Agenzia nazionale per le nuove tecnologie,
l'energia e lo sviluppo economico sostenibile

MINISTERO DELLO SVILUPPO ECONOMICO

Progettazione di un impianto scala laboratorio per la sperimentazione della cattura di CO_2 da corrente di processo in pressione

Francesca Micheli, Katia Gallucci, Pier Ugo Foscolo

Report RdS/PAR2013/245

PROGETTAZIONE DI UN IMPIANTO SCALA LABORATORIO PER LA SPERIMENTAZIONE DELLA CATTURA DI CO2 DA CORRENTE DI PROCESSO IN PRESSIONE

Francesca Micheli, Katia Gallucci, Pier Ugo Foscolo (Dipartimento di Ingegneria Industriale e dell'Informazione e di Economia dell'Università de L'Aquila)

Settembre 2014

Report Ricerca di Sistema Elettrico
Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico – ENEA
Piano Annuale di Realizzazione 2013
Area: Produzione di Energia Elettrica e protezione dell'ambiente
Progetto: Sviluppo di sistemi per la produzione di energia elettrica da biomasse e l'upgrading dei biocombustibili
Obiettivo: Sviluppo di sistemi di upgrading dei biocombustibili e riduzione dell'impatto ambientale
Responsabile del Progetto: Vito Pignatelli, ENEA

Il presente documento descrive le attività di ricerca svolte all'interno dell'Accordo di collaborazione "Prestazione e caratterizzazione di sorbenti sperimentali per la cattura di CO_2 da correnti gassose multicomponente"

Responsabile scientifico ENEA: Giuseppe Canneto

Responsabile scientifico Università de L'Aquila: Pier Ugo Foscolo

Indice

SOMMARIO 4

1 PROGETTAZIONE DELL'IMPIANTO IN SCALA DI LABORATORIO 5

1.1 MICRO-REATTORE 7
1.2 CONDENSATORE 9

2 L'IMPIANTO DI LABORATORIO PSA 11

2.1 ALIMENTAZIONE 11
2.2 EVAPORATORE 13
2.3 FORNO 13
2.4 MICRO-REATTORE 14
2.5 ZONA DI RAFFREDDAMENTO 14
2.6 LINEA DI ADSORBIMENTO: REGOLATORE DI PRESSIONE 15
2.7 LINEA DI DESORBIMENTO: VOLUME DI ESPANSIONE 16
2.8 ANALIZZATORI 16
3 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI 17

APPENDICE A – SCHEDE DI SICUREZZA 18

QUARTZ WOOLSAFETY DATA SHEETS 18
BLUE PARAFLU SAFETY DATA SHEET 20
CERAMIC FIBER BLANKET SAFETY DATA SHEET 24
RED HIGH TEMPERATURE SILICONE SAFETY DATA SHEET 26

APPENDICE B – CALCOLI DI PROGETTO 27

EQUAZIONE DI ERGUN 27

Sommario

Al fine di poter condurre la sperimentazione anche su correnti gassose in pressione, UnivAQ ha progettato un impianto scala laboratorio per la sperimentazione della cattura di CO_2 da corrente di processo in pressione. La realizzazione di tale impianto presso i laboratori di Trisaia servirà successivamente per condurre la sperimentazione dell'intero processo "gassificazione biomassa-produzione di SNG" a condizioni più simili possibili a quelle di un processo reale in pressione.
Nel report sono riportati il layout dell'impianto, i calcoli per il dimensionamento delle apparecchiature, e laddove presenti le ditte fornitrici delle apparecchiature e degli strumenti impiegati. I calcoli riportati consentono comunque di estendere le valutazioni a casi diversi da quello qui preso in considerazione (T=350 °C, P=5 atm, 15% in volume di vapore alimentato)
L'impianto, realizzato nel laboratorio di Fluidodinamica e Reattori Chimici dell'Università degli Studi dell'Aquila, consta essenzialmente di un sistema di alimentazione, un evaporatore, un micro reattore e un forno, una zona di raffreddamento con condensatore, una linea di adsorbimento con regolatore di pressione, una linea di desorbimento con volume di espansione (per realizzare la fase di rigenerazione del sorbente in cicli Pressure Swing Adsorption), il sistema di analisi e acquisizione dati, oltre ai sistemi di controllo di temperatura, pressione e portate.
Si è ritenuto utile, infine, fornire anche le schede di sicurezza dei materiali impiegati.

