



Politecnico di Milano
CMIC Dept. "Giulio Natta"



Sotacarbo SpA

Impianto pilota AG2S:

Dimensionamento di massima

Report Attività

Anna Dell'Angelo
Flavio Manenti¹

Caterina Frau²
Enrico Maggio
Alberto Pettinau

POLITECNICO DI MILANO
Dipartimento di Chimica, Materiali e Ingegneria Chimica "Giulio Natta"
Centre for Sustainable Process Engineering Research (SuPER)
Building 6, Piazza Leonardo da Vinci, 32 - I-20133 Milano, ITALY
¹Phone: +39.(0)2.2399.3273; Fax: +39.(0)2.2399.3273; Email: flavio.manenti@polimi.it

SOTACARBO SPA
c/o Grande Miniera di Serbariu, 09013 Carbonia, ITALY
¹Phone: +39(0)781 1863071; Fax: +39(0)781 670552; Email: c.frau@sotacarbo.it

Milano, 28 Dicembre 2018

Indice

| | |
|---|----|
| 1. Introduzione..... | 4 |
| 2. Strumenti | 5 |
| 2.1. Libreria cinetica..... | 5 |
| 2.2. Simulatore di reti di reattori..... | 5 |
| 2.3. Libreria numerica..... | 6 |
| 2.4. RTR simulation package | 6 |
| 3. Simulazione dell'impianto IOSTO..... | 7 |
| 3.1. Cinetica..... | 7 |
| 3.2. Processo (sezione termica) | 8 |
| 3.2.1. Bilanci di massa ed energia (H&MB)..... | 9 |
| 3.2.2. Data sheet per le nuove unità..... | 9 |
| 4. Conclusioni e sviluppi futuri..... | 10 |
| 5. Staff e disseminazione | 11 |
| 6. Appendice A – Heat & Material Balances | 12 |
| 7. Appendice B – Data Sheet | 13 |

1. Introduzione

Il report propone ed illustra la sostenibilità e fattibilità del revamping dell'impianto IOSTO ad AG2S™ (Acid Gas to Syngas™). Il confronto svolto permette pertanto di risolvere le attività definite per l'anno in corso, ovvero:

1. bilanci di massa ed energia, utili per definire i carichi relativi delle varie operazioni unitarie;
2. datasheet delle operazioni.

Al fine di istruire le attività di revamping per l'impianto IOSTO, il presente report fa riferimento esplicito alle attività di studio di processi Grassroots and Refurbishing illustrati nel precedente report (2017-2018), dove il confronto è strutturato per una taglia industriale d'impianto, in modo da sfruttare appieno le competenze del gruppo di ricerca nella definizione preliminare dei carichi relativi (bilanci) delle varie operazioni unitarie e sezioni di processo. Tale studio, permetterà poi di dimensionare in dettaglio il pilota AG2S™ assieme a Sotacarbo.

I dati selezionati corrispondono a correnti di processo tipiche di raffineria (Tabella 1).

Tabella 1.1. Dati selezionati per il dimensionamento di massima.

| Description | | H2S-AMINE | H2S-SWS |
|--------------------|---------|-----------|----------|
| Composition | | | |
| H2 | kmol/h | 8.30 | 0.00 |
| H2O | kmol/h | 16.20 | 34.15 |
| CO2 | kmol/h | 11.00 | 0.00 |
| H2S | kmol/h | 403.50 | 42.05 |
| NH3 | kmol/h | 0.00 | 33.60 |
| C1 | kmol/h | 1.40 | 0.00 |
| C2 | kmol/h | 0.70 | 0.00 |
| C3 | kmol/h | 0.90 | 0.00 |
| | | | |
| Molar Flow | kmol/h | 442.00 | 109.80 |
| Mass Flow | kg/h | 14627.92 | 2620.647 |
| Temperature | °C | 40.000 | 85.000 |
| Pressure | barg | 1.82 | 1.82 |
| MW | kg/kmol | 33.09 | 23.87 |

Il presente report include, pertanto, una breve introduzione degli strumenti utilizzati per lo studio di flowsheeting preliminare (Paragrafo 2), i bilanci di massa ed energia (Paragrafo 3), e le conclusioni e i prossimi sviluppi (Paragrafo 4).

