



UNIVERSITÀ  
DI PAVIA

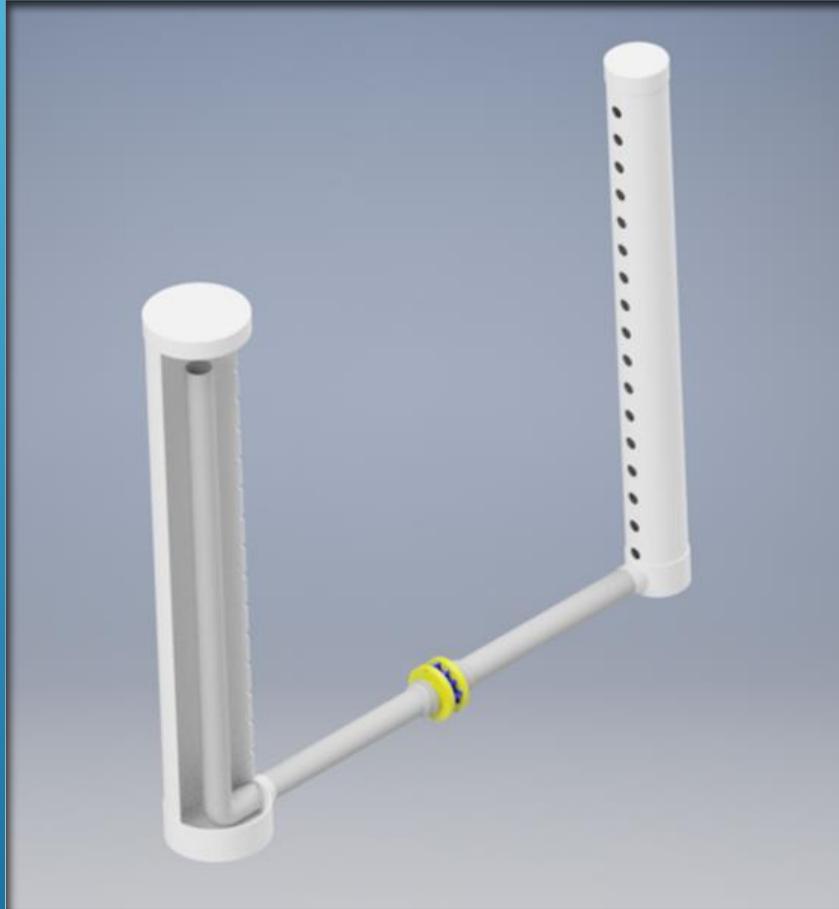
# Progettazione di un separatore gravimetrico e di un impianto per il trasporto e la miscelazione di miscele e loro possibile utilizzo in campo industriale

Docente tutore: *Prof. Stefano Farnè*  
Correlatore: *Dott. Vito Lavanga*

Candidato: *Alessandro Moramarco*

A.A. 2019/2020

# MISCELATORE MHLM



MHLM (Mixer Homogeneous Local in Media) è un miscelatore, assimilabile al tipo statico, in cui viene effettuata una miscelazione di miscele fluide in maniera localizzata, lungo profili voluti, tramite dei tubi drenanti e una pompa, che oltre a effettuare buona parte della miscelazione imprimerà il moto al fluido. Esso crea quindi superfici volute di substrato miscelato agevolando eventuali reazioni biochimiche e/o scambi termici voluti.

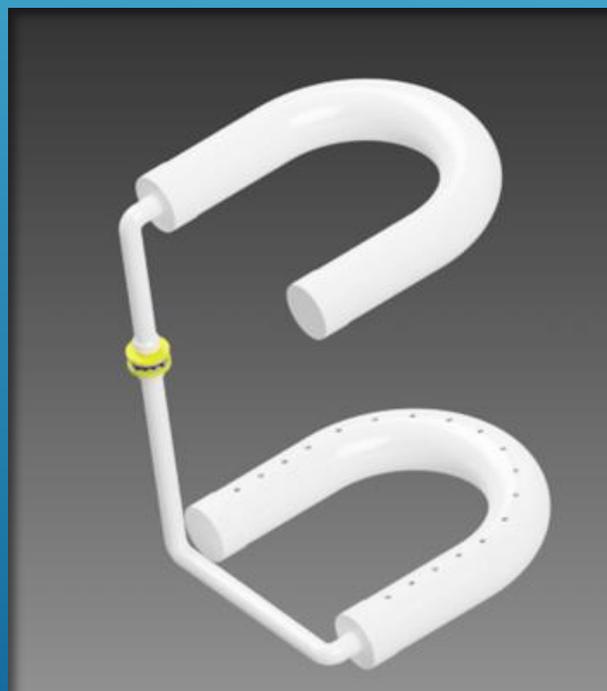
Esso può essere utilizzato anche come un impianto di trasporto delle miscele disponendo i tubi in modo che da una parte prelevi il fluido e dalla parte opposta lo rigetti creando così un moto laminare miscelato lungo il profilo voluto.

MHLM presenta una grande versatilità di utilizzo. Esso utilizza tubi drenanti forati lungo la generatrice, facilmente reperibili sul mercato, per creare superfici volute miscelate. Questi possono essere di svariate forme per creare superfici miscelate diverse.

