

# SILICIO: Sì all'ambiente!



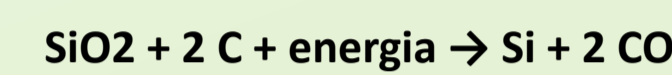
CARATTERISTICHE DEL SILICIO	
configurazione elettronica	[Ne]3s <sup>2</sup> 3p <sup>2</sup>
Punto di fusione	1 410 °C
Punto di ebollizione	2 350 °C
densità	2 320 kg/m <sup>3</sup>
Conducibilità elettrica	2,52 × 10 <sup>-4</sup> /m·Ω

- È un semimetallo e nella sua forma cristallina ha un colore grigio e lucentezza metallica.
- È relativamente inerte, reagisce con gli alogeni (fluoro, cloro) e con gli alcali. Non è attaccato dagli acidi, tranne che dall'acido fluoridrico.
- Viene impiegato per indurire leghe a base di Al, Mg, Cu, nella preparazione di acciai speciali; è il più importante materiale semiconduttore, ed è quindi largamente usato in elettronica. È utilizzato per fabbricare i pannelli fotovoltaici.

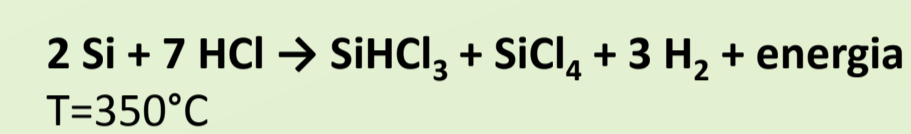
- Il silicio elementare venne preparato da Berzelius all'inizio dell'Ottocento, scaldando potassio e SiCl<sub>4</sub> e rimuovendo i fluorosilicati con una serie di lavaggi. Il silicio purificato ottenuto era amorfo.
- Nel 1886 Deville ottenne il silicio cristallino.
- Le celle solari basate sul silicio amorfo hanno bassa efficienza (8%), quelle realizzate con silicio policristallino hanno un'efficienza quasi doppia (15-16%) che sale al 16-17% se si impiega silicio monocristallino. Queste ultime celle sono però le più costose.



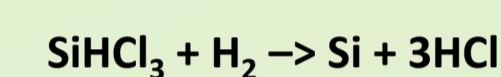
- Il silicio metallurgico viene preparato mediante riduzione carbotermica del quarzo:



- T=2000°C, purezza 98%.
- Per utilizzare il silicio come semiconduttore in circuiti elettronici, è necessario un grado di purezza più elevato. Si procede con il metodo Siemens che sintetizza i clorosilani:



- T=350°C
- Il triclorosilano ottenuto viene purificato per distillazione e successivamente ridotto in corrente di idrogeno:



- T>1000°C.
- Si ottiene così silicio policristallino di grado solare o elettronico (Si) con purezza pari a 99,9999999%.

