

# Il progetto SMaRT PCBs: Tecnologia sostenibile per il riciclo dei materiali da schede elettroniche

19 ottobre 2023

In collegamento da: Sala Riunioni DICAAR, Università di Cagliari

Introduce e coordina: Prof.ssa Angela Serpe

Università degli Studi di Cagliari





# SMaRT PCBs

*Sustainable Materials Recycling Technology  
for Printed Circuit Boards*

**SMaRT PCBs** è il progetto di economia circolare, finanziato dal **Bando RAEE 2020 del Ministero della Transizione Ecologica**, che mira a validare una tecnologia innovativa integrata a basso impatto ambientale per il **recupero e la valorizzazione dei metalli preziosi e della componente plastico-vetrosa da una selezione di Rifiuti da Apparecchiature Elettriche ed Elettroniche (RAEE)**.

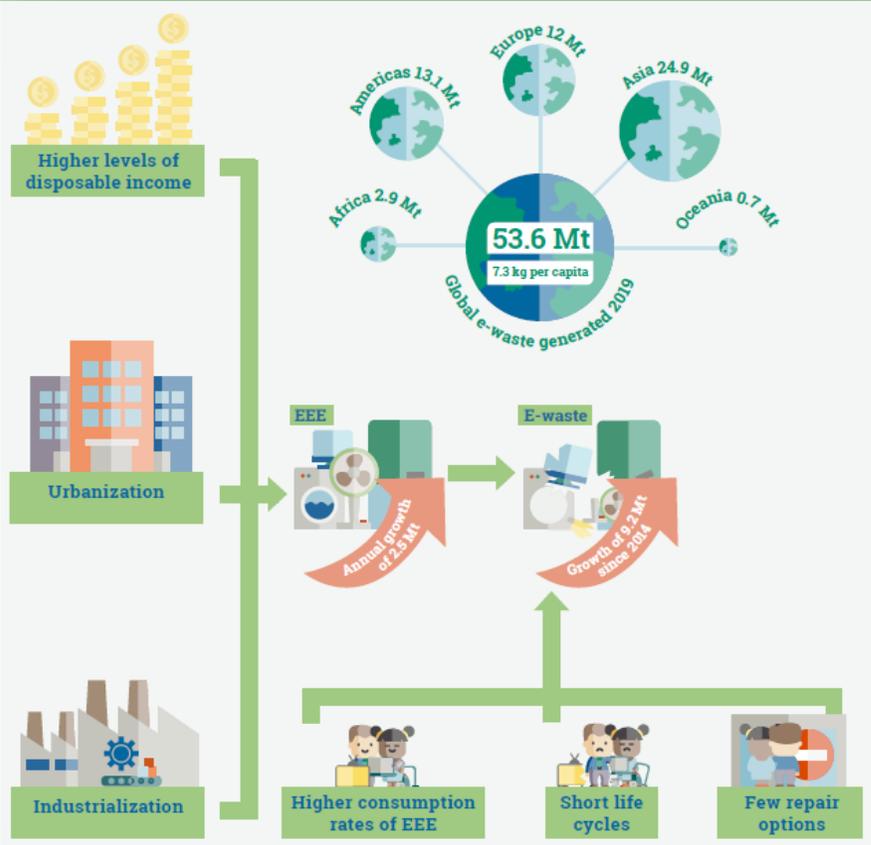
# Il contesto

I **Rifiuti da Apparecchiature Elettriche ed Elettroniche (RAEE)** sono oggetto di attenzione specifica da parte delle direttive comunitarie ed extra-comunitarie, a causa della quantità di rifiuti generati per anno e i conseguenti problemi logistici, ambientali e sulla salute umana associati ad un loro smaltimento.

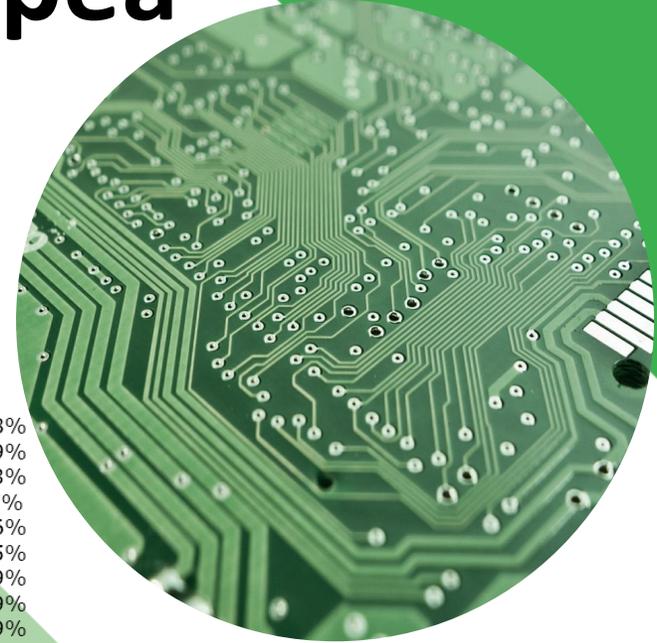
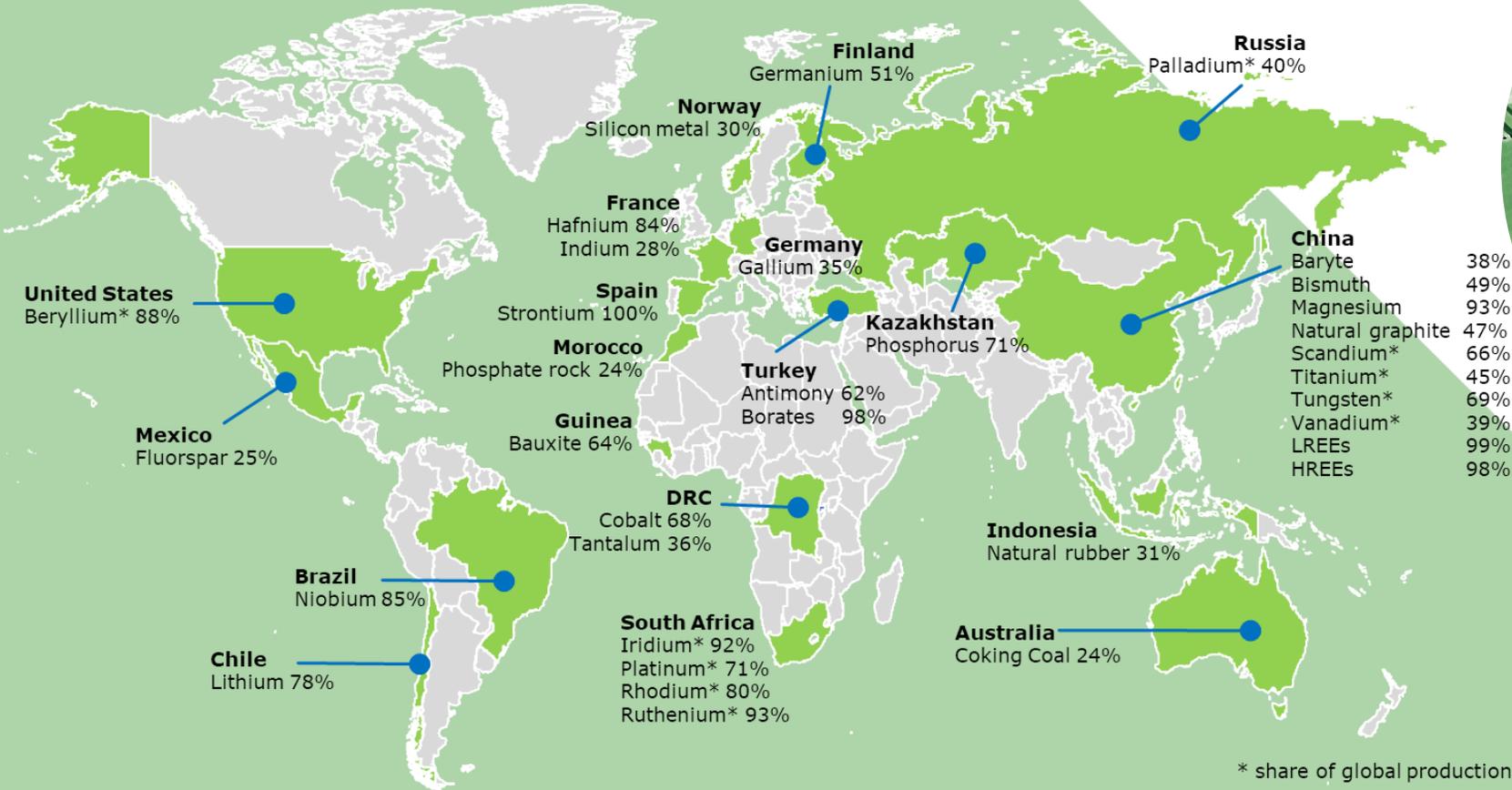