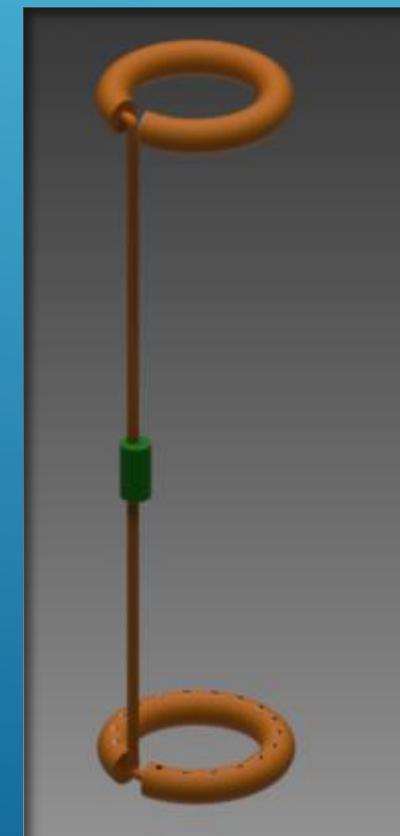
Profilo piano



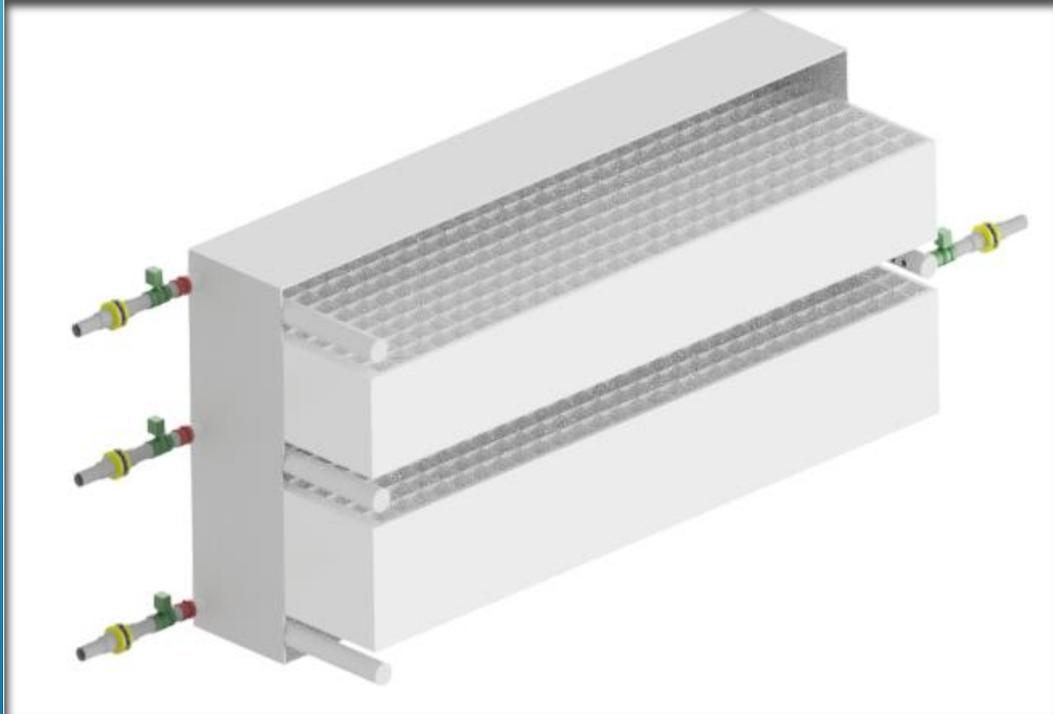
Profilo curvo



Profilo circolare



# SEPARATORE GRAVIMETRICO GSMF



GSMF (Gravity Separation Mixture Fluid) è un separatore gravimetrico di miscele fluide in cui esse vengono divise nelle sue N-fasi a peso specifico differente sfruttando l'accelerazione di gravità.

Esso sfrutta la già naturale tendenza delle miscele a separarsi ma ne velocizza il processo, anch'esso permesso dalla tecnica del ritorno inverso, grazie a una divisione del volume trattato in volumi più piccoli, in cui la separazione gravimetrica può avvenire più facilmente.

Infatti, utilizzando pacchi di honeycomb di altezze stabilite si divide il substrato in piccoli volumi, all'interno dei cavetti del pacco lamellare, in cui sono assenti moti orizzontali che ostacolerebbero il processo.

Inoltre, MHLM può essere utilizzato anche come un impianto di trasporto delle miscele disponendo i tubi in modo che da una parte prelevi il fluido e dalla parte opposta lo rigetti creando così un moto laminare miscelato lungo il profilo voluto.

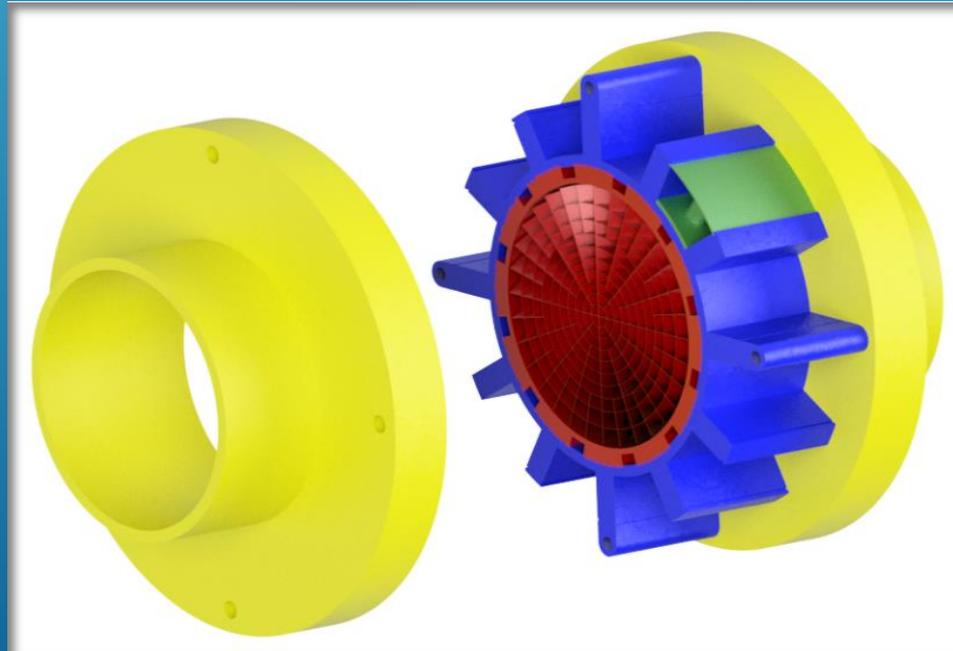
Anche GSMF presenta una grande versatilità di utilizzo diminuendo gli spazi e i tempi necessari al processo di miscelazione e potendo separare miscele bifase, trifase e N-fase sia gassose che liquide con o senza particelle in sospensione.

# VANTAGGI

MHLM	GSMF
<ul style="list-style-type: none"><li>• Possibilità di effettuare una miscelazione localizzata lungo profili voluti</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Possibilità di separare una miscela nelle sue diverse fasi senza l'ausilio di sostanze estranee alla miscela(solventi)</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Basso consumo energetico, non essendoci parti in movimento se non la pompa che movimentata il fluido</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Economicità e facile reperibilità dei componenti utilizzati</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Alti rendimenti di miscelazione correlati ai minori tempi richiesti dal processo</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Elevati indici di qualità delle fasi estratte, soprattutto se l'estrazione è comandata da PLC e da sensori (conduttimetri o simili)</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Piccoli ingombri</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Aumento della superficie di separazione grazie allo stazionamento in quiete nei cavedi verticali per pacchi lamellari</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Basso costo di costruzione</li></ul>	
<ul style="list-style-type: none"><li>• Bassa manutenzione</li></ul>	

# ITEG (Integrated Turbine Electric Generator)

Entrambi i dispositivi presentati per la movimentazione del fluido utilizzano una pompa ITEG: un brevetto che consiste in una pompa, utilizzabile anche come turbina, caratterizzata da un minimo ingombro della stessa, assenza di motori elettrici per l'azionamento, che avviene tramite la generazione di un campo magnetico che mette in rotazione la girante, vista come un rotore di un motore elettrico. Anche il rotore di ITEG funziona grazie alla creazione di cavetti nel verso della lunghezza che emulano il meccanismo della spinta data dalle pale di una pompa comune.

