

Committente AEEG

Oggetto Avviamenti rapidi dei cicli combinati

Contratto

Note

La parziale riproduzione di questo documento è permessa solo con l'autorizzazione scritta di RSE.

PUBBLICATO 13008040 (PAD - 907377)

N. pagine 17

N. pagine fuori testo

Data 04/12/2013

Elaborato Casamassima Vincenzo (TGM), Guagliardi Giuseppe Antonio (TGM)
13008040456429 AUT 13008040456551 AUT

Verificato Verga Maurizio (TGM)
13008040456717 VER

Approvato Mazzocchi Luigi (TGM)
13008040456596 APP

Ricerca sul Sistema Energetico – RSE S.p.A.

Società con unico socio soggetta alla direzione ed al coordinamento di GSE S.p.A.
Sede Legale - 20134 Milano - Via R. Rubattino, 54
Tel. +39 023992.1 - Fax +39 023992.5370 - PEC rse@legalmail.it
Reg. Imprese di Milano, P.IVA e C.F. 05058230961
R.E.A. di Milano n. 1793295
Cap. Soc. € 1.100.000 i.v.

Indice

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | INTRODUZIONE | 3 |
| 2 | CARATTERISTICHE GENERALI DELL'AVVIAMENTO DI UN IMPIANTO A CICLO COMBINATO | 4 |
| 2.1 | La manovra di avviamento | 4 |
| 2.2 | Interventi per favorire la riduzione dei tempi di avviamento | 6 |
| 2.2.1 | Anticipazione "purging TG" | 7 |
| 2.2.2 | Minimizzazione della dispersione di calore durante la fermata | 7 |
| 2.2.3 | Mantenimento del GVR a una prefissata temperatura minima ("sparging system") | 7 |
| 2.2.4 | Mantenimento del vuoto al condensatore | 7 |
| 2.2.5 | Avviamento in parallelo della turbina a gas e della turbina a vapore..... | 8 |
| 2.2.6 | Interventi specifici per incrementare la velocità di rampa del GVR | 8 |
| 2.2.7 | Automazione e ottimizzazione della manovra di avviamento..... | 9 |
| 2.3 | Ipotesi di aggiornamento di un impianto a ciclo combinato in configurazione "base load" e stima della riduzione del tempo di avviamento..... | 10 |
| 2.4 | Potenza attivabili entro due ore, a seguito di un'aggiornamento dei cicli combinati della rete italiana secondo le ipotesi del par. 2.3..... | 15 |
| 2.5 | Confronto con le esigenze di terziaria di sostituzione espresse da TERNA..... | 16 |
| 3 | BIBLIOGRAFIA..... | 17 |

STORIA DELLE REVISIONI

| Numero revisione | Data | Protocollo | Lista delle modifiche e/o dei paragrafi modificati |
|------------------|------------|------------|--|
| 0 | 04/12/2013 | 13008040 | Prima emissione |

1 INTRODUZIONE

Il fattore di utilizzo degli impianti a ciclo combinato in questi ultimi anni ha visto una drastica riduzione, nonostante la loro alta efficienza di conversione in energia elettrica dell'energia del combustibile. La ragione è da ricercarsi in vari fattori. Uno dei più rilevanti è dato dal combustibile, il gas naturale, sempre più costoso. Altro fattore è dato dalla liberalizzazione del mercato elettrico che da un lato ha generato una maggior competitività fra i differenti soggetti produttori di energia elettrica e dall'altro, dato l'attuale contesto legislativo e la necessità di garantire una potenza installata che sembrava sotto dimensionata, anche a seguito del black out del settembre 2003, ha portato oggi ad una situazione di eccesso di capacità produttiva.

La situazione descritta si è accentuata a seguito della crisi economica (calo della domanda) e del marcato aumento della quota di energia elettrica da FER.

L'aumento della quota FER, energia che gode di priorità di dispacciamento e quindi riduce il margine di operatività degli altri impianti, e degli impianti a ciclo combinato in particolare, ha tuttavia portato ad altre opportunità di esercizio per gli impianti termoelettrici. Le caratteristiche degli impianti alimentati da FER (rigida curva di produzione diurna a campana per gli impianti fotovoltaici) e intrinseca imprevedibilità di funzionamento (sia per i fotovoltaici che per gli eolici) possono, tanto più quanto maggiore è la relativa quota di produzione, portare a instabilità di rete in termini di frequenza e tensione. Per quanto attiene al controllo della frequenza, esiste un altro fattore che lo rende maggiormente problematico. La generazione statica tipica della fonte fotovoltaica sostituisce la generazione rotante delle unità di produzione "tradizionali" diminuendo l'inerzia delle masse rotanti connesse al sistema, inerzia che è la prima, intrinseca contromisura a squilibri accidentali tra produzione e fabbisogno.

In questo contesto il ruolo degli impianti termoelettrici si è evoluto, da quello di fornitori di un servizio di base nel soddisfare la domanda di energia, a quello del servizio di bilanciamento, atto a compensare in tempo reale squilibri fra la domanda e l'offerta di energia se questa è per cause non prevedibili in eccesso o in difetto. In particolare gli impianti a ciclo combinato, originariamente progettati per la produzione di base, sono sempre più chiamati a funzionare per la fornitura di servizi ancillari di rete, cercando e trovando quindi uno spazio competitivo sul MSD (Mercato Servizi di Dispacciamento). Il loro funzionamento diventa ciclico, all'inseguimento delle curve di domanda giornaliera e settimanale.

In particolare, per la fornitura dei servizi ancillari di potenza attiva tra i quali risoluzione di congestioni, riserva di regolazione primaria, secondaria e terziaria, bilanciamento è necessario:

1. L'inseguimento del carico con variazioni più ampie, incrementando la banda di modulazione tra potenza minima e massima, in particolare riducendo la potenza minima di esercizio.
2. La riduzione del tempo minimo di permanenza in servizio, che consente di esercire l'impianto sfruttando in maniera flessibile le finestre di produzione più vantaggiose.
3. L'ottimizzazione e velocizzazione della manovra di avviamento.

2 CARATTERISTICHE GENERALI DELL'AVVIAMENTO DI UN IMPIANTO A CICLO COMBINATO

2.1 La manovra di avviamento

La fase di avviamento di un gruppo di generazione a ciclo combinato o in genere di un gruppo di generazione termoelettrico consiste nel portare l'impianto da uno stato di fermo, non connesso alla rete a uno stato di esercizio connesso alla rete elettrica in produzione al 100% della potenza nominale.

Per convenzione si distinguono tre possibili stati iniziali per la manovra di avviamento, dipendenti dal tempo trascorso dal passaggio dell'impianto allo stato di fermo e dalla temperatura del macchinario più critico (corpi cilindrici, tubazioni di adduzione del vapore in turbina, rotore della turbina a vapore, ...).

