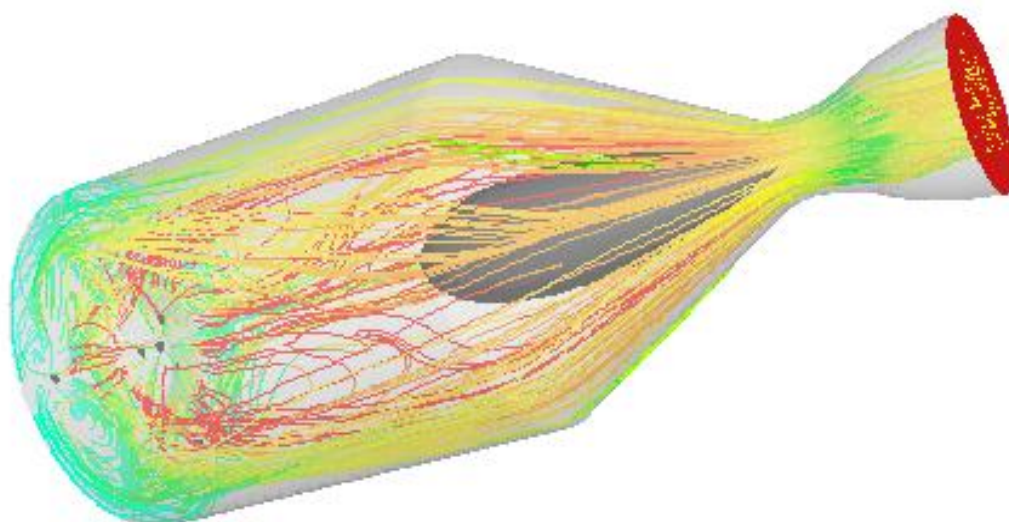


RELAZIONE CONGRESSO ATI Progetto FIREBOOST®



V. T. Branzi
29 Maggio 2012

La Società EXO New Energy

EXO New Energy è una società a responsabilità limitata operante nel settore dell'energia con particolare riguardo ad applicazioni innovative basate su processi di combustione.

La società ha realizzato un combustore di tipo "all-fuel" in grado di garantire combustione pressoché completa di ogni tipo di combustibile, inclusi i low-grade e le biomasse, chiamato Fireboost®.

Amministrazione, R&D ed Engineering di EXO si trovano a Rotterdam, in Olanda, mentre costruzione e test vengono effettuati a Bolzano, in Italia. La società è di proprietà di IFI SpA, una holding finanziaria privata con base a Bolzano.

Per meglio chiarire le strategie di EXO è opportuno richiamare alcuni principi fondamentali nel merito della generazione di energia da processi di combustione.

I Principi della Combustione

La combustione consiste in una reazione esotermica relativamente veloce di materia allo stato gassoso a seguito di un processo chimico nel quale una sostanza - detta combustibile - reagisce con l'ossigeno - detto comburente - e libera calore. Tale processo può avere luogo sia in presenza come in assenza di fiamma.

La combustione da luogo a nuove sostanze - i cosiddetti prodotti di combustione o di scarico - la maggior parte dei quali deriva da combinazioni chimiche tra combustibile e comburente. Ad esempio, utilizzando idrocarburi come combustibile, i prodotti di scarico conterranno Acqua (Idrogeno + Ossigeno) e Anidride Carbonica (Carbonio + Ossigeno). Ma i prodotti di scarico possono contenere anche combinazioni chimiche derivanti soltanto dal comburente: così, se la combustione avviene usando come comburente l'Aria Atmosferica, che è composta al 21% da Ossigeno e 78% da Azoto, i prodotti di scarico possono contenere anche Ossidi di Azoto ($\text{NO}_x = \text{Azoto} + \text{Ossigeno}$). I prodotti di scarico sono generalmente allo stato gassoso per via dell'alta temperatura dello scarico stesso.

Taluni processi di combustione generano tuttavia prodotti di scarico allo stato solido, tra i quali la Fuliggine.

Si è detto dunque che, durante il processo di combustione, la reazione trasforma combustibile e comburente in calore e prodotti di scarico. È importante notare che anche il calore è un prodotto della combustione e che una qualche sorgente di calore è necessaria per avviare la combustione stessa, mentre, una volta avviata, il processo si autosostiene con il calore da esso stesso generato.

Possiamo dunque concludere che tre sono le cose necessarie alla combustione, ossia combustibile da bruciare, ossidante come comburente, e sorgente di calore. Di conseguenza, il processo di combustione può essere controllato regolando sia la quantità di combustibile come la quantità di comburente che partecipano al processo, o anche la sorgente di calore.

Per quanto riguarda la progettazione del combustore FIREBOOST[®], EXO ha preso in considerazione soltanto il processo con presenza di fiamma, definita anche fiamma con due reagenti, che sono il combustibile ed il comburente. Tale fiamma comporta una reazione esotermica a propagazione sub-sonica generata dalla miscela dei due reagenti, ove quest'ultimo è generalmente aria atmosferica. EXO si è limitata all'uso di aria atmosferica.

In termini semplificati, un combustore può dunque essere definito come un apparecchio che fornisce calore a seguito di reazione di ossidazione esotermica controllata.

In termini più completi, invece, un combustore è una macchina che assolve tre funzioni fondamentali, che sono:

- Controllo della miscelazione dei reagenti (combustibile e comburente).
- Gestione di un sistema di accensione stabile e autonomo.
- Controllo del dominio di reazione o forma della fiamma.

Nella progettazione di un combustore va dedicata particolare attenzione alle tre "T" della combustione, che sono:

- Turbolenza, che è l'interazione tra due flussi di fluido necessaria ad ottenere la loro miscelazione.
- Temperatura, che è l'energia richiesta per l'avviamento della reazione chimica di ossidazione.
- Tempo, che è il periodo necessario al completamento della reazione di ossidazione.

In altre parole, si mescoli combustibile con aria e si riscaldi la miscela fino alla temperatura di accensione del combustibile ("flash point") ed il risultato è una fiamma di volume dettato dal tempo necessario alla reazione.

Per ottenere l'accensione, i combustibili devono essere allo stato gassoso, quindi i liquidi devono vaporizzare ed i solidi sublimare. Ottenuto questo passaggio di stato, ogni sostanza combustibile è in grado di produrre combustione sullo stesso combustore che, come vedremo per il FIREBOOST[®], va inteso anche come reattore. Tuttavia, le esigenze specifiche che dovranno soddisfare i combustore in progettazione impongono l'osservanza di aspetti differenti. Rapporti di reazione, o anche lunghezza della fiamma e diametro, sono direttamente correlati alle tre "T", ma dipendono anche dai combustibili utilizzati. Infatti, composizione, distribuzione, e velocità di uscita del combustibile producono risultati diversi, sicché la fiamma generata da un combustore con un particolare combustibile non è uguale a quella generata dallo stesso combustore con un altro combustibile. In generale si può affermare che quanto maggiore è la differenza delle proprietà chimico-fisiche tra combustibili diversi, tanto maggiore è la deviazione della qualità della fiamma generata da ciascuno di essi.

Anche EXO ha dovuto confrontarsi e risolvere questa problematica.