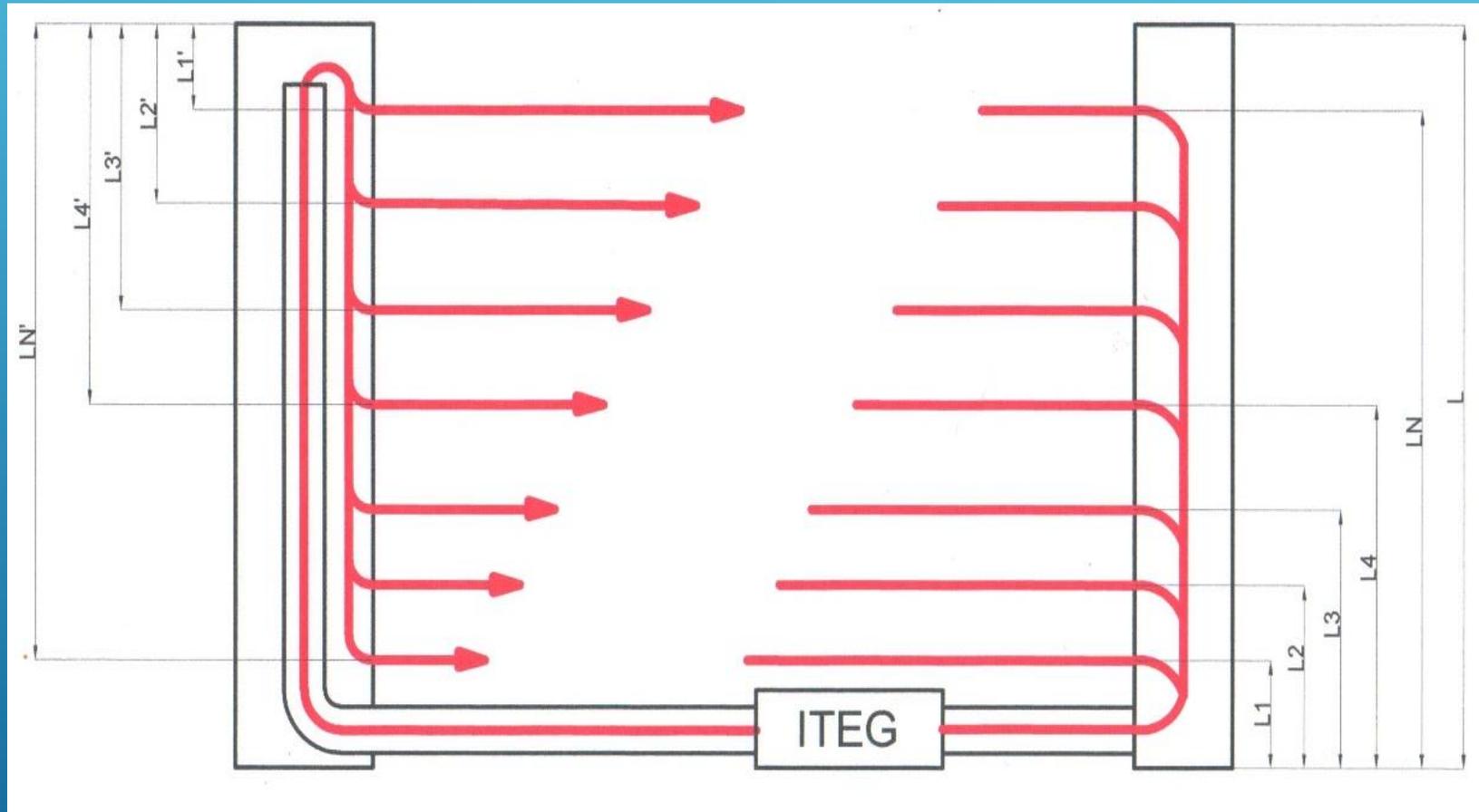


Entrambi i dispositivi garantiscono omogeneità della distribuzione dei carichi, così da creare un flusso laminare miscelato e omogeneo, attraverso la tecnica idraulica del « ritorno inverso ».

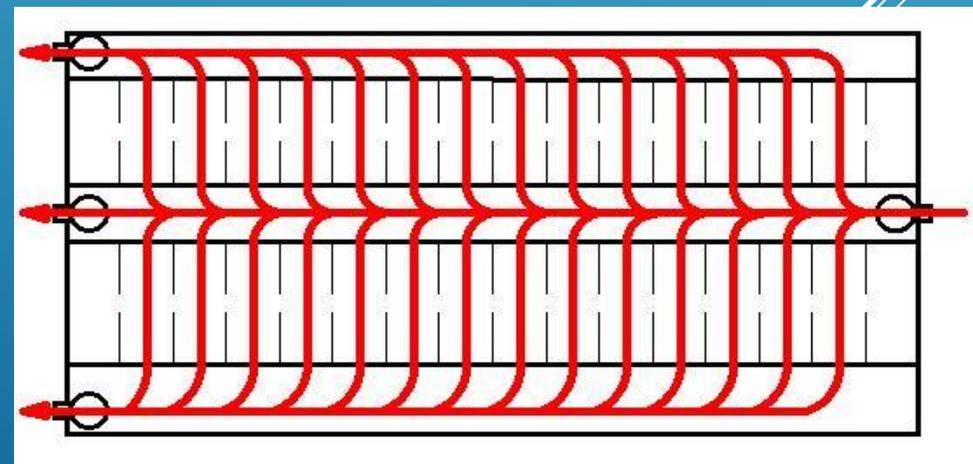
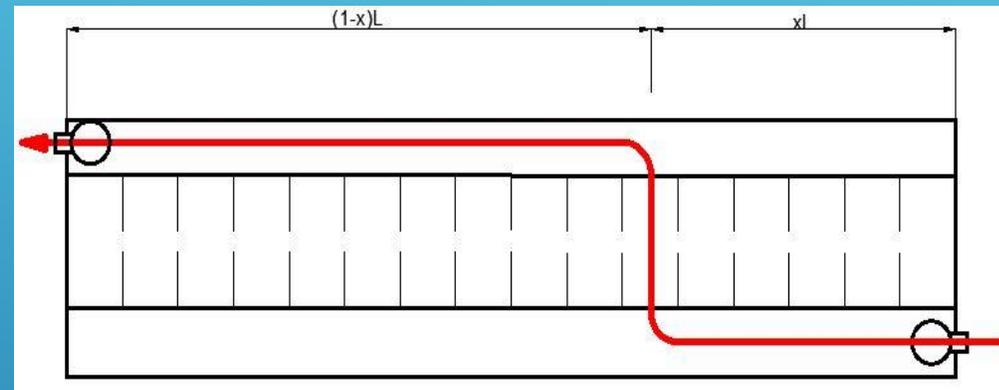
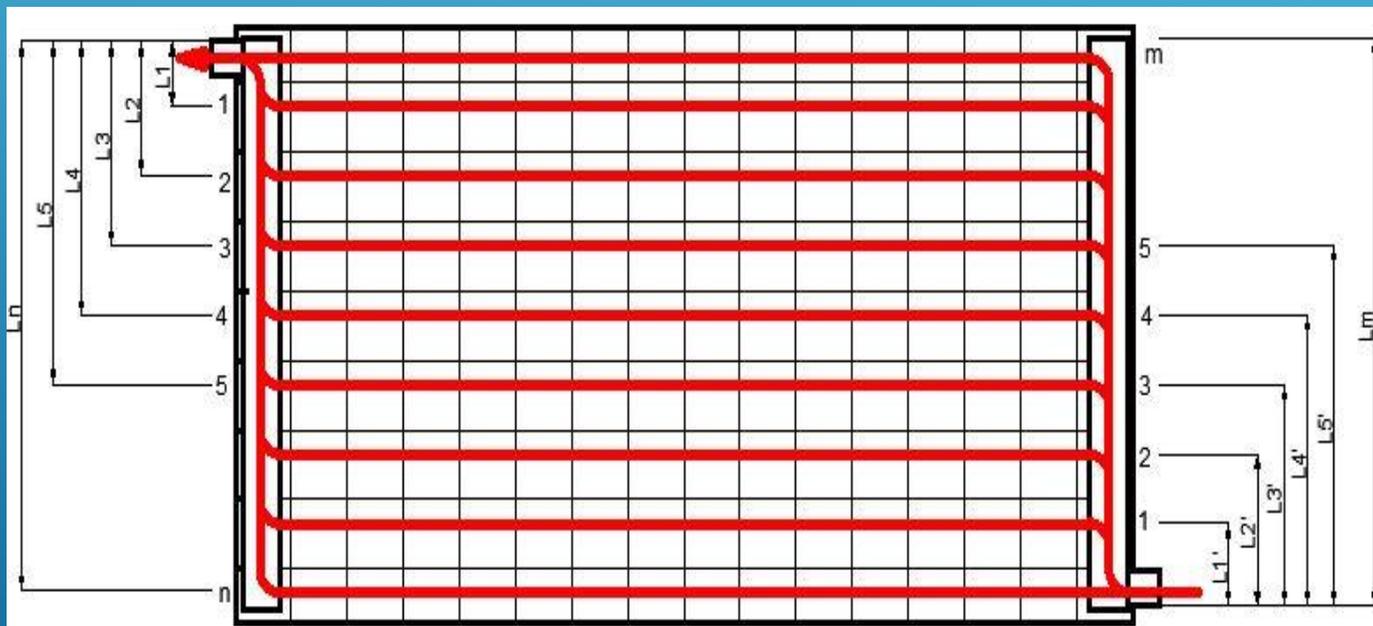
Disponendo i tubi di circolazione in modo che i possibili percorsi che una particella fluida può percorrere sia di uguale lunghezza, si garantisce che ogni percorso produca le stesse perdite in ogni zona del dispositivo .