Corrispondentemente la manovra di avviamento viene identificata come:

- avviamento da caldo – impianto fermo da meno di 8-12 ore (fermate notturne) e temperature non inferiori a 350 C;
- avviamento da tiepido – impianto fermo da meno da 12 a 48 ore (fermate di fine settimana) e temperature da 350 C a 120 C;
- avviamento da freddo – impianto fermo da più di 48 ore e temperature inferiori a 120 C;

Il tempo di esecuzione della manovra di avviamento è tanto maggiore quanto più le temperature iniziali del macchinario sono basse, in pratica, quanto più a lungo l'impianto è rimasto fermo. A limitare i tempi di avviamento concorrono più fattori. Il più rilevante è dovuto al gradiente massimo di riscaldamento sopportato dai metalli costituenti il GVR e la turbina a vapore, che limita la velocità di variazione di potenza dell'intero impianto. Tale gradiente massimo di riscaldamento varia non solo in dipendenza dal materiale (caratteristiche termomeccaniche dei metalli utilizzati) ma anche dalle soluzioni tecniche costruttive adottate nella costruzione della caldaia, come ad esempio la modalità utilizzata per l'ancoraggio degli scambiatori alle strutture portanti della caldaia. Il gradiente massimo di riscaldamento può quindi differire notevolmente da impianto a impianto non solo in virtù di una differenza generazionale ma anche, a parità di vita operativa, in virtù delle differenti soluzioni adottate in sede di costruzione dell'impianto stesso.

La Fig. 2-1 riporta, in forma normalizzata rispetto al tempo medio di avviamento, la curva di avviamento di un generico impianto a ciclo combinato [1]. La figura evidenzia, inoltre, le varie fasi della manovra stessa, se eseguita seguendo le procedure di uso comune previste per i cicli combinati progettati per un funzionamento in "base load". La distinzione delle varie fasi è utile per una più approfondita analisi delle limitazioni dei tempi di avviamento e dei possibili interventi che ne possono determinare una riduzione.

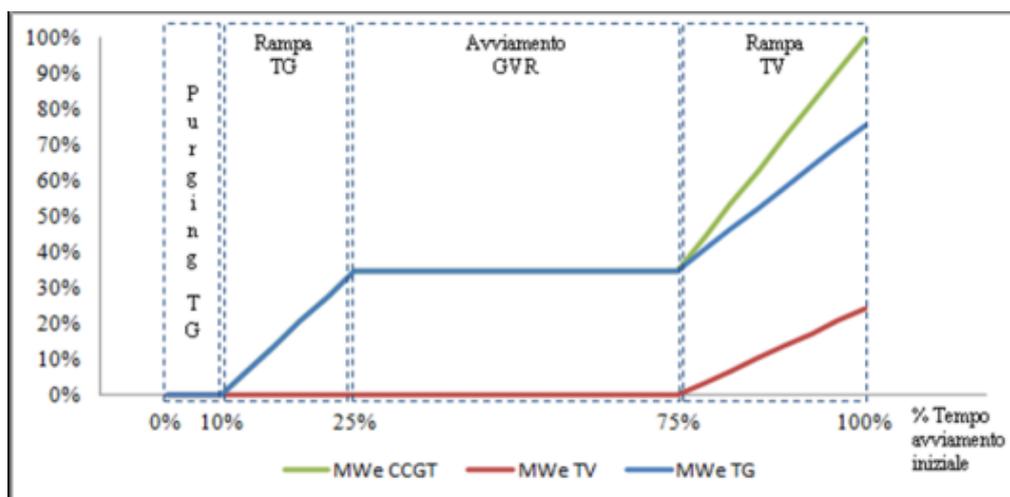


Fig. 2-1 Curva di avviamento di un ciclo combinato in funzionamento "base load"

Dalla curva di avviamento di Fig. 2-1 si rileva che una frazione considerevole (50 %) dell'intero tempo di avviamento è assorbito dalla fase di riscaldamento del GVR e della turbina a vapore (indicata nella curva sinteticamente come avviamento GVR), fase durante la quale la turbina a gas viene mantenuta ad una potenza costante e intermedia fra il minimo tecnico e il massimo carico. La durata di tale fase dipende, come già anticipato, oltre che dallo stato iniziale, sia da fattori strutturali come la resistenza alla fatica termomeccanica dei metalli utilizzati per i corpi cilindrici o gli scambiatori di calore, sia dalle scelte progettuali adottate (spessori, tecniche di ancoraggio dei tubi che consentano più o meno margini per la dilatazione termica etc ...), sia da fattori procedurali connessi con le modalità di esecuzione della manovra stessa. In particolare, nel caso in esame è evidente la sequenzialità delle operazioni:

1. flussaggio del circuito fumi del GVR (Purging TG) per evacuare eventuali gas incombusti ed evitare la formazione di miscele esplosive.
2. avviamento della turbina a gas e salita di carico fino ad una potenza tale che la temperatura dei gas di scarico della turbina che investono i vari scambiatori del GVR non determinino il superamento dei gradienti di temperatura massimi previsti per gli scambiatori;
3. con la turbina a gas mantenuta a potenza costante si attende il riscaldamento e la pressurizzazione del GVR, scaricando il vapore prodotto al condensatore attraverso delle linee di bypass e mantenendo la turbina a vapore fuori linea finchè non vengano raggiunte pressioni e temperature del vapore tali da assicurare l'assenza di formazione di condensa in turbina;
4. raggiunte le condizioni di vapore richieste, si procede al riscaldamento della turbina a vapore deviando progressivamente il vapore dai bypass verso la turbina;
5. una volta avviato, con l'opportuna gradualità, anche il riscaldamento della turbina a vapore, può essere ripresa la rampa di potenza della turbina a gas e contemporaneamente della turbina a vapore, raggiungendo infine la potenza nominale dell'impianto e portando a conclusione l'avviamento.

Per ottenere una riduzione dei tempi di avviamento, in particolare per il caso più critico dell'avviamento da freddo, risulta quindi conveniente intervenire proprio sulla fase di riscaldamento del GVR, con soluzioni impiantistiche e procedure operative che a partire dalla fase di spegnimento consentano di mantenere la condizione iniziale del successivo avviamento il più favorevole possibile (evitando per quanto possibile le perdite di calore e il raffreddamento del GVR) e che in fase di avviamento realizzino la velocizzazione complessiva della manovra. Va notato che, quando si parla di interventi sulle modalità di esecuzione di una manovra, in generale è implicita la necessità di un intervento sul sistema di automazione dell'impianto. Intervento che può richiedere non solo modifiche software delle funzioni di automazione ma anche l'estensione del sistema con ulteriori punti di misura, attuatori e unità di elaborazione.

