

**Generazione di immagini SEM
da raccolta di segnali elettronici:
natura dei segnali e
dipendenze caratteristiche**

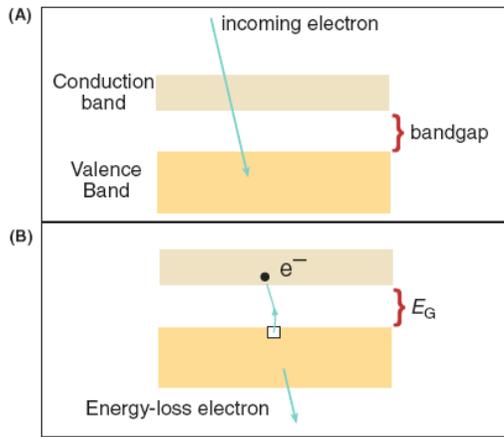
Segnali elettronici: A) elettroni retrodiffusi

B) elettroni secondari

Considerazione di base:

ENERGIA degli elettroni che vengono emessi dal campione

caso isolanti/semiconduttori

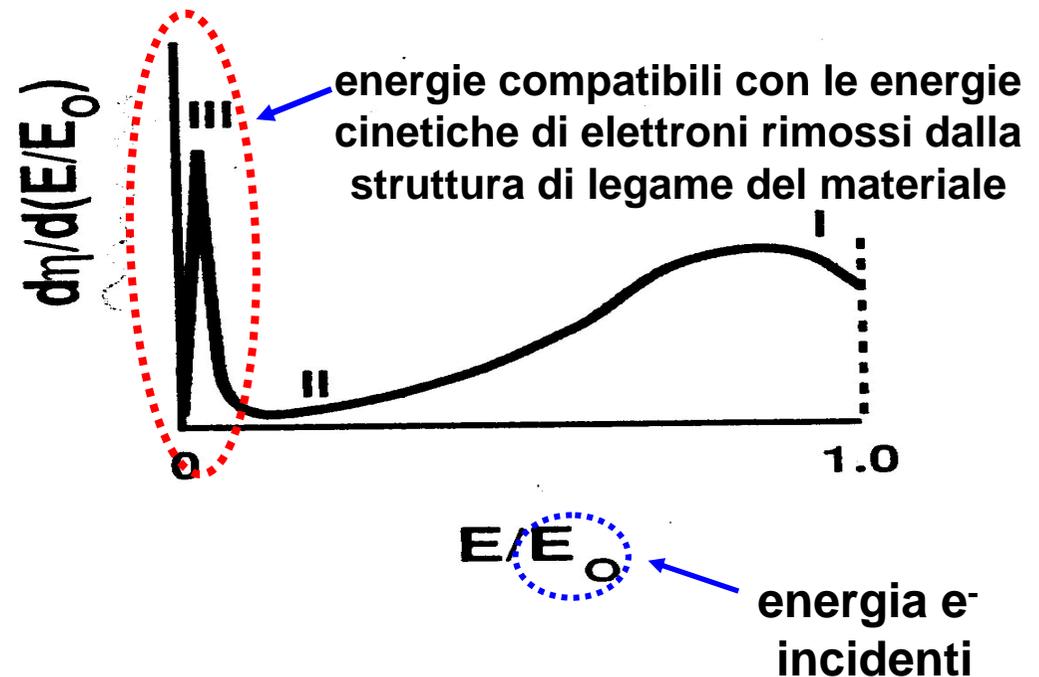


- gli e^- promossi nella banda di conduzione possono possedere energia cinetica sufficiente per il movimento nel solido
- se arrivano in prossimità della superficie con una energia superiore alla funzione lavoro, possono uscire dal materiale

Per CONVENZIONE:

si identificano come **ELETTRONI SECONDARI** (e_s ; **SE**)

gli elettroni che emergono dal campione con una energia $E \leq 50$ eV



Nei metalli: la cessione di energia avviene direttamente agli e^- nella banda di conduzione

E' possibile anche l'espulsione di e^- da livelli di core, ma con minore probabilità

Profondità del campione da cui riescono ad emergere gli e_s

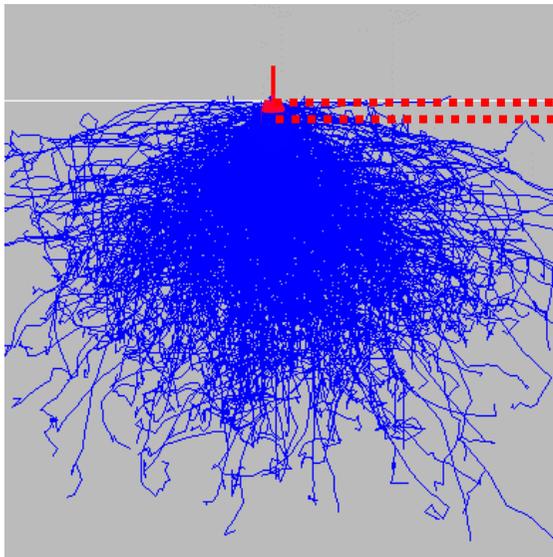
$$p \sim \exp(-z/\lambda)$$

p : probabilità di emersione

Z : profondità di generazione di SE

λ : cammino libero medio di SE (soggetti a diffusione elastica ed anelastica)

Normalmente la profondità di emersione risulta essere di 5λ
con λ ca. 1 nm per i metalli e fino a 10 nm per gli isolanti



5 nm (metalli)

- maggiore probabilità di interazione anelastica: maggiore perdita di energia dei SE, meno SE emessi