Il progetto FIREBOOST[®]: Design di un Combustore "All Fuel"

Con il progetto FIREBOOST[®] EXO si è posta l'obiettivo di perfezionare una macchina in grado di operare con ogni tipo di combustibile in qualsiasi stato di aggregazione ed ha focalizzato il proprio sviluppo

partendo dal principio che tutte le sostanze combustibili sono in grado di produrre combustione anche sullo stesso combustore premesso che avvenga il loro passaggio allo stato gassoso.

Alla base del progetto FIREBOOST[®] sta l'osservazione che la velocità di vaporizzazione o di sublimazione, e quindi di accensione, dipende sia dalla temperatura come anche dalla dimensione degli elementi combustibili coinvolti, che si misura in micron. Per i liquidi i combustori sono attrezzati con atomizzatore in grado di spruzzare il combustibile in goccioline mentre, per i solidi, il combustibile può essere macinato prima ed indipendentemente dal processo di combustione.

Il diametro di goccioline (liquido) e di particelle (solido) dev'essere sufficientemente piccolo da consentire il loro passaggio allo stato gassoso e la reazione di auto-accensione nella cosiddetta "hot zone" del combustore. Detti passaggio di stato e reazione devono però avvenire nel tempo strettamente necessario all'attraversamento della hot zone stessa - definito "tempo di residenza" - per poi uscirne come fiamma. Da qui la definizione di "reattore" associata a quella di combustore.

Accelerare l'auto-accensione e ridurre conseguentemente il tempo di residenza consente l'introduzione di maggiori quantità di combustibile e di conseguenza incrementa la generazione di energia dallo stesso combustore.

A questo scopo è certamente pensabile di ridurre la dimensione di goccioline e di particelle. Tuttavia, prove effettuate in tal senso si sono scontrate con difficoltà di ordine meccanico nella atomizzazione dei liquidi (per impurità nei combustibili, viscosità ecc.) e con consistenti aumenti dei tempi e dei costi degli impianti di macinazione dei solidi.

In termini di quantità di energia generata, di efficienza del processo globale, di gestione della preparazione dei combustibili, e di costo, i migliori risultati sperimentali sono stati ottenuti con goccioline di ~50 micron e con particelle di solido di ~500 micron.

Abbiamo visto prima che il processo di combustione può essere controllato regolando, oltre al combustibile ed al comburente, anche la sorgente di calore. Pertanto un'altra strada per accelerare l'accensione e ridurre conseguentemente il tempo di residenza senza intervenire sulla dimensione di goccioline e di particelle, è quella di incrementare la temperatura della hot zone. E questo, come già' illustrato, consente di incrementare la quantità di combustibile introdotta e, con essa, la quantità di energia generata con lo stesso combustore nell'unità di tempo in misura proporzionale. Rispetto alle altre strade possibili, il controllo della sorgente di calore è piu' tollerante verso l'atomizzazione dei liquidi e la micronizzazione dei solidi, ed è quindi vantaggioso per quanto riguarda tempi di preparazione ed alimentazione dei combustibili, grandezza e costi degli impianti, e stabilità del processo nel suo insieme.

EXO ha dedicato intenso lavoro a questo aspetto puntando su temperature della hot zone di $\sim 1,700^{\circ}\text{C}$. La vera difficoltà incontrata nel perseguire questa soluzione è correlata alle proprietà chimico-fisiche dei materiali utilizzati per la costruzione del combustore, e precisamente:

- I Materiali Ceramici (ad es. Mullite) possono resistere a temperature anche superiori all'obiettivo prefisso di $1,700^{\circ}\text{C}$ in ambiente ossidante, ma hanno limiti critici principalmente perché:
 - (a) Tollerano soltanto gradienti termici bassi con conseguenti tempi di riscaldamento dei materiali del combustore e della hot zone in particolare molto lunghi, che destabilizzano il processo di combustione e rendono necessario l'impiego di una fiamma pilota.
 - (b) L'estrema fragilità richiede particolari cautele di handling difficilmente adottabili in ambiente industriale.
 - (c) Non resistono allo shock termico, inevitabile quantomeno allo spegnimento della fiamma.

- (d) Sono difficilmente accoppiabili con le interfacce metalliche dei sistemi collegati al combustore.
- Le Leghe Metalliche comunemente usate (Acciai, a base Nickel ecc.) possono operare in ambiente ossidante soltanto fino a temperature intorno a 1,000-1,200°C circa, ma al di là di tali valori esse subiscono il passaggio dallo stato elastico a quello plastico con deformazione delle geometrie. Inoltre la loro temperatura di fusione non è superiore a ~1,500°C. Poiché il FIREBOOST® ha una temperatura di esercizio ad iniziare da ~1,100°C, appare chiaro che esse offrono scarse possibilità all'incremento della temperatura della hot zone.
 - Le Ultraleghe Metalliche (a base Molibdeno, Niobio, ecc.), al di là degli elevati costi del materiale, resistono a temperature molto elevate tipo ceramica, senza presentare i problemi della ceramica (gradiente, shock termico ecc.). Tuttavia in presenza di ossigeno le Ultraleghe sublimano velocemente ad iniziare da ~700-800°C. Inoltre, esse sono di difficile lavorazione e saldatura.

EXO ha ritenuto che il funzionamento "all fuel" del combustore fosse un fattore commerciale vincente e, pertanto, ha ritenuto fondamentale il raggiungimento di temperature della hot zone molto elevate, tali da garantire l'autoaccensione di qualsiasi tipo di combustibile in tempi di residenza estremamente ridotti. Quindi, nonostante i problemi indicati, EXO ha dedicato intenso studio al perfezionamento di un combustore costruito in Ultralega a base Molibdeno con riporto protettivo a fiamma che protegga la lega stessa dal contatto con l'ossigeno.

Tale obiettivo è stato raggiunto in collaborazione con un produttore di leghe al Molibdeno, con il quale è stato individuato anche un processo di costruzione del combustore che consente lavorazione, stampaggio, e saldatura della lega.

Ha potuto così essere completata con successo la realizzazione di FIREBOOST®, un combustore capace di bruciare ogni tipo di

combustibile, e caratterizzato da grande semplicità, elevata efficienza, ampia scalabilità, facilità d'uso, integrazione di tecniche di combustione innovative, fluidodinamica avanzata, materiali resistenti alle alte temperature, e in grado di operare con tecnologia di controllo allo stato dell'arte – propria o disponibile a mercato. La società detiene brevetti internazionali sia per il FIREBOOST® in quanto macchina come anche per il metodo di combustione.

Due tra I maggiori Istituti degli USA, ossia il Politecnico MIT di Cambridge MA e l'Agenzia del Ministero Federale per l'Energia EERC a Grand Forks ND, confermano che *“Il reattore FIREBOOST® rappresenta un'eccellente opportunità per operare con una macchina semplice ad alto rendimento con tutta una serie di combustibili di bassa qualità, inclusi oli pesanti ed esausti, solidi, biomassa, e gas di scarto”*.

