



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI BERGAMO

Dipartimento  
di Ingegneria  
e Scienze Applicate

# La tecnologia sol-gel per la realizzazione di finissaggi tessili a basso impatto ambientale

RELATORE  
Prof. Giuseppe Rosace

SEDE  
Unione Industriali Biella

DATA  
12-11-2019

# CONTENUTI

- ✓ Introduzione
- ✓ Applicazioni convenzionali e non convenzionali dei materiali tessili
- ✓ Impatto delle sostanze chimiche
- ✓ Finissaggi tessili innovativi
- ✓ Conclusioni



# MATERIALI TESSILI



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI BERGAMO

Dipartimento  
di Ingegneria  
e Scienze Applicate

# MATERIALI TESSILI

## Applicazioni convenzionali

I tessuti sono componenti importante nella vita di tutti i giorni.



Abbigliamento, biancheria da letto, tappeti e molti altri oggetti con cui le persone entrano quotidianamente in contatto sono prodotti tessili.

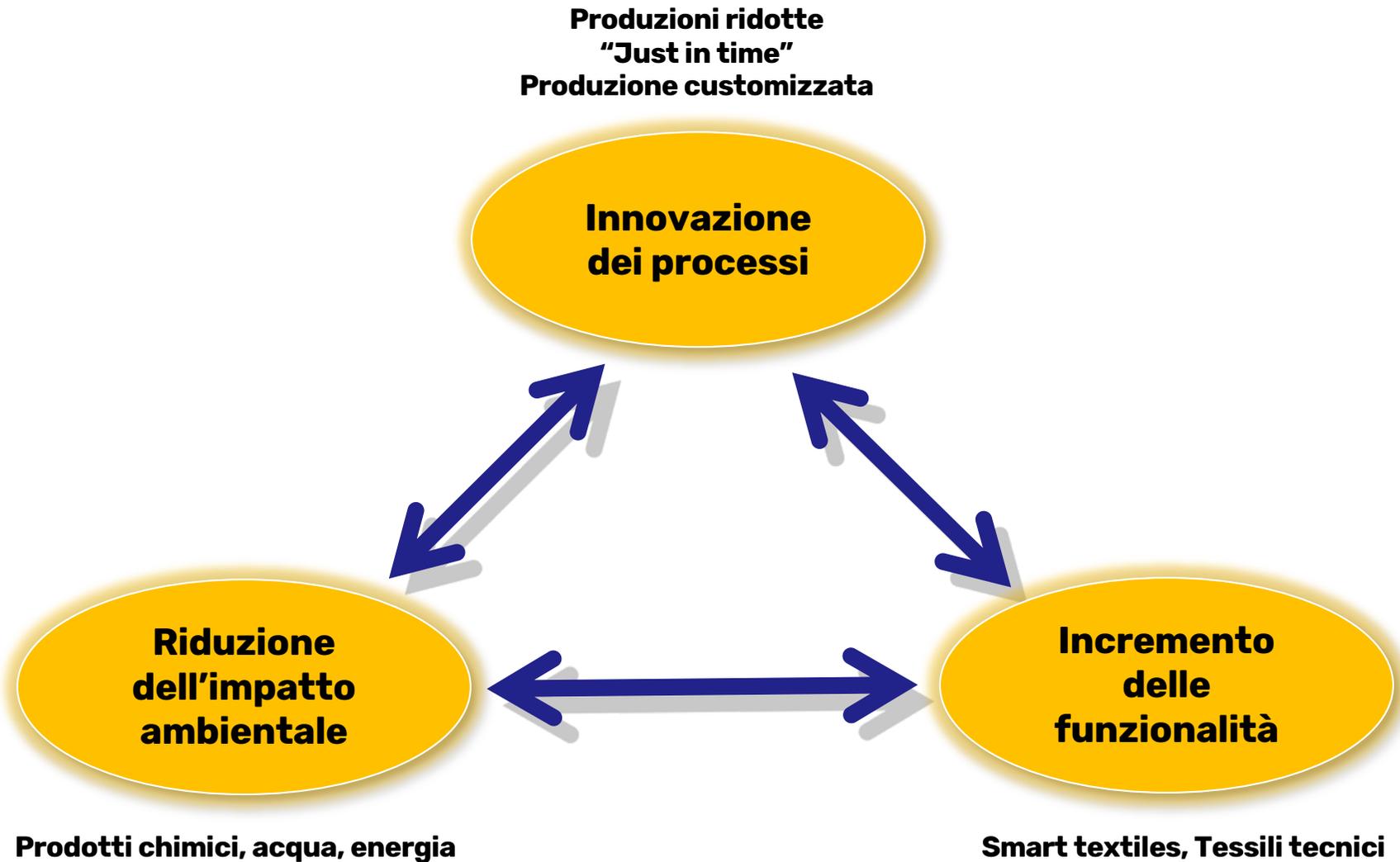


Variabili che influenzano le proprietà:

- ✓ composizione chimica,
- ✓ peso del materiale, tipo di armatura,
- ✓ cicli di nobilitazione.



# PRINCIPALI SETTORI DI INNOVAZIONE



# MATERIALI TESSILI

Applicazioni non convenzionali



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI BERGAMO

Dipartimento  
di Ingegneria  
e Scienze Applicate

# MATERIALI TESSILI

## Applicazioni non convenzionali

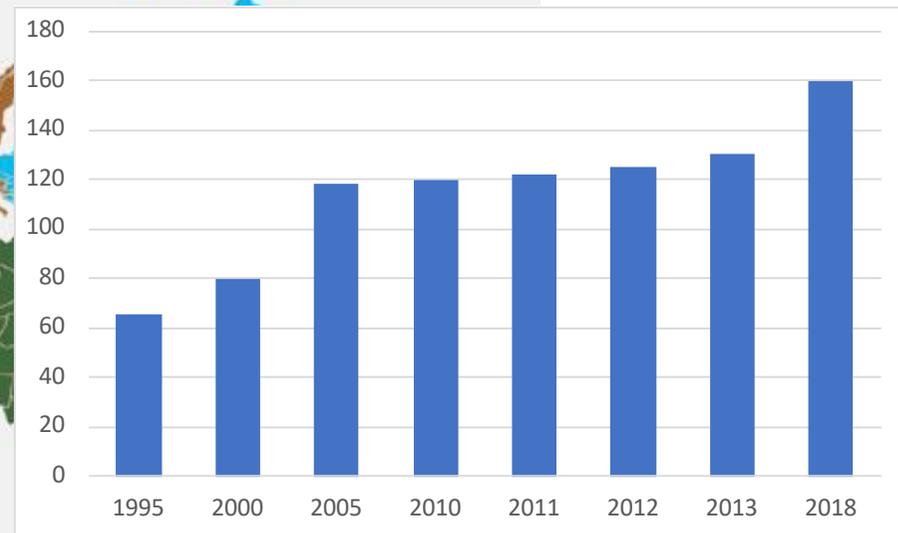
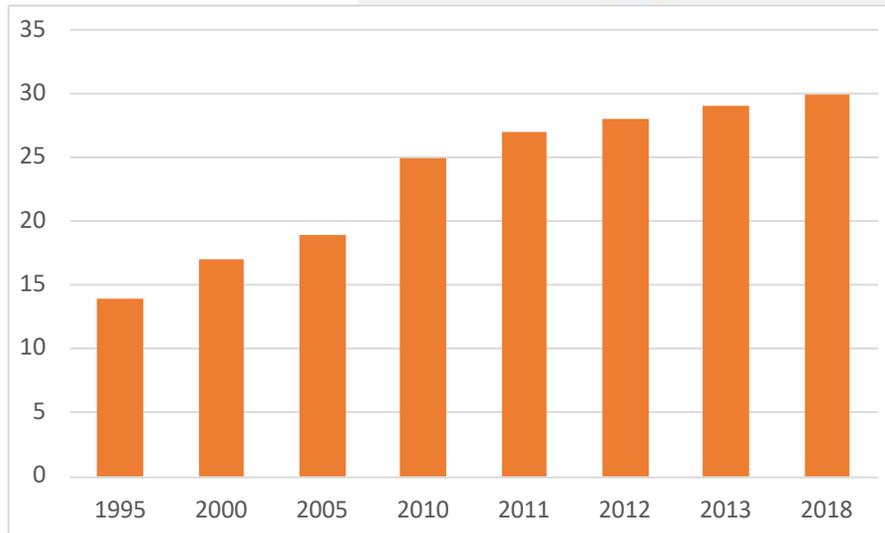
	<b>Agrotech</b> Horticulture + landscape gardening, agriculture + forestry, animal keeping		<b>Meditech</b> Hygiene, medicine
	<b>Buildtech</b> Membrane, lightweight + massive construction, engineering + industrial building.		<b>Mobiltech</b> Cars, ships, aircraft, trains, space travel
	<b>Clothtech</b> Garments, shoes		<b>Oekotech</b> Environmental protection, recycling, waste disposal
	<b>Geotech</b> Road infrastructure, Railways, Irrigation and Hydraulic structures, Waste Landfills, Dams etc.		<b>Packtech</b> Packaging, protective-cover systems, sacks, big bags, container systems
	<b>Homotech</b> Furniture, upholstery + interior furnishing, rugs, floor coverings		<b>Protech</b> Person and property protection
	<b>Indutech</b> Filtration, cleaning, mechanical engineering, chemical industry		<b>Sporttech</b> Sport and leisure, active wear, outdoor, sport articles.

Classification developed by Techtextil, Messe Frankfurt Exhibition GmbH



# MATERIALI TESSILI

## Applicazioni non convenzionali



Produzione (milioni ton)

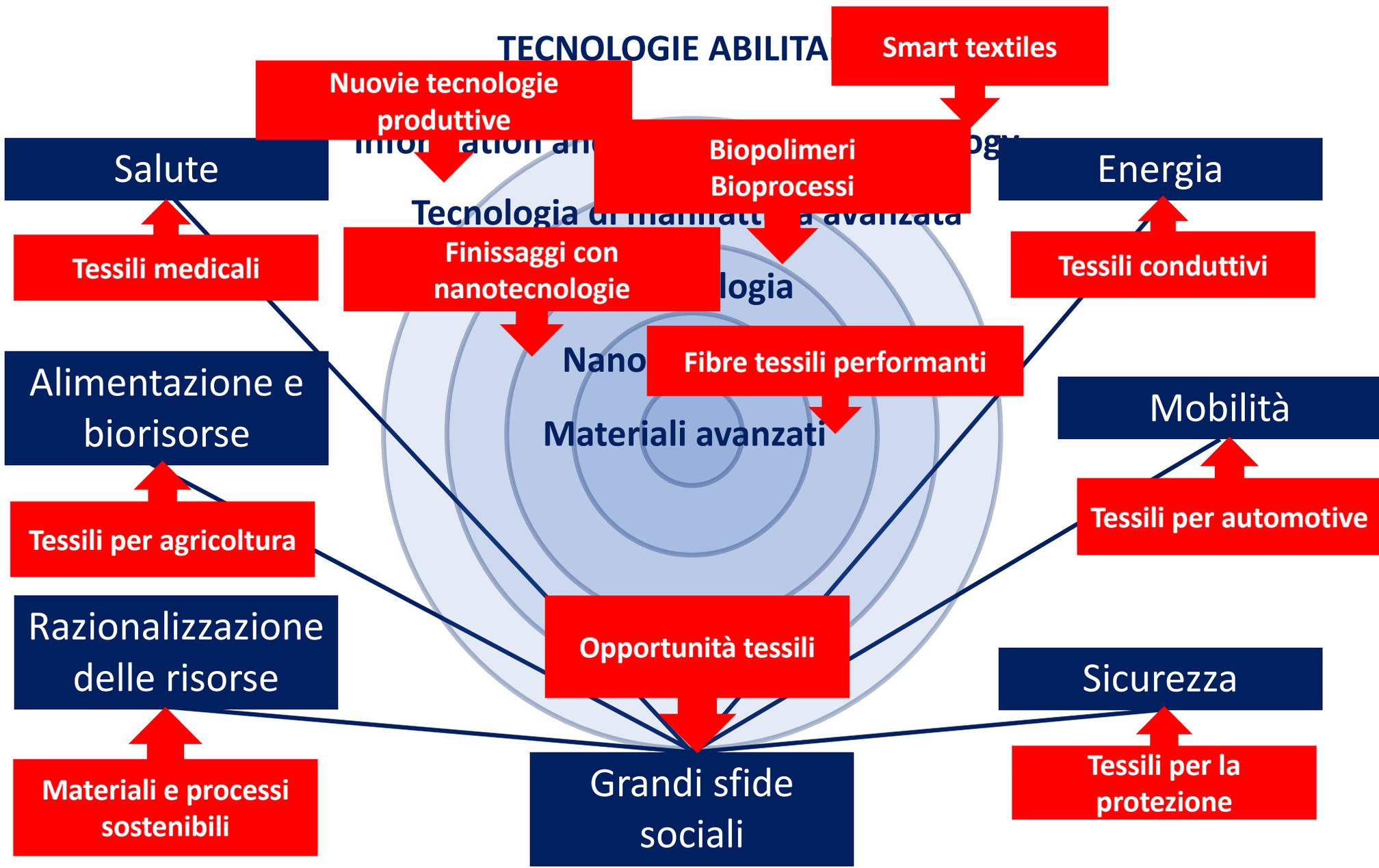
Valore (miliardi \$)



Source: Gherzi Consulting, Euratex (2018) <https://www.euratex.com/> (Innovation in textiles.com) Rights Reserved



**TECNOLOGIE ABILITA**



# MATERIALI TESSILI

## La nobilitazione tessile



### Preparazione

- sbozzima
- purga
- candeggio
- mercerizzazione



### Tintura/stampa

- tintura (fiocco, filato, tessuto)
- stampa (quadri, rotativa, digitale)



### Finissaggio

- ammorbidenti
- idrorepellenti
- antifiama
- ...



