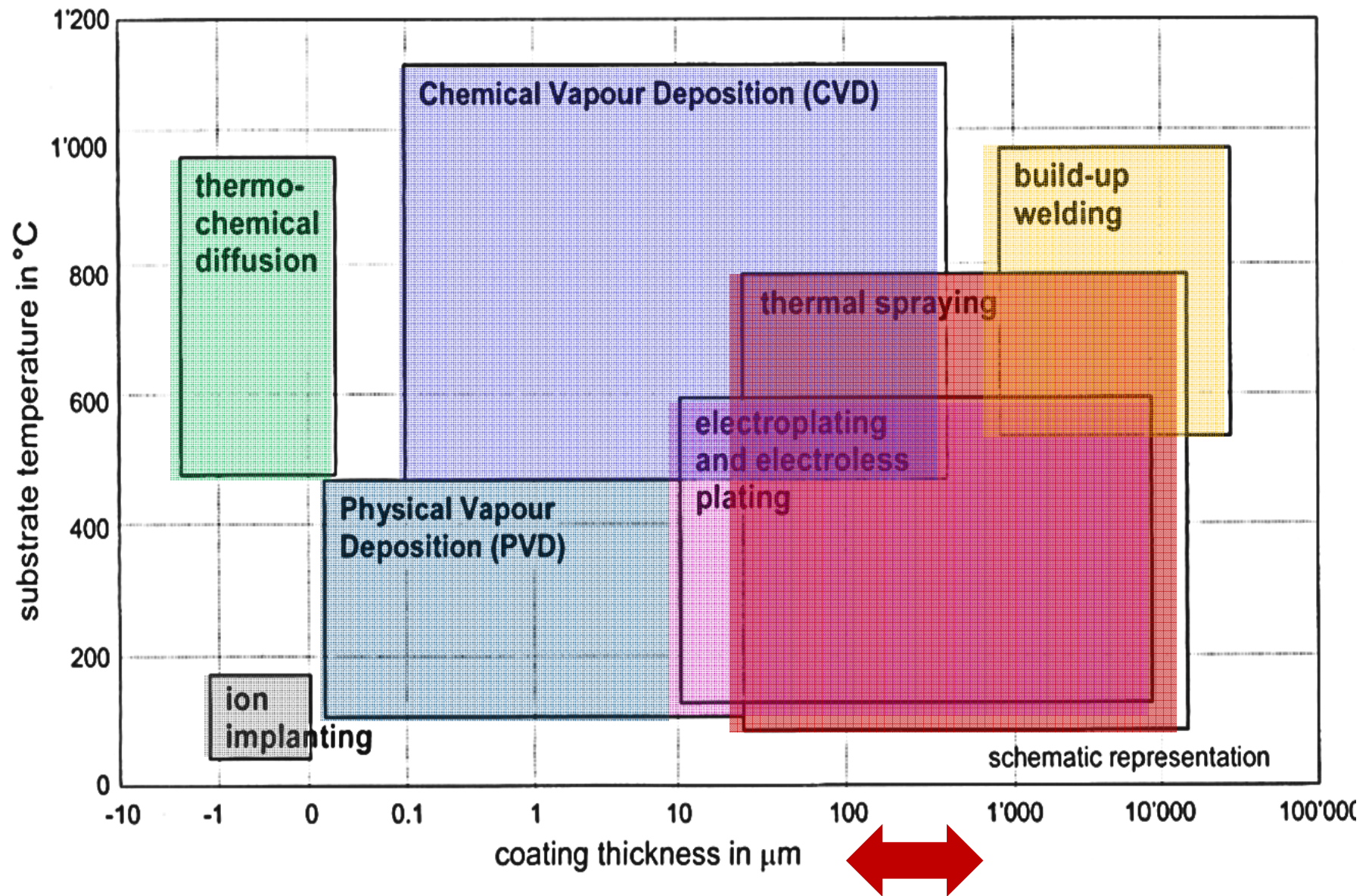




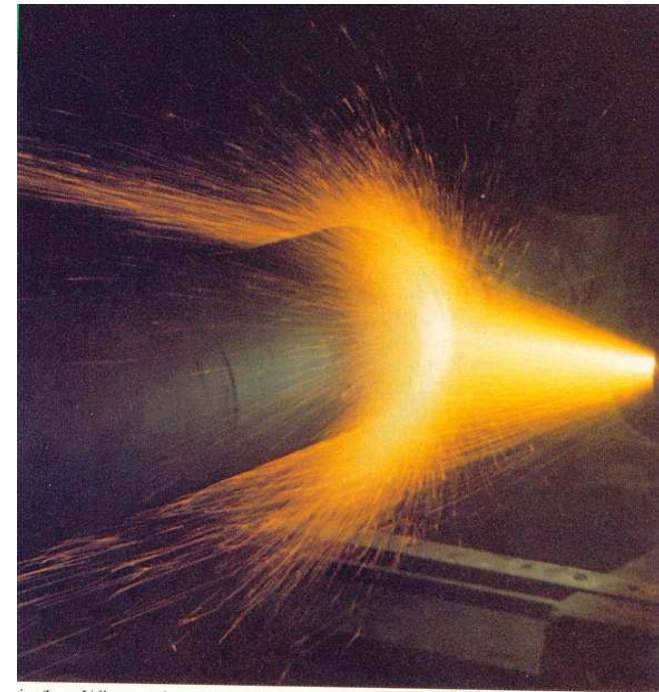
Valutare le proprietà meccaniche di rivestimenti thermal spray: come e con quali prospettive per le applicazioni

Elisabetta. Gariboldi, Nora Lecis – Politecnico di Milano –Dip. Meccanica

Walter Cerri, Paolo Defendenti – Flame Spray S.p.A – Roncello (MI):



3



- Gas di trasporto
- Temperature
- Velocità

Possibilità di raggiungere (quasi) tutte le superfici

Proprietà di interesse, caratteristiche dei rivestimenti e tecniche di indagine

4

Proprietà di interesse

- Resistenza ad usura
- Basso/alto coefficiente di attrito
- Stabilità termica
- Resistenza corrosione
- Resistenza a fatica
- Resistenza a cicli termici
- Resistenza ossidazione
- Resistenza meccanica
-

Caratteristiche rivestimenti

- Microstruttura (fasi, porosità33.....)
- Spessore
- Durezza
- Modulo elastico
- Adesione tra rivest. e substrato
- Coesione del rivestimento
- Rugosità superficiale
-

Tecniche di analisi

- Microscopia LOM, SEM
- RX (valutazioni fasi)
- Indentazioni strumentate (E. HV)
- Scratch tests
- Prove tribologiche
- Prove di analisi termica o termogravimetrica
- Prove di flessione
-

Le proprietà di interesse possono essere raggiunte solo attraverso una adeguata combinazione di rivestimento e substrato

Fattori che interessano il comportamento meccanico del sistema rivestimento-substrato

Fattori che influenzano il comportamento meccanico dei rivestimento:

- Composizione chimica
 - Composizione substrato
 - Spessore
- Microstruttura
 - Porosità
 - Tensioni residue
 - Caratteristiche interfaccia coating/substrato