# Produzione annua mondiale di e-waste

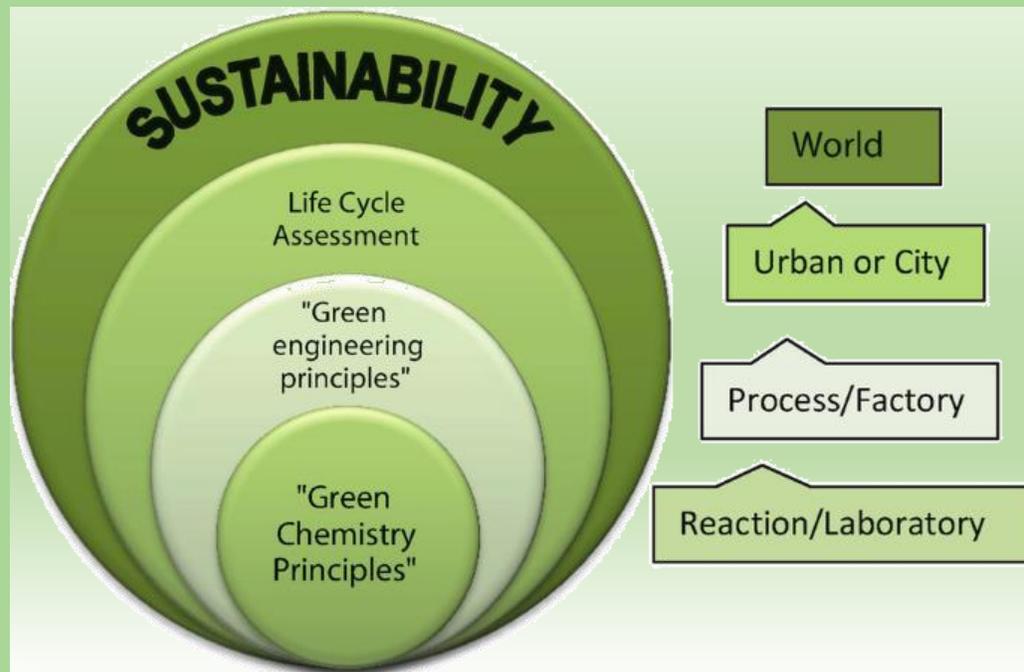
GEM 2020



# Materiali critici per l'Unione Europea



Accoppiano  
**importanza economica**  
 con  
**rischi associati**  
 all'approvvigionamento



## Obiettivo generale

Il progetto Smart PCBs mira alla valorizzazione dei RAEE, promuovendo un virtuoso modello di economia circolare, basato su processi ispirati ai principi della *Green Chemistry* e della *Green Engineering*, con lo scopo finale di arrivare a RIFIUTI-ZERO.

	(A) Green Chemistry principles	(B) Green Engineering principles
1	Prevent waste	Inherently non hazardous inputs and outputs (materials and energy)
2	Maximize atom economy	Waste prevention instead of treatment
3	Design less hazardous chemical syntheses	Minimize energy and materials in separations and purifications
4	Design safer chemicals and products	Maximize efficiency
5	Use safer solvents and auxiliaries	"Output pulled" rather than "input pushed" processes
6	Increase energy efficiency	Conserve complexity
7	Use renewable feedstocks	Targeted durability rather immortality
8	Avoid chemical derivatives	Meet need, minimize excess
9	Prefer catalytic reactions (vs stoichiometric)	Minimize material diversity to promote disassembly and value retention
10	Design chemicals and products to degrade after use	Integrate material and energy flows
11	Analyze in real time to prevent pollution	Design for commercial "afterlife"
12	Minimize the potential for accidents	Renewable rather than depleting resources

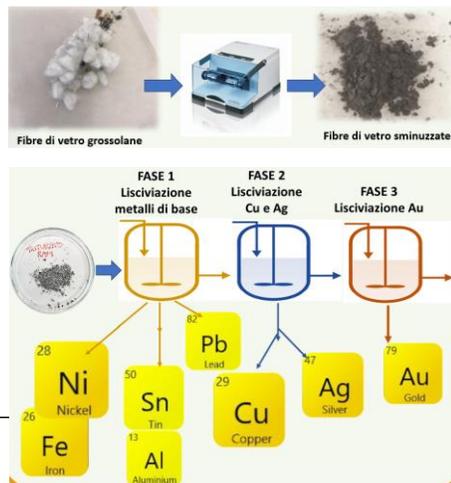
# Gli obiettivi specifici

1

Validare una tecnologia innovativa integrata a basso impatto ambientale per il recupero dei metalli preziosi e della componente plastico-vetrosa da una selezione di RAEE, specificamente PCB da PC/telefoni cellulari e componenti ricchi in oro, argento, palladio e rame.

