

A close-up photograph of grass blades covered in a fine layer of white frost. The background is a soft, out-of-focus bokeh of light blue and white, suggesting a bright, sunny day. The overall mood is serene and cold.

# La Cristallizzazione OU a.a. 2025/2026

Debora Ferri / Emilio Torreti



Parliamo di una OU di separazione legata alla solubilità.

OU di separazione solido/liquido il cui obiettivo è quello di ottenere un solido allo stato cristallino a partire da una soluzione concentrata

# Definizione dell'OU di Cristallizzazione

Il termine Cristallizzazione significa semplicemente «formazione di cristalli»

Dal punto di vista scientifico la cristallizzazione è il processo nel quale le particelle di soluto presenti in soluzione, si organizzano in modo ordinato a formare un solido e si separano dal resto della soluzione

In talune applicazioni interessano i cristalli stessi (ad esempio nella produzione di zucchero), in altri si tratta di sfridi di lavorazione e l'interesse è rivolto piuttosto alla depurazione della soluzione liquida (acqua madre)





# Definizione dell'OU di Cristallizzazione

Nel mondo enologico, la **precipitazione tartarica** è uno dei fenomeni più comuni e problematici nella produzione di vini, in grado di compromettere la limpidezza e la stabilità del vino.

Sebbene non rappresenti un pericolo per la salute del consumatore, può pregiudicare la qualità percepita e l'accettazione commerciale del prodotto



# Definizione dell'OU di Cristallizzazione

In generale il processo di formazione di cristalli è indotto dal processo di sovrasaturazione della soluzione che può avvenire per:

- Abbassamento della temperatura della soluzione
- Evaporazione di una parte di solvente
- Una combinazione delle precedenti

Si lavora quindi in generale sulla concentrazione di una soluzione indotta da una variazione di temperatura

# Definizione del concetto di solubilità

Osserviamo sperimentalmente: versiamo dello zucchero in un bicchiere d'acqua...

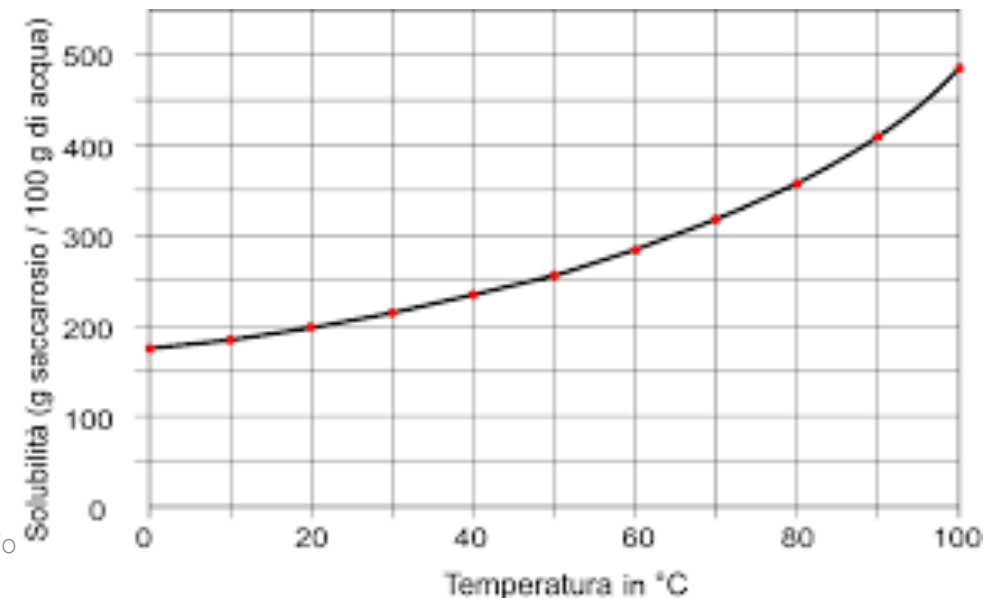
...a temperatura ambiente lo zucchero inizierà a sciogliersi fino al punto in cui inizierà a depositarsi sul fondo.

