

## PROGETTAZIONE OTTIMIZZATA DI UN DISTILLATORE PER L'ESTRAZIONE DELLE ESSENZE VEGETALI

Formato A.<sup>1</sup>, Faugno S.<sup>1</sup>, Romano R.<sup>2</sup>, Paolillo G.<sup>3</sup>

1. Dipartimento di Ingegneria Agraria e Agronomia del Territorio-Università degli Studi di Napoli - via Università - 100, 80055 Portici (NA), Tel+39 081 2539150, Fax +39 081 2539316 E-mail: [formato@unina.it](mailto:formato@unina.it)
2. Dipartimento di Scienze degli Alimenti – P.co Gussone - Portici(NA), Tel +39 081 7755120, Fax +39 081 7754942.
3. Centro di Ricerche Interdipartimentale per l'Acquacoltura – P.co Gussone - ed. 77, 80055 Portici (NA), Tel e Fax +39 081 7769075

### Riassunto

E' stata effettuata la progettazione ottimizzata e la realizzazione di un distillatore per essenze vegetali di dimensioni estremamente ridotte, capace di gestire anche piccoli quantitativi. La caldaia ha il diametro pari a 500 mm e altezza pari a 650 mm. L'attrezzatura provvede all'estrazione delle sostanze volatili aromatiche presenti nella buccia della frutta o nelle vinacce funzionando sul principio della distillazione frazionata.

Per l'ottimizzazione della geometria dell'attrezzatura considerata è stato usato un codice di calcolo per la modellazione solida, mentre la forma della caldaia e la disposizione dei gorgogliatori sono stati ottimizzati mediante un codice di calcolo termodinamico.

Il distillatore è stato provato utilizzando bucce di limone parzialmente esaurite nel processo di produzione del liquore limoncello. I risultati estrattivi, le dimensioni compatte, i contenuti costi di realizzazione oltre che la versatilità ne fanno un ottimo strumento di laboratorio o da utilizzare per effettuare la verifica della fattibilità, della resa e della qualità di un processo industriale. Infine non si esclude un suo impiego per eventuali produzioni artigianali per prodotti di nicchia.

Parole chiave: distillatori, distillazione frazionata discontinua, prodotti distillati

### Summary

*Optimized design and construction has been performed of a distiller for vegetable essences. It has very little dimensions and it has able to also manage small quantities of material. The boiler has the diameter equal to 500 mm and height equal to 650 mm. The equipment performed the extraction of the volatile aromatic substances presents in the fruit peel or in the marc and it works performing the divided distillation. For the geometry optimization of the considered equipment a program code for the solid modeling has been used, while the boiler shape and the location of the scrubbers have been optimized by numerical validation performed by a of thermodynamic program code.*

*The distiller has been tested working on lemon peels partially exhausted deriving from the production process of the 'limoncello' liqueur. The results obtained, the compact dimensions, the production low costs over that the versatility do it a good tool for laboratory use or it can be used for the validation of the feasibility, of the yield and of the quality of an industrial process considered. It is possible also to use it for handicraft productions.*

*Key words: discontinuous distiller, fractional distillation, distilled product*

## 1. INTRODUZIONE

Attualmente l'interesse delle industrie agro-alimentari è anche rivolto alla produzione di essenze vegetali ottenute mediante il processo di distillazione.

La tecnica della distillazione si basa sul principio di portare ad ebollizione un liquido per poi successivamente raffreddare e concentrare i suoi vapori. Nonostante il principio su cui si basa la distillazione sia unico, questo processo può essere realizzato con metodi diversi, ognuno dei quali con caratteristiche proprie che influiscono sulle qualità organolettiche del prodotto finale. Inoltre la distillazione è ottenuta attraverso l'uso di apparecchiature le cui caratteristiche costruttive ne determinano il metodo.

I distillatori si dividono in due categorie: *continui* e *discontinui*. I distillatori *continui* - detti anche *disalcolatori* - consentono una distillazione senza interruzioni, mentre nei distillatori *discontinui* è necessario dividere le fasi di lavorazione in cui la caldaia del distillatore viene caricata con la materia da distillare, si procede con la sua distillazione e infine, dopo avere eliminato la parte esausta, si ripete l'intero ciclo di lavorazione.

Nel distillatore continuo la materia prima viene continuamente immessa nell'impianto e sottoposta ad un flusso di vapore che estrae le componenti volatili. Il vapore alcolico viene quindi inviato alla colonna, che grazie alle sue caratteristiche provvede a concentrare l'alcol, e quindi attraversa il refrigerante che lo restituisce in forma liquida. Gli apparecchi continui consentono di lavorare grandi quantità di materia prima in breve tempo e restituendo un distillato privo di difetti.

I distillatori discontinui sono quelli generalmente utilizzati dalle piccole distillerie dove la lavorazione è condotta con criteri artigianali in cui l'estro del mastro distillatore si esprime completamente. Caratteristica fondamentale del distillatore discontinuo è rappresentata dalla fonte di calore e dal modo in cui questa viene trasmessa alla materia da distillare.

