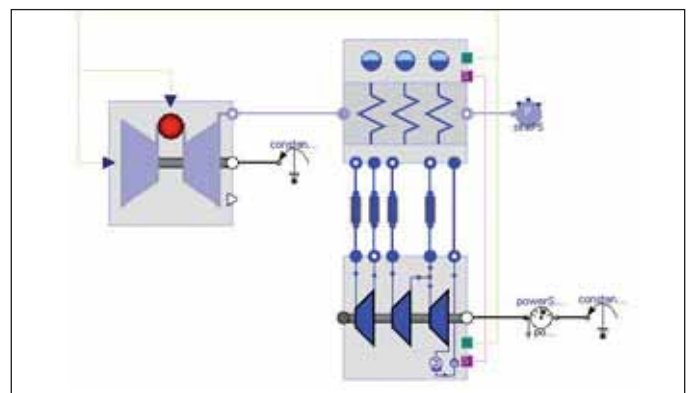
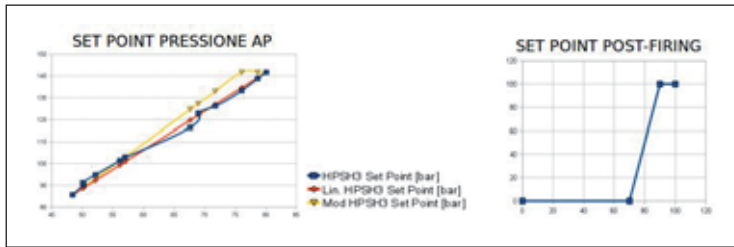


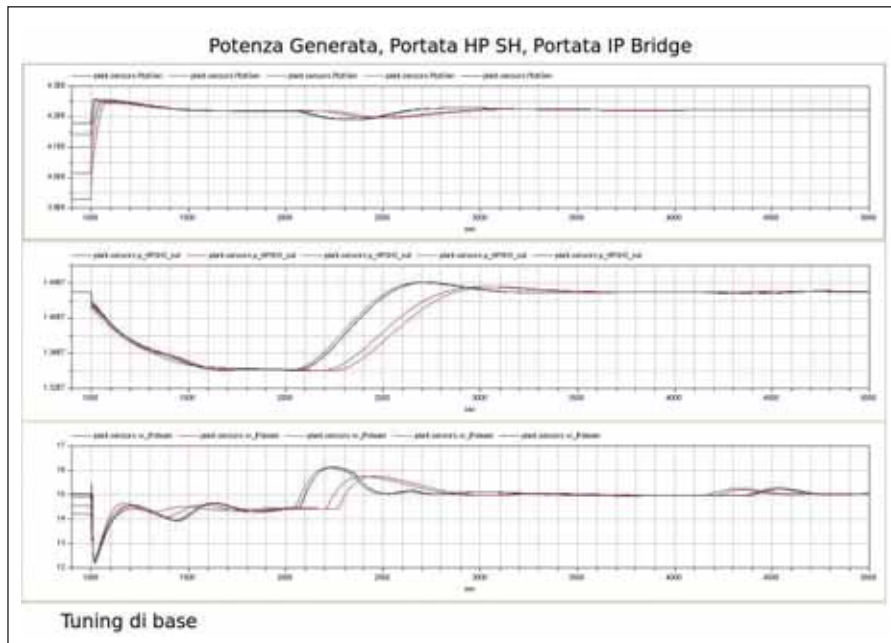
Figura 4 - Schema di ciclo combinato per la produzione di energia



