

Impianto di abbattimento emissioni scrubber da 20.000 m³/h

Descrizione dell'impianto

La tecnologia di trattamento per le potenziali emissioni prevede l'abbattimento ad umido mediante scrubber, mono stadio, con utilizzo di reagenti.

Lo scrubber è una particolare torre di lavaggio utilizzato per la rimozione di particolati e/o gas inquinanti da scarichi di impianti industriali. Lo scrubber analizzato è costituito da una colonna a riempimento

Il principio di funzionamento dello scrubber a riempimento è dato da un flusso inquinato che attraversa in controcorrente un liquido di lavaggio (basico/ossidativo) e fonda la sua efficienza sul rapporto tra superficie specifica dei corpi di riempimento e tempo di contatto con il liquido reagente.

L'unità di abbattimento analizzato ha al suo interno uno stadio di lavaggio con riempimento costituito da anelli pall-ring per favorire un miglior contatto agli aeriformi aspirati. La torre è seguita da filtro ferma gocce a funzionamento verticale per ridurre i trascinamenti e favorire la condensazione di gocce.

La vasca di piede di raccolta e ricircolo della soluzione di lavaggio è equipaggiata di:

- bocchelli di reintegro acqua e immissione reagenti chimici
- controllo di livello per comando spurgo e reintegro
- misuratori di pH, conducibilità e cloro
- valvola automatica per spurgo soluzione esausta
- valvola automatica per reintegro acqua

Lo stadio di lavaggio è condotto in campo alcalino ossidante mediante pompa dosatrici di idrossido di sodio e ipoclorito di sodio comandate rispettivamente da catena di misurazione del pH e del cloro residuo.

Le soluzioni di spurgo ed i fondami della vasca di piede sono inviati a smaltimento presso centri esterni. Per determinare quando la soluzione di lavaggio è esausta viene utilizzato lo strumento di conducibilità, per determinare il valore soglia saranno effettuati dei test durante i primi tre mesi esercizio dell'impianto.

Parametri di progetto

PARAMETRI DI PROGETTO	VALORE	UNITÀ DI MISURA
Portata di esercizio	20.000	m ³ /h a 20 °C
Temperatura di esercizio	5 - 40	°C
Temperatura massima di picco PP	90	°C
Temperatura rammollimento riempimenti	70	°C

Materiali di costruzione impianto

PARTICOLARI DI IMPIANTO	MATERIALE DI COSTRUZIONE
Fasciame esterno / interno	P.P.
Rinforzi / Sostegni	P.P.
Ugelli nebulizzatori	P.V.C.
Separatore di gocce	P.V.C.
Rampe di lavaggio	P.P.
Riempimento (ad elevata efficienza e superficie)	P.P. nero

Caratteristiche scrubber

Lo scrubber è dotato di uno stadio di abbattimento con le seguenti caratteristiche dimensionali, i dati calcolati sono riferiti alla portata di esercizio:

PARTICOLARI DI IMPIANTO	DIMENSIONI
Diametro	2.200 mm
Altezza tot	7.265 mm
Abbattitore	
Sezione utile	3,72 m ²
Velocità di attraversamento	1,49 m/s
Letti di riempimento	3.040 mm
Riempimento	Pall-ring 2"
Separatore di gocce	260 mm
Tempo di contatto	2 sec
Potenza pompa di ricircolo	7,5 kW