Indipendentemente dal modo in cui si provvede a riscaldare la materia prima, i vapori salgono verso il coperchio del distillatore in cui si verifica la prima concentrazione alcolica, quindi immesso nel refrigerante che restituirà il distillato nella sua forma liquida.

L'alcol etilico inizia a bollire - e quindi a evaporare - alla temperatura di 78,4°C mentre l'acqua a 100°C. Questi due fattori sono di primaria importanza poiché la materia da distillare non è composta esclusivamente da alcol, ma anche di acqua e altre sostanze. L'evaporazione delle componenti della materia prima avviene quindi a una temperatura compresa fra 78,4°C e 100°C, in accordo alla quantità di alcol presente. Maggiore sarà la quantità di alcol presente nella materia prima - e quindi minore la quantità di acqua - tanto più la temperatura di ebollizione si avvicinerà a quella dell'alcol.

Il processo di distillazione inizia riempiendo la caldaia con la materia prima e provvedendo al suo riscaldamento. Il processo di distillazione consente l'evaporazione di diverse sostanze, fra queste anche quelle con qualità organolettiche sgradevoli e che saranno quindi eliminate in modo da non compromettere la qualità del distillato.

Questa operazione è definita come *taglio di teste e code*. Queste sostanze indesiderate hanno punti di ebollizione diversi dall'alcol etilico e dalle altre sostanze positive, pertanto la loro eliminazione è svolta attraverso un accurato controllo della temperatura. La prima parte di distillato prodotta dalla lavorazione prende il nome di *testa* ed è composta da sostanze sgradevoli e nocive - come l'alcol metilico - e pertanto è eliminata. La seconda parte del distillato prende il nome di *cuore* ed è costituito da tutte quelle sostanze la cui ebollizione avviene fra i 78,4°C e i 100°C, tutte considerate positive e determinanti per le qualità organolettiche del distillato. La parte finale della distillazione - detta *coda* - è composta da

sostanze la cui ebollizione avviene oltre i 100°C e che conferiscono al distillato aromi e sapori sgradevoli, pertanto è necessaria la loro eliminazione.

Al termine della lavorazione il distillato sarà opportunamente stabilizzato - eventualmente fatto maturare in contenitori secondo la tipologia di bevanda da produrre - e ridotto alla gradazione alcolica desiderata.

Quindi, in generale la distillazione è utilizzata principalmente per scindere le diverse sostanze che compongono una miscela di liquidi. Tale processo segue il principio secondo cui i vari elementi componenti la miscela hanno un diverso punto di ebollizione, ed una differente volatilità, per cui è possibile dividerli condensando i loro vapori comprendenti soprattutto i componenti di maggiore volatilità.

I vapori che si ottengono portando ad ebollizione la miscela, anche se sono copiosi degli elementi più volatili conservano la composizione del liquido di partenza che viene sottoposto a distillazione. Pertanto il processo di distillazione si basa sul fatto che diversi componenti di una miscela liquida hanno una temperatura di ebollizione differente.

Inoltre l'ebollizione di un liquido avviene quando la sua tensione di vapore è identica alla pressione sovrastante lo stesso. I vari liquidi costituenti la miscela hanno una diversa tensione di vapore caratteristica e quindi a pressione costante hanno diverse temperature di ebollizione. Portando a ebollizione una miscela costituita da sostanze tra loro diverse, e condensando successivamente i vapori prodotti, si ottiene una nuova miscela in cui le percentuali dei vari elementi sono diversi da quella di partenza, in particolare gli elementi più volatili sono presenti in percentuale maggiore, ripetendo più volte l'operazione di evaporazione e condensazione si ottengono delle miscele sempre più ricche delle sostanze volatili. Tale procedimento è detto "distillazione frazionata".

Nella distillazione discontinua semplice il vapore che viene emesso dal liquido non viene a contatto ne con il liquido dal quale proviene, ne con il liquido che può formarsi per condensazione del vapore stesso; non si ha cioè alcun fenomeno, come suol dirsi con frase sintetica, di retrogradazione.

Nella distillazione discontinua con riflusso invece i vapori emessi dal liquido sono condensati e ritornati, almeno in parte, in una colonna completa di piatti che hanno lo scopo di portare il liquido in intimo contatto con i vapori che salgono, si fa avvenire cioè appositamente una retrogradazione.

La distillazione continua differisce da quella discontinua perché, invece di trattare cariche separate, la colonna viene alimentata in modo continuo e in modo continuo da essa si separano, alle purezze prefissate, i due componenti la miscela originaria. In questo caso faremo riferimento alla distillazione discontinua semplice mettendo a punto un distillatore versatile e compatto.

