

Il ruolo della fusione negli scenari di lungo periodo

Gli scenari di lungo periodo mostrano che la fusione, se sarà competitiva dal punto di vista dei costi potrà avere un ruolo significativo nella transizione energetica, in particolare nel caso di traiettorie di decarbonizzazione molto ambiziose. Inoltre, questa tecnologia, seppure ancora lontana, può contribuire a rendere meno complessa la gestione in sicurezza del sistema elettrico del futuro

DOI 10.12910/EAI2019-016

di **Francesco Gracceva**, ENEA, **Chiara Bustreo**, Consorzio RFX, Associazione EURATOM-ENEA sulla Fusione, Padova, Italia, **Yolanda Lechón**, Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas, Madrid, Spain **Markus Biberacher**, Research Studios Austria Forschungsgesellschaft mbH, Salzburg, AUSTRIA, **Danilo Dongiovanni**, ENEA

Nella seconda metà del XXI secolo l'energia da fusione può contribuire a soddisfare una quota significativa della domanda elettrica globale. La fusione rappresenta infatti un'opportunità per produrre grandi quantità di energia elettrica con consumi contenuti di combustibile e soprattutto senza emissioni di gas serra. Sebbene si preveda che la fusione non sarà disponibile prima della metà del secolo, ciò non significa che sia prematura la valutazione del suo possibile contributo al sistema energetico del futuro. Questo perché cambiamenti sostanziali

del sistema energetico sono possibili solo nel medio-lungo periodo, perché caratteristiche essenziali di quest'ultimo sono l'inerzia e la *path-dependence* (WEF, 2019). Inoltre, la necessità di una transizione verso un sistema più sostenibile richiede la fissazione di obiettivi energetici e ambientali a medio e lungo termine e l'individuazione di traiettorie di sviluppo del sistema, in termini di combinazione di tecnologie e combustibili, in grado di aiutare a raggiungere tali obiettivi a costi minimi e con il massimo livello di sicurezza energetica. Poiché è impossibile prevedere l'evoluzione di lungo periodo

di un sistema complesso come quello energetico, si è affermato l'utilizzo delle analisi di scenario, che permettono di esplorare le conseguenze che ipotesi diverse sulle variabili chiave (di tipo socio-economico, politico, tecnologico) possono avere sull'evoluzione del sistema.

Il programma di ricerca di EUROfusion prevede al suo interno una attività di ricerca socio-economica (Socio-Economic Studies, SES, <https://collaborators.euro-fusion.org/collaborators/socio-economics/>), al cui centro vi è appunto lo sviluppo di scenari esplorativi finalizzati a investigare il possibile

ruolo delle tecnologie di fusione nel futuro sistema energetico globale.

Il modello EUROfusion TIMES

I modelli quantitativi del sistema energetico, che rappresentano in modo semplificato il funzionamento del sistema, sono uno dei principali strumenti utilizzati dagli analisti per produrre e valutare scenari alternativi del sistema, sia per attività di ricerca sia a supporto delle scelte di policy. Essi rendono infatti possibile simulare l'evoluzione del sistema sotto diverse ipotesi e vincoli, al fine ad esempio di esplorare le condizioni necessarie perché si sviluppino determinate traiettorie tecnologiche, o di individuare strategie “robuste” rispetto a un insieme di possibili traiettorie alternative.

Il programma SES di Eurofusion ha al suo centro lo sviluppo e l'utilizzo di un modello del sistema energetico globale, il modello ETM (EUROfusion TIMES model), basato sul generatore di modelli TIMES (The Integrated MARKAL-EFOM System) sviluppato dal programma Energy Technology Systems Analysis Programme (ETSAP) dell'Agenzia Internazionale dell'Energia (Loulou et al. 2016). La prima versione del modello ETM fu sviluppata nel 2004 (ORDECSYS, 2004) e da allora le successive modifiche hanno continuato a riflettere i cambiamenti in corso nei mercati dell'energia. Una motivazione importante di questo lavoro sta nel fatto che la fusione è stata finora raramente considerata nella letteratura sugli scenari di lungo periodo del sistema energetico globale. Il modello ETM è un modello dell'intero sistema energetico globale, diviso in 17 regioni, di cui simula l'evoluzione fino al 2100. Esso include una rappresentazione

molto dettagliata delle tecnologie che caratterizzano il sistema energetico, dall'approvvigionamento delle fonti primarie ai processi di conversione, trasporto e distribuzione dell'energia, fino ai dispositivi di uso finale per la fornitura dei servizi energetici (per ogni regione sono descritte più di un migliaio di tecnologie energetiche).