1 Progettazione dell'impianto in scala di laboratorio

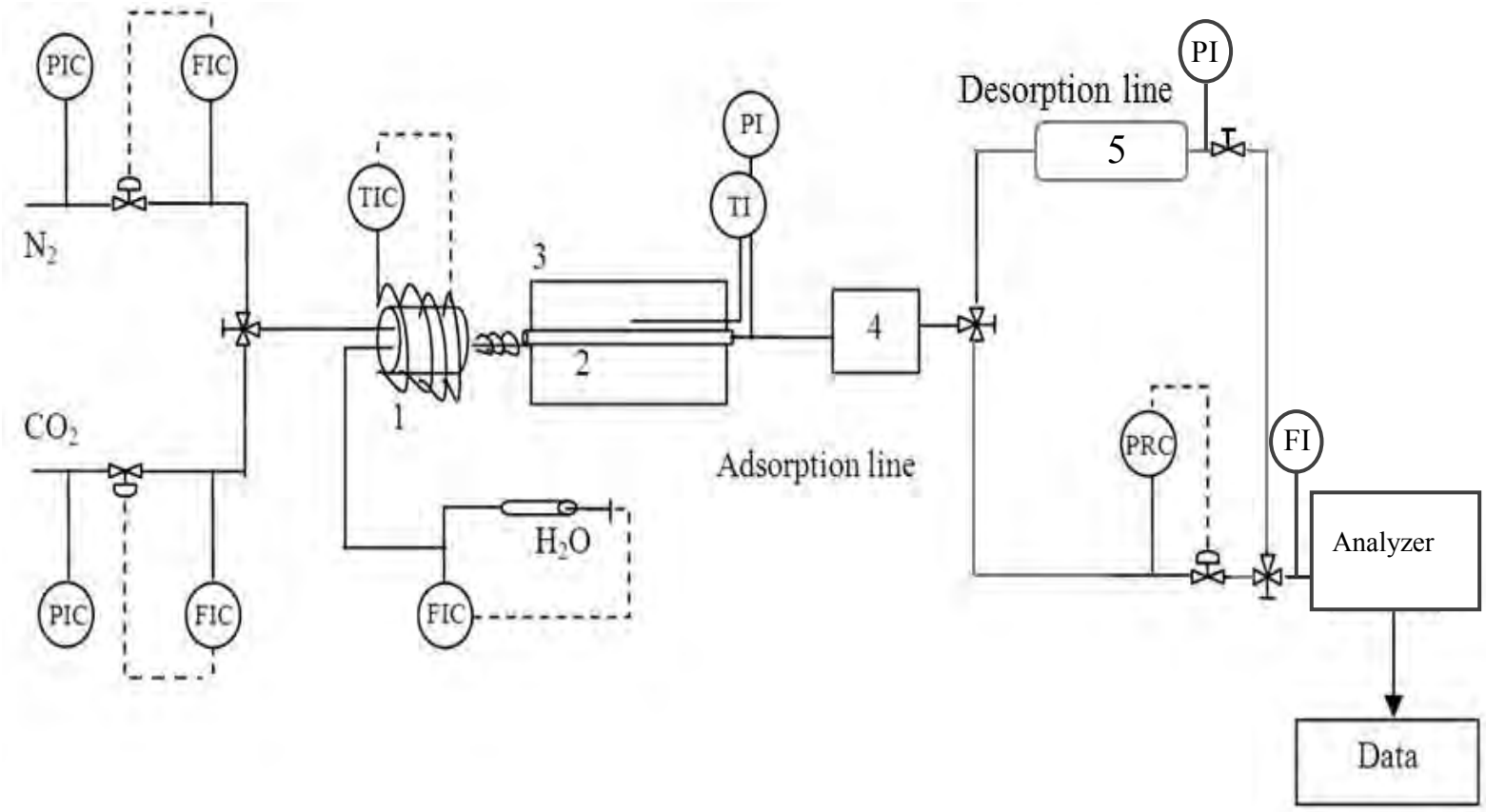

Figura 1. Flowsheet di impianto

Nome apparecchiatura	Temperatura [°C]	Pressione [atm]	Portata [ml\min]	Materiale	Spessore [mm]	Diametro interno [mm]	Lunghezza [mm]
Linea CO_2	Ambiente	6	50	AISI 316L	1,25	3,5	2340
Linea N_2	Ambiente	6	50	AISI 316L	1,25	3,5	
Evaporatore (1)	200	5	50	AISI 316L	1,25	32	50
Micro-reattore (2)	350	5	50	AISI 316L	1	4	160 (zona di reazione); 500 totale
Forno (3)	370	Atmosf.	\				
Condensatore (4)	5	5	50	AISI 316L	1	140	30
Volume desorbimento (5)	Ambiente	Atmosf.	100	Plexiglass	10	38,5	354

Figura 2. Specifiche tecniche flowsheet schema d'impianto

1.1 Micro-reattore

Per ottenere il volume del letto disponibile per la reazione, sono stati impostati i seguenti calcoli di progetto.
La frazione di vuoto del letto ε si presume pari a 0,4, mentre la densità del materiale ρ è considerata conservativamente pari a 1000 kg/m^3.
La massa di sorbente M da caricare per micro-reattore è circa 1 g e, quindi, il volume del letto V deve essere:

$$V = \frac{M}{\rho} = \pi \frac{D^2}{4} L(1-\varepsilon)$$

dove

- V è il volume del materiale = 1 cm^3;
- D è il diametro;
- L è la lunghezza del letto.
- L può essere calcolata dalla formula su riportata, a seguito di alcune considerazioni preliminari sullo spessore della parete.

Il diametro D del letto è dato dal diametro interno del reattore. Poiché il micro-reattore viene realizzato con un tubo in acciaio inossidabile AISI 316, i dati sono noti:

- diametro interno del tubo ID è di 0,4 cm,
- il diametro esterno OD del tubo è di 0,6 cm.

Lo spessore della parete s tubo deve essere verificata con la formula di Mariotte e deve essere adatto ad operare a 5 bar:

$$s = \frac{P \cdot ID}{2\sigma} z$$

dove

- P pressione operativa = 5 bar = 0,5 MPa;
- z è il coefficiente di saldatura =0,85;
- σ è la resistenza a trazione di un acciaio inossidabile AISI 316 = 105 MPa (Sinnott, 1993).

Lo spessore minimo è:

$$s = \frac{0{,}5\ \text{MPa} \cdot 0{,}4\ \text{cm}}{2 \cdot 105} \cdot 0{,}85 = 0{,}81 \cdot 10^{-3}\text{cm}$$

Il valore ottenuto permette di mantenere il tubo scelto di 0.1 cm di spessore.

Pertanto, la lunghezza del letto L può essere calcolata:

$$L = \frac{4V}{D^2(1-\varepsilon)\pi} = \frac{4 \cdot 1\ \text{cm}^3}{(0{,}4\ \text{cm})^2(1-0{,}4)\pi} = 13{,}26\ \text{cm}$$

Assumendo un fattore di sicurezza del 20%, la zona di reazione, vale a dire la lunghezza letto fisso, sarebbe di circa 16 cm. Il micro-reattore è situato all'interno di un forno lungo 30 cm, e per evitare gli effetti termici sui raccordi, è meglio prevedere di avere le connessioni di montaggio al di fuori del forno. Per questo motivo, in ultima analisi si è optato per una lunghezza totale di 50 cm. Il materiale del letto deve essere, pertanto, impaccato tra due strati di sabbia inerti in modo che la zona di reazione è al centro del forno della lunghezza desiderata.

Per valutare le perdite di carico si applica le legge di Ergun:

$$\frac{\Delta P}{L} = \frac{150\mu(1-\varepsilon)^2 u}{\varepsilon^3 d_p^2} + \frac{1.75(1-\varepsilon)\rho u^2}{\varepsilon^3 d_p}$$

dove

- ΔP sono le perdite di carico Pa;
- L è la lunghezza totale del micro-reattore = 0,5 m;
- μ è la viscosità del gas;
- ε è il grado di vuoto = 0,35;
- u è la velocità superficiale del gas;
- dp è il diametro delle particelle di sabbia= 158 μm;
- ρ è la densità del gas.

Nel calcolo si assume che il micro-reattore sia riempito di sola sabbia fine, essendo questa ipotesi conservativa, in quanto le dimensioni particellari del sorbente sono comprese tra 355 e 500 μm e, poiché i due termini laminare e turbolento delle perdite di carico sono inversamente proporzionali a dp^2 e a dp, la caduta di pressione per unità di lunghezza sarà inferiore a quella calcolata.
I valori di viscosità e densità di CO_2 e N_2, in funzione della temperatura e della pressione, sono prese dal NIST (2011).
Il grafico seguente mostra i risultati dell'equazione Ergun. È chiaro che nelle condizioni operative del processo (ad es. T = 350 °C, P = 5 bar), la caduta di pressione risulta inferiore a 0,5 bar, che è un valore limite accettabile.

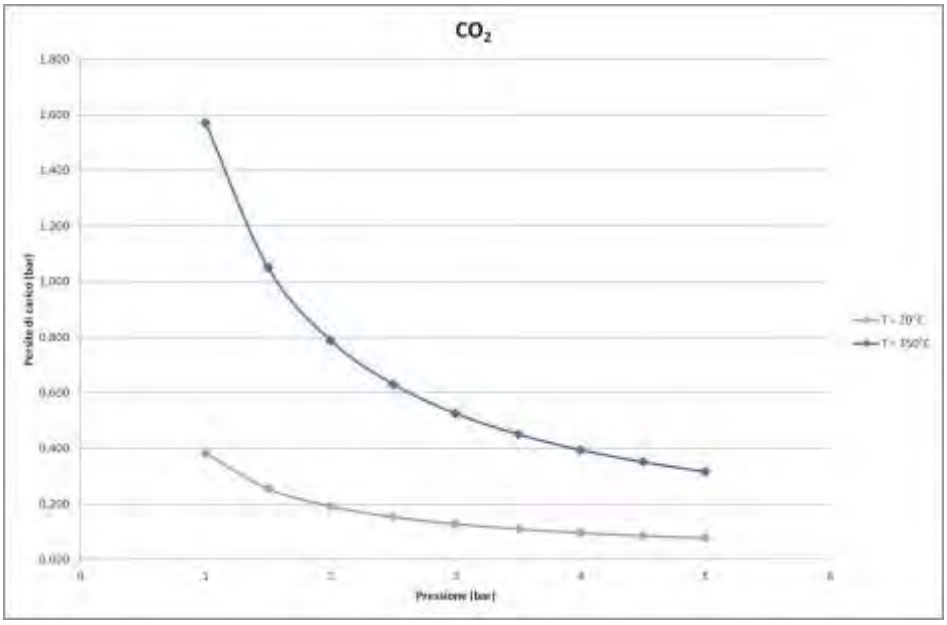

Figura 3. Perdite di carico nel micro-reattore per una corrente al 100% di CO_2

1.2 Condensatore

Applicando la legge di Dalton al vapore acqueo, la pressione parziale pH2O è ottenuta sotto l'ipotesi che il vapore possa essere considerato un gas ideale.

$$p_{H_2O} = P \cdot x_{H_2O} = 5 \cdot 0{,}15 = 0{,}75 \text{ bar}$$

dove

- P è la pressione operativa;
- xH_2O è la frazione molare del vapore nella miscela di gas pari 0,15, per il caso in esame (Champagne et al., 2012).