### 1.1. LA DISTILLAZIONE DISCONTINUA SEMPLICE

Per la distillazione semplice si impiegano apparecchiature che richiamano quelle di laboratorio e che sono costituite da una caldaia, da un condensatore e da uno o più recipienti di raccolta del prodotto condensato (fig. 1). Indicando con  $W$  il quantitativo di liquido, espresso in kilomoli, contenuto nella caldaia in un dato istante e con  $x_w$ ,  $x_D$  rispettivamente la frazione molare del componente volatile contenuto nella caldaia e nel liquido prodotto dal condensatore nello stesso istante, si potrà scrivere la relazione :

$$Wx_w - (W - dW)(X_w - dx_w) = x_D dW \quad (1)$$

che non è nient'altro che il bilancio ponderale relativo al componente più volatile per il

tempuscolo  $dt$  durante il quale vi è stata la variazione  $dW$  nella quantità di miscela contenuta nella caldaia con contemporanea variazione  $dx_w$  nella composizione. Integrando e semplificando si ottiene la relazione:

$$\ln \frac{W_f}{W_i} = \int_{x_{wi}}^{x_{wf}} \frac{dx_w}{x_D - x_w} \quad (2)$$

nella quale  $W_i$  e  $W_f$  sono rispettivamente i quantitativi di liquido, espresso in kilomoli contenuti nella caldaia all'inizio e alla fine dell'operazione, mentre  $x_w$  e  $x_D$  sono rispettivamente le frazioni molari del componente più volatile contenuto nella miscela liquida all'inizio e alla fine dell'operazione.

La formula scritta permette, se si conosce come varia  $x_D$  col variare di  $x_w$  (al fine di poter calcolare l'integrale), di determinare la quantità di liquido  $W_f$  che deve rimanere nella caldaia, quando si voglia effettuare una distillazione per ottenere una concentrazione finale  $x_w$ , oppure di calcolare la quantità di miscela che si deve distillare affinché la miscela distillata abbia la composizione  $x_D$ .

Come vari  $x_D$  col variare di  $x_w$  lo si può vedere facilmente ricavando dal diagramma che riporta la curva di equilibrio fra la composizione del liquido e quella del vapore; essa si ottiene riportando in ascisse le frazioni molari della miscela liquida e sulle ordinate corrispondenti i valori delle frazioni molari dati dalla linea di rugiada che sono in equilibrio con le frazioni molari della miscela liquida.

Questa curva permette di costruire la curva  $1/(x_D - x_w)$  in funzione di  $x_w$ , la quale integrata graficamente fra i due estremi  $x_w$  e  $x_{wf}$  fornisce il valore dell'integrale che sta al secondo membro nell'espressione sopra riportata. Spesso vi è la possibilità di scrivere un'equazione semplice che esprima  $x_D$  in funzione di  $x_w$ : ciò avviene quando la volatilità del componente più volatile rispetto al componente meno volatile sia costante.

E' da tener presente che con la semplice apparecchiatura che permette la distillazione discontinua semplice non è possibile arrivare a separare alcun componente della miscela allo stato praticamente puro; si ottiene cioè una separazione solo molto grossolana in tagli costituiti ancora da vari componenti, sia pure di composizione più ristretta. Per effettuare una separazione più spinta è necessario installare tra la caldaia e il condensatore una colonna di rettifica.

Effettuata la carica della caldaia, iniziato il riscaldamento della stessa, inviato il fluido refrigerante nel condensatore e raggiunta la temperatura di ebollizione della miscela contenuta nella caldaia, una parte del liquido passa allo stato di vapore (con composizione diversa da quella del liquido) e, giunta al condensatore, condensa mantenendo naturalmente la sua composizione. Il liquido di retrogradazione ha quindi composizione diversa dal vapore che sale e precisamente il liquido (riflusso) contiene una maggiore percentuale del componente più volatile. Inoltre esso ha temperatura inferiore a quella del vapore che sale e in ogni piatto quindi, mescolandosi vapori più caldi e meno ricchi nel componente più volatile con liquidi più freddi e più ricchi nel componente più volatile, avviene uno scambio di calore e di materia per effetto dei quali il vapore che sale da un piatto è più ricco nel componente più volatile del vapore che entra in detto piatto, mentre il liquido che esce dal piatto è più ricco nel componente meno volatile del liquido che entra in detto piatto. Avviene così che mentre il vapore che sale si arricchisce sempre più nel componente più volatile, il liquido che scende si arricchisce sempre più nel componente meno volatile. Si comprende allora come con un sufficiente raffreddamento nel condensatore che permetta in esso, alla pressione fissata, di raffreddare i vapori sino alla loro temperatura di rugiada e di condensarli, si possa arrivare a

ottenere vapori praticamente puri nel componente più volatile e ciò sino a quando tutto (in pratica quasi tutto) il componente volatile contenuto nella miscela iniziale sia stato separato.

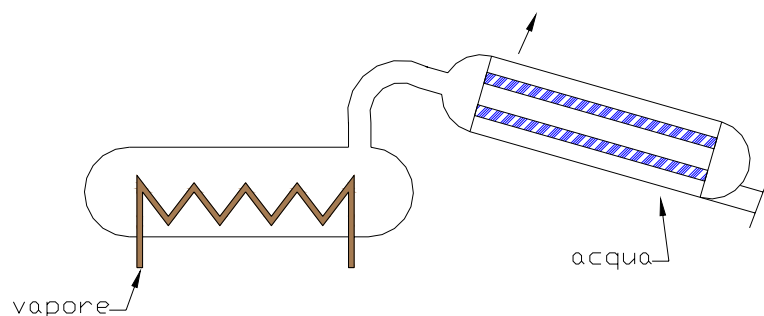


Fig. 1. Schema d'impianto per la realizzazione della distillazione discontinua semplice: in basso, la caldaia; in alto, il condensatore refrigerante.