L'analisi di scenario

La letteratura evidenzia come i sistemi economici, sociali e tecnologici non posseggano le caratteristiche necessarie perché sia possibile costruire modelli che siano *validabili*, per cui qualunque modello utilizzato per prevedere il futuro di questi sistemi è inevitabilmente destinato ad essere *inaccurato* (Hodges e Dewar, 1992). Per aggirare questo limite strutturale si è affermato l'uso delle analisi di scenario. Gli scenari non sono *previsioni*, ma “alternative image of how the future could unfold” (IIASA WEC, 1997), ciascuna delle quali basata su un insieme di ipotesi internamente coerenti circa le variabili chiave del sistema e le relazioni che le legano, ipotesi derivate dall'esperienza storica e dunque corrispondenti allo stato attuale delle conoscenze.

Per questo lavoro l'individuazione degli scenari da esplorare è partito dall'elaborazione di alcune *storylines*, cioè descrizioni discorsive di possibili evoluzioni future del sistema costruite attorno a ipotesi diverse su quattro “incertezze critiche”, cioè fattori che si suppone possano avere un'importanza notevole per lo sviluppo della fusione e che allo stesso tempo sono caratterizzati da un elevato grado di incertezza:

- la stringenza degli obiettivi di riduzione delle emissioni di CO₂,

da cui deriva una propensione più o meno marcata alla diffusione delle tecnologie low-carbon;

- la sensibilità e responsabilità ambientale degli attori del sistema economico, da cui deriva una propensione più o meno marcata alla crescita della domanda di servizi energetici;
- la disponibilità degli operatori a prendere decisioni di investimento con un'ottica di lungo piuttosto che di breve periodo, da cui deriva una maggiore o minore propensione all'investimento in tecnologie con tempi di ritorno dell'investimento anche non brevi;
- il grado di interconnessione e cooperazione fra le regioni del mondo, da cui può derivare una maggiore possibilità di minimizzare il costo del raggiungimento di obiettivi climatici stringenti.

La combinazione delle diverse ipotesi relative a queste *incertezze critiche* ha portato alla definizione di tre famiglie di scenari, una delle quali declinata in due varianti:

- *storyline Harmony*: un mondo nel quale viene condivisa una traiettoria di riduzione delle emissioni di CO₂ molto stringente, coerente con il Representative Concentration Pathway 2.6 dell'IPCC (l'unico in linea con l'obiettivo di contenere l'incremento della temperatura globale ben al di sotto dei 2 °C; Figura 1; IPCC 2014), grazie alla diffusa sensibilità ambientale degli operatori, che li induce ad un'ottica di lungo periodo negli investimenti, e alla cooperazione tra regioni del mondo;
- *storyline Paternalism*: un mondo nel quale l'obiettivo di una forte riduzione delle emissioni è solo parzialmente condiviso da tutta la popolazione mondiale, per cui la sensibilità ambientale è differenziata

