



Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare - D.G. Valutazioni e Autorizzazioni Ambientali

E.prot DVA - 2015 - 0022354 del 04/09/2015

versalis

Stabilimento di Brindisi

Via E. Fermi, 4

72100 Brindisi - Italia

Tel. centralino +39 08315701

stabilimento.brindisi@versalis.eni.com

Direzione e Uffici Amministrativi

Piazza Boldrini, 1 - 20097 San Donato Milanese (MI)

Tel. centralino: +39 02 5201

www.versalis.eni.com - Info@versalis.eni.com

Brindisi, 03/09/2015

Prot. DIRE/U/001727

Spett.le Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare  
Direzione Generale per le Valutazioni Ambientali  
via C. Colombo, n°44  
CAP 00147 - Roma  
[aia@pec.minambiente.it](mailto:aia@pec.minambiente.it)

E p.c. Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA)  
via Vitaliano Brancati, n°48  
CAP 00144 - Roma  
[protocollo.ispra@ispra.legalmail.it](mailto:protocollo.ispra@ispra.legalmail.it)

ARPA Puglia - Direzione Tecnica  
Corso Trieste, 27-70126 Bari  
[dir.scientifica.arpapuglia@pec.rupar.puglia.it](mailto:dir.scientifica.arpapuglia@pec.rupar.puglia.it)

ARPA-Puglia DAP di Brindisi  
via Galanti, n°16  
CAP 72100 - Brindisi  
[dap.br.arpapuglia@pec.rupar.puglia.it](mailto:dap.br.arpapuglia@pec.rupar.puglia.it)

Oggetto: Risposta a nota 'versalis S.p.A. impianto chimico sito nel Comune di Brindisi. Prima diffida per inosservanza delle prescrizioni autorizzative di cui alla nota ISPRA prot. N. 31106 del 14/07/2015' (U.prot. DVA 2015-0020250 del 03/08/2015)

Con riferimento all'oggetto si trasmette in allegato la 'NOTA DI RISPOSTA ALLA COMUNICAZIONE MATTM DVA-2015-0020250 DEL 3 AGOSTO 2015 RELATIVA AL BLOCCO DEL COMPRESSORE K 2001 A/B DELL'IMPIANTO STEAM CRACKING PICR DEL 02.07.2015'

Rimanendo a disposizione per ogni eventuale chiarimento, si porgono

Distinti Saluti

versalis  
Stabilimento di Brindisi  
Direttore di Stabilimento



versalis spa

Sede Legale: San Donato Milanese (MI) - Piazza Boldrini, 1 - Italia

Capitale sociale interamente versato: Euro 1.553.400.000,00

Codice Fiscale e registro Imprese di Milano 03823300821

Part. IVA IT 01768800748

R.E.A. Milano n. 1351279

Società soggetta all'attività di direzione

e coordinamento di Eni S.p.A.

Società con socio unico



**versalis**  
Stabilimento di Brindisi

**NOTA DI RISPOSTA ALLA COMUNICAZIONE MATTM DVA-  
2015-0020250 DEL 3 AGOSTO 2015 RELATIVA AL  
BLOCCO DEL COMPRESSORE K 2001 A/B DELL'IMPIANTO  
STEAM CRACKING P1CR DEL 02.07.2015**

**versalis**  
Stabilimento di Brindisi  
Direttore di Stabilimento  
Elio Rossetto



## INDICE

<b>1. INTRODUZIONE .....</b>	<b>3</b>
<b>2. RIFERIMENTI .....</b>	<b>3</b>
<b>3. ALLEGATI .....</b>	<b>4</b>
<b>4. FINALITA' .....</b>	<b>5</b>
<b>5. DESCRIZIONE DELL'EVENTO .....</b>	<b>6</b>
<b>6. IL TERMINALE DI TORCIA RV-101C.....</b>	<b>7</b>
6.1 Descrizione .....	7
6.2 Descrizione del sistema smokeless.....	8
6.3 Interventi di manutenzione/controllo periodico effettuati su sistemi di torcia.....	8
6.4 Riferimenti.....	9
<b>7. ANALISI DELLE NORMATIVE TECNICHE PER I SISTEMI DI TORCIA .....</b>	<b>10</b>
7.1 Generalità.....	10
7.2 Migliori Tecniche Disponibili a livello europeo (BAT).....	11
7.3 Standard US API.....	12
7.3.1 Capacità Smokeless .....	12
7.3.2 Condizioni generali di progettazione ed utilizzo .....	13
7.4 Guideline EPA .....	14
7.4.1 Potere Calorifico del Gas .....	14
7.4.2 Massima velocità di uscita del gas .....	15
7.4.3 Rapporto in peso Vapore-Gas .....	16
7.4.4 Efficienza di combustione .....	16
7.5 Considerazioni conclusive.....	17
<b>8. DESCRIZIONE DELLA DINAMICA DELL'EVENTO E VERIFICA DEL RISPETTO DELLE PROCEDURE INTERNE.....</b>	<b>18</b>
8.1 Azioni di risposta all'evento.....	18
8.2 Considerazioni sulla rispondenza del sistema .....	20
9. Conclusioni .....	21
<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>22</b>



**versalis**  
Stabilimento di Brindisi

## 1. INTRODUZIONE

In data 2 luglio 2015, alle ore 18:49 circa, si verificava il blocco del compressore di processo K-2001 A/B dell'impianto Steam Cracking P1CR per l'attivazione della relativa logica di blocco di sicurezza. L'impianto è stato quindi posto in sicurezza nelle previste condizioni di fermata di emergenza, in conformità alle procedure ed ai manuali operativi, con conseguente attivazione della torcia di emergenza RV101C.

A seguito dell'attivazione della torcia è stata effettuata tempestiva comunicazione agli Enti (Prot. ESER/U/000140 e DIRE/U/0001692 del 02/07/2015).

Con comunicazione U. prot. DVA 2015- 0020250 del 03/08/2015, il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (MATTM), a seguito della nota ISPRA 31106 del 14.07.2015, ha richiesto a Versalis la trasmissione di [...] una nota di approfondimento finalizzata al superamento della violazione riscontrata da ARPA Puglia con nota prot. 39019-157 del 09/07/2015 [...]

## 2. RIFERIMENTI

- Comunicazione versalis prot. ESER/U/000140 del 02/07/2015 a seguito dell'attivazione della torcia RV01C;
- comunicazione versalis prot. DIRE/U/0001692 del 02/07/2015 a seguito dell'attivazione della torcia RV101C;
- verbale n. 35 ARPA Puglia di constatazione dell'evento del 02/07/2015;
- comunicazione versalis ad ARPA Puglia prot. DIRE/U/001696 del 10/07/2015 in riscontro alle richieste del verbale di constatazione;
- comunicazione versalis ad ISPRA, ARPA Puglia e MATTM prot. DIRE/U/001697 del 10/07/2015 in ottemperanza al punto 11f del Para. 9.4.11 del parere conclusivo AIA, prot. DVA-DEC-2011-0000154;
- comunicazione ARPA Puglia, ricevuta in data 03/08/2015 tramite PEC, con richiesta di chiarimenti integrativi;
- comunicazione MATTM U. prot. DVA 2015- 0020250 del 03/08/2015, ricevuta tramite PEC in data 04/08/2015, con richiesta di una nota di approfondimento sul superamento della violazione riscontrata da ARPA;
- comunicazione versalis ad ARPA Puglia, prot. DIRE/U/001723 del 21/08/2015 in riscontro alle richieste di chiarimenti integrativi.



**versalis**  
Stabilimento di Brindisi

### 3. ALLEGATI

ALLEGATI	DESCRIZIONE
1	ACCENSIONE TORCIA RV 101C PER BLOCCO DEL COMPRESSORE K 2001 A/B DELL'IMPIANTO STEAM CRACKING P1CR DEL 2.07.2015 - Valutazione degli effetti ambientali



#### 4. FINALITA'

Il presente documento fornisce i chiarimenti e gli approfondimenti richiesti dal MATTM in relazione alla nota ARPA Puglia prot. 39019-157 del 09/07/2015, in cui ARPA segnalava [...] a giudizio della scrivente, la non ottemperanza della prescrizione n.13 di cui alla pag. 140 del provvedimento di AIA N.DVA-DEC 2011-0000514 del 16/09/2011 [...].

Si riporta di seguito la prescrizione contestata: "[...] in ogni caso le torce dovranno essere utilizzate solo in caso di emergenza e/o nelle fasi di avvio e spegnimento degli impianti a cui sono asservite, e devono essere esercitate senza generare emissioni visibili (fumo), indice di elevato contenuto di particolato, mediante l'immissione di vapore, ovvero nelle migliori condizioni smokeless consentite dalla tecnologia [...]"

Nella presente relazione si riportano:

- la descrizione dell'evento occorso;
- la descrizione del sistema di torcia RV-101C;
- l'analisi della normativa tecnica inerente la gestione delle torce di emergenza;
- la descrizione della dinamica dell'evento e la verifica del rispetto delle procedure interne;
- le conclusioni e la verifica dell'ottemperanza alle prescrizione AIA.

A completamento delle informazioni fornite, in Allegato 1 al presente documento, si riporta una valutazione degli effetti ambientali provocati dall'evento oggetto di approfondimento, calcolati mediante l'ausilio di un modello di simulazione delle ricadute atmosferiche, a riscontro ed integrazione del monitoraggio effettuato da ARPA Puglia.



**versalis**

Stabilimento di Brindisi

## 5. DESCRIZIONE DELL'EVENTO

In data 2 luglio 2015, alle ore 18.49 circa, si verificava il blocco del compressore di processo K-2001 A/B dell'impianto Steam Cracking P1CR, per attivazione della relativa logica di blocco di sicurezza.

Tale logica di blocco veniva attivata da una anomalia di un fusibile messo a protezione di un relè di sicurezza (R 1343), normalmente sotto tensione in posizione di contatti chiusi. Il relè, disattivandosi, apriva i contatti, dando il via alla prevista sequenza di blocco, in accordo al criterio di sicurezza "fail safe" del sistema che prevede per ogni anomalia possibile, interna od esterna al sistema, il raggiungimento dell'assetto impiantistico di massima sicurezza.

L'impianto è stato quindi posto in sicurezza in conformità alle procedure ed ai manuali operativi, con conseguente attivazione della torcia di emergenza RV101C.

A seguito del blocco sono state immediatamente attivate le risorse specialistiche elettro-strumentali per individuare la causa della attivazione della logica di blocco. Lo stabilimento, nel contempo, provvedeva, in accordo ai protocolli stabiliti con le Autorità competenti, a dare notizia dell'evento sia telefonicamente che mediante fax, attraverso comunicazioni scritte.

Sono state effettuate le necessarie operazioni di manutenzione e la logica di blocco è stata ripristinata nel giro di poco più di un'ora. Alle ore 20.10 circa, superata l'emergenza, è stato quindi possibile riavviare il compressore e procedere al ripristino delle normali condizioni di esercizio dell'impianto.



## 6. IL TERMINALE DI TORCIA RV-101C

### 6.1 Descrizione

La torcia RV-101C dello stabilimento versalis di Brindisi è dedicata a gestire gli scarichi di emergenza dell'impianto di cracking P1CR, dei serbatoi del parco stoccaggio PGS-GPL-S13-P39, del pontile, dell'impianto di produzione butadiene P30B, della centralina fuel gas, delle pensiline e degli impianti Enipower.

La torcia RV-101C ha una potenzialità pari a 650 t/h di idrocarburi in fase gassosa ed è alta 95 metri.

Il collettore di torcia è munito di un sistema di guardia idraulica ad acqua, la quale determina una contropressione di 600 mmH<sub>2</sub>O, allo scopo di evitare ingressi di aria e contemporaneamente consentire il recupero del gas di torcia attraverso i gasometri.

Alla base della torcia RV-101C è posizionato un rompi fiamma, al fine di impedire eventuali ritorni di fiamma nel collettore. Sulla sommità della torcia è installato un terminale (tip) ad alta efficienza, con diametro DN 54", che utilizza vapore prelevato dalla rete di stabilimento a media pressione (portata di progetto pari a 75 t/h) attraverso tre stadi di alimentazione per ottenere la combustione smokeless degli effluenti.

La capacità progettuale smokeless del sistema è pari a 150 t/h; in relazione tuttavia alla capacità smokeless verificata dal costruttore, tale capacità può raggiungere i valori massimi di 200 t/h.

Il vapore a media pressione è fornito da EniPower, società coinsediata nello stesso sito industriale.

Al tip della torcia RV 101/C sono installati n. 4 piloti, ciascuno munito di termocoppia per indicare la presenza di fiamma.

L'accensione dei piloti è effettuata:

- per 3 piloti a mezzo fronte fiamma con palla di fuoco,
- per 1 pilota a mezzo sistema piezoelettrico.

È installato inoltre un sistema di video-monitoraggio del terminale della torcia.

In caso di mancanza di energia elettrica il sistema di gestione delle valvole di regolazione dell'apporto di vapore smokeless, il sistema di misura del gas inviato alla torcia, il sistema di misura del vapore e il sistema di video-monitoraggio rimangono attivi, in quanto alimentati da unità UPS (Uninterruptible Power Supply).

L'affidabilità del sistema di accensione della torcia RV 101/C è garantita dall'installazione di n°4 piloti alimentati da Fuel Gas di Stabilimento o in alternativa da gas Metano (rete Snam). I piloti sono allarmati per mancanza fiamma.



## 6.2 Descrizione del sistema smokeless

Sul terminale di torcia RV-101C sono presenti n. 3 stadi di alimentazione del vapore con funzione "smokeless".

Tutti i collettori vapore sono continuamente flussati con una portata minima di vapore, tramite opportune linee munite di disco calibrato, allo scopo di raffreddare i relativi ugelli. La portata di vapore inviata in torcia è regolata a DCS.

Il sistema di immissione di vapore alla torcia è normalmente gestito in automatico ma può, in caso di necessità, essere gestito in modalità manuale. Lo schema di principio è riportato di seguito.

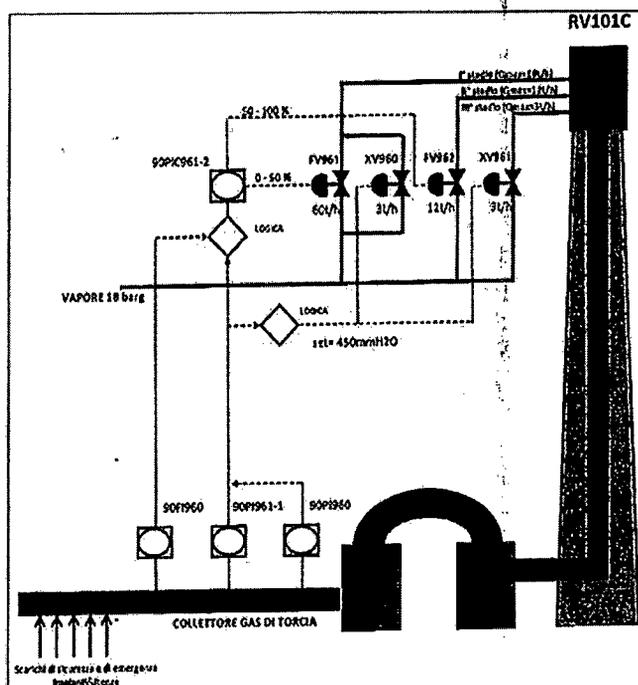


Figura 1: Schema di funzionamento smokeless torcia RV101C

## 6.3 Interventi di manutenzione/controllo periodico effettuati su sistemi di torcia

Il tip di torcia è preventivamente sostituito con frequenza tipicamente quinquennale, in occasione della fermata programmata dell'impianto Steam Cracking P1CR. Durante l'ultima fermata generale di stabilimento (maggio-giugno 2015) si è quindi provveduto alla sostituzione dell'item sopra citato e alla manutenzione generale del sistema di torcia.

