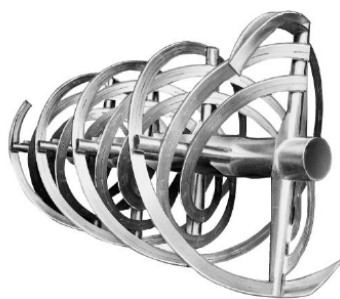


Contributo alla realizzazione di un essiccatore sotto vuoto a corpo fisso di nuova concezione.

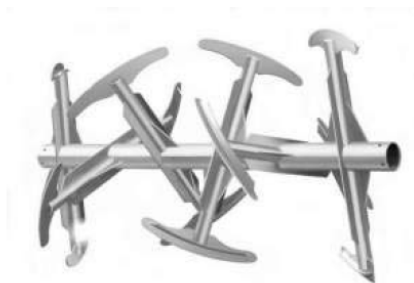
Il presente documento descrive in sintesi lo studio effettuato dall'Ing. M. Garbero e dal Prof. M. Vanni del Politecnico di Torino¹ sulla configurazione e sulle scelte costruttive adottate da Italtvacuum per la realizzazione del nuovo essiccatore sotto vuoto a corpo fisso Planex System® (Brevetto N° US 5,857,264).

Tipologia di Girante

Nella pratica industriale gli agitatori che vengono utilizzati negli essiccatori cilindrici orizzontali, per garantire un'opportuna miscelazione del solido, sono del tipo *Ribbon* (nastro) o *Paddle* (pale).



(1a) - Ribbon



(1b) - Paddle

Figura 1 -
Tipi di
girante

Il tipo *Ribbon*, mostrato in figura 1a, offre un elevato grado di miscelazione sia in direzione radiale che assiale senza rilevanti fenomeni di riscaldamento del prodotto. La pulizia della girante è però difficoltosa, così come lo smontaggio delle lame per un'eventuale manutenzione.

Il tipo *Paddle*, mostrato in figura 1b, risente meno di questo problema, ma in proporzione, raggiunge un minor grado di mixing, garantendo una buona miscelazione in senso radiale ma non in senso assiale.

Per il processo di essiccamento sottovuoto di polveri, più che un elevato grado di mixing, occorre portare le particelle di solido regolarmente alla superficie del letto granulare, in modo da ottimizzare l'evaporazione di solvente. Il continuo rinnovamento della superficie è garantito da entrambe le giranti. Tuttavia il tipo paddle appare più adatto in quanto l'impiego nell'industria farmaceutica e chimico-farmaceutica impone una frequente pulizia dell'apparecchio. Il consumo di energia delle due giranti è comparabile, anche se dipende dal numero di lame e di pale utilizzate.

In base a queste considerazioni, valutando anche il vantaggio di avere un apparecchio di facile costruzione, manutenzione e pulizia Italtvacuum ha scelto di adottare una girante di tipo *paddle*.

Miscelazione del prodotto

Con il fine di migliorare l'agitazione e consentire un efficace rinnovamento delle particelle di solido sulla superficie del letto granulare, Italtvacuum ha scelto di sviluppare all'interno dell'essiccatore, oltre al moto rotazionale, un *moto planetario*. Il moto planetario consiste in una lenta rotazione della girante, di diametro ridotto rispetto a quello della camera, attorno all'asse dell'essiccatore che per l'apparecchio in questione non coincide con l'asse dell'agitatore (vedi Figura 2).

Per l'essiccatore in esame si è optato per un rapporto tra diametro della girante e diametro interno della camera di essiccamento di poco superiore a 0,5. Alla base di tale scelta deriva la considerazione che il diametro spazzato dalla girante deve essere tale da poter miscelare con efficacia il solido in qualunque zona dell'essiccatore durante il movimento planetario dell'agitatore e per far ciò deve essere maggiore di $D/2$.