Il Combustore-Reattore FIREBOOST®: Principi di Funzionamento

FIREBOOST® è un combustore-reattore volumetrico. Il processo di ossidazione viene avviato per auto-accensione entro specifici limiti spaziali (la hot zone) all'interno del reattore. La pressione generata dalla combustione spinge la fiamma a fuoriuscire dal combustore attraverso lo scarico. Il processo si autosostiene e quindi non richiede fiamma pilota o altro supporto all'accensione.

FIREBOOST® è competitivo per la capacità di bruciare combustibili low-grade in qualsiasi stato di aggregazione, quali i derivati del petrolio a basso costo ed a basso grado di raffinamento (ad es. olio combustibile di tutti i gradi ASTM incl. l'olio bunker, oli esausti, bitume & asfalti), e materiale organico grezzo (ad es. grassi incl. quelli animali, altri), combustibili solidi (ad es. biomassa polverizzata come Sansa, PKS ed altri), e rifiuti (ad es. oli e lubrificanti esausti, fanghi di depurazione polverizzati, CDR), per citarne alcuni.

In termini di energia termica generata con combustibili di bassa qualità e con biomassa, FIREBOOST® è caratterizzato da rapporti performance/costo e performance/emissioni superiori rispetto a

combustori industriali tradizionali operanti con quei combustibili, atteso che essi siano comunque in grado di bruciarli (ad es. grasso animale). L'energia termica generata dal FIREBOOST® è prossima al valore stechiometrico di qualsivoglia combustibile ed indica una combustione pressoché completa. Le emissioni prodotte con tali combustibili appaiono trascurabili rispetto a risultati ottenuti con combustori tradizionali, e questo è particolarmente vero per quanto riguarda il Monossido di Carbonio e le Diossine nei gas di scarico.

FIREBOOST® può però operare anche con tutti i combustibili tradizionali ad elevato grado di raffinamento (ad es. gasolio da riscaldamento e diesel, polvere di carbone, metano, propano, idrogeno, altri).

Inoltre FIREBOOST® è caratterizzato da una "turn-down ratio" ricompresa tra 7:1 fino a 20:1 (a seconda dei combustibili bruciati) e questo consente l'utilizzo di combustibili di basso LCV (Low Calorific Value) anche intorno a 2 kW/kg senza che ne soffra la performance del FIREBOOST®, mentre non vi è limite per essi verso l'alto.

Tutti i combustibili possono essere introdotti nel reattore e bruciati sia separatamente come anche miscelati fra loro senza che abbiano luogo fenomeni di esplosione e di flashback per via della diversa velocità di propagazione della fiamma. Il passaggio tra combustibili diversi avviene per azionamento di valvola senza interruzione dell'esercizio e senza modifica alcuna al combustore o all'impianto di alimentazione (che deve essere opportunamente predisposto a tale esercizio).

Efficienza e Parametrazione

La quantità di combustibile introdotta nel processo determina la quantità di calore nominale totale generata dal processo e calcolata sulla base dello specifico potere calorico (LCV) di ciascun combustibile.

L'efficienza η del sistema si calcola invece come rapporto tra la quantità nominale totale di calore introdotto rispetto alla quantità totale di calore utilizzabile nell'unità di tempo.

L'ottimizzazione di η richiede che vengano tenuti in considerazione alcuni importanti aspetti, tra i quali:

1. Quanto minore il raffinamento dei combustibili, tanto più necessario l'eccesso di Ossigeno per la loro combustione. In questo merito va tuttavia considerato che l'eccesso di O_2 rispetto al rapporto stechiometrico comporta una perdita di calore generalmente inutile con conseguente diminuzione di η del sistema globale, e favorisce inoltre la generazione di NO_x (Ossidi di Azoto) termici.

Pertanto, è opportuno impostare il processo combustivo di combustibili anche "difficili" su un contenuto di O_2 che approssimi il più possibile i valori stechiometrici.

2. La Ricircolazione dei Fumi (Flue Gas Recirculation, FGR), ossia la reintroduzione di gas di scarico nel processo combustivo, equivale ad una fase di post-combustione con conseguente abbattimento dei Composti Organici Volatili (Volatile Organic Compound, VOC). Inoltre, essa comporta
 - (2a) L'abbattimento della generazione di NO_x in seguito alla necessaria riduzione della percentuale di O_2 in combustione.
 - (2b) L'incremento della temperatura del comburente non preriscaldato prelevato direttamente dall'ambiente, con conseguente miglioramento della qualità di combustione.

I combustibili Low-grade e le Biomasse: Caratterizzazione

Caratteristica fondamentale del FIREBOOST® è quella di poter operare con qualsivoglia combustibile in ognuno dei tre stati di aggregazione, con possibilità sia di miscelare a piacimento tutti i combustibili come anche di passare da un tipo di combustibile ad un altro senza interruzione di esercizio. Questo presuppone che i

combustibili solidi, incluse le biomasse, siano stati precedentemente trattati al fine di produrre materia secca (circa 14%) e micronizzata (circa 500 micron).

Per la combustione di combustibili liquidi, incluse le biomasse, si rendono necessari trattamenti preliminari di filtrazione, in caso di significanti impurità contenute nel combustibile, e di riscaldamento per garantire che il liquido venga mantenuto al di sopra della temperatura di scorrimento (pour point), per poter essere pompato nei condotti di alimentazione fino al sistema di spruzzamento.

Ricupero Energetico dai “Low-Grade”: Possibilità e Limiti

I combustibili finora testati da EXO, con i quali è stata acquisita significativa esperienza, tale da consentire un esercizio di sistemi ed esecuzione di processi prolungati nel tempo e rilevanti ai fini del presente convegno, sono:

- 1a Combustibili Liquidi di tipo low grade derivati da idrocarburi quali l’Olio Pesante definito Bunker (ASTM # 5) o Mazout (LCV \cong 15 kW_{th} -kg), e oli/lubrificanti esausti (LCV \cong 13 kW_{th} -kg)
- 1b Biomasse Liquide come il Grasso Animale ottenuto dalla concia dei pellami e l’Olio Vegetale esausto e non (LCV \cong 11.5 kW_{th} -kg).

- 2a Combustibili Solidi quali la Polvere di Carbone (LCV \cong 8.5 kW_{th} -kg) ed il CDR (Combustibile Da Rifiuti) (LCV \cong 4.5 kW_{th} - kg).
- 2b Biomasse Solide quali la Sansa di Oliva ed il PKS (Palm Kernel Shell) (LCV \cong 5.5 kW_{th} -kg).

- 3a Combustibili gassosi di tipo high grade quali Idrogeno (LCV \cong 33 kW_{th} -kg).e, per quanto concerne i derivati da idrocarburi, Propano (LCV \cong 13 kW_{th} - kg) e Metano (LCV \cong 13.5 kW_{th} - kg).
- 3b Biomasse gassose come il biogas da discarica (LCV \cong 6 kW_{th} - kg).

L'utilizzo dei combustibili indicati è molteplice e può dipendere dal grado di purezza o raffinamento del combustibile stesso.

Le applicazioni individuate sono quelle classiche, e principalmente:

- Generazione Elettrica Semplice mediante turbo-generatore.
- Generazione Elettrica Combinata con utilizzo del calore residuo per varie applicazioni.
- Generazione di Vapore per processi industriali.
- Generazione di Calore per processi industriali .
- Generazione di Calore per riscaldamento.
- Incenerimento di materiali di scarto.