L'istruzione operativa opi SAU/34 "Sorveglianza e controllo sistema smokeless torcia RV101C" prevede un controllo settimanale per la verifica della corretta funzionalità del sistema di alimentazione del vapore al tip della torcia.



Inoltre si precisa che in data 20/07/2015 è stata riscontrata una perdita di vapore sul collettore di alimentazione del vapore al II stadio del TIP di torcia (linea da 10") ad un'altezza di circa 60 m dal suolo.

La suddetta linea è coibentata con lana di roccia e lamierino e fissata mediante supporti all'interno del traliccio per un'altezza di circa 86 m.

L'intervento manutentivo sulla linea di vapore è stato programmato ed effettuato contestualmente alla fermata dell'impianto P1CR del 22 luglio 2015.

L'attività di manutenzione è stata affidata a ditta specializzata, che ha ripristinato la piena funzionalità del collettore attraverso gli interventi di scoibentazione, sostituzione di circa 3 metri di tubazione e successiva ricoibentazione.

#### 6.4 Riferimenti

ITAS	M.961089	Manuale - Istruzioni di funzionamento e manutenzione - Terminale torcia RV101C ITAS Mod. DCKS-54	26/05/1997
versalis	BR-506033	Schema di Marcia Massimizzazione Vapore a Torcia RV-101C	30/07/2012 Rev. 8
versalis	opi ESER/SAU 13 ve spa / br	Controllo operativo sistema smokeless torcia RV-101C	21/01/2013 Ed. 02
versalis	opi ESER/SAU 28 pe spa / br	Gestione della torcia di emergenza RV-101C	14/11/2011 Ed. 01
versalis	opi ESER/SAU34	Sorveglianza e controllo sistema smokeless torcia RV101C	29/12/2011 Ed. 01

Tabella 1: Riferimento documentazione interna versalis



## 7. ANALISI DELLE NORMATIVE TECNICHE PER I SISTEMI DI TORCIA

### 7.1 Generalità

La torcia di uno stabilimento petrolchimico è il sistema tramite il quale, nei previsti casi di emergenza, avvio e fermata, si attiva la reazione di combustione ad alta temperatura a cui inviare, in sicurezza, le correnti gassose, composte da prodotti combustibili organici, derivanti dai processi di lavorazione.

Durante la reazione di combustione la quasi totalità dei prodotti contenuti nel gas inviato in torcia viene trasformata in anidride carbonica ed acqua.

L'Efficienza di Combustione (EC) di una torcia è la percentuale delle emissioni gassose convogliate convertite in anidride carbonica, secondo la seguente formula [3]:

$$\% CE = \frac{CO_2}{CO_2 + CO + THC + Soot} \times 100$$

Con:

CO<sub>2</sub> = ppm in volume di Anidride Carbonica

CO = ppm in volume di Monossido di Carbonio

THC = ppm in volume di Idrocarburi Totali come Metano

Soot = ppm in volume di particolato solido/fulliggine sottoforma di Carbonio.

Secondo dichiarazione del fornitore, l'efficienza di combustione del tipo della torcia RV101C è maggiore del 99%.

Per raggiungere elevati livelli dell'efficienza di combustione è opportuno aggiungere ossigeno (aria comburente) al flusso di gas convogliato in torcia.

Tale aggiunta viene effettuata mediante iniezione di vapore che, oltre ad una azione di miscelazione turbolenta dei gas in uscita all'atmosfera, fornisce una quantità supplementare di ossigeno alla combustione.

Nella seguente figura viene riportato lo schema tipico di una torcia elevata nel quale, è presente il sistema di convogliamento del vapore.

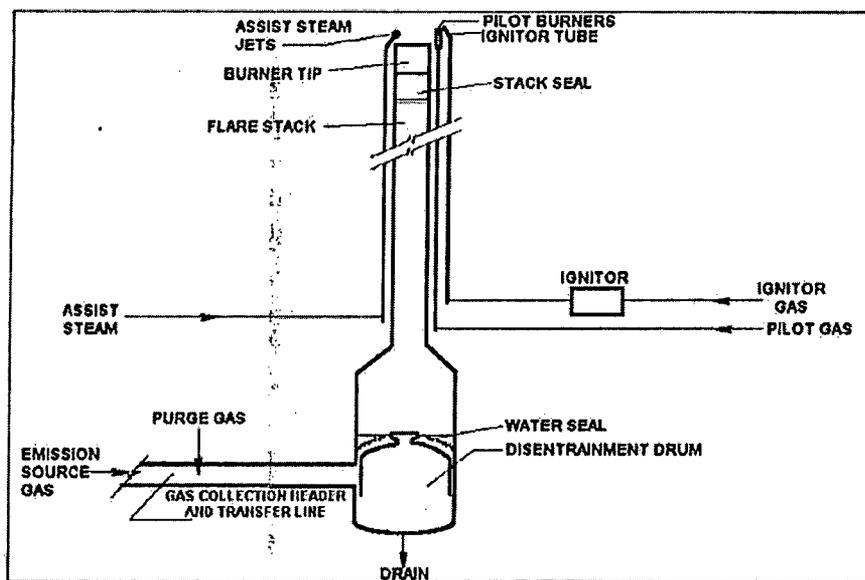


Figura 2: Struttura semplificata di una torcia "Vapore-assistita" [1]

Nei paragrafi seguenti vengono riportate le indicazioni citate dalle BAT e dalle normative tecniche di settore, relativamente alle torce smokeless.

## 7.2 Migliori Tecniche Disponibili a livello europeo (BAT)

Il documento di riferimento per le Migliori Tecniche Disponibili (BAT) applicabili all'esercizio della torcia elevata, come quella dello stabilimento versalis di Brindisi, è il "Reference Document on Best Available Techniques in the Large Volume Organic Chemical Industry (BRef LVOC) - February 2003 [2]" che suggerisce che la torcia disponga di piloti permanenti e di piloti rivelatori di fiamma, mix efficienti (di solito mediante iniezione di vapore), rapporti controllati del flusso di idrocarburi e monitoraggio mediante circuito televisivo.

Come già evidenziato nella documentazione tecnica allegata alla domanda di AIA, Allegato D.15 "Altro" (rif. Doc. n° 06-411-H1 del Marzo 2007), la torcia RV101C asservita all'impianto di steam cracking è smokeless di tipo elevato.

La buona efficienza di combustione in torcia, anche a carichi elevati, è assicurata dall'iniezione di ingenti quantità di vapore su una serie di venturi posti perimetralmente al tip, con incremento della quantità di aria miscelata. La torcia è dotata di piloti con termocoppie, iniezione di vapore e continuamente monitorata da un sistema di telecamere a circuito chiuso.

In base a quanto riportato, pertanto, dal punto di vista progettuale la torcia RV101C è conforme alle BAT di settore.

Da segnalare infine che nella sezione descrittiva del BRef LVOC vengono indicate capacità smokeless dei terminali pari al 10-15% della capacità complessiva su cui questi sono

dimensionati (portata di gas alla torcia corrispondente al "worst case" di progetto), valori che possono arrivare anche fino ad un terzo circa di tale capacità (Bref LVOC pag 181).

Come riportato al paragrafo 6, la capacità progettuale smokeless del sistema è pari al 23% della capacità complessiva (150 t/h su 650 t/h), valore collocato nella fascia più elevata rispetto a quelli riportati nelle Bref. In relazione tuttavia alla capacità smokeless verificata dal costruttore, tale capacità può raggiungere i valori massimi riconosciuti dalle Bref pari al 31% circa (200 t/h su 650 t/h).

## 7.3 Standard US API

### 7.3.1 Capacità Smokeless

In relazione alla progettazione e gestione dei sistemi di torcia, la definizione della capacità smokeless viene introdotta dagli standard tecnici API (American Petroleum Institute), i quali fanno riferimento alla scala di opacità Ringelmann [10]. Tale scala suddivide in una scala di 6 valori l'opacità del fumo percepito dall'occhio umano in relazione ad un confronto diretto con dei campioni di riferimento.

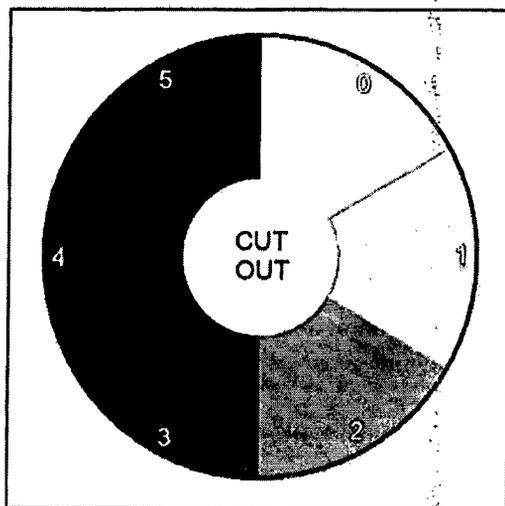


Figura 3: Scala di Ringelmann – scala di opacità semplificata

Al fine di ottenere la combustione senza emissioni visibili il terminale di torcia deve essere supportato attraverso l'iniezione di un gas di supporto, come ad esempio vapore, al fine di creare turbolenza, migliorare la miscelazione del gas-comburente ed aumentare quindi l'efficienza di combustione. [1]



### 7.3.2 Condizioni generali di progettazione ed utilizzo

Lo Standard API 521 indica come la quantità di vapore necessario per avere una combustione senza fumo dipenda dalla portata del gas di torcia e dalla specifica composizione della miscela di gas convogliati in torcia. Alcuni parametri chiave sono la percentuale di idrocarburi insaturi, la percentuale di gas inerti e la massa molecolare della miscela [8].

Per le torce "vapore-assistite" la quantità di vapore immessa limita la produzione di fumo durante l'attivazione. Generalmente i picchi di efficienza di combustione, contraddistinti da una fiamma pulita e senza fumo, sono correlati a rapporti in peso vapore/gas variabili tra circa 0,1 per l'Etano e 1,2 per il Pentadiene.

La tabella seguente riporta i valori del rapporto in peso vapore/gas, suggeriti dallo standard API 521 per varie classi di composti idrocarburi, al fine di avere una combustione smokeless.

Gases Being Flared	Approximate Steam Rate <sup>a b</sup> kg (lb) of steam per kg (lb) of hydrocarbon gas
<b>Paraffins</b>	
Ethane	0.10 to 0.15
Propane	0.25 to 0.30
Butane	0.30 to 0.35
Pentane plus	0.40 to 0.45
<b>Olefins</b>	
Ethylene	0.40 to 0.50
Propylene	0.50 to 0.60
Butene	0.60 to 0.70
<b>Diolefins</b>	
Propadiene	0.70 to 0.80
Butadiene	0.90 to 1.00
Pentadiene	1.10 to 1.20
<b>Acetylenes</b>	
Acetylene	0.50 to 0.60
<b>Aromatics</b>	
Benzene	0.80 to 0.90
Toluene	0.85 to 0.85
Xylene	0.90 to 1.00

Tabella 2: Valori di Vapore/ Gas suggeriti dallo standard API 521 per varie classi di Idrocarburi [8]

I valori sopra riportati sono stati proposti dall'API STD 521 quali range indicativi attraverso i quali ottenere un'opacità pari al valore 0 della scala Ringelmann.

La composizione dei gas inviati in torcia, fornita dal Gestore nelle precedenti comunicazioni, evidenzia che oltre il 90% del gas era costituito da azoto, metano, idrocarburi C2 e C3 (assimilabili, in base al processo di produzione, ad etilene e propilene). Il restante è assimilabile ad idrocarburi C4 e C5. Il trend del Peso Molecolare per l'evento in oggetto evidenzia un andamento circa costante per tutta la durata dello scarico. In relazione alla tabella su riportata



**versalis**

Stabilimento di Brindisi

ed ai dati relativi all'evento in analisi, secondo lo standard API 521 condizione necessaria a garantire lo smokeless era un rapporto in peso vapore/gas non inferiore a 0,6.

I trend delle portate dei gas e del vapore relativi all'evento del 2 luglio 2015 consentono di affermare che tale rapporto è risultato essere sempre maggiore di 0,6 tranne per circa 70 secondi rilevati nel primo periodo transitorio; dopo circa 6 minuti dall'inizio dell'evento il rapporto è stato stabilmente superiore a 0,6 (per maggiori dettagli si rimanda al par. 8.1).

Fatta salva la prima fase transitoria, il rapporto in peso vapore/gas è sempre stato pari o superiore a 0,9 garantendo così la condizione smokeless anche per i componenti più pesanti e gli insaturi presenti in piccole percentuali nel gas.

## 7.4 Guideline EPA

L'EPA, sulla base di una serie di studi condotti sulle torce nei primi anni 1980, indica che i principali parametri alla base di una elevata efficienza, riportati nel regolamento CFR (Code of Federal Regulations) 40 CFR 60.18 [4], sono i seguenti:

- le emissioni visibili;
- il potere calorifico del gas;
- la massima velocità di uscita del gas;
- rapporto in peso fra vapore e gas idrocarburici.

### 7.4.1 Potere Calorifico del Gas

Le torce "vapore-assistite" devono essere utilizzate con gas convogliati che abbiano un potere calorifico non al di sotto dei 300 Btu/scf (11,2 MJ/m<sup>3</sup>). Come dimostra il grafico sottostante, che riporta gli esiti di studi sull'efficienza di combustione realizzati sia dall'EPA (anni 80) che dal International Flare Consortium (2010), efficienze al di sopra del 98% sono indistintamente raggiunte da gas con potere calorifico anche notevolmente differente (ca 200-225 BTU/scf).

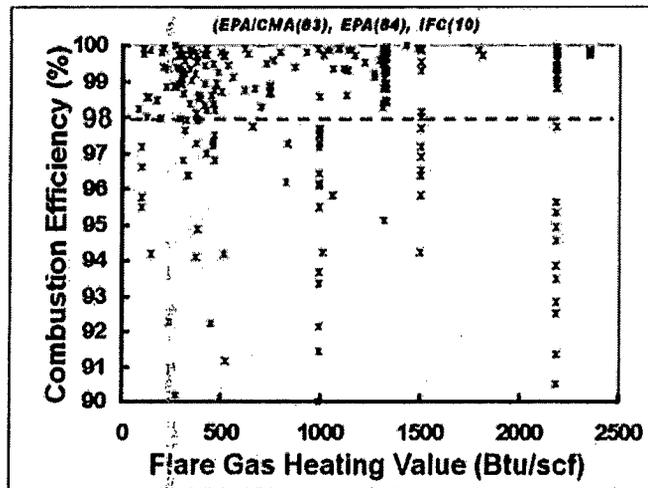


Figura 4.: Efficienza di combustione e potere calorifico del gas [6]

Da simulazioni condotte il potere calorifico del gas inviato in torcia durante l'evento del 02 luglio 2015 era pari a circa 43 MJ/m<sup>3</sup>.