→ definiremo a questo punto la **soluzione** come **satura**.

Se proseguiamo ed **alziamo la temperatura**, osserveremo che **si scioglierà una quantità aggiuntiva** di zucchero.

Deduciamo sperimentalmente che la **solubilità o saturazione** è **funzione della temperatura**.

Parliamo quindi della quantità massima di sostanza che ad una certa temperatura  $t$  si scioglie in una certa quantità di solvente dando origine ad un sistema stabile.



# Definizione del concetto di solubilità

**Solubilità:** grammi di soluto / 100 grammi di solvente

Grammi di materiale anidro\* necessari per formare una soluzione satura in 100 grammi di solvente

*Es. se a 20° la solubilità dello zucchero è 200, significa che in 100kg di acqua sciolgo una quantità di 200kg di zucchero*

*La solubilità è funzione della temperatura*

\*anidro: composto privato della sua acqua

# La sovrasaturazione in funzione della temperatura

## Punto I

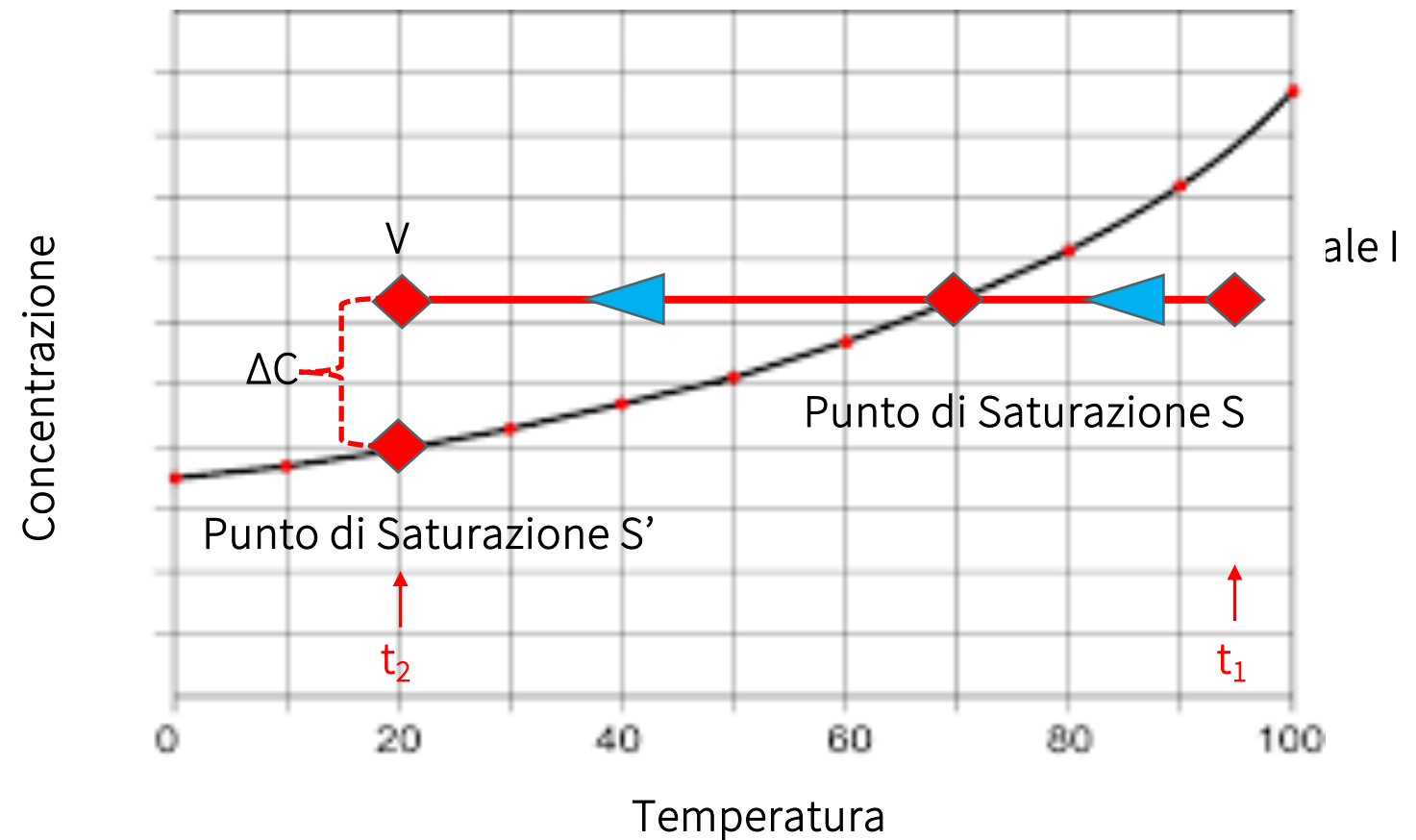
Soluzione molto concentrata ma non satura a temperatura  $t_1$

