

versalis



MINISTERO DELL'AMBIENTE E DELLA TUTELA  
DEL TERRITORIO E DEL MARE  
Generale per le Valutazioni e le Autorizzazioni Ambientali



REGISTRO UFFICIALE - INGRESSO  
Prot. 0019758/DVA del 28/07/2016

prot. n. DIRE/U/001894  
Brindisi, 22/07/2016

**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

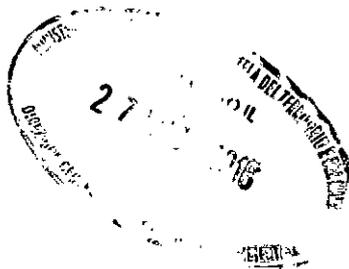
Spett.le

Ministero dell'Ambiente e della  
Tutela del Territorio e del Mare  
Direzione Generale per le valutazioni  
ambientali  
Via C. Colombo, n°44  
00147 - Roma  
dva-IV@minambiente.it

Istituto Superiore per la Protezione  
e la Ricerca Ambientale (ISPRA)  
Via Vitaliano Brancati, n°48  
00144 - Roma  
Protocollo.ispra@ispra.legalmail.it

ARPA Puglia - DAP Brindisi  
Via Galante 16-72100 Brindisi  
dap.br.arpapuglia@pec.rupar.puglia.it

ARPA Puglia - Direzione Tecnica  
Corso Trieste, 27-70126 Bari  
dir.scientifica.arpapuglia@pec.rupar.puglia.it



Oggetto: versalis spa impianto chimico sito nel Comune di Brindisi. Seconda diffida per inosservanza delle prescrizioni autorizzative alla nota ISPRA prot. 36378 del 16/06/2016

Con riferimento a Vs. comunicazione di pari oggetto, si tramette nota di approfondimento finalizzata al superamento della presunta violazione della prescrizione n. 13, pag 140 del PIC-AIA DVA DEC -000514 del 16/09/2011.

La nota, completa di allegati, vi sarà inviata a mezzo posta ordinaria (n. 1CD).

Inoltre, con la presente, si trasmette esito della ultima taratura effettuata sul misuratore di portata e peso molecolare asservito alla torcia RV101C.

Cordiali saluti

versalis

Stabilimento di Brindisi

Direttore di Stabilimento

Eni Russo

Allegati

1) Nota di risposta alla diffida del Ministero dell'Ambiente del 22/06/2016 -(rif. Nota ISPRA del 36378 del 16/06/2016)

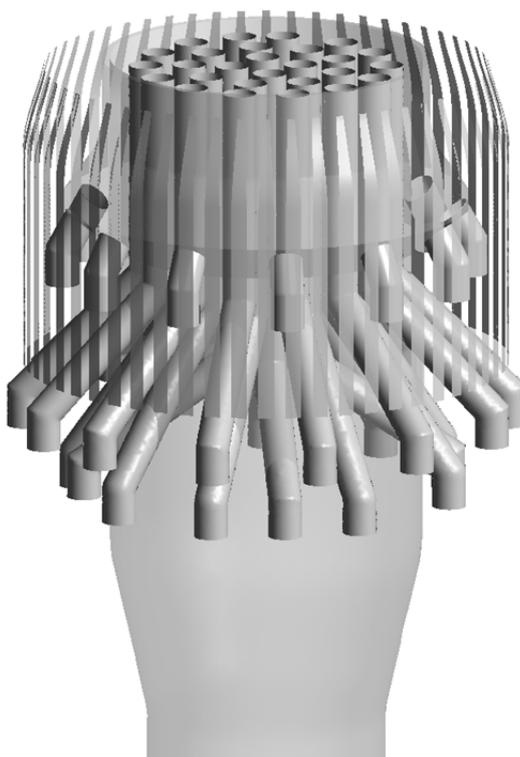
2) Rapporto ultima taratura misuratore di portata e peso molecolare torcia RV101C

**versalis spa**

Sede Legale: San Donato Milanese (MI) - Piazza Boldrini, 1 - Italia  
Capitale sociale interamente versato: Euro 1.364.790.000,00  
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

# ANALISI CFD: CALCOLO DELL'EFFICIENZA DI COMBUSTIONE DEL TERMINALE DI TORCIA RV-101-C

1



**CLIENTE: ENI VERSALIS**

**FIVES ITAS JOB: C35953/16**

**FIVES ITAS DOC. NR.: T.41.977**

0	10/06/2016	First Issue	VT	CG	MiP
<b>Rev.</b>	<b>Data</b>	<b>Descrizione</b>	<b>Emesso</b>	<b>Controllato</b>	<b>Approvato</b>

**Fives ITAS S.p.A.**

Sede legale, amministrativa e stabilimento

Via Metauro, 5 - 20900 Monza (MB) - Italy

Telefono: + 39 039 2733 1 - Telefax: + 39 039 74 50 77

Dati societari: Capitale Sociale €258.250 i.v. - Registro delle Imprese di Monza e Brianza n. 00168830057

Codice Fiscale 00168830057 - Partita I.V.A. IT 00677710964 - Società con socio unico

Società soggetta ad attività di direzione e coordinamento della Società Fives Italy S.r.l.

[www.itas-spa.com](http://www.itas-spa.com) / [www.fivesgroup.com](http://www.fivesgroup.com) / [itas@fivesgroup.com](mailto:itas@fivesgroup.com)

## SOMMARIO

<b>1.1</b>	<b>INTRODUZIONE</b> .....	<b>3</b>
<b>1.2</b>	<b>DESCRIZIONE DEL PROGETTO</b> .....	<b>4</b>
1.2.1	GEOMETRIA DEL TERMINALE DI TORCIA RV-101-C .....	4
1.2.2	MODELLO COMPUTAZIONALE E CONDIZIONI OPERATIVE.....	6
1.2.3	GRIGLIA COMPUTAZIONALE .....	8
1.2.4	SET-UP NUMERICO .....	10
<b>1.3</b>	<b>RISULTATI</b> .....	<b>12</b>
1.3.1	ANALISI QUALITATIVA .....	15
1.3.2	ANALISI QUANTITATIVA .....	32
<b>1.4</b>	<b>CONCLUSIONI</b> .....	<b>33</b>
<b>1.5</b>	<b>ALLEGATI</b> .....	<b>34</b>

### Fives ITAS S.p.A.

Sede legale, amministrativa e stabilimento

Via Metauro, 5 - 20900 Monza (MB) - Italy

Telefono: + 39 039 2733 1 - Telefax: + 39 039 74 50 77

Dati societari: Capitale Sociale €258.250 i.v. - Registro delle Imprese di Monza e Brianza n. 00168830057

Codice Fiscale 00168830057 - Partita I.V.A. IT 00677710964 - Società con socio unico

Società soggetta ad attività di direzione e coordinamento della Società Fives Italy S.r.l.

[www.itas-spa.com](http://www.itas-spa.com) / [www.fivesgroup.com](http://www.fivesgroup.com) / [itas@fivesgroup.com](mailto:itas@fivesgroup.com)

### 1.1 INTRODUZIONE

La ENI VERSALIS ha richiesto a Fives ITAS S.p.A. l'esecuzione di uno studio per la valutazione dell'efficienza di combustione del terminale di torcia RV-101-C durante alcune condizioni operative.

In particolare, oggetto dell'analisi è la prestazione del terminale di torcia RV-101-C, per le condizioni operative richieste, in termini di:

- Profilo di velocità nel terminale;
- Valutazione dell'efficienza di combustione;
- Valutazione della forma e dimensione della fiamma;
- Campo di velocità di uscita dei gas dal terminale;
- Campo di temperatura all'uscita del terminale;
- Concentrazione di gas incombusti.

La presente relazione ha lo scopo di valutare un particolare caso di scarico della torcia, ovvero:

- CASO 1: portata in massa del gas di torcia = 180,26 t/h;

Quest'ultimo si riferisce all'evento di torcia del 24 novembre 2015 delle ore 15.10.

Le condizioni operative complete, tra cui composizione e temperatura, saranno descritte nei paragrafi successivi.

#### **Fives ITAS S.p.A.**

Sede legale, amministrativa e stabilimento

Via Metauro, 5 - 20900 Monza (MB) - Italy

Telefono: + 39 039 2733 1 - Telefax: + 39 039 74 50 77

Dati societari: Capitale Sociale €258.250 i.v. - Registro delle Imprese di Monza e Brianza n. 00168830057

Codice Fiscale 00168830057 - Partita I.V.A. IT 00677710964 - Società con socio unico

Società soggetta ad attività di direzione e coordinamento della Società Fives Italy S.r.l.

[www.itas-spa.com](http://www.itas-spa.com) / [www.fivesgroup.com](http://www.fivesgroup.com) / [itas@fivesgroup.com](mailto:itas@fivesgroup.com)

## 1.2 DESCRIZIONE DEL PROGETTO

Il seguente paragrafo riporta la descrizione del terminale di torcia RV-101-C, le condizioni operative e il set-up numerico utilizzati per il calcolo fluidodinamico.

### 1.2.1 GEOMETRIA DEL TERMINALE DI TORCIA RV-101-C

Il terminale della torcia RV-101-C è rappresentato in Fig. 1. Il modello geometrico tridimensionale è stato realizzato con il software ANSYS DesignModeler 17.0. Il corpo del terminale è composto da un tubo da 1800 mm di diametro esterno e lunghezza pari a 4000 mm, il suo spessore è di 8 mm.

Trattandosi di una torcia smokeless, essa è provvista di un sistema di invio di vapore acqueo al terminale, che migliora la miscelazione tra il flare gas e l'aria ambiente, riducendo così la fumosità della fiamma. Il sistema smokeless è composto da trentanove tubi che dipartono da due collettori vapore esterni al terminale. I tubi sono divisi in due stadi: il primo comprende ventisette eiettori da 8" che dal collettore esterno si inseriscono all'interno del terminale per un tratto pari a circa 1500 mm (Fig. 2 – rosa). Il secondo stadio è composto da dodici iniettori da 8" che convogliano il flusso all'interno di una camera anulare esterna e coassiale al terminale (Fig. 2 – verde).

Infine la parte terminale della torcia è circondata da cinquantasei elementi schermo antivento di lunghezza pari a 1500 mm, larghezza pari a 100 mm circa e spessore pari a 6 mm.

E' da sottolineare che la geometria del modello riproduce fedelmente le caratteristiche della torcia RV-101-C. Tuttavia non sono stati inseriti nel modello geometrico della torcia alcuni dettagli (vedi Allegato 1):

- Anelli di ritenzione di fiamma;
- Piloti;
- Iniettori vapore;
- Testine vapore interno (III stadio).

Queste semplificazioni sono possibili in quanto esse non influenzano né qualitativamente né quantitativamente i risultati della simulazione fluidodinamica, con particolare riferimento all'efficienza di combustione del terminale.

### **Fives ITAS S.p.A.**

Sede legale, amministrativa e stabilimento

Via Metauro, 5 - 20900 Monza (MB) - Italy

Telefono: + 39 039 2733 1 - Telefax: + 39 039 74 50 77

Dati societari: Capitale Sociale €258.250 i.v. - Registro delle Imprese di Monza e Brianza n. 00168830057

Codice Fiscale 00168830057 - Partita I.V.A. IT 00677710964 - Società con socio unico

Società soggetta ad attività di direzione e coordinamento della Società Fives Italy S.r.l.

[www.itas-spa.com](http://www.itas-spa.com) / [www.fivesgroup.com](http://www.fivesgroup.com) / [itas@fivesgroup.com](mailto:itas@fivesgroup.com)

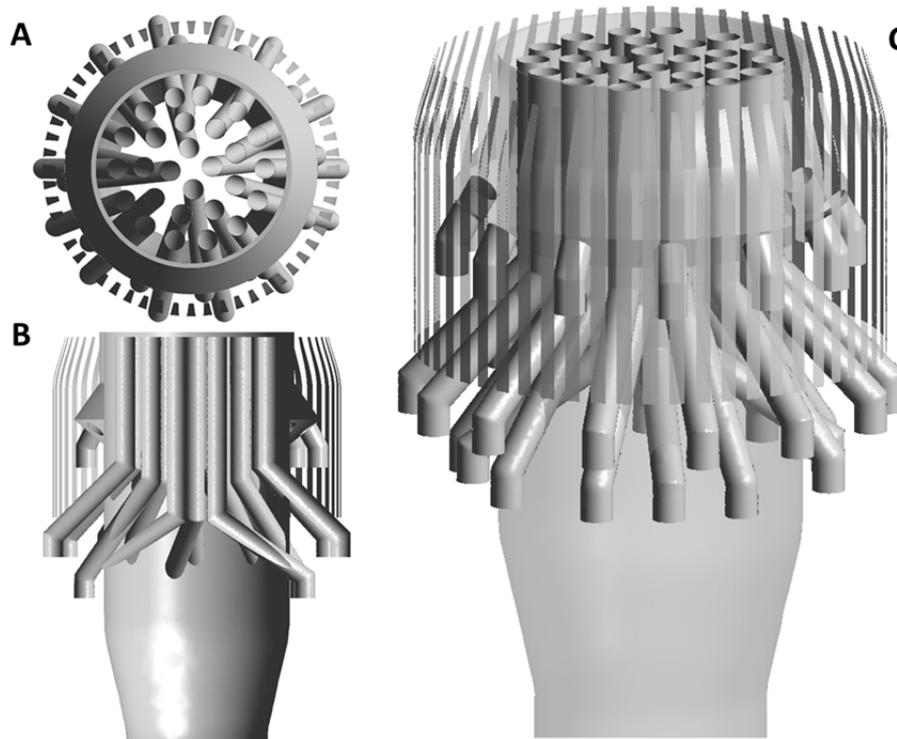


Fig. 1– Sketch del terminale RV-101-C: (A) vista in pianta; (B) sezione frontale; (C) vista tridimensionale.

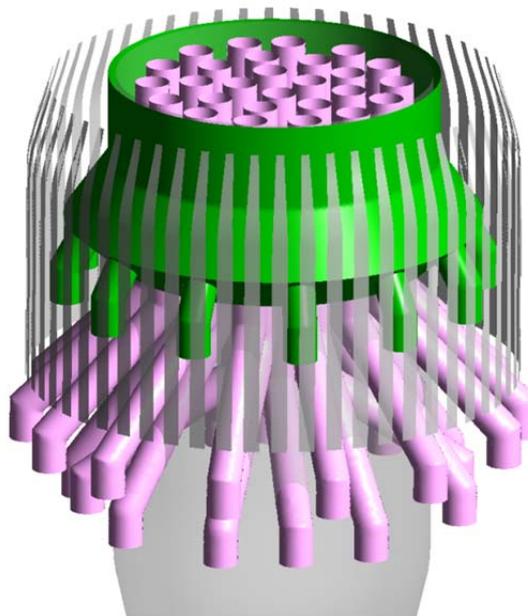


Fig. 2 – sketch del terminale: ROSA – primo stadio vapore; VERDE – secondo stadio vapore e camera anulare coassiale al terminale.

**Fives ITAS S.p.A.**

Sede legale, amministrativa e stabilimento

Via Metauro, 5 - 20900 Monza (MB) - Italy

Telefono: + 39 039 2733 1 - Telefax: + 39 039 74 50 77

Dati societari: Capitale Sociale €258.250 i.v. - Registro delle Imprese di Monza e Brianza n. 00168830057

Codice Fiscale 00168830057 - Partita I.V.A. IT 00677710964 - Società con socio unico

Società soggetta ad attività di direzione e coordinamento della Società Fives Italy S.r.l.

[www.itas-spa.com](http://www.itas-spa.com) / [www.fivesgroup.com](http://www.fivesgroup.com) / [itas@fivesgroup.com](mailto:itas@fivesgroup.com)

### 1.2.2 MODELLO COMPUTAZIONALE E CONDIZIONI OPERATIVE

La presente relazione ha lo scopo di valutare la distribuzione dei flussi non solo all'interno della torcia, ma anche nell'ambiente che la circonda. Per questo motivo, il dominio computazionale è composto da un parallelepipedo all'interno del quale è inserito il terminale.

Il parallelepipedo, che simula l'aria circostante la torcia, ha dimensioni 120L m x 50P m x 150H . Uno sketch del modello appena descritto è illustrato in Fig. 3.

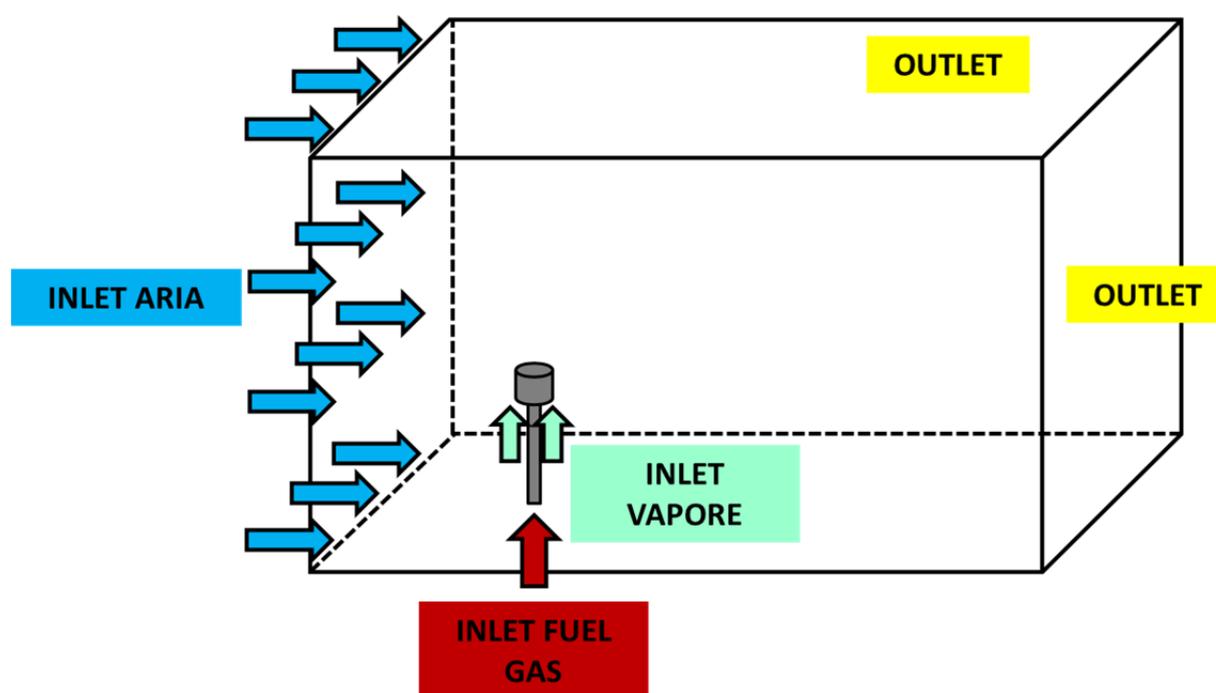


Fig. 3 – Sketch del dominio computazionale.

La faccia di ingresso del box di aria che circonda la torcia è schematizzata come “velocity inlet”, cioè viene forzata una velocità costante dell'aria in ingresso, a temperatura e composizione costanti. Inoltre il profilo di velocità dell'aria è costante lungo tutta la larghezza e lunghezza del parallelepipedo. Non si tiene pertanto conto del reale profilo di velocità del vento, tipicamente logaritmico in quanto le differenze di velocità del vento in funzione della quota nella zona considerata sono irrilevanti ai fini dell'analisi della efficienza di combustione del terminale. Le

#### Fives ITAS S.p.A.

Sede legale, amministrativa e stabilimento

Via Metauro, 5 - 20900 Monza (MB) - Italy

Telefono: + 39 039 2733 1 - Telefax: + 39 039 74 50 77

Dati societari: Capitale Sociale €258.250 i.v. - Registro delle Imprese di Monza e Brianza n. 00168830057

Codice Fiscale 00168830057 - Partita I.V.A. IT 00677710964 - Società con socio unico

Società soggetta ad attività di direzione e coordinamento della Società Fives Italy S.r.l.

[www.itas-spa.com](http://www.itas-spa.com) / [www.fivesgroup.com](http://www.fivesgroup.com) / [itas@fivesgroup.com](mailto:itas@fivesgroup.com)

facce superiore, laterale e quella contrapposta all'ingresso dell'aria sono schematizzate come "pressure outlet", cioè sezione di uscita del modello a pressione costante. L'ingresso del flare gas e del vapore è schematizzato come "mass flow inlet", cioè viene forzata una portata costante in ingresso al terminale, a temperatura e composizione costanti. E' da sottolineare che il profilo di velocità è costante su tutta la sezione di ingresso del terminale. Viene dunque trascurato che il flare gas raggiunge la sezione di ingresso del tip con un profilo di velocità turbolento sviluppato. Infine, tutte le pareti sono modellizzate come "wall" adiabatiche, dove viene imposta una condizione di non-slip.

La Fig. 4 riassume le condizioni al contorno imposte nel calcolo CFD.

Poiché il caso analizzato (CASO 1) si riferisce all'evento di torcia avvenuto il giorno 24 novembre 2015 alle ore 15.10, le condizioni ambientali utilizzate per le simulazioni rispecchiano quelle reali contemporanee agli eventi di torcia studiati. In particolare l'umidità dell'aria si riferisce ai dati estratti dalla centralina meteorologica più prossima al terminale (Brindisi – ARPA Puglia). La velocità del vento e la temperatura dell'aria ambiente sono state calcolate con il modello CALMET (per maggiori informazioni si veda il documento "Studio modellistico per la valutazione degli effetti sulla qualità dell'aria dell'evento di torcia RV-101-C del 24 novembre 2015").

### **Fives ITAS S.p.A.**

Sede legale, amministrativa e stabilimento

Via Metauro, 5 - 20900 Monza (MB) - Italy

Telefono: + 39 039 2733 1 - Telefax: + 39 039 74 50 77

Dati societari: Capitale Sociale €258.250 i.v. - Registro delle Imprese di Monza e Brianza n. 00168830057

Codice Fiscale 00168830057 - Partita I.V.A. IT 00677710964 - Società con socio unico

Società soggetta ad attività di direzione e coordinamento della Società Fives Italy S.r.l.

[www.itas-spa.com](http://www.itas-spa.com) / [www.fivesgroup.com](http://www.fivesgroup.com) / [itas@fivesgroup.com](mailto:itas@fivesgroup.com)

TORCIA RV-101-C – CASO 1: 180,26 t/h					
	PORTATA/ VELOCITA' [kg/s]/[m/s]	GAS [%vol]	TEMPERATURA [°C]	PRESSIONE [Pa g]	CONDIZIONE TERMICA
INLET ARIA	- / 4,6	ARIA – 87% umidità relativa	13	-	-
INLET FUEL GAS	50,07/ -	IDROGENO = 8,1 AZOTO = 0,01 MONOSSIDO DI CARBONIO = 0,04 METANO = 13,49 ETANO = 7,1 ETILENE = 12,79 PROPANO = 4,6 PROPILENE = 44,75 BUTANO = 0,51 ALLENE = 0,3 ACETILENE = 0,07 BUTENE = 4,45 BUTADIENE = 2,6 PENTANO = 1,04 ESANO = 0,01 BENZENE = 0,14	19,8	-	-
INLET VAPORE	I STADIO = 65,56	ACQUA	188	-	-
	II STADIO = 29,45				
OUTLET	-	-	-	0	-
PARETI	Condizione non-slip				adiabatica

Fig. 4 – Condizioni operative per il CASO 1.

### 1.2.3 GRIGLIA COMPUTAZIONALE

Al fine di studiare tramite la tecnica CFD la distribuzione dei flussi all'interno e all'esterno della torcia, è stato necessario discretizzare il dominio in una griglia di calcolo numerica, realizzata attraverso il software ANSYS Meshing 17.0. Essa è una mesh non strutturata composta da elementi poliedrici. Il numero di elementi è 3,7 milioni circa. La qualità della mesh è stata valutata e validata attraverso la skewness. Quest'ultima è un valore adimensionale che determina quanto una cella che compone la griglia computazionale si avvicina alla geometria di una cella ideale, valutandone il grado di apertura degli angoli rispetto ad un cubo, nel caso di cella esaedrica o rispetto ad una piramide, nel caso di cella tetraedrica. La griglia di calcolo è mostrata in Fig. 5 e Fig. 6. Queste mostrano un infittimento di celle nella zona dove è previsto un maggior gradiente delle variabili di interesse quali temperatura, velocità e concentrazione delle specie.

#### Fives ITAS S.p.A.

Sede legale, amministrativa e stabilimento

Via Metauro, 5 - 20900 Monza (MB) - Italy

Telefono: + 39 039 2733 1 - Telefax: + 39 039 74 50 77

Dati societari: Capitale Sociale €258.250 i.v. - Registro delle Imprese di Monza e Brianza n. 00168830057

Codice Fiscale 00168830057 - Partita I.V.A. IT 00677710964 - Società con socio unico

Società soggetta ad attività di direzione e coordinamento della Società Fives Italy S.r.l.

[www.itas-spa.com](http://www.itas-spa.com) / [www.fivesgroup.com](http://www.fivesgroup.com) / [itas@fivesgroup.com](mailto:itas@fivesgroup.com)

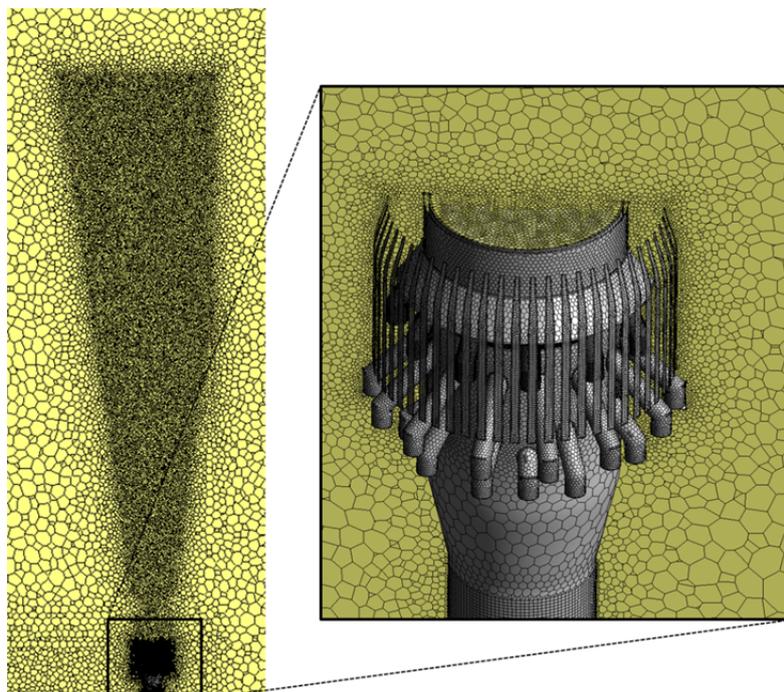


Fig. 5 – Griglia di calcolo del terminale e di un piano passante per l’asse del terminale; a destra: zoom sul terminale.

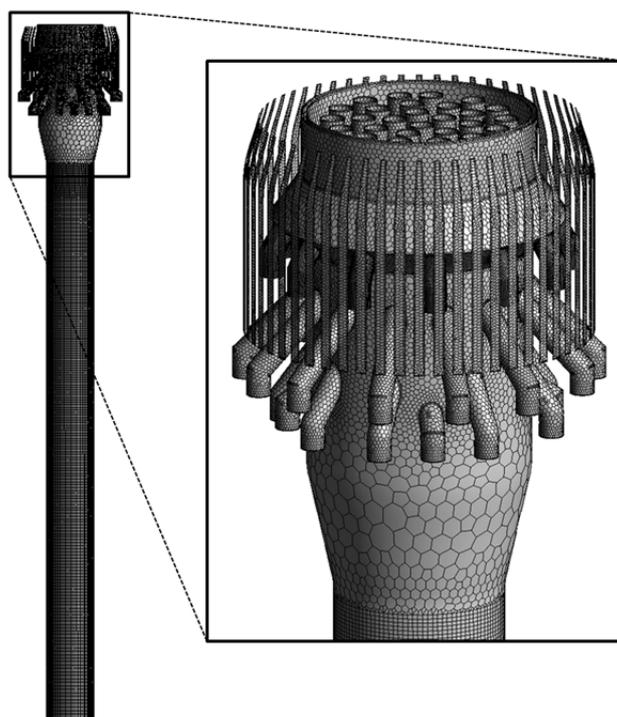


Fig. 6 – Griglia di calcolo della torcia; a destra: zoom sul terminale.

**Fives ITAS S.p.A.**

Sede legale, amministrativa e stabilimento

Via Metauro, 5 - 20900 Monza (MB) - Italy

Telefono: + 39 039 2733 1 - Telefax: + 39 039 74 50 77

Dati societari: Capitale Sociale €258.250 i.v. - Registro delle Imprese di Monza e Brianza n. 00168830057

Codice Fiscale 00168830057 - Partita I.V.A. IT 00677710964 - Società con socio unico

Società soggetta ad attività di direzione e coordinamento della Società Fives Italy S.r.l.

[www.itas-spa.com](http://www.itas-spa.com) / [www.fivesgroup.com](http://www.fivesgroup.com) / [itas@fivesgroup.com](mailto:itas@fivesgroup.com)

#### 1.2.4 SET-UP NUMERICO

Il calcolo computazionale fluidodinamico si basa sulla risoluzione di un sistema di equazioni differenziali parziali composto dalle equazioni di conservazione della massa, della quantità di moto e dell'energia. La risoluzione di queste equazioni permette la descrizione dei campi di velocità, turbolenza, temperatura, irraggiamento e trasporto delle specie chimiche. Poiché il flusso di gas che attraversa la torcia è di tipo turbolento, esso viene modellizzato con l'approccio RANS (Reynolds Averaged Navier-Stokes) attraverso il modello Realizable  $k-\epsilon$ . Poiché le simulazioni implicano il processo di combustione, è necessario descriverlo attraverso un modello dedicato. In questo caso si è scelto l'approccio dello scalare conservato (PDF non-premixed model), che descrive l'interazione cinetico-turbolenta attraverso l'introduzione della mixture-fraction e della mixture-variance. Queste permettono di semplificare il processo di combustione ad un problema di miscelamento, evitando la chiusura attraverso i tassi di reazione chimica. Al fine di descrivere in tal modo il processo di combustione, il modello si basa su alcune ipotesi: innanzitutto la pressione è assunta termochimicamente costante (il termine gradiente di pressione nell'equazione della quantità di moto è conservato, mentre nelle relazioni di stato come l'equazione termica di stato, essa è approssimata ad un valore costante). Questa ipotesi è giustificata perché in flussi reagenti gli effetti causati dalle variazioni della temperatura e del peso molecolare della miscela sopravanzano largamente nella equazione termica di stato quelli causati da variazioni di pressione, per flussi a  $Ma < 0,3$ . Una seconda ipotesi è che la diffusione molecolare delle specie è descritta in termini di un singolo coefficiente  $D$ , il numero di Lewis è assunto unitario e il calore specifico è indipendente dalla temperatura. Infine l'ultima ipotesi assume che le reazioni chimiche sono in equilibrio. Questa assunzione è giustificata quando il numero di Damköhler è molto maggiore dell'unità, condizione che si verifica in presenza di alta temperatura e pressione, come può essere dedotto dalla legge di Arrhenius.

Sotto l'ipotesi di equilibrio chimico ogni grandezza di stato può essere espressa in funzione di altre due grandezze di stato, più il rapporto di equivalenza. Tuttavia è possibile sostituire il rapporto di equivalenza con lo scalare conservato (o mixture fraction)  $Z$ , con il significato di frazione di massa

#### **Fives ITAS S.p.A.**

Sede legale, amministrativa e stabilimento

Via Metauro, 5 - 20900 Monza (MB) - Italy

Telefono: + 39 039 2733 1 - Telefax: + 39 039 74 50 77

Dati societari: Capitale Sociale €258.250 i.v. - Registro delle Imprese di Monza e Brianza n. 00168830057

Codice Fiscale 00168830057 - Partita I.V.A. IT 00677710964 - Società con socio unico

Società soggetta ad attività di direzione e coordinamento della Società Fives Italy S.r.l.

[www.itas-spa.com](http://www.itas-spa.com) / [www.fivesgroup.com](http://www.fivesgroup.com) / [itas@fivesgroup.com](mailto:itas@fivesgroup.com)

del combustibile, sia in forma incombusta che parzialmente o totalmente bruciato. Questo approccio è elegante in quanto gli elementi atomici si conservano nelle reazioni chimiche e permette di esprimere facilmente il rapporto di equivalenza locale. Lo scalare conservato può essere pensato come una frazione di massa di un'ipotetica specie chimica non reagente la cui evoluzione è pertanto descritta da un'equazione simile a quelle di conservazione della quantità di moto, in cui al posto della velocità e della pressione è presente la variabile  $Z$  e il termine sorgente è nullo. Si ha quindi un'equazione puramente convettiva-diffusiva, del tutto analoga all'equazione dell'energia che si ottiene dalle assunzioni sopra citate. E' possibile inoltre scalare l'equazione dell'entalpia in modo che anche le condizioni al contorno dello scalare conservato e dell'energia coincidano. In questo modo se consideriamo la grandezza di stato densità, essa risulta una funzione della sola  $Z$  che viene calcolata, insieme a tutte le altre grandezze di stato come temperatura, concentrazioni, entropia, etc., mediante il codice di calcolo. Una volta definita la densità è dunque possibile affrontare il problema della chiusura per la densità media in flussi turbolenti. Si introduce una funzione densità di probabilità (Probability Density Function) dello scalare conservato,  $P(Z)$ . Essa è la funzione che delimita la probabilità che lo scalare conservato sia compreso in un intervallo assegnato. L'integrale del prodotto tra la  $P(Z)$  e la densità locale, che è funzione della sola variabile  $Z$ , restituisce il valore della densità media. Poiché l'integrale sopra definito è relativamente insensibile alla forma della funzione densità di probabilità, è possibile adottare una forma presunta della PDF, chiudendo il problema della modellizzazione dei flussi turbolenti.

Infine, per descrivere correttamente la fisica associata ai casi in esame, è stato modellizzato il fenomeno dell'irraggiamento attraverso il modello DO.

Il software utilizzato per le analisi riportate in questa relazione è ANSYS Fluent 17.0.

### **Fives ITAS S.p.A.**

Sede legale, amministrativa e stabilimento

Via Metauro, 5 - 20900 Monza (MB) - Italy

Telefono: + 39 039 2733 1 - Telefax: + 39 039 74 50 77

Dati societari: Capitale Sociale €258.250 i.v. - Registro delle Imprese di Monza e Brianza n. 00168830057

Codice Fiscale 00168830057 - Partita I.V.A. IT 00677710964 - Società con socio unico

Società soggetta ad attività di direzione e coordinamento della Società Fives Italy S.r.l.

[www.itas-spa.com](http://www.itas-spa.com) / [www.fivesgroup.com](http://www.fivesgroup.com) / [itas@fivesgroup.com](mailto:itas@fivesgroup.com)

### 1.3 RISULTATI

Il presente paragrafo riporta, per tutti i casi analizzati, i seguenti grafici:

- Profilo di velocità sul piano allo sbocco del terminale;
- Profilo di velocità su un piano passante per l'asse del terminale;
- Profilo di temperatura su un piano passante per l'asse del terminale;
- Profilo di temperatura sulla superficie del terminale;
- Isosuperficie a  $T = \text{cost} = 1200 \text{ K}; 1400 \text{ K}; 1600 \text{ K};$
- Superficie a  $[\text{CO}] = \text{cost} = 1000 \text{ ppm};$
- Profilo di incombusti,  $\text{N}_2$ ,  $\text{O}_2$  e  $\text{H}_2\text{O}$  su un piano passante per l'asse del terminale.

La Fig. 7 riporta il riferimento per i piani sopra indicati.

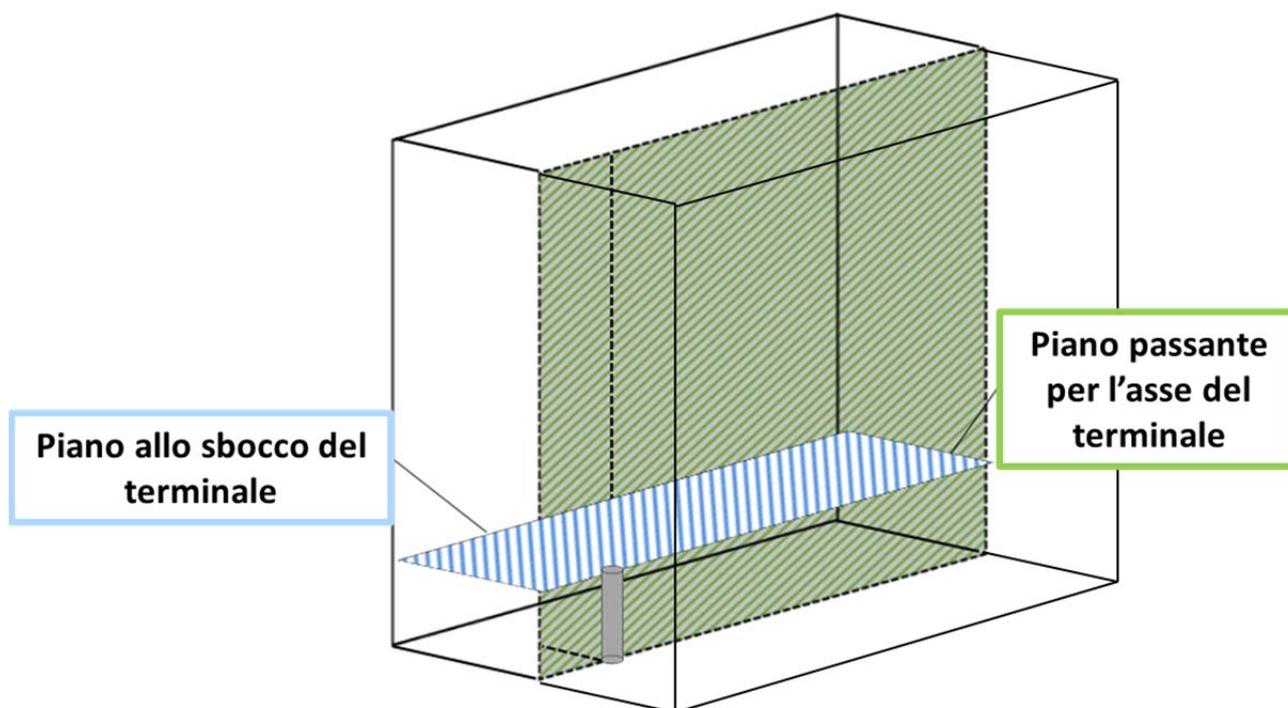


Fig. 7 – Piani di riferimento utilizzati per l'analisi dei risultati.

Per quanto riguarda la forma di fiamma e l'efficienza di combustione occorre fare alcune considerazioni. Convenzionalmente per fiamme idrocarburiche si assume che il confine di fiamma è il "luogo dei punti" aventi isoconcentrazione di monossido di carbonio,  $[\text{CO}] = 0.1\% = 1000 \text{ ppm}.$

#### **Fives ITAS S.p.A.**

Sede legale, amministrativa e stabilimento

Via Metauro, 5 - 20900 Monza (MB) - Italy

Telefono: + 39 039 2733 1 - Telefax: + 39 039 74 50 77

Dati societari: Capitale Sociale €258.250 i.v. - Registro delle Imprese di Monza e Brianza n. 00168830057

Codice Fiscale 00168830057 - Partita I.V.A. IT 00677710964 - Società con socio unico

Società soggetta ad attività di direzione e coordinamento della Società Fives Italy S.r.l.

[www.itas-spa.com](http://www.itas-spa.com) / [www.fivesgroup.com](http://www.fivesgroup.com) / [itas@fivesgroup.com](mailto:itas@fivesgroup.com)

La superficie a  $[CO] = 0.1\%$  può pertanto essere utilizzata per visualizzare la forma della fiamma; detta definizione ben si adatta agli idrocarburi. Nello stream di combustibile sono tuttavia presenti non solo idrocarburi bensì altri componenti per cui detta definizione non ha senso; nella fattispecie idrogeno. Il prodotto finale di combustione di suddetto composto è l'acqua. Si dovrebbe pertanto definire una seconda "fiamma" avente come confine il luogo dei punti ad isoconcentrazione di acqua. Tuttavia, poiché l'acqua deriva anche dalla combustione degli altri componenti della miscela del gas di torcia e poiché è presente anche nell'aria ambiente, non è possibile definire una "fiamma" per essa. Inoltre si può assumere come confine di fiamma il "luogo dei punti" aventi isotemperatura pari a  $T = 1200$  K. La superficie a 1200 K può pertanto essere utilizzata per visualizzare la forma della fiamma, considerando che per temperature basse, le reazioni avvengono con velocità esponenzialmente inferiori. Una volta poi definita detta superficie isoterma, si pone il problema di valutare correttamente la quantità di composti combustibili non ancora ossidati che escono da detta superficie, al fine di calcolare l'efficienza di combustione.

A valle delle considerazioni sopraesposte è stato deciso di operare come segue:

- Si identificano le superfici caratterizzate da  $[CO] = 0.1\%$  e  $T = 1200$  K;
- Si evidenzia la "forma di fiamma" corrispondente a dette superfici;
- Si traccia il piano orizzontale tangente superiormente alla fiamma (a quota  $z = \text{cost}$ );
- Si traccia il piano verticale tangente sottovento alla fiamma (ad ascissa  $x = \text{cost}$ );
- Si calcola il flusso di massa di combustibile non ossidato in uscita ai detti piani;
- Si calcola il flusso di massa dei gas da bruciare in ingresso alla torcia;
- Si calcola il rapporto di detti flussi, al fine di calcolare l'efficienza di combustione, secondo l'equazione riportata di seguito:

$$CE\% = \left( 1 - \frac{\sum_{i=1}^N \dot{m}_{UB\_OUT_i}}{\sum_{i=1}^N \dot{m}_{UB\_IN_i}} \right) \cdot 100$$

dove

$\sum_{i=1}^N \dot{m}_{UB\_OUT_i}$  è la somma del flusso di massa dei gas incombusti in uscita ai piani sopra citati;

#### **Fives ITAS S.p.A.**

Sede legale, amministrativa e stabilimento

Via Metauro, 5 - 20900 Monza (MB) - Italy

Telefono: + 39 039 2733 1 - Telefax: + 39 039 74 50 77

Dati societari: Capitale Sociale €258.250 i.v. - Registro delle Imprese di Monza e Brianza n. 00168830057

Codice Fiscale 00168830057 - Partita I.V.A. IT 00677710964 - Società con socio unico

Società soggetta ad attività di direzione e coordinamento della Società Fives Italy S.r.l.

[www.itas-spa.com](http://www.itas-spa.com) / [www.fivesgroup.com](http://www.fivesgroup.com) / [itas@fivesgroup.com](mailto:itas@fivesgroup.com)

$\sum_{i=1}^N \dot{m}_{UB\_IN_i}$  è il flusso di massa dei gas incombusti in ingresso alla torcia.

La Fig. 8 mostra un esempio illustrativo di quanto anzidetto.

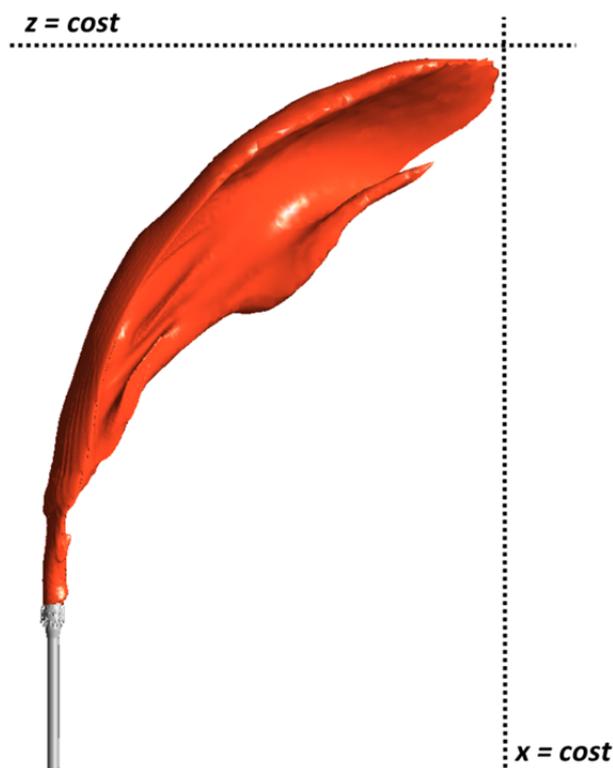


Fig. 8 – Piani di riferimento per il calcolo dell'efficienza di combustione: isotemperatura a  $T = 1200\text{ K}$ .

Il motivo per cui si è scelto di adottare questa procedura deriva dal fatto che la quantità di combustibile ossidato che fluisce attraverso i piani tangenti ( $z = \text{cost}$  e  $x = \text{cost}$ ) ha poca probabilità di completare la reazione e pertanto si può considerare “non bruciato”.

E' da sottolineare che le coordinate dei piani dipendono dal caso in esame. Infatti la forma del pennacchio è funzione delle condizioni di efflusso e delle condizioni atmosferiche. Nel caso analizzato le coordinate dei piani superiore e sottovento alla fiamma sono rispettivamente  $z = 66\text{ m}$  e  $x = 53\text{ m}$ . Si sottolinea inoltre che l'origine del sistema di riferimento utilizzato per valutare le coordinate dei piani si colloca sull'asse del terminale, allo sbocco dello stesso.

### Fives ITAS S.p.A.

Sede legale, amministrativa e stabilimento

Via Metauro, 5 - 20900 Monza (MB) - Italy

Telefono: + 39 039 2733 1 - Telefax: + 39 039 74 50 77

Dati societari: Capitale Sociale €258.250 i.v. - Registro delle Imprese di Monza e Brianza n. 00168830057

Codice Fiscale 00168830057 - Partita I.V.A. IT 00677710964 - Società con socio unico

Società soggetta ad attività di direzione e coordinamento della Società Fives Italy S.r.l.

[www.itas-spa.com](http://www.itas-spa.com) / [www.fivesgroup.com](http://www.fivesgroup.com) / [itas@fivesgroup.com](mailto:itas@fivesgroup.com)

### 1.3.1 ANALISI QUALITATIVA

Questo paragrafo riporta le immagini dei profili di velocità e temperatura su un piano passante per l'asse del terminale e sul piano allo sbocco del terminale, per ogni caso analizzato. Inoltre sono illustrate le "forme di fiamma" a isotermpura  $T = 1200, 1400, 1600$  K e a isoconcentrazione  $[CO] = 0.1\%$ . Successivamente è riportata la temperatura sulla parete del terminale. Si sottolinea che la parete è stata considerata adiabatica, come descritto nella tabella che riporta le condizioni operative. Infine sono riportati i profili di concentrazione delle specie incombuste in uscita dalle torce su un piano passante per l'asse del terminale.

#### 1.3.1.1 CASO 1: 180,26 t/h

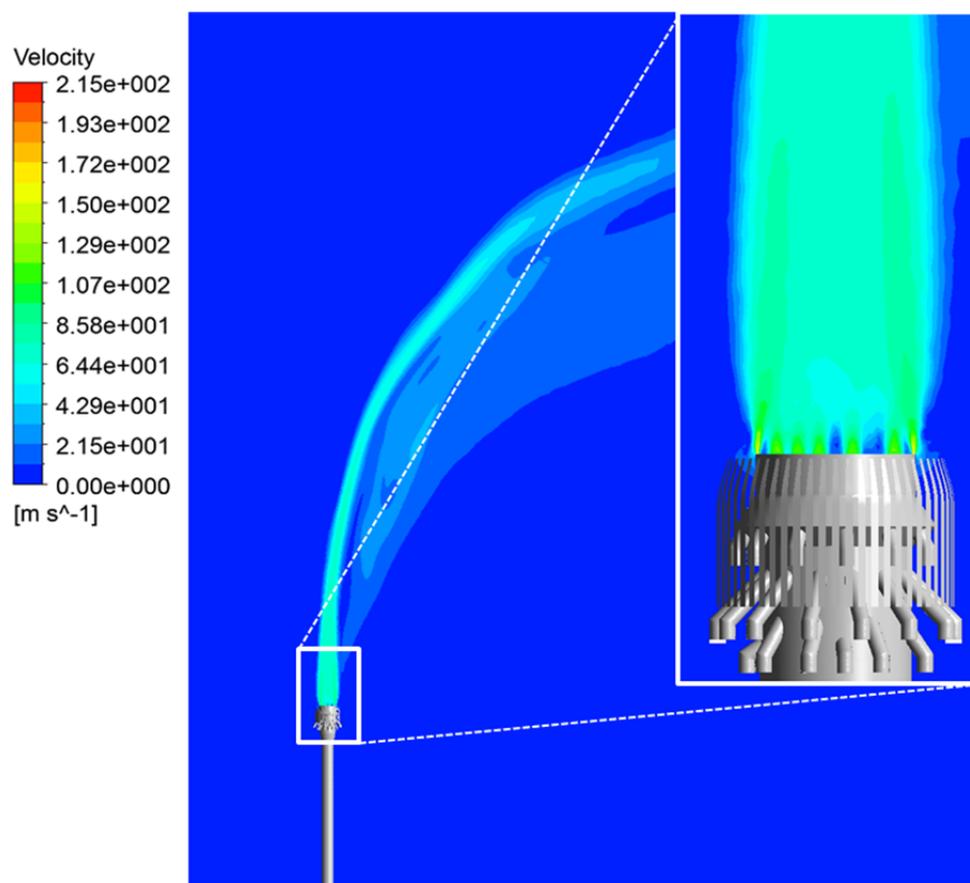


Fig. 9 – Mappa colorimetrica della velocità su un piano passante per l'asse del terminale; In alto a destra: zoom sul terminale.

#### Fives ITAS S.p.A.

Sede legale, amministrativa e stabilimento

Via Metauro, 5 - 20900 Monza (MB) - Italy

Telefono: + 39 039 2733 1 - Telefax: + 39 039 74 50 77

Dati societari: Capitale Sociale €258.250 i.v. - Registro delle Imprese di Monza e Brianza n. 00168830057

Codice Fiscale 00168830057 - Partita I.V.A. IT 00677710964 - Società con socio unico

Società soggetta ad attività di direzione e coordinamento della Società Fives Italy S.r.l.

[www.itas-spa.com](http://www.itas-spa.com) / [www.fivesgroup.com](http://www.fivesgroup.com) / [itas@fivesgroup.com](mailto:itas@fivesgroup.com)

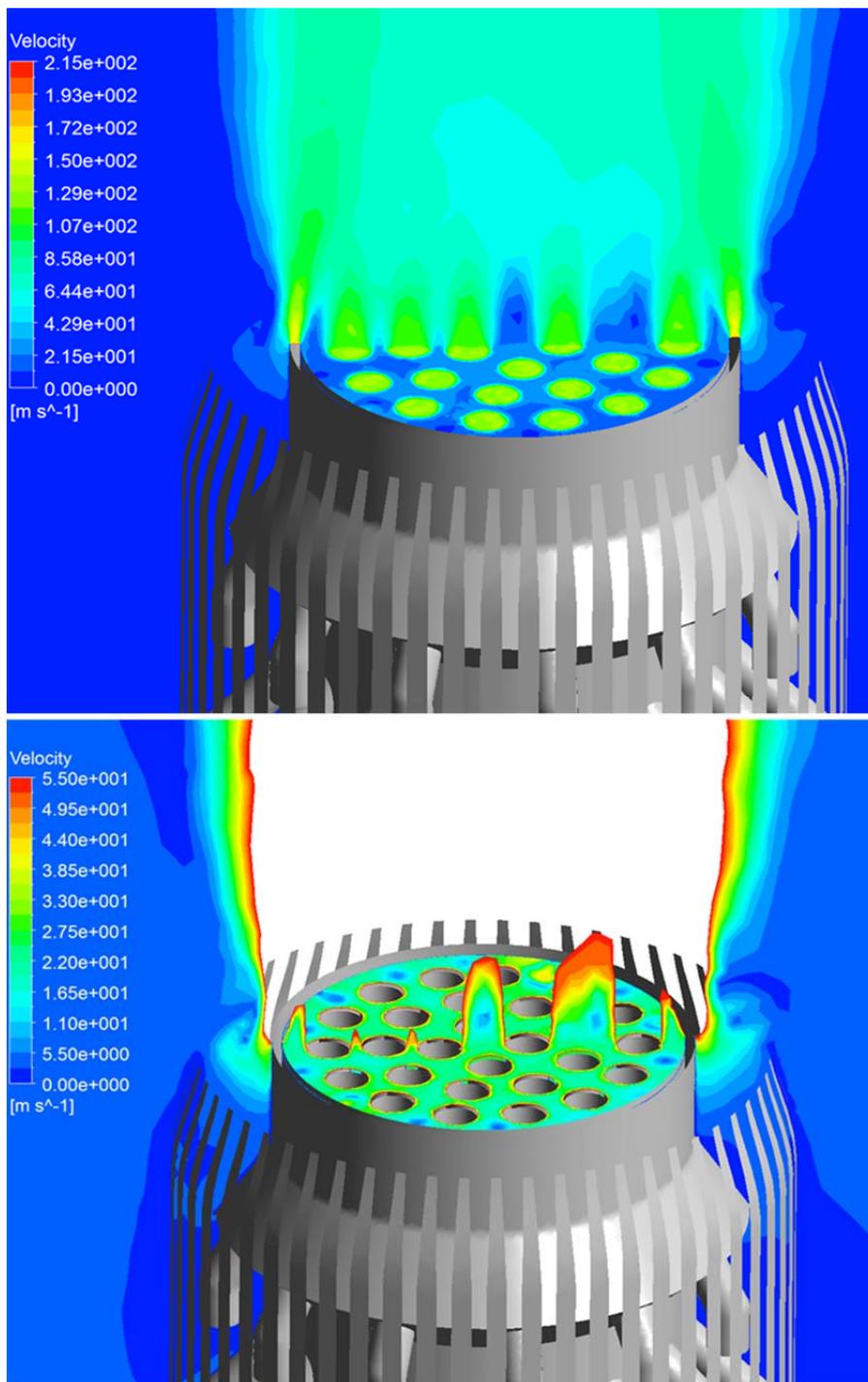


Fig. 10 – Mappa colorimetrica della velocità su un piano passante per l’asse del terminale e sul piano allo sbocco del terminale: (A) – range colorimetrico globale; (B) – range colorimetrico ridotto.

**Fives ITAS S.p.A.**

Sede legale, amministrativa e stabilimento

Via Metauro, 5 - 20900 Monza (MB) - Italy

Telefono: + 39 039 2733 1 - Telefax: + 39 039 74 50 77

Dati societari: Capitale Sociale €258.250 i.v. - Registro delle Imprese di Monza e Brianza n. 00168830057

Codice Fiscale 00168830057 - Partita I.V.A. IT 00677710964 - Società con socio unico

Società soggetta ad attività di direzione e coordinamento della Società Fives Italy S.r.l.