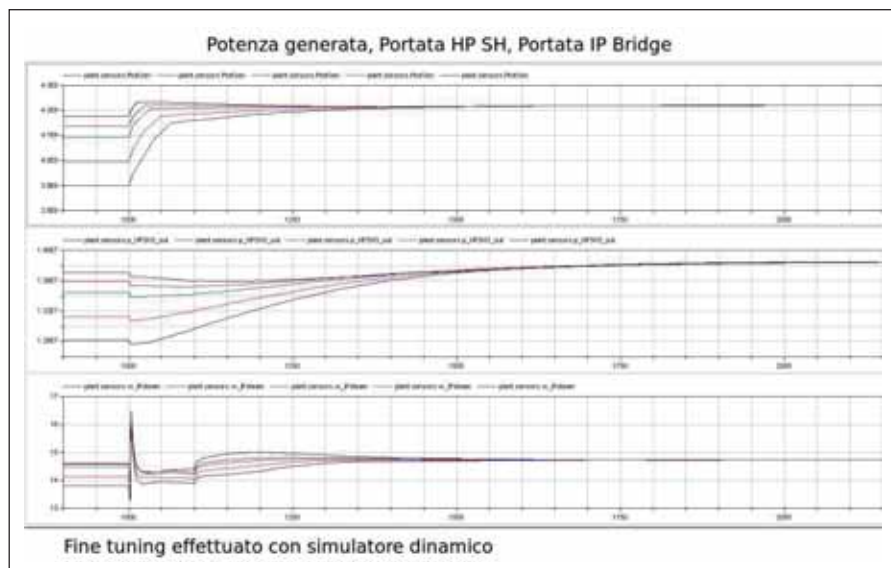
**Figura 5 - curve di set point per turbina vapore e post-combustore**

la sincronizzazione fra la turbina a gas e quella a vapore (che viene mantenuta in controllo di pressione) al fine di iniettare in rete la potenza primaria richiesta nei tempi previsti dal codice di rete. Il simulatore ha consentito di individuare alcune criticità nei sistemi di regolazione

delle principali macchine, consentendo di affinare le strategie di regolazione (ad esempio la curva di set point pressione AP per la turbina a vapore) e di effettuare una prima stima degli andamenti transitori delle variabili più sensibili. Le figure 6 e 7 mostrano i transitori simu-



**Figura 6 - Strategia di controllo iniziale di progetto**



**Figura 7 - Strategia di controllo affinata con il simulatore**

lati di potenza generata, portata vapore HP e portata vapore IP-Bridge, valutati con la strategia di controllo iniziale di progetto e con quella affinata utilizzando il simulatore. Si può osservare come l'affinamento della strategia di controllo mediante simulazione ha consentito di ridurre drasticamente le dinamiche spurie nei transitori e la variazione di pressione del vapore HP.

*Esempio 3*

In bibliografia è presentato uno studio di simulazione, applicato ad un circuito di retrofit, che analizza diversi scenari operativi e riportata una validazione dei modelli utilizzando un test di trip.

*Previsione della risposta del sistema per test di trip*

La verifica della risposta dell'impianto agli eventi critici è, di norma, una delle fasi più delicate della messa in servizio, in quanto va a stressare in modo significativo alcune parti del processo e rischia di far intervenire organi di sicurezza passiva che richiedono procedure di ripristino che possono essere lunghe e costose (ad esempio le valvole di sicurezza per sovrappressione o rompi-vuoto devono essere smontate e ritirate dopo l'intervento).

In questa fase il simulatore di impianto risulta estremamente utile, in quanto consente di prevedere con buon margine di affidabilità il comportamento dell'impianto nei punti più critici, ad esempio in corrispondenza degli organi di sicurezza passiva. Un'analisi preliminare dei transitori di trip consente di valutare quali siano le procedure più idonee per condurre i test (ad esempio l'ordine di stacco dei dispositivi o le sequenze automatiche di intervento) al fine di minimizzare le sollecitazioni sull'impianto reale. La possibilità di ripetere le prove simulate consente di verificare le sollecitazioni critiche con diversi assetti di impianto e con diverse soluzioni di processo e/o di controllo, consentendo di arrivare alla prova reale con un elevato grado di confidenza tanto sulla soluzione adottata quanto sulle manovre da effettuare in caso di intervento manuale.

Inoltre la disponibilità degli andamenti di tutte le variabili simulate (molto più numerose delle variabili misurate sull'impianto reale) consente di indagare in dettaglio gli effetti dinamici di ogni evento, permettendo di individuare, già dalla fase

di design, eventuali criticità difficilmente rilevabili con i calcoli basati sui soli regimi stazionari. In questo modo si possono definire al meglio tutti i parametri di processo, soglie e set point atti a prevenire gli eventi critici.

Si consideri, infine, che una simulazione affidabile dei transitori di trip, diversificata negli scenari operativi e nelle soluzioni adottate, consente di valutare in modo puntuale con il gestore di impianto quali siano le criticità dei test e le relative strategie messe in atto per fronteggiarle, prima di effettuare i test sull'impianto reale.