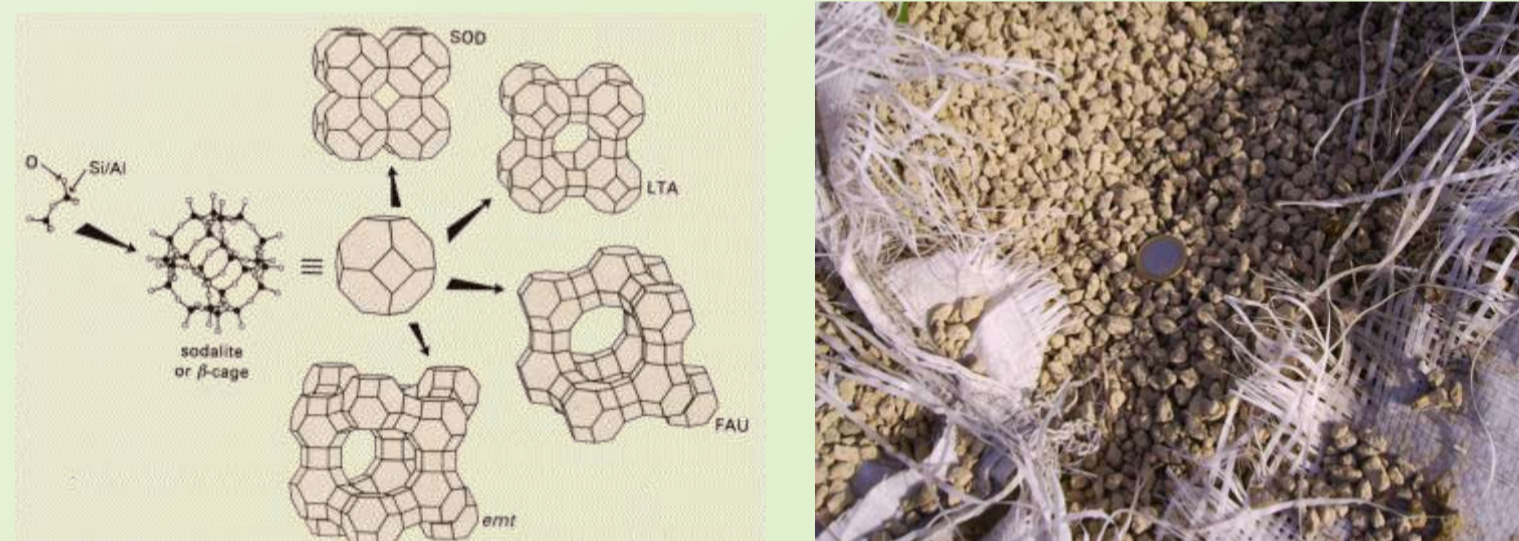
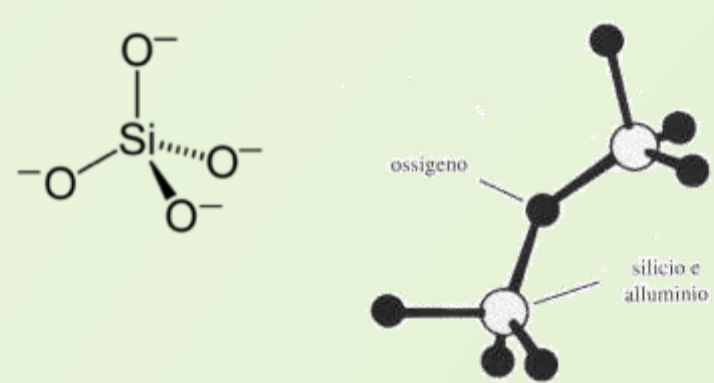
- Sulla Terra è il secondo elemento per abbondanza.
- Il silicio non si trova in forma elementare in natura, ma sotto forma di ossido SiO<sub>2</sub> (es. quarzo, ametista – in figura) e silicati nelle rocce ignee (es. graniti), sedimentarie (es. vesuvianite) e metamorfiche (es. argille).



## Zeoliti, il minerale anti-inquinamento

### Caratteristiche

- «Una zeolite è una sostanza cristallina con struttura caratterizzata da un'impalcatura di tetraedri uniti tra loro, dove ciascun tetraedro è formato da quattro ossigeni disposti attorno a un catione. Il framework comprende cavità aperte sotto forma di gabbie e canali. Queste cavità sono solitamente occupate da molecole di acqua e da cationi extra-framework scambiabili». Definizione della IMA-CNMMN (International mineralogical association-commission on new minerals and mineral names) - 1997
- La loro formula chimica generale è: (Na, K, CaO)<sub>x</sub> [AlxSin-xO<sub>2</sub>n]•mH<sub>2</sub>O
- I tetraedri SiO<sub>4</sub> sono elettricamente neutri quando legati tra loro in un reticolo tridimensionale come il quarzo. La sostituzione di Si(IV) con Al(III) nella struttura provoca uno squilibrio di carica e, per conservare la elettroneutralità, ogni tetraedro AlO<sub>4</sub> deve essere controbilanciato da una carica positiva. La carica proviene da cationi legati in modo elettrostatico alla zeolite.