RELAZIONE TECNICA

Dall'altro lato risulta però conveniente limitare le dimensioni della girante così da poter lavorare con velocità di rotazione più elevate. L'agitatore in questione è costituito da quattro blocchi facilmente smontabili, portanti ciascuno un'unica pala per la miscelazione del solido. La scelta di limitare il numero di pale (in tutto 4) deriva dall'esigenza di ridurre il più possibile le sollecitazioni sull'albero della girante, provocate dall'azione delle pale all'interno della massa solida.

Come analizzeremo in seguito, queste sollecitazioni costituiscono una tra le voci principali per quel che riguarda la potenza dissipata all'albero motore. Adottando tale configurazione risulta necessario aumentare le dimensioni dell'albero, al fine di evitare possibili sbandieramenti e vibrazioni durante il moto planetario, ma consente di risparmiare energia.

Raddoppiando infatti il numero di pale (da 4 a 8) si stima un incremento della potenza dissipata di circa il 30 %.

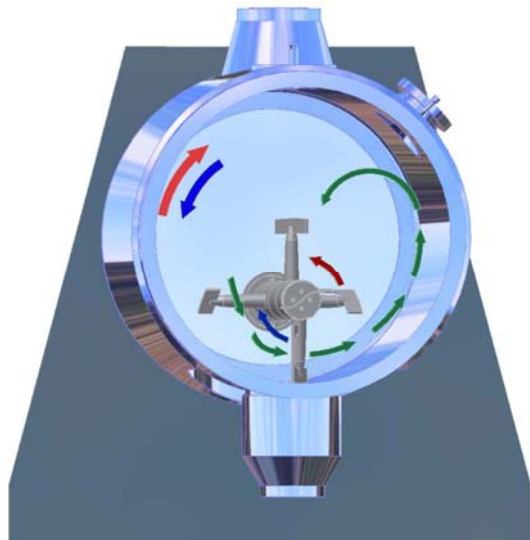


Figura 2 - Agitatore *paddle* a 4 pale

La forma delle pale esterne infine è pensata in modo tale da ridurre al minimo lo spazio tra profilo dell'agitatore e il guscio dell'essiccatore per favorire il distacco di grumi di materiale. La scelta dell'inclinazione delle pale è stata fatta in modo da compensare approssimativamente la spinta in direzione assiale sulla girante: un calcolo preciso di tale spinta non è però possibile, in quanto dipende dall'attrito fra solido granulare e paletta, che varia moltissimo con le condizioni di processo e non è quantificabile a priori.

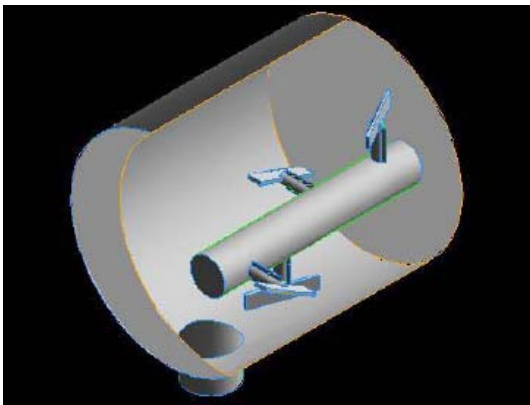


Figura 3 - Bocchello di scarico

La figura 3 mostra una disposizione con bocchello di scarico posto in basso sulla superficie cilindrica del recipiente fra la prima e la seconda pala: tale disposizione fa sì che lo scarico venga periodicamente alimentato ogni volta che l'agitatore si porta sul fondo del cilindro. Grazie ad uno specifico ciclo di scarico che prevede una movimentazione a pendolo dell'agitatore, con opportuni sensi di rotazione alternati ed alla luce molto ridotta tra profilo dell'agitatore e parete della camera d'essiccazione, è possibile ottenere lo scarico totale del prodotto.

Consumi di potenza e surriscaldamento del prodotto

Per la macchina in esame il consumo complessivo di potenza dipende dall'azione combinata del moto rotazionale e planetario dell'albero della girante all'interno della massa di solido.