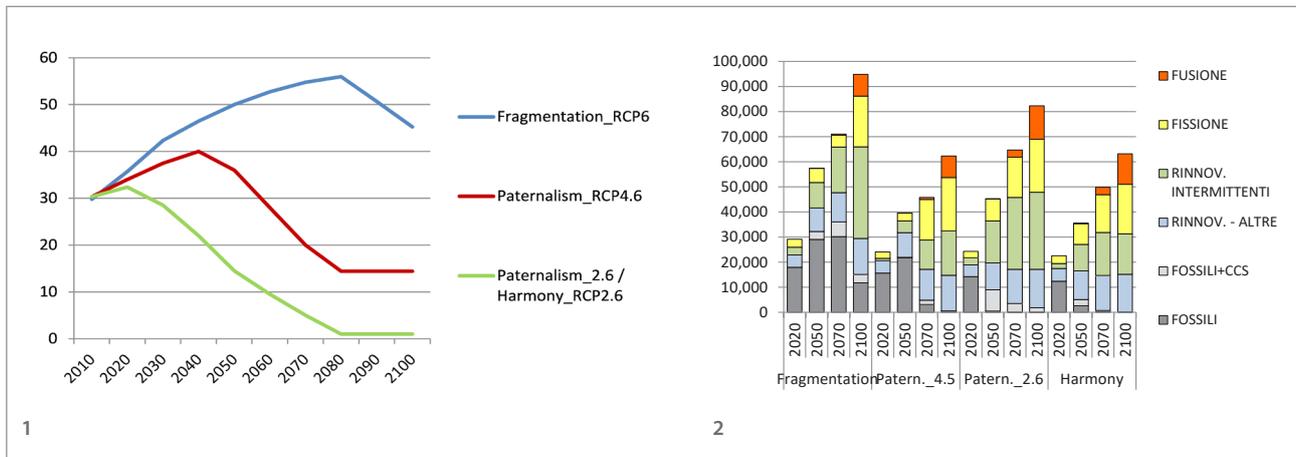


Fig. 1 Traiettorie delle emissioni di CO₂ nelle tre storyline (Gt di CO₂); Fig. 2 Generazione elettrica nelle diverse storyline (scenario O2)

tra le regioni del pianeta e le decisioni di investimento hanno un'ottica di medio periodo; due varianti sono possibili riguardo alla traiettoria delle emissioni di CO₂, a seconda della capacità dei decisori di “imporre” ai consumatori cambiamenti non completamente condivisi: una traiettoria corrispondente al RPC 4.5 dell'IPCC e una al RPC 2.6 (Figura 1);

- storyline *Fragmentation*: un mondo caratterizzato da debole sensibilità ambientale, nel quale gli operatori adottano un'ottica di breve periodo nelle loro decisioni di investimento; inoltre, gli obiettivi di riduzione delle emissioni di CO₂ sono poco stringenti e fissati a livello regionale.

Risultati

Ogni storyline rappresenta il contesto di riferimento di un ampio numero di scenari (24), costruiti combinando ipotesi diverse circa alcune tecnologie energetiche di particolare rilievo:

- L'effettiva disponibilità o meno della fusione come tecnologia di generazione elettrica entro la fine de secolo, nel primo caso con due

diverse ipotesi riguardo ai suoi costi.

- L'effettiva disponibilità su larga scala di impianti di generazione elettrica con cattura e sequestro della CO₂, tenendo conto che secondo la IEA la tendenza attuale è decisamente non in linea con quella del Sustainable Development Scenario (<https://www.iea.org/tcep/power/ccus/>).
- Il potenziale di sviluppo del nucleare a fissione, legato all'accettazione sociale della tecnologia, con ipotesi estreme che vanno dalla realizzabilità di un parco nucleare pari su scala globale a più di cinque volte quello attuale a un parco invece perfino più ridotto dell'attuale.
- L'inclusione dei costi esterni nei costi di investimento e di O&M delle diverse tecnologie di generazione elettrica.

Lo spettro di scenari elaborati permette di esplorare un ampio insieme di possibili traiettorie del sistema energetico globale e di provare individuare alcune possibile condizioni necessarie perché la fusione possa avere un ruolo di rilievo. In tutti gli scenari analizzati la fusione è resa disponibile dal 2050. Tuttavia, la logica di minimizzazione dei costi del sistema fa sì che fino al 2060 la fusione

non vada oltre valori relativamente marginali, per gli elevati costi di investimento dei primi anni.