L'equazione di Antoine dà la tensione di vapore P_{sat} in funzione della temperatura T per componenti puri:

$$\log P^{sat} = A - \frac{B}{T + C}$$

dove

- Psat (torr);
- T (°C) compreso tra 1 e 100 °C;
- A, B, C sono costanti specifiche componenti (Perry et al., 2007) rispettivamente pari a 108,07131, 1730,63 e 233,426.

Si ha:

$$P^{sat} = 10^{8{,}07131 - \frac{1730{,}63}{50+233{,}426}} = 92.3 \text{ torr} = 0.123 \text{ bar a } 50\ °C$$
$$P^{sat} = 10^{8{,}07131 - \frac{1730{,}63}{92+233{,}426}} = 566.6 \text{ torr} = 0.745 \text{ bar a } 92\ °C$$

Per fare in modo che il vapore non condensi nei tubi, la miscela di gas deve essere mantenuta al di sopra 92 °C e, di conseguenza, è necessario un condensatore a valle in modo che l'acqua non rimanga ulteriormente nei tubi. Il volume utile è considerato un terzo del volume totale di quello progettato

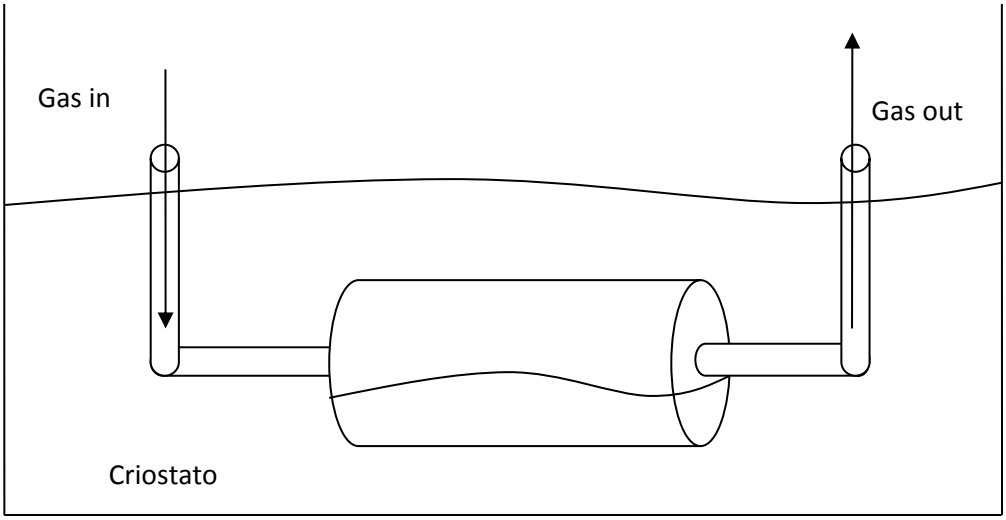

Figura 4. Schema del condensatore posizionato nel criostato

Il condensatore è situato in un criostato (Figura 4). Il condensatore ha un diametro interno di 1,5 cm e una lunghezza di 3 cm. Il volume totale V_t è

$$V_t = \pi \frac{D^2}{4} H = \pi \frac{1.5^2}{4} \cdot 3 = 5{,}3 \text{ cm}^3$$

Il volume utile Vu è quindi:

$$V_u = \frac{V_t}{3} = \frac{5.3}{3} = 1{,}77\ \mathrm{cm}^3 = 1{,}77\ \mathrm{mL}$$

Il volume utile è idoneo per un'attività di prova di 5 ore.

Linea di desorbimento: volume di espansione

Il tubo in Plexiglas disponibile come volume di espansione ha un volume di 412 cm^3 (ID = 3,85 cm, L = 35,4 cm).
Il volume del reattore e tubi è 22,5 cm^3 con una lunghezza dei tubi di 2,34 m e diametro 0,35 cm.
Il volume del gas a 350 °C e 5 bar è

$$V_2 = V_1 \frac{P_1}{P_2}\frac{T_2}{T_1} = 22.5\ \mathrm{cm}^3 \cdot \frac{1\ \mathrm{bar}}{5\ \mathrm{bar}} \cdot \frac{350 + 273.15\ \mathrm{K}}{25 + 273.15\ \mathrm{K}} = 9.4\ \mathrm{cm}^3$$

Pertanto, il volume di espansione disponibile è sufficiente.

2 L'impianto di laboratorio PSA

Il flowsheet dell'impianto è mostrato in Figura 1 e Figura 2.

La figura 5 è una foto dell'impianto realizzato nel laboratorio di Fluidodinamica e Reattori Chimici.

Figura 5. Impianto in scala di laboratorio per la cattura della CO_2

Le linee e i raccordi sono in acciaio inox AISI 316. Se i giunzioni fisse sono state rivestite di silicone rosso per alta temperatura al fine di evitare qualsiasi perdita; la scheda di sicurezza di questo materiale si trova in Appendice A (ITW Permatex, 2012); per le parti rimovibili va effettuata una prova di tenuta, preliminare ad ogni prova sperimentale.

2.1 Alimentazione

L'impianto è alimentato da quattro linee (Figura 6):

- Azoto 5,0;
- Azoto 5,5 (linea di diluizione);
- Anidride carbonica;
- Acqua.