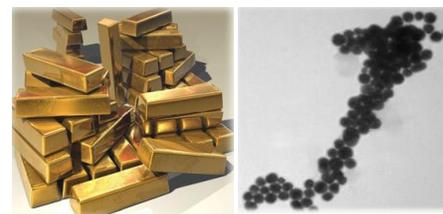
2

Ridurre al minimo gli scarti di processo (ZERO-WASTE) per limitare la perdita di risorse.



3

Generare materiali riciclati di elevato interesse per il mercato in modo da potenziare la circolarità stimolando all'uso di materie prime seconde al posto del materiale vergine

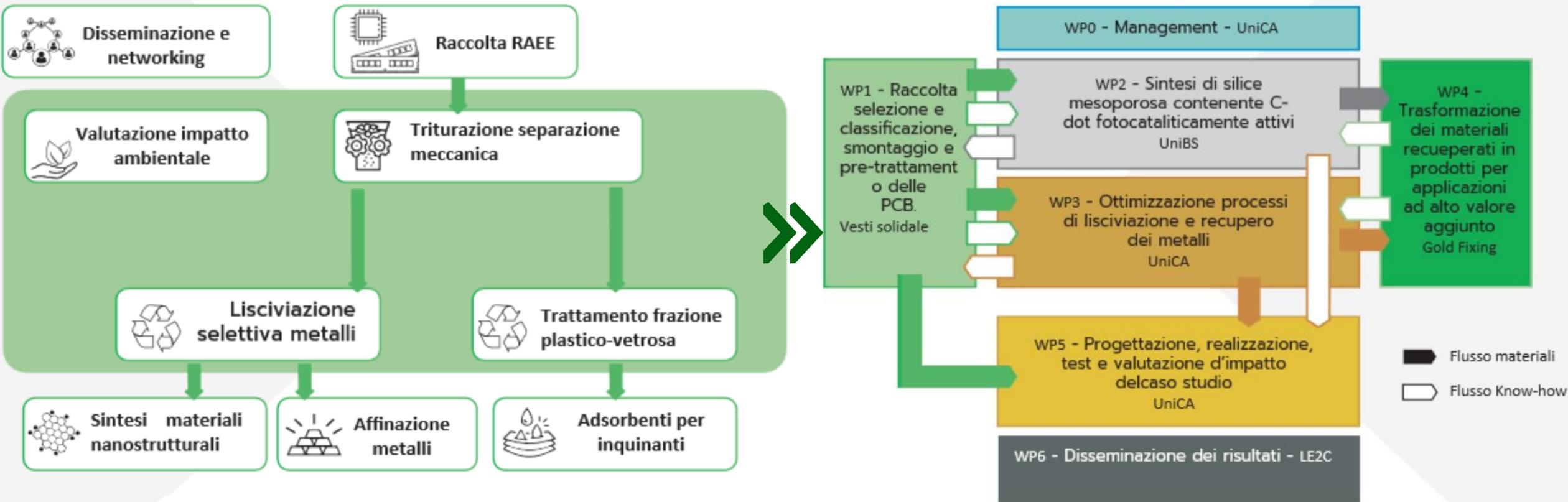


4

Valutare la sostenibilità tecnico-economica-ambientale di una "filiera pilota" finalizzata al recupero e valorizzazione innovativa e sostenibile di tali rifiuti/risorse.



# Struttura del progetto





# Partner



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI BRESCIA

Università degli Studi di Cagliari  
[www.unica.it](http://www.unica.it)

Università degli Studi di Brescia  
[www.unibs.it](http://www.unibs.it)

Dipartimento		Ricercatori e collaboratori
Ingegneria Civile, Ambientale e Architettura	DICAAR	Serpe A, Muntoni A, De Giannis G, Cocco S, Piro VMI
Ingegneria Meccanica, Chimica e dei Materiali	DIMCM	Casula MF, Pilia L, Schirru M
Ingegneria Elettrica ed Elettronica	DIEE	Bonfiglio A, Cosseddu P
Fisica	DSF	Ricci PC, Chiriu D, Olla C

Dipartimento		Ricercatori e collaboratori
Ingegneria Meccanica e Industriale	DIMI	Bontempi E, Zanoletti A, Cornelio A
Ingegneria dell'Informazione	DII	Alessandri I, Javaid S, Franceschini P



Gold Fixing Srl  
[www.goldfixing.it](http://www.goldfixing.it)



Lombardy Energy Cleantech Cluster  
(LE2C)  
[www.energycluster.it](http://www.energycluster.it)



Vesti Solidale Soc.Coop.  
[www.vestisolidale.it](http://www.vestisolidale.it)

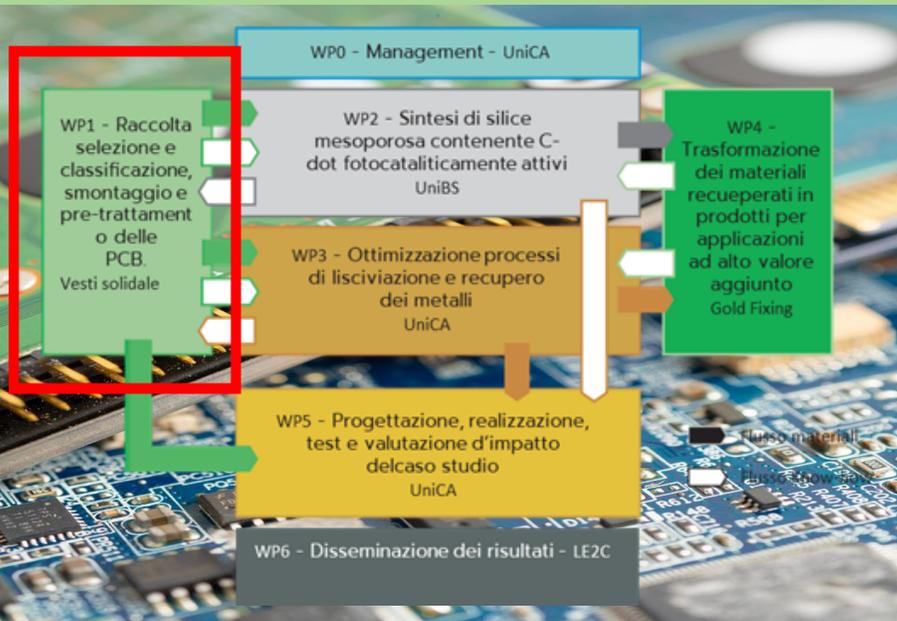
# Raccolta, selezione e classificazione delle PCB

