



11 CITTÀ E COMUNITÀ  
SOSTENIBILI



12 CONSUMO E  
PRODUZIONE  
RESPONSABILI



8 LAVORO DIGNITOSO  
E CRESCITA  
ECONOMICA



13 LOTTA CONTRO  
IL CAMBIAMENTO  
CLIMATICO



14 LA VITA  
SOTT'ACQUA



15 LA VITA  
SULLA TERRA



# URBAN MINING: l'alternativa sostenibile allo sfruttamento delle risorse non rinnovabili

Prof.ssa Silvia Serranti

# Le Materie Prime

## Materie prime primarie



**Le materie prime primarie si ricavano dallo sfruttamento delle risorse naturali.**

## Materie prime secondarie



**Le materie prime secondarie si ricavano dal processo di riciclo di rifiuti di diversa natura e origine.**

# Da Ore Mining...



**Ore Mining:** estrazione di minerali da un giacimento minerario della crosta terrestre che contiene mineralizzazioni di interesse economico. Attraverso l'estrazione e il processo di trattamento si ottengono le **Materie Prime Primarie (MPP)**.

*Urban Mining:* l'alternativa sostenibile allo sfruttamento delle risorse non rinnovabili  
Prof.ssa Silvia Serranti  
silvia.serranti@uniroma1.it



SAPIENZA  
UNIVERSITÀ DI ROMA

# ...a *Urban Mining*



©lasse designen, Fotolia.com

**Urban Mining (UM):** identifica l'insieme delle operazioni (es. raccolta, caratterizzazione, trattamento, controllo di qualità, riciclo, ecc.) finalizzate al recupero di **Materie Prime Secondarie (MPS)** da **Rifiuti Urbani (RU)** o, più in generale, da vaste scorte di materiali incorporati nelle città (ad es. edifici e infrastrutture) e / o nelle discariche.

*Urban Mining:* l'alternativa sostenibile allo sfruttamento delle risorse non rinnovabili  
Prof.ssa Silvia Serranti  
silvia.serranti@uniroma1.it



SAPIENZA  
UNIVERSITÀ DI ROMA

# Landfill Mining



Escavazione delle discariche e successivo trattamento dei rifiuti con recupero di materiali, energia e volume riutilizzabile nel sito.



# Trattamento minerali e trattamento rifiuti

**Gli obiettivi del trattamento dei minerali e del trattamento dei rifiuti sono gli stessi:**

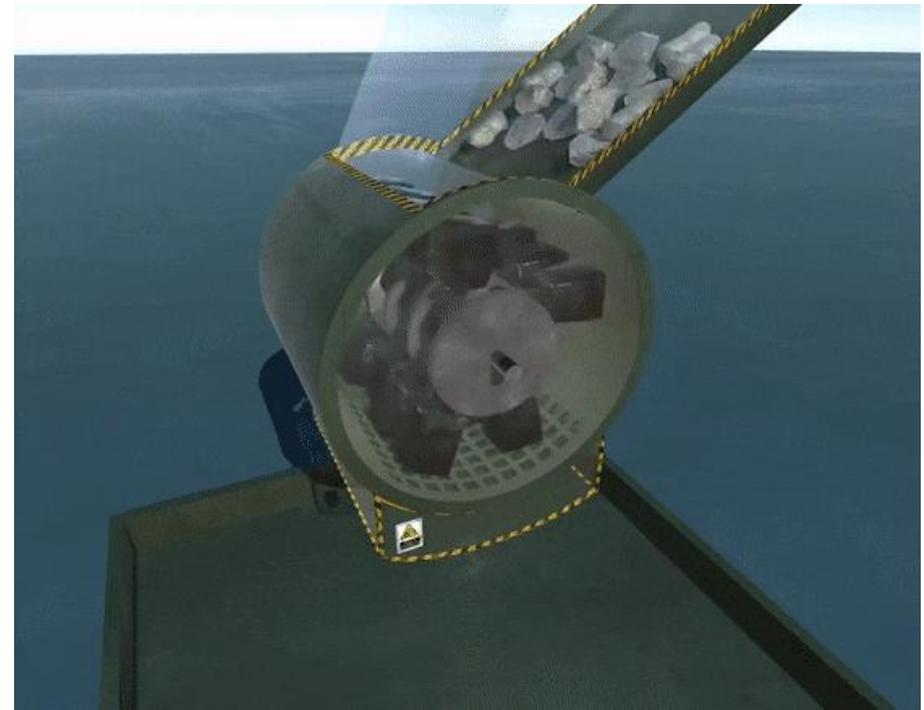
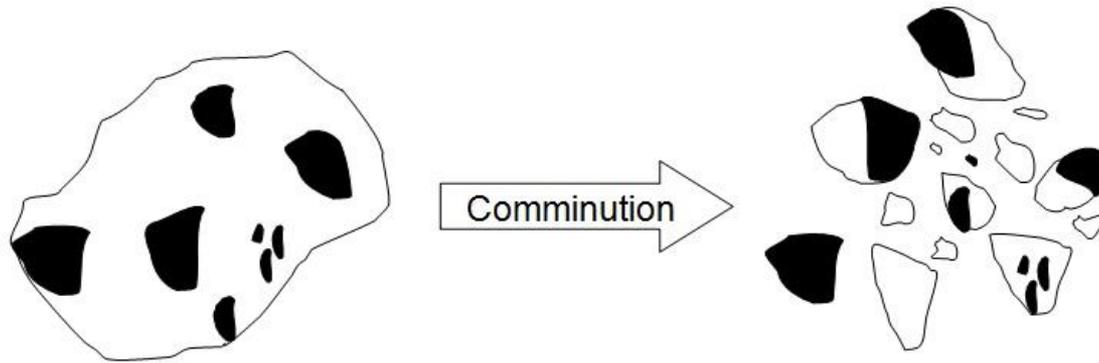
- **Liberazione dei costituenti**
- **Separazione dei costituenti**



**Produzione di  
materie prime**

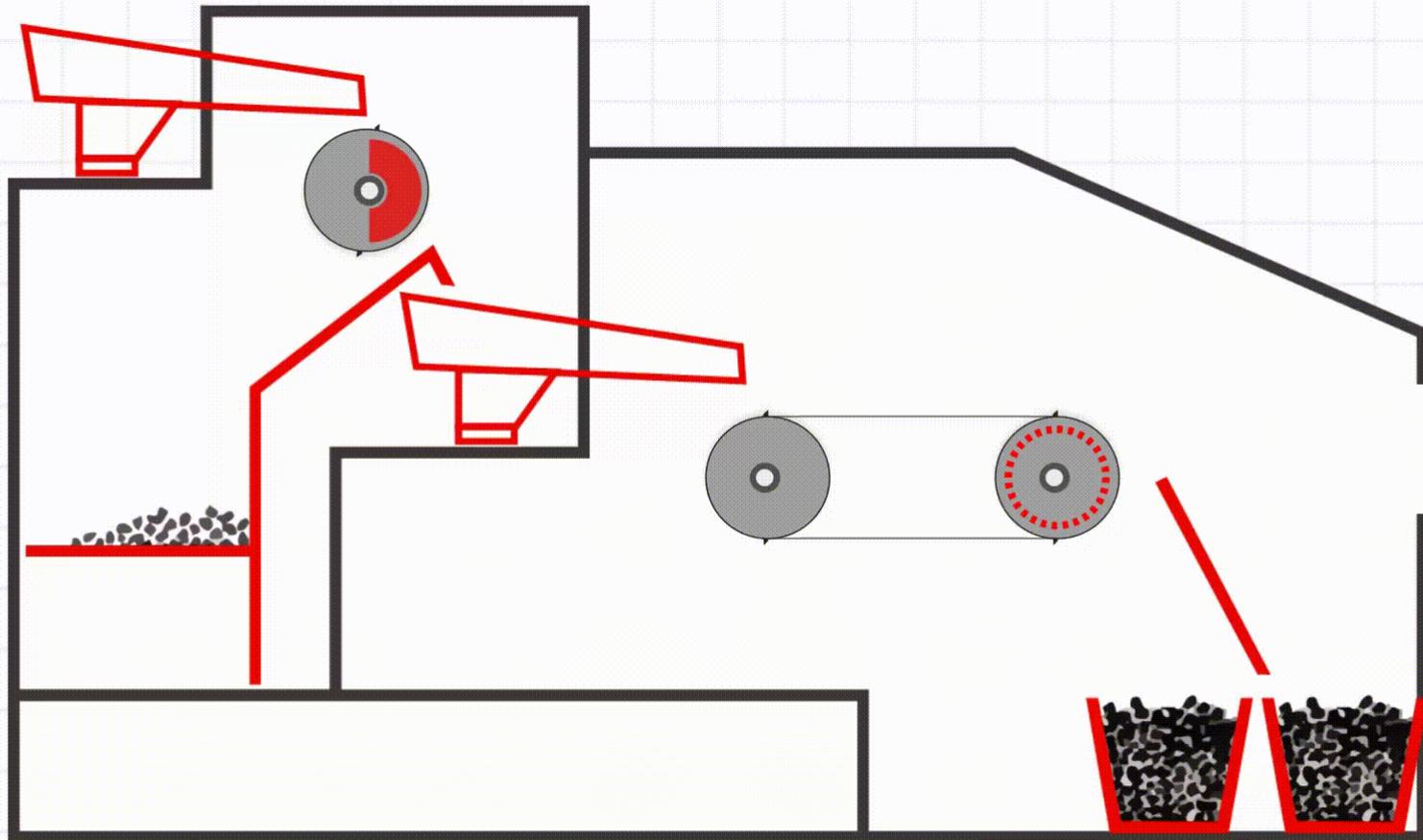
# Trattamento minerali e trattamento rifiuti

## Liberazione dei costituenti



# Trattamento minerali e trattamento rifiuti

## Separazione dei costituenti



# Confronto Ore Mining e Urban Mining

## Ore Mining

Esplorazione



Studio di  
fattibilità



Coltivazione



Trattamento  
minerali



Materia  
prima  
primaria

## Urban Mining

Analisi del  
flusso di  
materiali



Pianificazione  
raccolta



Raccolta



Trattamento  
rifiuti



Materia  
prima  
secondaria

# Vantaggi dell'Urban Mining

## Ore mining

5 g/t di oro in un giacimento minerario aurifero



- Bassi tenori
- Elevati volumi
- Posizioni fisse

## Urban mining

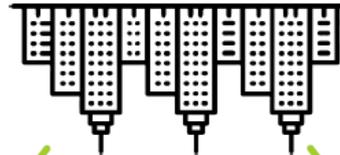
200 g/t di oro nei computer  
300 g/t di oro negli smartphone



- Alti tenori
- Milioni di unità
- Diffusione globale

# Le principali risorse delle miniere urbane

## URBAN MINING



Scarti Di Apparecchiature  
Elettriche Ed Elettroniche  
RAEE



Rifiuti  
Urbani, RU



Scarti Da Costruzione  
E Demolizione, SCD

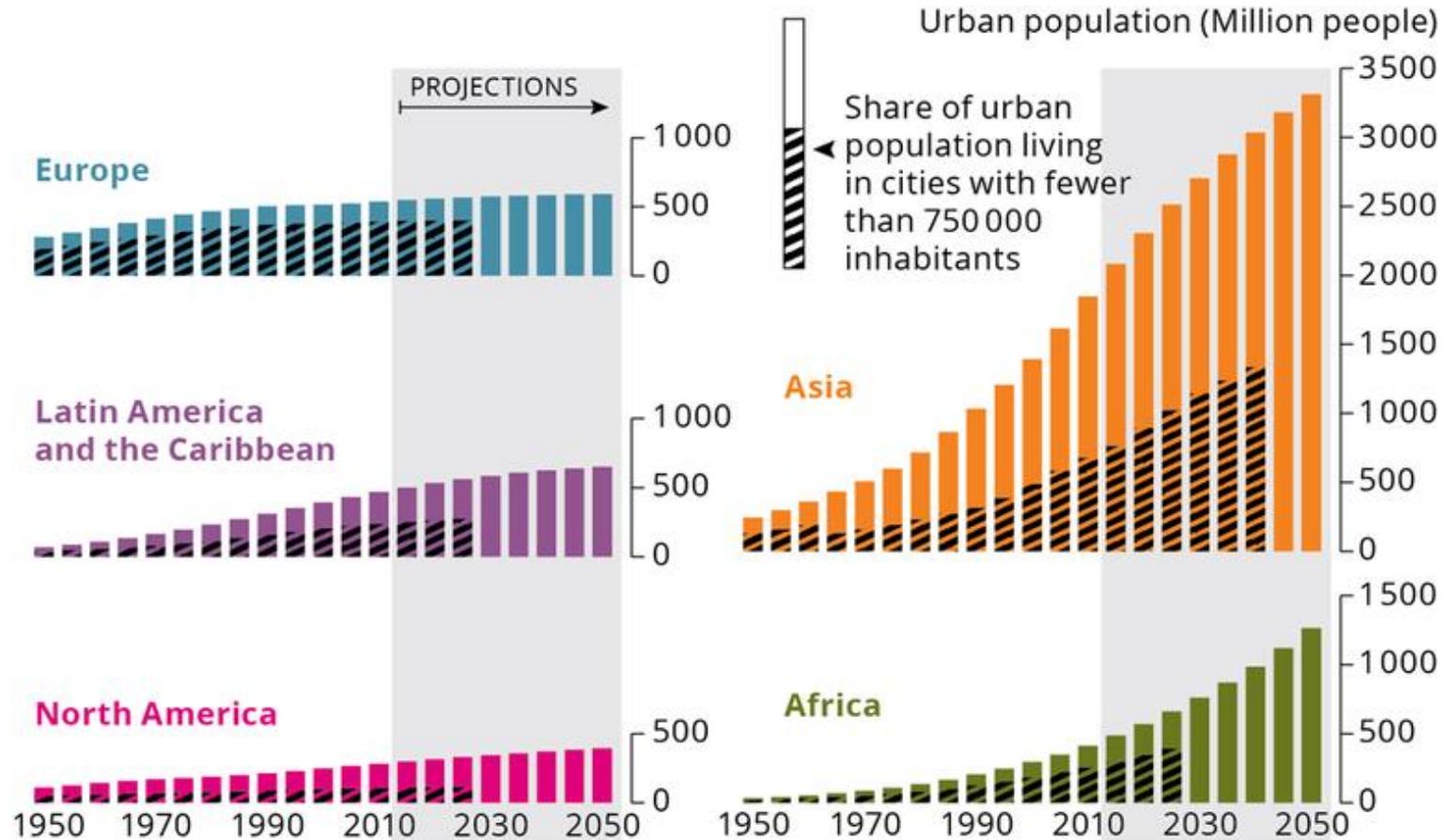


Veicoli  
Fuori Uso, VFU



**Da rifiuti a materie prime**

# Tendenze dell'urbanizzazione mondiale



*Entro il 2050, si prevede che circa 6 miliardi di persone (quasi il 70% della popolazione mondiale) vivranno nelle città*

Source: European Environment Agency, 2017

*Urban Mining: l'alternativa sostenibile allo sfruttamento delle risorse non rinnovabili*  
Prof.ssa Silvia Serranti  
silvia.serranti@uniroma1.it