Composizione rivestimento

- WC-Co
- WC-Co-Cr
- WC-Co-Cr mod

Composizione substrato

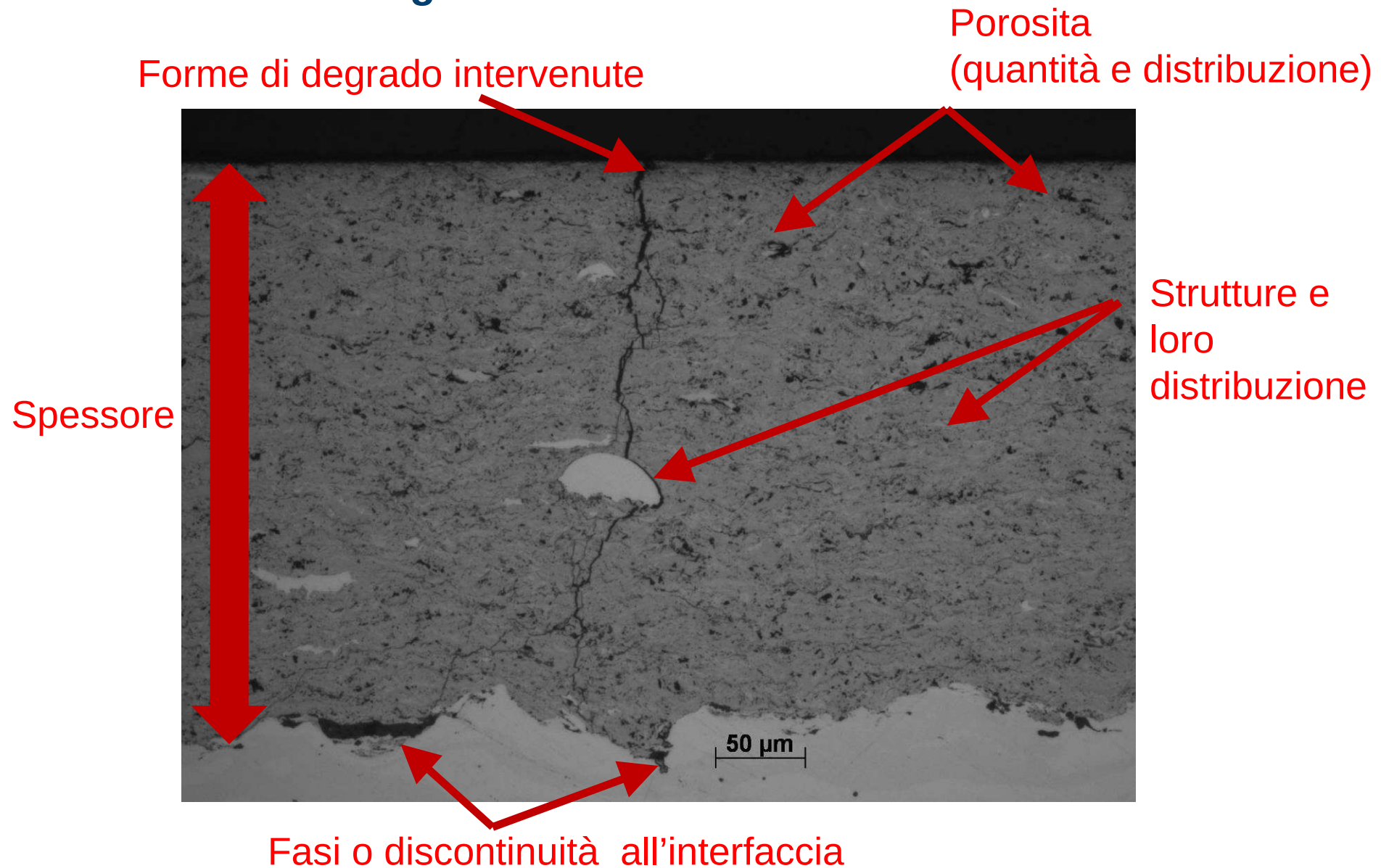
- **AISI 316** $R_{p02} = 235 \text{ MPa}$
- **F51** $R_{p02} = 512 \text{ MPa}$

Spessori rivestimento

- 150 μm
- 250 μm
- 400 μm

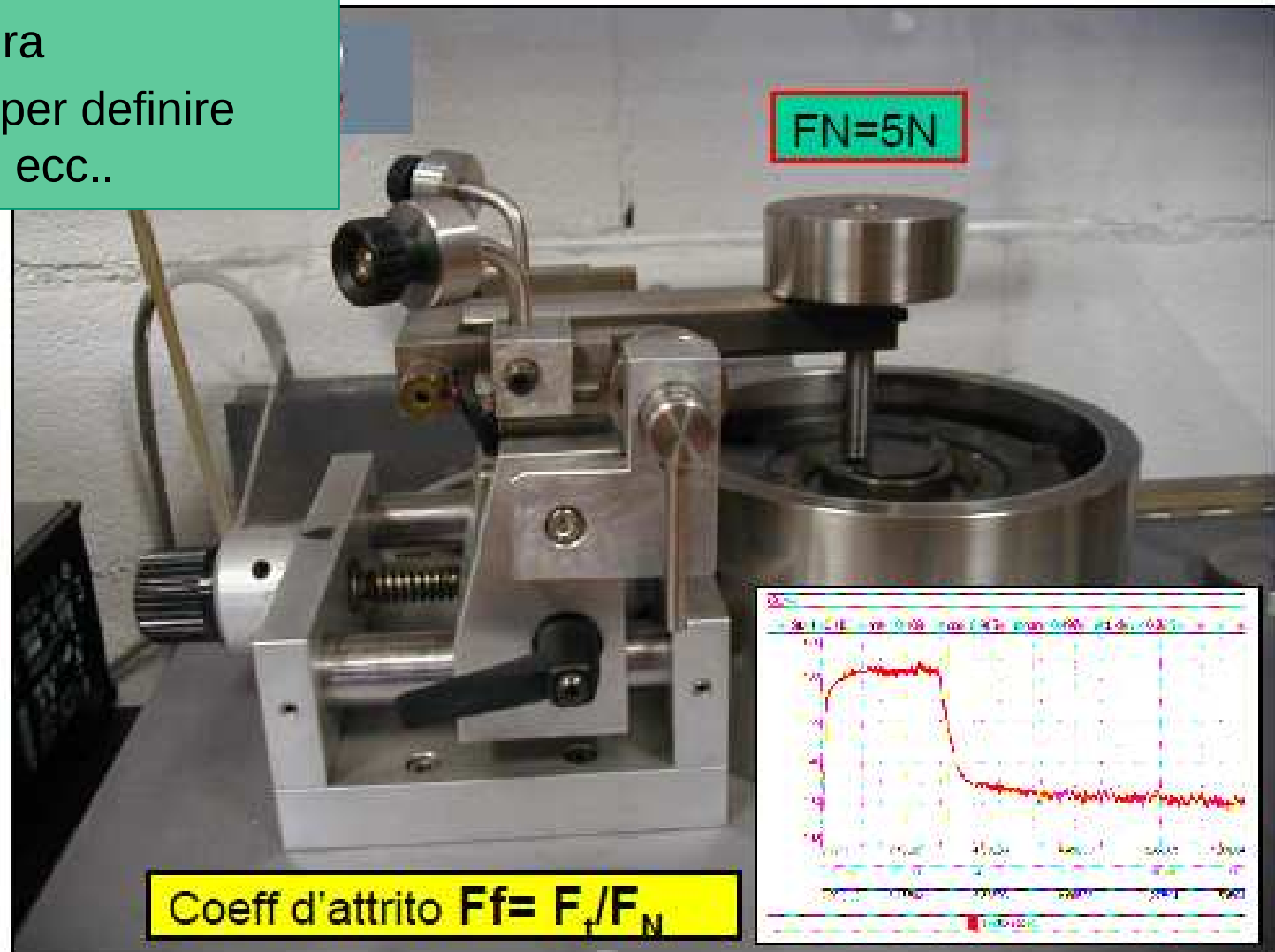
Analisi microstrutturali: informazioni da sezioni metallografiche

