



## **STUDIO, PROGETTAZIONE E REALIZZAZIONE DEGLI IMPIANTI PER L'ARRICCHIMENTO DELLE MATERIE PLASTICHE RECUPERATE DAGLI SCARTI VETROSI, PER LA LORO PIROLISI E PER LA PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA E TERMICA MEDIANTE COMBUSTIONE IN APPOSITA TURBINA DEI PRODOTTI OLEOSI E GASSOSI OTTENUTI**

*Ing. Giulio Prelli – Responsabile progettazione impianti energetici SASIL S.p.A.*

### **1) Introduzione e generalità**

Il processo di trattamento Glassy Sand Sasil produce, dallo scarto vetroso indifferenziato, un prodotto puro (*glassy sand*) mediante progressiva eliminazione di materiali estranei, parallelamente alle operazioni di *grain sizing*.

Il residuo eliminato (PCP, Post Consumer Plastic) è in larga misura costituito da plastica alimentare (PE), mischiata a metalli di vario genere, gomme, sugheri e residuo vetroso, non completamente eliminato dal processo di trattamento primario.

Il trattamento a parte di tale scarto permette:

- a) il recupero della frazione vetrosa in esso ancora presente, che viene così re-immessa nel ciclo produttivo primario;
- b) l'eliminazione dei metalli (magnetici e non) presenti;
- c) la produzione di plastica bagnata, destinata alla successiva valorizzazione energetica.

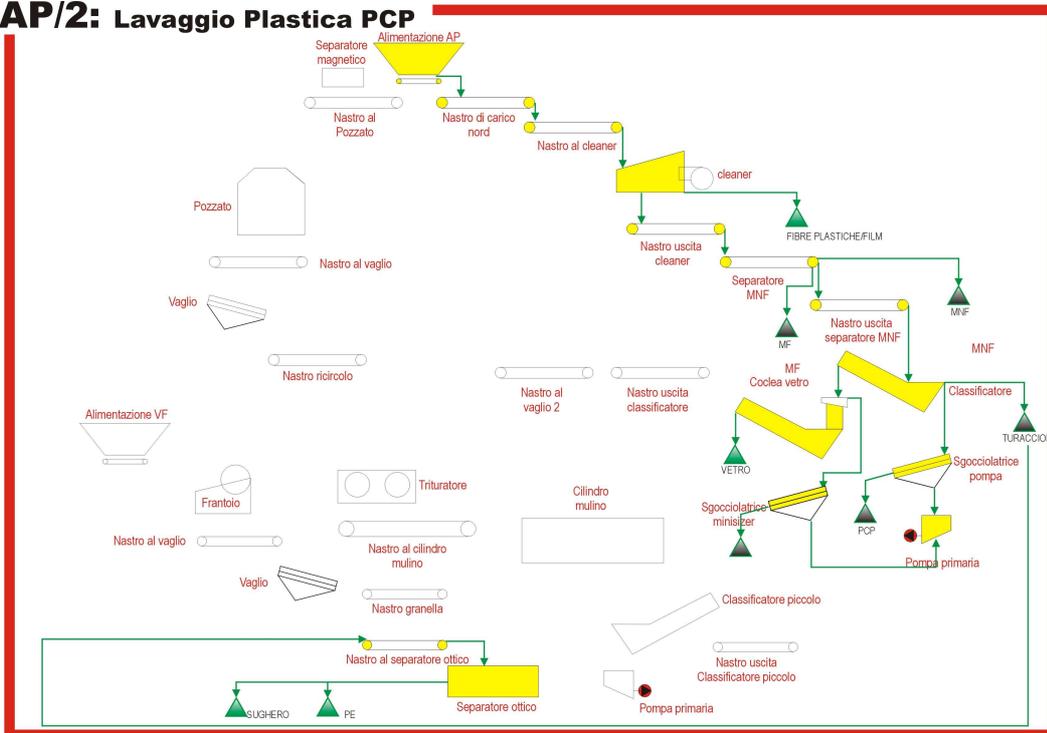
### **2) Trattamento scarto**

Lo scarto viene processato in una linea seriale di trattamento, ciascuno step della quale provvede all'intercettazione e segregazione di una ben precisa qualità di materiale. Gli step implementati sono:

- 1) Eliminazione di fibra plastica e stagnola (alluminio in foglio) mediante separatore a vento (*cleaner*)
- 2) Eliminazione dei metalli ferromagnetici, mediante separatore magnetico a rullo
- 3) Eliminazione dei metalli diamagnetici (alluminio, rame, ottone ecc...) mediante separatore induttivo a correnti parassite
- 4) Segregazione e sgocciolatura plastica in pezzatura medio grossa per galleggiamento su classificatore a spirale
- 5) Eliminazione del sughero mediante separazione ottica
- 6) Segregazione e sgocciolatura plastica in pezzatura fine mediante hydrosizing
- 7) Recupero della frazione vetrosa residua, successivamente reimpressa nel ciclo primario di *glassy sand*



**AP/2: Lavaggio Plastica PCP**



**3) I prodotti finali omogenei della linea di trattamento sono:**

- a) Vetro
- b) Plastica in pezzatura da fine a media, umida.
- c) Metallo magnetico
- d) Metallo diamagnetico
- e) Sughero

**4) Concetti base della valorizzazione energetica della plastica**

La plastica (PE) ha la possibilità di essere trasformata, mediante cracking termico, in idrocarburi liquidi e gassosi (olii e syntgas). Sasil ha sviluppato un programma di trasformazione dei propri scarti plastici in idrocarburi al posto del conferimento in discarica, oneroso ed ambientalmente severo.

Il processo di trasformazione scelto da Sasil è una pirolisi a media temperatura, condotta in assenza d'aria (ambiente in blanda depressione).

Studi preliminari, effettuati in collaborazione con il dipartimento di Chimica Industriale del Politecnico di Milano, hanno permesso di individuare il range di temperatura ottimale (per durata di cracking e qualità dei prodotti ottenuti) di processing della plastica in idrocarburi effluenti.





## Progetto MEIGLASS

Giornata conclusiva sui risultati e sulle prospettive

Venerdì 19 febbraio 2010

Palazzo Boglietti - Biella



Risulta infatti che, sia la qualità del trasformato, che la velocità di reazione nonché le proporzioni tra synt gas e olii ottenuti, dipendono dalla temperatura di processo in ragione logaritmica, almeno per quanto concerne la velocità di cracking. Cracking rapidi, sotto il minuto di durata, producono catene di idrocarburi "corte", riducendo catrami e peci. Inoltre per tali durate si ottiene un syngas con un potere calorifico analogo a quello del metano.

### 5) Range operativi e parametri di processo

Prove industriali sul PCP SASIL, condotte in Germania prima ed in laboratorio Sasil successivamente, hanno permesso di affinare ulteriormente un adeguato range di temperatura di processo, compreso tra 450 e 550 °C. Le prove effettuate supportano così la concreta possibilità di scomporre la plastica grezza in circa un 65% di olii ed in un 25% di synt gas con recupero del 10% di ceneri, perlopiù vetrose. Tale range inoltre è inferiore ai valori termici di stick del vetro che quindi non diventa pastoso e può essere mosso ed evacuato senza problemi.

### 6) Impianto, prototipi e main concept

Un primo test industriale di quanto sopra è stato condotto in Sasil utilizzando un impianto pilota dedicato, di ideazione ed allestimento americani. L'impianto pilota processava la plastica in coclee ermetiche immerse in una camera calda, con estrazione in continuo dell'effluente e sua condensazione successiva con scrub e raffreddamento in colonna.

La concreta possibilità di trasformazione della plastica è stata indubbiamente verificata in questa prima serie di test, tuttavia l'architettura a coclee del sistema e in particolare l'afferimento di calore alla plastica, non si rivelarono idonee ad un buon bilancio di massa. Di fatto, i prodotti effluenti risultarono di qualità scadente (catene di idrocarburi lunghe dovute al basso livello termico di crack), molto sbilanciati verso olii pesanti (morchie, gel, nafta e peci) e del tutto insoddisfacenti nella frazione syngas, sia per quantità di quest'ultimo che in potere calorifico.

Si è quindi studiato di modificare completamente l'architettura di reazione.

La componente del tutto modificata è stata la geometria della superficie di scambio: dal mantello cilindrico di un sistema di coclee, si è scelto di passare ad una superficie piana ed estesa che permettesse al materiale di "vedere" il più possibile la temperatura di trasformazione, distribuendosi a diretto contatto col fondo del reattore, senza galleggiamenti su pozze fluide. La capacità infatti della plastica fusa di trasmettere calore per conduzione è limitatissima: un letto fluido di plastica fusa costituisce di fatto un isolante termico per quella che vi galleggia.

Occorreva dunque disporre di una superficie ampia su cui distribuire la plastica il più possibile, sia nel contatto solido/solido che in quello effluente-parete.

