



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

E.prot DVA – 2015 – 0032284 del 24/12/2015

Brindisi, 22/12/2015
Prot. n. DIRE/U/001795

versalis

Stabilimento di Brindisi

Via E. Fermi, 4

72100 Brindisi - Italia

Tel. centralino +39 08315701

stabilimento.brindisi@versalis.eni.com

Direzione e Uffici Amministrativi

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

Tel. centralino: +39 02 5201

www.versalis.eni.com - info@versalis.eni.com

Spett. le

Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale (ISPRA)

via Vitaliano Brancati, n°48

CAP 00144 - Roma

protocollo.ispra@ispra.legalmail.it

E p.c.

Ministero dell'Ambiente e della
Tutela del Territorio e del Mare

Direzione Generale per le Valutazioni Ambientali

via C. Colombo, n°44

CAP 00147 - Roma

Fax 06 - 57223040

aia@pec.minambiente.it

ARPA Puglia- Direzione generale di Bari
Corso Trieste, n° 27

CAP 70726 - Bari

dir.scientifica.arpapuglia@pec.rupar.puglia.it

ARPA Puglia D.A.P di Brindisi

via Galanti, n° 16

CAP 72100 - Brindisi

dap.br.arpapuglia@pec.rupar.puglia.it

Oggetto: Riscontro in merito alla nota ISPRA nr. 48112 del 28 ottobre 2015 avente come oggetto 'Nota prot. DIRE/U/001727 del 03/09/2015 (acquisita con prott. ISPRA 38599 del 03/09/2015 e 38600 del 03/09/2015)'

Con la comunicazione di cui in oggetto, ISPRA richiede al Gestore che siano trasmessi agli Enti di Controllo

- [QUESITO 1] *un nuovo studio modellistico finalizzato alla valutazione degli effetti ambientali dell'evento effettuato utilizzando idonei modelli di simulazione (non stazionari a puff o 3D lagrangiani a particelle), nel quale:*
 - *sia effettuata una valutazione con riferimento all'intera durata dello sfiaccolamento;*
 - *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;*
 - *anche al fine di garantire una stima di impatto conservativa, siano utilizzati fattori di emissione coerenti con uno sfiaccolamento in modalità 'non smokeless';*



versalis spa

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

Capitale sociale interamente versato: Euro 1.553.400.000,00

Codice Fiscale e registro Imprese di Milano 03823300821

Part. IVA IT 01768800748

R.E.A. Milano n. 1351279

Società soggetta all'attività di direzione

e coordinamento di Enti S.p.A.

Società con socio unico



versalis

Stabilimento di Brindisi

Via E. Fermi, 4

72100 Brindisi - Italia

Tel. centralino +39 08315701

stabilimento.brindisi@versalis.eni.com

Direzione e Uffici Amministrativi

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

Tel. centralino: +39 02 5201

www.versalis.eni.com - info@versalis.eni.com

Con riferimento a quanto già comunicato con nota DIRE/U/001781 del 25/11/2015 si allegano alla presente:

- 1) Lo studio modellistico finalizzato alla valutazione degli effetti ambientali dell'evento valutando le ricadute delle emissioni della torcia RV101C durante lo scarico del 02/07 nei seguenti casi:
 - o Sviluppo dello scenario sulla base di quanto richiesto ([...] *emissione massica di incombusti pari ad almeno il 2% del quantitativo inviato in torcia* [...]);
 - o Calcolo delle ricadute delle emissioni utilizzando come input i dati di output (composizioni incombusti ed efficienza di combustione) determinati dal fornitore del tip nelle condizioni più gravose di marcia durante l'evento del 2 luglio ;
- 2) Lo studio di fluidodinamica mediante l'utilizzo di software CFD (Computational Fluid Dynamics) alla ditta fornitrice del tip di torcia (Fives ITAS S.p.A) per la valutazione dell'efficienza di combustione in tre diversi assetti della torcia RV-101-C registrati nel corso dell'evento del 02.07/2015.

Rimanendo a disposizione per qualsiasi eventuale chiarimento si rendesse necessario, si porgono

Distinti saluti.

Versalis
Stabilimento di Brindisi
Direttore di Stabilimento

versalis spa

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

Capitale sociale interamente versato: Euro 1.553.400.000,00

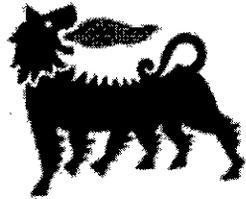
Codice Fiscale e registro Impresa di Milano 03823300821

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



eni

versalis

**Studio modellistico per la
valutazione degli effetti sulla qualità
dell'aria dell'evento di torcia
RV101C del 2-3 luglio 2015**

URS Job # 46324906

Preparato per:

Versalis S.p.A. – Stabilimento di Brindisi

INDICE

Sezione	N° di Pag.
1. PREMESSA	3
2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE E PUNTO DI EMISSIONE	4
2.1. Impianto Versalis di Brindisi.....	4
2.1. Torcia RV-101C (punto di emissione E53).....	4
3. STIMA EMISSIONI E VALUTAZIONE IMPATTO SULLA QUALITA' DELL'ARIA	6
3.1. Catena modellistica adottata	6
3.2. Ricostruzione input meteorologico.....	7
3.2.1. Il modello Weather Research and Forecasting (WRF)	7
3.2.2. Il modello CALMET	9
3.2.3. Validazione del campo meteorologico tridimensionale	13
3.2.1. Condizioni meteorologiche del 2-3 luglio	16
3.2.2. Rosa dei venti presso l'impianto durante il funzionamento della torcia	18
3.3. Dispersione degli inquinanti in atmosfera	20
3.3.1. Il modello CALPUFF	20
3.3.2. Input emissivo (torcia RV-101C)	21
3.3.3. Dominio di simulazione e griglia dei recettori.....	24
3.3.4. Stima impatto sulla qualità dell'aria.....	24
4. CONCLUSIONI	28
BIBLIOGRAFIA.....	29
ALLEGATO 1: RAPPORTO DI PROVA N. 399/15	31

1. PREMESSA

In data 2 luglio 2015, alle ore 18.48 circa, si verificava il blocco del compressore di processo K-2001 A/B dell'impianto Steam Cracking P1CR per l'attivazione della relativa logica di blocco di sicurezza. L'impianto è stato quindi posto in sicurezza nelle previste condizioni di fermata di emergenza, in conformità alle procedure ed ai manuali operativi, con conseguente attivazione della torcia di emergenza RV-101C.

Il presente studio riporta la valutazione della ricadute degli inquinanti associate a tale evento di torcia e recepisce le osservazioni presentate dall'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA) con Nota nr. 48112 del 28 ottobre 2015:

- il modello di dispersione adottato è non stazionario a puff,
- l'emissione massica degli incombusti è ipotizzata pari al 2% del quantitativo inviato in torcia,
- sono stati utilizzati i fattori di emissione coerenti con uno sfiaccolamento in modalità "non smokeless".

E' stato considerato, inoltre, un secondo scenario che utilizza come input emissivi i risultati di un modello CFD (Computational Fluid Dynamics), costruito sulla base delle caratteristiche dell'evento del 2 luglio. Per maggiori informazioni si rimanda allo studio: "Analisi CFD: Calcolo dell'efficienza di combustione del terminale di torcia RV-101C".

2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE E PUNTO DI EMISSIONE

2.1. Impianto Versalis di Brindisi

L'impianto Versalis Spa 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 km², di cui l'impianto in oggetto ricopre una superficie di circa 3 km².

Figura 2-1: Localizzazione dell'impianto Versalis Spa (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...).

2.1. 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 H₂O, 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).

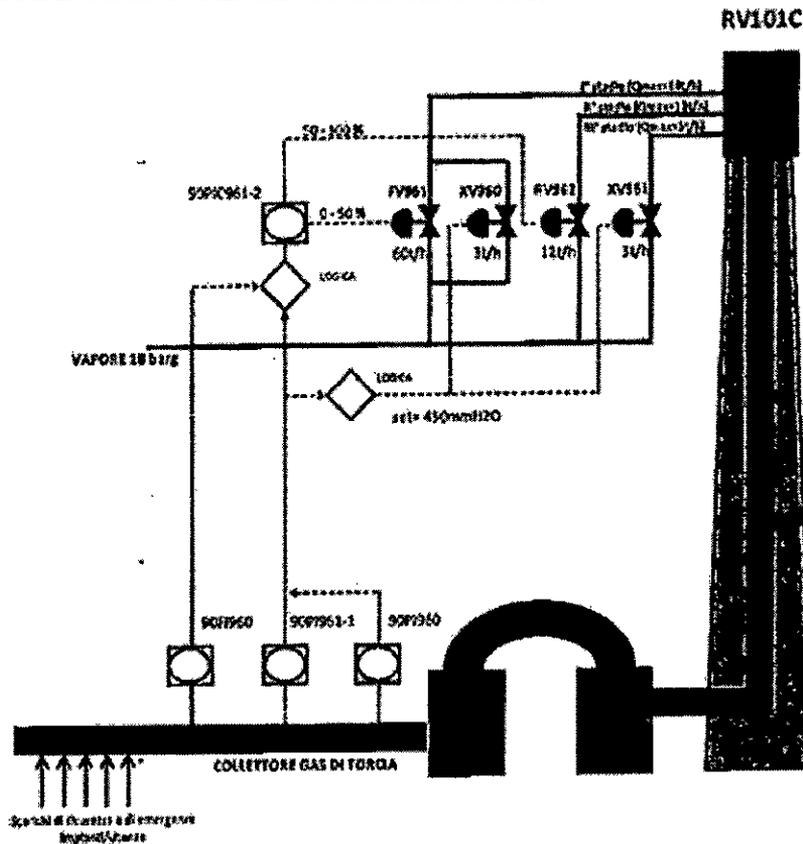
L'affidabilità del sistema di accensione della torcia RV 101/C è garantita dall'installazione di 4 piloti alimentati da Fuel Gas di Stabilimento o in alternativa da gas Metano (rete Snam). I piloti sono allarmati per mancanza fiamma.

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.



