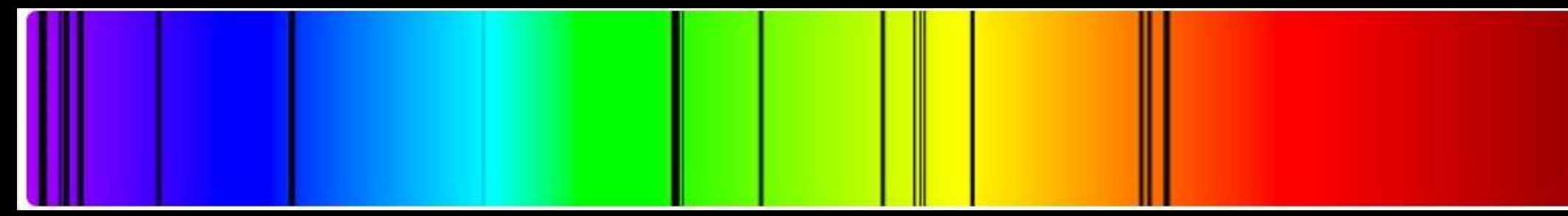


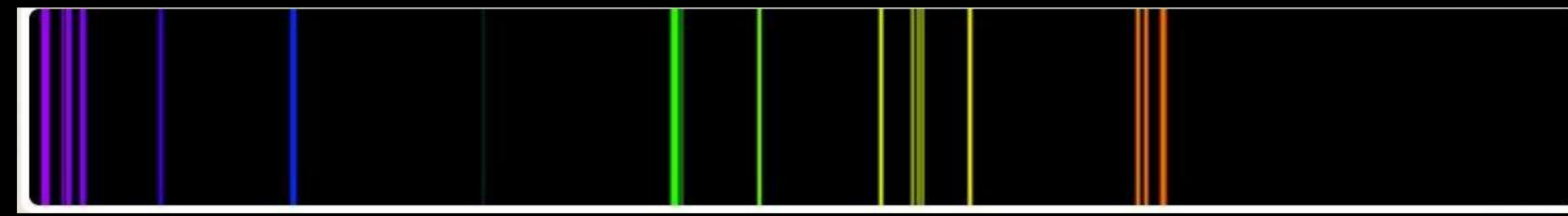
SMART CHEMISTRY

49 indium +3
In
114,818

L'indio è l'elemento chimico di numero atomico 49 ed il suo simbolo è In; è un metallo raro, malleabile e basso-fondente; scoperto nel 1863. L'indio è battezzato così per la riga indaco che ha nel suo spettro atomico.



Spettro atomico di assorbimento dell'indio



Spettro atomico di emissione dell'indio

DA DOVE SI ESTRAE? QUAL È IL SUO VALORE ECONOMICO?

