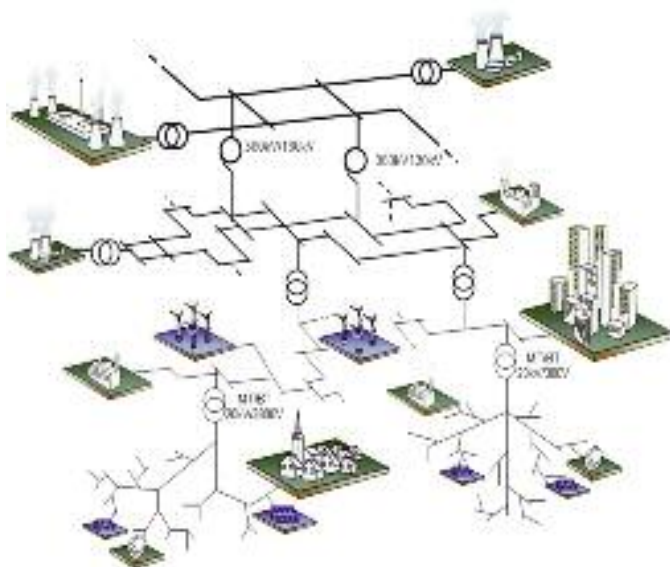


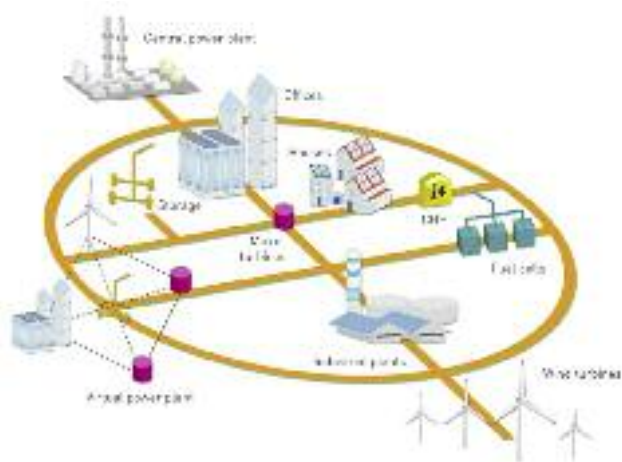
# L'evoluzione del sistema elettrico come risposta alle esigenze di sostenibilità energetica

Roberto Caldon, Roberto Turri

Dipartimento di Ingegneria Industriale  
Università di Padova



1. Immissione in rete di energia prodotta con fonti rinnovabili



2. La rete del futuro secondo European Technology Platform Smart Grids<sup>1</sup>

Gli obiettivi definiti a livello di Comunità Europea, relativi: all'aumento della produzione di energia elettrica da fonti energetiche rinnovabili, alla riduzione delle emissioni di gas climalteranti e all'aumento dell'efficienza energetica, hanno portato a una svariata gamma di iniziative che hanno come punto obbligato di passaggio l'interazione con la rete elettrica. Questo comporta che su alcune porzioni di rete l'energia derivante da fonte rinnovabile non programmabile rappresenterà una frazione rilevante del totale trasportato dall'infrastruttura (figura 1). Tutto ciò esige nuove prestazioni che stanno mettendo in difficoltà il buon funzionamento delle tradizionali reti elettriche e richiede la messa a punto di un nuovo concetto di sistema elettrico basato sull'adozione di tecnologie dell'informazione e delle telecomunicazioni (ICT). Vale a dire un nuovo sistema intelligente che, pervaso di sofisticati dispositivi di monitoraggio, automazione e controllo potrà garantire il mantenimento di livelli adeguati di affidabilità e qualità del servizio;

- presentare una rete *auto-riparantesi* capace di anticipare i problemi che possono nascere nel corso del funzionamento e di rispondere istantaneamente al fine di evitare o mitigare i casi di *black-out* o di semplice deterioramento della qualità del servizio;
- risultare meno vulnerabile nei confronti di eventi esterni o di attentati attraverso la dislocazione di nuove tecniche di protezione capaci d'individuare e reagire a eventuali manomissioni (*cyber security*) o a catastrofi naturali;
- rendere attiva la rete di distribuzione (ovvero capace di accogliere flussi bidirezionali di energia), in cui si possano collegare senza formalità aggiuntive le generazioni distribuite presso gli utenti sulla base del semplice principio di libera connessione;
- consentire agli utenti (anche quelli domestico/commerciali) di interagire con il sistema al fine di gestire adeguatamente le proprie apparecchiature utilizzatrici, ad esempio sulla base di una continua informazione sul costo dell'energia nelle varie ore della giornata.