6

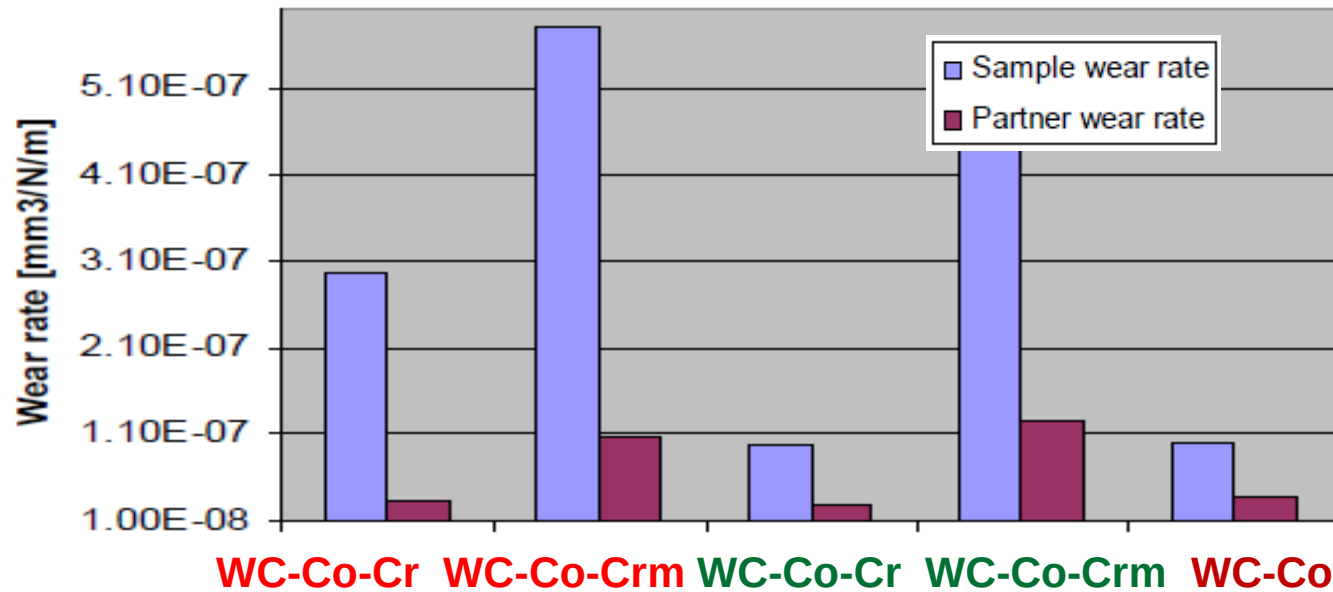


Caratteristiche a usura

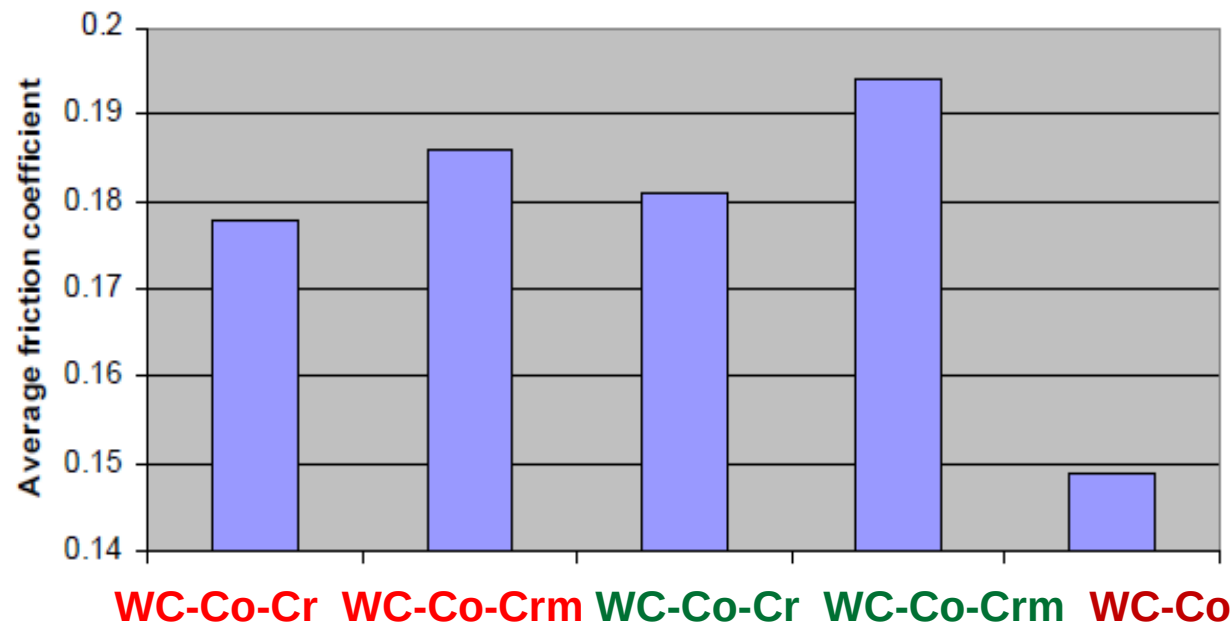
- Coefficiente di attrito
- Volume di usura
- Velocità di usura
- Analisi traccia per definire usura adesiva, ecc..



Applicazione al caso di rivestimenti TS



Caratteristiche ad usura non molto differenti per i WC-WC-Co-Cr (standard o modificato)

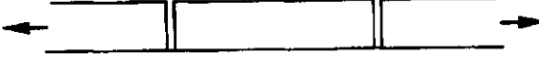
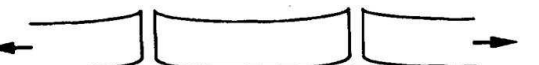
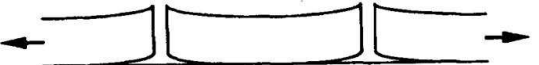
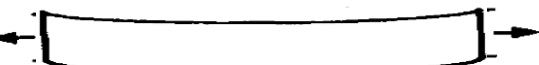


Anche per rivestimenti spessi i diversi parametri correlati all'usura dipendono dal 'sistema3' rivestimento+substrato