La fusione nelle diverse storyline

Il primo risultato dell'analisi è che è possibile descrivere diversi scenari nei quali la fusione può avere una parte significativa del futuro sistema energetico. La Figura 2 mostra come le diverse tecnologie di generazione elettrica partecipano all'evoluzione del fuel mix del sistema elettrico nel tempo nelle tre storyline (una delle quali, Paternalism, nelle due varianti relative alle emissioni di CO₂). Il confronto è effettuato considerando per ogni storyline lo scenario O2, che prevede la disponibilità della CCS e ipotesi ottimistiche sia sul potenziale del nucleare a fissione sia sui costi della fusione.

La famiglia di scenari *Fragmentation* mostra un mondo nel quale la domanda di elettricità è decisamente più elevata rispetto alle altre famiglie di scenari, sia perché è decisamente maggiore la domanda di servizi energetici, che sconta la scarsa sensibilità ambientale ipotizzata in questa storyline, sia perché sono

minori gli incrementi di efficienza energetica del sistema (penalizzati dall'ottica di breve periodo delle scelte di investimento). A ciò si aggiunge un vincolo molto blando sulla traiettoria di emissioni di CO₂, che possono continuare a crescere fino al 2080, con la conseguenza di un largo uso di fonti fossili.

Lo scenario *Fragmentation_02* descrive dunque un sistema elettrico nel quale ancora nel 2070 poco meno della metà della generazione elettrica proviene da fonti fossili, sebbene questa scenda poi rapidamente negli ultimi decenni del secolo, restando tuttavia in termini assoluti su valori ancora significativi. In questa storyline si registra inoltre una significativa produzione di energia da impianti con CCS fin quasi alla fine dell'orizzonte temporale. Le rinnovabili presentano comunque un crescita costante, e sebbene fino al 2070 restino più indietro rispetto alla penetrazione che si registra nelle altre storyline, alla fine dell'orizzonte temporale arrivano a circa 50 PWh, il massimo delle diverse storyline, con una quota della produzione totale superiore al 50%, un valore maggiore di quello che si registra nello scenario 02 delle famiglie *Paternalism_4.5* e perfino *Harmony* (la famiglia con il più ambizioso obiettivo climatico).

Quanto alla fusione, in questa storyline tende a svilupparsi solo alla fine dell'orizzonte temporale, e l'elevata domanda elettrica fa sì che il suo contributo al mix resti al di sotto del 10%, il valore più basso dei quattro scenari rappresentati in Figura 2. Lo stesso vale per la fissione, che però si sviluppa fino al valore corrispondente all'ipotesi della massima diffusione della tecnologia (pari a circa cinque volte l'attuale). La combinazione di forte crescita della domanda e

di limiti allo sviluppo della fissione spiega dunque la forte crescita delle rinnovabili che nel lungo periodo si registra in questo scenario.

Le due varianti della famiglia di scenari *Paternalism* producono risultati piuttosto diversi tra loro, legati fondamentalmente alla notevole differenza nel tasso di elettrificazione del sistema. Nel caso *Paternalism_4.5* il vincolo ambientale molto meno stringente riduce infatti la necessità di elettrificazione, cosicché alla fine del secolo la domanda di energia elettrica è dell'ordine dei 60 PWh, mentre nel caso *Paternalism_2.6* la domanda supera gli 80 PWh (+30%). Nel caso *Paternalism_4.5* il nucleare a fissione si colloca di nuovo sulla produzione massima ipotizzata nell'analisi, ma grazie alla minore domanda elettrica esso rappresenta ora una quota molto elevata del fuel mix (34%), mentre la produzione da rinnovabili raggiunge il 50% (circa 30 PWh) e la fusione resta al di sotto dei 10 PWh, pur superando comunque alla fine del secolo il 10% del mix. Il caso *Paternalism_2.6* porta a una produzione da rinnovabili molto maggiore che nel caso precedente (45 PWh, +50%), perché di nuovo la capacità installata del nucleare a fissione raggiunge il potenziale massimo ipotizzato. A beneficiare della combinazione di maggiore elettrificazione e del più stringente vincolo ambientale è anche la fusione, che in questo scenario raggiunge il valore più elevato in termini assoluti (più di 13 PWh), sebbene non in termini relativi. È interessante infine come questo sia anche lo scenario nel quale è maggiore la produzione da impianti con CCS alla metà del secolo (fino a 1/5 del totale), perché in quella fase la forte elettrificazione li rende evidentemente necessari per

superare i vincoli che non permettono incrementi ulteriori della generazione da rinnovabili e da fissione. Dopo il 2070, quando tra l'altro aumenta via via la disponibilità della fusione, gli impianti fossili con CCS sembrano invece non in grado di competere con nessuna delle alternative.