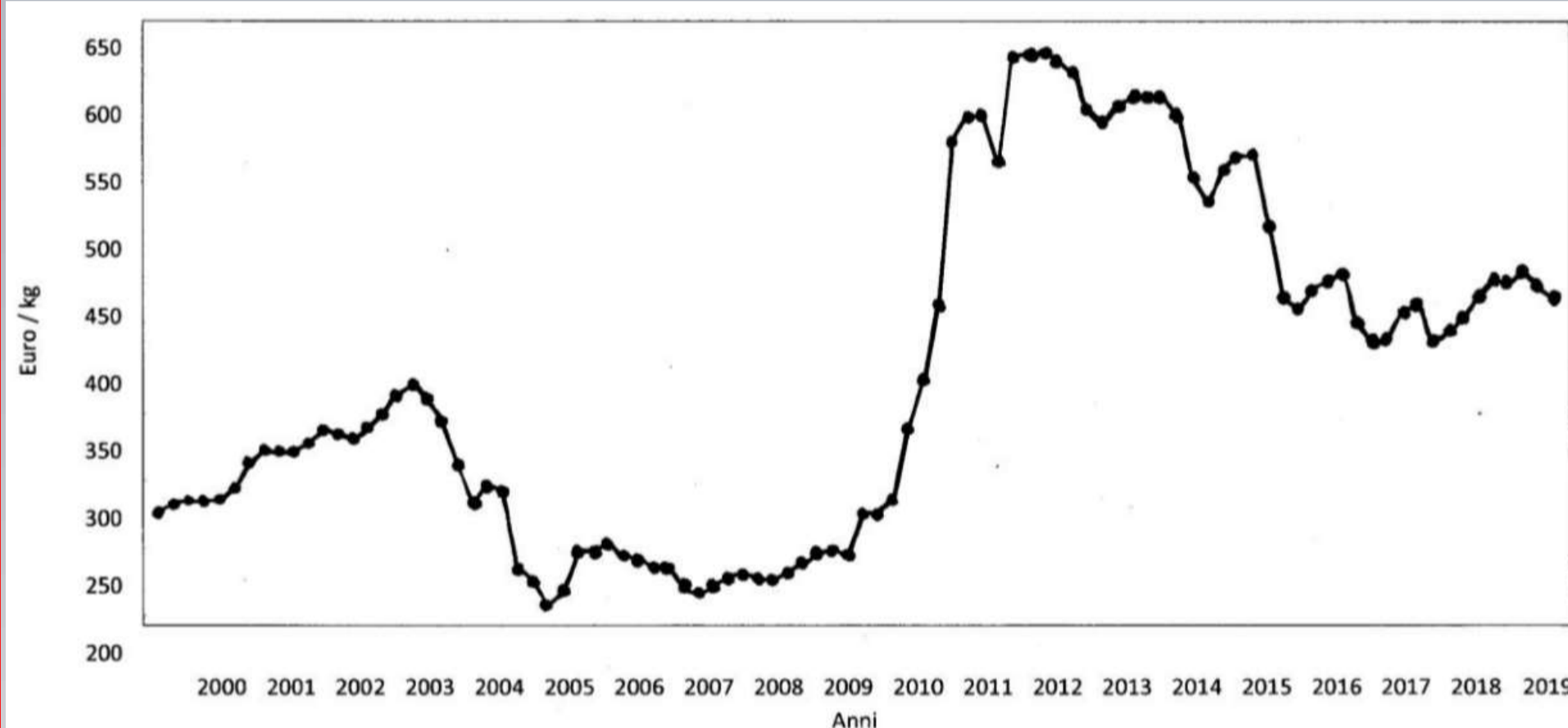
Le principali fonti di approvvigionamento di indio sono i minerali naturali. Lo si trova inoltre come prodotto di scarto di stagno, rame, zinco, ferro e piombo.

➤ Sinora il prezioso materiale si estrae principalmente in:

- Cina;
- Canada;
- alcune zone dell'Europa continentale (Belgio, Francia, Russia).

