



ALBERTO ZANELLI

CNR - ISTITUTO PER LA SINTESI ORGANICA E LA FOTOREATTIVITÀ (ISOF)

BOLOGNA

ALBERTO.ZANELLI@ISOF.CNR.IT

UNA MINIERA DENTRO CASA

Lo stile di vita dei cittadini dell'Unione Europea si basa su una moltitudine di apparecchiature elettriche ed elettroniche che rapidamente diventano rifiuti ricchi di molte delle 27 materie prime strategiche per la nostra economia. Un loro sapiente riciclo potrebbe trasformare le nostre case in piccole miniere di metalli preziosi.

È probabilmente l'oggetto più accarezzato al mondo: lo psichiatra Vittorino Andreoli l'ha definito "una protesi della mente", anche se il neuroscienziato Manfred Spitzer [1] mette in guardia su un suo uso eccessivo che potrebbe dare fenomeni di dipendenza e di atrofia delle capacità intellettive: è lo *smartphone*. Per il chimico è un oggetto meraviglioso dove la maggior parte degli elementi sono raccolti in un volume di un centinaio di centimetri cubi e agiscono di concerto come in un'orchestra per produrre funzionalità sorprendenti (Fig. 1). H, O, C e N nelle plastiche; Fe e Al nelle parti strutturali; In e Sn nello schermo; grafite, Li e Co nella batteria, Cu e Au nei conduttori, Nd nei trasduttori acustici, Si purissimo nei microcircuiti e poi Ga, Pd, Ru, Rh, Ta, Pt, Ag e altri ancora. Gli *smartpho-*

ne erano oggetti praticamente inesistenti nel XX secolo ma già nel 2016 quasi il 30% della popolazione mondiale ne possedeva uno. Oggi nella sola Unione Europea (UE) vengono scartati o sostituiti 120 milioni di *smartphone* all'anno.

Ma lo *smartphone* è solo la punta di diamante di una classe di attrezzature che sono entrate nelle nostre case da meno di un secolo e che prima o poi ne escono sotto forma di rifiuto andando a formare quella categoria che oggi chiamiamo Rifiuti da Apparecchiature Elettriche ed Elettroniche (RAEE). Già nei primi anni 2000 l'Organizzazione delle Nazioni Unite aveva stimato una produzione mondiale di RAEE compresa tra i 20 e i 50 milioni di tonnellate per anno, una quota che si aggirava attorno al 5% di tutti i rifiuti prodotti (Fig. 2).