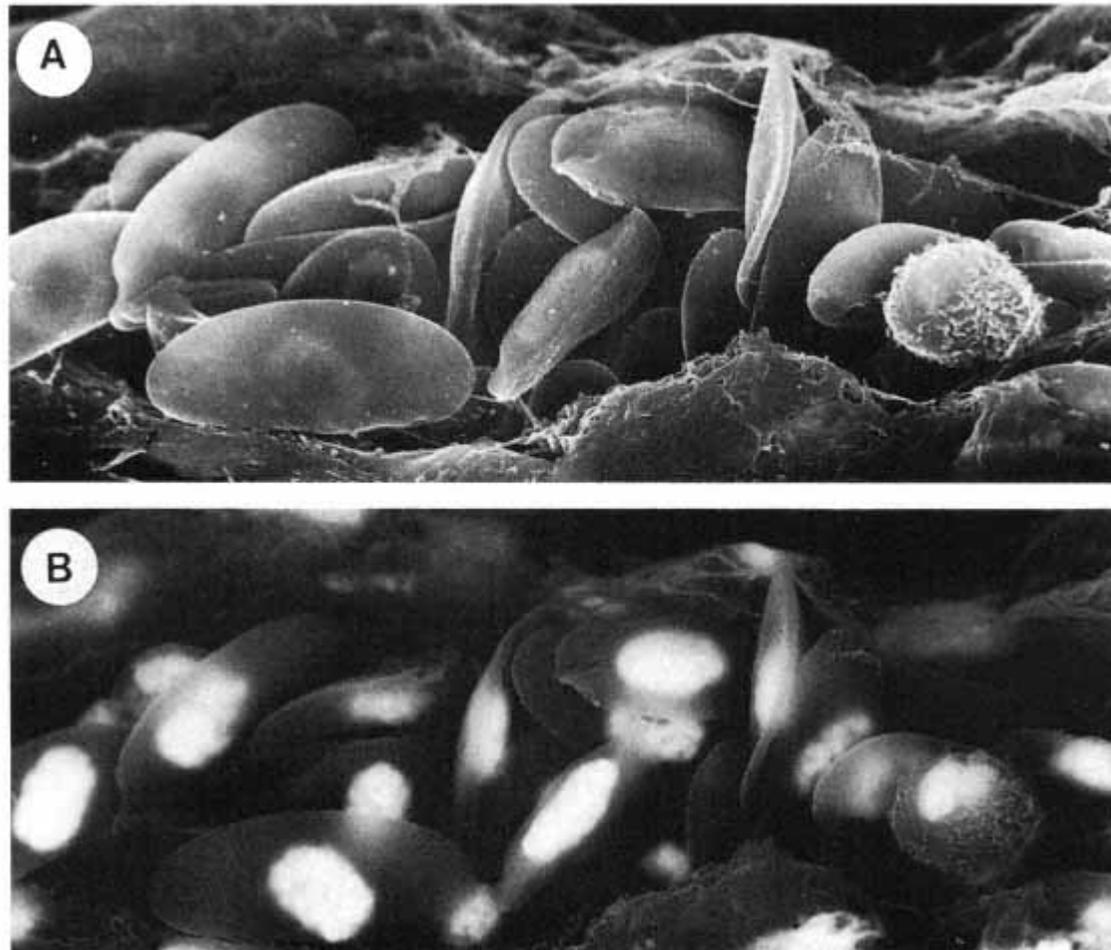
- funzione lavoro piu' piccola: possibile emissione di SE anche meno energetici

50 nm (isolanti)

- minore..... : minore....., piu' SE emessi

- funzione lavoro piu' grande: possibile solo emissione di SE piu' energetici

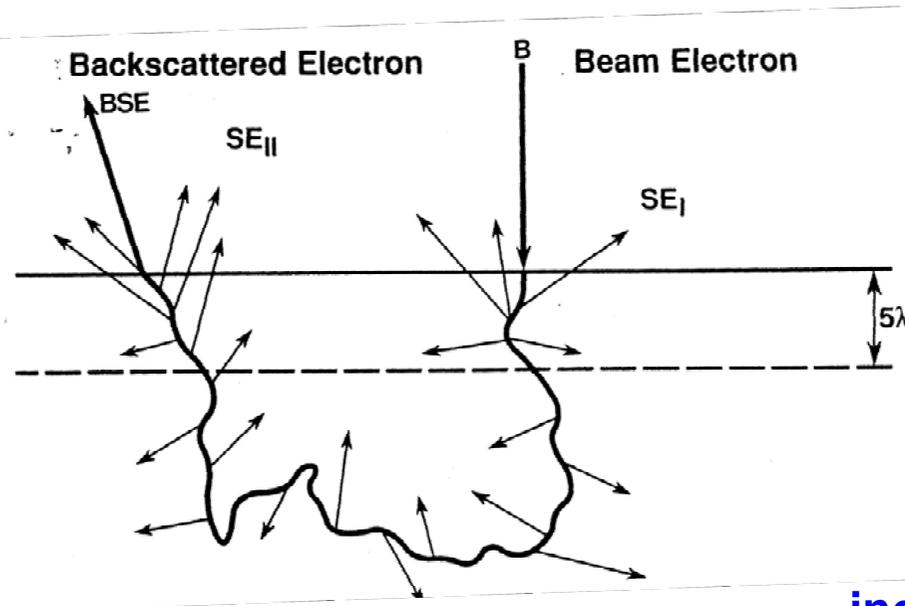
Secondo aspetto: evidenza sperimentale



Red blood cells from tadpole as viewed in the (A) secondary electron mode and (B) backscattered electron mode.

The nuclei were stained with a silver stain and appear very bright. Note that the backscattered image reveals structure beneath the surface of the cell membrane due to the penetrating power of the backscattered electrons.

Attenzione: SE vengono prodotti anche dall'interazione tra materiale/BSE



Il coefficiente totale di emissione di SE, δ_T , sarà quindi dato da

$$\delta_T = \delta_I + \delta_{II}\eta$$

dove $\delta_x = n(SE)_x / n(\text{beam})$

indicativamente: $\delta_{II} / \delta_I = 3-4$

Table 3.8. Ratio of Secondary Electrons Produced by Beam and Backscattered Electrons

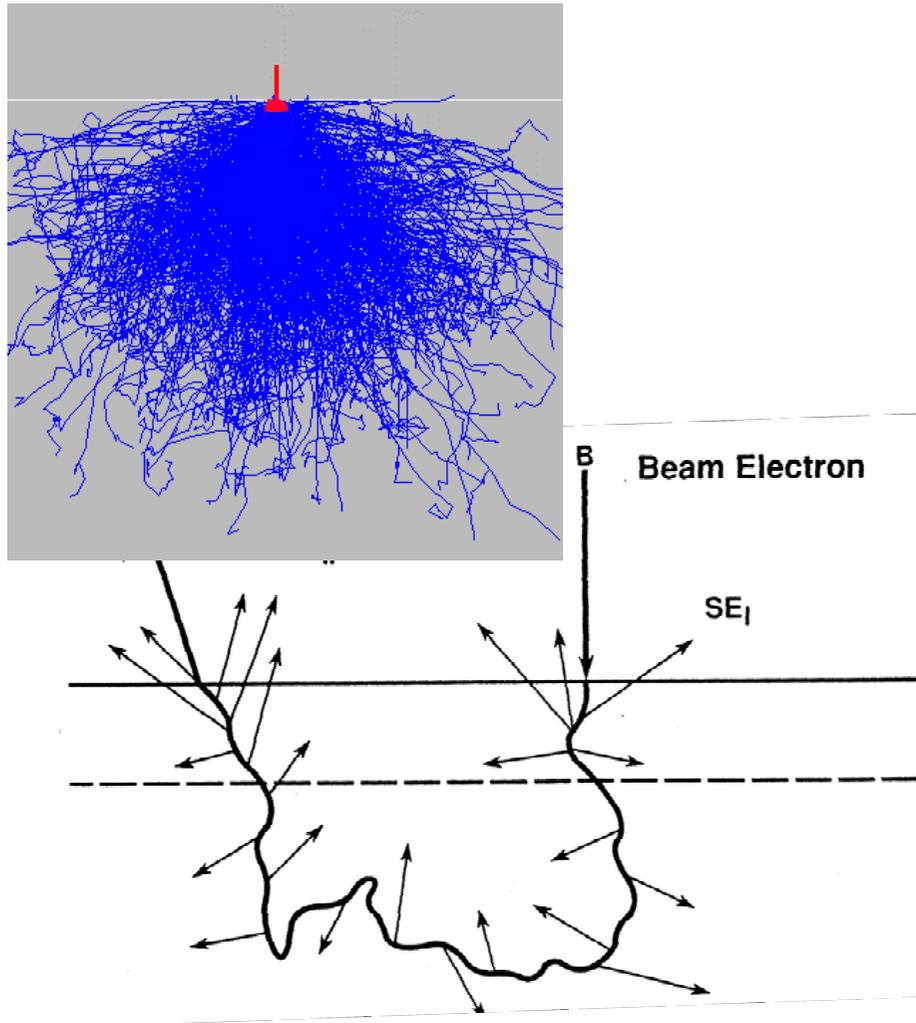
	δ_T	η	SE_{II}/SE_I
Carbon	0.05	0.06	0.18
Aluminum	0.1	0.16	0.48
Copper	0.1	0.30	0.9
Gold	0.2	0.50	1.5