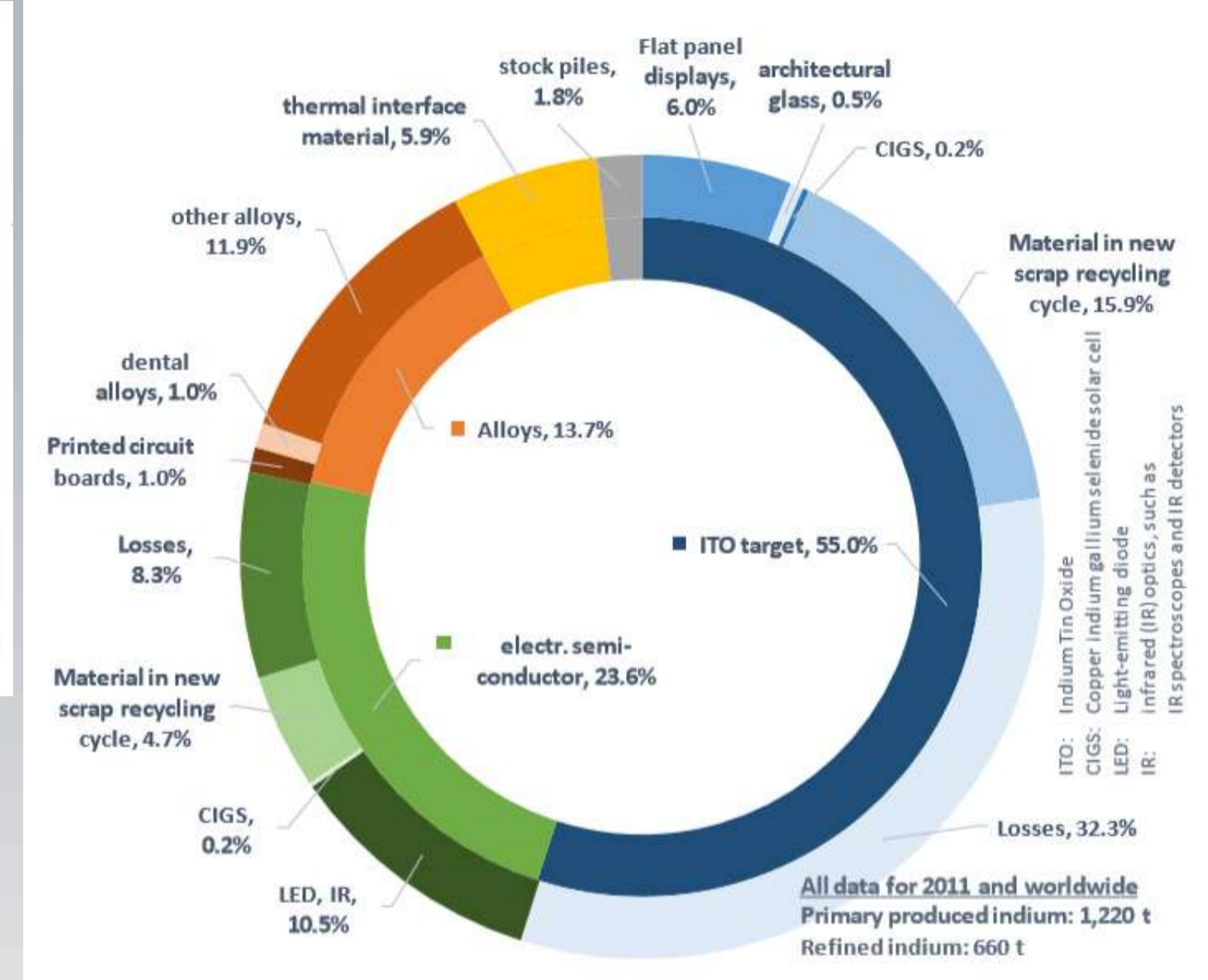
➤ A causa della richiesta sempre maggiore di questo metallo, si stanno cercando nuove miniere, ad esempio in Cornovaglia (Gran Bretagna), che in futuro potrebbe diventare una delle principali miniere di indio.

➤ Oggi l'Indio costa circa 305 \$/Kg ma per le continue richieste questo costo è destinato a salire; infatti sappiamo che nel 2000 il suo valore medio era di 188 \$/Kg.



Variation del prezzo dal 2000 al 2019

Fonti:
- Enciclopedia Treccani;
- Quotazione metalli LEGOR;
- Francesco Borgese, Gli elementi della tavola periodica. Rinvenimento, proprietà, usi. Prontuario chimico, fisico, geologico;
- R. Barfucci, A. Sabatini e P. Rapporto, Tavola periodica e proprietà degli elementi.
- Licht, C., Peiro, L.T., Villalba, G. Global Substance Flow Analysis of Gallium, Germanium, and Indium: Quantification of Extraction, Uses, and Dissipative Losses within their Anthropogenic Cycles. J. Ind. Ecol. 2015, 19, 899-903.