Tuttavia l'aspetto di maggiore interesse è quello della multifunzionalità del FIREBOOST[®], che consente di affrontare applicazioni lasciando aperte le alternative del combustibile.

Applicazioni di questo tipo, richieste dal mercato, sono:

- Utilizzo del FIREBOOST[®] presso raffinerie in processi di reforming e cracking, con ricupero dei combustibili oggi bruciati sulle torce. I combustibili di interesse per questo settore sono il Bunker ed i gas.
NOTA: Le torce vengono utilizzate in caso di eccedenze di produzione della raffineria, di emergenze o interruzioni, o semplicemente per consumare i gas la cui formazione dipende dai diversi processi ed è sostanzialmente imprevedibile (principalmente idrogeno, metano e simili).
- Utilizzo del FIREBOOST[®] presso oleifici/sansifici per la combustione di sansa di oliva e ramaglie rivolta alla generazione di elettricità, mantenendo aperta la possibilità di riutilizzare combustibili tradizionali (gasolio, metano) in caso di insufficiente disponibilità.
- Utilizzo del FIREBOOST[®] nell'industria siderurgica ed in particolare per il trattamento termico dei prodotti con utilizzo

di combustibili low-grade ma con la possibilità di ritornare a quelli tradizionali (gasolio, metano) qualora necessario.

- Utilizzo del FIREBOOST® nell'industria delle pelli per la combustione di grassi animali derivati dal trattamento delle pelli.
- Utilizzo del FIREBOOST® presso centrali termo-elettriche per la combustione di CDR associata a quella con carbone o altri combustibili tradizionali.

L'utilizzo del FIREBOOST® nelle applicazioni elencate incontra taluni limiti imposti non già dal sistema o dal metodo di combustione, quanto dal tipo di combustibile, come ad esempio:

- La combustione della Biomassa solida richiede che essa sia essicata e micronizzata.
- La combustione della Biomassa liquida richiede che essa sia riscaldata fino al suo punto di scorrimento ($T > 50^{\circ}\text{C}$).
- Comunque, l'utilizzo del FIREBOOST® in un processo multi-fuel richiede adeguati sistemi di controllo, in grado di mantenere costanti - se richiesto - i parametri dell'applicazione (es: quantità di calore, temperatura ecc).
- Infine, va tenuto presente che taluni combustibili ed in particolare le biomasse possono produrre quantità di polveri o altre emissioni tipo NO_x in dipendenza del trattamento cui sono state sottoposte (ad es: fertilizzanti azotati).

Per riscontro, va evidenziato che uno dei maggiori vantaggi del FIREBOOST® in termini di emissioni e la assenza di diossine ed il basso tenore di Monossido di Carbonio il quale, oltre ad essere velenoso e pericoloso, ha un suo seppur modesto potere calorifico ($\text{LCV} \cong 3 \text{ kW}_{\text{th}} - \text{kg}$).

In questo contesto va comunque ricordato che il metodo FGR (Ricircolazione dei Fumi) consente il recupero di tale LCV.

Dati Sperimentali

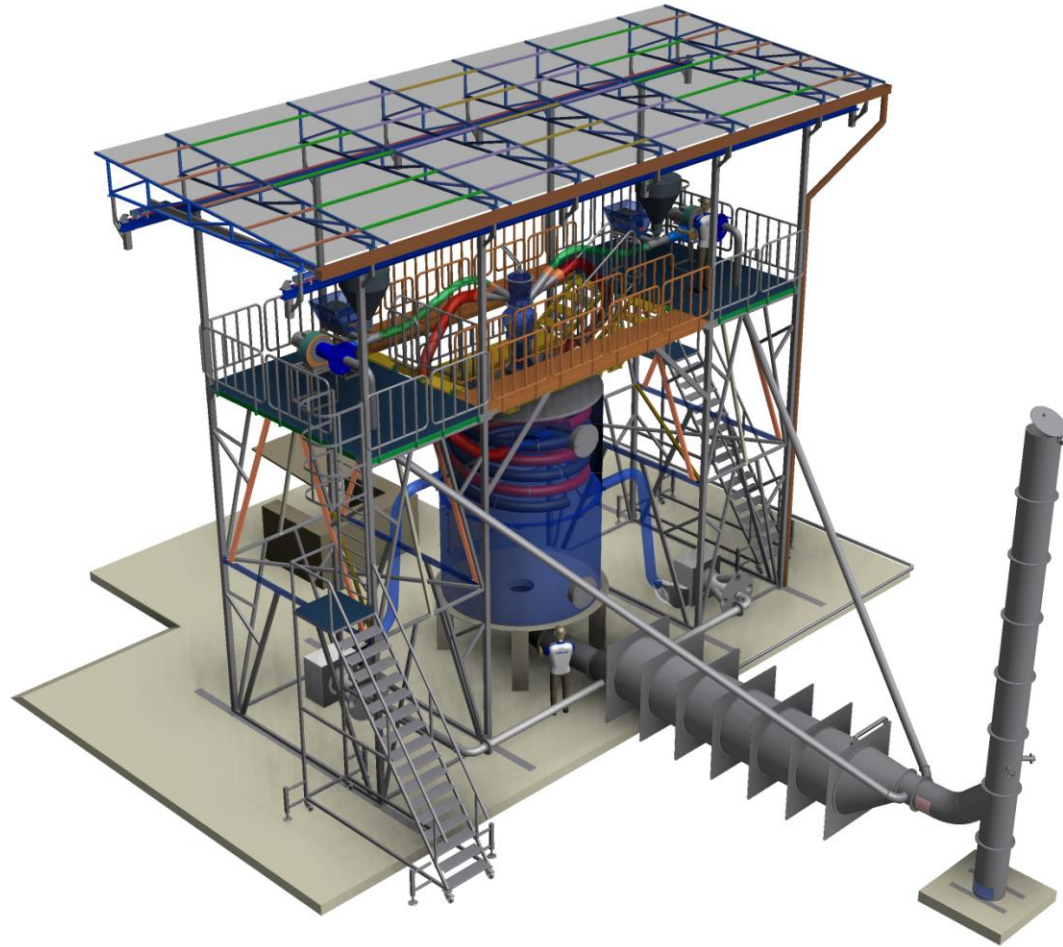
COMBUSTIONE DI GRASSO ANIMALE

Temp. Ambiente, °C	14.0	16.0	17.0	18.0
Temp. Camino., °C	283.0	276.0	206.0	205.0
CO, mg/Nmc	2.0	5.0	12.0	18.0
SO ₂ , mg/Nmc	209.0	259.0	163.0	204
O ₂ , %	17.0	17.3	18.5	18.6
NO ₂ , mg/Nmc	1.0	0.0	5.0	2.0
NO, mg/Nmc	47.0	37.0	37.0	36.0
CO ₂ , %	3.09	2.72	1.88	1.82
NO _x , mg/Nmc	72.0	81.0	61.0	57.0