# PRODOTTI CHIMICI NEI CICLI DI NOBILITAZIONE

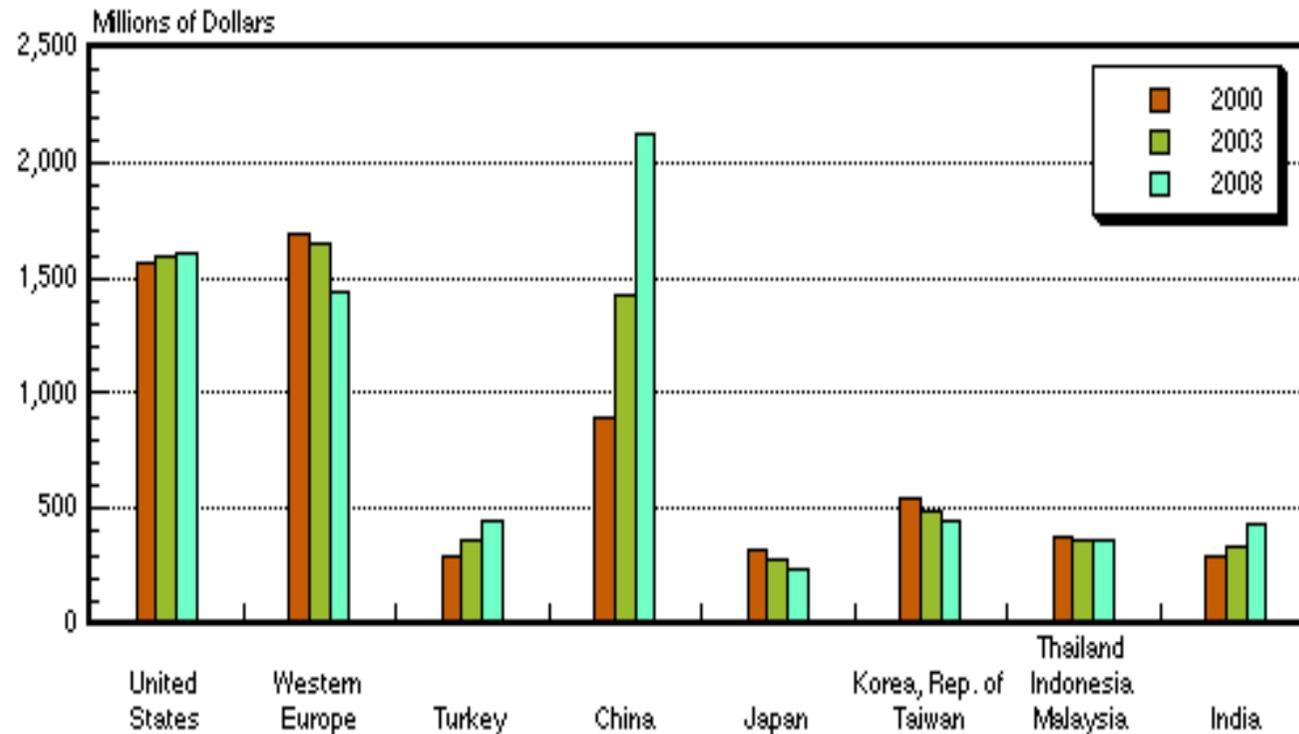
I prodotti chimici sono importanti per incrementare le proprietà del materiale finito

- ✓ in generale i principi attivi, gli ausiliari, i catalizzatori sono differenti per ciascun finissaggio tessile;
- ✓ i trattamenti non sono sempre compatibili e richiedono grandi quantità di energia per la loro realizzazione;
- ✓ i trattamenti influenzano le proprietà del materiale trattato (dpi, proprietà meccaniche, ecc.);
- ✓ i prodotti chimici possono avere un alto impatto ambientale;
- ✓ per raggiungere la proprietà desiderata possono essere applicati in grandi quantità.



# PRODOTTI CHIMICI NEI CICLI DI NOBILITAZIONE

Consumption of Textile Chemicals by Major Region



FICCI Specialty Chemicals Conclave - 2008

15th January 2008, Taj Lands End, Mumbai

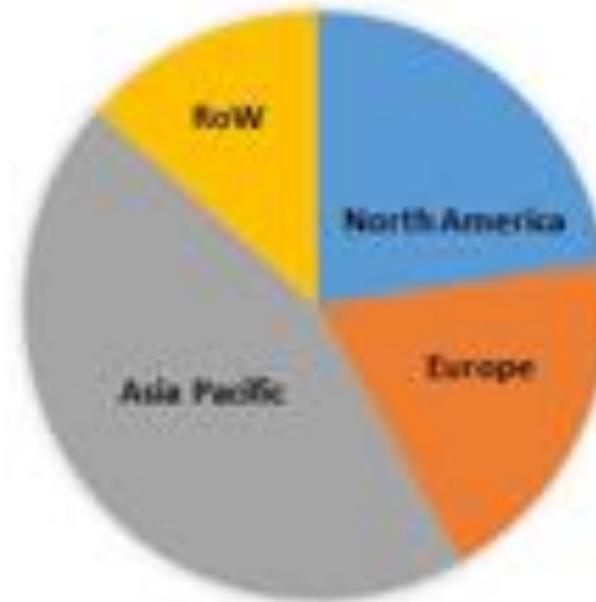


UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI BERGAMO

Dipartimento  
di Ingegneria  
e Scienze Applicate

# PRODOTTI CHIMICI NEI CICLI DI NOBILITAZIONE

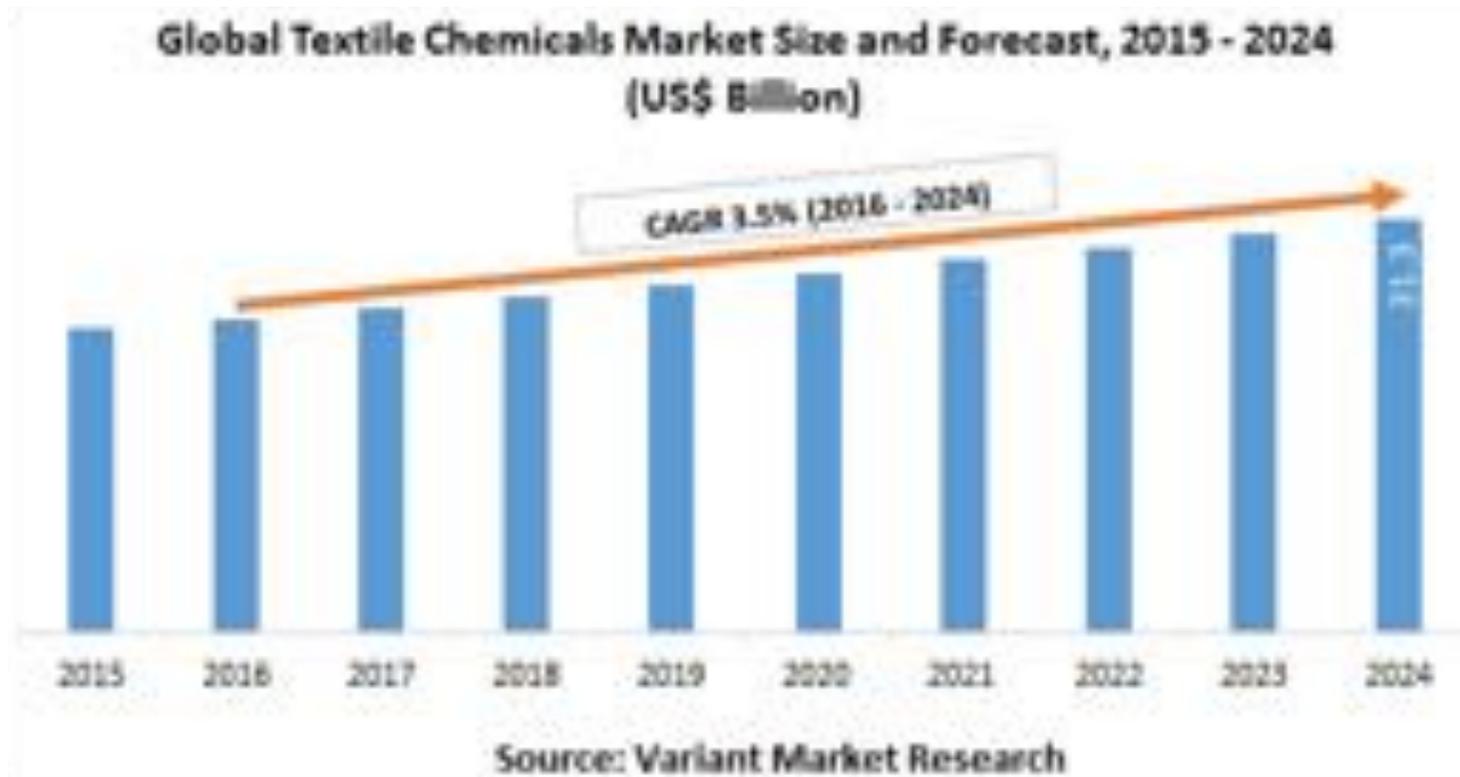
GLOBAL TEXTILE CHEMICALS MARKET SHARE BY REGION, 2024  
(VALUES%)



Source: Variant Market Research



# PRODOTTI CHIMICI NEI CICLI DI NOBILITAZIONE



Si stima che il mercato globale dei prodotti chimici tessili raggiungerà i 31,3 miliardi di dollari entro il 2024, con un tasso di crescita composto (CAGR) in crescita del 3,5% dal 2016.



# PRODOTTI CHIMICI NEI CICLI DI NOBILITAZIONE



Attualmente ci sono molte limitazioni nell'uso di sostanze chimiche, a seconda della tipologia e del campo di applicazione.