Lo scenario 02 della famiglia *Harmony* è simile allo scenario 02 della famiglia *Paternalism_2.6*, ma si caratterizza per una produzione di elettricità inferiore, grazie all'ipotesi di forte responsabilità ambientale che, nonostante la spinta all'elettrificazione proveniente dall'ambizioso obiettivo ambientale, riduce la domanda di servizi energetici. Ne beneficia il ruolo del nucleare, sia da fissione sia da fusione, la cui competitività è maggiore rispetto a rinnovabili e CCS: la fissione supera in questo scenario il 30% del mix, sebbene resti al di sotto della produzione massima registrata in altri scenari, mentre la fusione raggiunge in questo scenario il suo massimo in termini di quota sul fuel mix, avvicinandosi al 20%. La storyline *Harmony* è dunque quella in cui, in modo parzialmente controintuitivo, risulta relativamente più bassa la quota di produzione da rinnovabili. La più contenuta domanda elettrica comporta invece che la generazione da nucleare e da rinnovabili sia sufficiente a soddisfare la domanda senza necessità di ricorso alla generazione da fossili con CCS, la quale peraltro, avendo un fattore di emissione di CO₂ non nullo, è incompatibile con la necessità di azzeramento delle emissioni che caratterizza questa storyline.

Il ruolo della fusione nel mix elettrico globale sembra dunque strettamente legato al futuro percorso di decarbonizzazione: quanto più quest'ultimo è ambizioso tanto maggiore

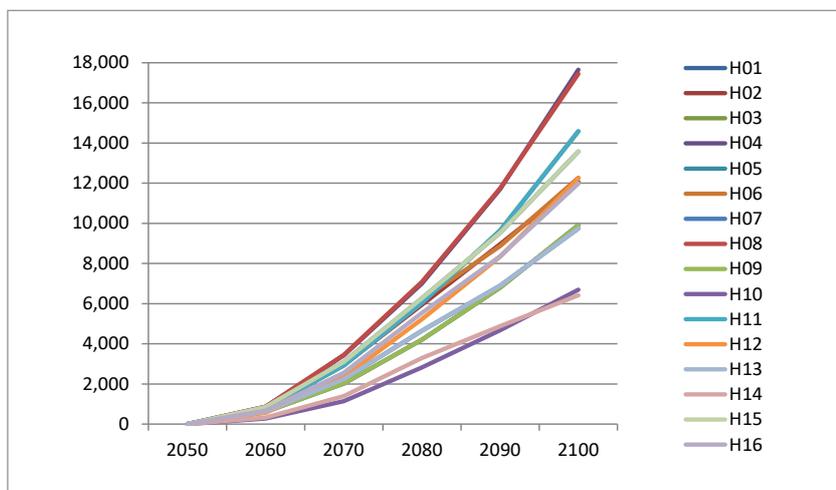


Fig. 3 Generazione elettrica da fusione negli scenari "Harmony" (TWh)

è il ruolo della fusione. Gli scenari 02 dello storyline Harmony e Paternalism_2.6 implicano l'installazione entro il 2100 di ben più di un migliaio di impianti di nucleare a fusione da 1 GW.

La fusione negli scenari RCP 2.6

I 24 scenari elaborati per ogni storyline (Figura 3) permettono di valutare anche l'importanza relativa che sul possibile sviluppo della fusione possono avere alcuni altri fattori più propriamente legati all'evoluzione delle tecnologie alternative disponibili in futuro: il costo della fusione, la diffusione della fissione, la disponibilità della CCS, l'inclusione dei costi esterni in tutte le tecnologie di generazione. Infine, l'ipotesi di completa indisponibilità della fusione almeno per tutto l'orizzonte temporale dell'analisi permette di valutare quanto la fusione possa cambiare il fuel mix globale.