2.2 Interventi per favorire la riduzione dei tempi di avviamento

Le esigenze di flessibilità e velocità di avviamento dei cicli combinati sono state pienamente recepite dai costruttori che operano nel settore e questi ultimi, a seguito di una ampia ed integrale revisione dei progetti di riferimento degli impianti a ciclo combinato del proprio “portfolio”, promettono attualmente ai propri clienti tempi di avviamento da caldo inferiori a 30 min con gradienti di potenza dell’ordine di 50 MWe/min.

Premesso che le soluzioni tecniche individuate per incrementare la flessibilità operativa dei nuovi impianti ancora da costruire, in generale, non sono applicabili tal quali ad impianti già in esercizio (ad esempio, banalmente, perché sarebbe necessario installare nuovo macchinario e non è in certi casi disponibile lo spazio fisico per la sua installazione), di seguito si riporta una serie di interventi che in linea di principio concorrono a favorire una riduzione dei tempi di avviamento e possono essere realisticamente implementati in impianti già in esercizio. Va precisato che ogni singolo intervento potrebbe risultare inefficace se non associato ad altri interventi di seguito citati. Una dettagliata descrizione tecnica della complementarietà degli interventi non è possibile se non affrontando un’analisi di dettaglio di ogni singolo impianto, e potrebbe quindi derivare solo da una specifica attività di progettazione che esula dagli scopi di questo documento, il cui obiettivo è quello di fornire delle indicazioni tecniche di principio.

Le principali soluzioni proposte seguono tre concetti principali:

1. modificare la procedura di spegnimento dell’impianto e introdurre dei sistemi che limitino la dispersione termica e mantengano l’impianto il più vicino possibile alle condizioni di riaccensione da caldo;
2. ottimizzare la procedura di avviamento, disaccoppiando l’avviamento della turbina a gas dall’avviamento e riscaldamento della turbina a vapore, eseguendo così le due manovre in parallelo anziché in modo sequenziale (Fig. 2-2);
3. automatizzare il più possibile le manovre in modo da incrementarne l’affidabilità e ottimizzarle rispetto al consumo di vita del macchinario più rilevante (corpi cilindrici, turbina a vapore).

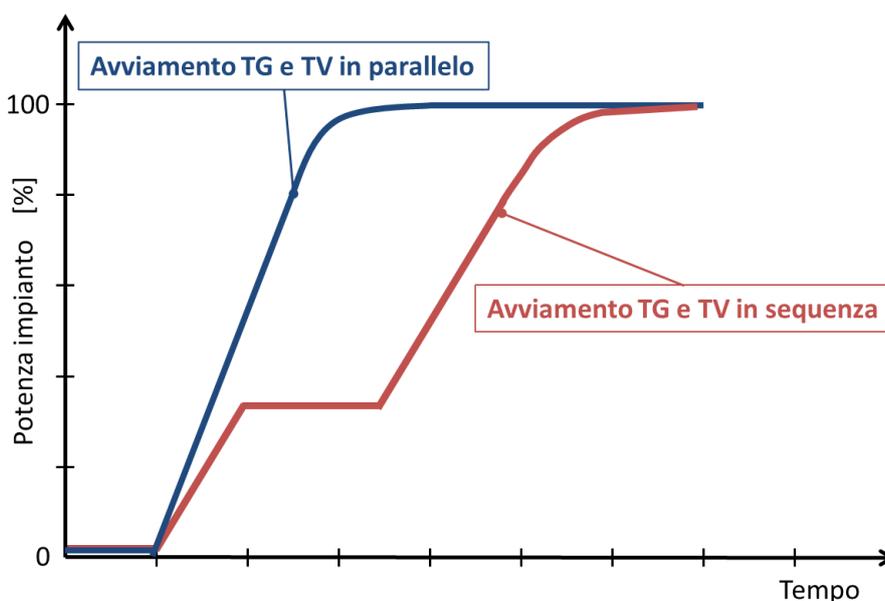


Fig. 2-2 Confronto qualitativo fra curva di avviamento TG e TV in parallelo e TG e TV in sequenza

2.2.1 Anticipazione “purging TG”

Indipendentemente dalle modalità di avviamento (sequenziale o con TG e TV in parallelo), con riferimento alla Fig. 2-1, l'esecuzione del flussaggio del condotto fumi del GVR (purging TG), alla fine della procedura di spegnimento anziché all'inizio di una successiva riaccensione, consente di per sé una prima riduzione, seppur minima, del tempo totale di avviamento dell'impianto. I costi principali di realizzazione sono legati al necessario riassetto delle funzioni di automazione. Un aspetto negativo da valutare consiste nel fatto che in questo caso il GVR viene investito da gas relativamente freddi proprio quando si trova alla massima temperatura, con un incremento quindi della dispersione di calore e degli stress termici dei componenti.

2.2.2 Minimizzazione della dispersione di calore durante la fermata

Il raffreddamento del GVR durante la fermata dell'impianto è causato dalla dispersione di calore, incrementata dall'instaurarsi di un flusso d'aria in circolazione naturale, che dall'imbocco del condotto di aspirazione dell'aria fluisce attraverso tutto il GVR per poi scaricarsi all'esterno attraverso il camino. Un modo efficace per limitare al minimo l'instaurarsi di tale circolazione naturale è dotare il camino di una serranda di chiusura con un certo grado, non necessariamente completo, di tenuta. Per una maggiore efficacia, tale provvedimento deve essere associato ad un “imbottigliamento” (chiusura) dei circuiti acqua-vapore che mantenga alta la pressione. In questo caso l'alta pressione unitamente ad un raffreddamento, seppure molto lento, causa il formarsi di condense nei surriscaldatori e risurriscaldatori che vanno drenate prima di effettuare il riavviamento. Ciò ha un impatto sul progetto dell'intero sistema dei drenaggi che va rivisto sia in termini di componenti installati (valvole e attuatori) sia in termini di gestione (automazione) in modo da assicurare la completa compatibilità e il coordinamento necessario per assicurare un adeguato drenaggio degli scambiatori.

2.2.3 Mantenimento del GVR a una prefissata temperatura minima (“sparging system”)

Una tecnica basata su interventi attivi per compensare l'energia termica perduta per dispersione, in modo da mantenere il sistema ad un livello di temperatura prefissato, e che può essere utilizzata in alternativa o, più probabilmente, a complemento della minimizzazione della dispersione termica (par. 2.2.2) è quella di far affluire vapore ausiliario di riscaldamento alle sezioni di alta e bassa pressione e tenere così pressurizzati (≈ 3 bar) e in temperatura (≈ 130 C) i componenti critici (corpi cilindrici, surriscaldatori, risurriscaldatori e linee vapore principale) del GVR. Questa tecnica richiede uno specifico circuito (sparging system) che assicuri l'alimentazione con vapore nelle sezioni desiderate, e che dovrà essere dotato della necessaria strumentazione e automazione per monitorare il corretto riscaldamento del GVR. In alcuni casi potrà rendersi necessario un potenziamento della caldaia ausiliaria preposta alla produzione del vapore ausiliario. Questo tipo di provvedimento determina in ogni caso un costo aggiuntivo associato al consumo di combustibile necessario per la produzione di vapore durante una parte del tempo di fermata dell'impianto¹.