SAPIENZA  
UNIVERSITÀ DI ROMA

# Obiettivo 11: Città e comunità sostenibili



Rendere le città e gli insediamenti umani inclusivi, sicuri, duraturi e sostenibili

**TARGET** 11-6



**REDUCE THE ENVIRONMENTAL IMPACT OF CITIES**

## Target 11-6 La gestione dei rifiuti

Entro il 2030, ridurre l'impatto ambientale negativo pro capite delle città, in particolare riguardo alla qualità dell'aria e alla gestione dei rifiuti

*Il 75% dei rifiuti viene prodotto nelle città!*

# Obiettivo 12: Consumo e produzione responsabili

Si deve trovare un equilibrio tra sviluppo socio-economico e conservazione e protezione delle risorse



Source: Linda Godfrey, 2018

*Urban Mining*: l'alternativa sostenibile allo sfruttamento delle risorse non rinnovabili  
Prof.ssa Silvia Serranti  
silvia.serranti@uniroma1.it

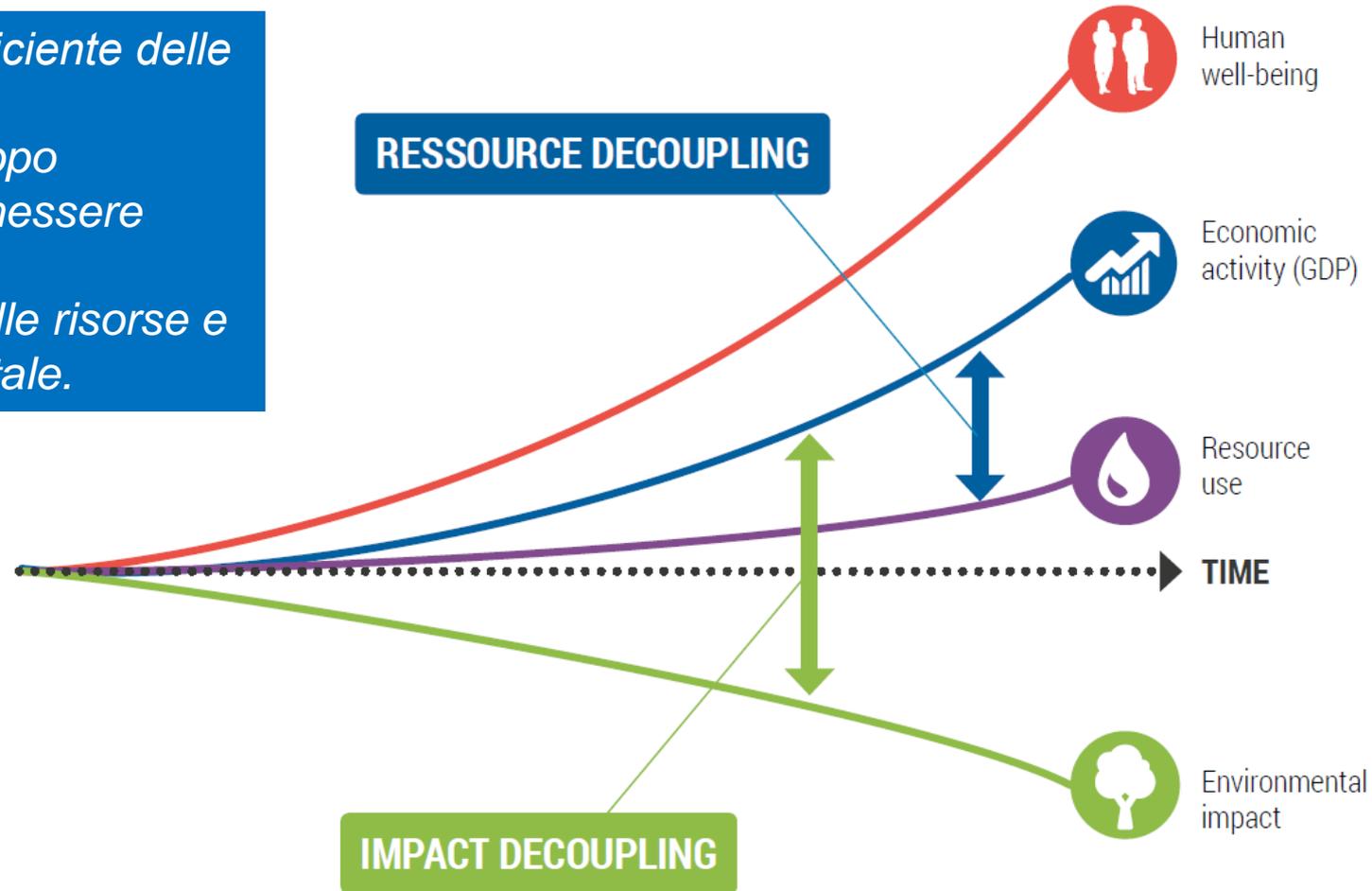


**SAPIENZA**  
UNIVERSITÀ DI ROMA

# Il concetto di disaccoppiamento: *doing better with less*

La sfida dell'uso efficiente delle risorse è:

- aumentare sviluppo economico e benessere umano
- diminuire uso delle risorse e degrado ambientale.



Source: Assessing Global Resource Use, UNEP 2017

*Urban Mining*: l'alternativa sostenibile allo sfruttamento delle risorse non rinnovabili  
Prof.ssa Silvia Serranti  
silvia.serranti@uniroma1.it



SAPIENZA  
UNIVERSITÀ DI ROMA

# Da economia lineare a economia circolare

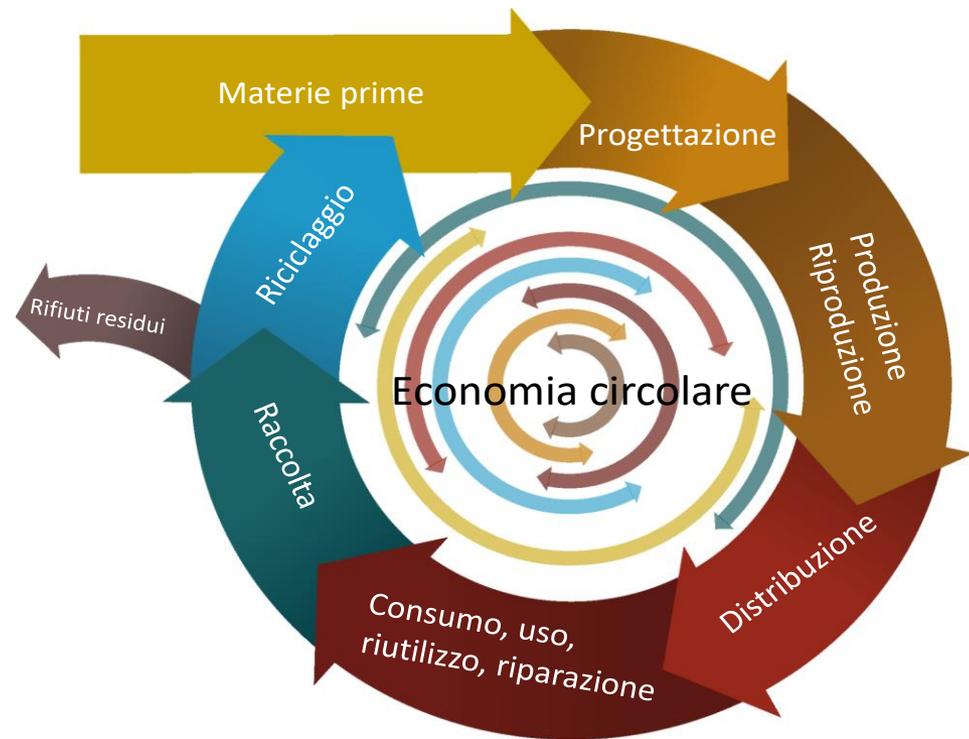
## Economia lineare

*Not sustainable*



## Economia circolare

*'Living well within the limits of our planet'*



Source: Report on Critical Raw Materials in the Circular Economy, 2018

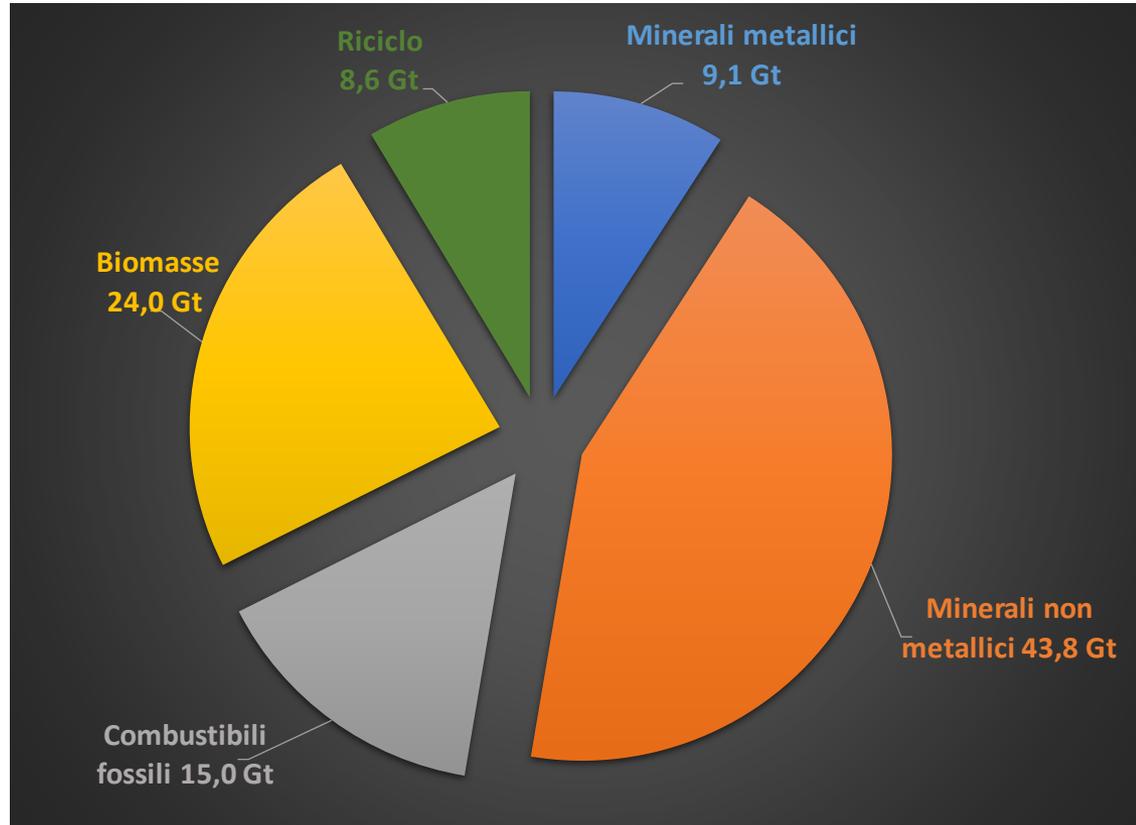
*Urban Mining*: l'alternativa sostenibile allo sfruttamento delle risorse non rinnovabili  
Prof.ssa Silvia Serranti  
silvia.serranti@uniroma1.it



SAPIENZA  
UNIVERSITÀ DI ROMA

# Quanto è circolare la nostra economia?

## Composizione del consumo mondiale di materie prime (2017)



**Minerali non metallici:**  
43,6%

**Biomasse:**  
23,9%

**Combustibili fossili:**  
14,9%

**Minerali metallici:**  
9,0%

**Risorse provenienti da riciclo:**  
solo 8,6% (UCM)

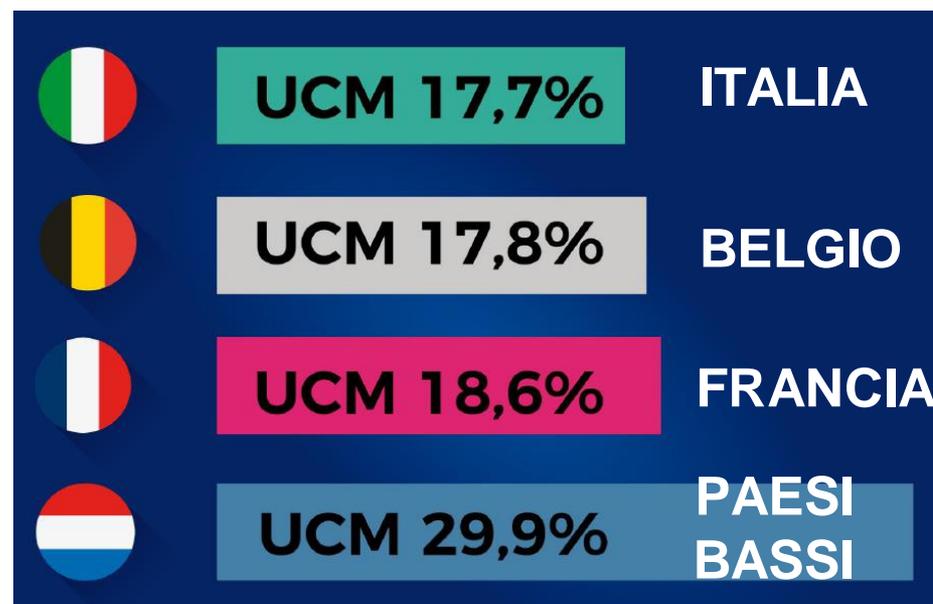
Il **tasso di utilizzo circolare di materia (UCM)** è definito come: il rapporto tra l'uso circolare di materia e l'uso complessivo di materia (proveniente da materie prime primarie e secondarie).

Source: Rapporto sull'economia circolare in Italia, 2020

# Tasso UCM in Europa (2017)

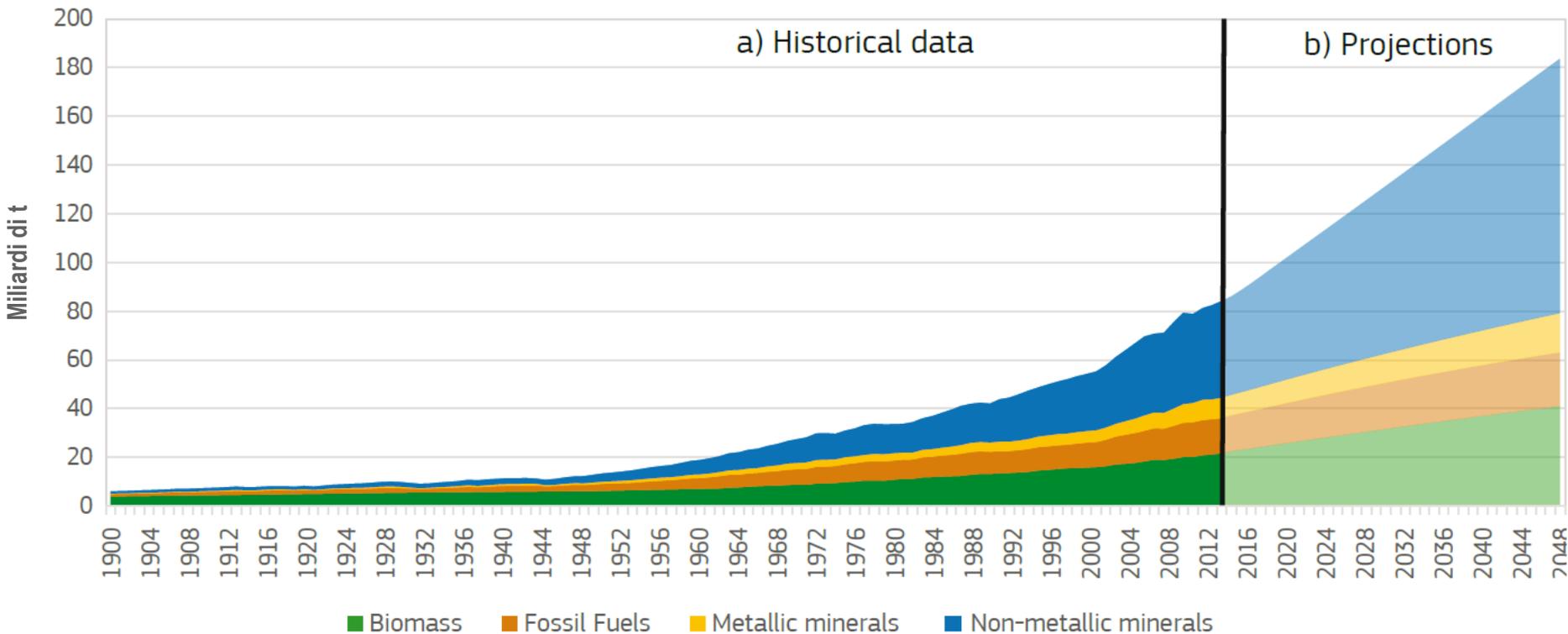
In UE il tasso di utilizzo circolare di materia nel 2017 è stato pari all'11,7%.