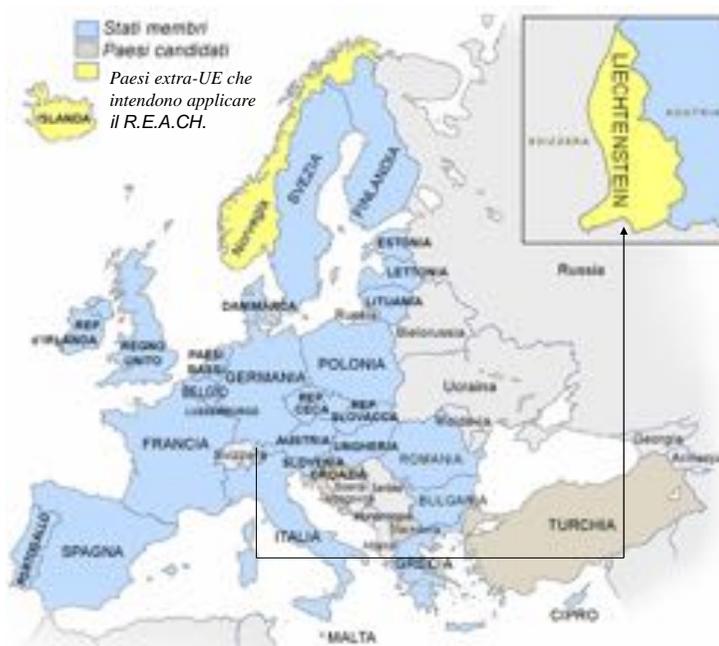


# PRODOTTI CHIMICI NEI CICLI DI NOBILITAZIONE

Elenco dei paesi che applicano la normativa R.E.A.CH.	
1	Liechtenstein (*)
2	Islanda (*)
3	Norvegia (*)
4	Austria
5	Belgio
6	Bulgaria
7	Cipro
8	Danimarca
9	Estonia
10	Finlandia
11	Francia
12	Germania
13	Grecia
14	Irlanda
15	Italia
16	Lettonia
17	Lituania
18	Lussemburgo
19	Malta
20	Paesi Bassi
21	Polonia
22	Portogallo
23	Regno Unito
24	Repubblica Ceca
25	Romania
26	Slovacchia
27	Slovenia
28	Spagna
29	Svezia
30	Ungheria

## Dove si applica il REACH?

I **paesi UE** sono i 27 stati membri dell'Unione Europea più altri tre paesi (Norvegia, Islanda e Liechtenstein) che pur non facendo parte della UE prevedono di attuare il Regolamento REACH.



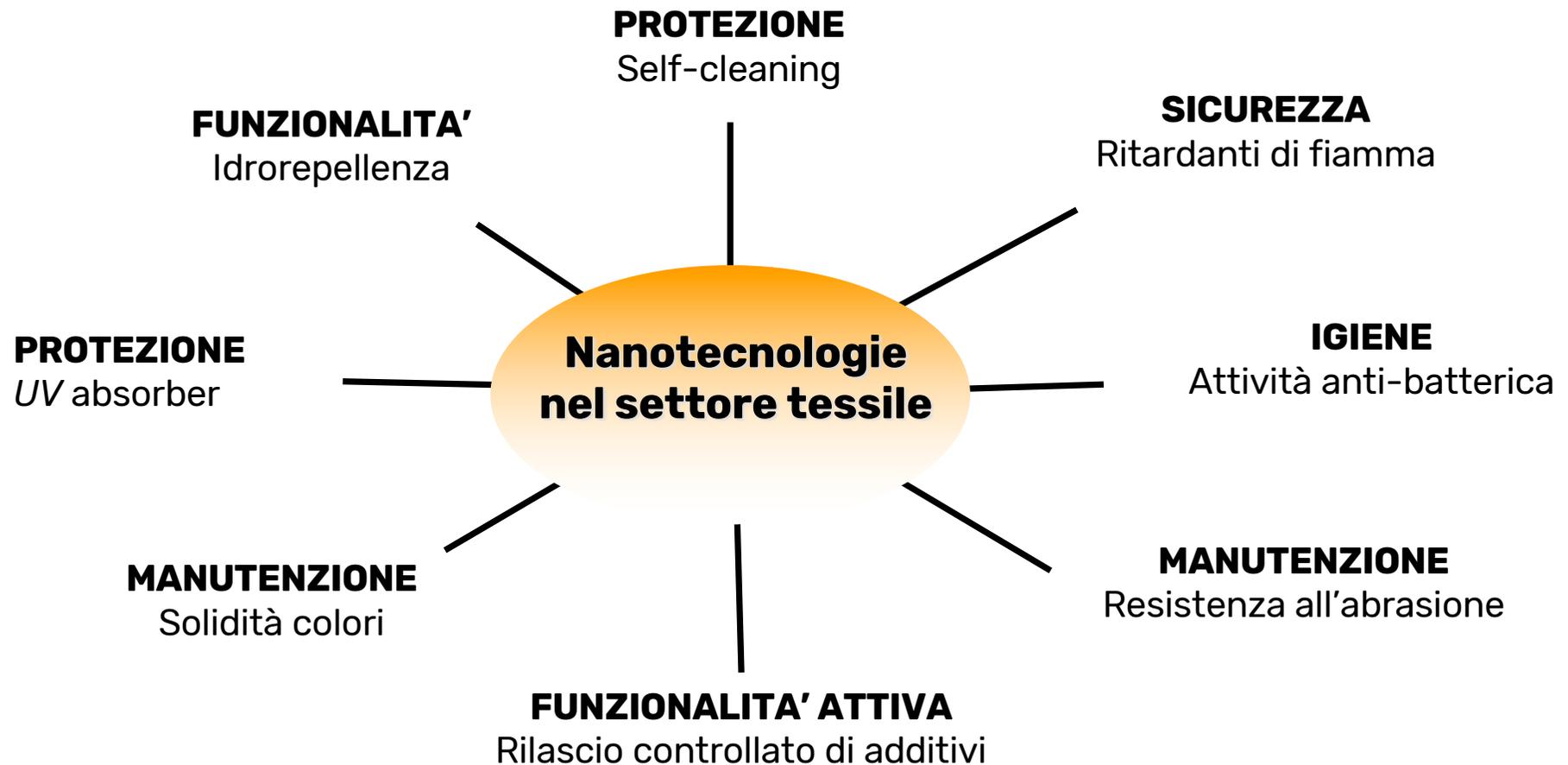
# PRODOTTI CHIMICI NEI CICLI DI NOBILITAZIONE



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI BERGAMO

Dipartimento  
di Ingegneria  
e Scienze Applicate

# LE NANOTECNOLOGIE

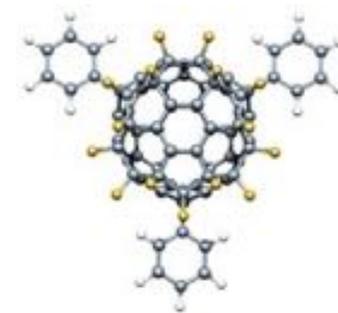
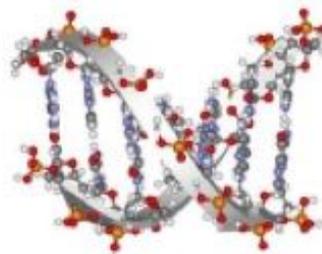
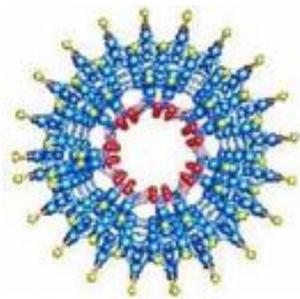


# LE NANOTECNOLOGIE

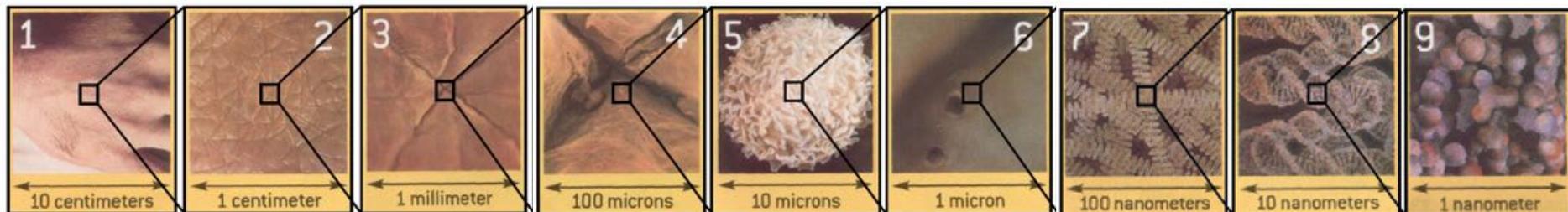


# LE NANOTECNOLOGIE

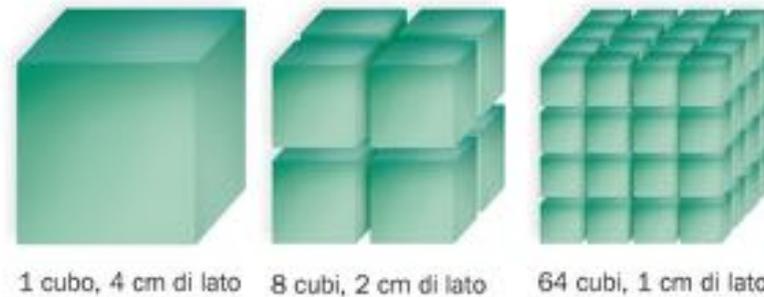
E' lo studio, progettazione e/o realizzazione di materiali, sostanze e dispositivi in scala nanometrica.



1 Nanometro =  $10^{-9}$  m



# LE NANOTECNOLOGIE



Numero e misure dei cubi	Area totale	Volume totale	Rapporto area/volume per ogni cubo
1 cubo, 4 cm di lato	96 cm <sup>2</sup>	64 cm <sup>3</sup>	1,5/1
8 cubi, 2 cm di lato	192 cm <sup>2</sup>	64 cm <sup>3</sup>	3/1
64 cubi, 1 cm di lato	384 cm <sup>2</sup>	64 cm <sup>3</sup>	6/1



# LE NANOTECNOLOGIE

## Dimensioni

Tecnologie sviluppate su particelle in scala nanometrica

## Struttura ordinata

Permettono di controllare l'assemblaggio dei componenti su scala nanometrica

## Proprietà innovative

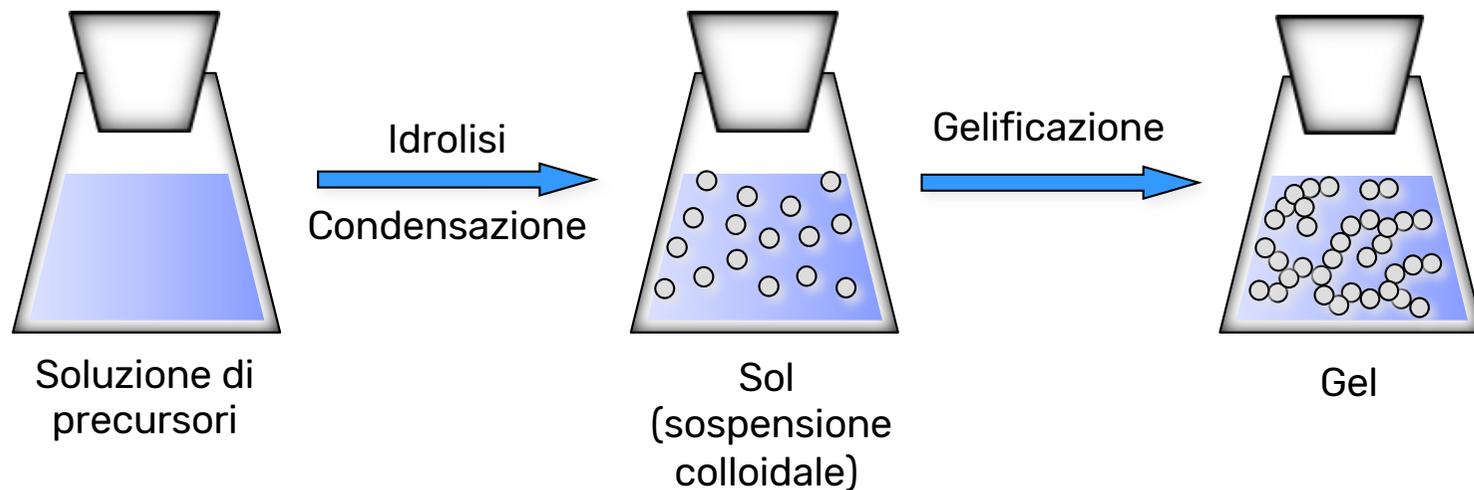
Le dimensioni e la struttura ordinata dei materiali nanodimensionati generano proprietà innovative