In questo senso un'indicazione suggestiva proviene dalla *Smart Grids European Technology Platform*<sup>1</sup> che ha definito le linee guida per lo sviluppo delle reti elettriche europee con un'ottica che guarda al 2020 e oltre (figura 2). L'obiettivo finale è quello di un modello analogo a internet, in grado di accettare l'apporto di risorse energetiche distribuite secondo la filosofia della libera connessione. Il passaggio tuttavia dalle reti attuali alle così dette reti intelligenti (o *smart grids*) non sarà un'operazione semplice e immediata. Ciascuna delle nuove tecnologie con cui si troveranno a convivere le nuove reti pone inerentemente problemi funzionali al sistema. Ad esempio la penetrazione della Generazione Distribuita nelle attuali reti, progettate e gestite come reti passive (che presuppongono cioè che non vi sia iniezione significativa di potenza attiva dall'utente verso la rete) ha fatto emergere l'inadeguatezza della struttura stessa nell'accogliere le nuove presenze di generazione in quanto diventa problematico:

- il mantenimento dei profili delle tensioni lungo le linee entro i limiti stabiliti,
- il controllo dell'entità dei flussi di potenza sulle linee,
- il valore della corrente di guasto indotta dalla presenza dei generatori,
- l'efficacia dei tradizionali dispositivi di protezione.

È inoltre evidente che la gestione ottimale delle accennate nuove tecnologie interagenti con la rete (Generazione distribuita, *Home Energy Management System*, ricarica di veicoli elettrici...) richiede lo sviluppo di specifiche infrastrutture di comunicazione con caratteristiche che proveremo a descrivere sinteticamente.

## Generazione Distribuita di energia

Uno dei principali vantaggi della *smart grid* sarà la possibilità di riversare nella rete le conversioni elettriche delle risorse energetiche disperse sul territorio. In particolari casi questa possibilità di fornire energia da punti più vicini al consumatore può rappresentare una soluzione più economica e più efficiente rispetto al trasporto da punti lontani di generazioni

centralizzate. Se poi verrà consentita, in occasione di guasti sulla rete principale, l'alimentazione di porzioni di rete isolate, si potrà migliorare la continuità del servizio per le utenze interessate.

In ogni caso bisogna prima risolvere il problema del controllo della tensione ai vari nodi della rete in quanto, mentre nella distribuzione passiva i profili di tensione dipendono sostanzialmente dalla distribuzione dei carichi e hanno andamento monotono decrescente a partire dalla Cabina Primaria, in un sistema dotato di unità di Generazione Distribuita (GD), che iniettano potenza attiva e reattiva in rete, i flussi possono invertirsi sulle linee e alterare significativamente i profili di tensione (determinandone in genere un innalzamento). Se da un lato ciò può portare alcuni benefici, in termini di riduzione delle perdite e di margini più ampi rispetto ai limiti inferiori consentiti, questo accrescimento del livello di tensione può però essere la causa di pericolose sovratensioni, specialmente in prossimità del punto di immissione. Tali alterazioni sono tanto più grandi quanto più elevato è il rapporto fra la potenza della GD e la potenza richiesta dal carico e tanto più deboli sono le linee (ovvero tanto più piccolo è il rapporto delle rispettive caratteristiche di reattanza e resistenza). In conformità a quanto indicato dalla normativa sulla qualità delle forniture elettriche, la tensione di esercizio di ogni nodo della rete Media Tensione deve comunque essere compresa tra il 90 e il 110% della tensione nominale per almeno il 95% del tempo (per il restante 5% è concesso che la tensione scenda fino all'85%).

Attualmente, la regolazione di tensione nelle reti di distribuzione è eseguita in Cabina Primaria, sulla sbarra di partenza delle varie linee (*feeder*), attraverso l'azione del variatore sotto carico del trasformatore AT/MT.

Appare evidente che il funzionamento di una rete di distribuzione resa attiva richiede l'impiego di *controllori* capaci di monitorare le condizioni complessive del sistema, di risolvere le problematiche d'intervento delle protezioni, di controllare i parametri di qualità del servizio di distribuzione (livelli di tensione, compensazione delle armoniche ecc.) ed eventualmente coordinare il passaggio a regimi di funzionamento particolari della rete come ad esempio l'operatività in isola di porzioni del sistema di distribuzione.