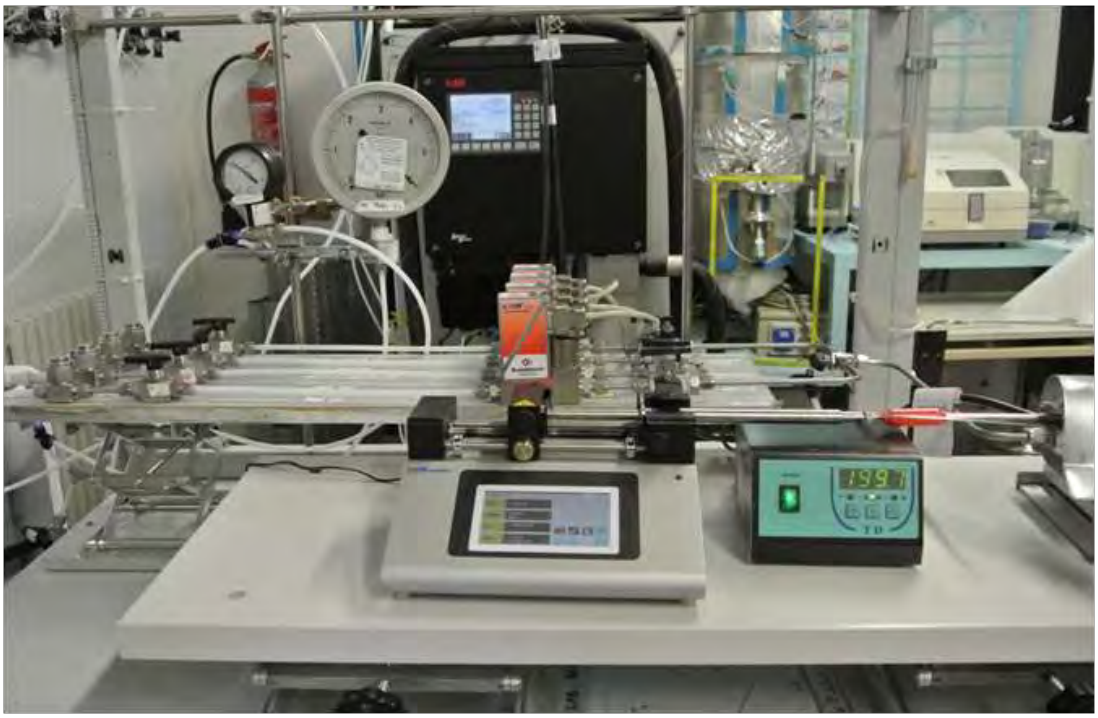

Figura 6. MFCs Bronkhorst, poma a siringa KDS

Le prime tre linee di gas sono controllate da tre Mass Flow Meter/Controller (MFM/C) Bronkhorst, serie El-Flow, mostrati nella Figura 6 e sono connessi ad un'unità di controllo manuale Bronkhorst. I loro fondo scala sono rispettivamente 100 NmL/min, 5 Nl/min e 100 NmL/min.
L'acqua viene inviata in una siringa da acciaio inossidabile azionata da una pompa a siringa KDS Legato 100.
La portata acqua liquida è 6 µl/min, per avere il 15% v di vapore nella miscela di gas (Champagne et al., 2012).
Nelle condizioni operative prese in considerazione e impiegate per la progettazione dell'impianto in scala di laboratorio, la quantità di acqua alimentata:

$$Q_{H_2O} = n \cdot MW \div \rho$$

dove

- MW il peso molecolare dell'acqua
- ρ è la densità, ed è pari a

$$Q_{H_2O} = 0{,}335 \cdot 10^{-3} \frac{mol}{min} \cdot 18 \frac{g}{mol} \div 1 \frac{kg}{L} = 6\ \mu L/min$$

Il volume totale V da caricare nella pompa siringa per garantire 5 ore di prova, è:

$$V = 6 \frac{\mu L}{min} \cdot 60 \frac{min}{h} \cdot 5\ h = 1800\ \mu L = 1{,}8\ mL$$

Si è optato pertanto per una siringa da 6 mL.

La pressione delle linee di N_2 e CO_2 è monitorata da manometri Bourdon.
Due valvole di spurgo sono installate non solo per semplificare lo svuotamento dell'impianto, ma anche per ragioni di sicurezza.

2.2 Evaporatore

Per garantire che l'acqua arrivi al micro-reattore sotto forma di vapore, viene introdotto un evaporatore (Figura 7). Si tratta di un cilindro in acciaio inossidabile, avente il diametro di 3.3 cm e lunghezza di 5 cm. Su una base ha tre fori per l'ingresso per l'acqua liquida (diametro 1/16), N_2/CO_2 (diametro 6 mm) e un eventuale terzo componente da alimentare (diametro 1/16); sull'altra c'è l'uscita dei gas (diametro 6 mm). L'evaporazione è garantita da nastri riscaldanti Isopad Hildeber che avvolgono il cilindro, che mantengono la temperatura intorno ai 200 °C. La temperatura è regolata da un controllore PID della Falc Instruments (Figura 8).

Figura 7. Evaporatore

Figura 8. Controllore PID della Falc Instruments

2.3 Forno

Il forno di un gascromatografo Dani (Figura 9) può essere utilizzato per riscaldare la zona di reazione del micro reattore, ma si consiglia, per coprire range di temperatura più ampi, di ricorrere ad un forno Carbolite mod. MFT12/38/250 con controllore M301 operante fino a 1000-1200 °C.

Figura 9. Forno di un gascromatografo Dani

Attraverso una rampa termica, ci si porta alla temperatura desiderata che poi rimane costante. Si deve isolare con una copertura in fibra ceramica le zone di ingresso e uscita del reattore; la cui scheda di sicurezza del materiale impiegato si trova in Appendice A (DS Industries, nd). Una termocoppia di tipo K registra la temperatura che viene acquisita da un software PicoLog (Pico Technology).

2.4 Micro-reattore

Il micro reattore è un tubo a letto impaccato e le sue caratteristiche sono riportate in Tabella 1. Il materiale sorbente è nel mezzo e la sabbia, preventivamente calcinata e lavata con acido, all'estremità. Il micro-reattore viene chiuso da lana di quarzo; (scheda di sicurezza in Appendice A: ThermoFisher scientifico, 2009)

Tabella 1. Caratteristiche del micro-reattore

Diametro medio della sabbia,	158 µm
Densità della sabbia	2610 kg/m3
Diametro medio del sorbente	355 µm ÷500 µm
Diametro esterno OD	6 mm
Diametro interno ID	3,5 mm
Lunghezza L	50 cm
Peso con le connessioni (vuoto)	80,4 g
Materiale	AISI 316

La caduta di pressione nel micro-reattore è stata valutata con l'equazione Ergun; i calcoli esaustivi sono riportati in Appendice B.
Si è scelto di utilizzare un lungo reattore tubolare per permettere un migliore contatto tra anidride carbonica e sorbente.

2.5 Zona di raffreddamento

La zona di raffreddamento della corrente in uscita è un tubo di acciaio inossidabile del diametro di 6 mm, avvolto a spirale. La sua lunghezza è di circa 2.30 m in modo che il gas, proveniente dal forno nelle prove secco, viene raffreddato a temperatura ambiente e senza mezzi di raffreddamento.
Nelle prove ad umido, invece, viene utilizzato un criostato Julabo (Figura 10) con un condensatore di volume adeguato (sez. 1.2).

Figura 10. Julabo Cryostat

Poiché l'acqua liquida non può raggiungere il regolatore di pressione e l'analizzatore, subito dopo il forno, la miscela di gas entra nel condensatore che è all'interno del bagno termostatico a 2 °C mediante antigelo Paraflu (scheda di sicurezza in Appendice A: FL Selenia SpA, 2008).

2.6 Linea di adsorbimento: regolatore di pressione

Sulla linea di adsorbimento, è installato un regolatore di pressione EL- Press select Bronkhorst (Figura 11) in modo da assicurare la pressione nel reattore sia costante e pari a 5 bar. Come per i MFM/C, è previsto da un filtro sulla linea in modo da evitare che le particelle solide raggiungano il controllore. I dati vengono registrati dal software FlowPlot (Bronkhorst).

