

Saras SpA



Raffineria
Sede legale

I-09016 Sarroch (Cagliari)
S.S. Sulcitana n.195 - Km.19°
Telefono 070 90911
Fax 070 900209

Spett.le
Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare
Direzione Generale per la Salvaguardia Ambientale
Divisione VI
Rischio Industriale - Prevenzione e Controllo Integrati dell'Inquinamento
Via Cristoforo Colombo, 44 - 00147 Roma (RM)
c.a. dott. Giuseppe LO PRESTI

e p.c.

Spett.le
ISPRA
Servizio Interdipartimentale per l'Indirizzo
il Coordinamento e il Controllo delle Attività Ispettive
Via Vitaliano Brancati, 47 - 00144 Roma (RM)
c.a. ing. Alfredo PINI

000183

Spett.le
ARPAS
Direzione Tecnico-Scientifica
Via Palabanda, 9 - 09100 Cagliari (CA)
c.a. dott. Antonio Nicolò CORRAINE

Spett.le
ARPAS
Dipartimento di Cagliari
Viale Ciusa, 6 - 09100 Cagliari (CA)
c.a. dott. Massimo CAPPALÀ

Sarroch, 31 agosto 2009

Oggetto: Modifiche non sostanziali dell'Autorizzazione Integrata Ambientale

Riferimento: DSA-DEC-2009-000230 del 24.03.2009 - Autorizzazione Integrata Ambientale dell'impianto complesso "Raffineria e Impianto di Gassificazione a Ciclo Combinato (IGCC) della società Saras S.p.A sito in Sarroch (CA)

Con riferimento all'oggetto il sottoscritto Guido Grosso, gestore dell'impianto complesso "Raffineria e Impianto di Gassificazione a Ciclo Combinato (IGCC)" della società Saras S.p.A, trasmette in allegato:

1. Studio di fattibilità per la messa in esercizio di un misuratore in continuo della temperatura di combustione dei gas bruciati in torcia, come richiesto al punto 5 "emissioni convogliate in aria" pagina 33 del Parere Istruttorio, per il quale si allega

Direzione generale
Sede amministrativa
I-20122 Milano
Galleria de Cristoforis 8
Telefono 02 77371
Fax 02 76020640

Direzione relazioni pubbliche e
affari amministrativi
I-00187 Roma
Salita S. Nicola da Tolentino 1/b
Telefono 06 4203521
Fax 06 42035222

Cap. Soc. Euro 54.629.666,67 int. vers.
Reg. Imprese Cagliari, Cod. Fisc. e
P. Iva 00136440922

Saras SpA



fotocopia della ricevuta del versamento di 2.000 €, come indicato nell'allegato III del Decreto interministeriale del 24 aprile del 2008;

2. Studio di fattibilità e relazione tecnica sul sistema di recupero vapori da adottare presso il terminale marittimo, come richiesto al punto 5 "emissioni convogliate in aria" pagina 34 del Parere Istruttorio, per il quale si allega fotocopia della ricevuta del versamento di 2.000 €, come indicato nell'allegato III del Decreto interministeriale del 24 aprile del 2008.

Restando a disposizione per qualsivoglia chiarimento in merito, porgiamo

Cordiali saluti

SARAS SpA
Il Direttore di Raffineria
Ing. Guido Grosso



SARAS SpA

Allegato 1



SARAS SpA

Emissioni convogliate in aria

Torçe di stabilimento



SARAS SpA

PREMESSA

Il Parere Istruttorio allegato al decreto di Autorizzazione Integrata Ambientale (U. prot.DSA-DEC-2009-0000230 del 24/03/2009) prevede che il Gestore dell'impianto "Raffineria e Impianto di Gassificazione a Ciclo Combinato (IGCC)" della Società Saras SpA provveda a trasmettere all'Autorità Competente e all'Ente di controllo uno studio di fattibilità per la verifica della temperatura di combustione della fiamma in torcia, con misuratore in continuo.

Si riporta in allegato lo studio di fattibilità fondato sulla ricerca di metodiche e tecnologie disponibili sul mercato per la misura in continuo della temperatura di fiamma.

In particolare sulla base di uno studio delle tecnologie esistenti e delle informazioni raccolte dalle ditte produttrici sono state individuate e valutate le seguenti tecniche per la misura di temperatura di torcia in continuo in loco o da remoto:

- sistemi locali;
- sistemi pirometrici remoti;
- termocamere IR
- telecamera con sensore CCD operante nel campo del visibile.

In sintesi si deve rilevare che il mercato non offre ancora soluzioni completamente definite e sufficientemente testate per misure della fiamma di torcia.

Lo studio ha comunque permesso di valutare come più idonea per lo scopo, e da sviluppare con un opportuno studio applicativo sperimentale, le tecniche ottiche nel campo del visibile.

Una preliminare valutazione in fase di impostazione dello studio ha orientato la scelta delle tecniche sulla base delle seguenti considerazioni:

- non è possibile prevedere la misura con strumenti in situ a causa della impossibilità di effettuare interventi manutentivi e quindi è necessaria la scelta di una tecnica di misura da remoto;
- al fine di assicurare una migliore efficienza di combustione assicurata da una temperatura di fiamma superiore agli 800°C è preferibile adottare una tecnica di misura che consenta di ottenere una mappa termica dell'intera fiamma, piuttosto che una misura puntuale.

Una prima considerazione che emerge dallo studio è che non esiste allo stato attuale una tecnica di misura della temperatura della fiamma della torcia di una raffineria genericamente valida, sufficientemente stabile, affidabile e già applicata.

La ricerca delle tecniche di misura ha evidenziato limiti e caratteristiche delle diverse metodiche dalle quali si può partire per mettere a punto una soluzione tecnica idonea.

Dall'analisi delle tecniche di misura di temperatura si possono trarre le seguenti considerazioni.

Pirometri

I pirometri sono in grado di fornire soltanto misure di tipo puntuale il che esclude a priori la possibilità di ottenere una mappa termica sincrona (cioè con la temperatura di tutti i punti acquisita nello stesso istante). Tale limitazione è superabile solo ripetendo la misura col pirometro nei vari punti d'interesse in istanti successivi, ma questo a fronte di un tempo di misura maggiore o, in caso di fenomeno non stazionario, alla totale impossibilità di portare a termine la mappatura termica del corpo in esame. Tale tecnica è pertanto non idonea alla mappatura in continuo della fiamma.

Termocamera IR

La termocamera IR permette l'ottenimento di una mappa termica ed è comunque una buona tecnica per la misura di campi termici in quanto dispone di un campo di misura molto ampio (da temperature inferiori a 0 °C fino a temperature superiori a 1500 °C), offre un'ottima risoluzione termica (dal grado °C fino a 0.1 °C con opportune tecniche di taratura in alcune applicazioni particolari) e una dinamica elevata potendo garantire una frequenza di acquisizione di qualche decina di immagini termiche al secondo, se basata su sensori microbolometrici e di parecchie centinaia se basata su sensori fotonici.



SARAS SpA

La termocamera presenta diverse limitazioni e difficoltà di utilizzo dello strumento nel senso che un operatore inesperto può facilmente arrivare a misurare mappe termiche che differiscono anche notevolmente dalle reali temperature degli oggetti.

Inoltre la termocamera ha il problema di una risoluzione spaziale modesta e da una accuratezza che può raggiungere facilmente valori molto importanti.

In merito all'accuratezza il discorso deve essere sviluppato con un maggiore dettaglio in quanto si devono segnalare due aspetti complementari.

Il primo è che, normalmente, l'accuratezza dello strumento è dell'ordine di qualche grado Celsius, ma che questo valore può sicuramente essere ridotto con una opportuna calibrazione dello strumento; il secondo, molto più importante nelle applicazioni della misura della temperatura della torcia, nasce dal fatto che la termocamera misura l'energia ricevuta e, solo dopo opportune conversioni, pesantemente dipendenti da alcuni parametri tipici del corpo e dell'ambiente (e per di più fortemente variabili), perviene alla misura dell'energia emessa dal corpo e quindi alla sua temperatura.

Quanto detto deve mettere in guardia dal fatto che un uso scorretto della termocamera, intendendo con questo un'errata stima dei parametri ambientali (come, ma non solo, l'emissività della superficie dell'oggetto di cui si vuole misurare la temperatura), può portare ad errori nella stima della temperatura anche di diversi ordini di grandezza superiore rispetto ai valori di accuratezza massimi sopra citati.

Telecamera con sensore CCD operante nel campo del visibile

La telecamera con sensore CCD permette la determinazione da remoto di temperature nel campo del visibile ($> 750^{\circ}\text{C}$) con una risoluzione in temperatura dell'ordine del grado $^{\circ}\text{C}$.

Tale tecnologia permetterebbe di superare le limitazioni delle misure di temperatura da remoto delle termocamere.

Anche in questo caso va effettuata una taratura dello strumento, ma non è legata alle caratteristiche sito specifiche (ad esempio atmosfera interposta tra fiamma e termocamera nel caso di questa tecnologia) ma solo dagli spettri di emissione di due componenti principali del gas di torcia.

Ad oggi non esistono comunque applicazioni di tale tecnica su sistemi di torcia di raffineria ma ci sembra, per quanto precedentemente detto, che sia sicuramente la più promettente.

Pertanto anche per tale tecnica si dovrà realizzare uno studio per l'applicazione specifica.

PROPOSTA DI LAVORO

Sulla base delle considerazioni finali sulle diverse tecnologie la Saras SpA ha deciso di avviare, con il Dipartimento di Fisica dell'Università di Cagliari, uno studio di fattibilità per l'applicazione della Telecamera con sensore CCD operante nel campo del visibile nella determinazione della temperatura di Torcia della Raffineria.

Lo studio di fattibilità sarà realizzato entro il 31/12/2009.

Successivamente si realizzerà il prototipo e sarà installato in campo entro 31/12/2010.



SARTEC
SARAS RICERCHE E TECNOLOGIE

**STUDIO DI FATTIBILITÀ PER LA MISURA IN CONTINUO
DELLA TEMPERATURA DI COMBUSTIONE DELLE TORCE
DELLO STABILIMENTO SARAS DI SARROCH (CA)**



INDICE

PREMESSA	3
1 DATI SUL SISTEMA DI TORCE DELLA RAFFINERIA SARAS	4
2 CONSIDERAZIONI GENERALI.....	7
3 SISTEMI PIROMETRICI REMOTI.....	8
3.1 SISTEMI MIKRON	8
3.2 SISTEMI WILLIAMSON	8
4 TERMOCAMERE IR.....	12
4.1 PROPOSTA FLIR.....	18
4.2 PROPOSTA INPROTEC	19
5 TELECAMERA CON SENSORE CCD OPERANTE NEL CAMPO DEL VISIBILE.....	21
6 CONCLUSIONI	ERRORE. IL SEGNA LIBRO NON È DEFINITO.
7 PROPOSTA DI LAVORO.....	28



PREMESSA

L'Autorizzazione Integrata Ambientale del complesso "Saras - Raffineria + IGCC" in Sarroch (CA) comprende la prescrizione del mantenimento della temperatura minima di combustione al di sopra di 800 °C per i due sistemi di torcia dello stabilimento. In particolare la prescrizione prevede la realizzazione di uno studio di fattibilità in merito alla individuazione di una tecnica idonea per il monitoraggio in continuo della temperatura di fiamma.

Il presente documento raccoglie i risultati della studio di fattibilità fondato sulla ricerca di metodiche e tecnologie disponibili sul mercato per la misura in continuo della temperatura di fiamma.

In particolare sulla base di uno studio delle tecnologie esistenti e delle informazioni raccolte dalle ditte produttrici sono state individuate e valutate le seguenti tecniche per la misura di temperatura di torcia in continuo in loco o da remoto:

- sistemi locali;
- sistemi pirometrici remoti;
- termocamere IR
- telecamera con sensore CCD operante nel campo del visibile.

In sintesi si deve rilevare che il mercato non offre ancora soluzioni completamente definite e sufficientemente testate per misure della fiamma di torcia.

Lo studio ha comunque permesso di valutare come più idonea per lo scopo, e da sviluppare con un opportuno studio applicativo sperimentale, le tecniche ottiche nel campo del visibile.

1 DATI SUL SISTEMA DI TORCE DELLA RAFFINERIA SARAS

Le torce installate presso lo Stabilimento Saras di Sarroch sono due e si elevano sul livello del mare di circa 150 m.

La zona attorno alle torri che sostengono le torce è classificata C1Z2.

Il sito di installazione delle torce ha le seguenti coordinate:

- latitudine 39°05'04"
- longitudine 9°01'12";

Il vento che insiste nel sito ove sono installate le torce ha due direzioni prevalenti: Nord-Ovest e Sud-Est

La fiamma ha un'altezza variabile che può raggiungere anche 10 metri..

La forma e le dimensioni in situazioni critiche non sono disponibili.

Il costruttore della torcia è GBA Construction and Engineering.

Il diametro della FLARE TIP è pari a 54".

Il numero di piloti sulla torcia è pari a 2 (uno per la torcia acida).

Il gas bruciato è costituito principalmente da idrocarburi e da syngas.

I composti gassosi ipotizzati in fase di progetto della torcia sono riassunti nella scheda seguente.

Process Data

Please supply the following data for each installation point.

Gas composition, including nitrogen content, as % by volume (attach list if possible): 20 ÷ 25
and 200000

Typical % of the following attenuating gases: 0.5% mol CO₂ 30% mol H₂

Typical % of corrosive gases: Wet H₂S 1.1% mol Chlorides tr Other NH₃ tr

Volumetric flow rate: Units Nmc/h Minimum 200^(*) Maximum _____ Nominal _____

Mass flow rate: Units kg/h Minimum 230 Maximum 864.000 Nominal 800.000 (Design)

Bidirectional flow: No Yes

Density or mol wt: Units MW Minimum 18 Maximum 48 Nominal 53 "

Pressure: Units Barg Minimum 0.0e Maximum 0.41 Nominal 3.5 "

Temperature: Units °C Minimum 10 Maximum 200 Nominal 350 "

Annual duration at maximum temperature (in min) _____

La composizione media degli idrocarburi bruciati in torcia è stata definita sulla base della letteratura.