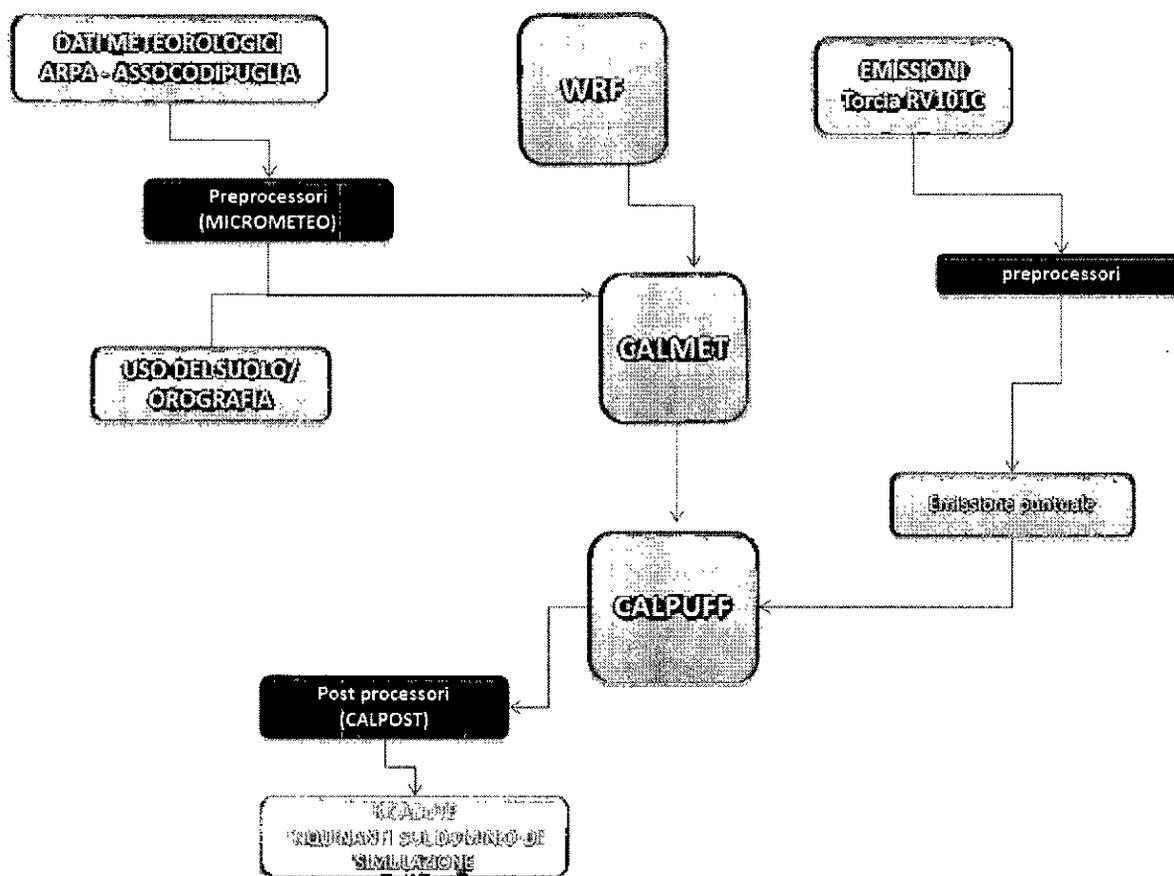
3. STIMA EMISSIONI E VALUTAZIONE IMPATTO SULLA QUALITA' DELL'ARIA

3.1. Catena modellistica adottata

L'obiettivo di valutare l'impatto ambientale, in termini di inquinamento prodotto dall'evento di torcia del 2-3 luglio 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.

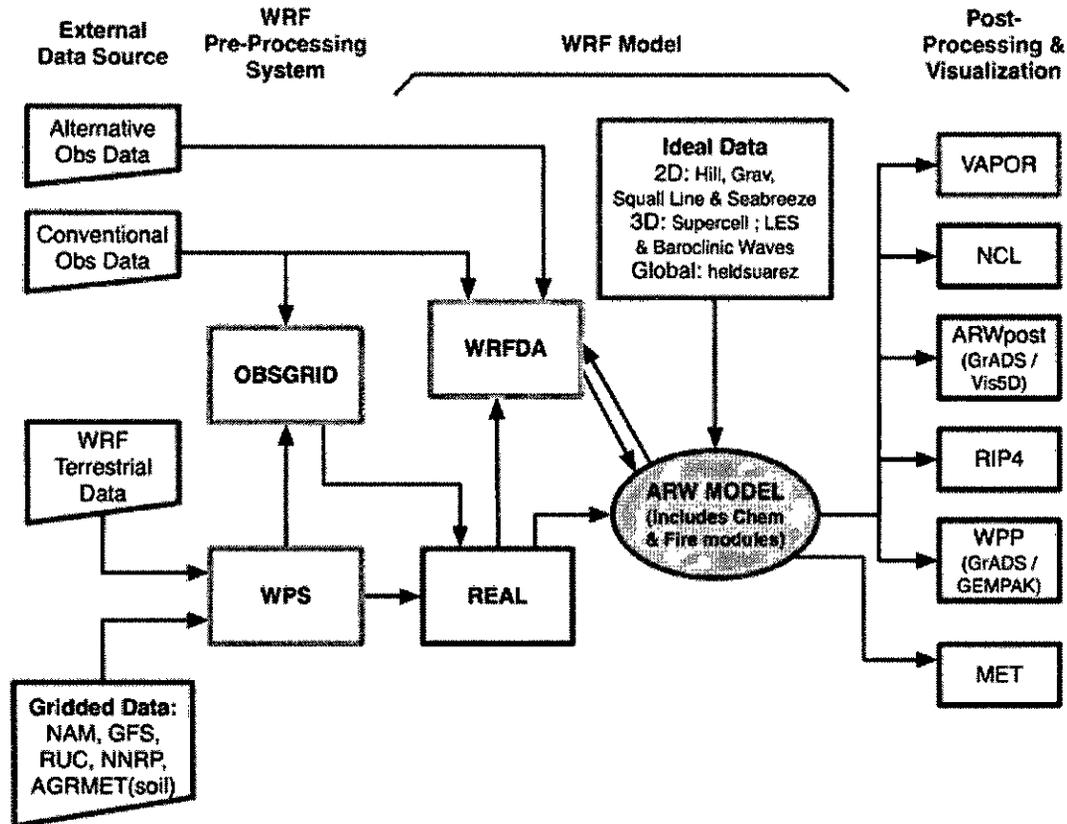
Lo sviluppo di WRF è stato il risultato di una collaborazione principalmente tra il National Center for Atmospheric Research (NCAR), il National Oceanic and Atmospheric Administration, il Forecast System Laboratory (FSL), la Air Force Weather Agency (AFWA), il Naval Research Laboratory, la University 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 ricercatori¹.

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.

¹ Per maggiori informazioni sul modello WRF consultare il sito: www.wrf-model.org

Figura 3-2: Catena modellistica relativa al modello WRF.

WRF Modeling System Flow Chart



- 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 Spa di Brindisi (Figura 3-3). I valori iniziali e al contorno sono stati estrapolati da vari modelli meteorologici globali. In Tabella 3-1 è riportata una descrizione dettagliata di questi dati.

Tabella 3-1: Modelli meteorologici globali utilizzati nella simulazione WRF.

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

3.2.2. 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)

e 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.

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 3-2: 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 ²]	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 geoide 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 CALPUFF² 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, e di Mesagne Moccari, della rete Agrometeo, sono state impiegate per la calibrazione del modello CALMET. Sono state analizzate tali stazioni, in quanto localizzate nei pressi dell'impianto oggetto di studio e rappresentative del campo anemologico dell'area. Per la validazione del campo meteorologico è stata utilizzata la stazione di Torre Mozza, 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 utilizzata è riportata nelle 2 figure seguenti.

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

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

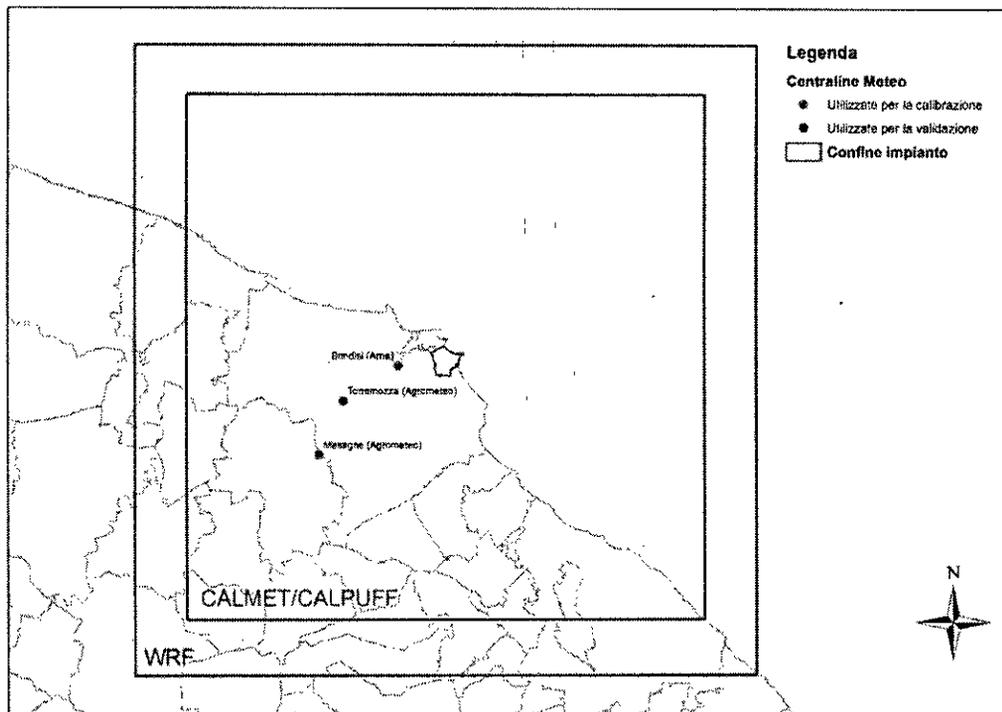
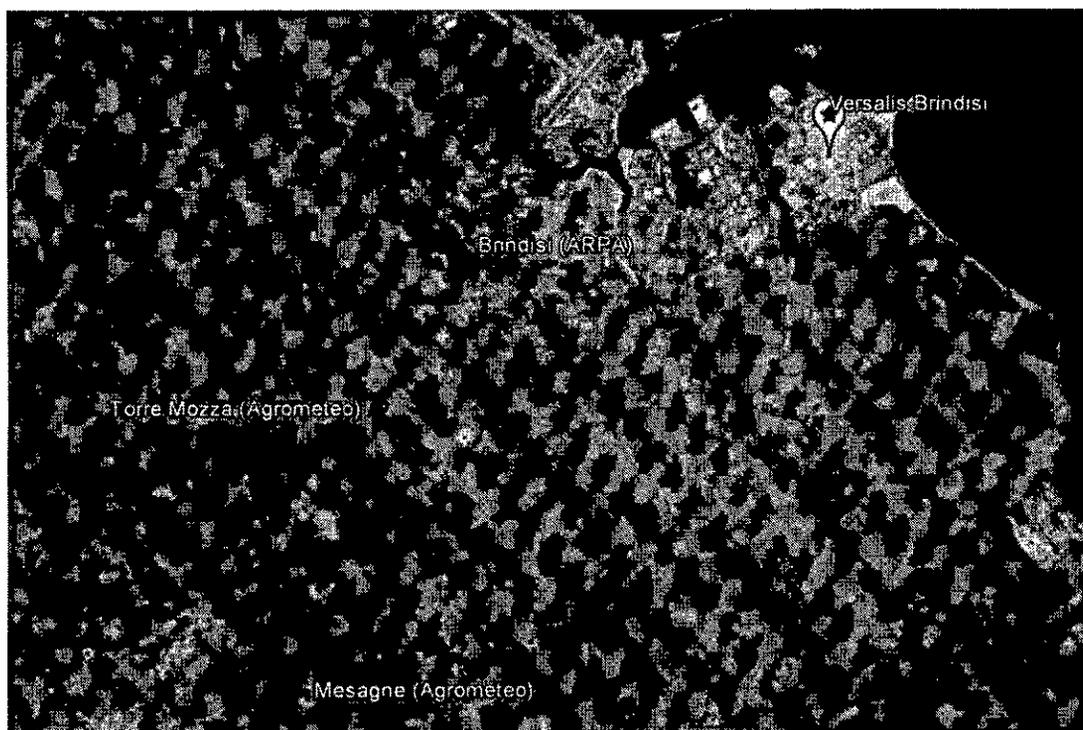


Figura 3-4: Localizzazione della centralina impiegata per la validazione del modello CALMET (Torre Mozza, in rosso) rispetto alle stazioni utilizzate nella fase di calibrazione (Brindisi ARPA e Mesagne Moccari, in verde); in azzurro è evidenziata l'ubicazione dell'impianto Versalis.