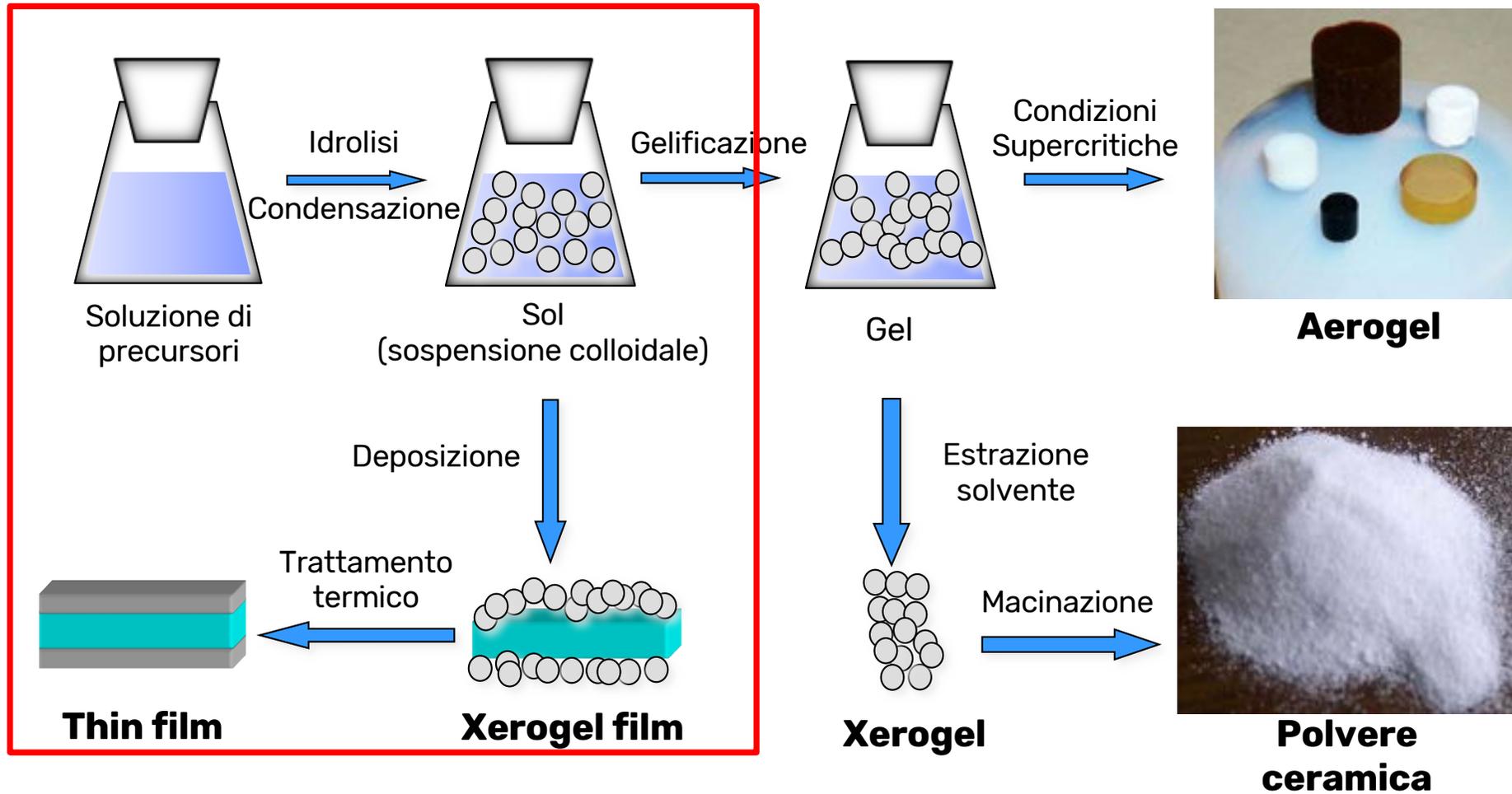
# LA TECNOLOGIA SOL-GEL

**SOL:** soluzione colloidale (dimensione colloidi 1 nm – 1  $\mu$ m)

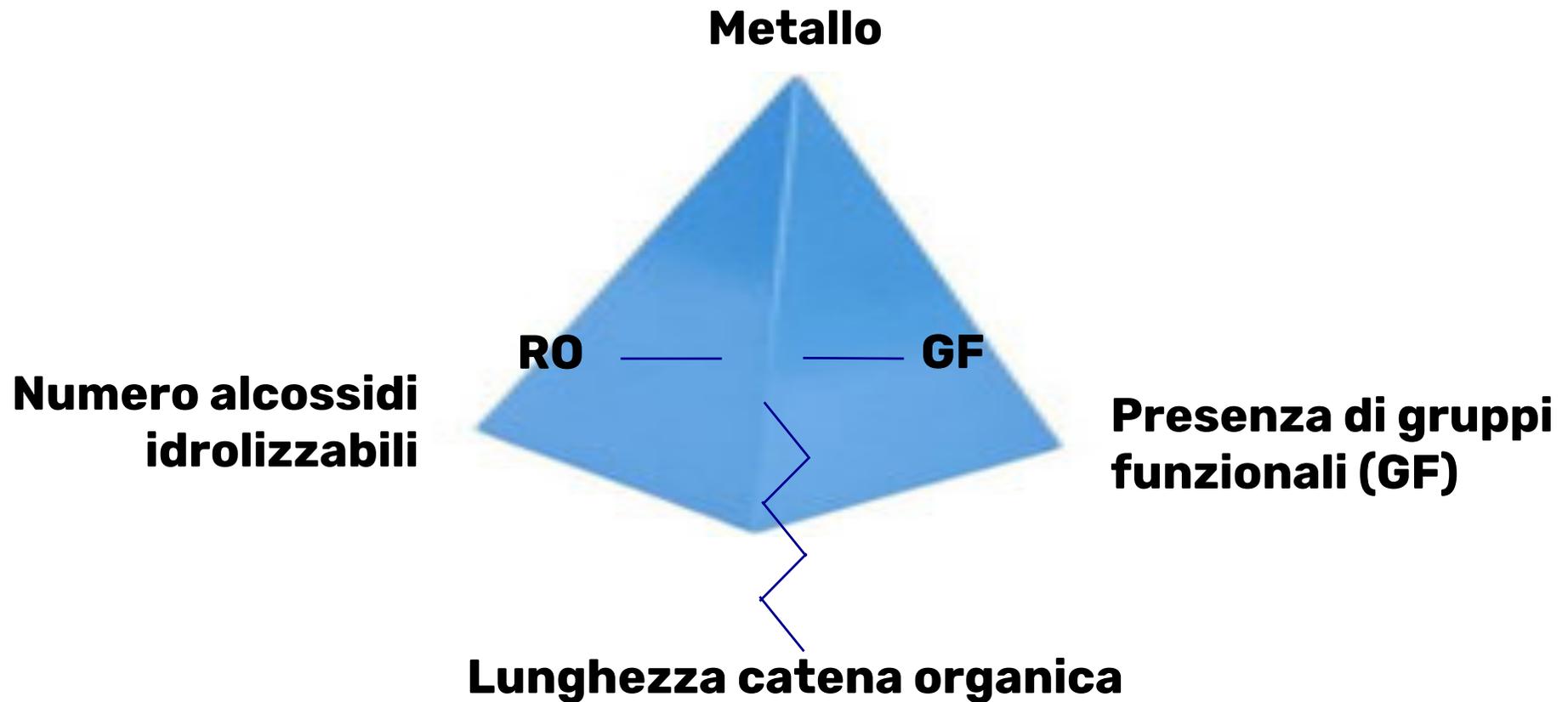
**GEL:** aggregazione dei clusters in frameworks



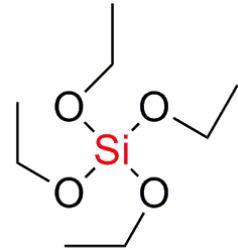
# LA TECNOLOGIA SOL-GEL



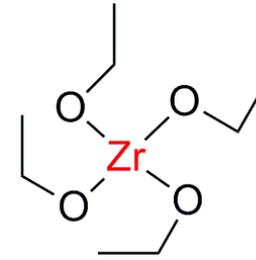
# LA TECNOLOGIA SOL-GEL



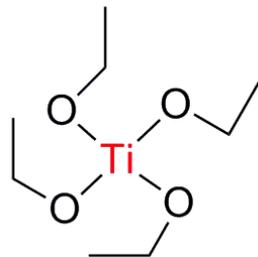
# LA TECNOLOGIA SOL-GEL



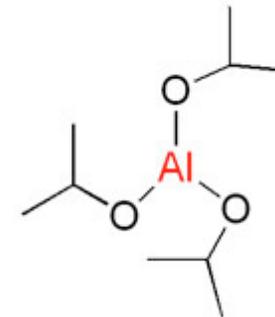
Tetraethyl orthosilicate



Tetraethyl orthozirconate

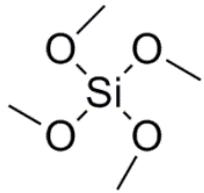


Tetraethyl orthotitanate

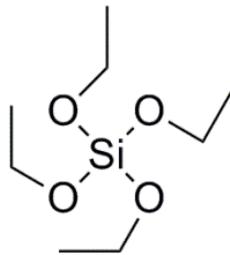


Aluminium isopropylate

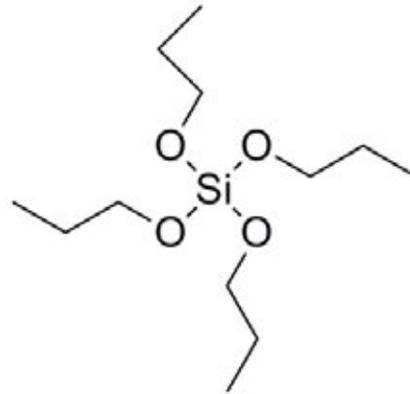
# LA TECNOLOGIA SOL-GEL



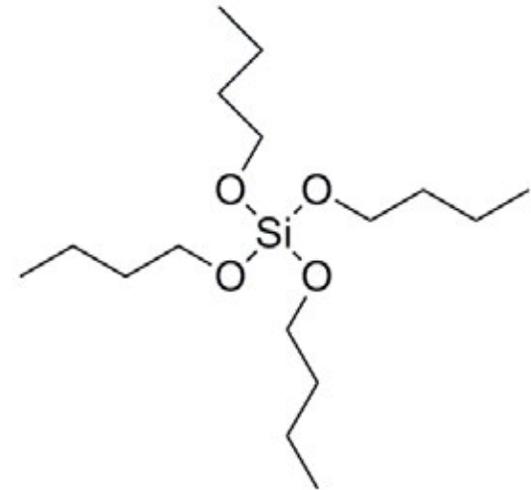
Tetramethyl  
orthosilicate



Tetraethyl  
orthosilicate



Tetrapropyl  
orthosilicate



Tetrabutyl orthosilicate

1

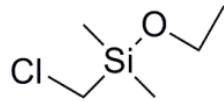
2

3

4

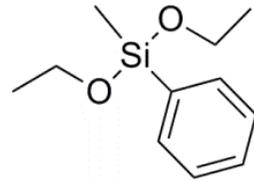


# LA TECNOLOGIA SOL-GEL



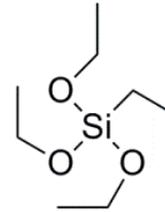
Chloromethyl  
(dimethyl)  
ethoxy silane

1



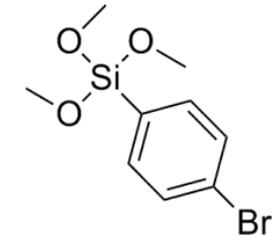
Diethoxymethylphenyl  
silane

2

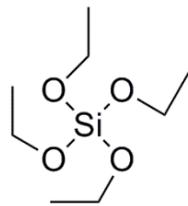


Triethoxy(ethyl) silane

3

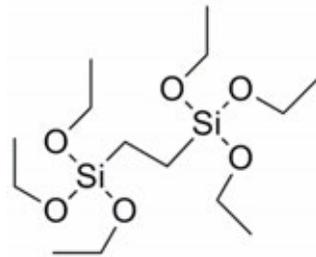


p-Bromophenyltrimethoxy  
silane

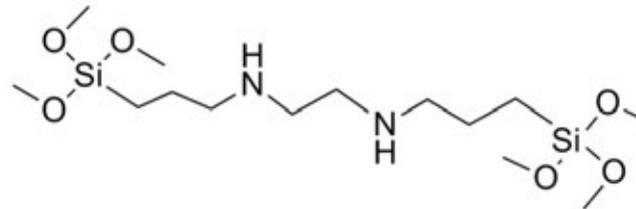


Tetraethyl  
orthosilicate

4

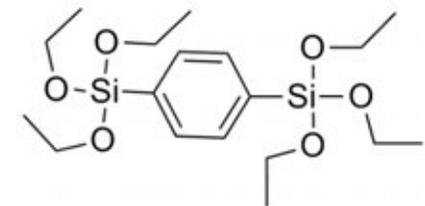


4,4,7,7-tetraethoxy-3,8-  
dioxa-4,7-disiladecane



N,N'-bis(3-(trimethoxysilyl)propyl)ethane-1,2-  
diamine

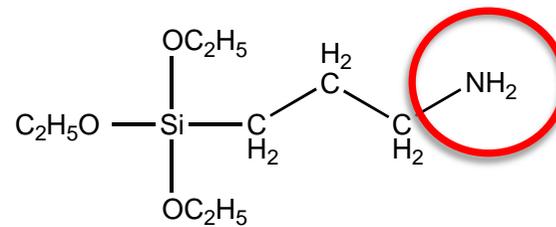
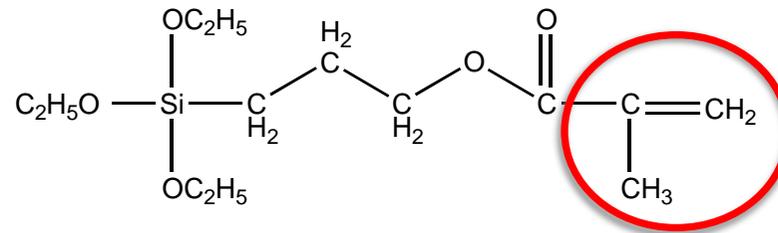
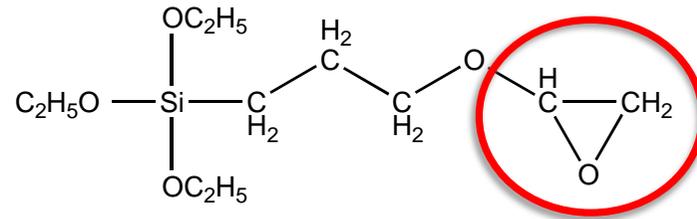
6



