

I BLACK-OUT E L'INTRINSECA DEBOLEZZA DEL SISTEMA ELETTRICO ITALIANO

Davide Fabiani¹, Giovanni Mazzanti¹, Cesare Biserni²

¹ Dipartimento di Ingegneria Elettrica, Università degli Studi di Bologna, Viale Risorgimento 2, 40136 Bologna.

²Dipartimento di Ingegneria Energetica, Nucleare e del Controllo Ambientale, Università degli Studi di Bologna, Viale Risorgimento 2, 40136 Bologna.

SOMMARIO

Il sistema elettrico italiano si trova da qualche anno in una delicata fase di transizione, in virtù delle scelte di politica energetica effettuate nel recente passato e del processo di liberalizzazione del mercato dell'energia. In tale contesto, eventi come i black-out occorsi nel 2003 hanno posto all'attenzione dell'opinione pubblica, e non solo degli addetti ai lavori, il "problema energia", evidenziando i punti deboli del nostro sistema di approvvigionamento energetico, come la forte dipendenza di materie prime dai mercati esteri (nell'ultimo periodo stabilmente superiore all'80 %), nonché l'intrinseca debolezza del nostro sistema di generazione e trasmissione dell'energia, affidato ad un parco centrali relativamente obsoleto ed a linee di trasmissione ed interconnessione non pienamente rispondenti alle esigenze. Con la presente trattazione si intende quindi portare un contributo al dibattito sulla politica energetica italiana: dopo ampia analisi, anche di natura tecnica, sugli accadimenti che hanno portato ai black-out (in particolare a quello occorso in data 28/9/03), si vuole sintetizzare, in un unico contesto, l'apporto di opinioni e interpretazioni diverse su soluzioni, possibili scelte future di politica energetica e relative implicazioni, anche con riferimento al medio e lungo periodo temporale.

INTRODUZIONE

Nella notte tra il 27 e il 28 settembre 2003 si sono verificati alcuni guasti su linee elettriche della rete di trasmissione svizzera, che hanno poi provocato la separazione del sistema elettrico italiano dal resto della rete europea: ne è scaturito un rovinoso black-out, con interruzione del servizio elettrico in tutto il Paese (esclusa la Sardegna e alcune isole minori provviste di reti elettriche autonome) e in alcune aree del sistema elettrico svizzero (zona del Ticino). I disagi alle popolazioni sono stati ingenti, come pure rilevanti sono state le conseguenze per l'intero sistema economico-produttivo italiano (con 32 milioni di utenze disalimentate, secondo i dati forniti dalle imprese distributrici).

Tale evento, nel contesto del sistema elettrico italiano, non è stato certo un fulmine a ciel sereno, in quanto temporalmente successivo ad un altro black-out, occorso in data 26/6/03. Entrambi i black-out, in particolare quello del 28/9/03, hanno ovviamente suscitato grande clamore nell'opinione pubblica, inducendo anche le più alte cariche istituzionali a prendere posizione sui problemi energetici dell'Italia: si segnalano le posizioni espresse dallo stesso Presidente della Repubblica, dal Presidente della Camera dei Deputati e, ovviamente, dal Ministro delle Attività Produttive.

Anche i vertici dell'ENEL hanno preso posizione, caldeggiando le proprie opzioni strategiche, attualmente orientate verso possibili ingenti investimenti all'estero sul nucleare francese e su centrali a carbone nei paesi dell'Est.

Poiché l'energia elettrica è diventata negli ultimi 50 anni un bene essenziale e largamente diffuso nella società civile, essendo una fonte energetica di facile trasporto ed utilizzo, la mancata fornitura di energia elettrica arreca danni economici e sociali molto ingenti alla società civile e al mondo industriale, di cui produttori e gestori delle reti sono chiamati a rispondere.

Recentemente l'Autorità per l'Energia Elettrica ed il Gas ha infatti stabilito sanzioni significative per le mancate forniture di energia agli utenti, incentivando quindi gli investimenti dei gestori e proprietari delle reti di trasmissione e distribuzione ai fini di migliorare i dispositivi di protezione volti a garantire la continuità di servizio [1].