RAM	Prima qualità	Server	HD	Colorate
10 kg	5 kg	5 kg	5 kg	5 kg

## Pre-trattamento meccanico delle PCB



Dipartimento di Meccanica  
Colledani M, Diani M



TIPOLOGIA CAMPIONE	PRE-TRATTAMENTO	Frazioni granulometriche (mm)
Mix di schede elettroniche (prima qualità, schede colorate, Hard Disk)	Triturazione	0.5
		2
		4
RAM miste	Triturazione	0.5
		2
		4



# Reagenti *green* da valorizzazione di scarti agro-industriali

19 ottobre 2023

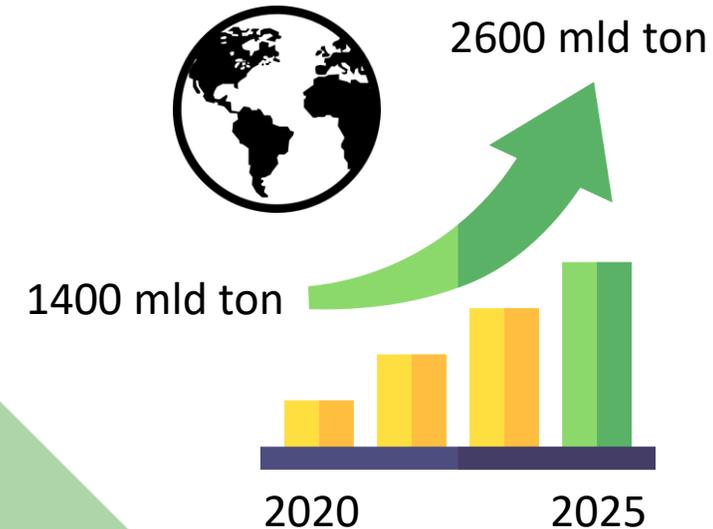
In collegamento da: Sala Riunioni DICAAR, Università di Cagliari

Prof.ssa Giorgia De Gioannis

DICAAR, Università degli Studi di Cagliari



# Scarti agro-industriali



eurostat 2020

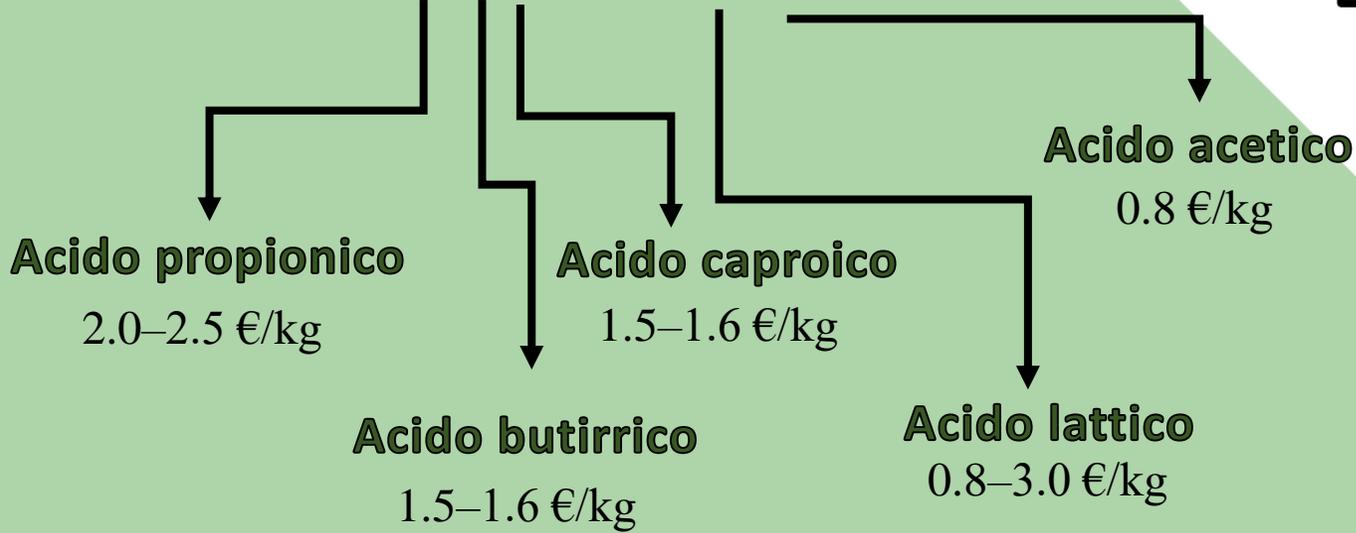
58 mln ton/anno  
(130 kg/ab anno)

3.3 mln ton/anno  
(136 kg/ab anno)

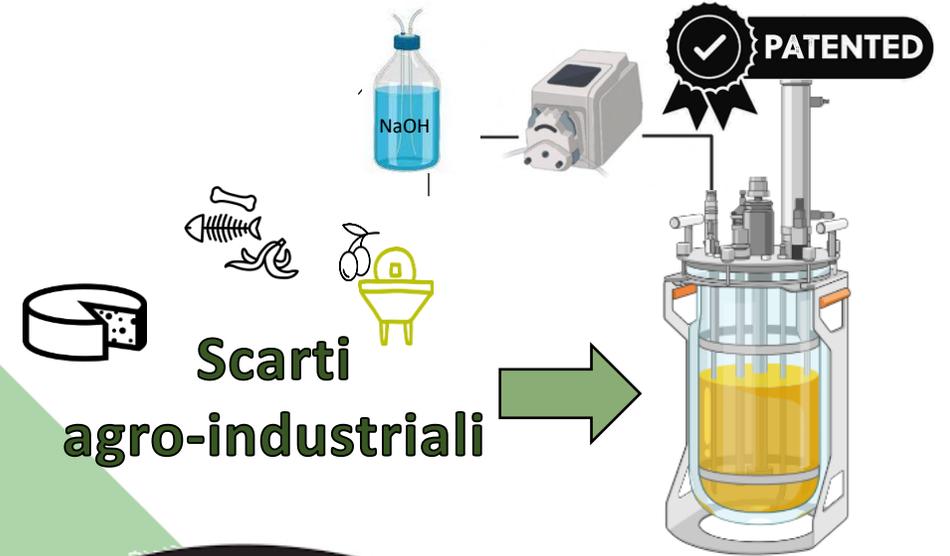
Asunis et al., 2022. <https://doi.org/10.1177/0734242X221103940>  
Sinha and Tripathi, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2021.100162>  
Sharma et al., 2022. <http://dx.doi.org/10.3390/catal12111373>  
Chiaraluce, 2021. DOI: 10.36253/rea-13375



