



# Il recupero di materiali di elevato valore da rifiuti attraverso tecniche idrometallurgiche

Claudia Brunori

*Unità Tecnica Tecnologie Ambientali - ENEA*

[claudia.brunori@enea.it](mailto:claudia.brunori@enea.it)

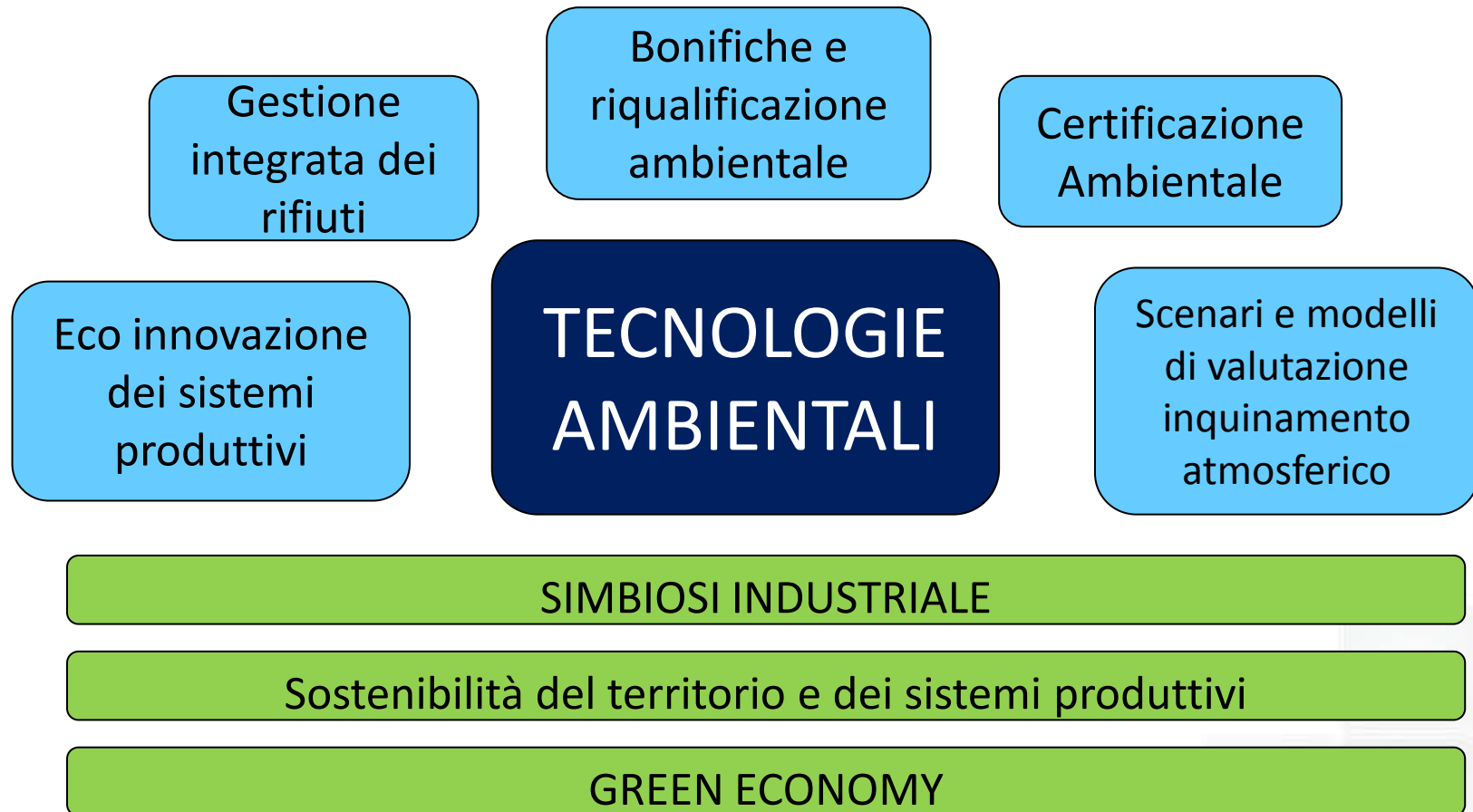
AIRI tutorial Meeting

Tecnologie di recupero di metalli preziosi da RAEE

ENEA, Roma 18 Giugno 2014



- **Ricerca, sviluppo, validazione e promozione di tecnologie ambientali** con attività di studio, ricerca, laboratorio, progettazione e realizzazione di impianti/sistemi/prototipi a scala banco e pre-industriale
- **Supporto tecnico-scientifico** alla P.A. centrale e locale e al sistema industriale