La potenza dissipata per il solo moto planetario durante il processo è poco superiore a quella che sarebbe necessaria per movimentare le parti meccaniche in assenza di solido. Questo deriva dal fatto che il solido è mosso essenzialmente dal movimento della girante attorno al proprio asse e che la rotazione planetaria avviene lentamente. Ne consegue che la potenza dissipata dalla rivoluzione planetaria dipende essenzialmente dal peso delle parti meccaniche e dall'attrito per il loro movimento.

RELAZIONE TECNICA

Viceversa la quantità di energia dissipata dal movimento rotazionale della girante attorno al proprio asse non è facilmente quantizzabile. Oltre che dalla geometria delle palette, essa dipende dal tipo di solido, dalla sua granulometria, dal grado di umidità, dal numero di giri dell'agitatore e dal grado di riempimento. Da qui si deduce uno dei vantaggi del moto planetario, ovvero la **possibilità di adottare una girante con un diametro sensibilmente più piccolo di quello dell'apparecchio**. Il moto planetario garantisce la movimentazione del materiale in tutto il volume mentre il **piccolo diametro della girante permette di ridurre l'energia dissipata sotto forma di attrito tra le particelle solide**.

Il valore di potenza da fornire all'albero può essere estrapolato dalla seguente formula²:

$$P = L \times g \times \lambda \times \varphi \times \rho \times \frac{\pi \times D_g^2}{4} \times S \times N$$

Dove i simboli rappresentano:

P = potenza fornita all'albero, kW

g = accelerazione di gravità, 9,81 m/s²

λ = coefficiente di resistenza allo spostamento del materiale (3-4)

φ = grado di riempimento

ρ = densità apparente del materiale, kg/m³

D_g = diametro della girante, m

S = passo, m

L = lunghezza agitatore, m

N = velocità di rotazione, rps

Ne risulta che la potenza da fornire all'albero della girante dell'essiccatore Planex e di conseguenza l'energia dissipata sotto forma di attrito tra le particelle solide in questa tipologia di macchinari, è di circa tre volte inferiore rispetto a quelle necessarie agli essiccatori tradizionali provvisti di agitatore concentrico.

Grado di riempimento

Come è già stato evidenziato la potenza dissipata dal movimento rotazionale della girante attorno al proprio asse dipende anche dal grado di riempimento. Su apparecchiature convenzionali provviste di agitatore concentrico, la quantità di solido mossa è correlata con il grado di riempimento dell'intera apparecchiatura in quanto il volume spazzato dalla girante coincide con il volume totale, mentre per l'apparecchio in questione la girante agisce soltanto su una porzione di solido, variabile durante la rotazione planetaria. Ne risulta quindi che a parità di riempimento il consumo di potenza varierà nel tempo a seconda che la girante si trovi più o meno immersa nel solido.

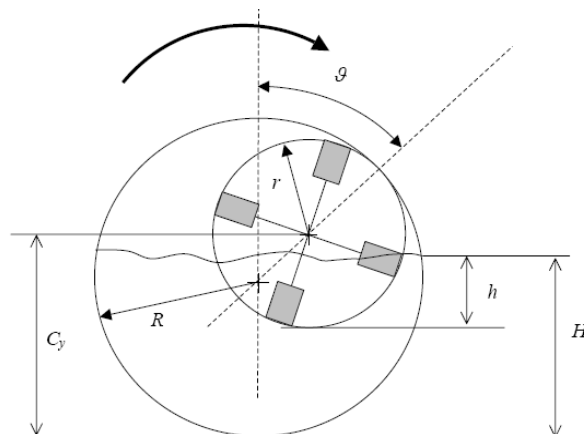


Figura 4 - Rotazione planetaria della girante

RELAZIONE TECNICA

Esprimendo la potenza dissipata in funzione del grado di riempimento φ e della velocità di rotazione N (rpm) secondo la relazione di Masiuk³:

$$P = k \cdot N \cdot \exp[1.28(\ln \varphi + \varphi)] \quad (1)$$

si ottiene il grafico di figura 5 che riporta l'andamento della potenza dissipata in funzione dell'angolo di rotazione della girante attorno all'asse dell'essiccatore per diversi gradi di riempimento della camera.