2.2.4 Mantenimento del vuoto al condensatore

Un altro importante provvedimento per la riduzione dei tempi di attesa prima del riavvio dell'impianto è il mantenimento del vuoto al condensatore durante tutto il periodo della fermata. Per prevenire eccessive rientrate di aria nel condensatore si può includere nello “sparging system” l'alimentazione, con vapore ausiliario, delle tenute della turbina a vapore. Questa soluzione va preferibilmente associata all'utilizzo di pompe del vuoto di tipo meccanico in sostituzione di eiettori alimentati con vapore.

¹ Come è evidente, durante la prima fase di raffreddamento, fino a quando le temperature sono maggiori del livello minimo che si vuole assicurare, non si rende necessario fornire vapore ausiliario al GVR.

2.2.5 Avviamento in parallelo della turbina a gas e della turbina a vapore

Dall'esame delle curve di avviamento di Fig. 2-1 e Fig. 2-2 si intuisce come il maggiore contributo al tempo complessivo di avviamento dell'impianto derivi dal tempo di attesa della turbina a gas durante la fase di riscaldamento del GVR e della turbina a vapore. La sola eliminazione di tale tempo di attesa, anche senza interventi di incremento della velocità della rampa di potenza, porterebbe di per sé ad una notevole riduzione del tempo totale di avviamento. In generale i massimi gradienti termici consentiti per la turbina a vapore sono inferiori rispetto ai massimi gradienti termici del GVR. Un disaccoppiamento fra il complesso turbina a gas più GVR e la turbina a vapore, con l'avviamento in parallelo dei due sistemi consente di raggiungere la piena potenza della turbina a gas con una velocità maggiore (condizionata dai soli gradienti termici del GVR) e di anticipare l'entrata in servizio della turbina a vapore. I prerequisiti necessari per una riorganizzazione in tal senso della procedura di avviamento sono:

- a) un potenziamento degli attemperatori del vapore surriscaldato e risurriscaldato che devono mantenere nei limiti di temperatura richiesti dalla turbina un volume superiore di vapore, avendo comunque cura di evitare arrivi di condensa in turbina;
- b) in alcuni casi, un potenziamento dei bypass della turbina a vapore, che devono essere in grado di scaricare al condensatore il 100% del vapore prodotto dalla turbina a gas a piena potenza;
- c) un'adeguata revisione di tutto il sistema di automazione (misure, attuatori, funzioni di supervisione e controllo, etc ...).

Mentre per un nuovo impianto tutti i prerequisiti necessari sono inclusi nell'attuale progetto di riferimento offerto dai vari fornitori, per un impianto già costruito secondo criteri "base load" è necessaria una profonda verifica del progetto base e della effettiva realizzabilità in termini non solo economici ma anche costruttivi (ad esempio disponibilità dello spazio necessario alla collocazione di nuovi apparati). Per questo motivo, le analisi sulle modifiche impiantistiche atte ad abbreviare i tempi di avviamento, svolte nel seguito del documento, non includono la possibilità di avviare in parallelo turbina a gas e turbina a vapore.

2.2.6 Interventi specifici per incrementare la velocità di rampa del GVR

Premesso ancora una volta che ciascun impianto ha delle proprie peculiarità che vanno esaminate caso per caso, in generale la limitazione dei gradienti termici sopportabili dal GVR deriva dai limiti agli stress causati dalle dilatazioni termiche. I componenti maggiormente sollecitati sono i corpi cilindrici, a causa dei loro elevati spessori, e gli scambiatori a causa della dilatazione dei fasci tubieri che è limitata dai supporti rigidi di ancoraggio. Nel caso dei corpi cilindrici, la sostituzione di quelli più datati con corpi cilindrici di nuova concezione consente una riduzione dello spessore del 35-40%.

Riguardo agli scambiatori si possono sostituire gli ancoraggi rigidi con degli ancoraggi maggiormente elastici che assorbano le dilatazioni del fascio tubiero (Fig. 2-3).

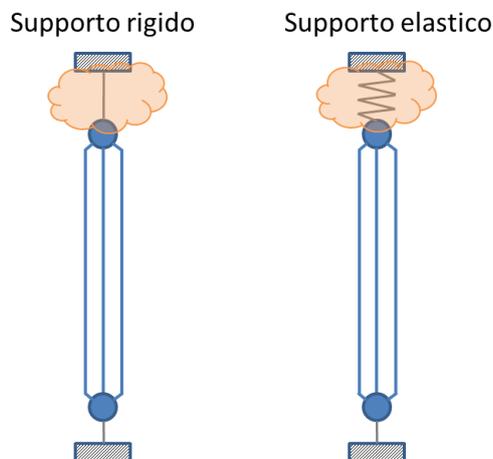


Fig. 2-3 Esempio di sostituzione ancoraggio rigido con ancoraggio elastico

2.2.7 Automazione e ottimizzazione della manovra di avviamento

Gli stress indotti dai gradienti termici rappresentano sicuramente il fattore predominante di condizionamento dei tempi di avviamento di un impianto, tuttavia non sono del tutto trascurabili alcuni aspetti come la diversa sensibilità degli operatori che si avvicendano da un turno all'altro nel trattare e gestire i consensi richiesti dal sistema di automazione, una volta raggiunte specifiche condizioni, per la prosecuzione della sequenza di avviamento. O ancora la diversa dinamica di variabili di processo critiche come il livello nei corpi cilindrici che se transitoriamente raggiungessero soglie inaccettabili potrebbero determinare l'intervento dei sistemi di protezione dell'impianto con conseguente interruzione immediata dell'avviamento. Per ridurre al minimo tali rischi ed avere tempi di avviamento certi e ottimizzati è necessario un aggiornamento di ampia portata del sistema di controllo. In Fig. 2-4 è riportata una sintesi delle aree principali di intervento.

