

**Velocità max.  
2.000 min<sup>-1</sup>  
Raffreddamento  
a Liquido**

## MULINI A SFERE AD ELEVATA ENERGIA

MACINAZIONE ED ANALISI DIMENSIONALE  
SU NANOSCALA

$10^{-9}m$

$10^{-6}m$

$10^{-3}m$



MULINO A SFERE AD  
ELEVATA ENERGIA  
Emax



MULINO PLANETARIO A  
SFERE PM 100



VIBRO MULINO  
MM 400



CRYOMILL



MULINO PLANETARIO A  
SFERE PM 400



**Cari Lettori, Clienti e Business Partners,**

Al giorno d'oggi "Nano" indica prodotti contenenti particelle su nanoscala, diventati parte della nostra vita quotidiana. Particelle ultrafini si trovano in creme solari, tessuti, droghe o vernici, solo per citarne alcuni esempi. La nanotecnologia è la ragione per cui questi prodotti acquisiscono nuove proprietà migliorando ulteriormente.

Anche RETSCH e RETSCH TECHNOLOGY hanno indirizzato la propria attenzione sulla nanotecnologia! **Il design rivoluzionario del nuovo mulino ad elevata energia E<sub>max</sub> consente di produrre particelle nanometriche in una frazione di tempo nettamente inferiore rispetto a qualsiasi altro tipo di mulino.** L'E<sub>max</sub> può essere utilizzato ad una velocità massima di 2,000 min<sup>-1</sup>, novità assoluta per un mulino a sfere. In questo numero de "Il Campione" imparerete come gli ingegneri RETSCH **combinano in E<sub>max</sub> la massima energia di macinazione con l'innovativo sistema di raffreddamento**, in questo modo il mulino può macinare in continuo senza intervalli!

La macinazione al di sotto del nano range, può essere eseguita anche con gli ormai collaudati mulini planetari a sfere RETSCH. In questo numero non solo vi presenteremo la nostra gamma di mulini planetari, ma vi descriveremo come raggiungere risultati soddisfacenti in **applicazioni ad elevata energia come l'alligazione meccanica e la macinazione colloidale.**

Ci auguriamo che la lettura di questo numero de "Il Campione" sia di Vostro gradimento!

Dr. Juergen Pankratz  
CEO VERDER SCIENTIFIC

# CONTENUTO

**MULINO AD ELEVATA ENERGIA E<sub>max</sub> - UNA RIVOLUZIONE NELLA MACINAZIONE** PAGINA 04



Una nuova dimensione nella macinazione ad alte prestazioni: 2,000 giri per minuto, insieme ad un sistema di raffreddamento a liquido creano particelle ultrafini nel più breve tempo possibile.

**MULINI PLANETARI A SFERE - IL CLASSICO STRUMENTO PER ATTIVITÀ DI MACINAZIONE** PAGINA 08



Il principio planetario fornisce un elevato input energetico per produrre particelle nel range del submicron, creando le condizioni ideali per l'alligazione meccanica e le macinazioni colloidali.

**ALLIGAZIONE MECCANICA** PAGINA 10

I mulini a sfere ad elevata energia ed i mulini planetari a sfere producono l'energia cinetica necessaria per l'alligazione meccanica. RETSCH propone il PM 400 MA progettato appositamente per questo tipo di applicazione.

**NANO PARTICELLE CON LA MACINAZIONE COLLOIDALE** PAGINA 12

Per ridurre ulteriormente particelle è necessario un input ad elevate energia, generato dai mulini planetari a sfere e dai mulini planetari ad elevate energia. Per ottenere risultati soddisfacenti è inoltre importante selezionare gli accessori di macinazione adatti.

**MIXER MILL MM 400 - LO STRUMENTO "TUTTOFARE" PER PICCOLE QUANTITÀ** PAGINA 14



I vibromulini sono la scelta ideale per una rapida ed efficace omogeneizzazione di piccole quantità di campione.

**CRYOMILL - MACINAZIONE CRYOGENICA CON AZOTO LIQUIDO** PAGINA 16



Se non è possibile effettuare una macinazione a temperature ambiente, il CryoMill è lo strumento adatto. È adatto per la macinazione di materiali duri ed elastici così come per la macinazione di materiali con componenti volatili.

**ESEMPI APPLICATIVI CON I MULINI A SFERE ED I VIBROMULINI** PAGINA 18

I mulini a sfere ed i vibromulini RETSCH sono strumenti adatti per la macinazione di un'ampia varietà di campioni. La vasta gamma di accessori assicura una versatilità ottimale alle singole applicazioni richieste.

## PICCOLE PARTICELLE – GRANDI EFFETTI: MACINAZIONE AL DI SOTTO DEL RANGE NANOMETRICO

La nanotecnologia è uno degli sviluppi più innovativi dei nostri tempi, in grado di rivoluzionare industrie come la scienza dei materiali, industrie farmaceutiche, alimentari, industrie dei pigmenti e di materiali semi-conduttori. La nanotecnologia si occupa di particelle in un range da 1 a 100 nm. Queste particelle possiedono proprietà particolari grazie alla loro dimensione, in quanto la loro superficie è notevolmente maggiore rispetto al loro volume (cosiddetta "funzionalità indetta dalla dimensione") Le particelle ultrafini sono più dure e più resistenti delle particelle di dimensioni maggiori. La nanotecnologia determina effetti che si verificano in natura su scala commerciale, come per esempio l'effetto loto: tessuti e vernici nanorivestiti risultano repellenti ad acqua e polvere, come il fiore di loto.

# NANO

Come vengono prodotte le nanoparticelle? Il metodo "bottom-up" sintetizza le particelle da atomi o molecole. Il metodo "top-down" comporta la riduzione delle dimensioni delle particelle più grandi a scala nanometrica ad esempio con i mulini da laboratorio.

Grazie alla loro superficie notevolmente più grande rispetto al volume, le particelle piccole si attraggono a vicenda grazie alla loro carica elettrostatica.

Le nanoparticelle possono essere prodotte grazie alla macinazione colloidale, la quale consiste nella dispersione delle particelle in un liquido neutralizzandone le cariche superficiali. Come liquidi di dispersione, vengono utilizzati sia acqua che alcohol, in funzione del campione.

Talvolta la neutralizzazione delle cariche superficiali è possibile soltanto aggiungendo una soluzione tampone come il fosfato di sodio o l'acido diaminopimelico (per la stabilizzazione elettrostatica o sterica).

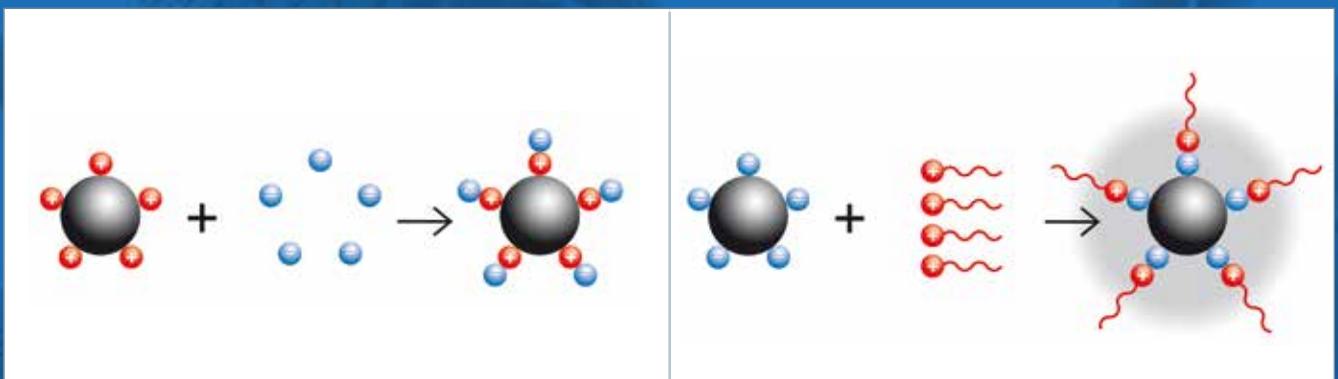
Con i mulini planetari ed il mulino ad elevata energia  $E_{max}$ , RETSCH possiede i mulini adatti ed il know-how per la produzione di nanoparticelle. I criteri più importanti per questa applicazione sono:

- il materiale degli accessori di macinazione
- la dimensione delle sfere di macinazione
- tasso di dispersione sfere / campione
- tempo di macinazione

■ input di energia

Un grosso vantaggio dell' $E_{max}$  è l'innovativo sistema di raffreddamento che scarica gran parte del calore generato dall' attrito durante il processo di macinazione.

Le giare di macinazione "comfort" utilizzate con i mulini planetari sono particolarmente consigliate per la macinazione colloidale. Grazie agli o-ring ermetici non vi sono fuoruscite di liquido, nemmeno in caso di pressione elevata all'interno della giara. Le flange assicurano un trasporto sicuro, mentre la speciale chiusura di sicurezza rende l'utilizzo delle giare "comfort" particolarmente sicuro.