## **Ecoinnovazione:**

Sviluppo di soluzioni tecnologiche che coniugano sostenibilità ambientale, economica e sociale finalizzate ad un approvvigionamento ed utilizzo sostenibile delle risorse e una riduzione/eliminazione delle emissioni

## **Obiettivo principale:**

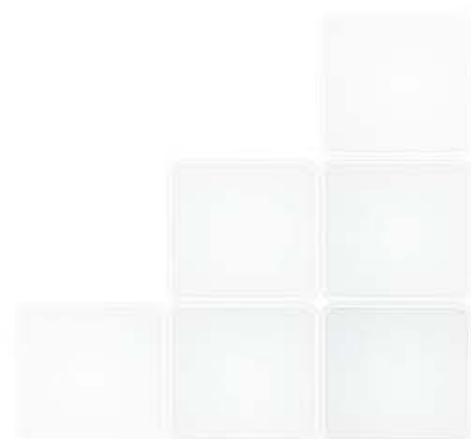
Competitività e sostenibilità del sistema produttivo nazionale



- ◆ Sviluppo di tecnologie innovative, eco-compatibili, flessibili ed economiche finalizzate al recupero di materie prime seconde ad alto valore aggiunto

*.....in particolare...*

- ◆ Sviluppo di metodi di estrazione mediante processi idrometallurgici e recupero di metalli ad alto valore aggiunto e terre rare da diverse tipologie di materiali



# Metals recycling rates

**Tavola periodica degli elementi**

solidi  
 gas  
 liquidi  
 preparati artificialmente  
 delimitazione dei non-metalli  
\* simboli basati sui nomi sistematici IUPAC

numeri di ossidazione più comuni → +1 19 ← numero atomico  
 ← simbolo  
 ← nome  
 peso atomico (tra parentesi il peso atomico dell'isotopo con vita più lunga)