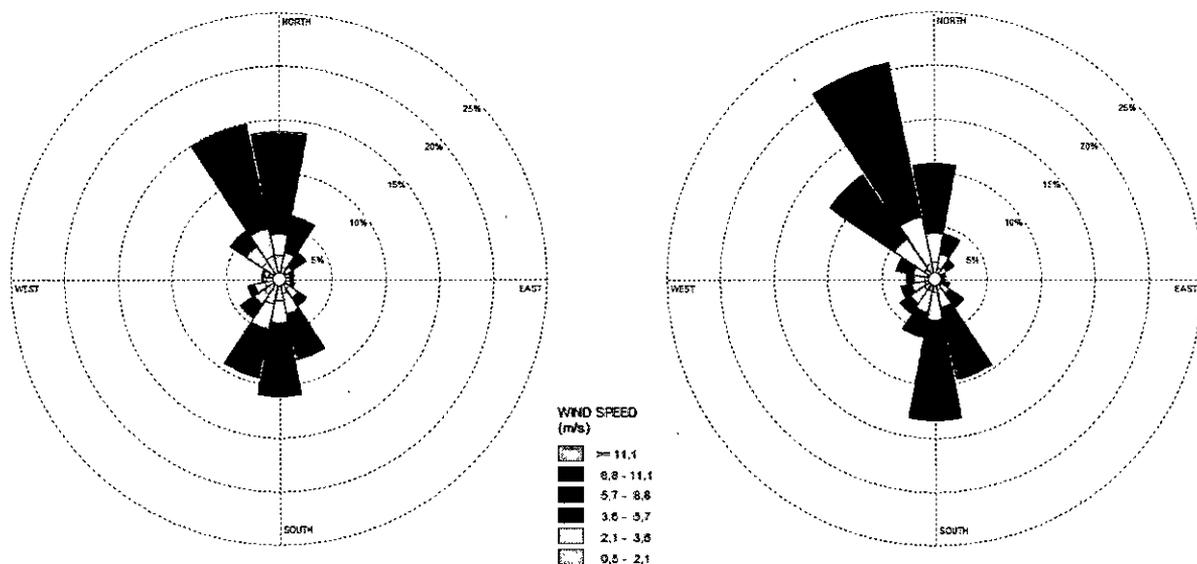


3.2.3. Validazione del campo meteorologico tridimensionale

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 Brindisi Torre Mozza (vedi Figura 3-4) e quella stimata dal modello in corrispondenza della medesima posizione per il periodo compreso tra l'1 gennaio 2014 e il 3 luglio 2015. La stazione di Brindisi Torre Mozza è stata utilizzata per la fase di validazione in quanto, oltre ad essere vicina all'impianto oggetto dello studio, si trova tra le due stazioni impiegate nella calibrazione (Brindisi ARPA e Mesagne Moccari).

In Figura 3-5 sono riportate le rose dei venti relative a Brindisi Torre Mozza; la rosa dei venti rilevata a sinistra, e la stima ottenuta con il modello CALMET a destra.

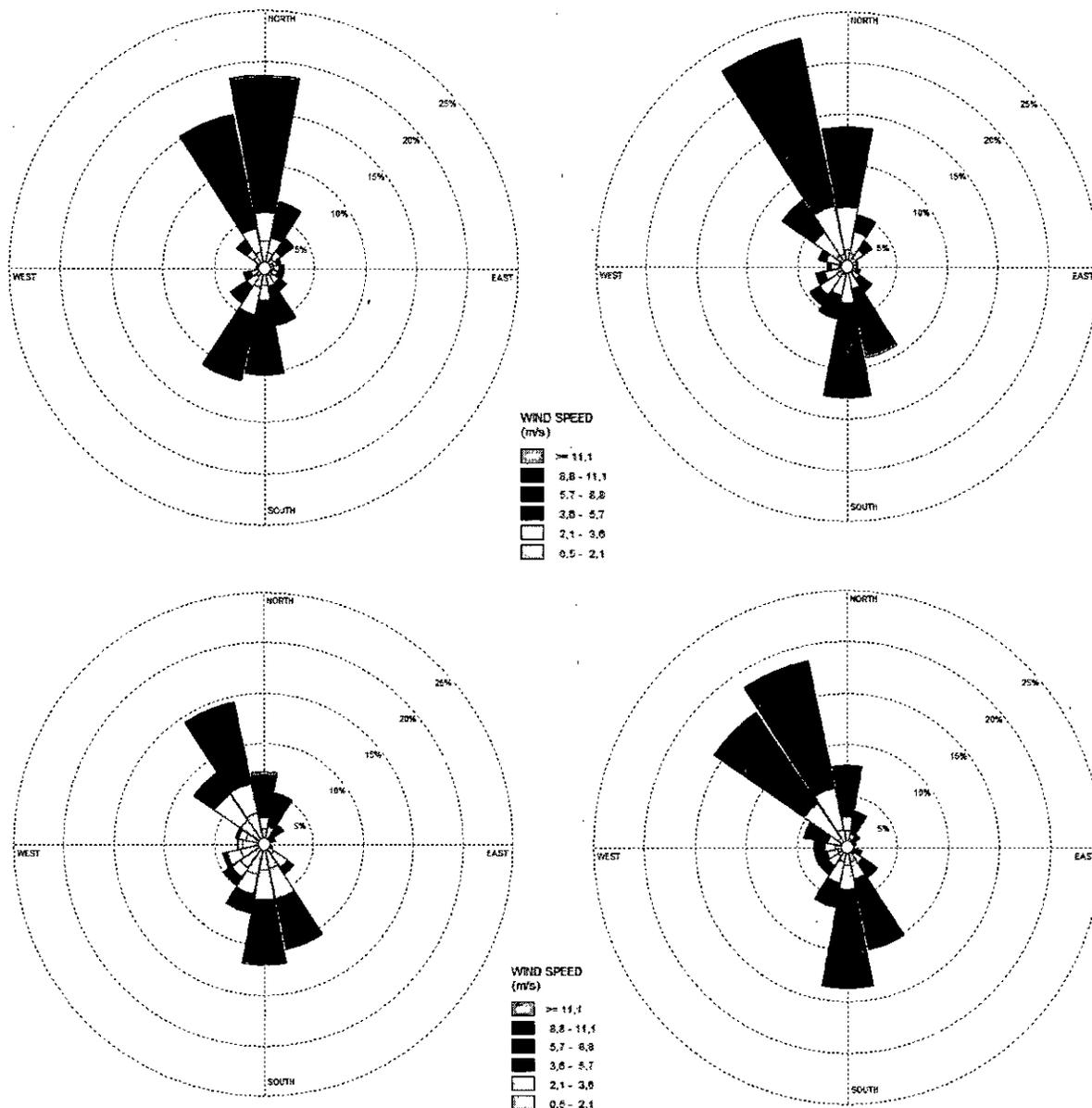
Figura 3-5: Rosa dei venti a Brindisi Torre Mozza relativa al periodo gennaio 2014 – luglio 2015; a sinistra la rosa misurata, a destra la stima del modello.



In termini di direzione prevalente di provenienza del vento, entrambe le rose individuano principalmente il Nord-Nord-Ovest, Nord e Sud.

È stato, inoltre, effettuato il confronto tra la rosa dei venti stimata e quella misurata nella centralina per le ore diurne (dalle 8 alle 20) e quelle notturne (dalle 20 alle 8), sempre con riferimento a Torre Mozza (Figura 3-6).

Figura 3-6: Rose dei venti per le ore diurne (sopra) e notturne (sotto) a Torre Mozza, misurate (sinistra) e stimate dal modello (destra).



Anche in questo caso il modello e la misura individuano globalmente le stesse caratteristiche anemologiche.

Per completezza, si riportano di seguito i confronti tra le rose dei venti rilevate e stimate dal modello anche per le stazioni di Brindisi ARPA e Mesagne Moccari utilizzate per la calibrazione del modello CALMET. Come si può osservare dalle figure, le rose dei venti stimate dal modello individuano le stesse direzioni di provenienza del vento e velocità rispetto a quelle rilevate nelle centraline.

Figura 3-7: Rosa dei venti a Brindisi ARPA relativa al periodo gennaio 2014 – luglio 2015; a sinistra la rosa misurata, a destra la stima del modello.

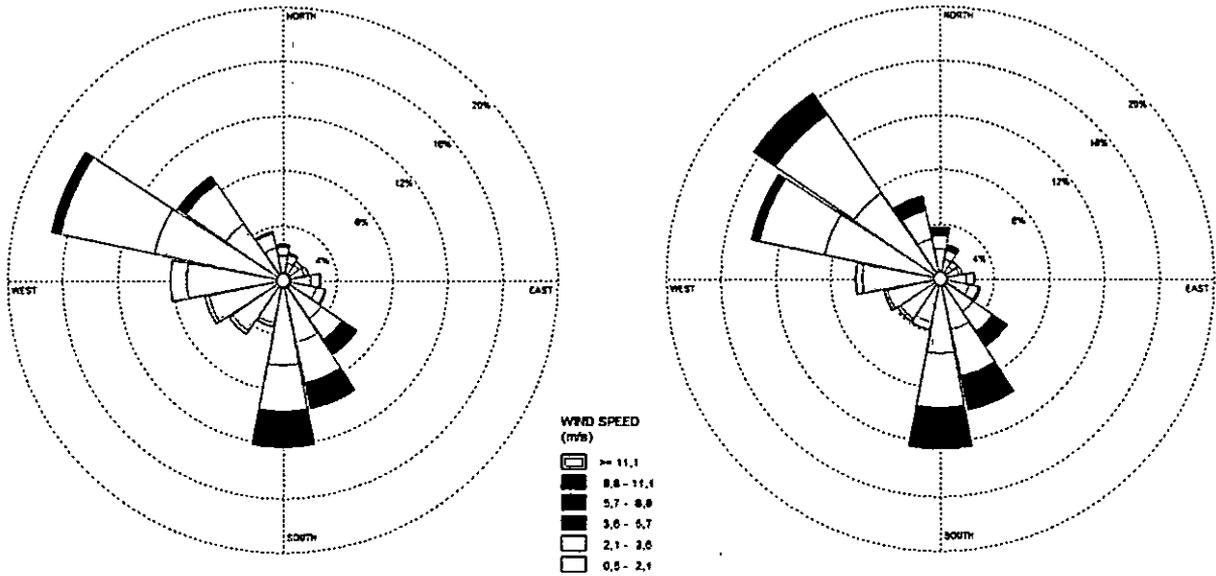
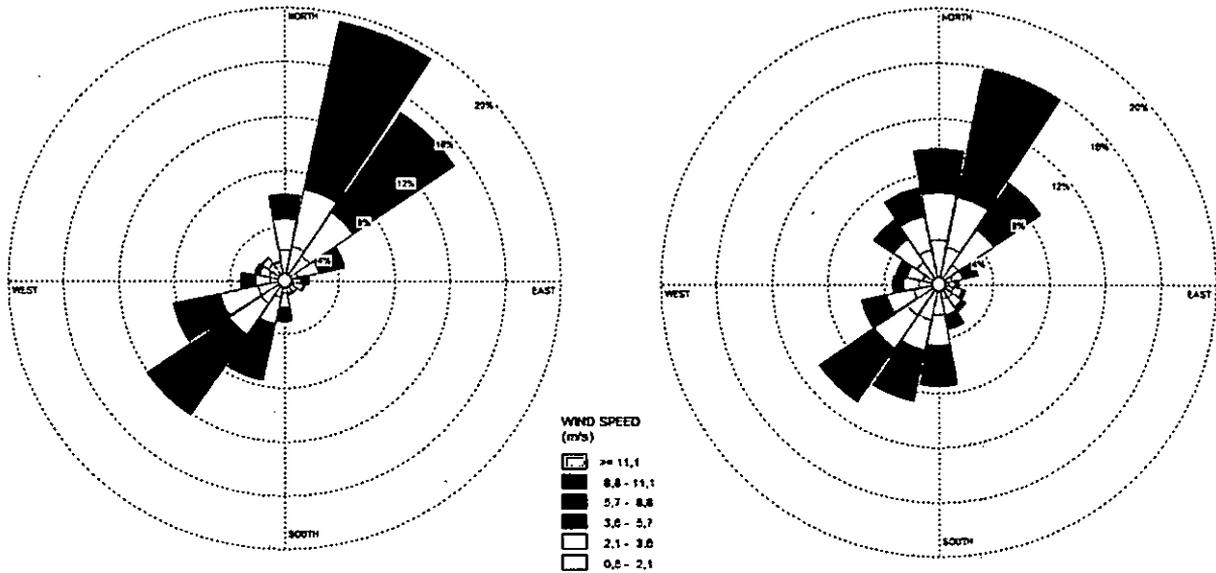


Figura 3-8: Rosa dei venti a Mesagne Moccari relativa al periodo gennaio 2014 – luglio 2015; a sinistra la rosa misurata, a destra la stima del modello.