Le logiche di controllo attivo della rete di distribuzione con GD si possono prevedere secondo diverse filosofie: da quella estrema basata sul controllo con strutture completamente centralizzate fino a quella di sistemi integrati di strutture a *intelligenza distribuita*.

La cooperazione delle singole regolazioni locali degli impianti di generazione con la gestione centralizzata del funzionamento della rete (eseguita dal distributore) può prevedere diversi livelli di integrazione gradualmente implementabili, fino a giungere a un completo controllo integrato attuato in tempo reale. Si parla allora di *Distribution Management System* (DMS), concettualmente costituito da tre blocchi fondamentali quali:

- Stima dello Stato (*State Estimation*), nel quale si esegue la stima dello stato della rete basandosi su misure provenienti da apparecchiature locali o remote.
- Ottimizzazione del controllo (*Optimal Control*) che definisce i valori ottimali delle grandezze controllate in funzione delle risorse disponibili nella rete.
- Esecuzione del controllo (*Control Scheduling*) che elabora e invia i parametri ottimali di regolazione.

## Infrastruttura avanzata di metering

L'adozione del contatore digitale che sta avvenendo in molti paesi industrializzati, insieme alla struttura di comunicazione utenze-distributore per l'effettuazione delle tele-letture, è ritenuta la base di partenza per la realizzazione di una gestione avanzata delle forniture elettriche.

Gran parte delle stime di investimenti previsti per l'implementazione delle *smart grid* in Europa sarà focalizzata sullo sviluppo e installazione di sistemi di *smart metering*; su questo tema specifico, riguardo al quale il nostro paese vanta un primato assoluto, a livello europeo sarà destinato circa il 56% delle risorse.

La trasformazione del mercato elettrico, che ha portato alla scomparsa dei clienti vincolati e alla conseguente presenza di *provider* in accesa competizione nella fornitura del servizio elettrico, ha fatto emergere nuove esigenze nelle modalità di interazione con l'utenza e conseguenti nuove opportunità da sfruttare, come ad esempio:

**a** funzioni più sofisticate di gestione della fornitura, ovvero, oltre alla tele-lettura dei dati di consumo, anche l'applicazione di tariffe basate sulle variazioni orarie e stagionali dei costi dell'energia; la tele-modificazione del valore della soglia di intervento dell'interruttore, al fine di adeguarla al valore della potenza impegnata, in occasione di variazioni contrattuali; lo scambio di informazioni sull'andamento dei consumi e su aspetti contrattuali (es: cambio piano tariffe, fatture non pagate ecc.); il preavviso di situazioni di emergenza dovute a lavori programmati sulla rete di distribuzione;

**b** la possibilità di monitorare, secondo le specifiche regolatorie, la qualità del servizio erogato all'utilizzatore finale (es: numero e durata delle interruzioni);

**c** l'opportunità di sfruttare il collegamento elettrico per fornire nuovi servizi all'utenza quali:

- la tele-lettura di altre forniture come acqua e gas;
- l'uso di onde convogliate su collegamento elettrico per attivare comunicazioni bidirezionali (audio, video, webcam).

**La Smart Grids European Technology Platform ha definito le linee guida per lo sviluppo delle reti elettriche europee con un'ottica che guarda al 2020 e oltre. L'obiettivo finale è quello di un modello analogo a internet, in grado di accettare l'apporto di risorse energetiche distribuite secondo la filosofia della libera connessione**

## Gestione ottimale d'utenza (*Home Energy Management System*)

La stessa utenza finale può costituire un *nodo intelligente* dove un sistema di controllo domestico è in grado di gestire in modo ottimale gli apparecchi utilizzatori, le possibili generazioni elettriche e gli eventuali accumuli (figura 3). Si potrà così sfruttare più facilmente sinergie tra le esigenze di chi deve gestire la rete, di chi vende il servizio di fornitura e di chi usufruisce di tale servizio. A fronte ad esempio di una politica commerciale di *Real Time Pricing* (RTP), in modo che a livello domestico o di edificio si possa recepire in tempo quasi reale il prezzo del kWh, corrispondente alle richieste di carico provenienti alla rete, e adeguare di conseguenza i profili di consumo a valle. Ciò richiede sistemi intelligenti di utenza (*Home Energy Management System*) in grado di gestire automaticamente dispositivi di accumulo per ridurre i picchi di prelievo di potenza dalla rete e di programmare l'accensione degli apparecchi domestici conciliando le esigenze della distribuzione con i vincoli irrinunciabili dell'utente. Lo scenario tipico del sistema di Energy Management per un smart building include: un'infrastruttura di comunicazione, dei sistemi di misura dei consumi locali nei diversi sottosistemi, un contatore di nuova generazione (smart-meter), un controllore di utenza dotato di visore, e possibilmente un sistema di co-generazione. La rete di comunicazione che permette lo scambio di informazioni all'interno di uno *smart building* tra i diversi sottosistemi e il *controllore d'utenza* può essere sia di tipo a onde convogliate su linea elettrica sia di tipo radio (ad es. ZigBee™).