## Punto S

punto di saturazione a temperatura inferiore

## Punto V

ci troviamo in un punto di sovrasaturazione a  $t_2$  sensibilmente più bassa della  $t_1$  dove si apprezza una produzione di cristalli



*A parità di concentrazione di soluto nel solvente*

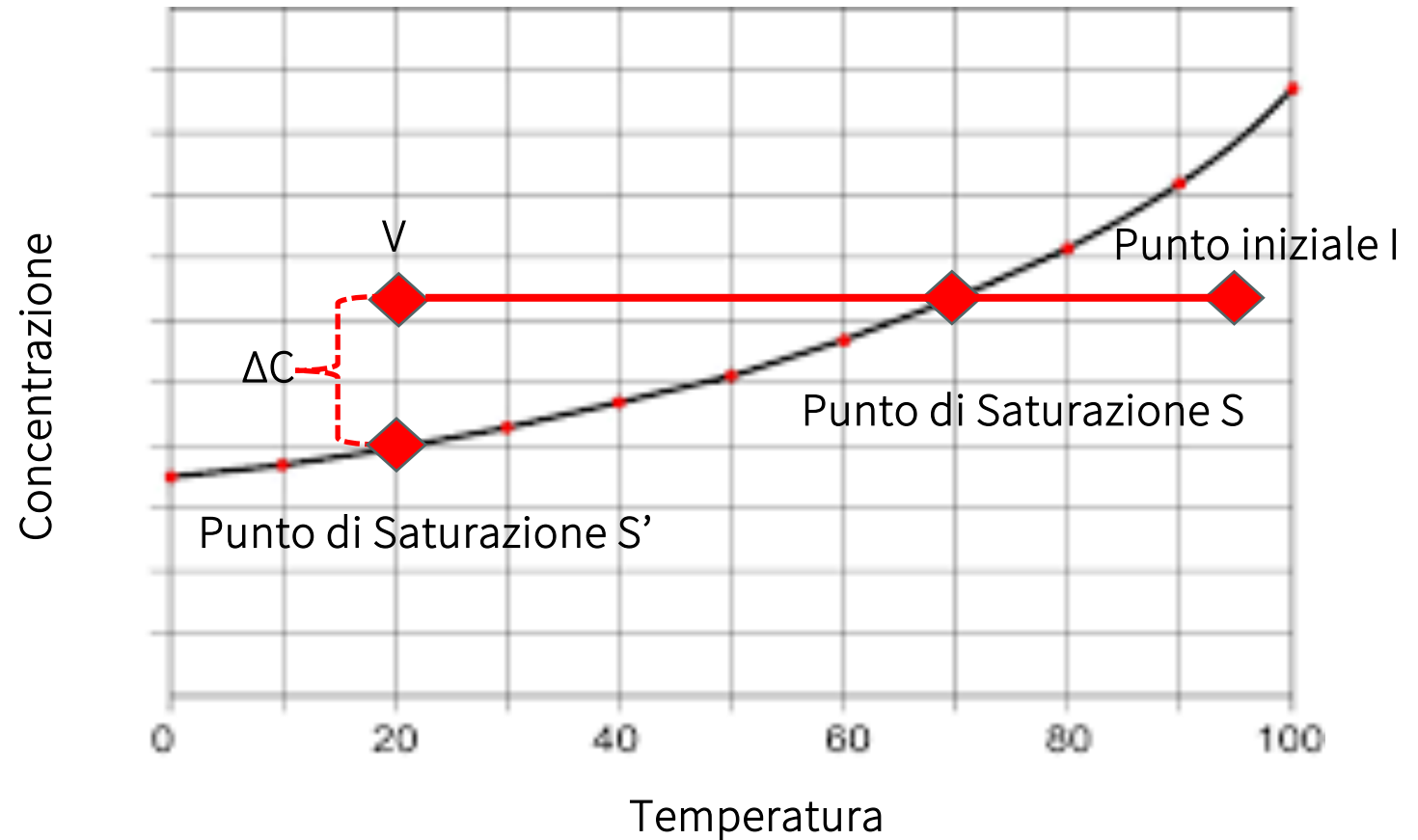


# La sovrasaturazione

Sovrasaturazione  $\rightarrow \Delta C = C_V - C_S$

Ne discende che  $\Delta C$  è positivo per i punti al di sopra del punto di saturazione, negativo se sotto il punto di saturazione.

Condizione necessaria affinché si formino cristalli è che il  $\Delta C$  sia positivo



# La sovrasaturazione nella cristallizzazione

Più si abbassa la temperatura, più la curva di sovrasaturazione si abbassa

Zona stabile –  $\Delta C < 0$

La cristallizzazione non può avvenire perché la concentrazione della soluzione è minore di quella di saturazione