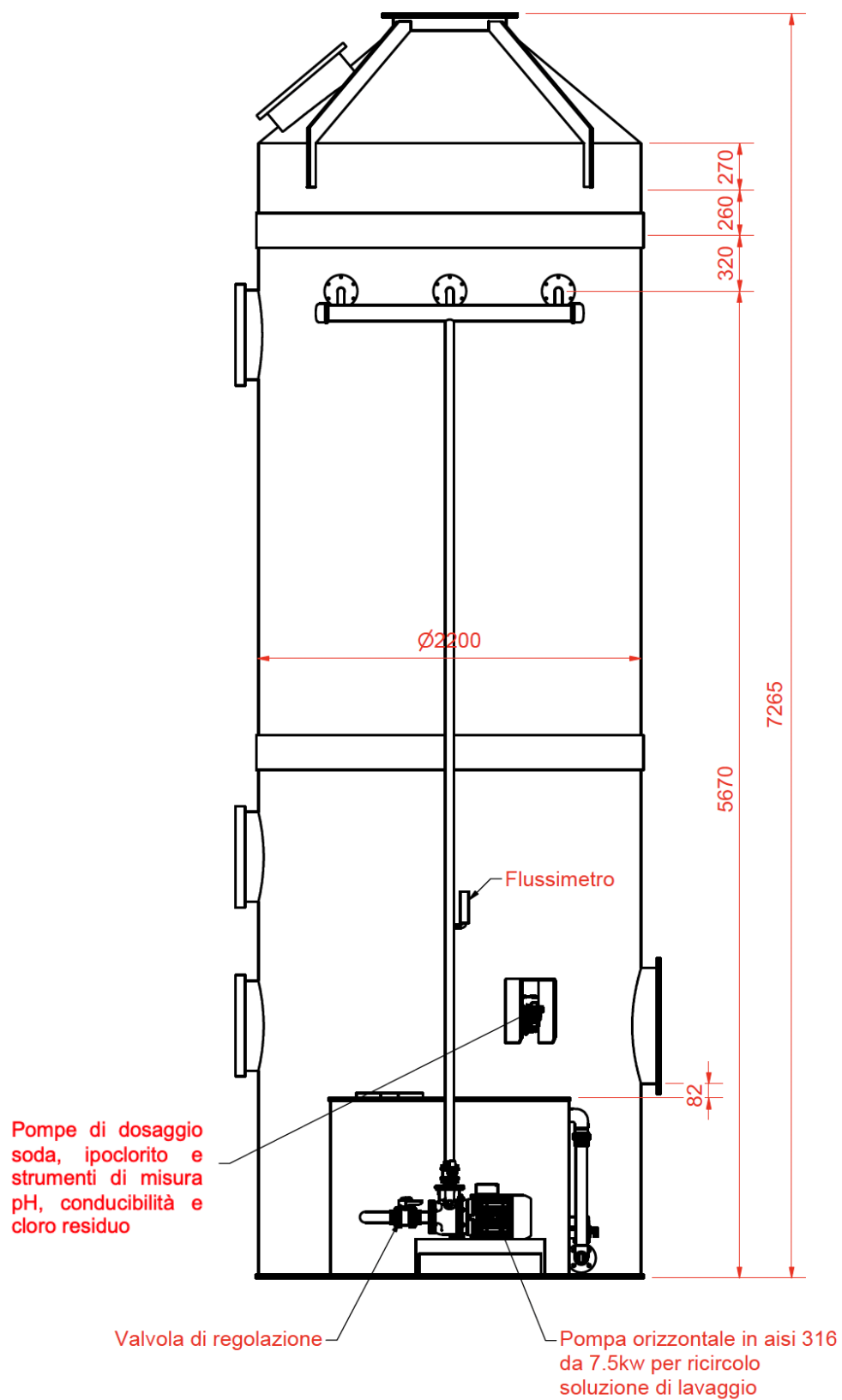


Figura 1 - Caratteristiche scrubber 20.000 mc/h

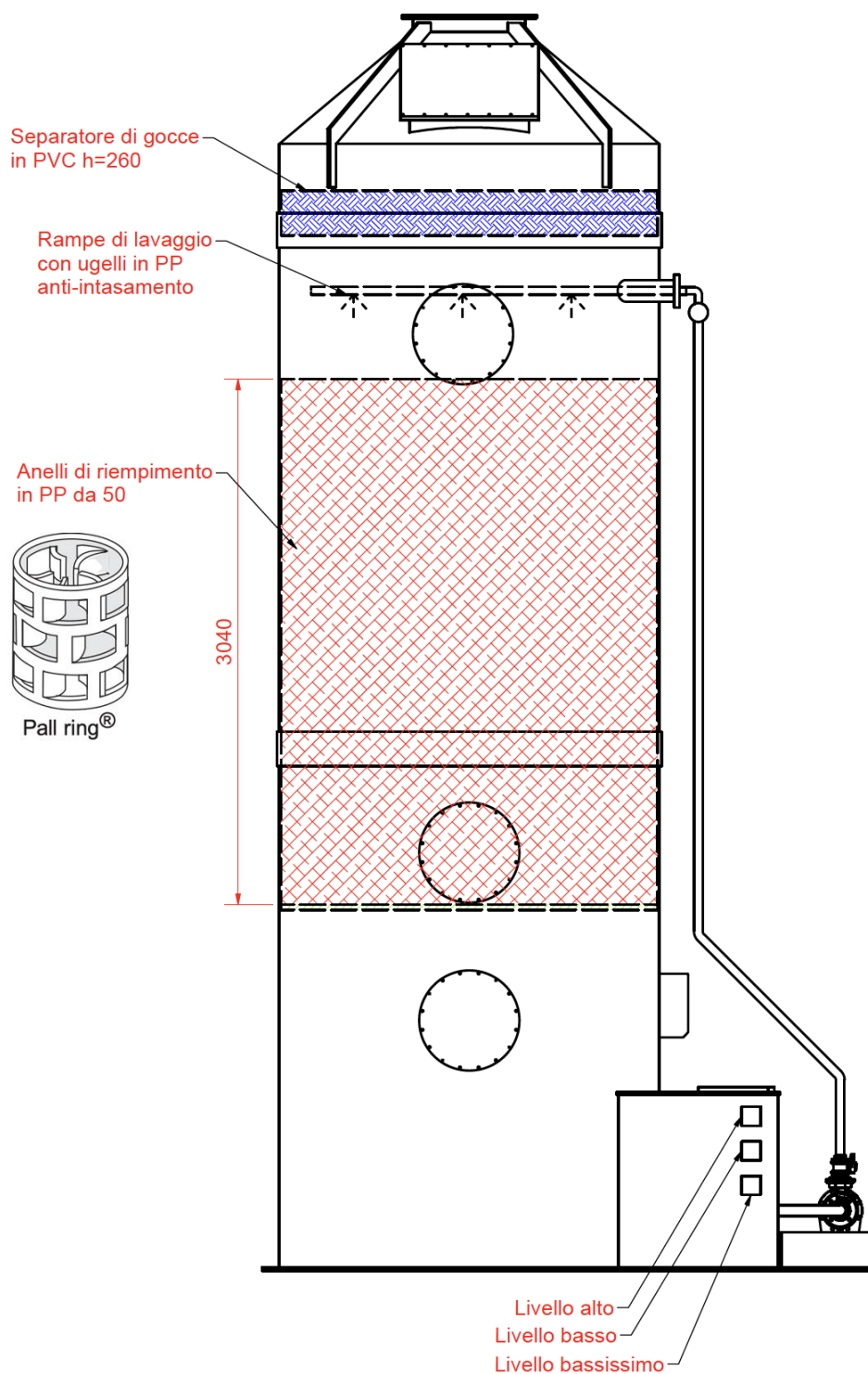


Figura 2 - Sezione scrubber 20.000 mc/h

Confronto scenari di portata per verifica efficienza scrubber

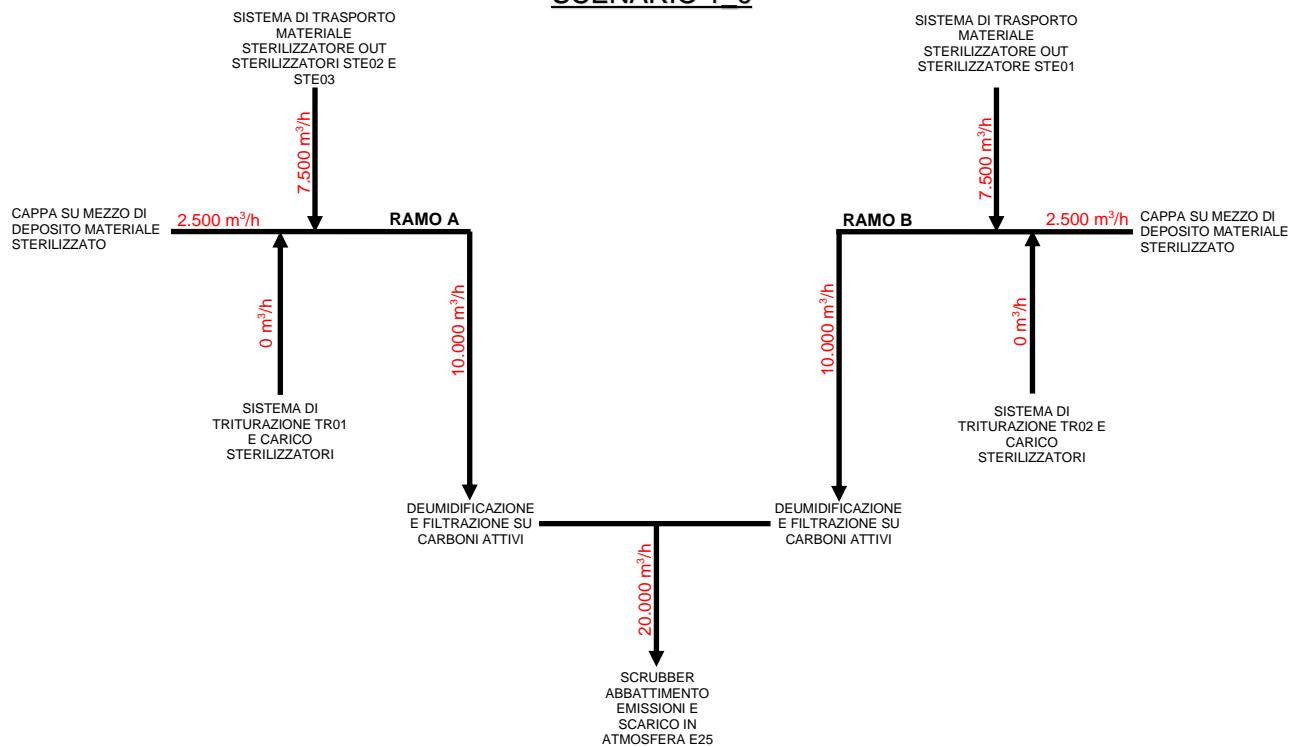
Scenari

La configurazione di funzionamento potrà essere modificata in modo estremamente flessibile, permettendo di poter gestire i due rami di aspirazione nei modi di seguito descritti:

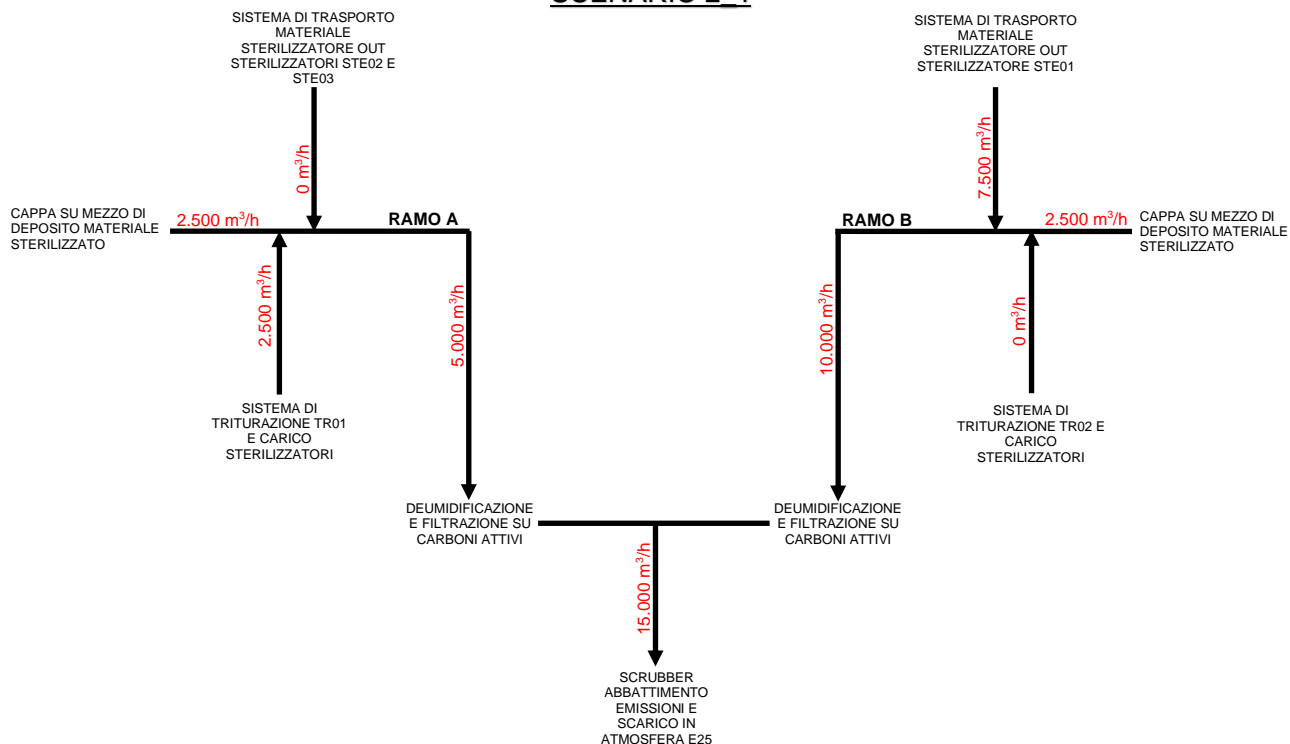
	Apparecchiature costituenti l'impianto	Scenario 1_0	Scenario 2_1	Scenario 2_2	Scenario 3_0	Scenario 4_1	Scenario 4_2
Ramo A		10.000 m³/h	5.000 m³/h	10.000 m³/h	5.000 m³/h	0 m³/h	5.000 m³/h
	Sistema di triturazione TR01 e carico sterilizzatori						
	Sistema di trasporto materiale sterilizzato out sterilizzatori STE02 o STE03						
	Cappa su mezzo di deposito materiale sterilizzato						
Ramo B		10.000 m³/h	10.000 m³/h	5.000 m³/h	5.000 m³/h	5.000 m³/h	0 m³/h
	Sistema di triturazione TR02 e carico sterilizzatori						
	Sistema di trasporto materiale sterilizzato out sterilizzatore STE01						
	Cappa su mezzo di deposito materiale sterilizzato						
	TOTALE	20.000 m³/h	15.000 m³/h	15.000 m³/h	10.000 m³/h	5.000 m³/h	5.000 m³/h
<div></div> Apparecchiature in aspirazione							