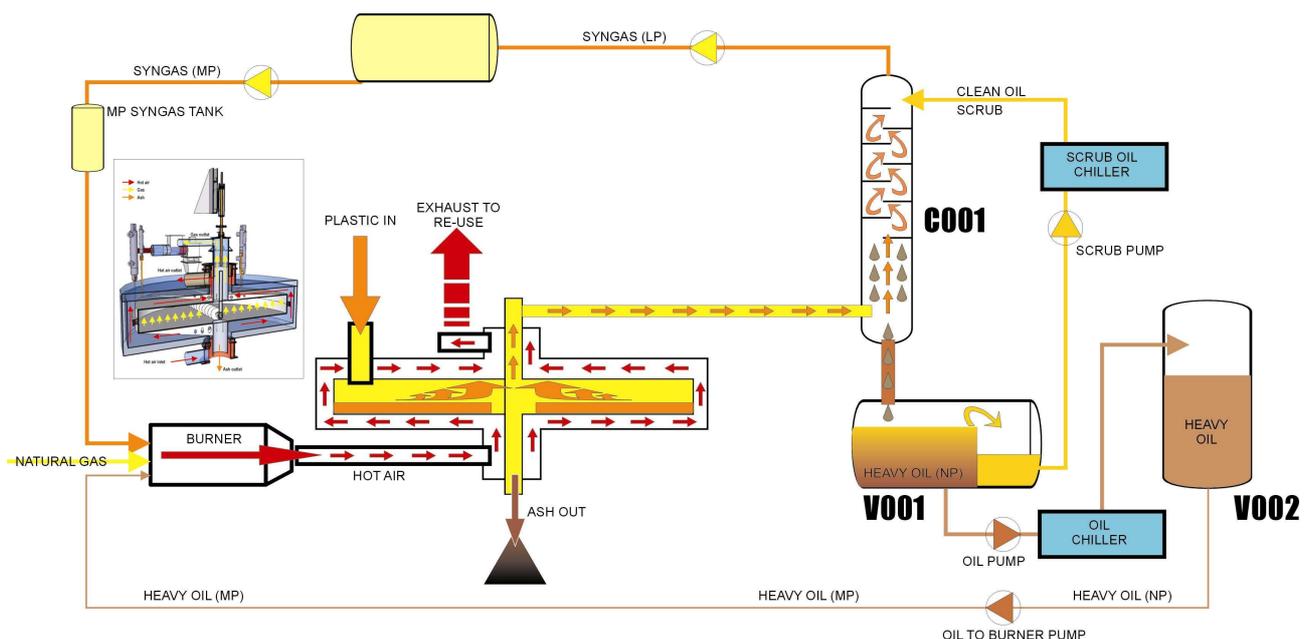
Si è quindi passati alla progettazione di un sistema piano che mettesse a disposizione circa 12 m<sup>2</sup> di superficie di scambio diretta solido/solido, più altrettanti di scambio effluente/solido.



## 7) Parametri di dimensionamento e progetto

Il problema di base era dunque il seguente:

- Fornire alla plastica una superficie metallica, piana di scambio termico la cui temperatura superficiale fosse di almeno di 450°C, uniformemente distribuita
- Realizzare e mantenere la chiusura ermetica della camera di cracking assicurando così l'esistenza di un ambiente di trasformazione privo di aria (evitando così l'accensione e la combustione dell'effluente generato)
- Fornire il calore di trasformazione mediante uno scambio aria-parete con un flusso di aria calda esterno al reattore, predisponendo poi all'uscita, il recupero della quota di calore non utilizzata
- Scegliere materiali e geometrie adatte all'impiego in continuo dell'impianto e non a batch
- Utilizzare per la generazione di aria di riscaldamento un adeguato bruciatore che fosse in grado di utilizzare anche synt gas e olii pesanti generati dal processo per self feeling in anello chiuso