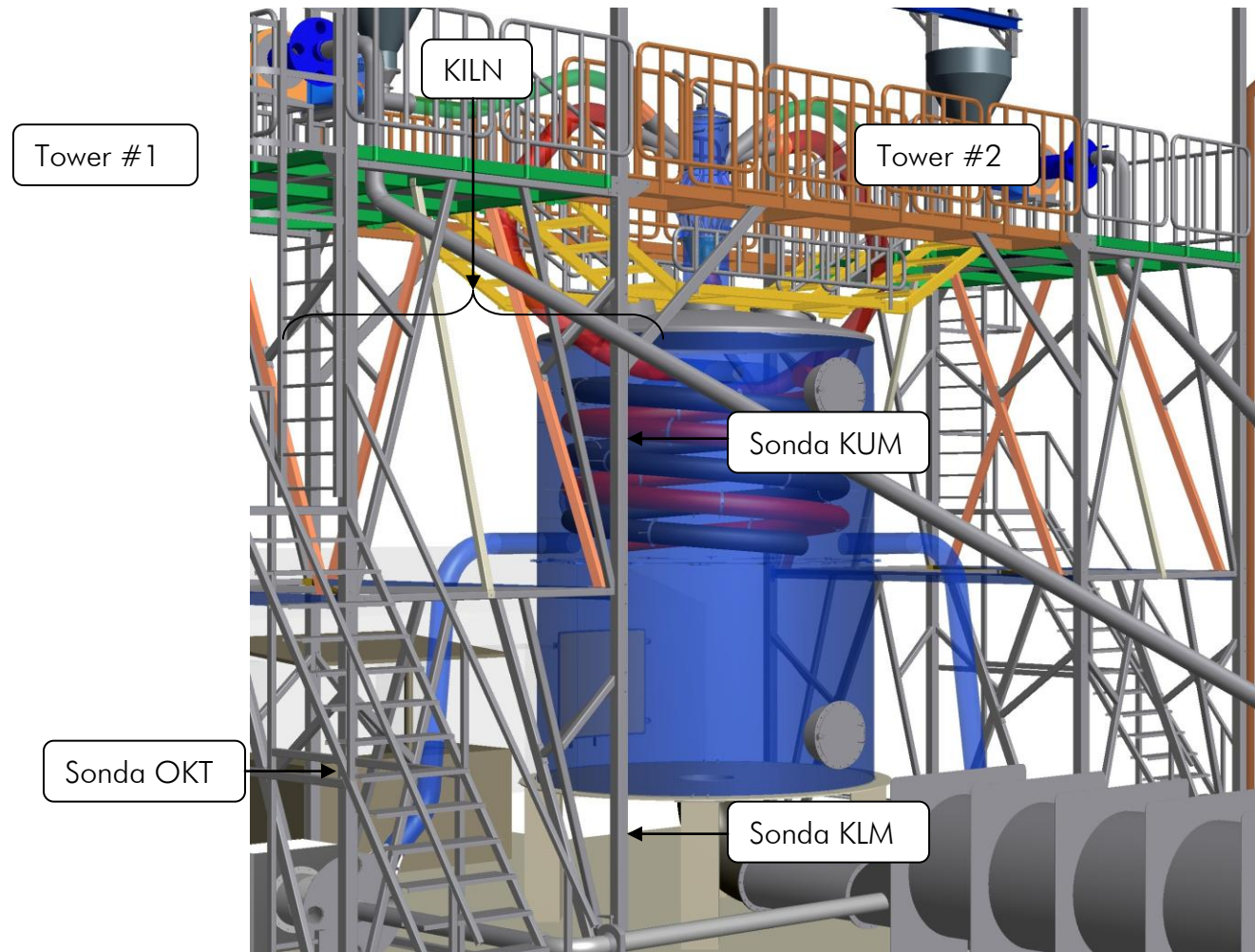
Il test è durato 16 ore con ciclo ripetuto due volte. La quantità di grasso animale combusta è stata di ~ 400 kg-hr