A seguire riportiamo gli schemi di flusso semplificati con le portate riferite a vari scenari come da tabella sopra riportata:

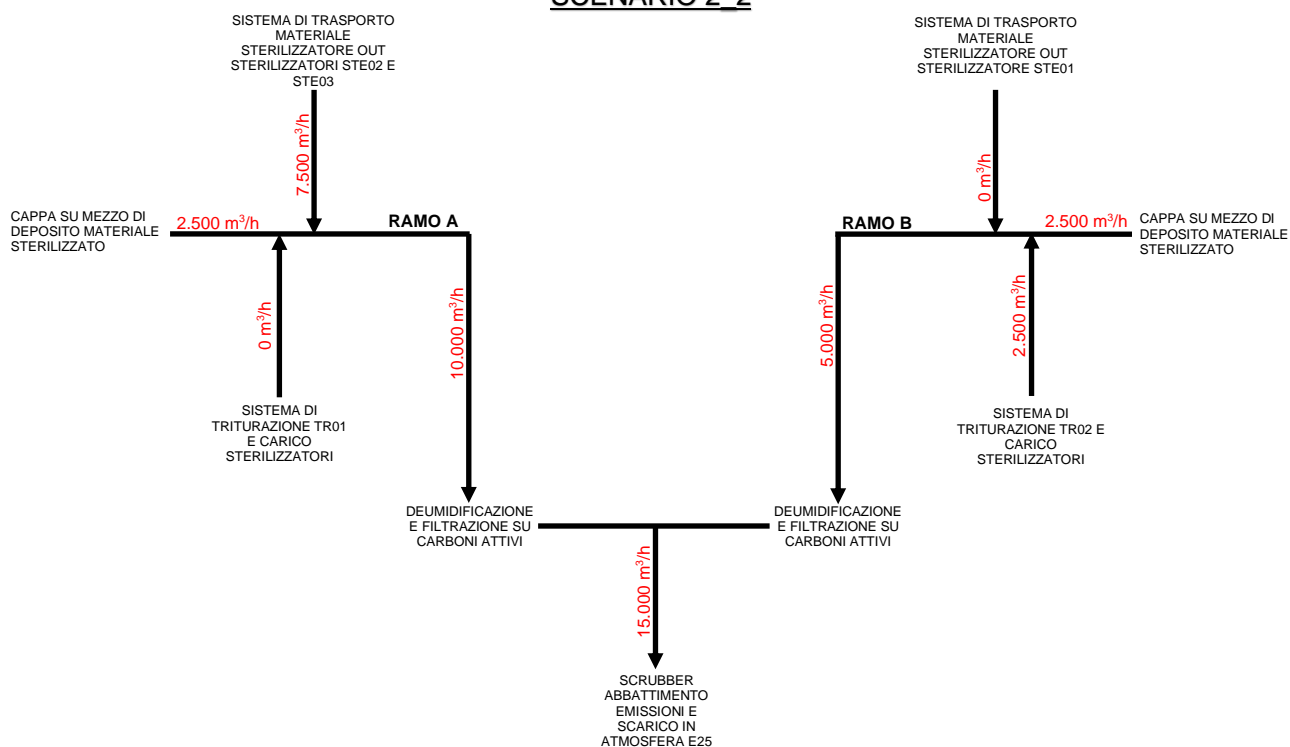
SCENARIO 1_0



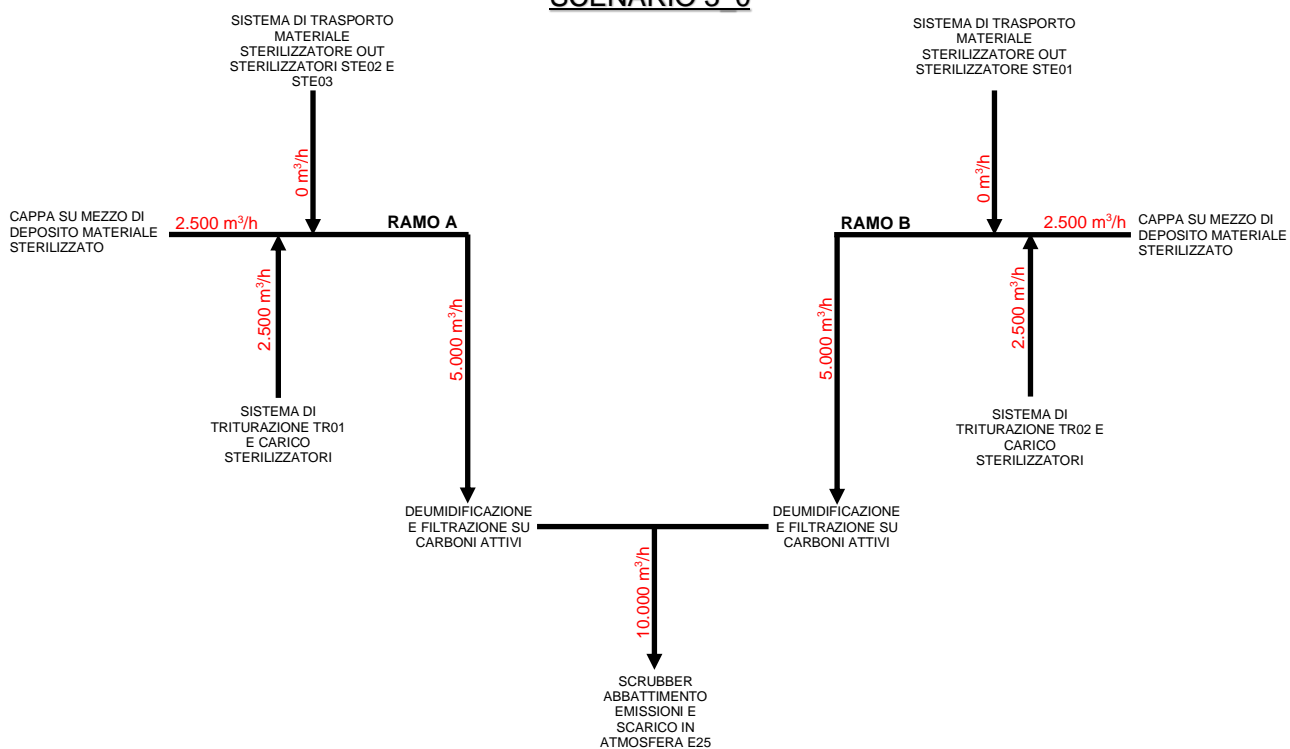
SCENARIO 2_1



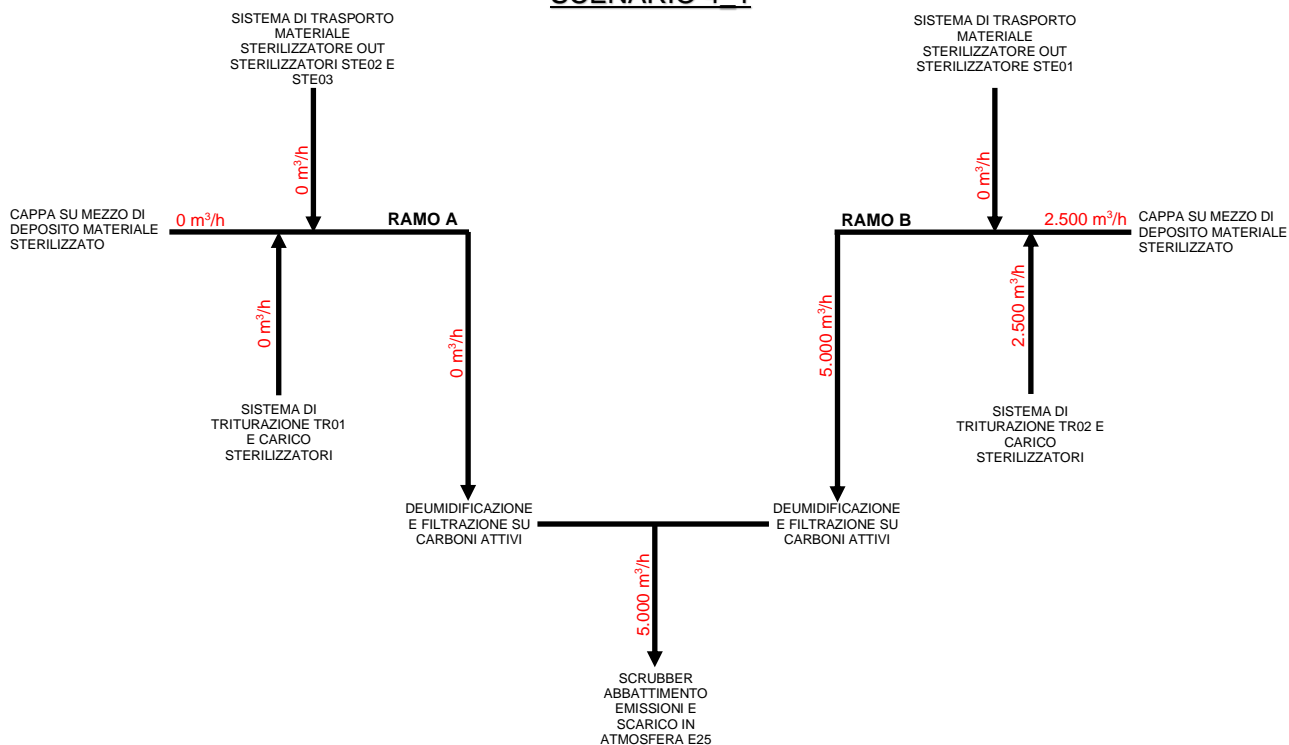
SCENARIO 2_2



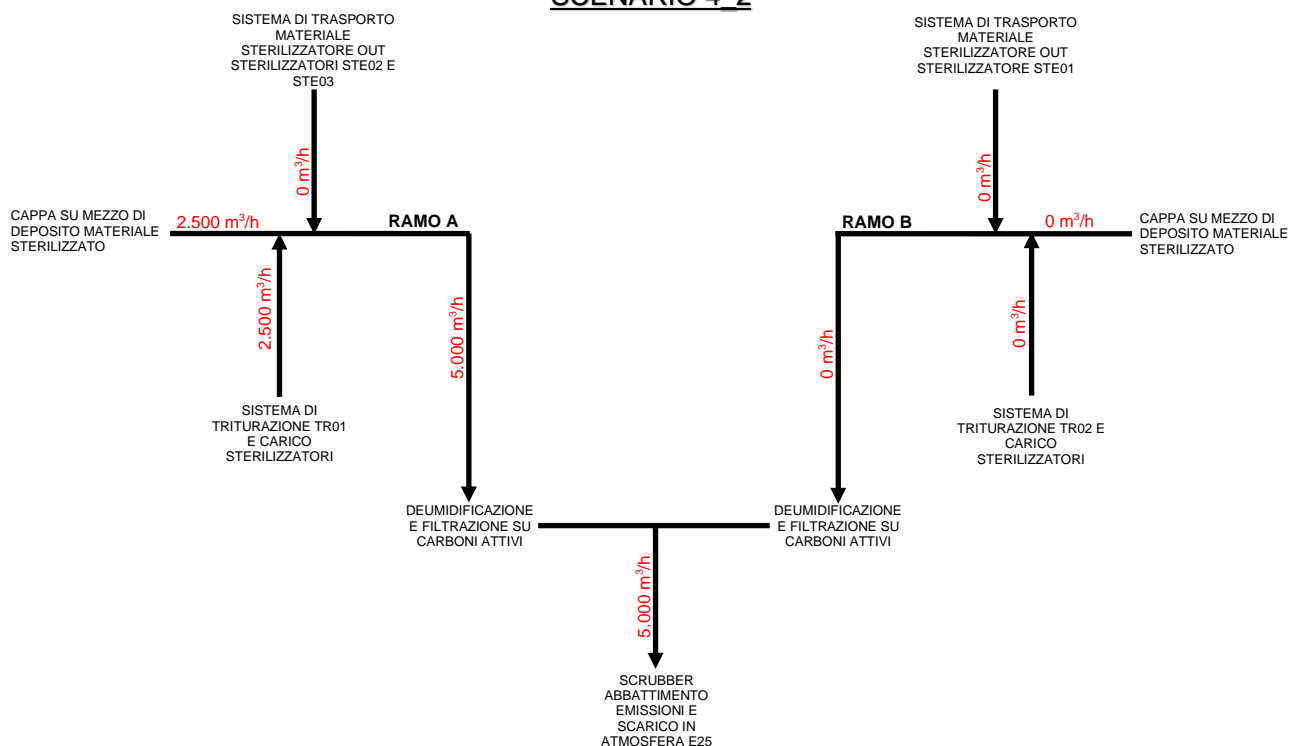
SCENARIO 3_0



SCENARIO 4_1



SCENARIO 4_2



Di seguito riportiamo la tabella comparativa dei parametri principali di dimensionamento rispetto alle portate afferenti allo scrubber proposto secondo i vari scenari riportati nella tabella precedente:

	Portata IN scrubber [m³/h]	Velocità Attraversamento colonna [m/s]	Tempo di contatto [sec]	Portata della pompa di ricircolo [l/h]	Rapporto L/G
Scenario 1_0	20.000	1,49	2,01	30.000	1,5
Scenario 2_0	15.000	1,12	2,67	30.000	2,0
Scenario 3_0	10.000	0,74	4,05	30.000	3,0
Scenario 4_0	5.000	0,37	8,10	30.000	6,0

L'efficienza di abbattimento dello scrubber dipende dal tempo di permanenza del gas nella sezione di assorbimento, dal tipo di corpi di riempimento utilizzati, dal rapporto liquido/gas (L/G), dalla velocità di attraversamento e dall'aggiunta di sostanze chimiche.

Il rapporto liquido/gas (L/G), è un parametro chiave negli scrubber a umido; di solito è espresso come litri (liquido riciclato) / m³ (flusso effettivo del gas di uscita). Flussi di liquidi più elevati, quindi valori L/G più elevati, sono indicativi di livelli più elevati di controllo degli inquinanti.

Di seguito, al fine di verificare la torre di abbattimento alle portate di progetto, vengono verificate le perdite di carico indotte dai corpi di riempimento e le condizioni di flooding per verificare che il rapporto L/G e le dimensioni della colonna siano corrette.