CAUSE DI UN BLACK-OUT

E' noto che la potenza elettrica prodotta e immessa nella rete elettrica, P_g , deve eguagliare in ogni istante la potenza elettrica consumata dagli utilizzatori, P_u . Se si genera più potenza di quanta ne venga consumata ($P_g > P_u$) allora la frequenza della tensione aumenta (il surplus di energia viene immagazzinato nell'energia cinetica dei rotori dei generatori). Viceversa, se la potenza prodotta è inferiore a quella assorbita dagli utilizzatori ($P_g < P_u$) la frequenza della tensione nella rete diminuisce, cioè il deficit d'energia viene colmato dall'energia cinetica dei rotori, rallentando la loro velocità di rotazione [2]. Poiché molte apparecchiature elettriche (ad es., i motori) sono costruite per funzionare a frequenza costante (in Europa 50 Hz, negli USA, in Giappone e in altri paesi 60 Hz) la variazione di frequenza della tensione di rete deve essere estremamente contenuta; ne consegue che la potenza generata deve seguire istante per istante le variazioni dei carichi.

Per incrementare la capacità di trasporto dell'energia e sopperire ad eventuali deficit di potenza, i sistemi elettrici nazionali europei sono tra loro interconnessi. Tale interconnessione risulta fondamentale soprattutto in un ottica di libero mercato, consentendo all'utente finale di acquistare l'energia elettrica anche da un produttore estero situato a migliaia di km dall'utilizzatore. Tuttavia, quando una parte del sistema di trasmissione, a causa di una separazione dall'intera rete, sperimenta uno stato di emergenza da deficit di potenza

prodotta rispetto al fabbisogno, si ha, come già detto, una diminuzione immediata della frequenza.

Per deficit di potenza ridotti e quindi piccole variazioni di frequenza i regolatori posti nelle centrali di produzione impongono un incremento della potenza elettrica prodotta [3]. Se il deficit di potenza è più elevato, per contrastare la conseguente variazione di frequenza entro limiti in cui il sistema elettrico sia ancora controllabile (entro il 5% del valore nominale) sono stati installati in punti strategici del sistema elettrico italiano numerosi alleggeritori di carico, i quali, secondo una sequenza prefissata e in modo graduale, possono distaccare una serie via via crescente di carichi interrompibili [4].

In linea di principio, quindi, nel caso in cui venga a mancare anche una considerevole parte della potenza elettrica prodotta, come nel caso di disconnessione dalla rete europea, mediante il distacco dei carichi e riportando il sistema in equilibrio ($P_g = P_u$) dovrebbe essere possibile limitare e circoscrivere il danno con un numero contenuto di utenze disattivate. Qualora però il deficit di potenza rimanesse eccessivo anche dopo l'alleggerimento dei carichi interrompibili prefissati, si potrebbe avere un abbassamento di frequenza tale da non poter essere compensato dalla capacità di regolazione delle centrali di produzione, e assolutamente incompatibile con il regolare funzionamento degli stessi, che richiedono una velocità di rotazione corrispondente ad una frequenza sempre superiore ai 47.5 Hz. Per soddisfare tale vincolo, gli impianti di produzione sono dotati di protezioni di minima velocità. In caso di attivazione di tali protezioni, si ha la progressiva disattivazione dei generatori, la diminuzione incontrollata della frequenza e quindi il collasso del sistema elettrico (stato di black-out) [5].

E' ragionevole quindi chiedersi cosa non abbia funzionato la notte del 28 settembre 2003 nei sistemi di protezione della rete elettrica italiana, visto che il black-out si è propagato in pochi istanti coinvolgendo la quasi totalità del territorio nazionale, senza che si riuscisse a riportare in equilibrio il sistema. Tale argomento è stato ampiamente e ripetutamente dibattuto in sede tecnica dai soggetti a vario titolo coinvolti nel black-out, nonché dagli esperti del settore, che hanno analizzato in grande dettaglio l'evolversi della situazione e i diversi fattori che hanno concorso a determinare gli eventi. I risultati di tali analisi sono riportati in numerosi articoli apparsi nella letteratura scientifica, qui omessi per brevità. Nel presente lavoro, ci si è riferiti al "Rapporto della commissione di indagine ministeriale sul black-out del sistema elettrico italiano del 28 settembre 2003" [5] come base per una ricostruzione sintetica dei principali eventi che hanno portato in instabilità il sistema elettrico italiano (vedi paragrafo seguente) e per la discussione delle possibili soluzioni atte a scongiurare il ripetersi di un simile evento (vedi paragrafo successivo). Le relative conclusioni chiudono la trattazione.