Applicazioni dell'Indio purificato su scala mondiale nel 2011

QUANTO NE RICICLIAMO? COME SI PUÒ RICICLARE?

- Smartphone, monitor e altri rifiuti da apparecchiature elettriche ed elettroniche ("RAEE", in sigla) sono miniere ricche di indio da riciclare.
- Purtroppo, secondo l'Onu, meno dell'1% viene recuperato dagli scarti: è una soglia che non viene superata anche da altri 32 metalli rari.
- In Italia un'azienda lombarda ha già avviato dei processi per il recupero dell'indio e di altri metalli dai RAEE. L'UE ha promosso il progetto «Hydrowee» per mettere a punto processi idrometallurgici in grado di ottenere l'indio a basso costo dai vecchi schermi LCD.
- In Europa vengono prodotti dieci milioni di tonnellate di rifiuti elettrici ed elettronici l'anno. Solo il 30% in media è recuperato.
- Estrarre i metalli da RAEE offre altri vantaggi:
 - Riduzione delle emissioni di CO₂ correlate all'estrazione e al trasporto dei metalli;
 - Riduzione dei consumi di acqua connessi all'attività estrattiva e dei possibili inquinamenti delle falde acquifere;
 - Riduzione del consumo di suolo compromesso dall'attività mineraria.



➤ Un metodo che oggi applicato per riciclare i metalli presenti nei RAEE è quello idrometallurgico, metodo che prevede di portare in soluzione i metalli per poi precipitarli di nuovo in modo specifico. Ha il vantaggio di essere più facilmente controllabile e selettivo dei metodi pirometallurgici, i primi ad essere utilizzati. Lo smontaggio manuale nella fase di pretrattamento migliora la resa rispetto alla frantumazione meccanica diretta dell'intero manufatto.