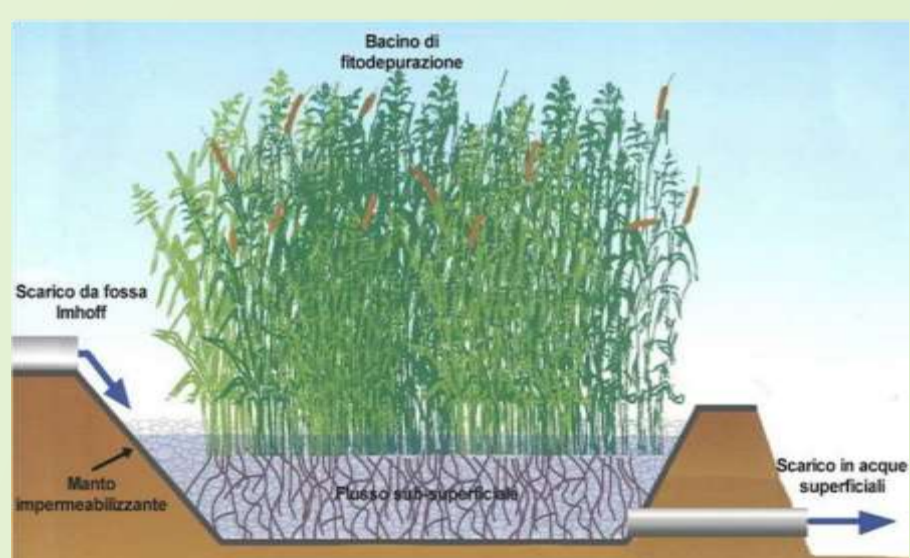


### Depurazione delle acque

- Le zeoliti sono impiegate in diversi campi: nella produzione di detersivi, come catalizzatori in ambito industriale, in agricoltura, nel settore ambientale per la depurazione delle acque e dell'aria. Grazie alla loro capacità di scambio ionico, sono in grado di rimuovere dai reflui:
  - metalli tossici (Cu<sup>2+</sup>, Pb<sup>2+</sup>, Hg<sup>2+</sup>, Zn<sup>2+</sup>, As<sup>3+</sup>)
  - isotopi radioattivi (90Sr e 137Cs)
  - NH<sub>4</sub><sup>+</sup> da reflui urbane o da acque derivanti da piscicoltura e acquari
  - altri cationi quali Rb<sup>+</sup>, Li<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Cs<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>, Ag<sup>+</sup>, Cd<sup>2+</sup>, Ba<sup>2+</sup>, Sr<sup>2+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Hg<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Fe<sup>3+</sup>, Co<sup>2+</sup>, Al<sup>3+</sup>, Cr<sup>3+</sup>
- Le acque da trattare vengono filtrate su colonna di zeoliti. L'efficienza di rimozione dipende da molteplici fattori, tra cui la concentrazione di cationi competitivi e la selettività della zeolite.
- In particolare le zeoliti a base di Phillipsite o Clinoptilolite hanno una spiccata selettività verso lo ione ammonio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) ed i cationi dei radionuclidi (Cs<sup>+</sup>, Sr<sup>2+</sup>), mentre la zeolite a base di Chabasite ha una spiccata selettività verso i cationi di metalli pesanti (Pb, Cd, Cu, Zn, As, Hg).

### Fitodepurazione su letto di zeoliti

- Questa tecnica permette l'eliminazione di alcune specie trattenute dalle zeoliti e prevede l'impiego di piante radicate (*macrofite emergenti microrizzate* appositamente prodotte in vivaio) su un letto di zeolite con formazione della «wetland». Le radici microrizzate consentono alla pianta un assorbimento migliore e più selettivo dei vari cationi dei metalli pesanti (metalli con densità maggiore di 4,5 g/cm<sup>3</sup>) e radio nuclidi eventualmente presenti nel refluo.



Negli impianti di fitodepurazione di questo tipo, lo ione ammonio viene trattenuto dalla zeolite e poi rilasciato lentamente in modo tale che venga ossidato a ione nitrito dai microrganismi presenti (nitrosomonas e il nitrobacter). Una piccola parte degli ioni nitrito prodotti vengono utilizzati come nutrienti delle piante acquatiche. I batteri denitrificanti provvedono a trasformare la restante parte di ioni nitrito in N<sub>2</sub>, gas inerte in atmosfera. Anche i metalli pesanti e i radio nuclidi (se presenti nel refluo) vengono prima catturati per scambio cationico dalla zeolite presente e rimossi dal refluo.

La zeolite provvede poi a un rilascio graduale dei cationi che permette alle radici delle piante di catturarli e traslocarli nel fusto e nelle foglie, dove si andranno ad accumulare. Una volta ogni due o tre anni, quando si effettua lo sfalcio delle piante, si rimuovono anche i metalli pesanti e i radio nuclidi recuperati dal refluo trattato nella wetland. Gli sfalci potranno poi essere smaltiti tal quali presso un centro autorizzato oppure inceneriti. Dalle ceneri ottenute, infine, potranno essere recuperati i metalli assorbiti dalle piante, per essere riutilizzati in processi industriali.