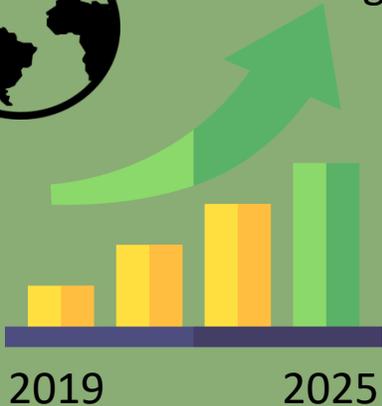
# ACIDI ORGANICI



produzione *bio-based*



Richiesta globale: 9.9 mld €



Tasso annuo di crescita:  
4.6%

Lisciviazione  
selettiva metalli



Asunis et al., 2022. <https://doi.org/10.1177/0734242X221103940>  
Atasoy et al. 2018. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.07.042>

**Patent:** Process for the production of a leaching mixture from dairy waste - PCT/IB2023/053795  
Angela Serpe, Giorgia De Gioannis, Aldo Muntoni, Martina Cera et al.



# Recupero eco-friendly dei metalli da PCBs

19 ottobre 2023

In collegamento da: Sala Riunioni DICAAR, Università di Cagliari

Dott. Ing. Vittoria M. I. Piro, Dott. Simone Cocco

DICAAR, Università degli Studi di Cagliari



# PCB Miniere urbane!

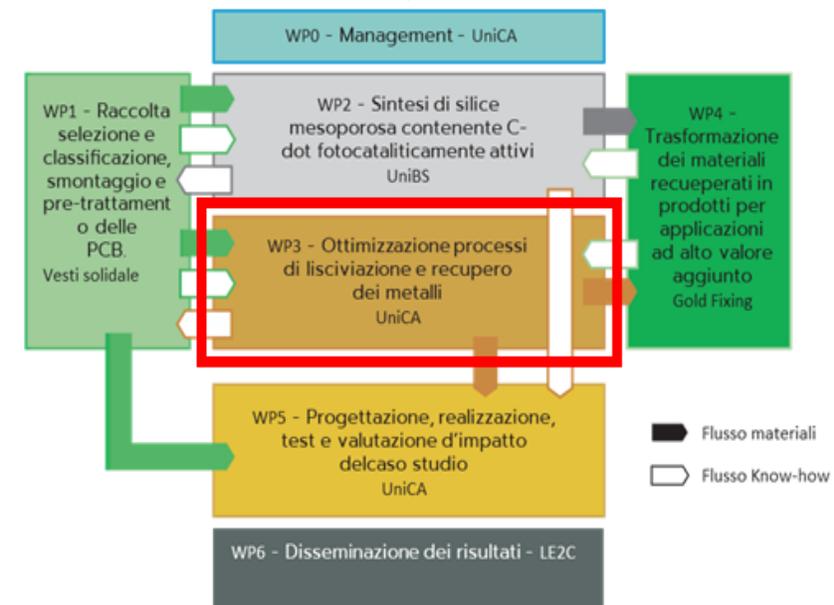
40 wt. % metalli

30 wt. % polimeri

30 wt. % ceramico-vetrosi

Contenuto metallico medio nelle schede di tipologia RAM

Metalli	kg/t <sub>PCB</sub> (Serpe et al., 2019)
Pb	8
Ni	42
Cu	150
Fe	70
Sn	19
Al	14
Au	0.8
Ag	0.4