1/A	Tavola periodica degli elementi																18/0						
+1 1 H 1,00794 idrogeno	2/IIA																0 2 He 4,002602 elio						
+1 3 Li 6,941 litio	+2 4 Be 9,012182 berillio																	+3 5 B 10,811 boro	+2 6 C 12,011 carbonio	+1 7 N 14,00674 azoto	-2 8 O 15,9994 ossigeno	-1 9 F 18,9984032 fluoro	0 10 Ne 20,1797 neon
+1 11 Na 22,989768 sodio	+2 12 Mg 24,3050 magnesio	elementi di transizione																+3 13 Al 26,981539 alluminio	+2 14 Si 28,0855 silicio	+3 15 P 30,973762 fosforo	+4 16 S 32,066 zolfo	+1 17 Cl 35,4527 cloro	0 18 Ar 39,948 argo
+1 19 K 39,0983 potassio	+2 20 Ca 40,078 calcio	+3 21 Sc 44,955910 scandio	+2 22 Ti 47,867 titanio	+2 23 V 50,9415 vanadio	+2 24 Cr 51,9961 cromo	+2 25 Mn 54,93805 manganese	+2 26 Fe 55,845 ferro	+2 27 Co 58,93320 cobalto	+2 28 Ni 58,6934 nichel	+1 29 Cu 63,546 rame	+2 30 Zn 65,39 zinc	+3 31 Ga 69,723 gallio	+2 32 Ge 72,61 germanio	+3 33 As 74,92159 arsenico	+4 34 Se 78,96 selenio	+1 35 Br 79,904 bromo	0 36 Kr 83,80 cripto						
+1 37 Rb 85,4678 rubidio	+2 38 Sr 87,62 stronzio	+3 39 Y 88,90585 ittrio	+4 40 Zr 91,224 zirconio	+3 41 Nb 92,90638 niobio	+6 42 Mo 95,94 molibdeno	4 43 Tc (97,9072) tecnecio	+3 44 Ru 101,07 rutenio	+3 45 Rh 102,90550 rodio	+2 46 Pd 106,42 palladio	+1 47 Ag 107,8682 argento	+2 48 Cd 112,411 cadmio	+3 49 In 114,818 indio	+2 50 Sn 118,710 stagno	+3 51 Sb 121,760 antimonio	+4 52 Te 127,60 tellurio	+1 53 I 126,90447 iodio	0 54 Xe 131,29 xeno						
+1 55 Cs 132,90543 cesio	+2 56 Ba 137,327 bario	57-71 ▶ ved. lantanidi	+4 72 Hf 178,49 afnio	+5 73 Ta 180,9479 tantalio	+6 74 W 183,84 wolframio (tungsteno)	+4 75 Re 186,207 renio	+3 76 Os 190,2 osmio	+3 77 Ir 192,217 iridio	+2 78 Pt 195,08 platino	+1 79 Au 196,96654 oro	+1 80 Hg 200,59 mercurio	+1 81 Tl 204,3833 tallio	+2 82 Pb 207,2 piombo	+3 83 Bi 208,98037 bismuto	+2 84 Po (208,9824) polonio	+1 85 At (209,9871) astato	0 86 Rn (222,0176) radon						
+1 87 Fr (223,0197) francio	+2 88 Ra (226,0254) radio	89-103 ▶ ved. attinidi	+4 104 *Unq (261,11)	+5 105 *Unp (262,114)	+6 106 *Unh (263,118)	+4 107 *Uns (262,12)	+3 108 *Uno	+2 109 *Une	gas nobili														
lantanidi			+3 57 La 138,9055 lantano	+3 58 Ce 140,115 cerio	+3 59 Pr 140,90765 praseodimio	+3 60 Nd 144,24 neodimio	+3 61 Pm (144,9127) promezio	+2 62 Sm 150,36 samario	+2 63 Eu 151,965 europio	+3 64 Gd 157,25 gadolinio	+3 65 Tb 158,92534 terbio	+3 66 Dy 162,50 disprosio	+3 67 Ho 164,93032 olmio	+3 68 Er 167,26 erbio	+3 69 Tm 168,93421 tullio	+2 70 Yb 173,04 itterbio	+3 71 Lu 174,967 lutezio						
attinidi			+3 89 Ac (227,0278) attinio	+4 90 Th 232,0381 torio	+4 91 Pa (231,0388) protoattinio	+3 92 U 238,0289 uranio	+3 93 Np (237,0482) nettunio	+3 94 Pu (244,0642) plutonio	+3 95 Am (243,0614) americio	+3 96 Cm (247,0703) curio	+3 97 Bk (247,0703) berkelio	+3 98 Cf (251,0796) californio	+3 99 Es (252,083) einsteinio	+3 100 Fm (257,0951) fermio	+2 101 Md (258,10) mendelevio	+2 102 No (259,1009) nobelio	+3 103 Lr (262,11) laurencio						