[www.itas-spa.com](http://www.itas-spa.com) / [www.fivesgroup.com](http://www.fivesgroup.com) / [itas@fivesgroup.com](mailto:itas@fivesgroup.com)

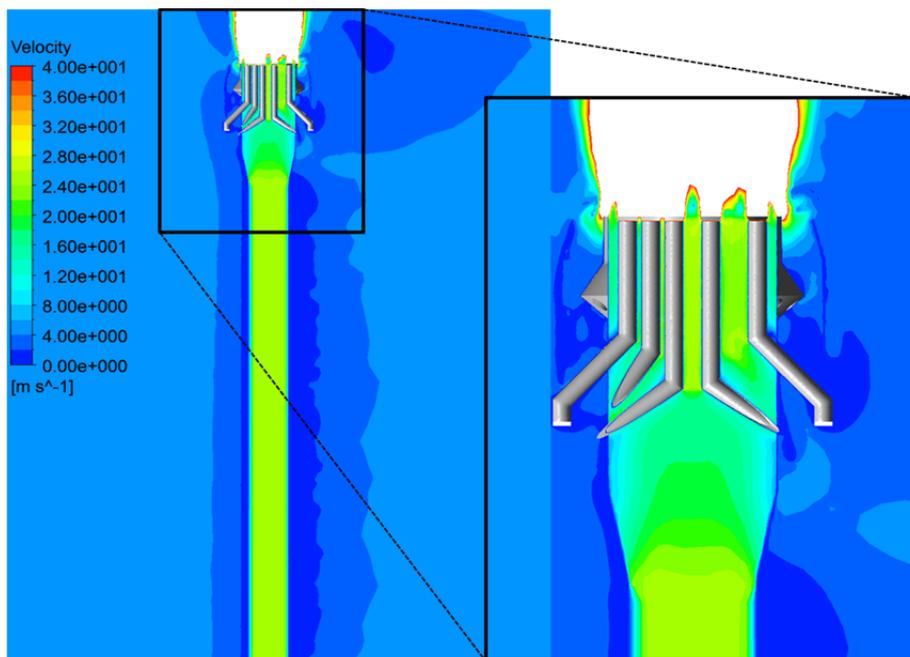


Fig. 11 – Mappa colorimetrica della velocità su un piano passante per l’asse del terminale; a destra: zoom della velocità all’interno del terminale.

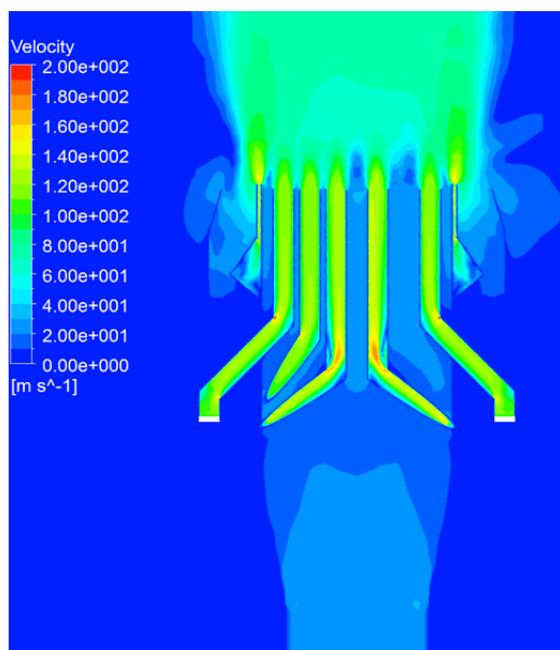


Fig. 12 – Mappa colorimetrica della velocità su un piano passante per l’asse del terminale, velocità all’interno degli eiettori vapore.

**Fives ITAS S.p.A.**

Sede legale, amministrativa e stabilimento

Via Metauro, 5 - 20900 Monza (MB) - Italy

Telefono: + 39 039 2733 1 - Telefax: + 39 039 74 50 77

Dati societari: Capitale Sociale €258.250 i.v. - Registro delle Imprese di Monza e Brianza n. 00168830057

Codice Fiscale 00168830057 - Partita I.V.A. IT 00677710964 - Società con socio unico

Società soggetta ad attività di direzione e coordinamento della Società Fives Italy S.r.l.

[www.itas-spa.com](http://www.itas-spa.com) / [www.fivesgroup.com](http://www.fivesgroup.com) / [itas@fivesgroup.com](mailto:itas@fivesgroup.com)

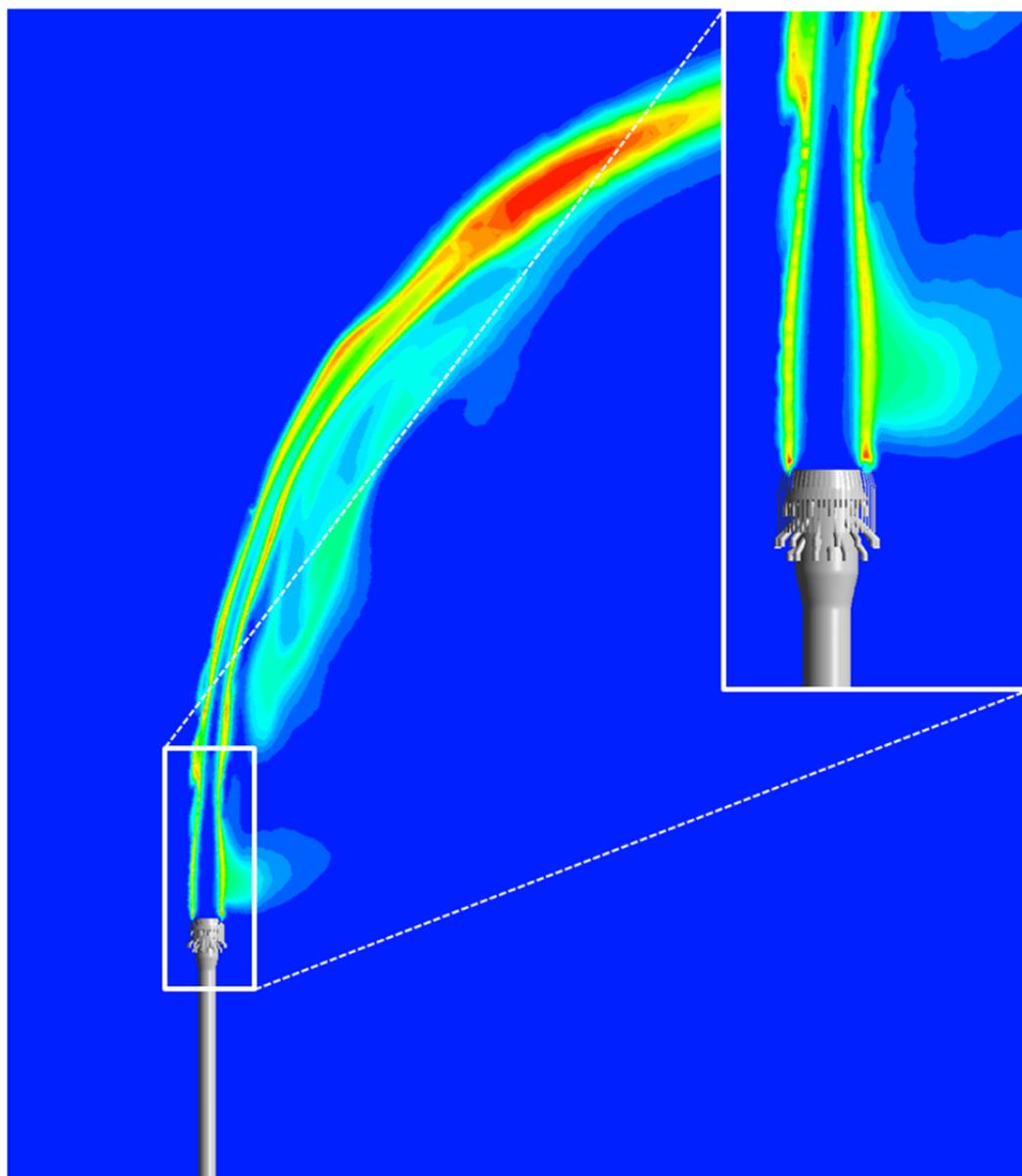
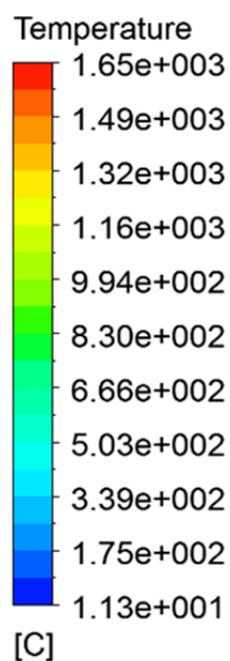


Fig. 13 – Mappa colorimetrica della temperatura su un piano passante per l’asse del terminale; in alto a destra: zoom della temperatura all’uscita del terminale.

**Fives ITAS S.p.A.**

Sede legale, amministrativa e stabilimento

Via Metauro, 5 - 20900 Monza (MB) - Italy

Telefono: + 39 039 2733 1 - Telefax: + 39 039 74 50 77

Dati societari: Capitale Sociale €258.250 i.v. - Registro delle Imprese di Monza e Brianza n. 00168830057

Codice Fiscale 00168830057 - Partita I.V.A. IT 00677710964 - Società con socio unico

Società soggetta ad attività di direzione e coordinamento della Società Fives Italy S.r.l.

[www.itas-spa.com](http://www.itas-spa.com) / [www.fivesgroup.com](http://www.fivesgroup.com) / [itas@fivesgroup.com](mailto:itas@fivesgroup.com)

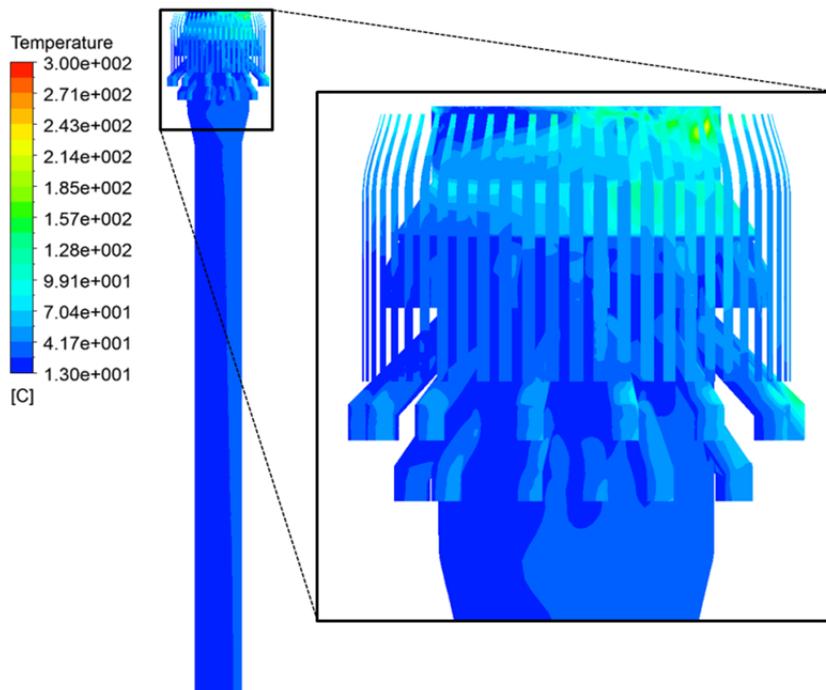


Fig. 14 – Mappa colorimetrica della temperatura sulle pareti della torcia fino a 20 m al di sotto dello sbocco.

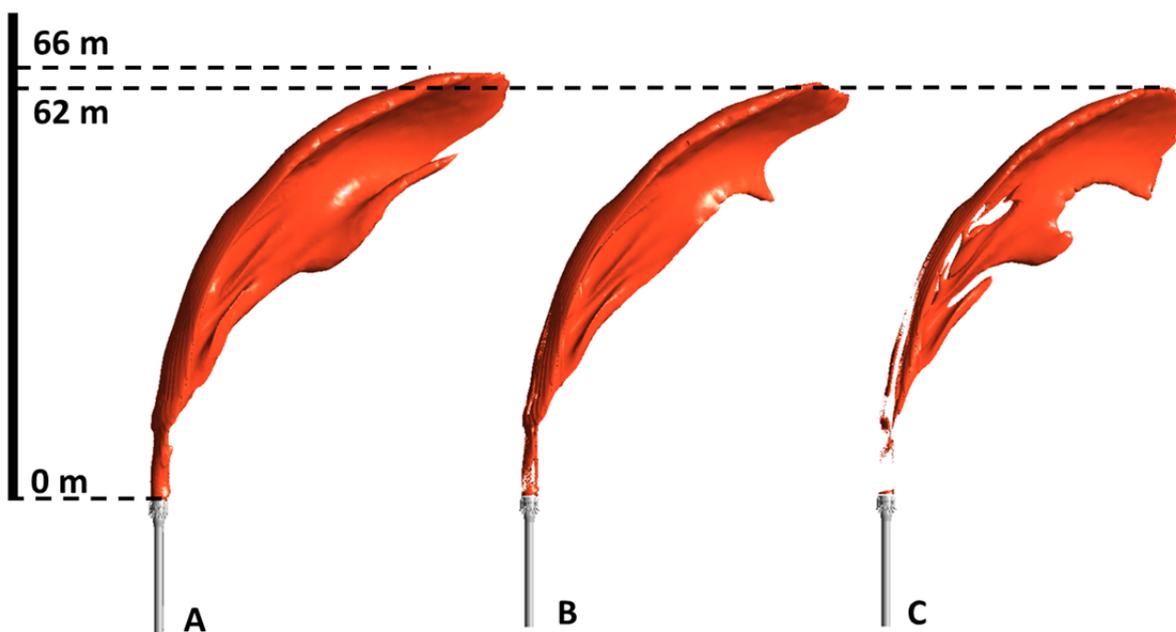


Fig. 15 – Superficie ad iso-temperatura: (A) –  $T = 1200\text{ K}$ ; (B) –  $T = 1400\text{ K}$ ; (C) –  $T = 1600\text{ K}$ .

**Fives ITAS S.p.A.**

Sede legale, amministrativa e stabilimento

Via Metauro, 5 - 20900 Monza (MB) - Italy

Telefono: + 39 039 2733 1 - Telefax: + 39 039 74 50 77

Dati societari: Capitale Sociale €258.250 i.v. - Registro delle Imprese di Monza e Brianza n. 00168830057

Codice Fiscale 00168830057 - Partita I.V.A. IT 00677710964 - Società con socio unico

Società soggetta ad attività di direzione e coordinamento della Società Fives Italy S.r.l.

[www.itas-spa.com](http://www.itas-spa.com) / [www.fivesgroup.com](http://www.fivesgroup.com) / [itas@fivesgroup.com](mailto:itas@fivesgroup.com)

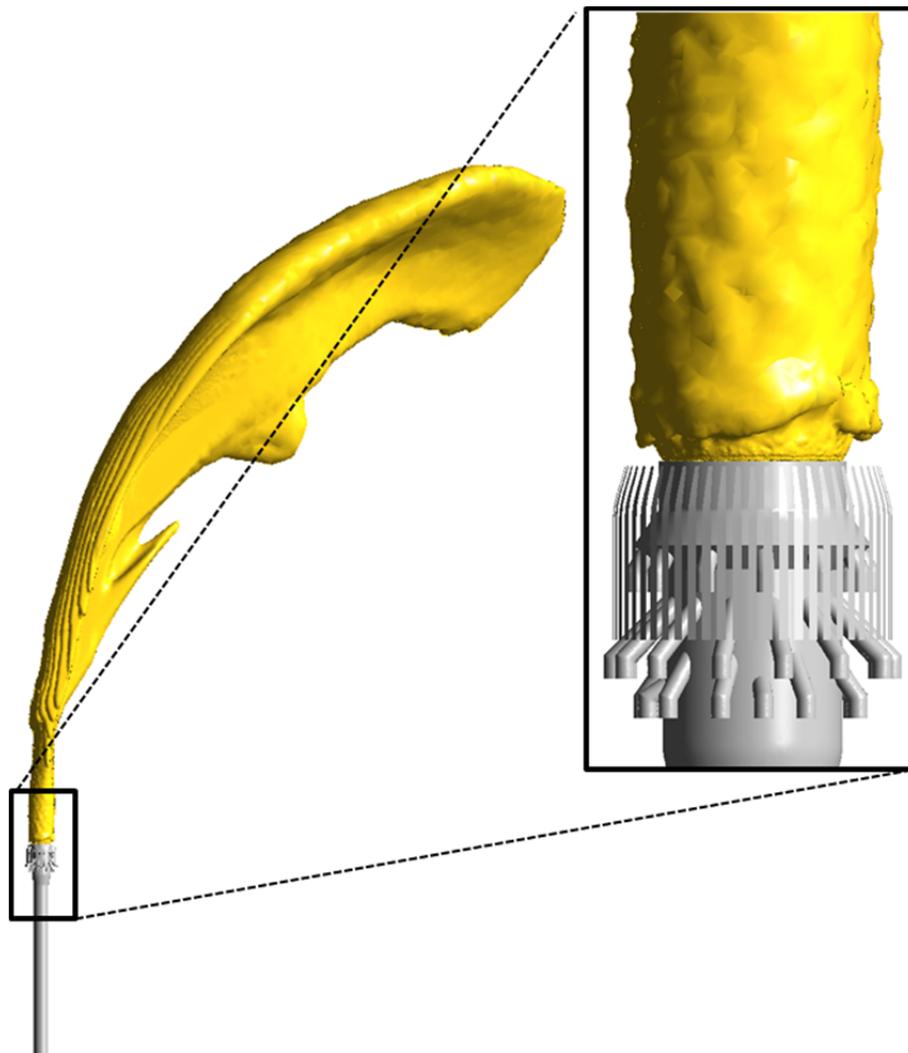


Fig. 16 – Superficie ad iso-concentrazione di CO:  $[CO] = 1000$  ppm.

**Fives ITAS S.p.A.**

Sede legale, amministrativa e stabilimento

Via Metauro, 5 - 20900 Monza (MB) - Italy

Telefono: + 39 039 2733 1 - Telefax: + 39 039 74 50 77

Dati societari: Capitale Sociale €258.250 i.v. - Registro delle Imprese di Monza e Brianza n. 00168830057

Codice Fiscale 00168830057 - Partita I.V.A. IT 00677710964 - Società con socio unico

Società soggetta ad attività di direzione e coordinamento della Società Fives Italy S.r.l.

[www.itas-spa.com](http://www.itas-spa.com) / [www.fivesgroup.com](http://www.fivesgroup.com) / [itas@fivesgroup.com](mailto:itas@fivesgroup.com)

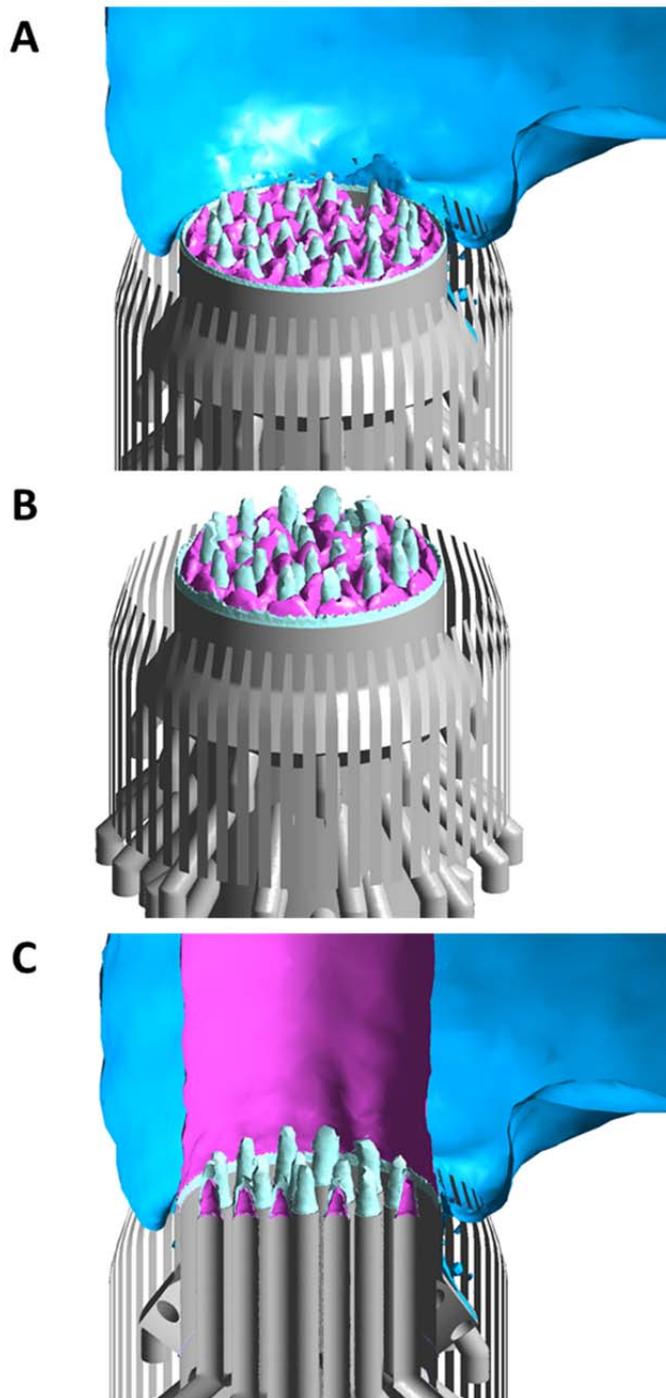


Fig. 17 – Superfici ad iso-concentrazione di  $CH_4$  (fucsia);  $N_2$  (azzurro);  $H_2O$  (verde acqua): (A) – frazione in massa  $[CH_4] = 0,06$ ;  $[N_2] = 0,75$ ;  $[H_2O] = 0,2$ ; (B) – frazione in massa  $[CH_4] = 0,04$ ;  $[N_2] = 0$ ;  $[H_2O] = 0,17$ ; (C) – frazione in massa  $[CH_4] = 0,008$ ;  $[N_2] = 0,75$ ;  $[H_2O] = 0,15$ .

**Fives ITAS S.p.A.**

Sede legale, amministrativa e stabilimento

Via Metauro, 5 - 20900 Monza (MB) - Italy

Telefono: + 39 039 2733 1 - Telefax: + 39 039 74 50 77

Dati societari: Capitale Sociale €258.250 i.v. - Registro delle Imprese di Monza e Brianza n. 00168830057

Codice Fiscale 00168830057 - Partita I.V.A. IT 00677710964 - Società con socio unico

Società soggetta ad attività di direzione e coordinamento della Società Fives Italy S.r.l.

[www.itas-spa.com](http://www.itas-spa.com) / [www.fivesgroup.com](http://www.fivesgroup.com) / [itas@fivesgroup.com](mailto:itas@fivesgroup.com)

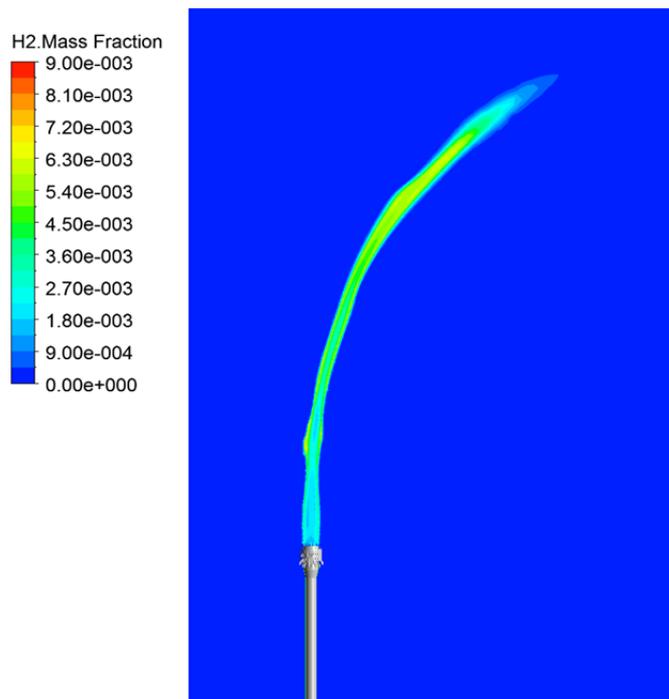


Fig. 18 – Mappa colorimetrica della concentrazione di  $H_2$  su un piano passante per l'asse del terminale.

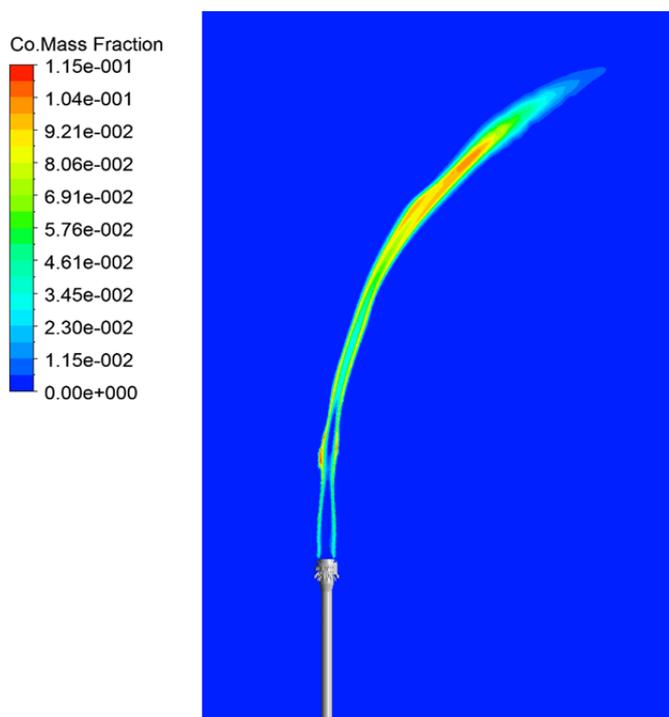


Fig. 19 – Mappa colorimetrica della concentrazione di  $CO$  su un piano passante per l'asse del terminale.

**Fives ITAS S.p.A.**

Sede legale, amministrativa e stabilimento

Via Metauro, 5 - 20900 Monza (MB) - Italy

Telefono: + 39 039 2733 1 - Telefax: + 39 039 74 50 77

Dati societari: Capitale Sociale €258.250 i.v. - Registro delle Imprese di Monza e Brianza n. 00168830057

Codice Fiscale 00168830057 - Partita I.V.A. IT 00677710964 - Società con socio unico

Società soggetta ad attività di direzione e coordinamento della Società Fives Italy S.r.l.

[www.itas-spa.com](http://www.itas-spa.com) / [www.fivesgroup.com](http://www.fivesgroup.com) / [itas@fivesgroup.com](mailto:itas@fivesgroup.com)

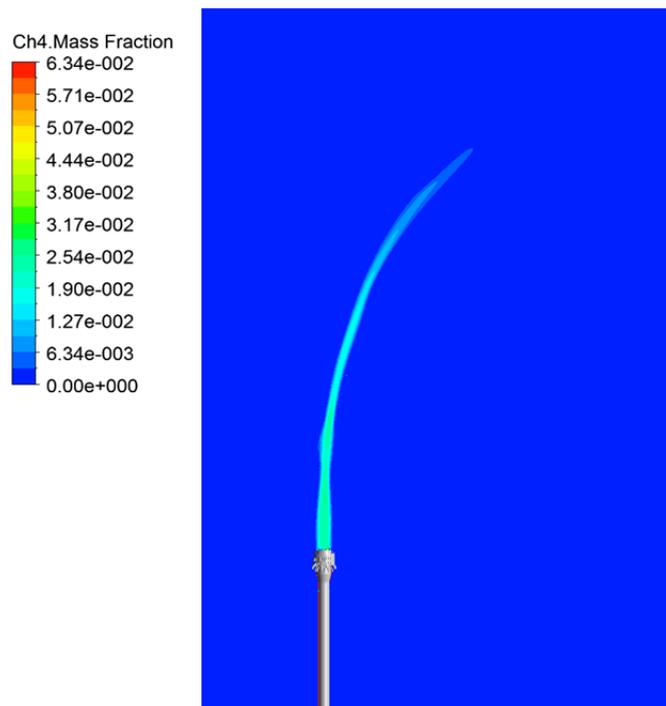


Fig. 20 – Mappa colorimetrica della concentrazione di  $CH_4$  su un piano passante per l'asse del terminale.

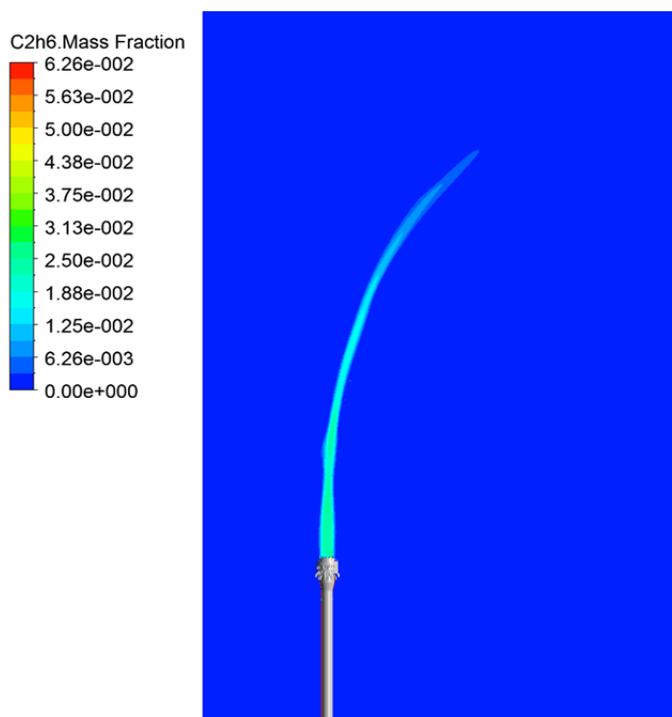


Fig. 21 – Mappa colorimetrica della concentrazione di  $C_2H_6$  su un piano passante per l'asse del terminale.

**Fives ITAS S.p.A.**

Sede legale, amministrativa e stabilimento

Via Metauro, 5 - 20900 Monza (MB) - Italy

Telefono: + 39 039 2733 1 - Telefax: + 39 039 74 50 77

Dati societari: Capitale Sociale €258.250 i.v. - Registro delle Imprese di Monza e Brianza n. 00168830057

Codice Fiscale 00168830057 - Partita I.V.A. IT 00677710964 - Società con socio unico

Società soggetta ad attività di direzione e coordinamento della Società Fives Italy S.r.l.

[www.itas-spa.com](http://www.itas-spa.com) / [www.fivesgroup.com](http://www.fivesgroup.com) / [itas@fivesgroup.com](mailto:itas@fivesgroup.com)

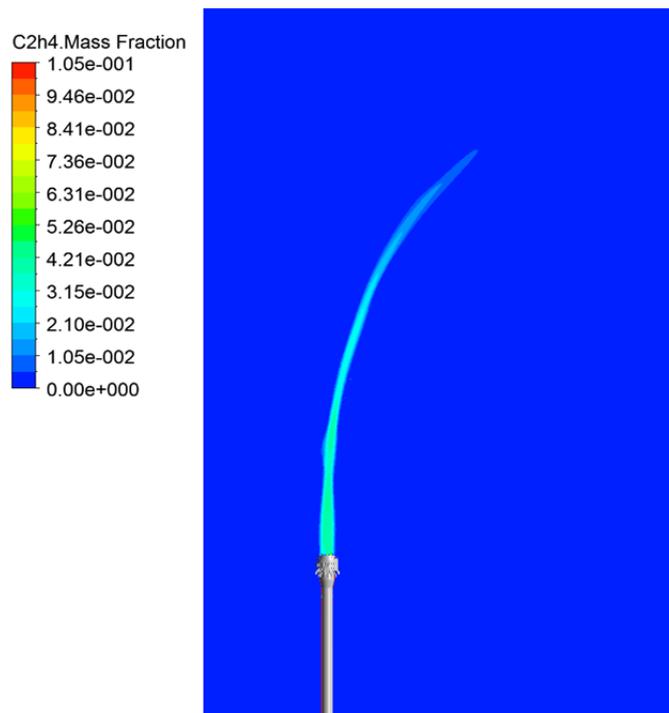


Fig. 22 – Mappa colorimetrica della concentrazione di  $C_2H_4$  su un piano passante per l'asse del terminale.

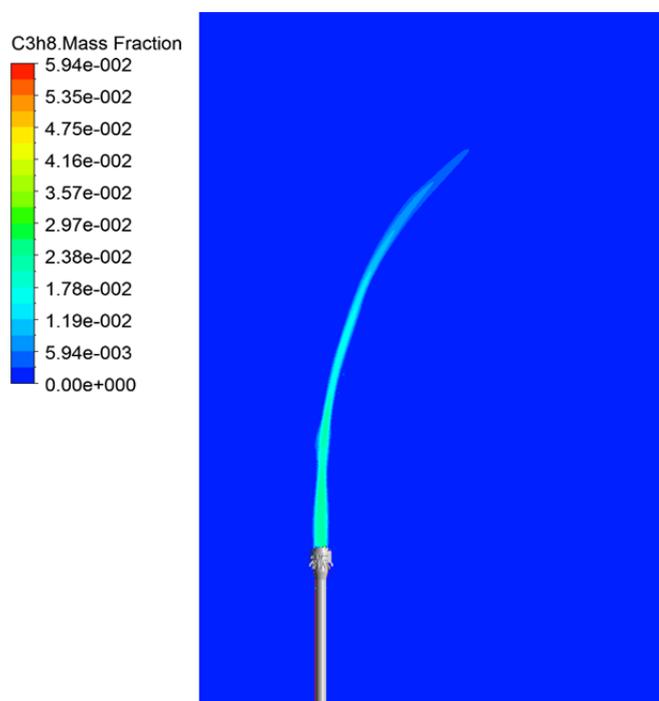


Fig. 23 – Mappa colorimetrica della concentrazione di  $C_3H_8$  su un piano passante per l'asse del terminale.

**Fives ITAS S.p.A.**

Sede legale, amministrativa e stabilimento

Via Metauro, 5 - 20900 Monza (MB) - Italy

Telefono: + 39 039 2733 1 - Telefax: + 39 039 74 50 77

Dati societari: Capitale Sociale €258.250 i.v. - Registro delle Imprese di Monza e Brianza n. 00168830057

Codice Fiscale 00168830057 - Partita I.V.A. IT 00677710964 - Società con socio unico

Società soggetta ad attività di direzione e coordinamento della Società Fives Italy S.r.l.

[www.itas-spa.com](http://www.itas-spa.com) / [www.fivesgroup.com](http://www.fivesgroup.com) / [itas@fivesgroup.com](mailto:itas@fivesgroup.com)

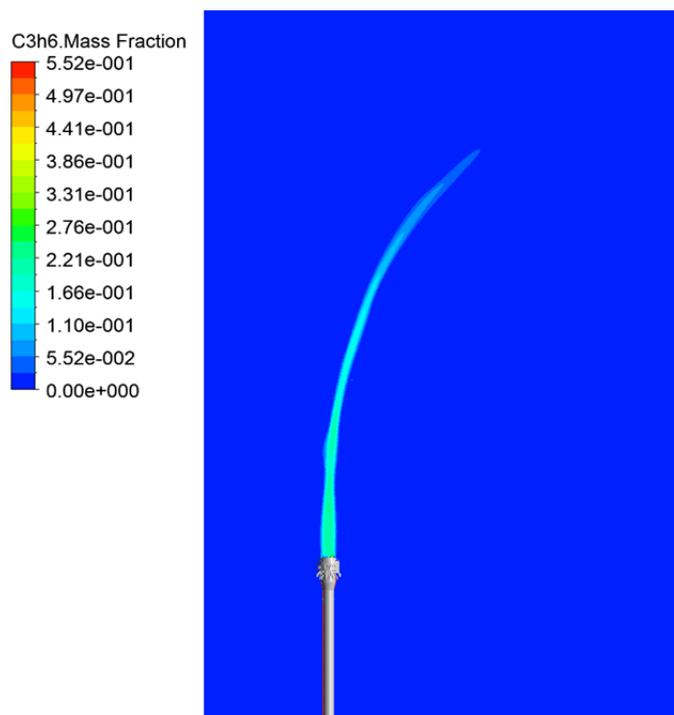


Fig. 24 – Mappa colorimetrica della concentrazione di  $C_3H_6$  su un piano passante per l'asse del terminale.

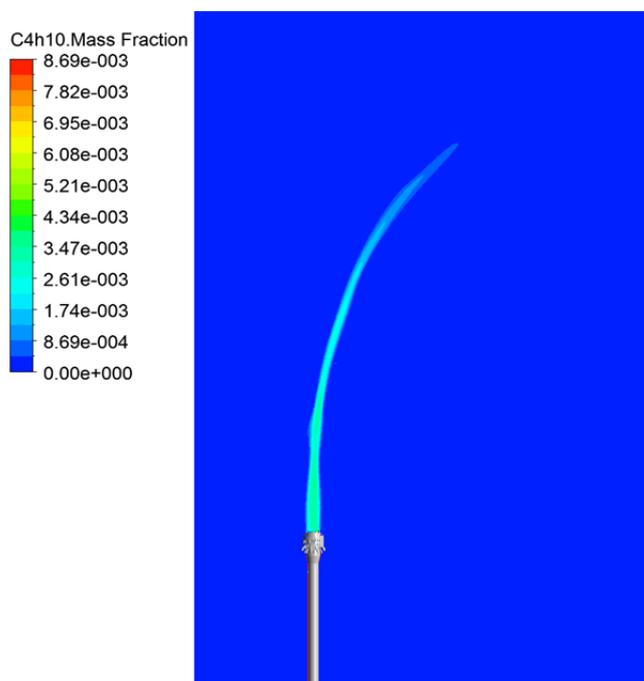


Fig. 25 – Mappa colorimetrica della concentrazione di  $C_4H_{10}$  su un piano passante per l'asse del terminale.

**Fives ITAS S.p.A.**

Sede legale, amministrativa e stabilimento

Via Metauro, 5 - 20900 Monza (MB) - Italy

Telefono: + 39 039 2733 1 - Telefax: + 39 039 74 50 77

Dati societari: Capitale Sociale €258.250 i.v. - Registro delle Imprese di Monza e Brianza n. 00168830057

Codice Fiscale 00168830057 - Partita I.V.A. IT 00677710964 - Società con socio unico

Società soggetta ad attività di direzione e coordinamento della Società Fives Italy S.r.l.

[www.itas-spa.com](http://www.itas-spa.com) / [www.fivesgroup.com](http://www.fivesgroup.com) / [itas@fivesgroup.com](mailto:itas@fivesgroup.com)

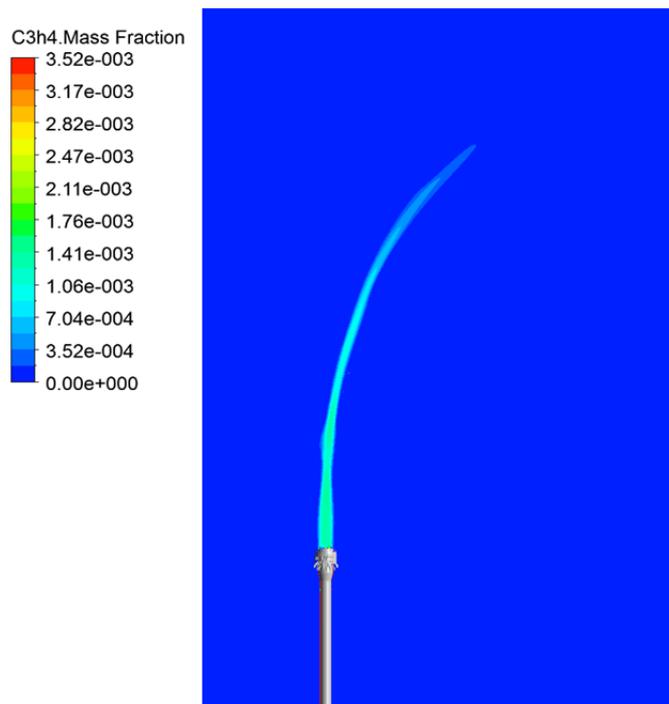


Fig. 26 – Mappa colorimetrica della concentrazione di  $C_3H_4$  su un piano passante per l'asse del terminale.

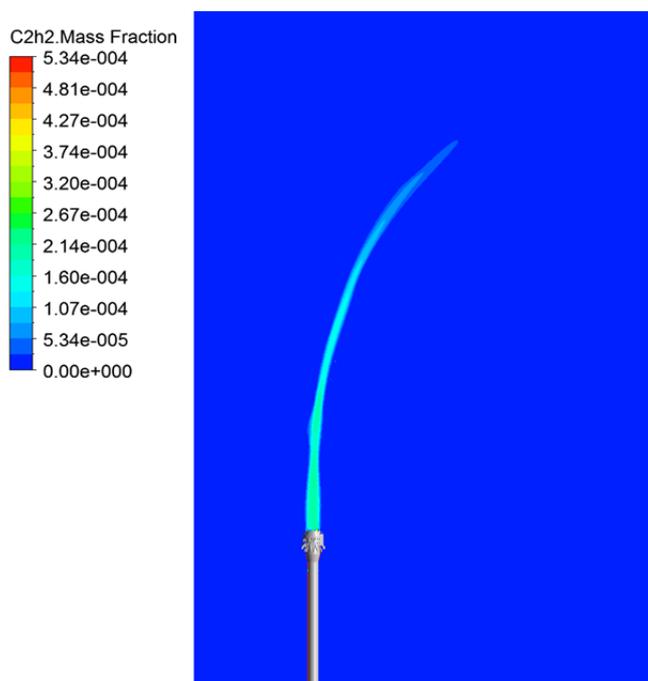


Fig. 27 – Mappa colorimetrica della concentrazione di  $C_2H_2$  su un piano passante per l'asse del terminale.

**Fives ITAS S.p.A.**

Sede legale, amministrativa e stabilimento

Via Metauro, 5 - 20900 Monza (MB) - Italy

Telefono: + 39 039 2733 1 - Telefax: + 39 039 74 50 77

Dati societari: Capitale Sociale €258.250 i.v. - Registro delle Imprese di Monza e Brianza n. 00168830057

Codice Fiscale 00168830057 - Partita I.V.A. IT 00677710964 - Società con socio unico

Società soggetta ad attività di direzione e coordinamento della Società Fives Italy S.r.l.

[www.itas-spa.com](http://www.itas-spa.com) / [www.fivesgroup.com](http://www.fivesgroup.com) / [itas@fivesgroup.com](mailto:itas@fivesgroup.com)

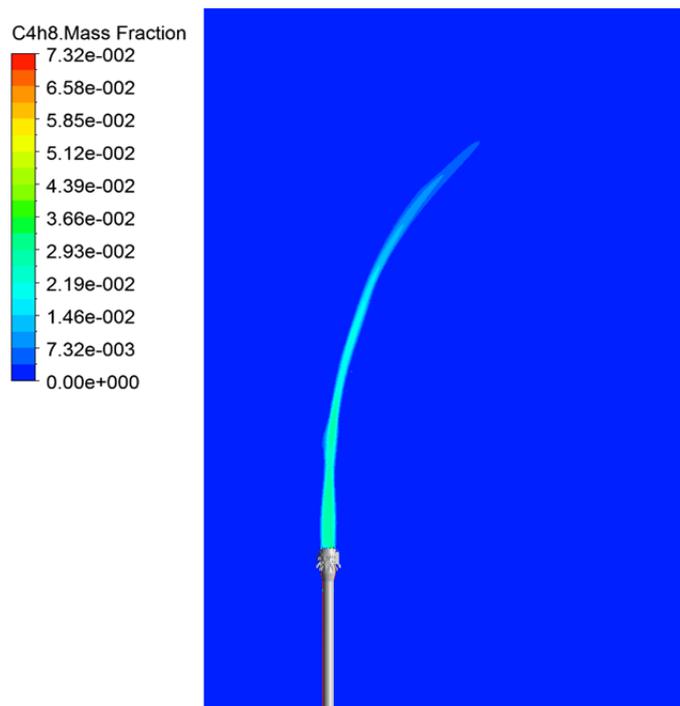


Fig. 28 – Mappa colorimetrica della concentrazione di  $C_4H_8$  su un piano passante per l'asse del terminale.

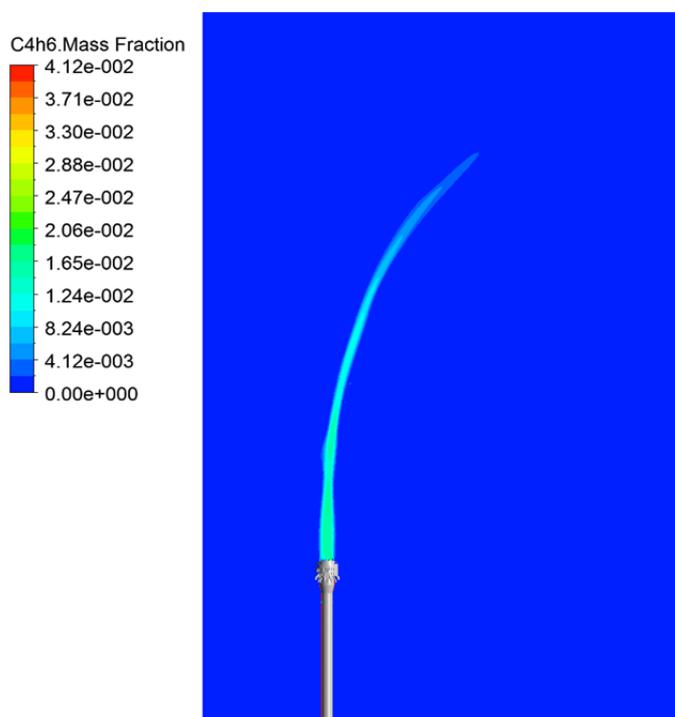


Fig. 29 – Mappa colorimetrica della concentrazione di  $C_4H_6$  su un piano passante per l'asse del terminale.

**Fives ITAS S.p.A.**

Sede legale, amministrativa e stabilimento

Via Metauro, 5 - 20900 Monza (MB) - Italy

Telefono: + 39 039 2733 1 - Telefax: + 39 039 74 50 77

Dati societari: Capitale Sociale €258.250 i.v. - Registro delle Imprese di Monza e Brianza n. 00168830057

Codice Fiscale 00168830057 - Partita I.V.A. IT 00677710964 - Società con socio unico

Società soggetta ad attività di direzione e coordinamento della Società Fives Italy S.r.l.

[www.itas-spa.com](http://www.itas-spa.com) / [www.fivesgroup.com](http://www.fivesgroup.com) / [itas@fivesgroup.com](mailto:itas@fivesgroup.com)

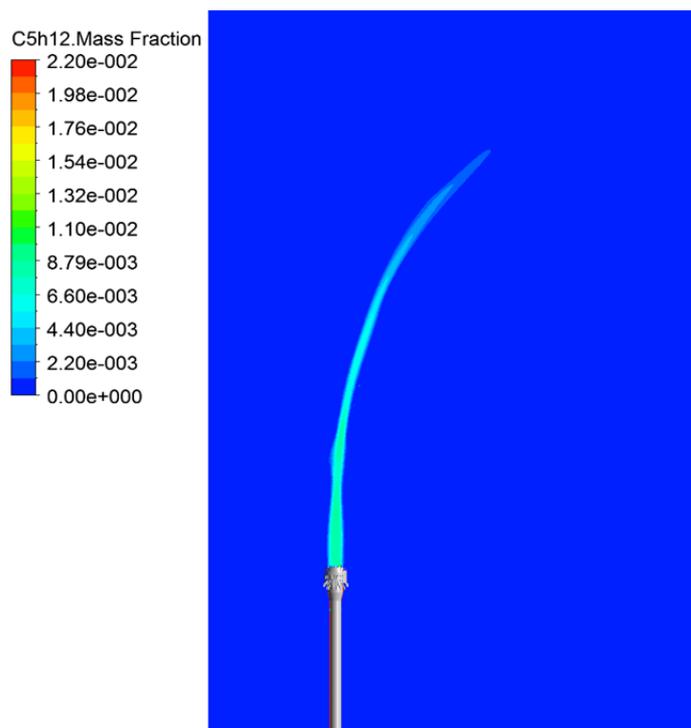


Fig. 30 – Mappa colorimetrica della concentrazione di  $C_5H_{12}$  su un piano passante per l'asse del terminale.

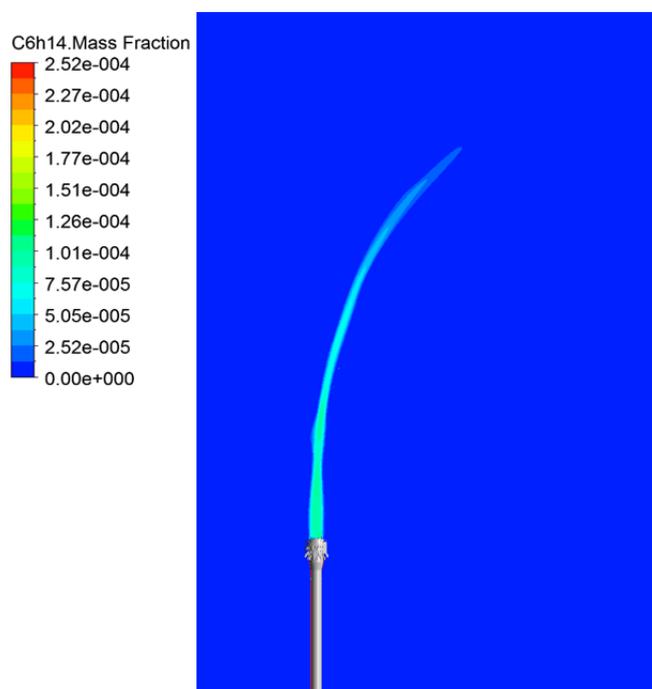


Fig. 31 – Mappa colorimetrica della concentrazione di  $C_6H_{14}$  su un piano passante per l'asse del terminale.

**Fives ITAS S.p.A.**

Sede legale, amministrativa e stabilimento

Via Metauro, 5 - 20900 Monza (MB) - Italy

Telefono: + 39 039 2733 1 - Telefax: + 39 039 74 50 77

Dati societari: Capitale Sociale €258.250 i.v. - Registro delle Imprese di Monza e Brianza n. 00168830057

Codice Fiscale 00168830057 - Partita I.V.A. IT 00677710964 - Società con socio unico

Società soggetta ad attività di direzione e coordinamento della Società Fives Italy S.r.l.

[www.itas-spa.com](http://www.itas-spa.com) / [www.fivesgroup.com](http://www.fivesgroup.com) / [itas@fivesgroup.com](mailto:itas@fivesgroup.com)

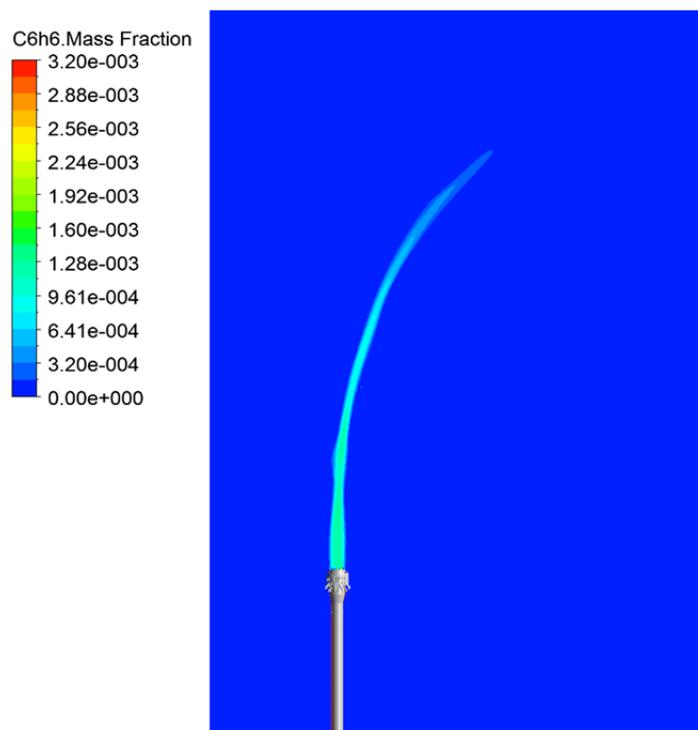


Fig. 32 – Mappa colorimetrica della concentrazione di  $C_6H_6$  su un piano passante per l'asse del terminale.

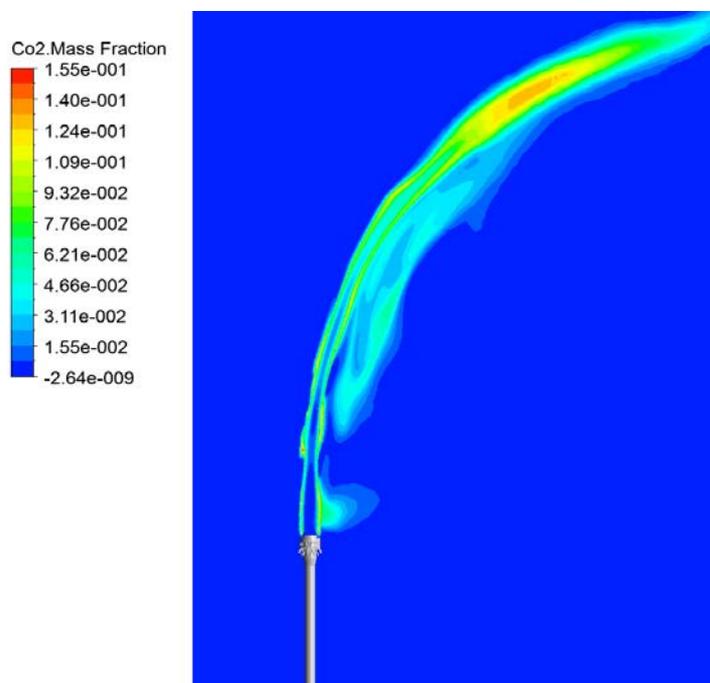


Fig. 33 – Mappa colorimetrica della concentrazione di  $CO_2$  su un piano passante per l'asse del terminale.

**Fives ITAS S.p.A.**

Sede legale, amministrativa e stabilimento

Via Metauro, 5 - 20900 Monza (MB) - Italy

Telefono: + 39 039 2733 1 - Telefax: + 39 039 74 50 77

Dati societari: Capitale Sociale €258.250 i.v. - Registro delle Imprese di Monza e Brianza n. 00168830057

Codice Fiscale 00168830057 - Partita I.V.A. IT 00677710964 - Società con socio unico

Società soggetta ad attività di direzione e coordinamento della Società Fives Italy S.r.l.