Nello stesso anno l'indicatore ha assunto il valore di 17,7% in Italia, inferiore solo a quello dei Paesi Bassi (29,9%), Francia (18,6%) e Belgio (17,8%).



# Estrazione mondiale di materie prime

Dati storici (1900-2015) e proiezioni (2015-2050)



*I trend attuali porteranno a un incremento della temperatura di 3 ° C entro la fine del secolo e successivamente di circa 4 ° C.*

Source: The Raw Materials Scoreboard, 2018

Urban Mining: l'alternativa sostenibile allo sfruttamento delle risorse non rinnovabili  
 Prof.ssa Silvia Serranti  
 silvia.serranti@uniroma1.it



SAPIENZA  
UNIVERSITÀ DI ROMA

# Uso delle risorse naturali: impatti ambientali

L'estrazione e la lavorazione di minerali metallici e non metallici, combustibili fossili e biomasse è responsabile di circa il 50% delle emissioni globali di gas-serra e di oltre il 90% della perdita di biodiversità e dello stress idrico.



Biomass



Metals



Non-metallic minerals



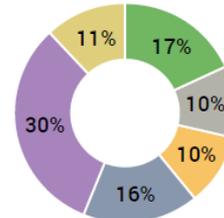
Fossil fuels



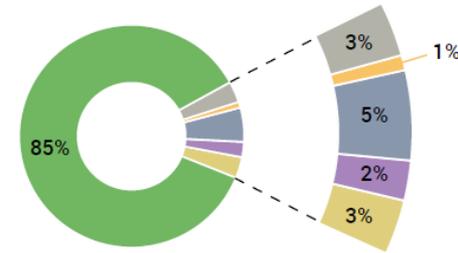
Remaining economy



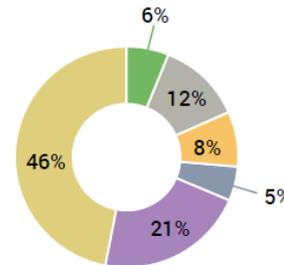
Households



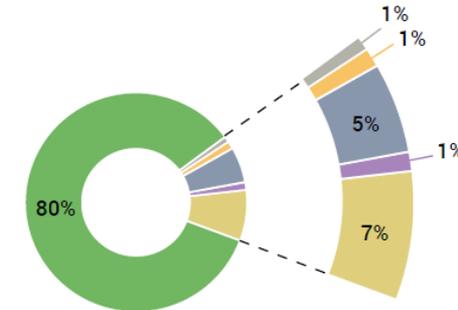
Climate change impacts



Water stress



Particulate matter health impacts

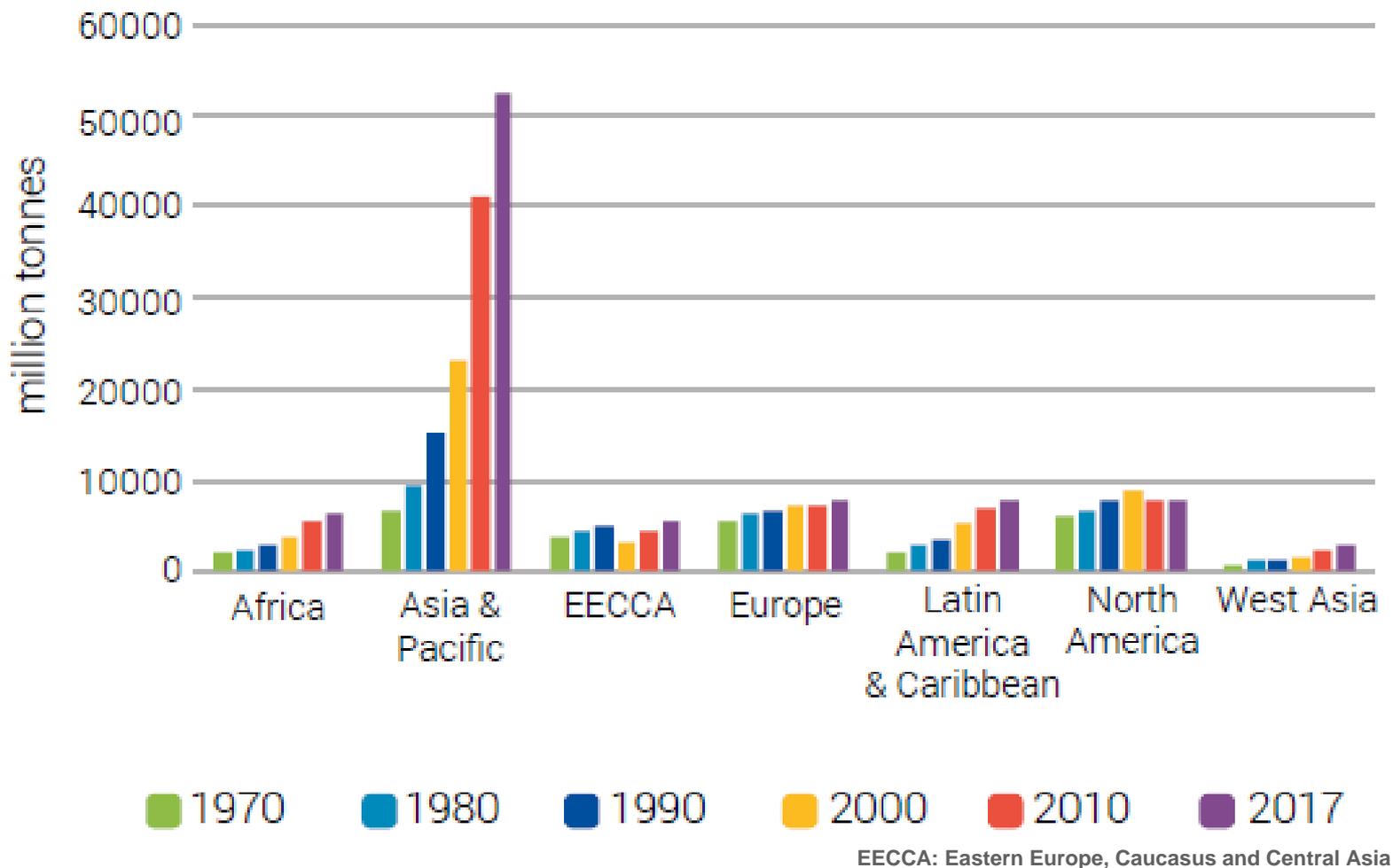


Land-use related biodiversity loss

Source: IRP (2019). Global Resources Outlook 2019: Natural Resources for the Future We Want.

# Estrazione globale di materie prime per regione

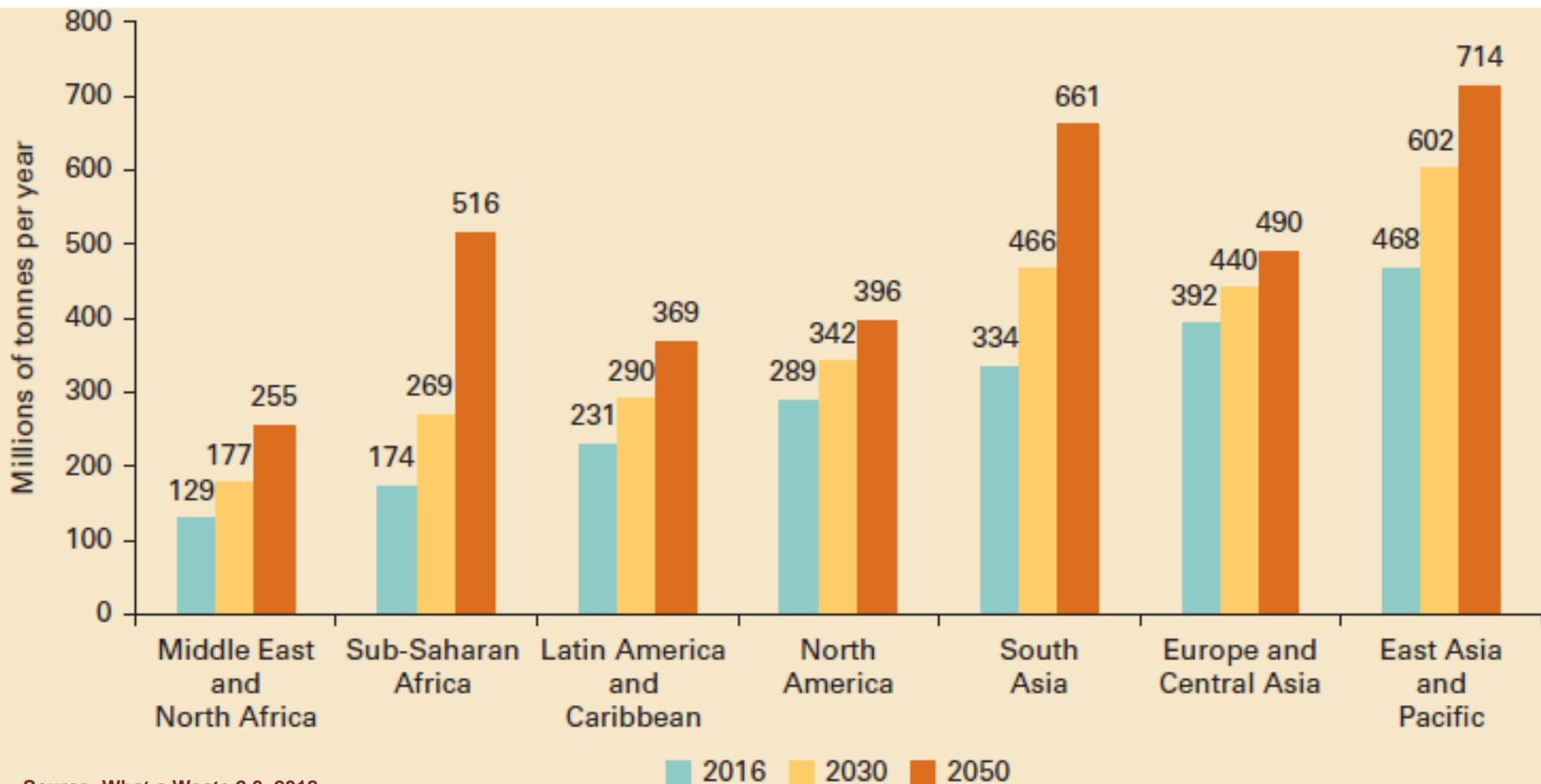
1970-2017



Source: Assessing Global Resource Use, UNEP 2017

Negli ultimi quarant'anni si è verificato un grande spostamento dell'estrazione di materie prime dall'Europa e dal Nord America a Paesi emergenti e in via di sviluppo, soprattutto Asia e Pacifico.

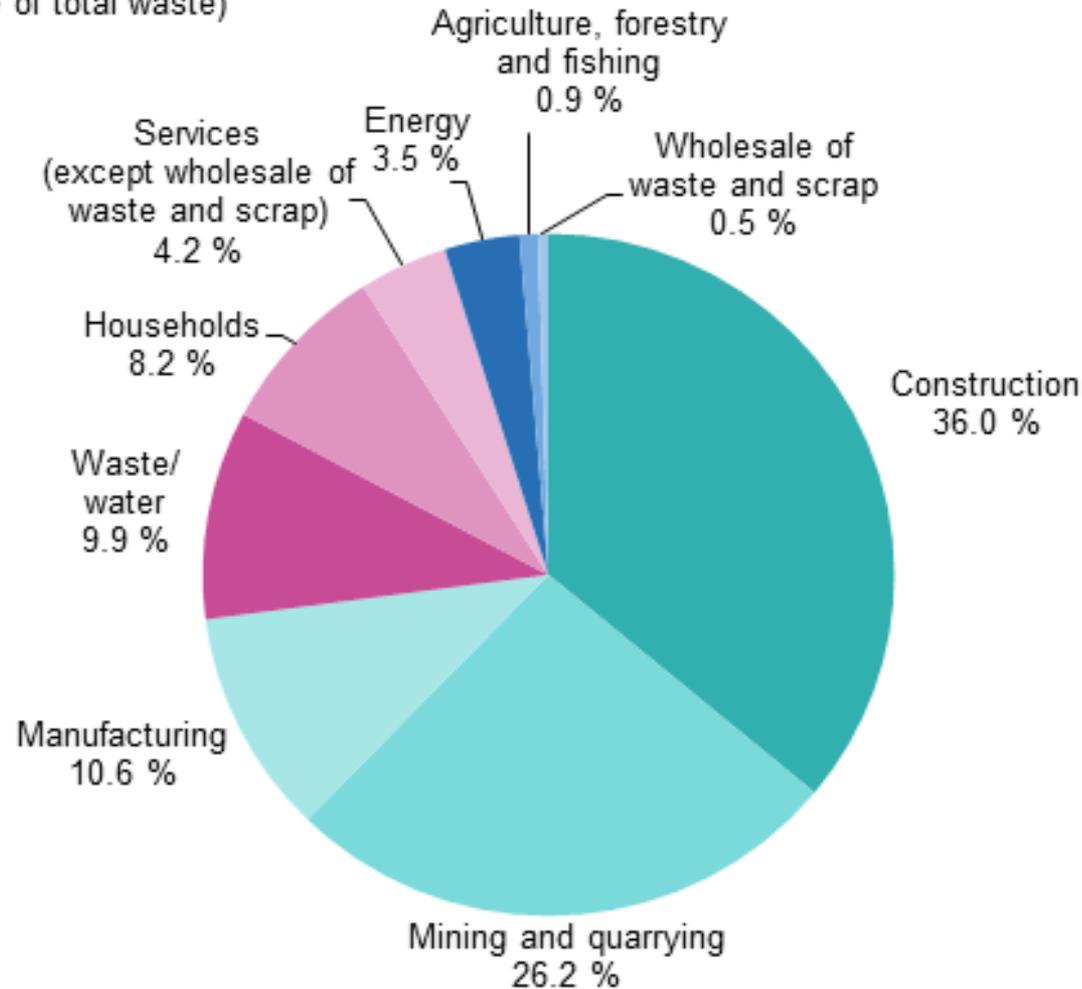
# Produzione mondiale di rifiuti 2016 2030 2050