IL BLACK-OUT DEL 28 SETTEMBRE 2003

Si premette che la rete svizzera è collegata alla rete italiana attraverso il Canton Ticino, dove giungono dal Nord delle Alpi due linee a 380 kV e una a 220 kV (vedi Fig. 1), che trasportano solitamente circa 3000 MW (quasi metà della banda costante di potenza complessivamente importata dall'Italia). Inoltre, negli istanti precedenti il distacco dalla rete europea, il fabbisogno totale era pari a circa 27500 MW, la produzione nazionale a 20600 MW, per la gran parte affidata a centrali termoelettriche (circa 18850 MW, di cui 2800 MW da autoproduttori e impianti di piccola taglia),

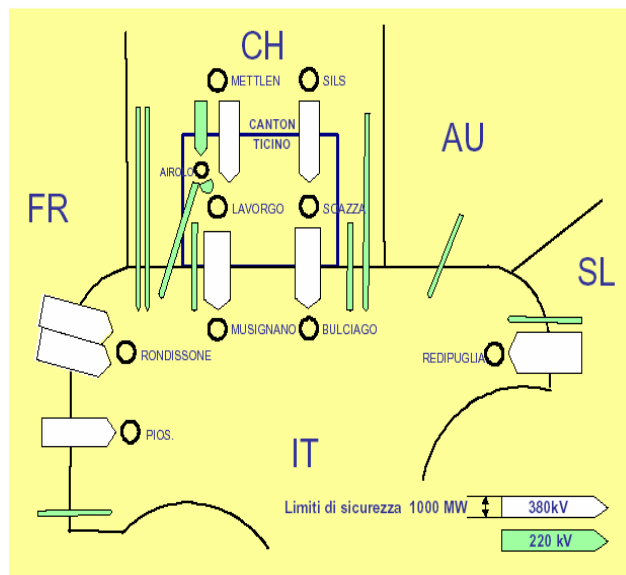


Fig.1:Linee di interconnessione tra Italia e paesi confinanti[5].

mentre l'importazione ammontava a circa 6600 MW [5]. Ne segue che il parco di centrali termoelettriche in funzione era in grado, se portato a pieno carico, di rendere disponibile un margine di potenza dell'ordine dei 5000 MW. Considerando i margini di potenza consentiti dalle centrali di pompaggio (che potevano passare da un assorbimento di circa 3600 MW a una produzione di quasi 5000 MW) e delle centrali idroelettriche a serbatoio (quasi 3000 MW), ne segue che il sistema nazionale presumibilmente era in grado di erogare una potenza più che doppia rispetto all'intera potenza importata [5].

Alle ore 3,01 del 28 settembre 2003 si interruppe per un guasto la prima tratta (Mettlen-Lavorgo) di una delle due linee a 380 kV, che trasporta in condizioni nominali circa 1400 MW. Tale tratta si trova per intero in territorio svizzero, ma risulta fondamentale per l'alimentazione della rete italiana.

A questo punto il gestore della rete svizzera ETRANS, non riuscendo a riparare il guasto in tempi brevi, richiede al Gestore della Rete di Trasmissione Nazionale Italiana (GRTN) di ridurre di 300 MW la potenza importata, sebbene per riportare il sistema in sicurezza sarebbe stata necessaria una riduzione di potenza di almeno 2000 MW, pari alla potenza nominale della linea fuori servizio più un margine di sicurezza [5]. Si noti che il GRTN ha il controllo della sola rete italiana e quindi non poteva essere a conoscenza della criticità della situazione nella rete svizzera. Si noti, inoltre, che semplicemente disconnettendo le centrali di pompaggio attive si sarebbe potuto ridurre la potenza assorbita in quel momento di oltre 3000 MW. Si può dire con certezza, quindi, che il gestore svizzero è colpevole di non aver fornito al GRTN le informazioni corrette sul reale stato di crisi, non consentendo a quest'ultimo di poter provvedere nel modo più opportuno a riportare il sistema in condizioni di sicurezza.

Alle ore 3,25 aprono anche gli interruttori della seconda linea svizzera, probabilmente a causa del forte sovraccarico in seguito all'interruzione della prima linea; tale sovraccarico ha prodotto dilatazioni termiche nei conduttori, tali da ridurre il franco minimo al punto da innescare la scarica verso terra.