[www.itas-spa.com](http://www.itas-spa.com) / [www.fivesgroup.com](http://www.fivesgroup.com) / [itas@fivesgroup.com](mailto:itas@fivesgroup.com)

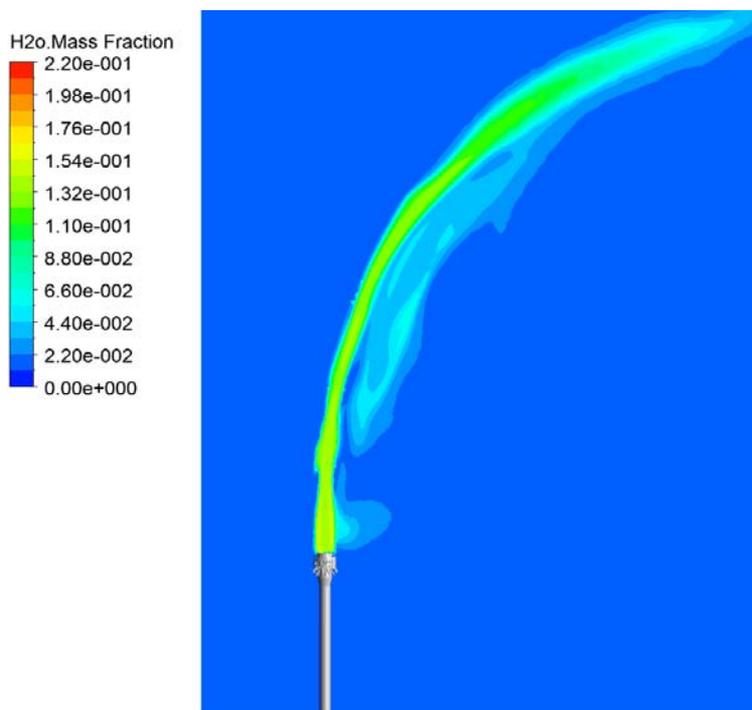


Fig. 34 – Mappa colorimetrica della concentrazione di H<sub>2</sub>O su un piano passante per l'asse del terminale.

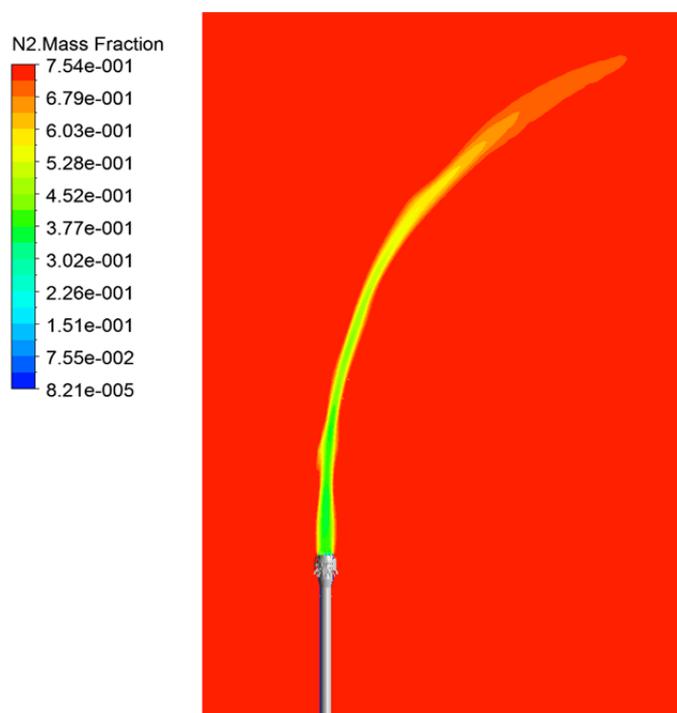


Fig. 35 – Mappa colorimetrica della concentrazione di N<sub>2</sub> su un piano passante per l'asse del terminale.

**Fives ITAS S.p.A.**

Sede legale, amministrativa e stabilimento

Via Metauro, 5 - 20900 Monza (MB) - Italy

Telefono: + 39 039 2733 1 - Telefax: + 39 039 74 50 77

Dati societari: Capitale Sociale €258.250 i.v. - Registro delle Imprese di Monza e Brianza n. 00168830057

Codice Fiscale 00168830057 - Partita I.V.A. IT 00677710964 - Società con socio unico

Società soggetta ad attività di direzione e coordinamento della Società Fives Italy S.r.l.

[www.itas-spa.com](http://www.itas-spa.com) / [www.fivesgroup.com](http://www.fivesgroup.com) / [itas@fivesgroup.com](mailto:itas@fivesgroup.com)

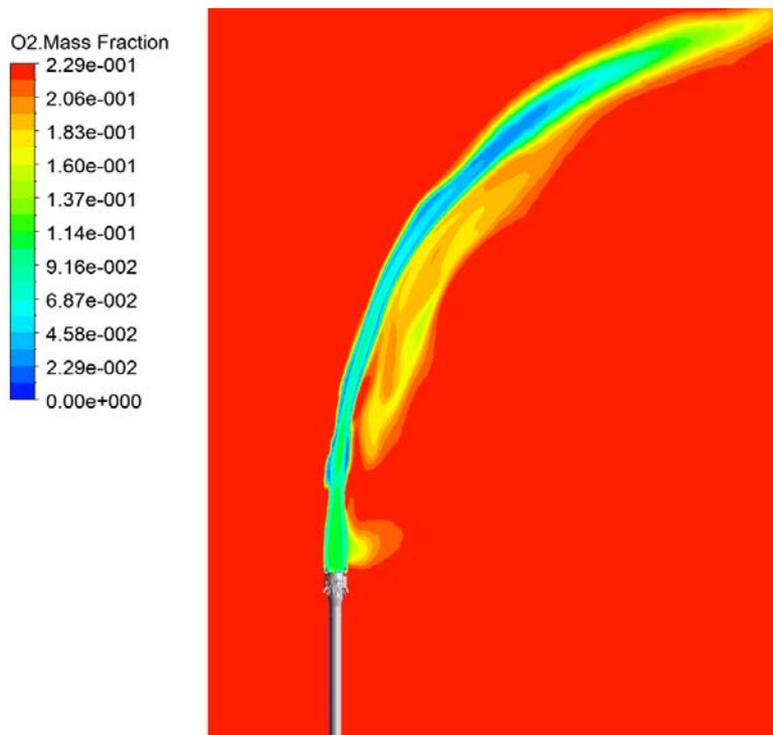


Fig. 36 – Mappa colorimetrica della concentrazione di O<sub>2</sub> su un piano passante per l'asse del terminale.

**Fives ITAS S.p.A.**

Sede legale, amministrativa e stabilimento

Via Metauro, 5 - 20900 Monza (MB) - Italy

Telefono: + 39 039 2733 1 - Telefax: + 39 039 74 50 77

Dati societari: Capitale Sociale €258.250 i.v. - Registro delle Imprese di Monza e Brianza n. 00168830057

Codice Fiscale 00168830057 - Partita I.V.A. IT 00677710964 - Società con socio unico

Società soggetta ad attività di direzione e coordinamento della Società Fives Italy S.r.l.

[www.itas-spa.com](http://www.itas-spa.com) / [www.fivesgroup.com](http://www.fivesgroup.com) / [itas@fivesgroup.com](mailto:itas@fivesgroup.com)

### 1.3.2 ANALISI QUANTITATIVA

Questo paragrafo riporta i valori quantitativi delle portate in massa di combustibile in ingresso alla torcia e in uscita ai piani  $z = \text{cost}$  e  $x = \text{cost}$  usati per la valutazione dell'efficienza di combustione per il caso analizzato.

#### 1.3.2.1 CASO 1: 180,26 t/h

La valutazione numerica dell'efficienza di combustione, così come definita precedentemente, è riportata nella seguente Fig. 37:

	TERMINALE RV-101-C – CASO 1: 180,26 t/h	
	INGRESSO [kg/h]	PIANI TANGENTI ALLA ISO-T = 1200 K [g/s]
IDROGENO	857,34	0,18
MONOSSIDO DI CARBONIO	59,27	6,57
METANO	11422,77	10,79
ETANO	11272,47	10,65
ETILENE	18952,57	17,90
PROPANO	10711,49	10,12
PROPILENE	99467,63	93,94
BUTANO	1565,44	1,48
ALLENE	635,07	0,60
ACETILENE	96,32	0,09
BUTENE	13188,26	12,46
BUTADIENE	7430,30	7,02
PENTANO	3962,83	3,74
ESANO	45,51	0,04
BENZENE	577,91	0,55

Fig. 37 – Portata in massa delle specie chimiche di interesse per il CASO 1: 180,26 t/h.

L'efficienza di combustione risulta pertanto:

$$CE\% = 99,65\%.$$

Dalla Fig. 37 si può osservare come a valle dei piani oggetto dello studio la combustione sia praticamente completa.

#### Fives ITAS S.p.A.

Sede legale, amministrativa e stabilimento

Via Metauro, 5 - 20900 Monza (MB) - Italy

Telefono: + 39 039 2733 1 - Telefax: + 39 039 74 50 77

Dati societari: Capitale Sociale €258.250 i.v. - Registro delle Imprese di Monza e Brianza n. 00168830057

Codice Fiscale 00168830057 - Partita I.V.A. IT 00677710964 - Società con socio unico

Società soggetta ad attività di direzione e coordinamento della Società Fives Italy S.r.l.

[www.itas-spa.com](http://www.itas-spa.com) / [www.fivesgroup.com](http://www.fivesgroup.com) / [itas@fivesgroup.com](mailto:itas@fivesgroup.com)

### 1.4 CONCLUSIONI

La simulazione fluidodinamica ha evidenziato quanto segue:

- Il terminale di torcia RV-101-C è in grado di elaborare la portata analizzata mantenendo un'efficienza di combustione superiore al 99%;
- la velocità di uscita del flare gas è molto maggiore rispetto alla velocità del vento, come mostrato dai profili di velocità; tuttavia la velocità del vento è tale per cui la fiamma è deflessa, estendendosi sia in direzione verticale che orizzontale. Ciò nonostante il terminale di torcia RV-101-C è ben dimensionato per garantire un buon grado di turbolenza e quindi miscelamento tra vapore, aria ambiente e flare gas;
- La composizione del flare gas (il cui LHV è pari a circa 1800 Btu/Scf) è adatta a sostenere una buona efficienza di combustione senza gas di supporto ausiliario;
- Le condizioni atmosferiche studiate garantiscono una buona combustione, evitando un'eccessiva deflessione della fiamma.

#### **Fives ITAS S.p.A.**

Sede legale, amministrativa e stabilimento

Via Metauro, 5 - 20900 Monza (MB) - Italy

Telefono: + 39 039 2733 1 - Telefax: + 39 039 74 50 77

Dati societari: Capitale Sociale €258.250 i.v. - Registro delle Imprese di Monza e Brianza n. 00168830057

Codice Fiscale 00168830057 - Partita I.V.A. IT 00677710964 - Società con socio unico

Società soggetta ad attività di direzione e coordinamento della Società Fives Italy S.r.l.

[www.itas-spa.com](http://www.itas-spa.com) / [www.fivesgroup.com](http://www.fivesgroup.com) / [itas@fivesgroup.com](mailto:itas@fivesgroup.com)

## 1.5 ALLEGATI

Disegno T.02.457 TERMINALE DI TORCIA ITEM RV-101-C NUOVO TERMINALE SMOKELESS Mod.  
DCKS-54 REV. 2.

### **Fives ITAS S.p.A.**

Sede legale, amministrativa e stabilimento

Via Metauro, 5 - 20900 Monza (MB) - Italy

Telefono: + 39 039 2733 1 - Telefax: + 39 039 74 50 77

Dati societari: Capitale Sociale €258.250 i.v. - Registro delle Imprese di Monza e Brianza n. 00168830057

Codice Fiscale 00168830057 - Partita I.V.A. IT 00677710964 - Società con socio unico

Società soggetta ad attività di direzione e coordinamento della Società Fives Italy S.r.l.

[www.itas-spa.com](http://www.itas-spa.com) / [www.fivesgroup.com](http://www.fivesgroup.com) / [itas@fivesgroup.com](mailto:itas@fivesgroup.com)



**Nota di risposta alla diffida del  
Ministero dell'Ambiente  
del 22/06/2016**

**Rif. nota ISPRA del 36378 del 16/6/2016**

Luglio 2016

Preparato per

**versalis S.p.A. stabilimento di Brindisi**

Preparato da

**AECOM URS Italia S.p.A.**



Nome del documento	Rif.	Preparato per	Preparato da	Data	Rivisto da
Risposta diffida MATTM del 22 giugno 2016	60506576	Versalis Brindisi	Salvatore Greco Laura Baiguini Senior Expert	21 luglio 2016	Fabio De Palma Director 

## INDICE

<b>1</b>	<b>Premessa e scopo del documento</b>	<b>0</b>
<b>2</b>	<b>Documenti di riferimento</b>	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>Descrizione del terminale di torcia RV-101C</b>	<b>3</b>
<b>4</b>	<b>Analisi di conformità alla prescrizione n. 13 del PIC</b>	<b>7</b>
4.1	Prescrizione n. 13 del PIC	7
4.2	Confronto con le BAT di settore applicabili	8
4.2.1	BRef LVOC - February 2003	8
4.2.2	Decisione di Esecuzione della Commissione UE 2016/902 del 30 maggio 2016	9
4.2.3	Capacità smokeless secondo gli standard US API e US EPA	13
4.3	Studio modellistico per la valutazione delle condizioni di combustione della Torcia RV-101	18
4.4	Studio di incremento di affidabilità del sistema	20
4.5	Studio modellistico per la valutazione delle ricadute atmosferiche	21
<b>5</b>	<b>Valutazioni conclusive</b>	<b>22</b>
<b>Allegato I</b>	<b>Analisi CFD: Calcolo dell'efficienza di combustione del terminale di torcia RV-101C.</b>	
<b>Allegato II</b>	<b>Studio modellistico di valutazione delle ricadute atmosferiche a fronte dell'episodio di torcia del 24 novembre 2015</b>	

---

# 1 PREMESSA E SCOPO DEL DOCUMENTO

---

In data 24 novembre 2015, alle ore 15.10 circa, si verificava il blocco del compressore di processo K-2001/B dell'impianto Steam Cracking P1CR per l'attivazione della relativa logica di blocco di sicurezza a causa del malfunzionamento dei tiristori. L'impianto è stato 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. L'episodio è stato immediatamente comunicato da versalis agli Enti Esterni in ottemperanza al Protocollo Operativo di Informazione dei Gestori degli Stabilimenti Industriali (documento 1) e in ambito AIA (rif. Comunicazione ai sensi del par. 12.5 – PMC AIA) (documento 2) e constatato da ARPA Puglia con verbale di constatazione n. 86 (documento n. 3).

A fronte di tale episodio ISPRA inviava al MATTM la nota del 17/6/2016 (prot 36378) (documento n. 6) che evidenzia una presunta violazione della prescrizione n. 13 del Parere Istruttorio Conclusivo (PIC) del Decreto di AIA di versalis di Brindisi (DVA – DEC 2011-514 del 16/9/2011) e richiedeva al gestore (versalis) una nota di approfondimento finalizzata all'individuazione delle azioni correttive intraprese e/o programmate al fine di evitare il ripetersi di eventi analoghi.

Sulla base della nota di ISPRA la Direzione Generale per le Valutazioni e le Autorizzazioni Ambientali del Ministero dell'Ambiente e della Tutela Del Territorio e del Mare (MATTM) emetteva una diffida per inosservanza alle prescrizioni autorizzative alla società versalis Brindisi (prot. 16628 del 22/6/2016) (documento n. 7).

Questo documento costituisce la nota di approfondimento richiesta con diffida dal MATTM.

Il testo della prescrizione n. 13 del PIC recita *“In ogni caso le torce dovranno essere utilizzate solo in situazioni di emergenza/o nelle fasi di avvio spegnimento degli impianti cui sono asservite, devono essere esercite senza generare emissioni visibili (di fumo), indice di elevato contenuto di particolato mediante l'immissione di vapore, ovvero nelle migliori condizioni smokeless consentite dalla tecnologia, deve essere garantita un'efficienza di rimozione VOC superiore al 98% (o 99%) ed una temperatura minima di combustione superiore a 800°C (o 1000°C) e complessivamente le quantità di idrocarburi scaricati per singola torcia devono porsi come obiettivo il rispetto del range di 5-15 kg/t di etilene su base annua”.*

Questo documento dimostra che non vi è stata alcuna violazione della prescrizione n. 13 del PIC evidenziando che:

- la torcia opera nelle migliori condizioni smokeless consentite dalla tecnologia mediante confronto con le migliori tecniche disponibili (BAT) di settore;
- l'efficienza di rimozione dei VOC in torcia è sempre superiore al 99% e la temperatura minima di combustione in torcia è superiore a 800°C (1000°C) mediante uno studio dettagliato che simula le condizioni di esercizio della torcia in occasione dell'episodio del 24 novembre (allegato I).

Inoltre, in ottemperanza a quanto richiesto dalla nota ISPRA del 17 giugno 2016, al capitolo 4 vengono presentate le azioni correttive intraprese al fine di evitare il ripetersi di eventi di attivazione della torcia. Tra le azioni correttive individuate è stato commissionato uno studio alla società Siemens finalizzato a definire le modalità di incremento di affidabilità del sistema che è stato la causa del disservizio.

In allegato II è riportato lo studio modellistico di simulazione delle ricadute atmosferiche relativo all'episodio di attivazione della torcia del 24 novembre 2015. Tale studio evidenzia che l'evento non ha determinato impatti sulla qualità dell'aria. Tale conclusione è confermata dalla nota redatta dalla Direzione Scientifica – Centro Regionale Aria di ARPA Puglia del novembre 2015 che evidenzia che *“in data 24 novembre 2015 non si è verificato nulla di rilevante nei livelli di concentrazione degli inquinanti nelle centraline ARPA e non sono stati riscontrati dopo le ore 15 del 24 novembre e nella giornata del 25 novembre aumenti significativi delle concentrazioni orarie degli inquinanti benzene, PM10, NO2, PM2,5, IPA”*.

---

## 2 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

---

Sono qui di seguito elencati i principali documenti di riferimento di questo rapporto:

1. Versalis - 24 novembre 2015 – Comunicazione di blocco del compressore K2001A/B ai sensi del Protocollo Operativo dei Gestori degli Stabilimenti Industriali
2. Comunicazione ai sensi del par. 12.5 del PMC - AIA
3. ARPA Puglia - Dipartimento di Brindisi 24 novembre 2015 – Verbale n. 86 di Constatazione.
4. Versalis - 2 dicembre 2015 – Relazione tecnica sul blocco del compressore di processo K2001A/B.
5. ARPA Puglia – 15 dicembre 2015 – lettera di trasmissione verbale di constatazione n. 86 -
6. ISPRA – prot. 36378 - 17 giugno 2016 – Accertamento violazioni e proposta di diffida.
7. MATTM 22 giugno 2016 Diffida per inosservanza delle prescrizioni autorizzative di cui alla nota ISPRA del 36378 del 17 giugno 2016
8. Stralcio del Parere Istruttorio Conclusivo (PIC) riportante la Prescrizione n. 13 - Decreto di Autorizzazione Ambientale Integrata (DVA – DEC 2011-514 del 16/9/2011)
9. Stralcio Allegato D15 Autorizzazione Ambientale Integrata (DVA – DEC 2011-514 del 16/9/2011) – Gap analysis terminale di Torcia e Reference Document on Best Available Techniques in the Large Volume Organic Chemical Industry (BRef LVOC) - February 2003 [2]”
10. Decisione di Esecuzione (UE) 2016/902 della Commissione del 30 maggio 2016.che stabilisce le conclusioni sulle migliori tecniche disponibili (BAT) a norma della Direttiva 2010/75/UE sui sistemi di trattamento/gestione delle acque reflue e dei gas di scarico nell'industria chimica.

## 3 DESCRIZIONE DEL TERMINALE DI TORCIA RV-101C

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.

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 (fornito da EniPower, società coinsediata nello stesso sito industriale) attraverso tre stadi di alimentazione allo scopo di garantire una combustione "smokeless".

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).

**Tabella 1 Dati progettuali di riferimento**

Anno di prima installazione	1997
Fornitore	ITAS Spa - Via Metauro, 5 – 20052 Monza (Milano) <a href="http://www.itas-spa.com/">http://www.itas-spa.com/</a>
Terminale di torcia	Mod. DCKS-54
Potenzialità di progetto	650.000 kg/h di gas (con massa molare 40 kg/kmol <sup>1</sup> )
Sistema smokeless	Garantito entro 150.000 kg/h di gas, verificato fino a 200.000 kg/h di gas
Efficienza di combustione	>= 99%
Rumorosità	<= 82 dB(A) al suolo a 300 m dal centro torcia
Gas ai bruciatori pilota	Fuel gas di stabilimento o in alternativa gas naturale (da rete Snam) a 1,5 barg, 22 Nm <sup>3</sup> /h (totale per n. 4 piloti)
Gas di purge	Azoto, 106 Nm <sup>3</sup> /h
Vapore di "smokeless"	Vapore di rete a media pressione
Consumo vapore "smokeless" di progetto	75.000 kg/h

<sup>1</sup> Caratteristiche del gas di processo come da specifica BR-057GESA6.

**Tabella 2 Aspetti costruttivi**

Altezza torcia	89,5 m da suolo (95 m slm)
Diametro terminale	1.900 mm, esterno 54" nominale
Piloti	n. 4 continui, diametro 2", provvisti di miscelatore aria/gas tipo Venturi mod. 6102 (apertura passaggio aria di 2-6 mm regolabile), testa e tubo accenditore, termocoppia tipo K per la segnalazione di presenza di fiamma
Sistema di accensione piloti	n. 3 ad accensione fronte di fiamma con palla di fuoco n. 1 con accensione ad alta energia attraverso sistema piezoelettrico
Collettore vapore I stadio	27 iniettori, accoppiamento flangiato da 10"
Collettore vapore II stadio	12 iniettori, accoppiamento flangiato da 6"
Collettore vapore III stadio	1 iniettore, accoppiamento flangiato da 2"
Materiale	AISI 310, con schermo antivento refrattario tipo 6101, parte superiore in incolloy 800H

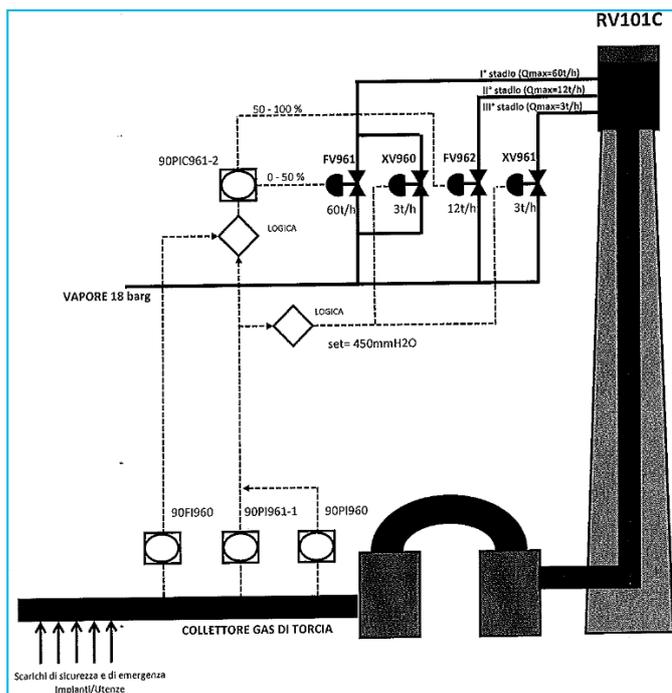
Sul terminale di torcia RV-101C sono presenti n. 3 stadi di alimentazione del vapore con funzione "smokeless"

**Tabella 3 Descrizione del sistema smokeless**

I stadio	Alimentazione del vapore a n° 27 bruciatori interni al tip (linea da 10 ")	Flussaggio: 600 kg/h Minima: 2.925 kg/h Massima: 60.000 kg/h
II stadio	Alimentazione del vapore a n° 12 bruciatori anulari al tip (linea da 8")	Flussaggio: 360 kg/h Massima: 12.000 kg/h
III stadio	Alimentazione del vapore all'interno del tip (linea da 3")	Flussaggio: 180 kg/h Massima: 3.000 kg/h

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 in modo da mantenere un rapporto massico vapore / gas di torcia di circa 1.

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 illustrato nella figura 1.



**Figura 1 Schema torcia RV101C**

Il modello geometrico tridimensionale è stato realizzato con il software ANSYS DesignModeler 17.0.

Il corpo del terminale è composto da un tubo da 1800 mm di diametro esterno e lunghezza pari a 4000 mm, il suo spessore è di 8 mm (Fig. 2).

Trattandosi di una torcia smokeless, essa è provvista di un sistema di invio di vapore acqueo al terminale, che migliora la miscelazione tra il flare gas e l'aria ambiente, riducendo così la fumosità della fiamma. Il sistema smokeless è composto da trentanove tubi che dipartono da due collettori vapore esterni al terminale. I tubi sono divisi in due stadi: il primo comprende ventisette eiettori da 8" che dal collettore esterno si inseriscono all'interno del terminale per un tratto pari a circa 1500 mm (Fig. 2 – rosa). Il secondo stadio è composto da dodici iniettori da 8" che convogliano il flusso all'interno di una camera anulare esterna e coassiale al terminale (Fig. 2 – verde).

Infine la parte terminale della torcia è circondata da cinquantasei elementi schermo antivento di lunghezza pari a 1500 mm, larghezza pari a 100 mm circa e spessore pari a 6 mm.

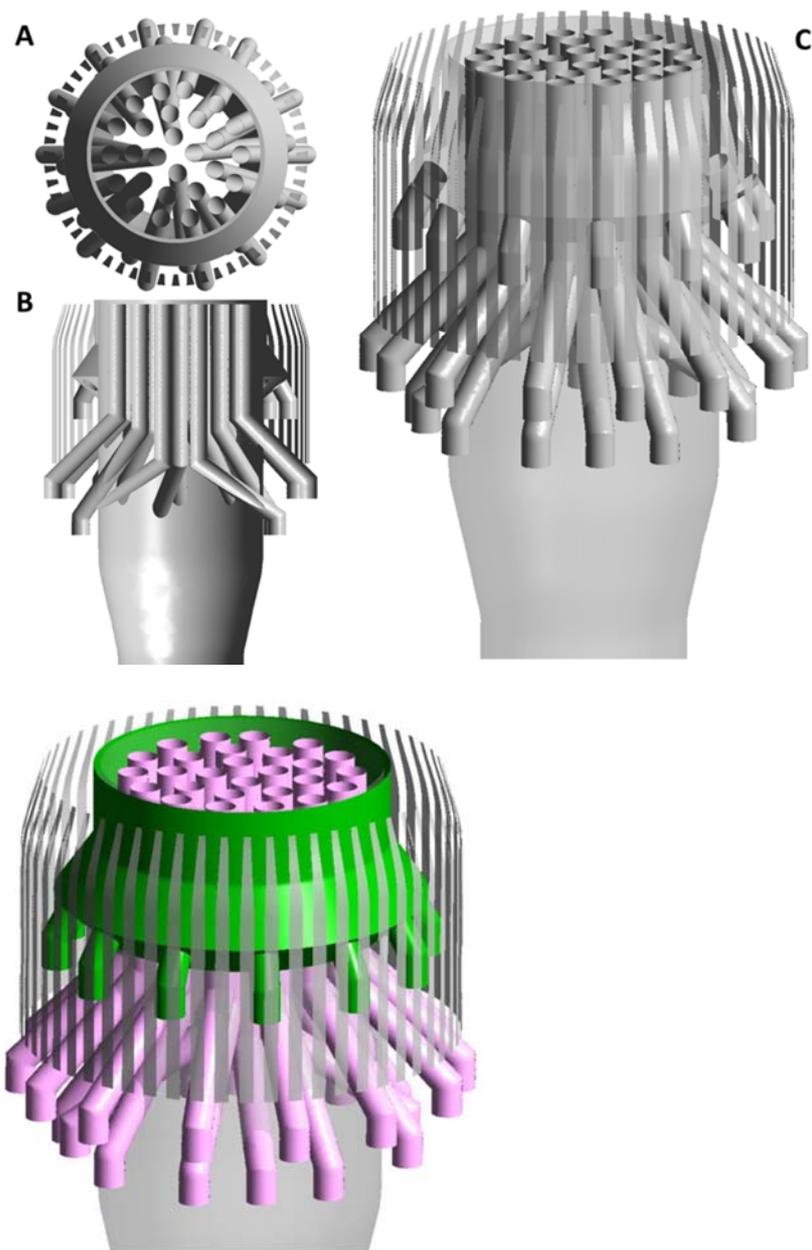


Figura 2 Dettagli del Terminale di Torcia RV- 101C

---

# 4 ANALISI DI CONFORMITÀ ALLA PRESCRIZIONE N. 13 DEL PIC

---

## 4.1 Prescrizione n. 13 del PIC

Il testo della prescrizione n. 13 del PIC recita *“In ogni caso le torce dovranno essere utilizzate solo in situazioni di emergenza/o nelle fasi di avvio spegnimento degli impianti cui sono asservite, devono essere esercite senza generare emissioni visibili (di fumo), indice di elevato contenuto di particolato mediante l'immissione di vapore, ovvero nelle migliori condizioni smokeless consentite dalla tecnologia, deve essere garantita un'efficienza di rimozione VOC superiore al 98% (o 99%) ed una temperatura minima di combustione superiore a 800°C (o 1000°C) e complessivamente le quantità di idrocarburi scaricati per singola torcia devono porsi come obiettivo il rispetto del range di 5-15 kg/t di etilene su base annua”*.

Si intende qui dimostrare che non vi è stata alcuna violazione della prescrizione n. 13 del PIC dimostrando che:

- la torcia opera nelle migliori condizioni smokeless consentite dalla tecnologia mediante confronto con le migliori tecniche disponibili (BAT) di settore.
- l'efficienza di rimozione dei VOC in torcia è sempre superiore al 99% e la temperatura minima di combustione in torcia è superiore a 800°C (1000°C) mediante uno specifico studio che simula le condizioni di esercizio della torcia in occasione dell'episodio del 24 novembre 2015 (allegato I)
- inoltre, in ottemperanza a quanto richiesto dalla nota ISPRA del 17 giugno 2016, al capitolo 4 vengono presentate le azioni correttive intraprese al fine di evitare il ripetersi di eventi di attivazione della torcia. Tra le azioni correttive individuate è stato commissionato uno studio alla società Siemens finalizzato a definire le modalità di incremento di affidabilità del sistema che è stato la causa del disservizio.

## **4.2 Confronto con le BAT di settore applicabili**

### **4.2.1 BRef LVOC - February 2003**

In sede di istruttoria AIA quale documento di riferimento per le Migliori Tecniche Disponibili (BAT) applicabili all'esercizio della torcia elevata, è stato considerato il "Reference Document on Best Available Techniques in the Large Volume Organic Chemical Industry (BRef LVOC) - February 2003 [2]"

Il documento di analisi di eventuali scostamenti (gap analysis) tra la torcia RV101C asservita all'impianto di Steam Cracking P1CR e le BAT ha evidenziato che la torcia dal punto di vista costruttivo e gestionale è allineata alle citate BAT.

In sintesi le BAT evidenziano la necessità 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.

La buona efficienza di combustione in torcia, anche a carichi elevati, è assicurata dall'iniezione 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.

La sezione descrittiva del BRef LVOC indica 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 più avanti riportato, la capacità progettuale smokeless del sistema in esame è pari a 150/650 t/h, pari al 23%, 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: 200/650 t/h, pari al 31% circa.

**Si conferma pertanto che la torcia RV101C risulta conforme al Reference Document on Best Available Techniques in the Large Volume Organic Chemical Industry (BRef LVOC) - February 2003 [2]" per quanto di pertinenza.**

#### **4.2.2 Decisione di Esecuzione della Commissione UE 2016/902 del 30 maggio 2016**

Questo paragrafo illustra lo studio di gap analysis rispetto ai contenuti della decisione di esecuzione della Commissione del 30 maggio 2016 (G.U. dell'Unione Europea del 09/06/2016) che stabilisce le conclusioni sulle migliori tecniche disponibili (BAT) a norma della Direttiva 2010/75/UE del Parlamento Europeo e del Consiglio sui sistemi comuni di trattamento/gestione delle acque reflue e dei gas di scarico nell'industria chimica (si riporta in corsivo il testo della BAT).

***BAT 17*** *Al fine di prevenire le emissioni nell'aria provenienti dalla combustione in torcia la BAT consiste nel ricorrere alla combustione in torcia esclusivamente per ragioni di sicurezza o in condizioni di esercizio diverse da quelle normali (per esempio operazioni di avvio, arresto, etc) utilizzando una o entrambe le tecniche riportate nel seguito.*

Lo stabilimento versalis ricorre alla combustione in torcia esclusivamente per ragioni di sicurezza o in condizioni di esercizio diverse da quelle normali (per esempio operazioni di avvio, arresto, etc) utilizzando le tecniche riportate nel seguito.

a) Corretta progettazione degli impianti

*Descrizione: occorre prevedere un sistema di recupero dei gas di adeguata capacità e utilizzare valvole di sicurezza ad alta integrità*

Le emissioni in torcia sono minimizzate mediante due distinti sistemi di recupero:

1. Sistema di recupero dei gas interno all'impianto Steam Cracking P1CR;
2. Sistema di recupero gas di Stabilimento.

Di seguito si riporta la descrizione delle due unità.

1. Sistema di recupero dei gas interno all'impianto Steam Cracking P1CR

L'unità permette il recupero dei gas dell'impianto di cracking all'interno dello stesso impianto e nel contempo riduce la quantità di gas immesso nel sistema di recupero gas dello Stabilimento con il risultato di limitare ulteriormente eventuali deviazioni di gas in torcia e di ridurre l'impatto ambientale. L'unità di recupero è costituita da un compressore ad anello liquido che aspira dal collettore di torcia interno al reparto i gas e i vapori eventualmente presenti, inviandoli in aspirazione al compressore gas di processo, K2001. In caso di scarico di rilevanti volumi di gas, superiori alle capacità di recupero dell'unità, la stessa viene esclusa mediante l'apertura automatica della guardia idraulica in modo da consentire il passaggio degli scarichi di sicurezza verso il collettore di torcia di Stabilimento.

L'unità di recupero gas è costituita dalle seguenti apparecchiature:

- Un compressore ad anello liquido (K9001) azionato da motore elettrico per il rilancio del gas in aspirazione al compressore di processo K2001;
- Un separatore gas/acqua installato sulla mandata del compressore;
- Un refrigerante dell'acqua di riciclo al compressore, in cui il fluido refrigerante è costituito dall'acqua di raffreddamento del circuito chiuso d'impianto;
- Una guardia idraulica.

L'insieme degli scarichi automatici e manuali, le perdite fisiologiche delle valvole di sicurezza e delle valvole over-pressure e le perdite attraverso le tenute dei compressori frigo etilene e propilene, confluiscono nei sistemi di blow-down caldo e freddo interni dell'impianto P1CR. Il flusso di gas proveniente dai due blow down è impedito verso la rete di Stabilimento da una guardia idraulica e aspirato da un compressore ad anello liquido per essere rilanciato in aspirazione al compressore di processo K2001. Il sistema di guardia idraulica ha lo scopo:

- di impedire che il gas dal collettore di torcia di Stabilimento possa essere aspirato all'interno dell'impianto;
- garantire il disinserimento automatico della stessa e permettere lo scarico del gas nell'esistente collettore di Stabilimento.

## 2. Sistema di recupero dei gas di Stabilimento

Lo Stabilimento è dotato di un collettore di torcia in cui vengono convogliati gli scarichi di sicurezza ed 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. Il gas scaricato nel collettore Torcia di Stabilimento viene recuperato attraverso i gasometri F104 ed F105 e inviato mediante tre compressori ad anello liquido dedicati (C01A/B e C02) all'Ossidatore termico dell'impianto Gas Phase PE1/2, piuttosto che alla centralina Fuel Gas con la possibilità di massimizzare il recupero.

L'unità di recupero gas è costituita dalle seguenti apparecchiature:

- due gasometri (F 104 – F 105) del tipo a tenuta idraulica composti di due segmenti mobili con dislocamento elicoidale. I gasometri hanno una capacità nominale di 5.000 Nm<sup>3</sup> cadauno e sono collegati in parallelo con il collettore della torcia RV 101C;
- tre compressori ad anello liquido, C01A/B e C02;
- separatori gas/acqua installati sulla mandata dei compressori ad anello liquido;
- refrigeranti dell'acqua di riciclo ai compressori ad anello liquido.

### b) Corretta Gestione degli impianti

*Descrizione: si tratta di garantire il bilanciamento del sistema combustibile/gas e di utilizzare dispositivi avanzati di controllo dei processi.*

L'adozione di sistemi di controllo avanzato del processo, la presenza di unità di recupero di gas di spurgo, l'adozione di procedure operative specifiche di impianto, l'addestramento del personale e la continua ed adeguata manutenzione consentono di minimizzare la quantità di idrocarburi inviati in torcia in situazioni di emergenza/avviamento/transitori.

**BAT 18** Per ridurre le emissioni in aria provenienti dalla combustione in torcia quando si deve necessariamente ricorrere a questa tecnica la BAT consiste nell'applicare una delle tecniche riportate nel seguito o entrambe.

a) *Progettazione corretta dei dispositivi di combustione in torcia*

*Descrizione: Ottimizzazione dell'altezza, della pressione, dell'assistenza (mediante vapore, aria o gas) del tipo di beccucci dei bruciatori (chiusi o protetti) al fine di garantire un funzionamento affidabile e senza fumo e efficiente combustione dei gas in eccesso.*

Il corpo del terminale della torcia RV101C (TIP) è composto da un tubo da 1800 mm di diametro esterno e altezza pari a 4000 mm. La torcia è inoltre provvista di un sistema di invio di vapore acqueo al terminale, che migliora la miscelazione tra il flare gas e l'aria ambiente, riducendo così la fumosità della fiamma.

L'invio del vapore al TIP della torcia RV101C è effettuato attraverso un collettore dedicato (lunghezza pari a circa 1.500 m), valvole pneumatiche di controllo e un sistema di regolazione della portata di vapore.

Il sistema smokeless è composto da trentanove tubi che dipartono da due collettori di vapore esterni al terminale. I tubi sono divisi in due stadi: il primo comprende ventisette eiettori da 8" che dal collettore esterno si inseriscono all'interno del terminale per un tratto pari a circa 1500 mm (Fig. 2.1 – rosa). Il secondo stadio è composto da dodici iniettori da 8" che convogliano il flusso all'interno di una camera anulare esterna e coassiale al terminale (Fig. 2.1 – verde).

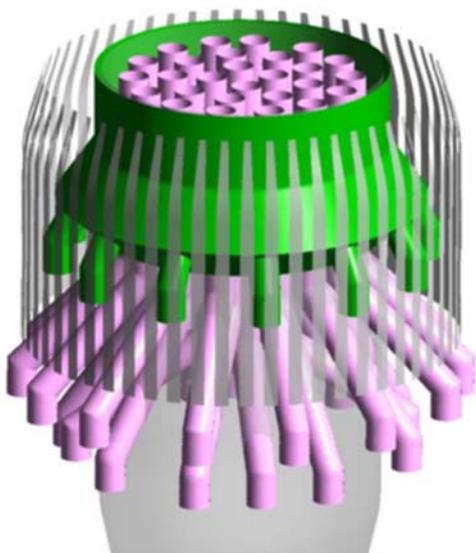


Figura 2.1 Dettaglio costruttivo sistema smokeless

Infine la parte terminale della torcia è circondata da cinquantasei elementi schermo antivento di lunghezza pari a 1500 mm, larghezza pari a 100 mm circa e spessore pari a 6 mm.

Pertanto la torcia RV101C è progettata secondo le migliori tecnologie BAT al fine di consentire un funzionamento affidabile e senza fumo ed una efficiente combustione dei gas in eccesso.

*b) Monitoraggio e registrazione dei dati nell'ambito della gestione della combustione in torcia*

*Descrizione: monitoraggio continuo dei gas destinati alla combustione in torcia, misurazione della portata e stime di altri parametri (composizione, entalpia, tasso di assistenza, velocità, tasso di portata dei gas di spurgo, emissioni di inquinanti (ad es Nox, CO, Idrocarburi, rumore). La registrazione dei dati relativi alle operazioni di combustione in torcia di solito include la composizione stimata/misurata del gas di torcia e la durata dell'operazione, la registrazione consente di quantificare le emissioni e, potenzialmente, di prevenire future operazioni di combustione in torcia.*

La torcia RV101C è dotata di un strumento per la misura in continuo della portata e della composizione (peso molecolare) dei gas inviati al TIP.

La misura del vapore alimentato al TIP di torcia è effettuata in continuo mediante apposito strumento.

Inoltre la composizione del gas inviato in torcia viene determinato mediante analisi di laboratorio effettuate su campioni prelevati in discontinuo durante l'attivazione della torcia.

In ottemperanza al Piano di Monitoraggio e Controllo che è parte integrante del Decreto di Autorizzazione Integrata Ambientale dello Stabilimento, per ciascun evento di attivazione della torcia RV101C vengono monitorati e riportati nel rapporto annuale di monitoraggio, i seguenti parametri:

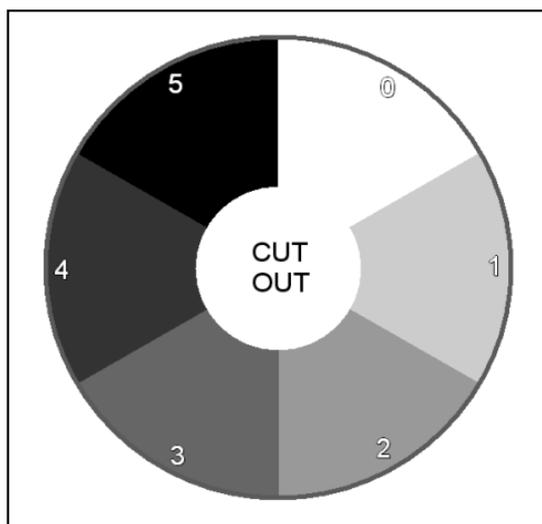
- Numero e tipo di funzionamenti (situazioni di emergenza, avvio e arresto di impianti).
- Durata (ore di esercizio per ciascun evento di accensione).
- Quantità di gas inviato in torcia e sua caratterizzazione quali quantitativa.
- Stima dei valori di massa media oraria degli inquinanti emessi (CO, NOx).

Sulla base di tale monitoraggio gli scarichi di idrocarburi in torcia dall'impianto P1CR valutati in un anno e rapportati alla produzione di etilene sono normalmente allineati con i valori compresi nel range di 5-15 kg/ton di etilene, indicato dai Bref come il valore di benchmark.

In base a quanto qui riportato, la torcia RV101C è conforme alle BAT conclusion del 30 maggio 2016 della Commissione UE.

### 4.2.3 Capacità smokeless secondo gli standard US API e US EPA

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.

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.

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.

I valori riportati in tabella 4 sono stati proposti dall'API STD 521 quali range indicativi attraverso i quali ottenere un'opacità pari al valore 0 della scala Ringelmann.

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 0.95
Xylene	0.90 to 1.00

**Tabella 4. Valori di Vapore/ Gas suggeriti dallo standard API 521 per varie classi di idrocarburi [8]**

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 trend del Peso Molecolare per l'evento in oggetto evidenzia un andamento regolare per tutta la durata dello scarico (Fig. 4)



**Figura 4 Trend peso molecolare evento 24 novembre 2015**

In relazione alla Tabella 4 sopra riportata ed ai dati relativi all'evento in analisi, secondo lo standard API 521 la condizione minima necessaria a garantire lo smokeless è un rapporto in peso vapore/gas non inferiore a 0,5.

I grafici registrati delle portate dei gas e del vapore relativi all'evento del 24 novembre 2015 consentono di affermare che tale rapporto è risultato essere sempre maggiore di 0,5 tranne nel primo periodo (circa 180 secondi) interno al transitorio necessario per raggiungere le condizioni di erogazione a regime del vapore al TIP della torcia fredda. Tale transitorio, riscontrabile in una qualunque tipologia di torcia fredda, non è tecnologicamente annullabile.

Dopo circa 180 secondi dall'inizio dell'evento il rapporto è stato stabilmente superiore a 0,5.

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 negli 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).

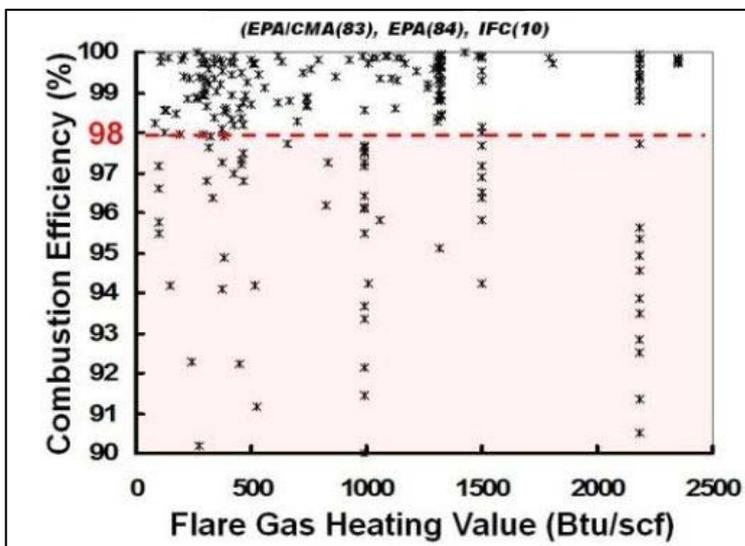


Figura 5. Efficienza di combustione e potere calorifico del gas [6]

Da simulazioni condotte sull'evento del 24 novembre 2015 nello stabilimento versalis di Brindisi, si stima che il potere calorifico del gas avviato in torcia fosse di circa 66,6 MJ/m<sup>3</sup> (1.789 Btu/scf).

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 1.000 BTU/scf (37,3 MJ/m<sup>3</sup>);

Per i gas con potere calorifico compreso tra 300-1.000 BTU/scf, la massima velocità suggerita viene determinata dalla seguente formula [4]:

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

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

Per il caso in oggetto, con un potere calorifico stimato in 66,6 MJ/m<sup>3</sup> (1.789 Btu/scf) 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 22,95 m/s (75.3 ft/sec).

Le Linee Guida 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 24 novembre 2015 è stato raggiunto, con successivo ulteriore margine di sicurezza smokeless, dopo un transitorio iniziale di circa 180 secondi.

I risultati del confronto tra tali normative e quanto verificatosi nel corso dell'evento in oggetto sono sintetizzati nella seguente tabella 5.

Norma di riferimento	Parametro	Evento 24.11.2015	Note
API 521	Rapporto in peso vapore/gas superiore a 0,5	Rapporto maggiore di 0,5 per tutto l'evento tranne nel primo periodo (circa 180 secondi) interno al transitorio necessario per raggiungere le condizioni di erogazione a regime del vapore al TIP della torcia fredda.	
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 180 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 66,6 MJ/m <sup>3</sup>	La condizione è rispettata in accordo a quanto previsto per poter utilizzare la tecnologia "vapor assisted"
	Massima velocità del gas in uscita pari a 121,92 m/s	Massima velocità raggiunta dai gas pari a 22,95 m/s	
	Rapporto in peso vapore/gas superiore a 0,5	Rapporto maggiore di 0,5 per tutto l'evento tranne nel primo periodo (circa 180 secondi) interno al transitorio necessario per raggiungere le condizioni di erogazione a regime del vapore al TIP della torcia fredda.	

**Tabella 5. Confronto con normative tecniche di settore**

In conclusione, l'evento del 24 novembre 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) [...] mediante l'immissione di vapore, ovvero nelle migliori condizioni smokeless consentite dalla tecnologia [...]” sia stata pienamente soddisfatta nel corso dell'evento del 24 novembre 2015.**

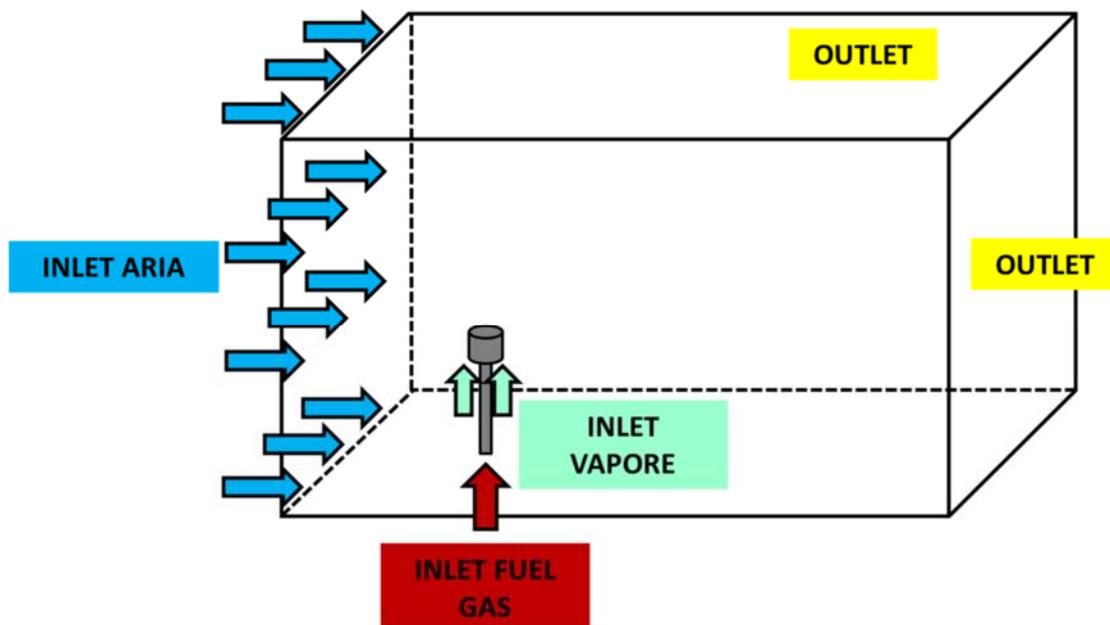
## 4.3 Studio modellistico per la valutazione delle condizioni di combustione della Torcia RV101C

Al fine di verificare le effettive condizioni di combustione del terminale di torcia è stato realizzato uno studio di modellistico finalizzato a simulare le condizioni operative della torcia in occasione dell'episodio del 24 novembre 2015. Lo studio è stato eseguito dalla azienda costruttrice del terminale di torcia ed è riportato in allegato I.

Sono stati analizzati i seguenti parametri:

- Efficienza di combustione;
- Forma e dimensione della fiamma;
- Campo di velocità di uscita dei gas dal terminale;
- Campo di temperatura all'uscita del terminale;
- Concentrazione di gas incombusti.

Lo studio è stato eseguito mediante lo sviluppo di uno specifico modello computazionale finalizzato a valutare la distribuzione dei flussi all'interno di un dominio di calcolo che viene qui di seguito rappresentato in modo schematico.



**Figura 5 schema dominio di calcolo modello CFD**

La valutazione numerica dell'efficienza di combustione, così come definita precedentemente, è riportata nella seguente Tabella 6.

**Tabella 6 – Portata in massa delle specie chimiche di interesse per il CASO 1: 180,26 t/h.**

	TERMINALE RV-101-C – CASO 1: 180,26 t/h	
	INGRESSO [kg/h]	PIANI TANGENTI ALLA ISO-T = 1200 K [g/s]
IDROGENO	857,34	0,18
MONOSSIDO DI CARBONIO	59,27	6,57
METANO	11422,77	10,79
ETANO	11272,47	10,65
ETILENE	18952,57	17,90
PROPANO	10711,49	10,12
PROPILENE	99467,63	93,94
BUTANO	1565,44	1,48
ALLENE	635,07	0,60
ACETILENE	96,32	0,09
BUTENE	13188,26	12,46
BUTADIENE	7430,30	7,02
PENTANO	3962,83	3,74
ESANO	45,51	0,04
BENZENE	577,91	0,55

La tabella 6 evidenzia che a valle dei piani oggetto dello studio l'efficienza di combustione risulta pertanto pari al 99,65%.

La simulazione fluidodinamica ha evidenziato quanto segue:

- Il terminale di torcia RV101C è in grado di elaborare la portata analizzata mantenendo un'efficienza di combustione pari al 99,65%;
- La temperatura minima di fiamma è superiore a 1.200 K, la massima supera i 1.600 K.
- La velocità di uscita del flare gas è molto maggiore rispetto alla velocità del vento, come mostrato dai profili di velocità; tuttavia la velocità del vento è tale per cui la fiamma è deflessa, estendendosi sia in direzione verticale che orizzontale. Ciò nonostante il terminale di torcia RV101C è ben dimensionato per garantire un buon grado di turbolenza e quindi miscelamento tra vapore, aria ambiente e flare gas;
- La composizione del flare gas (il cui LHV è pari a circa 1800 Btu/Scf) è adatta a sostenere una buona efficienza di combustione senza gas di supporto ausiliario;

I risultati dello studio pertanto confermano la conformità del terminale di torcia alla prescrizione n. 13 del PIC.

Lo studio è riportato integralmente in allegato I

#### **4.4 Studio di incremento di affidabilità del sistema**

L'analisi tecnica, eseguita congiuntamente con la società fornitrice degli azionamenti elettrici (Siemens), ha individuato quale causa del blocco del compressore di processo K-2001 B dell'impianto Steam Cracking P1CR un guasto nell'interruttore a media tensione (13 kV) del trasformatore principale di macchina che alimenta il motore elettrico del compressore. Si è proceduto alla sostituzione dell'interruttore con un nuovo interruttore. L'interruttore causa del guasto, dopo successive ispezioni, ha evidenziato il failure del componente sganciatore di minima tensione.

Al fine di evitare il ripetersi di eventi simili, causa di attivazione della torcia, è stato affidato ad una primaria società di ingegneria e componentistica elettrica (Siemens) uno studio finalizzato a definire le modalità di incremento dell'affidabilità degli interruttori di alimentazione degli azionamenti dei compressori dell'impianto P1CR.

## 4.5 Studio modellistico per la valutazione delle ricadute atmosferiche

Al fine di valutare gli effetti ambientali associati alle ricadute degli inquinanti associate all'evento di torcia del 24 novembre 2015 è stato svolto uno studio modellistico tramite i modelli meteorologici WRF e CALMET e quindi con il modello di dispersione CALPUFF. Output del modello è la concentrazione degli inquinanti su un dominio quadrato avente lato di 50 km al fine di valutare la quantità e la distribuzione spaziale delle ricadute degli inquinanti; sono stati considerati due scenari di simulazione:

- Scenario "Ispra" che recepisce le indicazioni fornite dall'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA) con nota nr. 48112 del 28 ottobre 2015.
- Scenario da "modello cinetico" in cui gli input emissivi sono stati stimanti da un modello CFD (Computational Fluid Dynamics) sulla base dei valori quantitativi delle portate in massa di combustibile in ingresso alla torcia (riportato in allegato I).

Le analisi effettuate evidenziano come, per entrambi gli scenari, le ricadute al suolo presentino valori massimi molto contenuti e sensibilmente inferiori ai limiti di legge. Tale conclusione è confermata dalla nota redatta dalla Direzione Scientifica – Centro Regionale Aria di ARPA Puglia del novembre 2015 che evidenzia che *"in data 24 novembre 2015 non si è verificato nulla di rilevante nei livelli di concentrazione degli inquinanti nelle centraline ARPA e non sono stati riscontrati dopo le ore 15 del 24 novembre e nella giornata del 25 novembre aumenti significativi delle concentrazioni orarie degli inquinanti benzene, PM10, NO2, PM2,5, IPA"*.

Lo studio è riportato integralmente in allegato II a questo rapporto.

---

## 5 VALUTAZIONI CONCLUSIVE

---

In conclusione, lo stabilimento versalis di Brindisi opera in piena ottemperanza alla prescrizione n. 13 del PIC, in quanto:

1. *In ogni caso le torce dovranno essere utilizzate solo in situazioni di emergenza/o nelle fasi di avvio spegnimento degli impianti cui sono asservite*

Si conferma che la torcia RV101C è stata utilizzata in occasione dell'evento del 24 novembre 2015 a fronte di una situazione di emergenza.