Neutralizzazione delle cariche presenti tra le particelle grazie all'aggiunta di una soluzione tampone (stabilizzazione elettrostatica, sinistra) o con l'aggiunta di molecole a catena lunga (stabilizzazione sterica, destra)

# E<sub>max</sub>

LA RIVOLUZIONE NELLA MACINAZIONE ULTRAFINE

**2,000 min<sup>-1</sup>  
Velocità max.  
Raffreddamento  
a Liquido**

**E<sub>max</sub>** è un nuovo tipo di mulino progettato appositamente per la macinazione ad elevata energia. L'impressionante velocità di 2,000 min<sup>-1</sup>, mai raggiunta in un mulino a sfere, combinata alle speciali giare di macinazione, generano un'elevata energia di macinazione.

La combinazione unica di impatto, frizione e movimento circolare delle giare genera una macinazione ultrafine delle particelle in pochissimo tempo. Grazie al nuovo sistema di raffreddamento a liquido, l'energia termica in eccesso viene scaricata rapidamente, evitando il surriscaldamento del campione, anche dopo lunghi tempi di macinazione.

Il mulino ad elevata energia E<sub>max</sub> è particolarmente adatto per la macinazione in continuo. Il mulino non necessita di intervalli di raffreddamento, riducendo i tempi di macinazione rispetto agli altri mulini. L'elevata energia sviluppata a 2,000 min<sup>-1</sup> unita al sistema di raffreddamento a liquido, crea le condizioni perfette per l'alligazione meccanica e la macinazione colloidale sotto al range nanometrico.



Fig. 1: E<sub>max</sub> ha due stazioni di macinazione

E<sub>max</sub>

Video E<sub>max</sub> su  
[www.retsch.it/emax](http://www.retsch.it/emax)

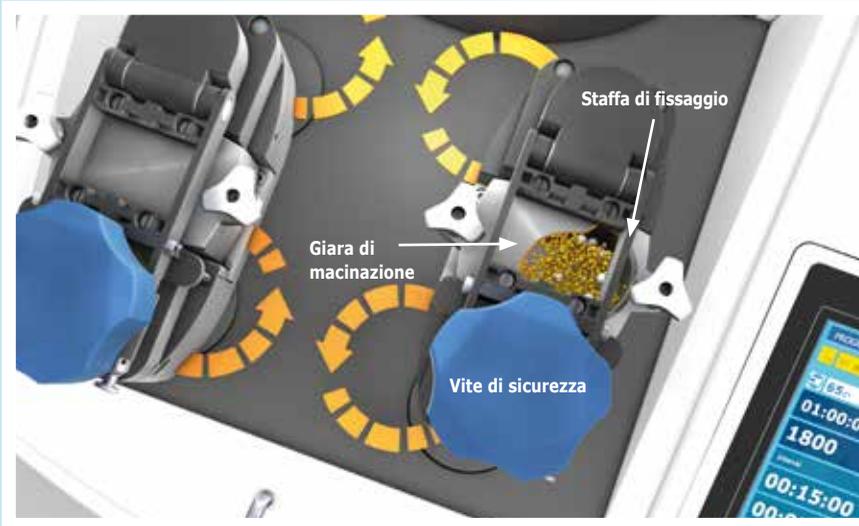


Fig. 2: Il supporto delle giare è montato su due dischi che girano nella stessa direzione. In questo modo le giare si muovono in maniera circolare senza mai cambiare il loro orientamento. Il motore a quadruplo eccentrico assicura un preciso movimento anti-sincrono delle giare. Le forze peso vengono eliminate grazie a sistemi integrati di contro-bilanciamento.

## PRINCIPIO DI FUNZIONAMENTO

Il nuovo meccanismo di macinazione di **E<sub>max</sub>** unisce i vantaggi di diversi tipi di mulini: impatto ad alta frequenza (vibromulini), elevata frizione (mulini a dischi), e movimento circolare controllato delle giare (mulini planetari a sfere) consentendo prestazioni mai raggiunte. Questa unica combinazione è generata dalla forma ovale delle giare e dal loro movimento circolare. I supporti delle giare sono montati su due dischi, che girano nella stessa direzione, in questo modo le giare si muovono circolarmente senza cambiare il loro orientamento. L'interazione tra la geometria delle giare ed il loro movimento provocano una frizione elevata tra le sfere, il campione e le giare di macinazione, sprigionando una rapida accelerazione che viene trasferita alle sfere, acquisendo un'elevatissima potenza di impatto. Tutto ciò migliora notevolmente la miscelazione delle particelle, risultando molto più piccole ed omogenee rispetto agli altri mulini planetari.

## HIGHLIGHTS

- Macinazione più rapida e fine rispetto agli altri mulini a sfere
- La velocità fino a 2.000 min<sup>-1</sup> garantisce una rapidissima polverizzazione del campione
- L'innovativo sistema di raffreddamento a liquido permette operazioni in continuo senza interruzioni
- Distribuzione granulometrica più stretta grazie allo speciale design delle giare con una migliore miscelazione del campione
- Meccanismo di funzionamento brevettato
- Giare con Sistema di chiusura di sicurezza integrato
- 10 programmi memorizzabili (SOP)
- Disponibili giare di macinazione in materiale anticon-taminazione

Fig. 3: La speciale geometria delle giare assicura una migliore miscelazione del campione.



## Caratteristiche tecniche



[www.retsch.it/emax](http://www.retsch.it/emax)

Applicazioni:	Macinazione, omogeneizzazione, nano macinazione, alligazione meccanica, macinazione colloidale
Materiale in ingresso*:	<5 mm
Finezza finale*:	<80 nm
Quantità materiale in ingresso*:	max. 2 x 45 ml
No. stazioni di macinazione:	2
Dimensioni giare di macinazione:	50 ml / 125 ml
Velocità:	300 - 2.000 min <sup>-1</sup>
Raffreddamento:	Sistema di raffreddamento a liquido integrato Opzione: chiller esterno
Tipo di giare di macinazione:	Con sistema di chiusura di sicurezza integrato, Opzione: coperchio di areazione
Materiale degli accessori di mac.:	Acciaio inox, carburo di tungsteno, ossido di zirconio
Programmi memorizzabili (SOP):	10
Dimensioni (L x A x P):	625 x 525 x 645 mm

\* In funzione del materiale in ingresso e dalla configurazione dello strumento

**PIÙ VELOCE – PIÙ FINE – E<sub>MAX</sub>**

**Benchmark test: Finezza e tempo di macinazione**

La granulometria su nanoscala può essere ottenuta solo con la macinazione ad umido (vedere articolo sulla macinazione colloidale a pag. 12). Per creare maggior frizione, viene utilizzato un elevato numero di sfere con diam. da 0,1 mm a 3 mm. **L'energia di macinazione ottenuta con E<sub>max</sub> è maggiore se utilizzato alla massima velocità di 2.000 min<sup>-1</sup>.** L'elevata energia prodotta viene completamente sfruttata in quanto il sistema di raffreddamento a liquido permette di ridurre al minimo il calore generato dall'attrito. Senza raffreddamento sia il campione che il mulino si surriscalderebbero eccessivamente. In funzione delle caratteristiche del campione e del metodo di macinazione, con tutti i mulini a sfere sul mercato, si raccomandano intervalli di raffreddamento di circa il 60% del tempo totale di macinazione, per prevenirne il surriscaldamento. E<sub>max</sub> invece è adatto alla macinazione in continuo senza intervalli grazie all'efficiente sistema di raffreddamento a liquido.

In un'altra prova comparativa, il pigmento di Biossido di Titanio è stato polverizzato sia nel mulino planetario a sfere che nell'E<sub>max</sub> (Giara da 50 ml in ossido di zirconio, 110 g di sfere da 0,1 mm Ø, 10 g di campione, 15 ml 1% Sodio fosfato).

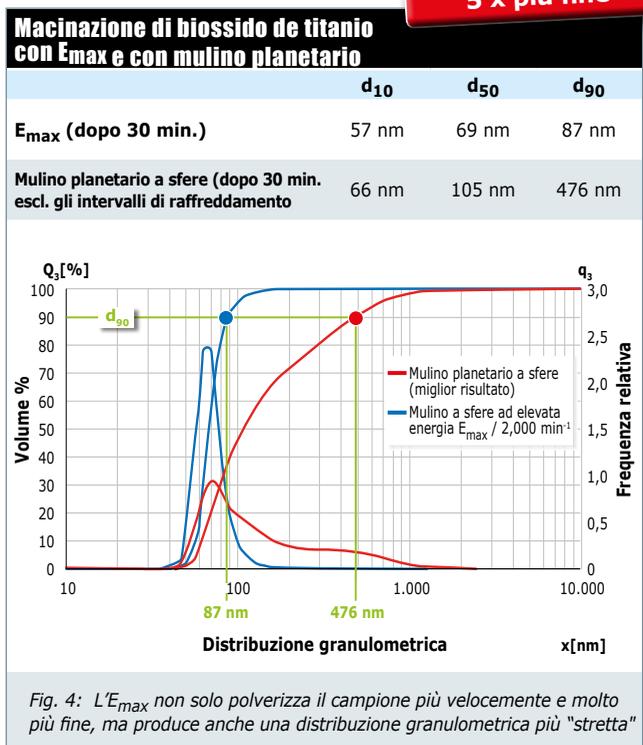
**Dopo soli 30 minuti il valore d<sub>90</sub> con E<sub>max</sub> era 87 nm.**

Nel mulino planetario a sfere invece dopo 90 minuti (solo 30 i minuti effettivi di macinazione a causa degli intervalli necessari al raffreddamento) la finezza finale raggiunta è stata di soli 476 nm. Di conseguenza E<sub>max</sub> ha raggiunto una finezza finale 5 volte superiore in 1/3 del tempo rispetto ad un mulino planetario a sfere (fig. 4).