A questo punto è iniziata una serie molto rapida di aperture a catena di tutte le linee di interconnessione tra l'Italia e i paesi confinanti, cominciando con la Svizzera, e proseguendo poi con Francia, Austria e Slovenia, con conseguente separazione della rete italiana e di parte della rete svizzera dal sistema europeo in poco più di 10 secondi. Il fenomeno si è propagato sempre più rapidamente, poiché, al sovraccarico conseguente alla maggior potenza in transito su un numero di linee

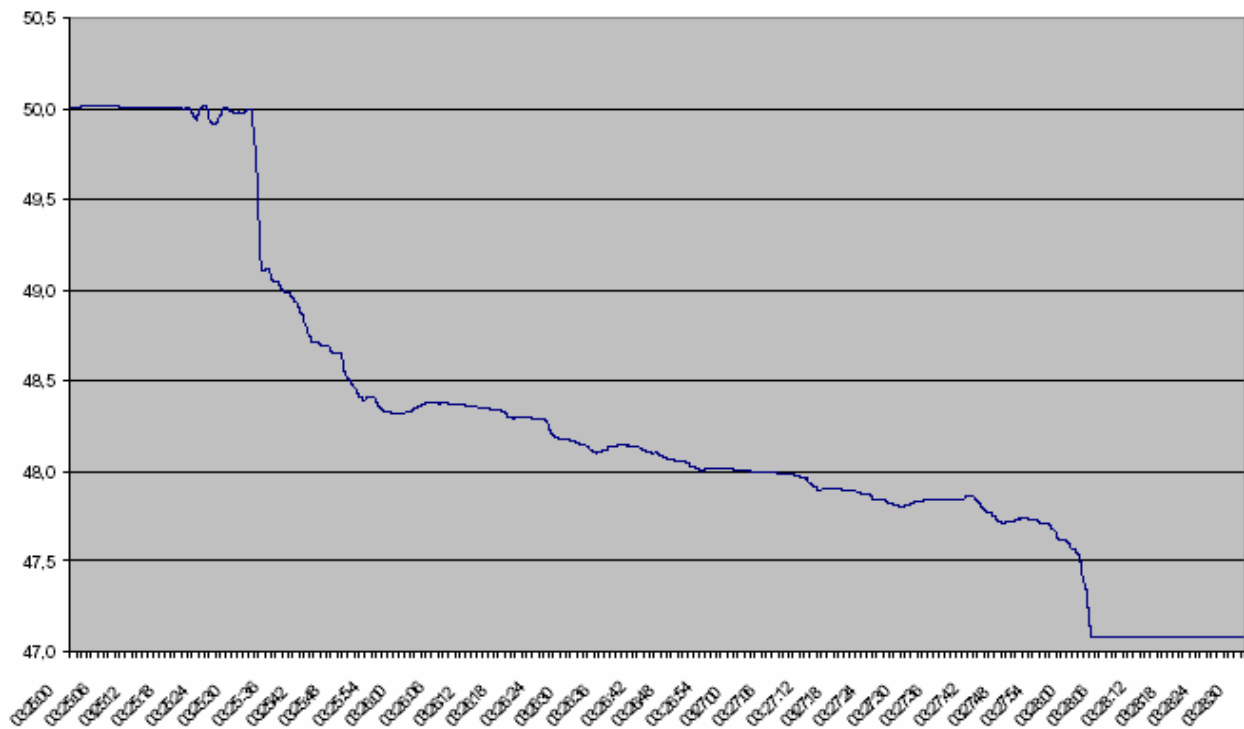


Fig. 2: Andamento della frequenza di rete registrata al GRTN durante il transitorio che ha portato al black-out [5].

insufficienti, è seguito un crollo delle tensioni alla frontiera italo-francese e quindi una perdita di passo della rete italiana al momento dell'apertura delle linee con la Francia. Infatti, con un deficit di potenza di circa 6600 MW (quasi tutta importata dalla Francia), la frequenza della rete italiana è rapidamente diminuita (vedi Fig. 2) [5].

Prima della disconnessione dalla rete europea sarebbero dovuti intervenire gli elaboratori di distacco automatico (EDA) alla frontiera; tuttavia, i guasti iniziali erano avvenuti in territorio svizzero e nelle linee fra Italia e Svizzera non si erano riscontrati sovraccarichi di rilievo. Solo quando la seconda linea svizzera si è aperta le linee di interconnessione con gli altri stati (soprattutto con la Francia) si sono sovraccaricate, ma il rapido transitorio che ha portato all'apertura di tutte le linee di interconnessione non ha consentito agli attuali dispositivi EDA di essere sufficientemente pronti ad arginare il fenomeno [5].