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

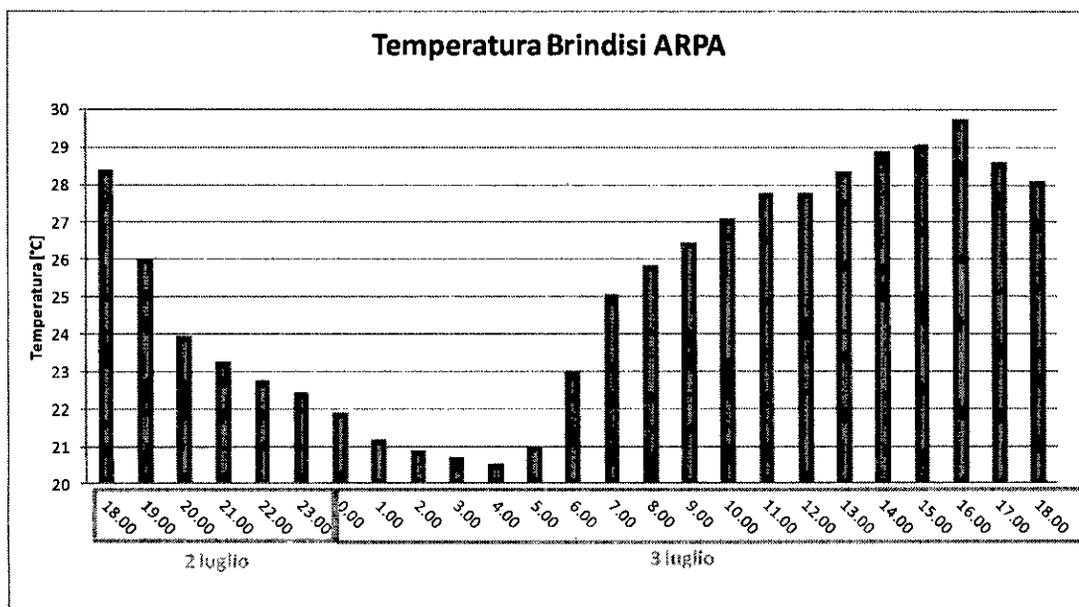
3.2.1. Condizioni meteorologiche del 2-3 luglio

Sono stati analizzati i dati meteorologici disponibili, relativi al periodo di simulazione compreso tra le ore 18:00 del 2 luglio e le ore 19:00 del 3 luglio 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 3-9, la temperatura si mantiene approssimativamente nell'intervallo 20-30°C, con una media di 25 °C, in linea con le condizioni medie stagionali.

Figura 3-9: Temperatura registrata tra le ore 18 del 2 luglio e le ore 19 del 3 luglio 2015 alla stazione di Brindisi della rete ARPA Puglia.



Per quanto concerne la precipitazione, i dati relativi alla stazione Brindisi ARPA mostrano l'assenza di pioggia nel periodo considerato.

In termini di radiazione solare globale nella stazione Brindisi ARPA, in Figura 3-10, si può osservare un andamento a campana con picco nelle ore centrali della giornata, quando si raggiungono circa 750 W/m².

Figura 3-10: Andamento della radiazione registrata tra le ore 18 del 2 luglio e le ore 19 del 3 luglio 2015 alla stazione di Brindisi della rete ARPA Puglia.

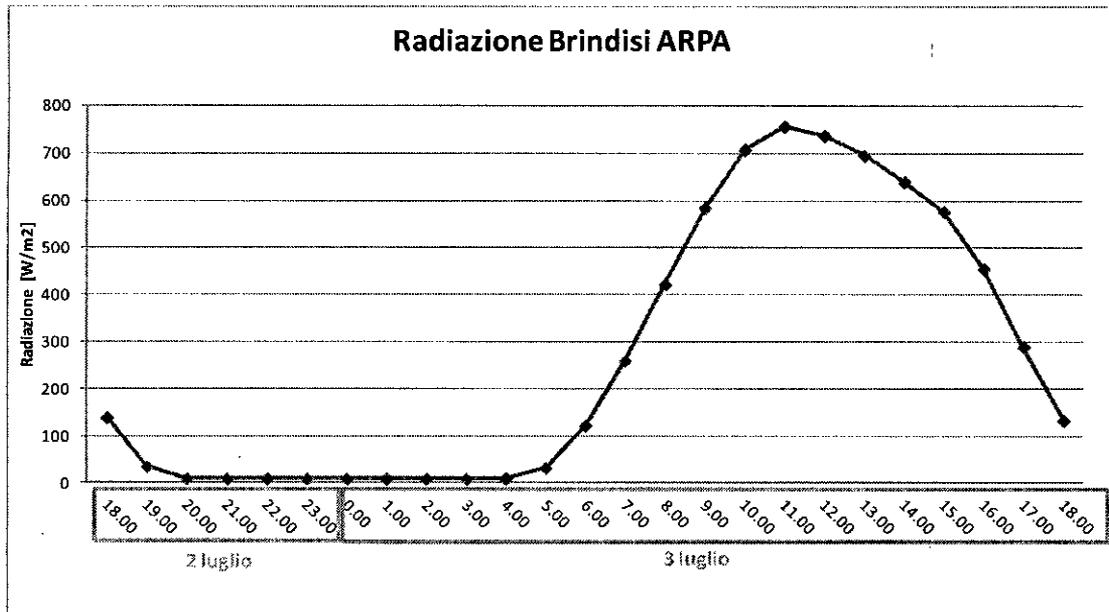
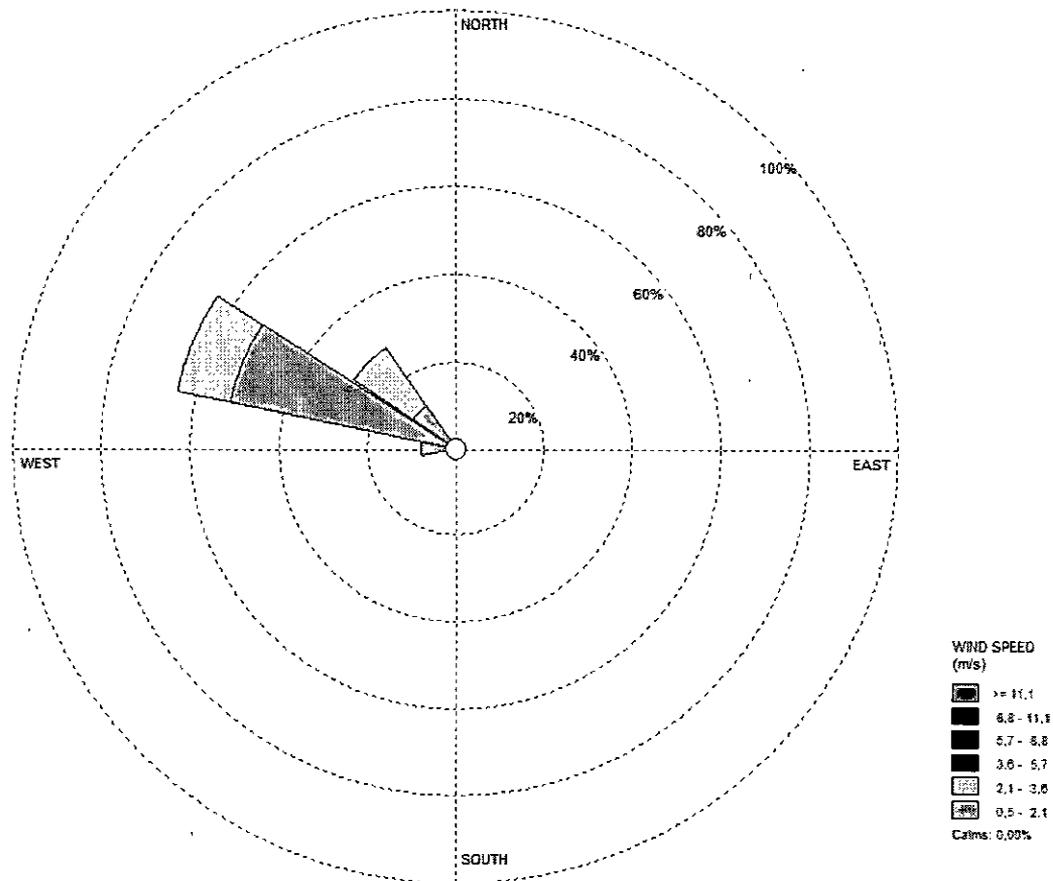


Figura 3-11: Rose dei venti rilevate nella stazione Brindisi – ARPA tra le ore 18 del 2 luglio e le ore 19 del 3 luglio 2015.

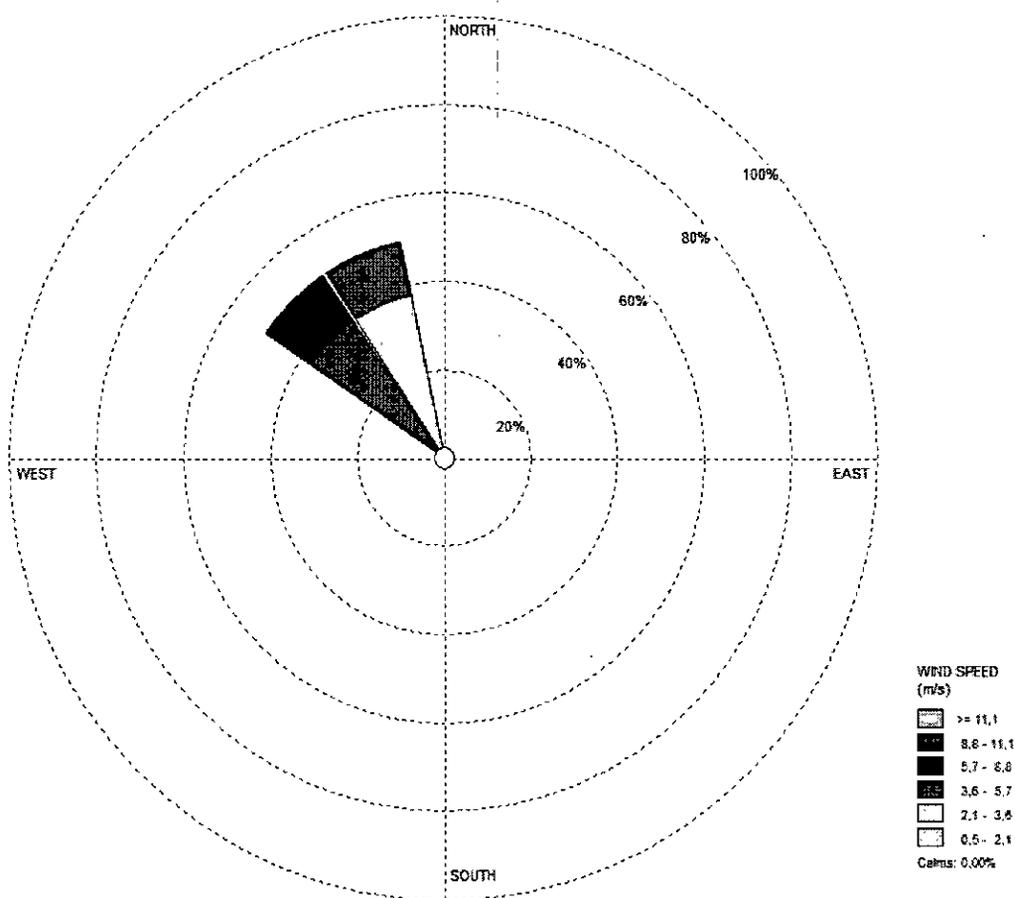


Come si può osservare dalla figura precedente, nelle 24 ore analizzate, la direzione di provenienza del vento è principalmente dal settore, Ovest-Nord-Ovest e, secondariamente, da Nord-Ovest.