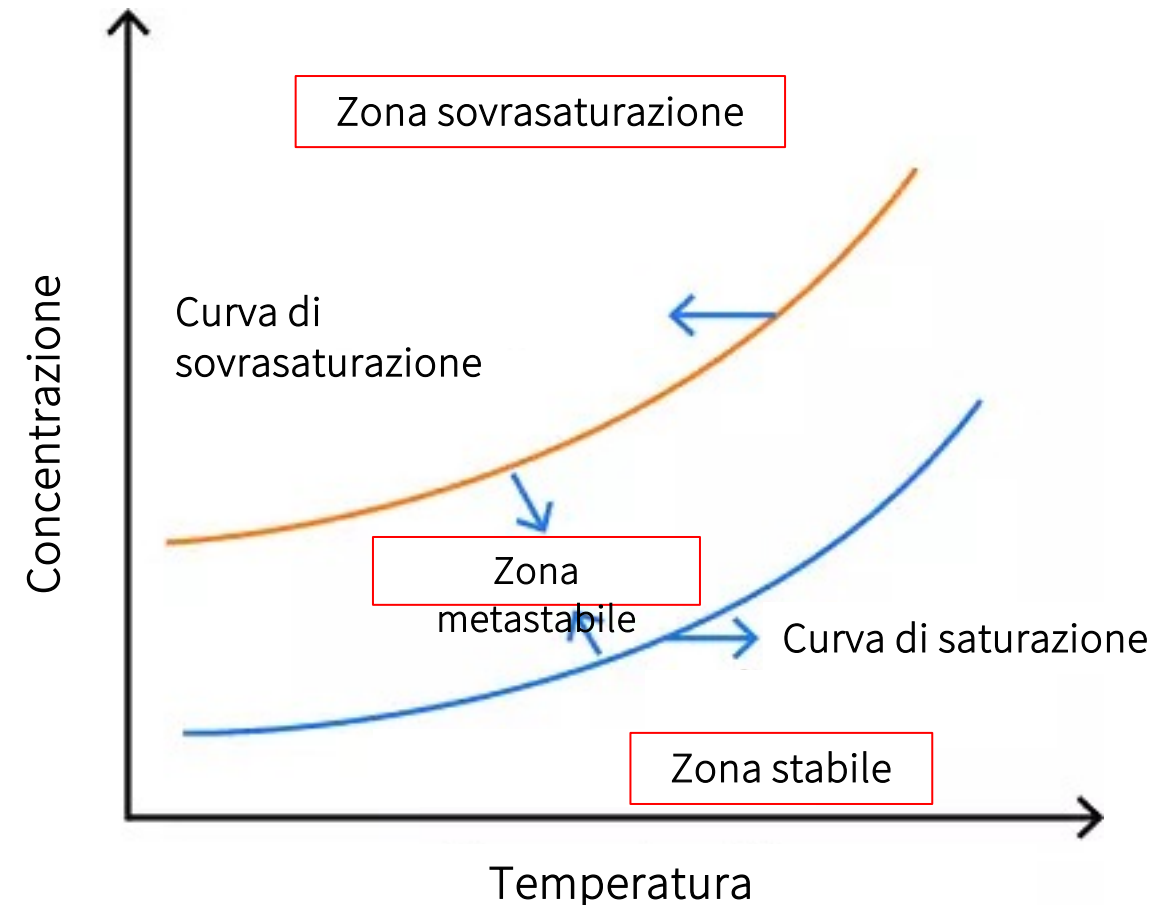
Zona metastabile –  $\Delta C > 0$

Cristallizzazione lenta - può avvenire se:

- si agita la soluzione
- addizione di pochi cristalli con funzione di catalizzatore

Zona di sovrasaturazione –  $\Delta C > 0$

Cristallizzazione rapida e spontanea



# Fasi dell'operazione di Cristallizzazione

## Nucleazione

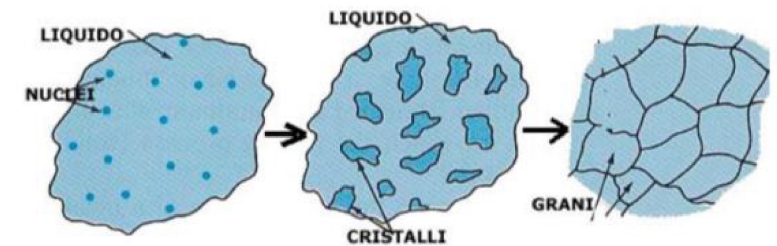
in questa fase del processo si formano i germi (nuclei) ossia cristalli estremamente piccoli all'interno della soluzione sui quali si accresceranno le formazioni cristalline.

## Accrescimento

In questa fase avviene l'accrescimento dei cristalli dai germi, a partire dalla propria superficie con deposizioni di strati successivi di materia o per aggiunte di filari a partire da una irregolarità della superficie stessa.

Si concretizza in due sottofasi:

- diffusiva
- reazione



# Fasi dell'operazione di Cristallizzazione - Nucleazione

E' la fase in cui la soluzione non è più esclusivamente in forma liquida ma iniziano a formarsi parti solide

**Primaria:** si formano i primi nuclei solidi in assenza di cristalli della stessa sostanza già esistenti

- **Omogenea** – i nuclei si formano casualmente nel liquido che deve essere puro (condizione molto rara e complessa nella realtà)
- **Eterogenea** – la formazione di nuclei si addensa in modo non uniforme per la preesistenza nel liquido di piccole particelle solide (es. su pareti o impurità)

**Secondaria:** i primi nuclei solidi si formano sulla base di cristalli già esistenti nel liquido  
*(pratica molto diffusa nell'industria in quanto più rapida e meno dispendiosa energeticamente perché la presenza di cristalli funge da catalizzatori, richiedendo così un livello di sovrasaturazione più basso)*