2. Strumenti

Per lo studio di dimensionamento di massima del processo AG2S™ ci si è avvalsi delle attività precedentemente sviluppate ed affinate (report 2015-2016, report 2016-2017 e report 2017-2018) attraverso la collaborazione tra il Centro Ricerche SOTACARBO e il Centre for Sustainable Process Engineering Research (SuPER) del Politecnico di Milano.

In particolare, ci si è avvalsi della libreria cinetica con circa 30'000 reazioni, della suite di simulazione di Reti di Reattori (DSmoke 7.0), della libreria numerica per la simulazione e l'ottimizzazione dei processi (BzzMath 7.1) e di diverse soluzioni CAPE (Computer Aided Process Engineering) per l'integrazione dei modelli dettagliati di simulazione del Regenerative Thermal Reactor (RTR) della tecnologia AG2S™ all'interno del software di simulazione commerciale AspenHysys® (by AspenTech) e PRO/II® (by Schneider-Electric).

2.1. Libreria cinetica

La libreria cinetica è sviluppata presso il Centre for SuPER dal 1969¹. La parte della libreria che comprende i meccanismi di pirolisi è il nucleo del programma SPYRO, per la simulazione dei forni di cracking, commercializzato da Technip-Pyrotec (NL) da diverse decadi. La parte di libreria cinetica adottata per gli studi relativi alla tecnologia AG2S™ comprende i meccanismi per l'ossidazione parziale del carbonio², i meccanismi per le specie solforate³ e i meccanismi per le specie azotate⁴. La libreria è convalidata attraverso un vasto database che include sperimentazioni ad hoc, esperimenti di letteratura e campagne sperimentali pilota (test run) e industriali.

La libreria cinetica dell'AG2S™ non è dischiusa alle comunità scientifica e tecnica.

2.2. Simulatore di reti di reattori

Il Reattore Termico Rigenerativo (RTR)⁵ della tecnologia AG2S™ è riportato in Figura 2.1. Si tratta di un reattore non ideale che include una camera termica, un waste heat boiler e uno scambiatore gas/gas di tipo feed/effluent per recupero energetico.

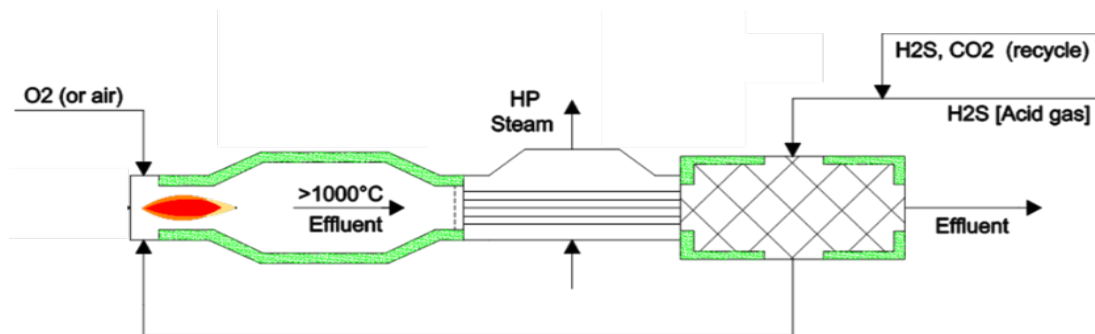


Figura 2.1. Reattore Termico Rigenerativo (RTR) per la tecnologia AG2S™.

¹ Ranzi, E., Faravelli, T., Manenti, F.; Pyrolysis, Gasification, and Combustion of Solid Fuels, *Advances in Chemical Engineering*, 49, 1-94, 2016.

² Ranzi, E., Frassoldati, A., Grana, R., Cuoci, A., Faravelli, T., Kelley, A. P., & Law, C. K.; Hierarchical and comparative kinetic modeling of laminar flame speeds of hydrocarbon and oxygenated fuels, *Progress in Energy and Combustion Science*, 38(4), 468-501, 2012.

³ Manenti, F., Papasidero, D., & Ranzi, E.; Revised kinetic scheme for thermal furnace of sulfur recovery units. *Chemical Engineering Transactions*, 32, 1185-129, 2013.

⁴ Frassoldati, A., Faravelli, T., & Ranzi, E.; Kinetic modeling of the interactions between NO and hydrocarbons at high temperature. *Combustion and Flame*, 135(1), 97-112, 2003.

⁵ Manenti, F., Pierucci, S., Molinari, L.; Process for reducing CO₂ and producing syngas, WO2015/015457A1.