3.2.2. Rosa dei venti presso l'impianto durante il funzionamento della torcia

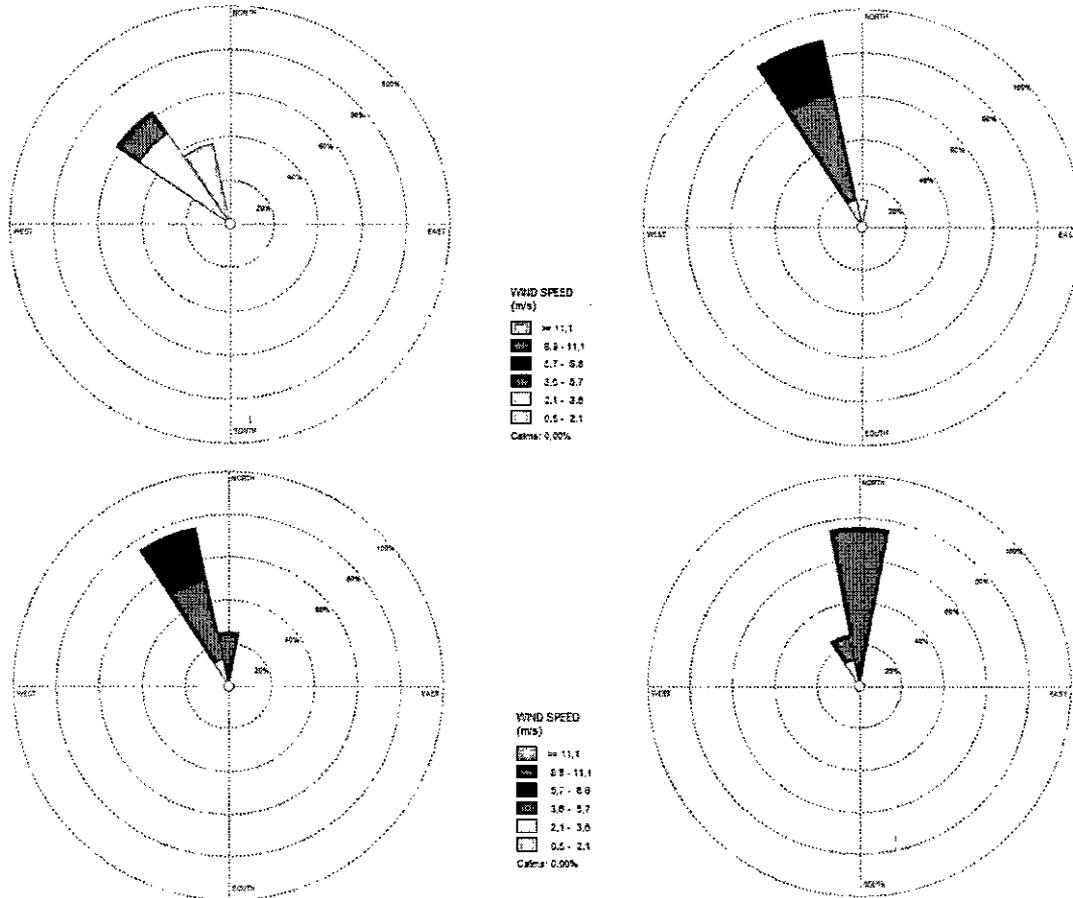
In Figura è riportata la rosa stimata dal modello CALMET in corrispondenza dell'impianto Versalis Spa di Brindisi tra le ore 18:00 del 2 luglio e le ore 2:00 del 3 luglio 2015, alla quota di 100 m, che mostra una prevalenza globale dei venti provenienti da Nord-Nord-Ovest durante l'attivazione della torcia.

Figura 3-12: Rosa dei venti stimata in corrispondenza dell'impianto Versalis Spa 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 la direzione principale del vento è Nord-Nord-Ovest e, per la quota di 1000 m, dove è Nord.

Figura 3-13: Rosa dei venti stimata in corrispondenza dell'impianto Versalis Spa di Brindisi alla quota 10 (in alto a sinistra), 250 (in alto a destra), 500 (in basso a sinistra) e 1000 metri (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

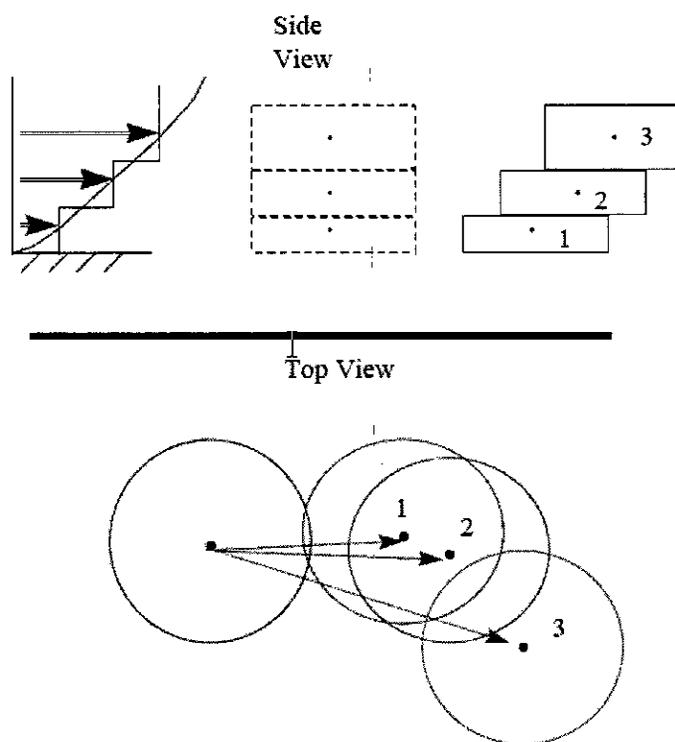
La simulazione di dispersione degli inquinanti in atmosfera è stata effettuata mediante il modello CALPUFF. Di seguito sono presentati il modello di simulazione, le caratteristiche emissive della torcia, il dominio di simulazione e i risultati ottenuti.

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 3-14).

Figura 3-14: Schema di funzionamento del modello CALPUFF.

CALPUFF PUFF-SPLITTING



Le caratteristiche di maggior interesse del modello sono:

- 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 ...);

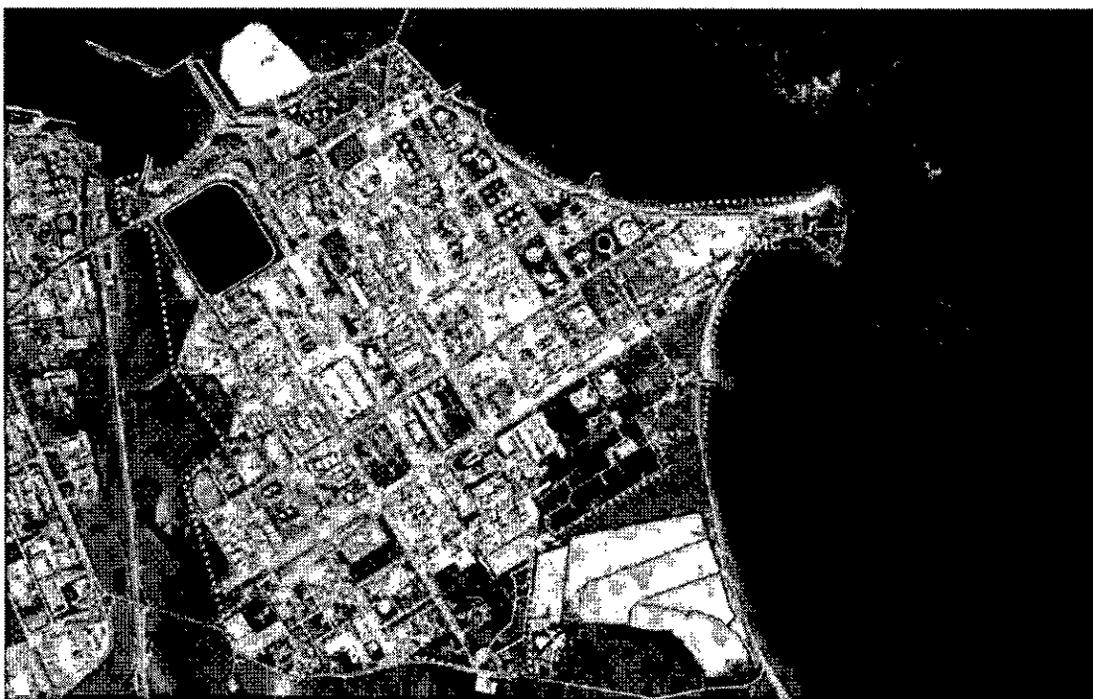
- l'utilizzo di coefficienti di dispersione dalle curve di Pasquill e McElroy o calcolati applicando la teoria della similarità;
- il calcolo dell'effetto scia (down wash) generato dagli edifici prossimi alle sorgenti.

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 3-15: Localizzazione delle torce dell'impianto Versalis.

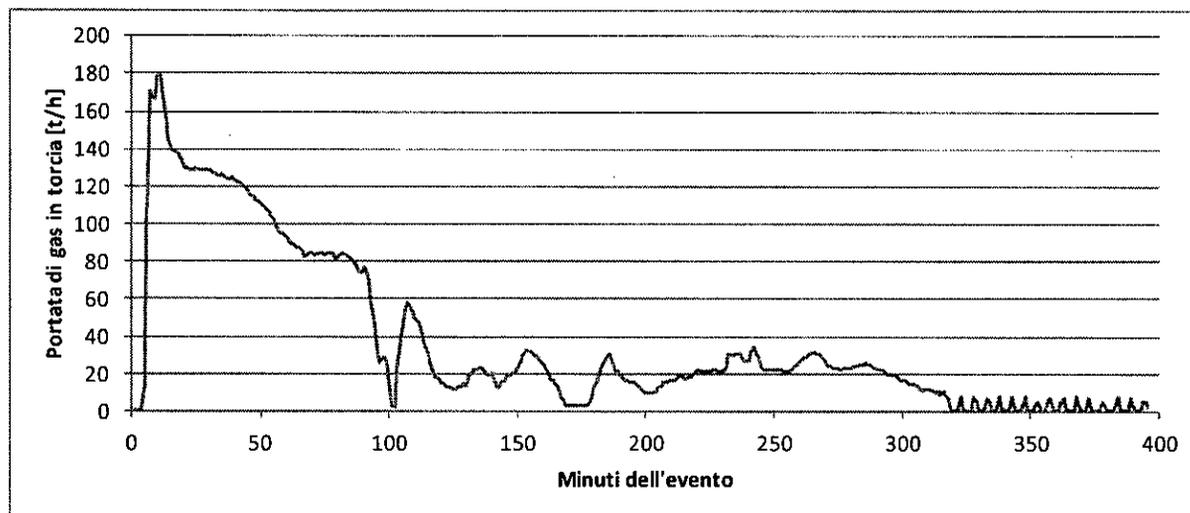


Le caratteristiche geometriche della torcia RV-101C sono indicate nella seguente tabella, mentre nella Figura 3-16 è rappresentata la portata dei gas inviati in torcia.