# Fasi dell'operazione di Cristallizzazione - Accrescimento

Avviene l'accrescimento dei cristalli a partire dai germi

- **Diffusiva** – il soluto ancora in soluzione si avvicina ai nuclei cristallini, attorno ai quali è presente un sottile strato di soluzione meno concentrato e si diffonde attraverso tale strato a causa di un gradiente di concentrazione diverso tra la soluzione e la superficie del cristallo
- **Reazione** – il soluto entra in contatto con i germi e si deposita attorno ad esso ed inizia l'accrescimento dimensionale dei cristalli



# Effetti della sovrasaturazione nella cristallizzazione

La velocità di nucleazione ed accrescimento è funzione del livello di sovrasaturazione

Tanto maggiore è la sovrasaturazione della soluzione, tanto più veloce sarà la nucleazione con una fase di accrescimento più lenta.

Il grado di sovrasaturazione influenza anche le dimensioni dei cristalli:

Ad alti livelli di sovrasaturazione, si formeranno più centri di aggregazione e, di conseguenza, i cristalli raggiungeranno dimensioni più ridotte

A livelli di sovrasaturazione più modesta si formeranno pochi centri di nucleazione che formeranno quindi cristalli di elevate dimensioni.

# Il calcolo della velocità di cristallizzazione

La velocità di cristallizzazione (componente cinetica) è rappresentata dalla variazione nel tempo del peso dei cristalli

$$dm/dt = K_g * A * \Delta C$$

$K_g$  = coefficiente globale di accrescimento (*riassume le costanti di diffusione e reazione*) e dipende dalle condizioni del sistema (*temperatura, velocità di diffusione degli ioni,...*)

$A$  = superficie del cristallo

$\Delta C$  = grado di sovrasaturazione

Questa formula determina la velocità di cristallizzazione che risulta essere direttamente proporzionale alla superficie del cristallo e al grado di sovrasaturazione

# Il calore nella OU di cristallizzazione

Nella OU di cristallizzazione il calore gioca un ruolo fondamentale

Ha a che fare con l'energia per variare la temperatura che favorisca i processi di solubilizzazione / cristallizzazione

Nella **solubilizzazione**, aggiungere calore favorisce la solubilità di un soluto in solvente permettendo di scioglierne di più e quindi arrivando ad una soluzione satura e sovra satura (il **calore è assorbito**, parliamo di un **processo endotermico**)

**Calore latente di cristallizzazione:** rappresenta il calore consumato in fase di abbassamento della temperatura per favorire la precipitazione dei soluti (cristallizzazione) – il **calore è rilasciato**, e l'energia conseguente liberata, viene utilizzata per il passaggio di stato – (parliamo di un **processo esotermico**)