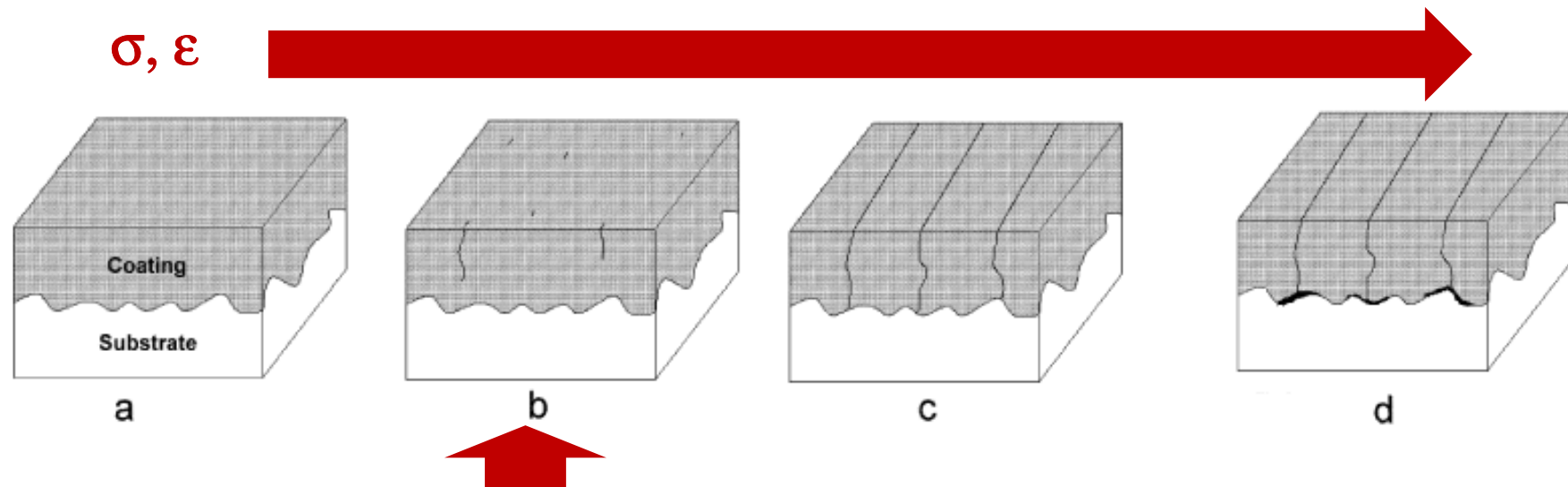
substrato

AISI 316 $R_{p02} = 235\text{MPa}$

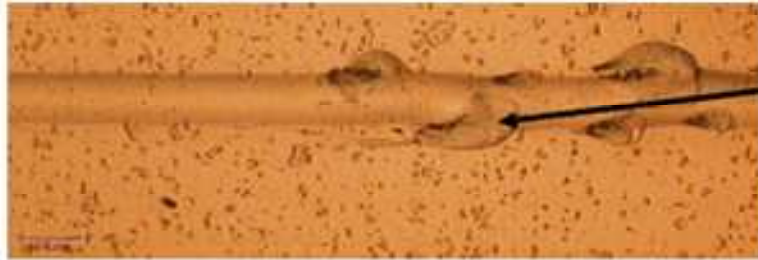
F51 $R_{p02} = 512\text{MPa}$

Rivest.	Subst.	Interf.	Meccanismo di degrado	Schema degrado
Fragile	Duttile	Resistente	Cricche passanti – no decoesione	
Fragile	Duttile	Debole	Cricche passanti + decoes. interf.	
Fragile	Fragile	Resistente	Cricche passanti + decoes. interf.	
Fragile	Fragile	Debole	Decoes. interf. sugli spigoli (edge)	

Evoluzione del danneggiamento dei rivestimenti



Modi della rottura



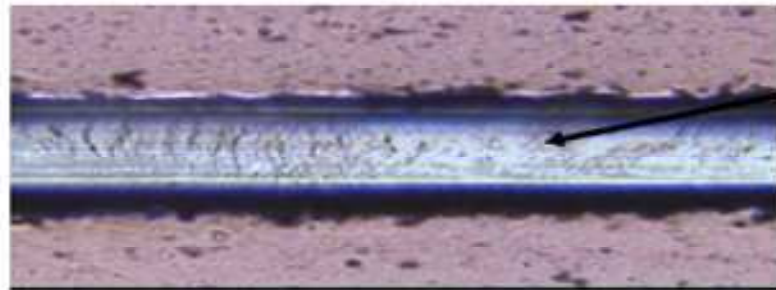
Coesivo

(rottura coesiva - superficiale del film)



Adesione

(Rottura all'interfaccia)

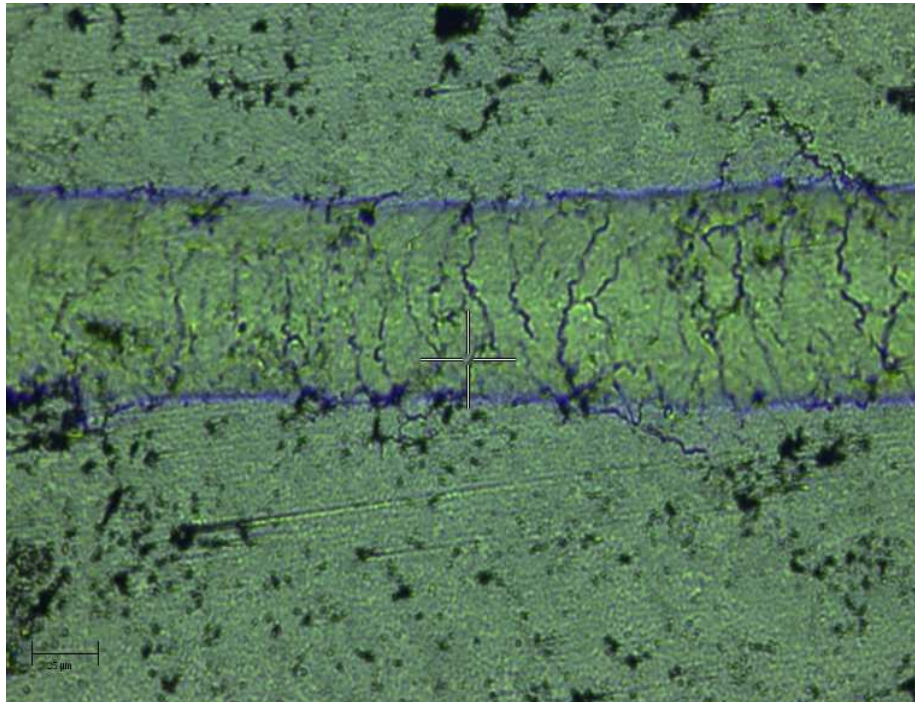


Delaminazione – con interessamento del substrato

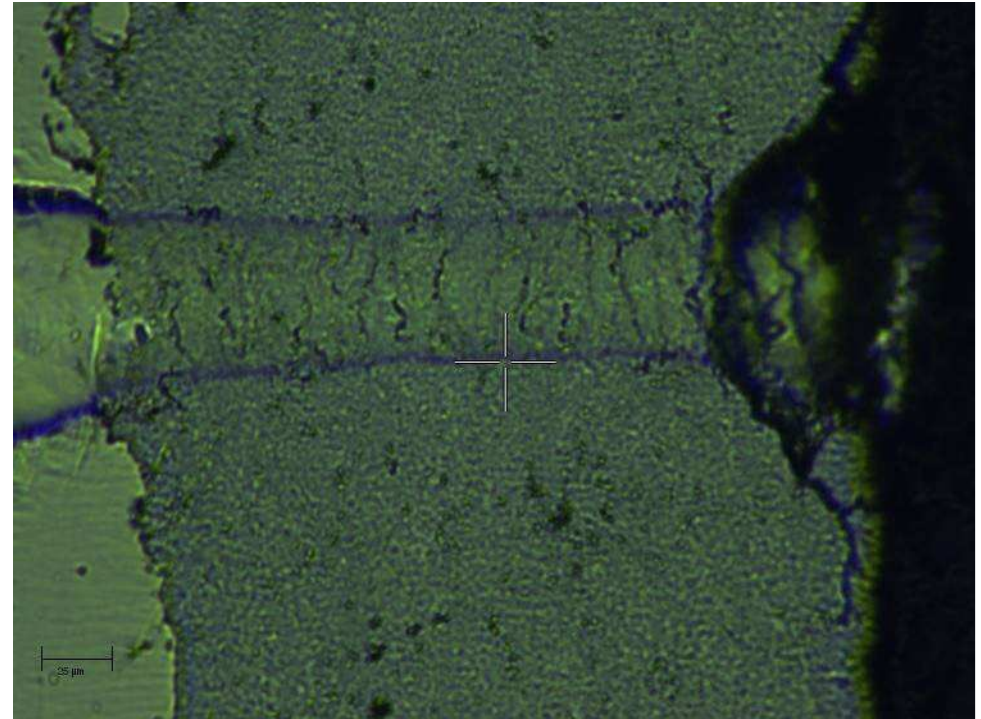
Scratch test su rivestimenti spessi?