#### 7.4.2 Massima velocità di uscita del gas

La massima velocità di flusso consentita è indicata come:

- < 60 ft/sec (18,28 m/s) per gas con potere calorifico di 300 BTU/scf (11,2 MJ/m<sup>3</sup>);
- 400 ft/sec (121,92 m/s) per gas con potere calorifico maggiore di 1000 BTU/scf (37,3 MJ/m<sup>3</sup>);
- Per i gas con potere calorifico compreso tra i 300-1.000 BTU/scf, la massima velocità suggerita viene determinata dalla seguente formula [4]:

$$\log_{10}(V_{max}) = \frac{B_r + 1,214}{852}$$

Con  $B_v$  = Potere calorifico del gas in BTU/scf

Per il caso in oggetto, con un potere calorifico stimato in 43 MJ/m<sup>3</sup>, la massima velocità consentita è di 121,92 m/s. Il calcolo effettuato in corrispondenza alla massima portata di gas e vapore attraverso il tip consente di stimare la massima velocità raggiunta in 24 m/s.



### 7.4.3 Rapporto in peso Vapore-Gas

Le guideline EPA indicano che un buon rapporto in peso tra il vapore immesso nel sistema ed il gas inviato in torcia risulta determinante per garantire una efficienza di combustione che sia prossima al 100%, con picchi di efficienza per le torce "vapore-assistite" [6] raggiunti per valori del rapporto pari a circa 0,5 kg di vapore per kg di gas; tale rapporto nel corso dell'evento del 02 luglio 2015 è stato raggiunto dopo un transitorio iniziale di circa 60 secondi.

### 7.4.4 Efficienza di combustione

Si riporta in conclusione una tabella riassuntiva [3] che, sulla base di studi condotti dall'EPA, mette in relazione i vari parametri sopra considerati, quali la velocità del flusso, il potere calorifico, il rapporto in peso vapore/gas e l'efficienza di combustione.

Test Number	Relief Gas		Steam-to-Relief Gas Ratio (Lb/Lb)	Combustion Efficiency (%)	Comments
	Flow (SCFH)	Heating Value (Btu/SCF)			
<b>STEAM-ASSISTED FLARE TESTS</b>					
1	473	2183	0.688	99.96	
2	464	2183	0.508	99.82	
3	486	2183	0.448	99.82	
4	283	2183	0	99.80*	Incipient smoking flare
6	157	2183	0	99.81*	Smoking flare
7	154	2183	0.757	99.84	Smoking flare
5	149	2183	1.55	99.84	Incipient smoking flare
67	148	2183	0.725	99.94	
17	24.5	2183	0.926	--	Sampling probe in flare flame
80	24.4	2183	3.07	99.84	
56	24.5	2183	3.45	99.45	
61	25.0	2183	5.87	99.70	
85	24.7	2183	6.86	82.18	Steam-quenched flare
57	703	294	0.160	68.95	Steam-quenched flare
11a	660	305	0	99.90	
11b	599	342	0	99.79	
11c	556	354	0	99.86	
59a	591	192	0	99.82	
59b	496	232	0	97.95	
60	334	298	0	99.33	
51	325	309	0.168	98.92	
14a	320	339	0	98.66	
14b	252	408	0	99.73	No smoke
16c	194	519	0	99.75	No smoke
16d	159	634	0	99.74	Incipient smoking flare
54	0.356	209	0	99.78	Smoking flare
23	0.494	267	0	99.90	
52	0.526	268	77.5	100.01	
53	0.356	209	123	98.82	
				99.40	

Tabella 3: Risultati del test EPS sull'efficienza di combustione delle torce "vapore-assistite" [3]

Dai dati riportati si rileva come la presenza di fumo alla torcia non sia necessariamente legata ad una bassa efficienza di combustione; in alcuni casi, infatti, i test in cui è stato rilevato del fumo hanno evidenziato un'efficienza anche più alta rispetto a quella di casi in cui si è non manifestata fumosità.



## 7.5 Considerazioni conclusive

Allo scopo di valutare l'efficienza della tecnologia smokeless adottata dallo stabilimento versalis di Brindisi in relazione all'evento del 02 luglio 2015, ci si è avvalsi delle normative tecniche referenziate (API, EPA). I risultati del confronto tra tali normative e quanto verificatosi nel corso dell'evento in oggetto sono sintetizzati in tabella seguente:

Norma di riferimento	Parametro	Evento 02.07.2015	Note
API 521	Rapporto in peso vapore/gas superiore a 0,6	• Rapporto maggiore di 0,6 per tutto l'evento a meno di circa 70 secondi registrati nei primi minuti dall'attivazione.	
EPA	Durata massima della fase non smokeless pari a 5 minuti su 120 minuti di osservazione	• In base alle considerazioni sviluppate è possibile ritenere che durante il transitorio di avviamento della torcia tale fase abbia avuto una durata di circa 60÷70 secondi.	Si fa presente che la torcia è del tipo "freddo", normalmente non interessata da flusso
	Potere calorifico gas superiore a 11, 2 MJ/m <sup>3</sup>	• Potere calorifico del gas pari a circa 43 MJ/m <sup>3</sup>	La condizione deve essere rispettata per poter utilizzare la tecnologia "vapour assisted"
	Massima velocità del gas in uscita pari a 121,92 m/s	• Massima velocità raggiunta dai gas pari a 24 m/s	
	Rapporto in peso vapore/gas superiore a 0,5	• Rapporto maggiore di 0,5 per tutto l'evento a meno del primo transitorio di 60 sec	

Tabella 4: Confronto evento 02.07.15 con normative tecniche di settore

In conclusione, quindi, l'evento del 2 luglio 2015 è in linea con quanto previsto dalle normative tecniche di settore (API, EPA) per garantire elevate efficienze di combustione e scarichi smokeless e, in generale, la torcia RV101C è dotata di tutti i requisiti previsti dalle migliori tecnologie disponibili (BAT).

Ciò premesso, si ritiene che la prescrizione che impone che "[...] le torce devono essere esercitate senza generare emissioni visibili (fumo), indice di elevato contenuto di particolato, mediante l'immissione di vapore, ovvero nelle migliori condizioni smokeless consentite dalla tecnologia [...]" sia stata pienamente soddisfatta nel corso dell'evento del 2 luglio 2015.



## 8. DESCRIZIONE DELLA DINAMICA DELL'EVENTO E VERIFICA DEL RISPETTO DELLE PROCEDURE INTERNE

### 8.1 Azioni di risposta all'evento

Come riportato in precedenza, a seguito dell'arresto del compressore K-2001 avvenuto il 02 luglio 2015 si è attivato il terminale di torcia RV-101C.

In particolare alle ore 18:49 il misuratore di portata di gas di torcia ha iniziato a rilevare una portata non nulla (evento). Il sistema di immissione vapore ha reagito determinando l'apertura immediata delle valvole secondo quanto previsto dal progetto.

La portata di gas di torcia è aumentata nei primi minuti, raggiungendo un picco assoluto di 183 t/h dopo 350 s, corrispondente ad una velocità di uscita di circa 24 m/s, per poi diminuire progressivamente.

In Figura 5 si riportano i dati di alimentazione della torcia nei momenti immediatamente successivi alla sua attivazione (primi 25 minuti); in particolare sono rappresentate in rosso le curve di portata massica rispettivamente del gas di torcia (linea continua) e del vapore (linea tratteggiata). In blu viene rappresentato il rapporto massico fra portata di vapore e portata di gas di torcia.

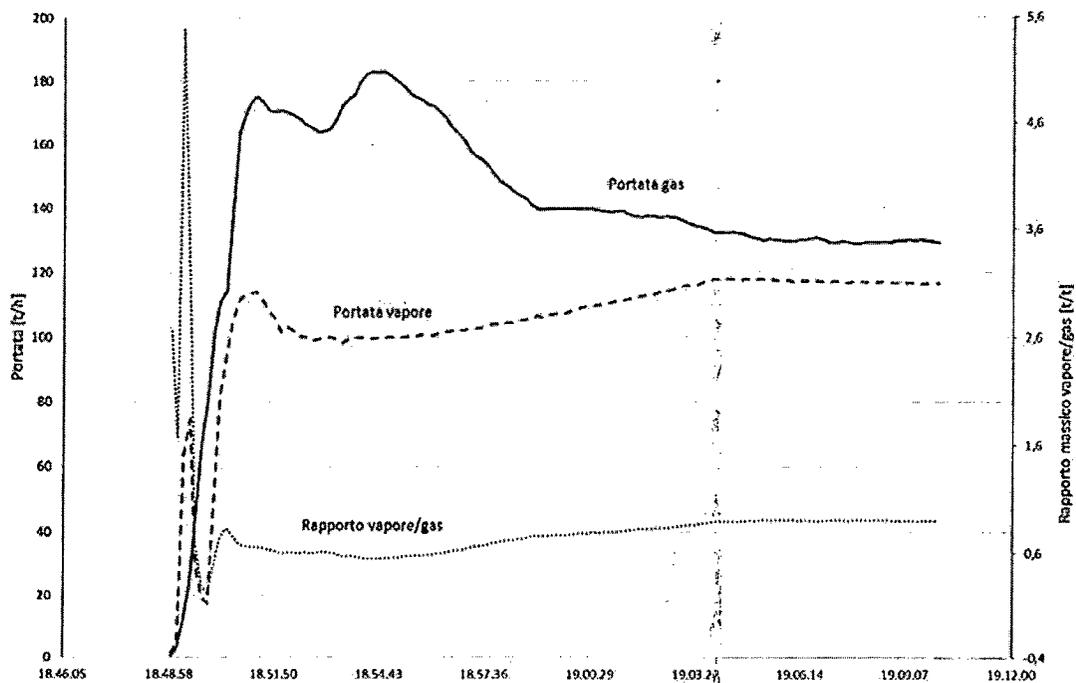


Figura 5: Andamento portate primi 25 minuti



In Figura 6 si riporta il grafico dei dati di alimentazione per le prime due ore di attività: alle ore 20:15 (dopo circa 90 min dall'evento) è stato riavviato il compressore in blocco con conseguente successiva normalizzazione delle condizioni di esercizio.

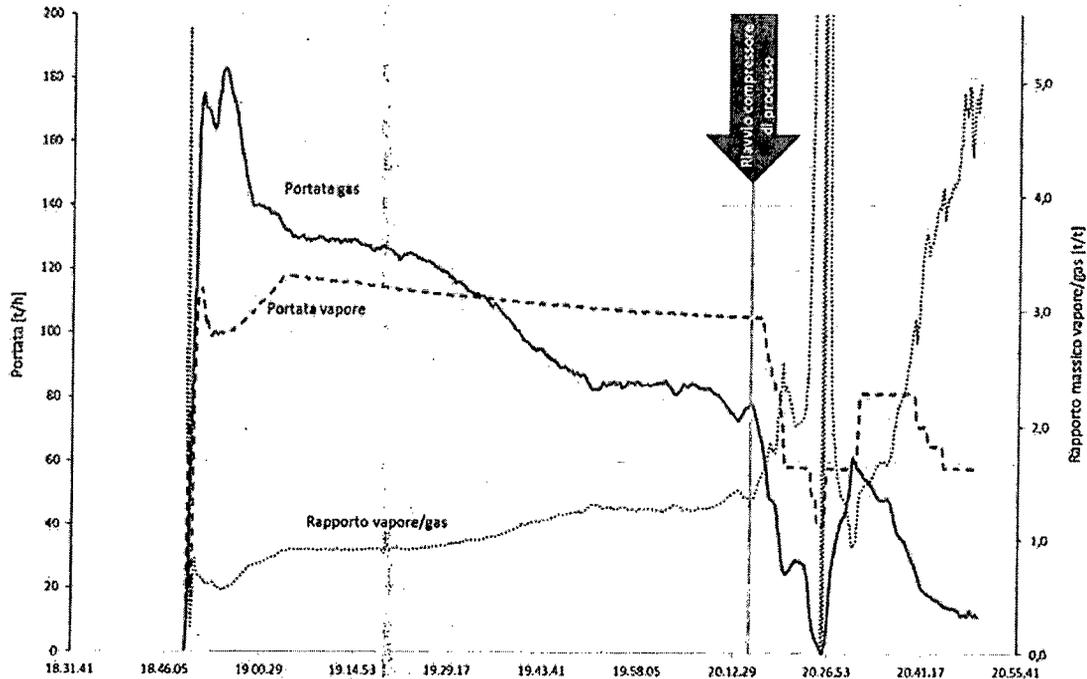


Figura 6: Andamento portate prime due ore

Il rapporto vapore/combustibile è risultato inferiore al valore di 0,5 t/t esclusivamente nei primi 60 s dall'evento, è stato inferiore a 0,6 t/t solo per 70 secondi registrati nei primi minuti dall'inizio dell'evento e dopo circa 6 minuti il rapporto si è stabilizzato su valori sempre superiori a 0,6 t/t.

Il punto di discontinuità del rapporto vapore/gas (intorno alle 20.25) corrisponde alla continuità dell'efflusso di vapore in corrispondenza ad un valore pressoché nullo del flusso di gas alla torcia a seguito del riavviamento del compressore di processo.

Nel successivo grafico si riporta, in blu, la curva cumulativa dei gas inviati al sistema di torcia e l'andamento del peso molecolare del gas di torcia durante l'evento.

Dal grafico si evince che il peso molecolare del gas di torcia ha un valore stabile intorno ai 30 kg/kmol e rimane costante in tutta la fase più critica dell'evento.

Nei primi 15 min il quantitativo di gas inviato in torcia è stato di 30 t e dopo 60 minuti complessivamente 115 t.