%

> 50

25-50

10-25

1-10

< 1

# Recycling of End of Life complex products

## Metal-centric approach

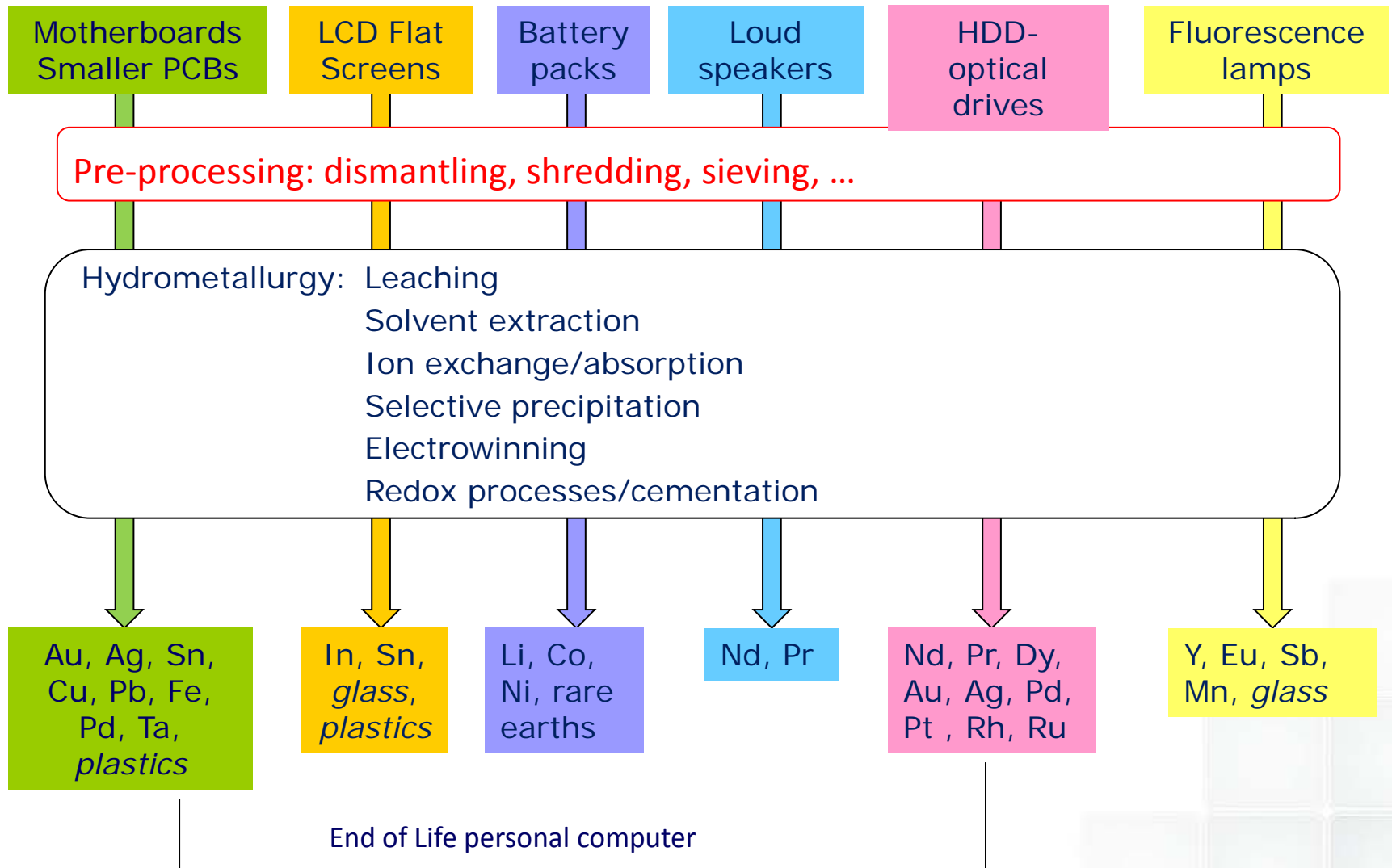
- Currently applied in existing recycling plants
- Focus on one-two target elements (generally precious metals)
- High rate of discharged residues
- Generally based on pyrometallurgy
- High dilution of low content specialty metals

VS

## Product-centric approach

- Innovative recycling approach
- Recovery of wide range of metals from EoL complex products (*recycling of base metals and precious metals represents economically driving force*)
- Integration of complementary technologies
- Principal technology: hydrometallurgy
- Upstream separation: no dilution factor
- Aiming near to zero waste discharge

# Product-centric approach in ENEA



# Recupero di metalli mediante idrometallurgia

**MATRICE**

## LISCIVIAZIONE

Dissoluzione selettiva di materiali  
(es. metalli) da minerali grezzi,  
scarti industriali, etc

## SEPARAZIONE

Isolamento delle specie chimiche  
di interesse dalla soluzione lisciviante

## PURIFICAZIONE

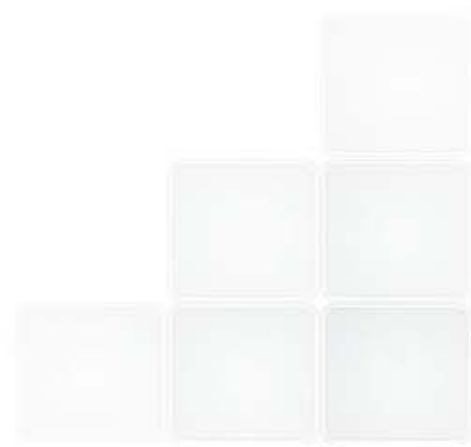
Ottenimento delle specie chimiche  
nella stechiometria e il grado di purezza  
desiderato

- Precipitazione
- Cementazione
- Estrazione con solvente
- Assorbimento/Scambio ionico
- Elettrodeposizione