Il reattore RTR è simulato mediante la Suite DSmoke. Tale Suite permette di sviluppare simulazioni costituite da una serie più o meno complessa di reattori ideali, ognuna contenente specifiche cinetiche, in modo da caratterizzare al meglio il comportamento di reattori non ideali, quindi, industriali. DSmoke permette di simulare il reattore RTR con singola o doppia (se in presenza di ammoniacca) camera di combustione, includendo il calcolo degli effetti di ricombinazione tipici della prima parte del fascio tubiero del waste heat boiler. Lo studio di ricombinazione è oggetto di studio del prossimo anno di attività.

La Suite DSmoke è associata alla tecnologia AG2STM⁶, inclusiva di schemi cinetici, per permettere la progettazione e il calcolo preventivo delle performance e delle rese. Il codice non è dischiuso alle comunità scientifica e tecnica.

2.3. Libreria numerica

La libreria numerica BzzMath⁶ è utilizzata in oltre 70 paesi per il calcolo scientifico e l'industria di processo. Essa include classi per la risoluzione di sistemi algebrici lineari/non-lineari, sistemi differenziali ed algebrico-differenziali, ottimizzazioni on/off-line, riconciliazione dati, design of experiments, regressioni e stima di parametri, per citarne alcune.

La libreria risolve in maniera efficiente e performante la rete di reattori sviluppata in DSmoke e permette una rapida convergenza dei calcoli di progettazione e di gestione per la tecnologia AG2STM.

Il codice della libreria BzzMath non è dischiuso alle comunità scientifica e tecnica. La libreria è direttamente implementata e operante nella Suite DSmoke.

2.4. RTR simulation package

I modelli cinetici e la libreria numerica sono pienamente integrati e interagenti nella Suite DSmoke, in modo da ottenere una simulazione "friendly" del reattore RTR. Tale pacchetto integrato (RTR Simulation Package) è a sua volta implementato all'interno dei principali software commerciali di simulazione dettagliata di processo (AspenTech® and PRO/II®) utilizzati a livello mondiale per le attività di ingegneria di base, di fattibilità economica e processistica e di convalida dei processi.

Il pacchetto RTR Simulation Package include le proprietà termodinamiche delle specie coinvolte e interpreta gli schemi cinetici secondo i formati CHEMKIN, restituendo in continuazione i risultati dei calcoli in file ASCII interpretabili dai simulatori di processo.

⁶ Buzzi-Ferraris, G., Manenti, F., *Differential and Differential-Algebraic Systems for the Chemical Engineer: Solving Numerical Problems*, WILEY-VCH, Weinheim, Germany, 2015 (VOL. 4).

Buzzi-Ferraris, G., Manenti, F., *Nonlinear Systems and Optimization for the Chemical Engineer: Solving Numerical Problems*, WILEY-VCH, Weinheim, Germany, 2014 (VOL. 3).

Buzzi-Ferraris, G., Manenti, F., *Data Interpretation and Correlation*, KIRK-OTHMER ENCYCLOPEDIA of CHEMICAL TECHNOLOGY, JOHN WILEY, 5th Ed., New York, USA, 2011. Online ISBN: 9780471238966.

Buzzi-Ferraris, G., Manenti, F., *Interpolation and Regression Models for the Chemical Engineer: Solving Numerical Problems*, WILEY-VCH, Weinheim, Germany, 2010 (VOL. 2).

Buzzi-Ferraris, G., Manenti, F., *Fundamentals and Linear Algebra for the Chemical Engineer: Solving Numerical Problems*, WILEY-VCH, Weinheim, Germany, 2010 (VOL. 1).

3. Simulazione dell'impianto IOSTO

3.1. Cinetica

Nel caso specifico della presente attività, il reattore RTR è simulato mediante la seguente rete di reattori (Figura 3.2):

1. PFR adiabatico (camera termica RTR);
2. PFR non isoterma (Waste Heat Boiler).

Lo scambiatore di calore gas/gas è direttamente simulato all'interno dei pacchetti commerciali di simulazione di processo.

Gli andamenti di conversione per i reagenti H_2S e CO_2 in funzione del tempo di residenza e della temperatura d'esercizio sono ottenuti dallo studio cinetico effettuato con DSmoke (Figura 3.3 e Figura 3.4).