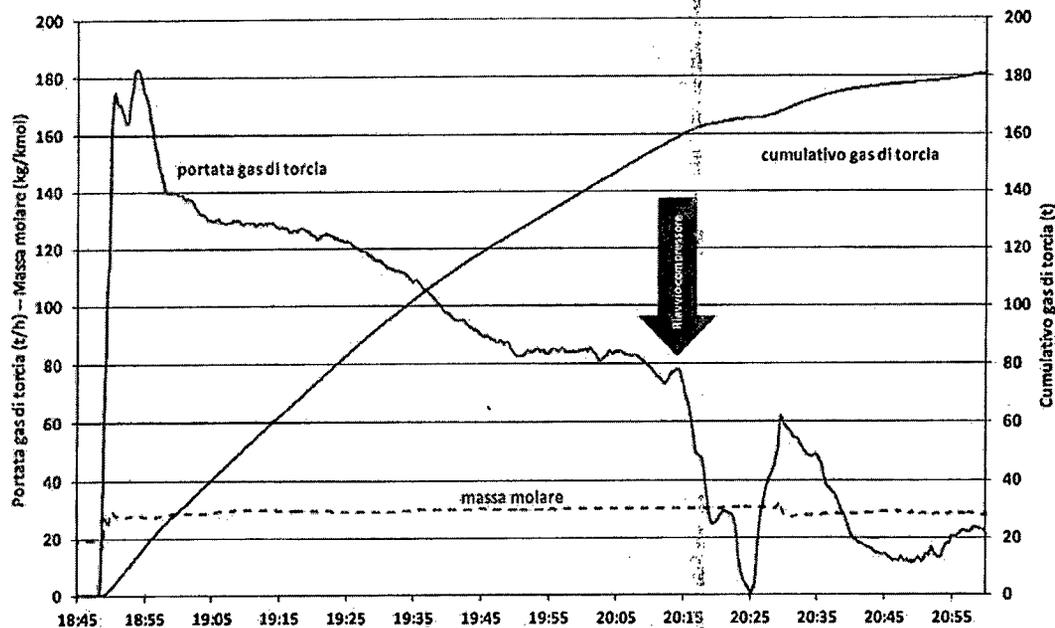


Figura 7: Trend gas di torcia prime due ore

## 8.2 Considerazioni sulla rispondenza del sistema

In relazione alle indicazioni del manuale operativo e delle procedure di gestione del sistema è possibile trarre le seguenti considerazioni sulla gestione dell'evento di attivazione della torcia RV-101C:

- il sistema di immissione vapore è intervenuto automaticamente, immediatamente alla rilevazione del primo gas di torcia seguito al blocco del compressore;
- la portata di vapore si è sempre mantenuta a valori coerenti con quelli di progetto.

In considerazione delle osservazioni sovra esposte e dall'analisi dei dati delle registrazioni dell'evento, risulta che la conduzione degli impianti e del terminale di torcia è avvenuta in accordo con le indicazioni progettuali, che risultano conformi alle migliori tecniche disponibili e in accordo alle BAT.

La gestione operativa ha risposto con immediatezza all'evento, attuando le migliori condizioni smokeless disponibili presso lo stabilimento.



## 9. Conclusioni

In relazione alla violazione della prescrizione n. 13 del provvedimento DVA-DEC-2011-0000514 del 16/09/2011 segnalata da ARPA Puglia, tenendo in considerazione quanto riportato nei precedenti paragrafi, si afferma quanto segue:

### 1) Uso della torcia in condizioni di emergenza/sicurezza

La Torcia RV 101C è stata utilizzata in situazione di emergenza e della messa in sicurezza degli impianti, come previsto dalla autorizzazione AIA.

### 2) Immissione di vapore

Dai grafici si evince la immediata immissione di vapore nei gas inviati in torcia. Il rapporto vapore/gas è stato sempre in accordo al valore di riferimento delle normative.

### 3) Migliori condizioni smokeless consentite dalla tecnologia

In relazione ai parametri operativi registrati e analizzati nella presente relazione, il sistema torcia è stato gestito durante l'evento garantendo le migliori condizioni smokeless consentite dalla tecnologia, in accordo alle BAT ed agli standard referenziati più autorevoli applicabili (API, EPA).

Per tali motivi la scrivente società ritiene che nell'evento del 2 luglio 2015 sia stata pienamente rispettata la prescrizione n.13 di cui alla pagina 140 del parere istruttorio conclusivo del procedimento di AIA, parte integrante del provvedimento di autorizzazione DVA\_DEC-2011-0000514 del 16/09/2011.



## BIBLIOGRAFIA

- [1] EUROPEAN COMMISSION, 2003 - Integrated Pollution Prevention and Control Reference Document on Best Available Techniques (BRef) in Common Waste Water and Waste Gas Treatment / Management Systems in the Chemical Sector February 2003.
- [2] EUROPEAN COMMISSION, 2003 - Integrated Pollution Prevention and Control Reference Document on Best Available Techniques (BRef) in the Large Volume Organic Chemical Industry -February 2003.
- [3] M. McDaniel, US ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA) 600/2-83-052, 1983 - Flare efficiency study.
- [4] L.B. Evans et al., US ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA) 452/B-02-001, 2000 - VOC Destruction Controls.
- [5] CODE OF FEDERAL REGULATIONS (CFR) 40 C 60.18 - Protection of environment - Standards of performance for new stationary sources.
- [6] J.G. Seebord, 2011 - Combustion Efficiency of Industrial Flares Revisited.
- [7] D. Shore, 1996 - Making the flare safe, J. loss Prev. Process Ind. Vol 9 No 6 pp363-381.
- [8] API STANDARD 521, 2014 - Pressure-relieving and Depressuring Systems.
- [9] ANSI/API STANDARD 537 – Flare Details for General Refinery and Petrochemical Service – Second edition, December 2008 [1] Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Refining of Mineral Oil and Gas 2015: 5.18 BAT conclusions for flares
- [10] RINGELMANN SMOKE CHART (Revision of IC 7718) By Staff, Bureau of Mines UNITED STATES DEPARTMENT OF THE INTERIOR - May 1967
- [11] U.S.EPA - AP-42 Chapter 13: Miscellaneous Sources Section 13.5 Industrial Flares
- [12] U.S.EPA – “SCREEN3 Model User’s Guide”.

## **Pec Direzione**

---

**Da:** direzione\_br@pec.versalis.eni.com  
**Inviato:** giovedì 3 settembre 2015 16:35  
**A:** minambiente aia  
**Cc:** ispra; arpa bari; arpa; Elio Russo; Dino Polverini; Lara Politi; neglia  
**Oggetto:** Risposta a nota "versalis S.p.A. impianto chimico sito nel Comune di Brindisi. Prima diffida per inosservanza delle prescrizioni autorizzative di cui alla nota ISPRA prot. N. 31106 del 14/07/2015" - SPEDIZIONE 1 DI 2  
**Allegati:** DIRE U 001727.pdf; nota di risposta \_ allegato dire u 001727.pdf  
**Priorità:** Alta

In allegato si riporta la comunicazione di cui all'oggetto.

Distinti saluti

Elio Russo  
Direttore di stabilimento  
versalis Brindisi



**versalis**  
Stabilimento di Brindisi

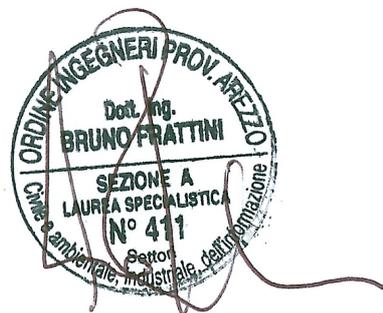
**ACCENSIONE TORCIA RV101C PER BLOCCO DEL COMPRESSORE K  
2001 A/B DELL'IMPIANTO STEAM CRACKING P1CR DEL 02.07.2015**

---

## **Valutazione degli effetti ambientali**

---

Progetto n° 15230I



15230I_Modellazioni_rev 03 09 15 docx.docx	3 Settembre 2015	01	A. ROMITI	G. MONNANNI
<b>Nome file</b>	<b>Data</b>	<b>Revisione</b>	<b>Elaborato da</b>	<b>Controllato da</b>
Il presente documento è composto da una Relazione di n° 23 pagine, da n° 1 Allegato				

**ACCENSIONE TORCIA RV101C PER BLOCCO DEL COMPRESSORE K 2001 A/B DEL 02.07.2015****INDICE**

<b>INTRODUZIONE .....</b>	<b>3</b>
<b>SCOPO .....</b>	<b>3</b>
<b>ESTENSORI .....</b>	<b>3</b>
<b>METODOLOGIA ADOTTATA .....</b>	<b>4</b>
<b>DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO .....</b>	<b>4</b>
<b>1 IL PUNTO DI EMISSIONE .....</b>	<b>5</b>
1.1 Torcia di emergenza RV101C .....	5
1.2 Posizione .....	6
1.3 Dati progettuali della torcia .....	7
1.4 Dati meteorologici.....	7
1.5 Definizione dei flussi emessi .....	7
<b>2. IL MODELLO DI SIMULAZIONE .....</b>	<b>8</b>
2.1 Il modello base: ISC3 .....	8
2.2 Il modello utilizzato: SCREEN3 .....	8
<b>3. CONDIZIONI DI RIFERIMENTO PER LE EMISSIONI .....</b>	<b>9</b>
3.1 Portata di gas alla torcia.....	9
3.2 Fattori di emissione.....	10
3.3 Condizioni emissive finali .....	11
<b>4. RISULTATI DELLE SIMULAZIONI .....</b>	<b>12</b>
4.1 Dati numerici.....	12
4.2 Mappe delle ricadute .....	14
<b>5. ANALISI E CONFRONTI.....</b>	<b>16</b>
5.1 Confronto con i dati misurati al suolo .....	16
5.2 Confronto con gli standard di qualità applicabili .....	20
5.3 Considerazioni finali .....	22
<b>ALLEGATI.....</b>	<b>23</b>

**ACCENSIONE TORCIA RV101C PER BLOCCO DEL COMPRESSORE K 2001 A/B DEL 02.07.2015**

## INTRODUZIONE

In data 2 luglio 2015, alle ore 18.48 circa, si verificava il blocco del compressore di processo K 2001 A/B dell'impianto Steam Cracking P1CR, per attivazione della relativa logica di blocco di sicurezza.

L'impianto è stato quindi posto in sicurezza nelle previste condizioni di fermata di emergenza, in conformità alle procedure ed ai manuali operativi, con conseguente attivazione della torcia di emergenza RV101C. Sono state effettuate le necessarie operazioni di manutenzione e la logica di blocco è stata ripristinata nel giro di poco più di un'ora. Alle ore 20.10 circa, superata l'emergenza, è stato quindi possibile riavviare il compressore e procedere al ripristino delle normali condizioni di esercizio dell'impianto.

## SCOPO

Il presente documento illustra la metodologia, le ipotesi ed i risultati ottenuti al fine di valutare gli effetti ambientali dell'evento occorso il 2 luglio 2015, in termini di ricadute e concentrazioni al suolo dei prodotti della combustione derivanti dall'accensione e funzionamento della torcia di emergenza RV101C, mediante l'applicazione di modelli matematici di simulazione referenziati.

La valutazione ha lo scopo di quantificare il contributo alle concentrazioni al suolo degli inquinanti emessi associabili alle emissioni della torcia RV101C, rispetto ai valori di fondo misurati nella area prossima allo stabilimento dalle centraline di monitoraggio ARPA, nelle stesse ore.

I prodotti della combustione considerati sono:

- Ossidi di Azoto;
- Monossido di Carbonio;
- Polveri totali.

## ESTENSORI

Gli estensori responsabili dello studio e valutazione degli effetti ambientali dell'accensione e funzionamento continuo della torcia di emergenza RV101C sono gli ingegneri Alessandro Eugeni e Annalisa Romiti, con la supervisione dell'ing. Bruno Frattini della ICARO srl.

**ACCENSIONE TORCIA RV101C PER BLOCCO DEL COMPRESSORE K 2001 A/B DEL 02.07.2015****METODOLOGIA ADOTTATA**

La valutazione è stata impostata e sviluppata nelle seguenti fasi:

1. Definizione del punto di emissione e delle condizioni al contorno;
2. Selezione del modello di simulazione;
3. Determinazione delle condizioni di riferimento del flusso dei gas in torcia;
4. Simulazione delle ricadute e concentrazioni al suolo dei prodotti di combustione;
5. Analisi dei risultati e confronto con i dati registrati da ARPA Puglia e con i limiti applicabili di qualità dell'aria;
6. Considerazioni finali.

**DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO**

I documenti consultati ed utilizzati per lo studio sono i seguenti:

1. "Relazione tecnica sul blocco del compressore di processo K2001 A/B dell'impianto steam cracking P1CR del 02/07/2015"; documento Versalis Prot. DIRE/U/001696 del 10/07/2015.
2. "Rapporto attività di ARPA Puglia del 2/07/2015" del 7 luglio 2015, allegato alla comunicazione MATTM U.prot.DVA 2015- 0020250 del 03/08/2015.
3. Istruzioni di funzionamento e manutenzione – Manuale del Terminale torcia RV101C ITAS Mod. DCKS-54.
4. U.S.EPA (Environmental Protection Agency) 40 CFR Part 51, Revision to the Guideline on Air Quality Models: Adoption of a Preferred General Purpose (Flat and Complex Terrain) Dispersion Model and Other Revisions; Final Rule, November 9, 2005.
5. U.S.EPA - AP-42 Chapter 13: Miscellaneous Sources Section 13.5 Industrial Flares.
6. U.S.EPA – "SCREEN3 Model User's Guide".

**ACCENSIONE TORCIA RV101C PER BLOCCO DEL COMPRESSORE K 2001 A/B DEL 02.07.2015**

# 1 IL PUNTO DI EMISSIONE

## 1.1 Torcia di emergenza RV101C

La torcia RV101C dello stabilimento versalis di Brindisi è dedicata a gestire gli scarichi di emergenza dell'impianto di cracking P1CR, dei serbatoi del parco stoccaggio PGS-GPL-S13-P39, del pontile, dell'impianto di produzione butadiene P30B, della centralina fuel gas, delle pensiline e degli impianti Enipower.

La torcia di emergenza RV101C, è dotata di un sistema "smokeless", dimensionato e gestito secondo le migliori tecniche disponibili.

Sulla sommità della torcia è installato un terminale (tip) ad alta efficienza con diametro DN 54" che utilizza vapore attraverso tre stadi di alimentazione, al fine di ottenere la prevista combustione "smokeless".

Il vapore è fornito da EniPower, società coinsediata nello stesso sito industriale.

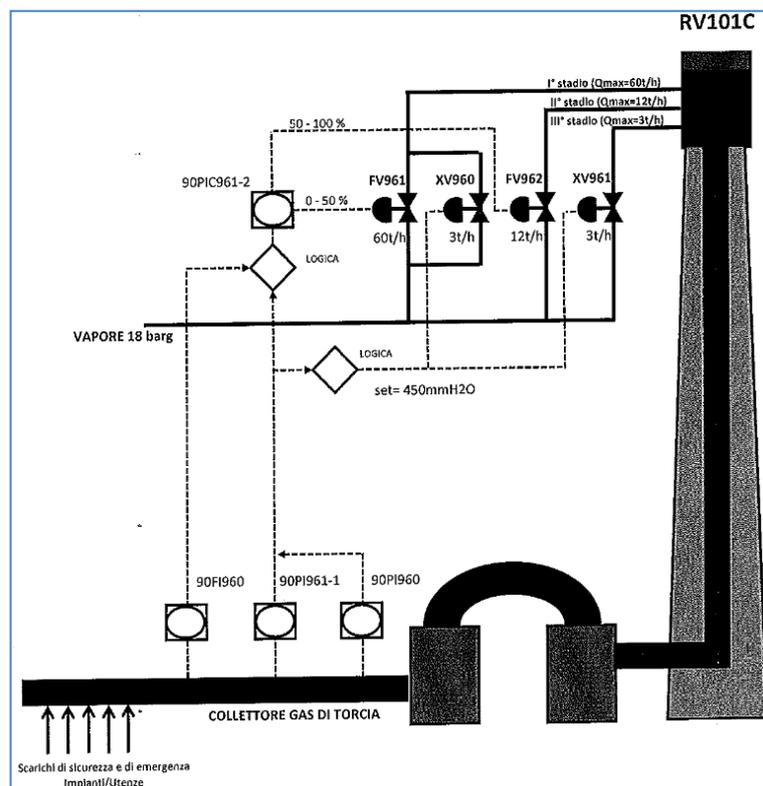


Figura 1

**ACCENSIONE TORCIA RV101C PER BLOCCO DEL COMPRESSORE K 2001 A/B DEL 02.07.2015**

**1.2 Posizione**

Nelle seguenti immagini sono riportate la posizione della torcia RV101C, la collocazione dello stabilimento nel contesto territoriale e la ubicazione delle centraline di monitoraggio ARPA Puglia.