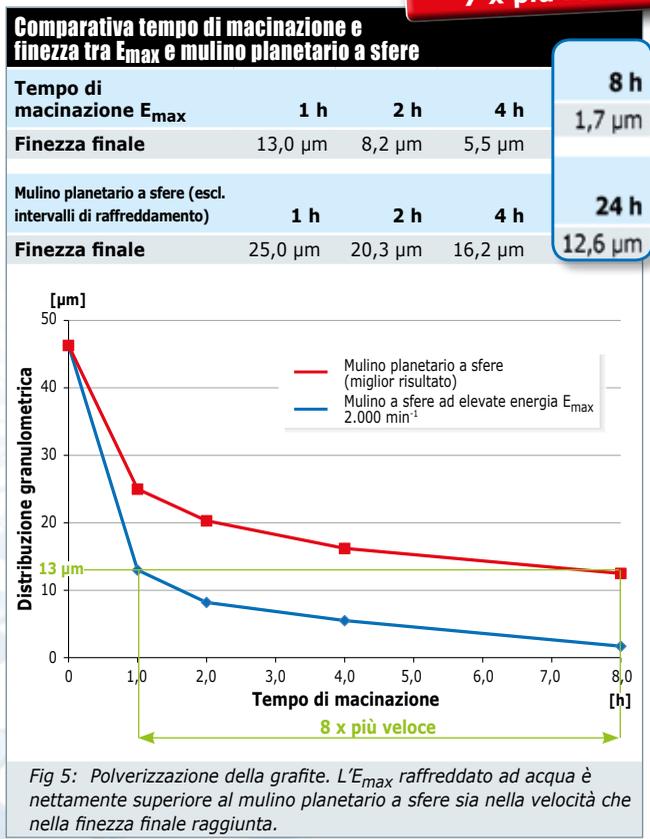
**Benchmark test: tempo di macinazione**

L'effettiva superiorità di E<sub>max</sub> viene confermata se si osservano i tempi di macinazione. Il grafico mostra i risultati ottenuti sulla macinazione di grafite nell'E<sub>max</sub> a 2,000 min<sup>-1</sup> (Giare da 50 ml in Ossido di Zirconio, 110 g di sfere da 0,1 mm Ø, 5 g di campione, 13 ml isopropanolo) ed in un mulino planetario a sfere. La grafite essendo un lubrificante, per la riduzione della granulometria richiede molta energia. **Dopo solo 1 ora di macinazione il 90% del campione processato con l'E<sub>max</sub> possiede una finezza di 13 microns.** La stessa finezza è stata raggiunta dal mulino planetario a sfere in 8 ore di macinazione (esclusi gli intervalli per consentirne il raffreddamento). Per quanto riguarda la finezza finale ottenuta con l'E<sub>max</sub> dopo 8 ore di macinazione, le sue elevate prestazioni sono evidenti: con un valore di d<sub>90</sub> pari a 1,7 µm la granulometria finale è risultata 7 x più fine di quella ottenuta con il mulino planetario a sfere (12,6 µm).

**Biossido di titanio:  
5 x più fine**



**Grafite:  
8 x più veloce  
7 x più fine**



## L'EFFICIENZA DEL LIQUIDO DI RAFFREDDAMENTO

Le giare di macinazione dell' $E_{max}$  vengono raffreddate da un **sistema di raffreddamento ad liquido**. Per ridurre ulteriormente la temperatura, il mulino può essere collegato ad un chiller esterno o semplicemente alla rete idrica. La figura 6 mostra il circuito di raffreddamento di  $E_{max}$ . **Il sistema di raffreddamento risulta molto efficiente in quanto il calore viene dissipato più facilmente in acqua che nell'aria**. Il software dell' $E_{max}$  permette all'utilizzatore di eseguire il processo di macinazione in un **determinato range di temperatura**, potendo inoltre selezionare la temperatura minima e quella massima. Quando si supera la temperatura massima il mulino si spe-

gne automaticamente e riparte una volta raggiunta la temperatura minima.

Il raffreddamento risulta un vantaggio essenziale, soprattutto se utilizzato con campioni termosensibili o se al campione viene aggiunto l'isopropanolo (fig. 7). L'isopropanolo evapora a 82°C, aumentando considerevolmente la pressione all'interno della giara.

Se la temperatura rimane sotto a questo valore, la pressione all'interno della giara e lo stress sulle guarnizioni vengono ridotti. Inoltre, le giare possono essere aperte rapidamente una volta terminata la macinazione.

### Circuito di raffreddamento $E_{max}$

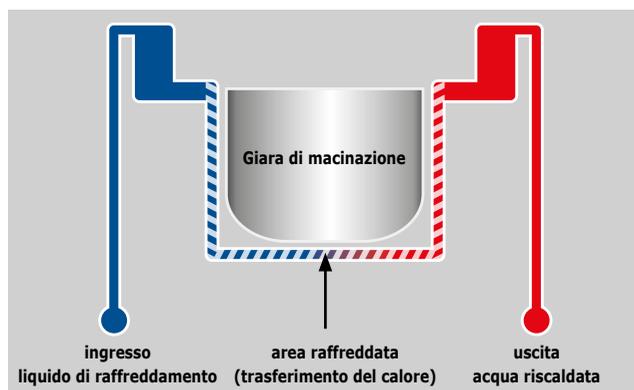


Fig. 6: la giara di macinazione viene raffreddata indirettamente tramite i supporti

### Macinazione ad umido di grafite con $E_{max}$

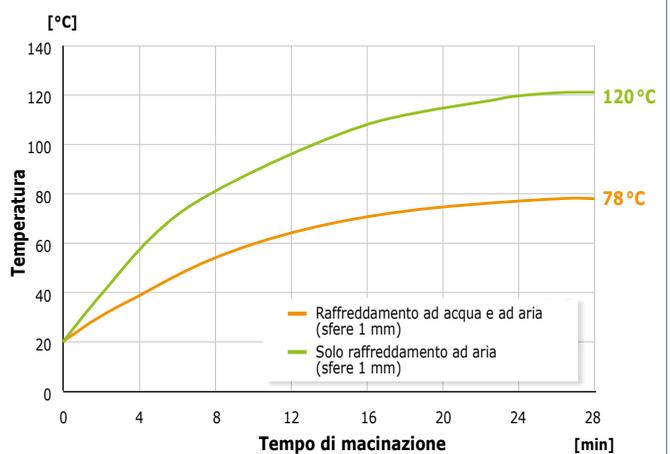


Fig. 7: quando si macina la grafite con l'isopropanolo (giara da 50 ml, sfere da 1 mm, 5 g di campione), il surriscaldamento può essere limitato a 78°C grazie al raffreddamento a liquido. Senza il raffreddamento ad acqua la temperatura sarebbe stata di 120°C.

## MASSIMA SICUREZZA

Durante lo sviluppo di  $E_{max}$  è stata rivolta particolare attenzione alla sicurezza operativa. La posizione delle giare di macinazione viene costantemente monitorata, in questo modo il mulino non può essere avviato se la giara non è posizionata correttamente. **Non è richiesto nessun contrappeso** per operare con  $E_{max}$  in quanto possibili sbilan-

ciamenti vengono identificati immediatamente perché costantemente controllati. In caso di grossi sbilanciamenti il mulino si arresta automaticamente. Il tempo di macinazione rimanente è visualizzato sul display ed il processo può essere riavviato una volta ripristinato il bilanciamento.

## Conclusioni

$E_{max}$  apre una nuova dimensione nella macinazione ad elevata energia. La combinazione unica di frizione ed impatto, unite alla rivoluzionaria velocità di 2,000  $\text{min}^{-1}$  permette la macinazione ultra fine in pochissimo tempo.

Grazie al sistema di raffreddamento a liquido  $E_{max}$  genera un'energia maggiore rispetto ai mulini planetari a sfere convenzionali, evitando qualsiasi surriscaldamento. Inoltre il raffreddamento ad acqua permette una significativa riduzione del tempo di macinazione rispetto ai mulini planetari a sfere non dotati di raffreddamento, i quali richiedono delle pause durante la macinazione. Gli esempi riportati in questo articolo dimostrano come  $E_{max}$  raggiunga le finezze finali desiderate in un tempo nettamente inferiore rispetto ai tradizionali mulini planetari a sfere.

CLASSICI STRUMENTI PER PROCESSI DI POLVERIZZAZIONE

# MULINI PLANETARI A SFERE

I mulini planetari a sfere RETSCH vengono utilizzati in tutti quei casi dove le esigenze sono più elevate in termini di velocità, finezza, purezza e riproducibilità. Essi polverizzano ed omogenizzano materiali soffici, medio-duri, molto-duri, fragile e fibrosi, raggiungendo molto facilmente una finezza al di sotto del micro range; nella macinazione ad umido invece è possibile arrivare addirittura al Nano range. Oltre ai classici processi di macinazione, questi mulini possono essere utilizzati anche per le macinazioni colloidali ed avere l'energia necessaria per alligazioni meccaniche.