Essa solitamente, come nei dispositivi presentati, è attuata con il posizionamento delle entrate in modo simmetrico e inverso rispetto alle entrate.

# DISTRIBUZIONE CARICHI MHLM



# DISTRIBUZIONE CARICHI GSMF



# MODELLO MATEMATICO GSMF

La progettazione di GSMF si avvale del modello basato sulla « teoria tempo di ritenzione ». Esso garantisce un tempo di ritenzione all'interno del dispositivo sufficiente affinché la separazione gravimetrica possa avvenire. Utilizza tempi standard provenienti da altre esperienze o da analisi della miscela (coni di Imhoff o simili).

$$t_{sep} \leq \frac{V}{Q} = \frac{L*B*H}{Q} \text{ [s]}$$

Assumendo il tempo di separazione scelto, la portata affinché il flusso nel dispositivo sia laminare e le dimensioni base del dispositivo si può calcolare l'altezza dei due pacchi di honeycomb tali da garantire il tempo scelto.

$$H_{min} = \frac{t_{sep}*Q}{L*B} \text{ [m]}$$

Tale altezza verrà ripartita poi tra i pacchi di honeycomb in proporzione alla quantità della fase interessata nella miscela

# MODELLO MATEMATICO MHLM

La progettazione di MHLM risulta essere più semplice. Infatti MHLM è composto semplicemente da tubi drenanti che devono essere disposti in modo tale da garantire ritorno inverso e quindi omogeneità dei carichi lungo il dispositivo. Ciò che invece necessita di attenzione è la scelta della pompa di circolazione. Essa dovrà sopportare le perdite continue e concentrate presenti lungo il percorso dell'impianto. Per cui è necessario calcolare la prevalenza della pompa di circolazione

$$H = \frac{\Delta p_{tot}}{\gamma} \text{ [m]}$$

E quindi la potenza utile che essa dovrà generare

$$N_u = \frac{\gamma Q H}{102} \text{ [kW]}$$

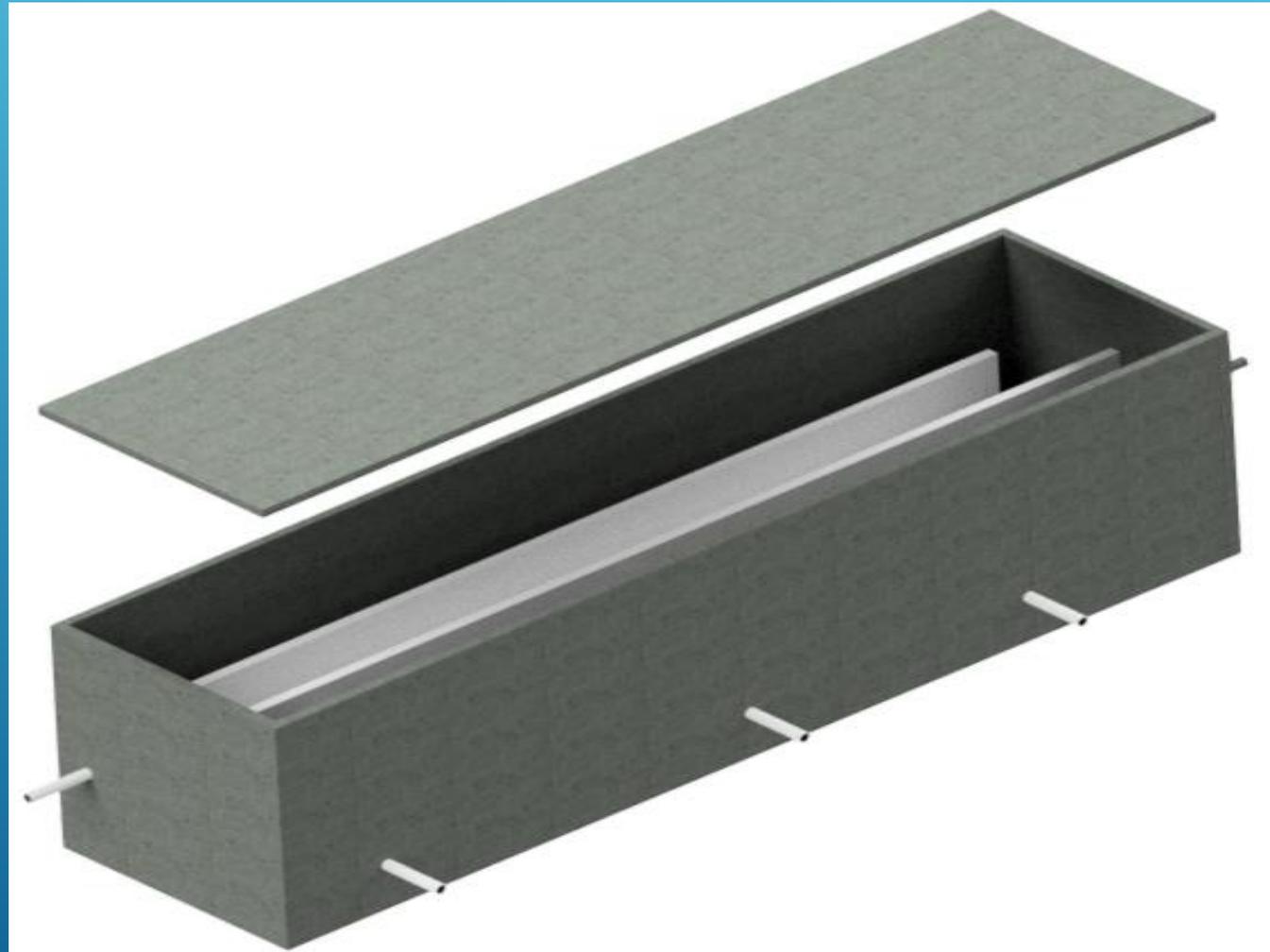
# APPLICAZIONI NELL'INDUSTRIA DELLE ENERGIE RINNOVABILI

Sono molti i possibili ambiti d'utilizzo dei due dispositivi, dall'industria agroalimentare (fermentazione di yogurt, miscelazione di bevande, omogeneizzazione di salse, ecc..) alle industrie legate al trattamento dei reflui urbani e organici in generale e riguardanti le energie rinnovabili.

## **La digestione anaerobica**

La digestione anaerobica, quindi in assenza di ossigeno, consiste in una degradazione controllata di materiali organici grazie alla quale si produce Biogas, acqua distillata e sostanze utilizzabili come fertilizzanti. Il digestore anaerobico di biomasse necessita durante il suo utilizzo di operazioni di miscelazione e separazione del refluo per incentivare e uniformare reazioni biochimiche e riequilibrare i parametri del flusso d'immissione, sottoposto a ricircolo di materiale proveniente dal reattore, fasi oleiche e proteiche già digestate e acqua.