Per temperature superiori a 1400 K, tipiche dei processi di recupero zolfo, si raggiunge l'equilibrio in tempi ragionevolmente ridotti; al contrario, come atteso, a temperature inferiori le cinetiche risultano essere più lente e i tempi di residenza per raggiungere buone conversioni nel once-through sono inevitabilmente dilatati. Come diretta conseguenza, occorre un buon compromesso tra le temperature di esercizio e i volumi della camera termica.

Si sottolinea come la CO_2 , risaputa essere termicamente stabile fino a temperature dell'ordine di 1700 K, sia attaccata e convertita ben oltre il 50% con bassi tempi di residenza e temperature relativamente ridotte.

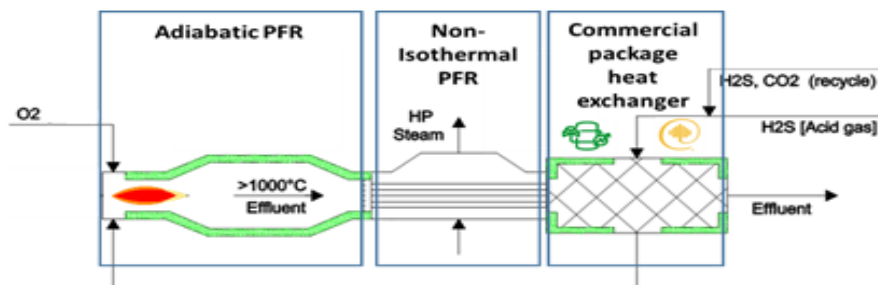


Figura 3.2. Struttura di simulazione per il reattore RTR.

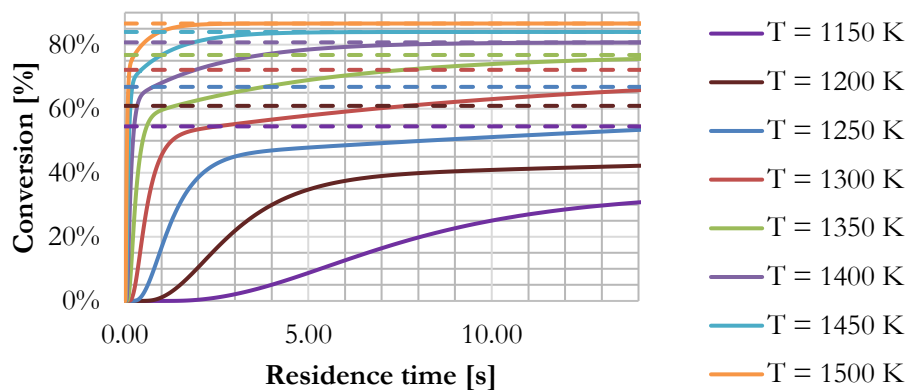


Figura 3.3. Conversione di H_2S .

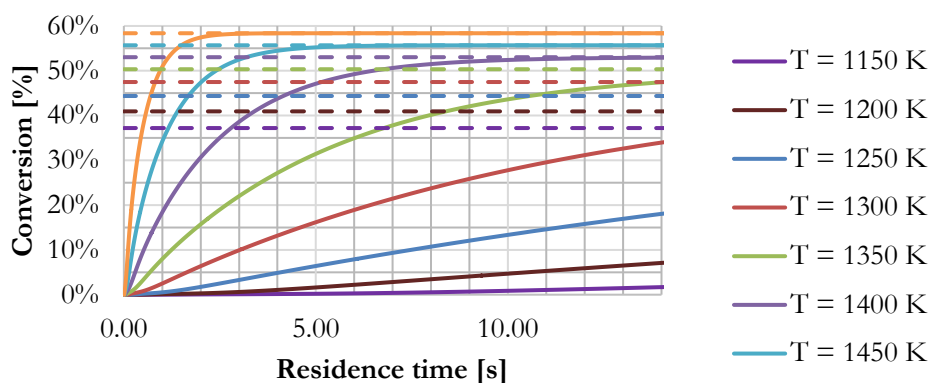


Figure 3.4. Conversione di CO_2 .

3.2. Processo (sezione termica)

Lo studio di revamping dell'impianto IOSTO è stato effettuato con l'ausilio del software commerciale PRO/II® (Schneider-Electric). Per le valutazioni preliminari e alla luce dei risultati del precedente paragrafo, si è optato per reattori all'equilibrio termodinamico.