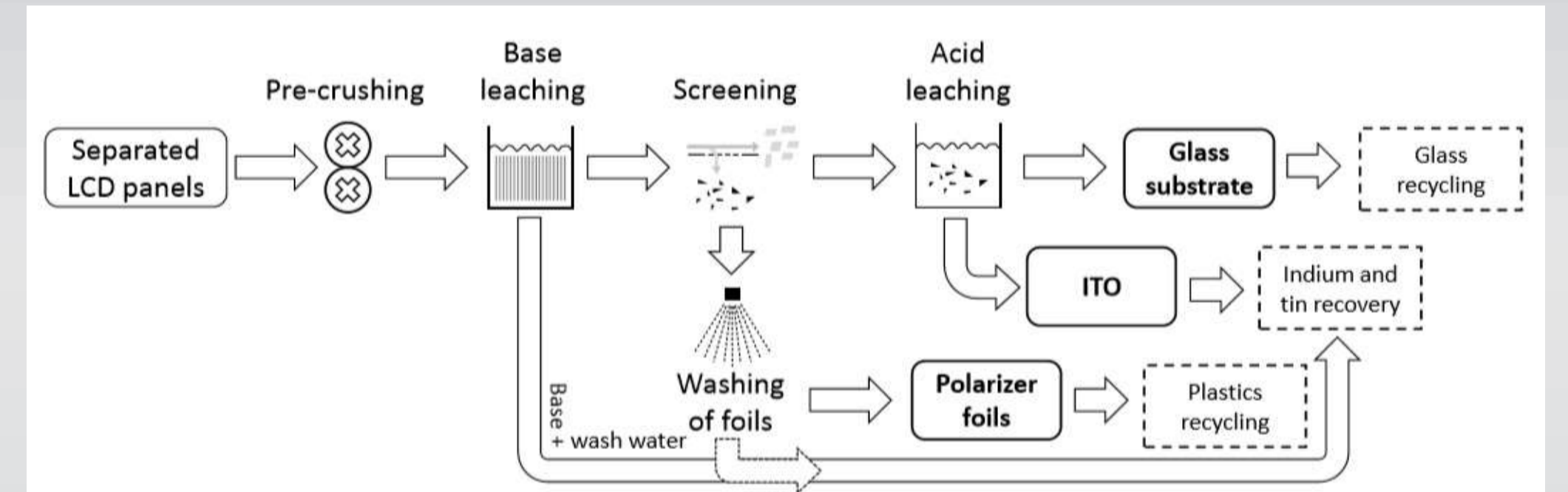
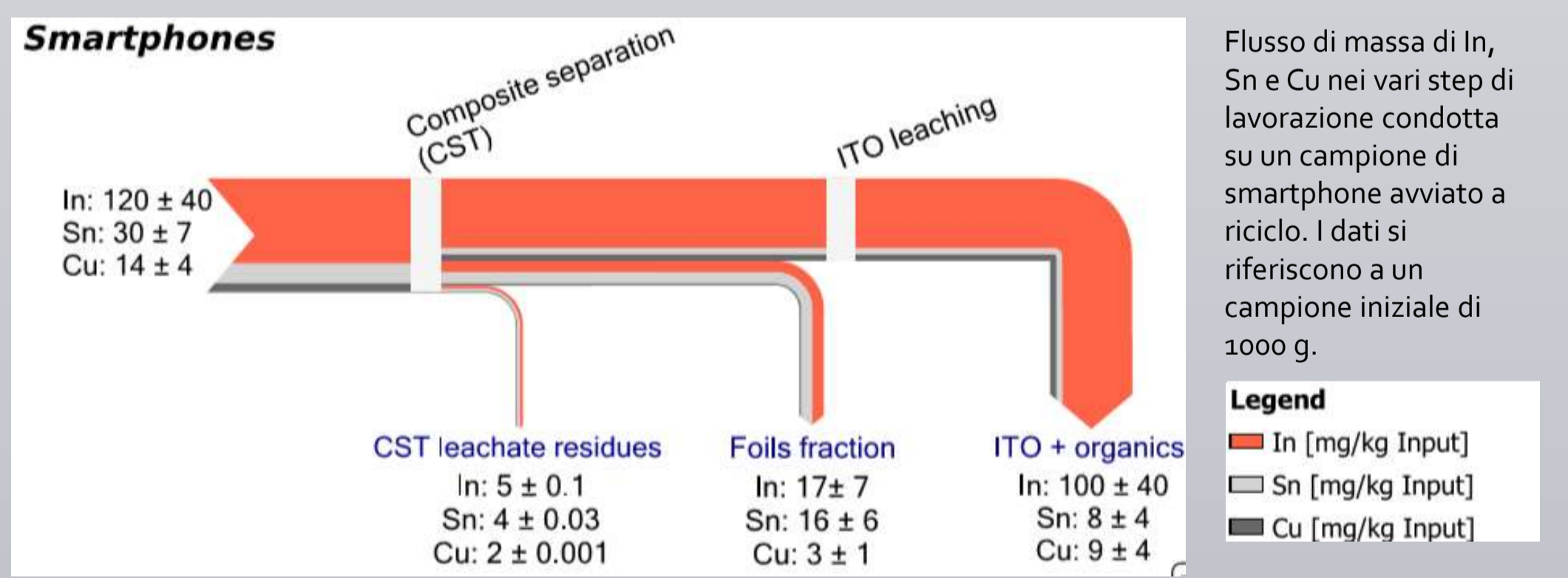


Figure 8. Recommended processing of LCD panels from screen devices for the recovery of indium, tin, glass substrate, and plastics.

- Si possono individuare cinque fasi di lavorazione:
- Frammentazione meccanica (Pre-crushing).
 - Lisciviazione basica (Base leaching/Composite separation: CST): i frammenti vengono trattati con una soluzione acquosa di NaOH al 10%. Si ottiene la separazione dei filtri polarizzatori dal vetro e dalla PCT. In soluzione rimangono tracce dei metalli, tra cui l'indio (CST leachate residues).
 - Separazione dei filtri polarizzatori e successivo lavaggio. I loro frammenti vengono avviati al riciclo delle materie plastiche.
 - Lisciviazione acida: può essere condotta con acido nitrico al 65% a 180°C. I metalli quali indio, stagno e rame vengono solubilizzati e avviati a riciclo.
 - Il vetro separato dagli altri materiali viene riciclato.