1,4-bis(triethoxysilyl)benzene



# LA TECNOLOGIA SOL-GEL



# LA TECNOLOGIA SOL-GEL

## Reazioni di idrolisi



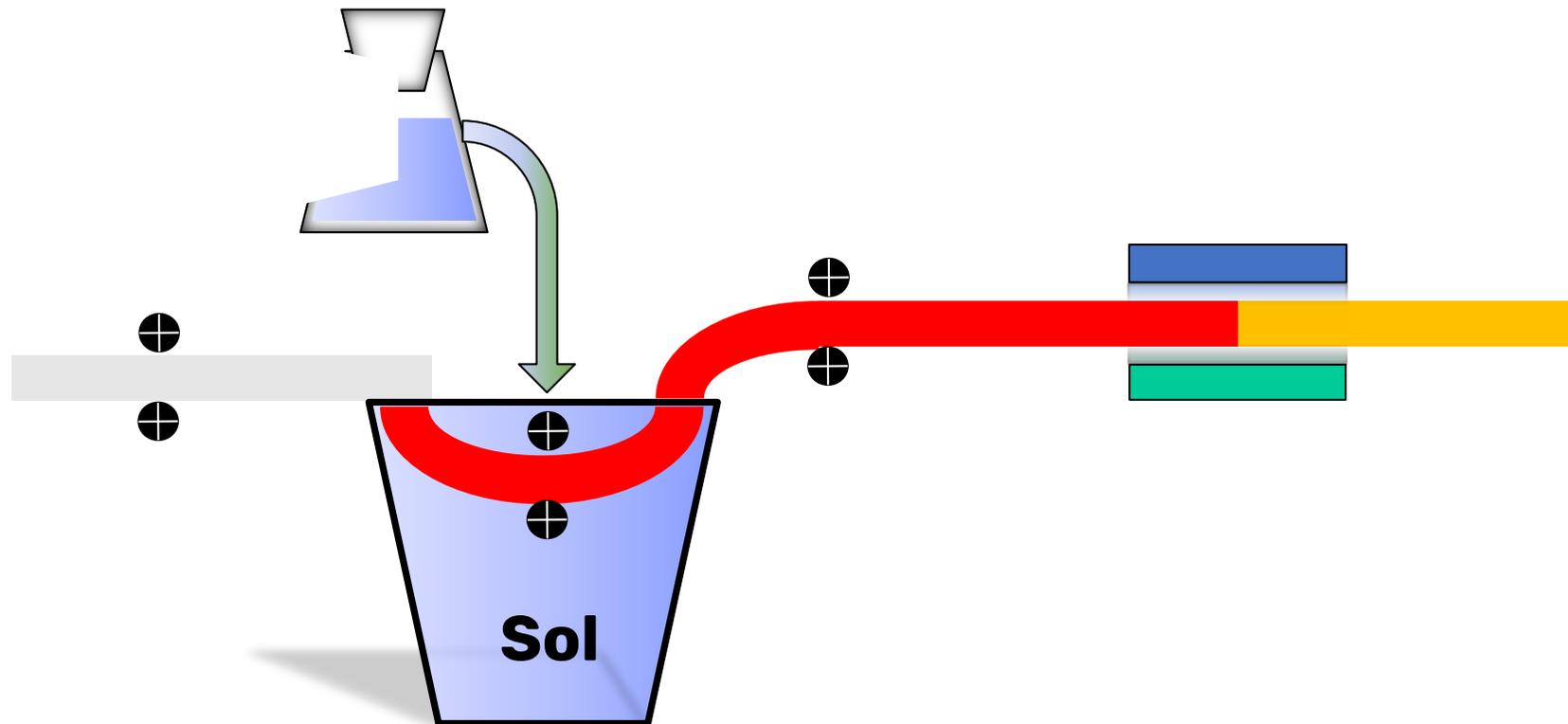
## Reazioni di condensazione



# LA TECNOLOGIA SOL-GEL

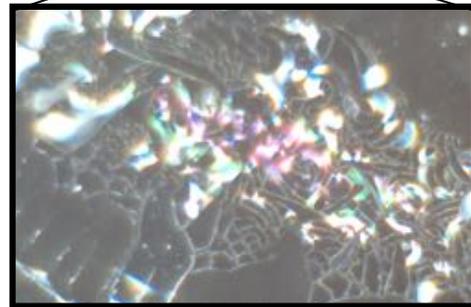
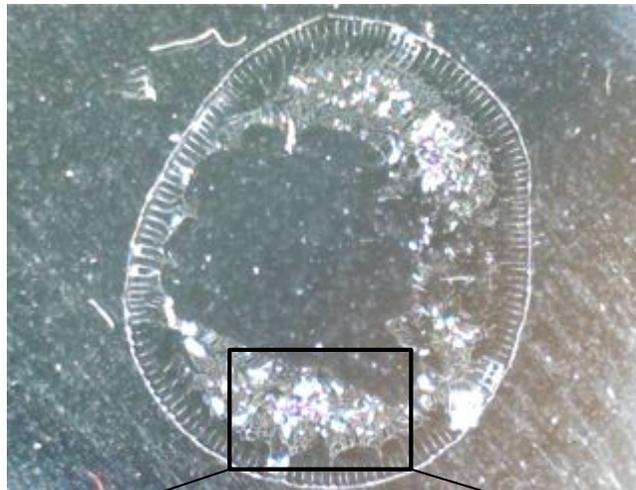


# LA TECNOLOGIA SOL-GEL

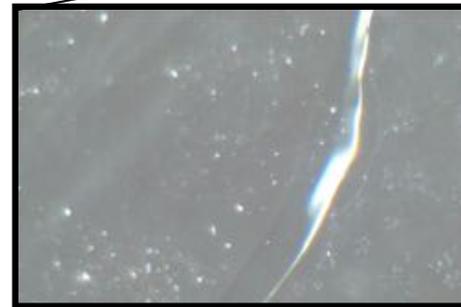
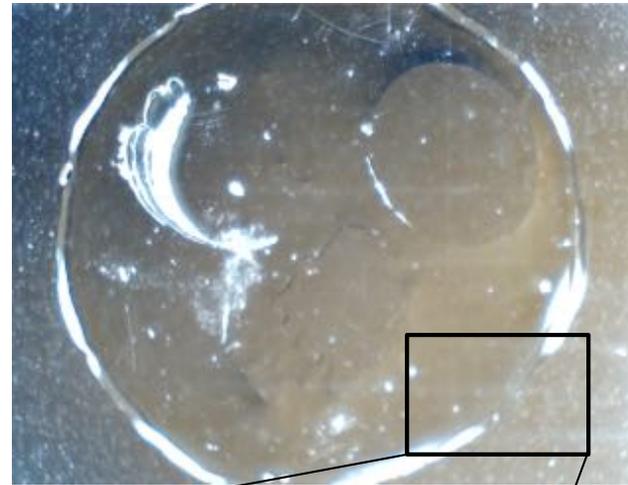


# LA TECNOLOGIA SOL-GEL

## Film 1



## Film 2



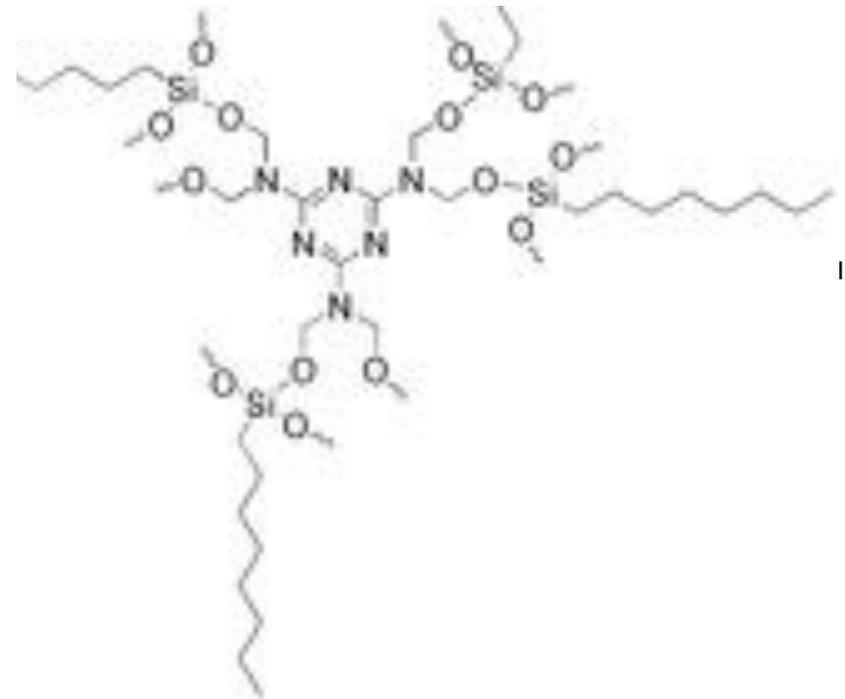
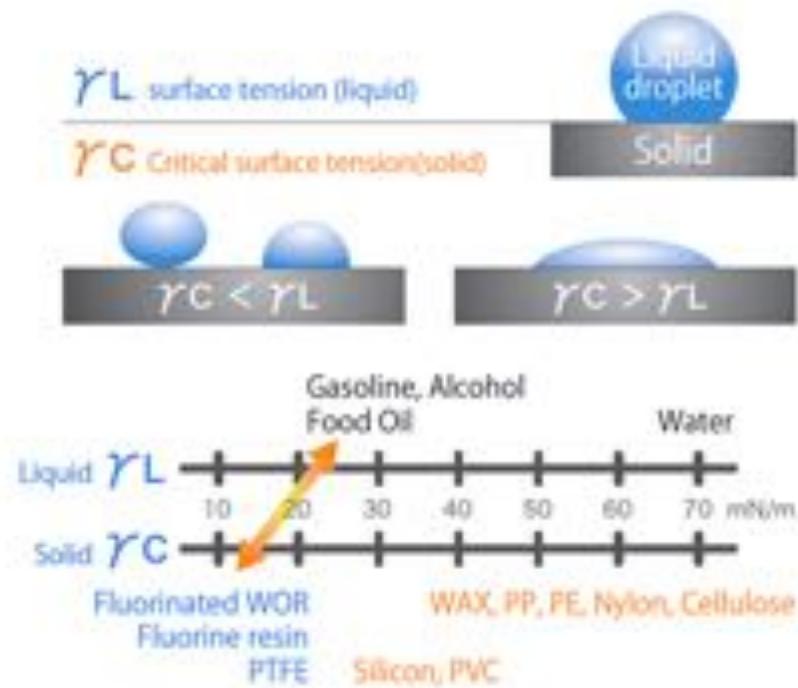
# TRATTAMENTI IDROREPELLENTI



Il Loto mantiene pulite le sue foglie grazie alla superficie rugosa (su scala nanometrica) delle stesche che fa rapidamente scivolare via l'acqua ma anche la sporcizia.