Il controllore di utenza raccoglie: le informazioni relative alla richiesta di energia da parte degli apparecchi utilizzatori, le informazioni delle tariffe del distributore per mezzo dello smart-meter, le informazioni relative alla capacità di generazione di un eventuale sistema di cogenerazione e quindi può elaborare delle strategie di utilizzo dell'energia, a livello di tutta l'abitazione, coordinate con il fornitore dell'energia (figura 3).

## Veicoli elettrici con ricarica (*Plug-In Electric Vehicles*)

I veicoli fanno parte della nostra vita quotidiana e hanno responsabilità importanti nel consumo mondiale di energia e dell'inquinamento ambientale. Una soluzione, prospettata per il contenimento dei gas serra e per ridurre la dipendenza dai prodotti petroliferi, è quella dell'auto elettrica. Dopo una gestazione di ricerche più che trentennali, si sta manifestando un rinnovato interesse spinto da alcuni fattori concomitanti che sono, oltre alla pressione ambientale, il progresso della tecnologia delle batterie e la consapevolezza dell'industria dell'auto di dover creare un nuovo mercato essendo l'attuale pressoché saturato.

Sebbene i veicoli elettrici non siano ancora stati adottati su larga scala, in molti paesi i governi, le *utility* e le società automobilistiche si stanno interrogando sulle opportunità che possono derivare e sulle questioni che restano aperte in prospettiva, prima fra tutte l'infrastruttura di ricarica. Si parla infatti di veicoli elettrici ricaricabili dalla rete elettrica di distribuzione e contraddistinti dalla notazione *plug-in*: possono essere veicoli dotati di sola propulsione elettrica ovvero *Plug-In Electric Vehicles* (PEV) oppure dotati in aggiunta anche di un motore a combustione interna ovvero *Plug-In Hybrid Electric Vehicles* (PHEV). La prevedibile diffusione di questi mezzi di mobilità richiederà, oltre alla ricarica privata, anche una struttura pubblica di rifornimento in parcheggi cittadini o in aree condivise. In questo caso deve avvenire il riconoscimento del cliente o del veicolo per la fatturazione dell'energia prelevata attraverso tecnologie RFID (*Radio Frequency Identification*) o attraverso la comunicazione diretta tramite il cavo di ricarica. La ricarica può avvenire con potenze modeste e tempi lunghi (es. notte-tempo) oppure con tempi della decina di minuti ma con la richiesta di potenze più rilevanti che in condizioni di contemporaneità potrebbero sovraccaricare la rete mettendo a dura prova i trasformatori della maggior parte delle cabine MT/BT.

Per evitare la necessità di un potenziamento delle reti (con la costosa sostituzione dei trasformatori) occorre una gestione centralizzata delle ricariche in grado di redistribuire le curve di carico nel corso della giornata.

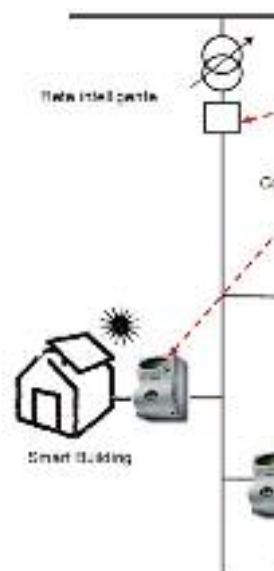
Una tale gestione è possibile se si attua una comunicazione bidirezionale con i punti di ricarica. E questo ci riporta in uno scenario di reti intelligenti dove peraltro le auto elettriche possono diventare utili anche per fornire servizi di supporto alla rete (servizi ancillari). Infatti, considerando che le autovetture restano ferme per la gran parte del tempo (mediamente sono in movimento per due ore al giorno mentre sono parcheggiate le restanti 22 ore) si può pensare che le auto in sosta, connesse alla rete attraverso convertitori statici bidirezionali, siano pronte ad assorbire o a cedere energia. I relativi accumulatori potrebbero così assorbire gli eccessi di produzione riversata in rete (ad esempio quella irregolare di certe fonti rinnovabili) e restituirli al sistema nei momenti di maggior bisogno.