Verifica perdite di carico torre

Nella colonna a riempimento in progetto, il liquido viene distribuito dall'alto in modo uniforme su tutta la sezione e, quindi, su tutti i pezzi del riempimento; scendendo dall'alto verso il basso viene bagnato tutto il riempimento e si forma un velo liquido aderente alla superficie dei vari pezzi che lo costituiscono: se la portata del liquido è tale da non affogare completamente la colonna, vi saranno dei percorsi (costituiti dalle intercapedini tra un pezzo e l'altro e dai vuoti presenti sui pezzi stessi) attraverso cui può passare la corrente gassosa. In definitiva, il liquido cadendo dall'alto si distribuisce e scorre su tutti i pezzi del riempimento senza occupare tutta la colonna ma lasciando degli interstizi vuoti attraverso cui passa il gas: il riempimento funge da supporto per il film liquido e, contemporaneamente, realizza un'elevata superficie specifica di scambio.

La scelta del materiale da utilizzare come corpi di riempimento nello scrubber è un punto cruciale in quanto il materiale deve garantire una sufficiente area di scambio con una perdita di carico compatibile con il sistema. Tra quelli disponibili sul mercato sono stati scelti gli anelli Pall Ring da 2" (o anelli rashing), per un volume complessivo utilizzato pari a circa 11,4 m³.

Di seguito riportiamo il grafico delle perdite di carico in riferimento alle varie velocità di attraversamento in progetto e le specifiche tecniche del Pall Ring utilizzati:

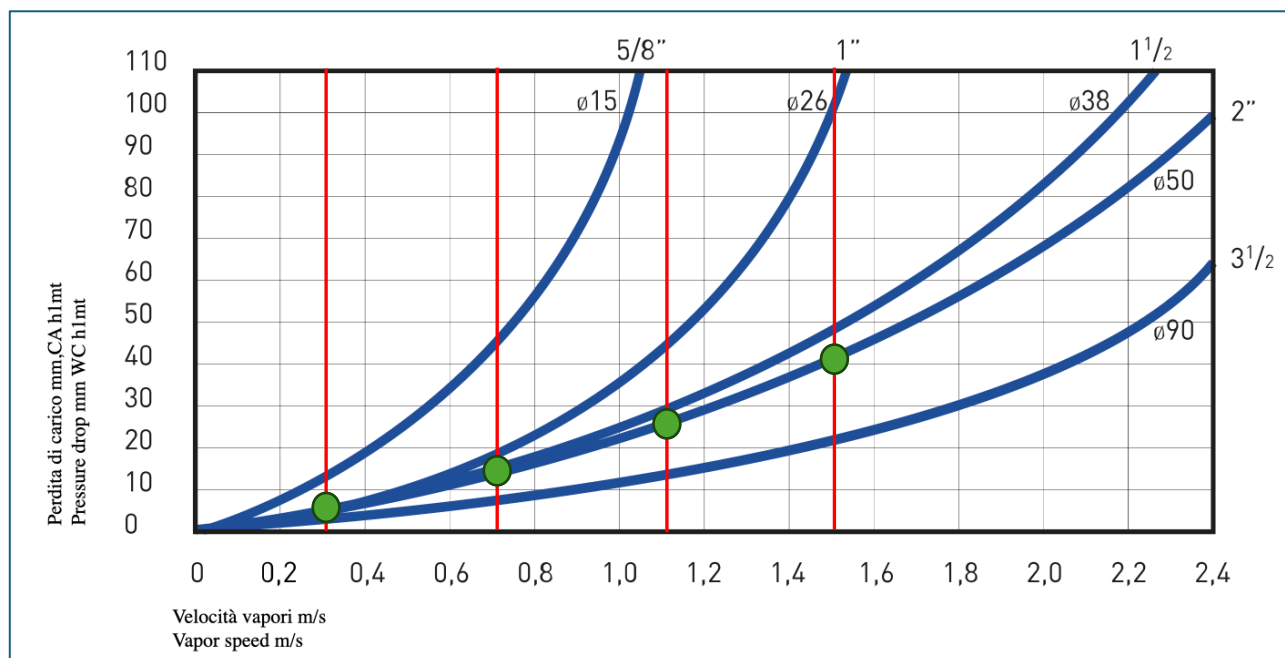


Figura 3 - Grafico perdite di carico Pall Ring

Misure Sizes		Pezzi Pieces	Superficie Surface	Vol.Lib. Free sp.	Razze Spokes	Peso Weight					
Inches	mm	N/M ³	m ² /m ³	%	N°	PP	PP/V	PVDF	PVC	Teflon FEP	Teflon PFA
5/8	15	235.000	348	91	2+2	110.7	135	231	200	-	-
1	25	45.600	245	93	4+4	87.8	96,8	180	160	223	224
1½	38	15.000	143	94	4+4	82	94,5	162	-	-	-
2	50	6.400	114	94	4+4	60	71	119	-	-	153
3½	90	1.180	82	96	6+6	60	68	108	-	-	-
*Temperatura di esercizio Working temperature					C°	113	138	150	50	200	260
*Punto di fusione Melting point					C°	155	154	175	80	260	310
*Rottura alla compressione Compressive strenght					kg/cm ²	380	450	1075	600	-	-
*Assorbimento acqua Water Absorption					%	<0,02	<0,10	<0,04	<0,04	<0,01	<0,03
Resistenze chimiche Chemical resistances		Acidi/Acids				E/B	E/B	E	B	E	E
		Alcali/Alkali				E	B	E/B	B	E	E
		Idrocarburi/Hydrocarbons				B/M	B/M	E	B	E	E
		* Dati riferiti al materiale/Date related to materials E=Excellent B=Good M=Questionable S=Not raccomandabile									
PP: Polipropilene / Polypropylene							PVDF: Polifloruro di Vinilidene/Polyvinylidene fluoride				
PP/V: Polipropilene caricato vetro / Fiberglass reinforced polypropylene							TEFLON FEP/PFA: Resina fluoro polimerica/Fluoropolymer resin				
PVC: Polivinilcloruro / Polyvinylchloride											

Tabella 1 - Caratteristiche tecnica Pall Ring utilizzati

Di seguito vengono calcolate le condizioni di flooding per verificare che il rapporto L/G e le dimensioni della colonna siano idonei alle diverse portate previste in progetto.

Per la verifica si utilizza il grafico riportato a pag. 195 di "Mass-transfer operations – Treybal" riportato qui di seguito.