ma bisogna tenere conto di η

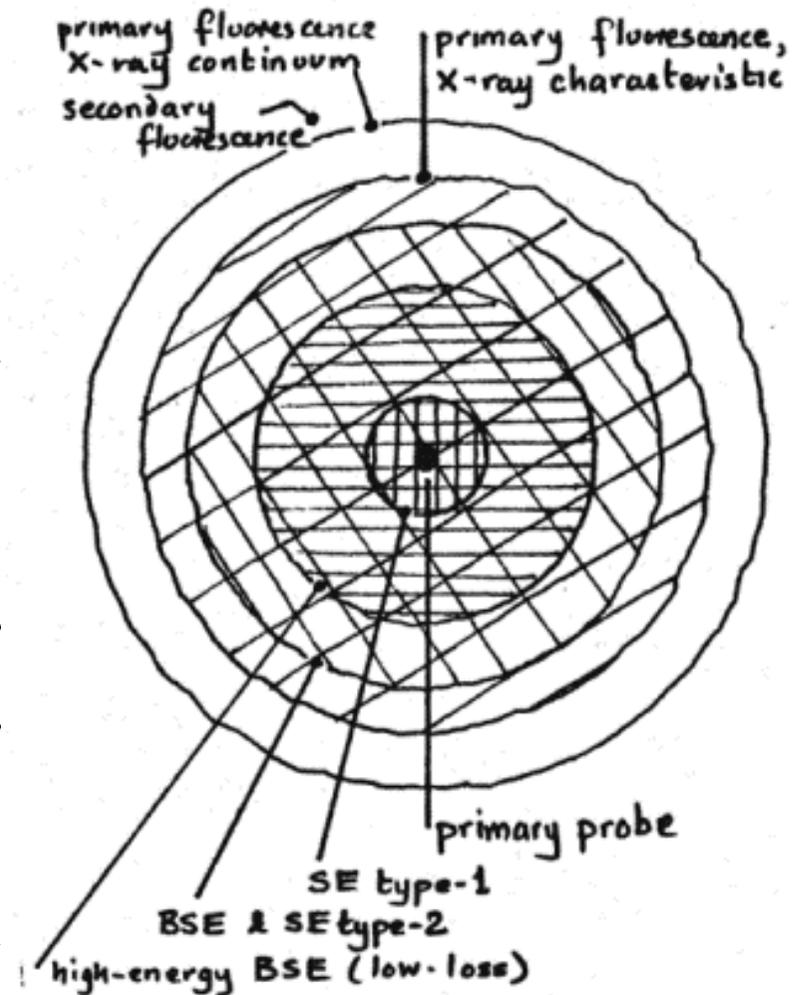
Per cui, in generale: SE_I predominati per elementi leggeri
SE_{II} predominanti per elementi pesanti

Profondità di emersione, presenza di SE_I e di SE_{II} determinano la **RISOLUZIONE** delle immagini da elettroni secondari