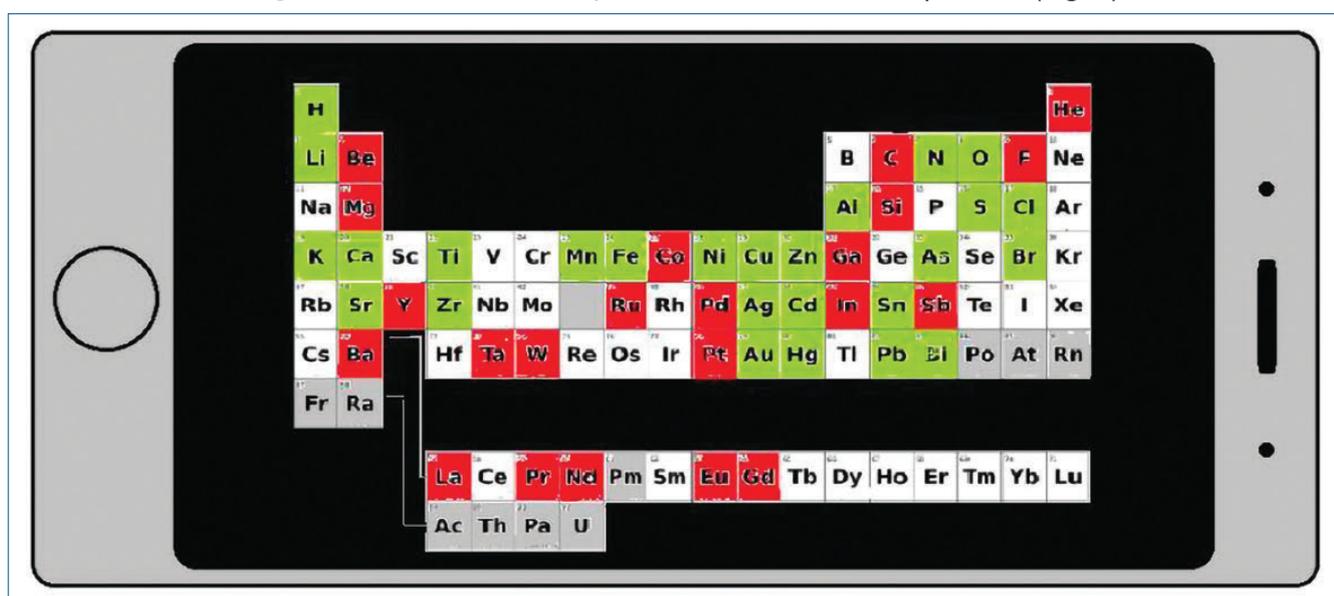


Fig. 1 - Gli elementi chimici presenti negli *smartphone* (in verde quelli comuni, in rosso quelli critici)



Fig. 2 - Smaltimento RAEE nell'Area della ricerca di Bologna

I RAEE sono rifiuti che contengono materiali di un certo pregio ma anche sostanze pericolose. Un vecchio frigorifero, ad esempio, contiene in media 28 kg di acciai, 6 kg di plastiche e oltre 3 kg tra Cu e Al; se tutto ciò viene rapportato alle circa 90.000 tonnellate di frigoriferi potenzialmente riciclabili, ci si rende conto di avere dentro le nostre case una vera e propria miniera [2]. Ma questa enorme massa di frigoriferi (a cui si dovrebbero aggiungere altre 7.000 tonnellate di condizionatori) contiene anche olio minerale nel compressore, Pb nelle brasature, Freon nel circuito di refrigerazione e altri gas intrappolati nelle schiume polimeriche isolanti. Essa rappresenta quindi anche una bomba ecologica che deve essere disinnescata con uno smantellamento effettuato in impianti idonei a captare i contaminanti eventualmente emessi.

Nel 2016 nel Mondo sono state prodotte 44,7 milioni di tonnellate di RAEE, dei quali 12,3 in Europa (24 volte il peso della *Dubai Tower*, il grattacielo più alto del mondo), pari a una media globale di 6,1 kg procapite che sale a 16,6 kg per il cittadino europeo [3]. Mediamente un italiano produce solo 4,9 kg di RAEE all'anno, circa l'1% dei propri Rifiuti Solidi Urbani che, a livello nazionale, si trasformano in una raccolta di quasi 300.000 tonnellate (nel 2008 erano solo 66.000). I benefici ambientali ottenibili ogni anno da una buona gestione di questi RAEE possono essere ragionevolmente stimati nel recupero del 97% dei materiali che a livello italiano si tradurrebbe in un risparmio energetico di

347 GWh ovvero in una riduzione delle emissioni di CO₂ in atmosfera pari a 2,6 milioni di tonnellate (da confrontare ai 32 miliardi emessi a livello globale nel 2017 [4]). Ai RAEE recuperati ogni anno in Italia si dovrebbero poi aggiungere le circa 100.000 tonnellate che sfuggono al circuito virtuoso del riciclaggio.

La normativa italiana [5] suddivide i RAEE in cinque raggruppamenti: frigoriferi e condizionatori (R1) che rappresentano il 26,9% in peso del totale raccolto in Italia; lavabiancheria, asciugatrici, lavastoviglie, piani cottura e forni (R2) che rappresentano il 31,8%, televisori e monitor (R3) che rappresentano il 22,7%; computer, telefoni, giochi elettronici e piccoli elettrodomestici (R4) che rappresentano il 18%; e infine lampade e tubi fluorescenti (R5) che rappresentano solo lo 0,6% [6].