Le torri che supportano le torce sono posizionate sul fronte mare della raffineria.

Nella figura seguente sono mostrate le posizioni delle due torce.



2 CONSIDERAZIONI GENERALI

La prima e fondamentale questione da affrontare nello studio di metodiche di misura adeguate è la definizione del risultato atteso.

La fiamma di una torcia di raffineria non presenta temperature uniformi, bensì una distribuzione variabile sia all'interno, sia all'esterno del mantello.

La scelta del tipo di informazione di interesse, per esempio la distribuzione delle temperature piuttosto che la temperatura massima, indirizza la scelta delle metodiche di misura.

In particolare va evidenziato che lo studio è stato sviluppato partendo da questi presupposti fondamentali:

- l'utilizzo di sistemi di misura in remoto piuttosto che locali (termocoppie) a causa della impossibilità di installazione di questi ultimi per l'impossibilità di poter effettuare interventi manutentivi (manutenibilità), in caso di guasto o malfunzionamento;
- la ricerca di soluzioni adeguate alla misura della temperatura come distribuzione sull'intera fiamma, piuttosto che la determinazione di una rilevazione puntuale, in quanto si otterrebbe una informazione più completa sulla possibilità di ottenere una buona combustione degli idrocarburi alimentati in torcia.

3 SISTEMI PIROMETRICI REMOTI

I sistemi pirometrici possono essere impiegati in applicazioni di misura remota. Sono state approfondite le questioni relative all'applicabilità di questi sistemi al caso specifico della misura della temperatura della torcia con due produttori.

3.1 SISTEMI MIKRON

La società Mikron fornisce, in Europa attraverso IMPAC, pirometri per la misura della temperatura. E' stato valutato, con il distributore europeo, il sistema E2T nella versione FM ed altri sistemi.

Considerando le distanze in gioco in questa applicazione IMPAC sostiene la non fattibilità della misura con i sistemi da loro proposti.

Secondo quanto discusso le dimensioni della fiamma, a distanze superiori a 100 m, sono troppo piccole e, a causa della presenza dell'attenuazione dell'atmosfera, i sistemi IMPAC non permettono di rilevare in maniera accurata la misura della temperatura della fiamma, ma solamente un valore indicativo.

3.2 SISTEMI WILLIAMSON

La società Williamson produce e commercializza sistemi per il Rilevamento della Temperatura con Sensori IR.

Sebbene i sistemi utilizzino tecniche di misura simili a quelli di Mikron, la società Williamson si propone, con i suoi pirometri, anche per la misura della temperatura della fiamma della torcia.

L'esperienza Williamson si concentra in applicazioni di monitoraggio della presenza fiamma della torcia e del pilota.

L'approfondimento svolto con Williamson parte dalla constatazione che la fiamma è un oggetto semi-trasparente e, quindi, difficile da misurare.

Il modello PRO 45 (monocolore) permette la misura di emissioni nelle quali sono concentrate molecole di CO e CO₂ ed è utilizzato per misure di fiamma da metano ed altri gas che producono una fiamma relativamente chiara e pulita. In questi casi è però richiesta una profondità di fiamma di almeno 2-3 metri.

Nel caso di combustione di oli pesanti, carbone, prodotti di raffinazione ed, in generale, ove la fiamma produce radiazioni tendenti al bianco-giallo (nel visibile) l'utilizzo di pirometri bicolore PRO81 o PRO91 potrebbe consentire la misura della temperatura.

In questo caso, nella fiamma sono presenti, solitamente, anche particelle sospese carboniose ad alta temperatura.

Se la fiamma dovesse, viceversa, risultare troppo "pulita" il sensore bicolore non riuscirebbe a misurare la temperatura.

Williamson propone, per una misura da remoto, il modello PRO 81 che rileva la temperatura delle particelle calde sospese nelle emissioni, assumendo che la temperatura di queste ultime sia molto vicina a quella delle emissioni.

In questo caso occorre verificare la trasparenza della fiamma: quanto più è luminosa tanto più è possibile misurare la temperatura.

Inoltre per risolvere il problema della ridotta dimensione e della variabilità di forma della fiamma Williamson ha proposto una soluzione con due pirometri, che misurano da angolazioni diverse. Sull'accuratezza della misura non fornisce però indicazioni precise. Il fornitore non ha comunque referenze per applicazioni simili.

3.2.1 Approfondimento sistema Williamson PRO 81

Analisi fattibilità

Nel caso della strumentazione Williamson, grazie anche alla disponibilità del distributore italiano, è stato possibile approfondire l'analisi di prefattibilità dell'installazione.

Per questa analisi sono state considerate le seguenti coordinate: latitudine 39°05'04"; longitudine 9°01'12" e le condizioni di vento prevalente (NO e SE).

Williamson, sulla base di queste informazioni, suggerisce l'installazione di n. 2 sensori per misurare la temperatura della fiamma di una torcia, con un sensore in direzione NE che punti la fiamma da sinistra ed il secondo che punti la fiamma da destra.

Per il costruttore due sensori sono necessari e sufficienti per questo tipo di applicazione, mentre il montaggio di tre sensori, sempre secondo Williamson, non porterebbe, viceversa, un vantaggio in termini di accuratezza ed affidabilità.

Entrambi i sensori produrranno lo stesso dato di misura quando il vento non sarà presente e la fiamma è stabile.

L'uno o l'altro sensore dovrebbero garantire una misura quando ci sarà un forte vento da NO o da SE, che muove la fiamma al di fuori delle zone di analisi di uno dei due pirometri.

Come già espresso, le considerazioni sulla velocità e direzione del vento che potrebbe "spostare" la fiamma della torcia, devono essere tenute necessariamente in conto per il posizionamento di qualsiasi dispositivo di misura.

I due sensori dovranno essere separati da un angolo di ampiezza da verificare in sito ed a una distanza approssimativa di circa 225 metri.

Effettuando una indagine preliminare con i comuni mezzi disponibili (es. Google maps), i dispositivi potrebbero essere installati sui tetti degli edifici (al di fuori della zona pericolosa).

Se fosse effettivamente possibile l'installazione sopra un edificio il costruttore consiglia di impiegare la protezione (come illustrato in figura 1 e 2) e suggerisce di innalzare il sistema di un paio di metri per evitare un "overheating" del sensore (i tetti rilasciano molto calore).

Nel caso in cui il sensore venga installato all'interno di un edificio occorre, invece, conoscere il tipo di vetro montato sulle finestre, per verificare se la misura può essere influenzata dal tipo di vetro.

In dipendenza dell'area di installazione sarà definita la custodia del sensore: ATEX oppure, se l'area di installazione potrà ritenersi sicura, una normale custodia IP65.

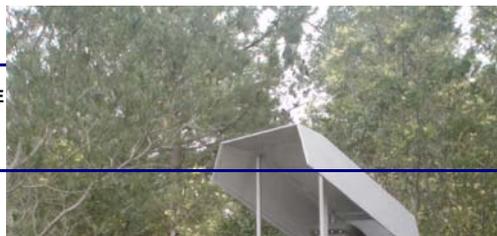


FIGURA 1

FIGURA 2

Modello PRO 81

Il modello proposto da Williamson è PRO 81-65C-FOVD/100-D-IM-SB-CM009, un pirometro bicolore che include un display integrato.

I sensori IR utilizzano un sistema ottico per rilevare l'energia emessa da un oggetto nella banda dell'infrarosso. Questa energia viene utilizzata per calcolare la temperatura di superficie di un oggetto obiettivo.

Nei casi reali sono molti i fattori che possono interferire sulla misura di energia rilevata.

I sensori della serie Williamson PRO con pirometro bicolore includono il sistema ESP che migliora e semplifica la gestione di queste problematiche.

Il campo di temperatura varia da 875 a 1750 °C

L'ottica montata consente di definire un target di 2 metri ad una distanza di 200 metri.

Nella proposta è incluso il software ProView per la configurazione e l'archiviazione dati per l'analisi successiva. Il sistema operativo è Windows XP.

L'uscita del sensore, per il funzionamento stand alone, è configurata come RS485.

L'alimentazione in ingresso al sensore è 24Vdc (300mA)

I modelli della serie PRO80 possono essere configurati per registrare il valore più alto in un intervallo di 6 minuti.

Questa funzione è definita Peak Hold con Time Delay.

La configurazione del dispositivo si esegue sul retro dello strumento o, in via opzionale, con il modulo interfaccia.

Tenendo conto del sito di installazione il sistema proposto è dotato di un sistema di purga (l'aria pulita deve essere fornita dall'utente finale) che consente di mantenere lontano dalla lente la sporcizia ed evita la formazione di condensa sulla lente.

L'elettronica di controllo è stata tropicalizzata per impedire che la salsedine, nel corso degli anni, possa intaccare i circuiti elettronici.

Modalità funzionamento con due sensori

Nel caso in cui due sensori misurano la stessa area, quando la fiamma abbandona il FOV (Field of View) di uno dei due sistemi, ad esempio per il forte vento, si attiva la sequenza di seguito descritta.

- 1) Un output, che individuiamo come Signal Dilution, inizierà a decadere prima che il segnale in uscita della temperatura scenda a valori minimi; un limite inferiore sarà configurato per il Signal Dilution e comanderà la transizione dal modulo di interfaccia di uno dei due strumenti all'altro.
- 2) Il PLC installato a valle sarà programmato per misurare la temperatura in uscita dei PR80 ed anche il relativo "Signal Dilution"; il PLC preleverà il valore più alto di "Signal Dilution".

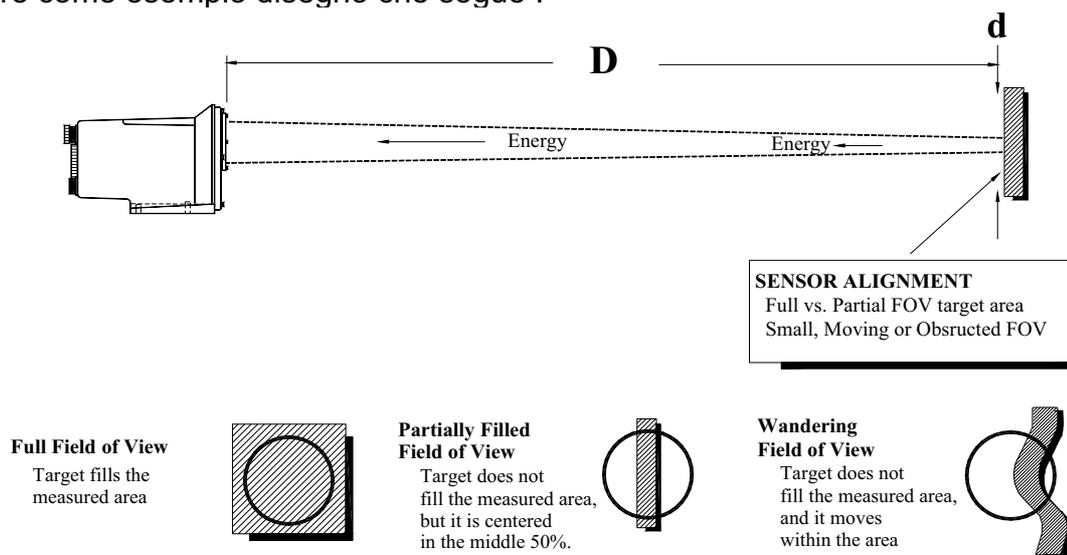
Diagnostica

I sensori PR80 integrano degli Alarm Test che possono essere attivati da remoto. Per comprendere se l'elettronica funziona si può attivare l'Alarm Test il quale darà un segnale di allarme al sistema centralizzato.

Modalità di centratura dell'obiettivo

Sul retro del sensore PR80 è presente una lente che permette di verificare la zona di puntamento. Nel mirino è presente un reticolo che mostra lo spot misurato. Nel caso della misura della temperatura di una fiamma è consigliato puntare il sensore a metà del suo bersaglio.

Vedere come esempio disegno che segue :



4 TERMOCAMERE IR

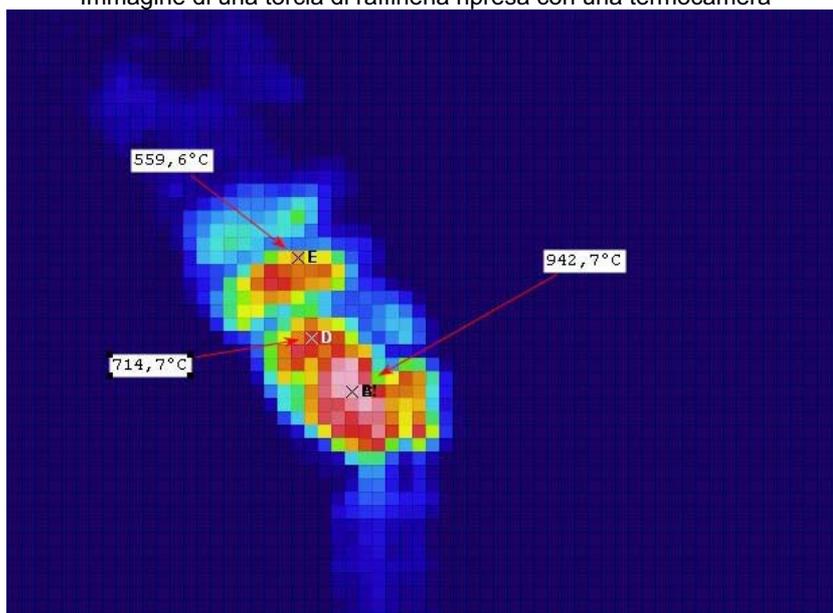
Un'immagine termografica, ripresa con telecamere sensibili all'infrarosso, consente di visualizzare e/o informare sull'energia termica emessa da un oggetto.

Ogni oggetto con temperatura maggiore dello zero assoluto, emette calore: più è alta la temperatura dell'oggetto, maggiore è la radiazione IR emessa.