**E' stato stimato che dal 2015 al 2025 si avrà un incremento della produzione dei rifiuti urbani per persona/anno pari al 18%**

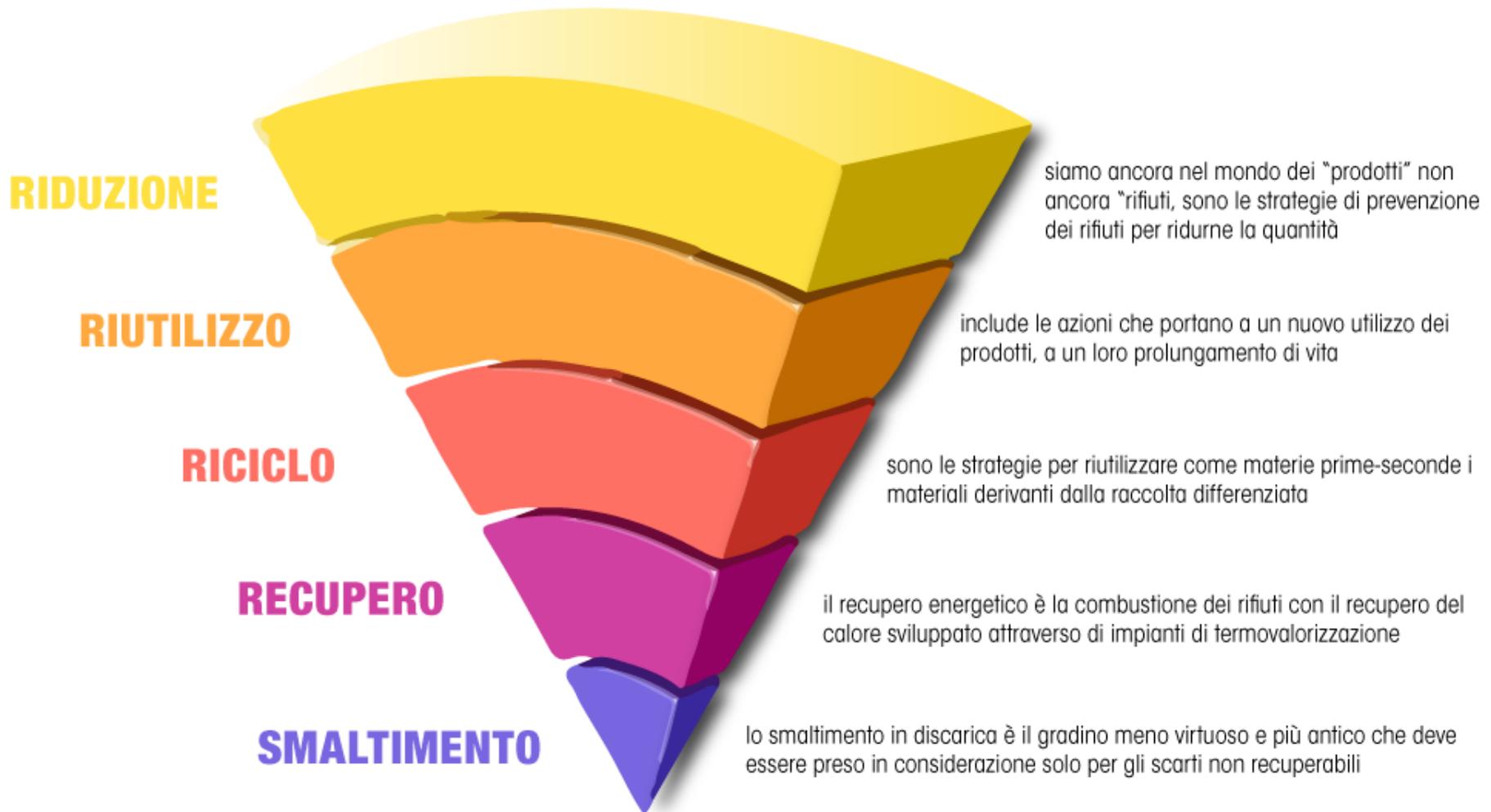
# % Produzione di rifiuti per attività economiche e domestiche (EU27, 2018)

(% share of total waste)

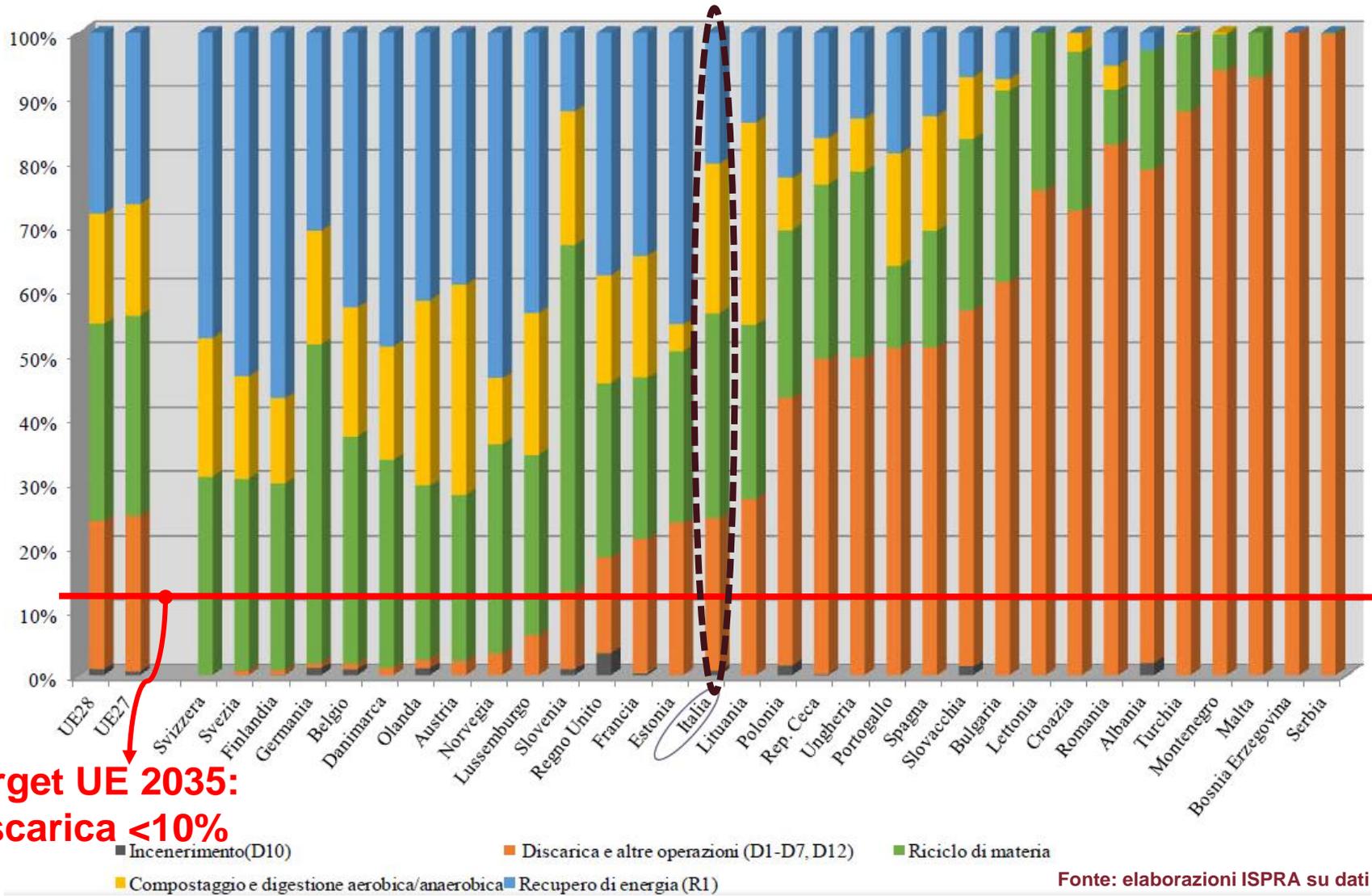


Fonte: Eurostat

# La gerarchia nella gestione dei rifiuti



# Metodo di trattamento dei rifiuti urbani (EU28, 2018)



Fonte: elaborazioni ISPRA su dati Eurostat

Urban Mining: l'alternativa sostenibile allo sfruttamento delle risorse non rinnovabili  
 Prof.ssa Silvia Serranti  
 silvia.serranti@uniroma1.it



SAPIENZA  
UNIVERSITÀ DI ROMA

# Tassi di riciclo dei rifiuti urbani e di imballaggio e target UE (2019)

Target UE per Riciclo rifiuti urbani



al 2025

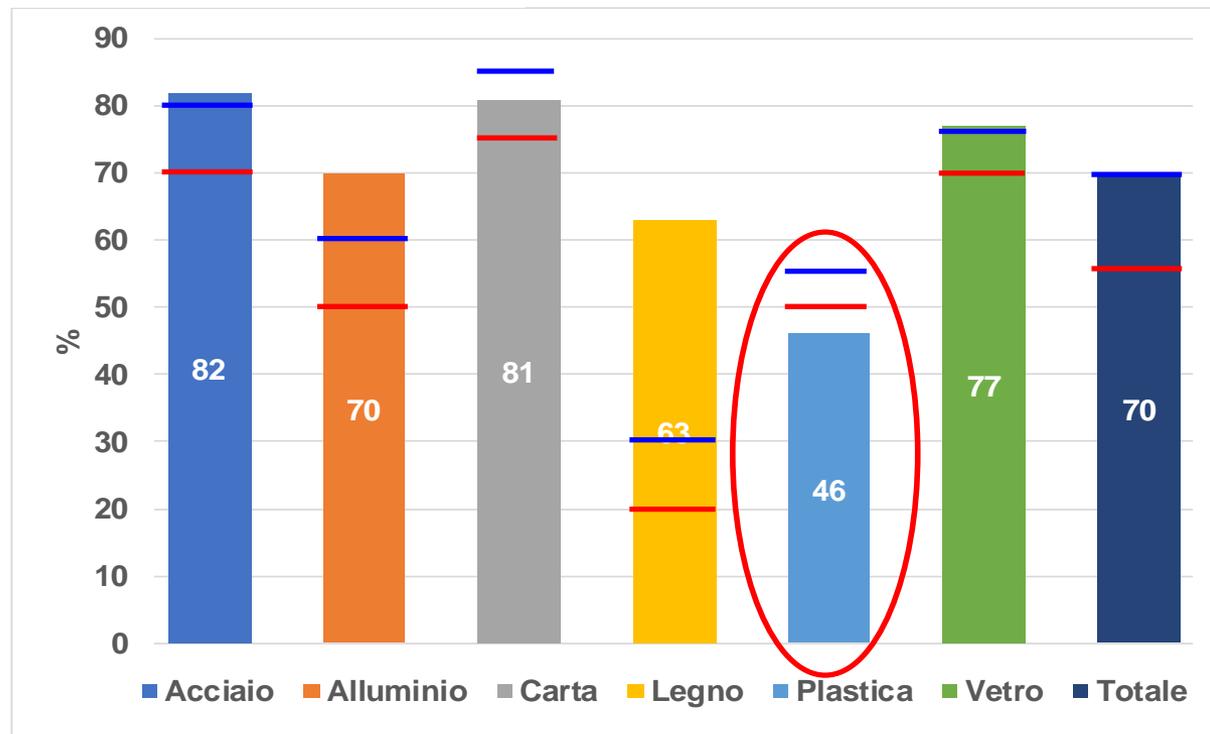


al 2030



al 2035

Riciclo rifiuti urbani  
in Italia = 58%



— Target 2025 (%) — Target 2030 (%)

# I Rifiuti da Apparecchiature Elettriche ed Elettroniche (RAEE)

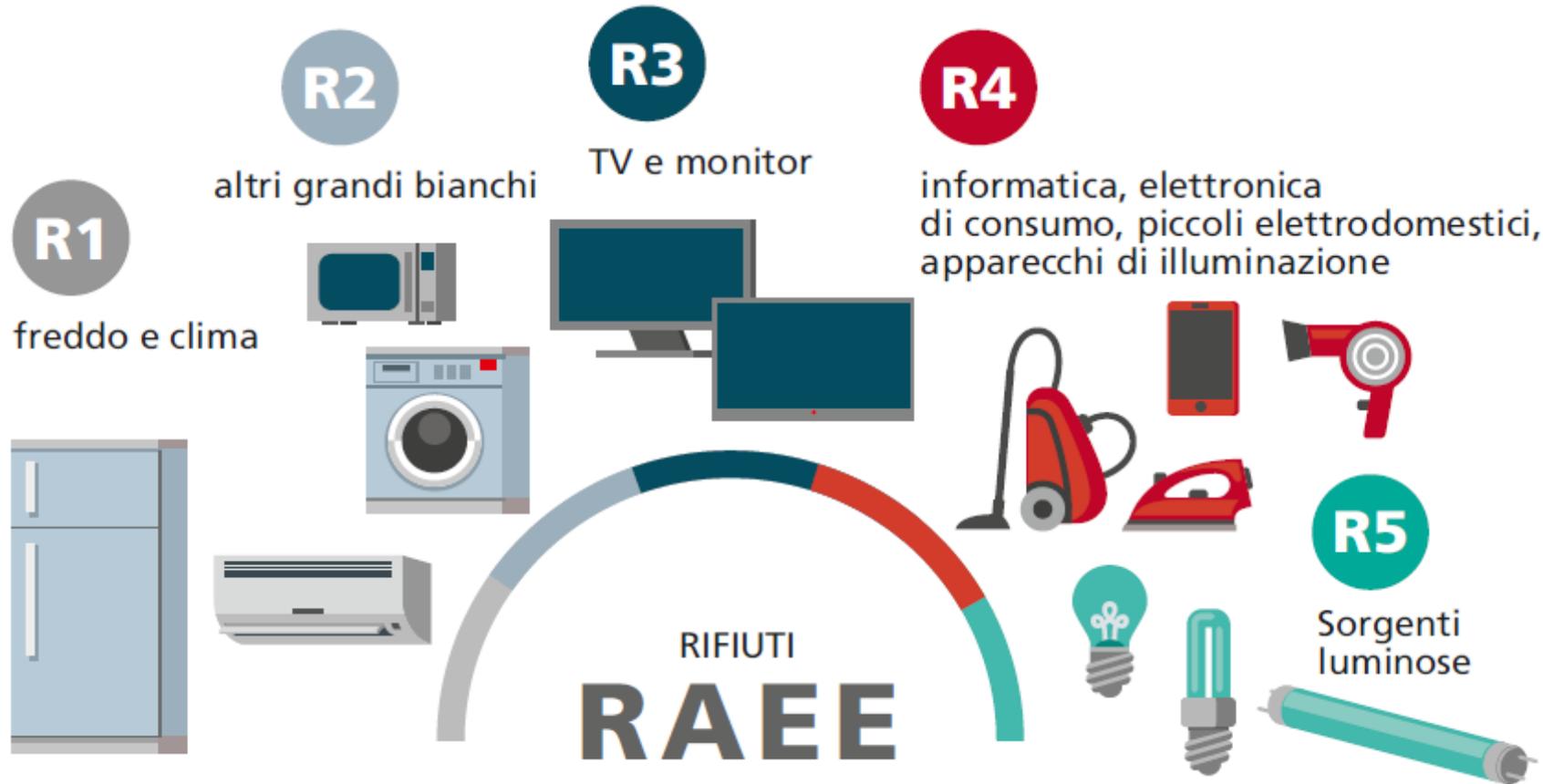


*Urban Mining*: l'alternativa sostenibile allo sfruttamento delle risorse non rinnovabili  
Prof.ssa Silvia Serranti  
silvia.serranti@uniroma1.it