2. *...devono essere esercite senza generare emissioni visibili (di fumo), indice di elevato contenuto di particolato mediante l'immissione di vapore, ovvero nelle migliori condizioni smokeless consentite dalla tecnologia,*

Durante l'evento del 24 novembre 2015, la torcia RV101C è stata esercita nelle migliori condizioni smokeless consentite dalla tecnologia. Il confronto con le migliori tecniche disponibili (BAT) di settore evidenzia che la torcia è progettata ed esercita nelle migliori condizioni smokeless consentite dalla tecnologia (capitolo 4). Come previsto dallo standard API 521, la condizione minima necessaria a garantire le condizioni smokeless è data da un rapporto in peso vapore/gas non inferiore a 0,5.

Durante l'evento, tale rapporto è risultato essere sempre maggiore di 0,5 tranne nel primo periodo (circa 180 secondi) interno al transitorio necessario per raggiungere le condizioni di erogazione a regime del vapore al TIP della torcia fredda. Tale transitorio, riscontrabile in una qualunque tipologia di torcia fredda, non è tecnologicamente annullabile. Dopo circa 180 secondi dall'inizio dell'evento il rapporto è stato stabilmente superiore a 0,5.

3. *....deve essere garantita un'efficienza di rimozione VOC superiore al 98% (o 99%) ed una temperatura minima di combustione superiore a 800°C (o 1000°C)*

Lo studio modellistico CFD (allegato I) dimostra il pieno rispetto delle condizioni operative indicate.

4. *...e complessivamente le quantità di idrocarburi scaricati per singola torcia devono porsi come obiettivo il rispetto del range di 5-15 kg/t di etilene su base annua”.*

Gli obiettivi indicati sono sistematicamente rispettati come documentato dai rapporti annuali di monitoraggio predisposti in ottemperanza al Piano di Monitoraggio e Controllo che è parte integrante del Decreto di Autorizzazione Integrata Ambientale dello stabilimento.

Infine in allegato II sono illustrati i contenuti di uno specifico studio modellistico di simulazione delle ricadute atmosferiche che dimostra che l'episodio del 24 novembre 2015 non ha determinato impatti sulla qualità dell'aria. Tale conclusione è confermata dalla nota redatta dalla Direzione Scientifica – Centro Regionale Aria di ARPA Puglia del novembre 2015 che evidenzia che *“in data 24 novembre 2015 non si è verificato nulla di rilevante nei livelli di concentrazione degli inquinanti nelle centraline ARPA e non sono stati riscontrati dopo le ore 15 del 24 novembre e nella giornata del 25 novembre aumenti significativi delle concentrazioni orarie degli inquinanti benzene, PM10, NO2, PM2,5, IPA”.*

# **Allegato I**

**Analisi CFD: Calcolo dell'efficienza di combustione  
del terminale di torcia RV101C.**

# **Allegato II**

**Studio modellistico di simulazione delle ricadute atmosferiche  
dell'intervento di torcia del 24 novembre 2015**



**Studio modellistico per la  
valutazione degli effetti della  
qualità dell'aria dell'evento di torcia  
RV-101C del 24 novembre 2015**

Preparato per versalis S.p.A. stabilimento di Brindisi

Giugno 2016

Preparato da

**AECOM URS Italia S.p.A.**

# **Studio modellistico per la valutazione degli effetti della qualità dell'aria dell'evento di torcia RV-101C del 24 novembre 2015**

Nome del documento	Rif.	Preparato per	Preparato da	Data	Rivisto da
Studio ricadute evento di torcia 24 novembre 2015	60506576	Versalis Brindisi	Salvatore Greco Project Manager 	21 giugno 2016	Fabio De Palma Director 

Questo documento è stato preparato da AECOM URS Italia S.p.A. al solo uso del nostro cliente (il "Cliente") e in conformità con i principi generalmente accettati di consulenza, il bilancio per le tasse e i termini di riferimento concordati tra AECOM URS Italia S.p.A. e il Cliente. Tutte le informazioni fornite da terzi e di cui nel presente documento non è stato controllato o esplicitamente approvato da AECOM URS Italia S.p.a., salvo quanto diversamente specificato nel documento. Nessuna parte terza può fare affidamento su questo documento senza il previo ed esprimere accordo scritto di AECOM URS Italia S.p.A..

**INDICE**

<b>1</b>	<b>PREMESSA.....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>INQUADRAMENTO TERRITORIALE.....</b>	<b>3</b>
2.1	Impianto Versalis di Brindisi .....	3
2.2	Torcia RV-101C (punto di emissione E53).....	3
2.3	Qualità dell'aria nel mese di novembre 2015 .....	5
<b>3</b>	<b>STIMA EMISSIONI E VALUTAZIONE IMPATTO SULLA QUALITA' DELL'ARIA .....</b>	<b>10</b>
3.1	Catena modellistica adottata.....	10
3.2	Ricostruzione input meteorologico .....	11
3.2.1	Il modello Weather Research and Forecasting (WRF) .....	11
3.2.1	Il modello CALMET .....	13
3.2.2	Validazione del campo meteorologico tridimensionale.....	16
3.2.3	Condizioni meteorologiche del 24 – 25 novembre.....	18
3.2.4	Rose dei venti presso l'impianto durante l'attivazione della torcia .....	20
3.3	Dispersione degli inquinanti in atmosfera.....	23
3.3.1	Il modello CALPUFF.....	23
3.3.2	Input emissivo (torcia RV-101C).....	24
3.3.3	Dominio di simulazione e griglia dei recettori .....	27
3.3.4	Stima impatto sulla qualità dell'aria .....	27
<b>4</b>	<b>CONCLUSIONI.....</b>	<b>31</b>
<b>5</b>	<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>33</b>

**Allegato I Rapporto di prova flusso in ingresso in torcia**

**Allegato II Analisi CFD: Calcolo dell'efficienza di combustione del terminale di torcia RV-101C.**

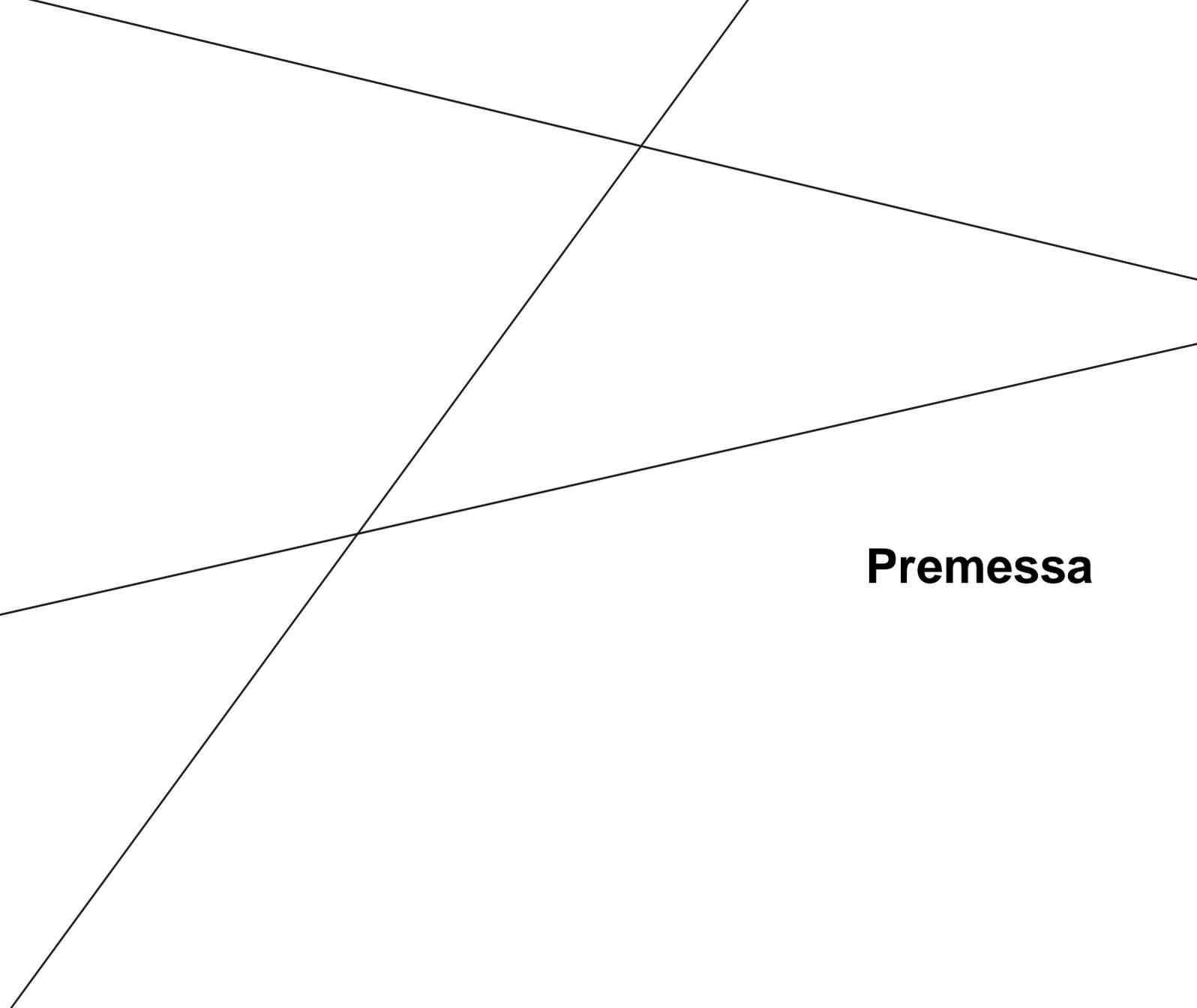
## Tabelle nel testo

Tabella 1: Caratteristiche delle centraline di qualità dell'aria della provincia di Brindisi .....	5
Tabella 2: Concentrazioni medie annue, medie del mese di novembre e massime giornaliere del medesimo mese in termini di benzene (C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> ) rilevate presso le centraline di qualità dell'aria della provincia di Brindisi per l'anno 2015.....	6
Tabella 3: Concentrazioni medie giornaliere di PM <sub>10</sub> [µg/m <sup>3</sup> ] rilevate presso le centraline di qualità dell'aria della provincia di Brindisi. In rosso sono evidenziati i superamenti del limite giornaliero e in verde le concentrazioni del 24/11/2015, giorno dell'evento di torcia.....	8
Tabella 4: Modelli meteorologici globali utilizzati nella simulazione WRF .....	13
Tabella 5: Sistema di classificazione del 'U.S. Geological Survey' delle categorie uso del suolo .....	14
Tabella 6: Geometria della torcia RV-101C.....	24
Tabella 7: Fattori emissivi per inquinante dello Scenario "Ispra" .....	25
Tabella 8: Composizione principali componenti inviati in torcia.....	26
Tabella 9: Fattori emissivi EPA per le polveri .....	26
Tabella 10: Parametri emissivi .....	26
Tabella 11: Emissioni per lo scenario da "modello cinetico" .....	27
Tabella 12: Ricadute massime orarie scenario "Ispra" (U.S.EPA: AP-42 e nota ISPRA) .....	27
Tabella 13: Ricadute massime orarie incombusti nei 2 scenari analizzati.....	28
Tabella 14: Elenco delle tavole allegate .....	29

## Figure nel testo

Figura 2-1. Localizzazione dell'impianto Versalis S.p.A. (tratteggio rosso) affianco all'abitato di Brindisi.....	3
Figura 2-2. Schema funzionale della torcia RV101C .....	4
Figura 2-3. Localizzazione delle centraline di qualità dell'aria della provincia di Brindisi, rispetto alla posizione dell'impianto di Versalis S.p.A. (tratteggio rosso) .....	6
Figura 2-4. Concentrazioni medie giornaliere del mese di novembre 2015 di C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> [µg/m <sup>3</sup> ] rilevate presso le centraline di qualità dell'aria della provincia di Brindisi .....	7
Figura 3-1. Schema di flusso della catena modellistica .....	10
Figura 3-2. Catena modellistica relativa al modello WRF .....	12
Figura 3-3. Domini di calcolo per WRF, CALMET e CALPUFF .....	15
Figura 3-4. Localizzazione della centralina impiegata per la validazione del modello CALMET (Mesagne Moccari, in rosso) rispetto alla stazione utilizzata nella fase di calibrazione (Brindisi ARPA, in verde); in azzurro è evidenziata l'ubicazione dell'impianto Versalis.....	16
Figura 3-5. Rosa dei venti presso la centralina di Mesagne Moccari relativa al 24 e 25 novembre 2015; a sinistra la rosa misurata, a destra la stima del modello .....	17
Figura 3-6. Rosa dei venti presso la centralina Brindisi ARPA relativa al 24 e 25 novembre 2015; a sinistra la rosa misurata, a destra la stima del modello .....	17
Figura 3-7. Temperatura registrata il 24 e 25 novembre 2015 alla stazione di Brindisi della rete ARPA Puglia .....	18
Figura 3-8. Precipitazione registrata il 24 e 25 novembre 2015 alla stazione di Brindisi della rete ARPA Puglia .....	19

Figura 3-9. Andamento della radiazione registrata il 24 e 25 novembre 2015 alla stazione di Brindisi della rete ARPA Puglia	19
Figura 3-10. Rosa dei venti rilevata nella stazione Brindisi – ARPA relative al 24 e 25 novembre 2015 .....	20
Figura 3-11. Rosa dei venti stimata in corrispondenza dell'impianto Versalis S.p.A. di Brindisi alla quota 100 metri nel periodo di funzionamento della torcia .....	21
Figura 3-12. Rosa dei venti stimata in corrispondenza dell'impianto Versalis S.p.A. di Brindisi alla quota 10 m (in alto a sinistra), 250 m (in alto a destra), 500 m (in basso a sinistra) e 1000 m (in basso a destra) nel periodo di funzionamento della torcia	22
Figura 3-13. Schema di funzionamento del modello CALPUFF .....	23
Figura 3-14. Localizzazione delle torce dell'impianto Versalis .....	24
Figura 3-15. Andamento della portata oraria dell'evento di torcia del 24 novembre 2015 .....	25

Three thin black lines intersect to form a large, irregular triangle on the left side of the page. One line is nearly vertical, another is nearly horizontal, and the third is diagonal, connecting the top and bottom of the other two.

**Premessa**

**01**

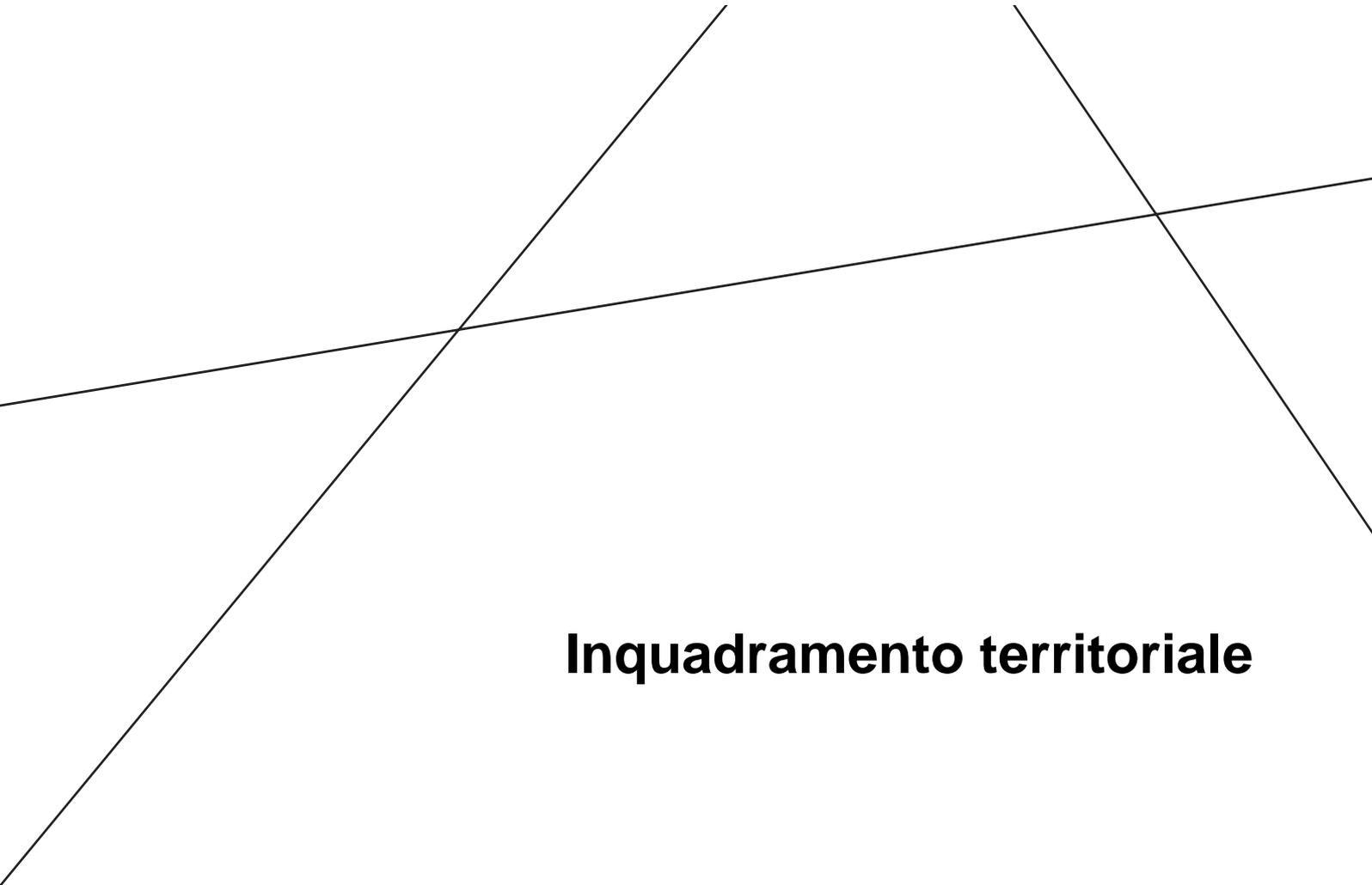
---

# 1 PREMESSA

---

In data 24 novembre 2015, alle ore 15.10 circa, si verificava il blocco del compressore di processo K-2001/B dell'impianto Steam Cracking P1CR per l'attivazione della relativa logica di blocco di sicurezza a causa del malfunzionamento dei tiristori. 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 RV-101C.

Il presente studio riporta la valutazione della ricadute degli inquinanti associate a tale evento di torcia considerando 2 differenti approcci: quello proposto dall'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA) con Nota nr. 48112 del 28 ottobre 2015; un secondo approccio che utilizza come input emissivi i risultati di un modello CFD (Computational Fluid Dynamics), costruito sulla base delle caratteristiche dell'evento del 24 novembre. Per maggiori informazioni si rimanda allo studio: "Analisi CFD: Calcolo dell'efficienza di combustione del terminale di torcia RV-101C".

Three thin black lines intersect to form a triangular shape in the upper left quadrant of the page. One line is horizontal, another is diagonal from top-left to bottom-right, and the third is diagonal from top-right to bottom-left.

## **Inquadramento territoriale**

**02**

---

## 2 INQUADRAMENTO TERRITORIALE

---

### 2.1 Impianto Versalis di Brindisi

L'impianto Versalis S.p.A. di Brindisi è compreso nel polo petrolchimico situato nell'area di Pedagne, e incluso nel perimetro del Sito di Interesse Nazionale di Brindisi. Il polo petrolchimico occupa una superficie complessiva di 4,6 km<sup>2</sup>, di cui l'impianto in oggetto ricopre una superficie di circa 3 km<sup>2</sup>.

Figura 2-1. Localizzazione dell'impianto Versalis S.p.A. (tratteggio rosso) affianco all'abitato di Brindisi



L'impianto Versalis è finalizzato alla produzione di polietilene ad alta densità (HDPE), polietilene lineare a bassa densità (LLDPE), Etilene, Propilene, Butadiene e altre sostanze (tra cui frazione C4 degli idrocarburi, fuel gas, benzina da cracking etc...).

### 2.2 Torcia RV-101C (punto di emissione E53)

La torcia RV-101C dello stabilimento Versalis di Brindisi è dedicata a gestire gli scarichi 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, in situazioni di emergenza e/o nelle fasi di avvio/arresto impianti.

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 m unito di un sistema di guardia idraulica ad acqua, la quale determina una contropressione di 600 mm H<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 garantita 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.

Nella 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).

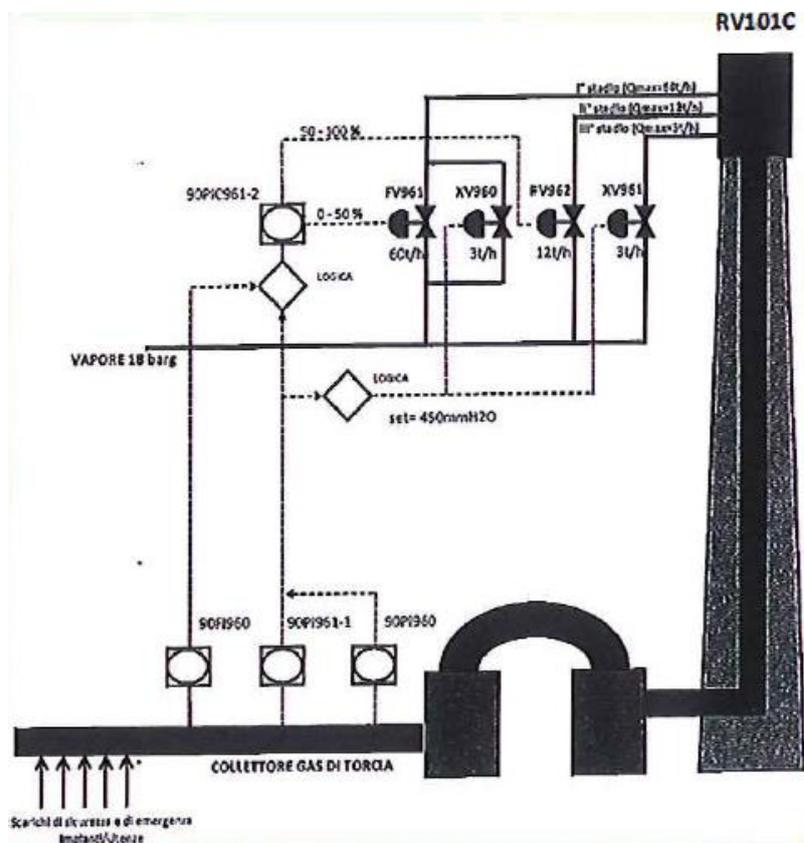
L'affidabilità del sistema di accensione della torcia RV 101/C è garantita dall'installazione di 4 piloti alimentati da Fuel Gas di Stabilimento o in alternativa da gas Metano (rete Snam). I piloti sono allarmati per mancanza fiamma.

Sul terminale di torcia RV-101C sono presenti 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. 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 funzionamento della torcia è riportato di seguito.

**Figura 2-2. Schema funzionale della torcia RV101C**



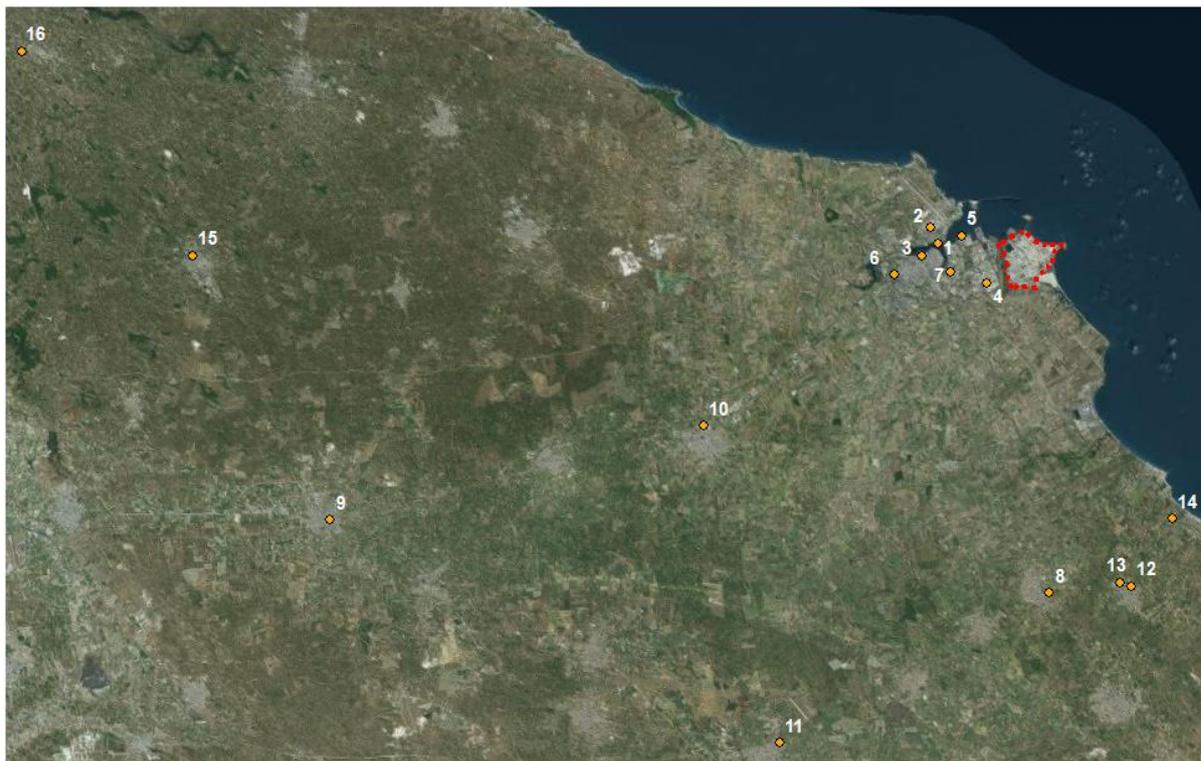
## 2.3 Qualità dell'aria nel mese di novembre 2015

Nel "Report mensile di Qualità dell'Aria in Puglia – Novembre 2015", redatto da ARPA Puglia, è proposta una rassegna della situazione relativa alla presenza in atmosfera degli inquinanti di maggior interesse, individuati dal D.Lgs 155/2010, secondo il monitoraggio condotto per mezzo della rete di centraline presente nella regione, descritte per la provincia di Brindisi in Tabella 1. La localizzazione delle stazioni di qualità dell'aria della provincia è rappresentata in Figura 2-3, mediante l'ID associato in tabella.

Tabella 1: Caratteristiche delle centraline di qualità dell'aria della provincia di Brindisi

ID	Centraline	Inquinanti monitorati	X [m, UTM 33]	Y [m, UTM 33]
1	Brindisi - via Taranto	PM <sub>10</sub> , NO <sub>2</sub> , O <sub>3</sub> , C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> , CO, SO <sub>2</sub>	749'277	4'503'418
2	Brindisi - Casale	PM <sub>10</sub> , NO <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub>	748'879	4'504'259
3	Brindisi - via dei mille	PM <sub>10</sub> , NO <sub>2</sub> , C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> , SO <sub>2</sub>	748'464	4'502'808
4	Brindisi - SISRI	PM <sub>10</sub> , NO <sub>2</sub> , C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> , CO, SO <sub>2</sub>	751'700	4'501'449
5	Brindisi - Terminal passeggeri	PM <sub>10</sub> , PM <sub>2,5</sub> , NO <sub>2</sub> , O <sub>3</sub> , C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> , CO, SO <sub>2</sub>	750'422	4'503'838
6	Brindisi - via Cappuccini	PM <sub>10</sub> , NO <sub>2</sub> , CO, SO <sub>2</sub>	747'098	4'501'881
7	Perrino Brindisi	PM <sub>10</sub> , NO <sub>2</sub> , CO, SO <sub>2</sub>	749'892	4'502'036
8	San Pietro V.co - via del campo	PM <sub>10</sub> , NO <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub>	754'781	4'486'042
9	Francavilla - via Filzi	NO <sub>2</sub> , O <sub>3</sub> , C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> , CO, SO <sub>2</sub>	719'236	4'489'711
10	Mesagne	PM <sub>10</sub> , NO <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub>	737'714	4'494'370
11	San Pancrazio Salentino	PM <sub>10</sub> , NO <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub>	741'444	4'478'597
12	Torchiarolo – via Don Minzoni	PM <sub>10</sub> , PM <sub>2,5</sub> , NO <sub>2</sub> , O <sub>3</sub> , C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> , CO, SO <sub>2</sub>	758'842	4'486'404
13	Torchiarolo - ENEL via Fanin	PM <sub>10</sub> , PM <sub>2,5</sub> , NO <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub>	758'263	4'486'545
14	Torchiarolo - Lendinuso	PM <sub>10</sub> , NO <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub>	760'838	4'489'753
15	Ceglie Messapica	PM <sub>10</sub> , PM <sub>2,5</sub> , NO <sub>2</sub> , C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> , CO, SO <sub>2</sub>	712'432	4'502'847
16	Cisternino	PM <sub>10</sub> , NO <sub>2</sub> , O <sub>3</sub> , SO <sub>2</sub>	703'972	4'513'011

**Figura 2-3. Localizzazione delle centraline di qualità dell'aria della provincia di Brindisi, rispetto alla posizione dell'impianto di Versalis S.p.A. (tratteggio rosso)**



In provincia di Brindisi nel mese di novembre 2015 non è stato registrato alcun superamento del limite di legge per  $\text{SO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{C}_6\text{H}_6$  e  $\text{O}_3$ .

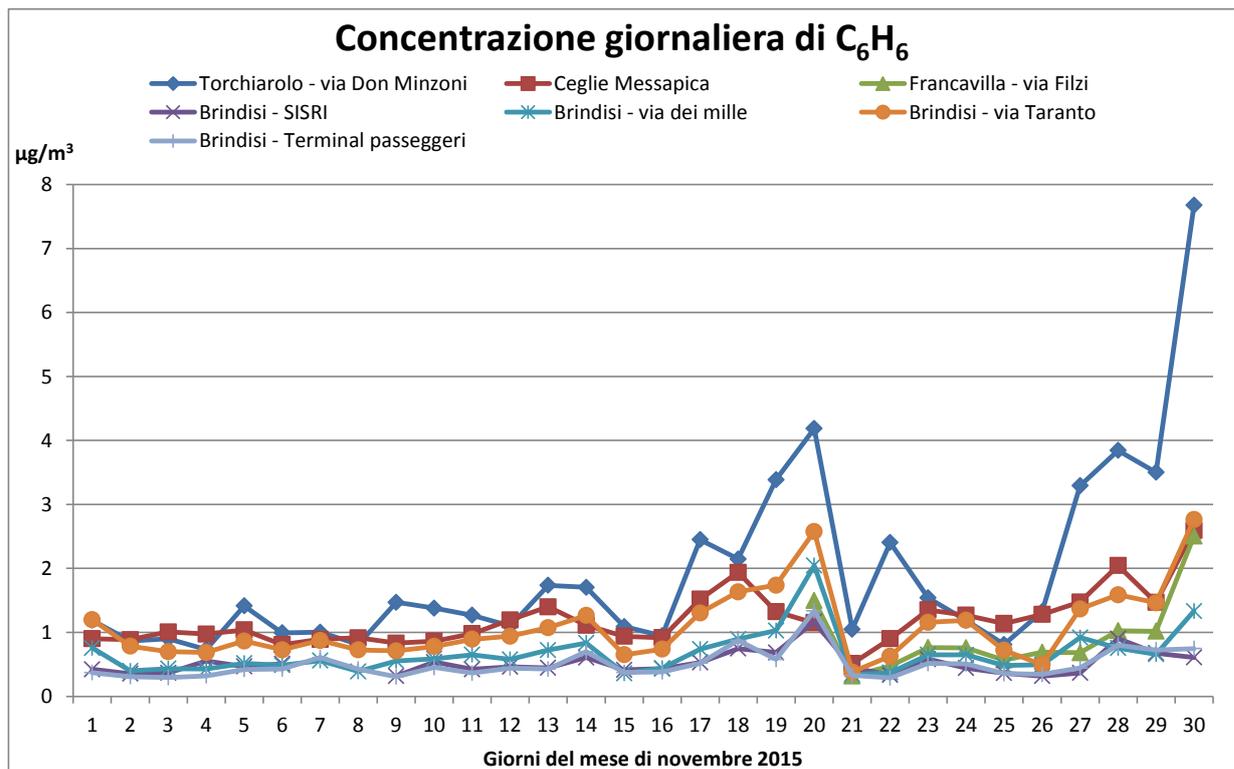
In termini di  $\text{NO}_2$  è stato rilevato un solo superamento del valore limite orario (pari a  $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) in corrispondenza del 30 novembre presso la stazione Brindisi-Cappuccini.

Un'analisi più approfondita è stata condotta anche per il benzene, quale tracciante delle attività della torcia dell'impianto di Versalis S.p.A.. Come si può osservare dalla tabella sottostante, il limite normativo per il benzene (pari a  $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  sulla media annua) è rispettato in tutte le stazioni della provincia di Brindisi per l'anno 2015. In Tabella 2 si riportano anche le concentrazioni medie del mese di novembre, nonché il massimo giornaliero mensile e il giorno in cui esso si è verificato.

Tabella 2: Concentrazioni medie annue, medie del mese di novembre e massime giornaliere del medesimo mese in termini di benzene ( $\text{C}_6\text{H}_6$ ) rilevate presso le centraline di qualità dell'aria della provincia di Brindisi per l'anno 2015.

Centraline	Media annua [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	Media del mese di novembre [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	Massimo giornaliero di novembre [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]
Brindisi - via Taranto	1,30	1,09	2,76 (30/11)
Brindisi - via dei mille	0,64	0,67	2,04 (20/11)
Brindisi - SISRI	0,60	0,52	1,17 (20/11)
Brindisi - Terminal passeggeri	0,52	0,50	1,34 (20/11)
FrancaVilla - via Filzi	0,93	0,94	2,51 (30/11)
Torchiarolo - via Don Minzoni	1,20	1,91	7,68 (30/11)
Ceglie Messapica	0,83	1,19	2,59 (30/11)

**Figura 2-4. Concentrazioni medie giornaliere del mese di novembre 2015 di C<sub>6</sub>H<sub>6</sub> [µg/m<sup>3</sup>] rilevate presso le centraline di qualità dell'aria della provincia di Brindisi**



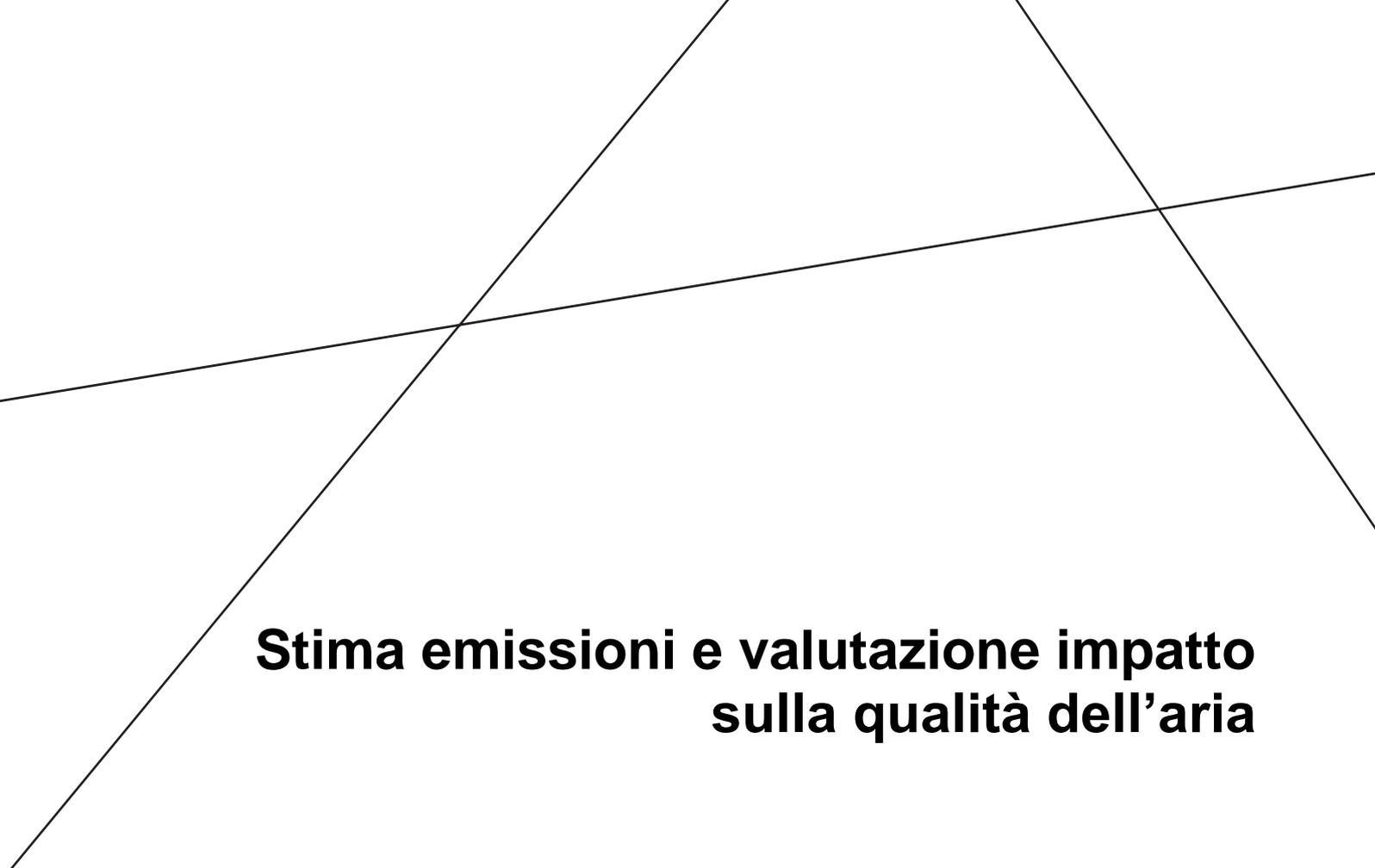
L'andamento delle concentrazioni medie giornaliere rilevate presso le centraline è mostrato in Figura 2-4; il giorno 24 novembre (ed anche il successivo 25 novembre) non si evidenziano criticità per il benzene, le concentrazioni giornaliere sono molto contenute ed in linea con il valore medio mensile.

Per quanto riguarda le polveri sono stati osservati diversi superamenti del valore limite di concentrazione giornaliera di PM<sub>10</sub> (pari a 50 µg/m<sup>3</sup> da non superare più di 35 volte in un anno) e negli stessi giorni anche di PM<sub>2,5</sub> (pari a 25 µg/m<sup>3</sup> che, però, la normativa indica come valore limite annuale e non giornaliero). Le concentrazioni medie giornaliere di PM<sub>10</sub> registrate presso le stazioni di monitoraggio di qualità dell'aria sono riportate in Tabella 3. Come si può osservare, in corrispondenza del 24/11/2015, giorno dell'evento di torcia, non si rilevano superamenti del limite normativo; inoltre le medie giornaliere di tale giorno (evidenziate in verde in tabella) risultano essere inferiori rispetto alle medie mensili in corrispondenza di ciascuna delle 15 centraline di monitoraggio. A livello annuale, solo la centralina di Torchiarolo – via Don Minzoni non rispetta il limite normativo dei 35 superamenti in relazione alla media giornaliera nel 2015, mentre nessuna centralina supera il limite annuo di 40 µg/m<sup>3</sup>.

Tabella 3: Concentrazioni medie giornaliere di PM<sub>10</sub> [µg/m<sup>3</sup>] rilevate presso le centraline di qualità dell'aria della provincia di Brindisi. In rosso sono evidenziati i superamenti del limite giornaliero e in verde le concentrazioni del 24/11/2015, giorno dell'evento di torcia

Giorno del mese	ID centraline															
	1	2	3	4	5	6	7	8	10	11	12	13	14	15	16	
1/11	31.3	19.8	19.8	17.1	18.9	22.8	14.7	23.5	17.8	20.5	30.8	23.7	22.9	29.6	18.7	
2/11	26.3	17.0	17.6	16.9	22.4	23.9	20.3	20.1	23.8	19.9	24.2	19.6	20.2	26.6	22.2	
3/11	24.3	17.0	17.3	17.5	15.1	20.4	17.1	27.6	14.4	21.4	25.6	23.0	18.0	32.7	23.5	
4/11	27.2	22.6	19.3	18.1	19.6	20.6	19.3	20.9	14.0	28.4	28.2	29.9	17.8	23.6	24.8	
5/11	35.1	26.6	23.3	21.3	24.2	32.3	28.6	25.9		27.5	37.2	39.6	24.1	41.4	26.1	
6/11	44.7	36.4	28.4	23.4	23.4	39.0	37.6	32.3		29.1	42.9	54.0	27.9	44.9	30.1	
7/11	58.9	50.1	29.8	26.5	51.9		58.9	45.2		35.6	49.5	68.1	40.0	63.0	47.4	
8/11	33.8	29.1	21.4	20.0	29.3		38.2	27.5	24.0	25.5	30.7	38.2	24.0	29.5	27.8	
9/11	21.8	16.0	15.9	13.6	18.2	10.7	14.5	19.2	20.2	26.4	36.6	19.9	13.7	24.0	11.6	
10/11	33.1	25.9	26.3	24.4	26.7	35.2	27.0	23.9	20.0	26.4	36.6	53.5	29.5	30.5	20.7	
11/11	34.1	24.5	33.8	19.0	26.0	26.0	27.4	25.4	23.0	25.8	36.6	45.3	20.3	25.4	18.1	
12/11	43.0	34.0	39.2	18.5	31.7	38.0	37.7	36.4	26.8	35.9	43.8	40.1	24.3	52.1	38.3	
13/11	46.7	38.3	27.1	19.0	26.9	40.7	34.4	40.7	42.3	44.5	59.8	40.3	25.9	67.3	45.4	
14/11	41.4	37.2	33.5	23.0	35.8	47.3	40.4	37.6	56.4	37.8	45.8	55.0	38.8	48.0	36.2	
15/11	29.4	24.9	21.1	17.5	23.3	29.4	26.1	24.3	37.8	25.5	37.3	35.4	20.5	40.1	23.2	
16/11	31.4	24.4	21.2	20.1	26.5	30.3	28.4	26.6	25.5	31.0	35.1	23.1	21.8	42.6	29.2	
17/11	45.9	33.1	22.7	17.9	32.5	26.2	27.5	49.0	30.8	32.7	63.9	16.4	23.2	40.1	26.3	
18/11	51.2	41.7	39.4	31.5	38.9	53.8	52.0	43.8	43.5	43.1	61.6	67.2	49.7	58.6	37.3	
19/11	50.7	41.0	28.1	23.4	34.8	39.5	35.1	60.4	52.6	46.6	73.1	47.1	33.6	49.6	42.0	
20/11	49.9	48.8	52.1	36.1	41.8	67.2	55.3	45.3	60.7	40.7	66.1	84.9	71.9	43.7	38.1	
21/11	25.0	22.9	20.7	17.5	21.8	25.8	23.9	18.7	22.7	19.4	35.9	33.0	23.1	29.3	17.4	
22/11	22.6	20.7	18.7	17.6	13.3	26.8	20.4	22.7	20.0	21.7	48.3	24.8	20.4	26.5	14.7	
23/11	20.6	13.9	18.2	16.9	12.2	23.5	19.4	17.3	17.1	18.4	25.9	31.3	19.2	33.0	21.9	
24/11	22.4	14.2	13.3	11.1	12.9	16.4	15.5	17.1	11.3	12.0	21.2	14.8	12.3	30.5	16.4	
25/11	12.8	9.1	7.6	5.9	7.7	11.8	8.1	13.7	11.0	9.1	16.2	9.6	5.2	21.8	7.3	
26/11	11.1	5.5	8.1	5.6	5.0	11.3	9.8	10.1	13.9	10.1	17.8	14.7	10.4	21.1	9.5	
27/11	18.5	5.4	11.5	9.0	4.9	17.7	13.9	7.2	14.0	22.0	44.5	21.6	10.9	23.0	8.5	
28/11	21.9	17.1	11.3	14.9	10.1	15.8	13.8	20.7	20.7	21.5	51.9	16.6	13.1	30.0	11.7	
29/11	18.7	12.5	13.8	13.9	13.3	19.5	16.4	25.1	21.0	25.7	44.6	16.9	12.5	29.4	19.5	
30/11	39.6	23.8	14.0	11.4	25.4	23.1	18.7	22.8	58.0	62.8	69.1	13.7	10.8	37.1	22.7	
Media	32.4	25.1	22.5	18.3	23.2	28.4	26.7	27.7	27.5	28.2	41.4	34.0	23.5	36.5	24.6	

Nella nota, redatta da ARPA Puglia, di trasmissione ad ISPRA della copia del verbale di contestazione n.86 del 24/11/2015 si specifica inoltre che: "per quanto riguarda gli aspetti relativi alle ricadute sulla qualità dell'aria del 24 novembre, non è stato osservato nulla di rilevante nei livelli di concentrazione degli inquinanti nelle centraline Arpa, e non sono stati riscontrati, dopo le ore 15 del 24 novembre e nella giornata successiva del 25/11, aumenti significativi delle concentrazioni orarie degli inquinanti benzene, PM<sub>10</sub>, NO<sub>2</sub>, PM<sub>2.5</sub> e IPA, e delle medie giornaliere di PM<sub>10</sub>, che il 24 novembre sono risultate inferiori alla soglia di 20 µg/m<sup>3</sup>, e che si sono mantenute sostanzialmente basse".



**Stima emissioni e valutazione impatto  
sulla qualità dell'aria**

**03**

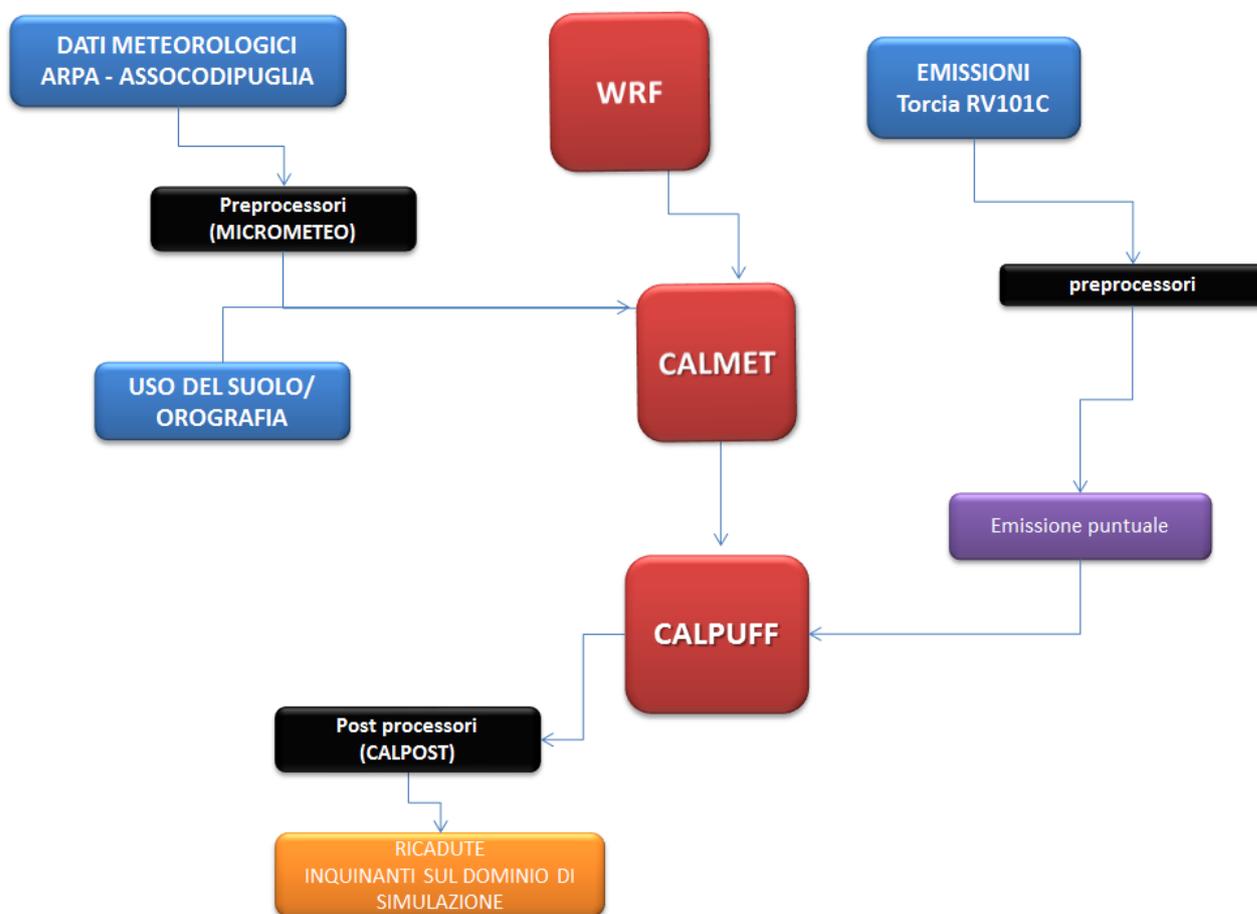
## 3 STIMA EMISSIONI E VALUTAZIONE IMPATTO SULLA QUALITA' DELL'ARIA

### 3.1 Catena modellistica adottata

L'obiettivo di valutare l'impatto ambientale, in termini di inquinamento prodotto dall'evento di torcia del 24 novembre 2015, è stato raggiunto con l'applicazione della catena modellistica WRF-CALMET-CALPUFF, dove WRF e CALMET sono i modelli meteorologici e CALPUFF il modello per il calcolo delle concentrazioni di inquinanti in atmosfera.

Di seguito (Figura 3-1) si riporta uno schema di flusso della catena modellistica utilizzata comprensiva dei principali pre-processor e post-processor impiegati.

Figura 3-1. Schema di flusso della catena modellistica



WRF è un modello prognostico state-of-the-art tra i più avanzati a livello ricerca scientifica, CALMET è un modello diagnostico state-of-the-art tra i più utilizzati ed infine CALPUFF è il modello suggerito da numerose agenzie nazionali per l'ambiente, come ISPRA italiana e EPA americana, per studi di valutazione di impatto ambientale in situazioni complesse. Tutti i modelli proposti sono aperti, pubblici e ampiamente referenziati a livello di pubblicazioni internazionali.

Si evidenzia inoltre che il rapporto "Linee guida per la scelta e l'uso dei modelli" redatto dal Centro Tematico Nazionale Atmosfera Clima ed Emissioni in aria (CTN-ACE) nel 2004 indica il modello CALPUFF tra i modelli adeguati per applicazioni in aree urbane ed a scala locale.

## **3.2 Ricostruzione input meteorologico**

### **3.2.1 Il modello Weather Research and Forecasting (WRF)**

Come illustrato in Figura 3-1, per caratterizzare la situazione meteorologica in quota sono state integrate le informazioni al suolo delle centraline di monitoraggio con i dati estrapolati da un run effettuato con il modello WRF, relativo alla nostra area di interesse.

Il modello WRF (Weather Research and Forecasting) è un sistema di previsioni meteorologiche numeriche su mesoscala di nuova generazione, progettato per soddisfare ricerche operative sia meteorologiche che atmosferiche.

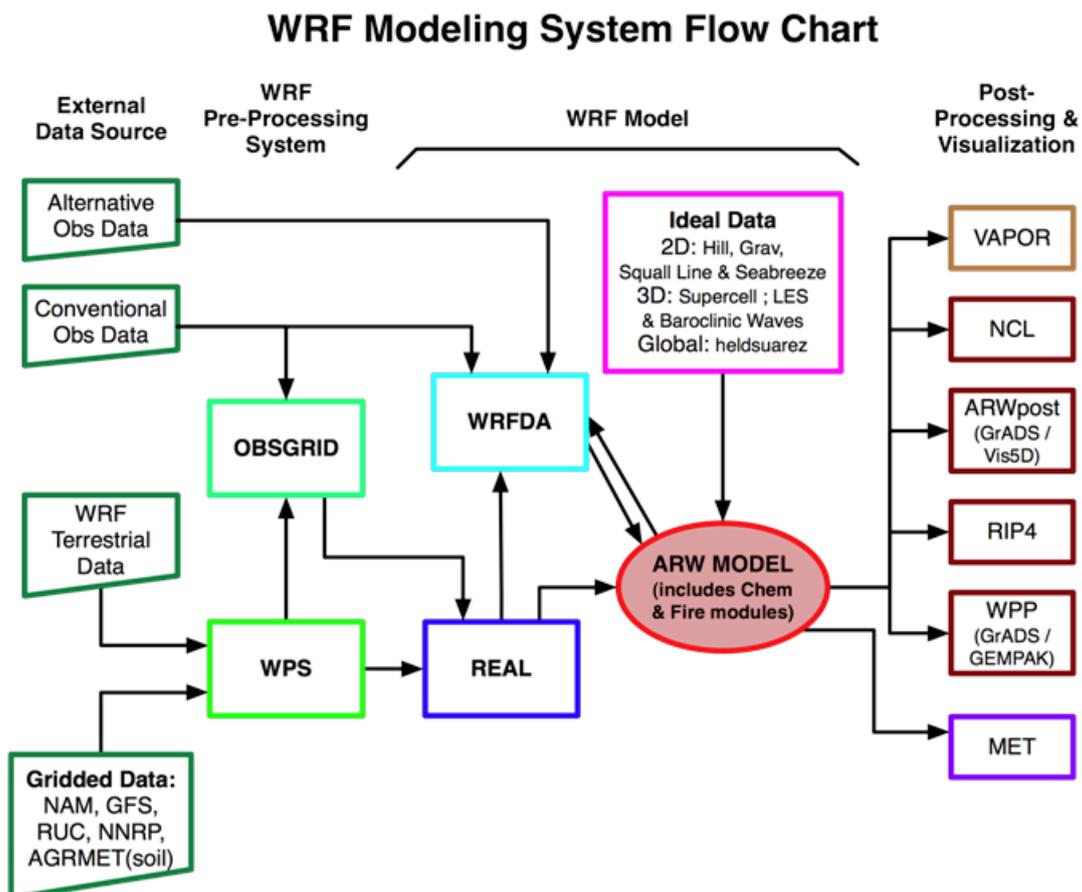
Lo sviluppo di WRF è stato il risultato di una collaborazione principalmente tra il National Center for Atmospheric Research (NCAR), il National Oceanic and Atmospheric Administration, il Forecast System Laboratory (FSL), la Air Force Weather Agency (AFWA), il Naval Research Laboratory, la University of Oklahoma e la Federal Aviation Administration (FAA). WRF offre ai ricercatori la possibilità di condurre simulazioni che riflettano sia dati reali che configurazioni ideali. WRF fornisce alle previsioni operative un modello flessibile ed efficiente dal punto di vista computazionale, oltre ai progressi nel campo della fisica, dei metodi numerici e dell'assimilazione dati a cui ha contribuito la comunità dei ricercatori<sup>1</sup>.

In Figura 3-2 è rappresentato un diagramma schematico che mostra l'ordine dei modelli ed il flusso dei dati utilizzati per il funzionamento del modello WRF.