# IL DIGESTORE ANAEROBICO MBGC (Mini BioGas Continuos)



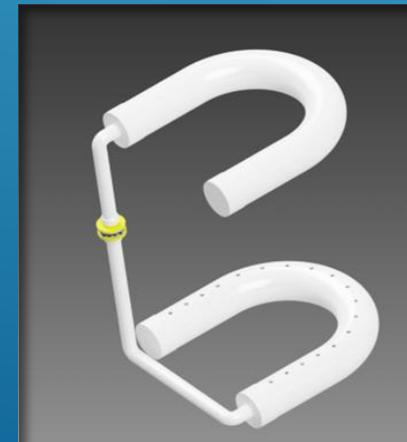
# MLHM NEL MINI-IMPIANTO MBGC

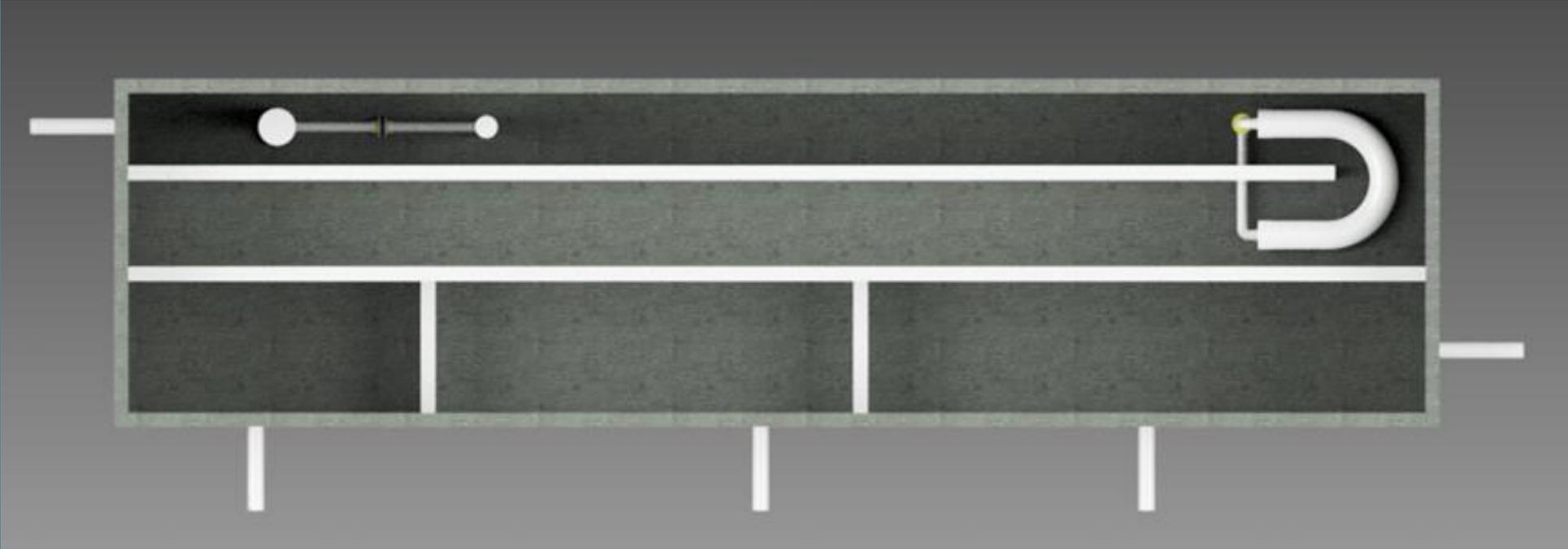
È stato previsto un miscelatore MHLM nella fase iniziale, nei primi 3 metri del percorso del substrato, in cui è necessaria una sua miscelazione per uniformare e omogeneizzare il materiale di ricircolo derivante dal processo all'interno del reattore.

Esso effettuerà una miscelazione localizzata in questa prima zona creando un flusso laminare miscelato lungo il piano verticale.

Inoltre un altro miscelatore MHLM è stato previsto nella zona di passaggio tra il primo e il secondo volume in cui si ha il passaggio da uno stato di reazione chimica ad un altro e dove verrà attuata una azione di desolfurazione per eliminare acido solfidrico dannoso agli scopi per cui i prodotti verranno utilizzati.

Esso a differenza del precedente attuerà una miscelazione lungo un profilo curvo.





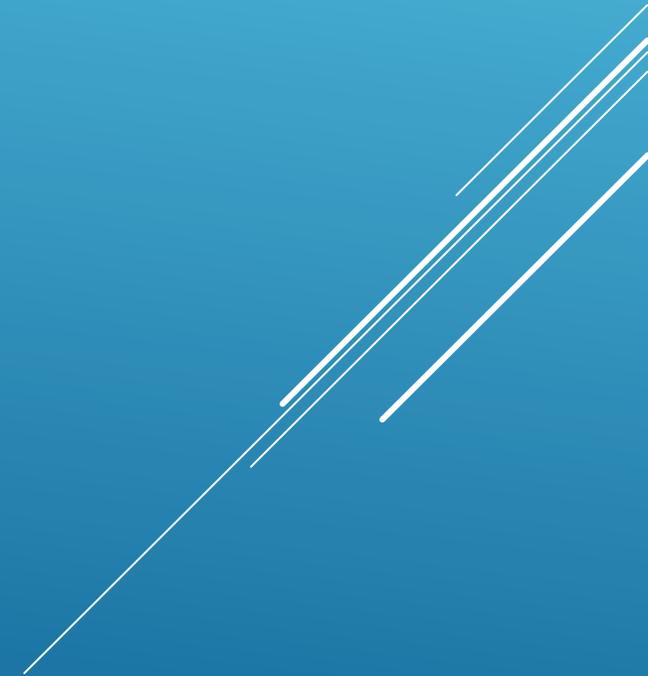
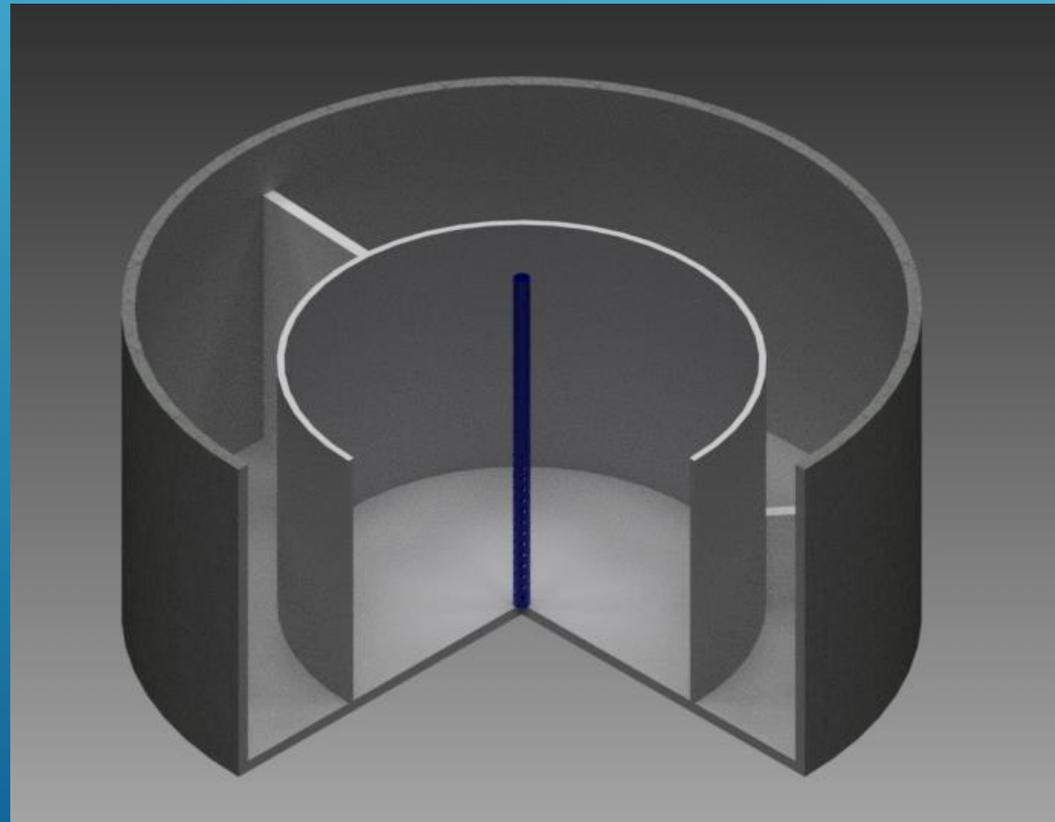
# GSMF NEL MINI-IMPIANTO MBGC

Anche il separatore GSMF risulta utile nel digestore MBGC. Esso può migliorare la separazione delle fasi ottenute alla fine del secondo volume e della vera e propria digestione anaerobica: la parte oleica, proteica e quella di densità mediana composta da acqua e sali.