SAPIENZA  
UNIVERSITÀ DI ROMA

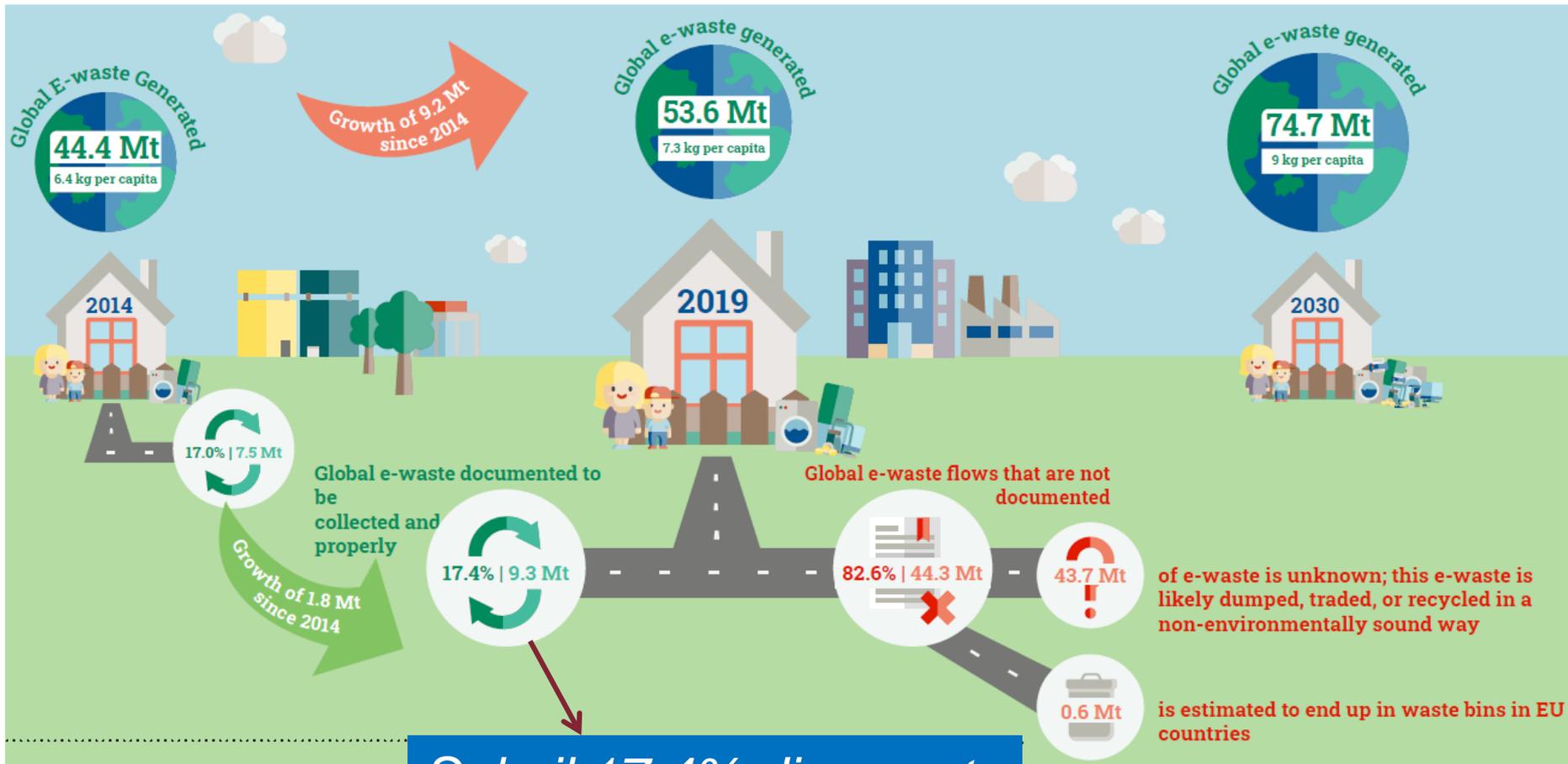
# Che cosa sono i RAEE?



*Rifiuti di apparecchi elettrici ed elettronici che si alimentano con corrente elettrica attaccandoli alla presa o con le pile.*

# E-waste: produzione mondiale (2019)

E-waste: 120 Mt in 2050!



**Solo il 17,4% di e-waste viene riciclato**

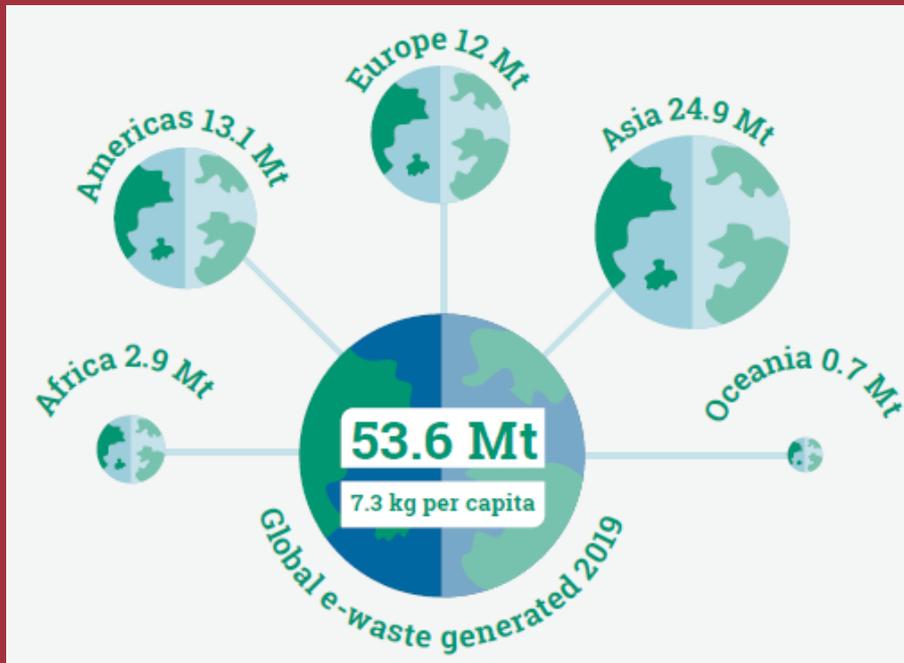
Source: The Global E-waste Monitor, 2020

Urban Mining: l'alternativa sostenibile allo sfruttamento delle risorse non rinnovabili  
Prof.ssa Silvia Serranti  
silvia.serranti@uniroma1.it



SAPIENZA  
UNIVERSITÀ DI ROMA

# E-waste: produzione mondiale e % di riciclo per area geografica (2019)



Source: The Global E-waste Monitor, 2020



# E-waste: % riciclo degli elementi chimici (EU28, 2018)

End-of-life recycling input rate (EOL-RIR) [%]

																		Legend																																	
																		> 50%	> 25-50%	> 10-25%	1-10%	< 1%																													
H																	He																		1%																
Li	Be															B*	C	N	O	F*	Ne	0%	0%															0.6%				1%									
Na	Mg															Al	Si	P*	S	Cl	Ar		13%															12%	0%	17%	5%										
K*	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr	0%		0%	19%	44%	21%	12%	31%	35%	34%	17%	31%	0%	2%	1%																			
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe			31%		0%	30%		11%	9%	9%	55%		0%	32%	28%	1%																		
Cs	Ba	La-Lu <sup>1</sup>	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn		1%		1%	1%	42%	50%		14%	11%	20%			75%	1%																			
Fr	Ra	Ac-Lr <sup>2</sup>	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Cn	Uut	Fl	Uup	Lv	Uus	Uuo																																		
<sup>1</sup> Group of Lanthanide																		La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	1%	1%	10%	1%		1%	38%	1%	22%	0%	1%	0%	1%	1%	1%				
<sup>2</sup> Group of Actinide																		Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr																			
Aggregates	Bentonite	Coaking Coal	Diatomite	Feldspar	Gypsum	Kaolin Clay	Limestone	Magnesite	Natural Cork	Natural Graphite	Natural Rubber	Natural Teak Wood	Perlite	Sapele wood	Silica Sand	Talc	7%	50%	0%	0%	10%	1%	0%	58%	2%	8%	3%	1%	0%	42%	15%	0%	5%																		

\* F = Fluorspar; P = Phosphate rock; K = Potash, Si = Silicon metal, B = Borates.

Source: The Raw Materials Scoreboard, 2018 (EC)

Urban Mining: l'alternativa sostenibile allo sfruttamento delle risorse non rinnovabili  
 Prof.ssa Silvia Serranti  
 silvia.serranti@uniroma1.it



SAPIENZA  
 UNIVERSITÀ DI ROMA

# Complessità del recupero

Recupero di elementi utili (ad es. metalli) più semplice da grezzi minerali che da materiali compositi complessi.

## Geological copper minerals

>15 minors e.g. Au, Ag, PGMs, Se

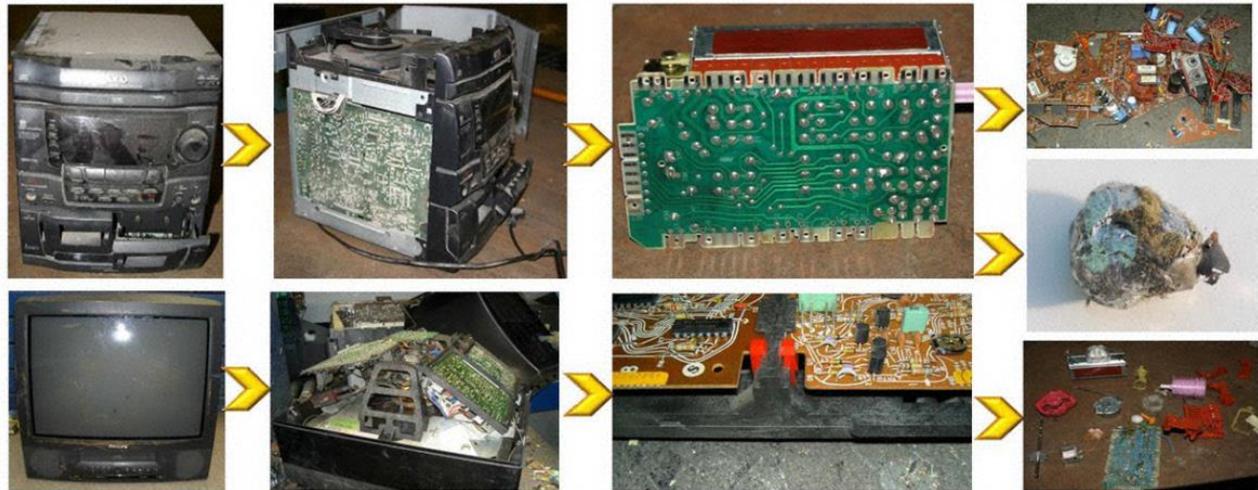


### Geological linkages

Various copper sulphide minerals on quartz and calcite

## Designed copper “Minerals”

>40 elements complexly linked as alloys, compounds, materials



Product design & material combinations create new “Minerals”

Functional material connections

Joined materials multi-material particles

Source: Worrel and Reuter, Handbook of Recycling, 2014

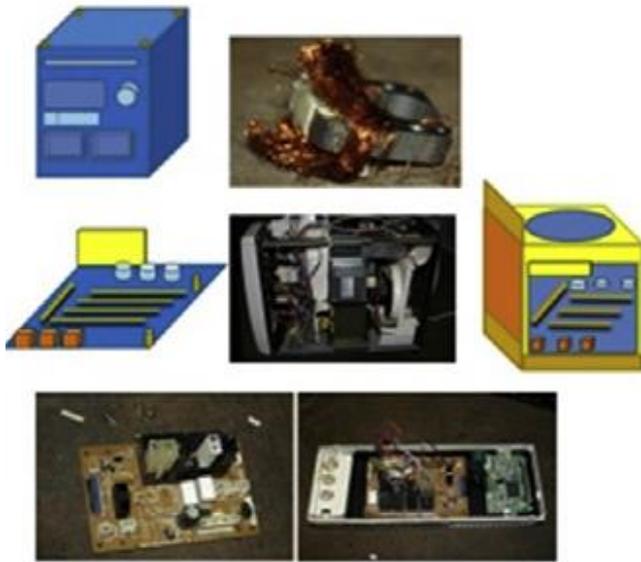
*Urban Mining*: l'alternativa sostenibile allo sfruttamento delle risorse non rinnovabili  
Prof.ssa Silvia Serranti  
silvia.serranti@uniroma1.it