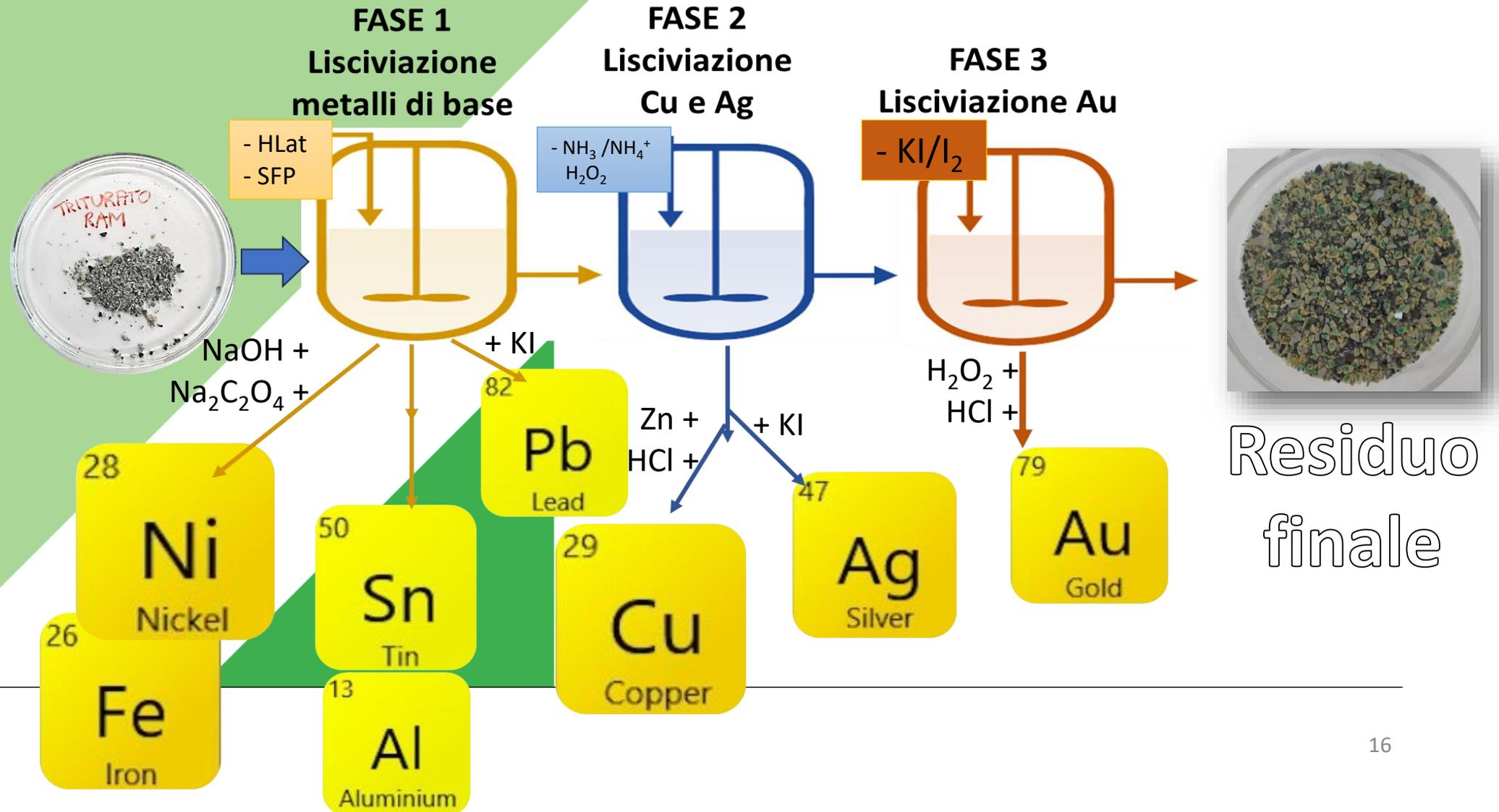


I metalli nobili rappresentano il maggior valore economico dei RAEE (Au, Ag, Cu). Ricavo stimato dal recupero: 48500 €/t (quotazioni del 17/10/2023).

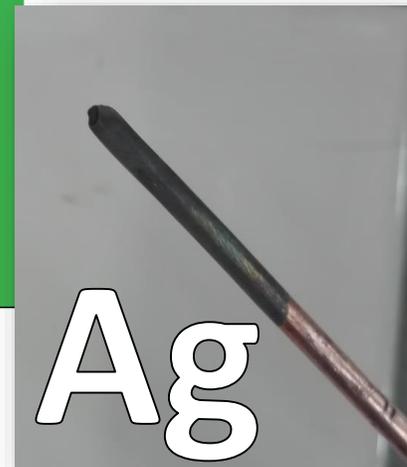
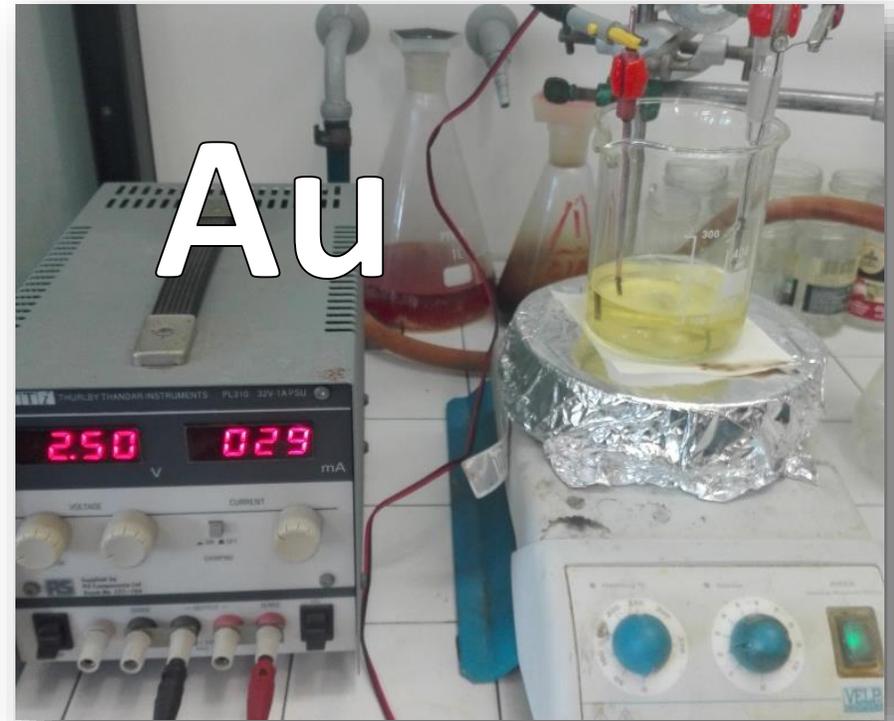
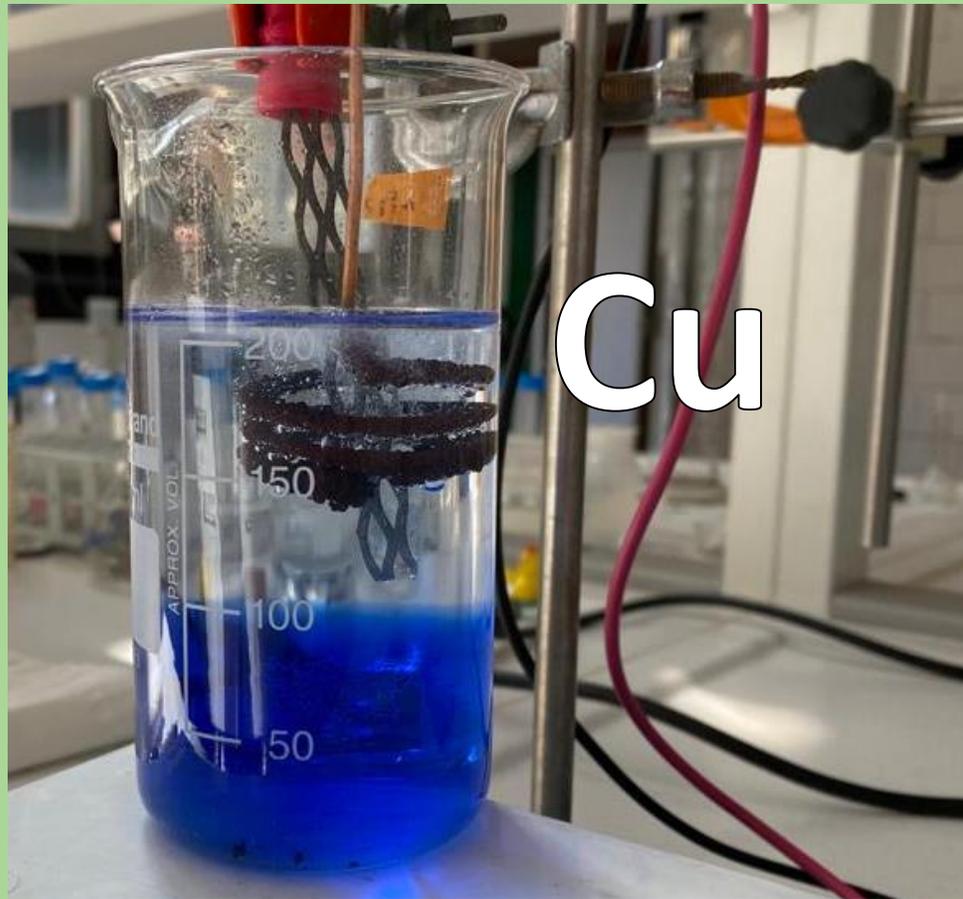


Il recupero dei metalli pesanti contenuti nei RAEE permette una loro valorizzazione economica e aiuta a prevenire effetti negativi sull'ambiente.