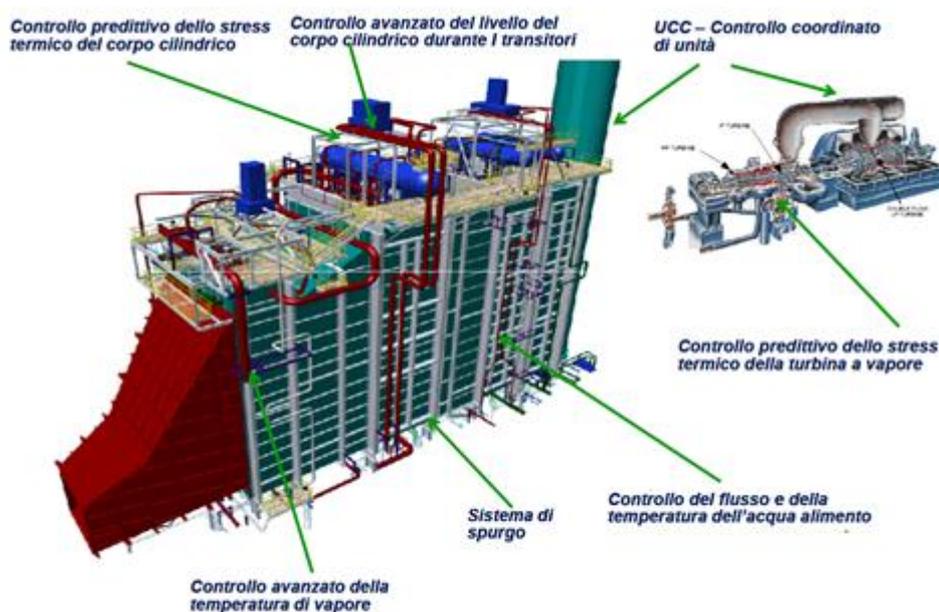


Fig. 2-4 Principali sistemi di controllo da aggiornare per una gestione ciclica di un impianto a ciclo combinato

2.3 Ipotesi di aggiornamento di un impianto a ciclo combinato in configurazione “base load” e stima della riduzione del tempo di avviamento.

Le soluzioni tecniche indicate nei paragrafi precedenti consentirebbero idealmente di elevare le prestazioni di un impianto a ciclo combinato concepito per un funzionamento “base load” allo stesso livello di un modernissimo impianto offerto dai maggiori produttori (Siemens, GE, Alstom ...) concepito per un funzionamento altamente ciclico ed efficiente con notevole rapidità di avviamento. E’ però presumibile che tale condizione ideale rappresenti anche il massimo dei costi di investimento necessari e che oltre un certo limite i benefici attesi non compensino lo sforzo sostenuto. Premesso ancora una volta che una valutazione tecnico-economica di dettaglio può essere fatta solo in sede di progettazione specifica degli interventi di aggiornamento programmati per un dato impianto, di seguito si riportano le valutazioni di massima delle contrazioni dei tempi di avviamento conseguenti alla realizzazione progressiva di alcuni degli interventi sopra elencati [1], applicati alla modalità di avviamento sequenziale di riferimento (Fig. 2-1).

La sola chiusura delle serrande del condotto fumi per impedire la circolazione naturale dell’aria e rallentare così la depressurizzazione dei corpi cilindrici, unitamente ad un’implementazione di manovre sequenziali di arresto del GVR che tengano conto delle zone più critiche del circuito acqua-vapore, riguardo alla formazione di condensa (par. 2.2.2), consentono una riduzione di circa il 20% del tempo di avviamento (Fig. 2-5).

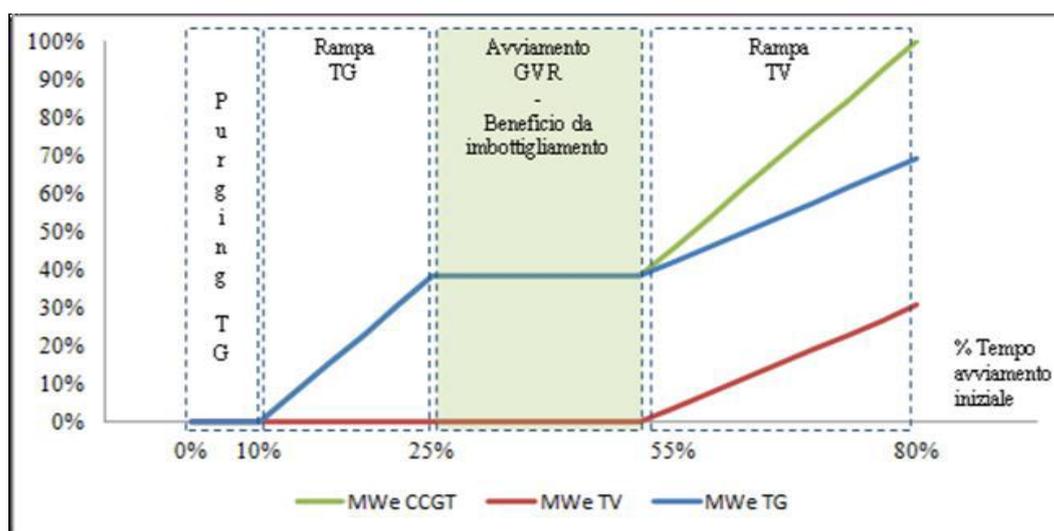


Fig. 2-5 Tempi di avviamento a valle della minimizzazione delle dispersioni termiche del GVR

La reingegnerizzazione del sistema dei drenaggi e sfiati per un veloce ed efficace drenaggio dei surriscaldatori e risurriscaldatori durante il riavviamento, unitamente all’installazione di valvole di bypass delle valvole di sezionamento, per velocizzare il riscaldamento delle linee vapore principale (par. 2.2.3), e al mantenimento del vuoto al condensatore (par. 2.2.4), con una completa automazione della procedura di avviamento (par. 2.2.7), affidata al DCS, che limiti l’intervento dell’operatore solo ai casi di malfunzionamento, può portare ad un’ulteriore riduzione del tempo di avviamento del 30% (Fig. 2-6).

Stima approssimativa dei costi degli avviamenti rapidi

Il costo totale degli interventi di aggiornamento, sopra ipotizzati, potrebbe essere dell'ordine di 10 M€. Alla progressiva riduzione dei tempi di avviamento stimati, via via che si procede negli interventi di ammodernamento dell'impianto, è associata una corrispondente riduzione del consumo di combustibile (Tab. 2-1) [1] da tenere in conto nel computo del costo di un avviamento rapido.

Tab. 2-1 Effetto degli interventi di aggiornamento di un ciclo combinato sui suoi tempi di avviamento

| Intervento | Imbottigliamento GVR | Reingegnerizzazione dei drenaggi di caldaia | Ottimizzazione della manovra |
|---------------------------|----------------------|---|------------------------------|
| Δ tempo di avviamento | 20 % | 50 % | >55 % |
| Δ consumo di combustibile | 20 % | 50 % | - |

Prima di effettuare una stima del costo di un avviamento rapido può essere utile un commento sull'utilizzo di sistemi attivi (sparging system) per il mantenimento di una pressione minima del GVR e per il mantenimento in temperatura delle linee vapore. La procedura di fermata di un ciclo combinato in configurazione "base load" prevede l'immediata apertura degli sfiati e la pressoché immediata depressurizzazione dei corpi cilindrici in seguito all'espulsione del vapore. In questo caso l'utilizzo di un sistema attivo per mantenere una pressione minima di circa 2 ÷ 3 bar richiede l'utilizzo di vapore ausiliario (≈ 3 t/h a 8 bar [2]) per un tempo pari all'intero periodo di fermata dell'impianto, che nel caso di fermata settimanale può superare le 40 ore. A tale vapore, prodotto dal funzionamento di una caldaia ausiliaria, andrà associato un corrispondente consumo di combustibile.