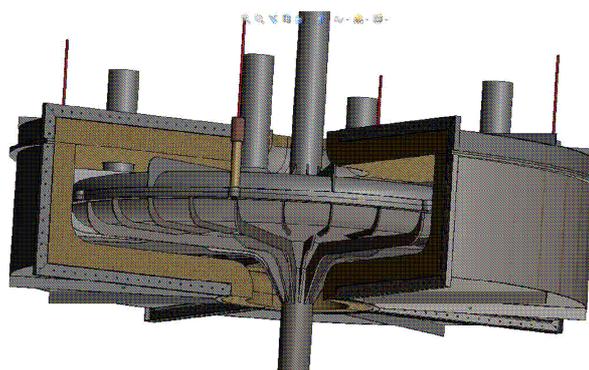
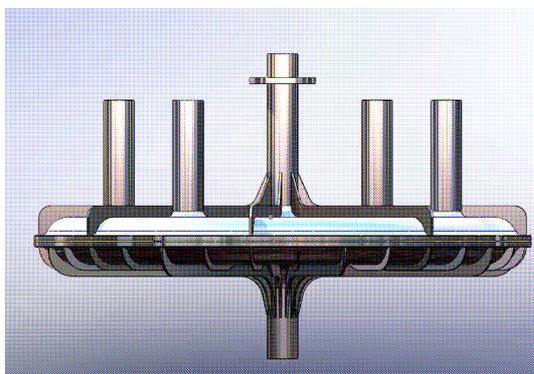


## 8) Problematiche affrontate e soluzioni emerse

Definite le basi teoriche del sistema, il problema principale, da un punto squisitamente termomeccanico, è stata lo studio e la realizzazione di un reattore metallico (interno) di dimensioni notevoli (4metri di diametro per circa 5t di peso) che fosse in grado di lavorare immerso in un flusso d'aria di temperatura compresa tra 700 e 800°C, al cui interno potesse essere poi immessa, in continuo (e a tenuta d'aria), una certa quantità di plastica. Il reattore doveva poi essere in grado di estrarre l'effluente fluido (syntgas e vapori d'olio) e le ceneri.

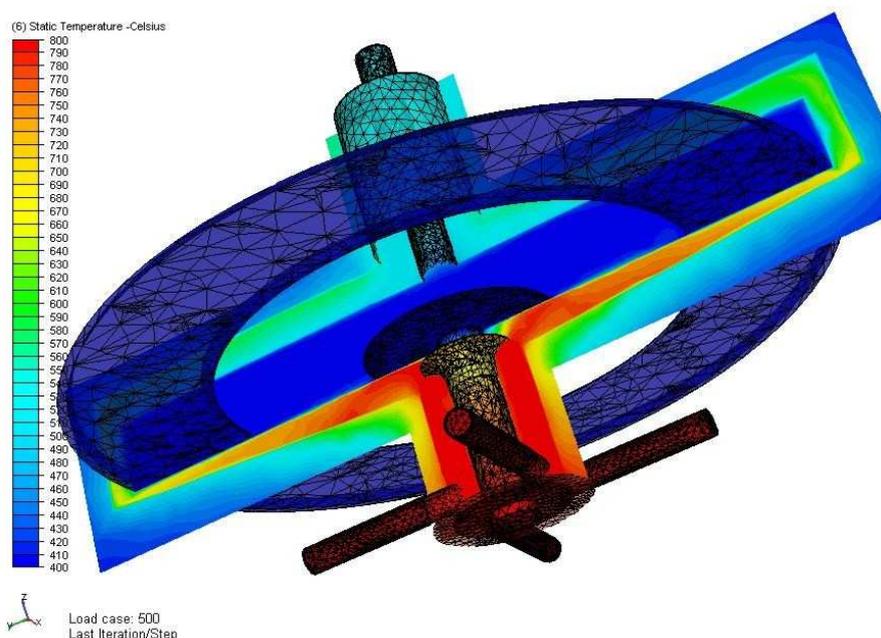


L'idea di base è stata quindi quella di creare un reattore interno circolare, metallico, costituito da due shell accoppiate, sospeso all'interno di una camera concentrica esterna, refrattariata. Nell'intercapedine toroidale tra le due shell, viene iniettata aria calda (a circa 750°C), generata da un bruciatore ibrido (olio e gas) modulante con aria falsa. Il bruciatore è inoltre dotato di una camera di combustione dimensionata in modo da assicurare la permanenza dei fumi per almeno 2 sec ad oltre 800°C, per eliminare così ogni residuo inquinante che possa venire dalla combustione dei prodotto oleosi provenienti dal cracking.