**Esempio 4**

Nei circuiti di retrofit applicati ad impianti già in esercizio, un problema comune è valutare lo stress del circuito aeraulico esistente, dovuto alla variazione della piezometrica di riferimento in seguito all'aumentata perdita di carico del circuito complessivo.

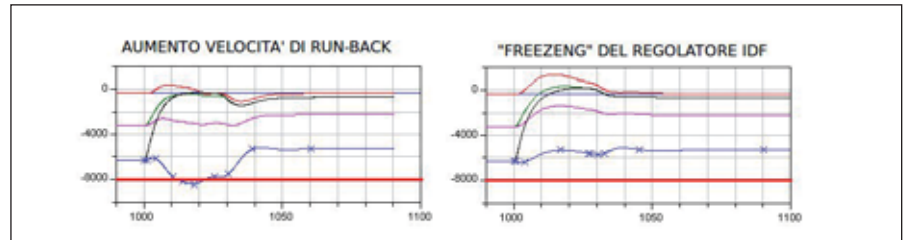


Figura 10 - Aumento velocità di run-back o congelamento regolatore del ventilatore in trip

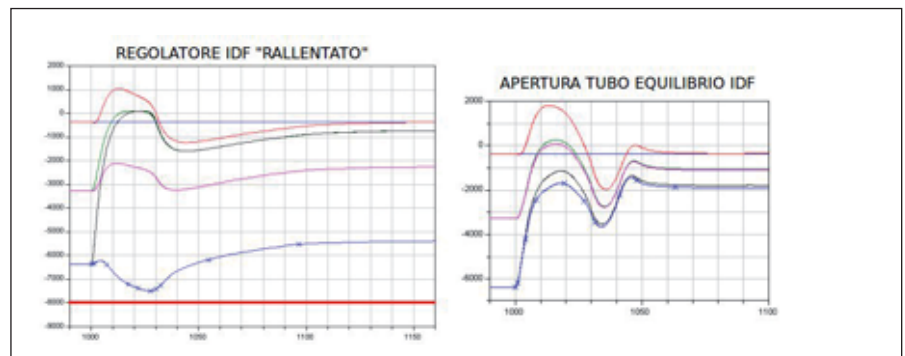


Figura 11 - Riduzione della banda del regolatore del ventilatore attivo o apertura del tubo di equilibrio a monte dei ventilatori

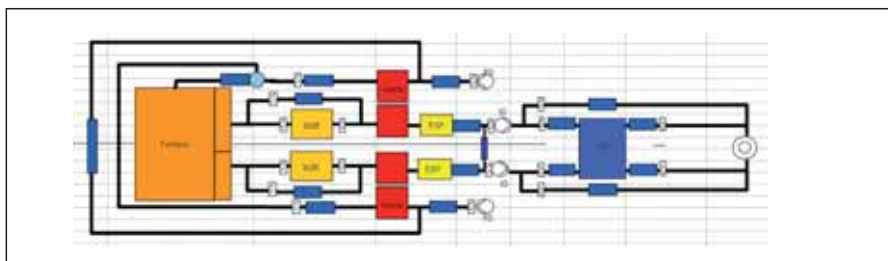


Figura 8 - Circuito aeraulico

La figura 8 mostra un circuito reale che presentava particolare criticità in termini di massima depressione ammissibile nei precipitatori elettrostatici (ESP).

Il simulatore dinamico ha evidenziato una possibile depressione che violava i margini ammissibili durante il transitorio di trip di uno dei ventilatori indotti (ID). Utilizzando il simulatore sono state valutate diverse

soluzioni (mostrate nelle figure 9, 10 e 11) al fine di limitare tale depressione.

Delle quattro soluzioni indagate è stata applicata quella di “congelare” la posizione della pala del ventilatore in trip. Come ulteriore prassi operativa si è consigliato di mantenere aperto il tubo di equilibrio a monte dei ventilatori indotti (ID), salvo necessità di manutenzione dell'impianto.