La ricerca di tecnologie adatte alla misura della temperatura della torcia ha considerato anche le termocamere IR.



Immagine di una torcia di raffineria ripresa con una termocamera



Dettaglio immagine di una torcia di raffineria ripresa con una termocamera

In una termocamera il segnale elettrico generato, proporzionale all'energia infrarossa rilevata, viene processato e produce un'immagine su un monitor che consente di misurare la temperatura.

I sensori utilizzati sono di due tipi: microbolometrico e quantico.

Il secondo necessita di un sistema di raffreddamento complesso ed è poco utilizzato. Il sensore microbolometrico, che non necessita di raffreddamento, ha la funzione di trasformare l'energia infrarossa che colpisce ogni singolo elemento del sensore in una grandezza fisica misurabile.

Gli elementi che caratterizzano una termocamera, con sensore microbolometrico, sono i seguenti.

- Tipo di sensore (in materiale e processo di produzione)
- Numero pixel del sensore (640x480, 320x 240, etc.)
- Risoluzione termica (che individua il minimo ΔT misurabile dalla termocamera)
- Risoluzione spaziale o geometrica (che identifica le dimensioni dell'oggetto più piccolo di cui si può misurare la temperatura)
- Frequenza immagine (in Hertz, più è elevata e maggiore è la capacità della termocamera di riprendere oggetti in movimento)
- Immagine visibile (che può essere assente o presente, nel qual caso consente un'interpretazione più facile del rapporto di ispezione termografica)
- Elementi ausiliari inclusi (illuminatori, laser, registrazione commenti vocali ecc.)

In generale una camera IR è costituita da un sistema di focalizzazione dell'immagine su un rivelatore IR corredato dall'hardware elettronico e dal software necessari per elaborare e visualizzare l'immagine.

Il rivelatore di una camera IR è costituito da un insieme di pixels, di dimensioni di micrometri, che costituiscono un piano focale (Focal Plane Array , FPA). I materiali con i quali sono realizzati i pixels sono sensibili alle forme d'onda nel campo dell'infrarosso.

Grazie all'utilizzo di specifici software installati nella telecamera o collegando la stessa ad un Personal Computer è possibile calcolare la temperatura di porzioni di immagine ripresa.

Le camere IR sono realizzate e calibrate per uno specifico range dello spettro IR.

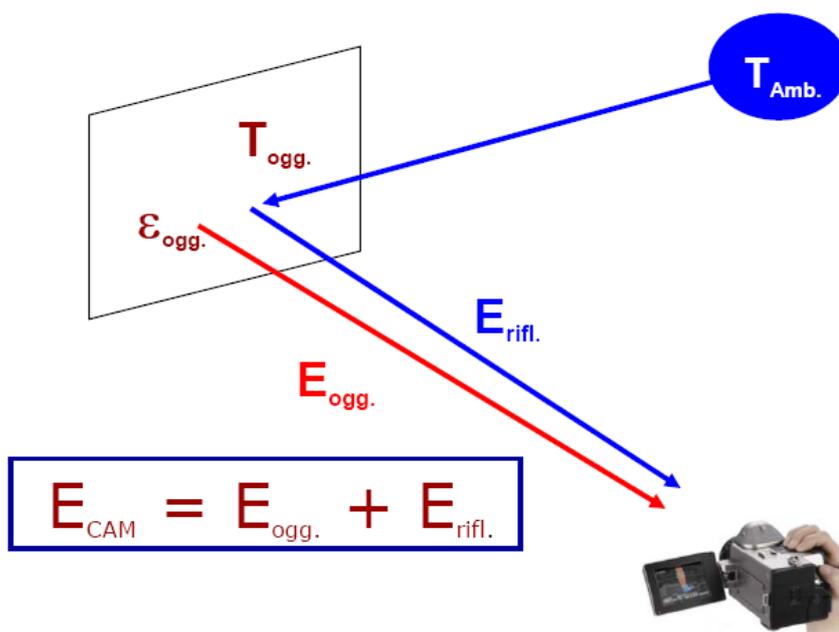
L'analisi che segue parte da considerazioni sulla termografia IR e, proprio per il carattere generale, può essere considerata valida per tutte le termocamere.

Principi di radiazione termica

Per misurare effettivamente la temperatura di un oggetto la termocamera deve essere opportunamente calibrata in modo da interpretare correttamente il segnale elettrico trasdotto dal sensore.

La determinazione dei parametri di configurazione costituisce, quindi, il primo problema da risolvere nell'utilizzo delle termocamere.

In generale, per corpi non trasparenti, una termocamera riceve, dal corpo ripreso, un'energia proporzionale a quella emessa dall'oggetto a cui si aggiunge quella riflessa.



L'intensità dell'energia emessa da un oggetto varia con la temperatura e la lunghezza d'onda della radiazione.

Per corpi non completamente trasparenti, quale è la fiamma, si deve poi considerare che oltre all'energia emessa, un corpo reagisce alle radiazioni incidenti assorbendone e riflettendone una parte o permettendo ad una parte della radiazione di attraversarlo.

La legge della radiazione totale è sintetizzata nella seguente formula:

$$W = \alpha W + \rho W + \tau W$$

riscrivibile nel seguente modo

$$1 = \alpha + \rho + \tau$$

Ove i coefficienti assumono il seguente significato.

α = coefficiente energia incidente assorbita

ρ = coefficiente energia incidente riflessa
 τ = coefficiente energia incidente trasmessa.

I valori dei tre coefficiente variano da 0 a 1.

Per definizione in un corpo nero tutta l'energia incidente viene assorbita ($\alpha = 1, \rho = 0, \tau = 0$).

L'emissività di un materiale (denominata ε) è il rapporto tra l'energia radiante dal materiale e l'energia radiante da un corpo nero, alla stessa temperatura; essa esprime la sua capacità di irradiare l'energia assorbita. Per un corpo nero $\varepsilon = 1$ mentre per i corpi reali è < 1

L'emissività dipende da fattori quali la temperatura, l'angolo di emissione, e lunghezza d'onda.

Quando si tratta di superfici non nere, le deviazioni dal comportamento ideale del corpo nero sono determinate sia dalla struttura geometrica sia dalla composizione chimica e seguono la legge di Kirchhoff sulla radiazione termica: in un oggetto in equilibrio termico l'emissività è uguale all'assorbività ($\varepsilon = \alpha$), cioè alla capacità di assorbire l'energia radiante.

La legge sulla radiazione totale può essere riscritta nel seguente modo:

$$1 = \varepsilon + \rho + \tau$$

Per un corpo opaco ($\tau = 0$) diventa $\rho = 1 - \varepsilon$, cioè la riflessione è uguale a 1- l'emissività

Per un corpo nero ($\rho = 0$) $\varepsilon = 1$.

La legge di Plank mostra che, per un corpo nero, al crescere della temperatura aumenta la radiazione emessa e la rappresentazione su un grafico *emissività vs. lunghezza d'onda* mostra un massimo di ogni curva che dipende dalla temperatura in gradi Kelvin.

$$\lambda_{MAX} = 2898/T$$

dove λ_{MAX} è la lunghezza d'onda nel punto di massimo della curva.

La legge sino ad ora considerata è riferita ad un perfetto corpo nero (ove $\varepsilon = 1$); nella realtà i corpi non sono dei perfetti corpi neri e per questo occorre conoscere il valore effettivo dell'emissività per misurarne la temperatura senza contatto, utilizzando sensori infrarosso.

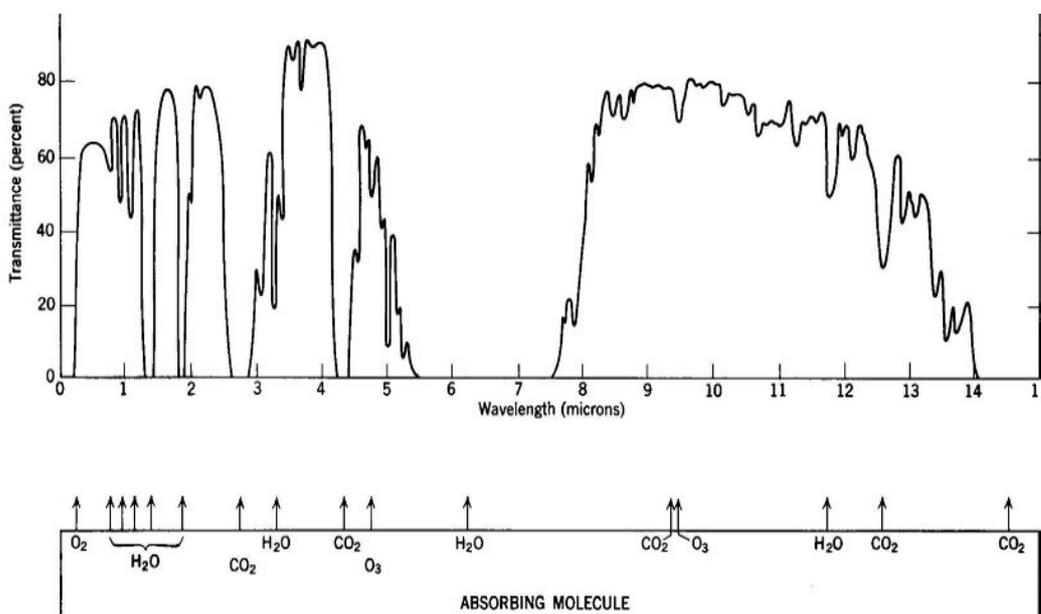
L'energia irradiata dall'oggetto transita verso la termocamera passando nell'atmosfera che non è uniformemente trasparente all'infrarosso, variando notevolmente in funzione della lunghezza d'onda. Le temperature misurate a

distanza (oltre 30~ 50 metri), possono risultare inferiori alla realtà per l'attenuazione atmosferica.

Nel grafico che segue, ove in ascissa sono riportati i diversi valori di lunghezza d'onda ed in ordinata quelli relativi alla trasmissione atmosferica, si evidenzia che vi sono due finestre di trasmissione atmosferica: tra 0 e 5 μm e tra 8 e 14 μm . In particolare, in

Nella banda tra 5 μm e 7,5 μm l'atmosfera non permette la trasmissione delle radiazioni IR.

Trasmissione Atmosferica



In particolare, la seconda finestra atmosferica (8 ÷ 14 μm), presenta un'ottima trasparenza senza assorbimento da parte del vapore acqueo, CO₂ ecc.

Occorre quindi verificare che le radiazioni provenienti dalla fiamma si collochino nelle due finestre di trasmissione atmosferica (tra 0 e 5 μm e tra 8 e 14 μm).

Il coefficiente di trasmissione dell'atmosfera è variabile tra 1 (nessuna attenuazione atmosferica) e zero (impossibile misurare la temperatura di oggetti posti a distanza).

Per determinare la temperatura dell'oggetto ripreso dalla camera IR il software ivi installato necessita, in ingresso, dei valori di emissività dell'oggetto, attenuazione dell'atmosfera, temperatura dell'ambiente circostante. Questi fattori possono essere misurati, assunti o acquisiti da database relativi ai materiali.

In via teorica, in aggiunta a queste problematiche, normalmente risolte, per la misura della fiamma occorre considerare i contributi di assorbimento e trasmittanza della fiamma stessa, non facilmente determinabili.

Affinché una telecamera, od anche un pirometro, possa effettivamente elaborare la temperatura dell'oggetto inquadrato è necessario inserire, manualmente mediante un menù od un appropriato comando, il valore di emissività nel rispettivo sistema di elaborazione.

Nel caso più usuale di un corpo grigio, al sensore infrarosso arriva la somma di due energie: quella della superficie di cui si vuole misurare la temperatura e quella riflessa (valore medio di tutte le energie che si riflettono sulla superficie inquadrata, corrispondente in genere alla temperatura ambiente). Alcuni strumenti sono dotati di un sensore interno per la misura della temperatura ambiente del cui valore tengono automaticamente conto nel calcolo della corretta temperatura in funzione del coefficiente di emissività impostato. Maggiore è il coefficiente di emissività più facile diviene misurare la temperatura senza contatto poiché l'influenza dell'energia riflessa è minima, mentre man mano che esso diminuisce, l'energia riflessa diventa proporzionalmente sempre più importante, rendendo più difficile misurare con precisione la temperatura di una superficie. Per esempio, l'essere in presenza di una superficie con $\varepsilon = 0,15$ vuol significare che l'energia che perviene al sensore infrarosso è all'85% quella riflessa e solo il 15% quella emessa dal corpo; di conseguenza è sufficiente un piccolo errore nella valutazione della temperatura riflessa per ottenere un errore nella misura della temperatura della superficie.

In presenza di superfici con emissività inferiore a $0,3 \div 0,1$ è impossibile misurare la temperatura senza contatto a meno che dette misurazioni siano effettuate in laboratorio, cioè in ambienti con temperatura riflessa costante e nota.

Empiricamente si può valutare che il contributo dell'energia riflessa dalla fiamma sia minoritario.

Per poter configurare correttamente i valori rilevati dalla termo camera i produttori suggeriscono l'utilizzo di sistemi che permettano di rilevare direttamente la misura di fiamma e che servano da riferimento.

Se fosse possibile prevedere misure in sito per alcuni stati di funzionamento allora la temocamera potrebbe essere calibrata.

Sono state esaminate le camere prodotte da **Flir**, un produttore che ha già fornito delle telecamere per lo studio per le emissioni fuggitive di VOC e da **Inprotec/Nec**, già fornitore di Saras.

Congiuntamente ai produttori sono stati analizzati i prodotti che possono essere utilizzati in applicazioni di misura della temperatura di fiamma in aria libera.

4.1 PROPOSTA FLIR

Nel corso di un incontro di approfondimento Flir ha evidenziato le criticità della misura specifica della fiamma della torcia principalmente per la determinazione dei contributi di assorbimento e trasmittanza della fiamma stessa.

Flir propone un sistema di imaging multispettro MW e LWIR normalmente utilizzato per la ricerca e Sviluppo e l'analisi delle firme spettrali. Il modello in questione è Orion SC 7000.