Traccia su superficie rivestimento



Traccia su sezione metallografica



Substrato: inox austenitico

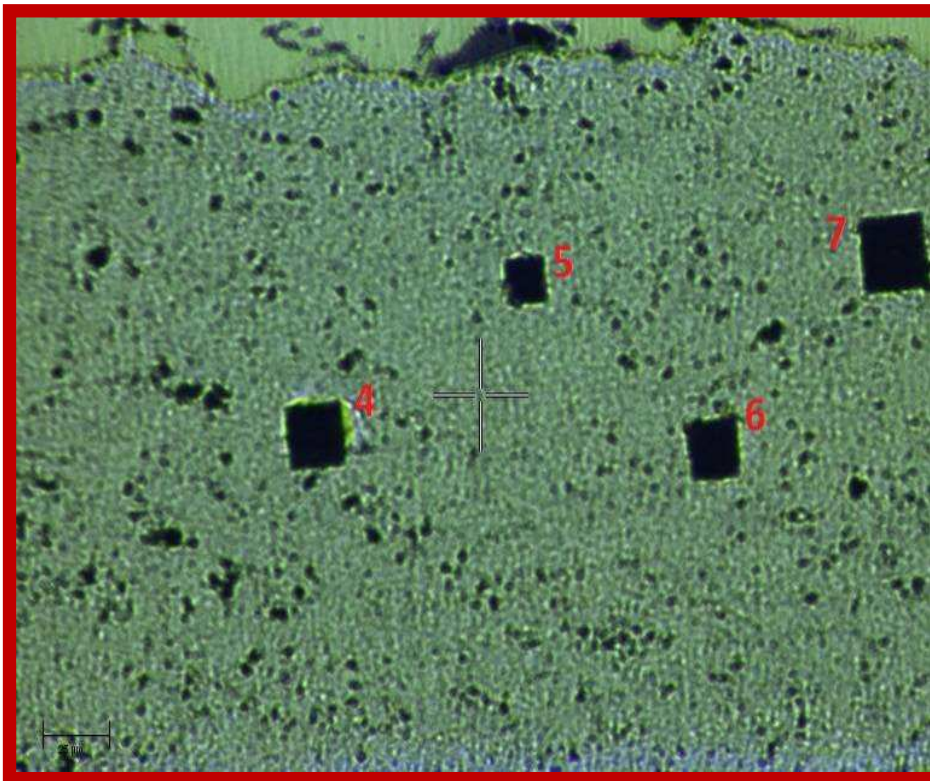
Coating: WC-Co-Cr, spessore 250μm

Cricche all'interno della traccia
che si estendono all'esterno

Dall'angolo formato si ricava un
parametro collegabile alla
coesione del rivestimento

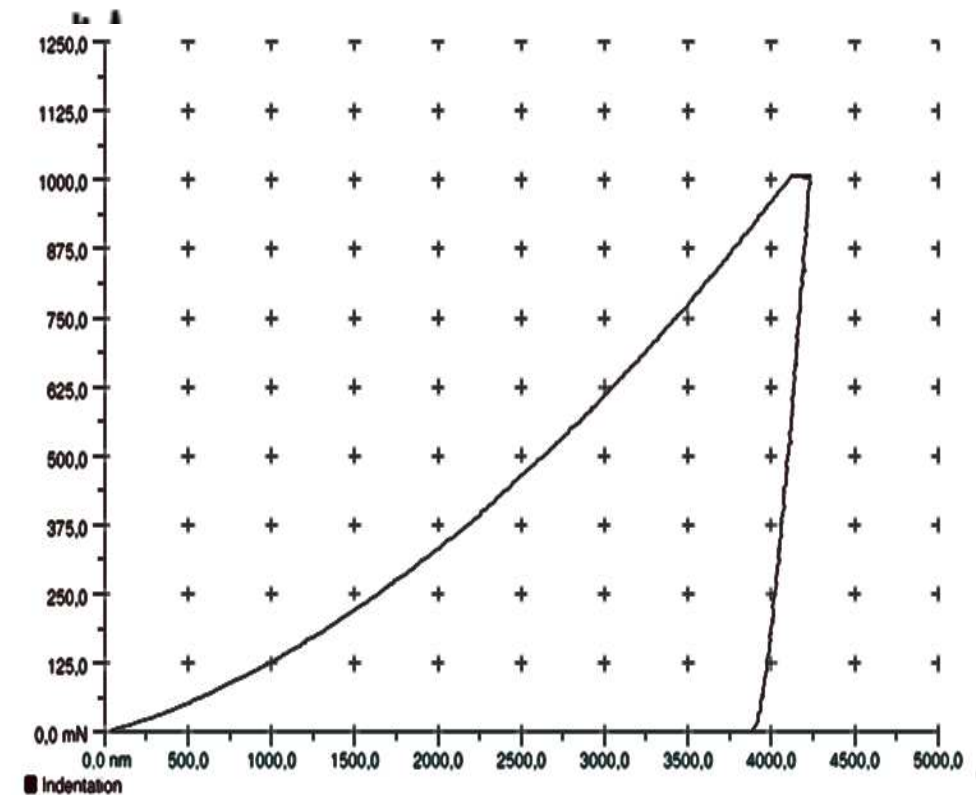
Prove di durezza strumentata

- Durezza Vickers
 - Carico massimo variabile
 - in superficie o sezione
- Modulo elastico (E)