Nel caso di "imbottigliamento" del GVR la depressurizzazione risulta molto più lenta, soprattutto se si prevede anche la possibilità di poter sigillare il camino con una serranda (Fig. 2-8)[2], (Fig. 2-9)[3].

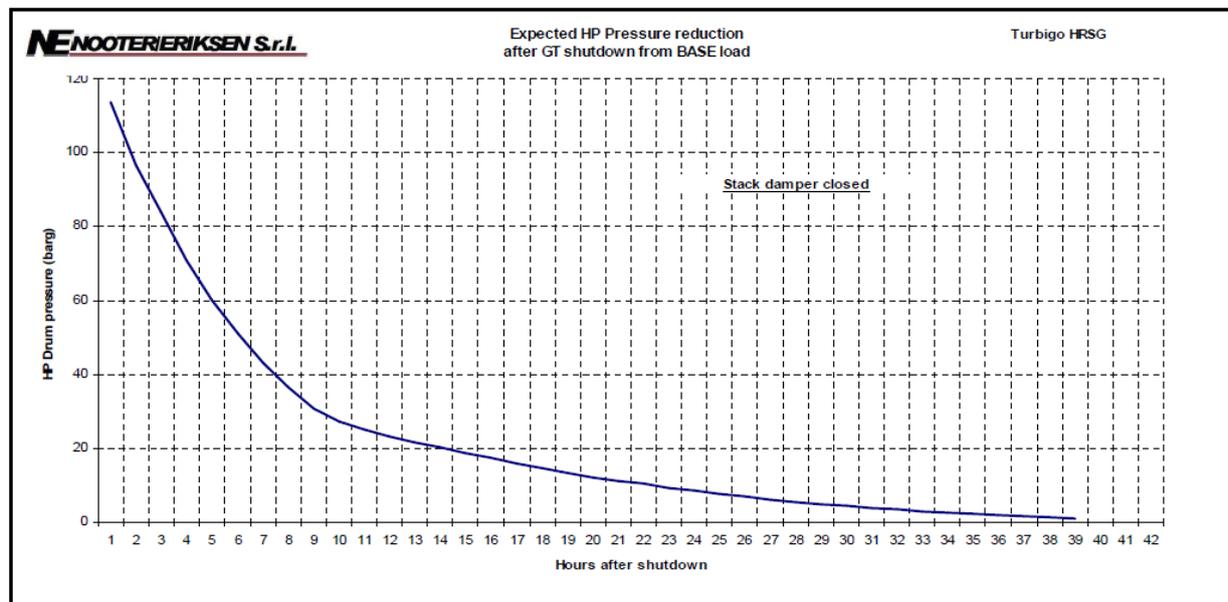


Fig. 2-8 Curva di depressurizzazione del corpo cilindrico di alta pressione di un impianto a ciclo combinato

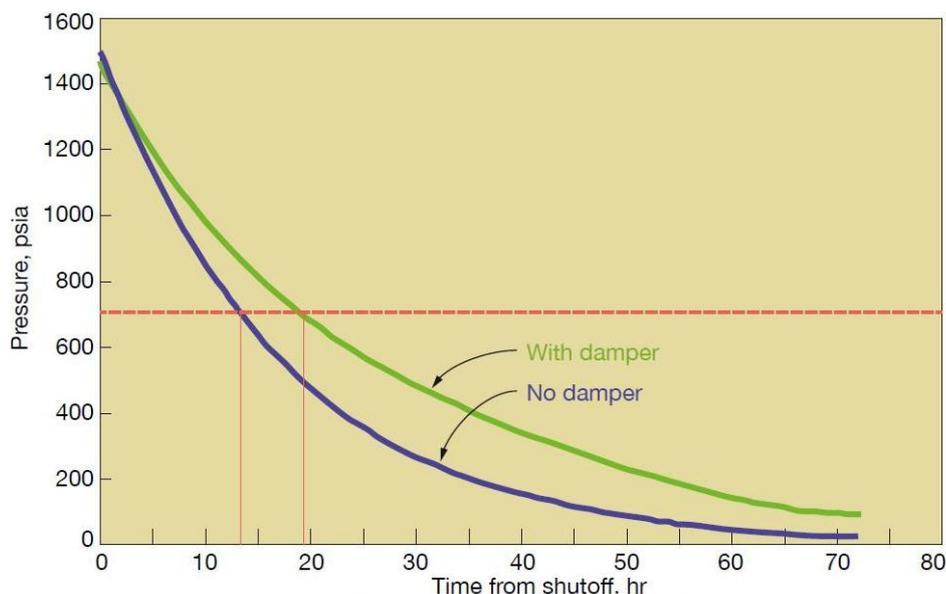


Fig. 2-9 Effetto della chiusura del camino sulla curva di depressurizzazione del GVR

In questo caso, per una fermata di fine settimana (48 h), l'utilizzo dello "sparging system" risulta inutile nella migliore delle ipotesi (Fig. 2-9), o limitato solo a poche ore, nel peggiore dei casi (Fig. 2-8). Tuttavia per avere una stima quantitativa dell'incidenza dell'utilizzo dello "sparging system" sugli oneri di un avviamento da freddo si può partire da un'ipotesi molto conservativa di impianto fermo per un lungo periodo (120 h) con lo "sparging system" in funzione per un tempo $t = 90$ h. Definiti:

Q_d , la potenza da fornire attraverso la caldaia ausiliaria.

$$Q_d = 2.5 \text{ MW}$$

C_g , il costo del gas consumato dalla caldaia ausiliaria.

$$C_g = 0.34 \text{ €/smc}$$

P_{ci} , potere calorifico inferiore del gas

$$P_{ci} = 38.1 \text{ MJ/smc}$$

t , tempo di funzionamento dello "sparging system".

$$t = 90 \text{ h} = 324000 \text{ s}$$

il costo C_{sa} , del combustibile consumato dallo "sparging system", per ogni avviamento rapido dopo una fermata di 120 ore è pari a

$$C_{sa} = Q_d * (C_g / P_{ci}) * t = 2.5 * (0.34 / 38.1) * 324000 = 7228.3 \text{ €} \approx 7.23 \text{ k€}$$

Nel caso più favorevole di una fermata settimanale di 48 h con un tempo di utilizzo dello "sparging system" di sole 18 h, ripercorrendo i passaggi precedenti con un tempo $t = 18 \text{ h} = 64800 \text{ s}$, si ha un costo del combustibile consumato pari a

$$C_{sa} = Q_d * (C_g / P_{ci}) * t = 2.5 * (0.34 / 38.1) * 64800 = 1445.7 \text{ €} \approx 1.45 \text{ k€}$$

Se l'investimento per l'aggiornamento dell'impianto è pari a 10 M€, con un tasso di interesse dell' 8% per una vita utile dell'impianto di 10 anni si dovrà tenere conto di una rata di ammortamento annuo R_a di 1.38 M€.