# Processi sostenibili: fasi di lisciviazione e recupero dei metalli



# Recupero dei metalli nobili: Elettrodeposizione di rame, argento e oro



# Valorizzazione dei metalli nobili recuperati, nelle nanotecnologie

19 ottobre 2023

In collegamento da: Sala Riunioni DICAAR, Università di Cagliari

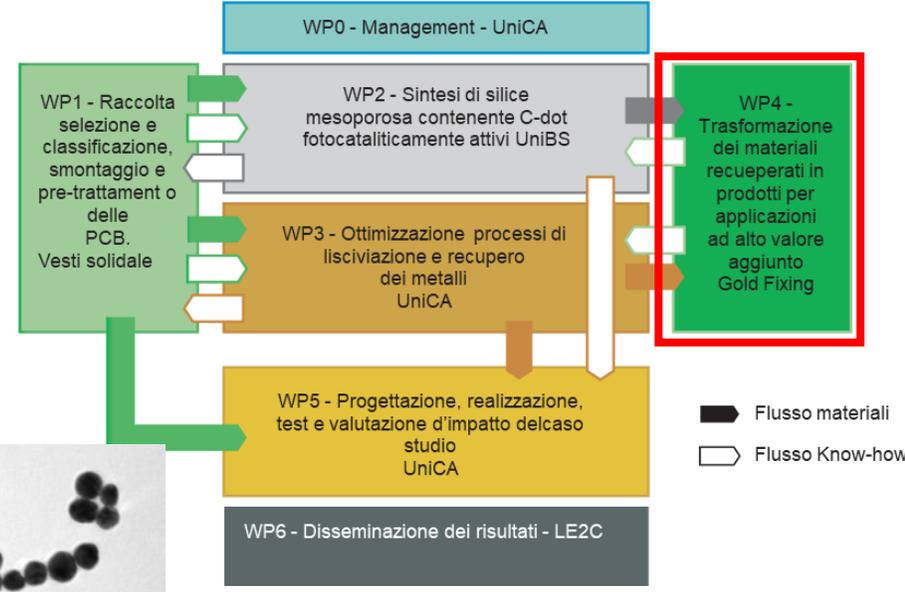
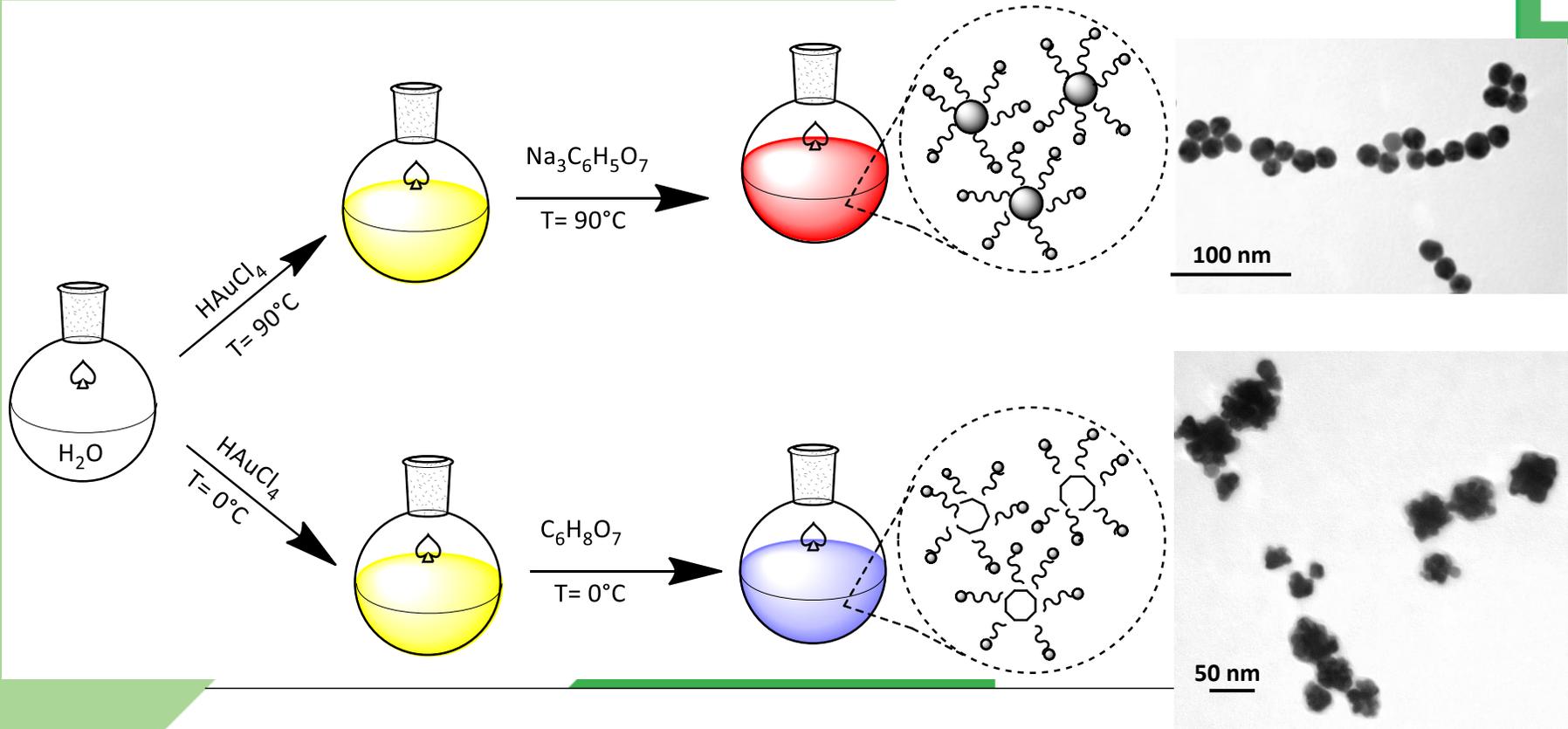
Dott. Manuela Schirru