Per quanto detto nel paragrafo precedente, nel momento in cui la frequenza diminuisce bruscamente (e saltano le interconnessioni con le reti estere) a fronte di un calo della potenza immessa nella rete, sarebbero dovuti intervenire i distaccatori automatici (relais di *under frequency*) posti nei nodi di carico della rete italiana, cercando di riportare in positivo il bilancio tra potenza immessa e prelevata dalla rete italiana, a questo punto separata dalle altre (funzionamento in isola). Tale linea di difesa, tuttavia, non ha sortito l'effetto sperato, poiché è stata contrastata dal distacco di numerose centrali di produzione anche a frequenze superiori alla prescritta soglia di 47,5 Hz, per vari motivi che saranno discussi nel paragrafo successivo. Venendo a mancare anche una buona parte della potenza prodotta in Italia, la frequenza di rete è infine scesa al di sotto dei 47,5 Hz, provocando a questo punto il distacco dei restanti centri di produzione e il conseguente inevitabile black-out, alle ore 3,28 circa.

DISCUSSIONE

E' indubbio che se la riduzione di potenza richiesta dal

gestore della rete svizzera fosse stata adeguata, il black-out non si sarebbe mai potuto innescare. Questo fatto mostra una debolezza intrinseca nel sistema di trasmissione italiano, poiché esso risulta strettamente dipendente da quello dei sistemi confinanti, ma il gestore della rete italiana ha il controllo solo sulla rete nazionale. Se un evento critico si origina nella rete confinante, questo può propagarsi anche alla rete italiana senza che l'ente di controllo italiano possa avere una descrizione in tempo reale (allarmi, stato delle linee, etc.) dell'avvenimento per prendere in tempo le misure necessarie a mettere in sicurezza la propria rete. In questo il GRTN dipende essenzialmente dalle informazioni (giuste o sbagliate) che gli altri gestori gli forniscono, senza alcuna possibilità di verifica o controllo.

Si noti che il black-out descritto è avvenuto nella rete italiana in un momento in cui il fabbisogno era modesto (27500 MW contro i circa 52000 MW del carico massimo giornaliero), essendo accaduto in una notte tra sabato e domenica. Questo fatto sembra paradossale, ma in realtà in tale condizione la potenza importata, venuta meno all'atto del distacco dalla rete europea, era una frazione molto considerevole, quasi un quarto, del fabbisogno totale nazionale. Ciò ha prodotto una perturbazione notevole e rapidissima della frequenza, come si è detto nel paragrafo precedente, vanificando molti dei dispositivi di protezione presenti. Se il deficit di potenza percentuale fosse stato considerevolmente inferiore (durante un giorno ferialo la percentuale di potenza persa rispetto ai carichi presenti sarebbe stata mediamente attorno al 15%), probabilmente i dispositivi di protezione sarebbero stati pronti a riportare il sistema in condizioni di stabilità e circoscrivere meglio i carichi distaccati, evitando il black-out dell'intero sistema elettrico italiano. Tuttavia, una riduzione percentuale di potenza così considerevole, come quella avvenuta la notte del 28/9/2003, era una condizione limite forse non adeguatamente valutata per tarare i dispositivi di protezione.

Si potrebbe pensare, quindi, che per evitare possibili black-out del sistema elettrico sia utile ridurre l'importazione di

energia dall'estero durante le ore notturne. Tuttavia, ciò non è economicamente vantaggioso, perché l'importazione è conveniente se si acquista sempre la stessa quantità di energia dall'estero nell'arco delle 24 ore. Questo significa quindi che, allo stato attuale, il sistema elettrico italiano è paradossalmente più vulnerabile quando la potenza richiesta dai carichi è minima.