In generale, le materie prime secondarie recuperate dai RAEE in Italia sono principalmente leghe di Fe, Al, Cu, vetro e plastiche (queste ultime spesso inviate alla termovalorizzazione). La percentuale di riciclaggio di materiali fissata oggi

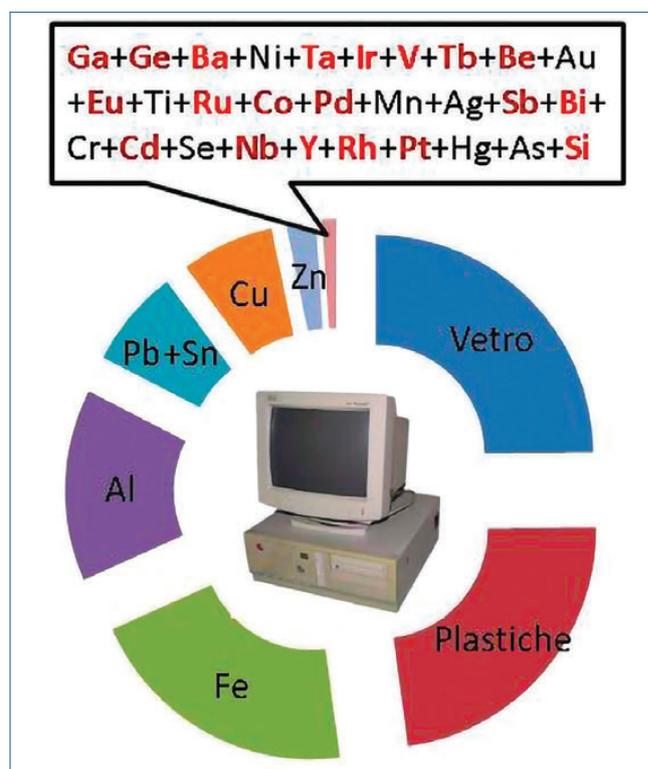
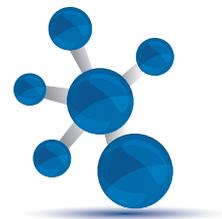


Fig. 3 - Composizione di un computer (in rosso gli elementi critici)