L'ipotesi di costo sopra sviluppata non tiene conto del risparmio associato al minor consumo di combustibile, conseguenza della riduzione del tempo di avviamento. Ciò rafforza il carattere

conservativo della stima dei costi effettuata. Inoltre, queste sommarie valutazioni economiche non includono alcun costo per mancata produzione derivante dalle modifiche impiantistiche, assumendo che gli operatori effettuino tali modifiche in sovrapposizione con fermate di manutenzione di lunga durata o in concomitanza con periodi di scarsa domanda di energia.

2.4 Potenza attivabili entro due ore, a seguito di un'aggiornamento dei cicli combinati della rete italiana secondo le ipotesi del par. 2.3

Prima di procedere ad una stima della potenza attivabile entro due ore applicando al parco impianti a ciclo combinato della rete elettrica italiana gli aggiornamenti descritti nel par. 2.3, è opportuno un commento sul termine “tempo di avviamento”. In tutta la trattazione sin qui esposta come *tempo di avviamento* si è sempre inteso il tempo necessario, a partire da impianto fermo e diverse condizioni (o stati), per raggiungere una condizione stabile di funzionamento al 100% della potenza nominale. Nel caso del registro dinamico delle unità produttive (RUP) e del documento tecnico “Servizi di flessibilità” [4], il parametro “TAV”, indicato anch'esso come tempo di avviamento, invece indica il tempo necessario a rendere disponibile in rete una certa potenza a partire da una prefissata condizione o assetto di funzionamento. In particolare la “Gestione Anagrafica Unica degli Impianti” (GAUDI) definisce il “tempo di avviamento” come “Tempo per il raggiungimento della potenza minima dell'Unità di Produzione (UP) nell'assetto considerato, a partire dal momento in cui la UP riceve la comunicazione di avviamento, nell'ipotesi che tutti i gruppi della UP siano originariamente fuori servizio”. Lo stato finale dell'UP quindi non coincide con un funzionamento al 100% della potenza nominale, e l'uso contestuale delle due definizioni può generare confusione.

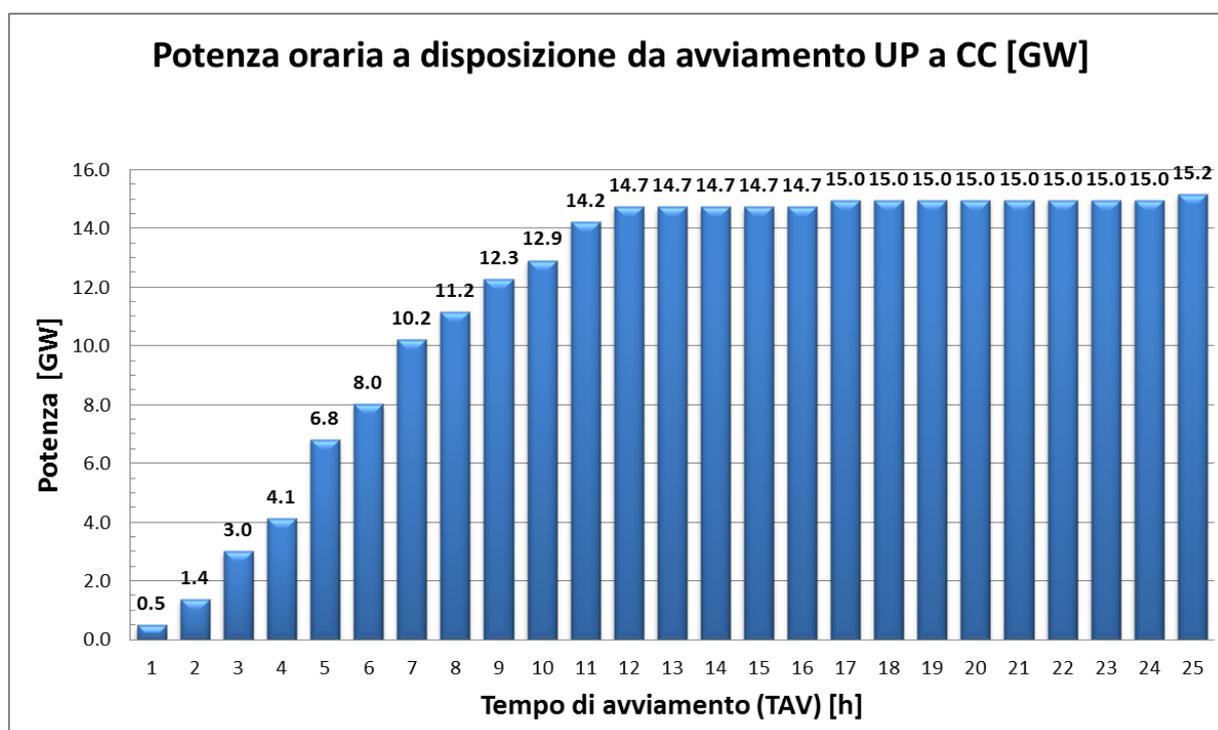


Fig. 2-10 Potenza minima totale in funzione dei tempi di avviamento (TAV) delle UP a ciclo combinato