SAPIENZA  
UNIVERSITÀ DI ROMA

# Problematiche nella separazione dei materiali

## Disassemblaggio

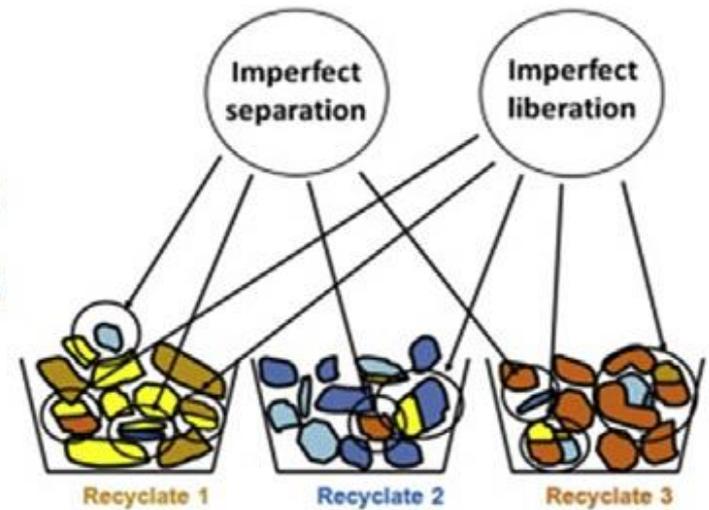


Design determines connections

## Triturazione



## Separazione dei materiali



Various grades/qualities of recyclates

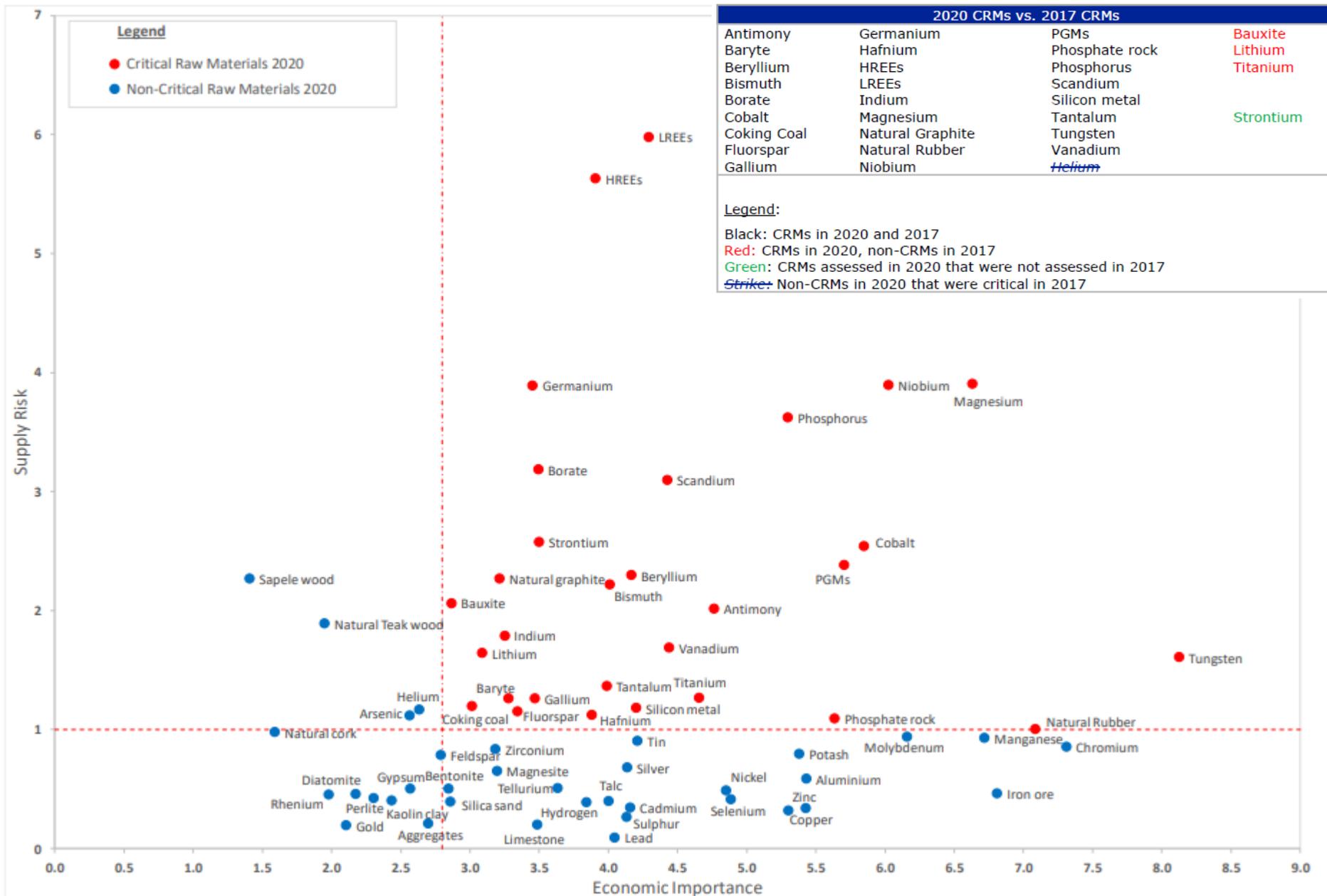
Source: Worrel and Reuter, Handbook of Recycling, 2014

*Urban Mining*: l'alternativa sostenibile allo sfruttamento delle risorse non rinnovabili  
Prof.ssa Silvia Serranti  
silvia.serranti@uniroma1.it

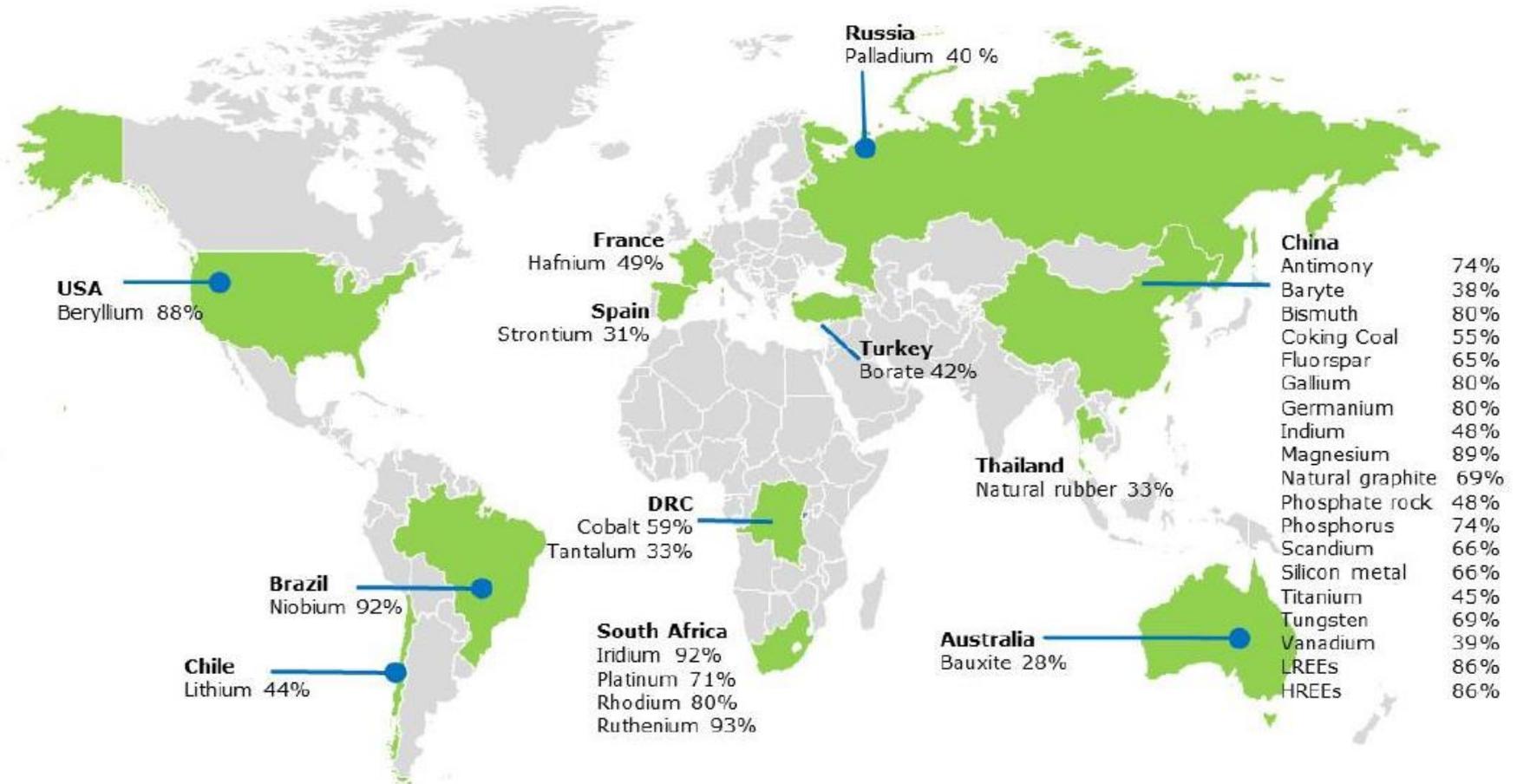


SAPIENZA  
UNIVERSITÀ DI ROMA

# I «Critical Raw Materials» individuati dalla UE (2020)



# Mappa dei Paesi produttori di Critical Raw Materials (2020)



Un'analisi dell'offerta globale conferma che la Cina è il principale fornitore di molte materie prime critiche. Anche altri Paesi sono importanti fornitori di materie prime critiche: ad esempio, Russia e Sud Africa sono i maggiori fornitori mondiali dei metalli del gruppo del platino, gli Stati Uniti del berillio e il Brasile del niobio.

Source: European Commission, Study on the EU's list of Critical Raw Materials – Final Report (2020)

*Urban Mining*: l'alternativa sostenibile allo sfruttamento delle risorse non rinnovabili  
 Prof.ssa Silvia Serranti  
 silvia.serranti@uniroma1.it



**SAPIENZA**  
 UNIVERSITÀ DI ROMA

# Perché i CRMs sono così importanti?



Defence



Automotive



Metals



Medical Devices



Consumer Electronics



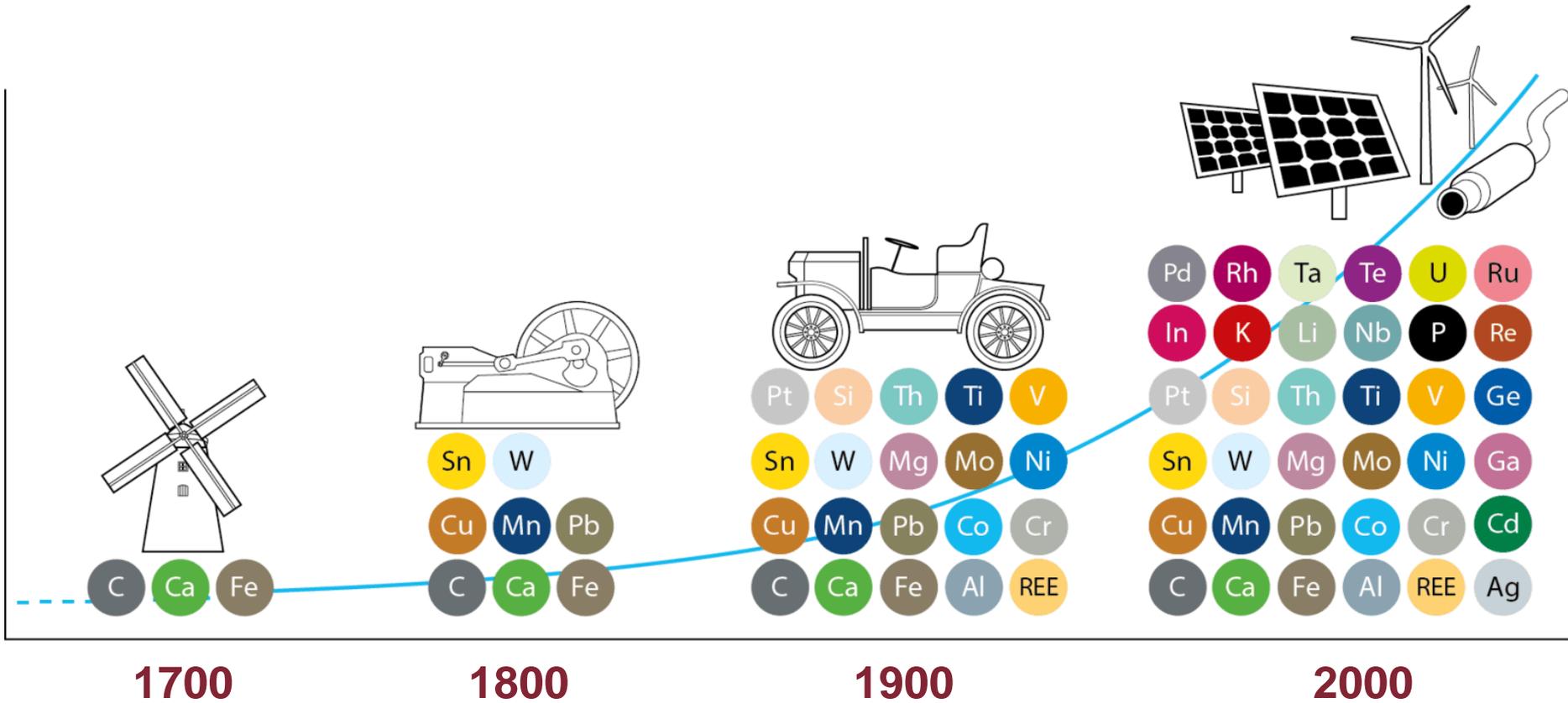
Green Technology

*Urban Mining*: l'alternativa sostenibile allo sfruttamento delle risorse non rinnovabili  
Prof.ssa Silvia Serranti  
silvia.serranti@uniroma1.it



SAPIENZA  
UNIVERSITÀ DI ROMA

# Utilizzo di elementi/metalli nei secoli

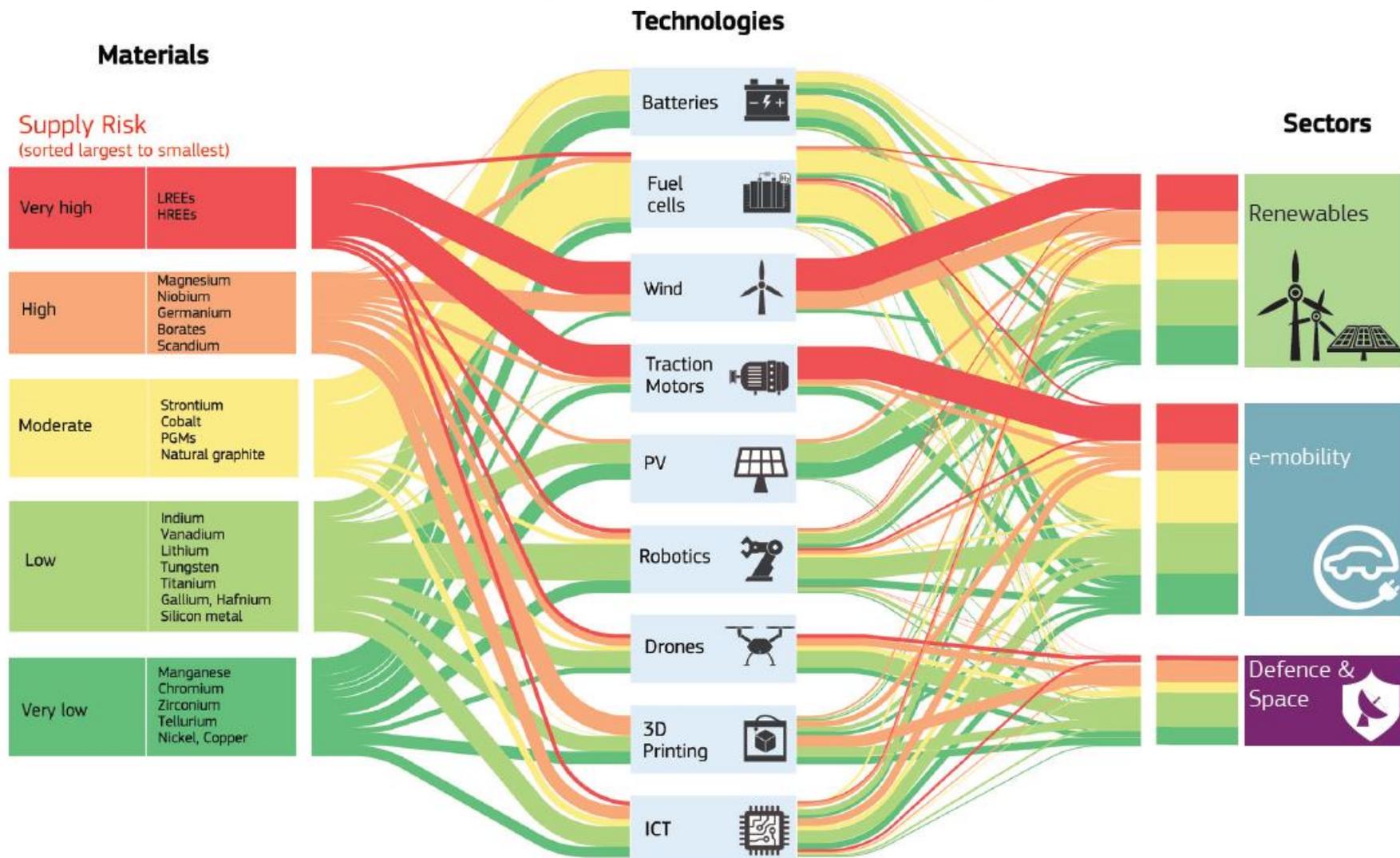


*Urban Mining*: l'alternativa sostenibile allo sfruttamento delle risorse non rinnovabili  
 Prof.ssa Silvia Serranti  
 silvia.serranti@uniroma1.it