Materia prima	Produzione (t/anno)		Principali produttori ^a
	Mondo ^a	UE ^a	
Afnio	72	30	Francia 43%, USA 41%, Ucraina 8%, Russia 8%
Antimonio	42.833	0	Cina 87%, Vietnam 11%
Barite	9,2x10 ⁶	117.000	Cina 44%, India 18%, Marocco 10%
Berillio	320	0	USA 90%, Cina 8%
Bismuto	8.180	0,8	Cina 82%, Marocco 11%, Giappone 7%
Borati	1x10 ⁶	0	Turchia 38%, USA 23%, Argentina 12%
Cobalto	135.497	1.233	R.D. Congo 64%, Cina 5%, Canada 5%
Carbon coke	1,75x10 ⁹	70x10 ⁶	Cina 54%, Australia 15%, USA 7%, Russia 7%
Elio	2,74x10 ⁶	14.700	USA 73%, Qatar 12%, Argentina 10%
Fluoriti	6,62x10 ⁶	290.000	Cina (64%, Messico 16%, Mongolia 5%,
Fosforiti	218x10 ⁶	873.682	Cina 44%, Marocco 13%, USA 13%
Fosforo bianco	915.000	0	Cina 58%, Vietnam 19%, Kazakhstan 13%, USA 11%
Gallio	340	30	Cina 85%, Germania 7%, Kazakhstan 5%
Germanio	760	0	Cina 64%, Finlandia 11%, Canada 9%, USA 9%
Gomma naturale	12x10 ⁶	0	Thailandia 32%, Indonesia 26%, Vietnam 8%, India 8%
Grafite naturale	1,1x10 ⁶	562	Cina 69%, India 12%, Brasile 8%
Indio	689	47,8	Cina 57%, Corea Sud 15%, Giappone 10%
Magnesio	846.000	0	Cina 87%, USA 5%
Niobio	113.000	0	Brasile 90%, Canada 10%
Platino, elementi del gruppo del (Pd,Ru,Rh,Ir,Os)	452,3 ^b	2	Sud Africa 83% (Ir, Pt, Rh, Ru), Russia 46% (Pd)
Scandio (come Sc ₂ O ₃)	15	0	Cina 66%, Russia 26%, Ucraina 7%
Silicio metallurgico	2,29x10 ⁶	195.000	Cina 61%, Brasile 9%, Norvegia 7%, USA 6%, Francia 5%
Tantalio (come Ta ₂ O ₅)	1.800	0	Ruanda 31%, R. D. Congo 19%, Brasile 14%
Terre rare leggere (La,Ce,Pr,Nd,Sm,Y)	128.440 ^c	0	Cina 40%, USA 34%, Russia 25%
Terre rare pesanti (Dy, Er, Eu, Gd, Tb, Ho, Tm, Lu, Yt)	7.435 ^d	0	Cina 40%, USA 34%, Russia 25%
Tungsteno	82.000	2.175	Cina 84%, Russia 4%
Vanadio	71.026	1.650	Cina 53%, Sudafrica 25%, Russia 20%

^aMedia annuale nel periodo 2010-2014

^bProduzione mondiale complessiva dei sei elementi del gruppo in t/anno; per elemento: Pd 209; Pt 187; Rh 21,5; Ru 27,7; Ir 7,1. Solo Pd e Pt hanno una piccola produzione europea rispettivamente di 0,4 e 0,5 t/anno

^cProduzione mondiale annua delle sei terre rare leggere in t/anno: Ce 51.382; La 35.146; Nd 22.391; Pr 6.514; Sm 2.714; Y 10.313

^dProduzione mondiale annua delle nove terre rare pesanti in t/anno: Dy 1.357; Eu 407; Er 950; Gd 2.307; Tb 407; Ho, Lu, Tm e Yb 1.764

Tab. 1 - Materie prime critiche, loro produzione nel mondo e in UE

dalla legge [7] per i RAEE va dal 50% nel raggruppamento R4 (che diventa il 65% per *computer* e *smartphone* che contengono la maggior varietà di elementi chimici; Fig. 3), al 75% per i raggruppamenti R1, R2 ed R3 (R2 è il più vantaggioso per la semplicità della raccolta e della separazione dei

materiali) e dall'80% per il raggruppamento R5. Anche se lampade e tubi fluorescenti rappresentano una frazione minima dei RAEE (si parla di oggetti che pesano 50-200 g ciascuno), la loro raccolta differenziata è importante perché contengono mercurio (sono classificati "pericolosi" dal

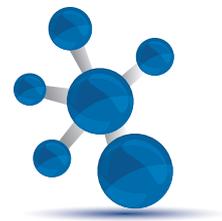
Catalogo Europeo dei Rifiuti [8]). L'alta efficienza di recupero dei materiali riguarda anche in questo caso vetro, Al e leghe di Cu, ma ogni lampada fluorescente contiene anche alcuni grammi di ossidi, fosfati o alluminati di metalli rari come Ce, Y, Eu, La, Tb e Gd [9, 10] che non vengono estratti nel territorio della UE. Un po' tutti i RAEE contengono metalli rari o preziosi le cui miniere sono principalmente fuori UE; ad esempio il 17% del Pd e il 50% del Ru vengono utilizzati in elettronica [11]. Il recupero di questi elementi, anche se economicamente poco conveniente perché presenti nei RAEE con concentrazioni infinitesimali, sta assumendo un valore strategico, non solo per diminuire la pressione antropica dovuta all'impatto ambientale delle miniere, ma anche per mettere al sicuro l'industria elettronica europea da possibili crisi di approvvigionamento legate all'instabilità economica o politica dei Paesi fornitori.