---

<sup>1</sup> Per maggiori informazioni sul modello WRF consultare il sito: [www.wrf-model.org](http://www.wrf-model.org)

Figura 3-2. Catena modellistica relativa al modello WRF



- WPS (WRF Pre-Processing System): è un insieme di tre codici utile a preparare gli input meteorologici.
  - Geogrid, definisce il dominio di calcolo e interpola i dati geografici e di uso del suolo sulla griglia di calcolo.
  - Ungrib, estrae i campi meteorologici dalle analisi meteorologiche di modelli a livello globale quali GFS o ECMWF.
  - Metgrid, interpola orizzontalmente i campi di analisi estratti da ungrib, sulla griglia di calcolo definita da geogrid.
- OBSGRID e WRFDA integrano i dati osservati delle stazioni al suolo e dei radiosondaggi all'interno delle simulazioni.
- REAL legge i campi di input e li interpola lungo la struttura verticale di WRF, creando le condizioni iniziali e al contorno tridimensionali della griglia di calcolo.
- WRF-ARW: è il cuore del sistema modellistico. Simula i campi meteorologici in accordo con le parametrizzazioni chimiche e fisiche selezionate dall'utente.
- Le simulazioni WRF sono state utilizzate per ricreare i parametri meteorologici tridimensionali in ingresso a CALMET (e precisamente il file 3D.DAT).

Il dominio di calcolo utilizzato per WRF è un quadrato di lato 60 km, con risoluzione di 4 km, centrato sull'impianto Versalis S.p.A. di Brindisi (Figura 3-3). I valori iniziali e al contorno sono stati estrapolati da vari modelli meteorologici globali. In

Tabella 4 è riportata una descrizione dettagliata di questi dati.

Tabella 4: Modelli meteorologici globali utilizzati nella simulazione WRF

<b>Dati</b>	GFS (Global Forecasting System) rianalizzato con i dati osservati della rete GDAS (Global Data Assimilation System)
<b>Tipo</b>	Variabili meteorologiche, parametri fisici e chimici atmosfera.
<b>Fornitore</b>	NCEP (National Centers for Environmental Prediction)
<b>Sito dati</b>	<a href="http://rda.ucar.edu/datasets/ds083.2/">http://rda.ucar.edu/datasets/ds083.2/</a>
<b>Formato</b>	GRIB1
<b>Risoluzione spaziale</b>	1° Latitudine x 1° Longitudine
<b>Risoluzione temporale</b>	6 ore
<b>Dati</b>	SST (Sea Surface Temperature)
<b>Tipo</b>	Temperatura superficiale dei mari
<b>Fornitore</b>	NCEP (National Centers for Environmental Prediction)
<b>Sito dati</b>	<a href="ftp://polar.ncep.noaa.gov/pub/history/sst">ftp://polar.ncep.noaa.gov/pub/history/sst</a>
<b>Formato</b>	GRIB1
<b>Risoluzione spaziale</b>	1° Latitudine x 1° Longitudine
<b>Risoluzione temporale</b>	1 giorno

### 3.2.1 Il modello CALMET

CALMET è un modello meteorologico diagnostico a griglia che comprende un generatore di un campo di temperatura e velocità del vento tridimensionali, e di campi bidimensionali dei parametri micrometeorologici valutati in ogni punto del grigliato scelto quali la lunghezza di Monin-Obukhov, l'altezza di rimescolamento e la velocità di attrito.

Il sistema a griglia usato consiste di  $N_z$  strati verticali di  $(N_x \times N_y)$  celle quadrate orizzontali. In totale il sistema lavora quindi su  $N_x \times N_y \times N_z$  volumi d'aria. Il modello opera in un sistema di coordinate in cui la coordinata verticale è l'altezza cartesiana calcolata rispetto all'orografia (sistema di coordinate "terrain following").

Il modello CALMET essendo fondamentalmente un interpolatore attraverso la cosiddetta "*objective analysis*" necessita in primo luogo delle informazioni meteorologiche al suolo ricostruite a partire dai parametri misurati dalle stazioni meteorologiche o dal modello prognostico, utilizzate dal modello per la ricostruzione dei campi tridimensionali di vento e temperatura; secondariamente il modello CALMET necessita di una serie di informazioni sulla variabilità verticale dei dati meteorologici, in particolare: pressione, direzione del vento, velocità del vento e temperatura in funzione della quota. Queste informazioni possono essere recuperate dai dati di output di un modello prognostico ed in generale dalle misure meteorologiche in quota della più vicina stazione che effettui almeno due radiosondaggi giornalieri.

Il modello CALMET prevede tre modalità per integrare le informazioni del modello prognostico.

- (A) come guess field iniziale.
- (B) come campo di vento di step 1.
- (C) come osservazione – come se fossero i dati di una stazione reale.

Per la definizione del campo di vento iniziale (step 1) sono stati considerati i dati provenienti dal modello prognostico (WRF) unitamente all'orografia, minimizzandone la divergenza. Successivamente, per calcolare il campo di vento finale (step 2) si sono utilizzati i valori osservati presso la centralina meteorologica al suolo.

Il modello CALMET necessita in input le seguenti informazioni meteorologiche.

- Parametri meteorologici misurati in stazioni a terra.
- Parametri meteorologici tridimensionali sul dominio (WRF).

Inoltre richiede le seguenti informazioni legate alla morfologia del suolo.

- Uso del suolo e parametri ad esso legati (albedo, roughness, Bowen ratio ...).
- Orografia.

Il dominio di calcolo di CALMET (v. Figura 3-3) è un quadrato di lato 50 km, con risoluzione di 250 m.

### 3.2.1.1 Uso del suolo e orografia

Per quanto concerne l'uso del suolo, si sono utilizzati i dati provenienti dal "Eurasia Land Cover Characteristics Data Base Version 2.0" prodotto dall'USGS.

La risoluzione di tale database è di 1 km; l'uso del suolo viene classificato in base a 14 categorie elencate nella seguente tabella.

Tabella 5: Sistema di classificazione del 'U.S. Geological Survey' delle categorie uso del suolo

Land Use Type	Description	Surface Roughness [m]	Albedo	Bowen Ratio	Soil Heat Flux Parameter	Anthropogenic Heat Flux [W/m <sup>2</sup> ]	Leaf Area Index
10	Urban or Built-up Land	1	0,18	1,5	0,25	0	0,2
20	Agricultural Land – Unirrigated	0,25	0,15	1	0,15	0	3
-20	Agricultural Land – Irrigated	0,25	0,15	0,5	0,15	0	3
30	Rangeland	0,05	0,25	1	0,15	0	0,5
40	Forest Land	1	0,1	1	0,15	0	7
50	Water	0,001	0,1	0	1	0	0
51	Small Water Body	0,001	0,1	0	1	0	0
55	Large Water Body	0,001	0,1	0	1	0	0
60	Wetland	1	0,1	0,5	0,25	0	2
61	Forested Wetland	1	0,1	0,5	0,25	0	2
62	Nonforested Wetland	0,2	0,1	0,1	0,25	0	1
70	Barren Land	0,05	0,3	1	0,15	0	0,05
80	Tundra	0,2	0,3	0,5	0,15	0	0
90	Perennial Snow or Ice	0,05	0,7	0,5	0,15	0	0

Il dominio considerato è caratterizzato principalmente da terreni agricoli, irrigati e non irrigati.

L'orografia del dominio è stata ricavata a partire dal dataset SRTM3 (Shuttle Radar Topography Mission 3 arc-sec, ~90 m). Tale dataset è il risultato degli sforzi congiunti fra la NASA, l'INGA, ovvero National Geospatial-Intelligence Agency – conosciuto una volta come National Imagery and Mapping Agency (NIMA) e la collaborazione delle agenzie spaziali di Germania e Italia per generare un DEM (Digital Elevation Model) a scala quasi mondiale sfruttando l'interferometria dei radar.

I dati SRTM sono organizzati in formato raster. La spaziatura per ogni singolo dato è pari 3 archi-secondo, pari a 90 metri.

L'accesso ai dati avviene tramite il sito web dell'USGS (U.S. Geological Survey). I DEM così scaricati vengono forniti in formato raster binario (.hgt) rappresentabile tramite la conversione in file .bil ma non immediatamente disponibili sottoforma di valori numerici delle quote. I dati sono espressi in metri con riferimento al geode WGS84/EGM96.

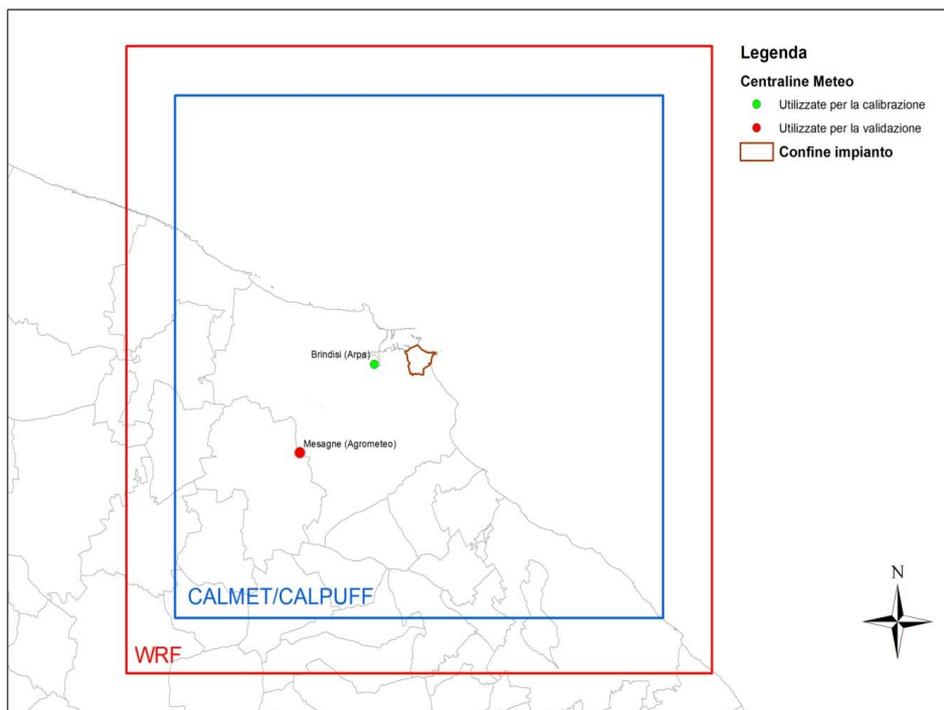
Per passare dal formato .hgt agli effettivi valori numerici di quota per ogni cella del dominio è stato utilizzato TERREL, un preprocessore di CALPUFF<sup>2</sup> che riceve in ingresso i file .hgt necessari a coprire l'aria di interesse e le informazioni sulla griglia del dominio e restituisce un unico file contenente la quota per ogni cella della griglia del dominio.

Il dominio di calcolo di CALMET comprende aree pianeggianti con l'altitudine che, comprensibilmente, degrada fino a 0 m s.l.m.; la quota sul livello del mare dell'impianto oggetto dello studio è di circa 10 m.

La stazione meteorologica di Brindisi, della rete ARPA Puglia, è stata impiegata per la calibrazione del modello CALMET. È stata analizzata tale stazione, in quanto localizzata nei pressi dell'impianto oggetto di studio e rappresentativa del campo anemologico dell'area. Per la validazione del campo meteorologico è stata utilizzata la stazione di Mesagne Moccari, della rete Agrometeo. Per quanto riguarda la copertura nuvolosa, non essendo tale parametro disponibile nelle stazioni meteorologiche analizzate, è stata ricavata dai dati dal database "NCEP Climate Forecast System Version 2" fornito dall'ente americano "CISIL research data archive" (<http://rda.ucar.edu/>).

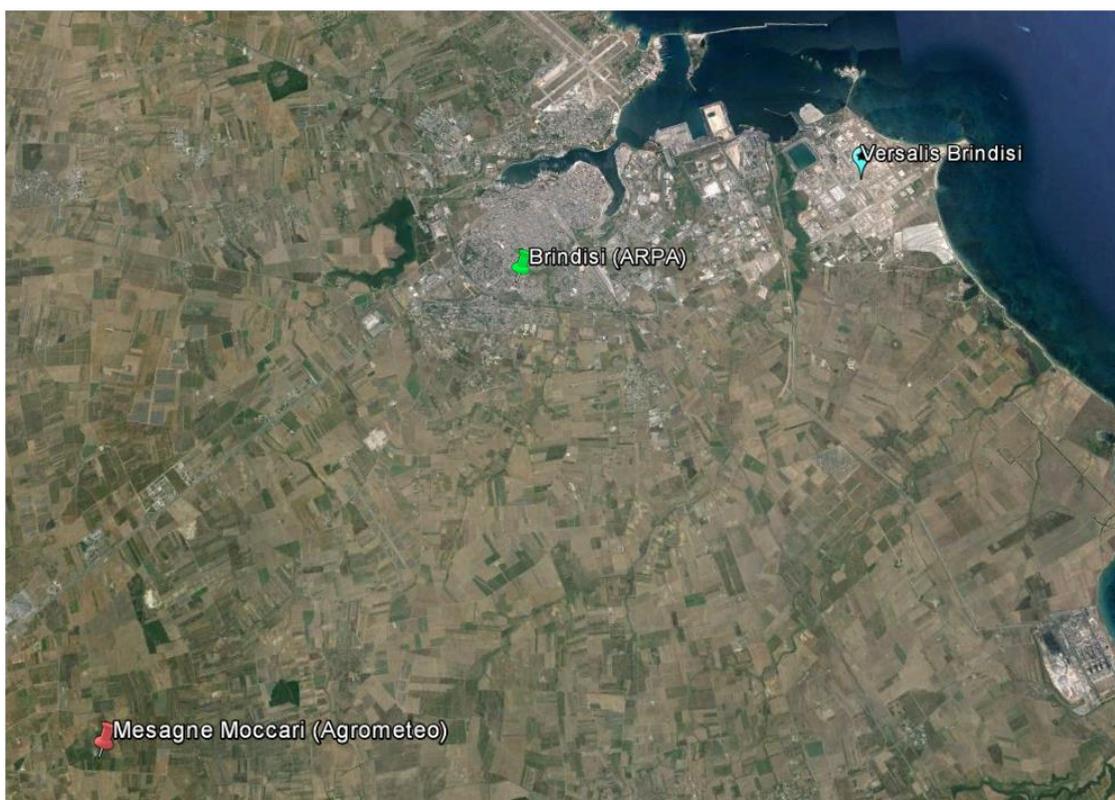
La localizzazione dei domini di simulazione e delle stazioni meteorologiche utilizzate è riportata nelle 2 figure seguenti.

**Figura 3-3. Domini di calcolo per WRF, CALMET e CALPUFF**



<sup>2</sup> CALPUFF è un modello di dispersione a puff, non stazionario, tridimensionale, si veda qui per maggiori informazioni: [www.src.com](http://www.src.com) (Earth Tech).

**Figura 3-4. Localizzazione della centralina impiegata per la validazione del modello CALMET (Mesagne Moccari, in rosso) rispetto alla stazione utilizzata nella fase di calibrazione (Brindisi ARPA, in verde); in azzurro è evidenziata l'ubicazione dell'impianto Versalis**

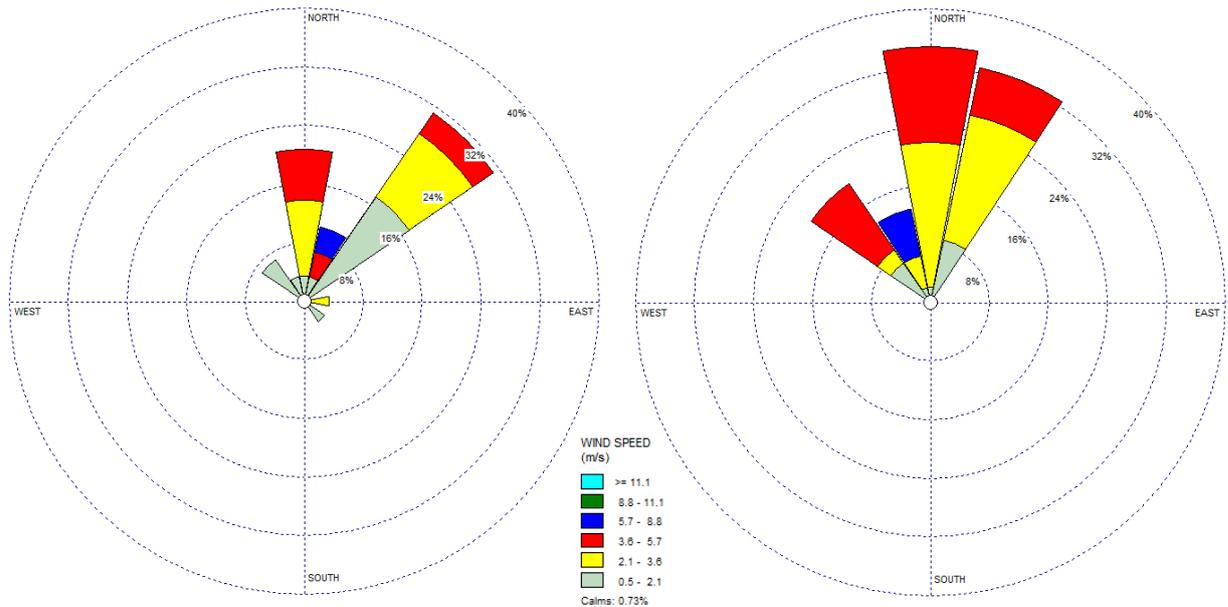


### 3.2.2 Validazione del campo meteorologico tridimensionale

Con lo scopo di effettuare una validazione dell'output del modello CALMET, in particolare delle rose dei venti, di seguito è proposto un confronto tra la rosa misurata nella stazione di Mesagne Moccari (vedi Figura 3-4) e quella stimata dal modello in corrispondenza della medesima posizione per il periodo compreso tra il 24 e il 25 novembre 2015.

In Figura 3-5 sono riportate le rose dei venti relative a Mesagne Moccari: a sinistra la rosa dei venti rilevata, e a destra la stima ottenuta con il modello CALMET.

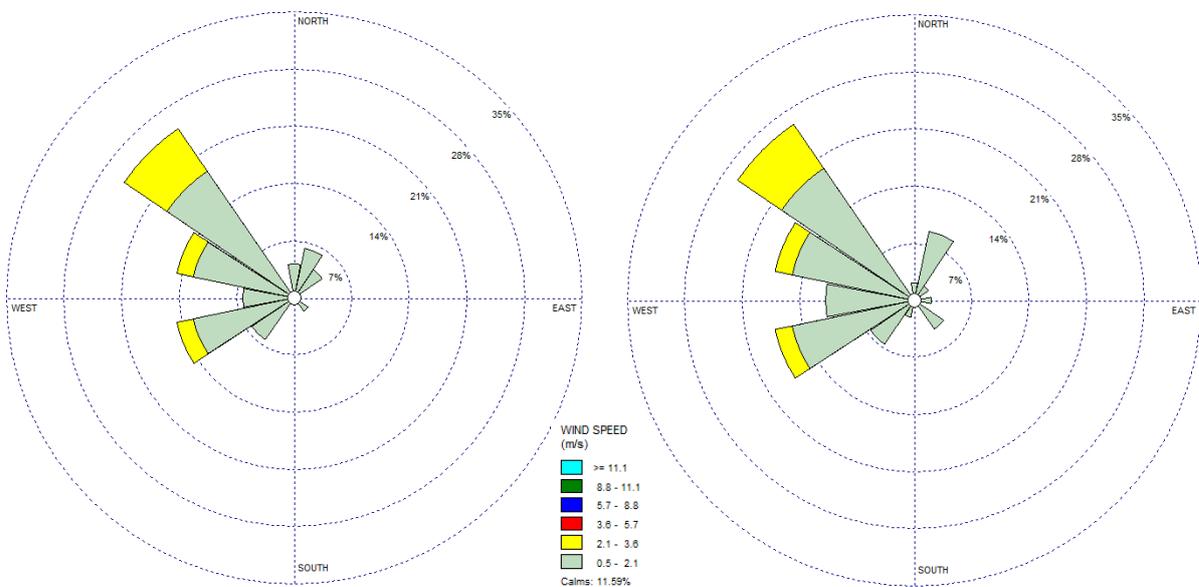
**Figura 3-5. Rosa dei venti presso la centralina di Mesagne Moccari relativa al 24 e 25 novembre 2015; a sinistra la rosa misurata, a destra la stima del modello**



Entrambe le rose individuano venti provenienti da direzioni comprese tra Nord e Nord-Est e in termini di velocità del vento risultano omogenee tra loro.

Per completezza, si riportano di seguito i confronti tra le rose dei venti rilevata e stimata dal modello anche per la stazione di Brindisi ARPA utilizzata per la calibrazione del modello CALMET. Come si può osservare dalla figura, le rose dei venti stimate dal modello individuano la stessa direzione principale di provenienza del vento e velocità rispetto a quelle rilevate nella centralina.

**Figura 3-6. Rosa dei venti presso la centralina Brindisi ARPA relativa al 24 e 25 novembre 2015; a sinistra la rosa misurata, a destra la stima del modello**



Nel complesso il campo dei venti tridimensionale ricostruito mediante CALMET risulta essere in linea con quanto rilevato nelle stazioni meteorologiche.

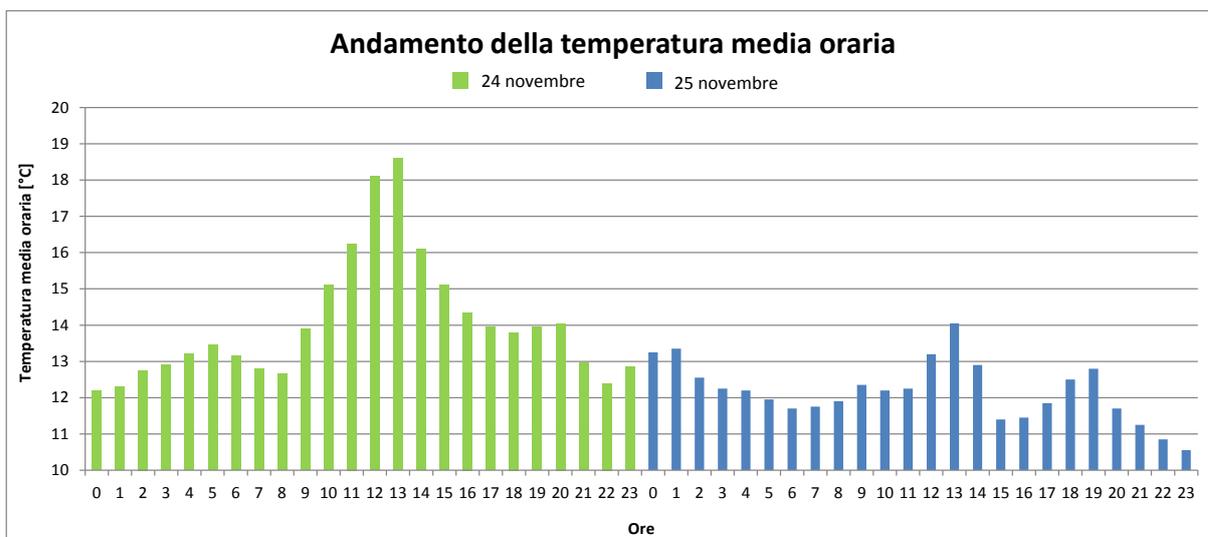
### 3.2.3 Condizioni meteorologiche del 24 – 25 novembre

Sono stati analizzati i dati meteorologici disponibili, relativi al periodo di simulazione compreso tra il 24 e 25 novembre 2015 per la stazione meteorologica più prossima all'impianto: Brindisi – ARPA che presenta valori di completezza pari al 100% per tutte le variabili meteorologiche di interesse.

- Temperatura.
- Radiazione globale.
- Precipitazione.
- Velocità del vento.
- Direzione del vento.

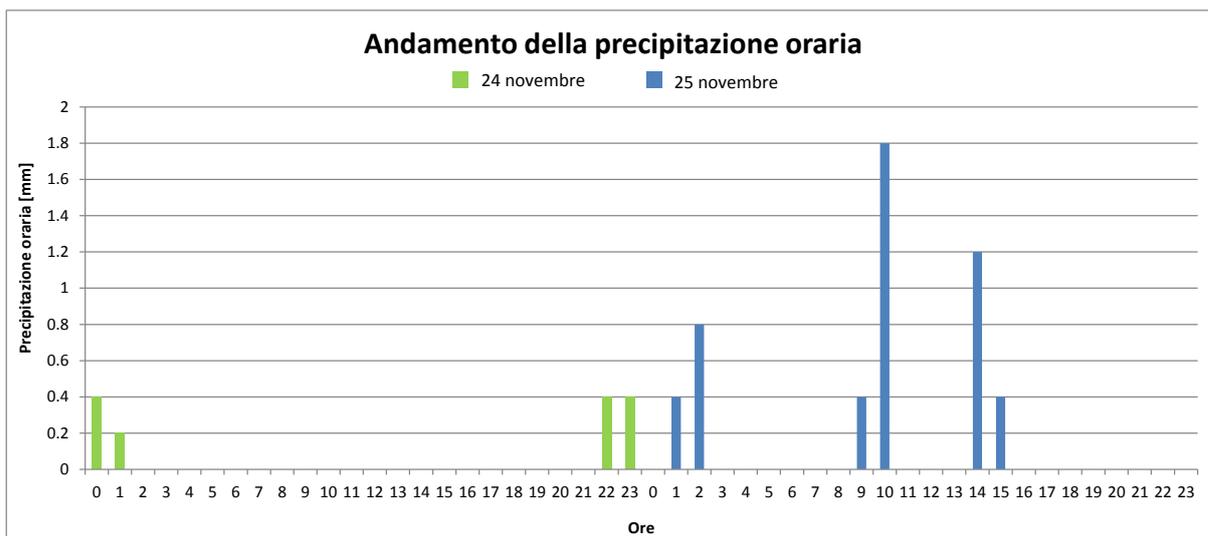
L'analisi dei dati di temperatura della stazione Brindisi ARPA permette di osservare che, come è mostrato in Figura 3-7, la temperatura si mantiene approssimativamente nell'intervallo 10-19°C, con una media di 13°C, in linea con le condizioni medie stagionali. Si osserva inoltre una differenza di temperatura tra le due giornate analizzate, con una diminuzione il 25 novembre che raggiunge i 4,9°C alle ore 13 rispetto al giorno precedente.

**Figura 3-7. Temperatura registrata il 24 e 25 novembre 2015 alla stazione di Brindisi della rete ARPA Puglia**



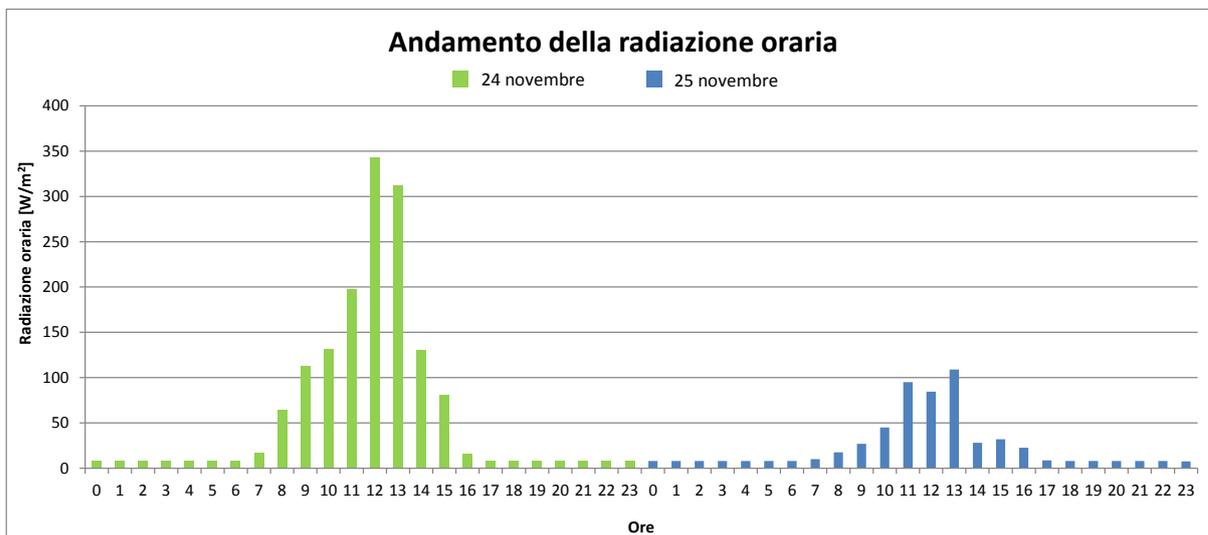
Per quanto concerne la precipitazione, i dati relativi alla stazione Brindisi ARPA mostrano un andamento di pioggia discontinuo nel periodo considerato alternato a diverse ore di assenza di precipitazione (Figura 3-8). La precipitazione cumulata il 24 e il 25 novembre risulta rispettivamente pari a 1,4 e 5 mm. Il picco di precipitazione oraria pari a 1,8 mm si registra in corrispondenza delle ore 10 del 25 novembre.

**Figura 3-8. Precipitazione registrata il 24 e 25 novembre 2015 alla stazione di Brindisi della rete ARPA Puglia**



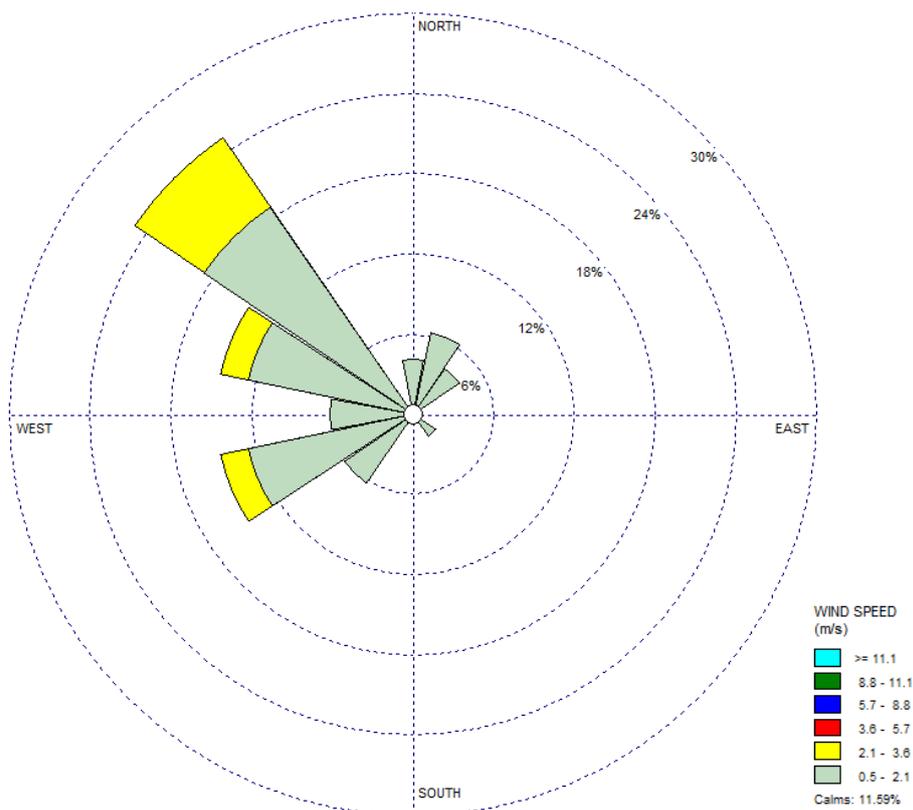
In termini di radiazione solare globale nella stazione Brindisi ARPA, in Figura 3-9, si può osservare un andamento a campana con picco nelle ore centrali delle due giornate, nelle quali si raggiungono circa 350 W/m<sup>2</sup> il 24 novembre e 110 W/m<sup>2</sup> il giorno successivo.

**Figura 3-9. Andamento della radiazione registrata il 24 e 25 novembre 2015 alla stazione di Brindisi della rete ARPA Puglia**



Per quanto riguarda il campo anemologico, come si può osservare dalla figura successiva, nelle 48 ore analizzate, la direzione di provenienza del vento è principalmente Nord-Ovest e, secondariamente, Ovest-Sud-Ovest e Ovest-Nord-Ovest.

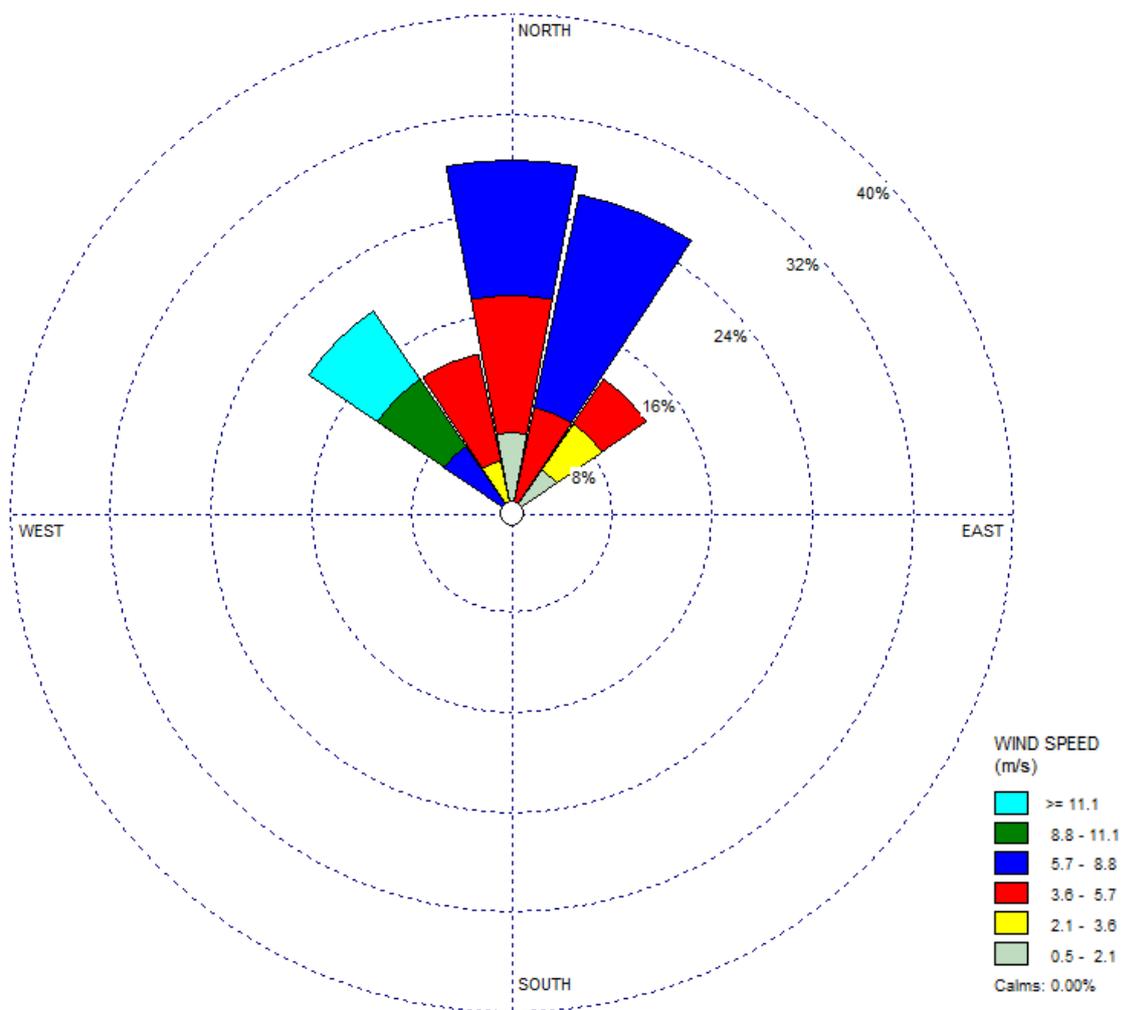
Figura 3-10. Rosa dei venti rilevata nella stazione Brindisi – ARPA relative al 24 e 25 novembre 2015



### 3.2.4 Rose dei venti presso l'impianto durante l'attivazione della torcia

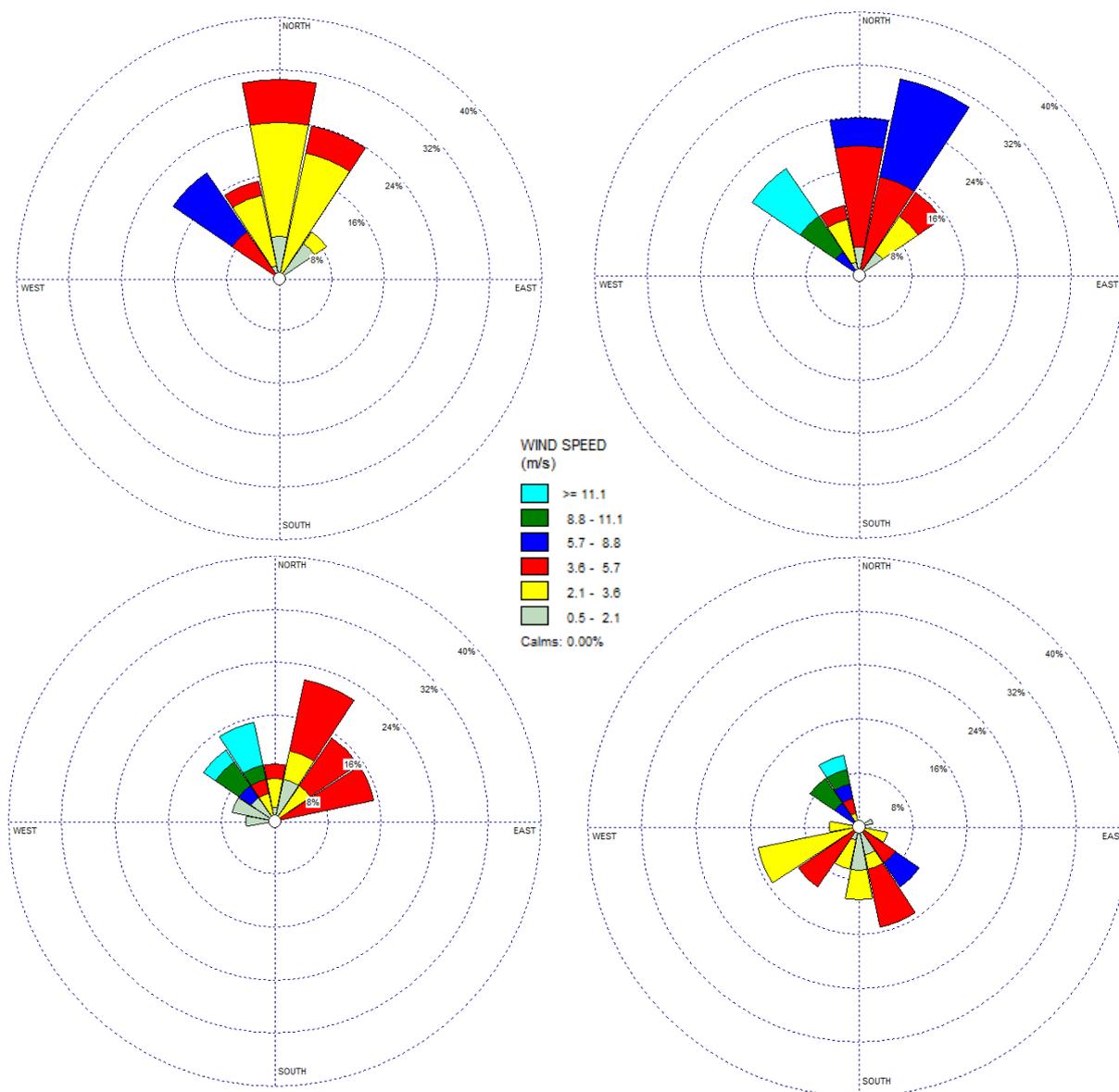
In Figura 3-11 è riportata la rosa stimata dal modello CALMET in corrispondenza dell'impianto Versalis S.p.A. di Brindisi relativa al 24 e 25 novembre 2015, alla quota di 100 m, che mostra una prevalenza globale dei venti provenienti da Nord e Nord-Nord-Est durante l'attivazione della torcia.

**Figura 3-11. Rosa dei venti stimata in corrispondenza dell'impianto Versalis S.p.A. di Brindisi alla quota 100 metri nel periodo di funzionamento della torcia**



Di seguito si riportano le rose dei venti stimate dal modello rispettivamente alle quote di 10 m, 250 m e 500 m, dove le direzioni principali del vento sono Nord e Nord-Nord-Est e, per la quota di 1000 m, Sud-Sud-Est e Ovest-Sud-Ovest.

**Figura 3-12.** Rosa dei venti stimata in corrispondenza dell'impianto Versalis S.p.A. di Brindisi alla quota 10 m (in alto a sinistra), 250 m (in alto a destra), 500 m (in basso a sinistra) e 1000 m (in basso a destra) nel periodo di funzionamento della torcia



Le precedenti rose dei venti mostrano l'andamento classico di rotazione in senso orario al crescere della quota a causa dell'attenuarsi dell'attrito terrestre; le masse d'aria ruotano, a causa della forza di Coriolis, in senso orario nell'emisfero boreale ed in senso antiorario in quello australe.

## 3.3 Dispersione degli inquinanti in atmosfera

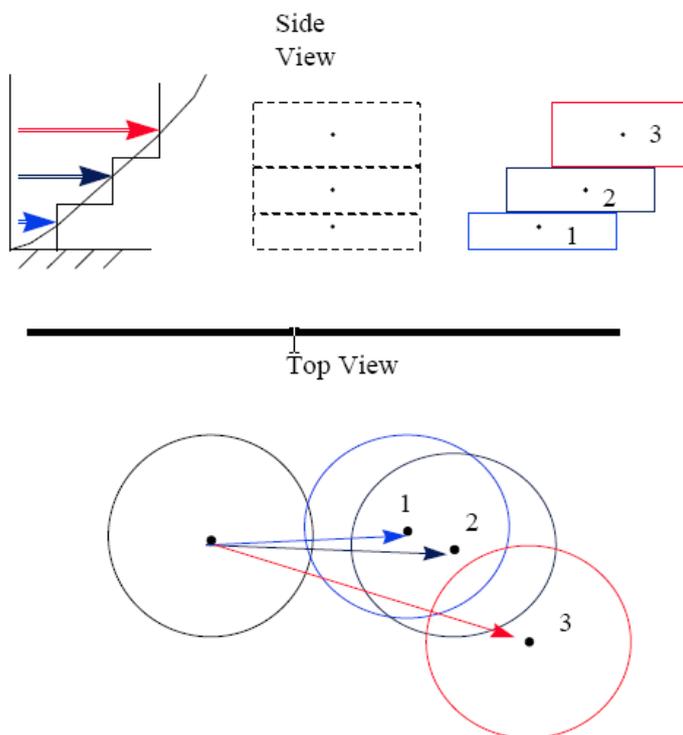
La simulazione di dispersione degli inquinanti in atmosfera è stata effettuata mediante il modello CALPUFF. Di seguito sono presentati il modello di simulazione, le caratteristiche emissive della torcia, il dominio di simulazione e i risultati ottenuti.

### 3.3.1 Il modello CALPUFF

CALPUFF è un modello lagrangiano, non stazionario a puff gaussiano, multistrato e multi-inquinante. È consigliato dall'U.S. EPA (Environmental Protection Agency) per la stima dell'impatto di sorgenti emissive sia nel caso del trasporto a medio e a lungo raggio, sia per applicazioni di ricadute nelle immediate vicinanze delle sorgenti con condizioni meteorologiche complesse (Figura 3-13).

Figura 3-13. Schema di funzionamento del modello CALPUFF

### CALPUFF PUFF-SPLITTING



Le caratteristiche di maggior interesse del modello sono le seguenti.

- La trattazione modellistica delle condizioni di calma di vento.
- La capacità di simulare condizioni di flussi non omogenei (orografia complessa, inversione termica, fumigazione, brezza,...).
- La possibilità di utilizzare un campo tridimensionale di vento e temperatura ed un campo bidimensionale di parametri di turbolenza (altezza dello strato di rimescolamento, caratteristiche di stabilità atmosferica ...).
- L'utilizzo di coefficienti di dispersione dalle curve di Pasquill e McElroy o calcolati applicando la teoria della similarità.
- Il calcolo dell'effetto scia (down wash) generato dagli edifici prossimi alle sorgenti.

La trattazione matematica del modello è piuttosto complessa e si rinvia al manuale tecnico di CALPUFF per ulteriori approfondimenti. La tipologia di emissione utilizzate nel presente studio è **puntuale**, ovvero l'emissione avviene da punti georeferenziati aventi caratteristiche fisiche e geometriche definite.

### 3.3.2 Input emissivo (torcia RV-101C)

Nella figura seguente è localizzata la torcia RV-101C all'interno dell'impianto Versalis di Brindisi.

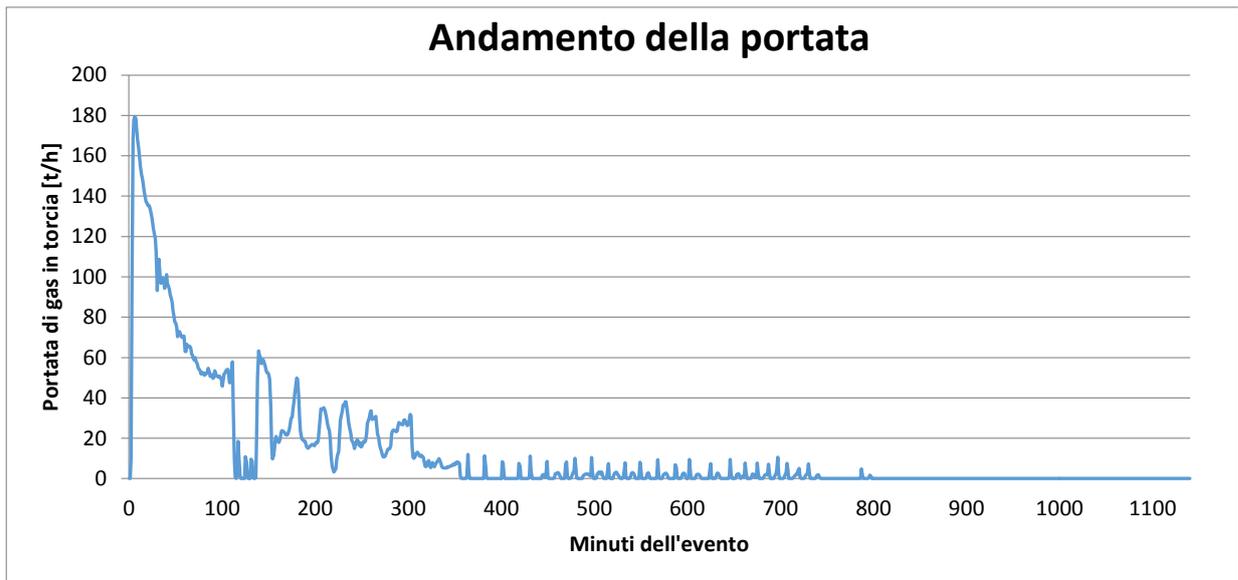
Figura 3-14. Localizzazione delle torce dell'impianto Versalis



Le caratteristiche geometriche della torcia RV-101C sono indicate nella seguente tabella, mentre nella Figura 3-15 è rappresentata la portata dei gas inviati in torcia.

Tabella 6: Geometria della torcia RV-101C

Torcia	Coordinate Gauss-Boaga (Fuso EST)		Geometrie				
	X [m]	Y [m]	Camino	Altezza [m]	Sezione [m <sup>2</sup> ]	Diametro [m]	Tipologia
RV101C	4'503'294	2'775'326	E53	95	1,77	1,50	smokeless

**Figura 3-15. Andamento della portata oraria dell'evento di torcia del 24 novembre 2015**


L'evento ha avuto inizio alle 15 circa del 24 novembre 2015 ed è durato circa 6 ore ma al fine di valutare le ricadute al suolo anche oltre il periodo di attivazione della torcia, è stata effettuata cautelativamente una simulazione per 48 ore. Inoltre per rendere la simulazione modellistica il più aderente possibile alle emissioni reali, la stessa è stata effettuata con un time step di un minuto.

Nel presente studio sono stati considerati due scenari emissivi:

- Scenario "Ispra" che recepisce le indicazioni fornite dall'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA), con Nota nr. 48112 del 28 ottobre 2015;
- Scenario da "modello cinetico" ottenuto mediante un modello di calcolo CFD sviluppato nello studio: "Analisi CFD: Calcolo dell'efficienza di combustione del terminale di torcia RV-101C". riportato in allegato II.

### 3.3.2.1 Scenario "Ispra"

Sono stati considerati i fattori emissivi suggeriti dalla Nota ISPRA nr. 48112 del 28 ottobre 2015. Tali fattori sono riepilogati nella tabella seguente.

Tabella 7: Fattori emissivi per inquinante dello Scenario "Ispra"

Inquinante	Valore	U.d.M.	Fonte
CO	0,31	lb/10 <sup>6</sup> Btu	
NOx	0,068	lb/10 <sup>6</sup> Btu	U.S.EPA: AP-42 Chapter 13: Miscellaneous Sources Section 13.5 Industrial Flares (April 2015)
PTS*	274	µg/l	
UHC**	4,902	t	Come richiesto dalla Nota ISPRA (2% delle emissioni totali)

\* cautelativamente è stato considerato il valore per le torce "heavily smoking flares"

\*\* il valore è il 2% della quantità totale di gas inviati alla torcia.

Nella nota ISPRA viene infatti richiesto che "sia effettuata una valutazione di impatto per ogni singolo componente della miscela stimando una emissione massica di incombusti pari ad almeno il 2% del quantitativo inviato in torcia". Considerato che il quantitativo totale di gas inviato a torcia è pari a 244,93 t, le emissioni di incombusti risulterebbero quindi pari a 4,902 t. Utilizzando l'efficienza della torcia dichiarata dal costruttore (99%) si otterrebbe un'emissione di incombusti pari a 2,45 t.

Per poter caratterizzare la presenza di ciascun inquinante nella miscela è stata utilizzata la composizione rilevata alle ore 15.20 del 24 novembre 2015. Si riportano nella tabella seguente i valori ottenuti aggregando per i principali componenti mentre in Allegato I è presente il Rapporto di prova completo.

Tabella 8: Composizione principali componenti inviati in torcia

Inquinante	Composizione [% vol]	Emissioni [g/s]
Idrogeno	8,1%	0,6
Azoto	0,0%	0,01
CO	0,0%	0,1
Benzene	0,1%	0,7
Etilene	12,8%	24,2
Pentano	1,0%	5,1
Esano	0,0%	0,1
Butadiene	2,6%	9,5
Butene	4,5%	16,8
Butano	0,5%	2,0
Acetilene	0,1%	0,1
Propilene	44,8%	126,9
Propano	4,6%	13,7
Etano	7,1%	14,4
Metano	13,5%	14,6
Allene	0,3%	0,8

Il documento AP-42 dell'EPA prevede per il materiale particolato, dei fattori emissivi i cui valori dipendono dalla modalità di combustione della torcia.

Tabella 9: Fattori emissivi EPA per le polveri

Tipologia di torcia	Fattore di emissione polveri [ $\mu\text{g/l}$ ]
non smoking	0
lightly smoking	40
average smoking	177
heavily smoking	274

Cautelativamente, in questo studio, è stato utilizzato il valore più elevato relativo le torce "heavily smoking flares". Gli altri parametri utilizzati sono indicati nella seguente tabella.

Tabella 10: Parametri emissivi

Parametro	Valore	U.d.M.
Densità	1,25	$\text{kg/m}^3$
Potere calorifico	35,2	MJ/kg
Flusso di calore	107'292,5	kcal/s
Densità	1,25	$\text{kg/m}^3$

Le emissioni di torcia sono state simulate secondo le metodiche suggerite dall'EPA, che prevedono una velocità di uscita dei fumi pari a 20 m/s ed una temperatura di 1'273 K. Le emissioni sono poi state modulate per ciascun minuto sulla base della portata di gas effettivamente inviata in torcia.

### 3.3.2.2 Scenario da “modello cinetico”

I quantitativi emessi dalla torcia sono stati stimati attraverso le simulazioni del modello di fluidodinamica computazionale (Computational Fluid Dynamics, CFD).

Tabella 11: Emissioni per lo scenario da “modello cinetico”

Inquinante	Emissioni [g/s]
Idrogeno	0,18
CO	6,57
Benzene	0,55
Etilene	17,90
Pentano	3,74
Esano	0,04
Butadiene	7,02
Butene	12,46
Butano	1,48
Acetilene	0,09
Propilene	93,94
Propano	10,12
Etano	10,65
Metano	10,79
Allene	0,60

Analogamente allo scenario precedente, le emissioni di torcia sono state modulate sulla base della portata di gas effettivamente inviata in torcia.

### 3.3.3 Dominio di simulazione e griglia dei recettori

Il dominio di simulazione di CALPUFF è un quadrato di lato 50 km con risoluzione 250 m, posizionato in modo tale da includere tutto il territorio interessato dalle ricadute di inquinanti dovute agli eventi di torcia. I valori delle concentrazioni degli inquinanti al suolo sono stati stimati in corrispondenza di una serie di punti recettori (40'000) appartenenti ad una griglia di calcolo regolare caratterizzata da una maglia con passo di 250 m.

### 3.3.4 Stima impatto sulla qualità dell'aria

Tramite il modello CALPUFF sono state calcolate le concentrazioni orarie degli inquinanti sul dominio preso in esame. I massimi valori al suolo ottenuti sono indicati nelle tabelle seguenti.

Tabella 12: Ricadute massime orarie scenario “Ispra” (U.S.EPA: AP-42 e nota ISPRA)

Inquinante	Ricadute massime [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]
CO	5,0
NOx	1,1
PTS	0,23
UHC	21,3

Tabella 13: Ricadute massime orarie incombusti nei 2 scenari analizzati

Inquinante	Ricadute massime [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	
	Scenario Ispra (rapporto di prova 575/15)	Scenario da modello cinetico (Computational Fluid Dynamics)
CO	0,007	0,6
Benzene	0,07	0,051
Etilene	2,2	1,7
Pentano	0,47	0,35
Esano	0,0054	0,0037
Butadiene	0,88	0,65
Butene	1,6	1,2
Butano	0,19	0,14
Acetilene	0,011	0,0084
Propilene	11,8	8,7
Propano	1,3	0,94
Etano	1,3	0,99
Metano	1,4	1,00
Allene	0,075	0,06

In entrambi gli scenari si ottengono delle ricadute in termini di monossido di carbonio ampiamente entro i limiti di legge: il valore massimo per la media trascinata sulle 8 ore è pari  $10 \text{ mg}/\text{m}^3$ , e le concentrazioni stimate dal modello sono 3 ordini di grandezza inferiori, rispettivamente pari a  $5,0 \text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$  nello scenario Ispra e  $0,6 \text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$  nello scenario da "modello cinetico".

Nello scenario Ispra sono stati considerati anche gli  $\text{NO}_x$  e le polveri, poiché il documento U.S.EPA: AP-42 Chapter 13: Miscellaneous Sources Section 13.5 Industrial Flares (April 2015) fornisce indicazioni anche in merito alle emissioni di questi inquinanti oltre che per gli idrocarburi incombusti; le ricadute risultano ampiamente entro i limiti di legge.