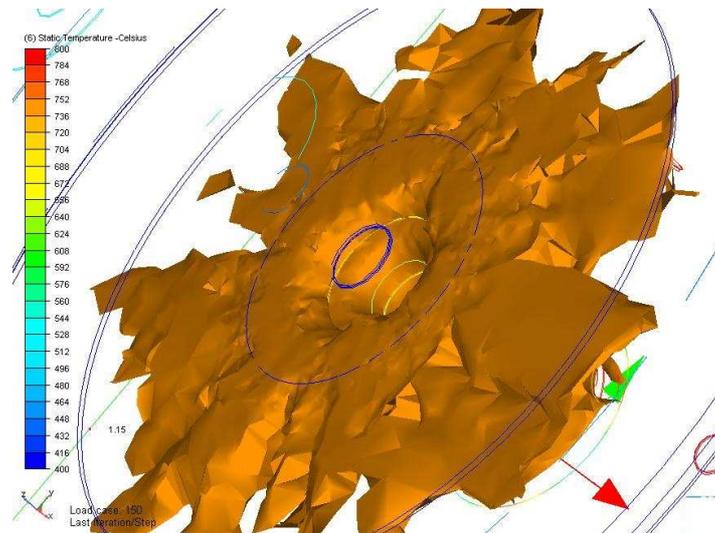


Definita l'architettura, il problema successivo è stato quello di dimensionare le geometrie in modo da massimizzare le velocità laminari di scambio aria-reattore, in modo da ottimizzare il più possibile la cessione di calore a quest'ultimo da parte della corrente calda.

A questo scopo si sono condotte svariate simulazioni con modellatore fluidodinamico ad elementi finiti e solutore non lineare (per la valutazione dei transitori)



Una volta ottimizzate le geometrie di camera esterna ed interna (da cui dipende la distribuzione delle velocità), è stato possibile ottenere la mappatura della temperatura sul fondo del reattore interno: il gradiente termico cioè che la plastica incontra, quando alimentata alla periferia e successivamente trascinata a spirale verso il centro del fondo, da un sistema di mixing a rastrello.



Proprio la rilevata presenza di un notevole gradiente di temperatura sul fondo (più caldo al centro che alla periferia del disco base), ha richiesto la seconda parte di simulazione FEM, ora limitatamente alla verifica strutturale del guscio nelle condizioni di transitorio e di regime.

Il problema è infatti complesso: i limiti di snervamento e le caratteristiche meccaniche dell'acciaio, subiscono una progressiva, netta diminuzione all'aumentare della temperatura, con conseguente rischio di snervamento, alte deformazioni plastiche e creep.

Per ovviare alle deformazioni, è stato quindi necessario creare e dimensionare un sistema di nervature di rinforzo che devono garantire la resistenza meccanica senza al contempo incrementare eccessivamente il peso complessivo del componente.

Inoltre, le dilatazioni radiali della shell inferiore interna si sono rivelate in simulazione più estese di quelle della shell superiore (meno lambita infatti dai fumi caldi), con rischi per la tenuta di accoppiamento durante l'esercizio.

Numerose iterazioni con diverse geometrie, ci hanno permesso di giungere ad un compromesso finale accettabile già in sede di simulazione. Un opportuno sovradimensionamento dei gradienti teorici rispetto a quelli attesi nella realtà, assicura ai risultati una rispondenza attendibile.

Parallelamente sono stati valutati e studiati i materiali più idonei alla realizzazione della shell interna. Alla fine si è scelto un acciaio inox austenitico, un classico AISI 310. Su base della bibliografia nota (Euroinox) per questo materiale è stata inoltre valutata la sua resistenza allo scorrimento viscoso (creep) su utilizzo prolungato. Il retrofit in questa direzione ha permesso di correggere localmente spessori e geometrie in modo da rilassare le zone altrimenti troppo sollecitate a caldo.