# TRATTAMENTI IDROREPELLENTI



# TRATTAMENTI IDROREPELLENTI

90 ms

95 ms

105 ms

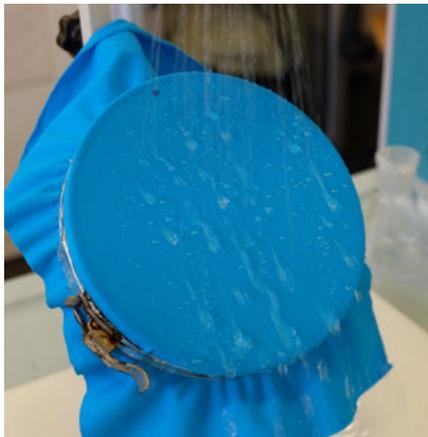
Non trattato



Trattato



# TRATTAMENTI IDROREPELLENTI



	Cotone				
g/mq	70	105	130	220	
Spray Test	100	100	100	100	NoW
	90	100	100	100	3W
	80/90	100	90	90	5W
	80	100	80	80	10W

- Lavaggio a 40°C

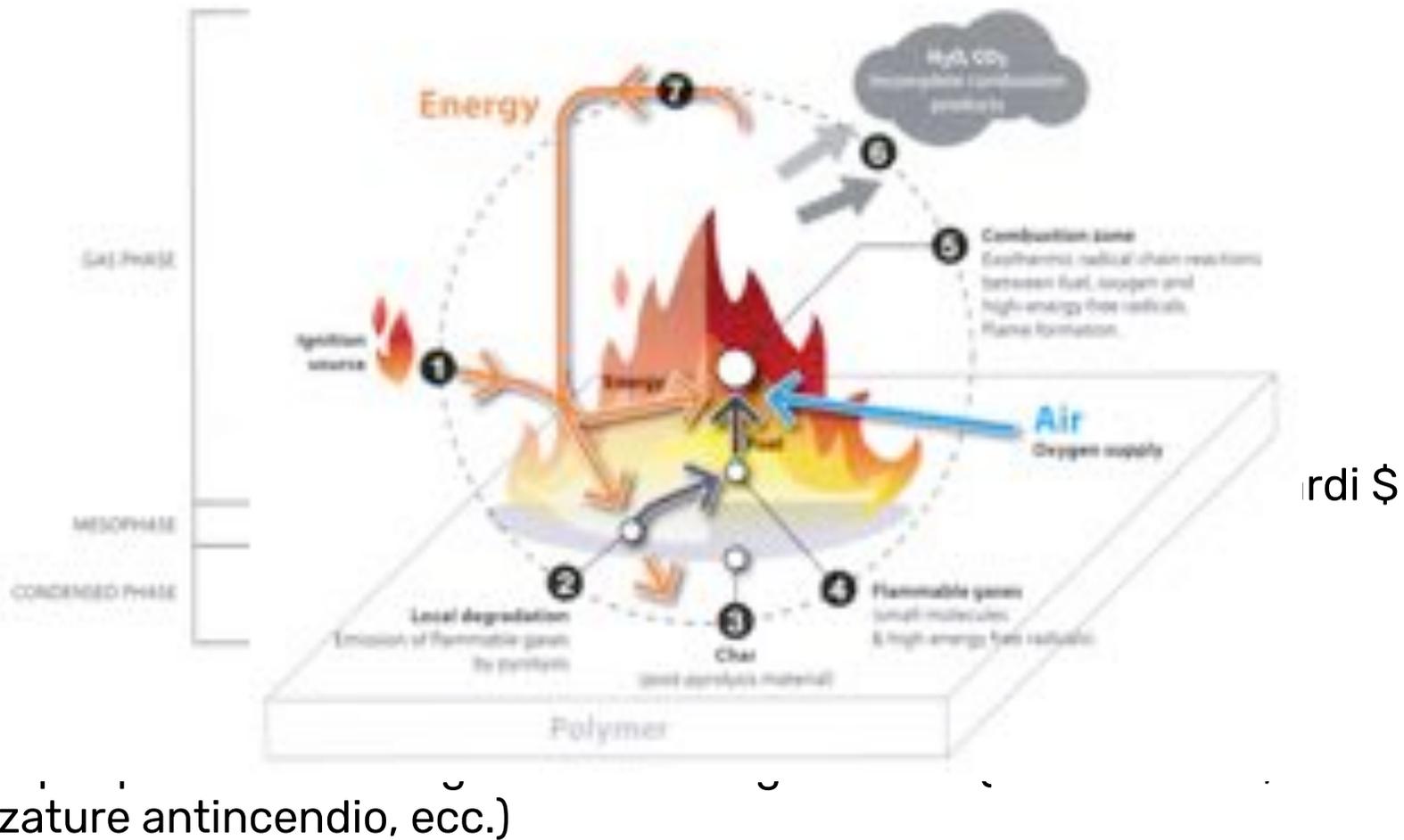
	Poliestere	
g/mq		
Spray Test	100	NoW
	100	3W
	100	5W
	90/100	10W

- Lavaggio a secco

AATCC TM 22 – Water Repellency – spray test



# TRATTAMENTI ANTIFIAMMA



Nel 2

Il costo

- perdit

- attivit

attrezzature antincendio, ecc.)



# TRATTAMENTI ANTIFIAMMA

## PRODOTTI CHIMICI

## DURABILITA'

## DENOMINAZIONE COMMERCIALE (esempi)

### Sali

Ammonio polifosfato  
Borace/Acido borico  
Diammonium phosphate

No  
No  
No

### Fosforo

Fosfonammide  
THPC - Urea - NH<sub>3</sub>

Si (50 c.)  
Si (50 c.)

Pyrovatex® CP  
Proban®

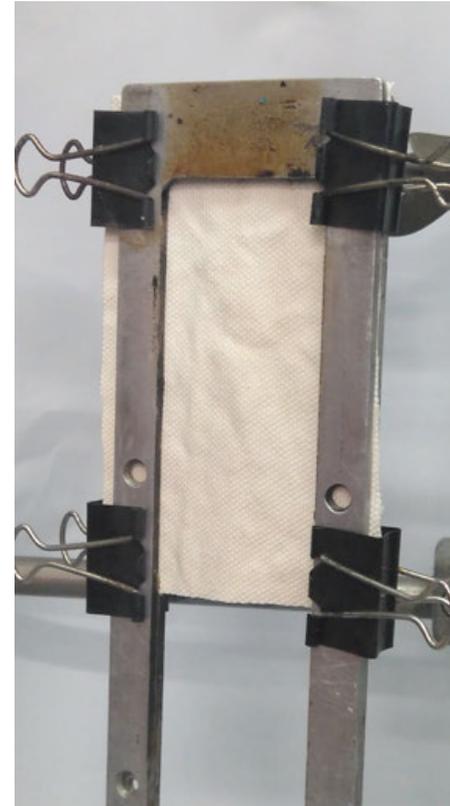
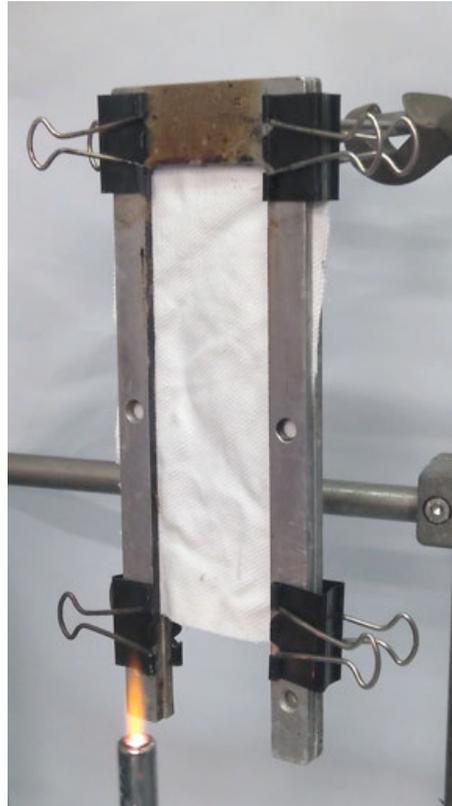
### Alogeni

Semi durable

Flacavon FK  
Myflam



# TRATTAMENTI ANTIFIAMMA



# TRATTAMENTI ANTIBATTERICI

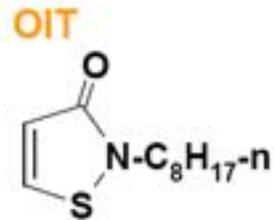
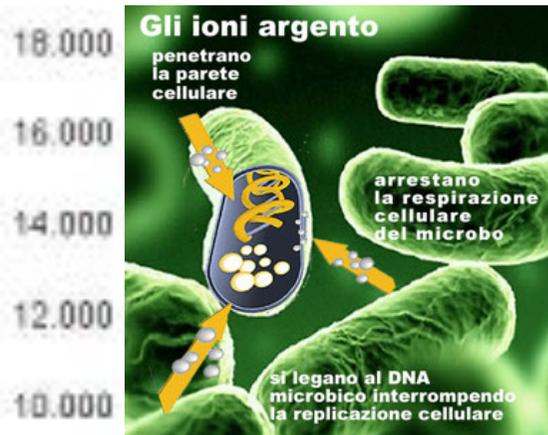
I vari microrganismi si trovano in tutti gli ambienti e vivono entro intervalli molto ampi di temperatura (da  $-180$  a  $+100^{\circ}$  C) e di pH (1-13), riproducendosi con andamento esponenziale.

In condizioni adatte alla crescita il processo avviene ogni 20 minuti; nell'arco di 8 ore un singolo batterio genera 1,6 milioni di suoi simili.

Questa proliferazione è intollerabile per la pelle umana che, anche se ben pulita, contiene comunque dai 100 ai 1000 batteri/  $\text{cm}^2$ .

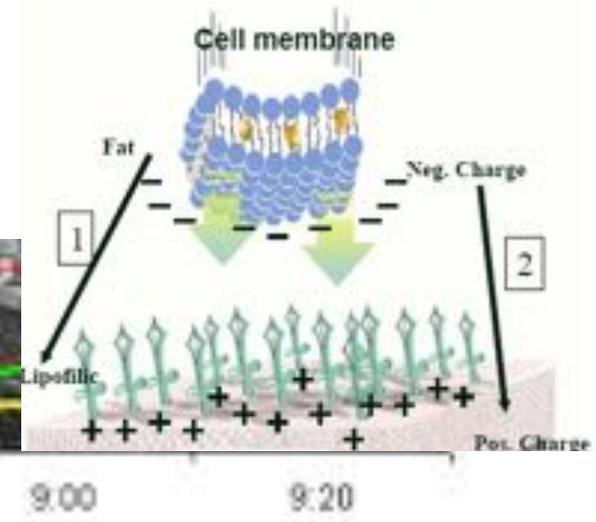
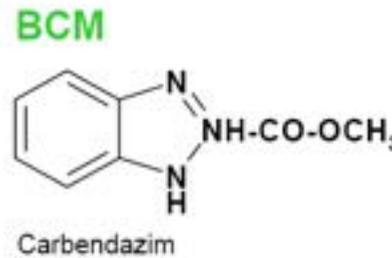
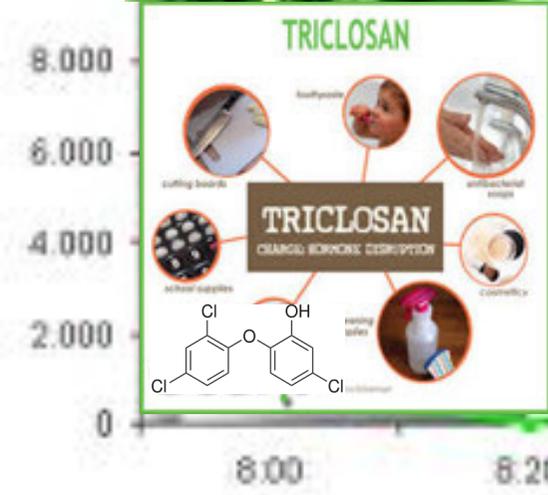
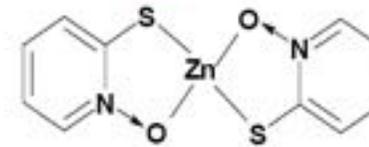