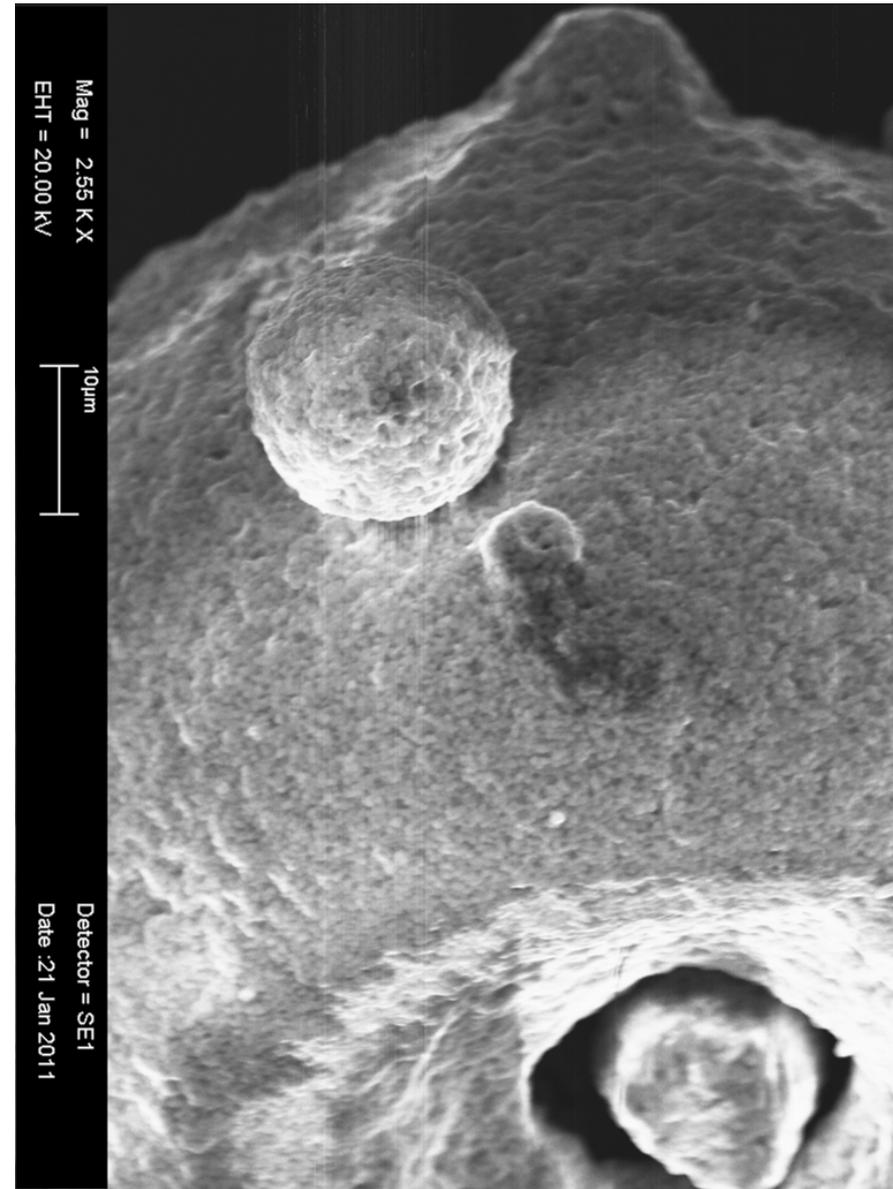
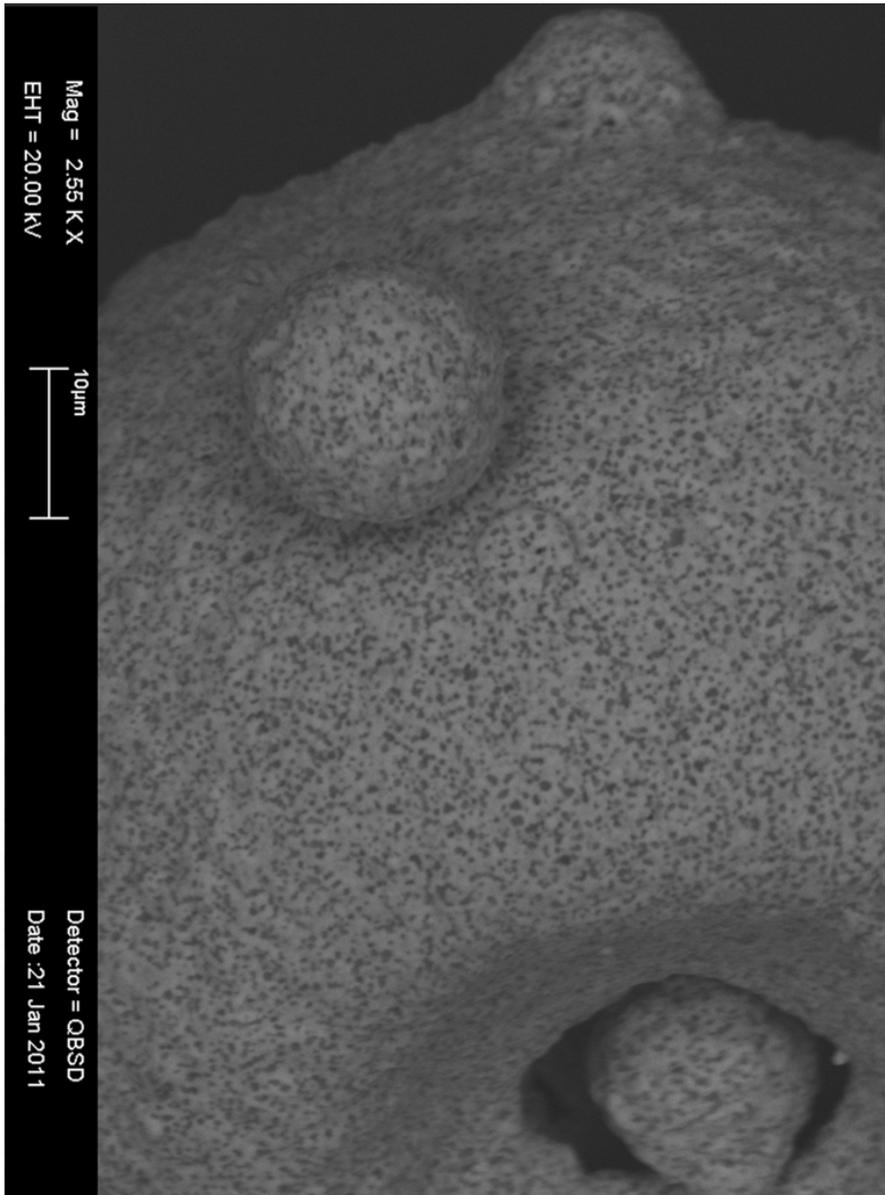
sezione longitudinale