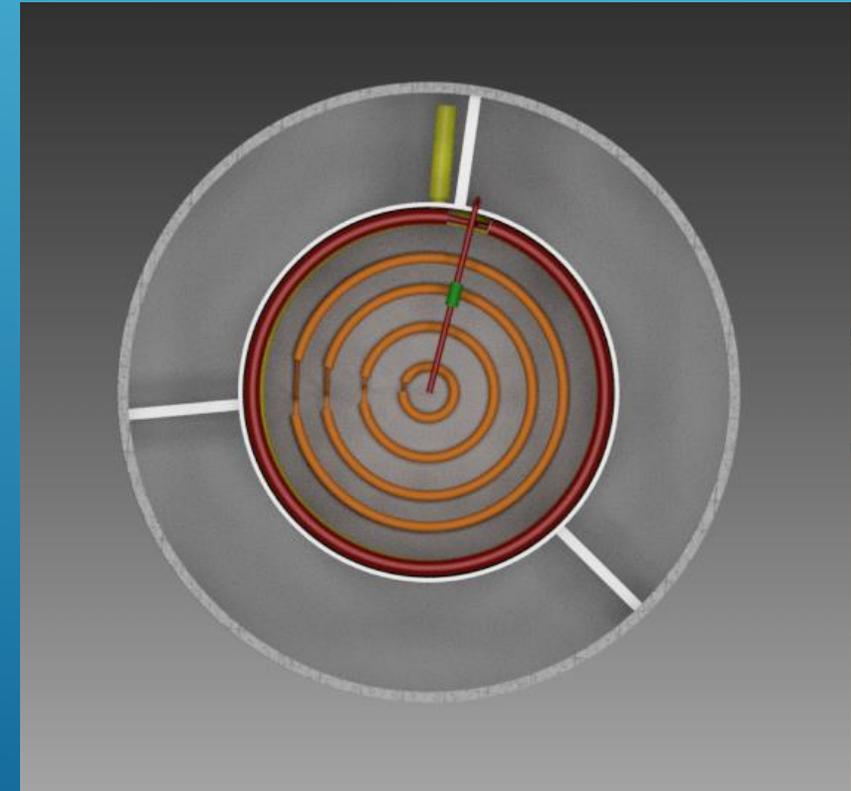
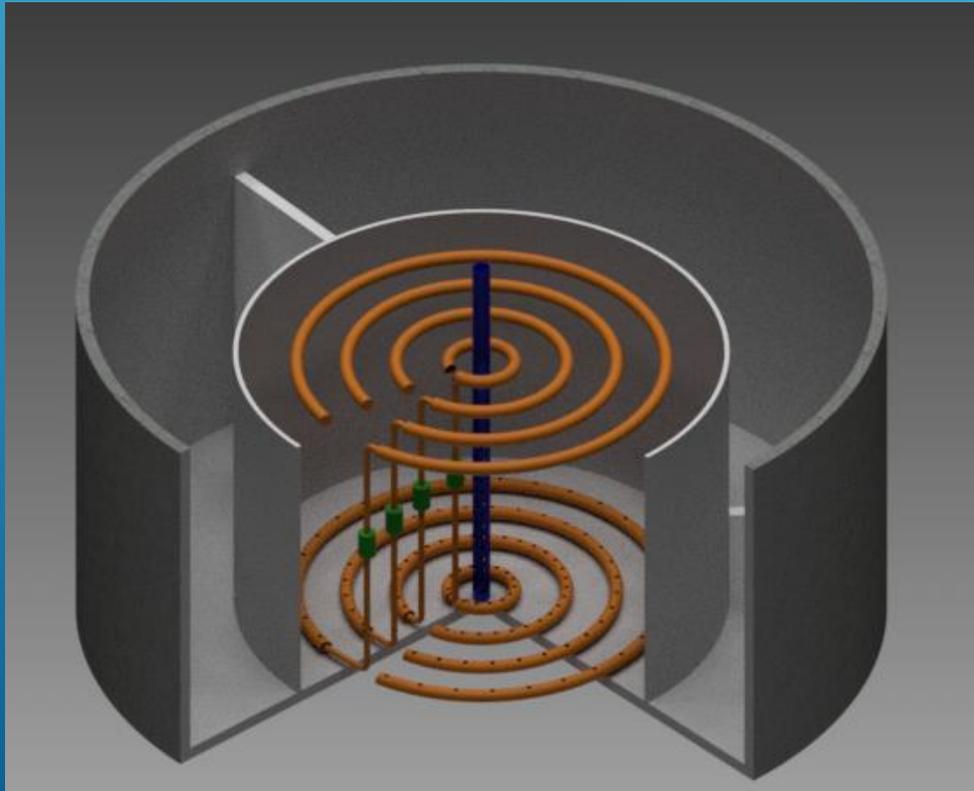
Inoltre una particolare configurazione di GSMF è prevista sopra i due primi volumi in cui ci sarà la produzione di biogas che risulterà utile separare già all'interno del reattore nelle sue due componenti maggiori in quantità e in differenza di peso specifico: anidride carbonica ( $\text{CO}_2$ ) e metano ( $\text{CH}_4$ )