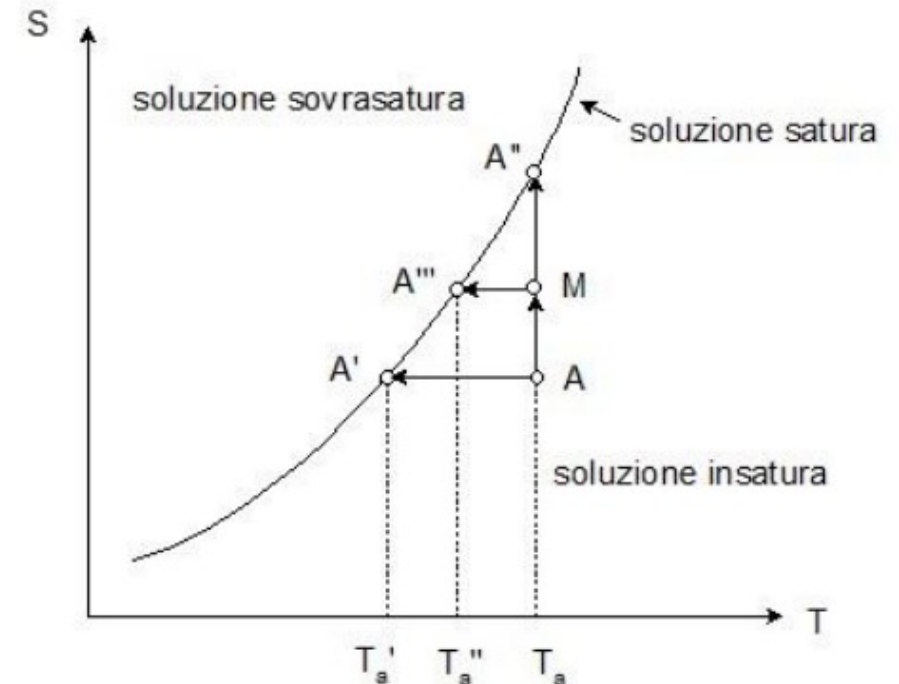
# Tecniche di cristallizzazione

**Raffreddamento:** a concentrazione costante, raffreddiamo la soluzione insatura, fino a raggiungere la curva di solubilità in cui la soluzione diventa satura; oltre si entra nella zona di sovrasaturazione, con conseguente cristallizzazione del soluto.

**Evaporazione:** a temperatura costante, evaporiamo il solvente. La soluzione si concentra, aumenta la % di soluto e quindi si arriva al punto dove la soluzione diventa satura. Oltrepassando tale punto si ha la cristallizzazione del soluto.

**Combinata:** si sottopone la soluzione ad un opportuno grado di vuoto consentendo l'evaporazione del solvente e contemporaneamente sottraendo il proprio calore latente.

*Per l'attivazione del processo si utilizzano cristalli preformati catalizzanti*



# Impianti di cristallizzazione

La cristallizzazione può essere ottenuta con sovrasaturazione della soluzione che possiamo ottenere per abbassamento di temperatura o per concentrazione

**Cristallizzatori a raffreddamento** - Contenitori, le cui soluzioni perdono calore nell'ambiente

**Evaporatori** - Concentrano e favoriscono la cristallizzazione



# Cristallizzatori a raffreddamento

## Continui ad evaporazione

Cristallizzatore Oslo → si utilizza uno **scambiatore di calore** per ridurre la temperatura - **cristalli omogenei**

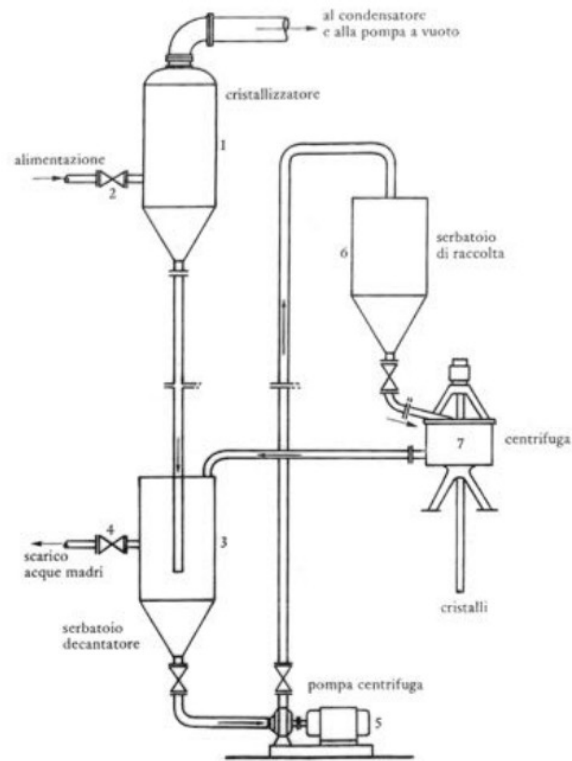
Sottovuoto → utilizzato per cristallizzazione zucchero