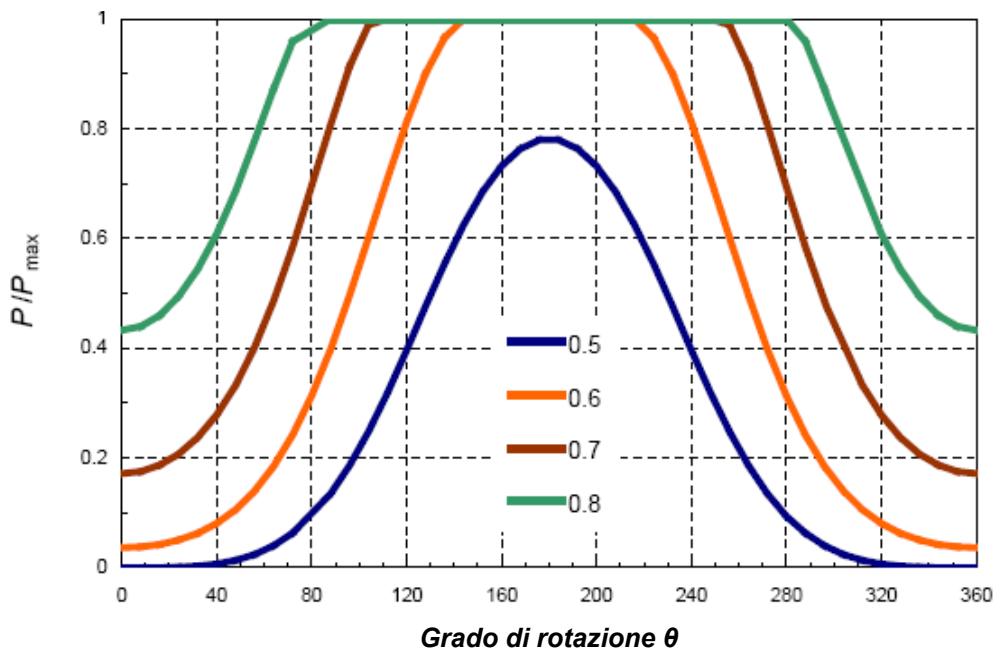


Figura 5 - Andamento della potenza dissipata dalla girante secondo l'equazione (1) durante il moto planetario in funzione del grado di riempimento della camera di essiccamento

Per scegliere la configurazione ottimale bisogna considerare più che la variazione di potenza, il rinnovamento della superficie gas-solido, parametro fondamentale per un'efficiente evaporazione, ed il rinnovamento del contatto particella-parete, fondamentale per avere un elevato scambio termico. Questo dipende dalla combinazione dei due movimenti della girante, planetario e rotazionale. Il riempimento ottimale dipende oltretutto dal macchinario anche dalle condizioni del processo e dalle caratteristiche del prodotto. E' quindi opportuno verificarlo sperimentalmente con le prove pilota. E' evidente che in caso di riempimento eccessivo il processo non può avere luogo in condizioni di efficienza, poiché la girante risulta quasi sempre sommersa e non in grado di rinnovare la superficie. Mentre per valori bassi di riempimento i due moti combinati, di rotazione intorno al proprio asse e planetario con opportune alternanze, risultano estremamente efficaci anche con poco prodotto.

La configurazione ottimale è quindi intermedia e corrisponde a valori teorici di riempimento della camera dallo 0,5 allo 0,8 del volume totale. Per questi valori la girante movimentata sempre una certa quantità di solido ed è completamente sommersa solo per un breve intervallo di tempo.

Inoltre, grazie alla movimentazione a pendolo dell'agitatore è possibile scendere fino a valori di riempimento della camera pari allo 0,2 senza ridurre l'efficienza della macchina.

¹ Garbero, M., Vanni, M., 2004, "Contributo alla realizzazione di un essiccatore prototipo per brevetto IT1273100".

² Dubbel, Beitz, Kuttner, "Dubbel's Handbook of mechanical engineering", CRC Press, (1994).

³ Masiuk S., "Power consumption, Mixing Time and Attrition Action for Solid Mixing in a Ribbon Mixer", Powder Technology, 217-229, 51, (1987).