In definitiva, per un sistema diffuso di mobilità elettrica sul territorio, appare evidente la necessità di un Centro di Controllo (*Electric Mobility Management*) e una piattaforma di comunicazione che può supportare i seguenti tipi di operazioni di controllo (figura 4):

- identificare e autorizzare il cliente ad effettuare la ricarica;
- dialogare con il veicolo per conoscere la modalità di ricarica richiesta;
- elaborare in tempo reale le richieste pervenute nei vari punti della rete al fine di stabilire il sovraccarico che ne deriva e decidere se ritardare o addirittura rifiutare l'operazione di ricarica, nel caso vi sia una concentrazione eccessiva di domanda.



3. Sistema di «Home Energy Management» in uno *Smart Building*



4. Piattaforma di comunicazione per la gestione della mobilità e l'integrazione con la rete elettrica

*si tratta di una rivoluzione che potrà avere un impatto sociale paragonabile a quello che hanno avuto altre memorabili infrastrutture quali: la rete autostradale, la stessa rete elettrica nel secolo scorso e attualmente il sistema di comunicazioni*



## La scelta delle tecnologie di comunicazione per le *smart grid*

Poiché le reti del futuro esigono di essere gestite come un *web* alla stregua di Internet, con la capacità di instradare i flussi di potenza sulle linee mediante dispositivi come i FACTS (*Flexible Alternate Current Transmission Systems*) così come avviene con i routers per le informazioni, si prevede la necessità di protocolli che impongano interfacce e componenti standard, tali da garantire una connessione senza alcuna formalità per gli elementi che si allacciano alla rete.

Diverse sono le tecnologie di comunicazione candidate a supportare in questo senso l'evoluzione delle reti elettriche, alcune già mature anche nelle applicazioni al sistema elettrico, altre pionieristiche o ad uno stadio preliminare di sperimentazione.

Nel panorama oggi conosciuto, si possono considerare le:

- reti di comunicazione via cavo;
- reti di comunicazione su fibra ottica;
- reti di comunicazione mediante onde convogliate (PLC);
- reti di comunicazione cellulari;
- reti di comunicazione *wireless*;
- reti di comunicazione satellitari.

Fra tutte queste tecnologie, oggi risulta difficile intravedere per le reti elettriche un unico sistema di comunicazione in grado di soddisfare contemporaneamente i requisiti tecnici ed economici rispettivamente richiesti dalle funzioni di gestione e di protezione.

Nella fattispecie, le reti cellulari e quelle satellitari non sembrano consentire, dati i tempi relativamente elevati per l'instaurazione della connessione, un corretto funzionamento ai sistemi di protezione; le reti in cavo o in fibra ottica, nonostante garantiscano le migliori prestazioni di trasmissione, risentono pesantemente della necessità della posa di opera delle rispettive linee e del costo elevato che questo comporta, ove non siano già disponibili dei collegamenti.