Figura 3: Generazione elettrica da fusione negli scenari 'Harmony' (TWh)

La Figura 3 mostra come la combinazione delle diverse ipotesi,

applicate in questo caso alla storyline Harmony, produca traiettorie di sviluppo dell'elettricità da fusione molto differenziate, con la produzione che alla fine del secolo va da un minimo di 6.000 TWh a un massimo di 18.000 TWh. In termini di importanza relativa, nello scenario meno favorevole (H14) la fusione arriva a rappresentare il 5% del mix nel 2080 e il 10% nel 2100, mentre nei due scenari più favorevoli (H04 e H08) la fusione supera ampiamente il 10% del mix già nel 2080 e a fine secolo si avvicina alla soglia del 30%. La Figura 4 mostra come varia la generazione elettrica da fusione in relazione al variare delle ipotesi sui quattro fattori descritti sopra. Lo scenario che costituisce il punto di partenza dell'analisi è lo scenario H08, come detto uno dei due scenari più favorevoli per la fusione, grazie alle ipotesi di assenza della CCS e di diffusione limitata del nucleare da fissione (in questo scenario la produzione eolica e solare decrescono rapidamente con il progressivo sviluppo della fusione). Dalla Figura 4 emerge chiaramente come il fattore

che ha la maggiore influenza sulle prospettive della fusione sia come prevedibile il costo al quale la fusione stessa sarà disponibile. Nell'ipotesi di costi di investimento maggiori del 30% rispetto all'ipotesi di riferimento, la produzione elettrica da fusione perde più di 5 PWh, con una quota del fuel mix che a fine secolo resta al di sotto del 20% (rispetto al 28% dello scenario H08). A parità di produzione da fissione, vincolata per ipotesi a valori simili agli attuali, il maggior costo di investimento determina infatti la sostituzione di generazione da fusione con eolico e solare.

La rimozione dell'ipotesi di un limite stringente allo sviluppo della fissione mostra come questo sia un altro fattore di rilievo per le prospettive della fusione, sebbene un'indagine più accurata porti a individuare la possibilità che tra fissione e fusione vi possa essere in realtà un rapporto sinergico (vedi oltre).

Anche l'internalizzazione delle esternalità ambientali nei costi delle diverse tecnologie di generazione elettrica può avere un'influenza di rilievo sullo sviluppo della fusione, perché sembra beneficiare l'eolico a scapito della fusione. Ma questo risultato sembra in realtà meno robusto, perché l'influenza di questo fattore risulta molto meno marcata se si cambia la storyline di riferimento. Infine, ha invece un impatto pressoché nullo sulla fusione la disponibilità o meno della CCS, che come si è visto sopra sembra avere un ruolo di rilievo soprattutto nella fase centrale del secolo. Nel lungo periodo, invece, se si accettano le valutazioni più recenti, che prevedono costi di investimento destinati a rimanere elevati (IEA 2016), la necessità di completa decarbonizzazione viene ad essere