La Commissione Europea ha stilato una lista di 27 materie prime ritenute critiche per l'economia della UE in base al valore economico e all'incertezza sull'approvvigionamento [12, 13]. Con oltre un miliardo di tonnellate per anno, il *carbon coke* è quella prodotta in maggiore quantità (Tab. 1). Il *carbon coke*, indispensabile per la riduzione dei minerali metalliferi, in realtà non supera di poco la soglia di rilevanza economica ma è mantenuto per sicurezza nell'elenco delle materie prime critiche poiché, essendo ottenuto per trattamento termico

del carbone, risente anche della concorrenza del mercato energetico (i tre quarti del carbone estratto nel mondo ancora vengono bruciati per produrre energia). Le fosforiti rappresentano la seconda materia prima strategica più estratta al mondo (un paio di centinaia di milioni di tonnellate per anno) e il loro destino riguarda invece la produzione di cibo poiché sono usate prevalentemente per produrre ammendanti agricoli. La gomma naturale, ancora molto utilizzata nel settore sanitario e nell'abbigliamento, è l'unica a non avere un'origine mineraria e la mancanza di una produzione europea è giustificata dalle condizioni climatiche necessarie per la crescita dell'albero della gomma (*Hevea brasiliensis*) originario dell'Amazzonia ma oggi ampiamente coltivato nel sud-est asiatico. Fra le materie prime critiche per la UE c'è anche il gas nobile He, insostituibile nel settore della criogenia, che, come è noto, ha un peso atomico troppo basso per essere trattenuto dalla gravità terrestre ma si trova in concentrazioni commercialmente accettabili in alcuni giacimenti di idrocarburi localizzati principalmente in USA. Ma torniamo alle materie prime critiche d'interesse per l'elettronica. Inaspettatamente, tra di esse compaiono materiali molto diffusi anche in UE, come ad esempio Si, il secondo elemento più abbondante che compone il 26% in peso della crosta terrestre, o Mg che ne compone il 2%. In questi casi i costi energetici e della manodopera nonché l'impatto ambientale delle miniere e degli impianti



Alberto Zanelli si è laureato in Chimica e si è specializzato in "Metodologie chimiche di controllo e di analisi" presso l'Università di Bologna. Tra il 1993 e il 1998 ha svolto ricerche nell'ambito del progetto "Accumulatori litio/polimeri per elettrotrazione" e, tra il 1998 e il 1999, nell'ambito del progetto "Supercapacitors of power and energy". Per due anni ha quindi lavorato come igienista industriale presso l'Inail e, dal 2002, è ricercatore presso l'Istituto per la Sintesi Organica e la Fotoreattività del CNR, dove si è occupato di materiali organici per l'elettronica, di sensori di etanolo nella benzina e di processi avanzati di ossidazione per la riqualificazione delle acque. In quest'ultimo ambito si è occupato di macchine lavabiancheria per il progetto "Studio, progettazione e sviluppo di una nuova gamma di elettrodomestici caratterizzata da tecnologie innovative mirate a una notevole riduzione dei consumi energetici e dell'impatto ambientale". Attualmente è consigliere nel Gruppo interdivisionale per la Divulgazione della cultura chimica della Società Chimica Italiana ed è coinvolto nei progetti di divulgazione scientifica "Il linguaggio della ricerca", "Raw Matters Ambassadors at Schools" "Green Innovation" e "E-minig@School". È autore di circa 70 articoli su riviste internazionali, una decina su riviste nazionali, di un capitolo in tre libri e di vari contributi a congressi.



di trasformazione dei minerali sono i fattori che rendono più conveniente la produzione extraeuropea. Non ci si meraviglia invece se sono considerati critici gli elementi del gruppo del Pt (Os, Rh e Ir sono presenti nella crosta terrestre in concentrazioni inferiori ad una parte per miliardo) o le terre rare (*no-men omen*) che poi tanto rare non sono visto che se ne estraggono 135.000 t/anno.