vista zenitale

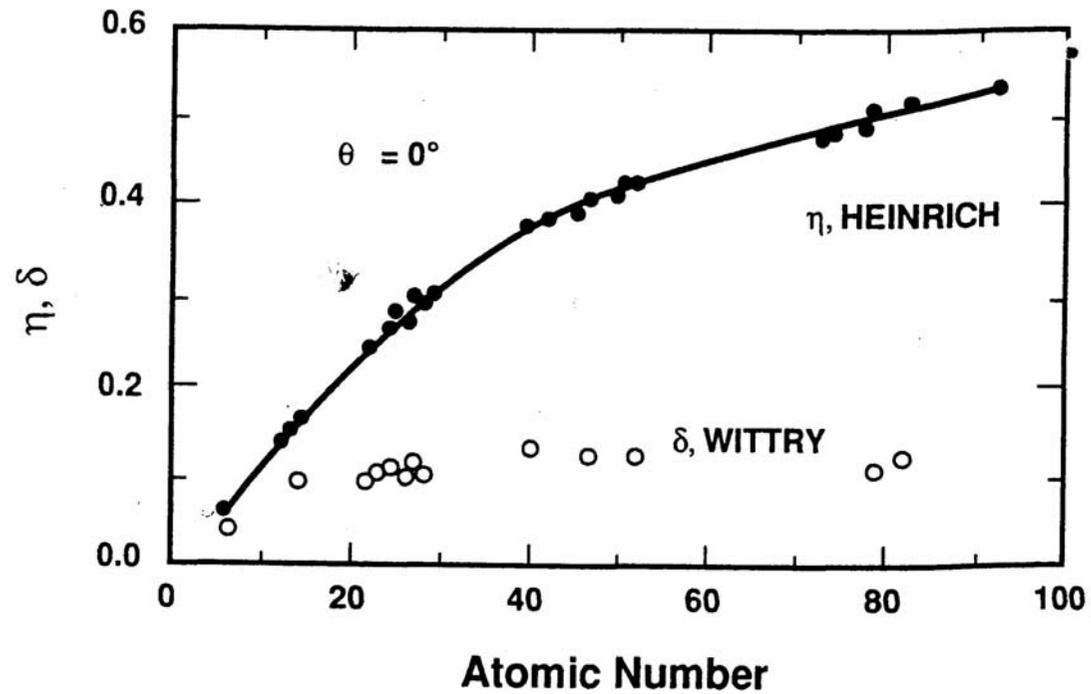


Confronto sinottico immagine da **BSE** vs immagine da **SE**



Coefficiente di emissione di elettroni secondari

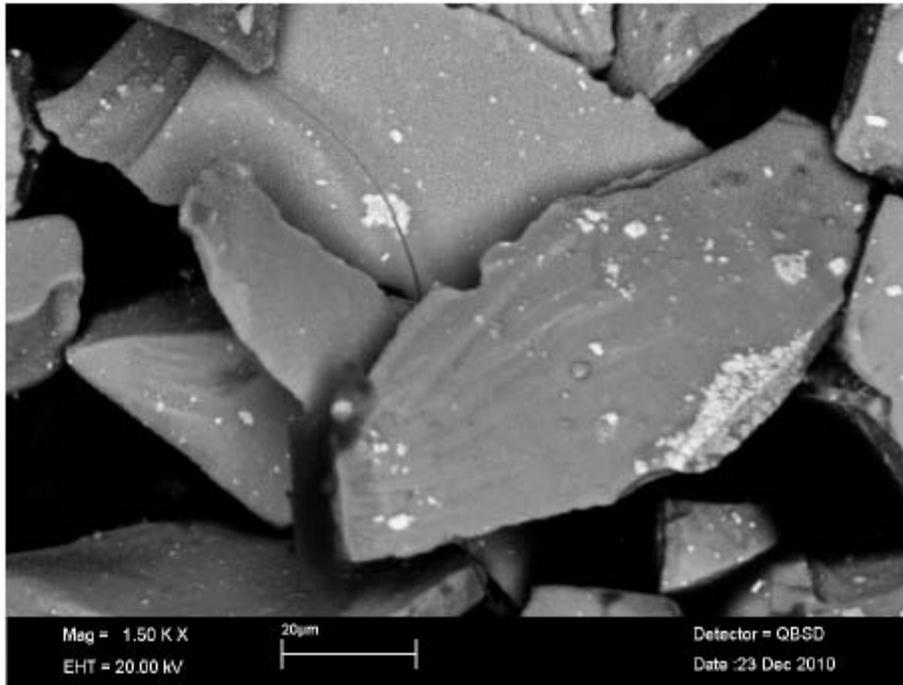
Dipendenza di η dal numero atomico (per una data eV)



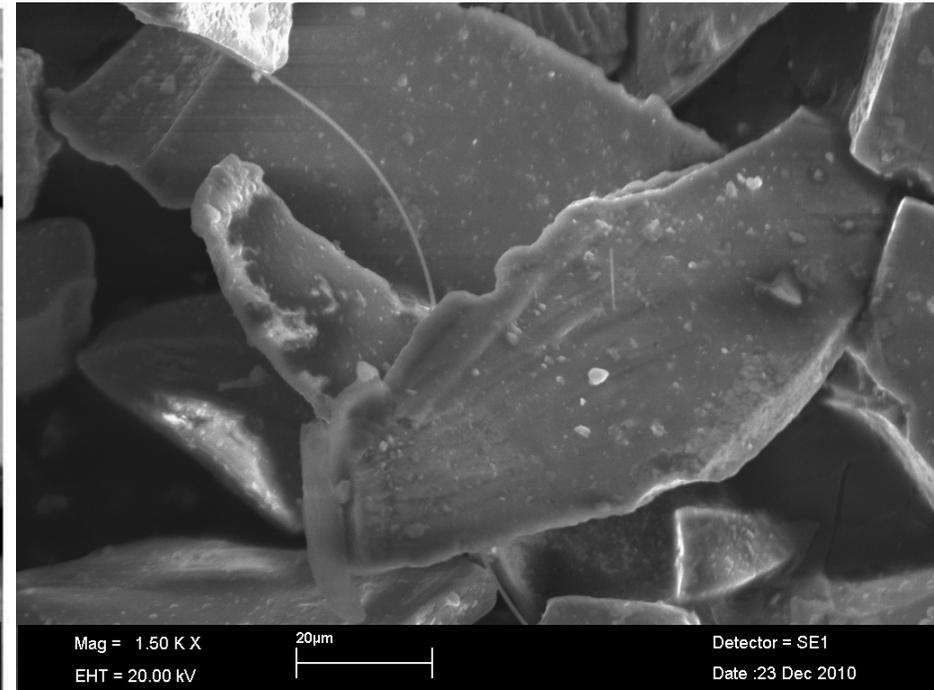
Dipendenza molto piu' contenuta rispetto a quanto visto per BSE.

Confronto sinottico immagine da **BSE** vs immagine da **SE**

BSE



SE



Dipendenza di δ dall'energia del fascio incidente

Table 3.6. Secondary-Electron Coefficients As a Function of Incident Energy^a

Element	5 keV	20 keV	50 keV
Al	0.40	0.10	0.05
Au	0.70	0.20	0.10

^a Reimer and Tollkamp (1980).

Per la diffusione anelastica: $dE/ds \propto 1/E$

**all'aumentare di eV, diminuisce la probabilità di
avere eventi anelastici nello strato utile
(fino a 5 o 50 nm)
per l'emissione di elettroni secondari**

Dipendenza di δ inclinazione fascio/superficie (tilt)
 (inclinazione: angolo tra fascio e normale alla superficie)