Substrato: inox austenitico

Coating: WC-Co-Cr, spessore 250μm



Rivestimenti TS WC-Co e Wc-Co-Cr

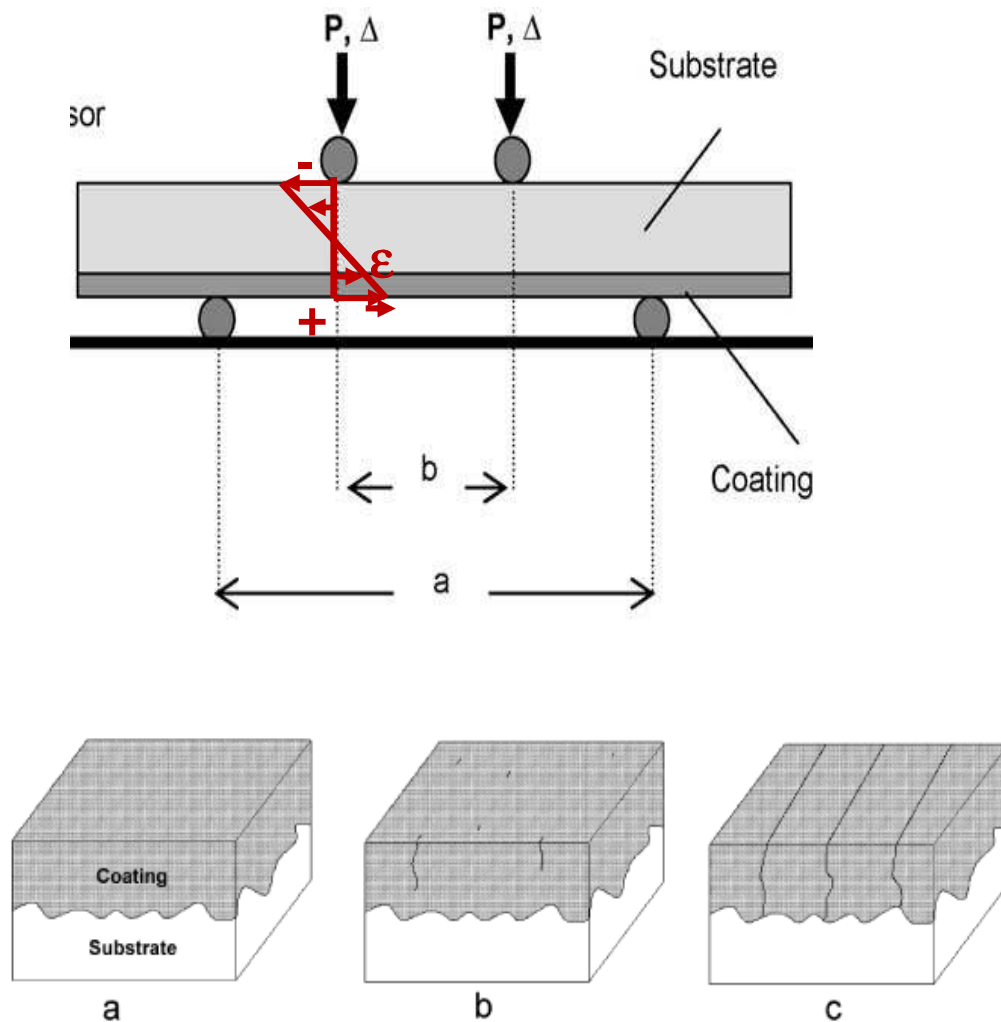
E= 180-220 GPa

- Fortemente ridotto rispetto a solo WC (porosita');
 - • Si riduce al diminuire di Co

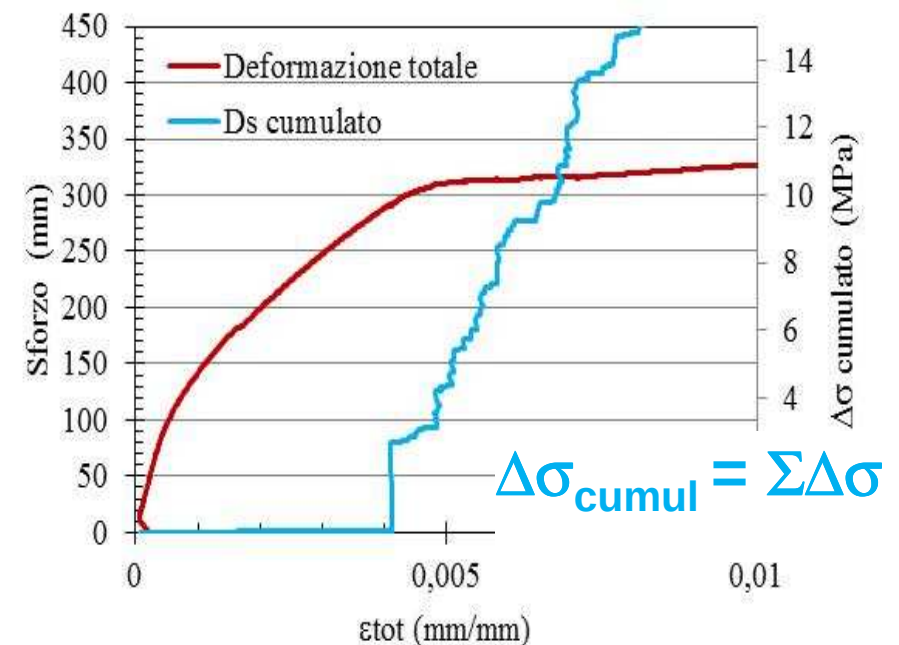
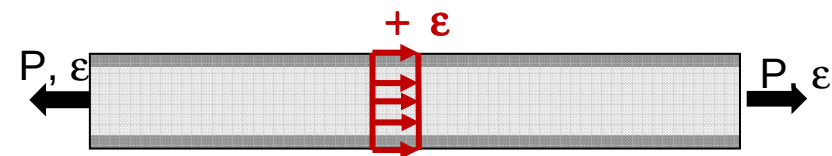
Caratterizzazione dei rivestimenti mediante prove di flessione e trazione

13

Prove di flessione (su 4 punti)



Prove di trazione



Analisi dei risultati: monitoraggio del degrado superficiale (trazione)

14

substrato austenitico

WC-Co-Cr - 150 μ m

WC-Co-Cr 400 μ m

substrato duplex

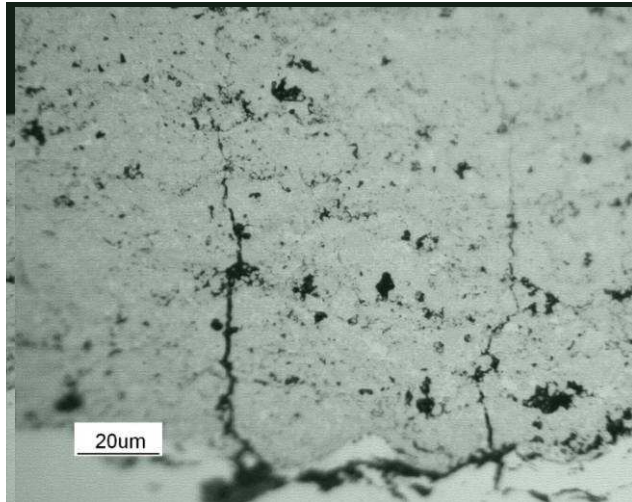
WC-Co 400 μ m



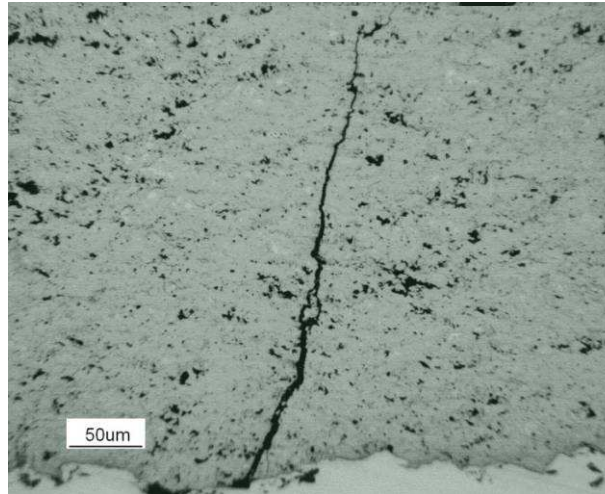
Possibili analisi dei risultati: analisi metallografiche 'post mortem' di provini di trazione