Un altro problema riguarda le strategie per arginare e bloccare il fenomeno del black-out a catena, basate sui sistemi automatici di alleggerimento dei carichi [3, 4]. Essendo i carichi collegati in rete molto variabili (dal giorno alla notte, nei giorni feriali e in quelli festivi) è piuttosto complesso stabilire una strategia di intervento per scegliere opportunamente i nodi di carico da disconnettere, soprattutto quando si deve far fronte ad elevati deficit di potenza in rete rispetto alla potenza totale in transito nella rete stessa. Probabilmente uno dei motivi che non hanno consentito di rimettere in stabilità il sistema durante la crisi che ha preceduto il black-out in oggetto è stato che tali sistemi automatici erano posizionati in centri di carico che nella notte di sabato non stavano assorbendo una potenza elevata (per es. nodi residenziali). In seguito al black-out sono state inoltre riscontrate numerose carenze di alleggeritori automatici sia sui carichi collegati alla rete di alta tensione, sia sulle reti delle Aziende Municipalizzate [5]. Nonostante tutto, comunque, l'alleggerimento di carico valutato nella rete italiana sembra essere stato di circa 8000 MW, ben superiore al deficit di potenza di 6600 MW, eppure il sistema elettrico non si è stabilizzato. Infatti, il benefico effetto della riduzione automatica dei carichi può essere vanificato se i sistemi di protezione delle centrali di produzione entrano in funzione troppo velocemente. In primo luogo, infatti, le violente oscillazioni di potenza in atto nella rete possono provocare l'intervento precoce delle protezioni degli alternatori e dei servizi ausiliari. Poi, ragioni di tipo termico impongono ai gruppi termoelettrici di non poter funzionare per un tempo indefinito a frequenza minore di quella nominale; i regolatori infatti tenderebbero ad aumentare la potenza erogata dalle turbine con il possibile aumento non controllato delle temperature e/o l'esaurimento dell'inerzia termica delle caldaie. E' chiaro che quanto più è breve il transitorio di frequenza (in durata e in ampiezza), tanto meno è probabile una messa fuori servizio delle centrali di produzione. Il GRTN, però, richiede che le centrali siano in grado di operare fino a frequenze di 47,5 Hz [3, 4]. Tale condizione non è stata rispettata, poiché molti centri di produzione (soprattutto autoproduttori, centrali idroelettriche e gruppi collegati con la rete di MT) avevano tarature dei relais di minima frequenza superiori a 47,5 Hz [5].

E' importante notare che l'importazione di energia dalla Grecia attraverso il collegamento in cavo sottomarino in corrente continua (HVDC, high voltage DC) non ha subito alcuna variazione per tutta la durata del funzionamento in isola della rete elettrica, facendo transitare con continuità il flusso di potenza contrattualmente stabilito.

Alla luce delle considerazioni sin qui espresse, varie soluzioni di breve, medio e lungo periodo possono essere proposte per evitare che black-out come quello recentemente sperimentato in Italia possano ancora accadere:

1) Maggiore controllo e coordinazione delle reti elettriche transnazionali. Nel breve periodo è sicuramente auspicabile migliorare, anche tramite le tecnologie informatiche, la collaborazione tra i gestori delle reti elettriche europee, quanto meno tra quelli delle reti confinanti. Come si è discusso, infatti, un guasto nella rete X può espandersi anche nella

confinante rete Y: è necessario, quindi, che il gestore della rete Y conosca anche lo stato della rete X per essere preparato a fronteggiare eventi avversi che, pur avendo luogo in tale rete, hanno potenziali ripercussioni sulla propria [3, 5].

2) Riduzione dell'importazione di energia elettrica dall'estero. E' chiaro che un aumento della percentuale di energia elettrica prodotta in Italia rispetto a quella importata dall'estero renderebbe il nostro sistema elettrico meno dipendente dall'importazione e quindi meno vulnerabile rispetto ad eventi legati a problemi di interconnessione. D'altra parte, in un ottica di libero mercato, all'utente conviene acquistare l'energia elettrica laddove sia meno cara, ovvero dove costi meno produrla. In Italia il costo dell'energia elettrica prodotta è tra i più alti d'Europa [6], anche a causa di scelte di politica energetica effettuate verso la fine degli anni ottanta, che hanno portato ad un impiego sempre maggiore di olio combustibile e gas naturale quali fonti primarie, a differenza di altri paesi europei nei quali si continuavano ad usare combustibili fossili meno costosi, almeno secondo determinati parametri (ad es. il carbone), e si continuava a supportare la produzione a mezzo del nucleare.

Non è quindi pensabile, almeno nel breve/medio periodo, una riduzione drastica della percentuale di energia importata dall'estero, anche perché la realizzazione di nuovi impianti di produzione in Italia è sempre osteggiata dalla popolazione e dagli enti locali, per i paventati effetti negativi su ambiente e salute pubblica. In un mercato come quello dell'energia elettrica che si sta globalizzando, l'incremento della produzione nazionale da solo non è in grado di risolvere il problema, se il costo dell'energia prodotta non cala significativamente. Infatti, per i produttori italiani può risultare più semplice ed economico l'acquisto/costruzione di centrali elettriche all'estero (soprattutto nei paesi dell'Europa orientale o anche nel Nord Africa), trasferendo all'estero il processo di produzione (magari in prossimità dei centri di estrazione/produzione delle fonti primarie) e trasportando quindi il "prodotto" energia elettrica in Italia, così come avviene per altri settori produttivi e manifatturieri. Comunque, interventi di ammodernamento volti ad aumentare l'efficienza delle centrali esistenti possono sortire risultati positivi in tempi e con costi ragionevoli e possono incrementare l'effettiva disponibilità di generazione del parco centrali italiano. Ciò faciliterebbe il ruolo del Gestore del Mercato Elettrico (GME) nel garantire nell'ambito del libero mercato un'adeguata riserva di potenza per far fronte a condizioni anomale di deficit, soprattutto quando l'importazione dall'estero riveste una quota consistente della potenza prodotta [1].