Se si può poi ritenere uguale il calore di evaporazione molare dei due componenti, cosa che spesso è, e si suppone non vi siano dispersioni termiche, la quantità di componente più volatile che passa dalla fase liquida a quella di vapore è uguale alla quantità di componente meno volatile che passa dal vapore al liquido; vi è cioè costanza della quantità, espressa in moli, del vapore che sale e del liquido che scende. Scrivendo il bilancio ponderale totale e quello relativo all'elemento più volatile fra un segmento qualsiasi del tronco della colonna e la testa della colonna (fig. 2), si ha:

$$\begin{aligned} G &= L + D \\ Gy &= Lx + Dx_D \end{aligned} \quad (3)$$

essendo  $G$  la quantità di vapore che sale,  $L$  la quantità di liquido che scende e  $D$  la quantità di distillato prodotto, tutte espresse in kilomoli, e rispettivamente  $y$ ,  $x$  e  $x_D$  la frazione molare del componente più volatile nel vapore che entra nel tronco di colonna considerato, nel liquido che esce dal tronco di colonna e nel distillato. Dalle due relazioni scritte, se si definisce il rapporto di riflusso  $R$  come il rapporto tra la quantità di liquido  $L$  che viene ritornata in colonna rispetto alla quantità di distillato  $D$  prodotta nello stesso tempo, cioè si pone  $R = L / D$ , si ricava facilmente l'equazione:

$$y = \frac{R}{R+1}x + \frac{1}{R+1}x_D \quad (4)$$

che è l'equazione di una retta, detta retta di lavoro, funzione del parametro  $R$ , i cui punti  $x$  e  $y$  che la soddisfano indicano le composizioni dei vapori e del liquido che si trovano tra un

piatto (teorico) e l'altro. Come facilmente si verifica, la retta passa per il punto avente ascisse e ordinate uguali a  $x_D$ , la sua pendenza  $y/x = \operatorname{tg}\alpha = R/(R+1)$  e l'ordinata all'ascissa zero è  $x_D/(R+1)$ . È quindi facile costruire tale retta di lavoro una volta fissati  $x_D$  e  $R$  (fig. 3).

Se  $x_D$  è la purezza del distillato prodotto e se, come supponiamo, il condensatore è totale, cioè liquefa tutti i vapori che in esso arrivano, questi vapori hanno la stessa composizione di  $x_D$ . D'altra parte questi vapori provengono dal piatto 1 e quindi il liquido che esce da questo piatto, poiché è in equilibrio con i vapori che escono dal piatto, che è supposto teorico, avrà la composizione  $x_1$  (fig. 3;  $x_D$  è in equilibrio con  $y = x_D$ ). La composizione  $y_1$  del vapore che esce dal piatto 2 ed entra nel piatto 1 la si può ricavare dall'equazione che dà la retta di lavoro; la composizione  $Y_1$  si può leggere semplicemente nella fig. 3 leggendo l'ordinata del punto della curva di lavoro, che ha per ascissa  $X_1$ . Si viene così a determinare una specie di gradino i cui vertici rappresentano il risultato del trasporto di calore e di materia nel piatto 1 nel senso che mentre entra vapore di composizione  $Y_1$  ed esce vapore di composizione  $Y = x_D$ , entra nel piatto un liquido di composizione  $x_D$  ed esce un liquido di composizione  $x_1$ .

Proseguendo a costruire gradini nel modo sopra indicato si viene a determinare graficamente il numero dei piatti teorici che permettono di raggiungere la purezza  $x_D$  nella distillazione partendo da un liquido che in caldaia abbia la composizione iniziale  $X_i$ .

A questo punto si possono fare alcune osservazioni circa le relazioni che legano il riflusso  $R$  con il numero dei piatti della colonna di rettifica. Se il riflusso  $R = L/D$  fosse infinito,  $D$  sarebbe nullo, il che significa che la colonna non produce e il numero di gradini necessario per effettuare una certa separazione è naturalmente il minimo perché quanto più la retta di lavoro (fig. 3) si avvicina alla diagonale tanto maggiori risultano le differenze fra le composizioni nei vapori e nei liquidi che entrano ed escono da ogni piatto. D'altra parte il valore di  $R$  deve essere tale che la retta di lavoro tagli la linea di equilibrio in corrispondenza di un'ascissa inferiore alla composizione iniziale  $X_i$ . Se infatti la retta di lavoro tagliasse la curva di equilibrio in corrispondenza di tale valore la costruzione a gradini dimostra che occorrerebbe un numero infinito di piatti teorici. Si conclude quindi che il valore del riflusso  $R$  deve essere superiore a un valore  $R_m$  (riflusso minimo) che si può ottenere facilmente ricavando l'equazione della retta che passa tra il punto della diagonale che dà la purezza voluta nei distillati e il punto della curva di equilibrio che dà la composizione del liquido nella caldaia.