La simulazione della zona termica del processo AG2S™ su base IOSTO (Figura 3.5) pertanto comprende: il reattore RTR, rappresentato dal reattore di equilibrio R-101 (comprensivo delle unità preesistenti F-101, F-102 ed F-103 del PFD del processo IOSTO), lo scambiatore rigenerativo E-101, il condensatore E-102, il separatore di condensa S-101 e da due nuove unità E-105 ed S-102, rappresentative rispettivamente del waste heat boiler e del separatore per il recupero dello zolfo.

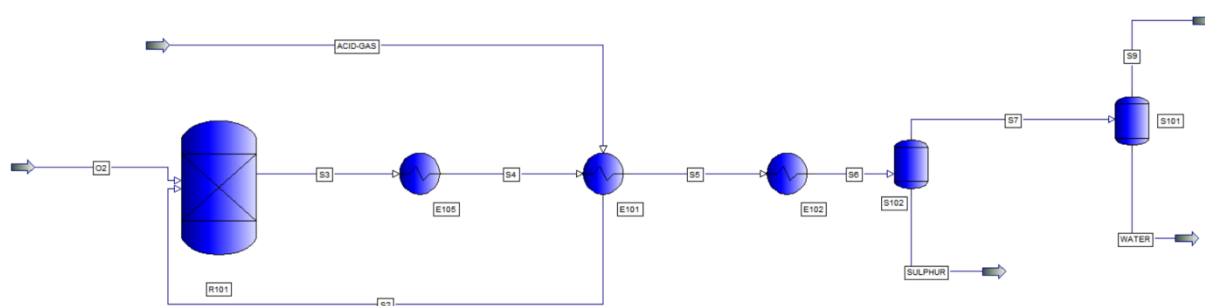


Figura 2.5. Flowsheet preliminare revamping IOSTO ad AG2S™. I nomi di reattori e operazioni rispecchiano i nomi delle apparecchiature esistenti secondo il PFD dell'impianto IOSTO.

3.2.1. Bilanci di massa ed energia (H&MB)

Vedasi l'Appendice A.

3.2.2. Data sheet per le nuove unità

Vedasi l'Appendice B.

4. Conclusioni e sviluppi futuri

L'impianto IOSTO si presta molto bene al revamping per la tecnologia AG2S™ dal momento che un buon numero di unità, anche primarie, può essere riutilizzato “as is”. In questo contesto, l'attività ha permesso di effettuare un pre-dimensionamento delle unità mancanti in modo da completare le attività di revamping nel rispetto delle condizioni operative e dei carichi delle unità esistenti.

In particolare, si conclude che da una prima analisi d'ingegneria di base, il revamping richiede l'acquisto ex novo dello scambiatore di calore gas-gas e del waste heat boiler, nonché un'adeguata strumentazione.

È comunque necessaria un'analisi di dettaglio del processo IOSTO, preferibilmente in loco, per acquisire direttamente i dettagli morfologici e operativi per effettuare lo scale-down di dettaglio a partire dal deliverable della presente attività.

Appare sempre più evidente, inoltre, la necessità di studiare le reazioni di ricombinazione dell'H₂S nel primo tratto del Waste Heat Boiler; tale fenomeno può impattare anche del 20% la produzione di syngas/idrogeno della tecnologia AG2S.

Lo studio necessita, pertanto, di un'ottimizzazione robusta CapEx/OpEx che consideri con la dovuta attenzione anche agli aspetti di ricerca operativa di cui sopra.

5. Staff e disseminazione

Grazie alla collaborazione tra SOTACARBO e POLIMI è stato possibile attivare una nuova preziosa risorsa presso il POLIMI. La Dr.ssa Anna Dell'Angelo è ora parte integrante del gruppo di ricerca e sarà il diretto riferimento per le attività scientifiche lato POLIMI, sia per quanto concerne la simulazione ed ottimizzazione di Refurbishing dell'impianto IOSTO, sia per il supporto pratico all'Ing. Frau e il suo team di lavoro per la parte sperimentale.