3) Incremento dell'affidabilità della rete di trasmissione dell'energia elettrica. Proprio nell'ottica di un mercato elettrico globalizzato, quando la frazione di energia importata dall'estero è significativa, diventa cruciale porre la massima attenzione alla rete di interconnessione con i paesi confinanti. Le linee elettriche attuali sono poche e sfruttate quasi al limite della loro massima portata, a scapito dell'affidabilità dell'intero sistema. La costruzione di nuovi elettrodotti di interconnessione con le reti estere è sicuramente un obiettivo primario da attuarsi nel medio periodo. Se la realizzazione di nuove linee aeree è osteggiata dalle popolazioni locali, per il timore dell'effetto nocivo dei campi elettromagnetici e per l'impatto visivo (soprattutto nelle valli alpine), la costruzione di linee in cavo sotterraneo, anche se molto più onerosa economicamente, può consentire di velocizzare notevolmente i tempi per l'ottenimento dei permessi ed azzerare i costi delle servitù di passaggio, l'impatto visivo ed ambientale. Va anche osservato che, a differenza delle linee aeree, le linee in cavo

sono protette da eventi avversi esterni, quali fulminazioni, collisioni accidentali, attentati, ecc., e quindi più affidabili, se correttamente progettate e realizzate. Questa è una caratteristica essenziale per le linee di interconnessione, visto il crescente ruolo strategico che esse rivestono nel sistema elettrico nazionale, come sottolineato poc'anzi.

Negli ultimi tempi si sono studiate anche interconnessioni mediante cavi blindati isolati a gas (Gas Insulated Lines, GIL) [7]. L'alta affidabilità, garantita dall'isolante gassoso SF₆ (non soggetto ad invecchiamento elettrotermico, a differenza dei tradizionali isolanti solidi), il basso impatto ambientale e l'elevata potenza specifica trasportabile rendono questa tipologia di collegamento molto attraente. Si noti che tanto le linee in cavo, quanto le GIL sono interessanti per le interconnessioni transnazionali anche nell'ottica di sfruttare i trafori (stradali o ferroviari), esistenti o di nuova costruzione, che collegano l'Italia con i paesi oltralpe.

Inoltre, se si volesse incrementare significativamente la stabilità della trasmissione di energia, prevenendo il collasso generale della rete per "perdita di passo", si potrebbe pensare di realizzare le nuove interconnessioni transnazionali in alta tensione continua (HVDC). Infatti, come si è sperimentato per il collegamento Italia-Grecia in cavo HVDC durante il black-out del 28/9/2003, l'interconnessione HVDC consente di trasportare stabilmente sempre la stessa quantità di energia anche quando le due reti hanno frequenza diversa, in seguito ad un deficit di potenza in una delle due reti, mentre le linee di interconnessione AC, interessate da un progressivo aumento della potenza in transito a causa del deficit, vanno progressivamente fuori servizio per sovraccarico, innescando un fenomeno a catena molto difficile da limitare. Anche se il costo di una interconnessione HVDC è al giorno d'oggi più elevato del medesimo collegamento in AC, specie per linee in cavo, il collegamento HVDC può risultare conveniente in un'ottica di politica energetica complessiva, se si tiene conto dei costi socio-economici legati ad un black-out a catena, e dell'incremento di stabilità di trasmissione che i collegamenti HVDC consentono di raggiungere.

Nel breve periodo, tuttavia, molti miglioramenti possono essere realizzati già nella rete di trasmissione esistente per incrementarne l'affidabilità generale, per esempio agendo sull'efficacia dei dispositivi di alleggerimento dei carichi e di disconnessione delle centrali, che non hanno sempre funzionato a dovere durante l'ultimo black-out. Per garantire il funzionamento in isola in caso di disconnessione dalla rete europea, risulta importante quindi che tutti i centri di carico in AT, soprattutto i grossi carichi interrompibili (per es. industriali) siano dotati di un idoneo dispositivo di disconnessione automatica, onde poter alleggerire in modo efficace e immediato la domanda di energia in caso di riduzione repentina dell'energia prodotta [3, 4]. E' opportuno inoltre garantire che tutti i dispositivi di disconnessione delle centrali entrino in funzione non prima che la frequenza sia scesa sotto i 47,5 Hz [3-5].