Figura 2

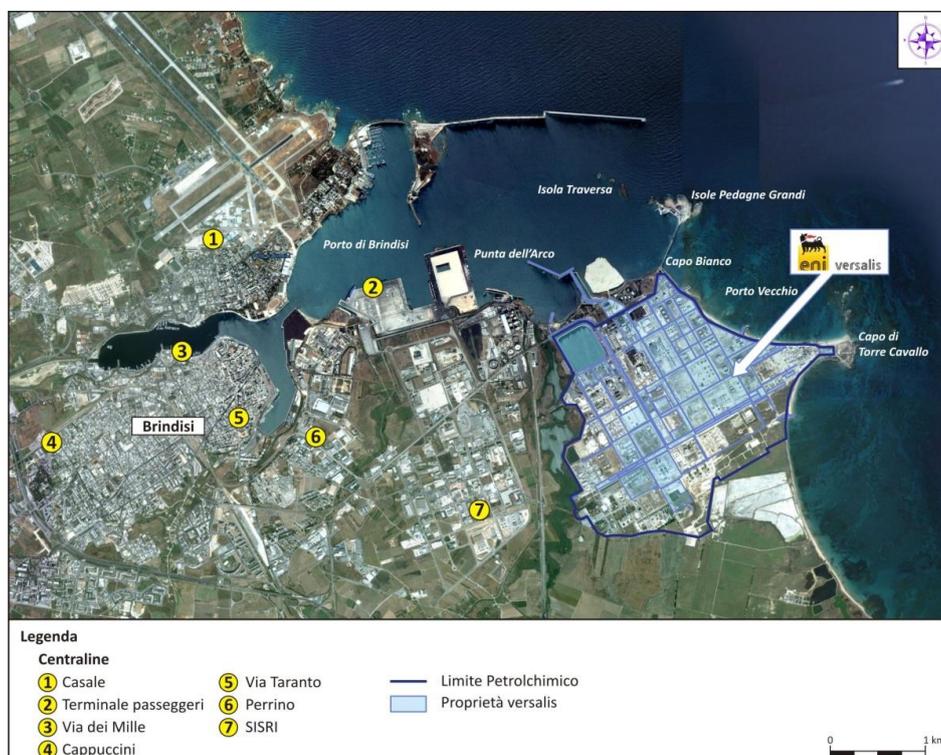


Figura 3

**ACCENSIONE TORCIA RV101C PER BLOCCO DEL COMPRESSORE K 2001 A/B DEL 02.07.2015****1.3 Dati progettuali della torcia**

Potenzialità di progetto smokeless	150.000 kg/h di gas (con massa molare 40 kg/kmol) (verificata per 200.000 kg/h di gas)
Efficienza di combustione	>= 99%
Altezza torcia	89,5 m da suolo (95 m slm)
Diametro terminale	1.900 mm esterno, 54" nominale

**Tabella 1****1.4 Dati meteorologici**

I dati meteorologici adottati per le simulazioni della dispersione e ricaduta dei prodotti della combustione sono quelli registrati dalla centralina meteo dello stabilimento versalis, denominata "Stazione Nord", alle ore 19:00 del 02 luglio 2015:

- Direzione del vento: N - NNO;
- Velocità del vento: 2,6 m/s;
- Classe di stabilità atmosferica di Pasquill: B.

**1.5 Definizione dei flussi emessi**

I terminali di torcia sono assimilati ad emissioni convogliate, con la differenza che l'effettivo punto di emissione non è rappresentato dalla sezione terminale di uscita del camino di torcia, ma da un punto di emissione virtuale equivalente posto a un'altezza superiore.

Tale differenza è legata al fatto che gli inquinanti sono emessi dalla fiamma prodotta, la quale si sviluppa interamente al di sopra del terminale. È presente una forte componente di moto ascensionale dei gas combusti, legata alla velocità dei gas in uscita dal terminale ed al flusso termico ascensionale prodotto dalla combustione.

## 2. IL MODELLO DI SIMULAZIONE

### 2.1 Il modello base: ISC3

Il modello ISC3, Industrial Source Complex, è un modello a pennacchio Gaussiano sviluppato dall'agenzia statunitense per la protezione dell'ambiente (U.S. EPA) per lo studio della diffusione e del trasporto di inquinanti primari emessi da sorgenti industriali complesse. L'input meteorologico è rappresentato da un valore istantaneo di direzione e intensità del vento e classe di stabilità atmosferica. Le ipotesi alla base di questo modello sono la stazionarietà nel tempo delle condizioni meteorologiche e la continuità delle emissioni in esame. Dal modello è possibile ottenere risultati sia come concentrazioni orarie che annue utilizzando una serie di dati orari variabili nel tempo.

Gli input richiesti dal modello sono:

- il reticolo di calcolo (individuazione dei nodi della griglia di calcolo);
- i dati di emissione (tipologia e localizzazione delle sorgenti, portata delle emissioni, altezza fisica, temperatura e velocità di uscita dei fumi, diametro del camino);
- i parametri meteorologici (intensità e direzione del vento, temperatura, classe di stabilità atmosferica).

L'output del modello fornisce le concentrazioni e le deposizioni al suolo degli inquinanti primari per tutti i ricettori individuati sui periodi di tempo medi oggetto di analisi.

Alcune schematizzazioni adottate dal modello sono elencate di seguito:

- la risalita del pennacchio è descritta con le formule di Briggs;
- si assume che il campo di vento sia stazionario;
- la velocità del vento a quote crescenti è calcolata, in base ad algoritmi interni;
- la stabilità atmosferica è descritta attraverso l'utilizzo delle sei classi di stabilità di Pasquill-Gifford.

### 2.2 Il modello utilizzato: SCREEN3

Il modello SCREEN3, proposto nella "Screening Procedures for Estimating the Air Quality Impact of Stationary Sources" (EPA, 1995), è un modello di stretta derivazione dall'ISC3 sopra descritto.

A differenza dell'ISC3 tale modello consente la simulazione di una singola sorgente, l'utilizzo di parametri di emissione istantanei, e l'individuazione delle ricadute lungo la sola direzione di ricaduta principale (direzione del vento), che coincide con l'asse della piuma ovvero il luogo delle concentrazioni massime (reticolo non più necessario). Le sorgenti che permette di simulare sono puntuali, areali, volumetriche o torce. Tale modello si adatta quindi alla simulazione delle massime ricadute al suolo attese da un evento emissivo fortemente limitato nel tempo e originato da una singola sorgente.

**ACCENSIONE TORCIA RV101C PER BLOCCO DEL COMPRESSORE K 2001 A/B DEL 02.07.2015**

### 3. CONDIZIONI DI RIFERIMENTO PER LE EMISSIONI

#### 3.1 Portata di gas alla torcia

Come riportato in precedenza, a seguito dell'arresto del compressore K-2001 A/B, avvenuto il 02 luglio, si è attivato il terminale di torcia RV101C.

Nella successiva figura si riporta il grafico della portata di alimentazione del gas alla torcia nelle due ore successive all'accensione. Come evidenziato dal grafico, alle ore 20:15 circa è stato riavviato il compressore precedentemente in blocco, con la successiva progressiva normalizzazione delle condizioni di esercizio.

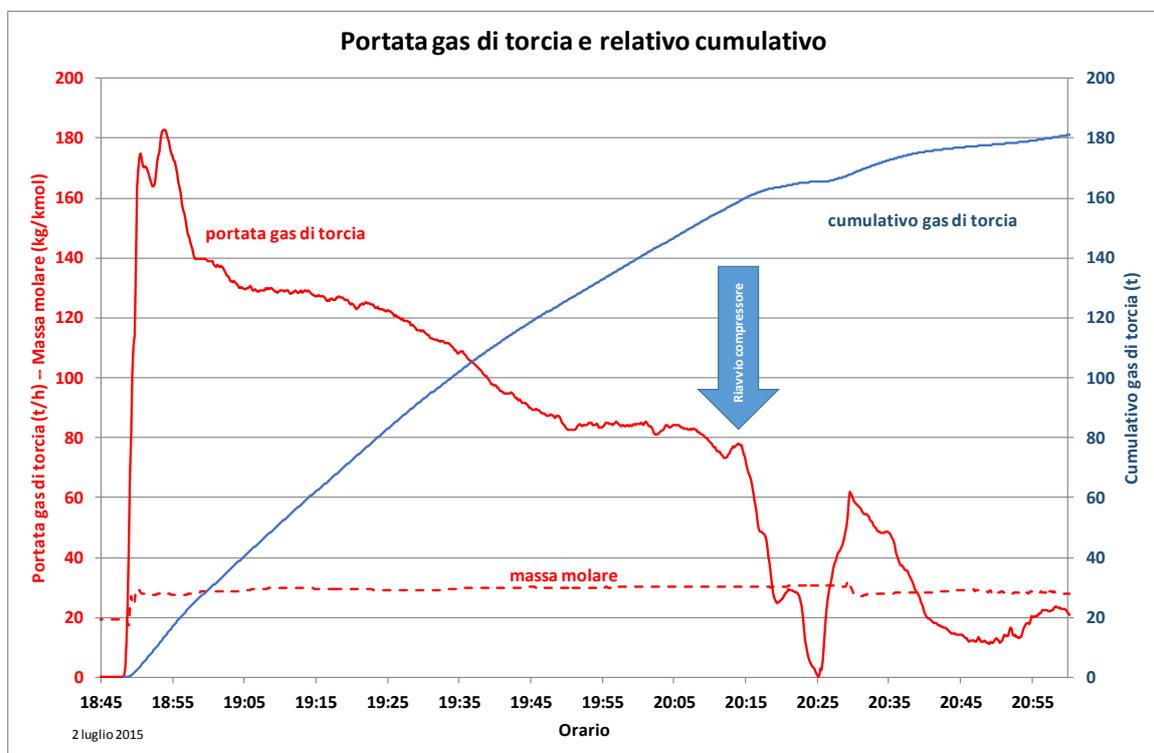


Figura 4

Sulla base dell'andamento sopra riportato, è stata considerata una durata di attività intensa del terminale pari a 85 minuti, intercorrenti fra l'inizio e la fine dell'evento (18.48 – 20.13 ca).

Per la portata di gas alla torcia di emergenza è stato considerato un flusso medio e costante per tutti gli 85 minuti, pari a 112 t/h (93.300 m<sup>3</sup>/h).

**ACCENSIONE TORCIA RV101C PER BLOCCO DEL COMPRESSORE K 2001 A/B DEL 02.07.2015**

### 3.2 Fattori di emissione

Per la valutazione delle ricadute e concentrazioni al suolo dei prodotti di combustione, risulta indispensabile associare alle emissioni specifici fattori di emissione, in relazione agli specifici prodotti di combustione considerati.

#### CO e NOx

I fattori di emissione dalla torcia di monossido di carbonio (CO) e ossidi di azoto (NOx), definiti dall'EPA [5], sulla base del potere calorifico del gas combusto, sono i seguenti:

Inquinante	Fattore di emissione (lb/10 <sup>6</sup> BTU) [11]	Fattore di emissione (g/MJ) [5]
CO	0,37	0,1591
NOx	0,068	0,0292

Tabella 2

Nella tabella i fattori sono espressi anche in g/MJ al fine di poterli facilmente correlare all'evento oggetto dell'analisi.

#### PTS

La produzione di polveri (esprese come polveri totali sospese PTS) risulta invece legata, non al potere calorifico dei gas, ma all'efficienza di combustione ed in particolare alla fumosità della fiamma. L'indicazione di fumosità proposta dall'EPA è esclusivamente qualitativa e non è correlata ad alcuna scala di opacità delle emissioni.

Nel caso specifico, la torcia di emergenza RV101C, è dotata di un proprio sistema "smokeless", dimensionato e gestito secondo le migliori tecniche disponibili. Il rapporto ponderale fra i flussi vapore / gas di torcia di progetto è pari a 75/150 t/h = 0,5, in accordo alle norme API ed EPA.

Il rapporto tra le portate ponderali del flusso di gas nelle condizioni smokeless e massime progettuali (*capacità smokeless*), è pari a 150/650 t/h = 23%, valore collocato nella fascia più elevata (migliore) rispetto a quelli riportati nelle BRef applicabili.

In base alle considerazioni sviluppate nella "NOTA DI RISPOSTA ALLA COMUNICAZIONE MATTM DVA-2015-0020250 DEL 3 AGOSTO 2015 RELATIVA AL BLOCCO DEL COMPRESSORE K 2001 A/B DELL'IMPIANTO STEAM CRACKING P1CR DEL 2.07.2015", la torcia RV101C ha funzionato nelle migliori condizioni smokeless ottenibili dalle tecnologie disponibili, a

**ACCENSIONE TORCIA RV101C PER BLOCCO DEL COMPRESSORE K 2001 A/B DEL 02.07.2015**

meno di un breve transitorio durante l'avviamento della torcia, riconducibile ai tempi di risposta del sistema ad un evento improvviso.

Pertanto, al fine comunque di effettuare una valutazione estremamente cautelativa, viene considerato un fattore di emissione associabile a torce "lievemente fumose" proposto dall'EPA: 40 µg/l, mantenuto costante per tutta la durata dell'attività intensa della torcia (85 minuti dalle 18:48 alle 20:13).

### 3.3 Condizioni emissive finali

Complessivamente i dati emissivi di input al modello di simulazione sono i seguenti:

ID	Coordinate (m)		Emissioni (g/s)	Altezza s.l.m. (m)	Flusso (cal/s)
	E	N			
RV101C	2775326	4503294	1 -(PTS)	95	267.507.404
			178 - (CO)		
			33 - (NOx)		

Tabella 3

Tali dati sono stati calcolati sulla base della composizione dei gas a torcia inviati in corrispondenza dell'evento oggetto dell'analisi:

- Potere calorifico: 36 MJ/kg.
- Densità (25°C e pressione atmosferica): 1,2 kg/m<sup>3</sup>.
- Massa Molecolare media: 26 kg/kmol.