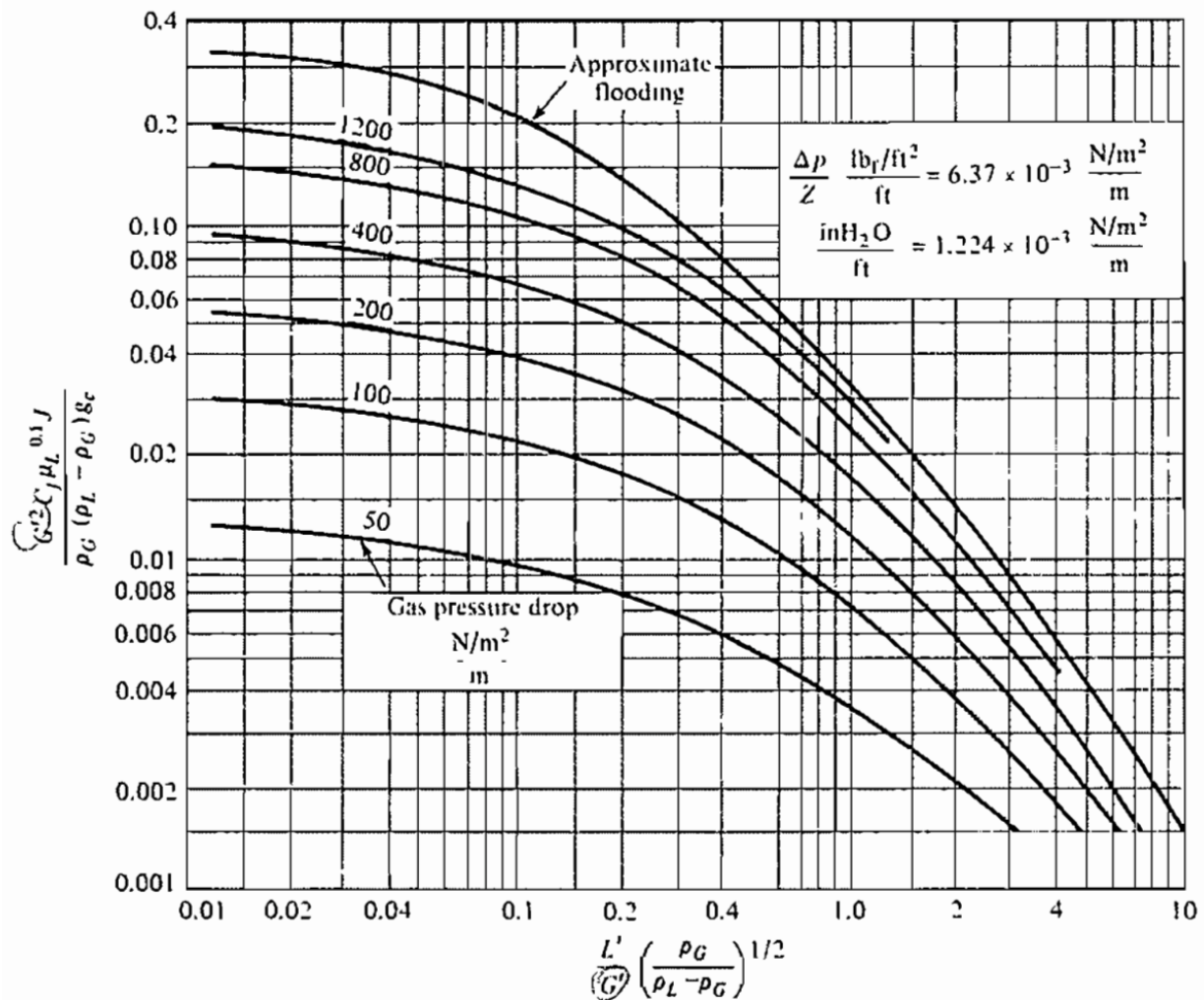


Figure 6.34 Flooding and pressure drop in random-packed towers. For SI units $g_c = 1$, C_f from Table 6.3, and use $J = 1$. For $G' = \text{lb}/\text{ft}^2 \cdot \text{h}$, $\rho = \text{lb}/\text{ft}^3$, $\mu_L = \text{cP}$, $g_c = 4.18 \times 10^8$, C_f from Table 6.3, and use $J = 1.502$. [Coordinates of Eckert [38], Chemical Process Products Division, Norton Co.]

Figura 4 - Grafico verifica flooding

C_f per il tipo di corpi di riempimento della colonna analizzata, lo si riporta nella figura che segue.

Packing	Nominal size, mm (in)										
	6 ($\frac{1}{4}$)	9.5 ($\frac{3}{8}$)	13 ($\frac{1}{2}$)	16 ($\frac{5}{8}$)	19 ($\frac{3}{4}$)	25 (1)	32 ($1\frac{1}{4}$)	38 ($1\frac{1}{2}$)	50 (2)	76 (3)	89 ($3\frac{1}{2}$)
Pall rings											
Plastic:											
C_f				97		52		40	25		16
C_D				207		105.2		61.8	47.5		23.9
ϵ				0.87		0.90		0.91	0.92		0.92
$\phi_p, m^2/m^3$ (ft ² /ft ³)				341 (104)		206 (63)		128 (39)	102 (31)		85 (26)

Figura 5- tab. 6.3 "Mass- transfer operations-Treybal"

Analizziamo ora scenario per scenario se questo fenomeno si verifica.

Riassumiamo qui di seguito, in tabella 2, i dati dello scenario 1:

DATI		
L	30000	$\frac{l}{h}$
	8,3	$\frac{kg}{s}$
ρ_L	1000	$\frac{kg}{m^3}$
ρ_g	1,225	$\frac{kg}{m^3}$
G	20.000	$\frac{m^3}{h}$
	6,81	$\frac{kg}{s}$
C_f	25	
μ_L	0,95	cP

Tabella 2 - Dati scenario 1

Entriamo nel grafico riportato in figura 6

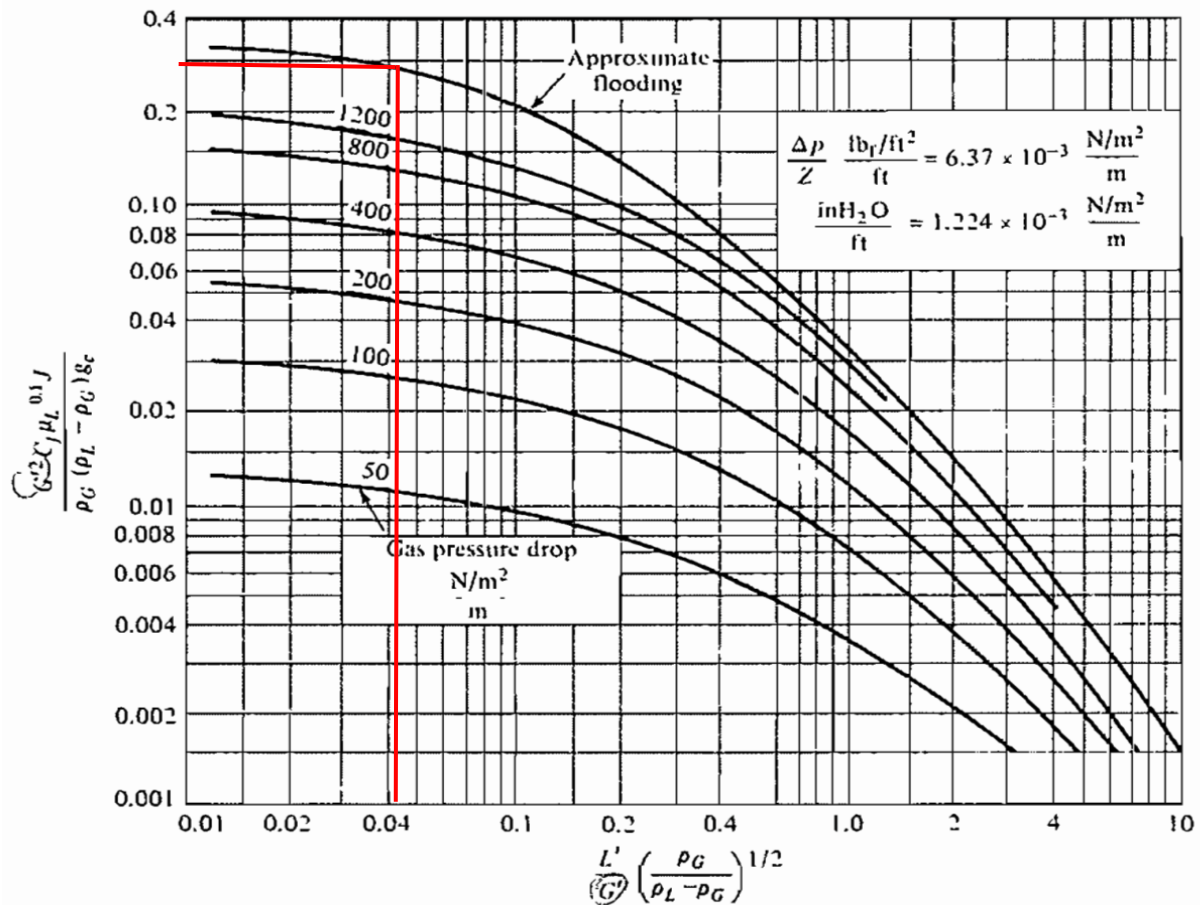


Figure 6.34 Flooding and pressure drop in random-packed towers. For SI units $g_c = 1$, C_f from Table 6.3, and use $J = 1$. For $G' = \text{lb}/\text{ft}^2 \cdot \text{h}$, $\rho = \text{lb}/\text{ft}^3$, $\mu_L = \text{cP}$, $g_c = 4.18 \times 10^8$, C_f from Table 6.3, and use $J = 1.502$. [Coordinates of Eckert [38], Chemical Process Products Division, Norton Co.]

Figura 6- Verifica condizioni di flooding scenario 1

Il flooding si verifica quando:

$$\frac{G'^2 * C_f * \mu_L^{0.1}}{\rho_g * (\rho_L - \rho_g)} = 0,29$$

Ricavando G' dalla formula sopra citata otteniamo che:

$$G' = 5,33 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \text{s}}$$

E sapendo che:

$$G' = \frac{G}{S}$$

Otteniamo che:

$$S_f = 1,3 \text{ m}^2$$

La sezione così calcolata è quella che corrisponde alle condizioni di flooding e dunque, per evitare che questo fenomeno si verifichi, è sufficiente che $S_f < S$.

Quindi, conoscendo che la sezione della colonna è di:

$$S = 3,72 \text{ m}^2$$

Il fenomeno del flooding nello scenario 1 non si verifica.