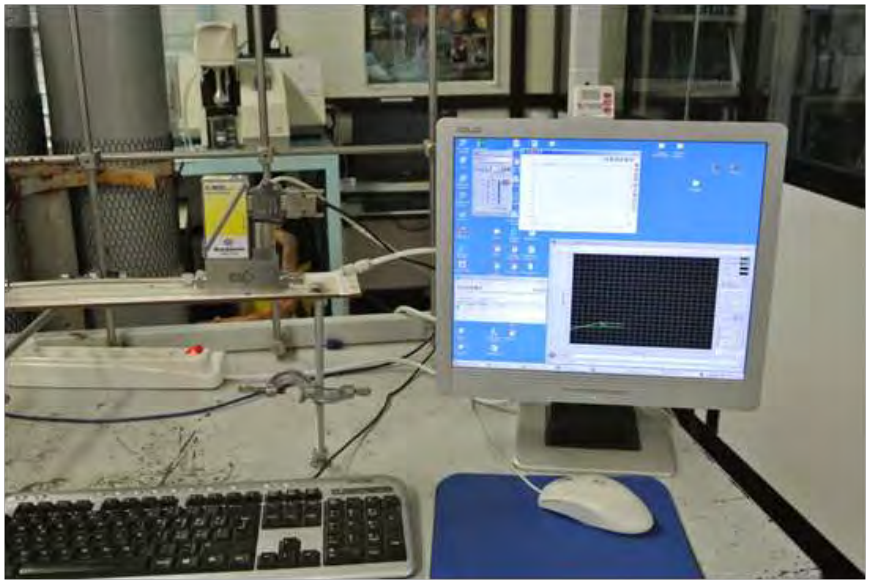

Figura 11. Controllore di pressione Bronkhorst

2.7 Linea di desorbimento: volume di espansione

Inizialmente è stato montato un volume di espansione, cioè un cilindro di plexiglas, sulla linea desorbimento; il suo volume è 412 cm^3.
Poiché questo è un processo PSA, la linea desorbimento rigenera il sorbente con una depressurizzazione rapida, passando da 5 bar a pressione atmosferica istantaneamente. Comunque, la quantità di anidride carbonica è piuttosto ridotta e garantisce le condizioni di sicurezza degli operatori.

2.8 Analizzatori

Un analizzatore ABB Uras 14 registra le concentrazioni volumetriche di anidride carbonica. Il campo di portata ottimale varia tra 40 e 60 Nl / h ed è per questo motivo che si aggiunge la linea diluizione inerte alla corrente inviata all'analizzatore. I dati sono acquisiti dal software LabVIEW di National Instruments con frequenza di campionamento di 5 secondi.
È presente sulla corrente di uscita un misuratore di portata massica Bronkhorst (MFM), calibrato per l'azoto, che ha 5 Nl / min fondo scala. Per unire la linea di diluizione con quella di CO_2/N_2, viene utilizzato un eiettore siliconico. Si tratta di un raccordo a T in cui la linea proveniente dal reattore viene trasportata dalla corrente di diluizione fino all'analizzatore.

3 Riferimenti bibliografici

S. Champagne, D.Y. Lu, A. Macchi, R.T. Symonds and E.J. Anthony "Influence of steam injection during calcination on the reactivity of CaO-based sorbent for carbon capture", Ind.Eng.Chem.Res.2013, no. 52, pp. 2241-2246.

NIST - National institute of standards and technology "Thermophysical properties of fluid systems", Available: http://webbook.nist.gov/chemistry/fluid/ (2011) [December 2013].

R.H. Perry, and D.W. Green, "Perry's chemical engineers handbook2, 8th edition, (2007)McGraw-Hill.

R.K. Sinnott, "Coulson and Richardson's Chemical Engineering", 2nd edition, (1993) Pergamon.

Appendice A – Schede di sicurezza

Quartz woolSafety data sheets

SAFETY DATA SHEET

according to 1907/2006/EC, Article 31

Page 1 of 2

QUARTZ WOOL 5g 338 22200

Revision 0

Revision date

1. IDENTIFICATION OF THE SUBSTANCE / PREPARATION AND THE COMPANY

Product name	QUARTZ WOOL 5g 338 22200
Company	Thermo Fisher Scientific Solar House 19 Mercers Row Cambridge CB5 8BZ UK www.thermo.com
Telephone	+44 (0)1223 347400
Fax	+44 (0)1223 347402

2. HAZARDS IDENTIFICATION

Main hazards	No Significant Hazard.

3. COMPOSITION / INFORMATION ON INGREDIENTS

Hazardous ingredients

	Conc.	CAS	EINECS	Symbols/Risk phrases
Quartz Fused (Si O2) (Silica, fused respirable dust)	90 - 100%	60676-86-0	262-373-8	

4. FIRST AID MEASURES

Skin contact	May cause irritation to skin. Wash off immediately with plenty of soap and water. Remove contaminated clothing.
Eye contact	May cause irritation to eyes. Rinse immediately with plenty of water for 15 minutes holding the eyelids open.
Inhalation	Move the exposed person to fresh air. May cause irritation to respiratory system.

5. FIRE FIGHTING MEASURES

Extinguishing media	Use extinguishing media appropriate to the surrounding fire conditions.

6. ACCIDENTAL RELEASE MEASURES

Personal precautions	Wear suitable protective equipment.
Clean up methods	Sweep up. Transfer to suitable, labelled containers for disposal.

7. HANDLING AND STORAGE

Handling	Do not breathe dust or vapour. Avoid contact with eyes and skin.
Storage	Keep containers tightly closed. Store in correctly labelled containers.

QUARTZ WOOL 5g 338 22200

Revision 0
Revision date

8. EXPOSURE CONTROLS / PERSONAL PROTECTION

Exposure limits

Quartz Fused (Si O2) (Silica, fused respirable dust)	WEL 8-hr limit ppm: - WEL 15 min limit ppm: -	WEL 8-hr limit mg/m3: 0.08 WEL 15 min limit mg/m3: -

Respiratory protection	Do not breathe dust or vapour. Wear suitable protective equipment.
Hand protection	Rubber gloves.
Eye protection	Approved safety goggles.
Protective equipment	Avoid contact with eyes and skin. Wear suitable protective equipment.

9. PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES

Description	Solid.
Colour	White.
Odour	Odourless.

10. STABILITY AND REACTIVITY

Stability	Stable under normal conditions.

11. TOXICOLOGICAL INFORMATION

12. ECOLOGICAL INFORMATION

13. DISPOSAL CONSIDERATIONS

General information	Dispose of in compliance with all local and national regulations.

14. TRANSPORT INFORMATION

Further information	The product is not classifed as dangerous for carriage.

15. REGULATORY INFORMATION

Risk phrases	No Significant Hazard.

16. OTHER INFORMATION

Further information	The information supplied in this Safety Data Sheet is designed only as guidance for the safe use, storage and handling of the product. This information is correct to the best of our knowledge and belief at the date of publication however no guarantee is made to its accuracy. This information relates only to the specific material designated and may not be valid for such material used in combination with any other materials or in any other process.

Blue Paraflu safety data sheet

Material Safety Data Sheet

Infosafe No.	5FULK	Issue Date : February 2008	ISSUED by FUCHS

Product Name : **Paraflu 11**

Classified as hazardous

1. IDENTIFICATION OF THE SUBSTANCE/PREPARATION AND COMPANY/UNDERTAKING

Product Name	Paraflu 11
Product Use	Automotive radiator coolant - concentrate.
Company Name	FL Selenia S.p.A
Address	49 McIntyre Road Sunshine Victoria 3020 Australia
Telephone Number/Fax	Tel: 03 9300 6400 Fax: 03 9300 6401
Email	flselenia.com
Other Information	Visit us at website www.flselenia.com. THIS MSDS WAS ISSUED BY FUCHS ON BEHALF OF FL SELENIA S.p.A

2. COMPOSITION/INFORMATION ON INGREDIENTS

Ingredients	Name	CAS	Proportion	Hazard Symbol	Risk Phrase
	Ethyleneglycol	107-21-1	90-95 %		
	Sodium Benzoate	532-32-1	2-4 %	Xi	R36
	Sodium nitrite	7632-00-0	0-1 %	T, O	R25, R8

3. HAZARDS IDENTIFICATION

Harmful if swallowed.

