



## UNA TRANSIZIONE DI MATERIE PRIME

***I sistemi elettrochimici di accumulo e conversione di energia, non solo le batterie ma anche la combinazione tra elettrolizzatori e celle a combustibile, sono tra le tecnologie strategiche per le transizioni energetica e digitale dell'Unione Europea che richiedono una vera e propria transizione anche nell'approvvigionamento di materie prime sempre più diversificate e difficili da reperire.***

La Commissione Europea (CE) ha individuato 15 tecnologie strategiche strumentali alle transizioni verde e digitale nonché per le applicazioni di difesa e aerospazio (Tab. 1), tra esse, 3 sono di natura prettamente elettrochimica: batterie Li-ione, celle a combustibile ed elettrolizzatori [1]. L'Unione Europea (UE) deve quindi garantirsi l'approvvigionamento delle materie prime necessarie per realizzare queste 15 tecnologie allo scopo di rimanere competitiva a livello globale, di affrancarsi dalla dipendenza dai combustibili fossili per contenere l'inquinamento atmosferico nelle aree più fortemente antropizzate e per raggiungere gli obiettivi di riduzione dell'emissione di gas clima-alteranti. In particolare, i dispositivi elettrochimici sopraelencati sono riconducibili all'accumulo elettrico necessario come tampone alla discontinuità della produzione energetica ottenuta da fotovoltaico ed eolico, come vet-

Tecnologia	Materie prime
Batterie Li-ione	Li, grafite, Co, Mn, Ni, Cu, P, Al, F, Fe
Celle a combustibile	Ce, Ir, B, Ru, Gd, Pt, grafite, Co, Pd, Si, Mn, Ni, Cu, La, Y, Sr, Sc, feldspati, barite, Zr, Cr, Fe, TiO <sub>2</sub>
Elettrolizzatori	Mg, Ce, Ir, B, Ru, Gd, Rh, Pt, grafite, Co, Pd, Si, W, Ni, Cu, Nb, La, Y, Sr, Sc, V, barite, Ta, Al, Mo, Ag, Zr, Cr, K, Fe, TiO <sub>2</sub> , Au, carlcare
Turbine eoliche	Dy, Tb, B, Nd, Pr, Si, Mn, Ni, Nb, Al, Mo, Cr, Fe, silice, Pb, cemento, Pb
Motori elettrici per trazione	Dy, Pr, Si, Cu, Al, Mo, Cr, Fe
Fotovoltaico solare	Ga, B, Ge, Si, Ni, Cu, P, Sb, As, Al, F, Zr, Cr, In, Fe, Te, Se, silice, Cd, Zn, Pb
Pompe di calore	Dy, B, Nd, Pr, Si, Mn, Ni, Cu, Al, F, Mo, Ag, Cr, Fe, Au, Zn
Fe ridotto direttamente da H <sub>2</sub> e fornaci ad arco elettrico	Grafite, Si, Mn, P, V, Al, Sn, Zr, Cr, magnesite, H <sub>2</sub> , Fe, calcare, silice
Reti di trasmissione dati	Ga, B, Ru, Nd, Sm, Gd, Pr, Rh, Pt, Li, Bi, Ge, grafite, Pt, Si, Mn, W, Ni, Cu, Ho, Tm, Yb, Nb, La, Y, Sr, V, Sb, As, barite, Ta, Al, F, Mo, Cr, Fe, Au, Te, Se, Zn, Pb
Data storage e servers	Dy, Tb, Ga, Mg, B, Ru, Nd, Pr, Rh, Bi, Ge, Pd, Si, Mn, Ni, Cu, P, Sc, Sb, Be, As, Hf, barite, He, Al, Sn, Ag, Xe, Cr, Kr, Ne, In, Fe, TiO <sub>2</sub> , Au, Zn
Smartphone, tablets e computer portatili	Dy, Ga, Mg, Ce, B, Ru, Nd, Gd, Pr, Rh, Bi, Ge, grafite, Co, Ti, Pd, Si, Mn, W, Ni, Cu, La, Y, P, Sr, Sb, Be, As, barite, Ta, Al, F, Sn, Mo, Ag, Xe, Cr, Kr, Ne, Fe, Au, silice, Cd, talco, Zn, Pb
Manifattura adattiva	Mg, Co, Ti, Si, Mn, W, Ni, Nb, Sc, V, Hf, Al, Mo, Cr, Zr, Fe
Robotica	Dy, Mg, Ga, Ce, B, Nd, Sm, Gd, Pr, Pt, Li, Ge, grafite, Co, Ti, Pd, Si, Mn, Ni, Cu, Er, Eu, Ho, Tm, Yb, La, V, Sb, Al, F, Sn, Mo, Ag, Cr, K, In, Fe, Re, Au, Te, calcare, Zn, Pb
Droni	Dy, Mg, Ga, Ce, B, Nd, Sm, Gd, Pr, Pt, Li, grafite, Co, Ti, Pd, Si, Mn, W, Ni, Cu, Er, Eu, Ho, Tm, Yb, Nb, La, V, Sb, feldspati, Hf, Ta, Al, F, Sn, Mo, Ag, Cr, K, In, Fe, Re, Au, Te, calcare, Zn, Pb
Lanciatori spaziali e satelliti	Dy, Mg, Ga, Ce, Ir, Nd, Sm, Gd, Rh, Pt, Li, Bi, Ge, Co, Ti, Pd, Si, Mn, W, Ni, Cu, Yb, Nb, La, Y, P, Sc, V, Sb, Be, As, Hf, barite, Ta, He, Al, F, sughero, Mo, Ag, Xe, Zr, Cr, Kr, In, H <sub>2</sub> , Fe, Au, Se, silice, S, Zn, Pb