Andiamo ora ad esaminare lo scenario 2, e riportiamo in tabella 3 i dati riassunti:

DATI		
L	30000	$\frac{l}{h}$
	8,3	$\frac{kg}{s}$
ρ_L	1000	$\frac{kg}{m^3}$
ρ_g	1,225	$\frac{kg}{m^3}$
G	15000	$\frac{m^3}{h}$
	5,1	$\frac{kg}{s}$
C_f	25	
μ_L	0,95	cP

Tabella 3 - Dati scenario 2

Ripetiamo ora lo stesso ragionamento fatto per lo scenario 1, ed entriamo, con i nuovi dati, nel grafico riportato in figura 7.

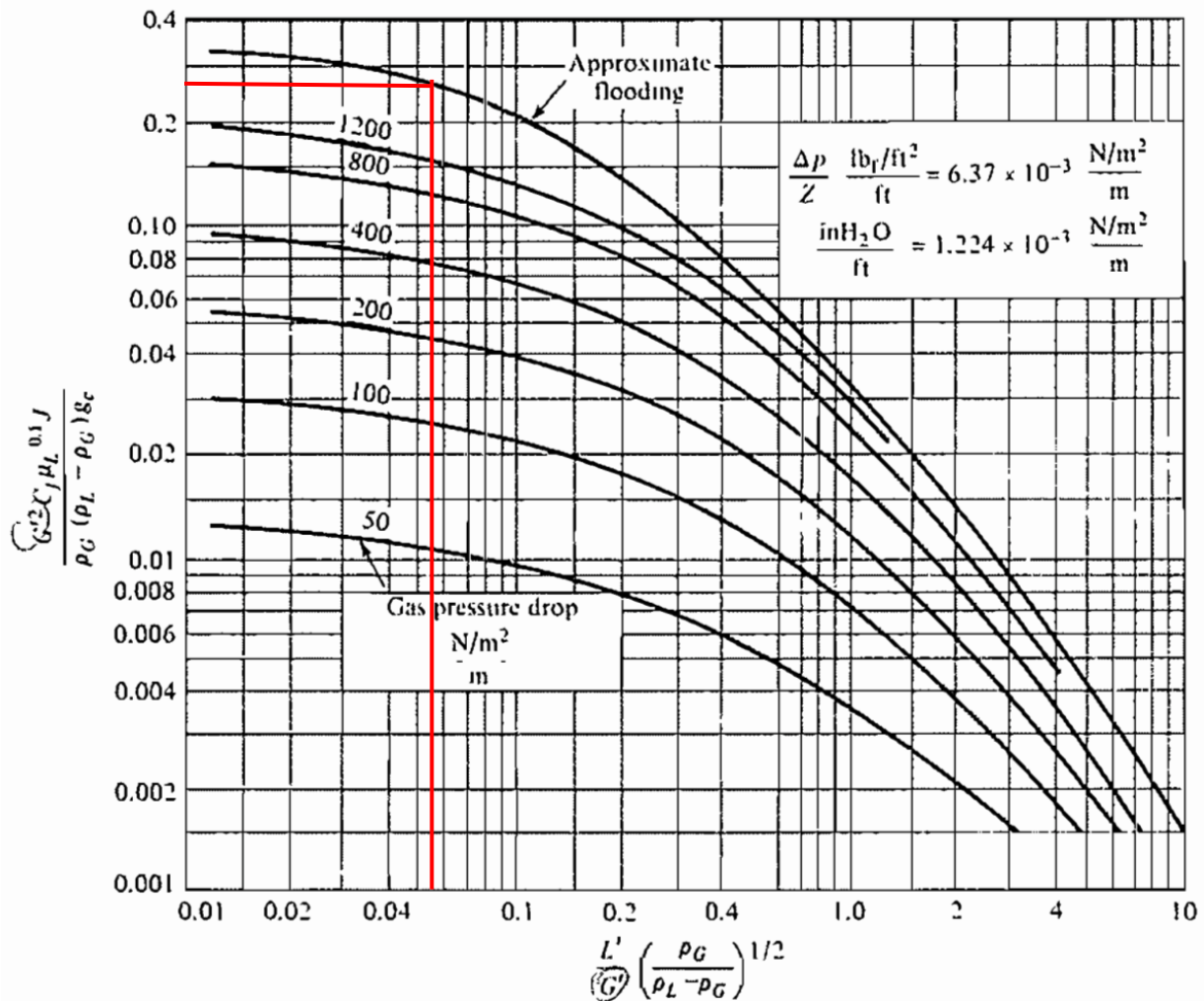


Figure 6.34 Flooding and pressure drop in random-packed towers. For SI units $g_c = 1$, C_f from Table 6.3, and use $J = 1$. For $G' = lb/ft^2 \cdot h$, $\rho = lb/ft^3$, $\mu_L = cP$, $g_c = 4.18 \times 10^8$, C_f from Table 6.3, and use $J = 1.502$. [Coordinates of Eckert [38], Chemical Process Products Division, Norton Co.)

Figura 7 - Verifica condizioni di flooding scenario 2

Nello scenario 2 il flooding si verifica quando:

$$\frac{G'^2 * C_f * \mu_L^{0.1}}{\rho_g * (\rho_L - \rho_g)} = 0,28$$

Ricavando G' dalla formula sopra citata otteniamo che:

$$G' = 5,24 \frac{kg}{m^2 s}$$

Otteniamo che:

$$S_f = 0.97 m^2$$

Anche in questo caso $S_f < S$ e quindi il fenomeno del flooding nello scenario 2 non si verifica.

Andiamo ora ad esaminare lo scenario 3, e riportiamo in tabella 4 i dati:

DATI		
L	30000	$\frac{l}{h}$
	8,3	$\frac{kg}{s}$
ρ_L	1000	$\frac{kg}{m^3}$
ρ_g	1,225	$\frac{kg}{m^3}$
G	10000	$\frac{m^3}{h}$
	3,4	$\frac{kg}{s}$
C_f	25	
μ_L	0,95	cP

Tabella 4 Dati scenario 3

Inseriamo, i nuovi dati, nel grafico riportato in figura 8.