Un'ultima considerazione, ma non meno importante delle precedenti: la prevenzione dei guasti nelle reti di trasmissione attraverso una manutenzione efficace, pur nel contenimento dei costi imposti dal libero mercato è essenziale. Ciò può essere ottenuto attraverso la diagnostica, cioè la conoscenza dello stato dei componenti che costituiscono la rete elettrica, effettuando quindi la manutenzione solo se il componente (trasformatore, cavo, generatore, ecc.) risulta invecchiato, o mostra danni tali da poter preludere al guasto in tempi più o meno brevi. Poiché la maggioranza dei guasti che avvengono nei sistemi di interconnessione ad altissima tensione (380-220

kV) sono causati dal cedimento dell'isolamento, particolarmente sollecitato a quelle tensioni, è importante monitorare lo stato dei sistemi isolanti non autoripristinanti di componenti elettrici quali cavi, isolatori, trasformatori, ecc., mediante efficaci tecniche diagnostiche. Ad esempio, la misura delle scariche parziali è oggi una delle tecniche diagnostiche più utilizzate ed efficaci per valutare lo stato dell'isolamento, ed effettuare una manutenzione "su condizione", cioè quando il componente risulta particolarmente degradato, prevenendone il guasto [8].

CONCLUSIONI

La rilevante importazione di energia elettrica dall'estero al fine di soddisfare il fabbisogno energetico nazionale rende il sistema elettrico italiano molto vulnerabile qualora avvengano brusche interruzioni di potenza su alcune linee di interconnessione, soprattutto quando la banda di potenza importata corrisponde ad una frazione molto rilevante del fabbisogno di potenza (nelle ore notturne). Per migliorare la stabilità della trasmissione di potenza ed evitare, quindi, rovinosi black-out come quello avvenuto il 28 settembre 2003, è sicuramente positivo sia centralizzare il controllo della rete elettrica europea, migliorando il coordinamento tra le reti nazionali, che aumentare la produzione nazionale o quanto meno la riserva di potenza. E' indubbio, comunque, che in un libero mercato elettrico europeo per scongiurare i black-out risulta indispensabile rafforzare le interconnessioni tra le reti nazionali, ancora meglio se realizzate in HVDC, essendo queste ultime capaci di funzionare regolarmente anche durante rapidi transitori di frequenza. In tal senso, è essenziale valutare l'impatto economico-sociale di un possibile black-out dell'intera rete elettrica italiana. I danni cagionati, infatti, potrebbero giustificare investimenti anche molto onerosi per incrementare l'affidabilità della trasmissione di potenza elettrica (per es. mediante linee di interconnessione HVDC).

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

1. Autorità per l'Energia Elettrica ed il Gas, Testo integrato delle disposizioni in materia di qualità dei servizi di distribuzione, misura e vendita dell'energia elettrica, delibera n. 247/04 del 28 dicembre 2004.
2. N. Faletti, P. Chizzolini, *Trasmissione e distribuzione dell'energia elettrica*, Patron, Bologna, Italia, 1987.
3. Piano di difesa del sistema elettrico, Monografia tecnica GRTN, 2000.
4. Criteri di taratura dei relè di frequenza del sistema elettrico, Prescrizione tecnica GRTN, 2004.
5. Black-out del sistema elettrico italiano del 28 settembre 2003, Rapporto della commissione di Indagine Ministeriale, Novembre 2003.
6. E. Lorenzini, *Dalle cronache quotidiane il dramma italiano dell'energia- J'Accuse*, Pitagora Editrice Bologna 2004.
7. R. Benato, E. M. Carlini, C. Di Mario, L. Fellin, A. Paolucci, R. Turri, "Gas Insulated Transmission Lines in Railway Galleries", *IEEE PowerTech 2003*, Bologna, Italia, Giugno 2003.
8. A. Cavallini, M. Conti, A. Contin, G. C. Montanari, "Advanced PD inference in on-field measurements. Part 2: Identification of defects in solid insulation", *IEEE Trans. on Dielectrics and Electrical Insulation*, Vol. 10, n. 3, pp. 528-538, Giugno 2003.