## 9) Parametri fluidodinamici

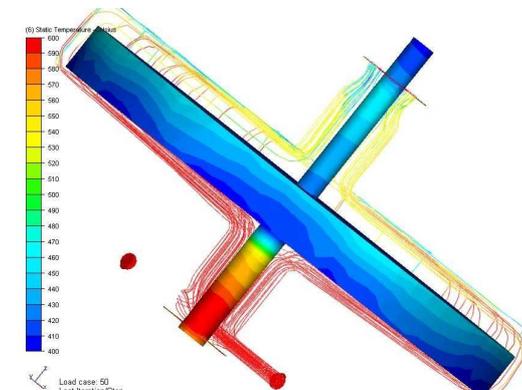
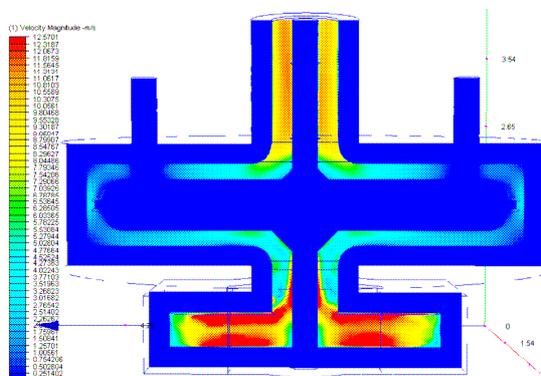
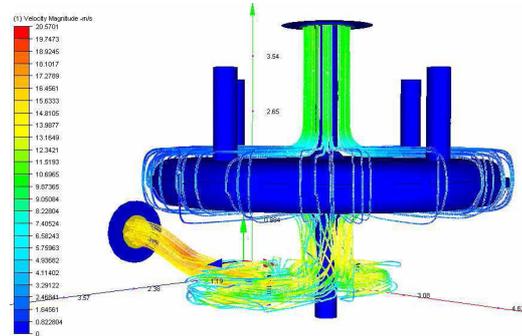
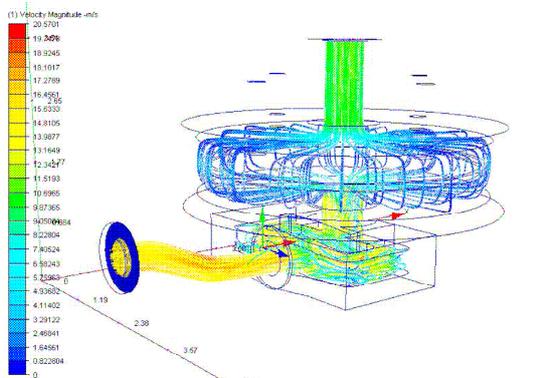
La fluidodinamica finale è stata poi ulteriormente reiterata, affinata e modificata attorno ad un unico scopo: mantenere le velocità di contatto fondo vene fluide adeguatamente alte e stabili riducendo così il più possibile il gradiente di temperatura del fondo del reattore, soprattutto durante la prima fase transitoria di riscaldamento (visto che a regime poi, la conduzione termica trasversale della matrice metallica garantisce uno status reale con gradienti attesi come meno spinti e dunque corrispondenti deformazioni più contenute).

Di fatto, a fronte di alte velocità dei fumi caldi all'uscita del bruciatore, si registra un rapido decremento delle stesse nella zona a contatto col fondo del reattore stesso: ciò dovuto all'improvviso allargamento della sezione di passaggio dai condotti inferiori all'intercapedine di efflusso.

Poiché poi nelle zone periferiche le velocità risultavano decisamente basse (1-2 m/sec), si è dimensionato e verificato un sistema di swirl che potesse accelerare, strozzandolo, il flusso di aria calda prima di allargarlo verso il fondo, rendendo al contempo più uniforme e stabile, l'intera effluenza contro il fondo.

Questi accorgimenti hanno permesso di contenere, in simulazione, il gradiente termico entro i 100°C (più caldo il centro reattore rispetto alla periferia).

Le condotte di afferimento da bruciatore a camera toroidale sono poi state dimensionate eliminando ristagni e cold point, in maniera da minimizzare le dispersioni.