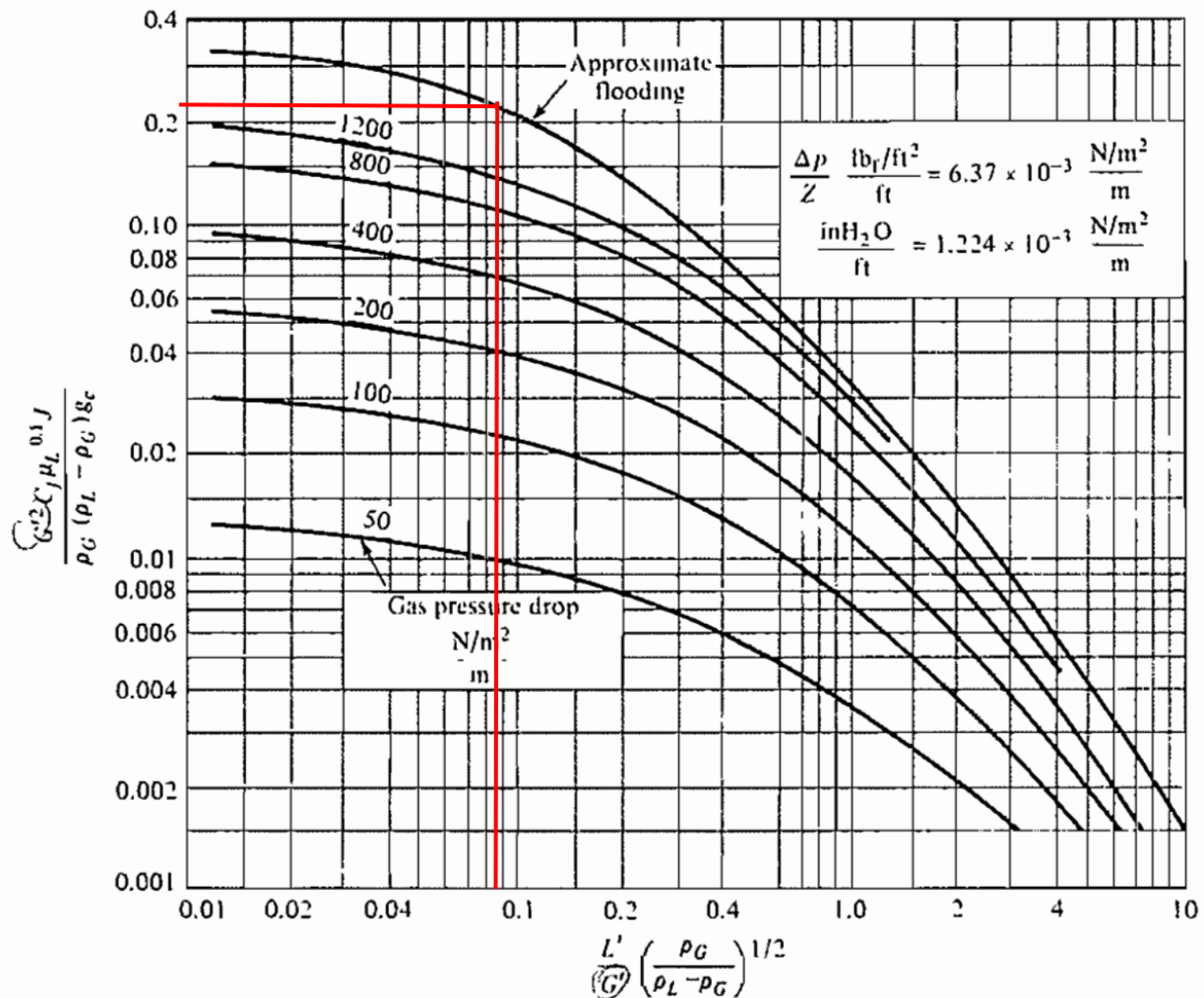


Figure 6.34 Flooding and pressure drop in random-packed towers. For SI units $g_c = 1$, C_f from Table 6.3, and use $J = 1$. For $G' = \text{lb/ft}^2 \cdot \text{h}$, $\rho = \text{lb/ft}^3$, $\mu_L = \text{cP}$, $g_c = 4.18 \times 10^8$, C_f from Table 6.3, and use $J = 1.502$. [Coordinates of Eckert [38], Chemical Process Products Division, Norton Co.]

Figura 8 - Verifica condizioni di flooding scenario 3

Il flooding, in questo caso si verifica per:

$$\frac{G'^2 * C_f * \mu_L^{0.1}}{\rho_g * (\rho_L - \rho_g)} = 0,235$$

Ricavando G' dalla formula sopra citata otteniamo che:

$$G' = 4,8 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \text{s}}$$

E otteniamo che:

$$S_f = 0.71 \text{ m}^2$$

Anche in quest'ultimo scenario il fenomeno non si verifica poiché $S_f < S$.

Infine, verifichiamo lo scenario 4, e riportiamo in tabella 5 i dati:

DATI		
L	30000	$\frac{l}{h}$
	8,3	$\frac{kg}{s}$
ρ_L	1000	$\frac{kg}{m^3}$
ρ_g	1,225	$\frac{kg}{m^3}$
G	5000	$\frac{m^3}{h}$
	1,7	$\frac{kg}{s}$
C_f	25	
μ_L	0,95	cP

Tabella 5 Dati scenario 4

Inseriamo, i nuovi dati, nel grafico riportato in figura 9.

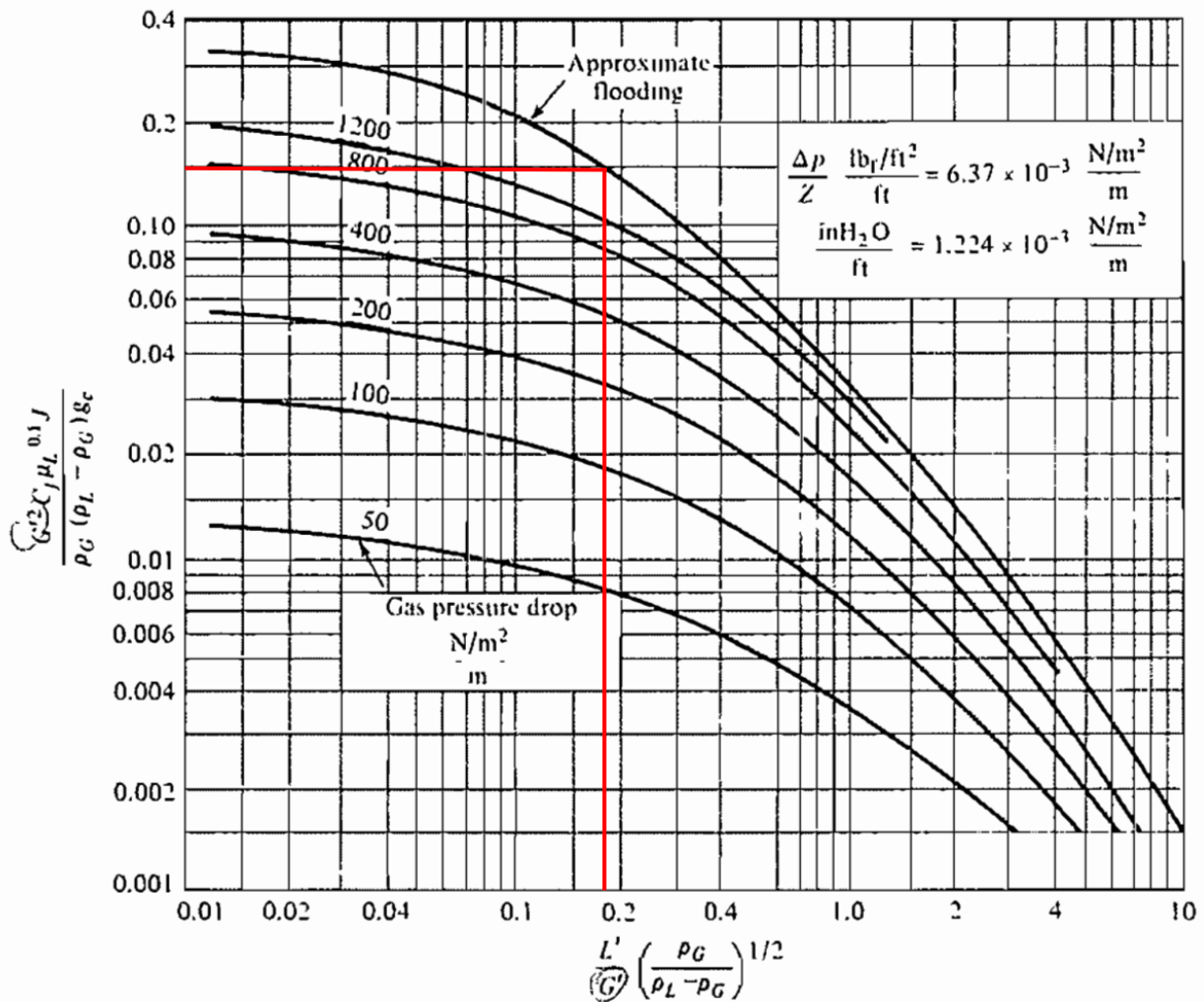


Figure 6.34 Flooding and pressure drop in random-packed towers. For SI units $g_c = 1$, C_f from Table 6.3, and use $J = 1$. For $G' = \text{lb}/\text{ft}^2 \cdot \text{h}$, $\rho = \text{lb}/\text{ft}^3$, $\mu_L = \text{cP}$, $g_c = 4.18 \times 10^8$, C_f from Table 6.3, and use $J = 1.502$. [Coordinates of Eckert [38], Chemical Process Products Division, Norton Co.]

Figura 9 - Verifica condizioni di flooding scenario 3

Il flooding, in questo caso si verifica per:

$$\frac{G'^2 * C_f * \mu_L^{0.1}}{\rho_g * (\rho_L - \rho_g)} = 0,15$$

Ricavando G' dalla formula sopra citata otteniamo che:

$$G' = 3,84 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \text{s}}$$

E otteniamo che:

$$S_f = 0.75 \text{ m}^2$$

Anche in quest'ultimo scenario il fenomeno non si verifica poiché $S_f < S$.

Conclusione

L'efficienza di abbattimento dello scrubber dipende da:

- tempo di permanenza del gas nella sezione di assorbimento;
- tipo di corpi di riempimento utilizzati;
- dal rapporto liquido/gas (L/G);
- dimensioni della colonna;
- velocità di attraversamento.

Come si è dimostrato in questa relazione la colonna risulta essere correttamente dimensionata da questo punto di vista anche al variare della portata di gas in ingresso. Il tempo di contatto garantito sarà di $\Rightarrow 2$ secondi come da BAT.