La distillazione discontinua con rettifica può essere realizzata o operando con rapporti di riflusso costante oppure con rapporti di riflusso variabile. Nel primo caso è costante l'inclinazione della retta di lavoro e, poiché con l'operazione di distillazione nel distillato si ha un prodotto più ricco nel componente volatile, al variare della composizione della miscela liquida contenuta nella caldaia variano anche i corrispondenti valori  $x_{D1}$ ,  $x_{D2}$ ,  $x_{D3}$  della frazione molare del componente volatile nel distillato. Operando con rapporti di riflusso costante è necessario che questi valori siano scelti in modo tale che la frazione molare media  $x_D$  del componente volatile nella frazione complessivamente distillata sia uguale al valore desiderato  $x_D$ . Operando invece con rapporto di riflusso variabile, in corrispondenza con differenti valori nel componente volatile contenuto nella caldaia si deve variare continuamente il rapporto di riflusso, in modo che la frazione molare del componente più volatile nel distillato sia costante e uguale al valore  $x_D$  desiderato. La scelta di uno oppure dell'altro modo operativo è un problema che deve essere risolto caso per caso perché la scelta è grandemente influenzata dalle caratteristiche specifiche della miscela liquida da distillare. L'esperienza dimostra che se la colonna ha un numero di piatti teorici inferiori a 5 - 8 è conveniente operare con riflusso costante; con un numero di piatti teorici invece superiore è

più conveniente operare con riflusso variabile. Non è però da dimenticare che l'operazione a riflusso costante è più semplice dal punto di vista della conduzione della distillazione.

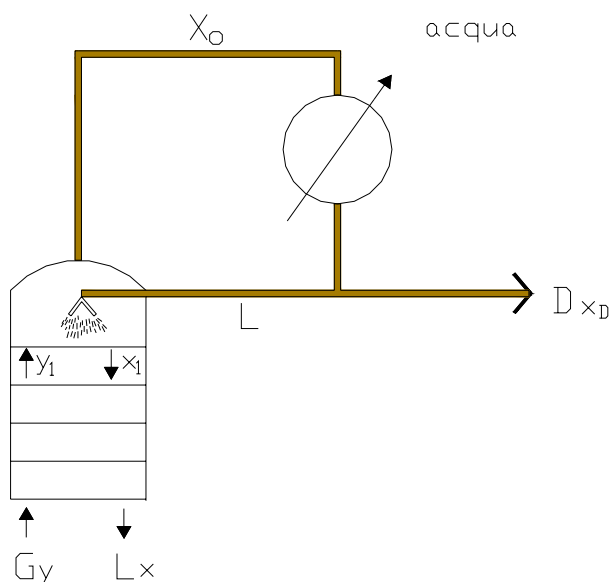


Fig. 2. Schema per mettere in evidenza e valutare il bilancio di materia della parte superiore (testa) di una colonna di distillazione.

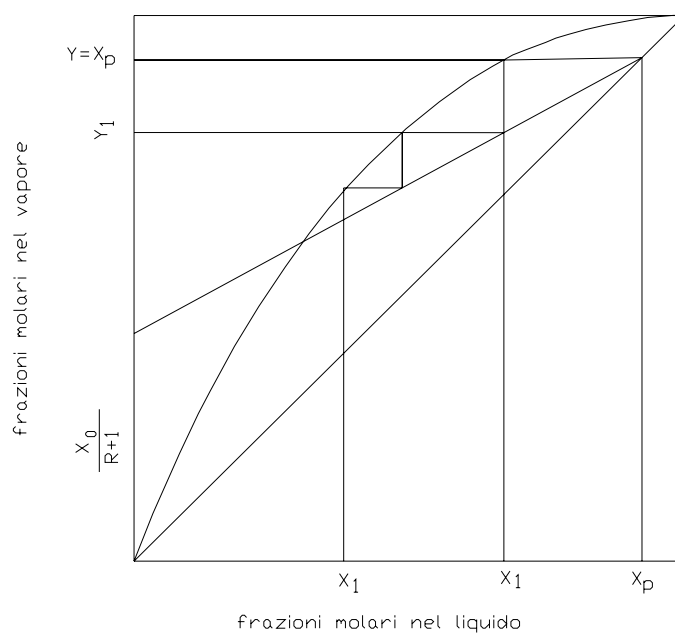


Fig. 3. Calcolo grafico (con il sistema di McCabe e Thiele) del numero di piatti teorici in una colonna Discontinua con rettifica.

## 2. MATERIALI E METODI

Alla luce di quanto esposto in precedenza è stato progettato realizzato un distillatore per essenze vegetali (fig. 4). Esso deve estrarre le sostanze volatili aromatiche presenti nella buccia della frutta o nelle vinacce del vino per la produzione di essenze profumate utilizzate nell'industria agro-alimentare o per la produzione di distillati in genere.