**ACCENSIONE TORCIA RV101C PER BLOCCO DEL COMPRESSORE K 2001 A/B DEL 02.07.2015**

## 4. RISULTATI DELLE SIMULAZIONI

### 4.1 Dati numerici

Il modello di calcolo utilizzato consente la modellazione delle emissioni da torce, come anticipato, calcolando un punto di emissione equivalente posto ad una quota superiore all'effettivo terminale. Tale quota dipende in particolare dalle caratteristiche del flusso combusto.

Nel caso specifico, rispetto ad un'altezza complessiva del punto di emissione di 95 metri, l'altezza effettiva di rilascio calcolata è di 138,2 m.

In termini di ricadute inquinanti il modello ha calcolato, ad intervalli discreti dal punto di emissione, il valore massimo di ricaduta al suolo. Nella seguente tabella si riportano i valori di ricaduta calcolati in corrispondenza della direzione del vento considerata, in queste condizioni semplificate, come quella maggiormente impattata.

Distanza dal punto di emissione (m)	Concentrazione al suolo ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )		
	PTS	CO	NOx
900	0,00001	0,002	0,000
1000	0,0001	0,021	0,004
1100	0,001	0,102	0,019
1200	0,002	0,333	0,062
1300	0,005	0,807	0,150
1400	0,009	1,583	0,293
1500	0,015	2,652	0,492
1600	0,022	3,950	0,732
1700	0,030	5,382	0,998
1800	0,038	6,845	1,269
1900	0,046	8,252	1,530
2000	0,054	9,538	1,768
2100	0,060	10,660	1,977

**ACCENSIONE TORCIA RV101C PER BLOCCO DEL COMPRESSORE K 2001 A/B DEL 02.07.2015**

Distanza dal punto di emissione (m)	Concentrazione al suolo ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )		
	PTS	CO	NOx
2200	0,065	11,600	2,151
2300	0,069	12,360	2,291
2400	0,073	12,940	2,399
2500	0,075	13,350	2,476
2600	0,077	13,630	2,527
2700	0,077	13,780	2,554
2800	0,078	13,830	2,564
2900	0,078	13,800	2,558
3000	0,077	13,700	2,540
3500	0,072	12,800	2,373
4000	0,067	12,000	2,225
4500	0,063	11,280	2,091
5000	0,060	10,660	1,975
5500	0,057	10,120	1,876
6000	0,054	9,647	1,788
6500	0,052	9,232	1,712
7000	0,050	8,863	1,643

**Tabella 4**

I valori di ricaduta mostrano, che data l'elevata quota di emissione, le aree circostanti la torcia non registrano ricadute al suolo. In particolare la concentrazione al suolo risulta molto ridotta sino a distanze superiori al chilometro dal camino.

I valori calcolati maggiori (picchi) di concentrazione al suolo si ottengono rispettivamente:

**ACCENSIONE TORCIA RV101C PER BLOCCO DEL COMPRESSORE K 2001 A/B DEL 02.07.2015**

- PTS: 0,078  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ad una distanza di 2.806 m dal punto di emissione;
- CO: 13,83  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ad una distanza di 2.806 m dal punto di emissione;
- NOx: 2,56  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ad una distanza di 2.806 m dal punto di emissione.

## 4.2 Mappe delle ricadute

Per ogni composto, i risultati delle simulazioni sono illustrati nelle mappe di ricaduta al suolo, riportate in **Allegato 1**, che vengono riprodotte in formato ridotto anche nelle pagine sottostanti. Si segnala che le curve di concentrazione risultano circolari in quanto rappresentano la massima ricaduta nella direzione del vento, e possono quindi ritenersi valide per la valutazione di eventi occorsi con tutte le direzioni di provenienza del vento.

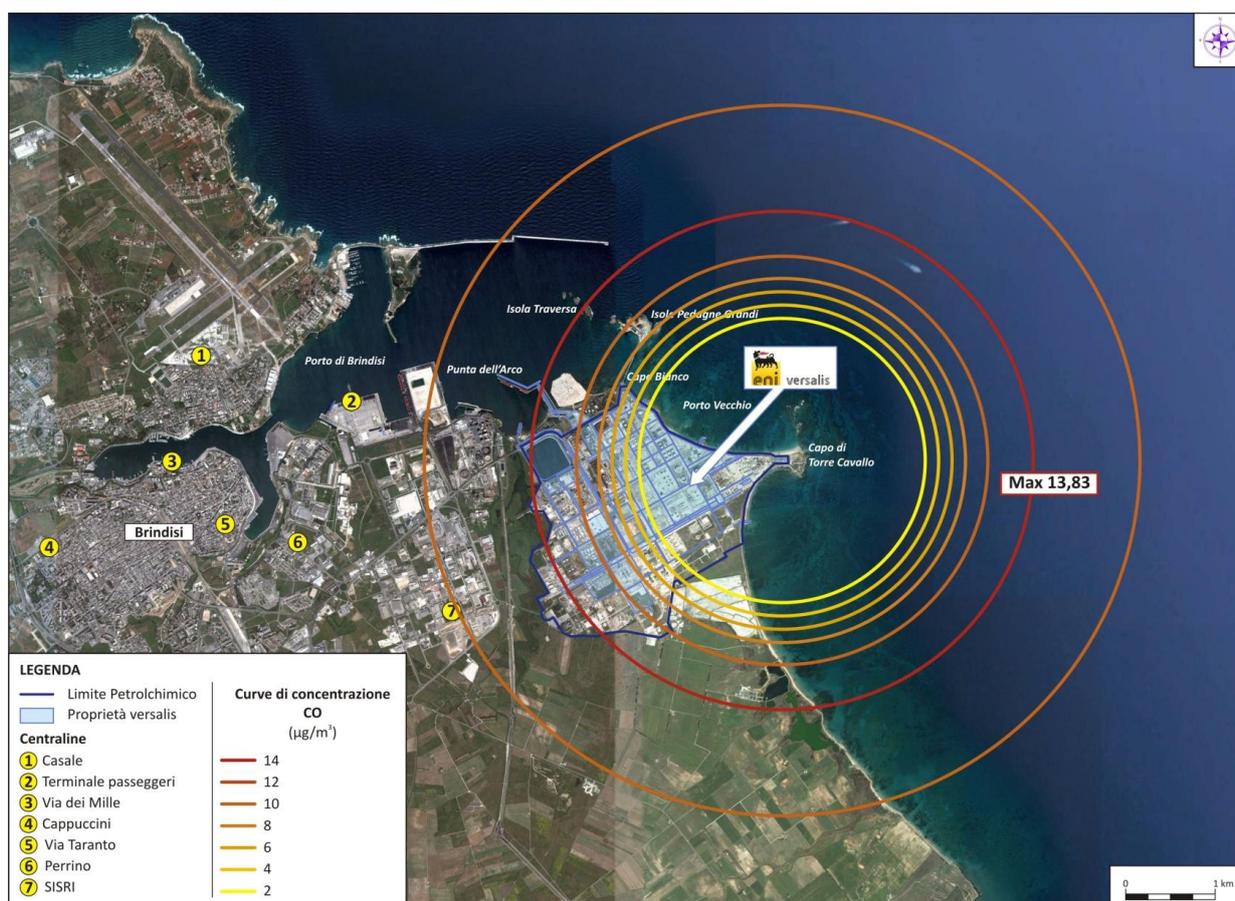


Figura 5 - Mappa delle ricadute di CO

ACCENSIONE TORCIA RV101C PER BLOCCO DEL COMPRESSORE K 2001 A/B DEL 02.07.2015

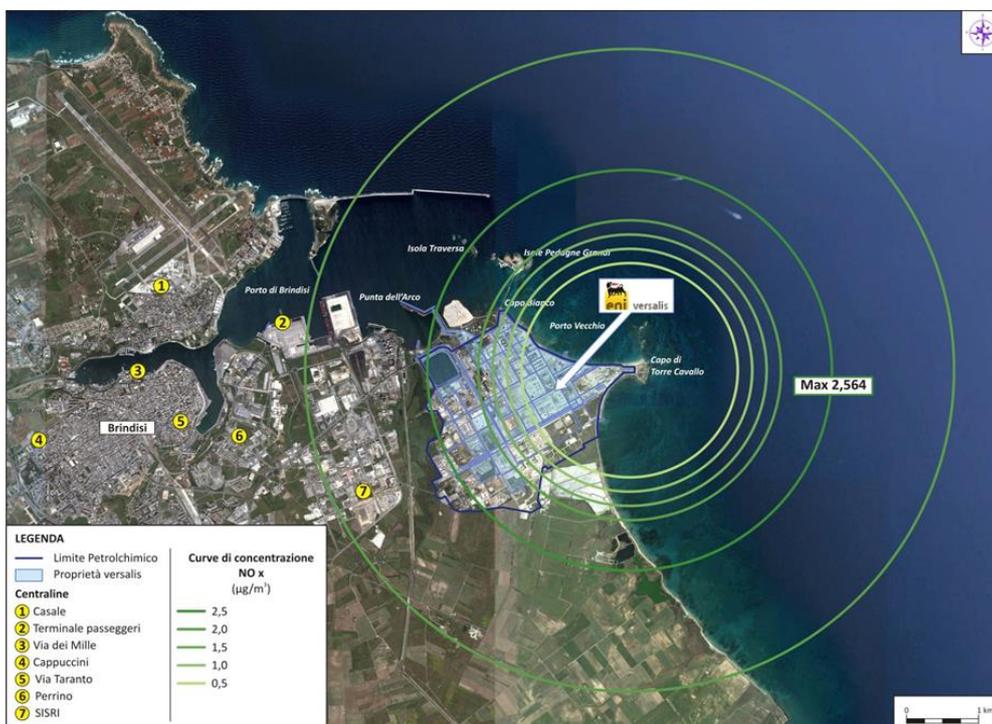


Figura 6 - Mappa delle ricadute di NOx

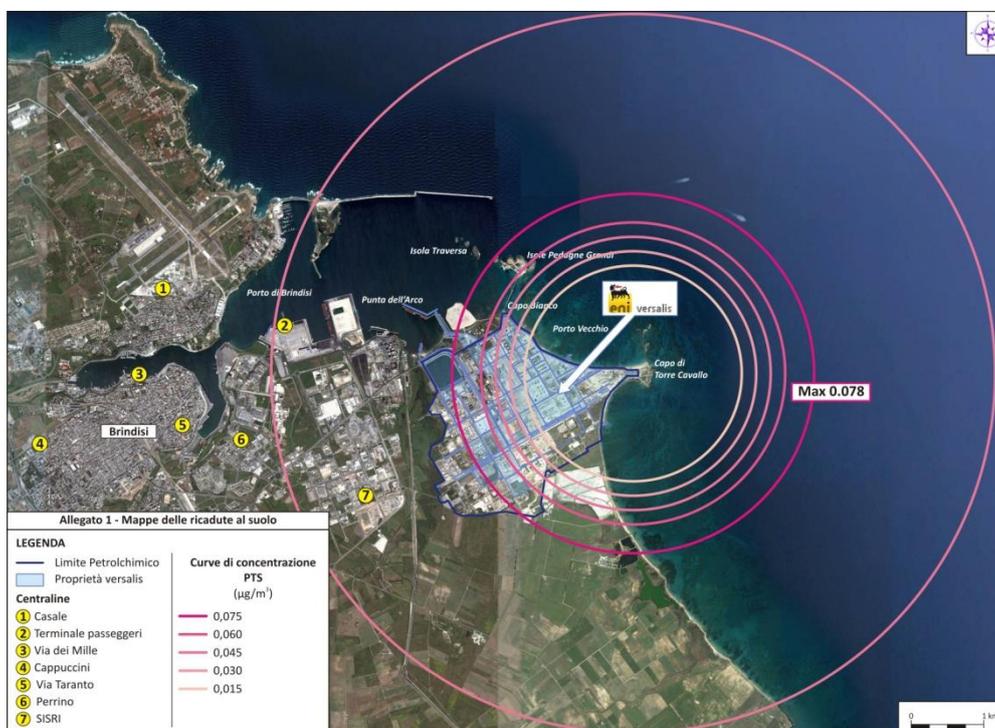


Figura 7 - Mappa delle ricadute di PTS

**ACCENSIONE TORCIA RV101C PER BLOCCO DEL COMPRESSORE K 2001 A/B DEL 02.07.2015**

## 5. ANALISI E CONFRONTI

### 5.1 Confronto con i dati misurati al suolo

Il monitoraggio della qualità dell'aria nell'area su cui insiste lo stabilimento versalis di Brindisi viene effettuato mediante stazioni di monitoraggio della qualità dell'aria gestite da ARPA Puglia [2].

In particolare le centraline di monitoraggio più vicine allo stabilimento, adibite al monitoraggio di tipo industriale, sono rappresentate dalle seguenti stazioni:

- SISRI
- Terminale passeggeri;

mentre sul territorio comunale sono presenti le seguenti ulteriori stazioni di monitoraggio:

- Casale
- Via dei Mille
- Via Taranto
- Via Cappuccini
- Perrino.

La posizione delle centraline di monitoraggio è di seguito riportata:



Figura 8

**ACCENSIONE TORCIA RV101C PER BLOCCO DEL COMPRESSORE K 2001 A/B DEL 02.07.2015**

Al fine di definire il valore di riferimento per la qualità dell'aria si riportano di seguito i dati di monitoraggio registrati dalle centraline nelle giornate dal 01 al 03/07/2015, forniti da ARPA Puglia [2], sia come medie giornaliere che come medie orarie.