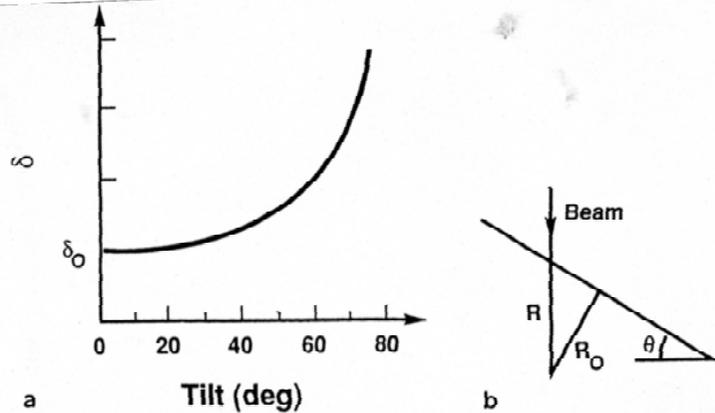
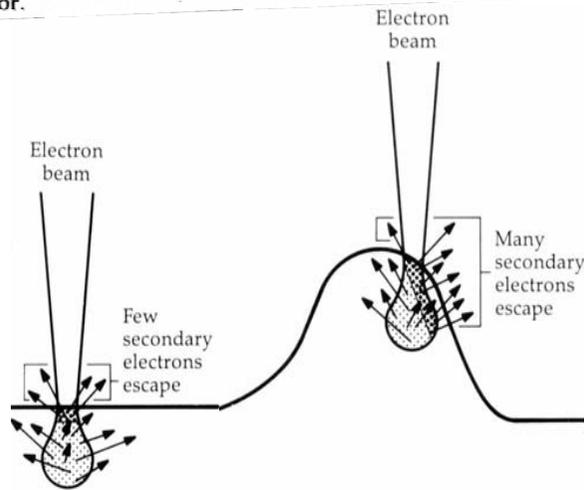
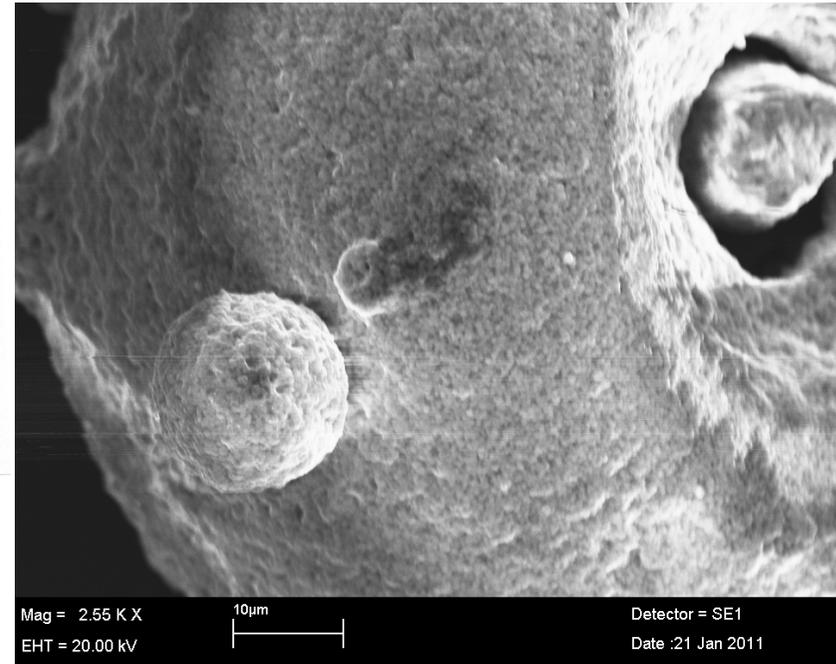


Figure 3.28. (a) Behavior of the secondary-electron coefficient δ as a function of specimen tilt θ , following a secant law. (b) Schematic diagram of the origin of the secant-law behavior.



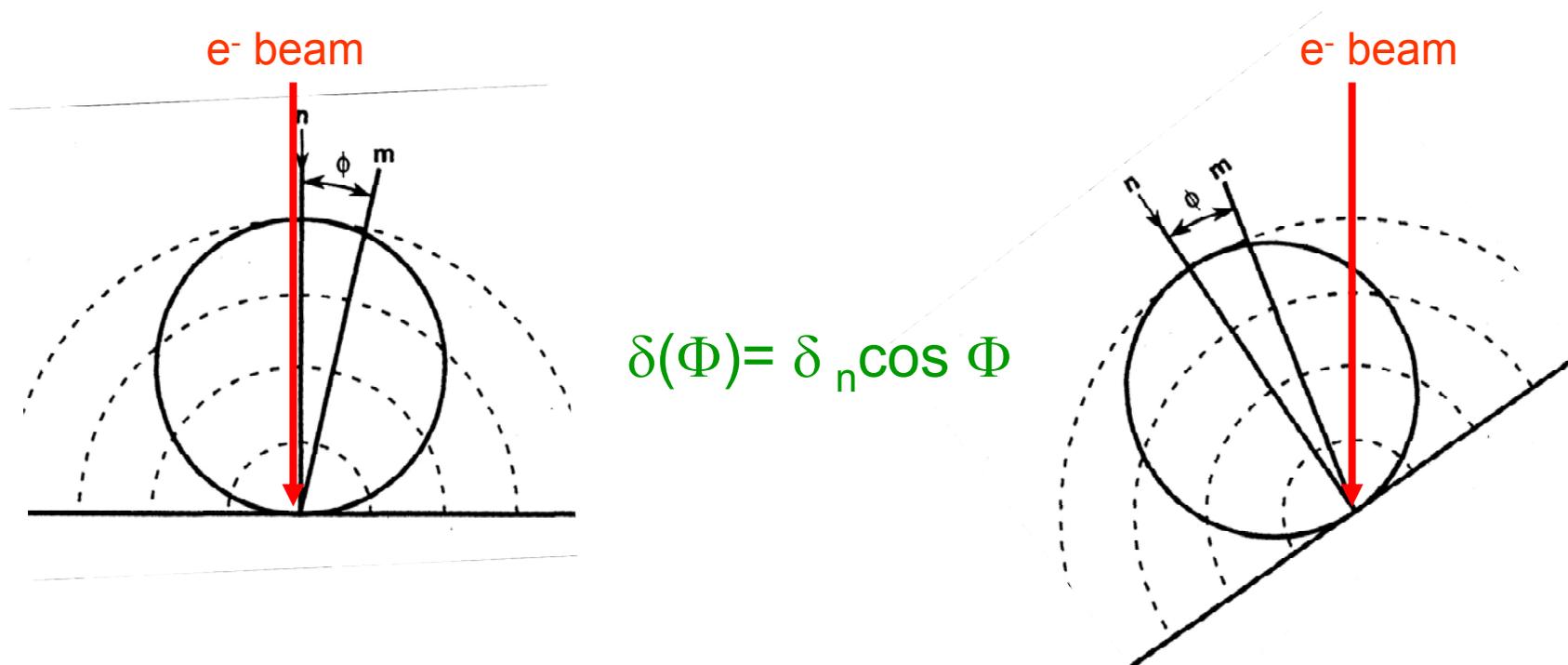
al crescere dell'inclinazione cresce la lunghezza dei percorsi degli e^- che si propagano nel materiale nella zona utile del campione per l'emissione di elettroni secondari

Relazione generale: $\delta(\theta) = \delta_0 \sec \theta$

Contrasto topografico (immagini 3D)