## HIGHLIGHTS

- ◉ Potente e veloce macinazione fino al submicron range
- ◉ Risultati riproducibili grazie al controllo dell'energia e della velocità
- ◉ Adatti per prove di lunga durata e per l'uso in continuo
- ◉ Possibilità di macinare sia a secco che ad umido
- ◉ Ampia scelta di materiali e dimensioni di giare e sfere

## DIVERSI MODELLI ED UN AMPIO RANGE DI ACCESSORI

RETSCH offre una gamma completa di mulini planetari a sfere. **PM 100, PM 100 CM e PM 200 sono modelli da banco con 1 o 2 stazioni di macinazione.** Il PM 100 CM opera in modalità centrifuga, il rapporto di rotazione tra piatto e giara è di 1: -1. Questo permette una polverizzazione meno aggressiva con meno abrasione. **Il PM 400 è un modello da pavimento con 2 o 4 stazioni di macinazione,** esso permette di processare fino ad 8 campioni contemporaneamente impiando le giare. Per sfruttare una maggiore potenza necessaria per l'alligazione meccanica, è disponibile la versione "MA" con un rapporto di rotazione piatto/giara di 1: -2,5 o 1:-3.

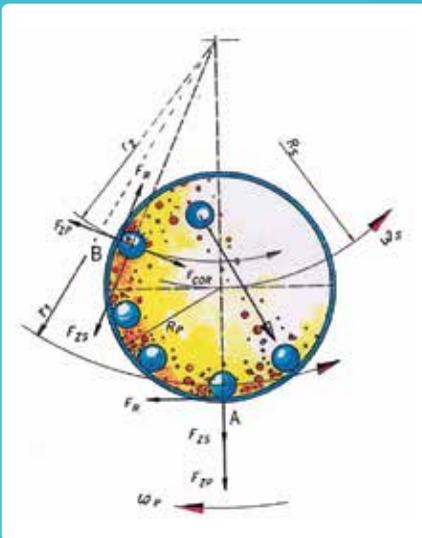
Per la macinazione colloidale è consigliato il sistema di chiusura di sicurezza delle giare, esso garantisce la tenuta, assicurando la massima sicurezza nel maneggiamento della giara.

Per macinazioni in condizioni inerti sono disponibili **coperchi di areazione**, che permettono l'introduzione di gas come argon o azoto nelle giare di macinazione.

**Il range delle giare di macinazione "comfort"** è stato appositamente progettato per un utilizzo di lavoro intensivo, macinazione ad umido, alti carichi meccanici ed alligazione meccanica. La possibilità di scelta tra **un ampio range di giare di differenti materiali e dimensioni (da 12 ml a 500 ml)**, e di sfere, permette una perfetta preparazione del campione, adattabile a qualsiasi tipo di applicazione. Grazie agli O-ring, tutte le giare di macinazione "comfort" sono a prova di tenuta polvere e tenuta gas.



## IL "PRINCIPIO PLANETARIO"



Nei mulini planetari a sfere, ogni giara è come se fosse un "pianeta" a se stante. Questo pianeta è posizionato su una piattaforma circolare. Quando la piattaforma gira, la giara ruota sul suo asse in senso contrario. Così si attivano la forza centrifuga e di Coriolis, portando ad una rapida accelerazione delle sfere di macinazione (vedi fig. 1).

**Il risultato è una elevatissima energia di polverizzazione.** L'altissima accelerazione delle sfere di macinazio-

ne da una parte all'altra della giara, produce forti impatti sul campione, che aggiunti alla frizione danno luogo ad una macinazione ultra-fine. Per la macinazione colloidale e altre applicazioni, il rapporto di rotazione tra il piatto rotante e la giara è 1: -2. Per applicazioni dove deve essere raggiunta una maggiore energia, possono essere utilizzati mulini planetari a sfere con differenti rapporti di rotazione oppure il nuovo nanomulino  $E_{max}$ .

Fig. 1: Nel mulino planetario a sfere, la forza centrifuga e la forza di Coriolis permettono macinazioni fino al submicron range.

## FINEZZA FINALE FINO AL NANO RANGE

La figura 2 mostra il risultato di macinazione di allumina ( $Al_2O_3$ ) a  $650 \text{ min}^{-1}$  nel PM 100. Dopo 1 ora di macinazione in acqua con sfere da 1 mm, il valore medio della distribuzione granulometrica è di circa 200 nm; dopo 4 ore di 100 nm. In

ulteriori prove il campione è stato inizialmente macinato per 1 ora con sfere da 1 mm e poi per 3 ore con sferette da 0,1 mm (vedi fig. 3). In questo caso è stato raggiunto un valore medio di circa 76 nm. I risultati di macinazione dimo-

strano che i mulini planetari a sfere possono produrre una distribuzione granulometrica all'interno del nano range. La scelta della corretta dimensione delle sfere gioca un ruolo fondamentale nel successo di una nanomacinazione.

### Macinazione Colloidale di allumina nel PM 100

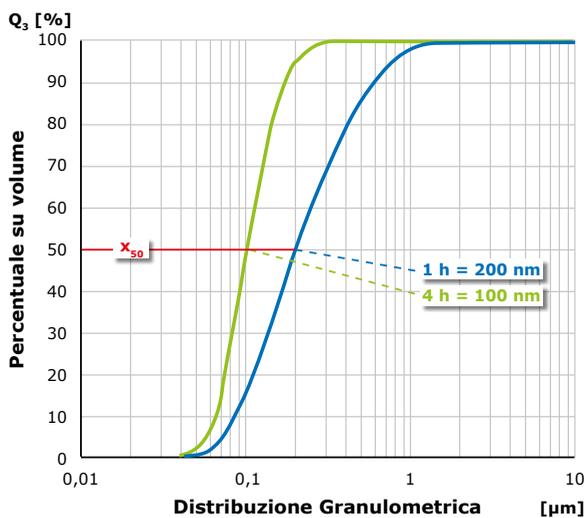


Fig. 2: Macinazione di Allumina in acqua con sfere da 1 mm dopo 1 ora (blu) e dopo 4 ore (verde)

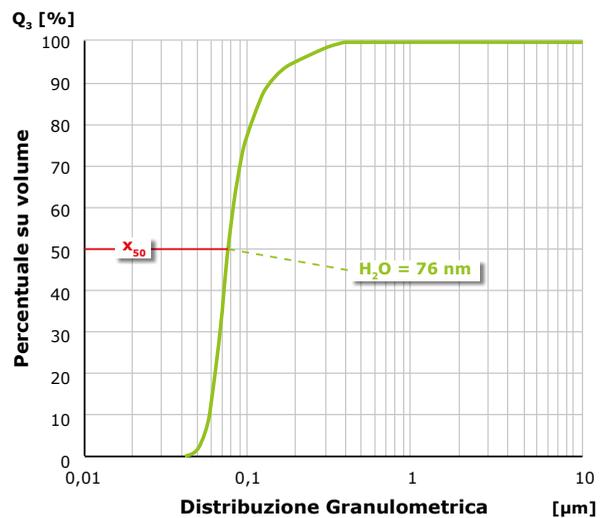


Fig. 3: Macinazione di Allumina con sfere da 1 mm (1 ora) E dopo con sfere da 0,1 mm (3 ore) in acqua

## Conclusioni

I mulini planetari a sfere sono particolarmente adatti per una omogeneizzazione classica e per processi di riduzione dove è necessaria un'elevata energia, sia per una macinazione a secco che ad umido; con quest'ultima possono essere raggiunte dimensioni attorno alla scala nanometrica in funzione delle caratteristiche del campione. RETSCH offre differenti modelli e svariati accessori, rendendo la gamma PM universalmente applicabile.

# ALLIGAZIONE MECCANICA



Mulino ad elevata energia Emax

Mulino Planetario a sfere PM 400

Leghe come l'amalgama nella medicina dentale o l'acciaio inox sono conosciute ed utilizzate in tutto il mondo. La strada tradizionale per produrre leghe è quella di fondere le sue componenti ad elevatissima temperatura. Se è richiesta una piccola quantità di tali leghe, non possono essere ottenute tramite fusione, si ottengono quindi tramite l'alligazione meccanica. Per queste applicazioni sono particolarmente indicati i mulini planetari a sfere. Essi forniscono un'elevata energia grazie agli effetti di impatto e frizione generati nella macinazione. Gli impatti meccanici sono molto utilizzati nella macinazione anche nella meccano-chimica ad esempio per produrre reazioni chimiche senza l'utilizzo di solventi.

## COSA ACCADE DURANTE UN'ALLIGAZIONE MECCANICA?

La prima lega (bronzo) fu prodotta intorno al 3.300 A.C. Oggi esiste una grande varietà di leghe, caratterizzate da proprietà nettamente ottimizzate. Alcuni componenti possono essere miscelati una volta fusi e rimanere disciolti a causa della formazione di strutture cristalline miste. Nuove proprietà, ad esempio la maggiore durezza delle leghe, sono il risultato di atomi dell'elemento lega che entrano nel reticolo cristallino dell'elemento di base. Grazie ai differenti diametri degli atomi, il reticolo cristallino risulta distorto, i piani di scorrimento disturbati ed il metallo diventa più duro ma anche più fragile.