# TRATTAMENTI ANTIBATTERICI



2-n-octyl-4-isothiazolin-3-one

**Zinc pyrithione**



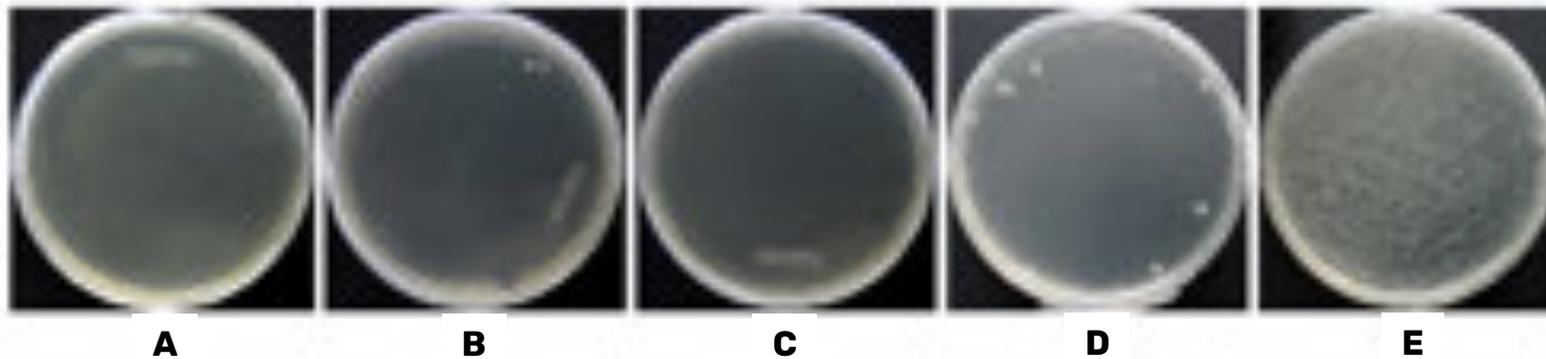
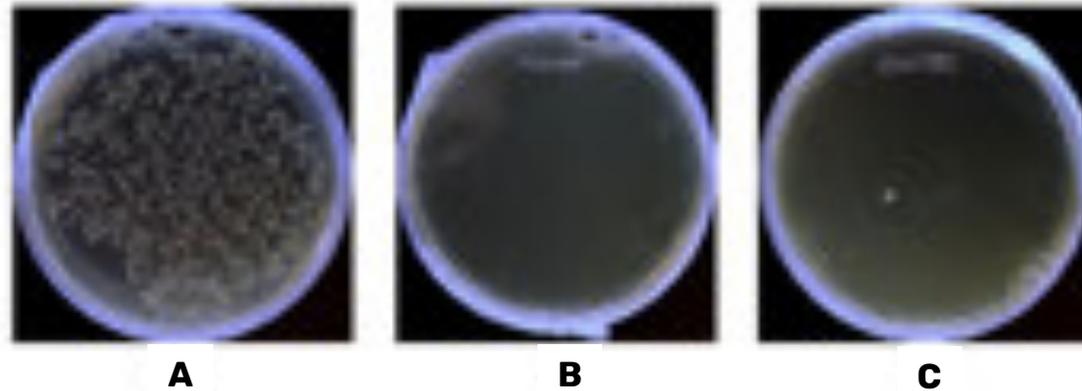
# TRATTAMENTI ANTIBATTERICI

METODO	Tipo di metodo	Batteri test	Incubazione	Valutazione
AATCC 147-1993	Qualitativo	<i>S. aureus</i> <i>Klebsiella Pneumoniae</i>	37°C per 18-24h	Verifica presenza alone d'inibizione
EN ISO XX BOZZA	Qualitativo	<i>S. Aureus</i> <i>Klebsiella pneumoniae</i> <i>E.Coli</i>	37°C per 18-24h	Verifica presenza alone d'inibizione
JISL 1902 (Japanese Industrial standard)	Qualitativo	<i>S. aureus</i> <i>Klebsiella Pneumoniae</i>	37°C per 24-48h	Verifica presenza alone d'inibizione
	Quantitativo conta batterica	<i>S. aureus</i> <i>Klebsiella Pneumoniae</i>	37°C per 18h	a) Conta subito dopo inoculo b) Conta dopo 18 ore di contatto
XP G. 39-010	Quantitativo conta batterica	<i>Staphylococcus aureus</i> <i>Klebsiella pneumoniae</i> + eventualmente <i>E.Coli</i> e <i>Pseudomonas aeruginosa</i>	37°C per 18-24h	a) Conta subito dopo inoculo b) Conta dopo 18 o 24 ore di contatto
SN 195920 (Swiss Norm)	Qualitativo	<i>Staphylococcus aureus</i> <i>Escherichia coli</i>	37°C per 16-20h	Verifica presenza alone d'inibizione



# TRATTAMENTI ANTIBATTERICI

**Fig. 3** Photographs of incubated *E. coli* agar plates demonstrating the effect of antibacterial binding of cotton on the number of CFU after 24 h: **a** untreated, **b** 3 % Zinc oxide and a 3 % Zinc oxide-GFTMS. The cotton samples were unwashed.

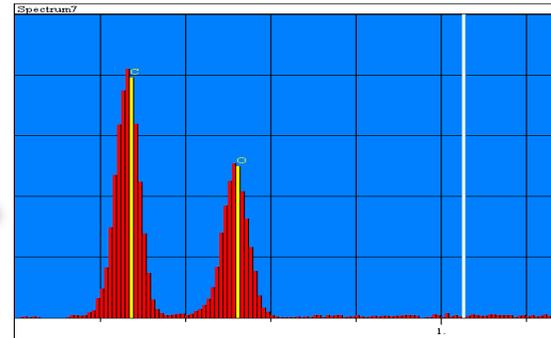
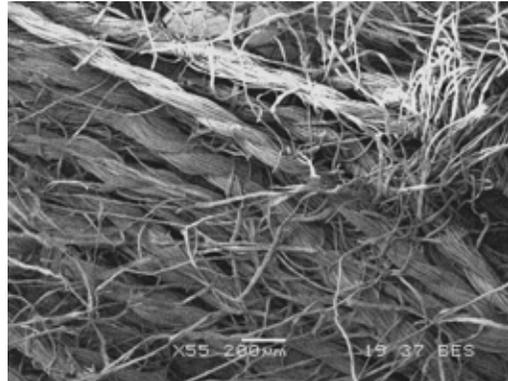


**Fig. 4** Photographs of incubated *E. coli* agar plates demonstrating the effect of antibacterial binding of cotton by 3 % Zinc oxide on the number of CFU after 24 h: **a** unwashed, **b** after 1 washing cycle, **c** after 3 washing cycles, **d** after 10 washing cycles, **e** after 20 washings-cycles

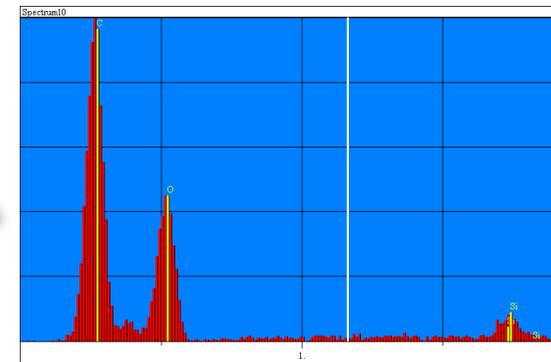
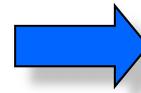
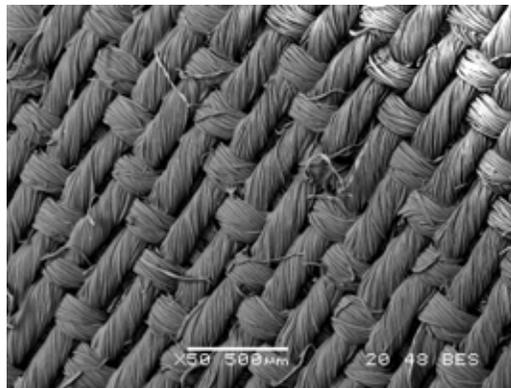
R. Poli, C. Colleoni, A. Calvimontes, H. Polášková, V. Dutschk, G. Rosace, Journal of Sol-Gel Science and Technology 74 (2015) 151 - 160



# TRATTAMENTI ANTIABRASIONE



**Tessuto NON TRATTATO dopo 20K giri**



**Tessuto TRATTATO dopo 20K giri**



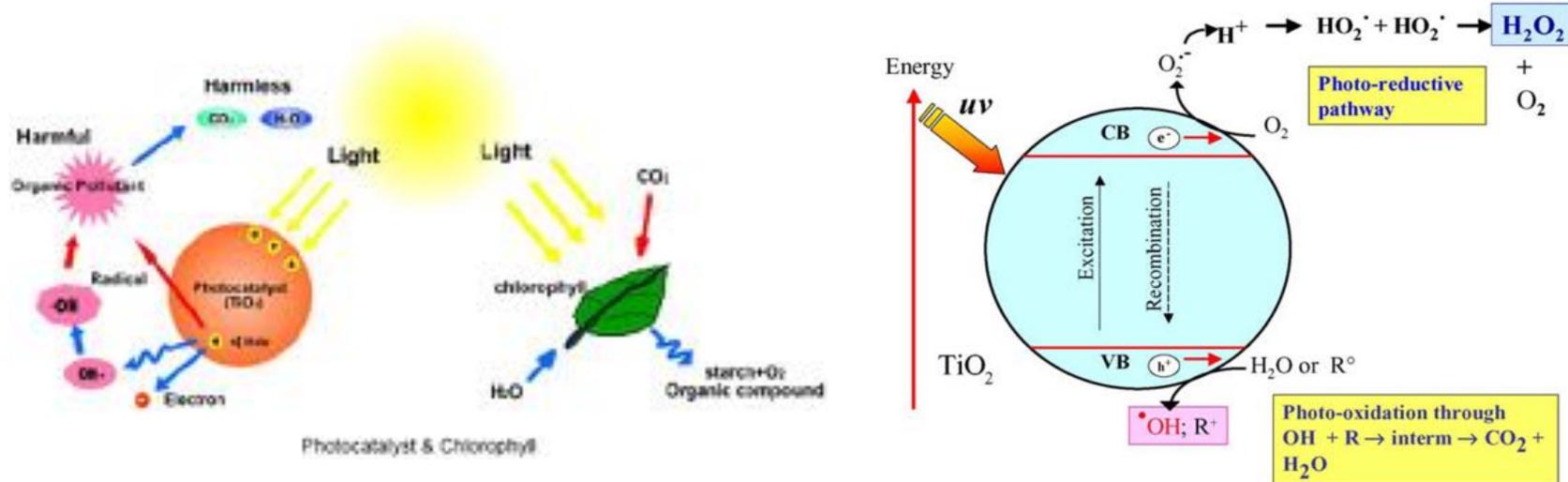
# TRATTAMENTI ANTIABRASIONE



Esempio substrato: seta



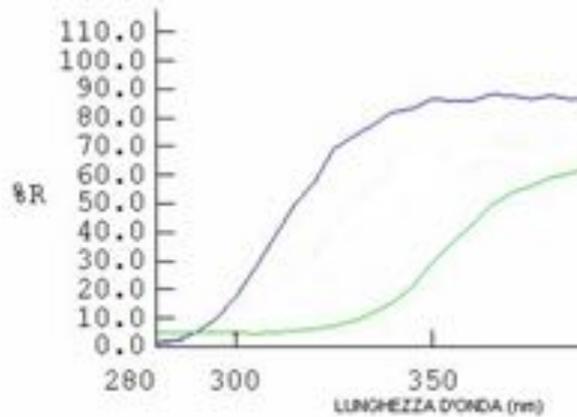
# TRATTAMENTI SELF-CLEANING



S. Kathirvelu, L. D'Souza, B. Dhurai, Nanotechnology applications in textiles, Indian Journal of Science and Technology, 5 (2008) 1-10