Si prevede un periodo di visita di durata da definire per la Dr.ssa Dell'Angelo e per il Prof. Manenti per consolidare ed integrare ulteriormente le attività e pianificare la futura disseminazione scientifica, sulla base di quanto già prodotto e accettato in letteratura nel merito:

1. Bassani, A., Bozzano, G., Pirola, C., Frau, C., Pettinau, A., Maggio, E., Ranzi, E., Manenti, F., Sulfur rich coal gasification and low impact methanol production (2018), **Journal of Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems**, 6 (1), pp. 210-226. **Cited 2 times**. DOI: 10.13044/j.sdewes.d5.0188.
2. Bassani, A., Frau, C., Maggio, E., Pettinau, A., Cali, G., Ranzi, E., Manenti, F., Devolatilization of organo-sulfur compounds in coal gasification (2017), **Chemical Engineering Transactions**, 57, pp. 505-510. **Cited 2 times**. DOI: 10.3303/CET1757085.
3. Bassani, A., Pirola, C., Maggio, E., Pettinau, A., Frau, C., Bozzano, G., Pierucci, S., Ranzi, E., Manenti, F., Acid Gas to Syngas (AG2STM) technology applied to solid fuel gasification: Cutting H₂S and CO₂ emissions by improving syngas production (2016), **Applied Energy**, 184, pp. 1284-1291. **Cited 23 times**. DOI: 10.1016/j.apenergy.2016.06.040.

APPENDICE A: Bilanci di massa ed energia (H&MB)