- Anche nell'ipotesi cautelativa di considerare le polveri totali sospese (PTS) quali  $\text{PM}_{10}$  e di confrontare la concentrazione massima oraria stimata dal modello (pari a  $0,23 \text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) con il valore limite giornaliero (pari a  $35 \text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) i risultati ottenuti risultano comunque 2 ordini di grandezza inferiori.
- In relazione agli ossidi di azoto, anche qui ipotizzando cautelativamente che tutti gli ossidi risultino  $\text{NO}_2$ , il limite orario previsto dal D.Lgs 155/2010 è ampiamente rispettato: il valore ottenuto è pari a  $1,1 \text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$  rispetto ad un valore limite di  $200 \text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Nello scenario "Ispra" la ricaduta massima oraria di idrocarburi incombusti ottenuta con Calpuff risulta pari a  $21,3 \text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$  e la massima media giornaliera pari a  $1,86 \text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ : tali concentrazioni non sono normate in termini di qualità dell'aria ma anche ipotizzando che si tratti solo di benzene, ipotesi estremamente cautelativa visto che il peso normalmente è di qualche punto percentuale, il limite imposto dal D.Lgs 155/2010 è ampiamente rispettato (media annua pari a  $5 \text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) anche facendo riferimento solo alla massima media giornaliera. Si evidenzia inoltre che la richiesta di ipotizzare che, in tale scenario, gli incombusti emessi siano pari al 2% della quantità totale di gas inviati in torcia è ulteriormente cautelativa in quanto al di sopra del valore percentuale che si otterrebbe considerando l'efficienza di combustione della torcia garantita dal costruttore (pari al 99%), valore confermato anche dalle simulazioni effettuate mediante il modello CFD.

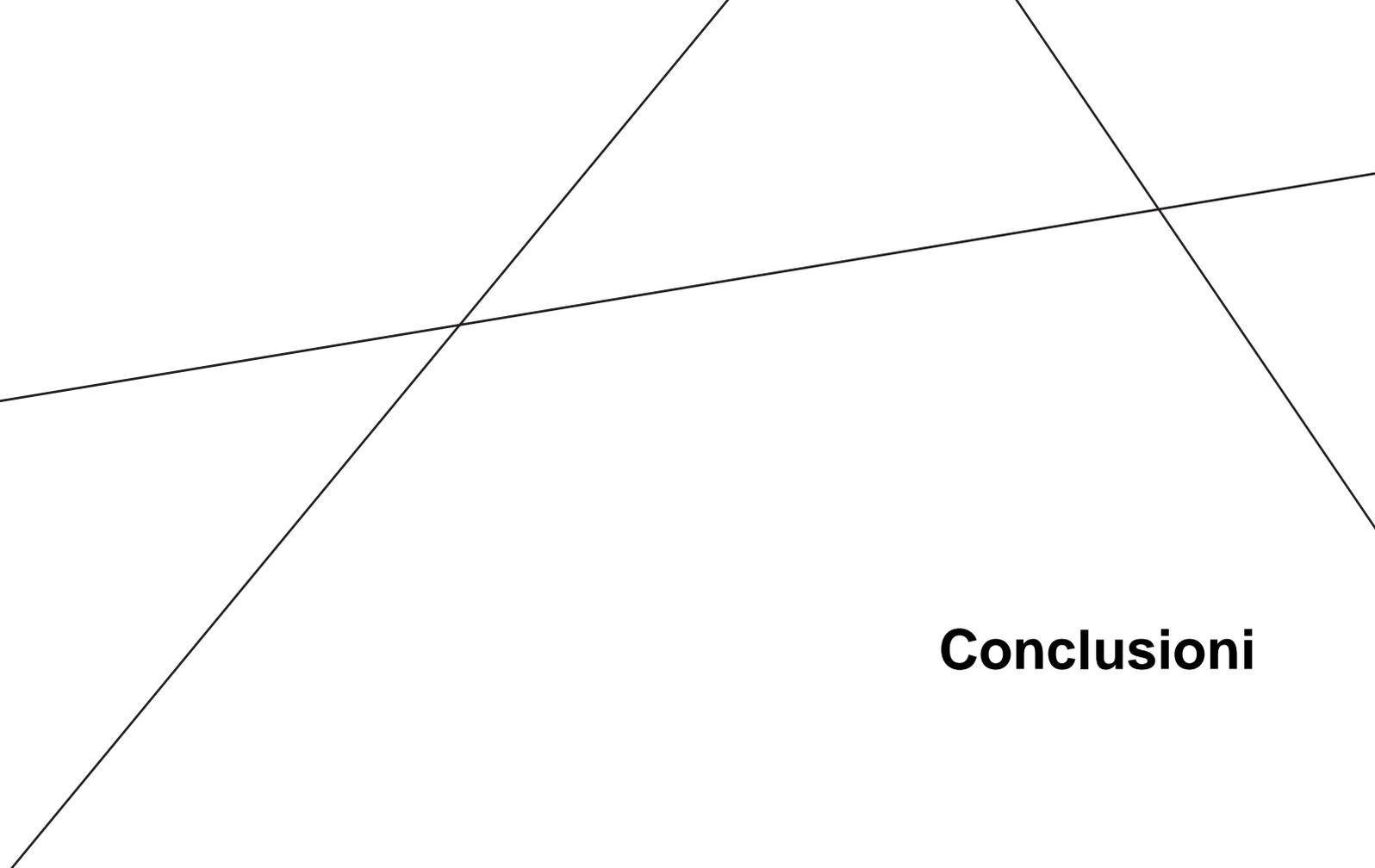
Nello scenario da "modello cinetico", tutti gli idrocarburi simulati (Benzene, Etilene, Pentano, Esano, Butadiene, Butene, Butano, Acetilene, Propilene, Propano, Etano, Metano, Allene) hanno concentrazioni inferiori rispetto allo scenario "Ispra"; e anche sommando le ricadute massime (ottenute quindi in punti differenti del dominio di calcolo) si ottiene una concentrazione al suolo molto contenuta pari a  $15,8 \text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Il Benzene, l'unico inquinante sottoposto ad un limite per la qualità dell'aria, presenta un valore massimo orario pari a  $0,05 \text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$  molto inferiore al limite di legge, pari a  $5 \text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ , imposto sulla media annua.

Al presente studio sono allegate 31 tavole che rappresentano le ricadute massime orarie degli inquinanti sopracitati.

Tabella 14: Elenco delle tavole allegate

N° Tavola	Inquinante	Fattori emissivi	Scenario
1	CO		
2	NO <sub>x</sub>	U.S. EPA AP42 e nota ISPRA nr. 48112 del 28/10/2015	Ispra
3	PTS		
4	UHC		
5	Benzene		
6	Etilene		
7	Pentano		
8	Esano		
9	Butadiene		
10	Butene		
11	Butano		
12	Acetilene		
13	Propilene		
14	Propano		
15	Etano		
16	Metano		
17	Allene		
18	CO		
19	Benzene		
20	Etilene		
21	Pentano		
22	Esano		
23	Butadiene	Emissioni stimate dallo studio: "Analisi CFD: Calcolo dell'efficienza di combustione del terminale di torcia RV-101C"	Da modello cinetico
24	Butene		
25	Butano		
26	Acetilene		
27	Propilene		
28	Propano		
29	Etano		
30	Metano		
31	Allene		

In tutte le tavole si evince come la distribuzione spaziale delle ricadute dell'evento di torcia del 24 novembre 2015 sia nell'area posta a Sud dell'impianto, con una leggera curvatura verso Ovest, in linea con le rose dei venti ricostruite mediante CALMET a 100 m di altezza al di sopra dell'impianto Versalis. Le ricadute massime si verificano a circa 20 km dal punto emissivo e con concentrazioni molto basse. Questo è dovuto all'elevata temperatura di combustione, all'altezza della torcia e alle condizioni meteorologiche (velocità e direzione del vento, temperatura, turbolenza atmosferica, ecc.).

Abstract geometric lines in the top left corner, consisting of three thin black lines that intersect to form a triangular shape.

**Conclusioni**

**04**

---

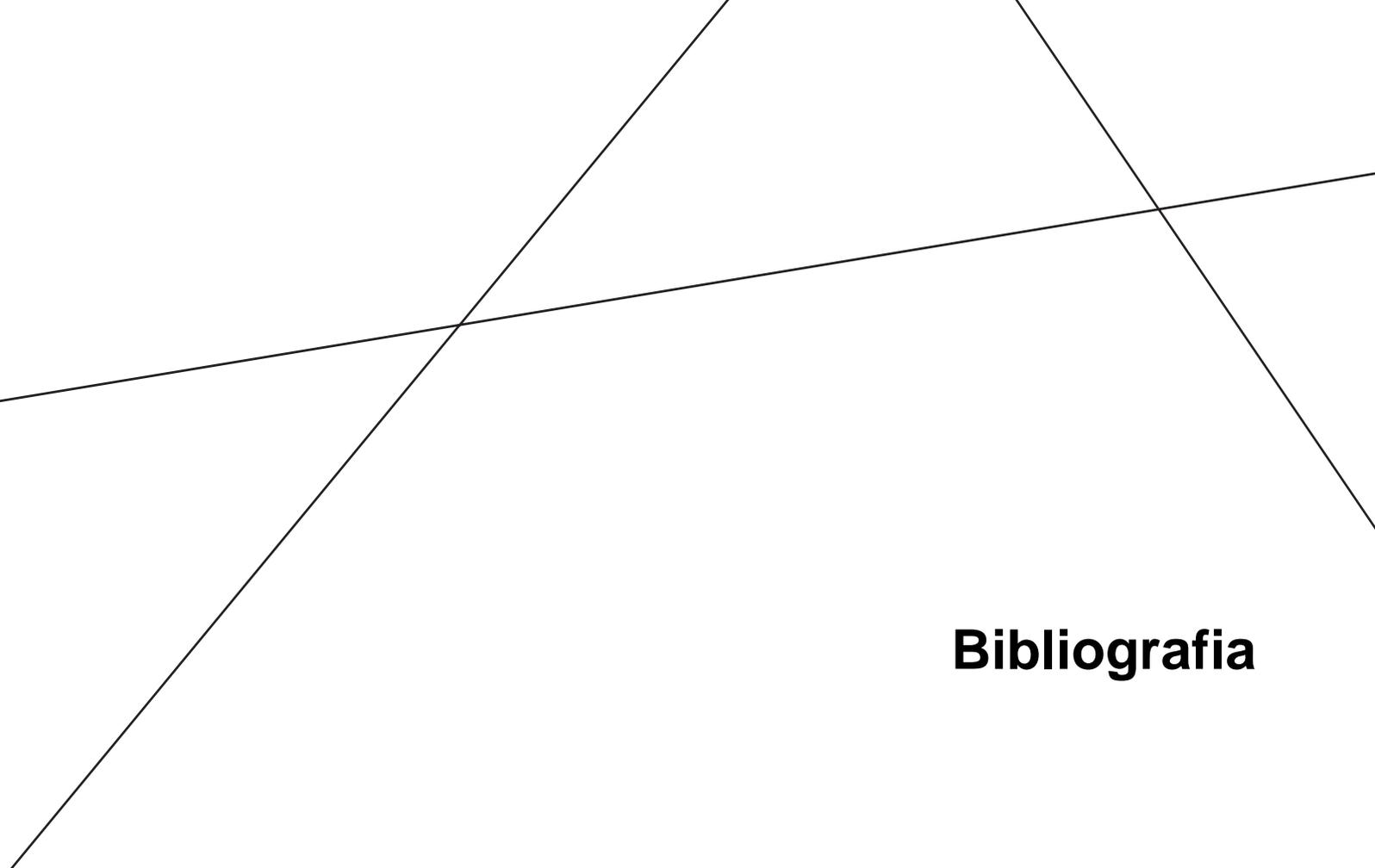
## 4 CONCLUSIONI

---

In questo studio a partire dai dati di input geometrici ed emissivi dell'evento di torcia del 24 novembre 2015 avvenuto nell'impianto Versalis di Brindisi, dalle condizioni meteorologiche monitorate dalle centraline ARPA e dal Servizio Agrometeorologico della Regione Puglia è stata simulata, tramite i modelli meteorologici WRF e CALMET e quindi con il modello di dispersione CALPUFF, la concentrazione degli inquinanti su un dominio quadrato avente lato di 50 km al fine di valutare la quantità e la distribuzione spaziale delle ricadute degli inquinanti; sono stati considerati due scenari di simulazione.

- Scenario "Ispra" che recepisce le indicazioni fornite dall'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA) con nota nr. 48112 del 28 ottobre 2015.
- Scenario da "modello cinetico" in cui gli input emissivi sono stati stimanti da un modello CFD (Computational Fluid Dynamics) sulla base dei valori quantitativi delle portate in massa di combustibile in ingresso alla torcia.

Le analisi effettuate evidenziano come, per entrambi gli scenari, le ricadute al suolo presentino valori massimi molto contenuti e sensibilmente inferiori ai limiti di legge.



## **Bibliografia**

**05**

---

## 5 BIBLIOGRAFIA

---

- [1] *Atmospheric chemistry and physics of air pollution*. Seinfeld John H.. Wiley (New York). 1986.
- [2] *Air pollution modeling*. Zanetti. Computational mechanics publications. Van Nostrand Reinhold. New York. USA. 1990.
- [3] A User's Guide for the CALMET Meteorological Model, SRC Publication, Joseph S. Scire. Françoise R. Robe. Mark E. Fernau, 2000.
- [4] *Applied model for the growth of the daytime mixed layer*. Batchvarova and Gryning. Bound. Layer Meteor. 1991.
- [5] *Velocity profiles and resistance laws for the planetary boundary layer in neutral and stable stratification*. Zilitinkevich. Izvestija AN SSSR. FAO. 25. No. 11. 1131-1143. 1989.
- [6] *Analysis of various schemes for the estimation of atmospheric stability classification*. Mohan Siddiqui. Atmos. Environ.32 3775-3781. 1998.
- [7] D.Lgs. 155/2010 Attuazione della direttiva 2008/50/CE relativa alla qualità dell'aria ambiente e per un'aria più pulita in Europa.
- [8] US-EPA <http://www.epa.gov/ttn/scram/aqmindex.htm> - modelli per la qualità dell'aria.
- [9] Calpuff UserGuide - S. Shire. R.Robe. E. Fernau. J.Yamartino – 2000
- [10] AP42, fifth edition - Compilation of Air Pollutant Emission Factors. USEPA – 1995
- [11] Air pollution control technology fact sheet – Flares. USEPA
- [12] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2013 – Part B, Chapter 2.B
- [13] Reference Document on Best Available Techniques in the Production of Polymers. European Commission – 2007
- [14] Air quality guidelines for Europe, 2<sup>nd</sup> edition, 2000, WHO
- [15] Mesoscale and Microscale Meteorology Division, A description of the Advanced Research WRF Version 3, NCAR - 2008
- [16] Mesoscale and Microscale Meteorology Division, Weather Research Forecasting ARW Version 3 Modeling System User's Guide, NCAR - 2014
- [17] SCREEN3 Model User's Guide, EPA
- [18] Comparative Study of Flare Dispersion Modeling Methodologies, Extended Abstract No 2012-A-298-AWMA, Whitney L Boger, Arun Kanchan
- [19] Technical Basis for Flare Parameters, Dom Ruggeri, September 10, 2004

# **Allegato I**

**Rapporto di prova flusso in ingresso in torcia**

		Rapporto di prova n° <b>575/15</b>	
Stabilimento di Brindisi Via E. Fermi, 4 LABORATORIO		REPARTO: <b>SAU</b>	DATA RICEV.: 24/11/2015
Denominazione Campione:		RICHIEDENTE: (nominativo)	ORE: 15.20
<b>RV 101C</b>			
Analisi ANALYSIS	Valore VALUE	Unità di misura MEASURE UNIT	Metodo METHOD
IDROGENO	8.10	% V	ASTM D2504
AZOTO	<0,01	% V	ASTM D2504
OSSIGENO	<0,01	% V	ASTM D2504
CO2	<0,01	% V	ASTM D2504
CO	0.04	% V	ASTM D2504
METANO	13.49	% V	ASTM D6159
ETANO	7.10	% V	ASTM D6159
ETILENE	12.79	% V	ASTM D6159
PROPANO	4.60	% V	ASTM D6159
CICLOPROPANO	0.02	% V	ASTM D6159
PROPILENE	44.73	% V	ASTM D6159
ISOBUTANO	0.16	% V	ASTM D6159
N-BUTANO	0.35	% V	ASTM D6159
METILCICLOPROPANO	<0,01	% V	ASTM D6160
ALLENE	0.30	% V	ASTM D6159
ACETILENE	0.07	% V	ASTM D6159
2 BUTENE TRANS	0.35	% V	ASTM D6159
1 BUTENE	1.82	% V	ASTM D6159
ISOBUTENE	2.04	% V	ASTM D6159
2 BUTENE CIS	0.24	% V	ASTM D6159
1,2 BUTADIENE	0.16	% V	ASTM D6159
METIL ACETILENE	0.34	% V	ASTM D6159
1,3 BUTADIENE	2.44	% V	ASTM D6159
VINIL ACETILENE	0.01	% V	ASTM D6159
ETIL ACETILENE	0.01	% V	ASTM D6159
2 BUTINO	<0,01	% V	ASTM D6159
CICLOPENTANO	0.01	% V	ASTM D6159
ISOPENTANO	0.15	% V	ASTM D6159
N PENTANO	0.01	% V	ASTM D6159
CYCLOPENTENE	0.01	% V	ASTM D6159
3METILIBUTENE	<0,01	% V	ASTM D6159
2 PENTENE TRANS	0.02	% V	ASTM D6159
2METIL2BUTENE	0.03	% V	ASTM D6159
1-PENTENE	0.05	% V	ASTM D6159
2 METIL.1-BUTENE	<0,01	% V	ASTM D6159
2 PENTENE CIS	<0,01	% V	ASTM D6159
1,4PENTADIENE	0.05	% V	ASTM D6159
1,3CICLOPENTADIENE	0.10	% V	ASTM D6159
ISOPRENE (C4013M2)	0.15	% V	ASTM D6159
1,3 PENTADIENE CIS	0.03	% V	ASTM D6159
1,3 PENTADIENE TRANS	0.05	% V	ASTM D6159
METILCICLOPENTANO	<0,01	% V	ASTM D6159
CYCLOESANO	0.01	% V	ASTM D6159
2 METILPENTANO	0.02	% V	ASTM D6159
3 METILPENTANO	<0,01	% V	ASTM D6159
N-ESANO	<0,01	% V	ASTM D6159
1-ESENE	<0,01	% V	ASTM D6160
ALTRI C6	<0,01	% V	ASTM D6159
N-EPTANO	<0,01	% V	ASTM D6159
ALTRI C7	<0,01	% V	ASTM D6159
BENZENE	0.14	% V	ASTM D6159
TOLUENE	<0,01	% V	ASTM D6159
ETILBENZENE	<0,01	% V	ASTM D5134
STIRENE	<0,01	% V	ASTM D5134
XILENI	<0,01	% V	ASTM D5134
NOTE - VARIAZIONI			
FIRMA RESPONSABILE 	DATA DI EMISSIONE 24/11/2015	ALLEGATI N° 0	PAGINA 1 di 1

DOC. 1025

# **Allegato II**

## **Analisi CFD**

# Tavole

## **ABOUT AECOM**

AECOM (NYSE: ACM) is built to deliver a better world. We design, build, finance and operate infrastructure assets for governments, businesses and organizations in more than 150 countries.

As a fully integrated firm, we connect knowledge and experience across our global network of experts to help clients solve their most complex challenges.

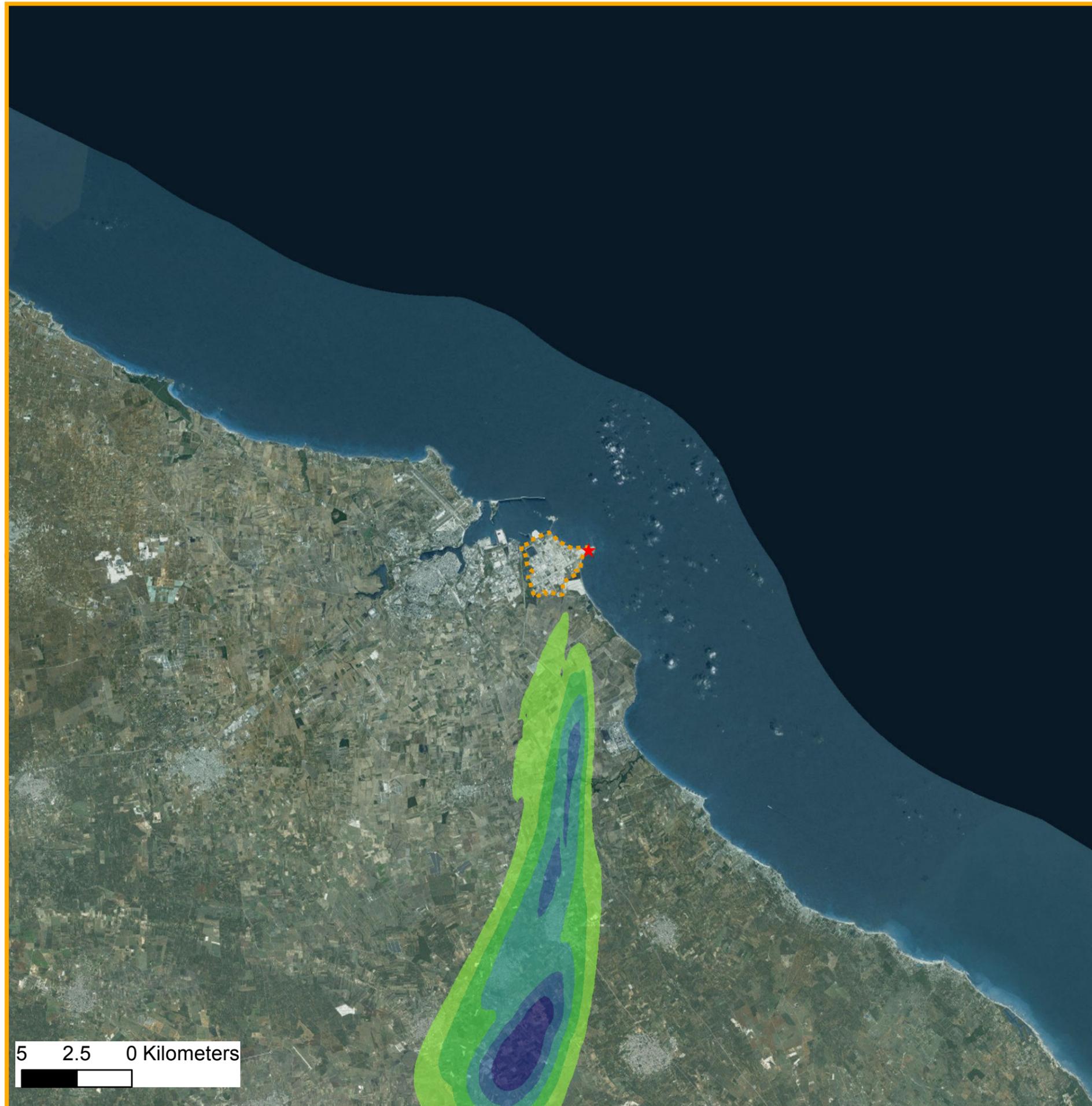
From high-performance buildings and infrastructure, to resilient communities and environments, to stable and secure nations, our work is transformative, differentiated and vital. A Fortune 500 firm, AECOM companies had revenue of approximately US\$19 billion during the 12 months ended June 30, 2015.

See how we deliver what others can only imagine at

[aecom.com](http://aecom.com) and [@AECOM](https://twitter.com/AECOM).

[www.aecom.com](http://www.aecom.com)

Follow us on Twitter: [@aecom](https://twitter.com/aecom)

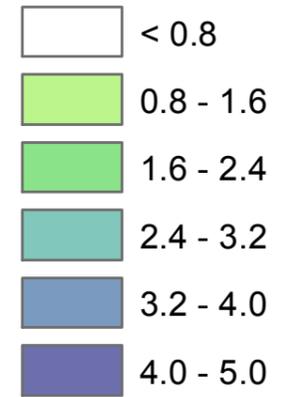


## Legenda

 Confine dell'impianto

 Torcia RV101C

### Ricadute ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )



ENI – Stabilimento Versalis di Brindisi

**AECOM**



ENI – Stabilimento Versalis di Brindisi

Stima degli impatti delle emissioni in atmosfera

Inquinante: **CO**

Valore limite: **10'000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$**   
Valore imposto sulla media trascinata di 8h

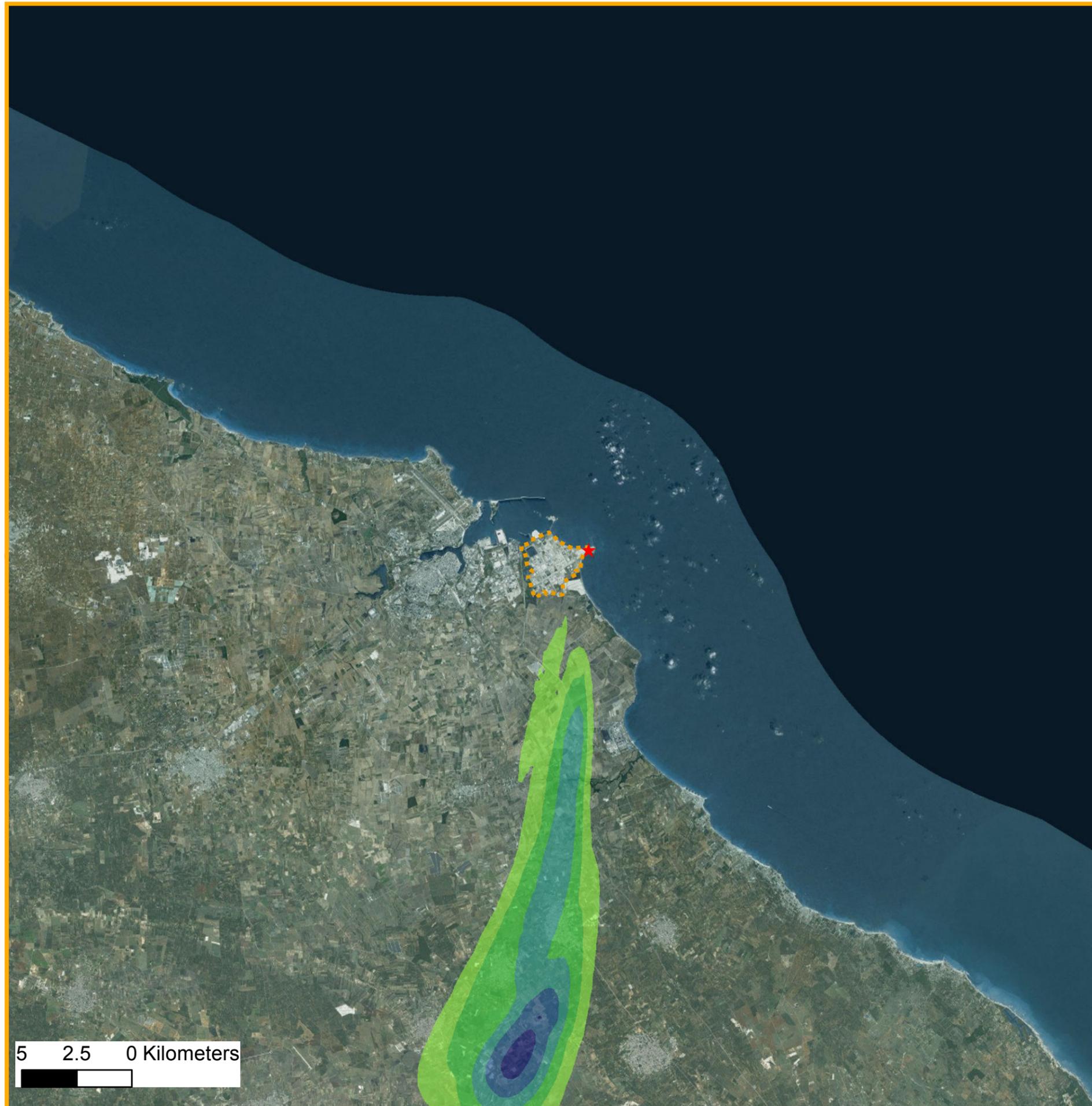
Periodo di mediazione:  
**24-25 nov. 2015**

Statistica:  
**massimo orario**

**Tavola\_01**

\_Giugno 2016



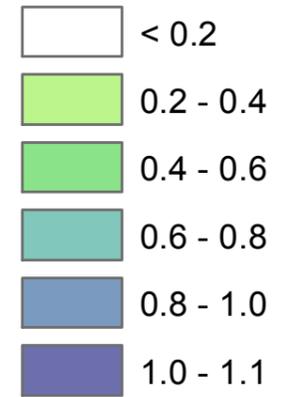


## Legenda

 Confine dell'impianto

 Torcia RV101C

### Ricadute ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )



ENI – Stabilimento Versalis di Brindisi

**AECOM**



versalis

ENI – Stabilimento Versalis di Brindisi

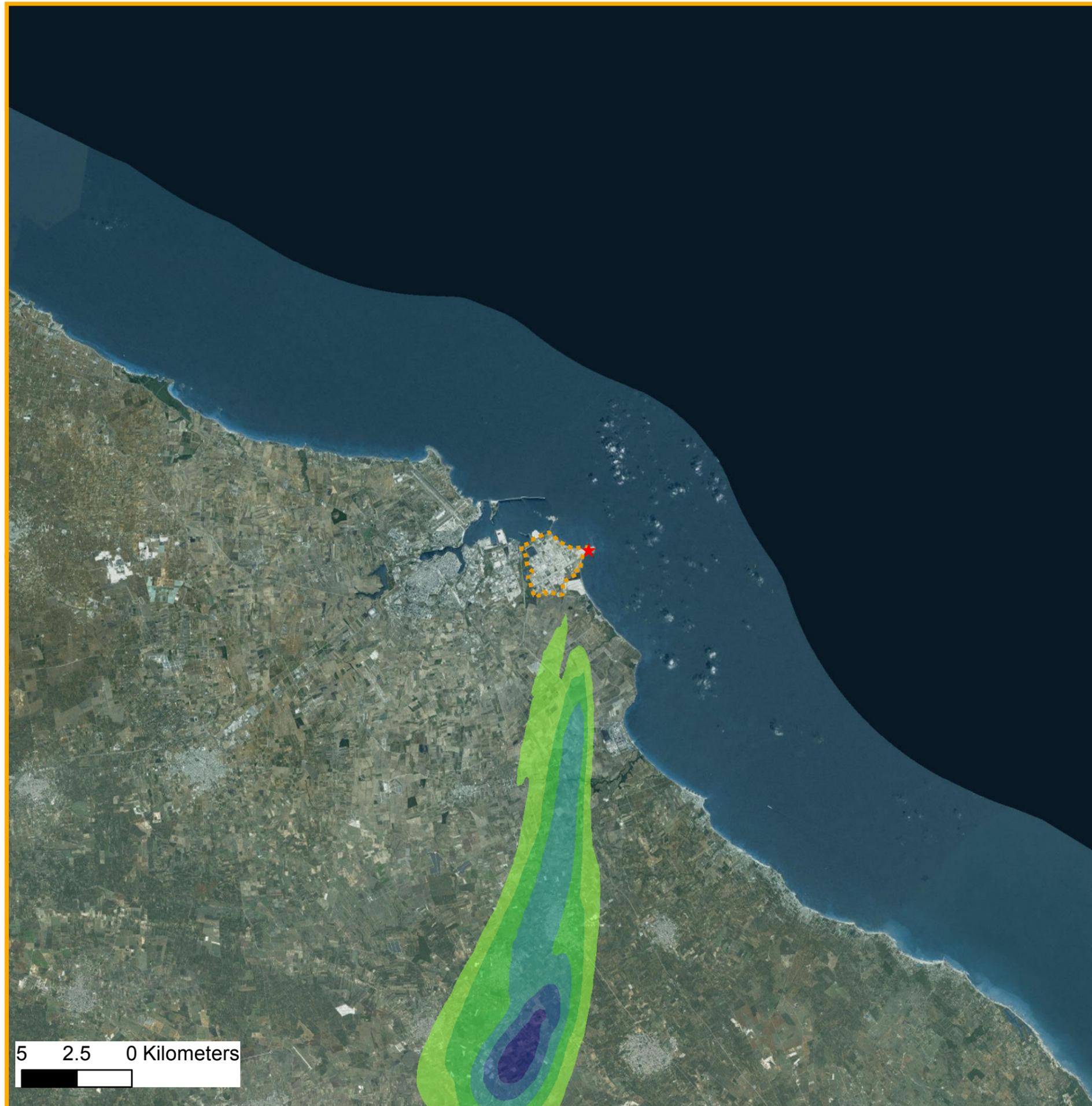
Stima degli impatti delle emissioni in atmosfera

Inquinante: <b>NO<sub>2</sub></b>	Valore limite: <b>200 <math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math></b>
Periodo di mediazione: <b>24-25 nov. 2015</b>	Statistica: <b>massimo orario</b>

**Tavola\_02**

\_Giugno 2016



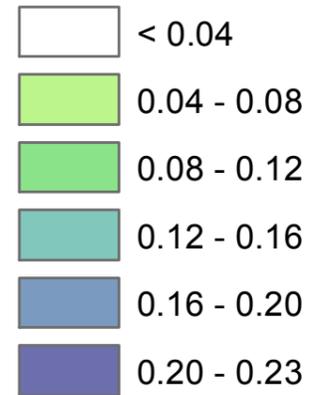


## Legenda

 Confine dell'impianto

 Torcia RV101C

### Ricadute ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )



ENI – Stabilimento Versalis di Brindisi

**AECOM**



ENI – Stabilimento Versalis di Brindisi

Stima degli impatti delle emissioni in atmosfera

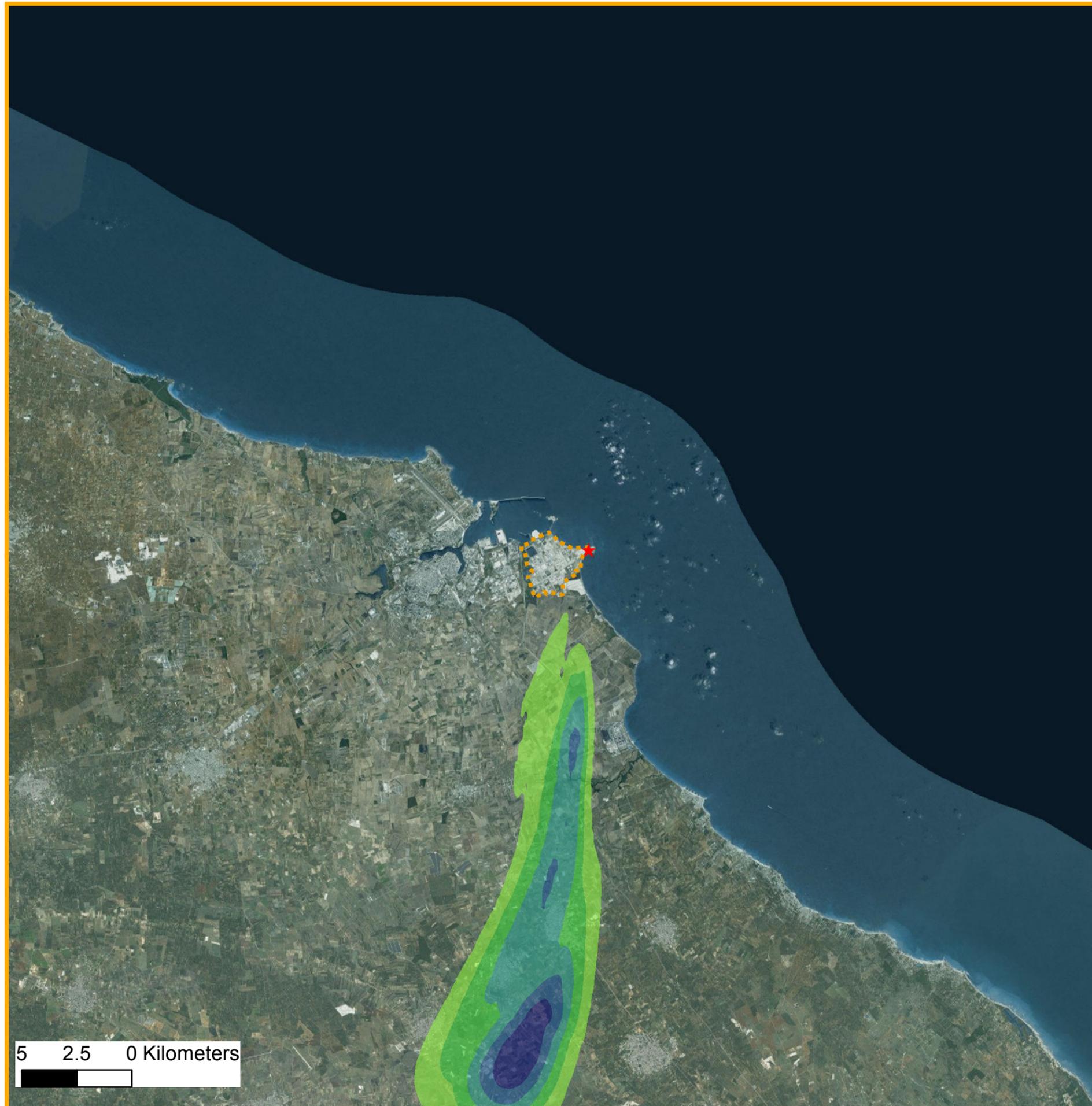
Inquinante: <b>PM<sub>10</sub></b>	Valore limite: <b>50 <math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math></b> <small>imposto sulla media giornaliera</small>
------------------------------------	--

Periodo di mediazione: <b>24-25 nov. 2015</b>	Statistica: <b>massimo orario</b>
--	--------------------------------------

**Tavola\_03**

\_Giugno 2016



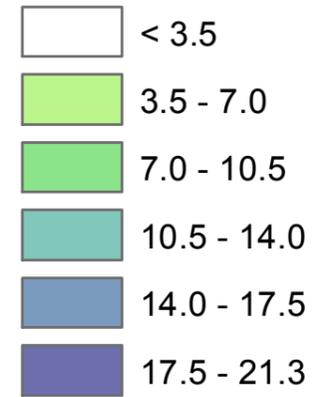


## Legenda

 Confine dell'impianto

 Torcia RV101C

### Ricadute ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )



ENI – Stabilimento Versalis di Brindisi

**AECOM**



ENI – Stabilimento Versalis di Brindisi

Stima degli impatti delle emissioni in atmosfera

Inquinante: **UHC**

Valore limite: **5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$**   
imposto sul Benzene e calcolato sulla media annua

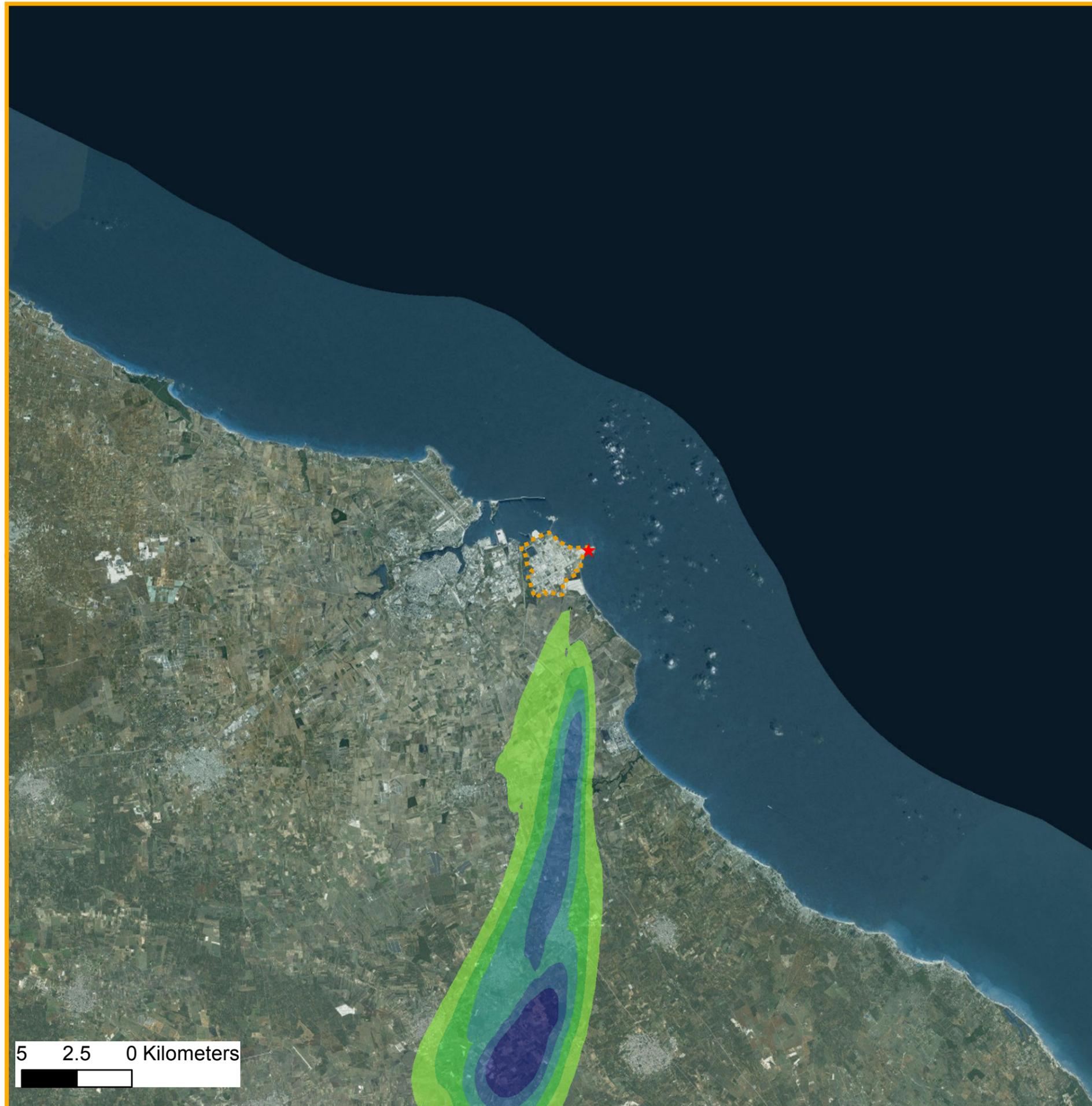
Periodo di mediazione:  
**24-25 nov. 2015**

Statistica:  
**massimo orario**

**Tavola\_04**

\_Giugno 2016



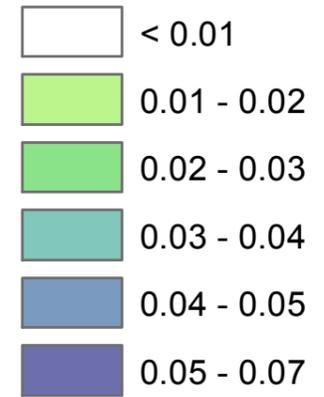


## Legenda

 Confine dell'impianto

 Torcia RV101C

### Ricadute ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )



ENI – Stabilimento Versalis di Brindisi

**AECOM**



ENI – Stabilimento Versalis di Brindisi

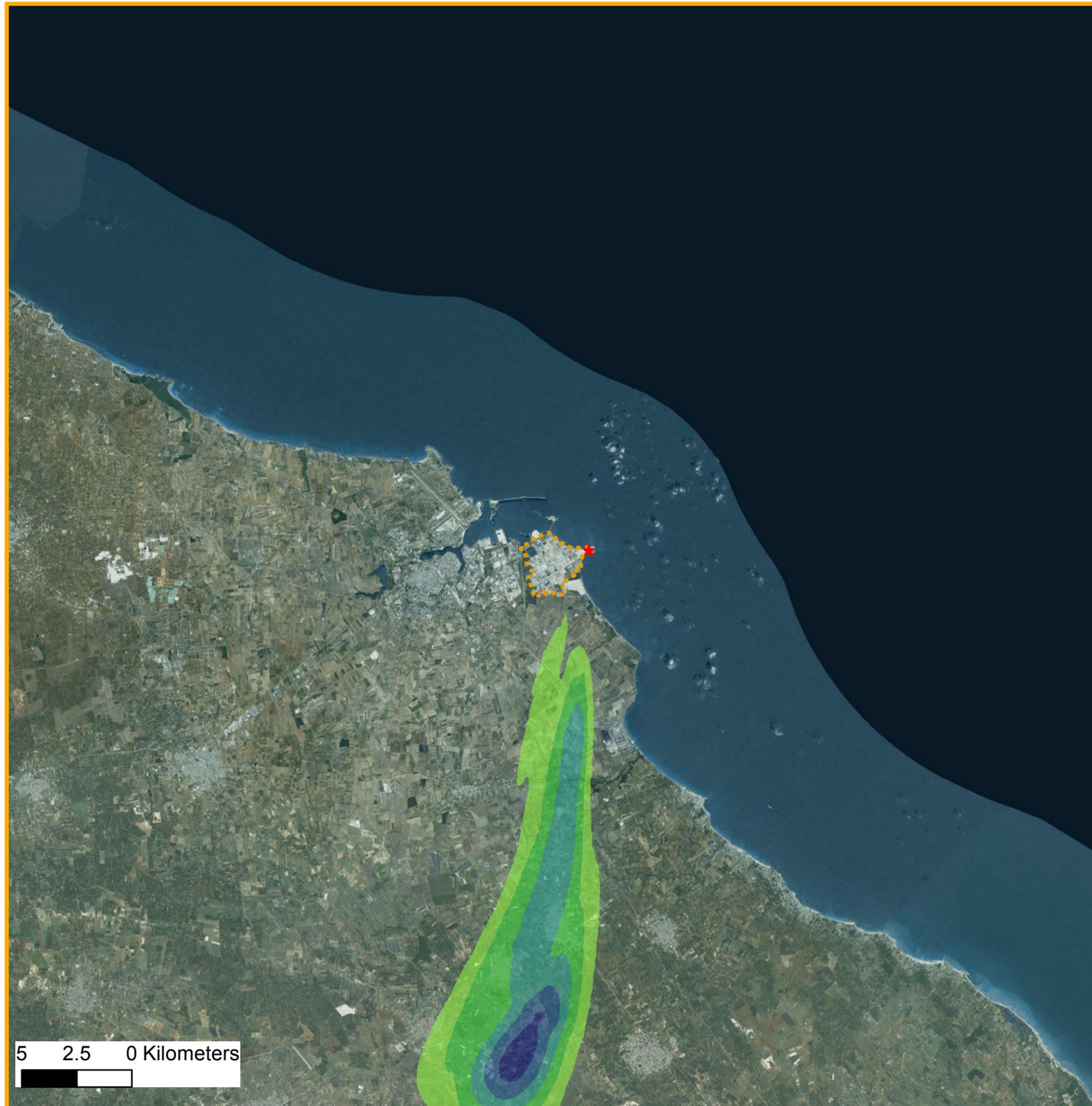
Stima degli impatti delle emissioni in atmosfera

Inquinante: <b>Benzene</b>	Valore limite: <b>5 <math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math></b>
Periodo di mediazione: <b>24-25 nov. 2015</b>	Statistica: <b>massimo orario</b>

**Tavola\_05**

\_Giugno 2016



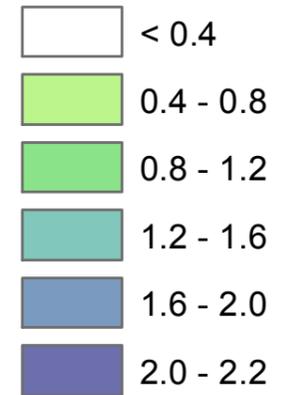


## Legenda

 Confine dell'impianto

 Torcia RV101C

### Ricadute ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )



ENI – Stabilimento Versalis di Brindisi

**AECOM**



ENI – Stabilimento Versalis di Brindisi

Stima degli impatti delle emissioni in atmosfera

Inquinante: **Etilene**

Valore limite: **5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$**   
imposto sul Benzene e calcolato sulla media annua

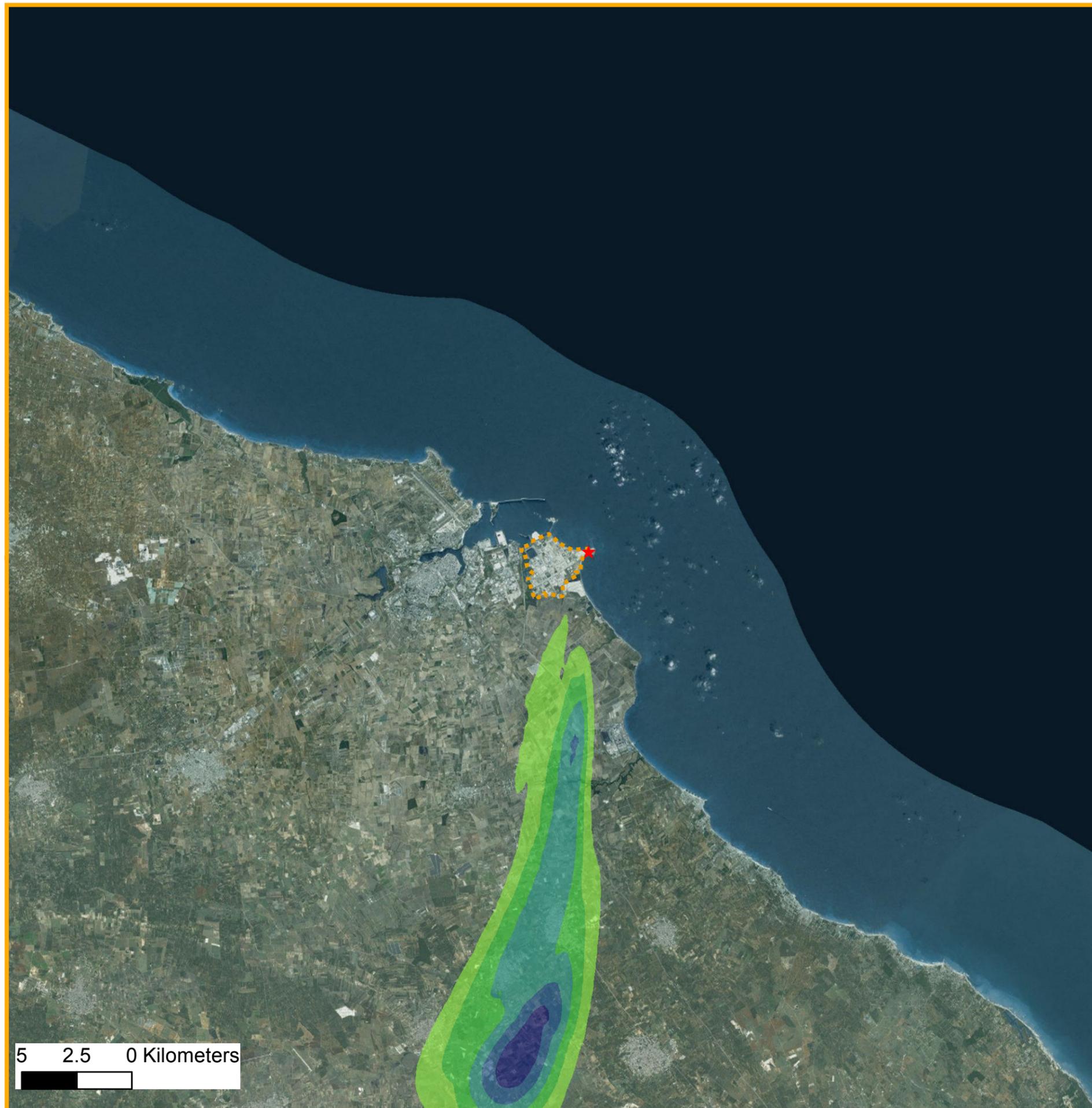
Periodo di mediazione:  
**24-25 nov. 2015**

Statistica:  
**massimo orario**

**Tavola\_06**

\_Giugno 2016



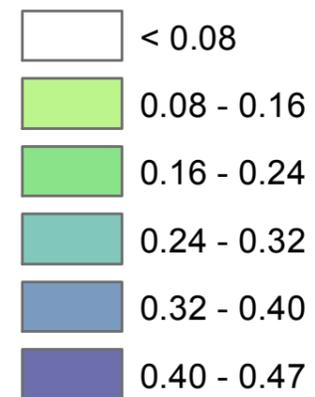


## Legenda

 Confine dell'impianto

 Torcia RV101C

### Ricadute ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )



ENI – Stabilimento Versalis di Brindisi

**AECOM**



ENI – Stabilimento Versalis di Brindisi

Stima degli impatti delle emissioni in atmosfera

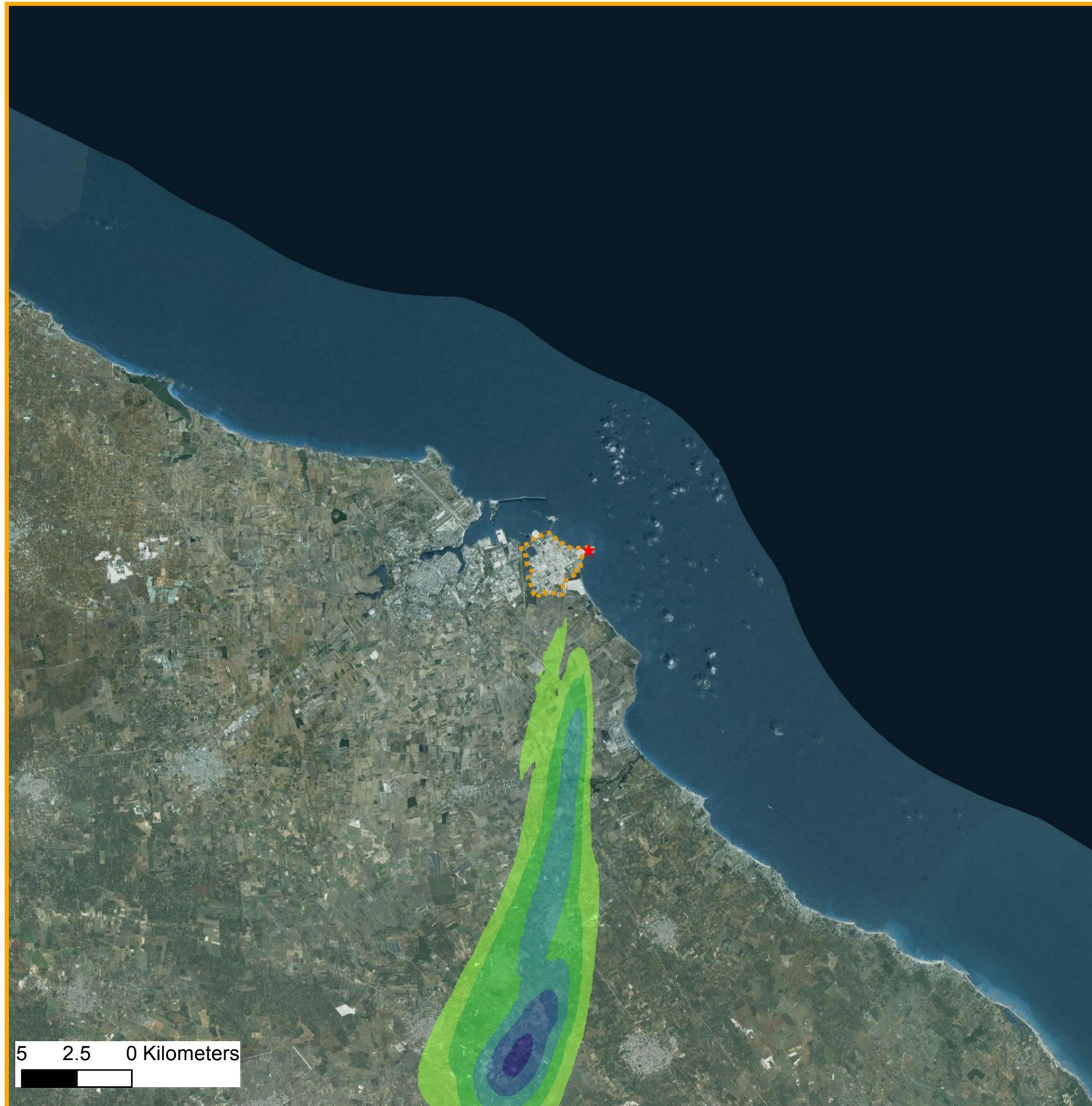
Inquinante: <b>Pentano</b>	Valore limite: <b>5 <math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math></b> <small>imposto sul Benzene e calcolato sulla media annua</small>
----------------------------	---