**SAPIENZA**  
 UNIVERSITÀ DI ROMA

# Flussi di materie prime e rischio di approvvigionamento per tecnologie e settori strategici



Source: European Commission, Critical materials for strategic technologies and sectors in the EU - a foresight study, 2020

*Urban Mining*: l'alternativa sostenibile allo sfruttamento delle risorse non rinnovabili  
 Prof.ssa Silvia Serranti  
 silvia.serranti@uniroma1.it



SAPIENZA  
UNIVERSITÀ DI ROMA

# Aumento della complessità dei prodotti



H																	He
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
Fr	Ra	Ac	Unq	Unp	Unh	Uns	Uno	Une	Uun								

Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr



H																	He
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
Fr	Ra	Ac	Unq	Unp	Unh	Uns	Uno	Une	Uun								

Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr

Urban Mining: l'alternativa sostenibile allo sfruttamento delle risorse non rinnovabili  
 Prof.ssa Silvia Serranti  
 silvia.serranti@uniroma1.it



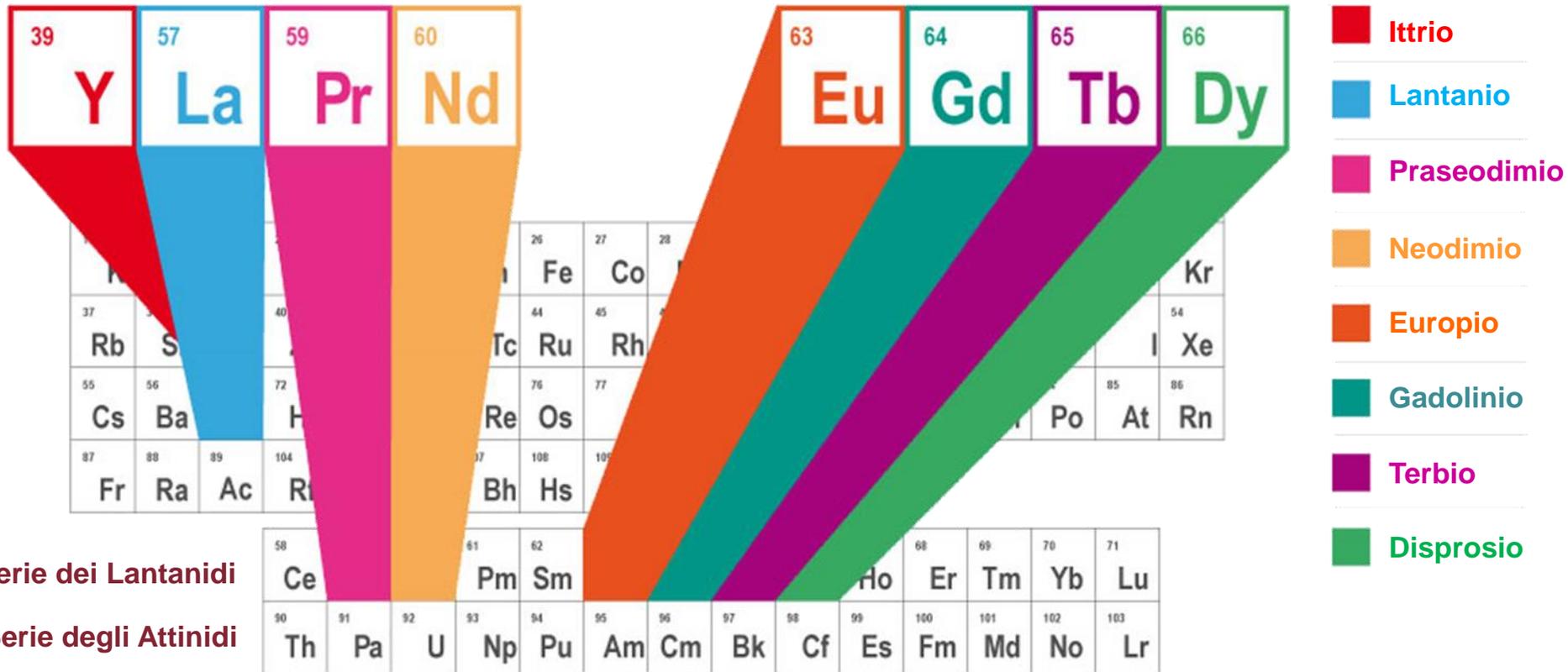
SAPIENZA  
 UNIVERSITÀ DI ROMA

# Cosa c'è dentro uno smartphone



Fonte: Remedia - Politecnico

# La tavola periodica dell'iPhone



Fonte: 911metallurgist.com

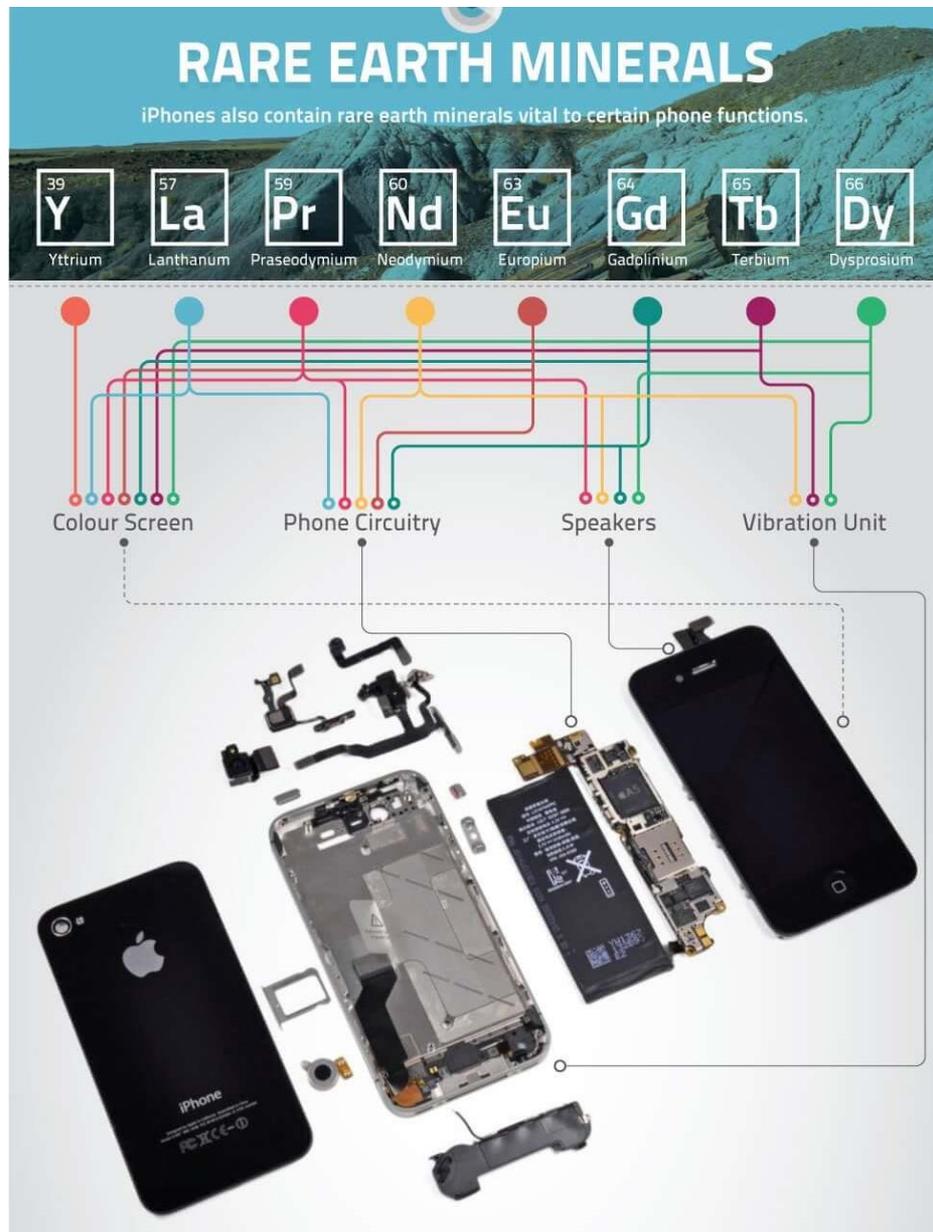
*Urban Mining*: l'alternativa sostenibile allo sfruttamento delle risorse non rinnovabili  
 Prof.ssa Silvia Serranti  
 silvia.serranti@uniroma1.it



SAPIENZA  
 UNIVERSITÀ DI ROMA

# iPhone al microscopio

Fonte: 911metallurgist.com



*Urban Mining: l'alternativa sostenibile allo sfruttamento delle risorse non rinnovabili*  
Prof.ssa Silvia Serranti  
silvia.serranti@uniroma1.it



**SAPIENZA**  
UNIVERSITÀ DI ROMA



## La caratterizzazione orientata al riciclo

Analisi delle caratteristiche dei materiali utili ai fini del loro riciclo:

- Forma
- Dimensioni
- Colore
- Composizione chimica
- Densità
- Proprietà spettrali
- ...



# Disassemblaggio dei telefoni cellulari



*Esempio di telefono cellulare disassemblato nelle sue parti principali*



*Scocche e schermi*

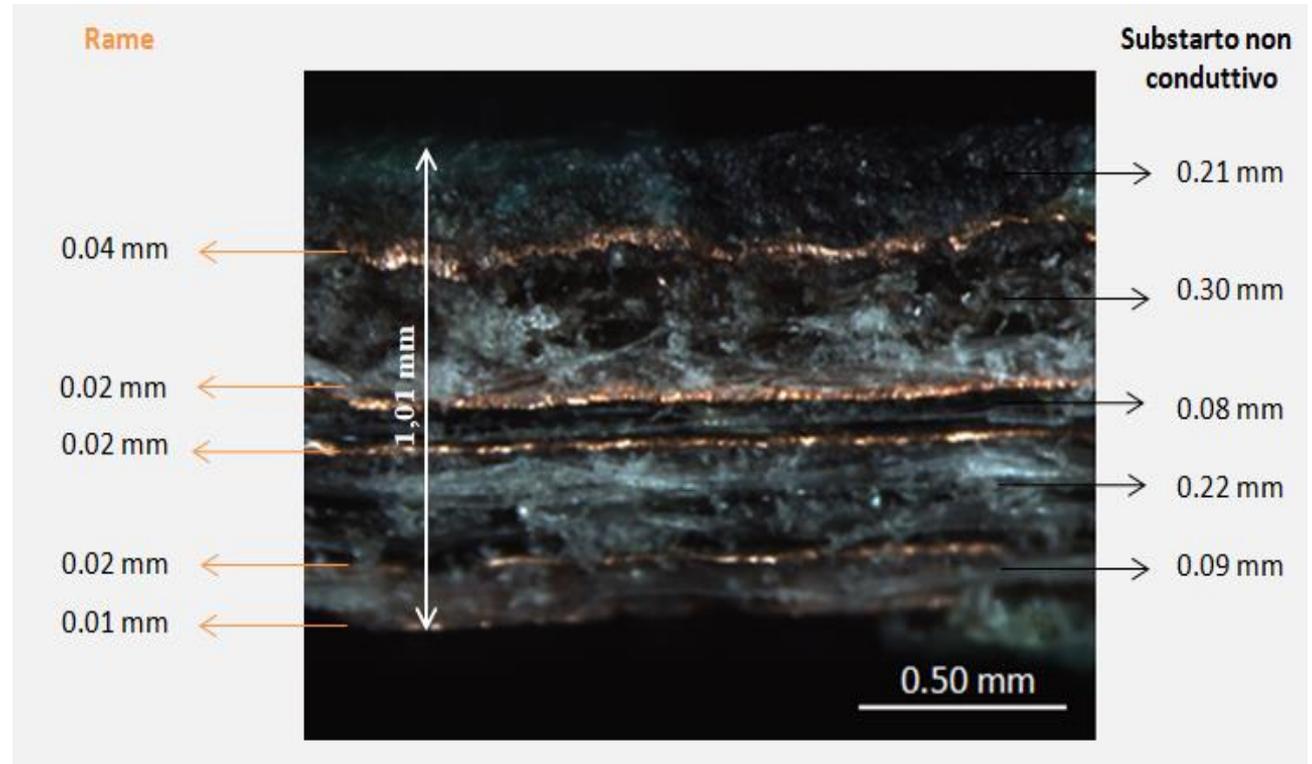
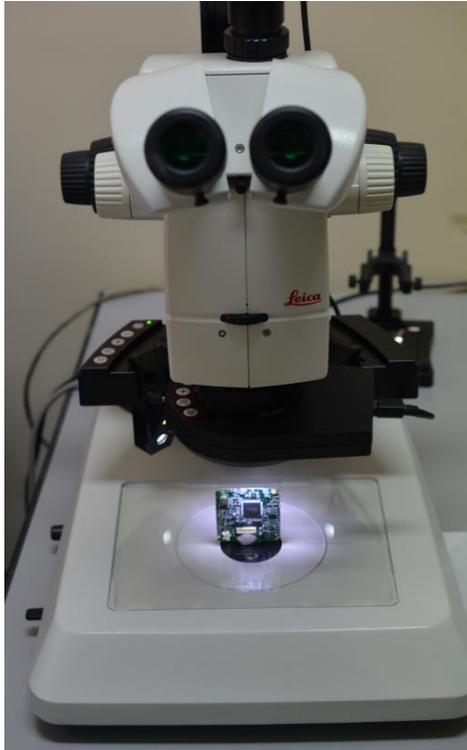


*Circuiti stampati*

# Osservazioni allo stereomicroscopio

## Circuito stampato tal quale

Sezione del campione acquisita tramite lo stereomicroscopio (50X)



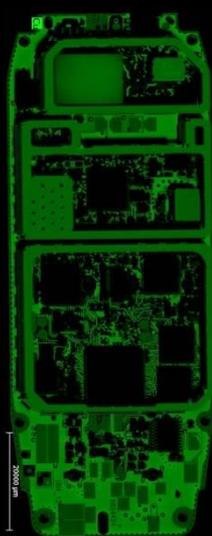
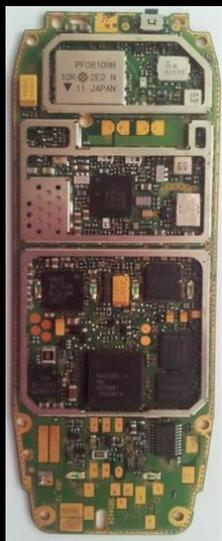
# Studio sulla distribuzione degli elementi chimici