Tab. 1 - Tecnologie strategiche per la UE e relative materie prime [1, 2]



Materie prime critiche	Principale produttore	Quota di produzione	Principale fornitore della UE	Quota fornitura alla UE	Materie prime strategiche
As	Cina	44%	Belgio	59%	
B	Turchia	48%	Turchia	99%	B, grado metallurgico
Barite	Cina	32%	Cina	45%	
Bauxite/allumina/Al	Australia	28%	Guinea	63%	bauxite/allumina/Al
Be	USA	67%	USA	60%	
Bi	Cina	70%	Cina	65%	Bi
Carbon coke	Cina	53%	Polonia	26%	
Co	Cina	85%	Non disp.	-	Co
Cu	Cina	28%	Polonia	19%	Cu
Feldspato	Turchia	32%	Turchia	51%	
Fluorite	Cina	56%	Messico	33%	
Fosforite	Cina	48%	Marocco	27%	
Ga	Cina	100%	Cina	100%	Ga
Ge	Cina	94%	Cina	45%	Ge
Grafite naturale	Cina	67%	Cina	40%	Grafite, grado batteria
He	USA	56%	Qatar	35%	
Hf	Francia	49%	Francia	76%	
Li	Cina	56%	Cile	75%	Li, grado batteria
Metalli gruppo Pt*	Sudafrica	75%	Non disp.	-	Metalli gruppo Pt*
Mg	Cina	91%	Cina	96%	Mg metallico
Mn	Sudafrica	29%	Sudafrica	41%	Mn, grado batteria
Ni, grado batteria	Cina	32%	Russia	29%	Ni, grado batteria
Nb	Brasile	92%	Brasile	92%	
P	Cina	75%	Kazakistan	65%	
Sb	Cina	56%	Turchia	69%	
Sc	Cina	67%	Cina	67%	
Si metallico	Cina	76%	Norvegia	33%	Si metallico
Sr	Iran	37%	Spagna	99%	
Ta	R.D. Congo	35%	R.D. Congo	35%	
Terre rare leggere**	Cina	85%	Cina	85%	Terre rare per magneti permanenti (Nd, Pr, Tb, Dy, Gd, Sm, Ce)
Terre rare pesanti***	Cina	100%	Cina	100%	
Ti metallico	Cina	43%	Kazakistan	36%	Ti metallico
W	Cina	89%	Cina	32%	W
V	Cina	62%	Cina	62%	V

\*Os, Ir, Pt, Rh, Ru, Pd (quest'ultimo prodotto per il 40% in Russia)  
 \*\*La, Ce, Pr, Nd, Sm  
 \*\*\*Y, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu

Tab. 2 - Materie prime critiche e strategiche [1-3]

tore energetico nei veicoli a emissione zero e a tutta l'elettronica portatile.