Il sistema FLIR Serie Orion SC7000 è uno strumento multispettro a infrarossi in grado di produrre immagini nelle sottobande dell'infrarosso a frequenza video nelle regioni SW-MWIR o LWIR.

La radiazione infrarossa emanata dalla scena oggetto di indagine viene raccolta tramite un obiettivo frontale, progettato per offrire la minima aberrazione sull'intero intervallo della lunghezza d'onde IR.

La ghiera per la rotazione del filtro, posta tra l'obiettivo e il piano focale, consente l'imaging immediato di bande sub-spettrali.

Il rilevatore FPA è in grado di acquisire fino a 400 fotogrammi al secondo, ognuno di alta qualità, dovuta all'acquisizione a scatto singolo.

La Serie Orion di FLIR può essere impiegata anche come normale termocamera IR a piena velocità, rimuovendo o bloccando la ghiera del filtro.

Le caratteristiche principali del sistema FLIR Orion SC7000 sono le seguenti:

Materiale del sensore: InSb (MWIR) o MCT (LWIR)

Risoluzione pixel/pitch: 320x240 o 640x512 pixel a 30 o 15 μm

Risposta spettrale: 1,5 - 5 μm o 7,7 - 11 μm

Full frame rate: fino a 380 Hz

Tempo di integrazione: da 3 μ m a 20 ms

NETD: <20mK

Ghiera del filtro: 4 slot per filtro da 1" di 2,5 mm di spessore

Uscita digitale: GigE / CAMLINK 14 bit

4.2 PROPOSTA INPROTEC

Inprotec propone due modelli fissi di camera ed, in alternativa, un modello portatile. I modelli da postazione fissa sono le camera Thermo Tracer TS 9230 e TS 9260 che si differenziano per il tipo di rivelatore (320x 240 vs. 640x480), per il numero di frames (60 frames/sec vs. 30 frames/sec) e l'angolo di ripresa (1,2 mrad vs. 0,6 mrad)
Il modello portatile è NEC TVS 500 EXS.

Tipo	TS9260	TS9230
Campo di temperatura	-40 °C a 500 °C (1 Range: da -40 a 120 °C, 2 Range: da 0 a 500 °C) Opzionale: da 200 a 2000 °C	
NETD	0,08 °C (@ 30 °C, 30Hz)	0,08 °C (@ 30 °C, 60Hz)
Precisione	± 2% (lettura) o di ± 2 °C	
Campo spettrale	8 a 13 μ m	
	NEC 640 × 480 UFPA	NEC 320 × 240 UFPA
Campo visuale (lente standard)	21,7 ° (H) x 16,4 ° (V)	
IFOV (lente standard)	0.6mrad	1.2mrad
Risoluzione focale (lente standard)	30 centimetri a infinito	
Frame rate	30 frames / sec	60 frames / sec
Correzione	Emissività / Temperatura Ambiente / Sfondo	
Immagine in uscita	Video composito (NTSC / PAL)	

Tipo	TS9260	TS9230
Interfacce	RS232C IEEE1394a (6pin)	
Operating temp / umidità	-15 °C a 50 °C / 90% RH o meno (non condensata)	
Alimentazione	da 11 a 13V DC	
Consumo energetico	10W	8W
Dimensioni	80 × 87 × 211 millimetri	65 × 65 × 208 millimetri
Peso	1,2 kg	1,0 kg

5 TELECAMERA CON SENSORE CCD OPERANTE NEL CAMPO DEL VISIBILE

Un sistema innovativo ed economico per la misura senza contatto di campi termici ad elevata temperatura è basato su una telecamera CCD opportunamente calibrata e dotata di interfacce adeguate per il suo controllo.

Tale sistema permette di ottenere una risoluzione spaziale della mappa termica nettamente superiore e ad un costo inferiore rispetto alle termocamere. Il sistema può essere utilizzato in quanto l'obiettivo prescritto per il monitoraggio della temperatura di torcia è la verifica del costante mantenimento della stessa al di sopra degli 800 °C, operando quindi nel campo del visibile (> 750°C). Inoltre tale tipo di soluzione tecnica permette di ottenere una risoluzione in temperatura inferiore a quella delle termocamere (dell'ordine del grado centigrado).

Tale tecnologia permetterebbe di superare le limitazioni delle misure di temperatura da remoto, ottenibili con gli strumenti ad oggi esistenti come pirometri e termocamere.

Fondamenti teorici della tecnica

Come ben noto, un qualsiasi corpo a temperatura superiore a quella dello zero assoluto, emette una certa quantità di energia sotto forma di radiazione elettromagnetica; quando tale corpo risulta soggetto ad un aumento di temperatura il picco della curva di intensità della radiazione emessa in funzione della lunghezza d'onda si sposta verso frequenze elettromagnetiche più elevate ed aumenta di valore in quanto aumenta l'energia totale emessa dal corpo (Fig. 1).

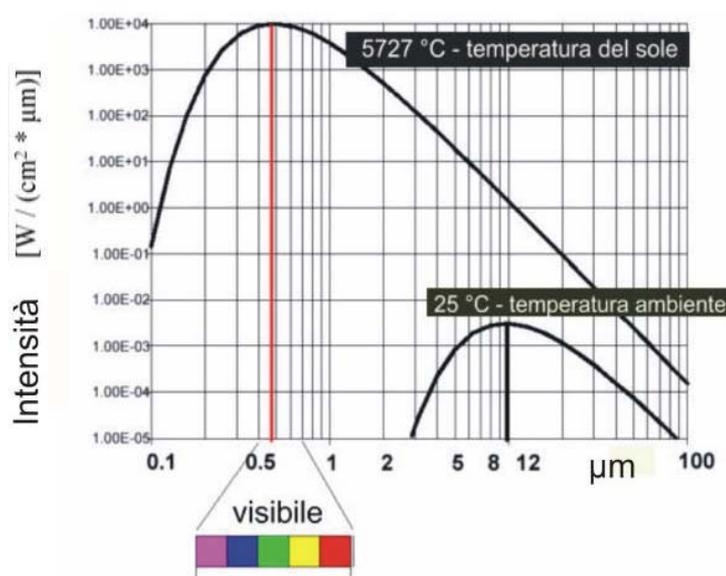


Fig. 1 - Intensità della radiazione emessa in funzione della lunghezza d'onda (corpo nero)

A temperatura ambiente tutti i corpi emettono una radiazione nel campo dell'infrarosso (IR) lontano e quindi non visibile; allo scopo di dare un'indicazione, a temperatura ambiente il picco di emissione di un corpo nero è di circa 10000 nm e quindi molto lontano dalla lunghezza d'onda più lunga visibile (dell'ordine dei 750 nm). Tuttavia, all'aumentare della temperatura, i corpi emettono su lunghezze d'onda via via più corte fino a superare in discesa il citato limite dei 750 nm il che li porta ad emettere nel visibile e quindi a presentarsi ai nostri occhi con un aspetto di colore rosso scuro. Volendo farsi un'idea immediata del fenomeno è possibile prendere una barretta di metallo sufficientemente alto fondente, ad esempio in ferro, ed esporla ad una fiamma; tale barretta apparirà dapprima di colore rosso scuro, poi via via di colore più chiaro per arrivare fino al giallo. Il mutamento di colore è indice della progressiva riduzione della lunghezza d'onda corrispondente al massimo della curva intensità – lunghezza d'onda.

Partendo da questa semplice considerazione, è stata sviluppata una tecnica basata sull'impiego di una normale telecamera dotata di sensore CCD per riprendere corpi ad alta temperatura aventi, quindi, la radiazione emessa nel campo del visibile e che permette di determinare la temperatura del corpo stesso sulla base della misura della intensità della luce emessa.

La tecnica nasce con l'obiettivo di realizzare uno strumento economico che sia alternativo alla termocamera in tutti quei casi in cui il misurando presenti temperature adeguatamente elevate e sia sufficiente disporre di una mappa termica con la risoluzione del grado Celsius.

Il principio su cui si basa il sistema fa riferimento alle principali leggi fisiche che governano il fenomeno della radiazione emessa da un corpo qualsiasi.

Come ben noto la legge di Stefan-Boltzmann afferma che per un corpo nero l'energia totale irradiata è data dalla seguente equazione:

$$W_T = \sigma \times T^4 \left[\frac{W}{m^2} \right] \quad (1)$$

dove σ rappresenta la costante di Stefan-Boltzmann.

Per un corpo non nero (e quindi per un corpo reale su cui eventualmente fare una misura) la legge viene modificata nel modo seguente:

$$W_T = \varepsilon \times \sigma \times T^4 \quad (2)$$

dove ε è detta fattore di emissività e rappresenta la capacità di un corpo di emettere radiazione. Tale fattore varia da corpo a corpo in relazione ad una molteplicità di fattori quali, ad esempio, il tipo di materiale e lo stato superficiale.

La tecnica di misura proposta

Partendo dalle considerazioni teoriche appena esposte, è stata sviluppata la tecnica di misura della temperatura mediante l'uso di telecamere a CCD.

Supponendo di riprendere con una telecamera un corpo che emette nel campo del visibile si può correlare la luminosità dovuta alla radiazione con la temperatura del corpo stesso.

È importante premettere alcune considerazioni sulle caratteristiche della telecamera. La prima riguarda la curva di sensibilità del sensore CCD che deve avere una importante coda nell'infrarosso lontano; operativamente questo significa che il sensore deve avere una buona sensibilità residua oltre i 1000 nm per estendere il più possibile verso il basso il campo di misura del sensore.

La seconda caratteristica è la possibilità di pilotare esternamente, in modo controllato, il tempo di shutter in modo da migliorare e rendere uniforme in tutto il campo di misura la risoluzione del sensore; tale risultato viene raggiunto regolando in modo opportuno l'energia incidente sul sensore agendo sul tempo di esposizione. In alternativa, oppure in utilizzo congiunto, si può pensare di controllare il diaframma dell'ottica.

Da ultimo la telecamera può essere modificata in modo da accettare in ingresso solo una banda di radiazioni elettromagnetiche sufficientemente ristretta in modo da poter ritenere trascurabile, all'interno di tale banda, la variazione dell'emissività con la lunghezza d'onda. Per ottenere ciò viene applicato un filtro passa-banda centrato a 1000 nm. Con tale accorgimento si cerca di approssimare il comportamento dell'oggetto della misura a quello di un corpo grigio, si assume cioè che la sua emissività sia data da una costante che, come tale, non dipende né dalla temperatura né dalla lunghezza d'onda (Fig. 2).

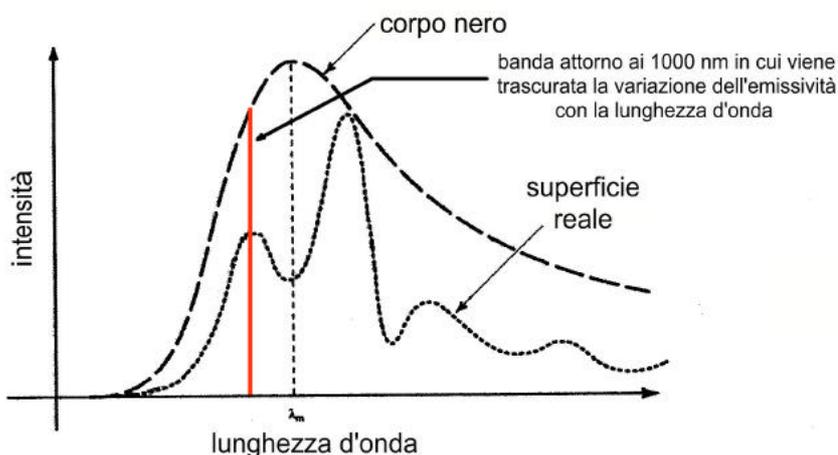


Fig. 2 - Schizzo esemplificativo della banda in cui l'emissività è assunta costante

Per la verifica del campo termico coperto dalla telecamera con le caratteristiche sopra descritte, si può operare su scala di laboratorio utilizzando un fornello campione (blackbody) al quale fare assumere la temperatura massima e minima di interesse. Riprendendo il fornello nelle condizioni di temperatura minima e massima da misurare ci si dovrà assicurare che la temperatura minima garantisca un livello di luminosità sufficiente (utilizzando il massimo tempo di esposizione permesso dallo strumento) e che l'energia emessa alla temperatura massima non porti la telecamera a saturazione (utilizzando il minimo tempo di esposizione permesso dallo strumento).

La taratura dello strumento può essere invece effettuata con l'impiego di un corpo nero calibrato, utilizzato come riferimento: viene portato a diverse temperature all'interno del range prescelto, mentre con la telecamera si misura la luminosità corrispondente alle varie temperature. Ovviamente prima di procedere alla misura si verifica che il corpo si sia portato in condizione di equilibrio termico e che quindi la sua temperatura risulti costante ed uniforme.

La telecamera verrà tarata per tutti i possibili valori di shutter in modo tale da poterla utilizzare su un intervallo di temperatura decisamente ampio, riservando i tempi di esposizione maggiori per le basse temperature e utilizzando invece tempi più brevi nel caso opposto.

Per monitorare la temperatura di un corpo in equilibrio termico, o comunque avente una temperatura variabile all'interno del range fissato, non è più possibile considerare valido il legame tra temperatura e luminosità precedentemente ricavato, dato che l'oggetto da sottoporre a misura non è più un corpo nero. Un corpo grigio infatti emette una quantità di energia inferiore rispetto ad un corpo nero alla stessa temperatura; dal punto di vista pratico questo significa che, se venisse utilizzata la legge ricavata in taratura, si sottostimerebbe l'effettivo valore di temperatura del corpo in analisi.

Questo inconveniente è però superabile ricorrendo alla (2) la quale introduce come elemento di correzione l'emissività. Ricordando, infatti, che alla telecamera viene applicato un filtro passa-banda centrato a 1000 nm, è possibile impostare la seguente uguaglianza:

$$T_2^4 = \frac{T_1^4}{\varepsilon} \quad (3)$$

dove, una volta misurato un certo valore di luminosità irradiata dal corpo sotto misura, T_1 rappresenta la temperatura restituita dalla curva di taratura (prima ricavata per un corpo nero) e T_2 rappresenta l'effettiva temperatura dell'oggetto sottoposto a misura.