Tale attrezzatura deve ottemperare alle specifiche di compattezza e di volumetrie contenute in quanto è stata ideata come attrezzatura pilota per effettuare prove di laboratorio, per poter studiare la possibilità di estrarre sostanze aromatiche da varie tipologie di frutta. Pertanto le sue dimensioni ridotte lo rendono molto efficace al fine di effettuare una serie di sperimentazioni gestendo quantità molto ridotte di prodotto.

Esso sfrutta il principio della distillazione frazionata ed è costituito da una caldaia che ha le dimensioni di 500 mm di diametro e di 650 mm di altezza. In questa viene generato mediante riscaldamento elettrico il vapore necessario all'estrazione delle essenze che sono poste in sospensione mediante un cestello all'interno della stessa.

Al disopra della caldaia sono posti quattro piatti di arricchimento muniti di 5 gorgogliatori ed un tubo di scarico per il troppo pieno. Tali piatti, che sono stati dimensionati mediante una simulazione termodinamica, hanno un diametro interno di 219.3 mm ed un altezza di 150 mm. Alla sommità di questi è posto il cappello di raccolta della frazione arricchita dei vapori ed è collegato mediante tubo ad uno scambiatore di calore posto all'esterno della colonna di distillazione. Lo scambiatore di calore è del tipo tubo in tubo in controcorrente costruito in acciaio inox, ed è stato progettato mediante una simulazione termodinamica. Per quanto riguarda il calcolo degli scambiatori, occorre distinguere lo scambio termico ed il calcolo energetico. Per lo scambio termico, per il dimensionamento delle superfici di scambio si può scrivere:

$$Q = \Delta T / R_{Tot} \quad (5)$$

dove  $\Delta T$  viene indicata la differenza di temperatura tra i due fluidi e con  $R_{TOT}$  la resistenza termica complessiva dello scambiatore. Mentre per il calcolo energetico sfruttando il primo principio delle termodinamica

$$Q = M_A * C_{PA} * (T_{A2} - T_{A1}) \quad (6)$$

$$Q = M_B * C_{PB} * (T_{B1} - T_{B2})$$

Dove  $M$  rappresenta la portata dei due fluidi, 1 e 2 le sezioni, rispettivamente, di ingresso e di uscita dei due fluidi stessi.

Il calcolo energetico è dato semplicemente dal bilancio dell'entalpia (tanto calore cede un fluido, tanto l'altro ne riceve), lo scambio termico invece è più articolato in quanto si devono calcolare le resistenze termiche, i coefficienti di convezione e il funzionamento delle superfici di scambio. La caldaia è stata realizzata in rame in quanto non è a contatto diretto con il prodotto ed inoltre è possibile anche effettuare un riscaldamento con fiamma diretta.

Il cestello portaessenza è stato realizzato in acciaio inox AISI 304, i piatti di arricchimento ed il cappello sono in acciaio inox.

Il sistema è dotato di un impianto di termoregolazione sia della caldaia che dei piatti di arricchimento ottenuto mediante un sistema a termocoppie e valvole elettrocomandate.

E' stato ideato un sistema di regolazione del livello di liquido presente sui vari piatti di arricchimento che consente di poter variare la concentrazione delle essenze sui vari piatti. Infatti il sistema di termoregolazione consente di stabilire le temperature minime necessarie ai



vari livelli facendo aprire o chiudere i tubi di scarico dei vari piatti. Il modello di partenza della macchina presenta solo 4 piatti di arricchimento tuttavia essendo questi smontabili e tutti uguali è possibile aumentarne il numero indefinitamente qualora si avesse la necessità di voler estrarre sostanze molto volatili ad es. quelli provenienti dai fiori.

## 2.1. DIMENSIONAMENTO DEI PIATTI E DELLA COLONNA

Una colonna a piatti è costituita da un mantello esterno, generalmente cilindrico, entro il quale sono disposti orizzontalmente, l'uno sopra l'altro, opportunamente distanziati, i vari piatti (fig. 4). Il liquido scende da un piatto all'altro attraverso i condotti di scarico. Nelle colonne di piccolo diametro tali condotti sono usualmente tubi cilindrici verticali, fissati al piatto superiore e di cui l'estremità superiore emerge dalla superficie del piatto formando uno stramazzo circolare che mantiene sul piatto un certo livello liquido; l'estremità inferiore invece è annegata nel liquido sul piatto sottostante per impedire che il vapore salga attraverso esso. Nelle colonne di diametro maggiore sono più usati stramazzi diritti disposti secondo una corda; in questo caso la sezione del condotto è un segmento circolare. Si ricorre a diversi tipi di piatti: il piatto a campanello (fig. 5) ove il vapore sale passando per i caminetti, tubi cilindrici fissati a esso, sopra i quali sono fissate le campanelle munite di fessure rettangolari (o triangolari, che però sono poco usate). Il vapore viene quindi costretto, suddiviso dalle fessure, a gorgogliare attraverso il liquido del piatto.