Per mettere in sicurezza le catene di approvvigionamento delle tecnologie strategiche, nel maggio

2024 la UE ha adottato il cosiddetto *Critical Raw Materials Act* [2] che riporta le 34 materie prime non energetiche e non agricole considerate critiche (Tab. 2) [3] perché alla base di filiere produttive

di grande importanza economica ma con un rischio di approvvigionamento rilevante, rischio che deriva spesso da un'alta concentrazione dell'offerta in pochi Paesi terzi. Considerato il ruolo fondamentale di molte di queste materie prime critiche nella realizzazione delle transizioni verde e digitale e dato il loro utilizzo in applicazioni aerospaziali e per la difesa, la CE ha individuato tra di esse 17 materie prime definite strategiche secondo i criteri seguenti:

- la quantità di tecnologie strategiche che ne impiegano una come fattore produttivo;
- la quantità necessaria per la fabbricazione di tecnologie strategiche rilevanti;
- la domanda di tecnologie strategiche rilevanti prevista a livello mondiale.

Guardando ai metalli implicati nei dispositivi elettrochimici, mentre Ni è sia critico che strategico quando ha grado di purezza adeguato all'impiego nelle batterie, grafite, Li e Mn sono critici a qualsiasi grado di purezza ma diventano strategici solo quando il grado è quello adeguato all'uso negli accumulatori.

Al, Co, Cu, i metalli del gruppo del Pt (la UE raggruppa Ru, Rh, Pd, Os, Ir e Pt poiché si trovano spesso associati nelle miniere e hanno usi simili [4]), Si e Ti metallici sono invece sia critici che strategici a qualunque grado di purezza. Queste materie prime sono spesso estratte in poche regioni dove si concentrano le riserve, sono trasportate per la trasformazione in luoghi dove l'energia, la manodopera e la tutela ambientale costano meno, per poi essere vendute per la fabbricazione dei componenti e l'assemblaggio nei dispositivi finali. Per quanto riguarda alcune materie prime, l'approvvigionamento dell'UE dipende quasi esclusivamente da un unico Paese con un rischio elevato di perturbazioni dell'esportazione che può compromettere la produzione interna (Tab. 2). Al fine di contenere tale rischio e aumentare la resilienza economica, l'UE ha stabilito misure di supporto e monitoraggio delle grandi aziende che estraggono o utilizzano materie prime strategiche e prove di stress sulle catene di approvvigionamento, ha inoltre fissato di raggiungere entro il 2030 i seguenti parametri di riferimento:

- dipendenza inferiore al 65% da un unico Paese

terzo per quanto riguarda l'approvvigionamento di qualsiasi materia prima strategica;

- costituzione di scorte strategiche ovvero quantità di materie prime immagazzinate da un operatore pubblico o privato per utilizzarle in caso di perturbazione dell'approvvigionamento;
- capacità estrattiva interna pari almeno al 10% del consumo annuo di materie prime strategiche ove le riserve geologiche sul territorio lo consentano;
- capacità di trasformazione interna pari almeno al 40% del consumo annuo interno di materie prime strategiche;
- capacità di riciclaggio pari almeno al 25% del consumo interno annuo di materie prime strategiche.

I programmi di espansione delle tecnologie strategiche richiedono una rapida crescita dell'estrazione di materie prime critiche, la maggior parte delle quali sono costituite da metalli; insieme all'estrazione si deve ragionare sul riciclaggio per valorizzare i rifiuti già presenti nel territorio UE e trasformarli in materie prime secondarie. Oggi batterie, apparecchiature elettroniche e veicoli spesso sono spediti in Paesi terzi per essere riciclati creando il paradosso che la UE finisce per comprare due volte lo stesso metallo. In teoria i metalli possono essere riciclati all'infinito ma in pratica sia la selezione dei rifiuti che i processi di riciclaggio, soprattutto se indirizzati ad ottenere alti gradi di purezza, comportano perdite di materia oltre a richiedere quantità di energia paragonabili all'estrazione mi-