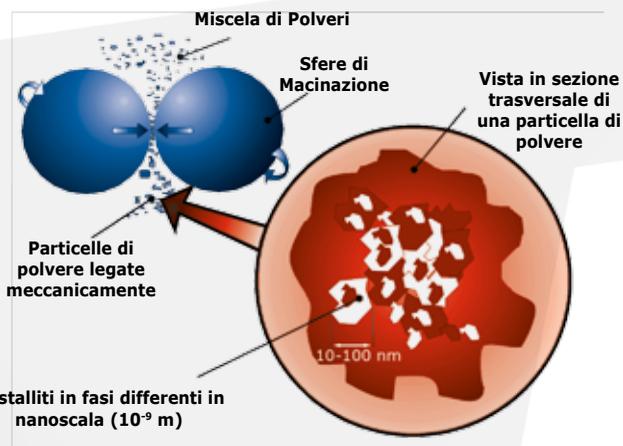


Fig. 1: Principio dell'alligazione meccanica

## ALLIGAZIONE MECCANICA CON I MULINI PLANETARI A SFERE

E se i componenti non possono essere legati tramite fusione? Se, ad esempio la temperatura di fusione è troppo diversa tra i componenti ed uno evapora prima che l'altro fonda? Alla fine degli anni 60 le leghe di ferro-nickel furono prodotte tramite alligazione meccanica per ottenere materiali estremamente termo-resistenti. L'alligazione meccanica utilizza processi cinetici intensi per fondere i componenti a formare polveri (fig. 1). **I mulini planetari a sfere ed il**

**NANO-mulino a sfere ad elevata energia E<sub>max</sub> producono energia dagli eventi di impatto.** Le particelle di polvere vengono deformate dalle sfere di macinazione e fuse tra loro da forti processi cinetici. Il mulino planetario a sfere PM 400 MA ha un rapporto di rotazione di 1:-3, dove gli effetti di impatto sono ulteriormente incrementati, rendendo il mulino particolarmente indicato per le alligazioni meccaniche.

MECCANO-CHIMICA

Inizialmente, particelle più larghe vengono prodotto in questo modo. Difetti di struttura aumentano le tensioni nei reticoli cristallini nelle singole particelle portando ad un elevato tasso di diffusione dei loro atomi, con conseguente aumento della fragilità che promuove la formazione di crepe e successive rotture della particelle. La diffusione è sostenuta da un aumento di temperatura generato dall' attrito nella giara. Un

modello di calcolo mostra come nei mulini planetari a sfere ci siano picchi di temperatura di 700 – 1.800 K e picchi di pressione di poche migliaia di atmosfere<sup>[1]</sup>. Il processo di fusione e piegatura continua fino a completa omogeneizzazione e si ottiene dopo pochi minuti o diverse ore. Sezioni cristalline dei componenti iniziali si formano nelle particelle di polvere, chiamate "nano cristalliti" (fig. 2 e 3).

Gli effetti meccanici generati dal mulino planetario a sfere, sono inoltre particolarmente indicati per la meccano-chimica. Gli impatti meccanici forniscono l'energia di attivazione richiesta per dare luogo alle reazioni chimiche. Queste complesse reazioni possono essere effettuate senza l'utilizzo di solventi. I tipi di reazioni variano notevolmente, da alogenazione ossidative o reazioni di Diels-Adler alla formazione di enammine, sintesi di glicosidi o reazioni regio-selettiva anche semplici. La meccanochimica può essere utilizzata, ad esempio, per la dealogenazione dei rifiuti (DMCR) che difficilmente sarebbe possibile con i metodi convenzionali.

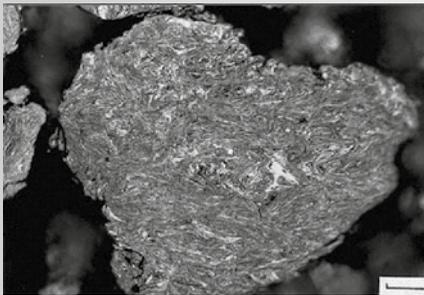


Fig. 2: Analisi al microscopio ottico della sezione di ferro-tantalio, rame meccanicamente legato (FeTaCu) distribuzione granulometrica della polvere dopo 5 h

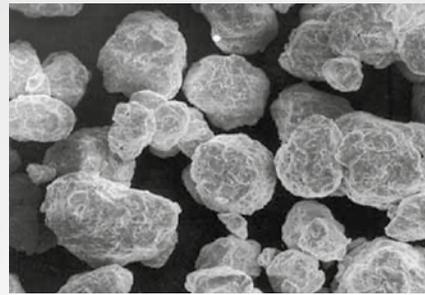
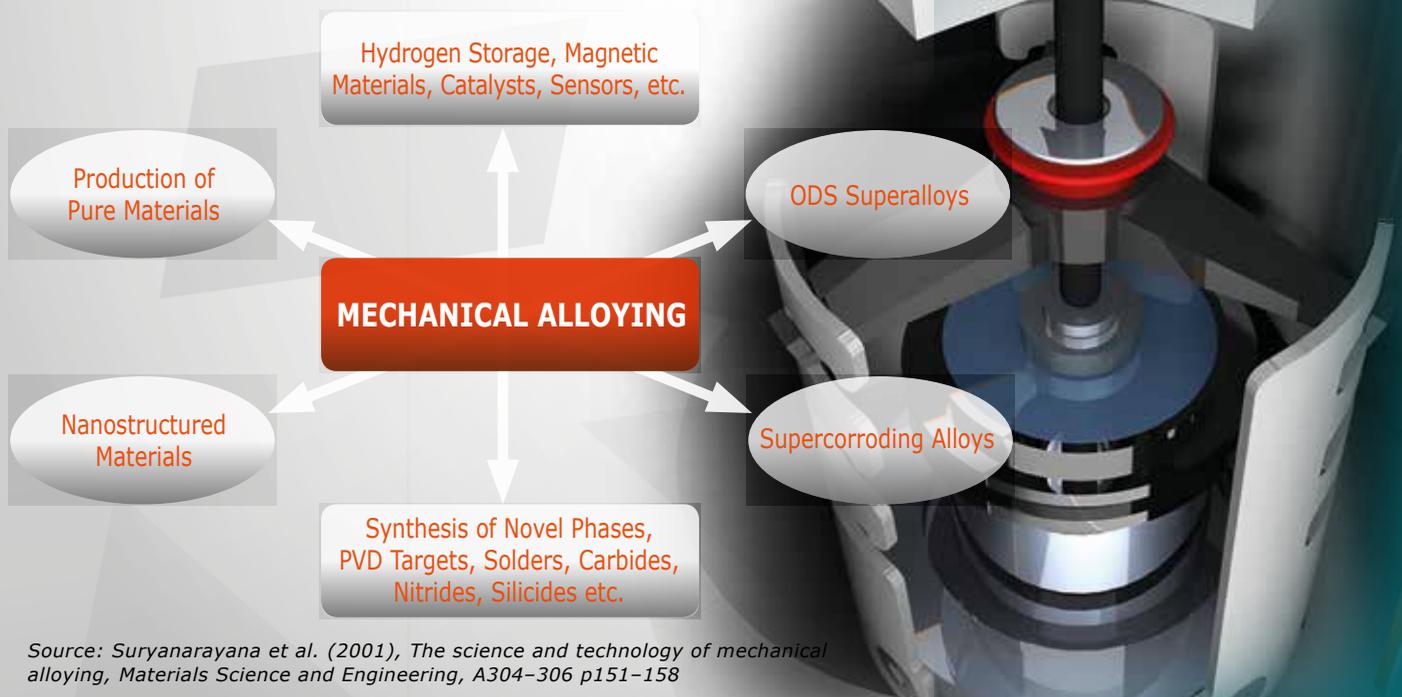


Fig. 3: Microscopio a scansione elettronica (SEM) immagine di Alligazione Meccanica FeTaCu polvere dopo 20 h (top view)

In questa direzione è possibile produrre leghe altrimenti impossibili tramite fusione e colata. Può essere selezionato qualsiasi rapporto di miscelazione. I mulini planetari a sfere RETSCH forniscono l'energia necessaria per l'alligazione meccanica e possono lavorare ad elevatissime velocità.

Per reazioni in atmosphere controllate o per lavorare in condizioni inerti, le giare di macinazione "comfort" della serie PM possono essere equipaggiate con sistemi di chiusura di sicurezza e coperchi areati. Anche il nuovo mulino ad elevata energia E<sub>max</sub> ha tutte le caratteristiche necessarie per le alligazioni meccaniche.

<sup>[1]</sup>Urakav FK (2000), Powder Technology 200, 107, 93



Source: Suryanarayana et al. (2001), The science and technology of mechanical alloying, Materials Science and Engineering, A304-306 p151-158

# PRODURRE NANOPARTICELLE CON LA MACINAZIONE COLLOIDALE

La cosiddetta macinazione colloidale è solitamente effettuata ad umido. Per ridurre ulteriormente la distribuzione granulometrica attraverso l'uso delle forze meccaniche, è richiesta un'elevata energia, possibile con  $E_{max}$  o con i mulini planetari a sfere. Risultati ancora migliori possono essere ottenuti con speciali utensili di macinazione ed andando ad ottimizzare il metodo di macinazione, individuando il corretto numero di sfere da utilizzare.