**CO**

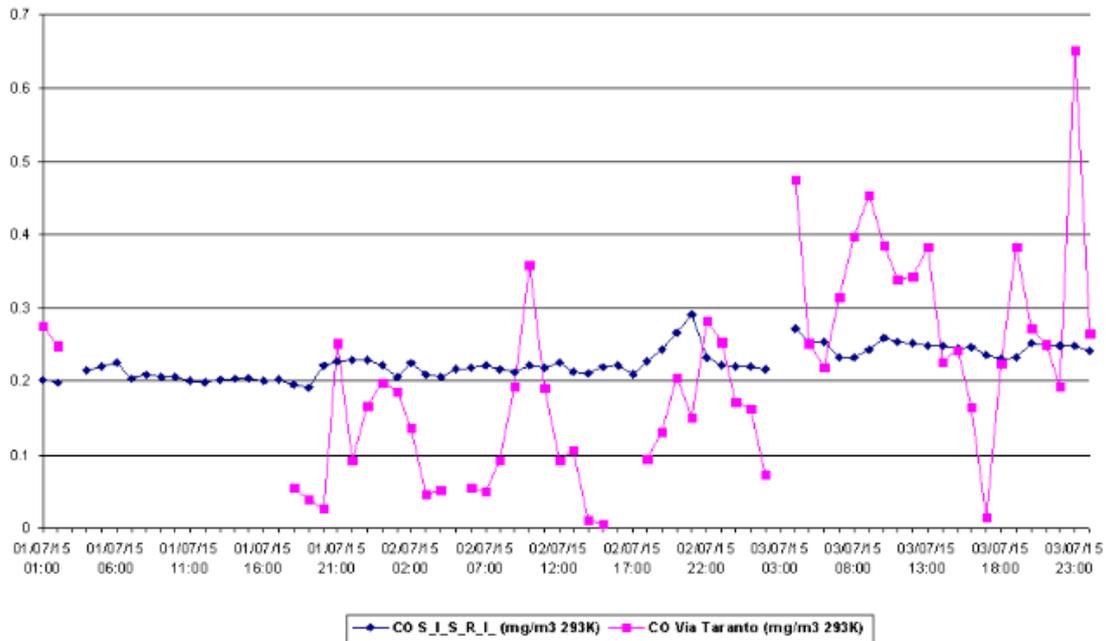


Figura 9 - Medie orarie di concentrazione di CO del 01-03/07/2015

**NOx**

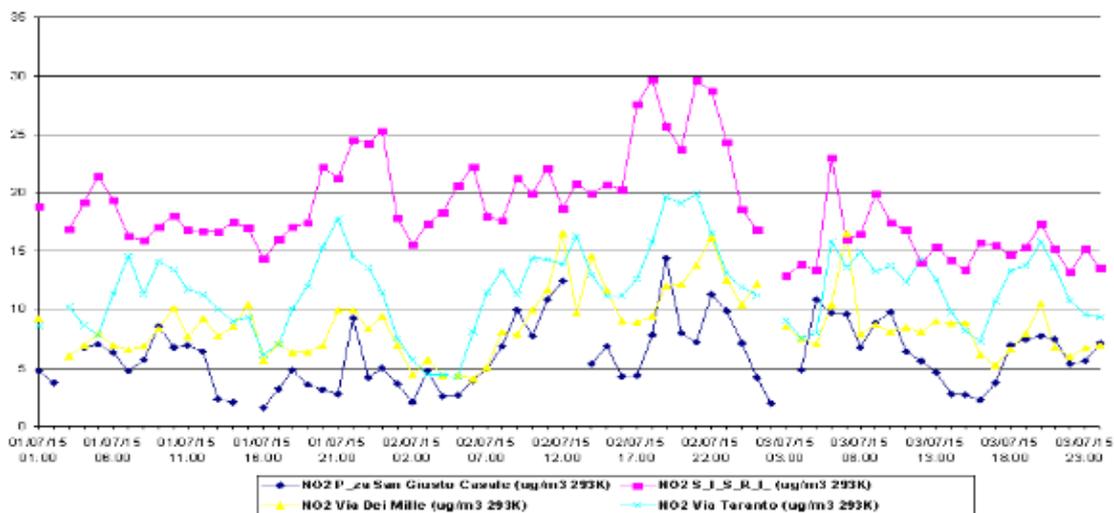
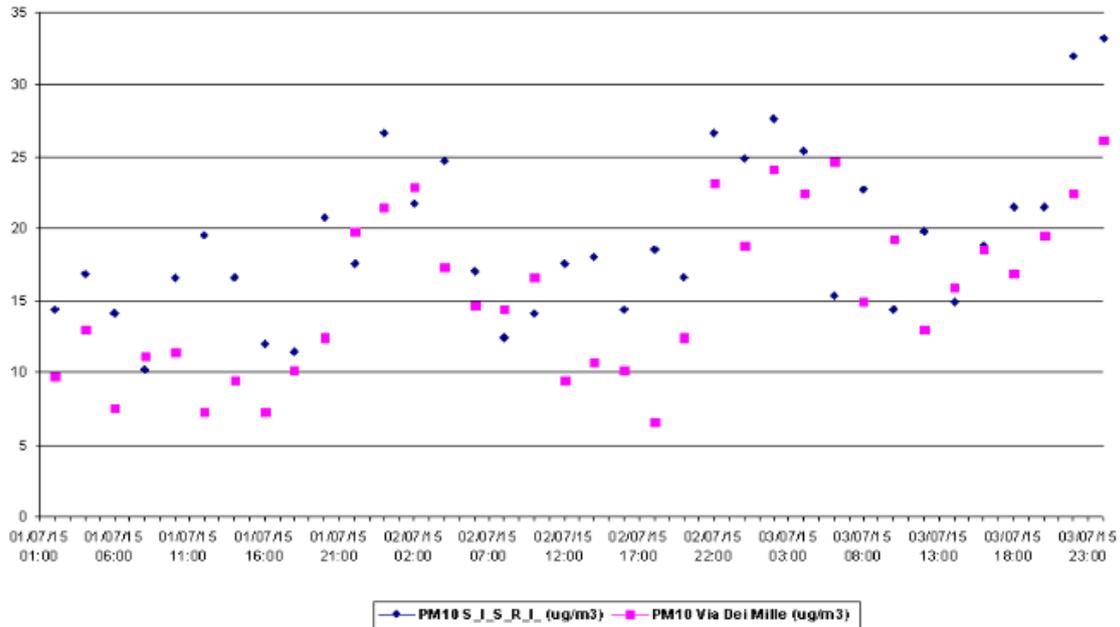


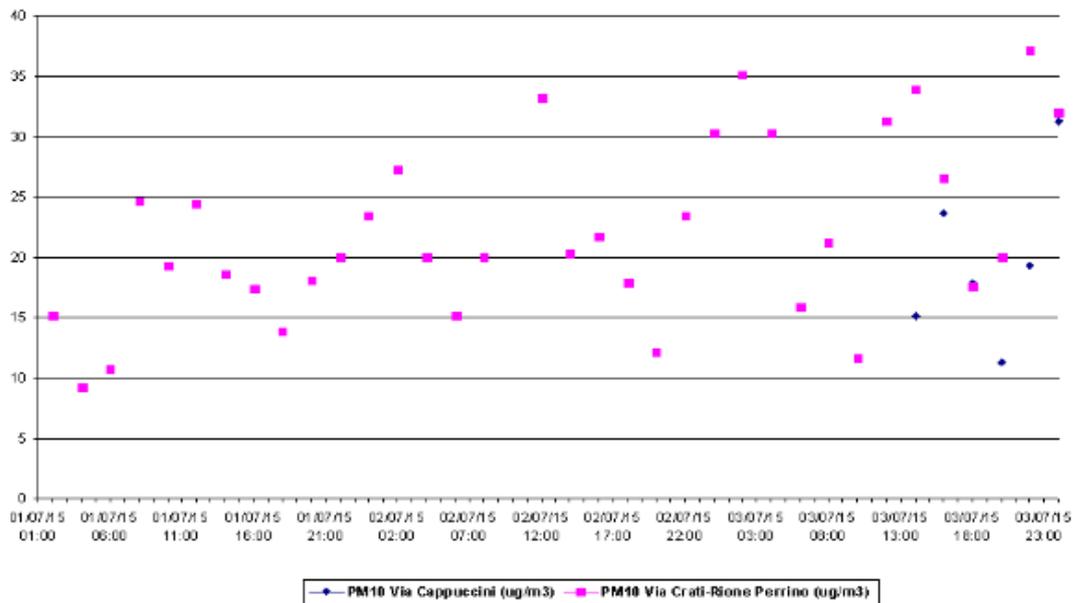
Figura 10 - Medie orarie di concentrazione di NO<sub>2</sub> del 01-03/07/2015

**ACCENSIONE TORCIA RV101C PER BLOCCO DEL COMPRESSORE K 2001 A/B DEL 02.07.2015**

**PTS**



**Figura 11 - Medie orarie di concentrazione PM10 01-03/07/2015**



**Figura 12 - Medie orarie di concentrazione PM10 01-03/07/2015**

**ACCENSIONE TORCIA RV101C PER BLOCCO DEL COMPRESSORE K 2001 A/B DEL 02.07.2015**

Dalla lettura dei grafici sopra riportati è possibile desumere i seguenti valori di riferimento registrati attorno alle ore 19:00 del 02 luglio 2015:

- CO: 0,25 mg/m<sup>3</sup>;
- NOx: 26 µg/m<sup>3</sup>;
- PM10: 17 µg/m<sup>3</sup>.

Tali valori sono relativi alla centralina SISRI, la più vicina al sito petrolchimico, e sono rappresentativi della qualità dell'aria del territorio di Brindisi in concomitanza con l'evento occorso. Si precisa che non risultano disponibili i dati orari relativi alla concentrazione al suolo di PM<sub>2,5</sub> ma solo la media giornaliera, misurata dalla centralina "Terminale Passeggeri", e pari a circa 14 µg/m<sup>3</sup>. Per il successivo confronto si prende quindi quale riferimento il valore orario di PM10 sopra riportato.

I dati registrati dalle centraline nelle giornate considerate risultano in linea con i valori di monitoraggio registrati durante il primo semestre 2015, resi disponibili da ARPA Puglia, sotto forma di report mensili di qualità dell'aria suddivisi per singola provincia.

In considerazione dei dati ottenuti dalla simulazione e dei dati di monitoraggio disponibili è possibile effettuare un confronto diretto dell'apporto teorico dell'evento del 2.07.2015 sulla qualità dell'aria. Tale confronto risulta approssimato in quanto, come specificato dalla nota ARPA relativa all'evento occorso, le ricadute non hanno influenzato i dati registrati in quanto le centraline, nella data e nell'ora dell'evento, non erano poste a favore di vento.

Sulla base dei dati disponibili è possibile considerare un ipotetico livello di concentrazione al suolo complessivo calcolato considerando che la centralina di monitoraggio SISRI, più vicina al punto di emissione, si trovasse sulla direzione del vento e quindi soggetta al maggiore effetto.

Nella seguente tabella si riportano i valori misurati dalla centralina, i valori di ricadute attesi sulla stessa nel caso ipotetico descritto, ed il valore complessivo di qualità dell'aria ricavabile.

Centralina di monitoraggio /inquinante	Valore di concentrazione al suolo rilevato (concentrazione media oraria) (µg/m <sup>3</sup> )	Distanza della centralina dal punto di emissione (m)	Valore di ricaduta calcolato alla distanza della centralina (µg/m <sup>3</sup> )	Valore atteso al suolo (ricaduta calcolata + valore di fondo) (µg/m <sup>3</sup> )	% di variazione rispetto al fondo
SISRI (CO)	250	4.200	12	262	5 %
SISRI (NO <sub>2</sub> )	26	4.200	2,2	28,2	9 %
SISRI (PM <sub>10</sub> )	17	4.200	0,07	17,07	0,4 %

Tabella 5

**ACCENSIONE TORCIA RV101C PER BLOCCO DEL COMPRESSORE K 2001 A/B DEL 02.07.2015**

In particolare si evidenzia come il contributo dell'evento al valore misurato di qualità dell'aria, nelle ipotesi fortemente conservative adottate, sia molto poco significativo per tutti gli inquinanti considerati e, in termini di Polveri PM10, risulti fortemente limitato (~0,4%).

## 5.2 Confronto con gli standard di qualità applicabili

I risultati ottenuti dalla simulazione, e successivamente sommati ai valori di fondo, sono direttamente confrontabili con gli standard di qualità dell'aria orari applicabili, dettati dal D.Lgs. 155/2010, in quanto i valori di concentrazione al suolo calcolati sono relativi ad un periodo, registrato come quello di esercizio significativo della torcia, che ha avuto una durata superiore ad un'ora (85 minuti).

Viene quindi di seguito proposto un confronto con gli standard di qualità medi orari. Ove non disponibili limiti orari, i valori applicabili sono stati ricondotti ad un valore limite di picco orario, in accordo alla metodologia proposta dalla UK Environment Agency<sup>1</sup>, attraverso l'introduzione di un fattore di conversione.

### CO

Lo standard di riferimento nazionale per il monossido di carbonio è pari 10.000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  calcolato come concentrazione media su 8 ore.

Non è quindi presente uno valore limite medio orario al suolo. Nella seguente tabella viene riportato il valore limite orario ricalcolato con la metodologia sopracitata, ed il confronto con il valore di ricaduta ottenuto dal modello di calcolo.

Inquinante	Valore limite su 8 h (All. XI D.Lgs. 155/10) ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Fattore di conversione	Valore limite orario calcolato ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Valore atteso al suolo (ricaduta calcolata + valore di fondo) ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	% rispetto al limite
CO	10.000	0,7	14.286	262	2 %

Tabella 6

### NOx

Gli standard di qualità dell'aria proposti dalla normativa nazionale per gli ossidi di azoto sono i seguenti:

- 200  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  come 99,7° percentile delle concentrazioni medie orarie di un anno di NO<sub>2</sub>;
- 40  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  di NO<sub>2</sub> come media annua di NO<sub>2</sub>;
- 30  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  come media annua di NOx.

<sup>1</sup> H1 Annex F – Air Emissions - UK Environment Agency

**ACCENSIONE TORCIA RV101C PER BLOCCO DEL COMPRESSORE K 2001 A/B DEL 02.07.2015**

Risulta quindi possibile effettuare un confronto diretto, sotto riportato, con il valore limite medio orario, pur essendo questo proposto esclusivamente per il biossido di azoto.

Inquinante	Valore limite orario (All. XI D.Lgs. 155/10) ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Valore atteso al suolo (ricaduta calcolata + valore di fondo) ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	% rispetto al limite
<b>NOx</b>	<b>200</b>	<b>28,2</b>	<b>14 %</b>

Tabella 7

**PTS**

Gli standard di riferimento per le polveri sottili atmosferiche sono i seguenti:

- 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  come 90° percentile delle concentrazioni medie giornaliere di un anno di PM10;
- 40  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  come media annua di PM10;
- 25  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  come media annua di PM2,5.

Non è quindi presente uno valore limite medio orario al suolo. Nella seguente tabella viene riportato il valore limite orario ricalcolato con la metodologia sopracitata, ed il confronto con il valore di ricaduta ottenuto dal modello di calcolo.

Inquinante	Valore limite giornaliero PM 10 (WHO) ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Fattore di conversione	Valore limite orario calcolato ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Valore atteso al suolo (ricaduta calcolata + valore di fondo) ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	% rispetto al limite
<b>Polveri (come PM10)</b>	<b>40</b>	<b>0,59</b>	<b>67,8</b>	<b>17,07</b>	<b>25,2 %</b>

Tabella 8

In relazione quindi a tutti gli inquinanti considerati, anche considerando la somma fra il valore di ricaduta calcolato ed il valore di fondo rilevato dalla centralina SISRI, i valori ottenuti al suolo risultano tutti largamente inferiori rispetto agli standard di qualità applicabili.

Rispetto a tali valori, proposti dalla normativa nazionale e internazionali, i valori finali di qualità si attestano fra il 2% relativo al CO, ed il 25,2% relativo al PM10.

**ACCENSIONE TORCIA RV101C PER BLOCCO DEL COMPRESSORE K 2001 A/B DEL 02.07.2015****5.3 Considerazioni finali**

Nel presente studio di approfondimento è stato valutato il contributo alle ricadute al suolo delle emissioni, derivanti dalla torcia RV101C durante l'evento di accensione occorso il 2 luglio 2015.

La modellazione è stata effettuata con il modello EPA SCREEN3, considerando i dati meteorologici registrati in concomitanza dell'evento ed utilizzando i valori emissivi medi della fase di funzionamento più significativo del terminale di torcia (dalle 18:48 alle 20:13), corrispondenti al periodo iniziale di attivazione della torcia sino al riavvio dell'apparecchiatura entrata in blocco.