Il piatto forato è costituito da un disco di lamiera forata e da un condotto di scarico che serve per il passaggio del liquido da un piatto all'altro. Il contatto liquido-vapore avviene mediante gorgogliamento del vapore nello strato di liquido che si trova sul piatto: la distribuzione del vapore viene assicurata dai fori praticati nel piatto. La perdita di carico del vapore attraverso questi fori deve essere tale da impedire la caduta del liquido. La relazione empirica che viene normalmente impiegata per il calcolo dell'area del piatto è la seguente:

$$\frac{G}{A} = K \sqrt{\gamma_G (\gamma_l - \gamma_G)} \quad (5)$$

ove  $G$  è la portata massima dei vapori nella colonna (kg/h);  $A$  l'area del piatto, esclusi gli stramazzi ( $m^2$ );  $\gamma_G$  la densità dei vapori ( $kg/m^3$ );  $\gamma_L$  la densità del liquido ( $kg/m^3$ );  $K$  la costante empirica (m/h). La costante empirica  $K$  è determinata graficamente in funzione della tensione superficiale del liquido e della distanza libera fra i piatti (distanza fra i piatti diminuita dell'altezza di liquido che si trova sul piatto). La sezione della colonna sarà ottenuta aggiungendo all'area del piatto la parte di sezione occupata dai condotti di scarico (in prima approssimazione circa il 10% dell'area del piatto).

I principali vantaggi del piatto forato rispetto al piatto a campanelle sono i seguenti:

1) la costruzione, il montaggio e la manutenzione del piatto sono più semplici; il costo del piatto forato è quindi minore; questo vantaggio si fa sentire soprattutto se il materiale di costruzione del piatto è costoso (acciaio inossidabile, Monel, ecc.);

2) la velocità del vapore è più elevata e quindi si ha un diametro più piccolo a parità di portata;

3) i gradienti idraulici sono trascurabili e quindi è possibile operare con elevate portate di liquido.

I principali svantaggi sono:

1) campo relativamente ristretto di funzionamento stabile;

2) inconvenienti dovuti alla corrosione o al deposito dei solidi; entrambi questi fenomeni tendono a modificare le dimensioni e le caratteristiche dei fori con conseguenti

variazioni nel funzionamento del piatto.

Concludendo, i piatti forati possono essere utilmente impiegati nei casi in cui si verificano le seguenti condizioni :

- 1) la portata dei vapori sia relativamente costante;
- 2) si escluda la possibilità di corrosioni o di deposito di solidi.

Infine bisogna tener conto che abbiamo considerato dei piatti nei quali il vapore che da essi proviene ha composizione in equilibrio con quella del liquido che lascia il piatto. I piatti delle colonne in realtà non raggiungono evidentemente tale condizione, cioè hanno un'efficienza minore di quella di un piatto teorico e occorre quindi nella pratica adoperare un numero di piatti pratici  $N_p$  maggiore del numero  $N$  di piatti teorici. È  $N_p = N / e$  se con  $e$  si indica l'efficienza dei piatti reali. L'efficienza  $e$  dei piatti reali dipende da molti fattori: principalmente dal loro modo di costruzione; in prima approssimazione si può assumere  $e = 0,5$  come nel caso esaminato.

### 3. ANALISI DEI RISULTATI E DISCUSSIONE

E' stato realizzato il modello geometrico dell'attrezzatura mediante un codice di calcolo per la modellazione solida. Pertanto è stato possibile ottimizzare la geometria della caldaia e della disposizione dei gorgogliatori presenti sui piatti di arricchimento. Sono state effettuate delle verifiche di calcolo termodinamico sia per gli scambiatori di calore, che per l'intero processo di distillazione, e mediante tali calcoli è stato possibile individuare le forme geometriche più idonee per le varie fasi del processo. E' stata effettuata una simulazione per ottimizzare il processo termodinamico considerando lo scambiatore di calore tubo in tubo controcorrente.

Tale tipo di scambiatore è formato da tubi concentrici, in cui passano due fluidi a temperature diverse. Il tubo più interno è costituito da materiale ad alta conducibilità termica, che consentono lo scambio più alto possibile di calore tra i due fluidi. Per ragioni di ingombro, gli scambiatori a tubi concentrici non possono avere superfici di scambio superiori a qualche metro quadrato: da qui la loro limitatezza di impiego alla fascia più bassa dei flussi termici da scambiare. Il tubo più interno è fabbricato con materiali ad alta conducibilità termica al fine di permettere il maggior scambio di calore tra i due fluidi. In campo industriale il materiale più impiegato è l'acciaio e precisamente, nell'industria alimentare, si utilizza l'AISI 304 o 316 che offre un'alta resistenza all'usura. Per quanto riguarda il tubo esterno vengono utilizzati materiali a bassa conducibilità termica per avere una minore dispersione.

Tale apparecchiatura è stata provata effettuando l'estrazione di essenze aromatiche dalle bucce di limone che erano state già utilizzate per la produzione di limoncello. E' stato notato inoltre che durante il funzionamento ci sono vapori alcolici, fra il 20-35% v/v di etanolo, provenienti dalla caldaietta che sono convogliati all'ebollitore. Inoltre la modalità con la quale viene effettuata la distillazione è quella classica, da impianto discontinuo, in cui la frazione migliore del distillato (il "cuore") è "tagliata" dalle frazioni delle "teste" e delle "code" contenenti sostanze nocive e sgradevoli. Il taglio delle "teste" (generalmente fra il 70-80% v/v di etanolo) e delle "code" (fra il 35-50% v/v di etanolo) è effettuato, dal distillatore, in base alla gradazione alcolica letta nella provetta di deflusso. Con l'ausilio di appositi rubinetti si deviano le teste e le code.