| Stream Name Description Phase | ACID-GAS | S2 | S3 | S4 | S5 | S6 | S7 | SULPHUR SULPHUR STREAM | S9 | WATER WATER STREAM | O2 oxygen stream | |
|--------------------------------|-------------|---------|----------|----------|----------|---------|---------|------------------------|----------|--------------------|------------------|----------|
| Total Stream Properties | | | | | | | | | | | | |
| Rate | KG-MOL/HR | 0.134 | 0.134 | 0.147 | 0.147 | 0.147 | 0.147 | 0.000 | 0.147 | 0.000 | 0.008 | |
| | KG/HR | 4.960 | 4.960 | 5.217 | 5.217 | 5.217 | 5.217 | n/a | 5.217 | n/a | 0.257 | |
| | M3/HR | 0.006 | 0.006 | 0.006 | 0.006 | 0.006 | 0.006 | n/a | 0.006 | n/a | 0.000 | |
| Std. Liquid Rate | M3/HR | 0.006 | 0.006 | 0.006 | 0.006 | 0.006 | 0.006 | n/a | 0.006 | n/a | n/a | |
| Total Adj. Liq. Vol. Rate | M3/HR | 2.974 | 2.974 | 3.272 | 3.272 | 3.272 | 3.272 | n/a | 3.272 | n/a | 0.180 | |
| Temperature | C | 20.000 | 700.000 | 1300.000 | 850.000 | 239.565 | 220.000 | 150.000 | -273.150 | 50.000 | -273.150 | 20.000 |
| Pressure | BAR(GA) | 4.000 | 4.000 | 4.000 | 4.000 | 4.000 | 4.000 | 1.000 | -1.013 | 0.000 | -1.013 | 4.000 |
| Molecular Weight | | 37.060 | 37.060 | 35.450 | 35.450 | 35.450 | 35.450 | 35.450 | n/a | 35.450 | 18.015 | 31.999 |
| Enthalpy | M*KJ/HR | 0.002 | 0.006 | 0.011 | 0.007 | 0.004 | 0.004 | 0.003 | 0.000 | 0.003 | 0.000 | 0.000 |
| | KJ/KG | 428.106 | 1202.944 | 2052.474 | 1434.116 | 697.442 | 676.435 | 604.473 | n/a | 504.446 | n/a | 42.957 |
| Total Liquid Fraction | | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| Reduced Temp. | | 0.8311 | 2.7589 | 4.5453 | 3.2451 | 1.4814 | 1.4249 | 1.2226 | n/a | 0.9337 | 0.0000 | 1.8964 |
| Pres. | | 0.0591 | 0.0591 | 0.0584 | 0.0584 | 0.0584 | 0.0584 | 0.0235 | n/a | 0.0118 | 0.0000 | 0.0994 |
| Acentric Factor | | 0.1330 | 0.1330 | 0.1281 | 0.1281 | 0.1281 | 0.1281 | 0.1281 | n/a | 0.1281 | 0.3449 | 0.0222 |
| Watson K (UOPK) | | 8.908 | 8.908 | 8.202 | 8.202 | 8.202 | 8.202 | 8.202 | n/a | 8.202 | n/a | 4.773 |
| Standard Liquid Density | KG/M3 | 806.070 | 806.070 | 855.255 | 855.255 | 855.255 | 855.255 | 855.255 | n/a | 855.255 | 999.014 | 1141.912 |
| Specific Gravity | | 0.8069 | 0.8069 | 0.8561 | 0.8561 | 0.8561 | 0.8561 | 0.8561 | n/a | 0.8561 | 1.0000 | 1.1430 |
| API Gravity | | 43.870 | 43.870 | 33.785 | 33.785 | 33.785 | 33.785 | 33.785 | n/a | 33.785 | 10.000 | -7.707 |
| Total Adj. Liq. Density | KG/M3 | 853.004 | 853.004 | 909.186 | 909.186 | 909.186 | 909.186 | 909.186 | n/a | 909.186 | n/a | n/a |
| Latent Heat | KJ/KG | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a |
| Vapor Phase Properties | | | | | | | | | | | | |
| Rate | KG-MOL/HR | 0.134 | 0.134 | 0.147 | 0.147 | 0.147 | 0.147 | n/a | 0.147 | n/a | 0.008 | |
| | KG/HR | 4.960 | 4.960 | 5.217 | 5.217 | 5.217 | 5.217 | n/a | 5.217 | n/a | 0.257 | |
| | M3/HR | 0.627 | 2.161 | 3.843 | 2.743 | 1.246 | 1.197 | 2.562 | n/a | 3.886 | n/a | 0.039 |
| Std. Vapor Rate | M3/HR | 3.000 | 3.000 | 3.299 | 3.299 | 3.299 | 3.299 | n/a | 3.299 | n/a | 0.180 | |
| Adj. Vap. Vol. Rate | M3/HR | 2.974 | 2.974 | 3.272 | 3.272 | 3.272 | 3.272 | n/a | 3.272 | n/a | 0.180 | |
| Specific Gravity (Air=1.0) | | 1.280 | 1.280 | 1.224 | 1.224 | 1.224 | 1.224 | 1.224 | n/a | 1.224 | n/a | 1.105 |
| Molecular Weight | | 37.060 | 37.060 | 35.450 | 35.450 | 35.450 | 35.450 | 35.450 | n/a | 35.450 | n/a | 31.999 |
| Enthalpy | KJ/KG | 428.106 | 1202.944 | 2052.474 | 1434.116 | 697.442 | 676.435 | 604.473 | n/a | 504.446 | n/a | 42.957 |
| CP | KJ/KG-C | 0.978 | 1.295 | 1.411 | 1.319 | 1.078 | 1.069 | 1.032 | n/a | 0.984 | n/a | 0.925 |
| Actual Density | KG/M3 | 7.910 | 2.295 | 1.358 | 1.902 | 4.189 | 4.358 | 2.036 | n/a | 1.343 | n/a | 6.614 |
| Adj. Vap. Density | KG/M3 | 1.668 | 1.668 | 1.595 | 1.595 | 1.595 | 1.595 | 1.595 | n/a | 1.595 | n/a | 1.430 |
| Thermal Conductivity | KCAL/HR-M-C | 0.01268 | 0.05186 | 0.07909 | 0.05772 | 0.02722 | 0.02608 | 0.02207 | n/a | 0.01639 | n/a | 0.02240 |
| Viscosity | CP | 0.01317 | 0.04360 | 0.06343 | 0.04847 | 0.02287 | 0.02199 | 0.01886 | n/a | 0.01452 | n/a | 0.02034 |
| Liquid Phase Properties | | | | | | | | | | | | |
| Rate | KG-MOL/HR | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | |
| | KG/HR | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | |
| | M3/HR | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | |
| Std. Liquid Rate | M3/HR | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | |
| Adj. Liq. Vol. Rate | M3/HR | 107.297 | 140.659 | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | |
| Specific Gravity (H2O @ 60 F) | | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | |
| Molecular Weight | | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | |
| Enthalpy | KJ/KG | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | |
| CP | KJ/KG-C | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | |
| Actual Density | KG/M3 | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | |
| Adj. Liq. Density | KG/M3 | 999.850 | 845.638 | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | |
| Surface Tension | DYNE/CM | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | 67.9439 | |
| Thermal Conductivity | KCAL/HR-M-C | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | 0.55340 | |
| Viscosity | CP | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | 0.54685 | |
| Solid Phase Properties | | | | | | | | | | | | |
| Wet Solids | | | | | | | | | | | | |
| Rate | KG-MOL/HR | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | |
| | KG/HR | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | |
| | M3/HR | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | |
| Molecular Weight | | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | |
| Dry Solids | | | | | | | | | | | | |
| Rate | KG/HR | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | |
| Enthalpy | KJ/KG | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | |
| | M*KJ/HR | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | |
| CP | KJ/KG-C | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | |
| Density | KG/M3 | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | |
| Thermal Conductivity | KCAL/HR-M-C | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | |

Appendice B

1.1 Heat Exchangers

| Simple Hx | Name | E101 | E105 |
|-----------------------------------|-------------|------------|--------------------|
| | Description | GAS-GAS HX | Wasted Heat Boiler |
| Hx Data | | | |
| Duty | M*KJ/HR | 0.0038 | 0.0032 |
| Hot out - cold in delta T | C | 219.5645 | 550.0000 |
| Hot in - cold out delta T | C | 150.0000 | 900.0000 |
| Minimum of HOCl or HICO | C | 150.0000 | 550.0000 |
| Hot side product temperature | C | 239.5645 | 850.0000 |
| Cold side product temperature | C | 700.0000 | 400.0000 |
| Hot side liquid fraction | | 0.0000 | 0.0000 |
| Cold side liquid fraction | | 0.0000 | 1.0000 |
| Value of exchanger U*A | KCAL/HR-C | 50279.6986 | 1.1010 |
| Effective exchanger area | M2 | 116.9506 | 0.0012 |
| FT factor (LMTD correction) | | 0.0001 | 0.9848 |
| Overall exchanger LMTD | C | 182.5789 | 710.6938 |
| Overall exchanger LMTD from zones | C | N/A | N/A |
| Hotside pressure drop | BAR | 0.0000 | 0.0000 |
| Coldside pressure drop | BAR | 0.0000 | 0.0000 |
| Convergence tolerance | | 0.0001 | 0.0001 |
| Utility inlet or satn. temp. | C | N/A | 300.0000 |
| Utility saturation pressure | BAR(GA) | N/A | N/A |
| Utility outlet temp. | C | N/A | 400.0000 |
| Utility flow rate | KG-MOL/HR | N/A | 0.4277 |

1.2. Nuova unità Separatore S-102

| Vessel Sizing Calculation | | | |
|----------------------------------|-------------|-----------|--------------------|
| | Unit Name | | S102 |
| | Description | | Sulphur separation |
| | Phase | | Vapor |
| | Flash Type | | Isothermal |
| Total Stream | | | |
| Temperature | | C | 150.000 |
| Pressure | | BAR(GA) | 1.000 |
| Mole Fraction Liquid | | | 0.0000 |
| Total Molar Rate | | KG-MOL/HR | 0.147 |
| Total Mass Rate | | KG/HR | 5.217 |
| Liquid | | | |
| Liquid Mass Rate | | KG/HR | |
| Liquid Actual Volume Rate | | M3/HR | |
| Liquid Density | | KG/M3 | 0.000 |
| Vapor | | | |
| Vapour Mass Rate | | KG/HR | 5.217 |
| Vapour Actual Volume Rate | | M3/HR | 2.562 |
| Vapor Viscosity | | CP | 0.019 |
| Vapor Density | | KG/M3 | 2.036 |

Flavio Manenti

Professor of Chemical Plants and Operations
Executive board of EFCE (European Federation of Chemical Engineering)
President-elect of the Computer Aided Process Engineering (CAPE), EFCE's Working Party
UEFA-licensed and Federal Soccer Coach for FIGC SGS U15 Italia

POLITECNICO DI MILANO

Dipartimento di Chimica, Materiali e Ingegneria Chimica "G. Natta"
Sustainable Process Engineering Research (SuPER) team
Piazza Leonardo da Vinci, 32, 20133 Milano, ITALY

TECHNISCHE UNIVERSITÄT BERLIN

Alexander von Humboldt Professor
DBTA (Dynamic und Betrieb Technischer Anlagen) Faculty
Sekt. KWT 9, Strasse des 17.Juni, 135 - D-10623 Berlin, GERMANY

(Mobile) +39.338.5665817
(Phone) +39.(0)2.2399.3273; +49.(0)30.31423418
(Email) flavio.manenti@polimi.it
(Web) <http://super.chem.polimi.it>