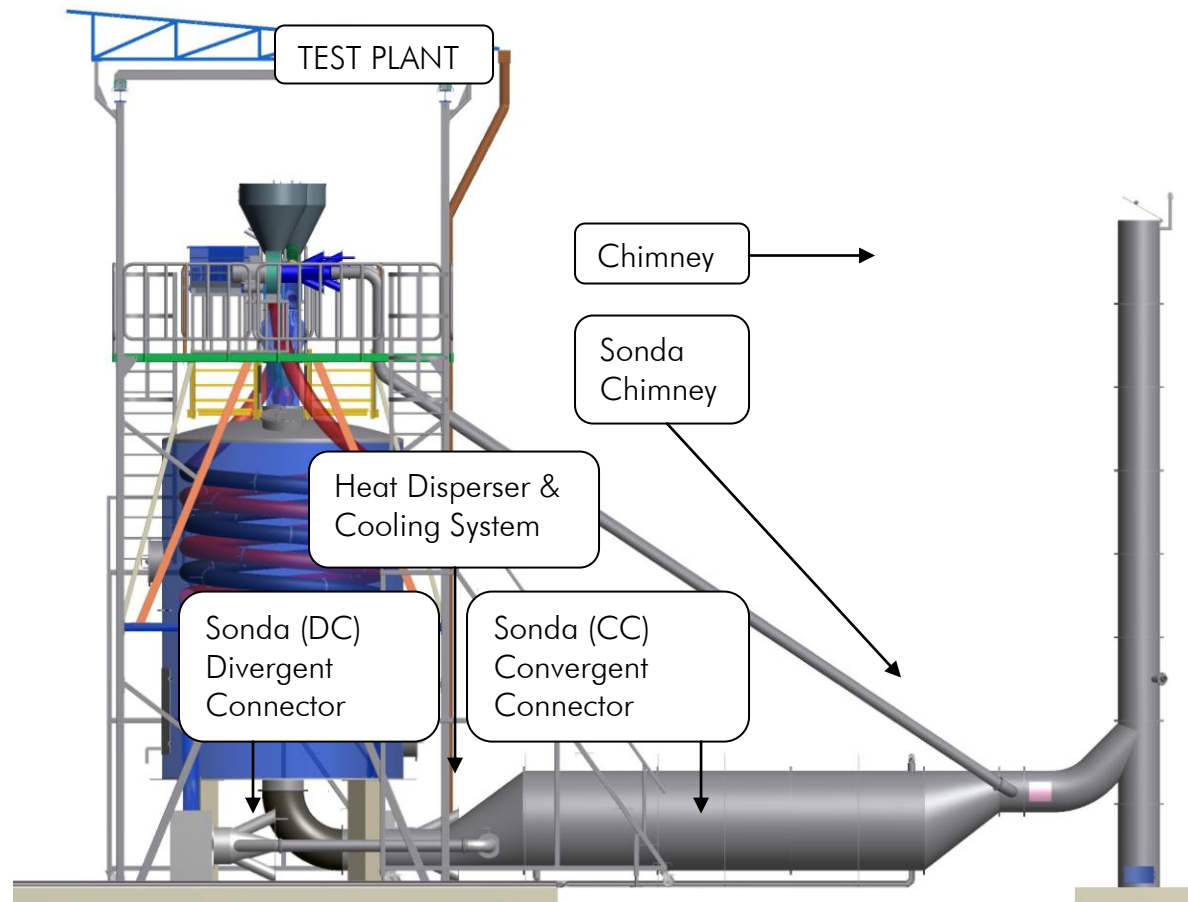




POSIZIONE SONDE NEL KILN



POSIZIONI SONDE NEL HEAT DISPERSER & COOLING SYSTEM, E CHIMNEY



MULINO PER MICRONIZZAZIONE SOLIDI





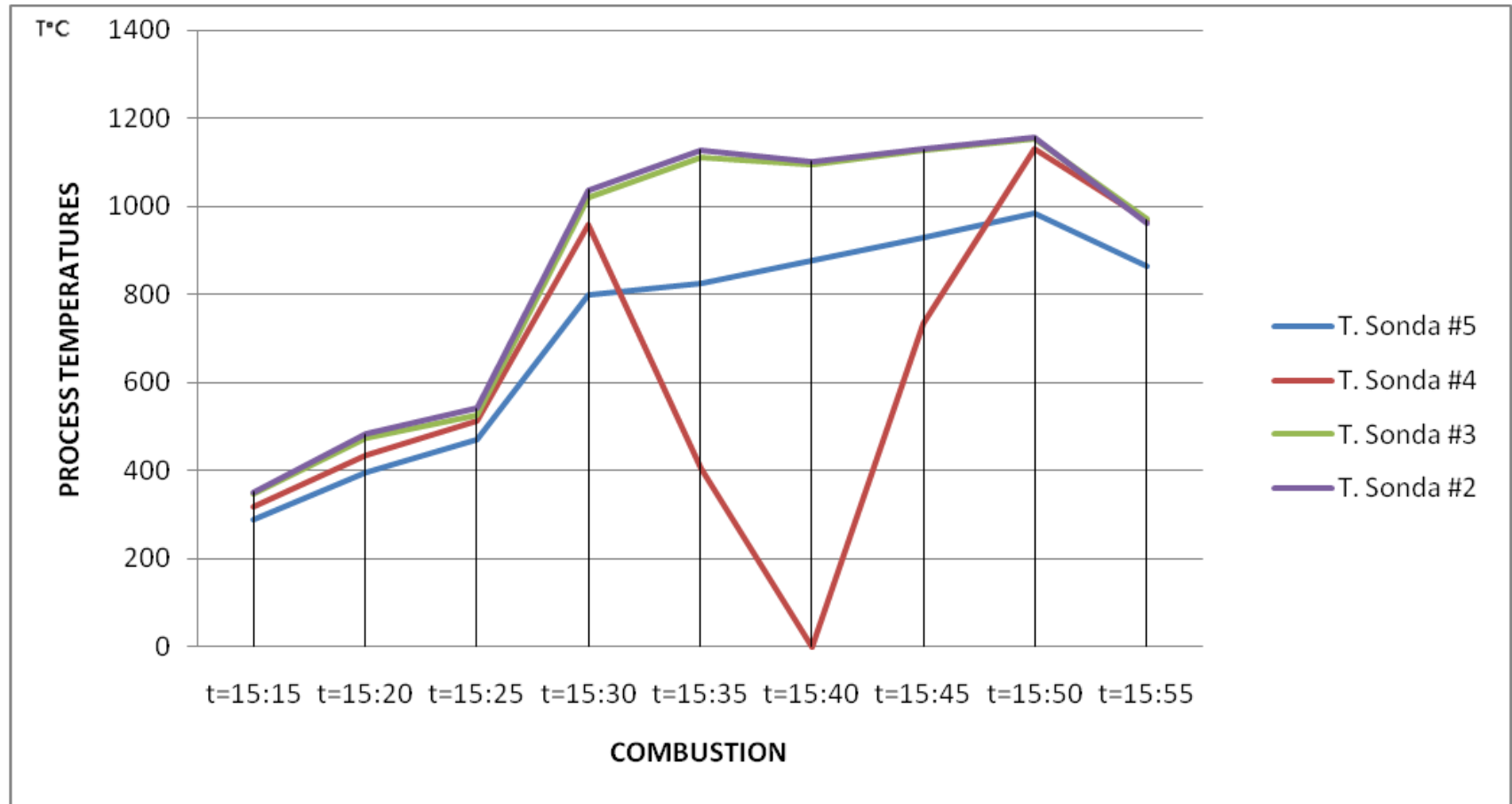
EUROTHERM CHESSELL

Minimo Temperature Completo 10.50.00
16/05/11

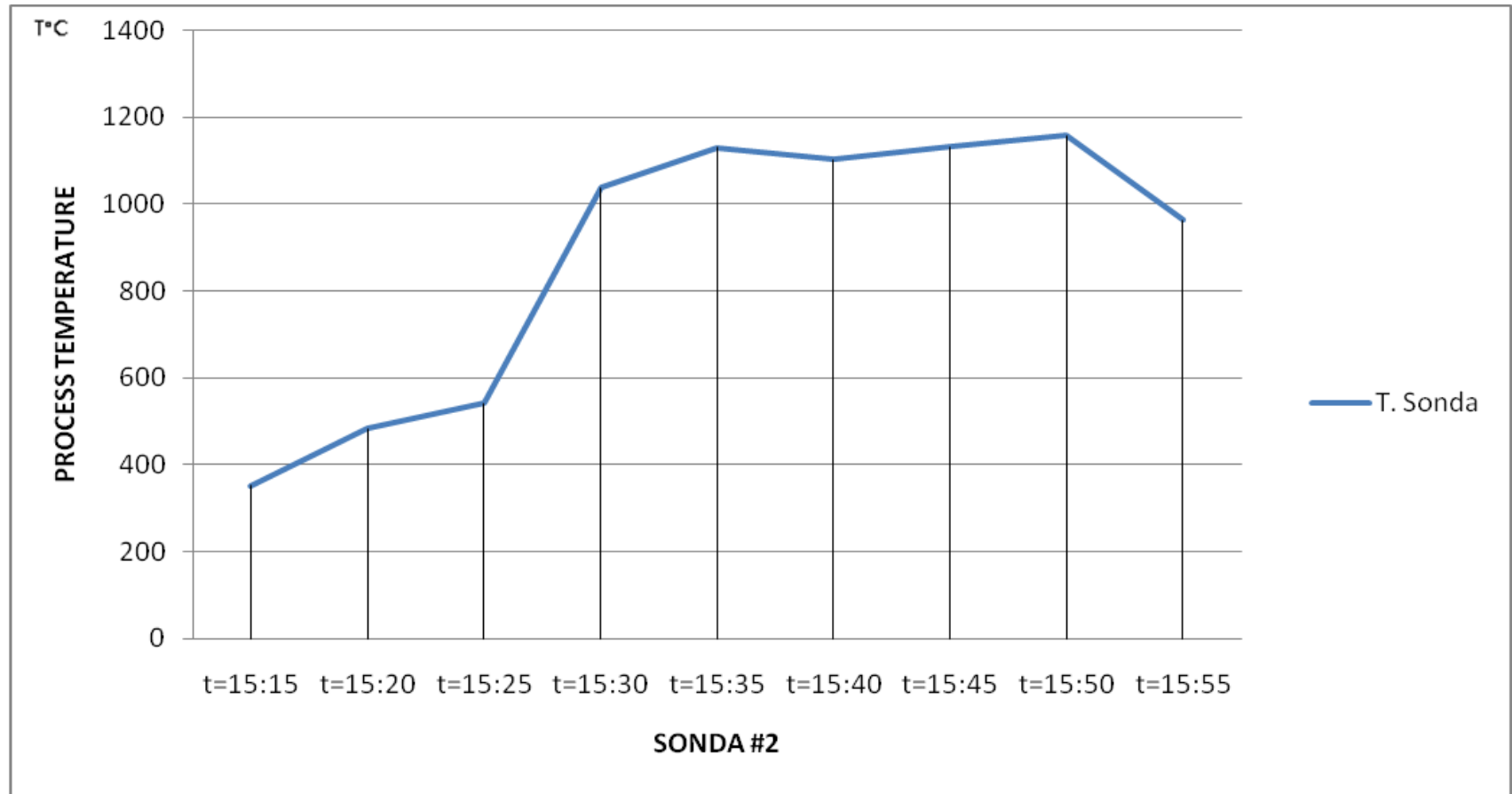
ING.01 TEMP.AMBIENTE	23,2 ^o c	ING.18 S.07 EC 3-3	952,6 ^o c
ING.03 S.06 EC 2-3	1143,6 ^o c	ING.04 S.05 EC 1-3	1227,2 ^o c
ING.05 S.04 DN 4-4	1265,3 ^o c	ING.06 S.03 DN 3-4	1266,4 ^o c
ING.07 S.02 DN 2-4	1249,8 ^o c	ING.08 S.01 DN 1-4	732,9 ^o c
ING.09 S.08 H.A.FFS2	42,6 ^o c	ING.10 S.13 H.A.FFS1	57,8 ^o c
ING.11 S.16 M.I.KILN	552,1 ^o c	ING.12 S.14 M.S.KILN	383,0 ^o c
ING.19 S.15 HDCC	402,4 ^o c	ING.20 S.17 HDCC	297,8 ^o c
ING.21 S.09 FGR PAB2	26,5 ^o c	ING.22 S.12 FGR PAB1	29,6 ^o c
ING.23 S.11 T.E.KILN	22,3 ^o c	ING.24 S.10 CHIMNEY	281,9 ^o c