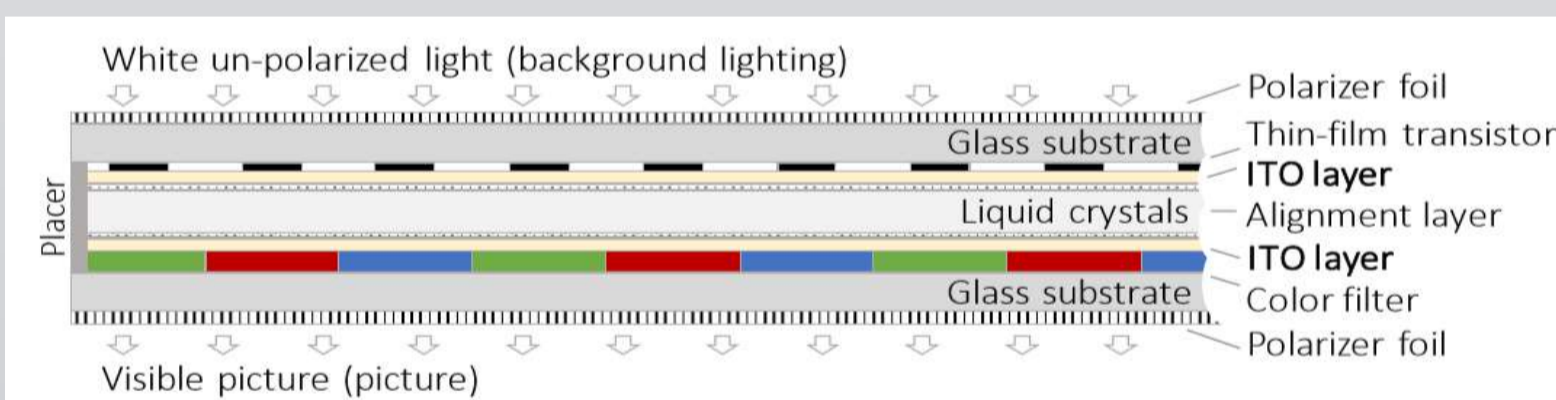


Flusso di massa di In, Sn e Cu nei vari step di lavorazione condotta su un campione di smartphone avviato a riciclo. I dati si riferiscono a un campione iniziale di 1000 g.

Legend
█ In [mg/kg Input]
█ Sn [mg/kg Input]
█ Cu [mg/kg Input]

DOVE SI TROVA NEI TOUCH SCREEN E NEGLI LCD?

- Nel cellulare l'indio si trova sottoforma di pellicola conduttiva trasparente (PCT).
- Le PCT più utilizzate sono quelle inorganiche; costituite da uno strato di ossido trasparente conduttivo (OTC), tra cui il più usato è l'ITO (indium tin oxide).
- ITO è una soluzione solida di ossido di indio (In₂O₃) al 90% e di ossido di stagno (SnO₂) al 10%
- Gli ossidi di indio e stagno (ITO) sono presenti anche nei display a cristalli liquidi (LCD) di monitor e TV.