## Vantaggi

- alta selettività → elevata purezza dei prodotti finali
- recupero efficiente di metalli contenuti in basse concentrazioni
- operazioni condotte prevalentemente a temperatura ambiente ed a circuito chiuso:
  - costi energetici e di esercizio contenuti
  - limitate emissioni in atmosfera
- flessibilità e modularità degli impianti



# Il recupero di metalli da schede elettroniche (Progetto Eco innovazione Sicilia)

**Efficienza di recupero  
> 90-95%**

RAEE

Smantellamento manuale/pretrattamento  
meccanico

Schede  
elettroniche  
(1t)

Lisciviazione  
tramite acidi

Separazione  
solido/liquido  
trattamenti chimici  
trattamenti chimico-  
fisici

Ossido  
di stagno  
(42 kg)

Oro (240 g)

Piombo/solfato  
di piombo  
(29 Kg)

Argento (660 g)

Trattamento meccanico

Elettrodeposizione

Lisciviazione  
tramite acidi

Rame (260 kg)



# Il recupero di metalli da schede elettroniche: Il valore



ELEMENTO	Quantità contenuta per tonnellata di schede	VALORE del metallo €/kg maggio 2014 <i>fonti varie</i>	VALORE stimato (€) per t di schede <i>maggio 2014</i>
<b>Cu</b>	<b>261 kg</b>	<b>6,72</b>	<b>1.754</b>
<b>Pb</b>	<b>29 kg</b>	<b>2,06</b>	<b>60</b>
<b>Au</b>	<b>240 g</b>	<b>30.350</b>	<b>7.280</b>
<b>Ag</b>	<b>660 g</b>	<b>450</b>	<b>297</b>
<b>Sn</b>	<b>33 kg</b>	<b>22,73</b>	<b>750</b>
<b>Totale</b>			<b>10.141</b>

## Potenzialità:

E' stato stimato che ogni anno si producono nel mondo dai 20 ai 50 milioni di ton di rifiuti hi-tech che contengono 320 tonnellate di oro e 7.200 d'argento per un valore di 21 miliardi di dollari: solo il 15% di questi tesori viene recuperato (report 2012 delle Nazioni Unite sui RAEE).

# Recupero di metalli da schede elettroniche: BREVETTO



Domanda di brevetto «Processo Idrometallurgico per il Recupero di Materiali dalle Schede Elettroniche» (RM2013A000549) per il processo di recupero di **Au, Ag, Cu, Sn e Pb da schede elettroniche**

Peculiarità:

- Trattamento schede elettroniche intere
- Recupero di oro metallico e stagno nella prima fase del processo
- Prodotti della purezza desiderata
- Utilizzabile su impianti di taglia ridotta
- Maggiore accettabilità sociale e impatto ambientale limitato rispetto agli impianti pirometallurgici

# Recupero di metalli da schede elettroniche: IMPIANTO PILOTA



Realizzazione di un impianto pilota per verificare le prestazioni del processo sviluppato dal punto di vista operativo, tecnico ed economico e per la valutazione dei rischi e benefici per la società e l'ambiente: progettazione conclusa, inizio fase di realizzazione presso CR Casaccia ENEA.

## **Caratteristiche dell'impianto:**

- Modulare
- Circuito chiuso
- Operazione a temperatura ambiente
- Basse emissioni
- Riciclo reagenti fino ad esaurimento
- Flessibile e adattabile a diverse quantità di materia in entrata

## **Adattabile ad altre matrici da trattare:**

Tale impianto per la sua natura modulare, potrà essere utilizzato anche per lo sviluppo e l'ottimizzazione di tecnologie di processo per il trattamento di matrici di altra natura (lampade a fluorescenza esauste, monitor LCD, etc.) prospettandosi come **banco di prova ideale per lo sviluppo dei processi di recupero dei metalli d'interesse strategico.**

# Recupero di metalli da schede elettroniche: IMPIANTO PILOTA

DISSOLUZIONE

SEPARAZIONE  
Liquido/solido

MACINAZIONE  
solidi

PRECIPITAZIONE  
CRISTALLIZZAZIONE

ELETTRODEPOSIZIONE

5 MODULI interscambiabili  
+ trattamento reflui e fumi

TRATTAMENTO  
FUMI e REFLUI

# GRAZIE PER L'ATTENZIONE

Per informazioni

- Claudia Brunori – [claudia.brunori@enea.it](mailto:claudia.brunori@enea.it)