Per l'emissione di particolato, nonostante la torcia abbia costantemente mantenuto un assetto smokeless (ad esclusione di un brevissimo tempo iniziale), è stata in particolare adottata una ipotesi molto conservativa, ovvero quella di fiamma lievemente fumosa per tutto il periodo considerato .

I risultati ottenuti sono stati, inoltre, raffrontati ai dati di monitoraggio, messi a disposizione da ARPA Puglia, e relativi alla giornata del 02 luglio 2015.

Dai dati rilevati dalle centraline di monitoraggio riportati nella relazione di ARPA Puglia non si evince alcun superamento dei limiti previsti dalla normativa vigente sulla qualità dell'aria.

Dall'analisi dei risultati del presente studio si evince che, nel caso ipotetico in cui la centralina di monitoraggio più vicina al sito (SISRI) fosse stata posta "sotto vento", il contributo che avrebbe misurato sarebbe stato non significativo.

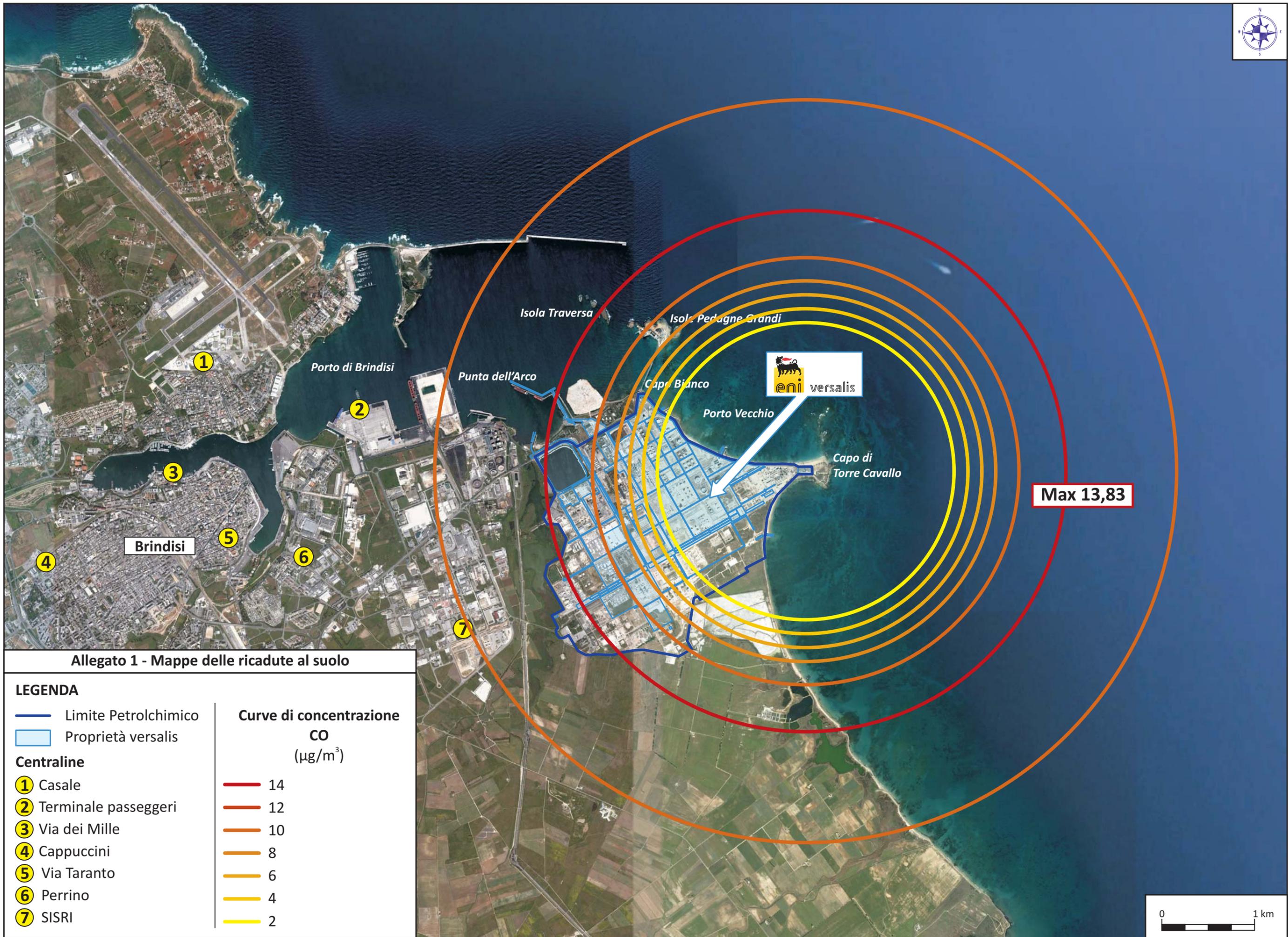
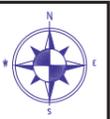
I risultati della somma, fra l'ipotetico contributo calcolato ed i valori di fondo registrati, sono stati, a loro volta raffrontati sia agli standard di qualità orari disponibili al fine di valutare il possibile contributo ad un eventuale superamento dei requisiti normativi.

Da tale confronto non sono state evidenziate criticità in quanto i valori di fondo presi a riferimento erano, come già evidenziato dai grafici ARPA Puglia, molto limitati rispetto ai limiti applicabili e i valori di ricaduta legati all'evento ne costituiscono un incremento minimale (0,4-9%).

In particolare il valore calcolato, più prossimo al rispettivo Standard di riferimento, è risultato il parametro PM10 pari al 25,2% del limite ma, dato lo scarso apporto dell'evento (0,4% per le PTS), tale valore sarebbe risultato sostanzialmente indipendente dalle emissioni della torcia RV101C.

**ACCENSIONE TORCIA RV101C PER BLOCCO DEL COMPRESSORE K 2001 A/B DEL 02.07.2015****ALLEGATI**

ALLEGATI	DESCRIZIONE
<b>Allegato 1</b>	Mappe delle ricadute al suolo dei prodotti della combustione a seguito dell'evento del 2 luglio 2015



Allegato 1 - Mappe delle ricadute al suolo

**LEGENDA**

- Limite Petrolchimico
- Proprietà versalis

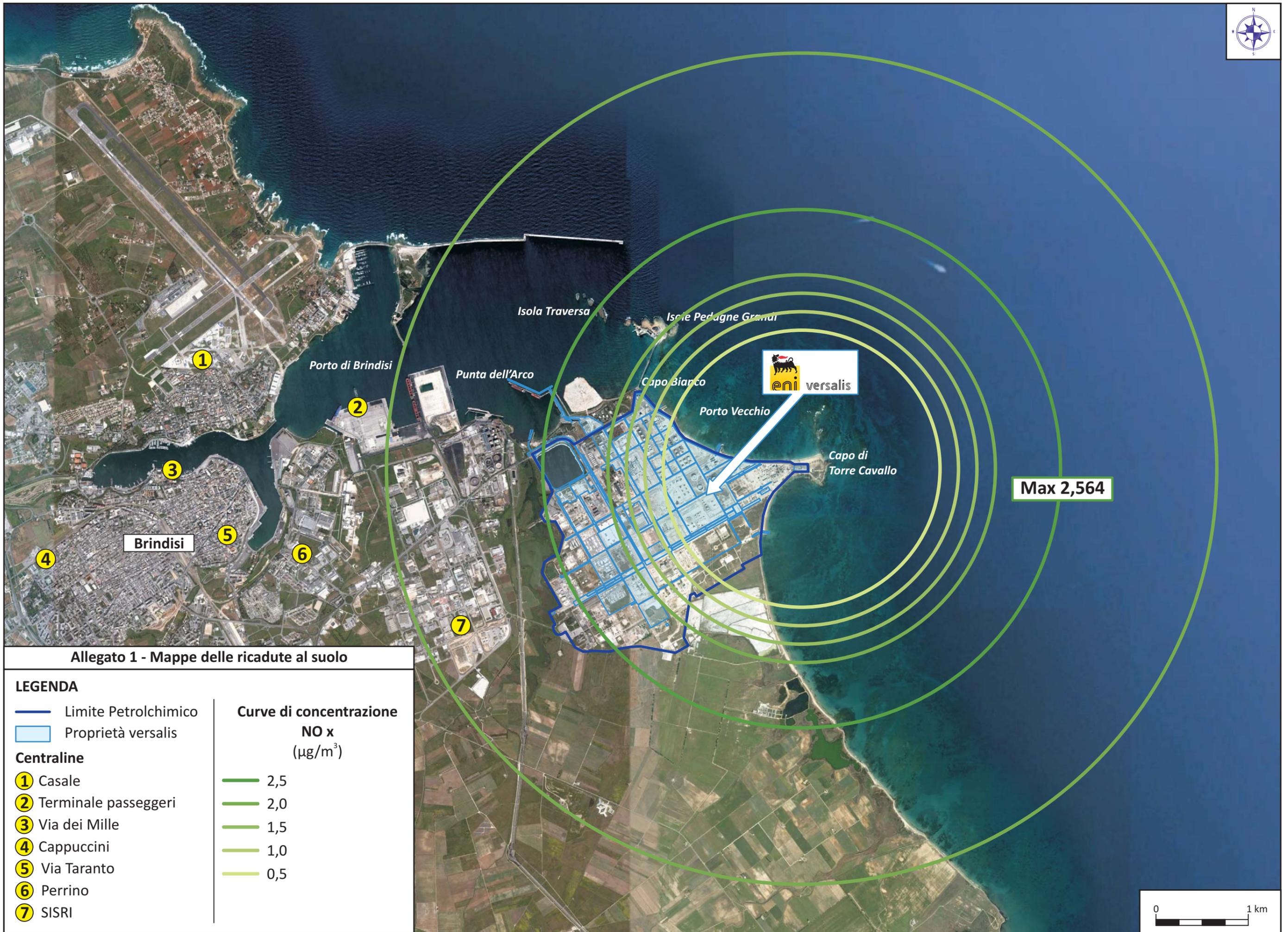
**Centraline**

- ① Casale
- ② Terminale passeggeri
- ③ Via dei Mille
- ④ Cappuccini
- ⑤ Via Taranto
- ⑥ Perrino
- ⑦ SISRI

**Curve di concentrazione CO**  
( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

- 14
- 12
- 10
- 8
- 6
- 4
- 2





Allegato 1 - Mappe delle ricadute al suolo

**LEGENDA**

- Limite Petrolchimico
- Proprietà versalis

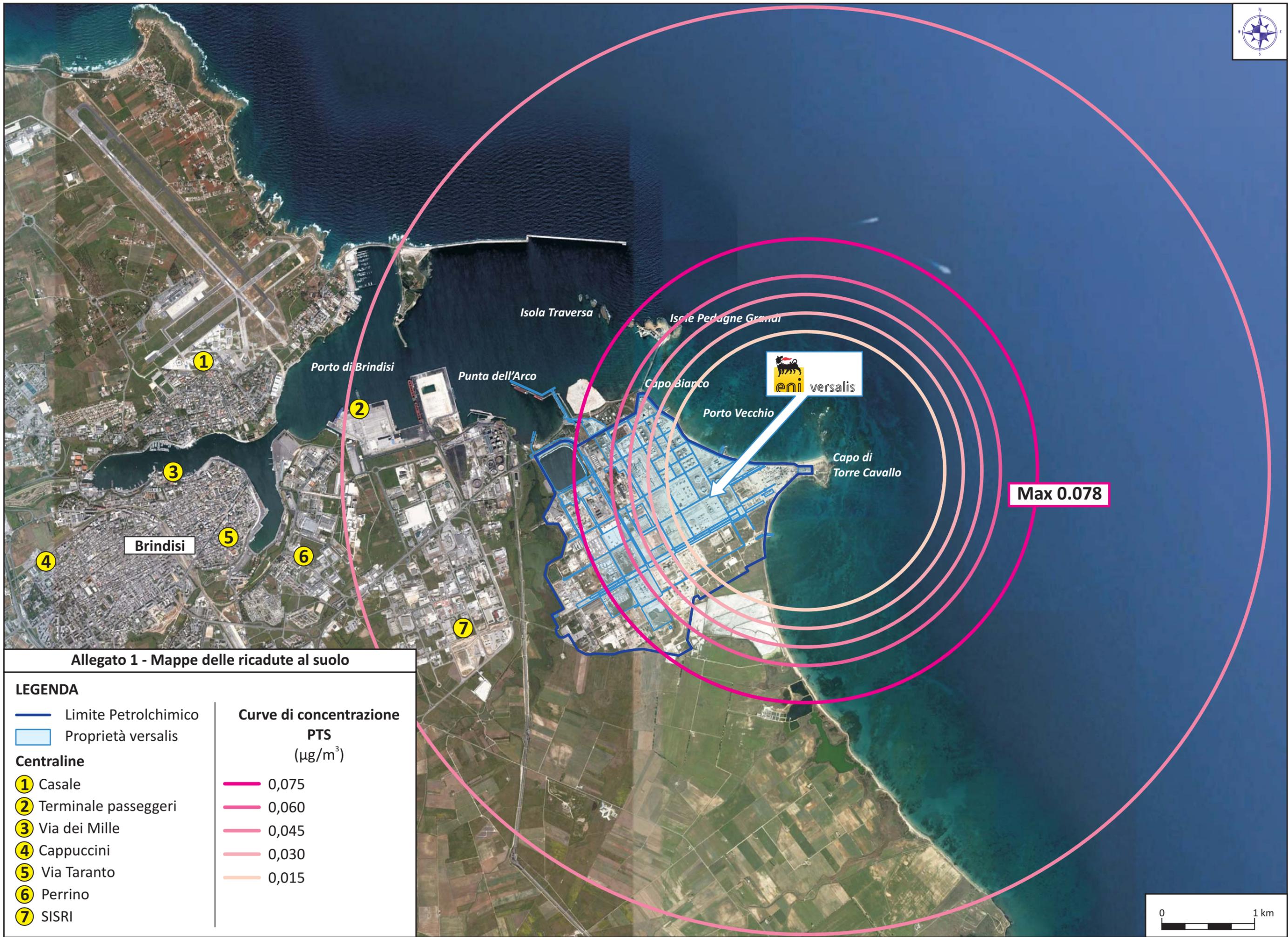
**Centraline**

- ① Casale
- ② Terminale passeggeri
- ③ Via dei Mille
- ④ Cappuccini
- ⑤ Via Taranto
- ⑥ Perrino
- ⑦ SISRI

**Curve di concentrazione  
NO<sub>x</sub>  
(µg/m<sup>3</sup>)**

- 2,5
- 2,0
- 1,5
- 1,0
- 0,5

0 1 km



Allegato 1 - Mappe delle ricadute al suolo

**LEGENDA**

- Limite Petrolchimico
- Proprietà versalis

**Centraline**

- ① Casale
- ② Terminale passeggeri
- ③ Via dei Mille
- ④ Cappuccini
- ⑤ Via Taranto
- ⑥ Perrino
- ⑦ SISRI

**Curve di concentrazione  
PTS  
( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )**

- 0,075
- 0,060
- 0,045
- 0,030
- 0,015

Max 0.078

0 1 km