DIMCM, Università degli Studi di Cagliari



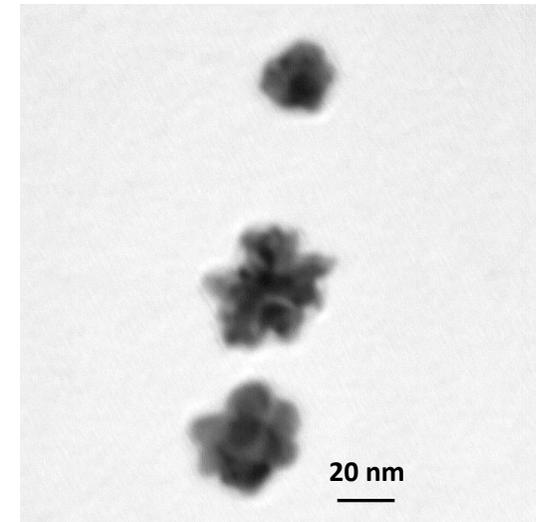
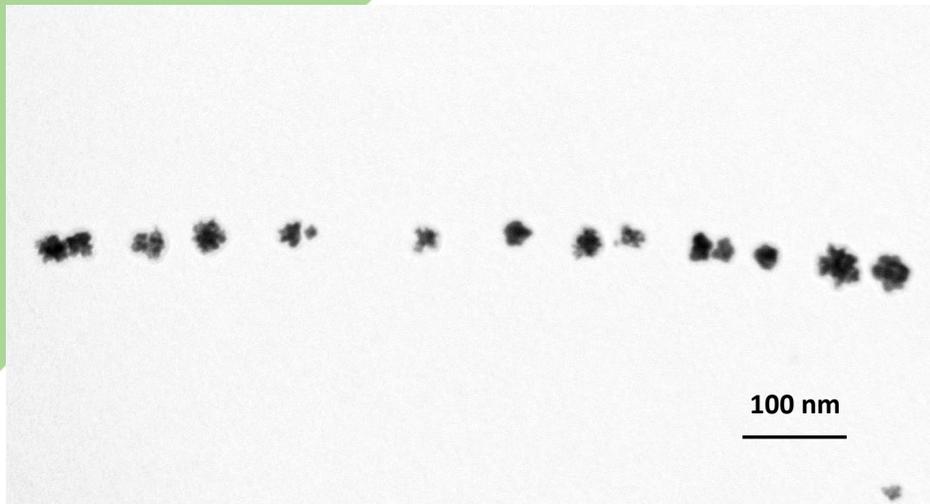
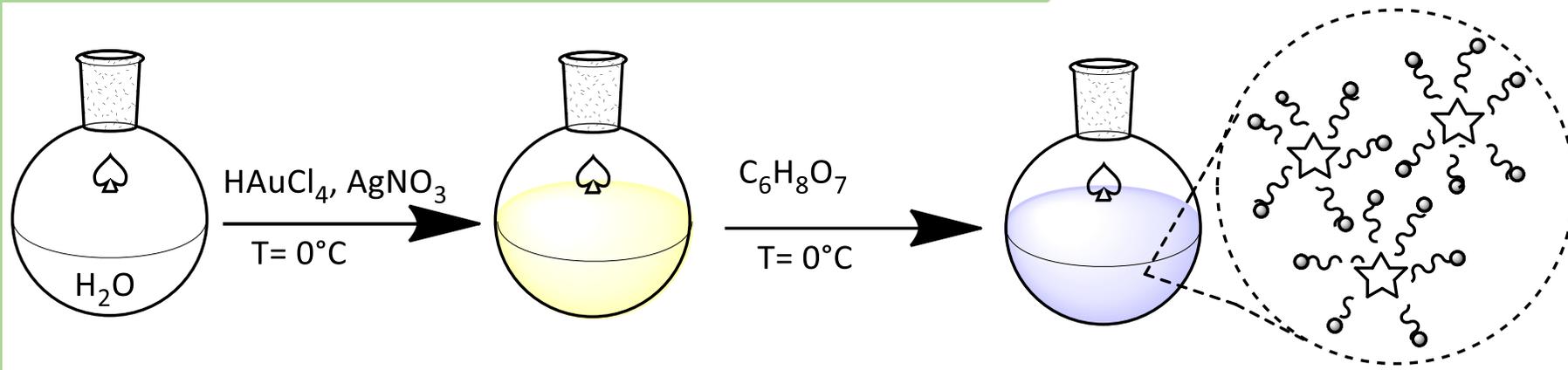
# Progettazione, realizzazione, test e valutazione d'impatto del caso studio

Preparazione nanoparticelle (NPs) metalliche (Au e Ag) riferimento da precursori commerciali

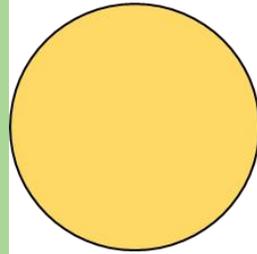
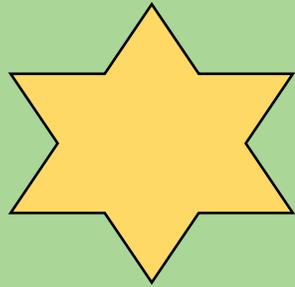


Boca, S., Rugina, D., Pinteau, A., Barbu-Tudoran, L., & Astilean, S. (2010). Flower-shaped gold nanoparticles: synthesis, characterization and their application as SERS-active tags inside living cells. *Nanotechnology*, 22(5), 055702.

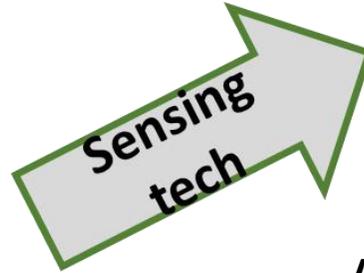
# Nanoparticelle bimetalliche Au/Ag



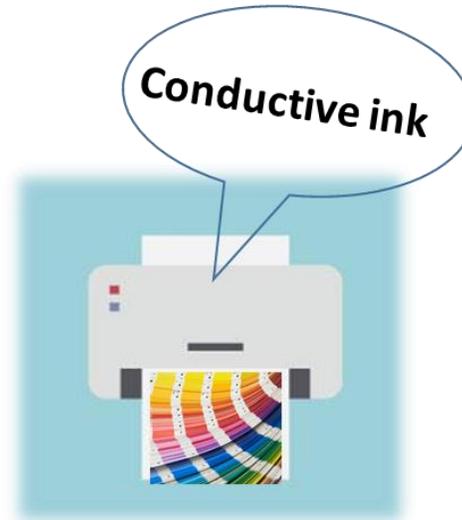
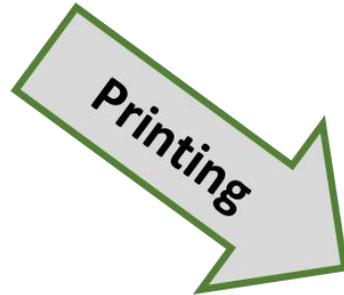
# Produzione e funzionamento dispositivi ottici



**NPs**



**Advanced Electronic Devices LABORatory Group**



**Materials Science, Optical and Spectroscopic Group**