# TRATTAMENTI SELF-CLEANING

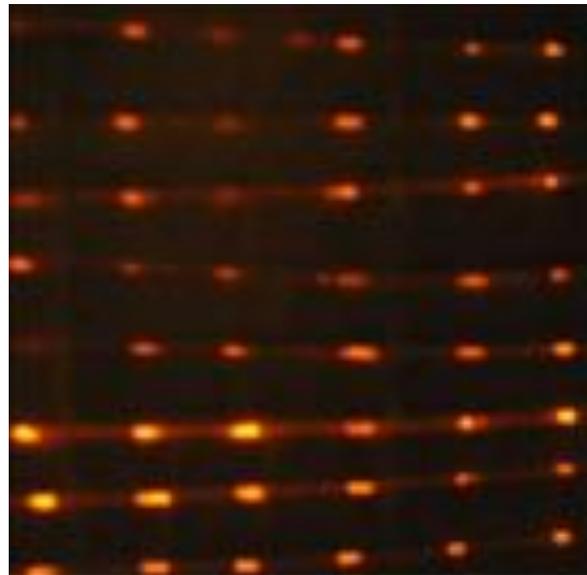


UPF	Classificazione <i>Classification</i>	Etichetta <i>Labelling</i>	Requisiti protettivi <i>Protective requirements</i>
20 - 30	Buona protezione <i>Good sun protection</i>	20	Normale <i>Normal</i>
30 - 40	Protezione molto buona <i>Very good sun protection</i>	30	Alta <i>High</i>
> 40	Eccellente protezione <i>Excellent sun protection</i>	40+	Molto alta <i>Very high</i>



# TRATTAMENTI PER LA PROTEZIONE ATTIVA

Materiali luminescenti  
Es. alluminati di metalli alcalino terrosi



Le particelle nanodimensionate assorbono la luce  
e la riemettono durante l'oscurità

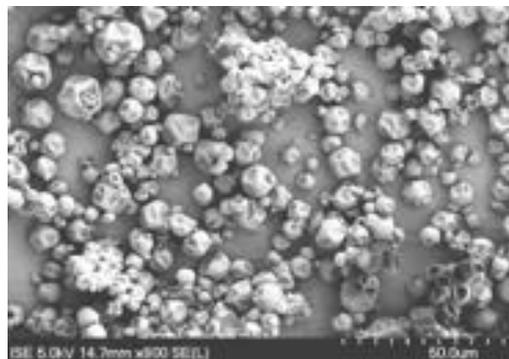


UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI BERGAMO

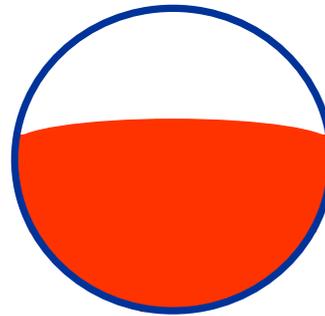
Dipartimento  
di Ingegneria  
e Scienze Applicate

# TRATTAMENTI PER LA PROTEZIONE ATTIVA

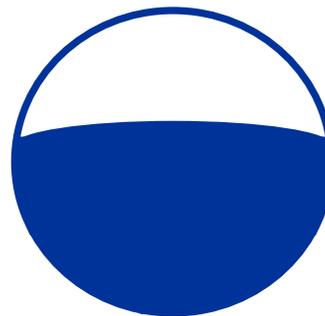
Materiali a cambiamento di fase (PCM)



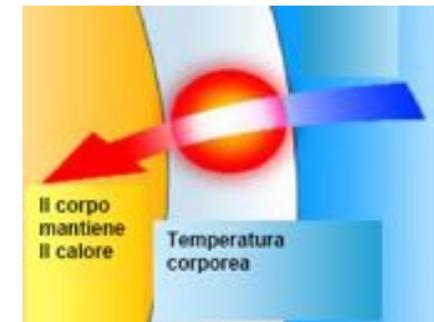
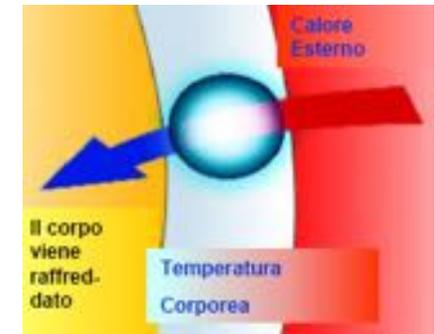
Caldo  
→



Freddo  
→

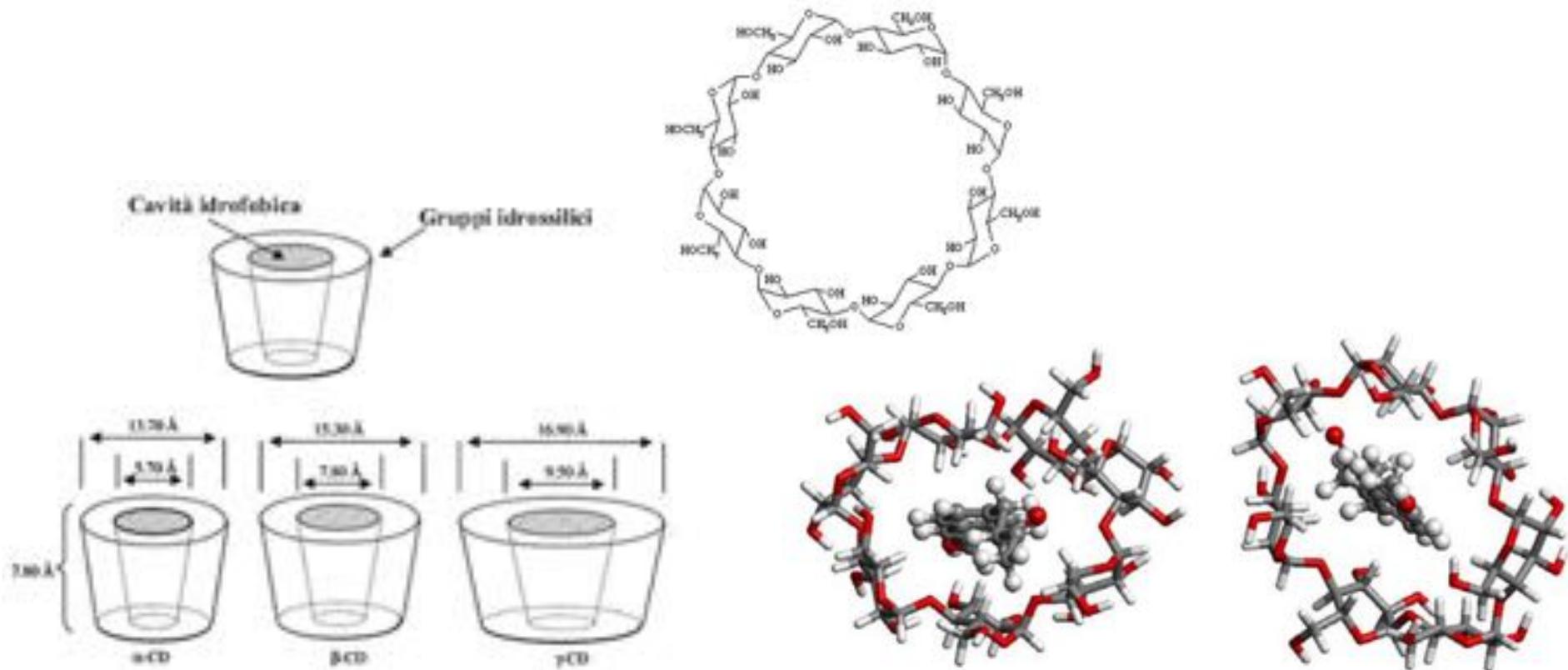


Emissione  
di calore  
→



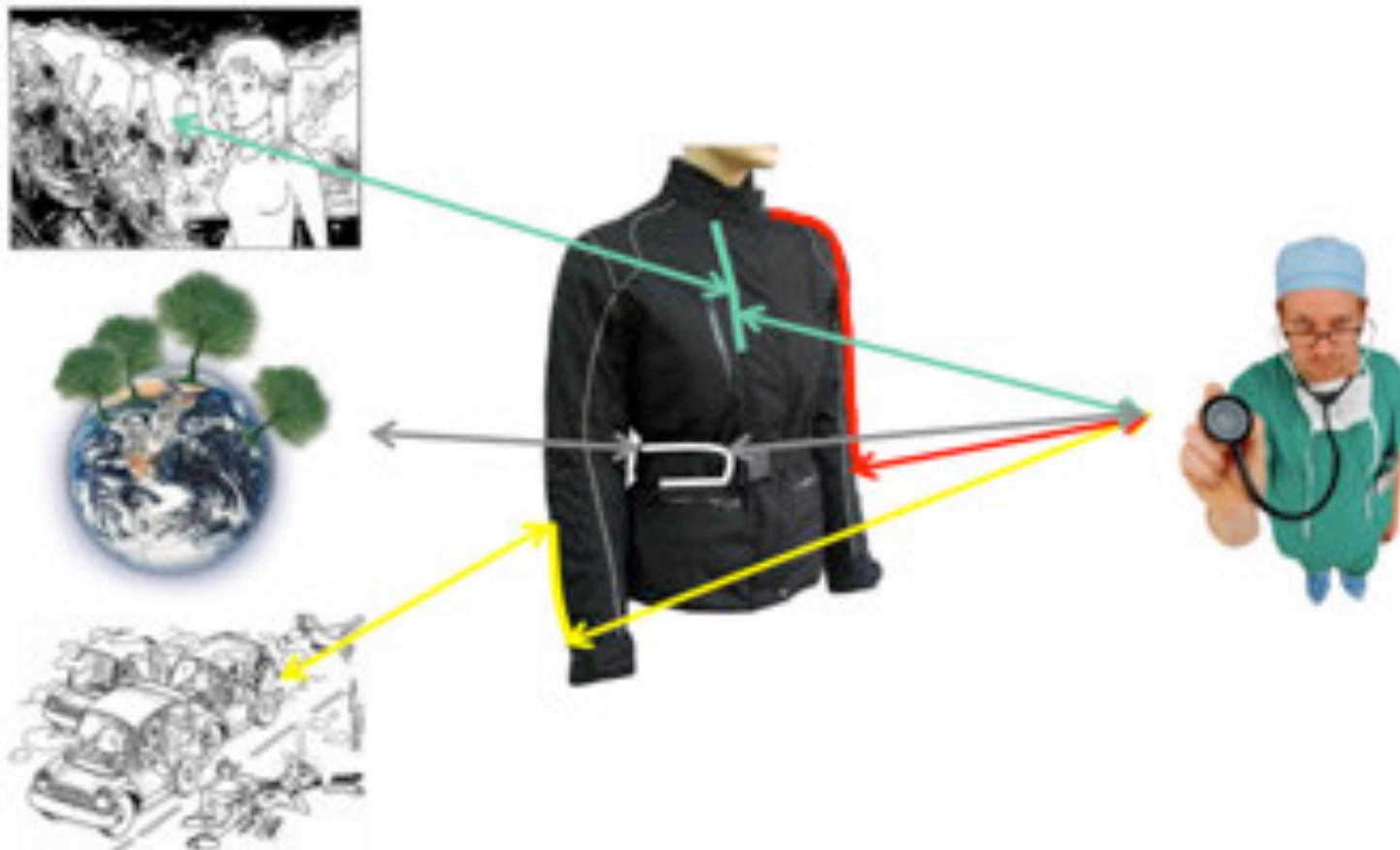
# TRATTAMENTI PER LA PROTEZIONE ATTIVA

Rilascio controllato di principi attivi



# NANOTECNOLOGIE PER IL TESSILE

Sensori per lo sport ed il medicale



L. Van der Schueren, K. De Clerck, G. Brancatelli, G. Rosace, E. Van Damme, W. De Vos, *Sensors and Actuators B* 162 (2012) 27-34

E. Guido, C. Colleoni, K. De Clerck, M.R. Plutino, G. Rosace, *Sensors and Actuators B* 203 (2014) 213–222



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI BERGAMO

Dipartimento  
di Ingegneria  
e Scienze Applicate

# CONCLUSIONI

## **Tecnologie alternative:**

sostituiscono precedenti tecnologie, rendendo possibile la realizzazione di nuovi prodotti e/o processi

## **Tecnologie interdisciplinari:**

interessi di settori scientifici, tradizionalmente separati, convergono favorendo lo sviluppo di nuove applicazioni

## **Tecnologie abilitanti:**

le ricadute sulla società potranno essere ampie ed ancora del tutto imprevedibili





UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI BERGAMO

Dipartimento  
di Ingegneria  
e Scienze Applicate

*“Meravigliarsi di tutto  
è il primo passo  
della ragione verso la scoperta”*

Louis Pasteur

**GRAZIE PER L'ATTENZIONE**

[giuseppe.rosace@unibg.it](mailto:giuseppe.rosace@unibg.it)