Primo aspetto:

ruolo della distribuzione angolare di δ = DIREZIONALITA' degli e_{BS}

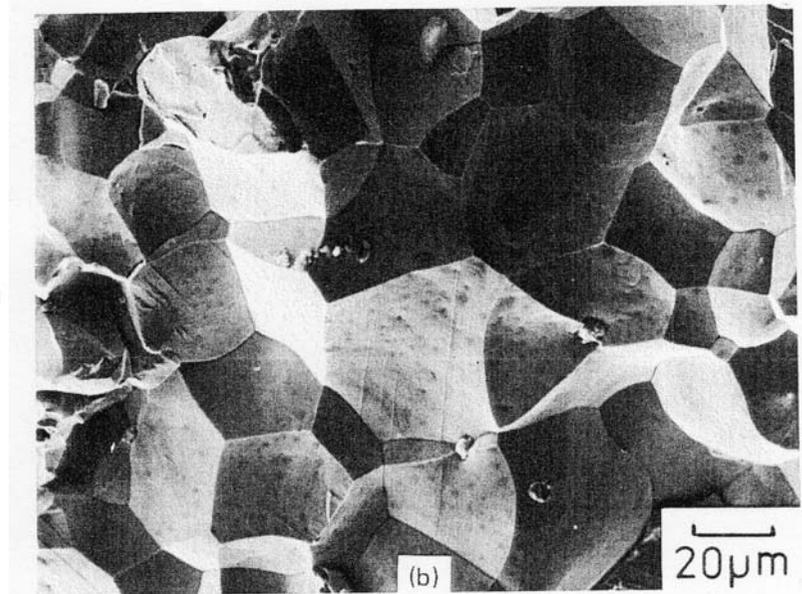
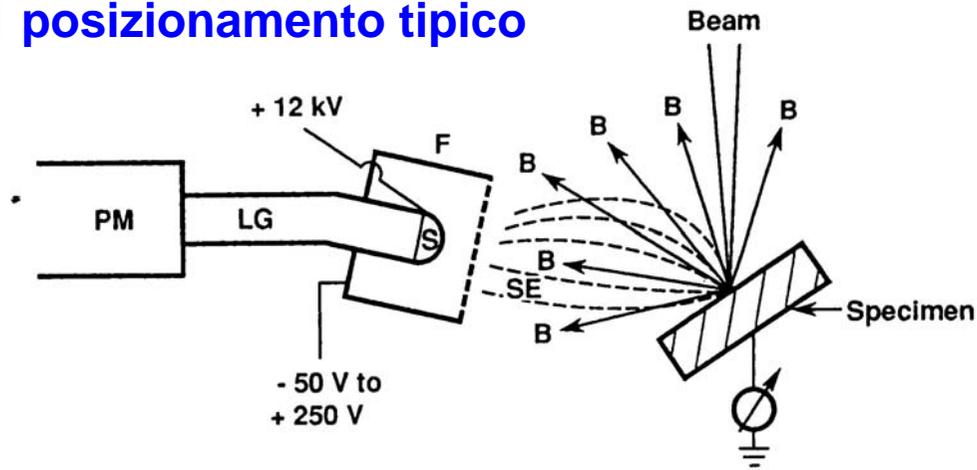


Il numero di BSE emessi ad un certo angolo rispetto al fascio incidente e' proporzionale alla lunghezza della corda della sfera (emissione isotropa in tutti i piani che contengono la direzione di incidenza) tracciata come in figura

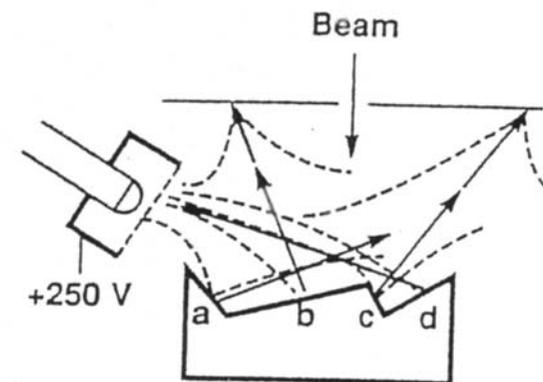
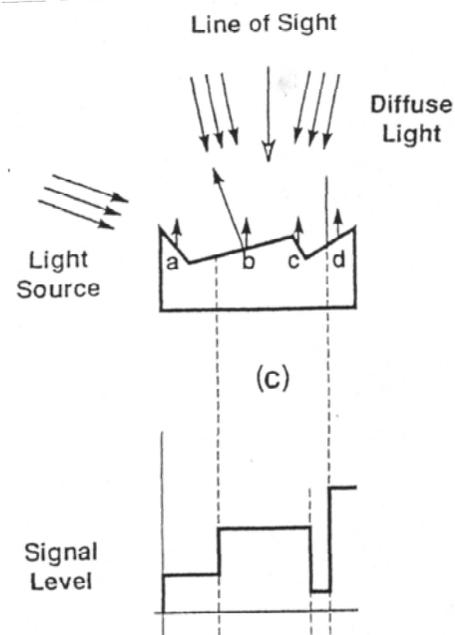
questa dipendenza **SI MANTIENE** anche per direzioni di incidenza del fascio **NON ORTOGONALI** alla superficie:
nel materiale, SE sono generati **ISOTROPICAMENTE**
rispetto alle traiettorie degli e^- del fascio