Tabella 3-3: Geometria della torcia RV-101C

Torcia	Geometrie					Coordinate Gauss - Boaga (Fuso Est)	
	Camino	Altezza [m]	Sezione [m ²]	Diametro [m]	Tipologia	N	E
RV101C	E53	95	1,77	1,50	smokeless	4'503'294	2'775'326

Figura 3-16: andamento della portata oraria dell'evento di torcia del 2-3 luglio 2015



L'evento ha avuto inizio alle 18.48 circa del 2 luglio 2015 ed è terminato il 3 luglio 2015 alle ore 1.20 ma al fine di valutare le ricadute al suolo anche al termine del periodo di attivazione della torcia, è stata effettuata cautelativamente una simulazione per 24 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 differenti:

- Scenario "Ispra" che recepisce le osservazioni presentate dall'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA),
- Scenario "Reale" ottenuto mediante un modello di calcolo CFD³.

Scenario "Ispra"

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

Inquinante	Valore	U.d.M.	Fonte
CO	0,31	lb/10 ⁶ Btu	U.S.EPA: AP-42 Chapter 13: Miscellaneous Sources Section 13.5 Industrial Flares (April 2015)
NOx	0,068	lb/10 ⁶ Btu	
PTS*	274	µg/l	
UHC**	4,871	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

³ Si veda lo studio "Analisi CFD: Calcolo dell'efficienza di combustione del terminale di torcia RV101C" redatto da Fives ITAS SpA – dicembre 2015

243,555 t, le emissioni di incombusti risulterebbero quindi pari a 4,871 t. Utilizzando l'efficienza della torcia dichiarata dal costruttore (99%) si otterrebbe un'emissione di incombusti pari a 2,03 t.

Per poter caratterizzare la presenza di ciascun inquinante nella miscela è stata utilizzata la composizione rilevata alle ore 19 del 2 luglio 2015. Si riportano nella Tabella seguente i valori ottenuti aggregando per i principali componenti mentre in Allegato è presente il Rapporto di prova completo.

Tabella 3-4: Composizione principali componenti inviati in torcia

Inquinante	Composizione [%]
Idrogeno	9,7%
Azoto	28,0%
CO	0,0%
Metano	5,5%
Etano	16,0%
Etilene	10,5%
Propano	0,2%
Propilene	16,7%
Butano	1,2%
Acetilene	0,6%
Butene	9,6%
Butadiene	1,6%
Pentano	0,4%
Esano	0,2%

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 3-5: Fattori emissivi EPA per le polveri.

Tipologia di torcia	Fattore di emissione polveri [µg/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 3-6: Parametri emissivi.

Parametro	Valore	Unità di misura
Densità	1,25	kg/m ³
Potere calorifico	35,2	MJ/kg
Flusso di calore	107'292,5	kcal/s

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 1273 K. Le emissioni sono poi state modulate per ciascun minuto sulla base della portata di gas effettivamente inviata in torcia.

Scenario "Reale"

I quantitativi emessi dalla torcia sono stati stimati attraverso le simulazioni del modello di fluidodinamica computazionale (Computational Fluid Dynamics, CFD). In particolare sono stati utilizzati i rate emissivi del Case Study 1 per caratterizzare le emissioni della prima ora di sfiaccolamento e i rate del Case Study 2 (più gravosi rispetto al Case Study 3) per le successive ore.

Tabella 3-7: Emissioni per lo scenario "reale"

	Emissione [g/s]	
	Case study 1	Case study 2
CO	103,77	167,45
Benzene	0,04	0,25
Etilene	2,62	15,4
Pentano	0,23	1,33
Esano	0,13	0,77
Butadiene	0,75	4,39
Butene	4,82	28,34
Butano	0,6	3,51
Acetilene	0,14	0,8
Propilene	6,21	36,55
Propano	0,09	0,56
Etano	4,28	25,17
Metano	0,79	4,67

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 3-8: Ricadute massime orarie scenario "Ispra" (U.S.EPA: AP-42 e nota ISPRA)

Inquinante	Ricadute massime sul dominio [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
CO	3,96
NO _x	0,87
PTS	0,19
UHC	16,9

Tabella 3-9: Ricadute massime orarie incombusti nei 2 scenari analizzati

Inquinante	Ricadute massime [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	
	Scenario Ispra (rapporto di prova 399/15)	Scenario Reale (secondo modello CFD)
CO	0,002	6,32
Benzene	0,03	0,01
Etilene	1,8	0,6
Pentano	0,16	0,05
Esano	0,09	0,03
Butadiene	0,52	0,17
Butene	3,3	1,1
Butano	0,4	0,1
Acetilene	0,1	0,03
Propilene	4,3	1,4
Propano	0,07	0,02
Etano	2,97	0,95
Metano	0,55	0,18

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 $3,96 \mu\text{g}/\text{m}^3$ nello scenario Ispra e $6,32 \mu\text{g}/\text{m}^3$ nello scenario Reale.

Nello scenario Ispra sono stati considerati anche gli 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 PM₁₀ e di confrontare la concentrazione massima oraria stimata dal modello (pari a $0,19 \mu\text{g}/\text{m}^3$) con il valore limite giornaliero (pari a $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$) 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 NO_2 , il limite orario previsto dal D.Lgs 155/2010 è ampiamente rispettato: il valore ottenuto è pari a $0,87 \mu\text{g}/\text{m}^3$ rispetto ad un valore limite di $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Nello scenario "Ispra" la ricaduta massima oraria di idrocarburi incombusti ottenuta con Calpuff risulta pari a $16,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e la massima media giornaliera pari a $1,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$: 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 $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$) 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 "Reale", tutti gli idrocarburi simulati (Benzene, Etilene, Pentano, Esano, Butadiene, Butene, Butano, Acetilene, Propilene, Propano, Etano) 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 $4,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Il Benzene, l'unico inquinante sottoposto ad un limite per la qualità dell'aria, presenta un valore massimo orario pari a $0,01 \mu\text{g}/\text{m}^3$ molto inferiore al limite di legge, pari a $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, imposto sulla media annua.

Al presente studio sono allegate 29 tavole che rappresentano le ricadute massime orarie degli inquinanti sopracitati.

Tabella 3-10: Elenco delle tavole allegate.

N° Tavola	Inquinante	Fattori emissivi	Scenario
1	CO	U.S. EPA AP42 e nota ISPRA nr. 48112 del 28/10/2015	Ispra
2	NO _x		
3	PTS		
4	UHC		
5	Benzene	Ipotesi composizione come da Rapporto di prova n.399/15	
6	Etilene		
7	Pentano		
8	Esano		
9	Butadiene		
10	Butene		
11	Butano		
12	Acetilene		
13	Propilene		
14	Propano		
15	Etano		
16	Metano		
17	CO	Emissioni stimate attraverso modello CFD	Reale
18	Benzene		
19	Etilene		
20	Pentano		
21	Esano		
22	Butadiene		
23	Butene		
24	Butano		
25	Acetilene		
26	Propilene		
27	Propano		
28	Etano		
29	Metano		

In tutte le tavole si evince come la distribuzione spaziale delle ricadute dell'evento di torcia del 2-3 luglio 2015 sia nell'area posta a Sud-Est dell'impianto e lungo la linea di costa 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 15 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.).

4. CONCLUSIONI

In questo studio a partire dai dati di input geometrici ed emissivi dell'evento di torcia del 2-3 luglio 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 osservazioni presentate dall'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA) con nota nr. 48112 del 28 ottobre 2015,
- scenario "Reale" 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

- [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/aqminindex.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, 2nd 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 1: Rapporto di prova n. 399/15

versalis Stabilimento di Brindisi Via E. Fermi, 4 LABORATORIO		Rapporto di prova n° 399/15	
REPARTO:		SAU	DATA RICEV.: 02/03/2015
MICROBLENDE:			ore 19.00
Designazione Campione: COLLETTORE TORCIA RV101C			
Analisi ANALYSIS	Valore VALUE	Unità di misura MEASUREMENT	Metodo METHOD
H2	9,69	% V	ASTM D2504
AZOTO	27,95	% V	ASTM D2504
OSSIGENO	<0,01	% V	ASTM D2504
CO	0,01	% V	ASTM D2504
METANO	5,54	% V	ASTM D6159
ETANO	15,95	% V	ASTM D6159
ETILENE	10,46	% V	ASTM D6159
PROPANO	0,24	% V	ASTM D6159
CICLOPROPANO	<0,01	% V	ASTM D6159
PROPILENE	16,56	% V	ASTM D6159
ISOBUTANO	0,13	% V	ASTM D6159
ALLENE	0,10	% V	ASTM D6159
N-BUTANO	1,02	% V	ASTM D6159
ACETILENE	0,04	% V	ASTM D6159
2 BUTENE TRANS	0,86	% V	ASTM D6159
1 BUTENE	3,13	% V	ASTM D6159
ISOBUTENE	5,16	% V	ASTM D6159
2 BUTENE CIS	0,48	% V	ASTM D6159
1,2 BUTADIENE	0,02	% V	ASTM D6159
METIL ACETILENE	0,50	% V	ASTM D6159
1,3 BUTADIENE	1,53	% V	ASTM D6159
VINIL ACETILENE	0,04	% V	ASTM D6159
ETIL ACETILENE	<0,01	% V	ASTM D6159
2BUTINO	<0,01	% V	ASTM D6159
CYCLOPENTANO	0,01	% V	ASTM D6159
ISOPENTANO	0,16	% V	ASTM D6159
N PENTANO	0,97	% V	ASTM D6159
CYCLOPENTENE	<0,01	% V	ASTM D6159
3METIL1BUTENE	0,01	% V	ASTM D6159
2 PENTENE TRANS	0,01	% V	ASTM D6159
2METIL2BUTENE	0,02	% V	ASTM D6159
1-PENTENE	0,03	% V	ASTM D6159
2 METIL-1-BUTENE	<0,01	% V	ASTM D6159
2 PENTENE CIS	<0,01	% V	ASTM D6159
1,4PENTADIENE	<0,01	% V	ASTM D6159
1,3CPD	0,08	% V	ASTM D6159
ISOPRENE(C4013M2)	<0,01	% V	ASTM D6159
1,3PENTADIENE CIS	0,01	% V	ASTM D6159
1,3PENTADIENE TRANS	0,02	% V	ASTM D6159
METILCYCLOPENTANO	<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	0,05	% V	ASTM D6159
ALTRI C6	<0,01	% V	ASTM D6159
N-EPTANO	<0,01	% V	ASTM D6159
ALTRI C7	<0,01	% V	ASTM D6159
BENZENE	0,06	% V	ASTM D6159
TOLUENE	<0,01	% V	ASTM D6159
ETILBENZENE	<0,01	% V	ASTM D511:4
STIRENE	<0,01	% V	ASTM D511:4
XILENI	<0,01	% V	ASTM D511:4

NOTE - VARIAZIONI

FIRMA RESPONSABILE: 	DATA DI EMISSIONE: 02-hg-15	ALLEGATI N°: 0	PAGINA 1 di 1
-------------------------	--------------------------------	-------------------	---------------

DOC. 102R

DGSalvanguardia_Pec

Da: direzione_br@pec.versalis.eni.com
Inviato: mercoledì 23 dicembre 2015 12:34
A: ispra
Cc: minambiente aia; arpa bari; arpa; Elio Russo; Lara Politi
Oggetto: Riscontro in merito alla nota ISPRA n. 48112 del 28 ottobre 2015 avente come oggetto "Nota prot. DIRE/U/001727 del 03/09/2015 (acquisita con prot. ISPRA 38599 del 03/09/2015 e 38600 del 03/09/2015)" - SPEDIZIONE 1 DI 3
Allegati: DIRE U 001795.pdf; studio modellistico ricadute.pdf; Tavole_da_01_a_16_Scenario_ISPRA.pdf; Tavole_da_17_a_29_Scenario_Reale.pdf
Priorità: Alta

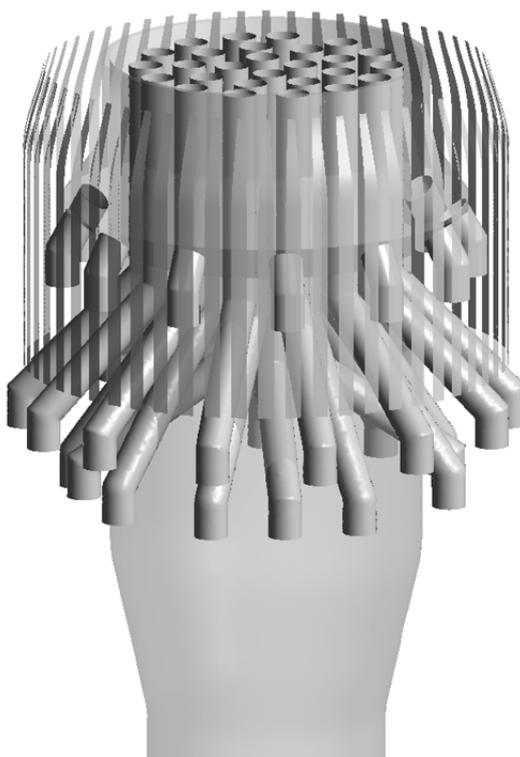
In allegato si riporta la comunicazione di cui all'oggetto.