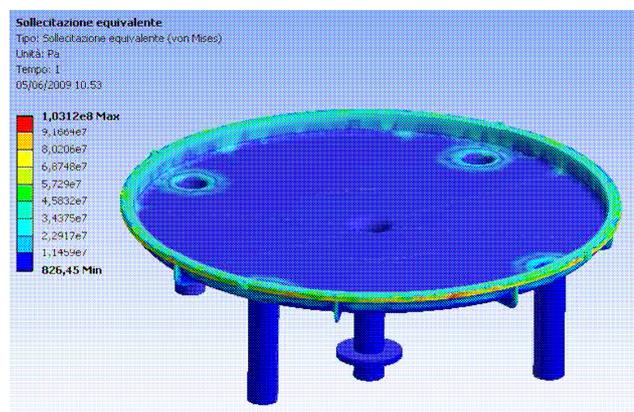
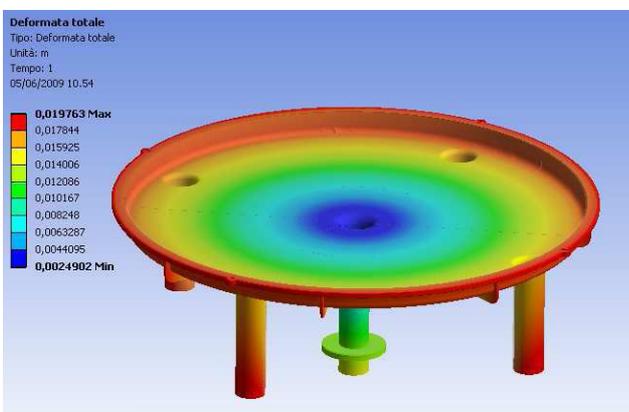
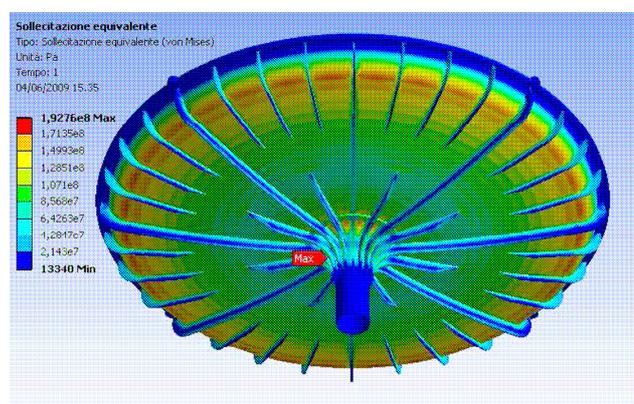
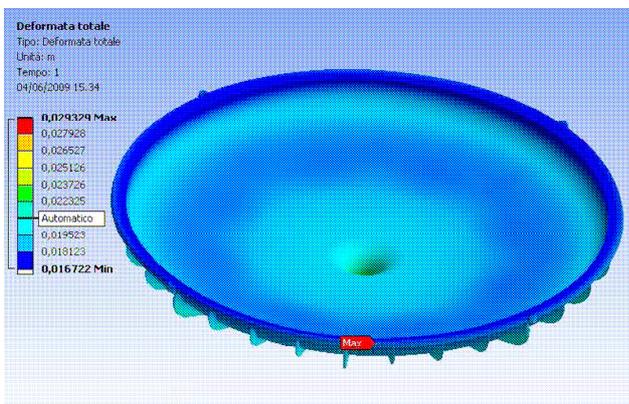
## 10) Parametri termomeccanici

Il reattore interno, essendo composto da due semigusci, è accoppiato con baderna di tenuta e sistema di serraggio idraulico. Il problema strutturale della tenuta è scomponibile così in tre aspetti base:

- Diversa dilatazione radiale tra guscio superiore ed inferiore
- Rischio di snervamento a caldo in alcune zone del semiguscio inferiore
- Eccessiva "spanciatura" del fondo della shell inferiore quando dilatato

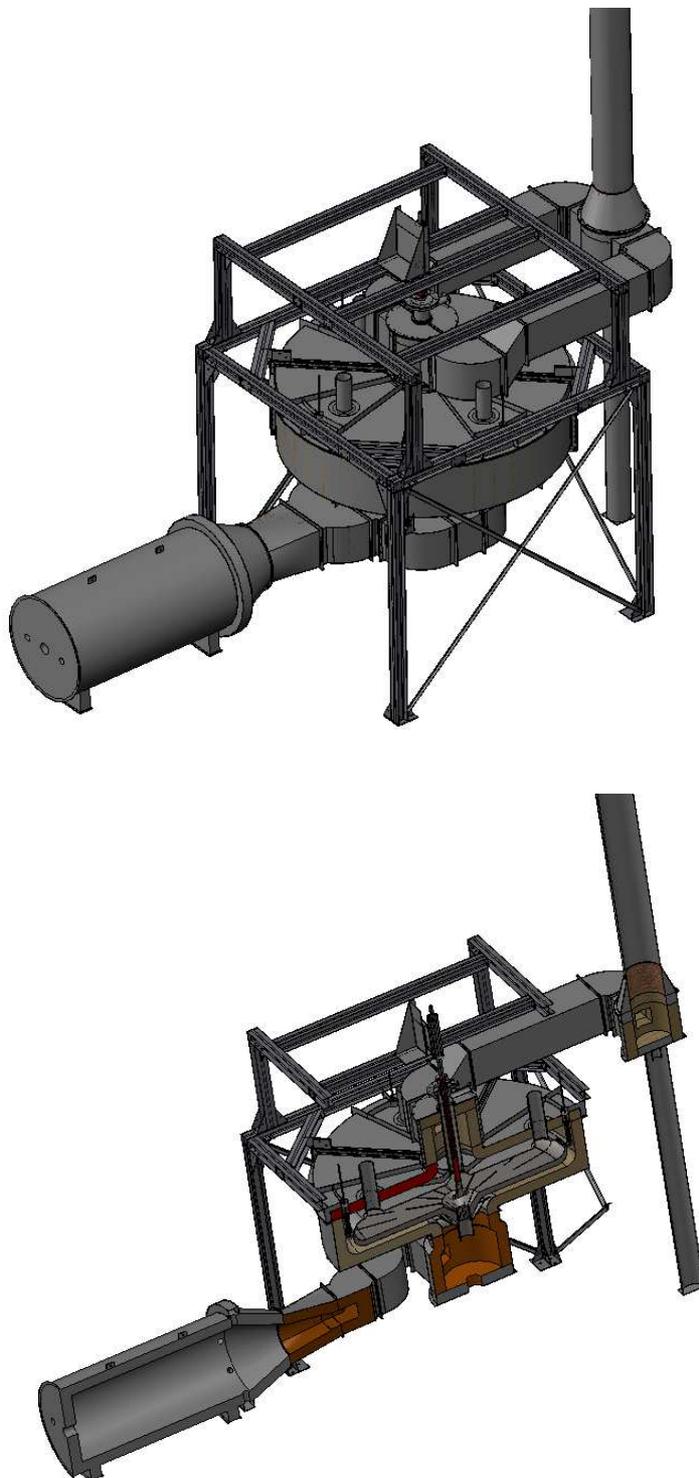
La diversa dilatazione è stata sostanzialmente risolta, lasciando un grado di libertà radiale ad entrambi i gusci. Il più dilatato risulta così l'inferiore che trascina con sé i tiranti di sostegno, ma tali tiranti scorrono in asole radiali ricavate nella flangia del superiore. La configurazione dilatata (a regime) non crea così effetto di taglio sui tiranti, né sollecita la baderna poiché l'affaccio a quest'ultima è piano.