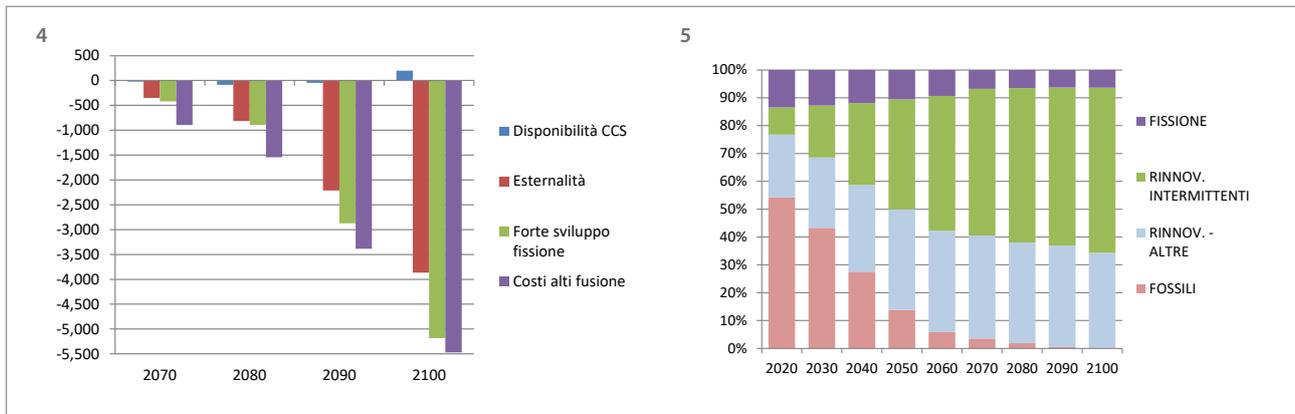


Fig 4 Variazioni della generazione elettrica da fusione in relazione a 4 fattori chiave Scenari della famiglia Harmony (TWh); Fig. 5 Generazione elettrica per tipologia nello scenario H24 (fusione non disponibile)

soddisfatta pressoché interamente dalla combinazione di forte sviluppo delle rinnovabili e del nucleare a fissione e fusione, anche nell'ipotesi di forte elettrificazione e di stringente obiettivo climatico.

Rinnovabili intermittenti e fusione

I risultati di quest'analisi di scenario permettono infine di formulare una prima preliminare risposta a un'ultima questione spesso posta riguardo alle prospettive della fusione, cioè quella relativa alla possibilità che, visto l'orizzonte temporale ancora lungo di tale tecnologia, essa possa divenire effettivamente disponibile quando ormai il sistema energetico ha già trovato una configurazione conforme alle necessità della transizione energetica, anche grazie ai miglioramenti nella competitività delle tecnologie rinnovabili.

La valutazione dell'insieme degli scenari porta a ritenere che potrebbe trattarsi in realtà di una questione forse non appropriata, perché non coglie alcuni dati di rilievo.

In primo luogo, i risultati mostrano come nel lungo periodo la logica di

minimizzazione dei costi del sistema conduca a includere la fusione nel mix energetico anche nel caso di ampia diffusione della fissione e di disponibilità della CCS.

In secondo luogo, la disponibilità della fusione permette di delineare traiettorie di decarbonizzazione che hanno un impatto più contenuto sulle necessità di flessibilità del sistema elettrico. Nei due scenari più "estremi" dell'analisi qui condotta, gli scenari H23 e H24, che rappresentano un caso nel quale il sistema energetico globale deve raggiungere

una completa decarbonizzazione facendo affidamento pressoché esclusivamente sulle fonti rinnovabili (perché fusione e CCS non sono disponibili, mentre la fissione è limitata per ipotesi ai livelli attuali per ragioni di accettabilità sociale), la quota di elettricità da fonti rinnovabili cresce in modo lineare fino al 2060, e continua a crescere ancora nei decenni successivi, fino a raggiungere il 60% del mix (Figura 5). Questa quota costantemente crescente di produzione da fonti rinnovabili deve essere assorbita

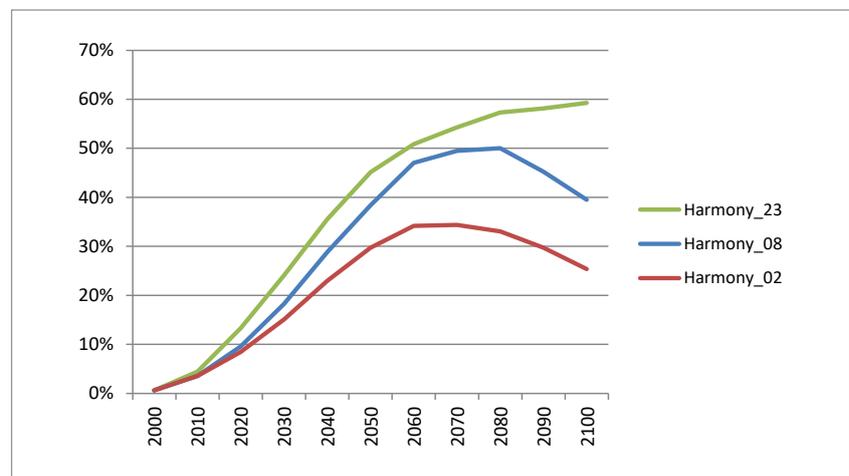


Fig 6 Quota di produzione da fonti rinnovabili intermittenti in tre scenari - Famiglia Harmony