Sezione di un display a cristalli liquidi contenente strati sottili di ITO

Pellicola conduttiva trasparente a base di ITO

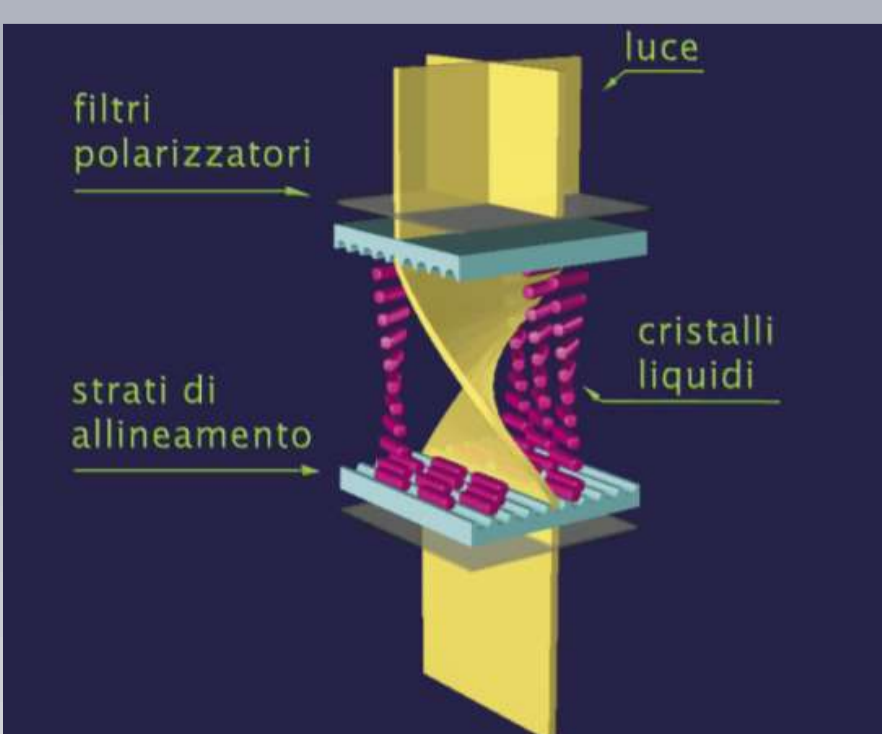


COME FUNZIONA UN TOUCH SCREEN?

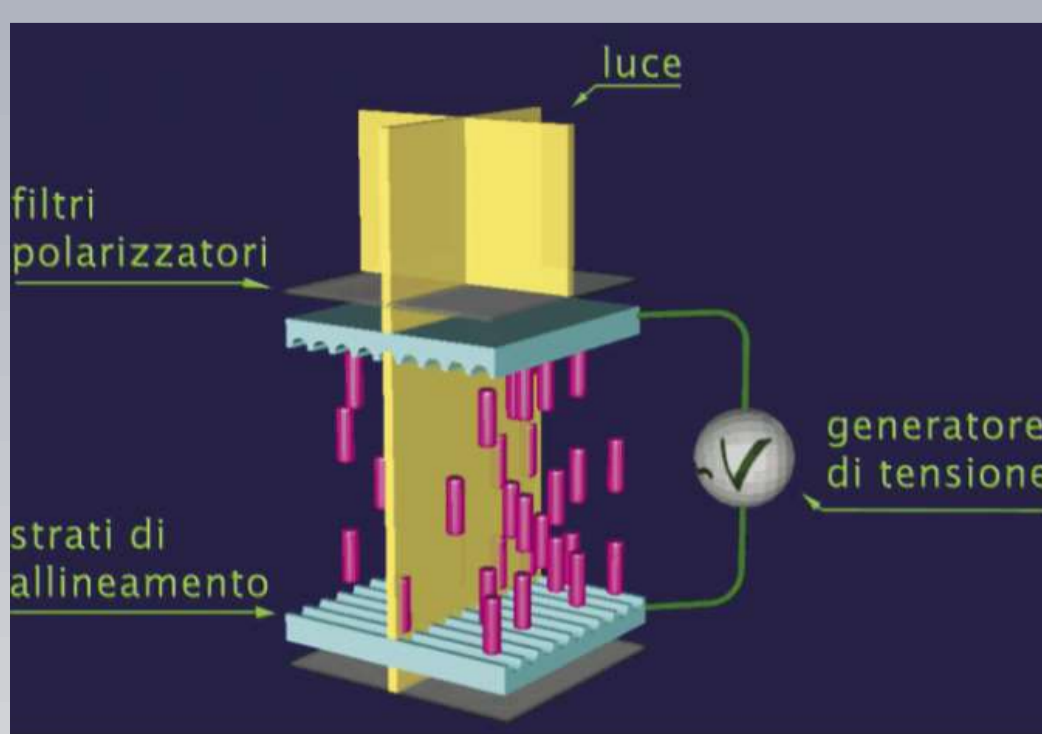
- Il vetro, anche se contiene ioni, è un isolante quindi deve essere ricoperto da una sostanza trasparente di tipo conduttivo (OTC). L'ossido viene incluso in strati sottili in modo da formare una griglia.
- **Schema di funzionamento**
- la griglia conduttiva agisce da condensatore che immagazzina energia;
- quando lo schermo viene toccato, una piccolissima quantità di carica elettrica entra nel nostro polpastrello e viene così registrata una caduta di tensione; questo succede in quanto la nostra pelle contiene sali disciolti che vanno a formare una soluzione elettrolitica;
- il nostro corpo diventa parte integrante del circuito.
- la zona dello schermo che ha registrato la caduta di tensione viene elaborata da un software che darà istruzioni al cellulare.