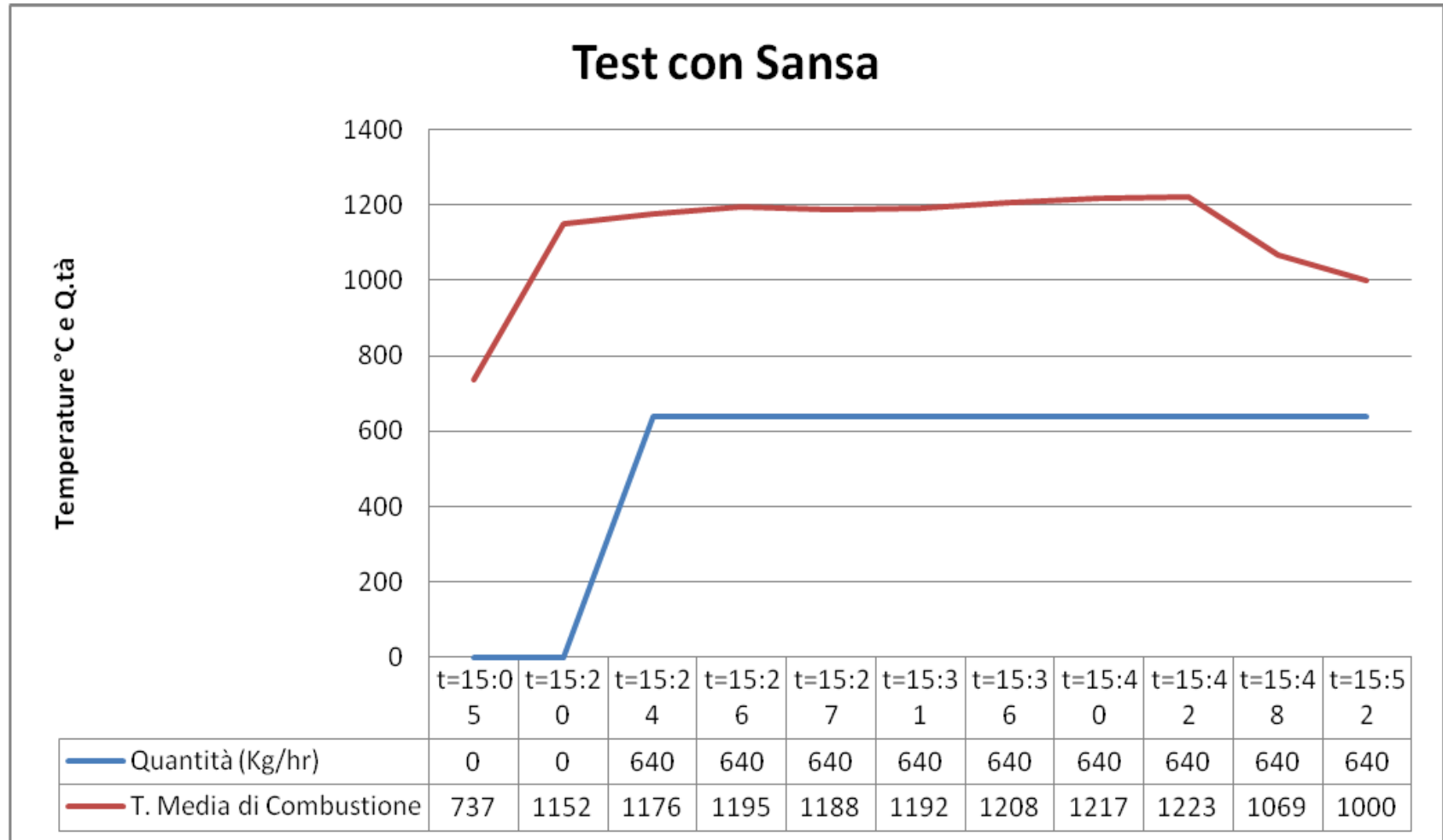
2

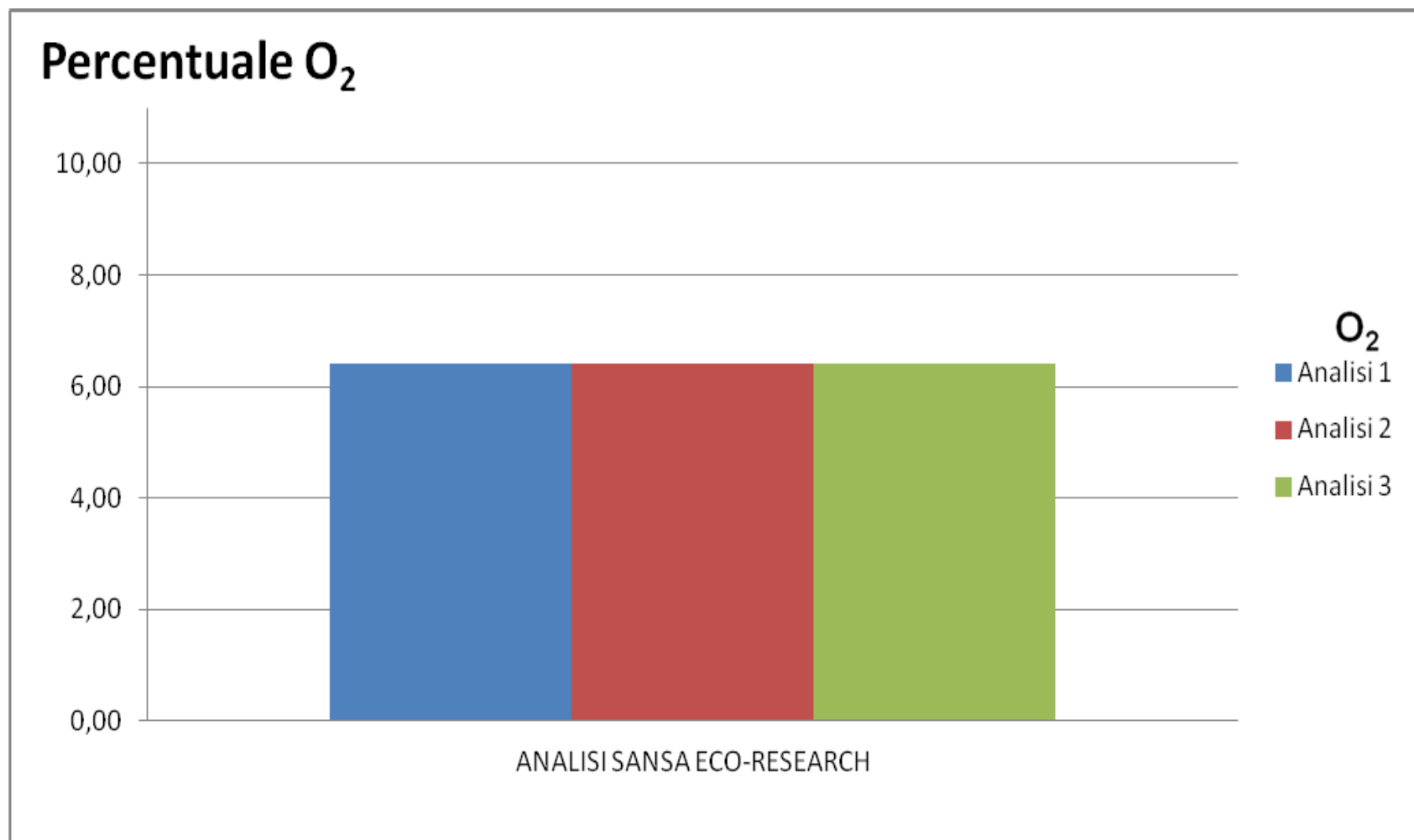
CURVE DELLE TEMPERATURE PER SINGOLA SONDA

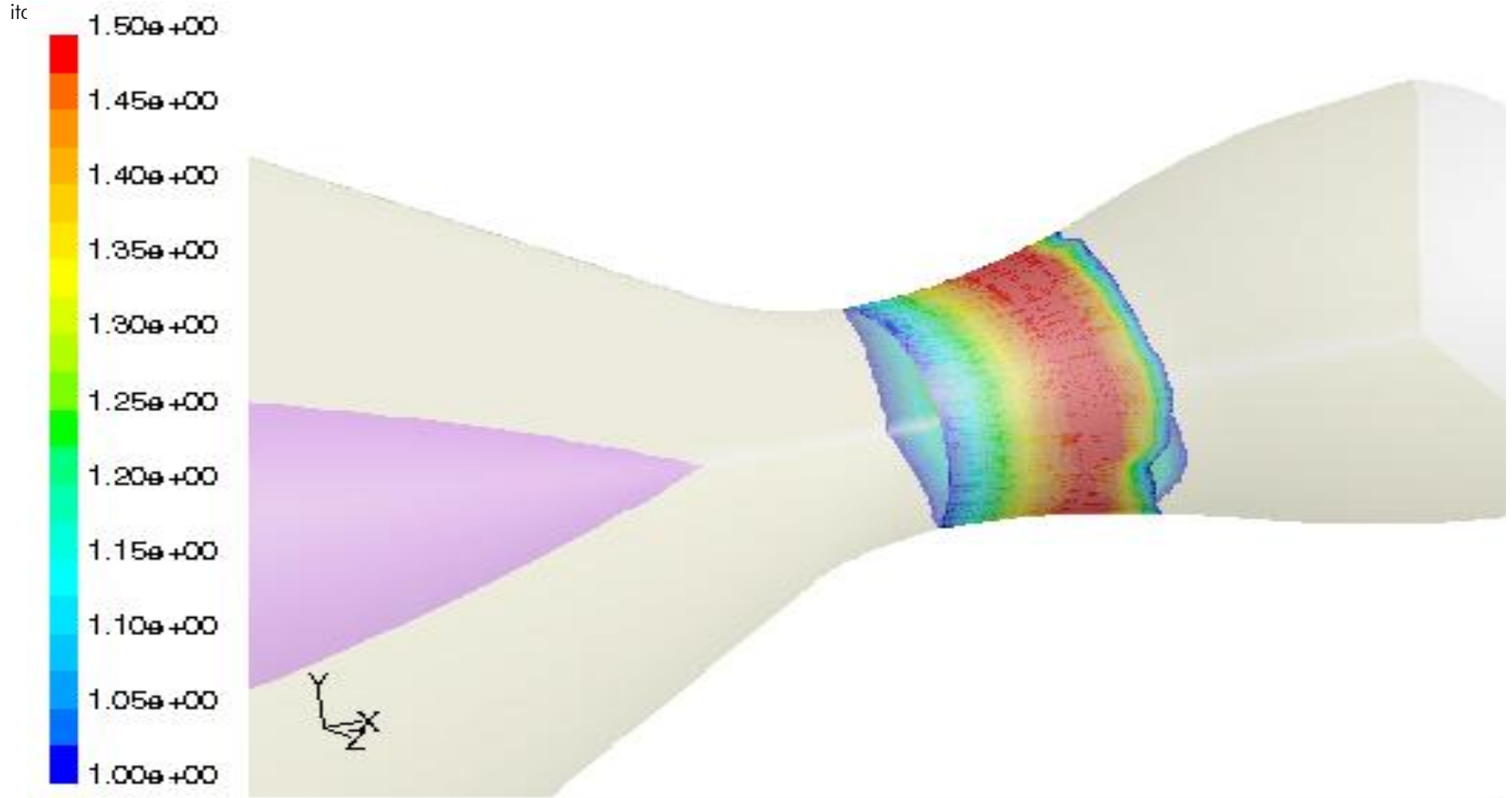


CURVA MEDIATA DELLE TEMPERATURE









Contours of Mach Number

Jan 21, 2000
FLUENT 5.3 (3d, segregated, spe5, ke)