Distinti saluti

Elio Russo
Direttore di stabilimento
versalis Brindisi

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

1



CLIENTE: ENI VERSALIS

FIVES ITAS JOB: P34798/15

FIVES ITAS DOC. NR.: T.41.968

2	21/12/2015	Revised as Indicated	VT	CG	MiP
1	09/12/2015	Revised ad Indicated	VT	CG	MiP
0	30/11/2015	First Issue	VT	CG	MiP
Rev.	Data	Descrizione	Emesso	Controllato	Approvato

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 / www.fivesgroup.com / itas@fivesgroup.com

SOMMARIO

1.1	INTRODUZIONE	3
1.2	DESCRIZIONE DEL PROGETTO	4
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	9
1.2.4	SET-UP NUMERICO	12
1.3	RISULTATI	14
1.3.1	ANALISI QUALITATIVA	18
1.3.2	ANALISI QUANTITATIVA	69
1.4	CONCLUSIONI	72
1.5	ALLEGATI	73

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 / www.fivesgroup.com / 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 tre diversi casi operativi della torcia, in particolare;

- CASO 1: portata in massa del gas di torcia = 183,016 t/h;
- CASO 2: portata in massa del gas di torcia = 139,793 t/h;
- CASO 3: portata in massa del gas di torcia = 84,049 t/h.

Questi si riferiscono agli eventi di torcia del 2 luglio 2015 rispettivamente delle ore 18.54, 19.00 e 20.00.

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 / www.fivesgroup.com / 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 16.0. 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 / www.fivesgroup.com / itas@fivesgroup.com

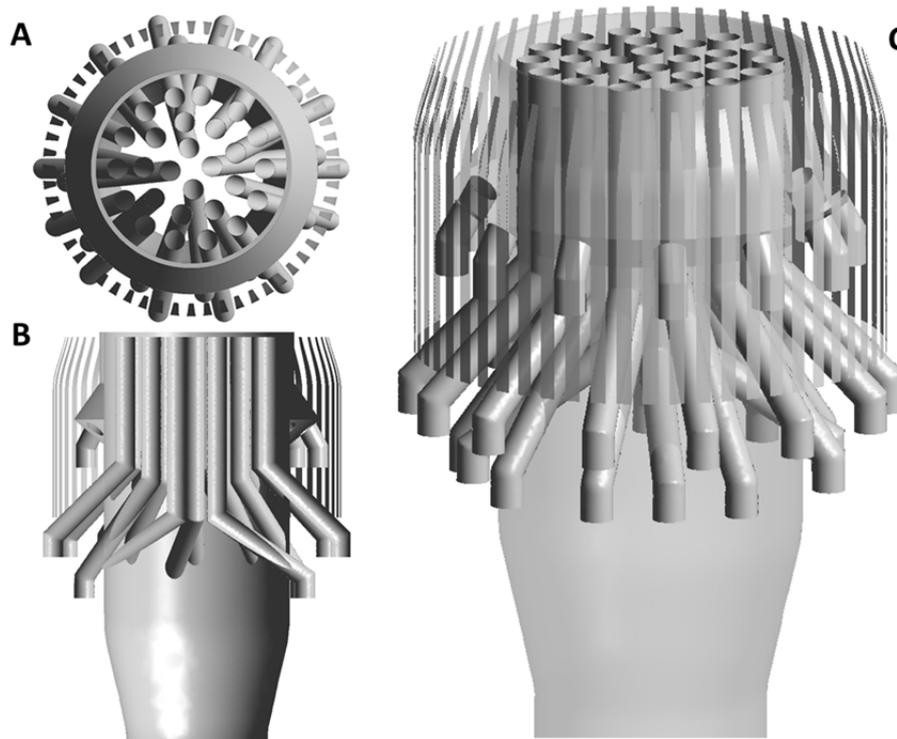


Fig. 1– Sketch del terminale RV-101-C: (A) vista in pianta; (B) sezione frontale; (C) vista tridimensionale.

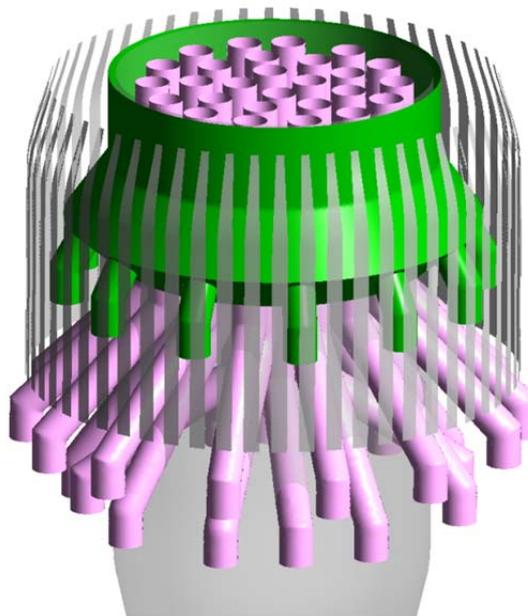


Fig. 2 – sketch del terminale: ROSA – primo stadio vapore; VERDE – secondo stadio vapore e camera anulare coassiale al terminale.

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 / www.fivesgroup.com / 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.

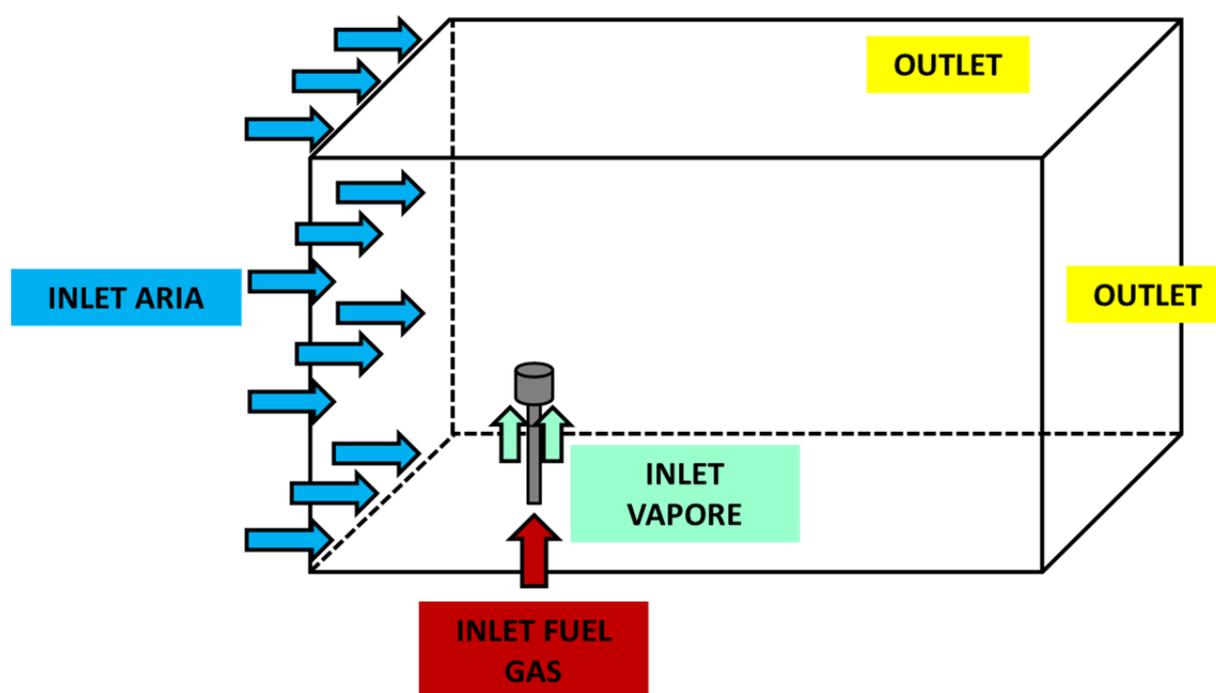


Fig. 3 – Sketch del dominio computazionale.

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 / www.fivesgroup.com / 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.

Le Fig. 4, 5 e 6 riassumono per ogni caso le condizioni al contorno imposte nel calcolo CFD.

Poiché i CASI 1, 2 e 3 si riferiscono agli eventi di torcia avvenuti il giorno 2 luglio 2015 alle ore 18.54, 19.00 e 20.00 rispettivamente, le condizioni ambientali utilizzate per le simulazioni rispecchiano quelle reali contemporanee agli eventi di torcia studiati. In particolare la temperatura dell'aria si riferisce ai dati estratti dalla centralina meteorologica più prossima al terminale (Brindisi – ARPA Puglia). La velocità del vento è stata calcolata dal modello CALMET alle coordinate geografiche corrispondenti al centro di torcia (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 2-3 luglio 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 / www.fivesgroup.com / itas@fivesgroup.com

TORCIA RV-101-C – CASO 1: 183 t/h					
	PORTATA/ VELOCITA' [kg/s]/[m/s]	GAS [%vol]	TEMPERATURA [°C]	PRESSIONE [Pa g]	CONDIZIONE TERMICA
INLET ARIA	- / 2,508	ARIA – 63% umidità relativa	28,9	-	-
INLET FUEL GAS	50,838 / -	IDROGENO = 9,69 AZOTO = 27,95 MONOSSIDO DI CARBONIO = 0,01 METANO = 5,54 ETANO = 15,95 ETILENE = 10,46 PROPANO = 0,24 PROPILENE = 16,66 BUTANO = 1,15 ACETILENE = 0,59 BUTENE = 9,63 BUTADIENE = 1,55 PENTANO = 0,35 ESANO = 0,17 BENZENE = 0,06	32,058	-	-
INLET VAPORE	I STADIO = 18,429 II STADIO = 8,28	ACQUA	188,745	-	-
OUTLET	-	-	-	0	-
PARETI	Condizione non-slip				adiabatica

Fig. 4 – Condizioni operative per il CASO 1.