La Fig. 2-10 riporta la distribuzione della potenza minima complessiva, fornita dai cicli combinati, in funzione del tempo di avviamento (TAV) dichiarato dalle UP. La distribuzione è stata ricavata elaborando il RUP dinamico relativo al periodo 1 gennaio 2013 – 30 settembre 2013. Da tale elaborazione si deduce che la potenza attualmente ottenibile dall'avviamento di UP a ciclo combinato è rispettivamente di 0.5 GW entro un'ora e di 1.4 GW estendendo l'intervallo a due ore. Fermo restando le sostanziali differenze sopra esposte fra tempo di avviamento da freddo di un impianto e parametro TAV, nell'ipotesi che gli interventi di aggiornamento delle UP per ottenere una riduzione del tempo di avviamento da freddo, come descritto nei par. 2.2 e 2.3, possano portare a una riduzione analoga (50%) del parametro TAV, dalla distribuzione di Fig. 2-10 si può estrapolare che la potenza aggiuntiva, attualmente associata ad un TAV compreso fra tre e quattro ore, dopo gli interventi di aggiornamento

possa essere inclusa anch'essa fra la potenza ottenibile entro le due ore ottenendo un valore complessivo di 4.1 GW di potenza disponibile entro due ore da avviamento di UP a ciclo combinato. La distribuzione di Fig. 2-10 è riferita alle potenze minime fornite dalle UP in un tempo TAV, quindi ora per ora, alla quota stimata va sicuramente aggiunto il contributo derivante dalle UP che, raggiunta la potenza minima nell'ora precedente, hanno un gradiente di rampa di potenza tale da raggiungere la potenza massima nell'ora attuale di riferimento, in particolare, nell'ipotesi che la potenza minima dichiarata nel RUP sia pari al 60% della potenza nominale dell'UP, tutti gli impianti che nella prima ora forniscono 0.5 GW trovandosi alla minima potenza, alla seconda ora potrebbero aver raggiunto la massima potenza fornendo un ulteriore contributo di ≈ 0.3 GW.

2.5 Confronto con le esigenze di terziaria di sostituzione espresse da TERNA

Dal documento [4], il fabbisogno massimo di riserva terziaria di sostituzione, nell'ipotesi estremamente conservativa che debba essere fornita esclusivamente da impianti fermi con avviamento rapido, è dell'ordine di 4250 MW (Fig. 2-11- luglio), quindi la stima sulla potenza massima attivabile entro 2 h, sopra riportata (≈ 4400 MW), copre tale fabbisogno. Inoltre, un certo numero di impianti termoelettrici e idroelettrici saranno normalmente in funzione a carico inferiore al massimo, e potranno quindi contribuire a soddisfare le esigenze di aumento di carico. Potrà ad esempio trattarsi di impianti cogenerativi, che possono essere in funzione alla potenza minima per vincoli del ciclo produttivo dell'attività industriale a loro associata. Ciò riduce di fatto il fabbisogno massimo di riserva terziaria da soddisfare con avviamento rapido da freddo di impianti fermi.

In questa sede non viene affrontato il difficile problema di una stima sia della probabilità che si verifichi la condizione peggiore: nessun impianto in servizio con riserva di sostituzione e fabbisogno massimo da soddisfare quindi con avviamento rapido da freddo di impianti a ciclo combinato.

Fabbisogno Riserva di Sostituzione - Solare e Eolico: Valori Medi Mensili

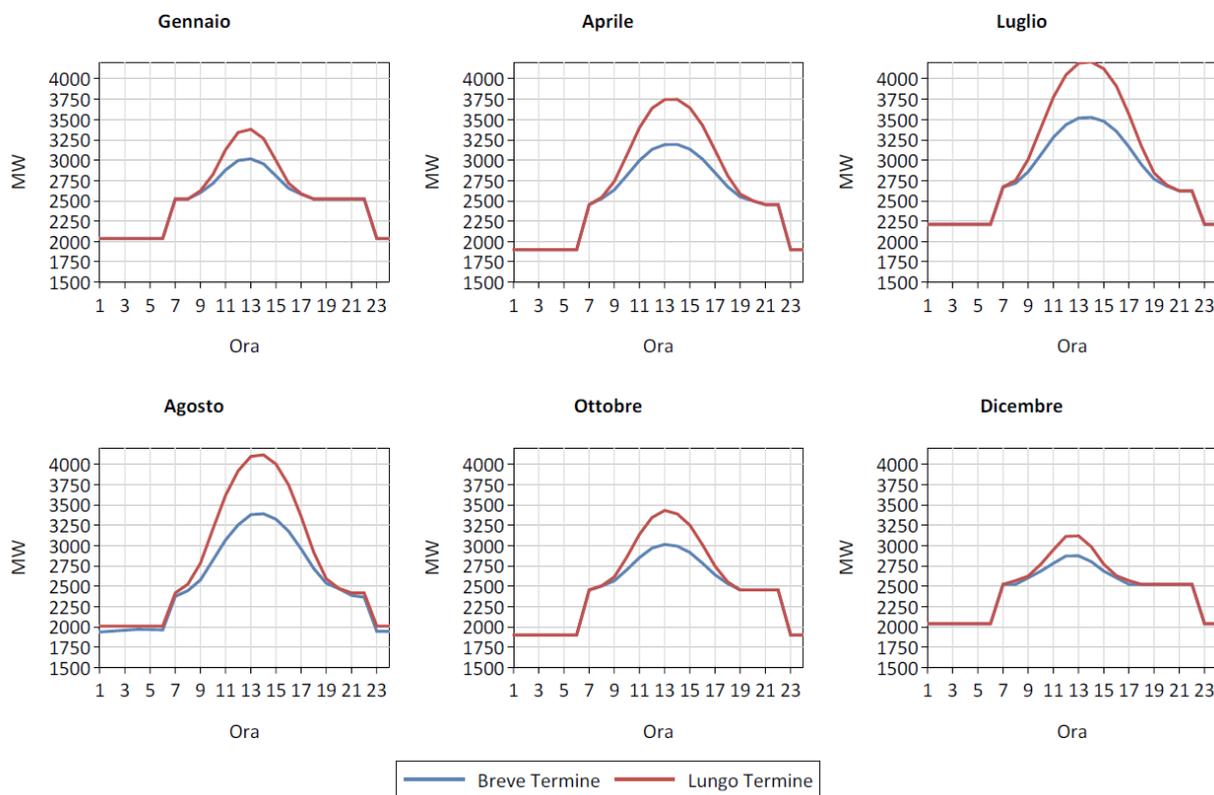


Fig. 2-11 Fabbisogno di riserva terziaria di sostituzione

3 BIBLIOGRAFIA

- [1] M. Di Carlo, A. Camponeschi, L. Michi, “Gli impianti CCGT nel nuovo contesto di mercato e del sistema elettrico. Il nuovo ruolo dei CCGT e gli upgrading tecnologici necessari a fornire servizi di dispacciamento sempre più flessibili e dinamici”, Convegno Annuale AEIT 2013, Mondello (Pa), 3-5 ottobre 2013.
- [2] R. Laquintana, “Flexibility improvement in cycling mode: an example of retrofit”, ANIMP convegno Energia 2012, Sesto San Giovanni (Mi) 26 giugno 2012.
- [3] <http://www.ccj-online.com/2q-2013/hrsg-upgrades-how-to-design-retrofit-drum-type-hrsgs-to-cycle-start-faster/>, “HRSG UPGRADES: How to design, retrofit drum-type HRSGs to cycle, start faster”, Combined Cycle Journal on line, <http://www.ccj-online.com>
- [4] TERNA, “Servizi di flessibilità”, doc. tec., novembre 2013.
- [5] TERNA, “Impianti di generazione”, dati statistici, 2012.