Considerazioni

Il sistema per la misura di mappe termiche basato su telecamere CCD e sulle leggi fondamentali che regolano la radiazione emessa da un corpo permette di disporre di un'alternativa all'utilizzo delle classiche termocamere che presentano significative problematiche per la taratura dello strumento, nell'ipotesi di lavorare con temperature elevate. In figura 5 è evidenziato l'esempio di una mappa termica determinata su la fiamma di una candeletta su scala di laboratorio.

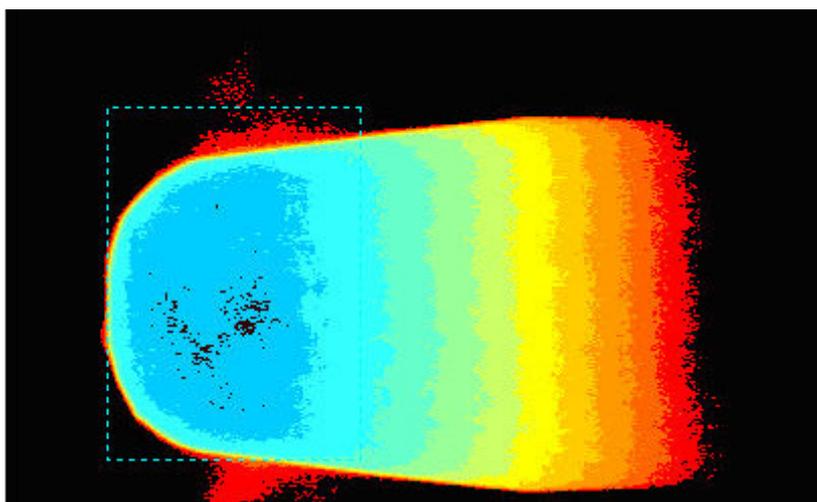


Fig. 5 - Mappa termica di una candeletta

6 CONCLUSIONI

Una preliminare valutazione in fase di impostazione dello studio ha orientato la scelta delle tecniche sulla base delle seguenti considerazioni:

- non è possibile prevedere la misura con strumenti in situ a causa della impossibilità di effettuare interventi manutentivi e quindi è necessaria la scelta di una tecnica di misura da remoto;
- al fine di assicurare una migliore efficienza di combustione assicurata da una temperatura di fiamma superiore agli 800°C è preferibile adottare una tecnica di misura che consenta di ottenere una mappa termica dell'intera fiamma, piuttosto che una misura puntuale.

Una prima considerazione che emerge dallo studio è che non esiste allo stato attuale una tecnica di misura della temperatura della fiamma della torcia di una raffineria genericamente valida, sufficientemente stabile, affidabile e già applicata.

La ricerca delle tecniche di misura ha evidenziato limiti e caratteristiche delle diverse metodiche dalle quali si può partire per mettere a punto una soluzione tecnica idonea.

Dall'analisi delle tecniche di misura di temperatura si possono trarre le seguenti considerazioni.

Pirometri

I pirometri sono in grado di fornire soltanto misure di tipo puntuale il che esclude a priori la possibilità di ottenere una mappa termica sincrona (cioè con la temperatura di tutti i punti acquisita nello stesso istante). Tale limitazione è superabile solo ripetendo la misura col pirometro nei vari punti d'interesse in istanti successivi, ma questo a fronte di un tempo di misura maggiore o, in caso di fenomeno non stazionario, alla totale impossibilità di portare a termine la mappatura termica del corpo in esame. Tale tecnica è pertanto non idonea alla mappatura in continuo della fiamma.

Termocamera IR

La termocamera IR permette l'ottenimento di una mappa termica ed è comunque una buona tecnica per la misura di campi termici in quanto dispone di un campo di misura molto ampio (da temperature inferiori a 0 °C fino a temperature superiori a 1500 °C), offre un'ottima risoluzione termica (dal grado °C fino a 0.1 °C con opportune tecniche di taratura in alcune applicazioni particolari) e una dinamica elevata potendo garantire una frequenza di acquisizione di qualche decina di immagini termiche al secondo, se basata su sensori microbolometrici e di parecchie centinaia se basata su sensori fotonici.



La termocamera presenta diverse limitazioni e difficoltà di utilizzo dello strumento nel senso che un operatore inesperto può facilmente arrivare a misurare mappe termiche che differiscono anche notevolmente dalle reali temperature degli oggetti. Inoltre la termocamera ha il problema di una risoluzione spaziale modesta e da una accuratezza che può raggiungere facilmente valori molto importanti.

In merito all'accuratezza il discorso deve essere sviluppato con un maggiore dettaglio in quanto si devono segnalare due aspetti complementari.

Il primo è che, normalmente, l'accuratezza dello strumento è dell'ordine di qualche grado Celsius, ma che questo valore può sicuramente essere ridotto con una opportuna calibrazione dello strumento; il secondo, molto più importante nelle applicazioni della misura della temperatura della torcia, nasce dal fatto che la termocamera misura l'energia ricevuta e, solo dopo opportune conversioni, pesantemente dipendenti da alcuni parametri tipici del corpo e dell'ambiente (e per di più fortemente variabili), perviene alla misura dell'energia emessa dal corpo e quindi alla sua temperatura.

Quanto detto deve mettere in guardia dal fatto che un uso scorretto della termocamera, intendendo con questo un'errata stima dei parametri ambientali (come, ma non solo, l'emissività della superficie dell'oggetto di cui si vuole misurare la temperatura), può portare ad errori nella stima della temperatura anche di diversi ordini di grandezza superiore rispetto ai valori di accuratezza massimi sopra citati.

Telecamera con sensore CCD operante nel campo del visibile

La telecamera con sensore CCD permette la determinazione da remoto di temperature nel campo del visibile ($> 750^{\circ}\text{C}$) con una risoluzione in temperatura dell'ordine del grado $^{\circ}\text{C}$.

Tale tecnologia permetterebbe di superare le limitazioni delle misure di temperatura da remoto delle termocamere.

Anche in questo caso va effettuata una taratura dello strumento, ma non è legata alle caratteristiche sito specifiche (ad esempio atmosfera interposta tra fiamma e termocamera nel caso di questa tecnologia) ma solo dagli spettri di emissione di due componenti principali del gas di torcia.

Ad oggi non esistono comunque applicazioni di tale tecnica su sistemi di torcia di raffineria ma ci sembra, per quanto precedentemente detto, che sia sicuramente la più promettente.

Pertanto anche per tale tecnica si dovrà realizzare uno studio per l'applicazione specifica.

7 PROPOSTA DI LAVORO

Sulla base delle considerazioni finali sulle diverse tecnologie la Saras SpA ha deciso di avviare, con il Dipartimento di Fisica dell'Università di Cagliari, uno studio di fattibilità per l'applicazione della Telecamera con sensore CCD operante nel campo del visibile nella determinazione della temperatura di Torcia della Raffineria.

Lo studio di fattibilità sarà realizzato entro il 31/12/2009.

Successivamente si realizzerà il prototipo e sarà installato in campo entro 31/12/2010.



€ sul C/C n. 871012

di Euro 2.000,00

IMPORTO IN LETTERE DUEMILA/00

INTESTATO A TESORERIA PROVINCIALE STATO ROMANO

CAUSALE
MISURA TEMPORANEA GAS BRUCIATI IN TOROIA
MODIFICA ANNI SOSTIZIAZIONE DEC 230 24/3/09

113/131 04 24-08-09 #1
10043 €*2.000,00*
1VCY 0135 €*1,10*
C/C 00871012 P 0021

SOLO DELL'UFFICIO POSTALE

ESEGUITO DA SARAS SPA

VIA - PIAZZA SS 195 KM 19.2

CAP 09018 LOCALITÀ SARROCH (CA)



€ sul C/C n. 871012

di Euro 2.000,00

IMPORTO IN LETTERE DUEMILA/00

INTESTATO A TESORERIA PROVINCIALE STATO ROMANO

CAUSALE
MISURA TEMPORANEA GAS BRUCIATI IN TOROIA
MODIFICA ANNI SOSTIZIAZIONE DEC 230 24/3/09

113/131 04 24-08-09 #1
10043 €*2.000,00*
1VCY 0135 €*1,10*
C/C 00871012 P 0021

SOLO DELL'UFFICIO POSTALE

ESEGUITO DA SARAS SPA

VIA - PIAZZA SS 195 KM 19.2

CAP 09018 LOCALITÀ SARROCH (CA)



SARAS SpA

Allegato 2



SARAS SpA

Emissioni non convogliate in aria

Carico e scarico prodotti leggeri



SARAS SpA

PREMESSA

Il Parere Istruttorio allegato al decreto di Autorizzazione Integrata Ambientale (U. prot.DSA-DEC-2009-0000230 del 24/03/2009) prevede che il Gestore dell'impianto "Raffineria e Impianto di Gassificazione a Ciclo Combinato (IGCC)" della Società Saras SpA provveda a trasmettere all'Autorità Competente e all'Ente di controllo una relazione tecnica sui sistemi di bilanciamento e recupero dei vapori di idrocarburi durante le fasi carico/scarico dei prodotti leggeri.

Per quanto riguarda il carico dei prodotti leggeri sulle autocisterne (Deposito Nazionale) è in esercizio un impianto di recupero dei vapori e le caratteristiche sono state già trasmesse all'Autorità Competente e all'Ente di controllo.

Per quanto riguarda il carico/scarico dei prodotti leggeri presso il terminale marittimo si precisa quanto segue:

- Le attività di scarico del petrolio greggio non comportano emissioni in quanto, in tale fase, le navi cisterna introducono nelle loro cisterne gas inerti e i serbatoi di ricezione sono tutti del tipo a tetto galleggiante.
- Viceversa il caricamento dei prodotti leggeri sulle navi cisterna comporta, sul sistema di bilanciamento delle stesse, una possibile fuoriuscita di idrocarburi leggeri in funzione delle caratteristiche costruttive delle navi.

Per l'abbattimento dei VOC sono disponibili sul mercato diverse alternative tecnologiche. Le più importanti sono:

- Assorbimento con olio a bassissima tensione di vapore
- Adsorbimento su carboni attivi con successiva rigenerazione a vuoto ed assorbimento della corrente di idrocarburo dei vapori rilasciati dai carboni attivi
- Condensazione criogenica
- Combustione (catalitica o termica)

Il nostro studio è stato indirizzato, fra le alternative di cui sopra, su quelle soluzioni che prevedono il trasferimento di materia fra vapore e solido (adsorbimento su carboni attivi) o fra vapore e liquido (assorbimento in olio), considerate più efficaci e promettenti sul piano ambientale e tecnologico.

Per lo studio della soluzione ottimale del sistema di recupero VOC sono state valutate due soluzioni planimetriche alternative:

- Installazione di un sistema di recupero vapori sul terminale marittimo

Questa alternativa risulta infattibile in quanto sia gli spazi richiesti, sia le sollecitazioni derivanti risulterebbero completamente incompatibili con le strutture portanti esistenti.

Una soluzione di questo porterebbe alla realizzazione di nuove importanti strutture di supporto a mare con un impatto logistico insostenibile sugli spazi di attracco e manovra.



SARAS SpA

- Installazione di un sistema di recupero vapori a terra collegato tramite tubazioni al terminale marittimo

Questa soluzione alternativa prevede sulle strutture del terminale marittimo le sole attrezzature per le connessioni Pontile - nave (ovvero i bracci di carico, le packages di arresto fiamma per ogni punto di carico, un sistema di 4 soffianti da circa 200 kW cad., in grado di fornire sufficiente pressione ai vapori recuperati per giungere fino a un sistema di trattamento a terra e tutte le opportune tubazioni di trasferimento di grosso diametro). L'impianto vero e proprio di trattamento e recupero sarebbe installato sulla terraferma in prossimità della radice del pontile.

Tutte le verifiche condotte dallo Studio Finzi, sulla base delle informazioni scaturite dallo studio di fattibilità sviluppato con la società APS, hanno indicato, in questo caso, la sostanziale inidoneità delle esistenti strutture a mare a sopportare un simile ampliamento. In particolare lo studio ha evidenziato come i carichi derivanti dalle attrezzature, dalle pipeline e dalle apparecchiature rotanti in funzione, porterebbero le relative sollecitazioni a valori incompatibili con il mantenimento di adeguati margini di sicurezza del pontile.

A fronte di questi risultati, è nostra intenzione passare ad analizzare le altre possibili alternative, che prevedono la trasformazione degli idrocarburi leggeri in CO₂ e acqua tramite un processo di combustione catalitica.

Studieremo le possibili tecnologie già sperimentate in questo campo e verificheremo la compatibilità del sistema con le attrezzature esistenti.

Prevediamo di completare e presentare lo studio all'Autorità Competente e all'Ente di Controllo entro Dicembre 2009.

	CLIENTE/CUSTOMER SARAS S.p.A.	
	LOCALITÀ/PLANT LOCATION SARROCH (CA) - ITALY	
	IMPIANTO/UNIT SISTEMA RECUPERO VAPORI DA PONTILE	
P-1407-001	PPB-0000-002	Pagina 01 di 09

SARAS S.p.A.