substrato austenitico

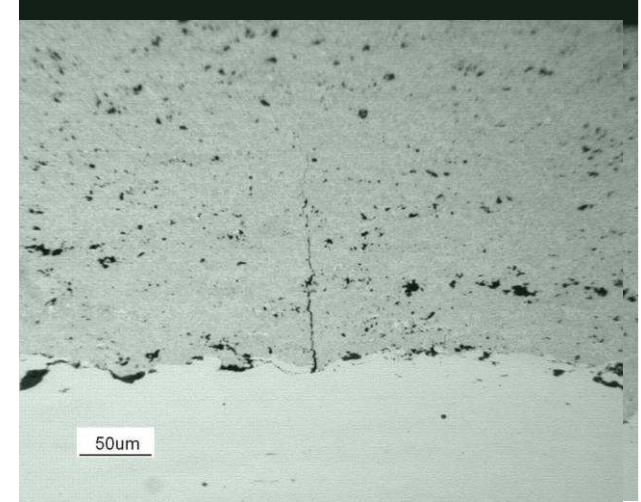
WC-Co-Cr - 150 μ m



WC-Co-Cr 400 μ m

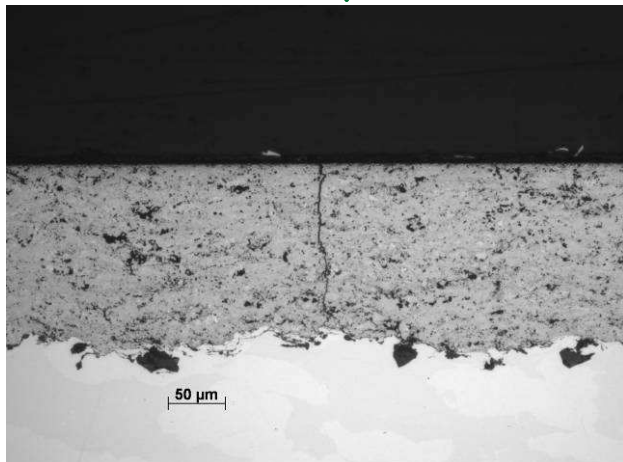


WC-Co 250 μ m

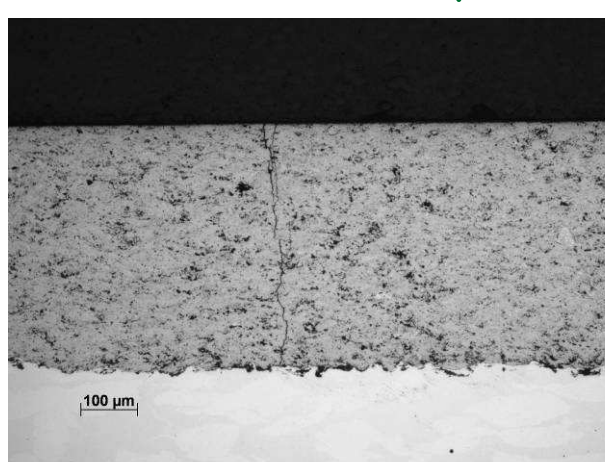


substrato duplex

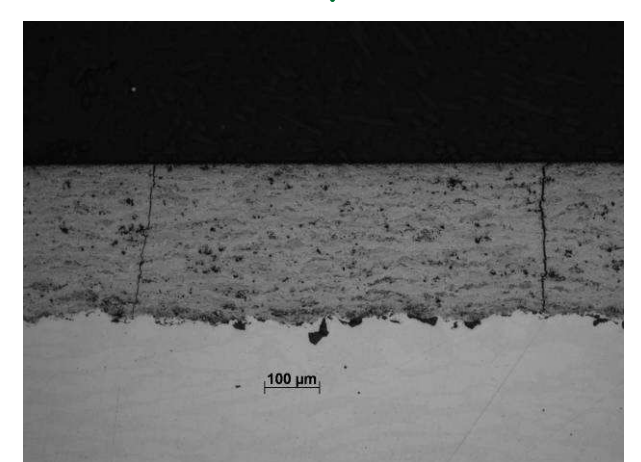
WC-Co-Cr - 150 μ m



WC-Co-Cr 400 μ m



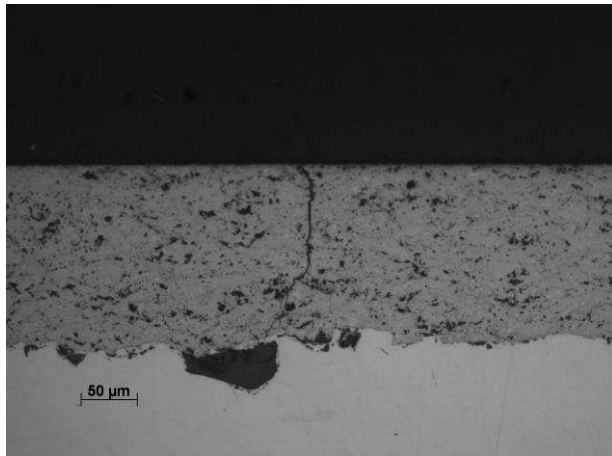
WC-Co 250 μ m



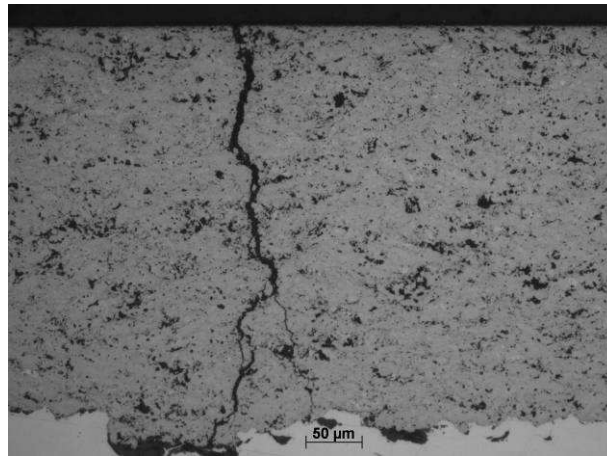
Possibili analisi dei risultati: analisi metallografiche 'post mortem' di provini di flessione