Fig. 1 - Miniera a cielo aperto di Fe in Bosnia-Erzegovina

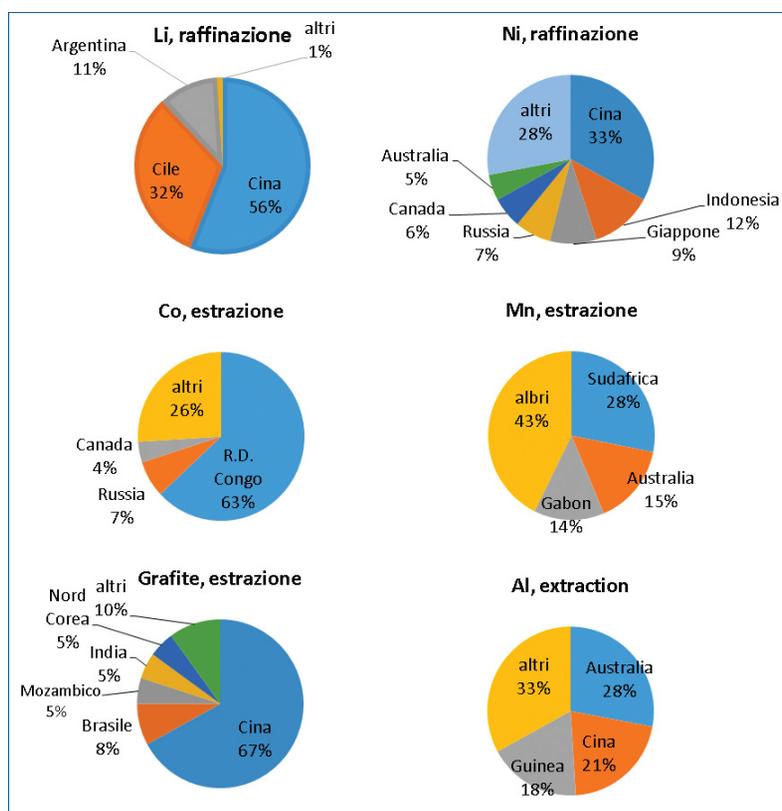


Fig. 2 - Paesi di Principali produttori di materie prime per accumulatori Li-ione

neraria. Le imprese che vendono materie prime critiche primarie o secondarie dovrebbero quindi fare la valutazione dell'impronta ecologica (Fig. 1) mentre quelle che acquistano e trasformano materie prime critiche dovrebbero fornire tutte le informazioni necessarie per riciclare i materiali. Nonostante diversi materiali contenuti in prodotti a fine vita abbiano tassi di riciclo superiori al 40-50%, e che per i metalli di largo utilizzo quali Fe, Al, Ni, Mn e alcuni metalli preziosi sia molto più elevato, il contributo del riciclo alla domanda complessiva di tali materiali è spesso insufficiente. Ci sono inoltre altri materiali critici e/o strategici (ad esempio Li, Ge e grafite) con tassi di riciclo inferiori al 15%.

### Batterie Li-ione

La tecnologia Li-ione comincia a svilupparsi negli anni Ottanta [5] ma è negli anni Duemila che vede un aumento di produzione di due ordini di grandezza. Le materie prime critiche che rientrano nella catena del valore degli accumulatori Li-ione sono riportati in Tab. 1: il 37% di esse viene estratto in

Cina, il 16% in Africa e il 16% in America Latina; queste ultime due aree geografiche tuttavia scompaiono nella fase di trasformazione dei minerali mentre la Cina tratta il 72% dei semilavorati (Fig. 2), produce il 62% di componenti e arriva al 79% del prodotto assemblato importando da Corea e Giappone una parte dei componenti. In nessun'altro Paese o unione di Stati si supera la quota di estrazione del 3% delle materie prime mentre la produzione di batterie Li-ione è stimata al 7% in USA, 6% in UE, 5% in Corea e 4% in Giappone.

Nel 2021 la UE non aveva capacità rilevanti di raffinazione del Li o produzione di grafite sia naturale che sintetica ma negli ultimi anni sono state individuate miniere e costruiti impianti che dovrebbero consentire il raggiungimento dell'obiettivo di produrre almeno il 10% della richiesta interna entro il 2030. La situazione per l'elettrodo positivo è migliore per la capacità di raffinazione dei metalli e per la tendenza a utilizzare ossidi a basso contenuto di Co, sia per gli elettrodi basati su ossidi Ni-Mn-Co che per quelli Ni-Co-Al per i quali si ha una produzione attorno al 9% e 14% rispettivamente. A questa tendenza si aggiunge l'ingresso sul mercato delle batterie con catodo al ferro fosfato.