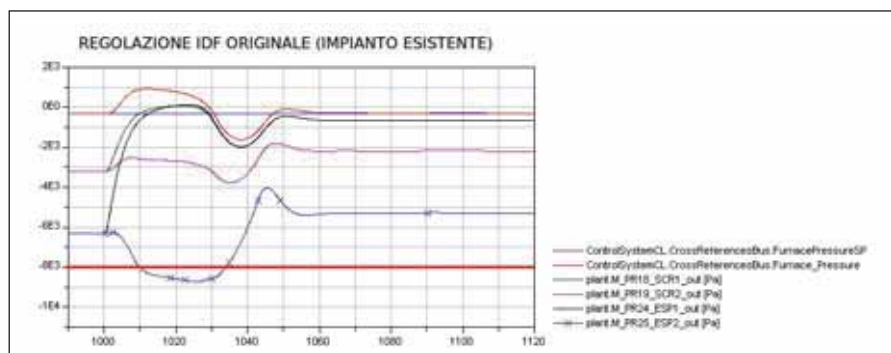


Figura 9 - Regolazione esistente applicata a impianto con retrofit

La versatilità del simulatore dinamico ha consentito di esplorare “off line” transitori a rischio di intervento delle sicurezze passive (portelli rompi-vuoto per depressione ESP), consentendo di valutare diversi scenari senza imporre stress alle parti meccaniche dell'impianto e portando alla definizione di strategie operative e di controllo atte a minimizzare tale rischio.

**Esempio 5**

In bibliografia è presentato uno studio di simulazione, applicato ad un circuito di retrofit, dove sono analizzati diversi scenari di trip per i dispositivi principali (ventilatori e mulini carbone).

*Test per la messa in servizio successiva alla consegna dell'impianto*

La messa in servizio di una parte di impianto che ha subito modifiche risulta particolarmente delicata in quanto, di norma, coinvolge parti di processo con differente grado di usura e, sovente, sistemi di controllo di diversa generazione, quindi con potenzialità e caratteristiche dinamiche differenti.

La pianificazione dei test deve considerare, oltre agli aspetti già visti, ulteriori vincoli derivanti dal fatto che l'impianto è già in normale esercizio, che alcune parti non sono in grado di subire sollecitazioni particolarmente stressanti, che alcune pro-

cedure (normalmente effettuabili in fase di prima messa in servizio) non possono essere utilizzate, in quanto ad elevato rischio di blocco dell'impianto (con conseguente danno economico derivante dal mancato esercizio).

Un simulatore dinamico, in questa fase, consente da un lato di valutare preventivamente gli effetti della modifica di impianto in diversi scenari operativi, a potenziale rischio crescente ed anche molto diversi da quelli del normale esercizio, dall'altro permette di definire procedure di test che consentano di aggirare i maggiori vincoli derivanti dall'esercizio. Ad esempio è possibile valutare gli effetti delle manovre di test nei riguardi dell'intervento delle sicurezze passive di impianto in diverse condizioni operative (che potrebbero portare a situazioni di potenziale blocco) ed agire in anticipo, modificando le sequenze operative e/o le tarature del sistema di controllo, al fine di fronteggiare con adeguato grado di sicurezza eventuali situazioni critiche (al limite, anche di blocco dell'impianto).

Un altro aspetto da non sottovalutare è la possibilità di coordinare al meglio i nuovi dispositivi con quelli già presenti nell'impianto, affinando mediante serie di test simulati i parametri dinamici e di processo (quali ad esempio i tempi di attuazione) oppure simulando diversi dispositivi per selezionare il più idoneo (qualora ci sia possibilità di scelta fra soluzioni differenti). Tutto questo prima di effettuare i test sull'impianto reale.

**Esempio 6**

La figura 12 mostra il circuito aeraulico relativo ad un impianto di retrofit, in cui sono stati aggiunti dei silenziatori in fase

di esercizio. In fase di dimensionamento dei nuovi silenziatori il simulatore dinamico è stato utilizzato per ottimizzare il rapporto prestazioni/perdite di carico, mediante la simulazione di diverse tipologie di silenziatore. Sempre utilizzando il simulatore è stata inoltre ricostruita la piezometrica del circuito, a partire dalle misure disponibili sull'impianto.

In fase di messa in servizio, tramite il simulatore è stato validato il tuning dei componenti già installati che maggiormente interferivano con i nuovi silenziatori. In particolare è stato verificato il tempo di chiusura delle serrande all'uscita dei ventilatori indotti (IDF), al fine di limitare le sovrappressioni transitorie.

La tabella riepilogativa mostra alcuni test effettuati con il simulatore.

Il test simulato è quello di trip di uno dei

con identiche condizioni al contorno, per due diversi tipi di silenziatore (400 e 600). Per il silenziatore prescelto (600) è stato effettuato anche un test di confronto con la piezometrica di design. I test (010) e (No sil) si riferiscono al circuito di partenza, senza silenziatori installati.