e gestita in sicurezza dal sistema elettrico. Si tratta di una cosa non banale, perché la generazione intermittente “bring a major source of affordable, low-emission electricity into the picture, but create additional requirements for the reliable operation of the system” (IEA, *World Energy Outlook 2018*, p. 23). In questa configurazione del sistema si rende dunque necessaria la disponibilità di una quota di generazione flessibile per garantire la possibilità di gestire in sicurezza il sistema elettrico. Le necessità di flessibilità del sistema elettrico non sono però rappresentate nel modello ETM, nel quale la caratterizzazione del sistema elettrico non include i parametri relativi alle caratteristiche operative di funzionamento del sistema (rampe, tempi di accensione e spegnimento, tempi di permanenza in servizio, ecc...). Ne consegue che

la conclusione circa la fattibilità di un sistema elettrico globale nel quale le fonti intermittenti coprano il 60% della domanda, con punte dell'80% a livello regionale (come avviene nei suddetti scenari H23 e H24), richiede di essere testata analizzandone più in dettaglio l'impatto sul funzionamento operativo del sistema.

Due varianti di questi scenari potenzialmente “critici” mostrano come la fusione, anche se disponibile solo nell'ultima parte del secolo, possa comunque avere un ruolo utile nel sistema energetico del futuro, in particolare laddove può prendere gradualmente il posto della fissione:

- Lo scenario H02, nel quale la fusione è disponibile e la fissione può svilupparsi ben oltre i livelli attuali, descrive infatti una traiettoria del sistema nel quale la trasformazione del sistema elettrico è molto meno

accentuata che negli scenari H23/H24 (Figura 6); la crescita della quota di rinnovabili intermittenti è infatti decisamente più lenta, mentre la fusione, una volta disponibile, tende sostanzialmente a sostituire la fissione, che dunque ha nel corso del secolo un ruolo di “bridge technology”.

- Laddove invece la fissione fosse limitata ai livelli attuali (scenario H08), la crescita delle rinnovabili intermittenti sarebbe fino ad oltre metà secolo simile al caso H02, dunque con le stesse potenziali problematiche legate al cambiamento strutturale del sistema elettrico imposto da questo scenario. Inoltre, negli ultimi due decenni del secolo, con l'accelerazione della penetrazione della fusione, il ruolo delle intermittenti tornerebbe a ridursi drasticamente, dunque con la necessità di un ritorno a un modello del sistema elettrico più simile all'attuale.

BIBLIOGRAFIA

1. Hodges J., Dewar J., *Is it you or your model talking? A framework for model validation*, 1992, RAND, USA.
2. IEA, *Nuclear power in a clean energy system*, May 2019
3. IEA, *World Energy Outlook 2016*, Paris
4. IEA, *World Energy Outlook 2018*, Paris
5. IIASA-WEC, *Global Energy Perspectives*, ed. by Nakicenovic N., Grubler A., McDonald A, 1998, Cambridge University press
6. IPCC, 2014, *Climate Change 2014: Synthesis Report*. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC, Geneva, Switzerland
7. Loulou, R. et al., *Documentation for the TIMES model*, 2016, Energy Technology Systems Analysis Programme, <http://www.iea-etsap.org/web/Documentation.asp>
8. ORDECSYS, *EFDA World TIMES Model*, Final Report, October 14, 2004, Prepared by, ORDECSYS, KanORS, HALOA, KUL, https://www.euro-fusion.org/fileadmin/user_upload/Archive/wp-content/uploads/2014/12/R37EFDA-final-report_oct_14.pdf
9. WEF, *Insight Report - Fostering Effective Energy Transition 2019 edition*, <http://reports.weforum.org/fostering-effective-energy-transition-2019/the-scale-and-complexity-of-energy-transition>