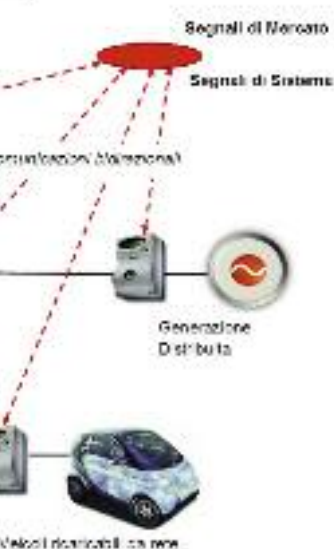
## Stato e prospettive dello sviluppo

Per mantenere gli impegni assunti per il 2020<sup>2</sup> e oltre, per quanto riguarda la percentuale di generazione da fonti rinnovabili da integrare in rete, l'Europa dovrà necessariamente mobilitare istituzioni, enti di ricerca e industria per la realizzazione di un sistema elettrico dotato di *reti intelligenti* in tempi certi. Si può dire che le *smart grid* consentiranno la transizione dalla concezione attuale delle reti elettriche verso un approccio più moderno, ottimizzato, di un'infrastruttura in grado di scambiare informazioni con tutti i propri nodi e di adattarsi alle diverse condizioni, anche in caso di guasto. In prospettiva la rete elettrica esistente e le tecnologie di comunicazione saranno pertanto connesse in un'infrastruttura integrata in modo da formare un nuovo sistema intelligente. Il progetto appare comunque un'impresa colossale sia per le dimensioni del sistema su cui bisogna operare, sia per la varietà degli sviluppi richiesti in ambito tecnologico, organizzativo, regolatorio e di mercato. Basta pensare ad esempio alle dimensioni della rete interconnessa europea: si tratta del più esteso manufatto tecnologico creato dall'uomo, ovvero di una struttura:

- che serve 430 milioni di utilizzatori fornendo complessivamente 2.500 miliardi di kWh per anno;
- che ha una potenza installata di 560 milioni di kW;
- che ha uno sviluppo di rete per circa 230.000 km in Alta Tensione e per circa 5 milioni di km in Media e Bassa tensione.

Appare dunque fondamentale, in questo contesto, il ruolo che dovrà svolgere la ricerca nelle sue articolazioni di ricerca di base, ricerca applicata e ricerca industriale. In molti paesi del mondo la comunità scientifica è impegnata da qualche anno sul tema delle *smart grid*. Si può affermare tuttavia che i Paesi più attivi in questo campo sono senza dubbio l'Unione Europea e gli Stati Uniti d'America<sup>3-6</sup>.

I principali problemi per la realizzazione oggi delle *smart grid* riguardano gli aspetti regolatori ed economici: da una parte l'assenza di un quadro di regole trasparenti e condivise appare al momento il maggior ostacolo alla diffusione delle soluzioni più innovative di gestione, dall'altra la necessità di adeguati investimenti che, date le dimensioni del sistema, non possono che essere ingenti. Bisogna comunque considerare che si tratta di una rivoluzione che potrà avere un impatto sociale paragonabile a quello che hanno avuto altre memorabili infrastrutture quali: la rete autostradale, la stessa rete elettrica nel secolo scorso e attualmente il sistema di comunicazioni.



## Bibliografia e note

1. UE: «European Smart Grids Technology Platform – Vision and Strategy for Europe's Electricity Networks of the Future», European Commission – European Communities, UE 2006. Vedi: [http://ec.europa.eu/research/energy/pdf/smartgrids\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/research/energy/pdf/smartgrids_en.pdf).
2. Il pacchetto clima-energia, approvato dal Parlamento Europeo, si propone di conseguire per il 2020 i seguenti obiettivi: ridurre del 20% le emissioni di gas a effetto serra, portare al 20% il risparmio energetico e aumentare al 20% il consumo di fonti rinnovabili.
3. ETSO-E, EDSO: «The European Electricity Grid Initiative (EEGI) – Roadmap 2010-2018 and Detailed Implementation Plan 2010-2012», maggio 2010. Vedi: [http://ec.europa.eu/energy/technology/initiatives/doc/grid\\_implementation\\_plan\\_final.pdf](http://ec.europa.eu/energy/technology/initiatives/doc/grid_implementation_plan_final.pdf).
4. UE: «The European Strategic Energy Technology Plan – SET PLAN Towards a low-carbon future», European Commission – European Communities, 2010. Vedi: [http://ec.europa.eu/energy/technology/set\\_plan/set\\_plan\\_en.htm](http://ec.europa.eu/energy/technology/set_plan/set_plan_en.htm).
5. UE: «Smart Grids: from innovation to deployment», aprile 2011. Vedi: [http://ec.europa.eu/commission\\_2010-2014/oettinger/headlines/news/2011/04/20110412\\_en.htm](http://ec.europa.eu/commission_2010-2014/oettinger/headlines/news/2011/04/20110412_en.htm)
6. U.S. Department of Energy: *2010 Smart Grid System Report*, febbraio 2012. Vedi: <http://energy.gov/sites/prod/files/2010%20Smart%20Grid%20System%20Report.pdf>
7. National Energy Technology Laboratory: *Understanding the Benefits of the Smart Grid*, giugno 2010. Vedi: [http://www.netl.doe.gov/smartgrid/referenceshelf/whitepapers/06.18.2010\\_Understanding%20Smart%20Grid%20Benefits.pdf](http://www.netl.doe.gov/smartgrid/referenceshelf/whitepapers/06.18.2010_Understanding%20Smart%20Grid%20Benefits.pdf).