### Zeoliti da fly ash

- Un gruppo di ricercatori del CNR ha brevettato negli USA un processo di sintesi di zeoliti a partire da fly ash (prodotto di scarto delle centrali a carbone) in modo economicamente conveniente utilizzando acqua di mare a basse temperature (30-60°C). È un esempio virtuoso di economia circolare che riutilizza un rifiuto, che andrebbe stoccato in apposite discariche, in un materiale di partenza per la sintesi di zeoliti da utilizzare in impianti di depurazione di acque inquinate e nella bonifica terreni contaminati da metalli pesanti come nichel, piombo e manganese e da inquinanti organici. Anche l'utilizzo di acqua di mare è interessante perché è una risorsa facilmente reperibile a basso costo (a differenza dell'acqua distillata) e perché aumenta le rese delle zeoliti prodotte.

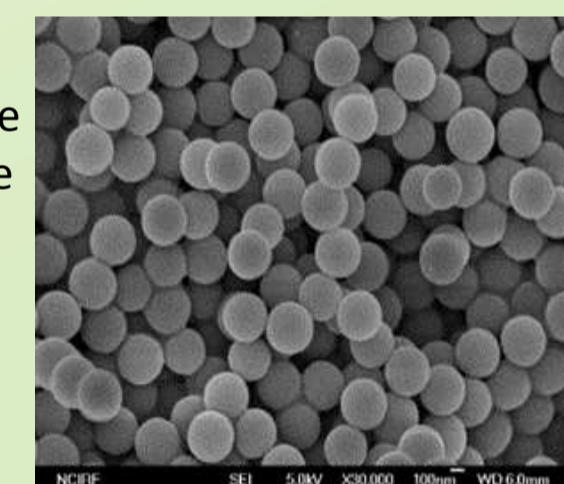
[http://ojs.univr.it/Alides/lecture/Produzione di silicio per il fotovoltaico - presente e futuro - Trento 28 10 2010.pdf](http://ojs.univr.it/Alides/lecture/Produzione%20di%20silicio%20per%20il%20fotovoltaico%20-%20presente%20e%20futuro%20-%20Trento%2028%2010%202010.pdf); <https://libguides.library.utoronto.ca/chemistry/elements/periodic-table/silicon>; <https://brevetti.cnr.it/InfoCatalogo.do?nrInf=18898&nrD=0> - Introduzione alla fitodepurazione - autorità d'ambito 2 - Biellese, Vercellese, Casalese - Enciclopedia Treccani

## Rimozione di inquinanti organici da acque reflue

Durante il percorso di PCTO presso il DISIT UPO di Vercelli abbiamo condotto uno studio sulla capacità di adsorbimento di inquinanti organici propria di diversi materiali a base di silicio. Lo studio è finalizzato a dare soluzioni concrete per il trattamento dei reflui di tintoria, caratterizzati dalla presenza di coloranti organici. Per aumentare la capacità di adsorbimento si è cercato di aumentare l'area superficiale del materiale, diminuendo le dimensioni delle particelle e creando delle porosità. Il lavoro è iniziato con la sintesi dei materiali, la silice Stöber, la silice MCM-41 nanometrica e la saponite 110, per poi passare a valutare la loro efficienza nella rimozione di coloranti.