Per i veicoli elettrici in UE, partendo dai 4 GW del 2015, si prevede che la potenza installata nel 2030 sarà tra i 55 e gli 86 GW, mentre nel 2050 tra i 311 e i 273 GW. Di conseguenza, si prevede che la domanda europea di litio nel 2030 potrà arrivare a 12 volte rispetto a quella registrata nel 2020 e a 21 volte nel 2050. Per prevenire possibili perturbazioni di questo sviluppo la CE cercherà di diversificare i fornitori, rafforzare la capacità di raffinare i metalli, accelerare la capacità produttiva dei componenti e favorire lo sviluppo della catena di valore delle batterie Li-ione sostenibili.

La sostituzione di Li con Na all'elettrodo negativo e l'utilizzo di varie forme di S, o di ossidi di V, all'elettrodo positivo potranno portare a nuovi dispositivi di accumulo elettrochimico meno soggetti a rischio di approvvigionamento delle materie prime

ma la loro incidenza sul mercato è attualmente irrilevante, la ricerca e sviluppo è incoraggiata ma è difficile fare previsioni affidabili sull'utilizzo nel medio periodo.

## Celle a combustibile

Le celle a combustibile sono sistemi di conversione elettrochimica che, rispetto ai motori a combustione interna hanno efficienza più elevata e non generano i tipici sottoprodotti della combustione ( $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_2$ , particolato). Sono presenti sul mercato celle a combustibile alimentate a metanolo e aria che producono  $\text{H}_2\text{O}$  e  $\text{CO}_2$  ma, per contrastare l'emissione di gas clima-alteranti, la tendenza è utilizzare come combustibile il cosiddetto "idrogeno verde", ovvero  $\text{H}_2$  prodotto per elettrolisi di  $\text{H}_2\text{O}$  sfruttando energia elettrica prodotta da fonti rinnovabili. Ricombinando  $\text{H}_2$  con l' $\text{O}_2$  dell'aria, la cella a combustibile restituirà  $\text{H}_2\text{O}$  ed energia con una discreta efficienza chiudendo un ciclo in cui  $\text{H}_2$  diviene una forma di accumulo dell'energia elettrica. Le tecnologie che attualmente dominano il mercato sono *Solid Oxide Fuel Cell* (SOFC), operanti ad alta temperatura ( $>500$  °C), e *Proton Exchange Membrane Fuel Cell* (PEMFC), operanti a temperatura relativamente più bassa. Le materie prime implicate nella costruzione di SOFC includono Ni, Zr e varie terre rare all'anodo, mentre al catodo usano Co, Fe, Mn, Sr e La. Le PEMFC invece hanno elettrodi carboniosi (contenenti anche grafite) e possono impiegare come catalizzatori Co, Pt, Pd, Ru o Ir (Tab. 1).

Anche per le celle a combustibile, la UE estrae solo il 3% delle materie prime ma produce il 18% dei semilavorati, il 25% dei componenti, tuttavia, per il prodotto finito, copre solo il 12% del mercato globale dominato dalla Cina con un 67% evidentemente ottenuto acquistando anche componenti provenienti da UE e USA. Nel 2020 la Corea è stata il principale produttore di veicoli alimentati con celle a combustibile, immettendo sul mercato 10 mila pezzi, ma si prevede che, entro il 2050, nel mondo circoleranno circa 10 milioni di veicoli con questo tipo di alimentazione. Un tale sviluppo deve essere preceduto dalla realizzazione di dispositivi per la produzione, lo stoccaggio e la distribuzione sostenibili di  $\text{H}_2$ .