substrato austenitico

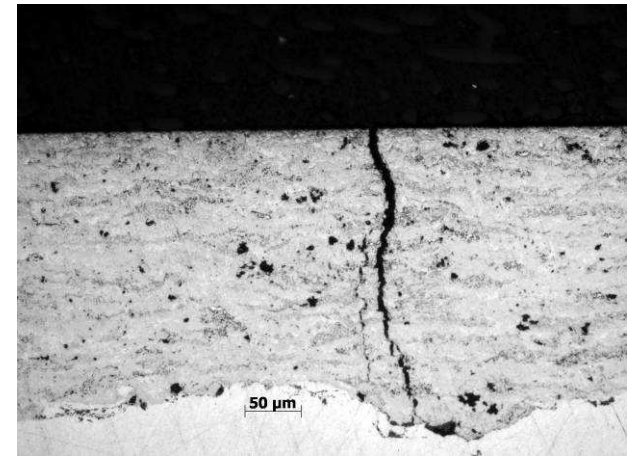
WC-Co-Cr - 150 μ m



WC-Co-Cr 400 μ m

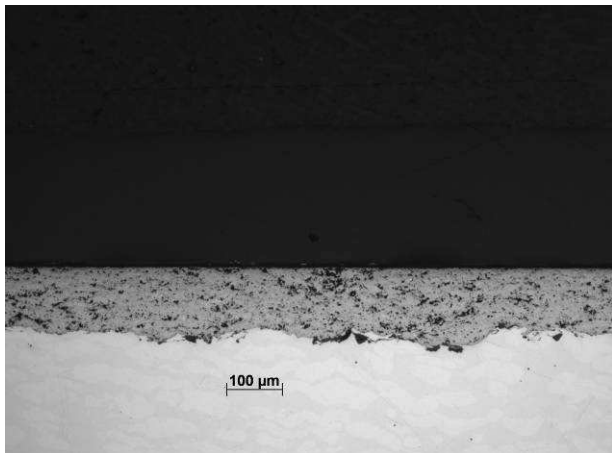


WC-Co 250 μ m

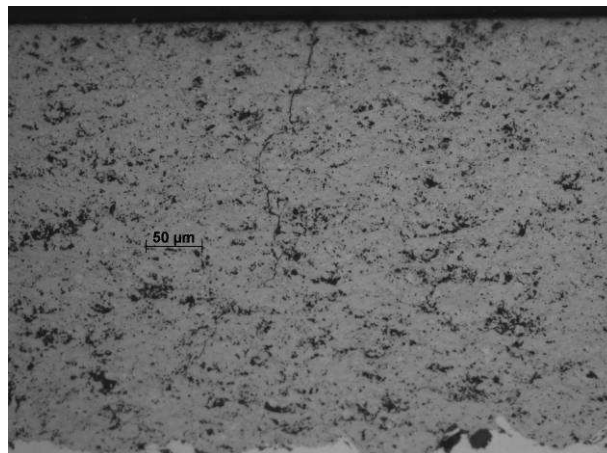


substrato duplex

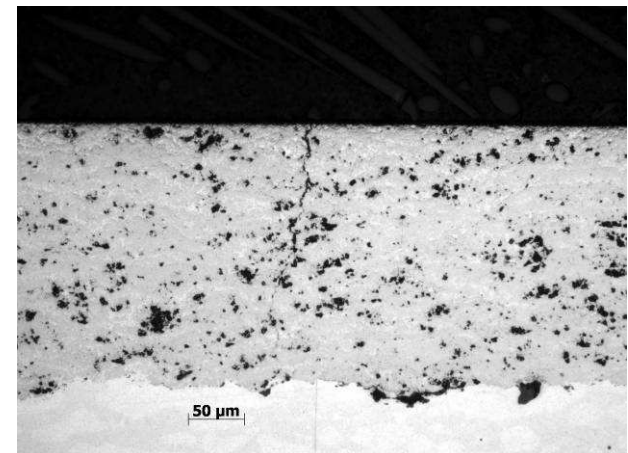
WC-Co-Cr - 150 μ m



WC-Co-Cr 400 μ m



WC-Co 250 μ m

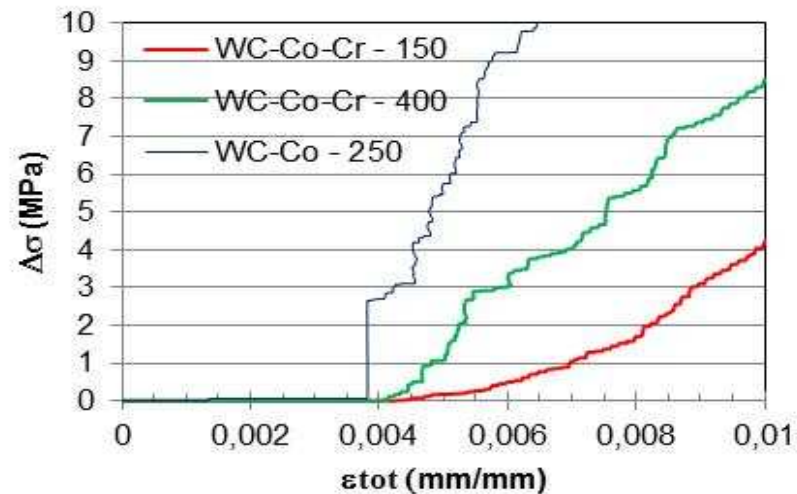


Possibili analisi dei risultati:

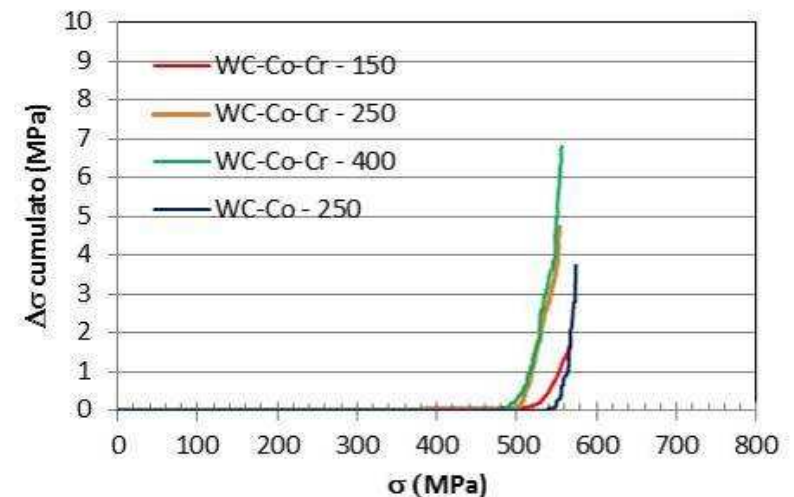
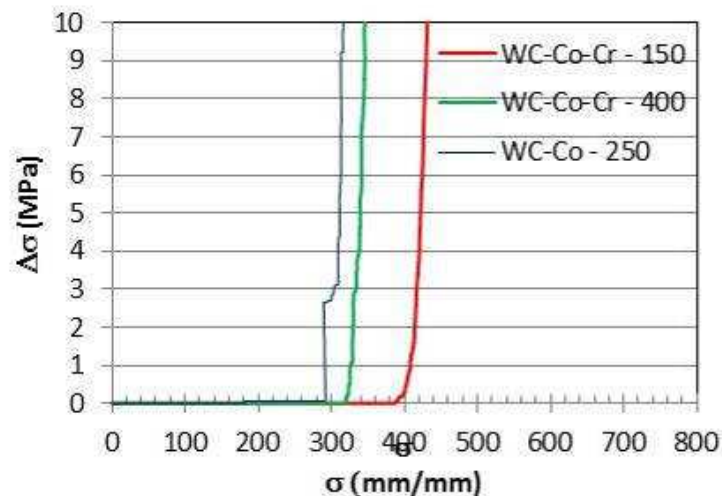
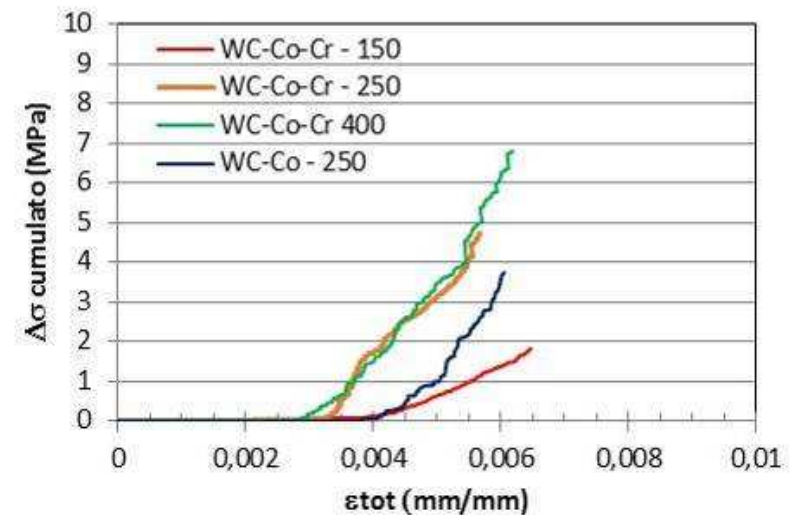
17

$\Delta\sigma$ cumulato come indice di degrado - trazione

Substrato austenitico



Substrato duplex



- Il cedimento dei coating è un fenomeno complesso e la localizzazione e le condizioni che controllano l'innescò possono variare in relazione a:
 - Substrato :controllo di deformazione per substrati 'teneri', controllo di sforzo per substrati più resistenti
 - Spessori: passando da 150 a 400 μm si anticipa l'innescò e si rallenta l'aumento di densità delle cricche
 - Il ruolo dell'interfaccia va si è rivelato importante per materiali teneri
- L'utilizzo combinato di più prove meccaniche ha consentito di valutare i diversi aspetti che intervengono nel danneggiamento dei rivestimenti e potrà essere utilizzato per valutare l'affidabilità di rivestimenti innovativi.
- Non è sufficiente un'analisi 'post mortem' per definire le diverse fasi del degrado, occorre un monitoraggio continuo di carico e deformazione del substrato
- Le 'classiche' prove su rivestimenti, scratch possono offrire un valido supporto nella valutazione delle forme di degrado del sistema 'rivestimento-substrato' e all'ottimizzazione dei rivestimenti, sia sul fronte dei parametri di processo, sia su quelli dei possibili substrati e delle condizioni di esercizio