### Silice Stöber

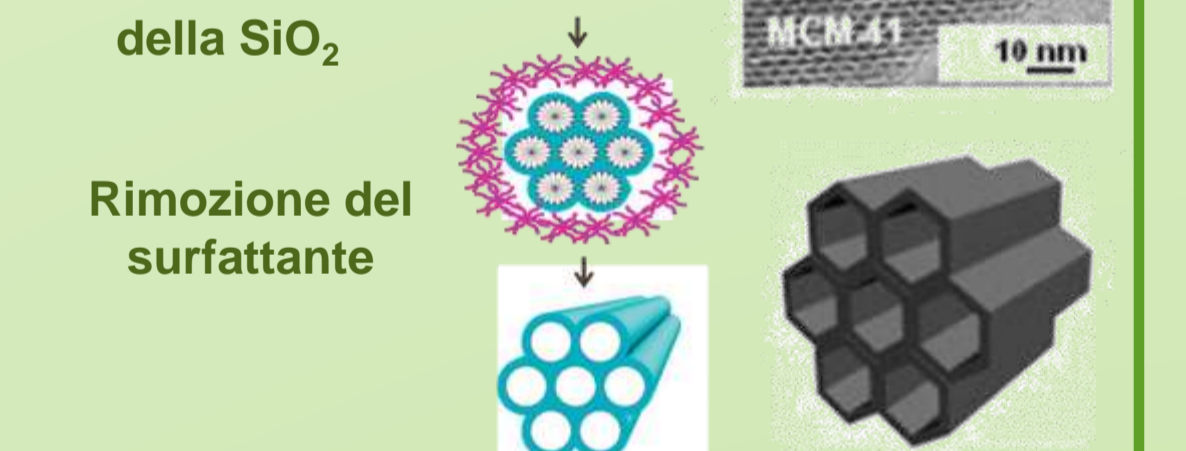
Questa silice non presenta pori e quindi possiede meno superficie di contatto per l'adsorbimento rispetto alla silice MCM-41. La sintesi seguita permette di ottenere una silice amorfa con dimensioni micrometriche.



### Silice MCM-41

Ha struttura nanometrica e mesoporosa, con pori di diametro inferiore a 2 nm. La sintesi della MCM 41 avviene grazie tensioattivi cationici (CTAC) e di copolimeri a blocchi (pluronic f127), che agiscono come agenti strutturanti per le molecole di silice e vengono rimosse al Termine della sintesi.

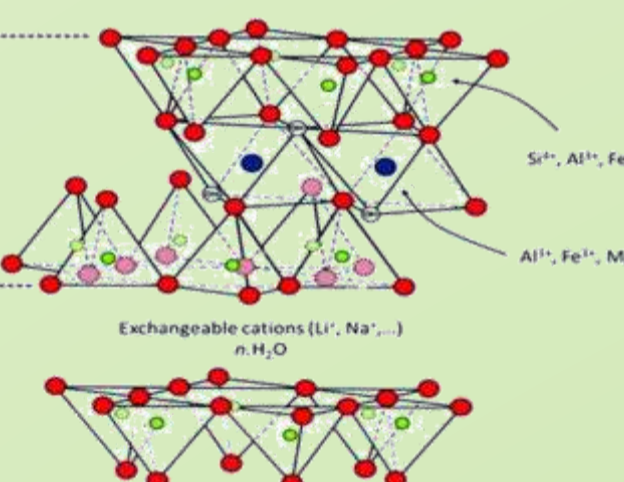
### Condensazione della SiO<sub>2</sub>



### Rimozione del surfattante

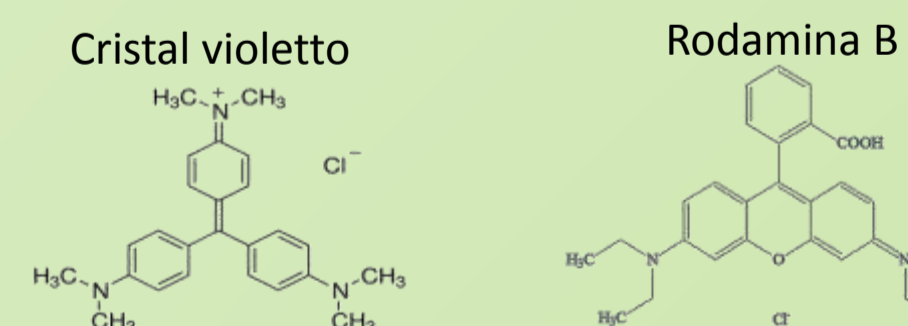
### Saponite 110

La saponite è un'argilla con morfologia lamellare con dimensioni di circa 50 nm. Essa adsorbe materiale inquinante grazie alla presenza di cariche elettriche presenti nella sua struttura.