# DIGESTORE MBGC CIRCOLARE

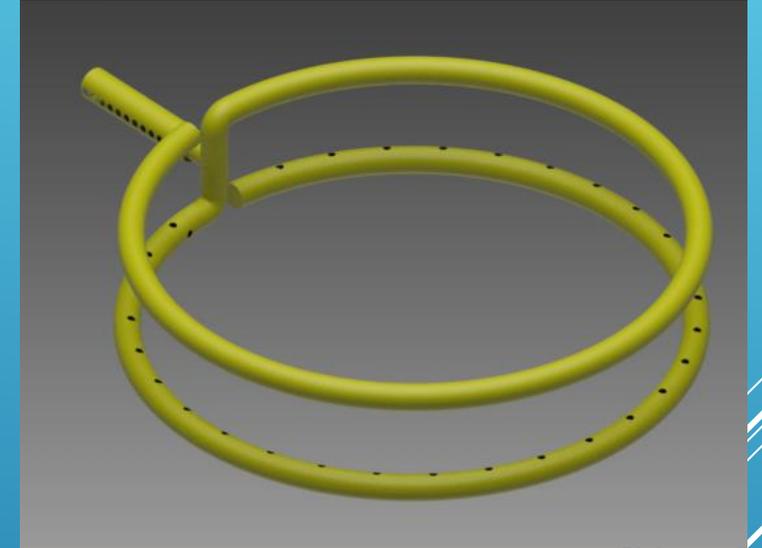
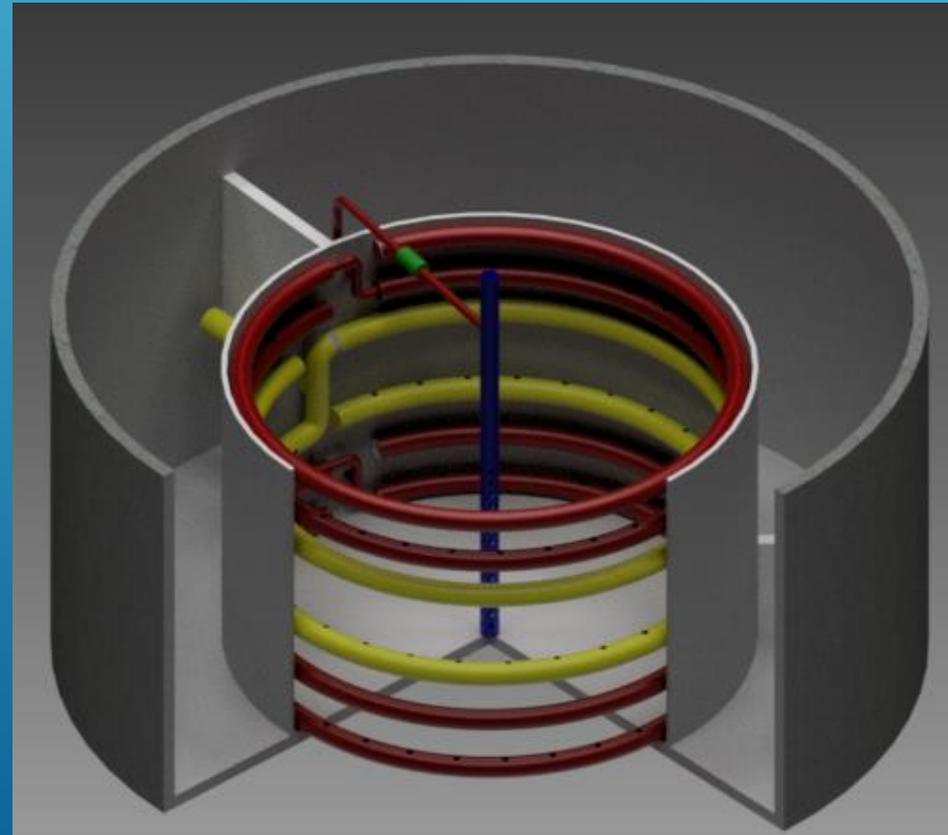
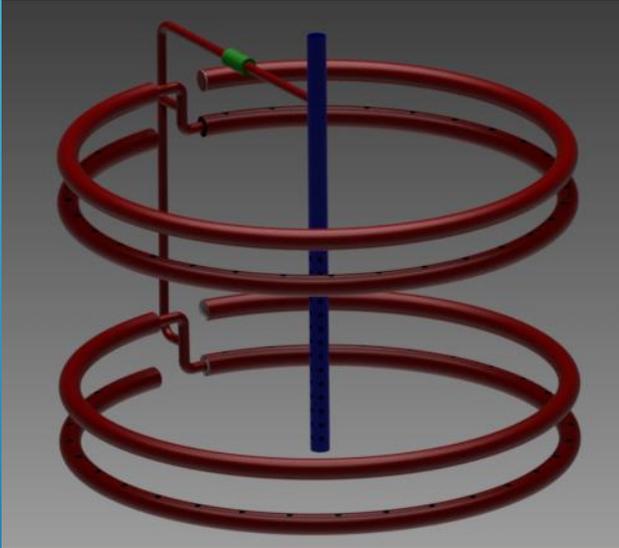
Per meglio comprendere l'azione miscelante localizzata che MHLM può effettuare, è utile vedere il suo possibile utilizzo in un digestore anaerobico come il precedente ma con una dinamica circolare anziché lineare.



Esso potrebbe prevedere quattro miscelatori MHLM in assetto circolare a metà di ciascuna fase per effettuare una miscelazione solo della fase di riferimento. In questo modo viene sottolineato il grande vantaggio apportato da MHLM di miscelare solo porzioni volute di un dato volume non intaccando le zone adiacenti.



Sono presenti anche due pseudo-MHLM per effettuare il ricircolo della fase oleica e proteica alla fine della fase metanigena e per garantire il passaggio della fase di media densità nel cilindro esterno, in maniera uniforme lungo la circonferenza



# CATTURA DI CO<sub>2</sub> DA INSEDIAMENTI ANTROPICI E PROCESSI DI COMBUSTIONE

A livello mondiale si stima che il 40% delle emissioni di anidride carbonica abbia origine antropica e sia riconducibile alla produzione di energia termoelettrica. La CO<sub>2</sub> è emessa principalmente dalla combustione di combustibili fossili, sia in impianti che producono energia, sia in spazi più ristretti come le caldaie. Tali emissioni provengono principalmente da processi industriali e di estrazione di risorse.

Per tale motivo risiede una notevole importanza per contrastare tali emissioni la Carbon dioxide Capture and Storage (CCS) che può presentarsi in diverse configurazioni

- ▶ **Pre-combustione:** processano il combustibile primario in un reattore con vapore e aria o ossigeno per produrre un gas di sintesi costituito principalmente da monossido di carbonio e idrogeno (**Syngas**)
- ▶ **Post-combustione:** sistemi che separano anidride carbonica dai gas prodotti dalla combustione di combustibile primario. Difficoltosa per via delle basse pressioni di CO<sub>2</sub>
- ▶ **Ossicombustione:** processi in pre-combustione che utilizzano ossigeno anziché aria. Ancora in fase dimostrativa

# IL SYNGAS

La gassificazione è un processo chimico che permette di convertire materiale ricco di carbonio, quale ad esempio carbone, petrolio o biomassa, in monossido di carbonio, idrogeno e altre sostanze gassose (costituenti il Syngas).

Il processo di degradazione termica avviene a temperature elevate (superiori a 700-800 °C), in presenza di una percentuale sotto-stechiometrica di un agente ossidante, tipicamente aria (ossigeno) o vapore. La miscela gassosa risultante costituisce quello che viene definito gas di sintesi e rappresenta essa stessa un combustibile. La gassificazione è un metodo per ottenere energia da differenti tipi di materiali organici e trova anche applicazione nel trattamento termico dei rifiuti e viene utilizzato sfruttando un sistema detto gassificatore.

Il Syngas può essere bruciato direttamente in motori a combustione interna, o utilizzato per produrre metanolo o idrogeno, o convertito in combustibile sintetico.

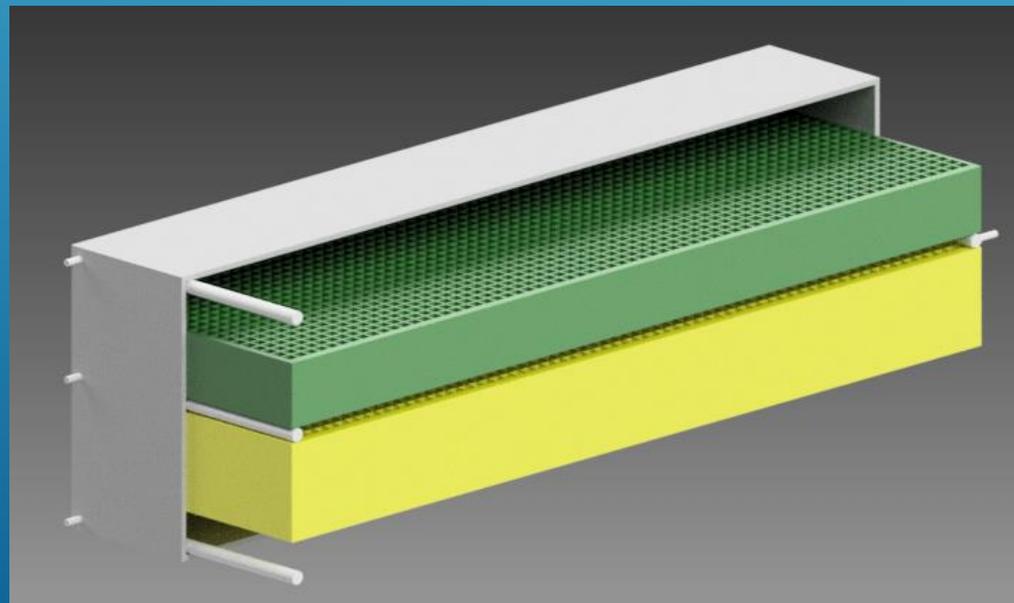
È nei processi di pre-combustione che trova utilità il separatore GSMF. Esso può essere utilizzato viste le differenze di peso specifico tra alcune sostanze componenti il Syngas che permette di identificare tre lotti:

- ▶ Anidride carbonica (CO<sub>2</sub>) -> 16%
- ▶ Monossido di carbonio e azoto (CO e N<sub>2</sub>) -> 72%
- ▶ Idrogeno e metano (H<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub>) e altri gas inerti -> 12%

COMPONENTI DEL SYNGAS	PESO MOLECOLARE [u]	COMPOSIZIONE PER GASSIFICATORE UPDRAFT (%)
Monossido di carbonio (CO)	28	20
Idrogeno (H <sub>2</sub> )	2	5
Metano (CH <sub>4</sub> )	16	4
Anidride carbonica (CO <sub>2</sub> )	44	16
Azoto (N <sub>2</sub> )	28	52
Altri gas inerti	-	3

La progettazione è partita considerando il volume di un container di 50 m<sup>3</sup> (2500x2500x8000) e ripartendo l'altezza di 1 m per quelli di interstizi e 1,5 m per il tratto di honeycomb ( ) maggiore per fungere anche da serbatoio per la quantità decisamente preponderante di azoto e monossido di carbonio. Queste altezze sono state ripartite proporzionalmente alla quantità di fase presente nella miscela.

Considerando una portata di 100 litri/min esso garantirebbe un tempo di separazione di 250 min.



# CATTURA DI CO<sub>2</sub> DALL'ARIA

La cattura della CO<sub>2</sub>, oltre che nei processi di combustione nelle centrali termoelettriche o negli insediamenti urbani esposti nel paragrafo precedente, può avvenire per rimuovere la CO<sub>2</sub> in eccesso libera nell'aria. Essa può implicare metodi naturali, ad esempio impiantando foreste di grandi dimensioni, o metodi artificiali che utilizzano proprietà dell'anidride carbonica per essere estratta.

Nel mondo sono già presenti impianti preposti allo scopo e la prima a idearne e realizzarne uno è stata la società Svizzera *Climeworks*, con sede a Zurigo, che nel 2017 ha inaugurato il primo impianto per cattura di CO<sub>2</sub> direttamente dall'aria. Il progetto sfrutta dei filtri appositamente progettati e riutilizzabili migliaia di volte, composti da granuli porosi modificati con ammine (sostanze con presenza di azoto), che fanno in modo che l'anidride carbonica si leghi all'umidità dell'aria separandosi da essa. Una volta saturo il filtro sarà riscaldato a una temperatura di 100 °C in modo da rilasciare l'anidride carbonica per essere stoccata ed utilizzata per altri scopi

Il problema di queste tecnologie è che devono estrarre una sostanza fortemente diluita nell'aria (essendo presente in percentuali dello 0,03-0,04%) con la necessità quindi di enormi impianti per trattare una quantità sufficiente di aria per estrarre tonnellate di CO<sub>2</sub>. Infatti, il progetto si propone di estrarre l'uno per cento della quantità annualmente emessa in atmosfera, pari ad alcune decine di miliardi di tonnellate, entro il 2024.

In questo ambito può trovare una buona efficacia l'utilizzo del separatore GSMF. Esso, infatti consentirebbe di effettuare una separazione dell'aria permettendo di abbattere i costi, non dovendo realizzare particolari filtri e non necessitando del riscaldamento per l'estrazione della CO<sub>2</sub> da essi. Inoltre, esso consentirebbe anche di catturare dall'aria oltre che l'anidride carbonica, anche l'ossigeno, utilizzabile in altri processi o per aumentare la percentuale di ossigeno in zone in cui esso può essere carente, e dall'azoto, gas inerte immettabile nuovamente in atmosfera o utilizzabile in altri scopi necessari.

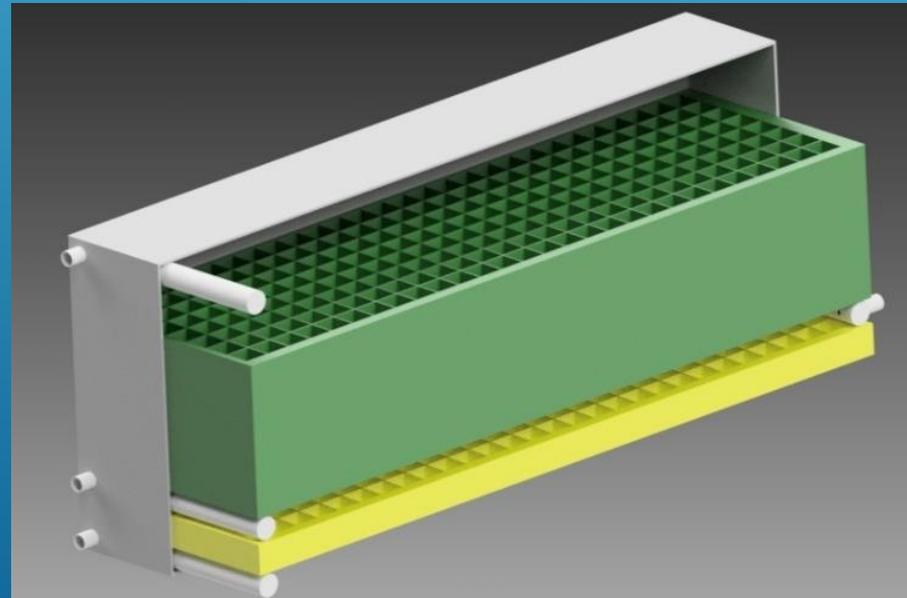
COMPONENTI DELL'ARIA	PESO MOLECOLARE [u]	COMPOSIZIONE [%]
Anidride carbonica (CO2)	44	0,03
Ossigeno (O2)	32	21
Azoto (N2)	28	78
Altri gas	-	0,97

Supponendo delle dimensioni di 1500x450x600 mm per il dispositivo e supponendo un tempo di riferimento, eventualmente da modificare e valutare in base a prove sperimentali con coni di Imhoff o da esperienze precedenti per la separazione gravimetrica dell'aria, di 30 min e una portata di 7 l/min (0,007 m<sup>3</sup>/min) si trova un'altezza minima da garantire dai pacchi di honeycomb di

$$H_{min} = \frac{t_{sep} * Q}{L * B} = \frac{30 * 0,007}{1,5 * 0,45} = 0,31 \text{ m} = 31 \text{ cm}$$

Essa dovrà essere divisa tenendo conto della differenza sostanziale di composizione tra l'anidride carbonica, più pesante e l'azoto, più leggero.

Si è scelto 5 cm per quello l'honeycomb inferiore, sovradimensionandolo per permettere di avere più superficie a disposizione per la separazione tra l'anidride carbonica e le altre fasi più pesanti, e 30 cm (4 cm in più di quelli minimi a garantire i tempi di separazione per sovradimensionare e assicurare una migliore separazione visto lo spazio a disposizione) per quello superiore. La restante altezza verrà divisa tra gli interstizi riducendo al minimo l'interstizio centrale e predisponendone una buona parte per stoccaggio dell'azoto predominante in quantità nella miscela.



GRAZIE PER L'ATTENZIONE!