I risultati ottenuti sono stati soddisfacenti anche dal punto di vista organolettico.

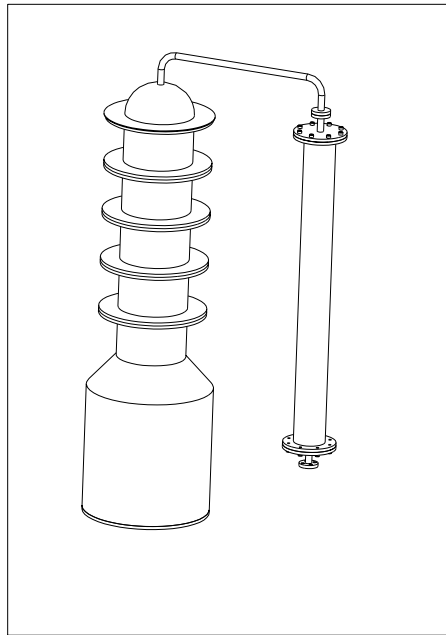


Fig. 4. Distillatore completo di scambiatore tubo in tubo.

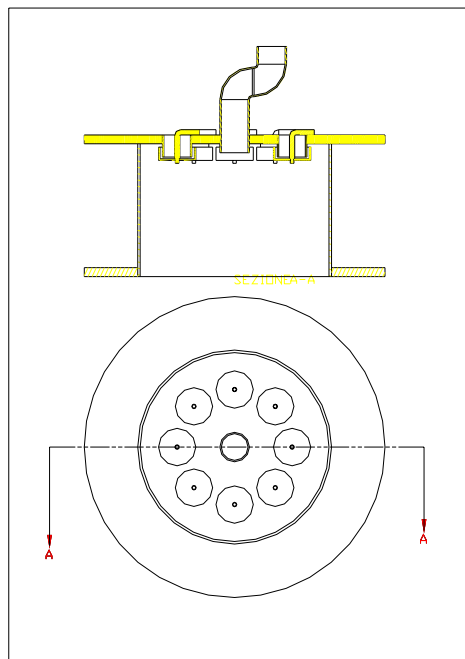


Fig. 5. Piatti d'arricchimento.

#### 4. CONCLUSIONI

E' stata realizzata una macchina per la distillazione delle essenze aromatiche. Per tale apparecchiatura è stata effettuata una progettazione ottimizzata sia dal punto di vista termodinamico che dal punto di vista del volume di materiale impiegato. Pertanto essa si presenta molto compatta e versatile, e consente di poter gestire una vasta gamma di operazioni di distillazione. Tale apparecchiatura ottimizzata ha consentito un risparmio energetico di circa il 15 % rispetto ad altre non ottimizzate disponibili sul mercato. Inoltre tale apparecchiatura tratta piccoli volumi di prodotto rispetto a distillatori industriali esistenti in commercio. Ciò la rende molto versatile e quindi risulta idonea per effettuare tutta una serie di sperimentazioni coinvolgendo piccole quantità laboratoriali di prodotto, al fine di poter valutare efficacemente la fattibilità di un processo e di valutarne la resa e la qualità. Essa è stata ottimizzata in tutti i suoi componenti in modo da avere un rendimento elevato dell'operazione. Tale attrezzatura di costo molto ridotto, ma di alto contenuto tecnologico si presta bene anche per eventuali produzioni artigianali per prodotti di nicchia.

#### Bibliografia

- Archivio storico delle Distillerie Berta  
De Rosa T., Castagner R.(1994), *Tecnologia delle grappe e dei distillati*, Edagricole Bologna.  
Ferrarese M.(1999), *Distillazione pratica moderna*, Edagricola Bologna.  
Hanson D. N.(1962), *Computation of multistage separation process*, New York Yeild Ed.Ltd.  
Holland C. D. (1963), *Multicomponent distillation*, Englewood Cliffs Ed.  
Jacobs I. (1953), *Impianti di distillazione e rettificazione*, Ed. Mursia Milano.  
Imbriani Luciano (1990), *Il Libro delle Grappe*, Ed. De Vecchi.  
Kirschbaum E.(1969), *Destillier-und Rektifizierttechnik*, Ed Munchen Overlay Berlin.  
Lerici C.R., Lercker G. (1983). *Principi di tecnologie alimentari* Clueb Bologna.  
Manuale del liquorista (1912), Ed. F.lli Marescalchi Casale Monferrato.  
Nouveau Manuel complet du distillateur liquorist (1883), Ed Roret Parigi  
Peri C.(1983), *La filtrazione nelle industrie alimentari*, AEB Brescia.  
Weissberger A., Perry E. S. (1965), *Distillation in Technique of organic chemistry*, IV (2), Ed. New York.  
Watt R. (1963), *Molecular stills*, New York.