## Discontinui

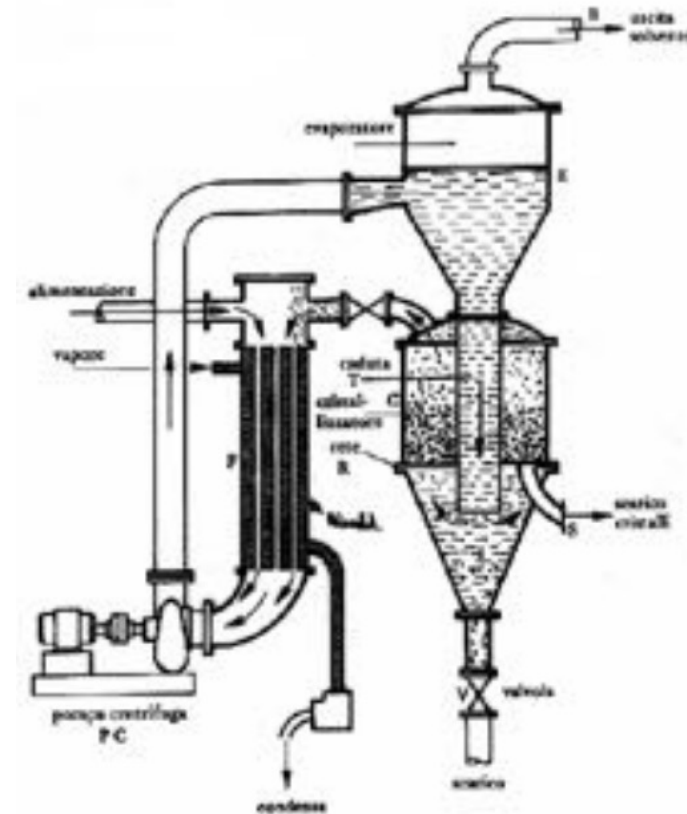
Raffreddamento naturale – senza agitatore - più lenti – cristalli più grandi e poco omogenei

Raffreddamento con acqua e muniti di agitatore - più veloci

# Cristallizzatori a raffreddamento continui

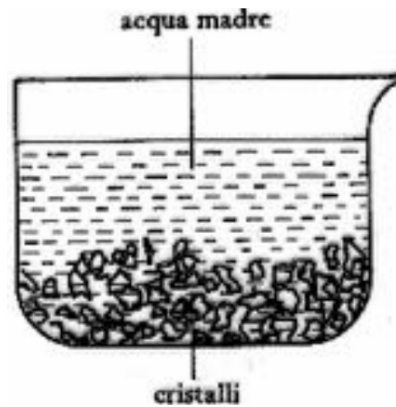


Sottovuoto  
Produzione di zucchero

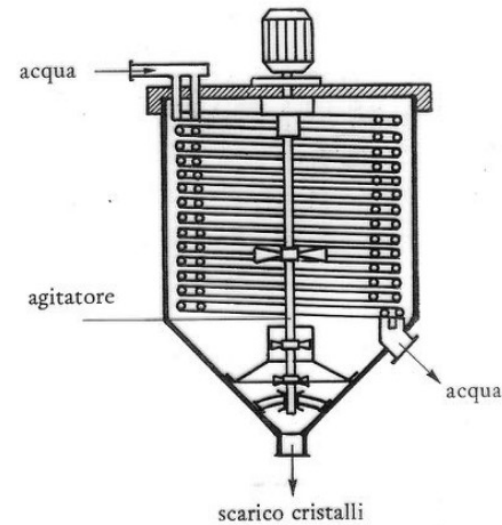


Oslo  
Soluzione satura fatta passare attraverso un letto di cristalli

# Cristallizzatori a raffreddamento discontinui




Discontinuo senza agitatore



Discontinuo con raffreddamento  
ad acqua e con agitatore





**Grazie per l'attenzione**

Debora Ferri

Emilio Torreti