Route(s) of Entry	Inhalation, skin and ingestion.
Chronic Effects	For ethylene glycol: No effects on fertility were found in a long term animal study dosed orally. Repeated ingestion may cause kidney damage.
Inhalation	Inhalation of vapour or mists generated by heating, stirring or spraying can result in headaches and irritation of the throat and nose.
Ingestion	Ethylene glycol is toxic when swallowed. A lethal dose for an adult is 1-2 ml per kg, or about 100 ml. Symptoms include staggering, slurred speech, loss of co-ordination, confusion, faintness, nausea, vomiting, increased heart rate, difficulty breathing, difficulty seeing, convulsions and collapse. Symptoms may be delayed. Decreased urine output, kidney failure and nervoussystem damage may also occur. Aspiration may occur during swallowing or vomiting, resulting in lung damage.
Skin	Will have a degreasing action on the skin. Contact with skin may result in irritation. Repeated or prolonged skin contact may lead to dermatitic effects.
Eye	May be an eye irritant.

4. FIRST AID MEASURES

Inhalation	Remove victim from exposure - avoid becoming a casualty. Remove contaminated clothing and loosen remaining clothing. Allow patient to assume most comfortable position and keep warm. Keep at rest until fully recovered. Seek medical advice if effects persist.
Ingestion	Rinse mouth thoroughly with water immediately. Give plenty of water to drink but do not induce vomiting. Seek immediate medical assistance. Do not give anything by mouth to an unconscious or convulsing person.
Skin	Wash with plenty of soap and water. Remove contaminated clothing and wash before re-use. If irritation occurs seek medical advice.
Eye	Immediately irrigate with copious quantity of water for at least 15 minutes. Eyelids to be held open. Seek immediate medical assistance.
First Aid Facilities	Typical washroom facilities.
Advice to Doctor	Treat symptomatically and as for exposure to ethylene glycol.

5. FIRE FIGHTING MEASURES

Specific Hazards	Combustible liquid. Will burn if involved in a fire but not considered to be a significant fire risk.

	Fire fighters to wear self-contained breathing apparatus if risk of exposure to vapour or products of combustion. EXTINGUISHING MEDIA: Water jets, water fog, foam, dry agent (carbon dioxide, dry chemical powder). Avoid high pressure water jet.
Hazardous Combustion Products	Combustion products include oxides of carbon. Compocunds of nitrogen and products of incomplete combustion.
Flash Point	120°C typical (open cup).
Ignition Temperature	490°C (50% dilution)
Flammable Limits LEL	Not available
Flammability	Combustible liquid.
Explosion Data	Not available

6. ACCIDENTAL RELEASE MEASURES

Spills & Disposal	Slippery when spilt. Avoid accidents, clean up immediately. In event of large spill: Use absorbent (soil or sand, sawdust, inert material, vermiculite). Sweep up. Collect and seal in properly labelled drums for disposal. Wash area down with detergent and excess water. Contain - prevent contamination of drains and waterways. Wear protective equipment to prevent skin and eye contamination and inhalation of vapours. Refer to State Land Waste Management Authority for disposal. (Victoria:MMBW (03) 9615 6099)

7. HANDLING AND STORAGE

Storage	Classified as a C1 (COMBUSTIBLE LIQUID)

8. EXPOSURE CONTROLS/PERSONAL PROTECTION

National Exposure Standards	No value assigned for this specific material by the National Occupational Health and Safety Commission (Worksafe Australia). However, Exposure Standards for Ethylene glycol (vapour): (As published by the National Occupational Health and Safety Commission) TWA - 60 (mg/m3) STEL - 120 (mg/m3)
Personal Protective Equipment	Overalls or similar protective apparel. Safety glasses,goggles or faceshield as appropriate. Rubber gloves. Always work in a well ventilated area. Avoid skin and eye contact and inhalation of vapour and mist. Wear overalls, safety shoes, chemical goggles and impervious gloves. Use with adequate ventilation. If inhalation risk exists wear organic vapour/particulate respirator meeting the requirements of AS/NZS 1715 and AS/NZS 1716. Always wash hands before eating, smoking, drinking or using the toilet. Wash contaminated clothing and other protective equipment before storing or re-using.
Eng. Controls	Must be sufficient to prevent breathing of vapour. Maintain concentration below recommended exposure limit. Vapour at elevated temperatures heavier than air - prevent concentration in hollows or sumps. DO NOT enter confined spaces where vapour may have collected. Keep containers closed when not in use.

9. PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES

Appearance	Green blue liquid.
Boiling Point	108°C (50% dilution)
Solubility in Water	Completely soluble.
Specific Gravity (H2O=1)	1.138 @ 20°C typical
pH Value	7.6 (50% aq. soln by volume)
Vapour Pressure	Not available
Vapour Density (Air=1)	Not available

Physical State	Liquid.
Volatile Component	Not available
Flash Point	120°C typical (open cup).
Flammability	Combustible liquid.
Ignition Temperature	490°C (50% dilution)
Flammable Limits LEL	Not available
Explosion Properties	Not available
Other Information	Soluble in water and alcohol.

10. STABILITY AND REACTIVITY

Hazardous Polymerization	Will not occur.
Materials to Avoid	Strong oxidisers, hard acids and bases.
Hazardous Reaction	Reacts with acids and oxidising agents.

11. TOXICOLOGICAL INFORMATION

Toxicology Information	No LD50 data available for product. However, for ethylene glycol (major constituent): Oral LD50 (rat) : 4700 mg/kg Oral Lowest Lethal Dose (human); 786 mg/kg Oral Lowest Lethal Dose (human): 398 mg/kg - headache, nausea, vomiting. Dermal LD50 (rabbit): 9530 mg/kg Inhalation Lowest Toxic Concentration (human): 10,000 mg/m3 - lachrymation, cough. Estimated Lethal Dose (human): 100 ml SKIN (rabbit): Mild irritant. EYES (rabbit): Mild irritant. The brain, lungs, liver and kidneys are the main organs affected by the systemic intoxication and renal failure is the usual cause of death. Treatment is as for oxalate poisoning, as ethylene glycol is metabolised to oxalic acid which is deposited in various organs as calcium oxalate crystals. Animal studies have shown that long term repeated exposure to high doses of ethylene glycol in the diet causes kidney injury. Not mutagenic in several IN VITRO mutagenicity studies. Birth defects were observed when ethylene glycol was administered to pregnant mice or rats in high doses in the diet or as a respirable aerosol. No effects were noted in the reproductive systems of male or female mice or rats nor on their reproductive performance. Several long term animal tests have found no carcinogenic effects.
Inhalation	Inhalation of vapour or mists generated by heating, stirring or spraying can result in headaches and irritation of the throat and nose.
Ingestion	Ethylene glycol is toxic when swallowed. A lethal dose for an adult is 1-2 ml per kg, or about 100 ml. Symptoms include staggering, slurred speech, loss of co-ordination, confusion, faintness, nausea, vomiting, increased heart rate, difficulty breathing, difficulty seeing, convulsions and collapse. Symptoms may be delayed. Decreased urine output, kidney failure and nervoussystem damage may also occur. Aspiration may occur during swallowing or vomiting, resulting in lung damage.
Skin	Will have a degreasing action on the skin. Contact with skin may result in irritation. Repeated or prolonged skin contact may lead to dermatitic effects.
Eye	May be an eye irritant.
Chronic Effects	For ethylene glycol: No effects on fertility were found in a long term animal study dosed orally. Repeated ingestion may cause kidney damage.