## MACINAZIONE PRELIMINARE

In funzione della pezzatura iniziale e della finezza finale che si intende raggiungere, può essere utile uno step di riduzione preliminare. Un processo di macinazione a secco con sfere >3 mm Ø andando a riempire la giara con 1/3 di sfere, 1/3 di campione, 1/3 di spazio vuoto. Il campione risultante viene poi utilizzato per la macinazione colloidale.



Giara di macinazione "comfort" per la serie PM con chiusura di sicurezza e coperchio d'areazione.

## COME EFFETTUARE UNA MACINAZIONE COLLOIDALE CON IL MULINO PLANETARIO A SFERE

Con i mulini planetari a sfere ed il nuovo  $E_{max}$ , RETSCH offre 2 soluzioni per qualsiasi tipo di macinazione dove sia richiesta un'elevata energia, per una macinazione colloidale fino al range nanometrico. Le giare di macinazione e le sfere, costruite in materiali anti-abrasione, come ossido di Zirconio, sono consigliate per questo tipo di applicazioni. **Il 60% del volume della giara viene riempito con le sfere di macinazione da 0,5 a 3 mm Ø**, fornendo così un'elevato numero di punti di frizione. Il campione occupa il rimanente 30% di spazio nella giara con un 10% di spazio libero. Con l'aggiunta di un liquido adatto (es. acqua, isopropanolo,...), la consistenza del campione dovrebbe divenire pastosa, fornendo le condizioni adatte per una macinazione colloidale.

Se è richiesta un'elevata finezza finale, è consigliato procedere con una seconda macinazione colloidale con sfere da 0,1 a 0,5 mm Ø, in particolare se nel primo processo sono state utilizzate sfere da 2 a 3 mm (le sfere devono essere circa 3 volte + grandi della granulometria del campione iniziale). Per separare il campione dalle sfere, utilizzare un setaccio con aperture dal 20 al 50% inferiore rispetto alla dimensione delle sfere) con un contenitore di raccolta. Per la successiva macinazione colloidale il 60% della giara deve essere riempita con piccole sfere. La sospensione proveniente dalla precedente macinazione è accuratamente miscelata con le sfere di macinazione fino al raggiungimento della consistenza desiderata.

## CONSISTENZA

Se il campione tende a gonfiarsi durante la macinazione ad umido, la consistenza del mix campione-sfere deve essere controllato durante la macinazione, aggiungendo più liquido

in caso ce ne fosse bisogno. Se a priori si sa che il campione tende a gonfiarsi, deve essere maggiormente diluito prima di iniziare la macinazione.

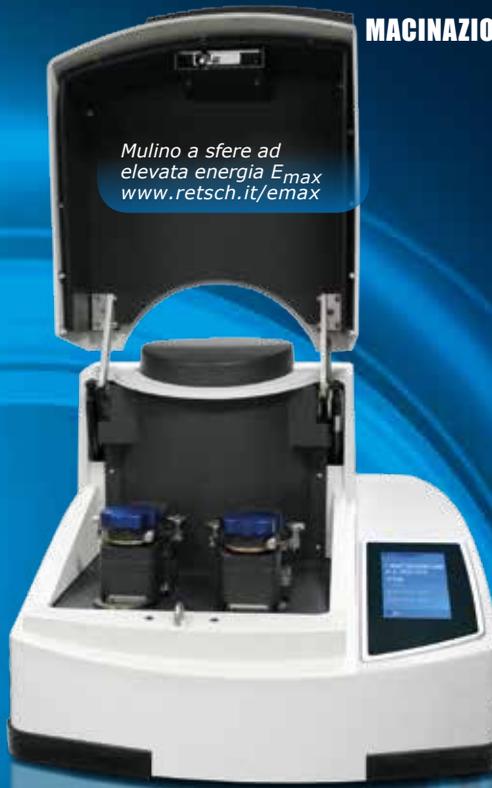
## RIMOZIONE DELLA GIARA DI MACINAZIONE

Particolare attenzione deve essere prestata durante la rimozione della giara dal mulino planetario, in quanto può arrivare ad una temperatura fino a 150 °C a causa del riscaldamento dovuto al processo di macinazione. Anche la pressione ha subito un aumento, pertanto è consigliato l'uso del sistema di chiusura di sicurezza per le giare "Comfort". Dopo il processo di macinazione le giare devono essere lasciate

raffreddare per un certo tempo. Le giare dell'  $E_{max}$  sono invece predisposte per un sistema di chiusura di sicurezza integrato. Inoltre, il sistema di raffreddamento di  $E_{max}$  previene il surriscaldamento delle giare. Entrambe le giare possono essere equipaggiate con coperchi opzionali d'areazione per poter lavorare in atmosfere inerti.



Mulino planetario a sfere  
PM 100  
[www.retsch.it/pm100](http://www.retsch.it/pm100)



Mulino a sfere ad  
elevata energia  $E_{max}$   
[www.retsch.it/emax](http://www.retsch.it/emax)

**Selezione degli strumenti di macinazione:**  
Materiale e dimensioni di giare e sfere  
Sfere 3 volte + grandi rispetto alla granulometria del campione iniziale

**Riempimento delle giare:**  
60% sfere, 30% campione, aggiunta di liquido fino all'ottenimento della consistenza desiderata

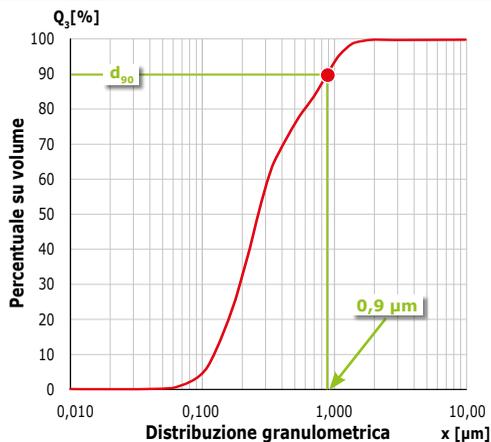
**Mezzi di dispersione:**  
e. g. isopropanolo, etanolo, sodio fosfato, acido diaminopimelico

**Processo di macinazione**

**Analisi della distribuzione granulometrica**

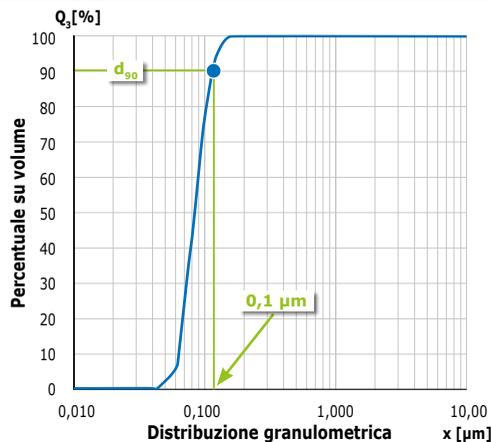
**Raffreddamento:**  
Le giare non devono essere aperte finchè non hanno raggiunto la temperatura ambiente

**Macinazione di rocce (granite) con PM 100**



La giara di macinazione da 50 ml in ossido di zirconio è stata riempita con 30 ml di sferette in ossido di zirconio da Ø 2 mm, 21 g di campione (1/3 del volume della giara) e da 15 ml di acqua. Dopo 2 ore di macinazione nel PM 100 a 550 min<sup>-1</sup>, il valore  $d_{90}$  è risultato 0,9 µm.

**Macinazione di allumina con Emax**



Un 20% del peso della sospensione di allumina in 0,5% di sodio fosfato è stato polverizzato in  $E_{max}$ . Il materiale iniziale aveva una finezza di 1,2 µm ( $d_{90}$ ). 30 g di sospensione è stata mixata in una giara da 50 ml con 110 g di sfere di macinazione da Ø 0,1 mm, 30 minuti di macinazione a 2.000 min<sup>-1</sup>. Il valore ottenuto è stato 0,11 µm ( $d_{90}$ ).

# MULINO A VIBRAZIONE MM 400

IL "TUTTO-FARE" PER PICCOLE QUANTITA'

Macinazione -  
Miscelazione -  
Disgregazione  
Cellulare

## HIGHLIGHTS

- Macinazione riproducibile ed efficiente miscelazione ed Omogeneizzazione
- Potente macinazione con max. 30 Hz fino a 20 campioni contemporaneamente
- Giare di macinazione con coperchio a vite che permettono una macinazione ad umido o criogenica
- 9 programmi memorizzabili
- Dimensioni delle giare di macinazione da 1,5 ml a 50 ml, oltre ad adattatori per vials di reazione
- KryoKit per il raffreddamento delle giare di macinazione a -196 °C.