RAFFINERIA di SARROCH (CA)

SISTEMA RECUPERO VAPORI DA PONTILE

REPORT DI FATTIBILITÀ



Redatto	G. Coschiera
Controllato	M. Troisi
Approvato	G. Coschiera
Descrizione	Emissione per informazione
Data	3//08/2009
Rev.	00

	CLIENTE/CUSTOMER SARAS S.p.A.	
	LOCALITÀ/PLANT LOCATION SARROCH (CA) - ITALY	
	IMPIANTO/UNIT SISTEMA RECUPERO VAPORI DA PONTILE	
P-1407-001	PPB-0000-002	Pagina 02 di 09

INDICE

1.	CARATTERISTICHE DEL SITO SARAS	3
2.	CARATTERISTICHE DEI PRODOTTI CARICATI SULLE NAVI CISTERNA	4
3.	ASSUNZIONI E BASI DI PROGETTAZIONE	5
4.	ALTERNATIVE TECNOLOGICHE PER L'ABBA'ITIMENTO DEI VOC	6
5.	ELENCO DEI FORNITORI CONTATTATI	7
6.	SOLUZIONI INGEGNERISTICHE VALUTATE	8

-	ALLEGATO I	P&ID SEMPLIFICATO	Doc. n. PRS-0000-001	Rev. 01
-	ALLEGATO II	PLANIMETRIA	Doc. n. HVA-0000-001	Rev. 01
-	ALLEGATO III	STUDIO FINZI		

	CLIENTE/CUSTOMER SARAS S.p.A.	
	LOCALITÀ/PLANT LOCATION SARROCH (CA) - ITALY	
	IMPIANTO/UNIT SISTEMA RECUPERO VAPORI DA PONTILE	
P-1407-001	PPB-0000-002	Pagina 03 di 09

1. CARATTERISTICHE DEL SITO SARAS

Una quota dell'esportazione dei prodotti della Raffineria di Sarroch avviene via mare attraverso navi cisterna caricate per mezzo di bracci di carico alloggiati sul Pontile antistante il sito di Raffineria.

Il Pontile principale si estende in mare per circa 1200 metri e nella sua parte terminale è attraversato pressoché perpendicolarmente da due rami (che determinano quindi 4 estremità) sui quali sono presenti in totale 6 punti di carico.

Sul braccio più lontano da terra, sono posizionati da un lato i punti di carico P1 e P2, dall'altro i punti P3 e P4. Queste coppie risultano pertanto simmetriche rispetto all'asse del Pontile.

Sul braccio perpendicolare più vicino a terra sono posizionati da un lato il punto di carico P5 e dall'altro il punto P7.

Una descrizione indicativa è riportata in Figura 1, mentre si rimanda al disegno in Allegato II per una descrizione dettagliata.

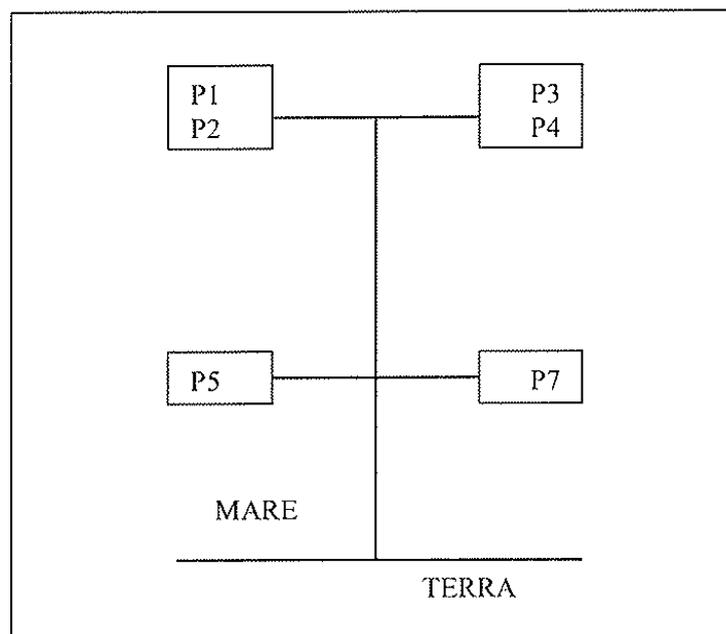


Figura 1

	CLIENTE/CUSTOMER SARAS S.p.A.	
	LOCALITÀ/PLANT LOCATION SARROCH (CA) - ITALY	
	IMPIANTO/UNIT SISTEMA RECUPERO VAPORI DA PONTILE	
P-1407-001	PPB-0000-002	Pagina 04 di 09

2. CARATTERISTICHE DEI PRODOTTI CARICATI SULLE NAVI CISTERNA

I prodotti che vengono caricati nei punti di carico sopra descritti, sono essenzialmente Benzina e Virgin Naphta.

I punti di carico dei prodotti hanno le seguenti caratteristiche in termini di portate volumetriche massime:

Punto di carico	Portata di carico, m3/h	
	Benzina	Virgin Naphta
Pontile P1	3500	1000
Pontile P2	3500	1000
Pontile P3	4500	1000
Pontile P4	3900	1000
Pontile P5	2600	1000
Pontile P7	3900	1000

Mentre le tipiche caratteristiche chimico fisiche dei prodotti caricati possono essere così riassunte.

Prodotto	TVP [kPa]	MW	Benzene % Vol	Aromatic i % Vol
VN	87*	80	< 1	12
Benzina	90*	95 - 120	<1	<35
*: Valori massimi estivi				

Per la Benzina e la Virgin Naphta la temperatura massima operativa all'esterno della nave in caricazione è valutabile durante i mesi estivi in circa 35°C max, mentre all'interno della nave in caricazione la temperatura sarà riequilibrata con la temperatura marina, tipicamente al disotto del valore sopra indicato.

	CLIENTE/CUSTOMER SARAS S.p.A.	
	LOCALITÀ/PLANT LOCATION SARROCH (CA) - ITALY	
	IMPIANTO/UNIT SISTEMA RECUPERO VAPORI DA PONTILE	
P-1407-001	PPB-0000-002	Pagina 05 di 09

3. ASSUNZIONI E BASI DI PROGETTAZIONE

In base alla geometria del Pontile Saras e alle diverse combinazioni dei diversi punti di carico in operazione, si ha, per le coppie di punti di carico P1/P2, P3/P4 e P5/P7 una portata massima di 7.000 m³/h di benzina e 1.000 m³/h di virgin naphta, mentre per la capacità dei singoli punti di carico si ha il valore riportato nella precedente Tabella 1.

La massima portata totale di caricamento simultaneo del sistema risulta quindi essere pari a 8.000 m³/h, in caso che due Pontili stiano caricando benzina e un altro stia caricando Virgin Naptha.

La portata volumetrica di vapori prodotti, a pressione pressoché atmosferica, durante le operazioni di caricamento risulta essere praticamente pari alla portata di prodotti caricati sulle cisterne delle navi in ricezione. Quindi l'entità dei vapori da convogliare e trattare dipenderà essenzialmente dalla particolare operazione in atto, dal numero di punti di carico marcianti e dal tipo di prodotto caricato, ma sarà comunque pari al massimo ad 8.000 m³/h.

	CLIENTE/CUSTOMER SARAS S.p.A.	
	LOCALITÀ/PLANT LOCATION SARROCH (CA) - ITALY	
	IMPIANTO/UNIT SISTEMA RECUPERO VAPORI DA PONTILE	
P-1407-001	PPB-0000-002	Pagina 06 di 09

4. ALTERNATIVE TECNOLOGICHE PER L'ABBA'ITIMENTO DEI VOC

Per l'abbattimento dei VOC ed il loro successivo recupero sono disponibili sul mercato diverse alternative tecnologiche. Le più importanti sono:

- Assorbimento con olio a bassissima tensione di vapore
- Adsorbimento su carboni attivi con successiva rigenerazione a vuoto ed assorbimento della corrente di idrocarburo dei vapori rilasciati dai carboni attivi
- Condensazione criogenica
- Combustione (catalitica o termica)

La scelta fra le diverse alternative è dettata principalmente dalle condizioni operative. Non è possibile fare una scelta a priori che non tenga anche conto della concentrazione di VOC nella corrente da trattare, della composizione, della portata, della temperatura, delle caratteristiche richieste all'effluente, nonché ovviamente a esigenze operative e di layout che potrebbero condizionare la scelta dell'impianto più efficace.

Per le valutazioni di primo screening condotte in questa fase dello studio, le specifiche richieste al sistema hanno permesso di concentrare l'analisi su quelle soluzioni che prevedono il trasferimento di materia fra vapore e solido (adsorbimento su carboni attivi) o fra vapore e liquido (assorbimento in olio), ovvero sulle tecnologie considerate più efficaci e promettenti sul piano ambientale e tecnologico.

	CLIENTE/CUSTOMER SARAS S.p.A.	
	LOCALITÀ/PLANT LOCATION SARROCH (CA) - ITALY	
	IMPIANTO/UNIT SISTEMA RECUPERO VAPORI DA PONTILE	
P-1407-001	PPB-0000-002	Pagina 07 di 09

5. ELENCO DEI FORNITORI CONTATTATI

Per verificare la disponibilità di attrezzature per il recupero VOC, sono stati contattati diversi fornitori specializzati e di rilevanza internazionale. Tutti i fornitori hanno dimostrato referenze specifiche nel trattamento di correnti contenenti vapori organici.

Si riporta di seguito la lista dei fornitori che hanno contribuito a formulare una valutazione tecnico – economica preliminare:

Sistemi che prevedono l’adsorbimento dei vapori su apparati con carboni attivi (e rigenerazione)

- Carbovac
- Kappa Gi
- John Zink

Sistemi che prevedono l’adsorbimento diretto in idrocarburo liquido (“Lean Oil”)

- Petrogas

	CLIENTE/CUSTOMER SARAS S.p.A.	
	LOCALITÀ/PLANT LOCATION SARROCH (CA) - ITALY	
	IMPIANTO/UNIT SISTEMA RECUPERO VAPORI DA PONTILE	
P-1407-001	PPB-0000-002	Pagina 08 di 09

6. SOLUZIONI INGEGNERISTICHE VALUTATE

Per lo studio della soluzione ottimale del sistema di recupero VOC sono state valutate due soluzioni planimetriche alternative:

a) INSTALLAZIONE DI UN SISTEMA DI RECUPERO VAPORI A BORDO DEL PONTILE SARAS

Per questa alternativa, è stata evidenziata l'assoluta infattibilità di un'installazione del sistema di recupero vapori sulla struttura del Pontile Saras in quanto sia gli spazi richiesti per una tale installazione, sia le sollecitazioni derivanti risulterebbero completamente incompatibili con le strutture portanti esistenti.

In particolare non è possibile individuare in alcuna zona del pontile un'area non frazionabile pari ad almeno 200 m² per l'alloggiamento delle attrezzature necessarie per l'Unità di assorbimento. Inoltre sul piano strutturale i carichi derivanti dalle apparecchiature da installare (filtri a carboni attivi, colonna di assorbimento, macchine rotanti) risulterebbero completamente incompatibili con la portanza delle attuali strutture. Una soluzione di questo tipo costringerebbe alla realizzazione di nuove importanti strutture di supporto a mare con un impatto logistico negativo sugli spazi di attracco e manovra, costi industriali insostenibili e un importantissimo impatto ambientale.

b) INSTALLAZIONE DEL SISTEMA DI RECUPERO VAPORI A TERRA COLLEGATO TRAMITE PIPELINE AI PUNTI DI CARICAZIONE (SI VEDA ALLEGATO I)

Per questa soluzione alternativa sarebbero previste a bordo delle strutture del Pontile le sole attrezzature per le connessioni Pontile – nave (ovvero i bracci di carico, le packages di arresto fiamma per ogni punto di carico, un sistema di 4 soffianti da circa 200 kW cad., in grado di fornire sufficiente pressione ai vapori recuperati per giungere fino a un sistema di trattamento a terra e tutte le opportune pipeline di trasferimento di grosso diametro). L'impianto vero e

	CLIENTE/CUSTOMER SARAS S.p.A.	
	LOCALITÀ/PLANT LOCATION SARROCH (CA) - ITALY	
	IMPIANTO/UNIT SISTEMA RECUPERO VAPORI DA PONTILE	
P-1407-001	PPB-0000-002	Pagina 09 di 09

proprio di trattamento e recupero sarebbe installato sulla terraferma in prossimità della radice pontile. Per la struttura del pontile Saras, la massima distanza fra i punti di connessione agli attracchi nave e il sistema di trattamento situato a terra è stimata in circa 1.500 metri (si veda disegno **Allegato II**). Le attrezzature di cui sopra non trovano spazi sufficienti sui 6 punti di carico esistenti descritti al paragrafo 1: non ci sono spazi di manovra per l'uso in sicurezza delle nuove attrezzature, interferenze nel brandeggio dei nuovi bracci carico destinati al recupero vapori con le apparecchiature esistenti e inoltre le macchine vibranti da installare sulle dorsali del pontile possono creare un'area abbastanza importante, destinata ora al passaggio degli operatori, interessata da vibrazioni e rumori superiori a quelli consentiti..

Anche per questa alternativa, è stata valutata la compatibilità con le strutture esistenti del Pontile Saras. Tali strutture, realizzate nella prima metà degli anni 60, sono state dimensionate in accordo ai criteri strutturali in vigore in quegli anni. Le basi di progettazione, hanno lasciato limitati margini di extracarico ormai saturati negli anni con ampliamenti della rete di pipeline che attraversa la struttura.

Tutte le verifiche condotte sulla base delle informazioni scaturite dallo studio di prefattibilità sviluppato con le società APS e Studio Finzi (**Allegato III**) e/o ricevute dai costruttori presenti sul mercato delle unità di recupero VOC hanno, di fatto, dimostrato anche in questo caso, la sostanziale inidoneità delle esistenti strutture a mare a sopportare un simile ampliamento. In particolare lo studio ha evidenziato come i carichi derivanti dalle attrezzature, dalle pipeline e dalle apparecchiature rotanti in funzione, porterebbero le relative sollecitazioni a valori incompatibili con il mantenimento di adeguati margini di sicurezza.

Pontile di Sarroch
Aspetti strutturali legati al progetto del sistema di recupero vapori dal pontile

Norme di riferimento

1. Legge 5/11/1971, N° 1086 - "Norme per la disciplina delle opere in calcestruzzo armato, normale e precompresso ed a struttura metallica".
2. Legge 2/2/1974, N° 74 - "Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche".
3. D.M. 14 gennaio 2008 "Norme Tecniche per le costruzioni". Capitolo 7 Progettazione per Azioni sismiche.