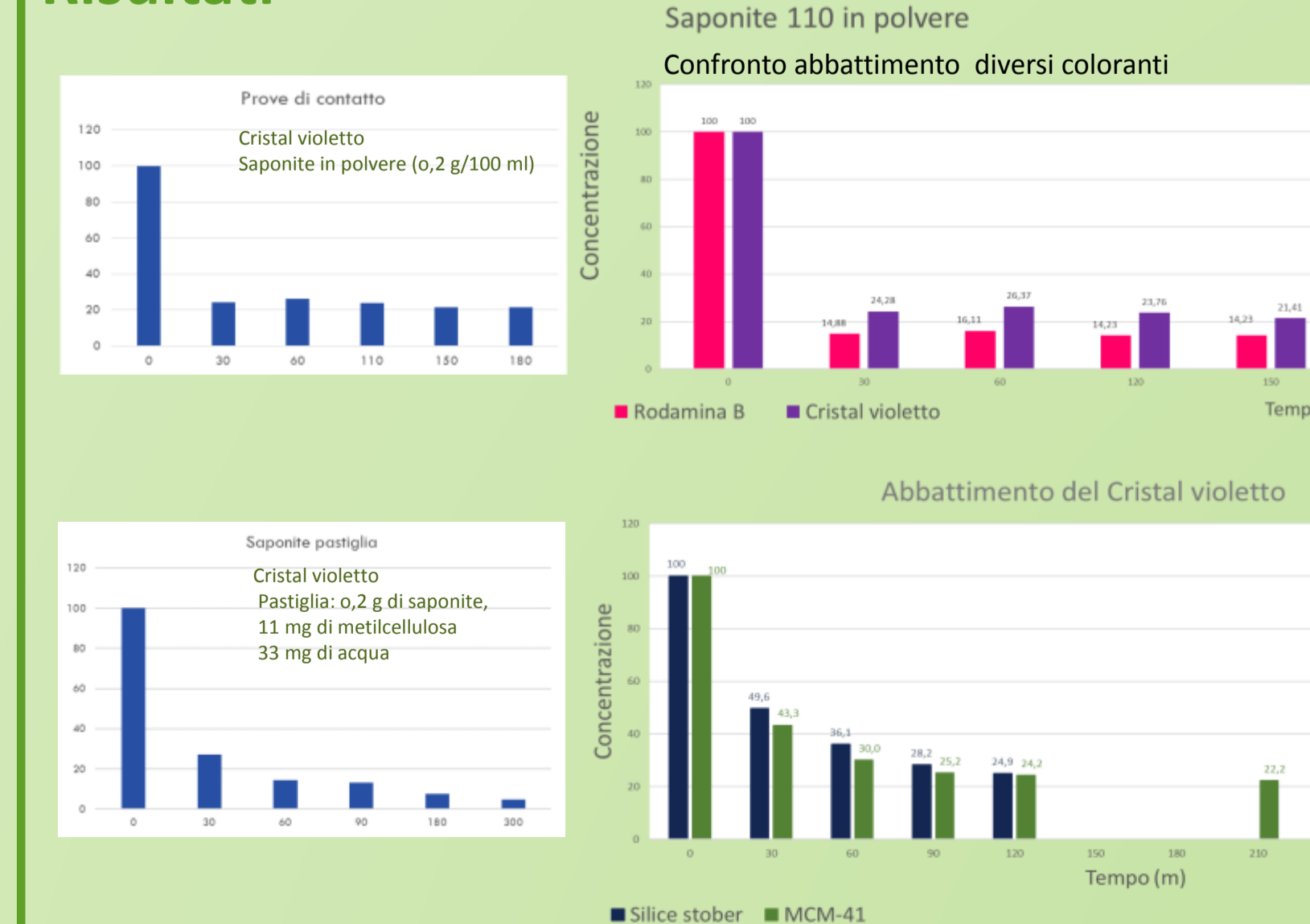


### Metodi

Per determinare l'efficacia di abbattimento di un inquinante si utilizza un campione a concentrazione nota di cristal violetto o di rodamina B e si effettua la determinazione spettrofotometrica della concentrazione residuale, in seguito ad assorbimento delle silici o di saponite, a intervalli di tempo prefissati. Si è valutata l'efficacia di saponite in polvere o in pastiglie.



### Risultati



### Conclusioni

- Silice Stöber, silice MCM-41 e saponite si sono rivelati efficaci nella rimozione di coloranti da soluzioni.
- I primi due grafici evidenziano prestazioni migliori della saponite in pastiglie piuttosto che in polvere.
- Nel terzo grafico si è valutata la diversa interazione della saponite con due diversi coloranti: è risultato migliore l'adsorbimento della Rodamina B.
- Nel quarto grafico si è riscontrato un adsorbimento più efficiente della silice MCM-41 mesoporosa con struttura nanometrica rispetto alla silice Stöber, confermando l'ipotesi di lavoro iniziale.
- La prestazione della saponite è molto interessante, soprattutto in relazione al suo costo più contenuto.