**Non importa quale sia il campione, capelli, pastiglie, legno, plastiche, minerali, ecc. Il Vibromulino MM 400, ed il modello base MM 200, sono mulini "tutto fare" per la macinazione, miscelazione ed omogeneizzazione di piccoli campioni. Essi possono arrivare ad una finezza addirittura fino a 5 microns, e processare campioni duri, medio-duri, fragili ed anche soffici, elastici o fibrosi, in modo veloce ed affidabile.**

Vibromulino MM 400  
[www.retsch.it/mm](http://www.retsch.it/mm)

## PREPARAZIONE DEL CAMPIONE DI VEGETALI

Le piante possono essere utilizzate per differenti scopi, ad esempio, come cibo, nell'industria della carta e per la produzione di combustibili alternativi. Grazie alla loro componente legnosa (lignina), le piante sono spesso fibrose. La lignina è una sostanza molto stabile che può creare problemi, ad esempio, nel mangime per animali o nella produzione di bioetanolo. Con la finalità di apportare miglioramenti in queste aree, i ricercatori hanno bisogno di capire esattamente come la lignina viene pro-

dotta dalle piante. Con una crescente comprensione del processo di produzione di sostanze vegetali, il contenuto o la struttura della lignina può essere cambiata attraverso la manipolazione biotecnologica mirata. Piante con lignina modificata possono portare ad una migliore digeribilità per l'alimentazione del bestiame o la decolorazione di queste piante nella fabbricazione della carta è più facile, e quindi più ecologico. Nella ricerca solo una piccola quantità di materiale vegetale è disponibile

per essere analizzato. L' MM 400 è il mulino ideale per la preparazione di piccole quantità di campioni. 6 Pezzi di thale cress (*Arabidopsis thaliana*) sono stati macinati in MM 400 ad una finezza finale di 100 microns per conseguenti analisi. Anche dopo un tempo di macinazione breve, il campione è risultato omogeneo, senza componenti grossolani o fibre che se trovati avrebbero potuto interferire con le successive analisi.



6 pezzi di *Arabidopsis thaliana* (circa. 2 g)



dopo una prefrantumazione manuale



e dopo una macinazione fine nell' MM 400 giara in acciaio inox 50 ml, sfera in acciaio inox 1x25 mm, 30 Hz, 2 min



## TECNOLOGIA

Le giare oscillano con un movimento orizzontale. L'inerzia delle sfere di macinazione durante il movimento oscillatorio fornisce alle stesse una potente forza d'impatto. **Il Campione viene polverizzato da pochi secondi fino a qualche minuto, risultando inoltre anche molto omogeneo.** Se vengono utilizzate molte sfere, viene amplificato l'effetto frizione, il quale permette la distruzione di cellule biologiche.

## ELEVATA FLESSIBILITA' GRAZIE ALL'AMPIO RANGE DI ACCESSORI

La **svariata gamma di dimensioni delle giare di diversi materiali** rende il vibromulino uno strumento estremamente versatile. Le giare in acciaio inox vanno da 1,5 a 25 ml (MM 200) e fino a 50 ml (MM 400). Per applicazioni dove è importante mantenere l'ambiente di lavoro neutro, magari privo di possibili contaminazioni da metalli pesanti, sono disponibili materiali come il Carburo di Tungsteno, L'Ossido di Zirconio, l'Agata

e il PTFE. Le giare di macinazione per l'MM 400 permettono di **lavorare in condizioni criogeniche**, grazie alle guarnizioni e ai coperchi con chiusura a vite. Per diverse applicazioni RETSCH consiglia l'utilizzo del "KryoKit", dove le giare possono essere raffreddate in Azoto liquido fino a -196°C andando ad infragilire il campione all'interno della giara. Il vibromulino è spesso utilizzato per la **disgregazione cellulare e per**

l'**estrazione di DNA/RNA**. Per questa applicazione, sono disponibili speciali adattatori nei quali è possibile alloggiare fino a 20 vials di reazione. I parametri di macinazione possono essere settati comodamente da display. Sono inoltre memorizzabili fino a 9 programmi di macinazione, in modo da facilitare e velocizzare i processi di macinazione di routine.

## Conclusioni

I mulini a vibrazione RETSCH MM 200 e MM 400 sono versatili, compatti e da banco, progettati specificatamente per la macinazione di piccole quantità di campione. Essi permettono di ottenere polveri finali omogenee e sospensioni in pochi secondi essendo inoltre ideali anche per la rottura delle cellule.

# CRYOMILL

## MACINAZIONE CRIOGENICA

Per materiali duttili ed elastici, come per campioni con un'elevata percentuale di componenti volatili, la macinazione criogenica è l'unica soluzione per raggiungere una elevata finezza, richiesta da particolari analisi. Attraverso il raffreddamento con Azoto liquido a -196 °C, il campione viene infragilito, andando così a migliorare le proprietà di rottura e permettendo una macinazione addirittura fino a 5 microns. Le sostanze volatili contenute nel campione vengono preservate e possono essere identificate qualitativamente; inoltre, si evita la decomposizione derivante dal surriscaldamento.

### HIGHLIGHTS

- L'incremento della frequenza a 30 Hz assicura un'elevata energia garantendo macinazioni fino a 5 µm
- Nessun contatto diretto con l'Azoto liquido per un utilizzo in completa sicurezza
- Il sistema Autofill garantisce un basso consumo di Azoto liquido
- Fino a 9 programmi memorizzabili
- Possibile comunque la macinazione a temperatura ambiente  
temperature is possible

**Veloce –  
Sicuro –  
Criogenico**



CryoMill  
[www.retsch.it/cryomill](http://www.retsch.it/cryomill)

## SICURO E FLESSIBILE



Un particolare vantaggio del CryoMill è l'elevata sicurezza garantita durante il suo utilizzo. **L'utilizzatore non può entrare in diretto contatto con l'Azoto liquido.** L'azoto liquido viene insufflato automaticamente all'interno del mulino attraverso il sistema autofill, che controlla la temperatura attraverso un sensore garantendo un ricircolo continuo di LN<sub>2</sub> garantendo in

ogni momento la quantità necessaria per mantenere la temperatura di -196 °C durante la macinazione. **Questo si traduce in un ridotto consumo di azoto liquido garantendo risultati riproducibili.** Con una frequenza di vibrazione di 30 Hz, il mulino può macinare un'ampia gamma di materiali in maniera incredibilmente efficiente in pochissimi minuti. Il principio di macinazione è l'impatto, ma anche frizione, che permettono di raggiungere **finezze finali molto inferiori rispetto ad altri mulini criogenici.** La macinazione può essere interrotta con la possibilità di modificarne i parametri dissipano così il riscaldamento all'interno della giara dovuto alla frizione. Il mulino può operare anche senza l'utilizzo dell'azoto liquido, funzionando esattamente come un normale mulino a vibrazione.



Grazie all'ampio range di accessori, le applicazioni del Cryomill sono molteplici. Per l'insufflaggio dell'Azoto RETSCH offre una **dewar da 50 litri per LN<sub>2</sub> con valvola di sicurezza.** Le giare di macinazione da 5 a 50 ml possono essere chiuse ermeticamente, in modo che nemmeno la millesima parte di campione venga persa.

Per applicazioni che richiedono un ambiente di macinazione neutrale e privo di contaminazioni da metalli pesanti, sono disponibili giare da 25 ml in ossido di Zirconio o PTFE. L'offerta è completata con sfere di differenti dimensioni e materiali, e da **adattatori per l'utilizzo fino a 6 vials di reazione da 2 ml.**

Per garantire la massima flessibilità di adattamento a diverse tipologie di campioni, pre-raffreddamento, tempo di macinazione ed intervalli possono essere liberamente programmati. Durante il processo di pre-raffreddamento la giara oscilla a soli 5 Hz, permettendo alla sfera di rimanere in movimento evitando che congeli all'interno di campioni umidi. Grazie alla possibilità di memorizzare fino a 9 programmi (SOPs), i processi di routine vengono semplificati e velocizzati. Il display a LEDs permette di controllare la macinazione in ogni momento, anche a macinazione in corso.

## Conclusioni

Il CryoMill di RETSCH ha dimostrato di essere lo strumento ideale per la macinazione di prodotti termo-sensibili con una temperatura di transizione vetrosa inferiore alla temperatura ambiente. La finezza finale raggiunta è significativamente più alta rispetto a qualsiasi altro mulino criogenico. Per materiali con un'elevata percentuale di componenti volatili, il Cryomill risulta lo strumento ideale per la preparazione di questo tipo di campione.

## MACINAZIONE DELICATA DI PET



Le bottiglie in PET sono molto diffuse ed ampiamente utilizzate nel packaging di bevande in quanto molto leggere e robuste. I liquidi contenuti all'interno di queste bottiglie, possono contenere tracce dannose di acetaldeide. Queste sostanze, anche se in piccolissime quantità (nell'ordine di 10-20 ppm), hanno un effetto negativo sul gusto. Inoltre, la qualità del processo di controllo dei produttori di packaging per le bottiglie delle bevande comporta un'elevata spesa in termini di tempo per l'implementazione di test qualitativi. Da quando l'acetaldeide è stata individuata come un'elevato componente volatile, deve essere assolutamente evitato qualsiasi stress termico sui campioni di PET precedentemente all'analisi. **La macinazione criogenica a -196 °C è il metodo ideale per una delicata, e riproducibile macinazione di materiali elastici.** La perdita di calore indotta di acetaldeide durante il processo di macinazione viene impedita dal sistema di raffreddamento. La macinazione criogenica risulta ideale nella preparazione del campione per le analisi cromatografiche di routine in laboratori certificati.



La **riduzione preliminare** di PET può essere effettuata con **Mulini a taglienti come il RETSCH SM 300** particolarmente indicati per questi scopi. Questo mulino garantisce un'adeguata riduzione preliminare fino a circa 5 mm senza stress termici sul campione. Partendo da questo campione pre-ridotto, una finezza < agli 0,5 mm può essere facilmente raggiunta grazie ad un secondo step di macinazione nel CryoMill. La macinazione di un campione di 6 g di PET pre-macinato ha una durata di soli 5 minuti.