Il funzionamento di ogni LCD è basato sulle proprietà dei cristalli liquidi. Questi sono intrappolati fra due superfici vetrose provviste di numerosi contatti elettrici con i quali poter applicare un campo elettrico. Ogni contatto elettrico comanda una piccola porzione del pannello, il pixel.



Senza tensione applicata, la luce viene fatta ruotare dai LC e passa attraverso i filtri polarizzatori.



Applicando un campo elettrico ai LC, le loro molecole si allineano e impediscono la rotazione della luce polarizzata che viene fermata dal secondo polarizzatore.

QUANTO NE RIMANE? E' UNA RISORSA STRATEGICA?

- Fino al 1924 era stato estratto soltanto un solo grammo di indio puro in tutto il pianeta.
- Ora si stima che la Terra contenga circa 0,2 ppm di indio, che quindi ha la stessa abbondanza dell'argento, per cui non abbiamo ancora un limite vero e proprio entro il quale si esaurirà.
- Attualmente il quantitativo del suo utilizzo è strettamente correlato alla produzione mondiale di schermi LCD.
- Un gruppo di esperti della Commissione Europea sull'Approvvigionamento delle Materie Prime ha stilato una lista di «materie prime strategiche europee» tra cui figura l'indio. La Commissione Europea ha adottato formalmente questo elenco e si è impegnata a monitorare il settore delle materie prime strategiche per individuare le azioni prioritarie da portare avanti. I criteri utilizzati per stilare l'elenco sono due: l'importanza economica e i rischi legati all'approvvigionamento delle materie prime.
- Circa il 90% delle forniture globali di questi materiali deriva da paesi extra-UE, in particolare dalla Cina. Il rischio ovviamente aumenta quando si dipende quasi esclusivamente da un fornitore.

	Principali produttori	Principali paesi di origine delle importazioni UE	Indice sostituibilità	Tasso di riciclaggio
	Cina 58%	↓ Cina 24%		
INDIO	Giappone 10%	Hong Kong 19%	0,82(*)	0,00001%
	Korea del Sud 10%	Canada 13%		
	Canada 10%	Giappone 11%		

Fonti: https://europa.eu/rapid/press-release_MEMO-14-377_it.htm; nota della Commissione europea - 26 maggio 2014

Maximilian Ueberschar, Martin Schlummer, Daniel Jalalpoor, Nora Kaup, 1 and Vera Susanne Rotter, 2* Potential and Recycling Strategies for LCD Panels from WEEE, April 2017 <https://www.mdpi.com/> https://st.ilsiole24.ore.com/art/tecnologia/2011-06-09/materie-prime-seconde-065300_PRN.shtml



Mappe delle materie prime strategiche per la UE
 Legenda: PGM: Platinum Group Metals; REE: Rare Earth Element