Contrasto topografico (immagini 3D) Secondo aspetto: modalità di raccolta

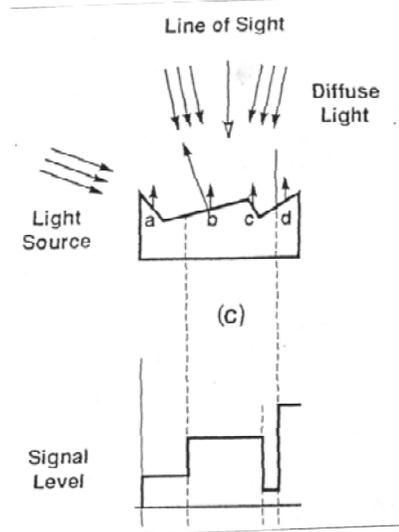
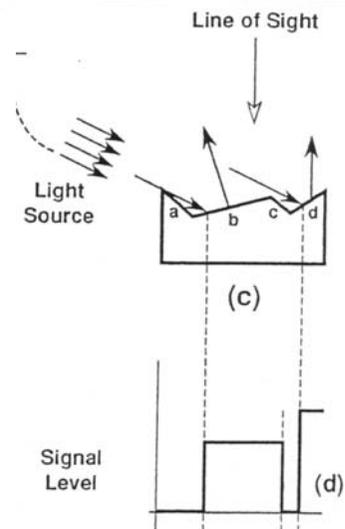
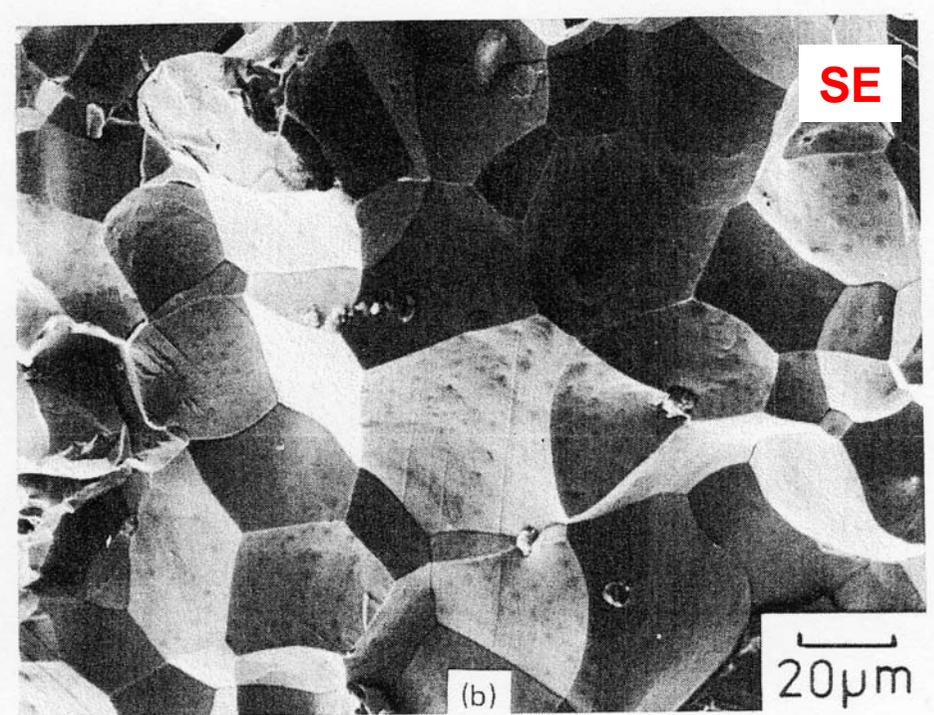
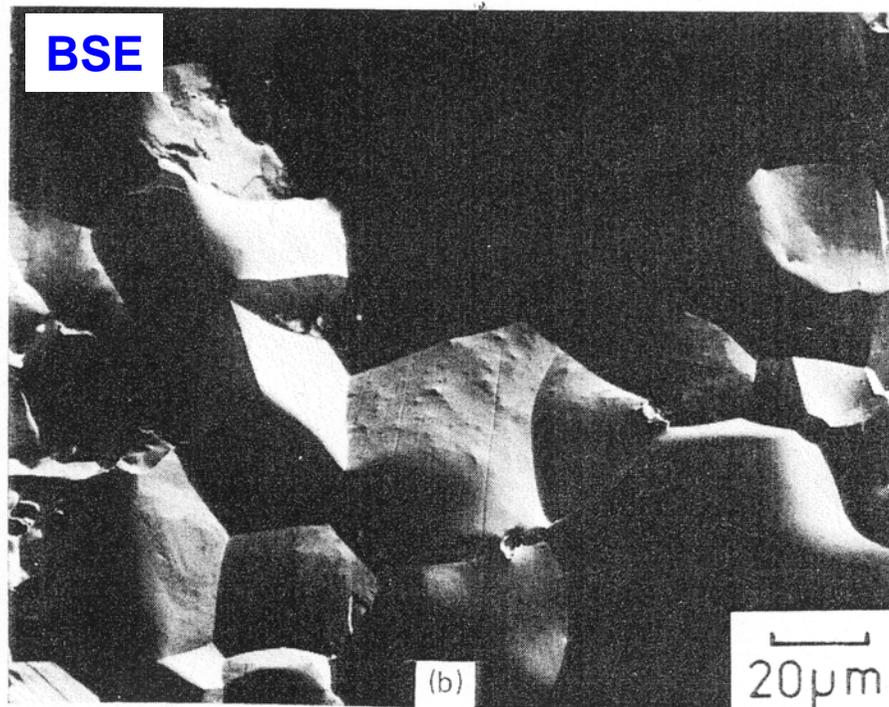
1 posizionamento tipico



Analogia con
microscopia con
luce visibile:
illuminazione con
luce diffusa

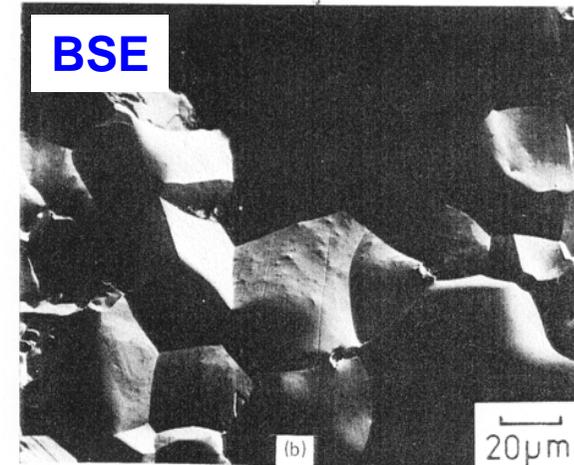
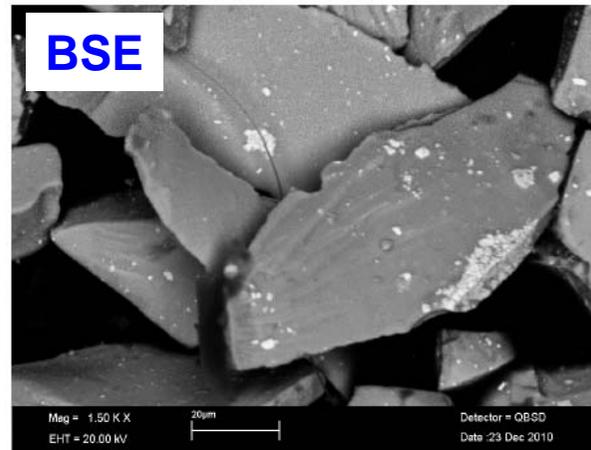
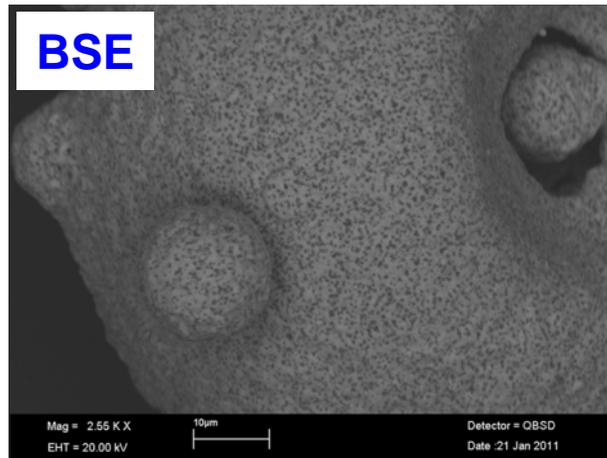


Confronto sinottico immagine da BSE vs immagine da SE



Elementi riassuntivi immagini da **BSE** vs immagini da **SE**

risoluzione



sensibilità
alla
composizione

completezza
informazione
topografica