Periodo di mediazione: <b>24-25 nov. 2015</b>	Statistica: <b>massimo orario</b>
--	--------------------------------------

**Tavola\_07**

\_Giugno 2016



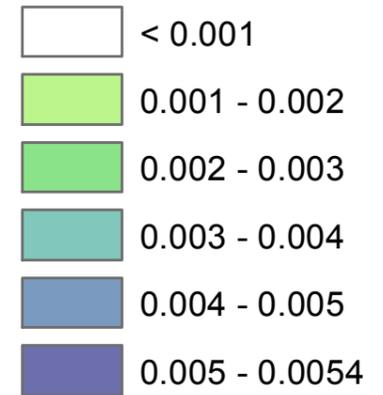


## Legenda

 Confine dell'impianto

 Torcia RV101C

### Ricadute ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )



ENI – Stabilimento Versalis di Brindisi

**AECOM**



ENI – Stabilimento Versalis di Brindisi

Stima degli impatti delle emissioni in atmosfera

Inquinante: **Esano**

Valore limite: **5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$**   
imposto sul Benzene e calcolato sulla media annua

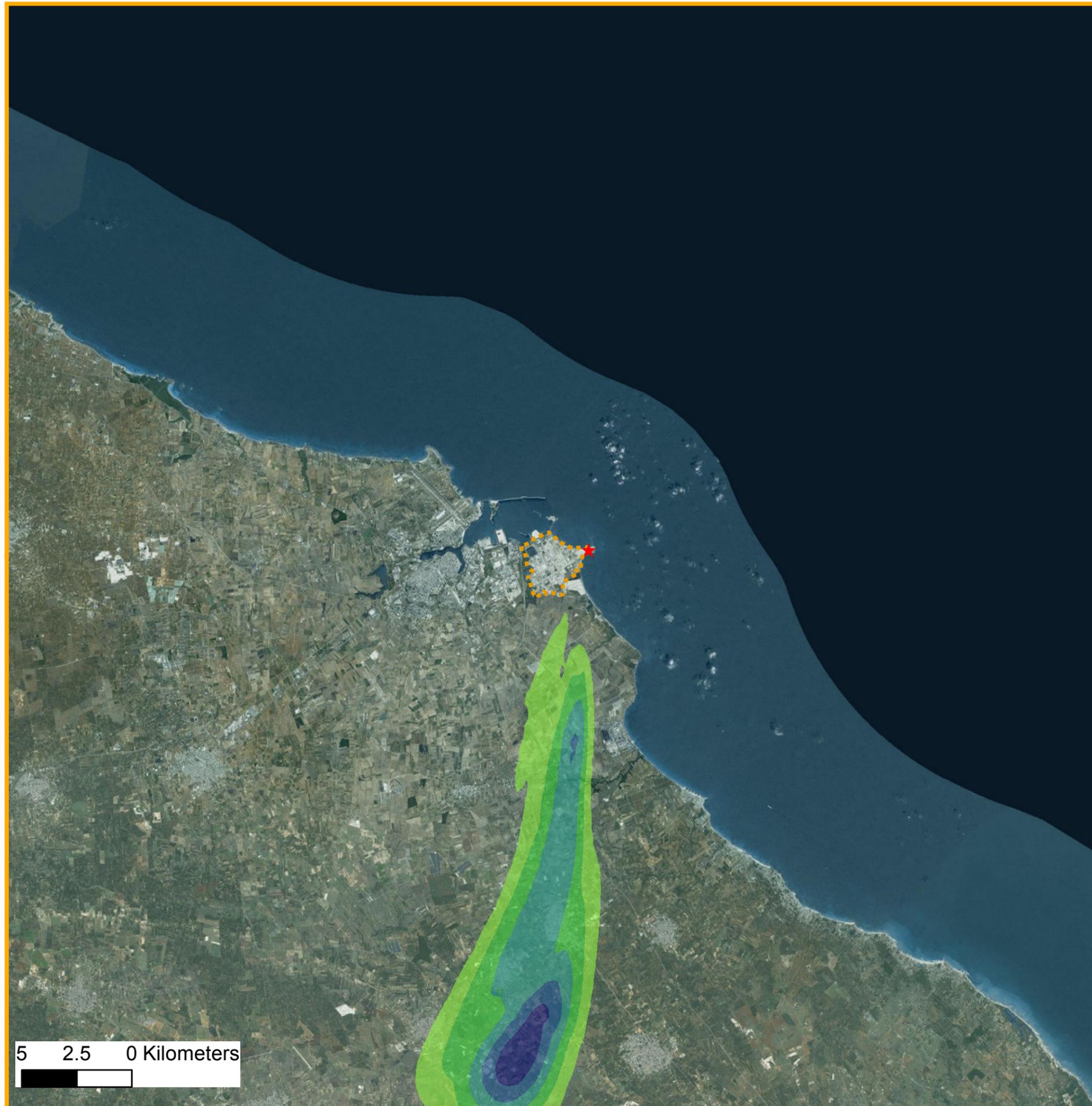
Periodo di mediazione:  
**24-25 nov. 2015**

Statistica:  
**massimo orario**

**Tavola\_08**

\_Giugno 2016



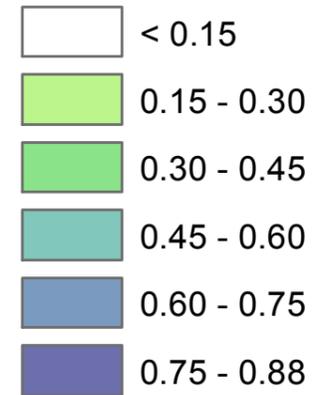


## Legenda

 Confine dell'impianto

 Torcia RV101C

### Ricadute ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )



ENI – Stabilimento Versalis di Brindisi

**AECOM**



ENI – Stabilimento Versalis di Brindisi

Stima degli impatti delle emissioni in atmosfera

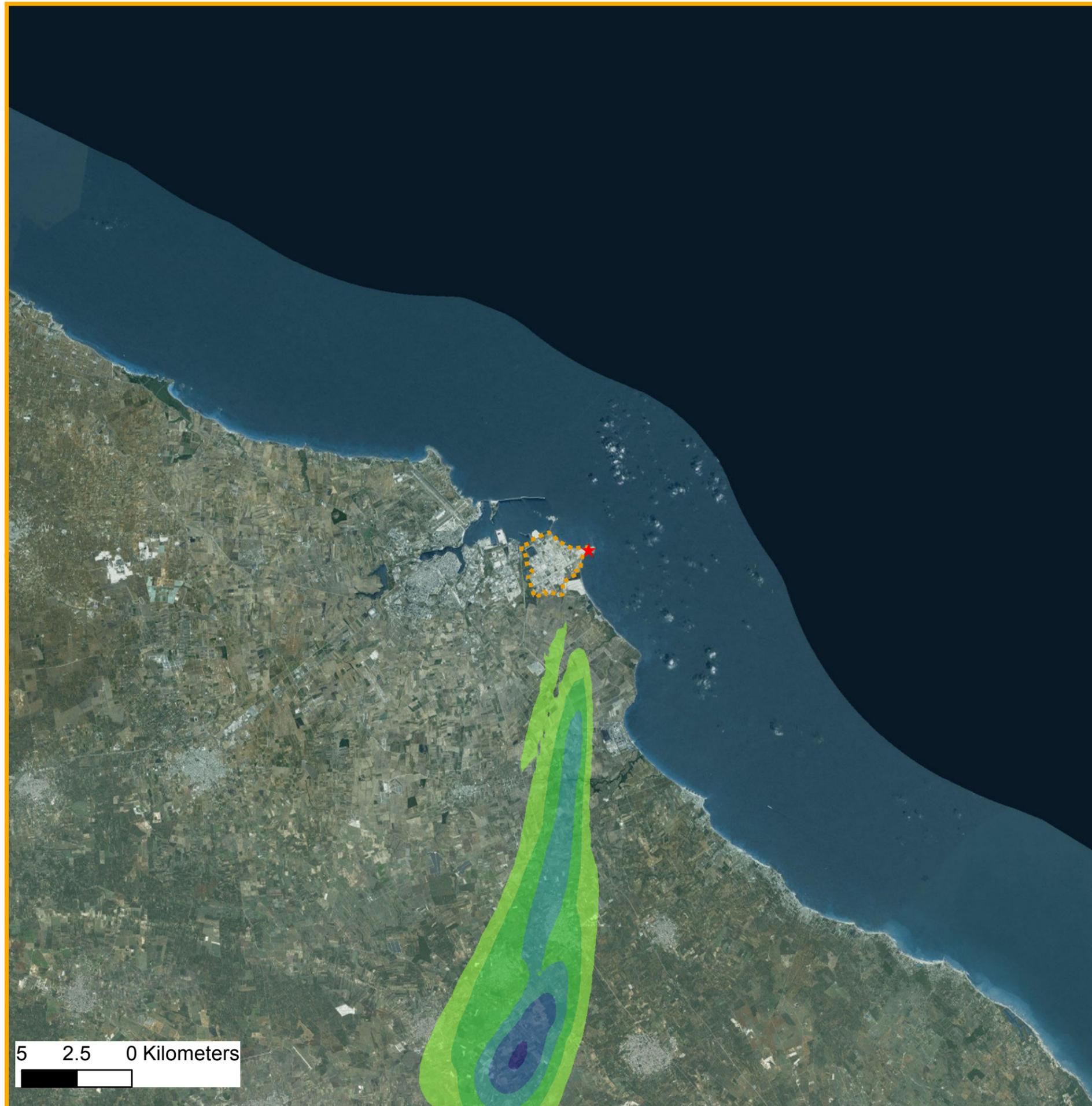
Inquinante: <b>Butadiene</b>	Valore limite: <b>5 <math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math></b> <small>imposto sul Benzene e calcolato sulla media annua</small>
------------------------------	---

Periodo di mediazione: <b>24-25 nov. 2015</b>	Statistica: <b>massimo orario</b>
--	--------------------------------------

**Tavola\_09**

\_Giugno 2016



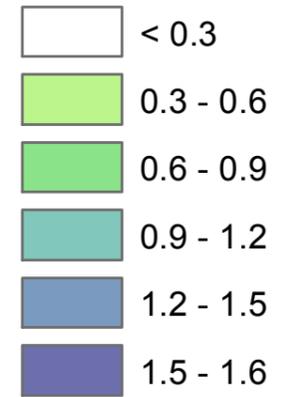


## Legenda

 Confine dell'impianto

 Torcia RV101C

### Ricadute ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )



ENI – Stabilimento Versalis di Brindisi

**AECOM**



ENI – Stabilimento Versalis di Brindisi

Stima degli impatti delle emissioni in atmosfera

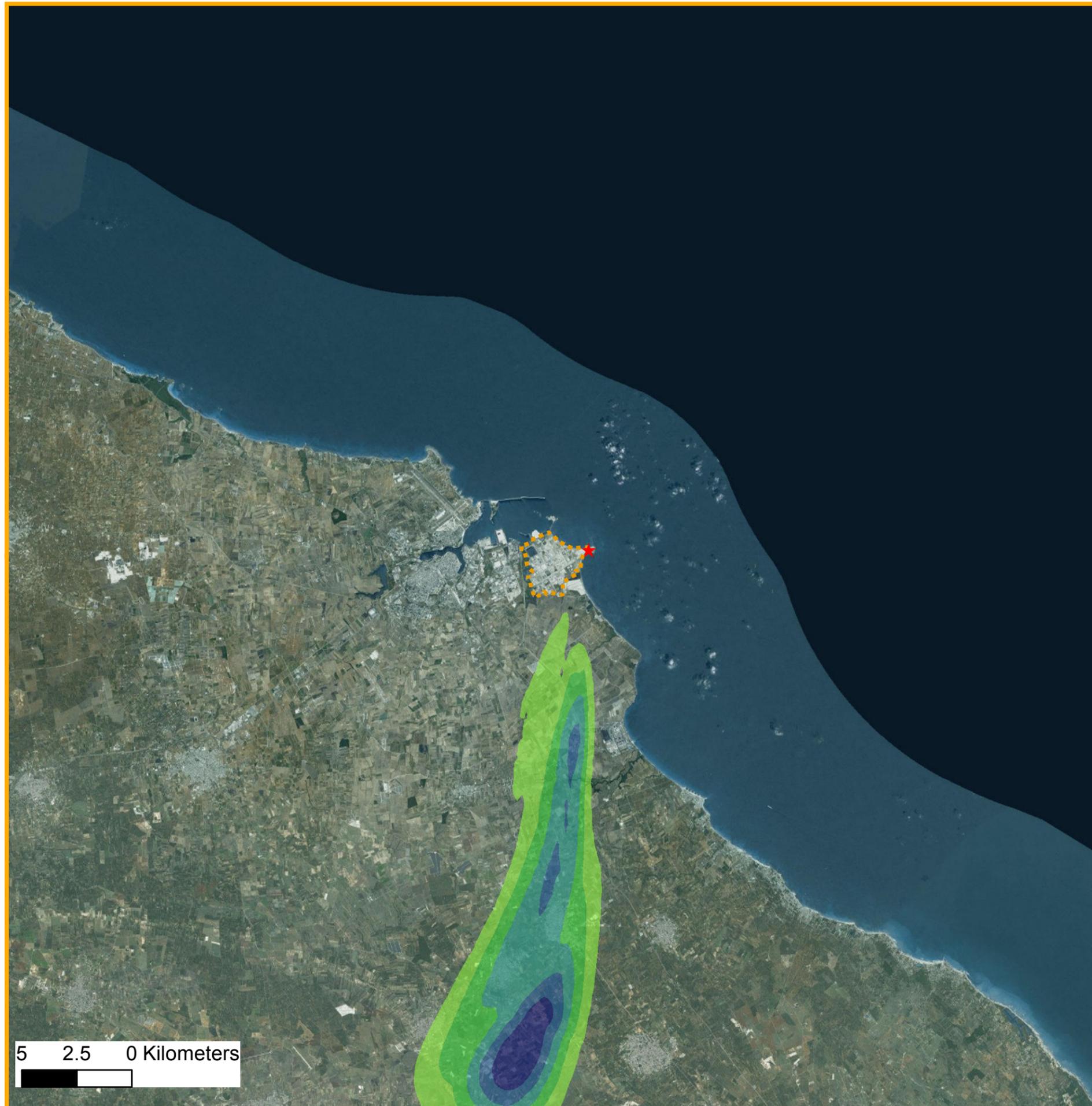
Inquinante: <b>Butene</b>	Valore limite: <b>5 <math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math></b> <small>imposto sul Benzene e calcolato sulla media annua</small>
---------------------------	---

Periodo di mediazione: <b>24-25 nov. 2015</b>	Statistica: <b>massimo orario</b>
--	--------------------------------------

**Tavola\_10**

\_Giugno 2016



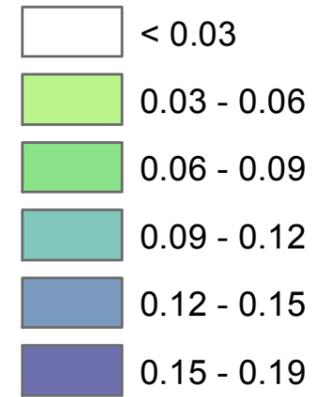


## Legenda

 Confine dell'impianto

 Torcia RV101C

### Ricadute ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )



ENI – Stabilimento Versalis di Brindisi

**AECOM**



versalis

ENI – Stabilimento Versalis di Brindisi

Stima degli impatti delle emissioni in atmosfera

Inquinante: **Butano**

Valore limite: **5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$**   
imposto sul Benzene e calcolato sulla media annua

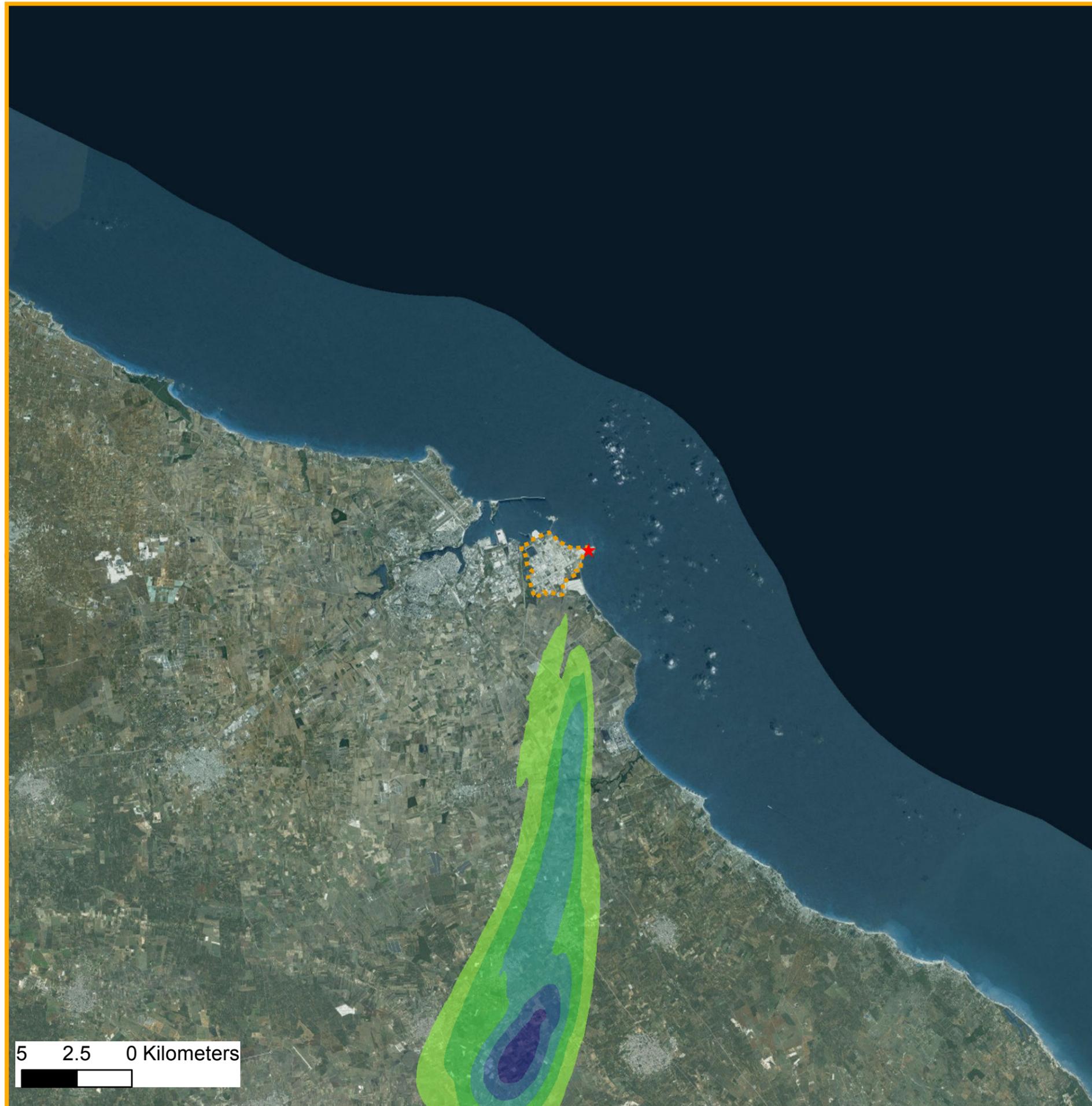
Periodo di mediazione:  
**24-25 nov. 2015**

Statistica:  
**massimo orario**

**Tavola\_11**

\_Giugno 2016





## Legenda

 Confine dell'impianto

 Torcia RV101C

### Ricadute ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

 < 0.002

 0.002 - 0.004

 0.004 - 0.006

 0.006 - 0.008

 0.008 - 0.010

 0.010 - 0.011



ENI – Stabilimento Versalis di Brindisi

**AECOM**



versalis

ENI – Stabilimento Versalis di Brindisi

Stima degli impatti delle emissioni in atmosfera

Inquinante: **Acetilene**

Valore limite: **5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$**   
imposto sul Benzene e calcolato sulla media annua

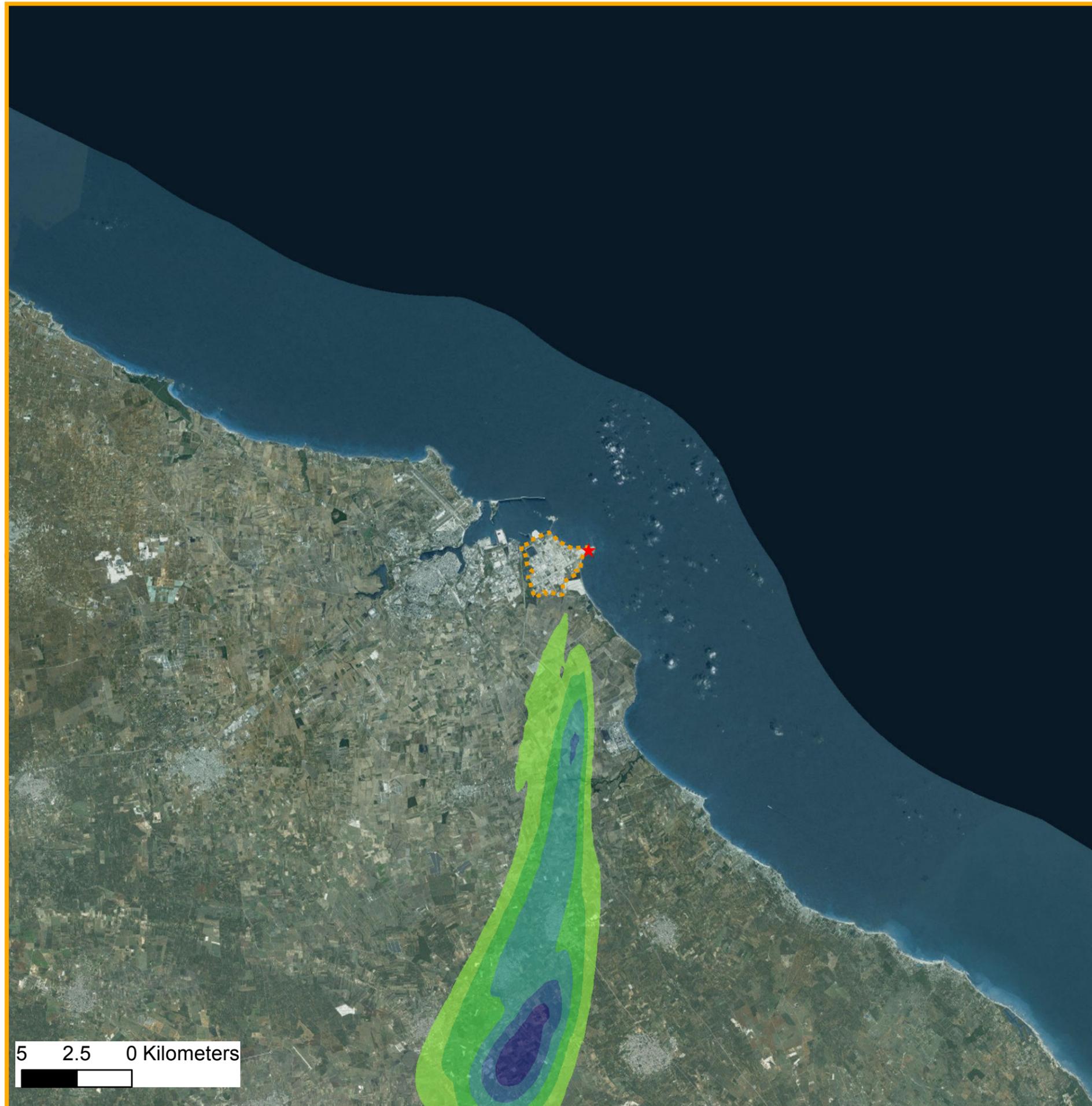
Periodo di mediazione:  
**24-25 nov. 2015**

Statistica:  
**massimo orario**

**Tavola\_12**

\_Giugno 2016



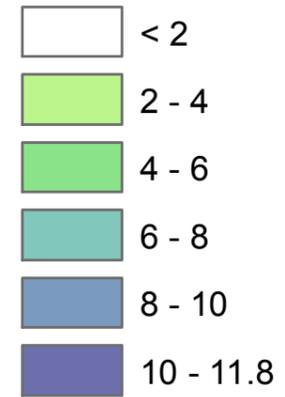


## Legenda

 Confine dell'impianto

 Torcia RV101C

### Ricadute ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )



ENI – Stabilimento Versalis di Brindisi

**AECOM**



versalis

ENI – Stabilimento Versalis di Brindisi

Stima degli impatti delle emissioni in atmosfera

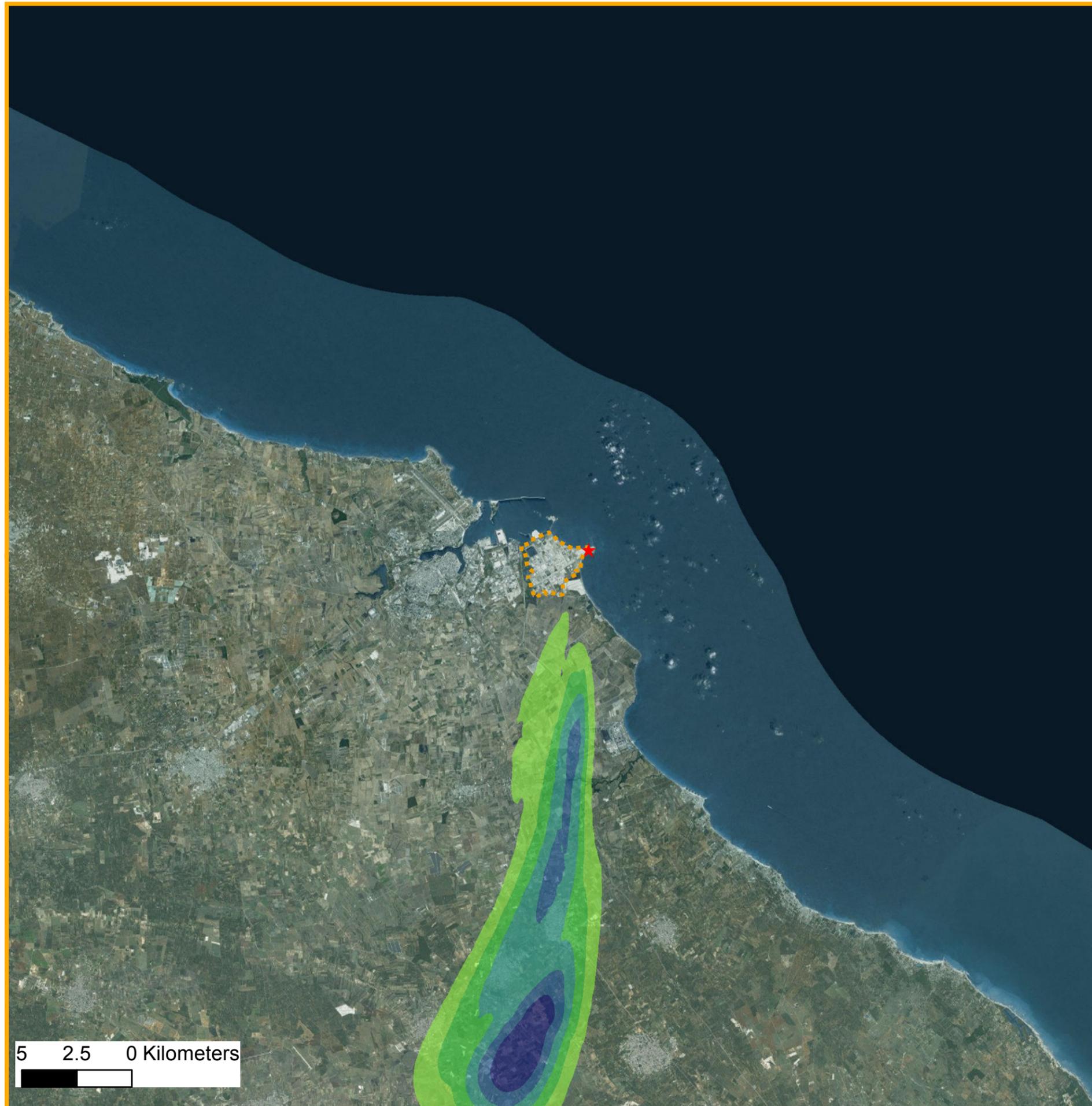
Inquinante: <b>Propilene</b>	Valore limite: <b>5 <math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math></b> <small>imposto sul Benzene e calcolato sulla media annua</small>
------------------------------	---

Periodo di mediazione: <b>24-25 nov. 2015</b>	Statistica: <b>massimo orario</b>
--	--------------------------------------

**Tavola\_13**

\_Giugno 2016



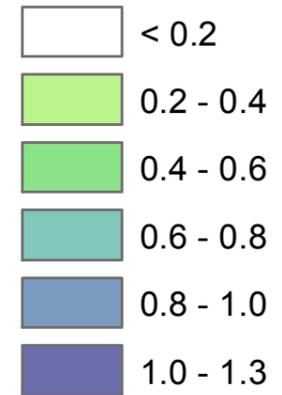


## Legenda

 Confine dell'impianto

 Torcia RV101C

### Ricadute ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )



ENI – Stabilimento Versalis di Brindisi

**AECOM**



ENI – Stabilimento Versalis di Brindisi

Stima degli impatti delle emissioni in atmosfera

Inquinante: **Propano**

Valore limite: **5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$**   
imposto sul Benzene e calcolato sulla media annua

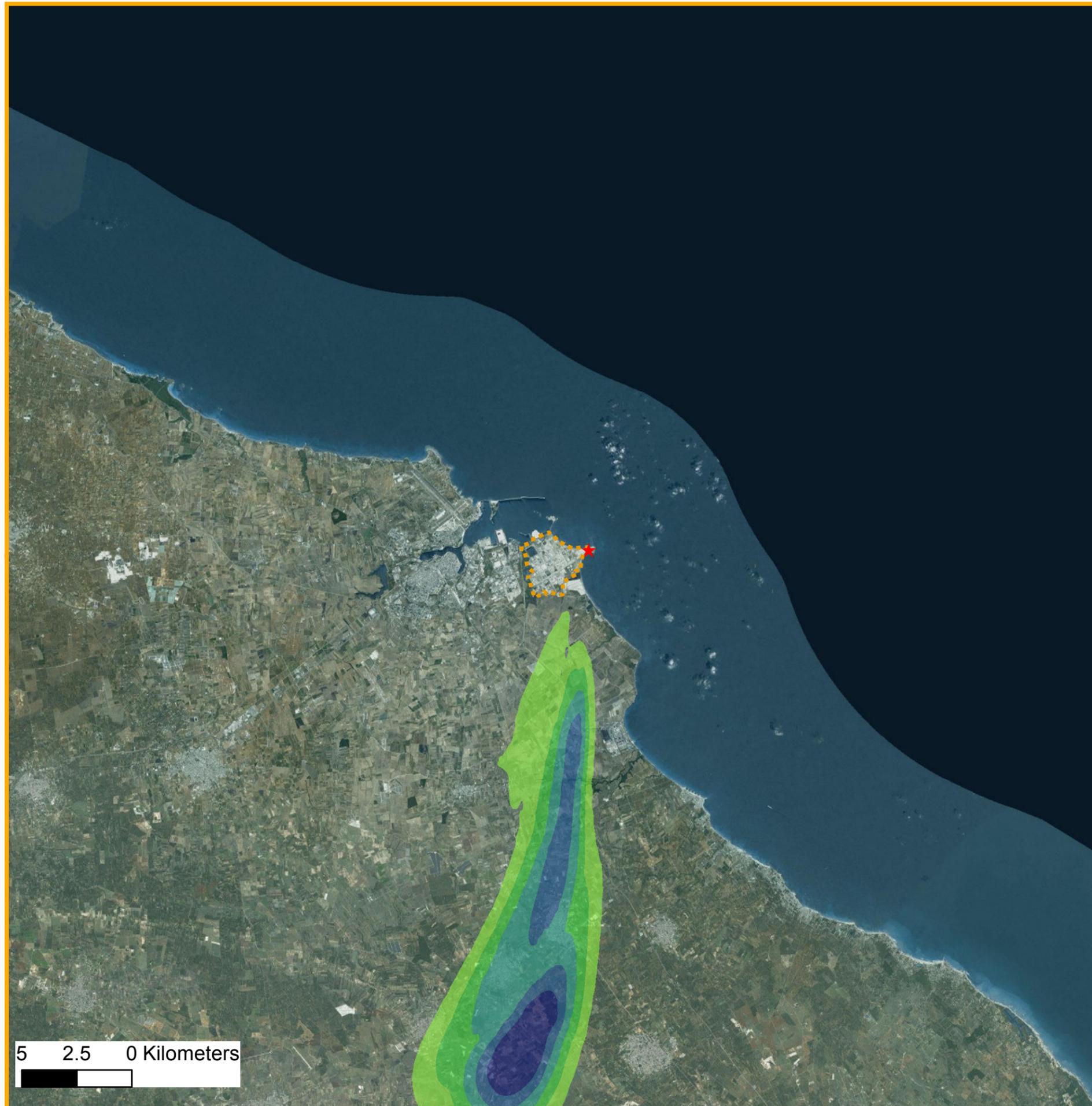
Periodo di mediazione:  
**24-25 nov. 2015**

Statistica:  
**massimo orario**

**Tavola\_14**

\_Giugno 2016



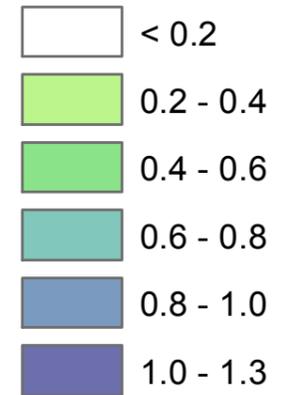


## Legenda

 Confine dell'impianto

 Torcia RV101C

### Ricadute ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )



ENI – Stabilimento Versalis di Brindisi

**AECOM**



ENI – Stabilimento Versalis di Brindisi

Stima degli impatti delle emissioni in atmosfera

Inquinante: **Etano**

Valore limite: **5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$**   
imposto sul Benzene e calcolato sulla media annua

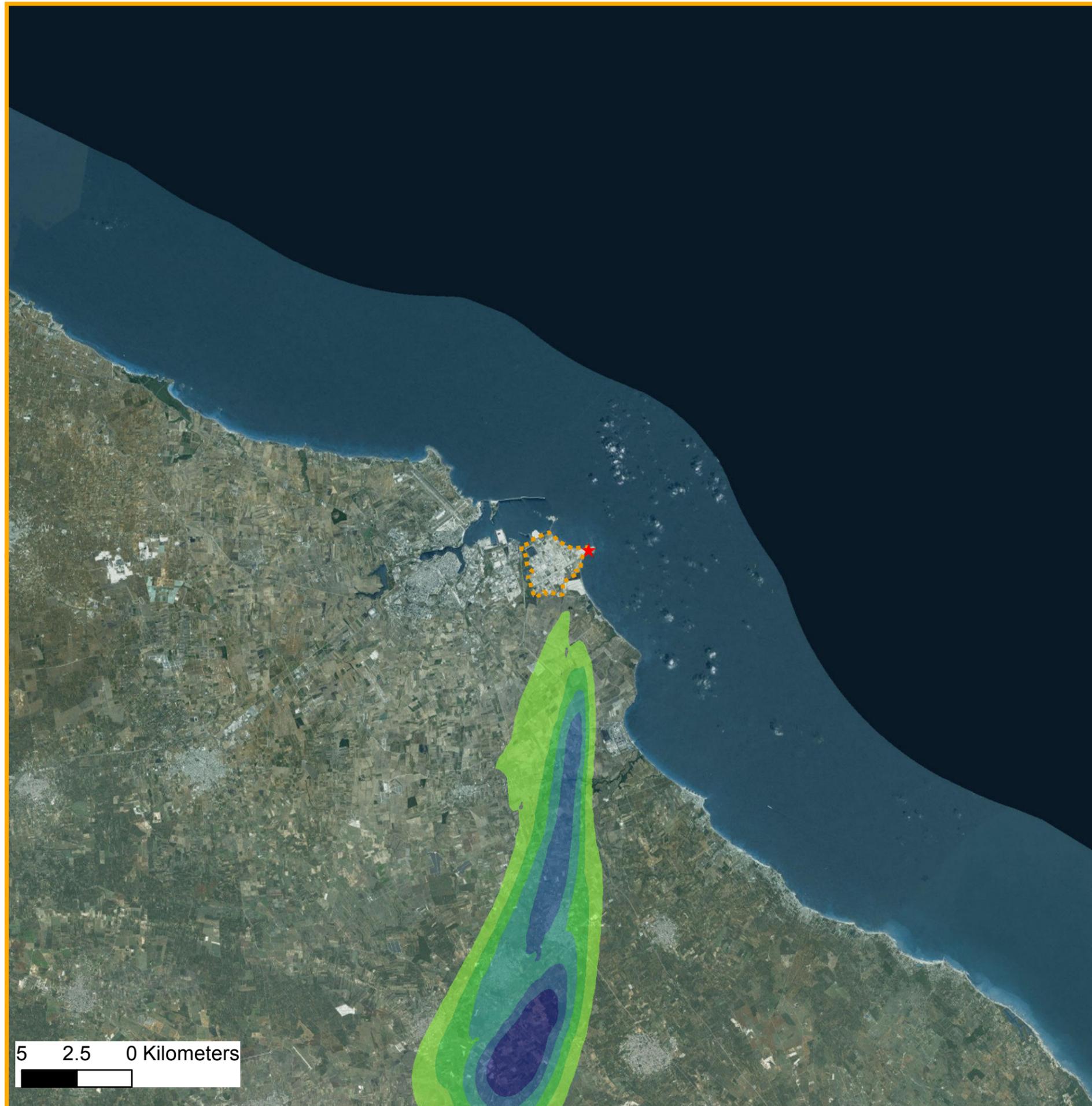
Periodo di mediazione:  
**24-25 nov. 2015**

Statistica:  
**massimo orario**

**Tavola\_15**

\_Giugno 2016



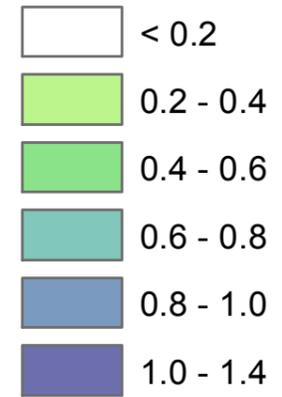


## Legenda

 Confine dell'impianto

 Torcia RV101C

### Ricadute ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )



ENI – Stabilimento Versalis di Brindisi

**AECOM**



versalis

ENI – Stabilimento Versalis di Brindisi

Stima degli impatti delle emissioni in atmosfera

Inquinante: **Metano**

Valore limite: **5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$**   
imposto sul Benzene e calcolato sulla media annua

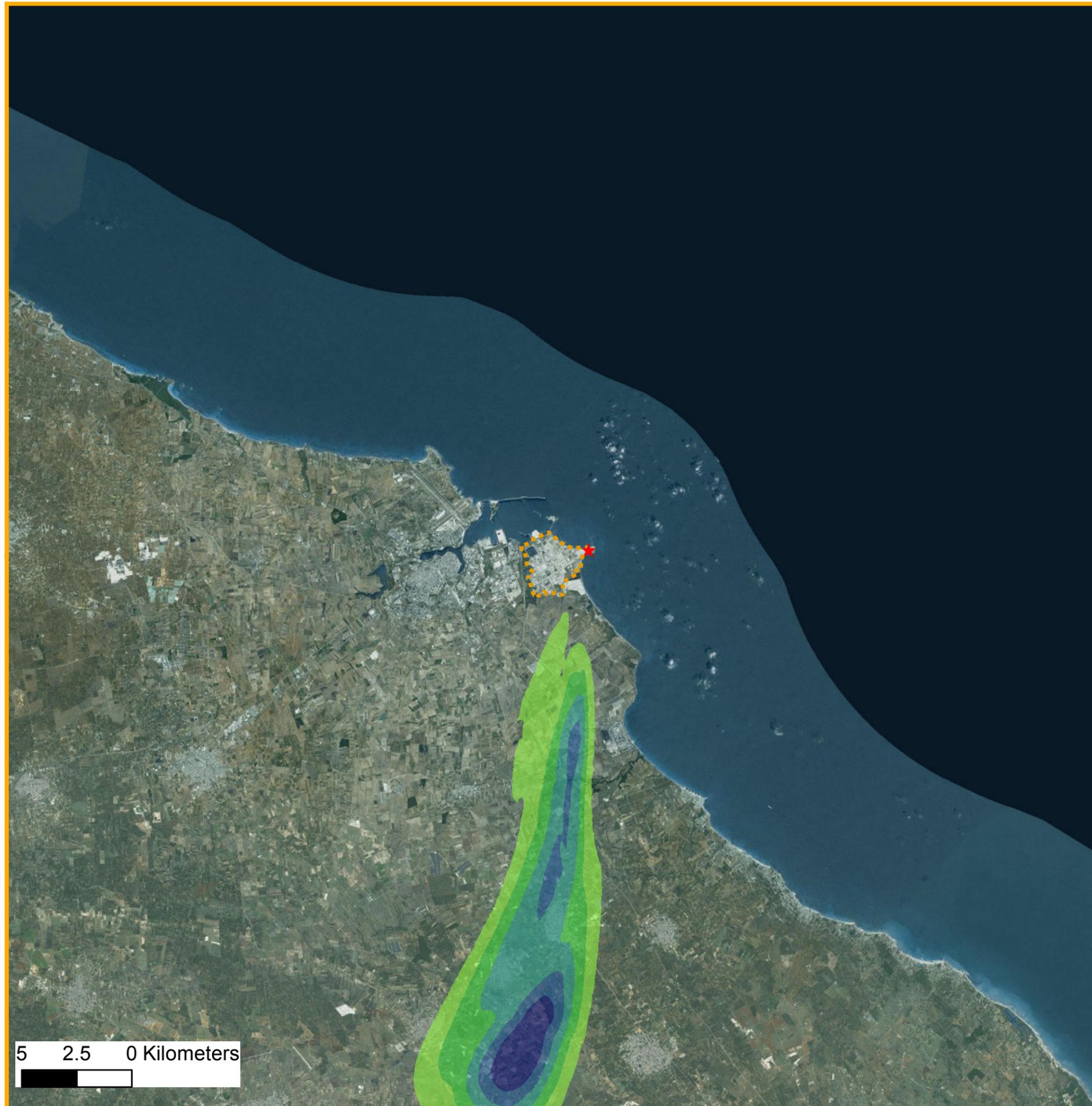
Periodo di mediazione:  
**24-25 nov. 2015**

Statistica:  
**massimo orario**

**Tavola\_16**

\_Giugno 2016



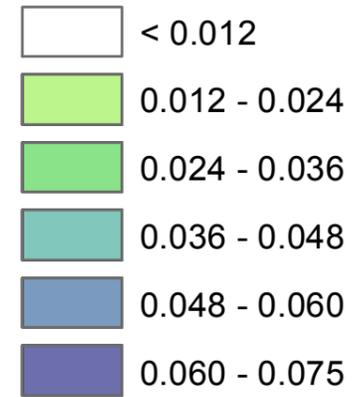


## Legenda

 Confine dell'impianto

 Torcia RV101C

### Ricadute ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )



ENI – Stabilimento Versalis di Brindisi

**AECOM**



versalis

ENI – Stabilimento Versalis di Brindisi

Stima degli impatti delle emissioni in atmosfera

Inquinante: **Allene**

Valore limite: **5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$**   
imposto sul Benzene e calcolato sulla media annua

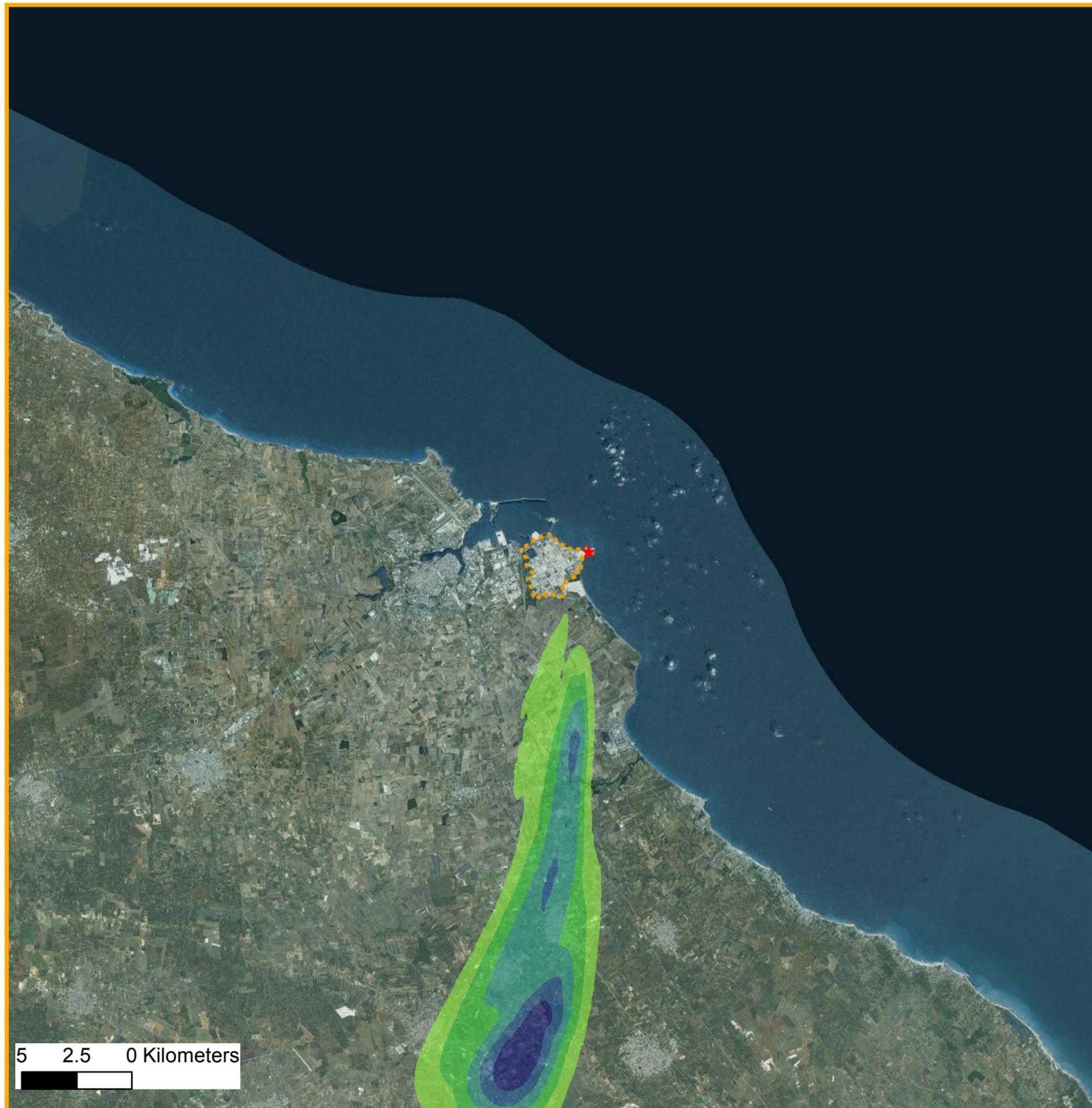
Periodo di mediazione:  
**24-25 nov. 2015**

Statistica:  
**massimo orario**

**Tavola\_17**

\_Giugno 2016



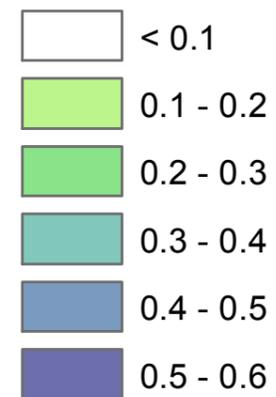


## Legenda

 Confine dell'impianto

 Torcia RV101C

### Ricadute ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )



ENI – Stabilimento Versalis di Brindisi

**AECOM**



versalis

ENI – Stabilimento Versalis di Brindisi

Stima degli impatti delle emissioni in atmosfera

Inquinante: **CO**

Valore limite: **10'000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$**   
Valore imposto sulla media trascinata di 8h

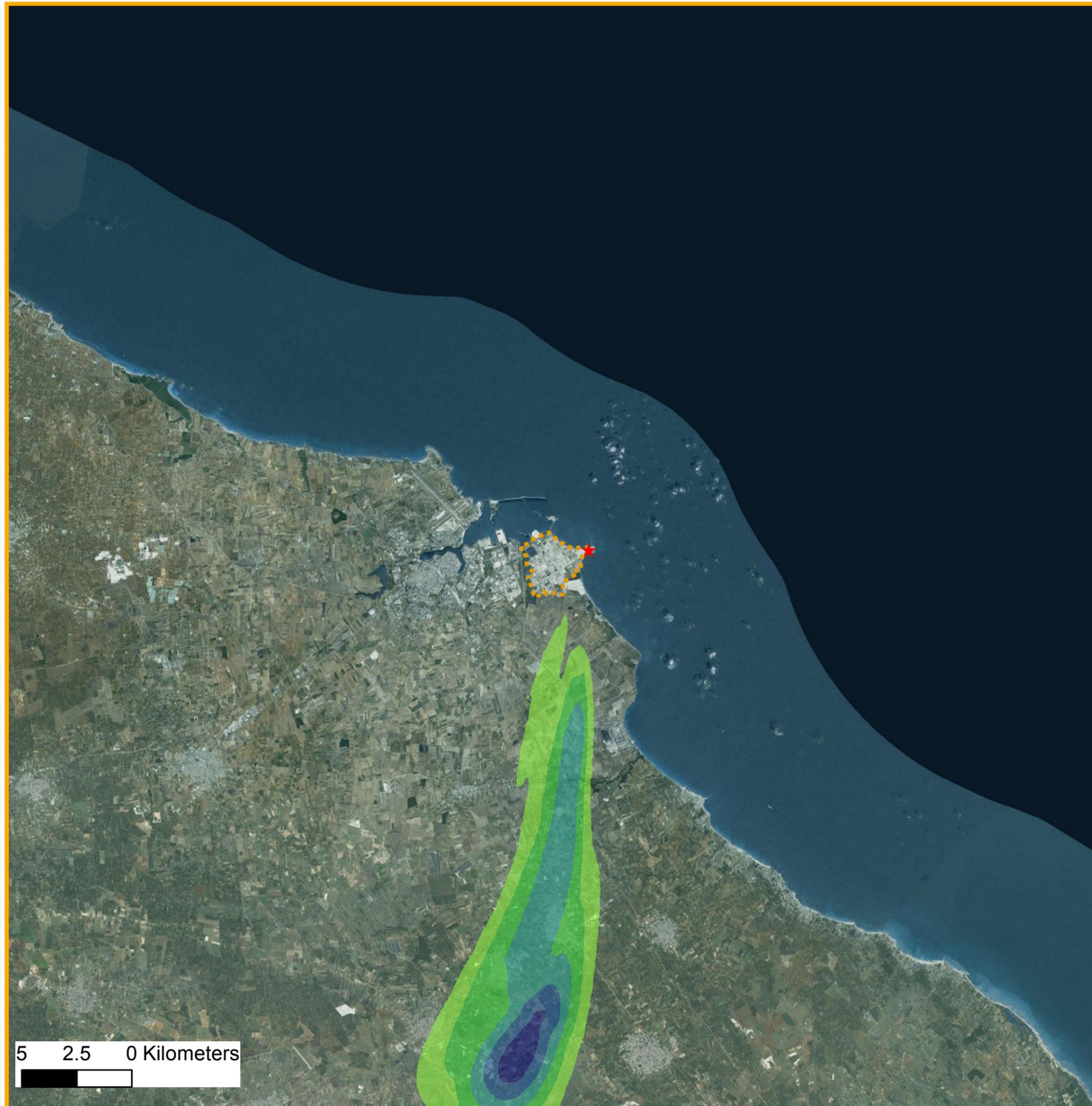
Periodo di mediazione:  
**24-25 nov. 2015**

Statistica:  
**massimo orario**

**Tavola\_18**

\_Giugno 2016





## Legenda

 Confine dell'impianto

 Torcia RV101C

### Ricadute ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

 < 0.009

 0.009 - 0.018

 0.018 - 0.027

 0.027 - 0.036

 0.036 - 0.045

 0.045 - 0.051



ENI – Stabilimento Versalis di Brindisi

**AECOM**



versalis

ENI – Stabilimento Versalis di Brindisi

Stima degli impatti delle emissioni in atmosfera

Inquinante: **Benzene**

Valore limite: **5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$**

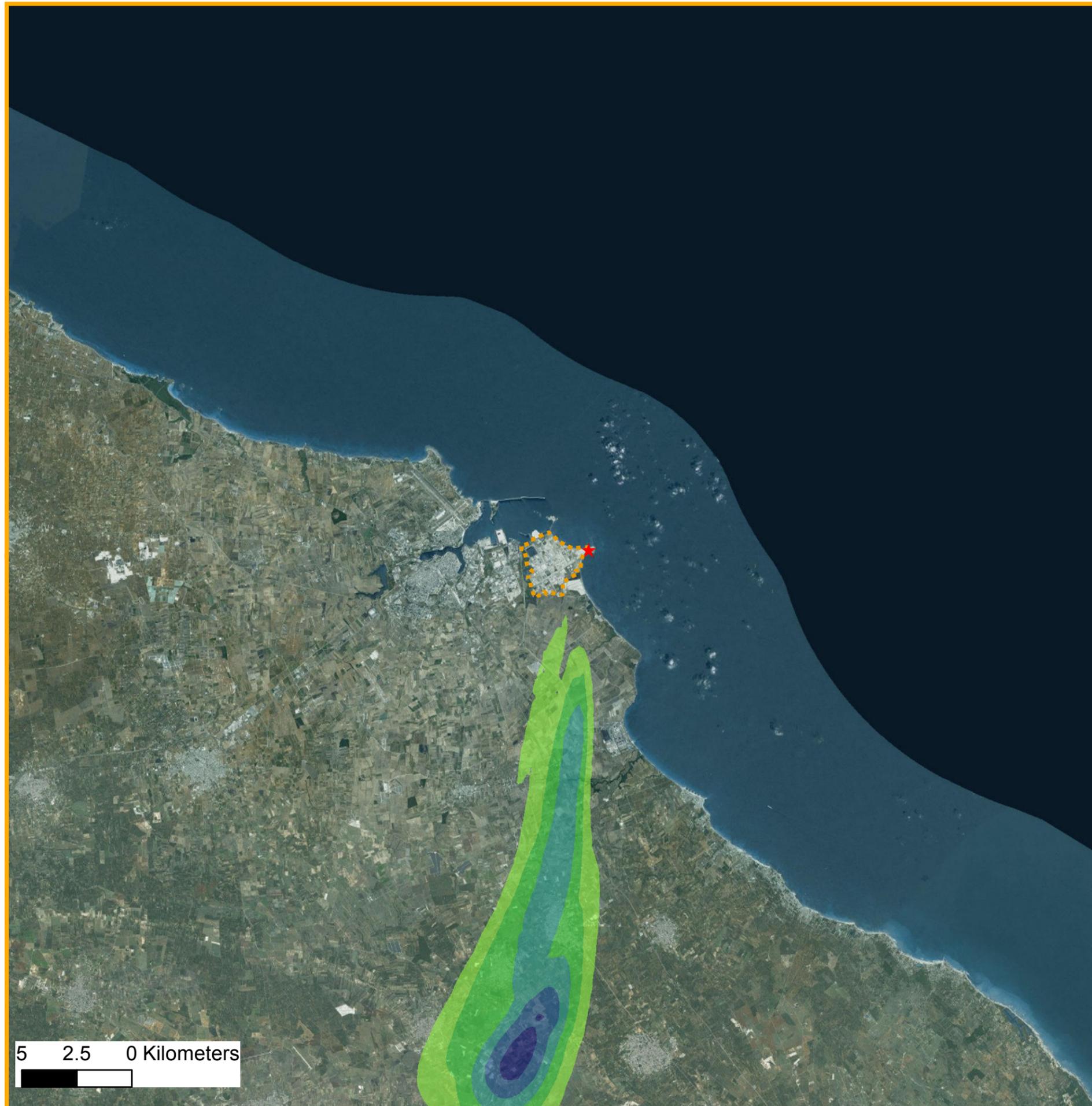
Periodo di mediazione:  
**24-25 nov. 2015**