12. ECOLOGICAL INFORMATION

Environ. Protection	For ethylene glycol: Aquatic toxicity - LD50/24hr (goldfish): >5000mg/L.

13. DISPOSAL CONSIDERATIONS

14. TRANSPORT INFORMATION

Sub.Risk	C1 Combustible liquid.
Storage and Transport	Store in a cool place and out of direct sunlight. Classified as a C1 COMBUSTIBLE LIQUID for the purpose of storage and handling, in accordance with the requirements of AS1940. Not defined as a Dangerous Good by the Australian Code for the Transport of Dangerous Goods by Road and Rail. This material is a Scheduled Poison (S5) and must be stored, maintained and used in accordance with the relevant regulations. Store away from oxidizing agents, acids and foodstuffs.

15. REGULATORY INFORMATION

Risk Phrase	R22 Harmful if swallowed.
Safety Phrase	S13 Keep away from food, drink and animal feeding stuffs. S2 Keep out of reach of children. S24/25 Avoid contact with skin and eyes. S46 If swallowed, seek medical advice immediately and show this container or label.
Poisons Schedule	S5
Hazard Category	Harmful

16. OTHER INFORMATION

Contact Person/Point	Laboratory Manager (03) 9300 6400 Research & Development Chemist (03) 9300 6400 This information was prepared in good faith from the best information available at the time of issue. It is based on the present level of research and to this extent we believe it is accurate. However, no guarantee of accuracy is made or implied and since conditions of use are beyond our control, all information relevant to usage is offered without warranty. The manufacturer will not be held responsible for any unauthorosed use of this information or for any modified or altered versions. If you are an employer it is your duty to tell your employees, and any others that may be affected, of any hazards described in this sheet and of any precautions that should be taken. Material Safety Data Sheets are updated frequently. Please ensure you have a
References	* NOHSC:2011 National Code of Practice for the Preparation of Material Safety Data Sheets * NOHSC:1008 Approved Criteria for Classifying Hazardous Substances * NOHSC:10005 List of Designated Hazardous Substances * NOHSC:1005 Control of Workplace Hazardous Substances, National Model Regulations * NOHSC:2007 Control of Workplace Hazardous Substances, National Code of Practice * NOHSC:1003 Exposure Standards for Atmospheric Contaminants in the Occupational Environment, National Exposure Standards * NOHSC:3008 Exposure Standards for Atmospheric Contaminants in the Occupational Environment, Guidance Note * NOHSC:1015 Storage and Handling of Workplace Dangerous Goods, National Standard * NOHSC:2017 Storage and Handling of Workplace Dangerous Goods, National Code of Practice * SUSDP, Standard for the Uniform Scheduling of Drugs and Poisons * ADG, Australian Dangerous Goods Code * MSDS of component materials
Last Change	Supercedes Issue Date: Not applicable Reason(s) for issue: Alignment to Worksafe requirement Safety data sheets are updated frequently. Please ensure that you have a

	current copy.
Poisons Schedule	S5
Hazard Category	Harmful

Ceramic Fiber Blanket safety data sheet

DS industries

Material Safety Data Sheet

1. Company & Product Information

Company Name:
DS Industries
711 Jones Street
Lewisville, Texas 75057

Material Name:
Ceramic fiber, Aluminum silicate refractory fiber, Refractory ceramic fiber (RCF)

General Use:
High temperature insulation

Product Series:
1260°C ceramic fiber

Product:
Aluminum Silicate Fiber

2. Composition / Information on Ingredients

Chemical Indexes:

$Al_2O_3 + SiO_2 > 97\%$
$Al_2O_3 > 45\%$
$Fe_2O_3 < 1.0\%$
$Na_2O + K2O \leq 0.5\%$

3. Hazards Identification

Dust from this product generated by handling may cause skin, eye and respiratory tract irritation. Possible hazards depend on duration and level of exposure.

Hazardous Materials Information System (HMIS) Ratings:

Health:	1
Flammability:	0
Reactivity:	0
Personal Protection Index:	X

Possible Effects on Health:
Prolonged and repeated inhalation of aluminosilicate dust may cause chronic effects on respiratory system such as bronchitis, asthma, and emphysema signs.

Eye Contact:	Physical irritation
Skin Contact:	Physical Irritation
Ingestion:	Temporary irritation to gastrointestinal tract
Inhalation:	Pulmonary dysfunction

4. First Aid Measures

Eye Contact:	If eyes become irritated, wash immediately with large amounts of lukewarm water for at least 15 minutes. Eyelids should be held away from the eyeball to ensure thorough rinsing. Do not rub eyes. Seek medical attention if irritation persists.
Skin Contact:	If skin becomes irritated, do not rub or scratch exposed skin. Wash area of contact thoroughly with soap and water. Using a skin cream or lotion after washing may be helpful. Change into clean clothing.
Ingestion:	Relocate affected individual to an environment of clean and fresh air. Drink plenty of water seek medical help if symptoms persist.
Inhalation:	Remove affected individual to a dust free place, seek medical help if irritation persists.

5. Fire Fighting Measures

Non-combustible (does not burn) product.

Auto-ignition temperature:	None
NFPA Unusual Hazards:	None
Unusual Fire and Explosion Hazards:	None
Extinguishing Media:	Use proper extinguishing media for the surrounding fire and proper protective equipment, such as, full bunker gear and positive pressure self-contained breathing apparatus.

6. Accidental Release Measures

Avoid creating airborne dust. Maintain routine housecleaning procedures. Vacuum only with HEPA filtered equipment, if sweeping is necessary, use a dust suppressant and keep material in closed containers. Do not use compressed air for clean-up. Workers should wear gloves, goggles and approved respirator. Avoid clean-up procedures that could cause water pollution.

7. Handling and Storage

Clean Up

Cleanup dust carefully. Use wet sweeping or high efficiency vacuum to remove dust. Do not use compressed air. During after-service removal activities, wet exposed material frequently to minimize airborne dust. A surfactant may be added to the water to improve the wetting process. Use only enough water to wet the insulation. Do not allow water to accumulate on floors.

Empty Containers

Product packaging may contain residue. Do not reuse.

8. Other Information

Removal after service: Under sustained and steady high temperature over 1800°F, this material will possibly transform to crystalline silica (ciystobalite) in exposed portions. Prolonged or repeated exposure to respirable crystalline silica dust may lead to lung disease. IARC has listed crystalline silica in Category 2A a probable carcinogen ("crystalline silica inhaled in the form of quartz or cristobalite from occupational source is carcinogenic to humans"IARC monograph 68, June 1997 p 210-211). The permissible exposure limit(PEL) set by OSHA for respirable cristobalite is 0.05mg/m3.