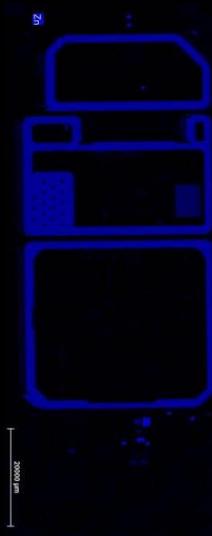
*Micro-fluorescenza a raggi X*



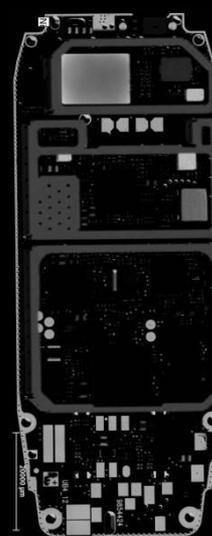
# Circuiti stampati dei cellulari - Mappa micro-XRF



**Cu**



**Zn**



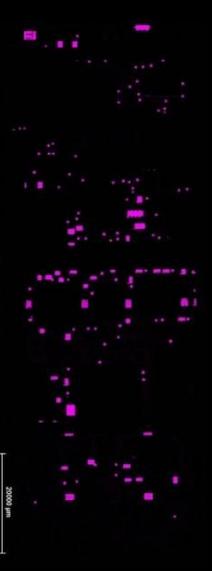
**Ni**



**Si**



**Ti**



**Au**

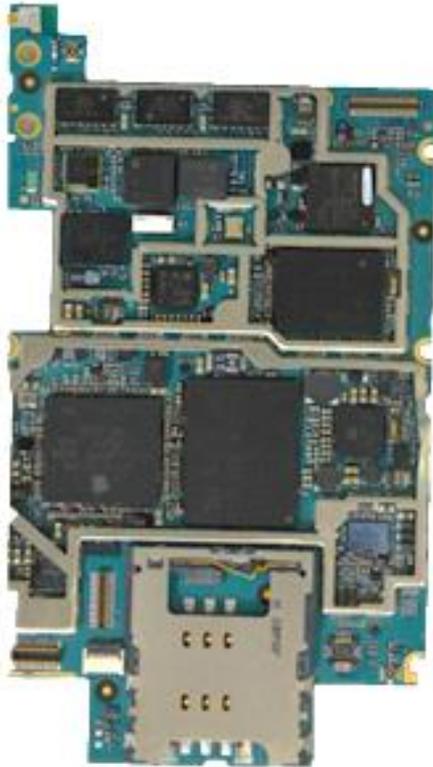


**Pb**



**Br**

# Circuiti stampati: macinazioni e vagliature



+ 2 mm



-2.00+1.00 mm



-1.00+0.5 mm



-0.5 +0.25 mm



-0.250+0.125 mm

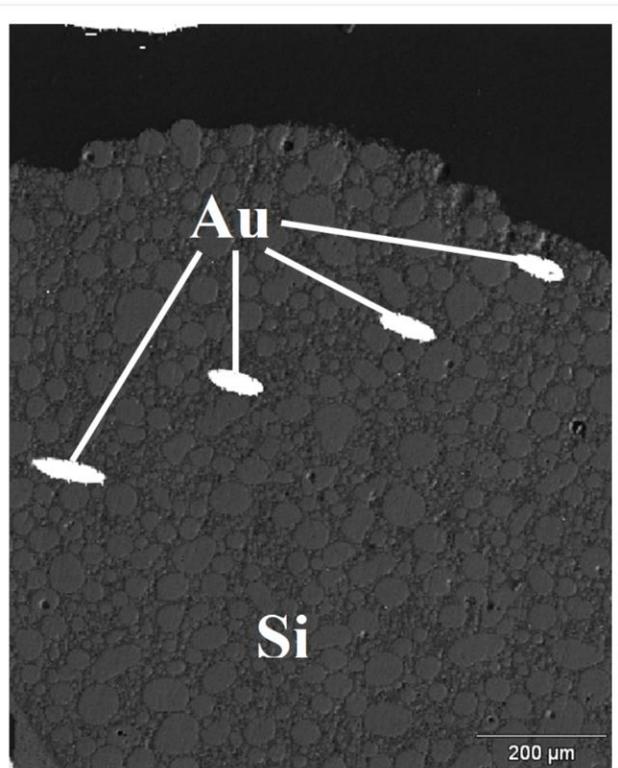


- 0.125 mm

## Classi granulometriche

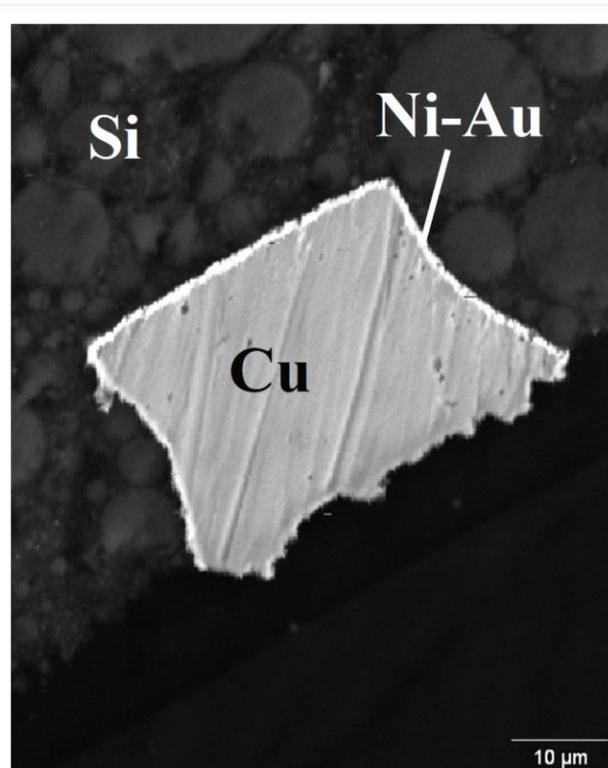
# I telefoni cellulari: circuiti stampati macinati

## Caratterizzazione al microscopio elettronico a scansione (SEM)



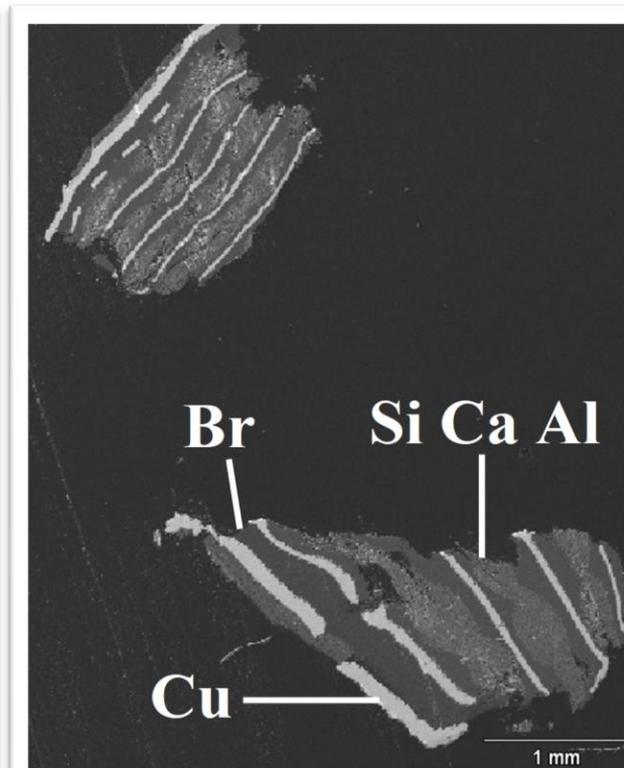
Ingrandimento: 100x

Classe granulometrica:  
-2000 +1000 μm



Ingrandimento: 1500x

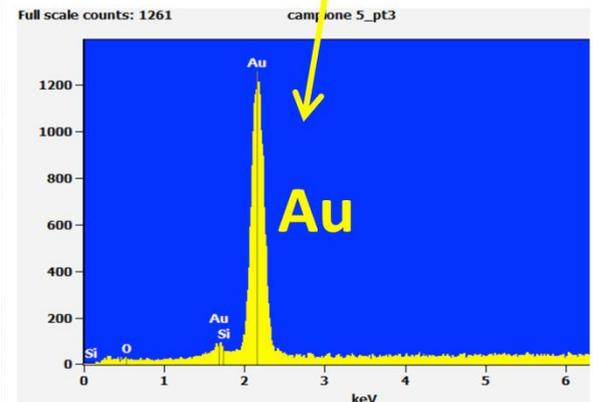
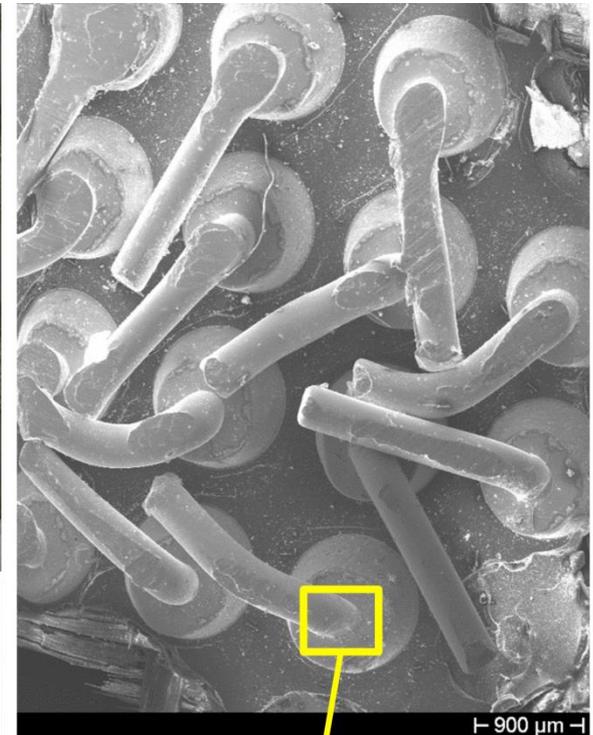
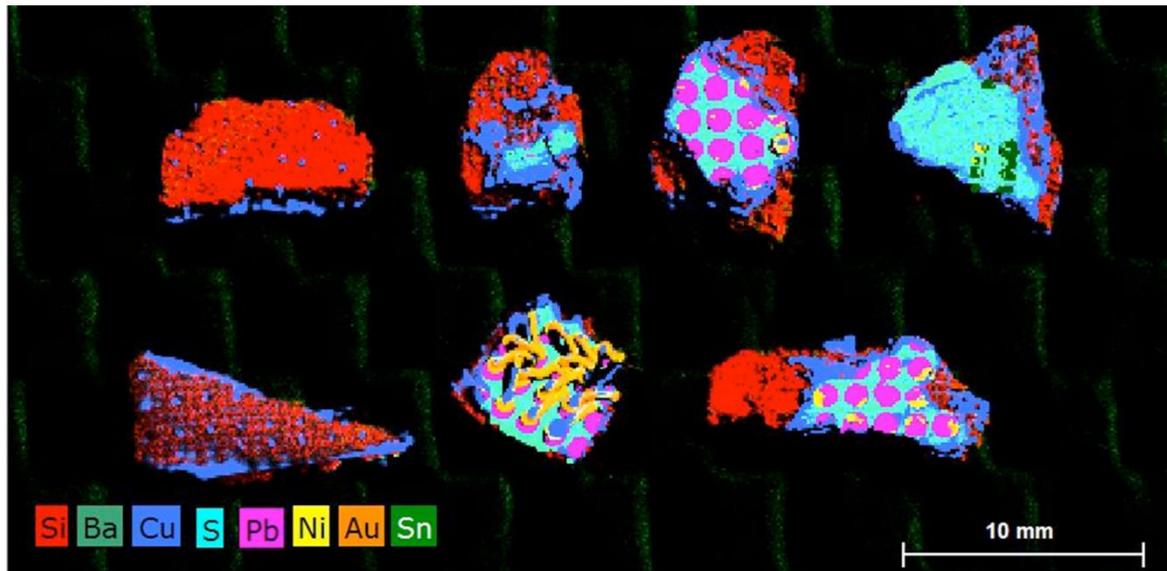
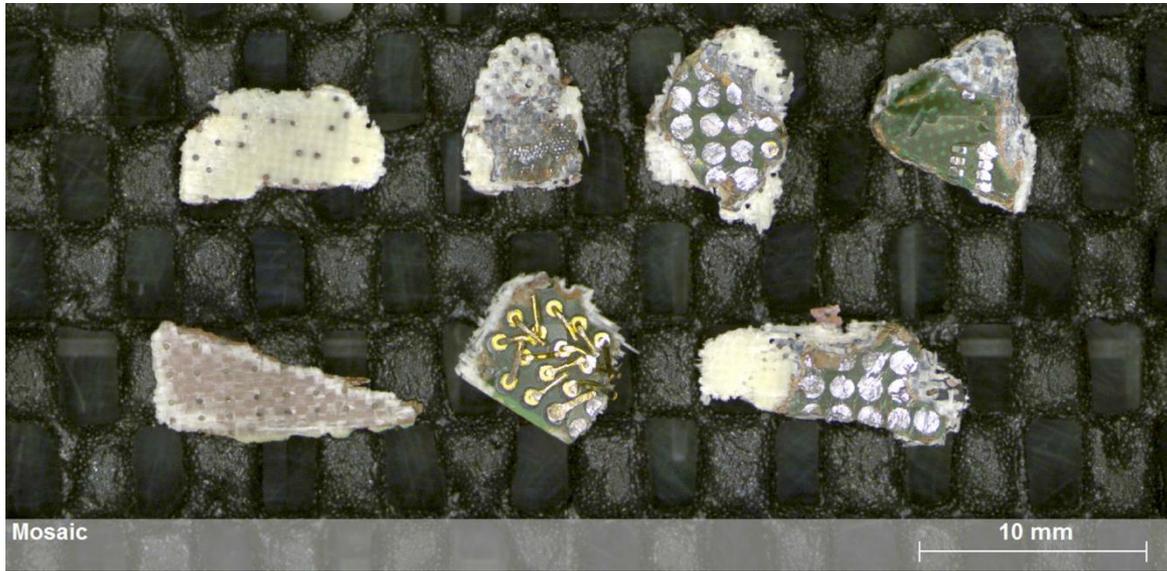
Classe granulometrica:  
-2000 +1000 μm



Ingrandimento: 25x

Classe granulometrica:  
-4760 +2000 μm

# Processori dei PC - Analisi micro-XRF e SEM



Urban Mining: l'alternativa sostenibile allo sfruttamento delle risorse non rinnovabili  
Prof.ssa Silvia Serranti  
silvia.serranti@uniroma1.it



SAPIENZA  
UNIVERSITÀ DI ROMA

# Distribuzione delle miniere urbane in Europa



*Urban Mining*: l'alternativa sostenibile allo sfruttamento delle risorse non rinnovabili  
Prof.ssa Silvia Serranti  
silvia.serranti@uniroma1.it



SAPIENZA  
UNIVERSITÀ DI ROMA

# URBAN MINING



**GRAZIE!**



**[silvia.serranti@uniroma1.it](mailto:silvia.serranti@uniroma1.it)**