Premesse

Il pontile principale è composto da 85 campate di travi in c.a. con luce 15 m, supportate da cavalletti (stilate) costituiti da coppie di pali in c.a.p., collegati in testa da un traversone in c.a. detto pulvino. Sul pulvino sono applicati dei portalini in c.a. a sostegno delle tubazioni. Le più grosse sono applicate direttamente sul pulvino, altre sui portalini, ed altre ancora su sospensioni che si ancorano al pulvino, figure 1 e 2.

Parallelamente al pontile principale si trova la palificata greggio che è composta da 91 pali in acciaio su cui poggiano tubazioni di grosso diametro, fig. 3.

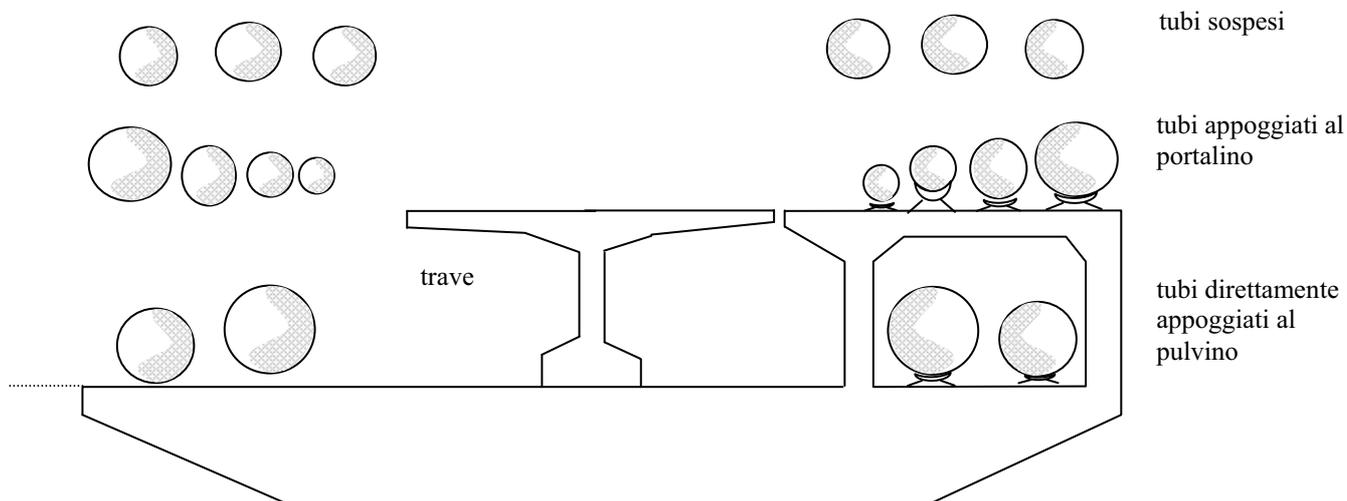


Figura 1. Pontile principale. Sezione trasversale con la figurazione di tubi direttamente appoggiati al pulvino, tubi appoggiati al portalino e tubi sospesi.



tubi sospesi

tubi appoggiati al portalino

tubi direttamente appoggiati al pulvino,

Fig. 2: disposizione dei tubi.



Figura 3: in primo piano, palificata del greggio sulla quale poggiano due tubi di grosso diametro. In secondo piano, il pontile principale.

Il pontile, è stato oggetto di diversi studi ed indagini, che richiamiamo nell'elenco seguente.

- *Polytecna Harris*, è progettista dell'impianto, ed autore dei disegni strutturali. La prima parte del pontile è stata realizzata nel 1963, in regime di concessione demaniale. Parte da terra ed è eretto su pali. Si spinge verso il largo per circa 1.400 metri in direzione 65°, e successivamente per altri 1.150 metri, con due angolazioni in direzione 85°. Quest'ultima parte, che unisce un ulteriore pontile chiamato Isola, è oggetto della presente proposta di intervento. Dal Pontile principale dipartono cinque diramazioni orientate a NW ed a SE, che costituiscono nove posti di attracco, ai quali si aggiungono due posti d'ormeggio sull'Isola. Da sei punti diparte il sistema di recupero vapori, fig. 5.
- *Studio sperimentale stradale* ha svolto un'indagine sperimentale e prove di laboratorio su materiali prelevati dalle strutture in c.a. e c.a.p., relazione N° 522/DV del 30 novembre 1998.
- *EBX Engineering* ha svolto una verifica della stabilità e dello stato di conservazione delle strutture in c.a. e c.a.p. del terminale di Sarroch, Relazione finale, doc. 02-RP-01 del 15.01.99.
- Ha definito le azioni del moto ondoso sul pontile del terminale marino di Sarroch, Relazione di calcolo allegata al doc. 02-RC-01 del 15.01.99.
- Ha svolto le verifiche statiche degli elementi più critici, documento 02-RC-02 del 15.01.99.
- Ha proposto un intervento per la stabilizzazione del pontile terminale, rif. MM. 5.03.001/P03.01, del 26.07.00, sulla tratta 27-34 e 34-40, intervento realizzato nel 2002. E' stata applicata una azione di compressione longitudinale sul baricentro della sezione delle travi pari a 180 t. Tale azione è stata realizzata mediante due cavi ancorati simmetricamente alle testate d'estremità della tratta con pretensionamento di 90 t ciascuno. Nella stessa tratta i supporti delle tubazioni di maggior diametro, originariamente ferro su ferro, sono stati modificati inserendo cuscinetti in teflon.
- *Tensoteci* ha realizzato la tesatura dell'intervento campione sulle travi delle tratte 20-27 e 34-40.
- *Eco Meteo Electronic Systems & Services* ha monitorato le azioni nelle tratte 20-27 e 34-40. Relazione del 02/10/2002.
- *EBX Engineering* ha effettuato una verifica statica del pontile, con documenti finali datati 2004. Comprende le campate 27-34 e 34-40. L'attività è stata commissionata e gestita da Sartec. Ha presentato un documento di sintesi, "Verifica Statica Pontile Principale", dell'ottobre 2004.
- *Studio sperimentale stradale* ha svolto un'indagine sperimentale e prove di laboratorio su materiali prelevati, attività del 2004.
- *Condomett Sarda* ha effettuato una indagine ispettiva, "Pontile principale e palificata grezzo. Indagine ispettiva", nel settembre 2004. Non copre i rami del pontile P1/P2, P3/4, P5 e P7 interessati dall'intervento.
- *EBX Engineering* ha redatto un progetto di intervento di risanamento e di rinforzo strutturale del pontile principale, tratta 27-34, nel 2008. L'intervento prospettato è teso ad integrare quello precedente di ripristino e tesatura, effettuato sulle campate 20-27 e 34-40.
- *Blue Shark* ha condotto il risanamento delle strutture in cemento armato della soletta, della trave e dei pilastri lato nord sulla piattaforma P3/P4. L'attività è stata eseguita a seguito di un'ispezione dalla quale è emersa la necessità di manutenzione a seguito della carbonatazione, e conseguente

ossidazione dei ferri di armatura. La Blue Shark, ha demolito, rinforzato e protetto tali strutture, utilizzando malte e vernici protettive.

- *APS* nel documento “Sistema recupero vapori dal pontile”, del 2009, esamina la fattibilità di un sistema di tubazioni che parte dai rami P1/P2, P3/4, P5 e P7, per il recupero dei composti organici volatili. I tubi hanno diametro fino a 18”, scheda 10, sono percorsi da pressione fino a 75 kPa (0.75 kg/cm²), ed hanno un contenuto di peso trascurabile, in prima approssimazione.

- *Finzi Associati* è progettista della Sala controllo sulla piattaforma intersezione tra pontile principale ed il pontile P1-P2. E’ stato consulente SARAS per la sicurezza strutturale del Pontile in occasione degli interventi del 2002 e del 2008. Ha a disposizione la documentazione relativa alle attività sopra elencate.

Scopo del presente rapporto è l’esame di fattibilità, dal punto di vista strutturale, dell’intervento per l’inserimento di un nuovo sistema per il recupero dei vapori (VOC) durante le operazioni di caricamento così come studiato dalla società *APS*. La Norma vigente in Italia, e di riferimento per qualunque intervento strutturale nella Raffineria, (realizzazione di nuova struttura, od intervento sull’esistente), è costituita dalle due Leggi [1, 2], e dal decreto *Norme tecniche per le costruzioni*, ed. 2008, [3]. Gli interventi sul pontile, messi in atto su tratte successive, e con continuità nel tempo, mirano a renderlo adeguato, cioè a mantenerlo congruente con le norme vigenti. L’intervento studiato da *APS* deve confrontarsi con tali norme.

Stato del pontile, con riferimento alla resistenza strutturale

Il pontile ha un’età di oltre 40 anni, in condizioni ambientali aggressive, e sopporta carichi che saturano le massime sollecitazioni ammissibili di progetto. Il processo continuo di adeguamento delle opere strutturali fa fronte alle sollecitazioni dovute sia ai fattori ambientali, sia all’azione dei carichi nel tempo:

1. Le tubazioni applicate al pontile sono aumentate fino a saturare tutti i margini strutturali del progetto originario Polytecnica Harris.
2. Le condizioni di vincolo dei tubi sono cambiate nel corso del tempo, per l’attrito creato dalla ossidazione dei supporti. Le azioni termiche, messe in conto a proposito nel modello di calcolo, sono aumentate.
3. Con gli anni, i coefficienti di sicurezza di calcolo richiesti dalle più recenti normative per valutare le azioni ondose e del vento, sono aumentati rispetto ai coefficienti di calcolo del progetto originario. Le azioni prodotte dalle onde sono rappresentate nella figura 4. Comportano azioni fino a 14 tonnellate per appoggio, e raggiungono la quota del pulvino.

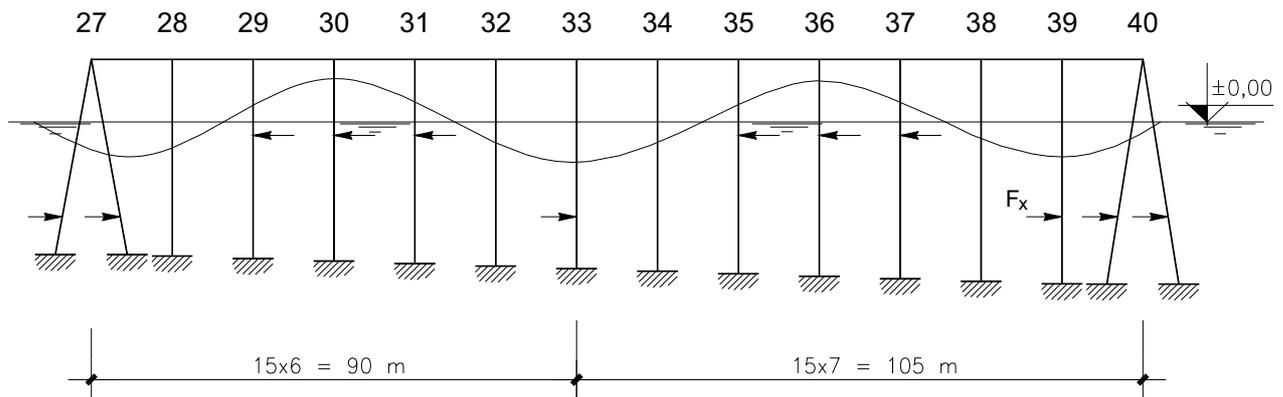


Fig. 4: aspetto dello sviluppo longitudinale dell'onda. Le azioni per il singolo appoggio raggiungono 14 t.

Per gli aspetti 1, 2 e 3, le sollecitazioni sulla struttura sono aumentate, e gli interventi manutentivi conseguentemente sono sufficienti a conservare l'adeguatezza ai carichi esistenti dell'intera opera.

L'azione manutentiva, consiste di:

- 1) in una serie di provvedimenti localizzati sugli elementi strutturali per ripristinare le resistenze originarie, ed offrire un incremento di resistenza limitato alla zona dell'intervento;
- 2), in una post-tesatura dall'esterno, di gruppi di campate successive, che offre un aumento di resistenza generalizzato. Per la trave longitudinale, l'incremento della resistenza offerto dalla tesatura è del 30 ÷ 40 % sulla resistenza flessionale, misurabile mediante il modello di calcolo.

Per i pali l'incremento di resistenza a seguito delle sopra indicate azioni non risulta apprezzabile. Una marginale efficacia della tesatura sullo stato di sforzo nei pali si verifica a fronte delle azioni del vento e del moto ondoso.

L'intervento per il recupero vapori dal pontile

Nell'intervento prospettato, i carichi gravitazionali, oltre al peso proprio delle tubazioni e dei macchinari, sono indicati in tabella 1. Rispetto agli interventi di restauro e rinforzo del pontile precedenti, una difficoltà ulteriore deriva dalla presenza di nuove tubazioni e nuovi macchinari. Come vedremo, il problema riguarda in particolare i pali.

La temperatura dei vapori non supera 35 °C. Tuttavia la parete dei tubi può raggiungere tale temperatura anche in inverno, per l'insolazione, ed il calore del vapore contenuto. Nel progetto dovrebbe quindi essere preso in conto un salto termico rispetto alla struttura in c.a. del pontile, orientativamente attorno a $\Delta T = + 20$ °C. In estate, assumendo una temperatura media della struttura in c.a. pari a $T = 30$ °C, il salto da mettere in conto, ipotizzando un rapido raffreddamento della parete per eventi meteorici, dovrebbe essere attorno a $\Delta T = - 10$ °C. E' necessario quindi prevedere per questi tubi un supporto a scorrimento.