Red high temperature silicone safety data sheet

Material Safety Data Sheet

1. PRODUCT IDENTIFICATION

Product Name: 26C HIGH TEMP RED RTV SILICONE GASKET MAKER 11OZ
Item No: 81409
Product Type: Silicone

2. COMPOSITION/INFORMATION ON INGREDIENTS

Component	Weight%	ACGIH; TLV-TWA	OSHA PEL
POLY (DIMETHYLSILOXANE), HYDROXY TERMINATED 70131-67-8	>60	Not listed	Not listed
AMORPHOUS SILICA 7631-86-9	5-15	Not listed	20 mppcf
DISTILLATES (PETROLEUM), HYDROTREATED MIDDLE 64742-46-7	<7	5 mg/m³	Not listed
IRON OXIDE 1309-37-1	<5	5 mg/m³	10 mg/m³
ETHYLTRIACETOXYSILANE 17689-77-9	<5	Not listed	Not listed
METHYLTRIACETOXYSILANE	<5	Not listed	Not listed

5. FIRE FIGHTING MEASURES

Flash Point °F(C°): >200° F TCC
Recommended Extinguishing Media: Carbon Dioxide, Dry Chemicals, Foam.
Special Fire-Fighting Procedures: Water spray may be ineffective on flames but should be used to keep fire-

8. EXPOSURE CONTROLS/PERSONAL PROTECTION

Eyes: Safety glasses.
Skin: Neoprene or nitrile gloves recommended.
Ventilation: General; local exhaust ventilation as necessary to control any air contaminants to within their exposure limits (or to the lowest feasible levels when limits have not been established) during the use of this product.
Respiratory Protection: An approved organic vapor respirator should be worn when exposures are expected to exceed the applicable limits.

Comments: When heated to temperatures above 300 degrees F. in the presence of air, this product can form formaldehyde vapors. Formaldehyde is a potential cancer hazard and a known skin and respiratory sensitizer. Safe handling conditions may be maintained by keeping vapor concentrations below the OSHA permissible limit for formaldehyde

9. PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES

Appearance: Red paste
Odor: Acetic acid
Boiling Point: Not applicable, polymeric material
pH: Does not apply
Solubility in Water: Polymerized
Specific Gravity: 1.0
VOC(Wt.%): 3.0%; 0.25 lb/gal; 30 g/l
Vapor Pressure: 10 mm Hg
Vapor Density (Air=1): Not Determined
Evaporation Rate: Not Determined

10. STABILITY AND REACTIVITY

Chemical Stability: Stable at normal conditions
Hazardous Polymerization: Will not occur
Incompatabilities: Polymerized by contact with moisture. Acetic acid liberated.
Conditions to Avoid: Exposure to moisture.
Hazardous Products of Combustion: Oxides of carbon, Oxides of nitrogen, Oxides of sulfur, Acetic acid, Silica fume, Metal oxide fumes, Formaldehyde

11. TOXICOLOGICAL INFORMATION

See Section 3

12. ECOLOGICAL INFORMATION

No data available

13. DISPOSAL CONSIDERATIONS

Recommended Method of Disposal: Disposal should be made in accordance with federal, state and local regulations.

California Proposition 65: No California Prop 65 chemicals are known to be present at or above the No Significant Risk Level

TSCA Inventory Status: All components of this product are listed (or exempt) on the EPA TSCA Inventory.

16. OTHER INFORMATION

Estimated NFPA Rating: HEALTH 1, FLAMMABILITY 1, REACTIVITY 0.
Estimated HMIS Classification: HEALTH 1, FLAMMABILITY 1, PHYSICAL HAZARD 0
(NFPA is a registered trademark of the National Fire Protection Association)
HMIS is a registered trademark of the National Paint and Coatings Association

Appendice B – Calcoli di progetto

Equazione di Ergun

Tabella B1. Proprietà termodinamiche dell'azoto a 20 °C

Temperatura (°C)	Pressione (bar)	Densità (kg/m^3)	Viscosità (Pa*s)	Fase
20	1	1,1496	1,76E-05	vapore
20	1,5	1,7246	1,76E-05	vapore
20	2	2,2997	1,76E-05	vapore
20	2,5	2,875	1,76E-05	vapore
20	3	3,4504	1,76E-05	vapore
20	3,5	4,0259	1,76E-05	vapore
20	4	4,6016	1,76E-05	vapore
20	4,5	5,1773	1,76E-05	vapore
20	5	5,7532	1,76E-05	vapore

Tabella B2. Proprietà termodinamiche dell'azoto a 350 °C

Temperatura (°C)	Pressione (bar)	Densità (kg/m^3)	Viscosità (Pa*s)	Fase
350	1	0,54045	3,04E-05	vapore
350	1,5	0,8105	3,04E-05	vapore
350	2	1,0804	3,04E-05	vapore
350	2,5	1,3503	3,04E-05	vapore
350	3	1,62	3,04E-05	vapore
350	3,5	1,8896	3,04E-05	vapore
350	4	2,159	3,04E-05	vapore
350	4,5	2,4284	3,04E-05	vapore
350	5	2,6977	3,04E-05	vapore

Tabella B3. Proprietà termodinamiche dell'anidride carbonica a 20 °C

Temperatura (°C)	Pressione (bar)	Densità (kg/m^3)	Viscosità (Pa*s)	Fase
20	10	18,152	1,47E-01	vapore
20	15	27,300	1,47E-01	vapore
20	20	36,498	1,47E-01	vapore
20	25	45,746	1,47E-01	vapore
20	30	55,044	1,47E-01	vapore
20	35	64,394	1,47E-01	vapore
20	40	73,797	1,47E-01	vapore
20	45	83,252	1,47E-01	vapore
20	50	92,761	1,47E-01	vapore

Tabella B4. Proprietà termodinamiche dell'anidride carbonica a 350 °C

Temperatura (°C)	Pressione (bar)	Densità (kg/m^3)	Viscosità (Pa*s)	Fase
350	10	0,84958	2,89E-01	vapore
350	15	12,745	2,89E-01	vapore
350	20	16,995	2,89E-01	vapore
350	25	21,246	2,89E-01	vapore
350	30	25,498	2,89E-01	vapore
350	35	29,750	2,89E-01	vapore
350	40	34,003	2,89E-01	vapore
350	45	38,257	2,89E-01	vapore
350	50	42,512	2,89E-01	vapore

Tabella B5. Applicazione della legge di Ergun per flusso di N_2

Pressione (bar)	T=20 °C	T=350 °C	T=20 °C	T=350 °C
	u CO_2 (m/s)	u CO_2 (m/s)	deltaP (bar)	deltaP (bar)
1	8,66E-02	0,184	0,452	1,648
1,5	5,77E-02	0,12266667	0,301	1,099
2	4,33E-02	0,092	0,226	0,824
2,5	3,46E-02	0,0736	0,181	0,660
3	2,89E-02	0,06133333	0,151	0,550
3,5	2,47E-02	0,05257143	0,129	0,471
4	2,17E-02	0,046	0,113	0,412
4,5	1,92E-02	0,04088889	0,101	0,367
5	1,73E-02	0,0368	0,091	0,330

Tabella B6. Applicazione della legge di Ergun per flusso di CO_2

Pressione (bar)	T=20 °C	T=350 °C	T=20 °C	T=350 °C
	u CO_2 (m/s)	u CO_2 (m/s)	deltaP (bar)	deltaP (bar)
1	8,66E-02	0,184	0,383	1,571
1,5	5,77E-02	0,12266667	0,255	1,051
2	4,33E-02	0,092	0,192	0,788
2,5	3,46E-02	0,0736	0,153	0,631
3	2,89E-02	0,06133333	0,128	0,526
3,5	2,47E-02	0,05257143	0,110	0,450
4	2,17E-02	0,046	0,096	0,394
4,5	1,92E-02	0,04088889	0,085	0,350
5	1,73E-02	0,0368	0,077	0,315