## Elettrolizzatori

Gli elettrolizzatori consentono di utilizzare l'energia elettrica per produrre  $\text{H}_2$  da  $\text{H}_2\text{O}$ .  $\text{H}_2$  può essere accumulato per poi riutilizzarlo nelle celle a combustibile o come riducente al posto del *carbon-coke* per estrarre i metalli dai minerali: anche quest'ultima è una delle 15 tecnologie strategiche per la UE ed impianti sperimentali basati su questa tecnologia sono in costruzione in Svezia e in Spagna. Nel 2021, dei circa  $5 \times 10^{11}$   $\text{Nm}^3$ /anno di  $\text{H}_2$  prodotti globalmente, solo lo 0,1% era prodotto per elettrolisi, a causa dell'elevato costo degli impianti e per la concorrenza di quello prodotto dal carbone come "gas d'acqua" (idrogeno grigio) e del metano con il processo Fauser (idrogeno blu). Si stanno sviluppando diversi tipi di elettrolizzatori; il più comune lavora a bassa temperatura in soluzione alcalina ma ci sono prototipi con separatore polimerico a scambio protonico e con membrane a scambio anionico; ad alta temperatura lavorano, invece, sistemi sperimentali a ossidi solidi. Le materie prime che si possono utilizzare per gli elettrolizzatori sono i metalli del gruppo del Pt nei catalizzatori; Au, Co, Cr e Ag in elettrodi e collettori di corrente;  $\text{K}_2\text{CO}_3$  nell'elettrolita; Zr e Ti nei separatori a ossidi solidi, e le altre riportate in Tab. 1, a seconda della tecnologia. Come nei casi precedenti la UE ha un'estrazione molto limitata delle materie prime per le celle alcaline ma guadagna posizioni nei semilavorati, assumendo la *leadership* nei componenti e negli assemblati. Il progetto ambizioso, da realizzare entro il 2030, è installare elettrolizzatori per 40 GW sul territorio UE e altrettanti fuori UE. Tuttavia, tenuto conto che gli elettrolizzatori hanno un'efficienza media del 70%, questa potenza non dovrebbe soddisfare la domanda di  $\text{H}_2$  prevista per lo stesso anno, inoltre, desta preoccupazione la disponibilità dei metalli del gruppo del Pt per i quali, ad eccezione di Ir, si prevede di reperirne il 40% dal riciclaggio dei catalizzatori presenti negli scarichi dei veicoli con motore a combustione interna. Si devono anche progettare le reti di distribuzione e di stoccaggio, tenendo conto che  $\text{H}_2$  può infragilirsi i materiali delle attuali reti di distribuzione del gas e che la liquefazione di  $\text{H}_2$  comporta un discreto dispendio energetico poiché il suo punto critico è 33 K.



## Conclusioni

In generale, lo sviluppo dell'accumulo elettrochimico in UE soffre del rischio di approvvigionamento delle materie prime per cui è necessario applicare al più presto i principi dell'economia circolare rendendo efficienti i processi estrattivi, progettando dispositivi in cui le materie prime critiche siano sostituite da quelle non critiche, in cui la riparazione e il ricondizionamento siano agevolati, le parti poco usurate siano facili da riusare e quelle usurate siano facili da separare per favorire il riciclaggio dei materiali [6].

## BIBLIOGRAFIA

- [1] S. Carrara, S. Bobba *et. al.*, Supply chain analysis and material demand forecast in strategic technologies and sectors in the EU - A foresight study, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2023, DOI: [10.2760/386650](https://doi.org/10.2760/386650)
- [2] Regolamento (UE) 2024/1252 del Parlamento Europeo e del Consiglio dell'11 aprile 2024, Gazzetta Ufficiale dell'Unione Europea.
- [3] European Commission: Directorate-General for Internal Market, Industry, Entrepreneurship and SMEs, M. Grohol, C. Veeh, Study on the critical raw materials for the EU 2023 - Final report, Publications Office of the European Union, 2023, <https://data.europa.eu/doi/10.2873/725585>
- [4] European Commission: Directorate-General for Internal Market, Industry, Entrepreneurship and SMEs, Study on the review of the list of critical raw materials - Final report, Publications Office, 2017, 1-44, <https://data.europa.eu/doi/10.2873/876644>
- [5] M. Mastragostino, C. Arbizzani, F. Soavi, *La Chimica e l'Industria online*, 2020, 4(2) 9.
- [6] **Commissione Europea, Comunicazione della Commissione al Parlamento Europeo, al Consiglio, al Comitato Economico e Sociale Europeo e al Comitato delle Regioni, Un nuovo piano d'azione per l'economia circolare, COM(2020) 98 final.**

**NUOVA  
ENERGIA PER LA  
TUA AZIENDA**

**AGICOM** S.r.l.  
CONCESSIONARIA DI PUBBLICITÀ PER QUESTA RIVISTA  
[www.agicom.it](http://www.agicom.it)