Snervamento e spanciatura sono invece state contenute dal sistema di nervature radiali. Per il dimensionamento sono state imposte al solutore FEM condizioni termiche più severe di quelle attese a regime (gradiente termico tra centro e periferia doppio del reale) e inserendo nelle matematiche le curve di degrado dei coefficienti meccanici al variare della temperatura per simulare al meglio il reale, progressivo indebolimento della matrice metallica sollecitata.



**11) Allestimento finale**

Nella figura è possibile vedere una sezione trasversale del reattore intero con le varie soluzioni adottate.





## Progetto MEIGLASS

Giornata conclusiva sui risultati e sulle prospettive

Venerdì 19 febbraio 2010

Palazzo Boglietti - Biella



### 12) Sezione di condensazione

La sezione di condensazione ha lo scopo di separare il syngas dagli olii, mediante scrub in colonna a piatti. La frazione gassosa separata, viene estratta in continuo dalle soffianti di sistema che provvedono poi ad inviarla ad una sottostazione di compressione che ne aumenta la pressione fino al valore idoneo all'invio al bruciatore. Il condensato si addensa invece in un primo serbatoio a doppia camera con stramazzo. La frazione pesante si condensa sul fondo da dove viene estratta con pompa ed inviata al bruciatore, mentre la frazione più leggera galleggia su quella pesante e continua a stramazzare nella camera attigua divenendo il gasolio di scrub.

Scambiatori acqua-olio provvedono a mantenere le temperature dei prodotti sotto le soglie di rischio.

### 13) Turbina, bilanci Sasil+bifuel

Per chiudere l'anello di generazione ed utilizzo dei prodotti, Sasil ha scelto di predisporre un turbogeneratore da 1MW che fosse in grado di utilizzare come combustibile sia gas (metano e/o syngas) che olii.

A questo scopo il turbogeneratore è motorizzato con una turbina avioderivativa accoppiata ad un generatore.

La scelta di questo particolare tipo di generatore è dunque motivata da due aspetti:

- 1) una turbina fornisce 1MW elettrico e 2MW termici, questi ultimi fruibili ed utilizzabili direttamente per l'essiccazione dei prodotti Sasil;
- 2) la natura del motore aeronautico permette di prevedere alimentazione sia con combustibile gassoso (previa compressione di quest'ultimo) che liquido, il che rende il sistema adatto all'utilizzo di entrambi gli idrocarburi disponibili.

Un ulteriore accenno va fatto per il sistema di condotte di recupero dei gas esausti di turbina. Sasil ha sviluppato infatti un sistema di condotte coibentate e un sistema di valvole parzializzanti per distribuire su due essiccatoi il flusso.