**Conclusioni**

Durante la fase di messa in servizio, la possibilità di disporre di un simulatore dinamico dell'impianto può essere di valido supporto per la determinazione delle strategie di test e per la previsione dei comportamenti dinamici dell'intero sistema (processo+controllo), al fine di ottenere un set-up di impianto che permetta la gestione automatica di tutte le dinamiche di processo, comprese quelle più critiche.

L'esperienza maturata su alcuni impianti, canonici e non canonici, ha mostrato la validità dell'approccio misto simulatore/impianto reale per la determinazione di strategie di test che, da un lato, hanno portato ad un maggior grado di conoscenza preliminare del processo e, dall'altro, hanno ridotto sensibilmente i tempi di messa a punto della regolazione, consentendo una messa in servizio complessivamente più efficace

ed efficiente ed aumentando il margine di sicurezza dell'intera fase di test.

Infine, il grado di conoscenza del sistema complessivo (processo+controllo) ottenuto utilizzando il simulatore dinamico (tanto in fase di design quanto in fase di messa in servizio) favorisce una progettazione più consapevole di nuovi impianti che, sfruttando al meglio la sinergia fra processo e sistema di controllo, consente di ottimizzare il dimensionamento del processo, delle macchine e delle protezioni attive e passive.

**Bibliografia**

[1] A. Bartolini, F. Casella, A. Leva, E. Calderara, "Modelling of the Flue Gas Path Control System in a Coal-Fired Power Plant", *Automazione e Strumentazione*, vol. LVI, pp. 114-121, Oct. 2008.

TEST DI TRIP IDF A CARICO DI DESIGN							RANGE DINAMICO REGIME	
Piezo Design - chiusura damper IDF in 8 secondi (come attuale set in campo)								
Test	Furnace	SCR out	ESP out	IDF Out	Silencer out			
600 Byp	+1160 -1550	-757 -2683	-2712 -3894	+6728 +2938	+5188 +2174			
	-460	-1590	-2793	3562	2684			
010 Byp	+1047 -1498	-890 -2606	-3078 -3882	+5390 +2176	+5360 +2160			
	-460	-1590	-2793	2680	2660			
Piezo Reale - chiusura damper IDF in 8 secondi (come attuale set in campo)								
Test	Furnace	SCR out	ESP out	IDF Out	Silencer out			
600 Byp	+1371 -877	+275 -1690	-713 -2488	+5917 +3503	+4153 +2360			
	-460	-1304	-2130	3900	2673			
400 Byp	+1343 -875	+249 -1694	-750 -2491	+5360 +3116	+4170 +2350			
	-460	-1304	-2130	3488	2669			
No sil. Byp	+1290 -882	+123 -1691	-790 -2484	+4225 +2330	NA			
	-460	-1304	-2130	2677	NA			

Pressioni in Pa

Tabella riepilogativa dei test

due ventilatori indotti (IDF), che rappresenta il "worst case" nei riguardi delle sovrappressioni transitorie all'uscita del ventilatore rimasto in esercizio (che per questo circuito risulta uno dei punti a maggior criticità). La simulazione ha consentito di valutare il range di variazione della pressione durante l'intero transitorio di trip, nei punti considerati critici per il circuito aeraulico. Il test è stato ripetuto,

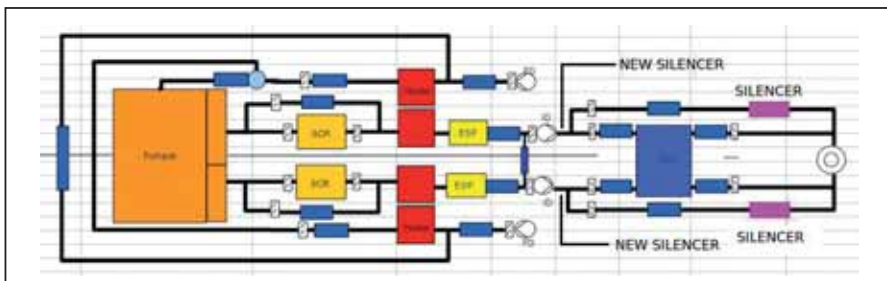


Figura 12 - Circuito Aeraulico