Al momento meno della metà di queste materie prime hanno una produzione anche se marginale sul territorio UE, mentre in alcuni casi anche il 90% della produzione mondiale è in mano ad un solo Paese (es. Be in USA e Nb in Brasile). In generale la maggior parte delle materie prime critiche come Mg, W, Sb, Ga, Ge e terre rare sono estratte in Cina mentre i metalli del gruppo del Pt provengono da Russia e Sudafrica [14].

Anche a livello globale, una parte delle materie prime critiche non ha neanche miniere proprie. Un esempio sono Ga, Ge e In che normalmente vengono isolati dalle scorie dell'estrazione dei minerali di Zn e Al. L'aumento del riciclaggio di questi due metalli, legato ad un lodevole miglioramento della coscienza ambientale, sta portando alla chiusura delle loro miniere e ad un conseguente squilibrio tra la disponibilità di Ga, Ge e In e la crescente richiesta di semiconduttori, fibre ottiche e vetri conduttori determinata dal progresso tecnologico e dal cambiamento degli stili di vita. Attorno alle materie prime ruota un complesso sistema di aspetti scientifici, tecnologici, ambientali, economici, politici e sociali che rende il recupero di materie prime secondarie dai RAEE una delle sfide strategiche per la UE della quale i chimici devono farsi portavoce e divulgatori competenti e disinteressati per aumentare il coinvolgimento della più ampia parte della Società nei comportamenti virtuosi che trasformino la UE nella prima economia sostenibile della Terra.

BIBLIOGRAFIA

- [1] M. Spitzer, Demenza digitale, Corbaccio, Milano, 2013.
- [2] M. Gisotti, L'era dei RAEE, Geca Industrie Grafiche, San Giuliano Milanese (MI), 2018.
- [3] **C.P. Baldé, V. Forti et al., The Global E-waste Monitor - 2017,**

United Nations University, International Telecommunication Union & International Solid Waste Association, Bonn.

- [4] **V. Balzani, La Chimica e l'Industria online 2018, 5, 8.**
- [5] **D. Lgs. n. 49 del 14/3/2014.**
- [6] **Centro di Coordinamento RAEE, Rapporto annuale 2017 sul ritiro e trattamento dei rifiuti da apparecchiature elettriche ed elettroniche.**
- [7] **D. Lgs. 151 del 25/7/2005.**
- [8] **Direttiva del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio del 9/4/2002.**
- [9] **N. Ippolito, La Chimica e l'Industria online 2018, 5, 64.**
- [10] **Y. Wu, X. Yin et al., Resources, Conservation Recycling, 2014, 88, 21.**
- [11] **F. Trifirò, La Chimica e l'Industria online 2018, 5, 3.**
- [12] Comunicazione della Commissione al Parlamento Europeo, al Consiglio, al Comitato Economico e Sociale Europeo e al Comitato delle Regioni concernente l'elenco 2017 delle materie prime essenziali per l'UE **COM(2017)490.**
- [13] Deloitte Sustainability, British Geological Survey, Bureau de Recherches Géologiques et Minières, Netherlands Organisation for Applied Scientific Research, **Study on the review of the list of Critical Raw Materials. Criticality Assessments, 2017.**
- [14] Deloitte Sustainability, British Geological Survey, Bureau de Recherches Géologiques et Minières, Netherlands Organisation for Applied Scientific Research, **Study on the review of the list of Critical Raw Materials. Critical Raw Materials Factsheets, 2017.**

A Mine at Home

The life-style of European citizen depends from many electric and electronics equipments that rapidly became wastes rich in the 27 raw materials strategic for our economy. Their wise recycling could commute our houses in small mines of precious metals.