*Preforme in PET dopo una riduzione preliminare nel mulino SM 300 (centro) - 1200 min<sup>-1</sup>, setaccio da 6 mm, rotore parallelo.*

*Dopo il secondo step di macinazione nel CryoMill (sinistra) - giara da 50 ml in acciaio inox, sfera da 25 mm in acciaio inox, 30 Hz, 2 x 2 min con 1 min di raffreddamento intermedio*

# ESEMPI APPLICATIVI

Gli innovativi mulini planetari a sfere RETSCH soddisfano e superano tutti i requisiti per una rapida e riproducibile macinazione fino al sub-micron. Essi vengono utilizzati per diversi processi, dai tipici campioni di routine, alla macinazione colloidale fino ad applicazioni per lo sviluppo di materiali avanzati.



## MULINI PLANETARI A SFERE

Campione	Accessori	Parametri	Quantità ingresso	Finezza Finale
Ceneri	Giara da 500 ml in ossido di zirconio, 1100 g di sfere in ossido di zirconio da 1 mm, 120 ml di acqua	600 min <sup>-1</sup> , 2 h	100 g	<1,3 µm
Catalizzatori	Giara da 250 ml in ossido di zirconio, 15 sfere da 20 mm in ossido di zirconio	450 min <sup>-1</sup> , 2 min	130 ml	<63 µm
Ceramiche	Giara da 500 ml in ossido di zirconio, 25 sfere da 20 mm in ossido di zirconio, alcune gocce di isopropanolo	280 min <sup>-1</sup> , 20 min	250 g	<20 µm
Fanghi	Giara da 500 ml acciaio inox, 25 sfere da 20 mm acciaio inox	500 min <sup>-1</sup> , 8 min	172 g	<110 µm
Ossido di Manganese	Giara da 250 ml in ossido di zirconio, 550 g di sfere da 2 mm in ossido di zirconio, 100 ml 0,5% NaPO <sub>3</sub>	480 min <sup>-1</sup> , 2 h	40 g	<0,7 µm
Minerali	Giara da 500 ml in ossido di zirconio, pre-macinazione con 8 sfere da 30 mm in ossido di zirconio, rifinitura con 160 sfere da 30 mm in ossido di zirconio	400 min <sup>-1</sup> , 3 min e 20 min	150 g	<45 µm
Polimeri Semi-cristallini	Giara da 50 ml in ossido di zirconio, 110 g di sfere da 2 mm in ossido di zirconio, 20 ml di acqua	530 min <sup>-1</sup> , 2 h	2 g	<0,6 µm
Paglia	Giara da 500 ml in ossido di zirconio, 160 sfere da 10 mm in ossido di zirconio	400 min <sup>-1</sup> , 75 min	50 g	<50 µm
Super-assorbenti	Giara da 500 ml in ossido di zirconio, 160 sfere da 10 mm in ossido di zirconio	280 min <sup>-1</sup> , 30 min	100 g	<50 µm



## MULINO A SFERE AD ELEVATA ENERGIA E<sub>max</sub>

Campione	Accessori	Parametri	Quantità ingresso	Finezza finale
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Giara da 50 ml in ossido di zirconio, 110 g di sfere da 0,1 mm in ossido di zirconio, in 0,5% sodio fosfato	2.000 min <sup>-1</sup> , 15 min	23 g 20% con sospensione di peso	<0,14 µm
Carbone	Giara da 125 ml in acciaio inox, 54 sfere da 10 mm in acciaio inox	1.500 min <sup>-1</sup> , 10 min	26 g	<17 µm
Grafite	Giara da 50 ml in ossido di zirconio, 110 g sfere da 1 mm in ossido di zirconio, 13 ml isopropanolo	2.000 min <sup>-1</sup> , 8 h	5 g	<1,7 µm
Pigmento TiO <sub>2</sub>	Giara da 50 ml in ossido di zirconio, 110 g di sfere da 0,1 mm in ossido di zirconio, 15 ml 1% sodio fosfato	2.000 min <sup>-1</sup> , 30 min	10 g	<0,087 µm
Quartz	Grinding jar 125 ml stainless steel, 18 x grinding balls 15 mm stainless steel	1.000 min <sup>-1</sup> , 30 min	66 g	<16 µm



I Mulini a Vibrazione RETSCH sono adatti per la macinazione e l'omogeneizzazione di una vasta gamma di materiali. Anche se i prodotti sono duri, medio-duri, morbidi, fragili, elastici o fibrosi, possono essere macinati a secco o ad umido o addirittura in criogenia.

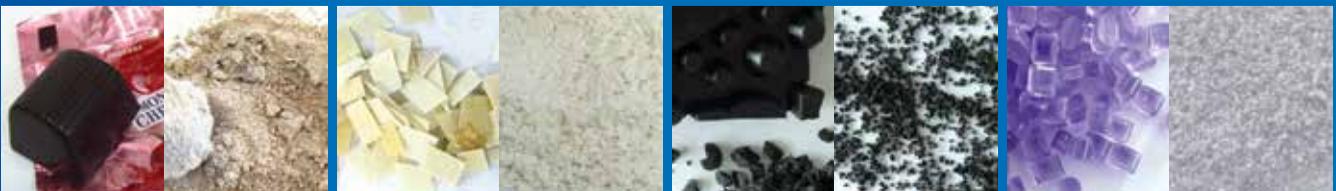
### MULINO A VIBRAZIONE MM 400

Campione	Accessori	Parametri	Quantità ingresso	Finezza Finale
Cromo-Leghe	Giara da 25 ml WC, 3 sfere da 20 mm WC	30 Hz, 2 min	20 g	<250 µm
Tessuti di Rane	Giara da 50 ml in acciaio inox, 3 sfere da 12 mm in acciaio inox, Giare e campione pre-raffreddati in LN <sub>2</sub>	30 Hz, 2 min	10 g	Omogenizzato
Muschio	Giara da 50 ml acciaio inox, 3 sfere da 15 mm in acciaio inox	30 Hz, 3 min	1 g	<150 µm
Parti di insetti	Adattatori per 5 Vials di reazione da 2 ml in PTFE, 0,5 g di sferette in vetro (0,75 – 1 mm)	30 Hz, 3 min	1-2 pezzi	Omogenizzato
Compresse	Giara da 50 ml acciaio inox, 6 sfere da 12 mm in acciaio inox	30 Hz, 5 min	15 g	<150µm
Legno	Adattatori per 5 Vials di reazione da 2 ml in PTFE, 3 sfere da 7 mm acciaio inox	30 Hz, 3 min	1 pezzo	<200 µm



### CRYOMILL

Campione	Accessori	Parametri	Quantità ingresso	Finezza Finale
Caoutchouc	Giara da 50 ml in acciaio inox, 1 sfera da 25 mm in acciaio inox, 10 min pre-raffreddamento	30 Hz, 2 min	4 g	<1 mm
Cioccolato	Giara da 50 ml in acciaio inox, 1 sfera da 25 mm in acciaio inox, 10 min pre-raffreddamento	30 Hz, 2 min	1 pezzo	<0,5 mm
Carta	Giara da 50 ml in acciaio inox, 1 sfera da 25 mm in acciaio inox, 6 min pre-raffreddamento	25 Hz, 8 x 2 min, 30 sec intervallo	4 g	<400 µm
PET granulato	Giara da 50 ml acciaio inox, 1 sfera da 25 mm acciaio inox, 10 min pre-raffreddamento	25 Hz, 8 x 4 min, 30 sec intervallo	10 g	<350 µm
Suola scarpa	Giara da 50 ml acciaio inox, 1 sfera da 25 mm in acciaio inox, 10 min pre-raffreddamento	30 Hz, 4 x 2 min, 1 min intervallo	6 g	<400 µm



# RETSCH

## DEFINISCE GLI STANDARD

### NELLA PREPARAZIONE E NELLA CARATTERIZZAZIONE DEI SOLIDI

RETSCH è il principale produttore a livello mondiale di strumenti per la macinazione, omogeneizzazione e misura della granulometria di solidi nell'ambito del controllo di qualità.

#### MACINAZIONE

- Frantoi a Mascelle
- Mulini a Rotore
- Mulini a Taglienti
- Mulini a Coltelli
- Mulini a Dischi
- Mulini a Mortaio
- Mulini a Vibrazione
- Mulini a Sfere

#### DISTRIBUZIONE GRANULOMETRICA

- Setacciatori a Vibrazione
- Setacci
- Software applicativi
- Analizzatori granulometrici ad immagine dinamica (RETSCH TECHNOLOGY)

#### SISTEMI AUSILIARI

- Divisori di Campioni
- Dosatori Vibranti
- Essiccatori Rapidi
- Bagni ad Ultrasuoni
- Presse pastigliatrici



**VERDER**  
scientific

CARBOLITE ELTRA **Retsch** **Retsch**  
TECHNOLOGY

Come parte del gruppo VERDER, la divisione scientifica VERDER SCIENTIFIC definisce gli standard nello sviluppo, nella produzione e nella vendita di attrezzature da laboratorio. Questi strumenti sono utilizzati in dipartimenti come il controllo qualità e la ricerca & sviluppo per la preparazione e l'analisi dei solidi.