Statistica:  
**massimo orario**

**Tavola\_19**

\_Giugno 2016



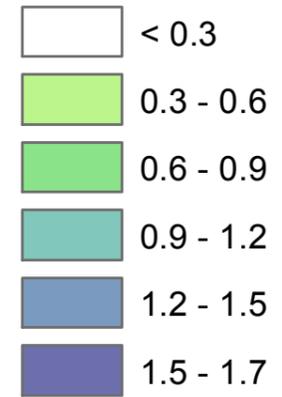


## Legenda

 Confine dell'impianto

 Torcia RV101C

### Ricadute ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )



ENI – Stabilimento Versalis di Brindisi

**AECOM**



ENI – Stabilimento Versalis di Brindisi

Stima degli impatti delle emissioni in atmosfera

Inquinante: **Etilene**

Valore limite: **5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$**   
imposto sul Benzene e calcolato sulla media annua

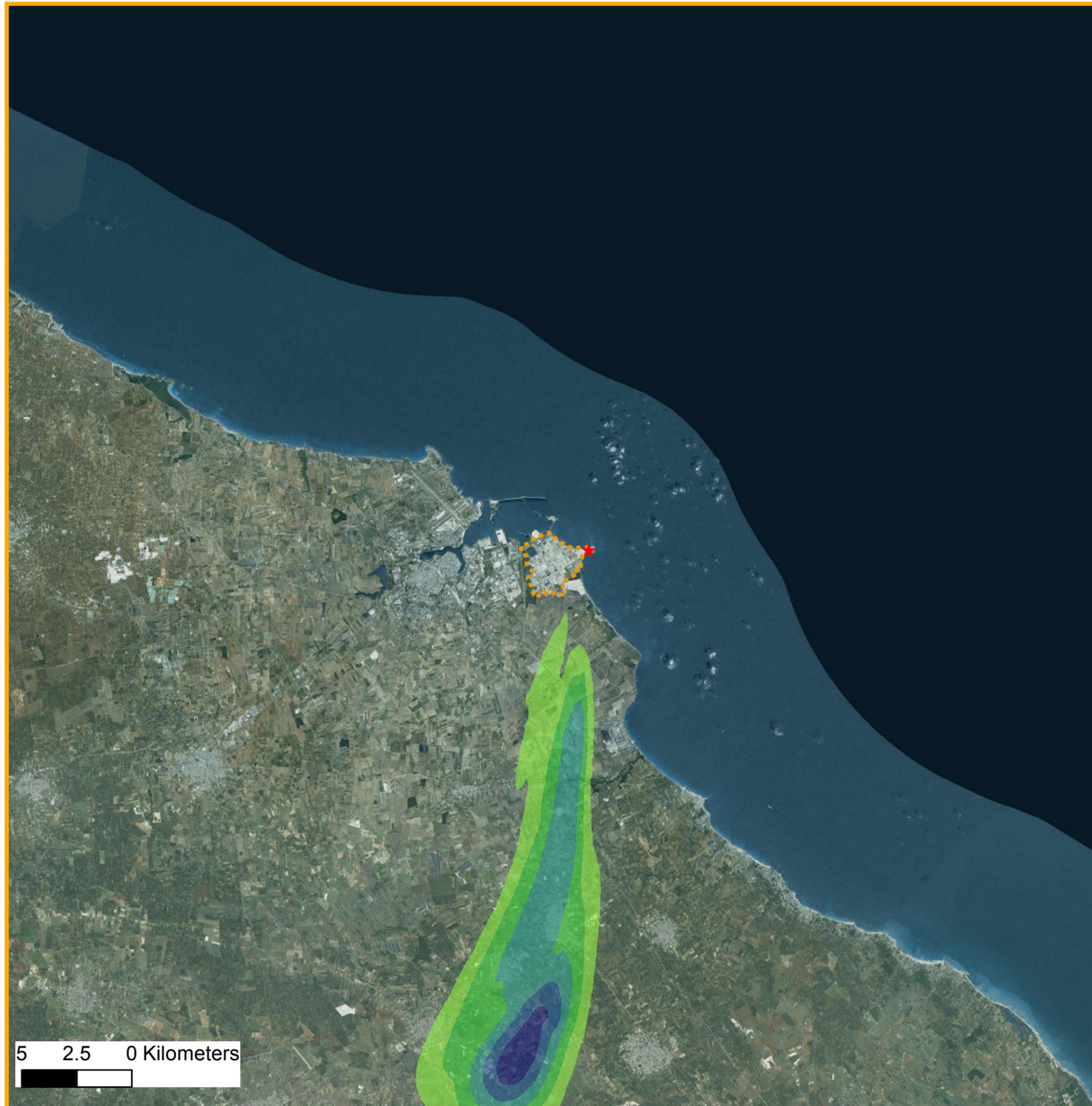
Periodo di mediazione:  
**24-25 nov. 2015**

Statistica:  
**massimo orario**

**Tavola\_20**

\_Giugno 2016



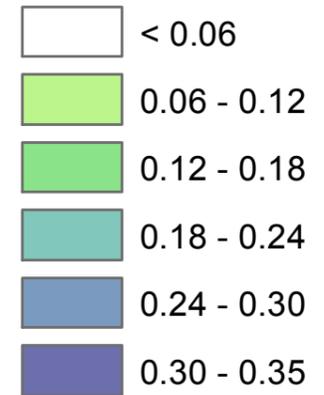


## Legenda

 Confine dell'impianto

 Torcia RV101C

### Ricadute ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )



ENI – Stabilimento Versalis di Brindisi

**AECOM**



versalis

ENI – Stabilimento Versalis di Brindisi

Stima degli impatti delle emissioni in atmosfera

Inquinante: **Pentano**

Valore limite: **5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$**   
imposto sul Benzene e calcolato sulla media annua

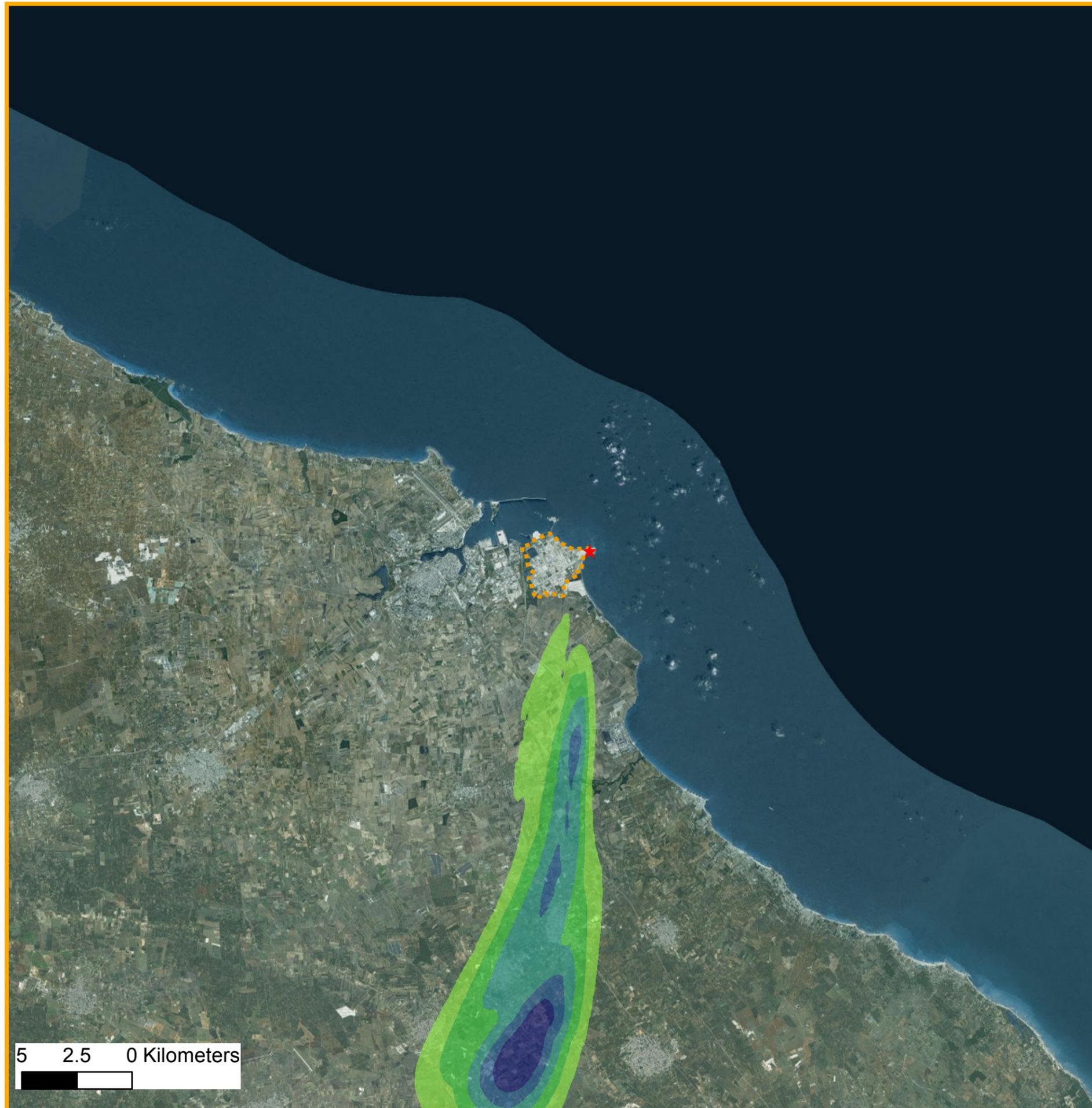
Periodo di mediazione:  
**24-25 nov. 2015**

Statistica:  
**massimo orario**

**Tavola\_21**

\_Giugno 2016



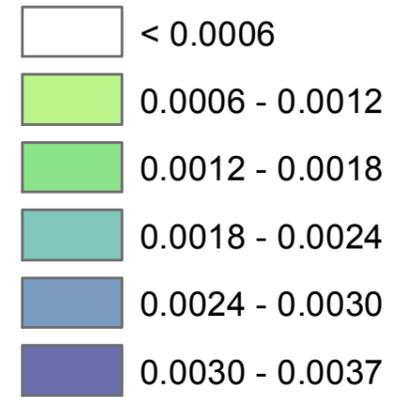


## Legenda

 Confine dell'impianto

 Torcia RV101C

### Ricadute ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )



ENI – Stabilimento Versalis di Brindisi

**AECOM**



ENI – Stabilimento Versalis di Brindisi

Stima degli impatti delle emissioni in atmosfera

Inquinante: **Esano**

Valore limite: **5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$**   
imposto sul Benzene e calcolato sulla media annua

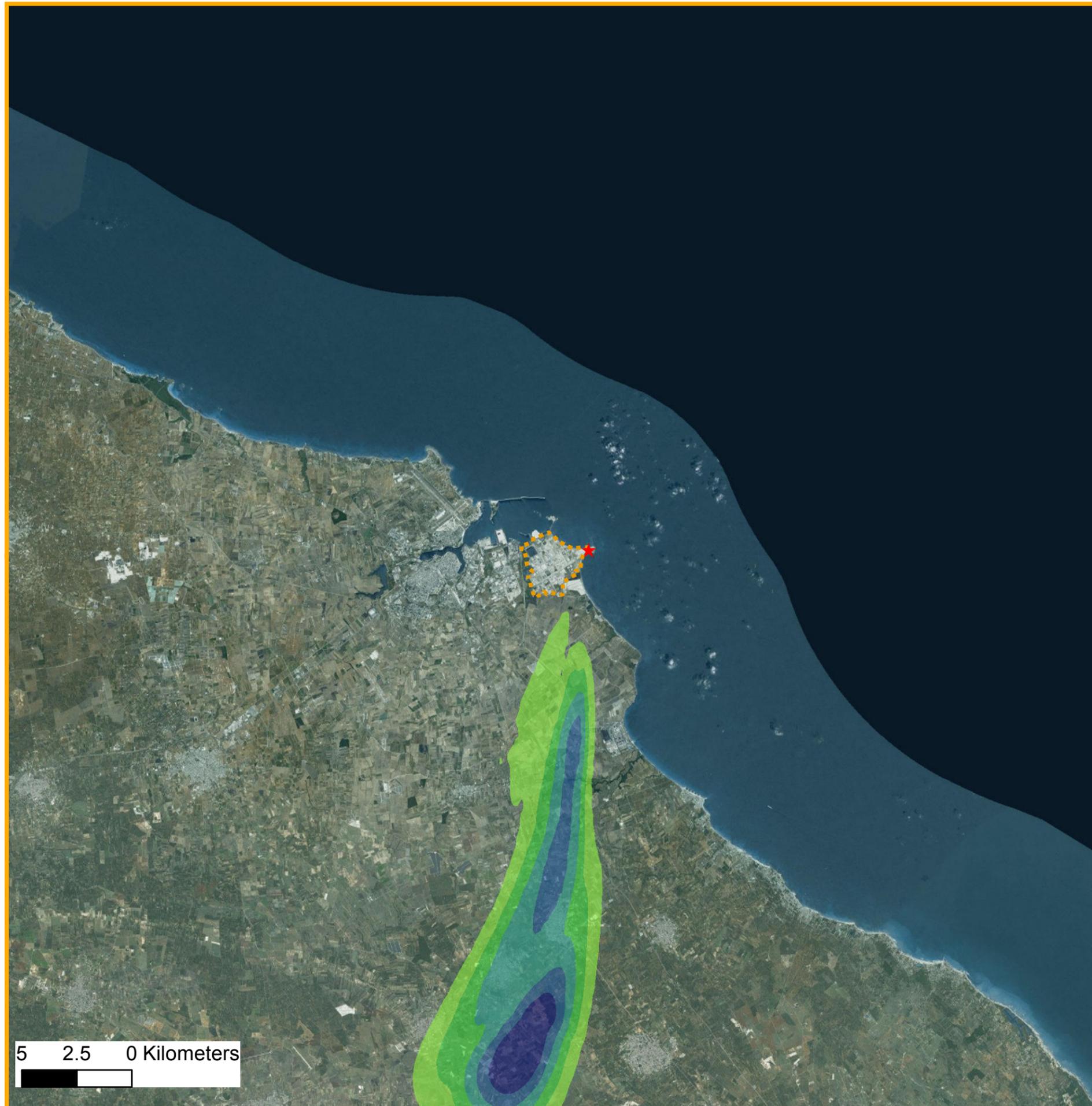
Periodo di mediazione:  
**24-25 nov. 2015**

Statistica:  
**massimo orario**

**Tavola\_22**

\_Giugno 2016



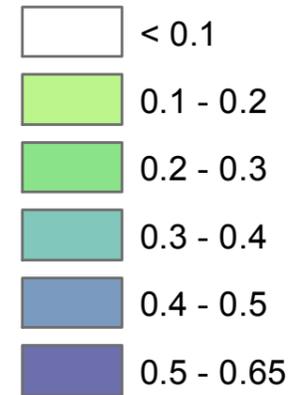


## Legenda

 Confine dell'impianto

 Torcia RV101C

### Ricadute ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )



ENI – Stabilimento Versalis di Brindisi

**AECOM**



versalis

ENI – Stabilimento Versalis di Brindisi

Stima degli impatti delle emissioni in atmosfera

Inquinante: **Butadiene**

Valore limite: **5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$**   
imposto sul Benzene e calcolato sulla media annua

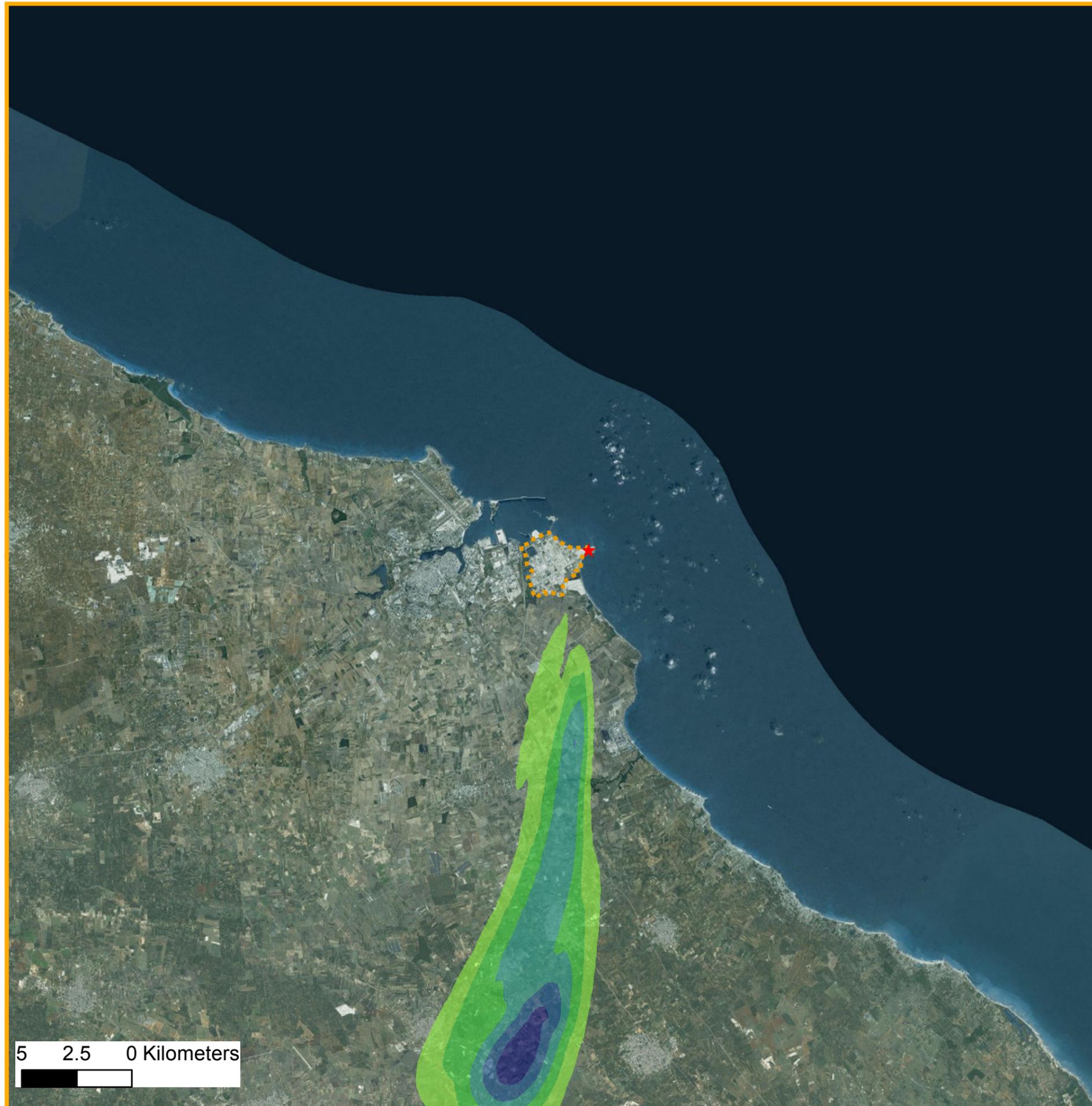
Periodo di mediazione:  
**24-25 nov. 2015**

Statistica:  
**massimo orario**

**Tavola\_23**

\_Giugno 2016



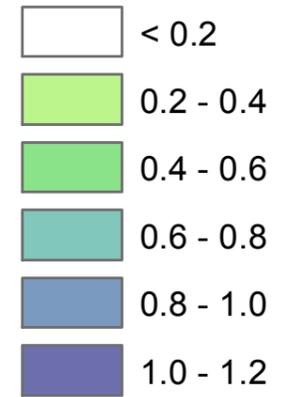


## Legenda

 Confine dell'impianto

 Torcia RV101C

### Ricadute ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )



ENI – Stabilimento Versalis di Brindisi

**AECOM**



versalis

ENI – Stabilimento Versalis di Brindisi

Stima degli impatti delle emissioni in atmosfera

Inquinante: **Butene**

Valore limite: **5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$**   
imposto sul Benzene e calcolato sulla media annua

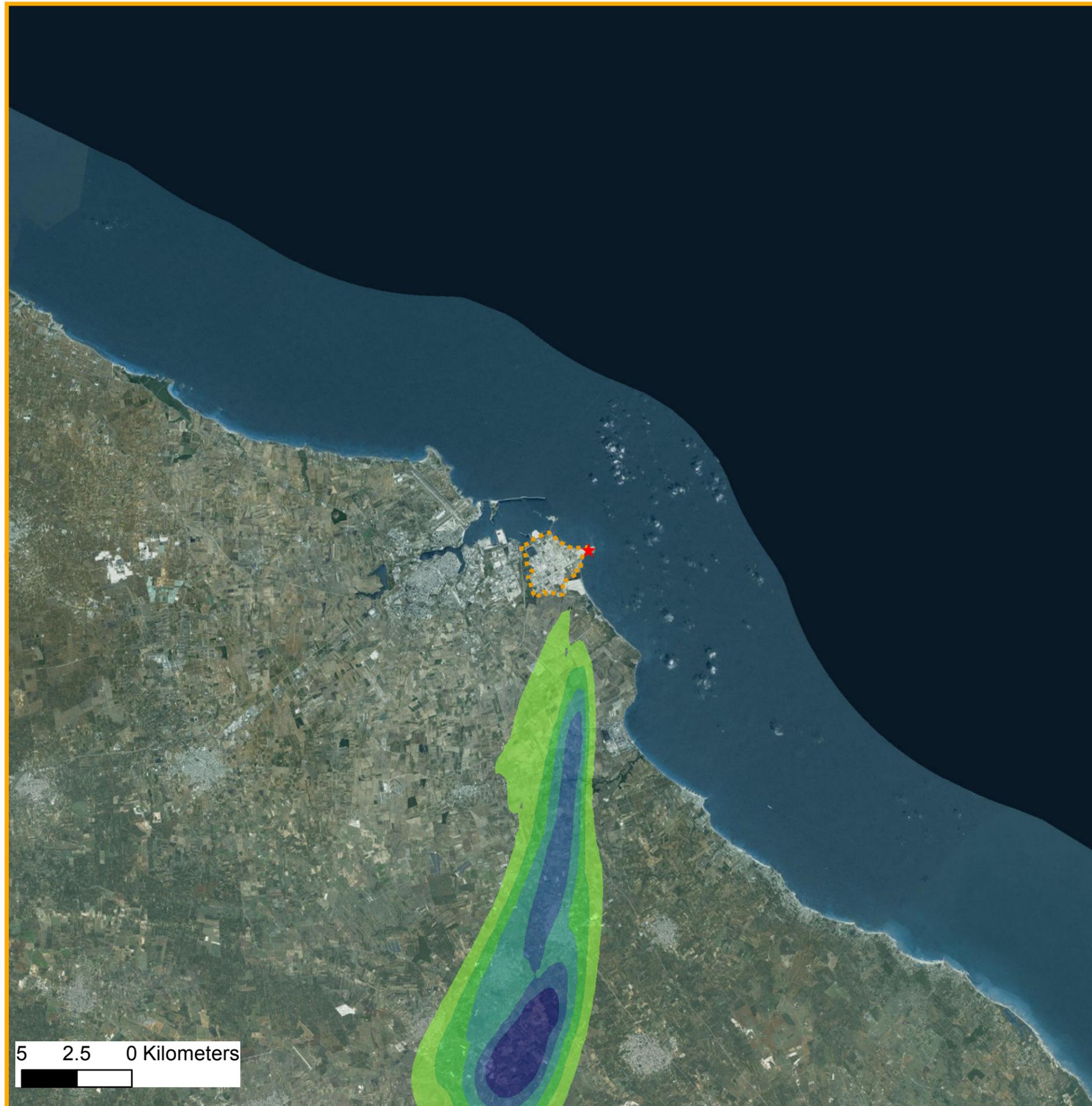
Periodo di mediazione:  
**24-25 nov. 2015**

Statistica:  
**massimo orario**

**Tavola\_24**

\_Giugno 2016



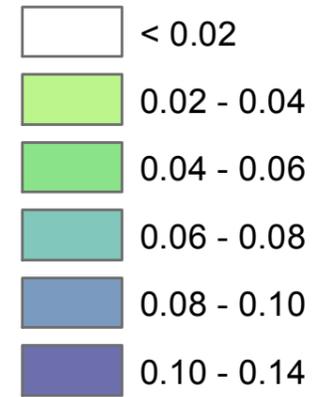


## Legenda

 Confine dell'impianto

 Torcia RV101C

### Ricadute ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )



ENI – Stabilimento Versalis di Brindisi

**AECOM**



ENI – Stabilimento Versalis di Brindisi

Stima degli impatti delle emissioni in atmosfera

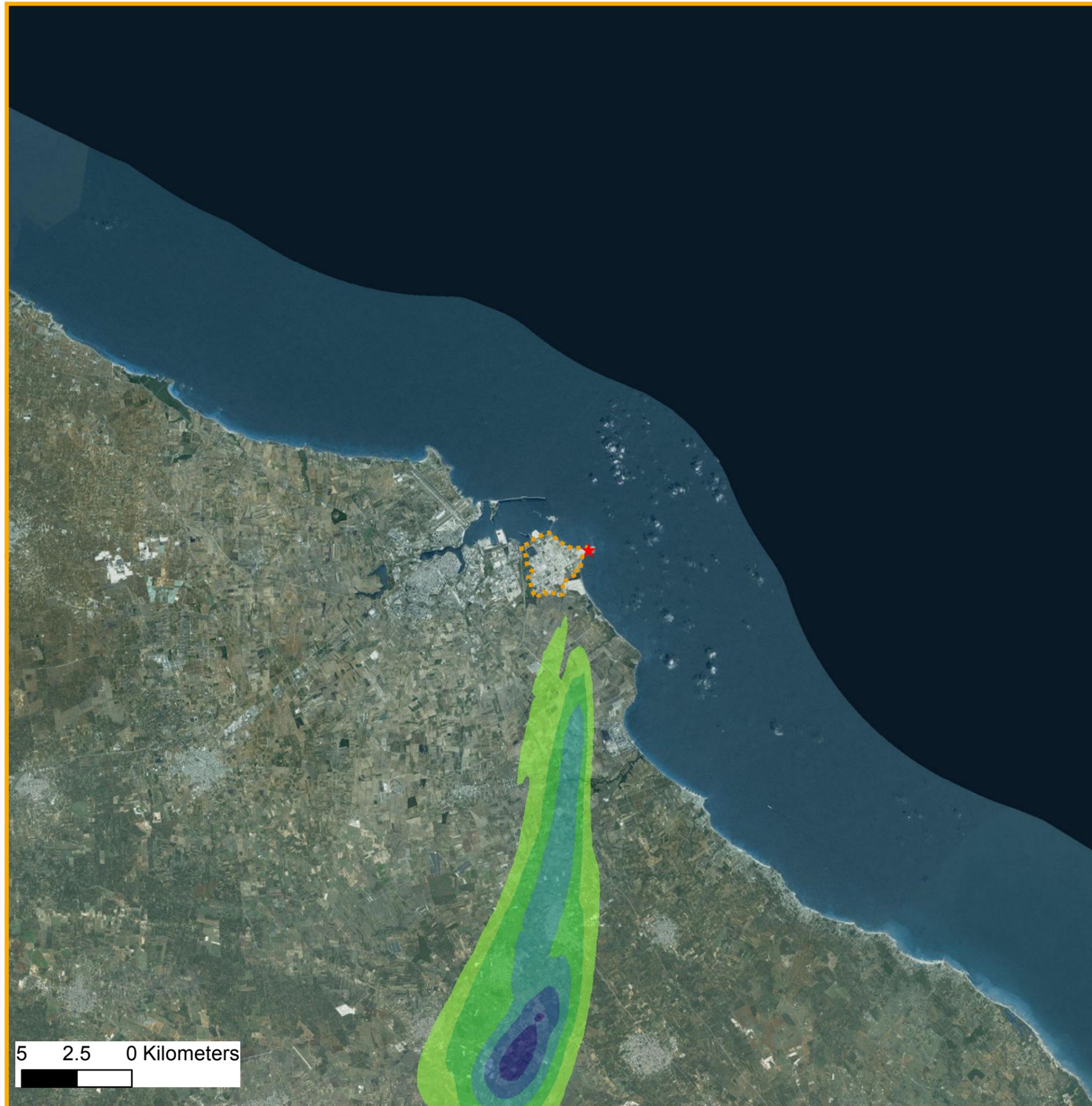
Inquinante: <b>Butano</b>	Valore limite: <b>5 <math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math></b> <small>imposto sul Benzene e calcolato sulla media annua</small>
---------------------------	---

Periodo di mediazione: <b>24-25 nov. 2015</b>	Statistica: <b>massimo orario</b>
--	--------------------------------------

**Tavola\_25**

\_Giugno 2016



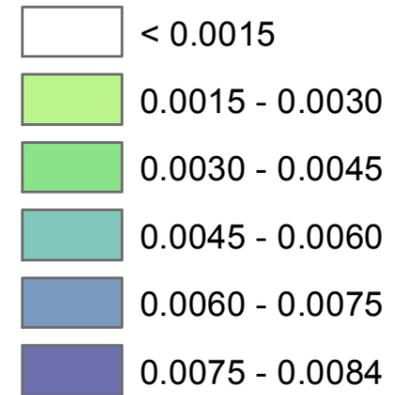


## Legenda

 Confine dell'impianto

 Torcia RV101C

### Ricadute ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )



ENI – Stabilimento Versalis di Brindisi

**AECOM**



versalis

ENI – Stabilimento Versalis di Brindisi

Stima degli impatti delle emissioni in atmosfera

Inquinante: **Acetilene**

Valore limite: **5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$**   
imposto sul Benzene e calcolato sulla media annua

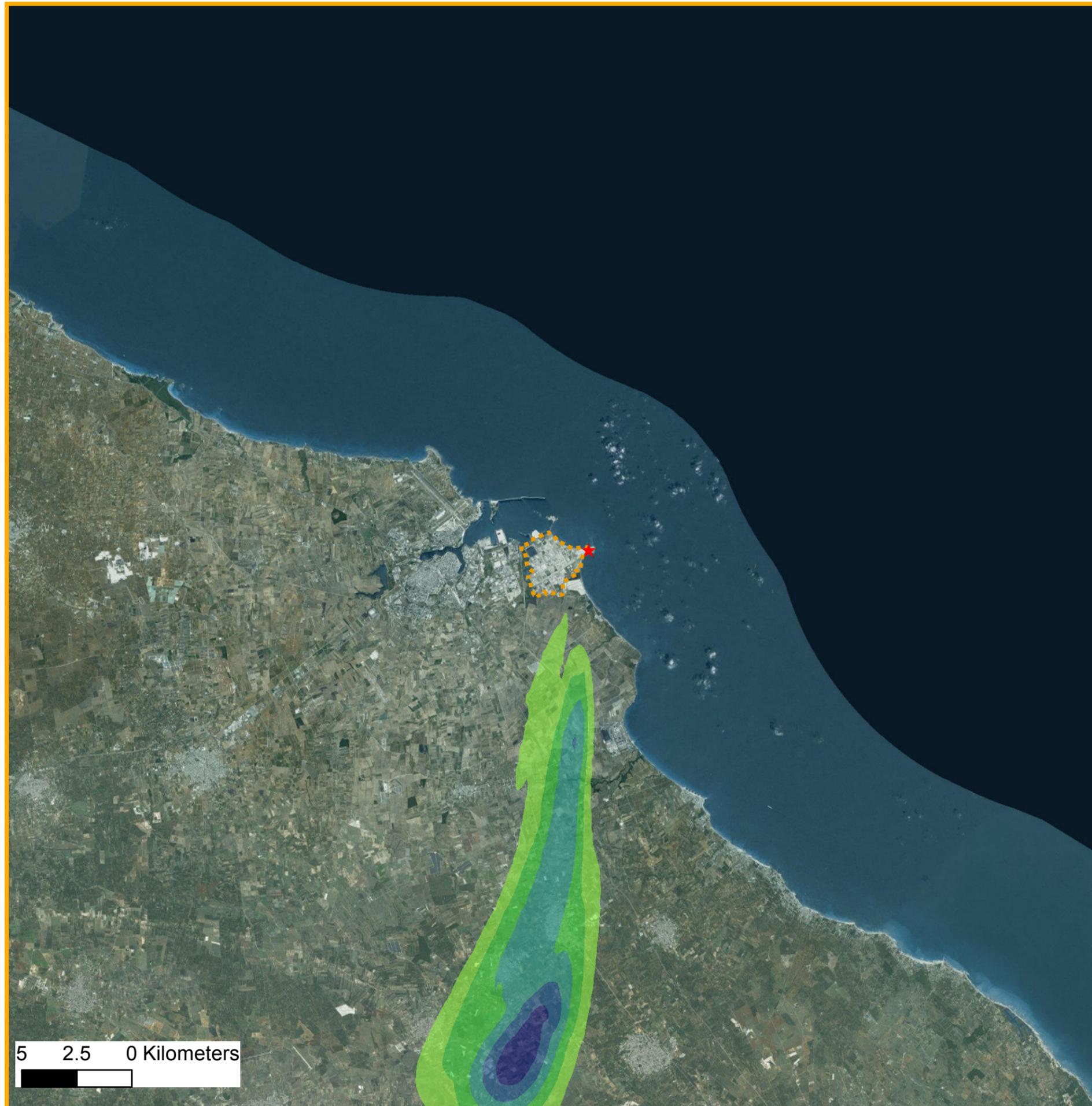
Periodo di mediazione:  
**24-25 nov. 2015**

Statistica:  
**massimo orario**

**Tavola\_26**

\_Giugno 2016



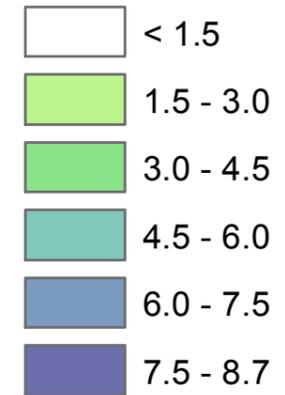


## Legenda

 Confine dell'impianto

 Torcia RV101C

### Ricadute ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )



ENI – Stabilimento Versalis di Brindisi

**AECOM**



ENI – Stabilimento Versalis di Brindisi

Stima degli impatti delle emissioni in atmosfera

Inquinante: **Propilene**

Valore limite: **5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$**   
imposto sul Benzene e calcolato sulla media annua

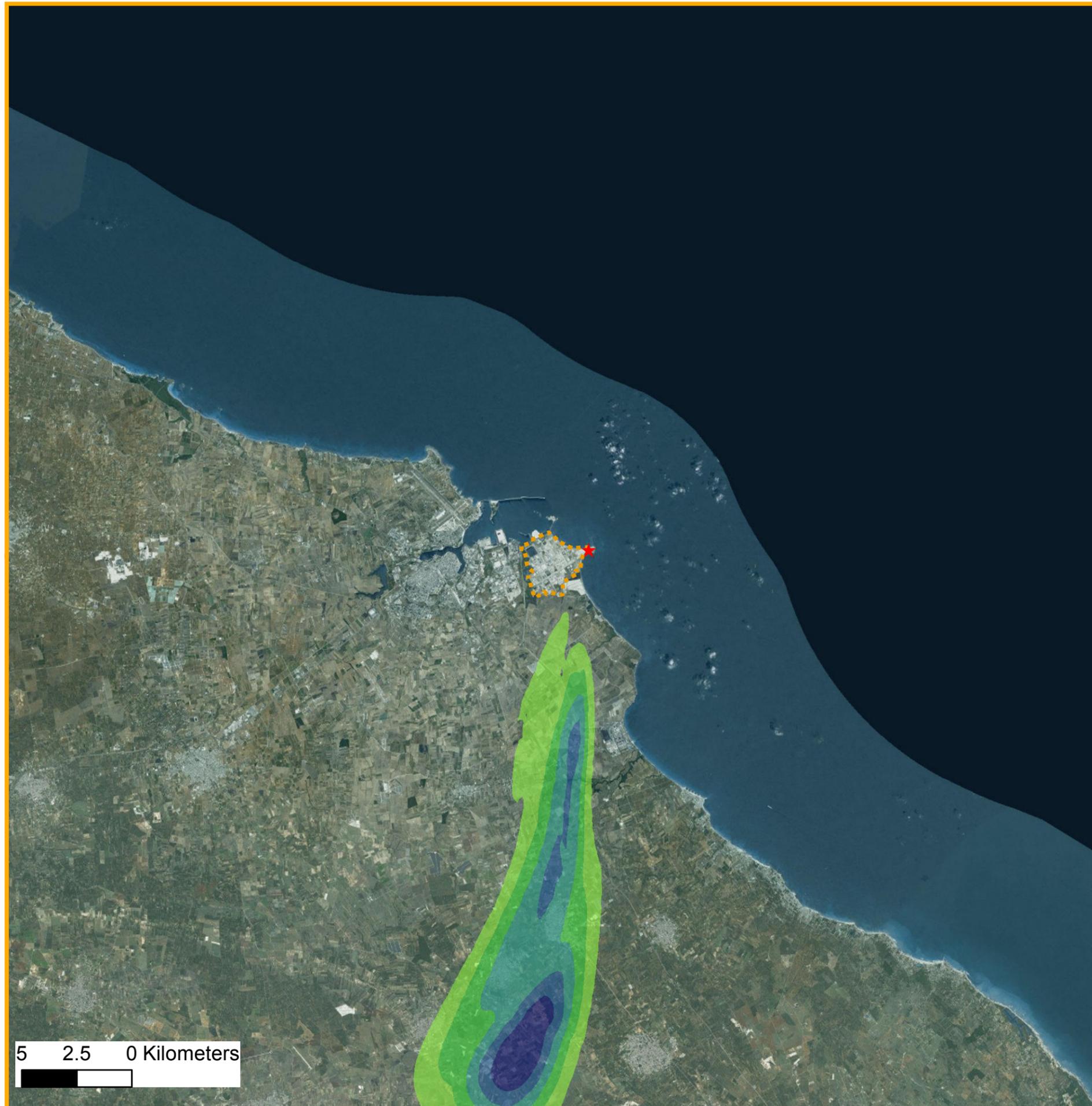
Periodo di mediazione:  
**24-25 nov. 2015**

Statistica:  
**massimo orario**

**Tavola\_27**

\_Giugno 2016



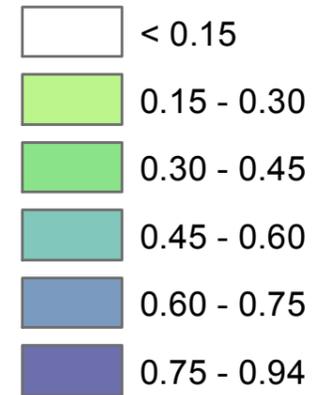


## Legenda

 Confine dell'impianto

 Torcia RV101C

### Ricadute ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )



ENI – Stabilimento Versalis di Brindisi

**AECOM**



ENI – Stabilimento Versalis di Brindisi

Stima degli impatti delle emissioni in atmosfera

Inquinante: **Propano**

Valore limite: **5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$**   
imposto sul Benzene e calcolato sulla media annua

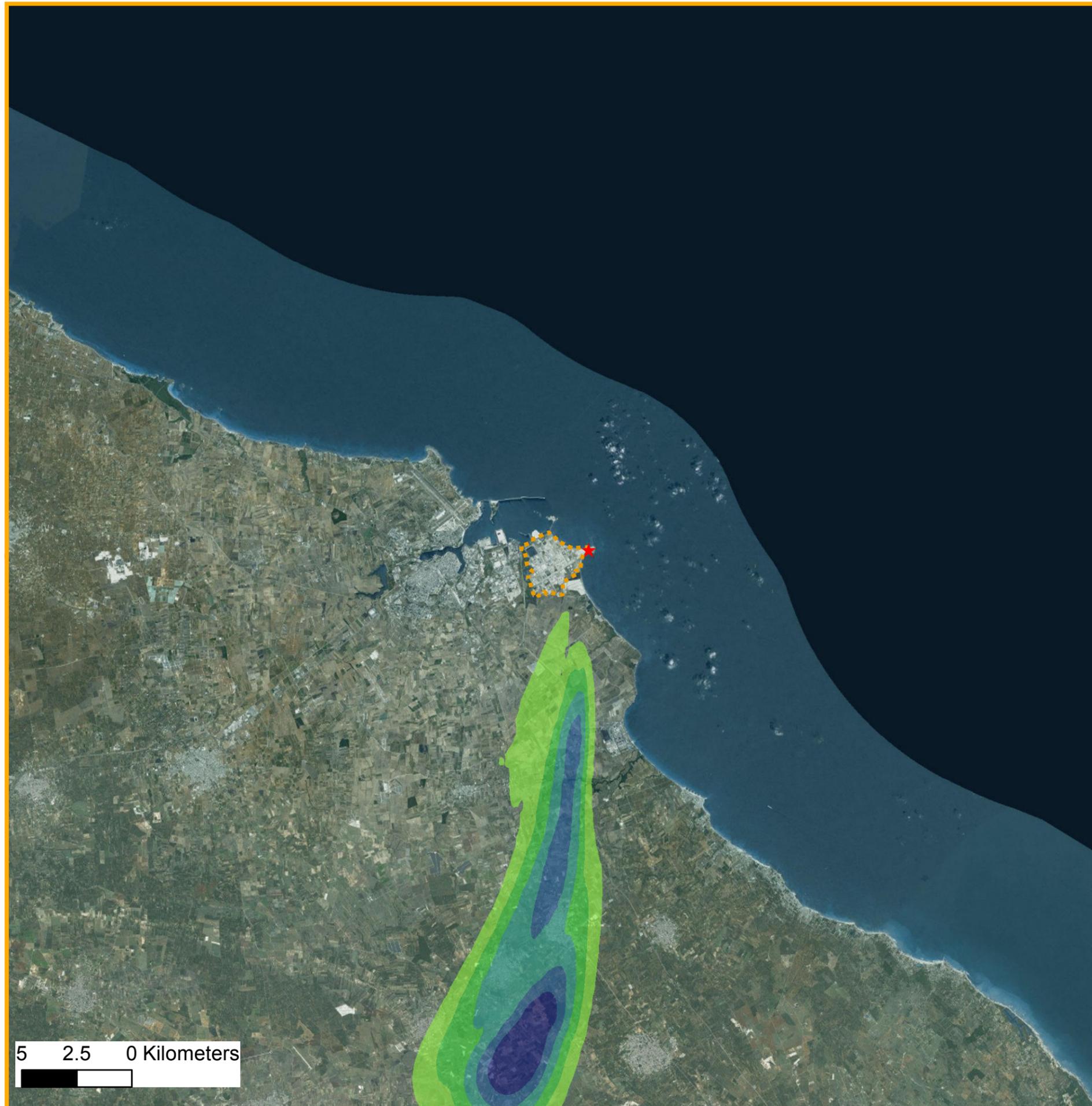
Periodo di mediazione:  
**24-25 nov. 2015**

Statistica:  
**massimo orario**

**Tavola\_28**

\_Giugno 2016



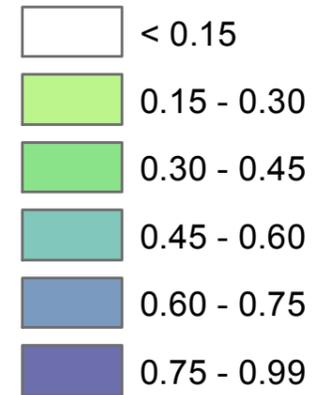


## Legenda

 Confine dell'impianto

 Torcia RV101C

### Ricadute ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )



ENI – Stabilimento Versalis di Brindisi

**AECOM**



versalis

ENI – Stabilimento Versalis di Brindisi

Stima degli impatti delle emissioni in atmosfera

Inquinante: **Etano**

Valore limite: **5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$**   
imposto sul Benzene e calcolato sulla media annua

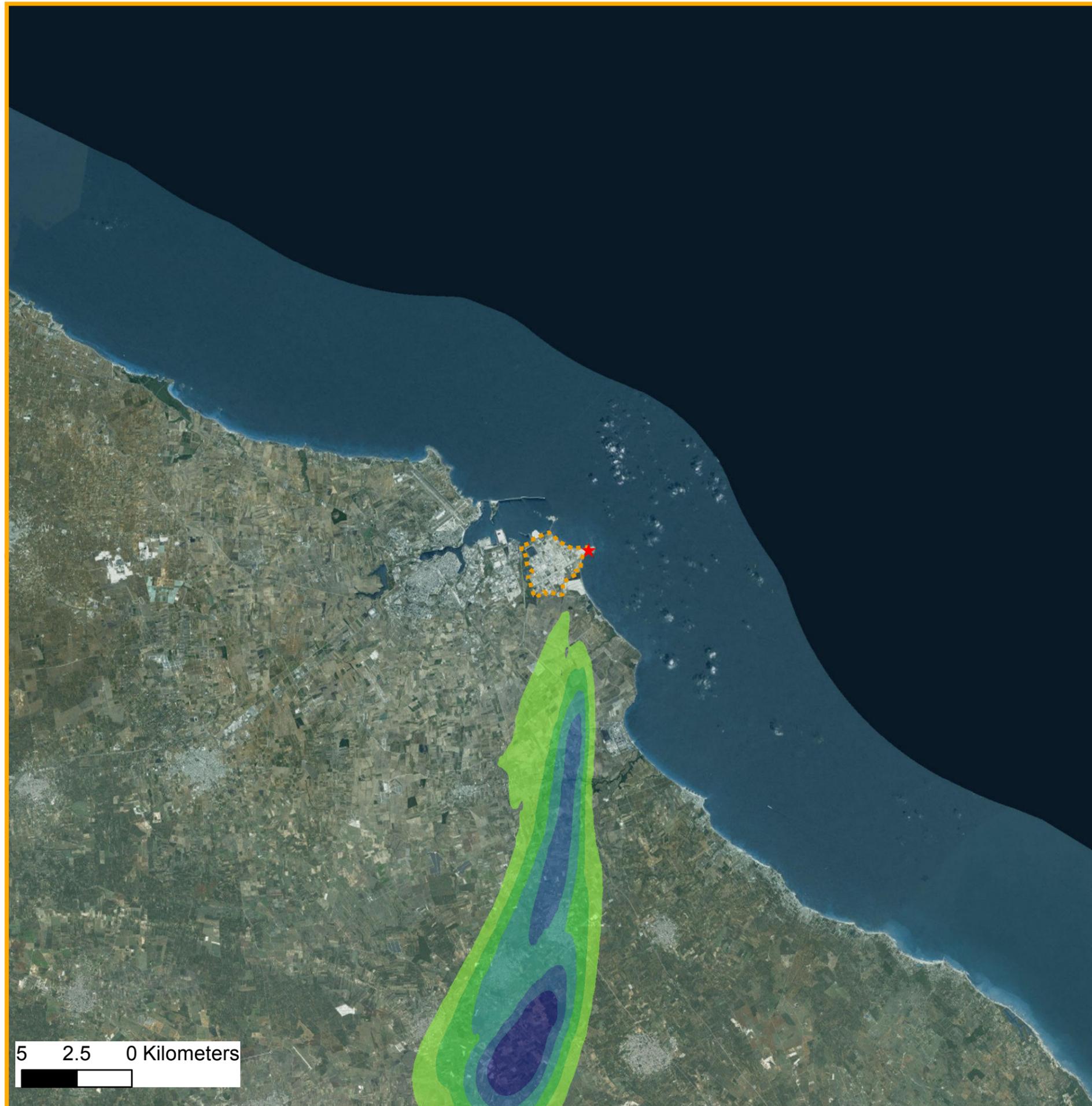
Periodo di mediazione:  
**24-25 nov. 2015**

Statistica:  
**massimo orario**

**Tavola\_29**

\_Giugno 2016



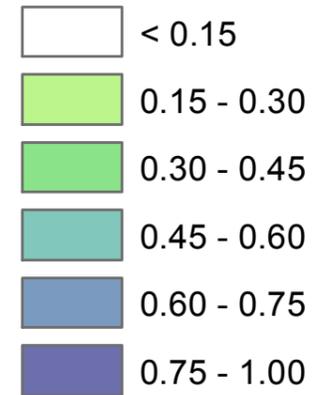


## Legenda

 Confine dell'impianto

 Torcia RV101C

### Ricadute ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )



ENI – Stabilimento Versalis di Brindisi

**AECOM**



ENI – Stabilimento Versalis di Brindisi

Stima degli impatti delle emissioni in atmosfera

Inquinante: **Metano**

Valore limite: **5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$**   
imposto sul Benzene e calcolato sulla media annua

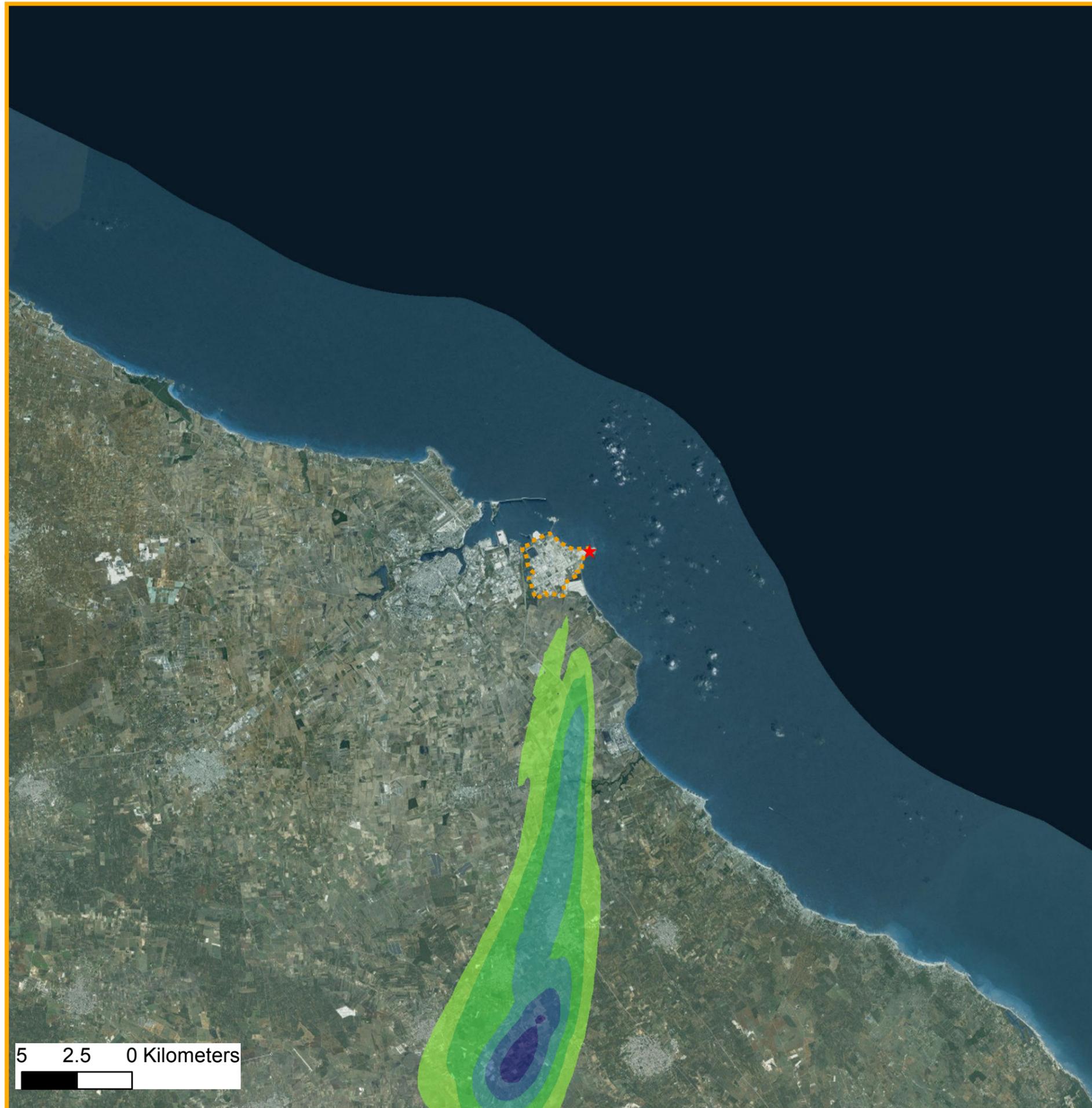
Periodo di mediazione:  
**24-25 nov. 2015**

Statistica:  
**massimo orario**

**Tavola\_30**

\_Giugno 2016



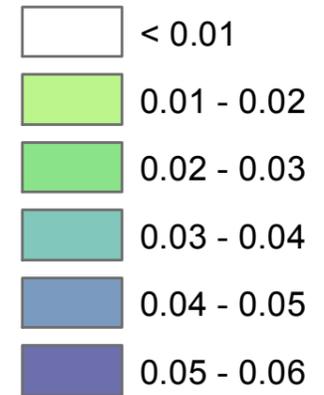


## Legenda

 Confine dell'impianto

 Torcia RV101C

### Ricadute ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )



ENI – Stabilimento Versalis di Brindisi

**AECOM**



ENI – Stabilimento Versalis di Brindisi

Stima degli impatti delle emissioni in atmosfera

Inquinante: **Allene**

Valore limite: **5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$**   
imposto sul Benzene e calcolato sulla media annua

Periodo di mediazione:  
**24-25 nov. 2015**

Statistica:  
**massimo orario**

**Tavola\_31**

\_Giugno 2016