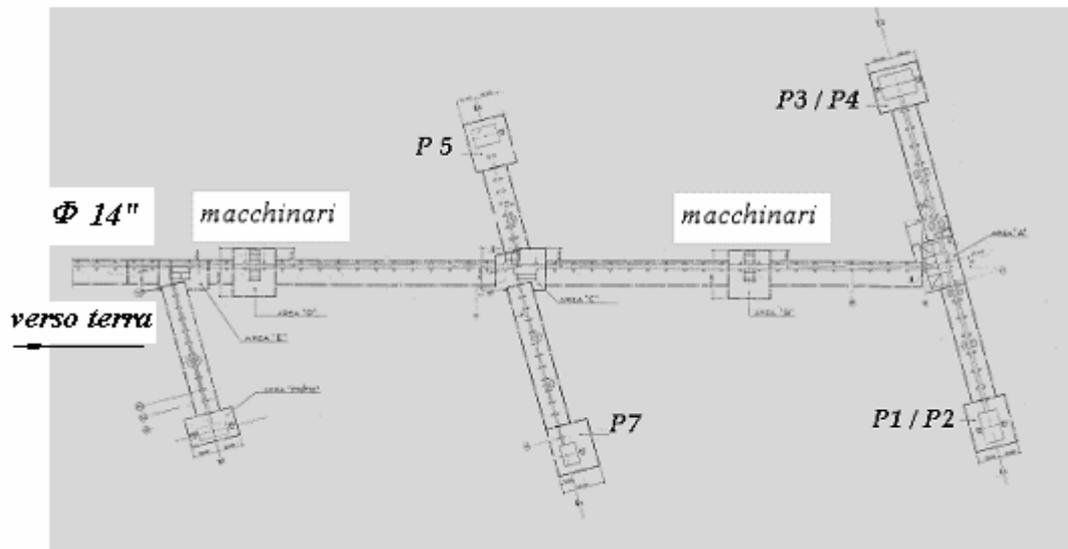


Fig. 5: Terminali interessati all'intervento. Le tubazioni partono da questi terminali, percorrono il Pontile principale, e giungono a terra.

Fornitura e posa in opera di bulloni di ancoraggio su manufatti in calcestruzzo armato prima del getto compresa la dima: peso > 2,0 kg	kg	250	330	170	170	40	30	480
Fornitura di piastre metalliche di scorrimento e loro posa in opera su manufatti in calcestruzzo armato	kg							40
CARPENTERIA METALLICA								
Carpenteria pesante (ad es. pipe rack e strutture supportanti apparecchiature) compresa mano di zincante (sp. 75 μ)	kg	8400	8400	4200	4200			
Carpenteria medio/pesante (ad es. capannoni e tettoie) compresa mano di zincante (sp.75 μ)	kg	4300	7600	2800	1150	3400		18300
Carpenteria leggera (ad es. passerelle, ringhiere, scalette verticali) compresa mano di zincante (sp. 75 μ)	kg	150	650	320	1070	1350		500
Verniciatura di superfici metalliche (due mani, sp μ per ogni mano))	m ²	520	680	300	260	200		780
Grigliato zincato maglia 30 x 30 mm, barretta portante 25 x 3 mm	kg	540	1530	770	270	1100		810
Lamiera ondulata o grecata per coperture	kg	50	50					
Lamiera grecata per tamponature	kg	120	120					

Tabella 1: Pesì dei principali componenti nel progetto APS, oltre al peso proprio delle tubazioni e dei macchinari.

Interferenza con le tubazioni esistenti

Il documento ASP¹ è focalizzato sugli aspetti impiantistici, e non valuta le possibili interferenze tra il sistema di tubi esistenti ed i nuovi tubi. Il problema ha un diretto impatto sugli aspetti strutturali. La sistemazione delle apparecchiature esistenti è rappresentata nella figura 1, e 2.

I tubi di diametro 18” sono quelli che pongono i maggiori problemi. La soluzione per eccellenza, quella di appoggiarli direttamente ai pulvini, sistemandoli su appositi appoggi scorrevoli, non risulta possibile, fig. 6, per questioni di ingombro.



Fig. 6. Pontile principale, (attorno alla campata n° 30). Un appoggio diretto sul pulvino non appare possibile.

Per lo stesso motivo non sembra possibile sistemarli sui portalini, che peraltro sono gli elementi più delicati strutturalmente e già oggetto di restauro manutentivo. L'intervento ha ridotto le azioni longitudinali (operando sugli appoggi), ed ha mantenuto l'integrità strutturale degli elementi. Non ha però potuto rinforzare ulteriormente i portalini a causa di vincoli strutturali.

¹ APS Sistema di recupero dei vapori dal pontile, doc. P-1407- 001 , PPB -0000-001, del 03/07/2009.

Dobbiamo oggi ritenere che il carico gravitazionale oggi applicato sia prossimo al limite ammissibile.

Una soluzione esaminata ha preso in esame la possibilità di appendere le nuove tubazioni al di sotto dei pulvini. La figura 7 documenta lo spazio sotto i pulvini, in corrispondenza alle “lire” (o dilatatori), ed alle intersezioni tra rami del pontile. La figura mostra come gran parte dello spazio sia già occupata. Inoltre la soluzione aggraverebbe i carichi sui pali per l’ostacolo alle onde maggiori, figura 4.

Apparentemente la soluzione potrebbe essere quella di sistemare le nuove tubazioni nello spazio più alto, tra quelle “sospese”, (nella definizione richiamata nelle figure 1 e 2), sempre tramite appoggi scorrevoli. La soluzione comporta un moderato aumento dei carichi eolici trasversali, valutabile in 1 t per appoggio, ove si riesca a contenere l’ingombro entro 50 cm, pari al diametro nominale più lo schermo termico del tubo $\Phi 14$ ". Si tratta di un incremento di carico modesto, ma, come vedremo, i pali sono l’elemento critico.

Come problema correlato, si richiama che il monitoraggio e la manutenzione delle opere in c.a. del pontile ha oggi come principale ostacolo la congestione delle apparecchiature presenti. La soluzione proposta è destinata ad accrescere la difficoltà del monitoraggio e della manutenzione.

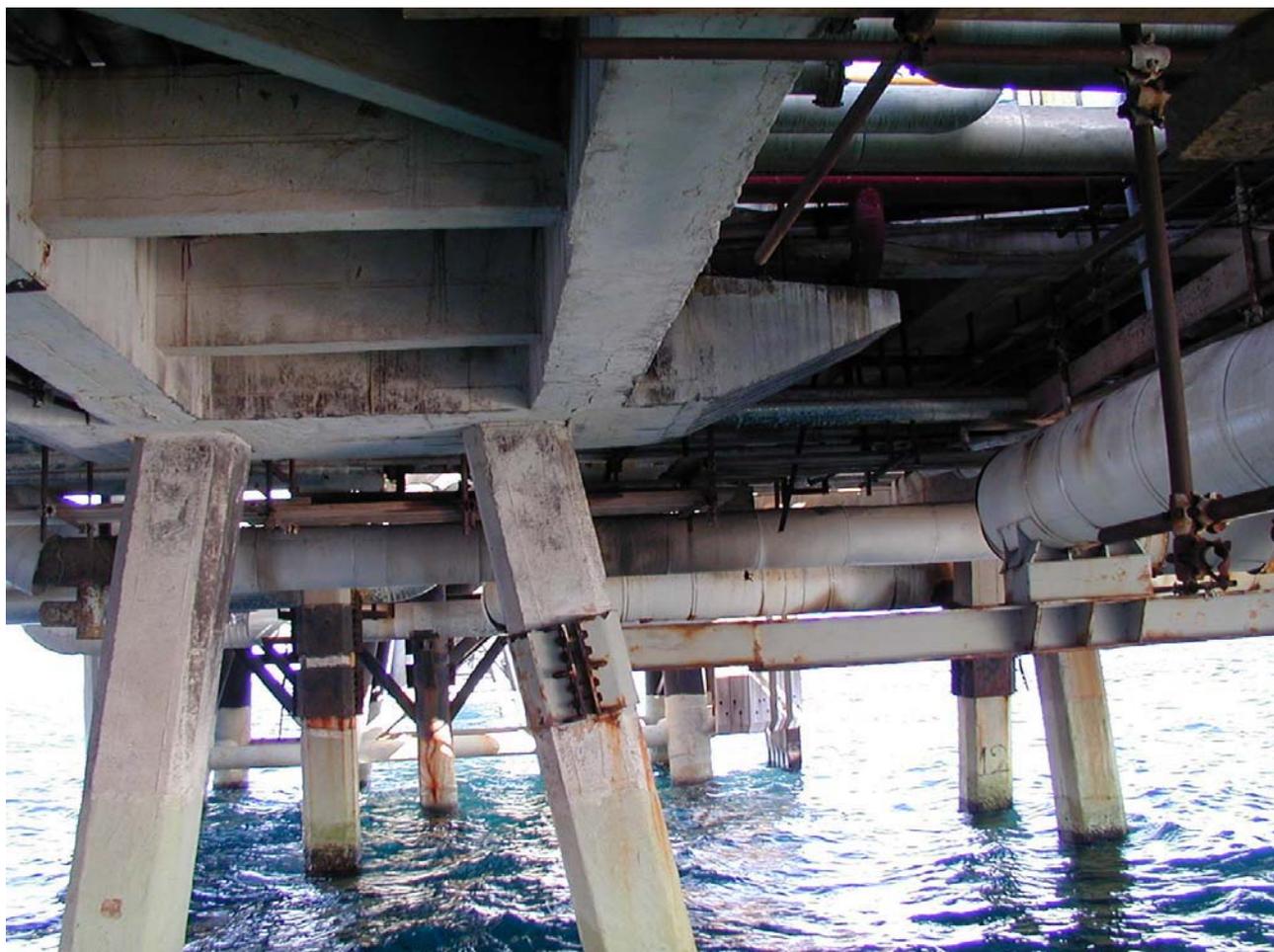


Fig. 7: Quota inferiore rispetto ai pulvini. Congestione delle tubazioni in corrispondenza alle “lire”, ed alle intersezioni tra rami del pontile.



Fig. 8: tubazioni in corrispondenza alla piattaforma intersezione.

Costruzione di una nuova palificata

Infine la costruzione di una nuova palificata, simmetrica rispetto alla palificata del greggio è stata giudicata di serio ostacolo alla manovra delle navi, come la figura 5 può chiaramente suggerire.

Pali

In occasione dell'intervento prospettato da APS deve essere messo in conto il rinforzo di alcune strutture, comunque si risolva il problema della disposizione delle nuove tubazioni rispetto a quelle esistenti, lungo il pontile principale.

Per tutti gli elementi fuori acqua del pontile, l'eventuale degrado e lo stato di sforzo sono stati oggetto di interventi di ripristino e di rinforzo, in particolare mediante la post tesatura già citata. Questa non ha effetto di rinforzo sui pali.

La resistenza dei pali è condizionata dalla resistenza del fusto, e dalla capacità portante del terreno. Il restauro del fusto per far fronte agli attacchi atmosferici è sotto controllo. Il rinforzo ha comportato provvedimenti superficiali sul fusto, fino ad incamiciature metalliche nei casi più importanti. Pressoché senza soluzione invece è l'obiettivo di incrementare la capacità portante del terreno.

La criticità dei pali è risultata evidente soprattutto sui pali in c.a.p. della piattaforma di carico, su alcuni pali della piattaforma di svincolo, e in particolare su quelli sotto la nuova sala controllo, sulla piattaforma intersezione.

L'inserzione di nuovi pali lungo il pontile principale appare impossibile per motivi pratici. **Richiederebbe inoltre un nuovo esame di impatto ambientale.**

Commento sulla fattibilità

Gli aspetti critici dell'esame di fattibilità, dal punto di vista strutturale, sono legati principalmente alla sistemazione delle nuove tubazioni, ed alla soluzione dell'interferenza con le tubazioni esistenti.

- Le nuove tubazioni non possono trovare sistemazione su apposite sospensioni, ancorate ai pulvini. Come è noto, lo stato di conservazione dei pulvini è diventato critico con il tempo, ed ha richiesto un intervento di restauro e di rinforzo.
- L'intervento richiede la costruzione di nuove sospensioni e conseguentemente sono previsti incrementi di carico. Aumentano anche i carichi laterali per l'aumento dell'ingombro del pontile, con una maggior esposizione alla pressione eolica incompatibile con le strutture attualmente disponibili.
- Per quanto, almeno in linea teorica l'aumento della resistenza di alcuni elementi strutturali in calcestruzzo o in acciaio potrebbe ancora essere possibile. Per quanto riguarda i pali, la

resistenza è condizionata, oltre che dal fusto, anche dalla capacità portante del terreno, che non può essere in alcun modo incrementata.

- La infissione di nuovi pali incontra problemi pratici pressoché insolvibili. Inoltre la eventuale infissione di nuovi pali renderebbe necessario sottoporre il progetto ad un **nuovo esame di uno studio di impatto ambientale.**

In fede, Milano 27 luglio 2009,

Alberto Castellani



Alberto Castellani

€ sul c/c.n. 87 10 12
di Euro 2000,00

IMPORTO
IN LETTERE DUEMILA/00

INTESTATO A TESORERIA PROVINCIALE SITO ROTA

CAUSALE
SISTEMA RECUPERO VAPORI FORTILIE
MODIFICA NON SOSTIZIBILE DEC 230 del 24/3/09

13/131 04 24-08-09 R1;
0044 €*2.000,00*;
VCY 0136 €*1,10*;
C/C 00871012 P 0022

SOLO DELL'UFFICIO POSTALE

ESEGUITO DA SAROS SPA
VIA - PIAZZA SS 195 km 19.2
CAP 09018 LOCALITÀ SORROCH (CS)

€ sul c/c.n. 87 10 12
di Euro 2000,00

IMPORTO
IN LETTERE DUEMILA/00

INTESTATO A TESORERIA PROVINCIALE SITO ROTA

CAUSALE
SISTEMA RECUPERO VAPORI FORTILIE
MODIFICA NON SOSTIZIBILE DEC 230 del 24/3/09

13/131 04 24-08-09 R2;
0044 €*2.000,00*;
VCY 0136 €*1,10*;
C/C 00871012 P 0022

SOLO DELL'UFFICIO POSTALE

ESEGUITO DA SAROS SPA
VIA - PIAZZA SS 195 km 19.2
CAP 09018 LOCALITÀ SORROCH (CS)