TORCIA RV-101-C – CASO 2: 139 t/h					
	PORTATA/ VELOCITA' [kg/s]/[m/s]	GAS [%vol]	TEMPERATURA [°C]	PRESSIONE [Pa g]	CONDIZIONE TERMICA
INLET ARIA	- / 3,301	ARIA – 63% umidità relativa	26,9	-	-
INLET FUEL GAS	38,831 / -	IDROGENO = 9,69 AZOTO = 27,95 MONOSSIDO DI CARBONIO = 0,01 METANO = 5,54 ETANO = 15,95 ETILENE = 10,46 PROPANO = 0,24 PROPILENE = 16,66 BUTANO = 1,15 ALLENE = 0,1 ACETILENE = 0,59 BUTENE = 9,63 BUTADIENE = 1,55 PENTANO = 0,35 ESANO = 0,17 BENZENE = 0,06	30,306	-	-
INLET VAPORE	I STADIO = 20,023 II STADIO = 8,996	ACQUA	193,883	-	-
OUTLET	-	-	-	0	-
PARETI	Condizione non-slip				adiabatica

Fig. 5 – Condizioni operative per il CASO 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 / www.fivesgroup.com / itas@fivesgroup.com

TORCIA RV-101-C – CASO 3: 84 t/h					
	PORTATA/ VELOCITA' [kg/s]/[m/s]	GAS [%vol]	TEMPERATURA [°C]	PRESSIONE [Pa g]	CONDIZIONE TERMICA
INLET ARIA	- / 3,474	ARIA – 63% umidità relativa	24,1	-	-
INLET FUEL GAS	23,347 / -	IDROGENO = 9,69 AZOTO = 27,95 MONOSSIDO DI CARBONIO = 0,01 METANO = 5,54 ETANO = 15,95 ETILENE = 10,46 PROPANO = 0,24 PROPILENE = 16,66 BUTANO = 1,15 ALLENE = 0,1 ACETILENE = 0,59 BUTENE = 9,63 BUTADIENE = 1,55 PENTANO = 0,35 ESANO = 0,17 BENZENE = 0,06	25,192	-	-
INLET VAPORE	I STADIO = 19,66	ACQUA	250,448	-	-
	II STADIO = 8,833				
OUTLET	-	-	-	0	-
PARETI	Condizione non-slip				adiabatica

Fig. 6 – Condizioni operative per il CASO 3.

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 16.0. Essa è una mesh non strutturata composta da elementi poliedrici ed esaedrici. Il numero di elementi è 4,3 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. 7 e Fig. 8. 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 / www.fivesgroup.com / itas@fivesgroup.com

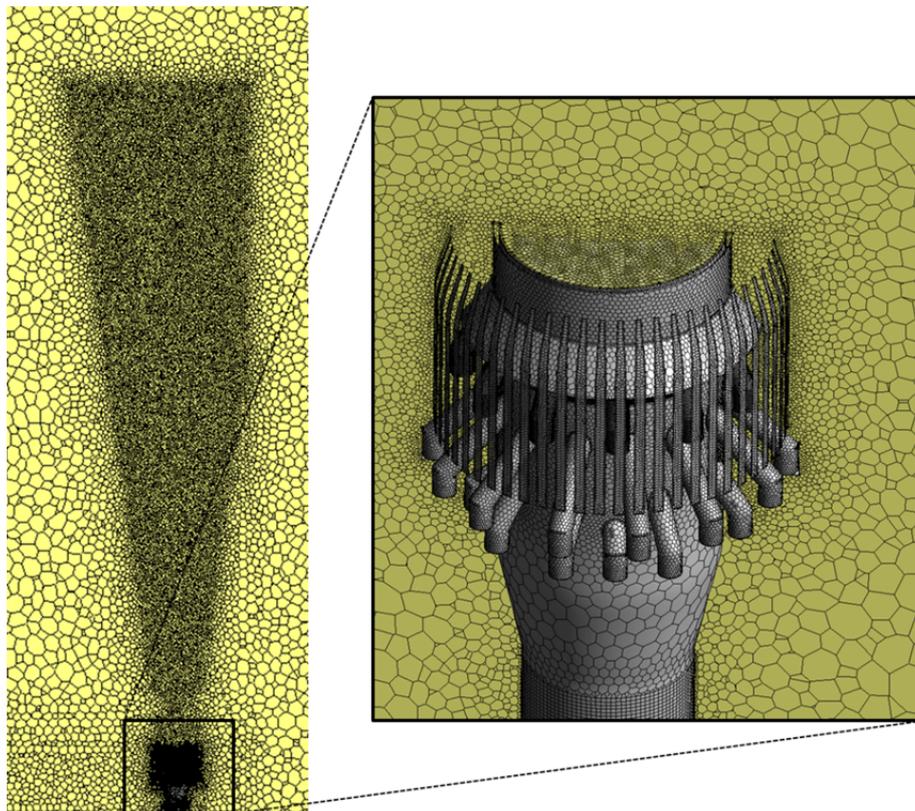


Fig. 7 – Griglia di calcolo del terminale e di un piano passante per l'asse del terminale; a destra: zoom sul terminale.

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 / www.fivesgroup.com / itas@fivesgroup.com

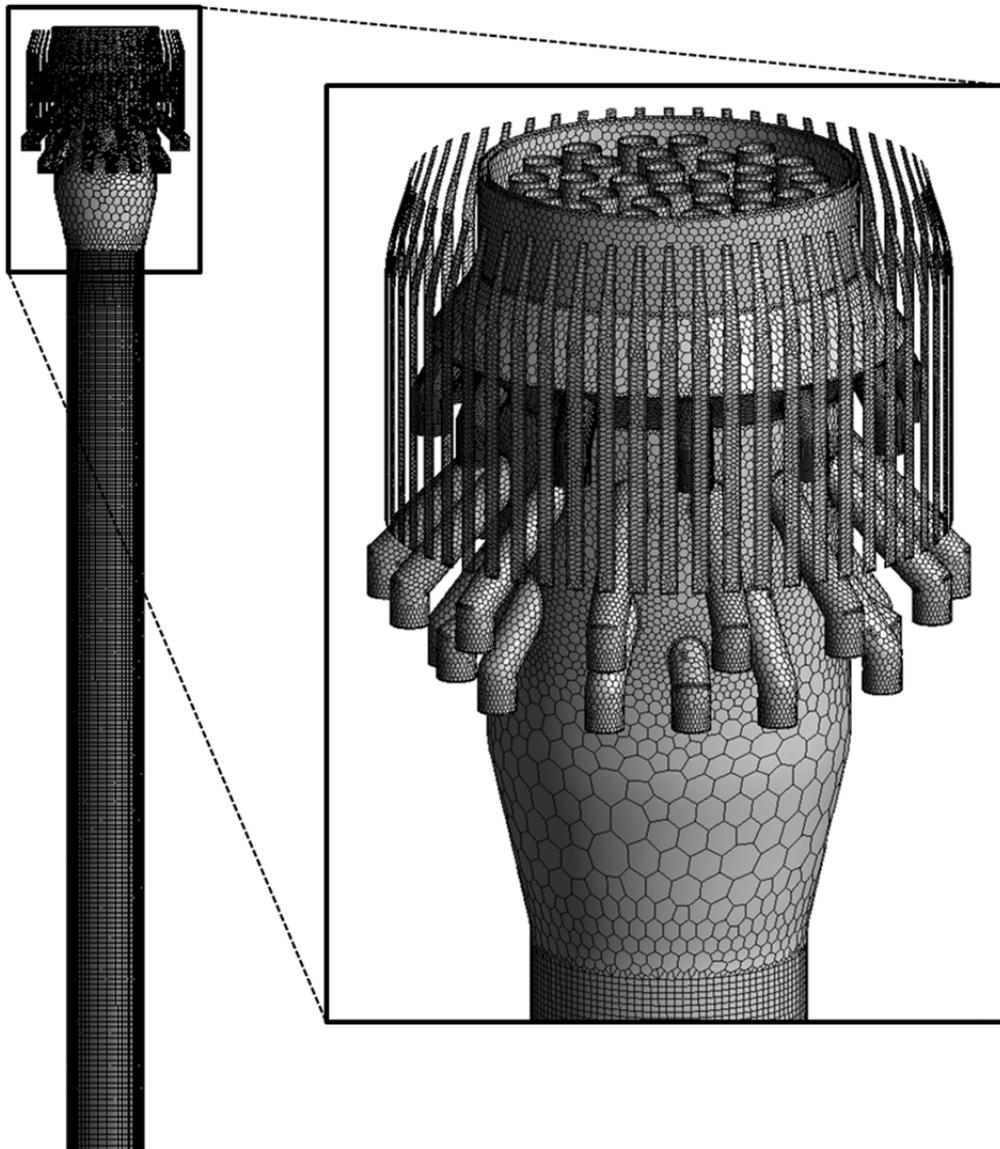


Fig. 8 – Griglia di calcolo della torcia; a destra: zoom sul terminale.

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 / www.fivesgroup.com / 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- ϵ . 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 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 con 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 / www.fivesgroup.com / 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 16.0.

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 / www.fivesgroup.com / 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, N_2 , O_2 e H_2O su un piano passante per l'asse del terminale.

La Fig. 9 riporta il riferimento per i piani sopra indicati.

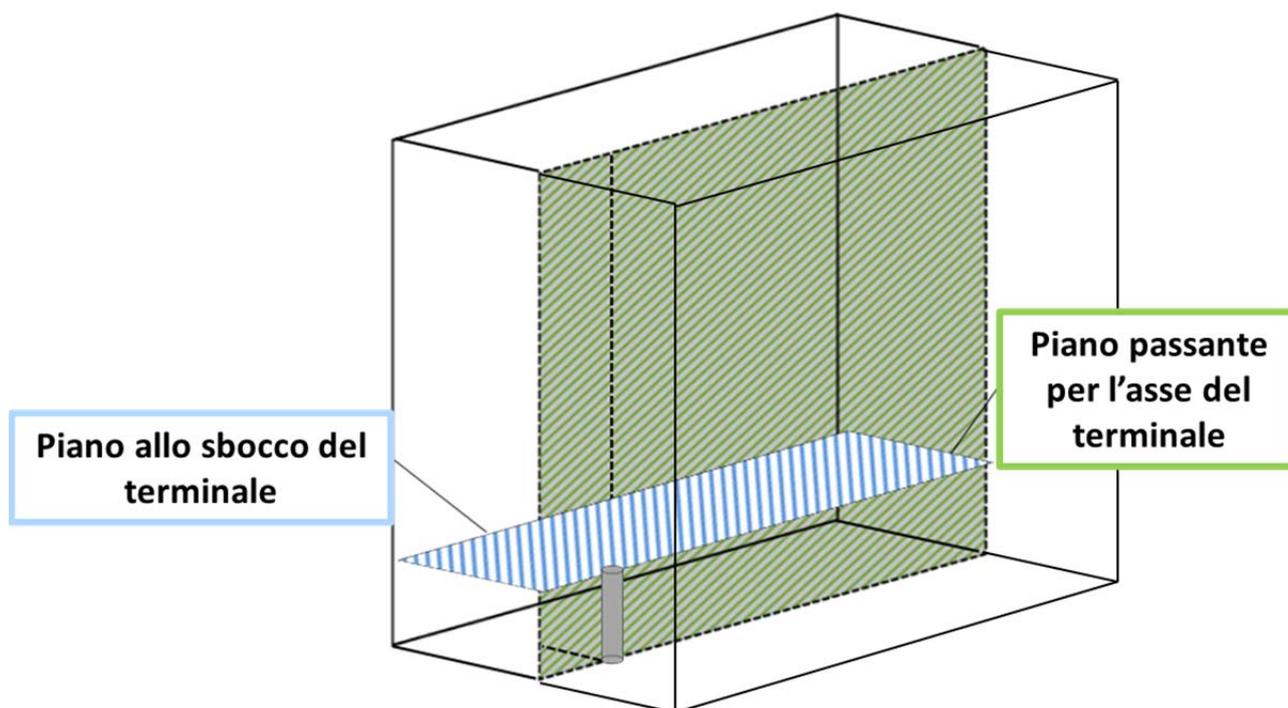


Fig. 9 – Piani di riferimento utilizzati per l'analisi dei risultati.

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 / www.fivesgroup.com / 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 / www.fivesgroup.com / 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. 10 mostra un esempio illustrativo di quanto anzidetto.

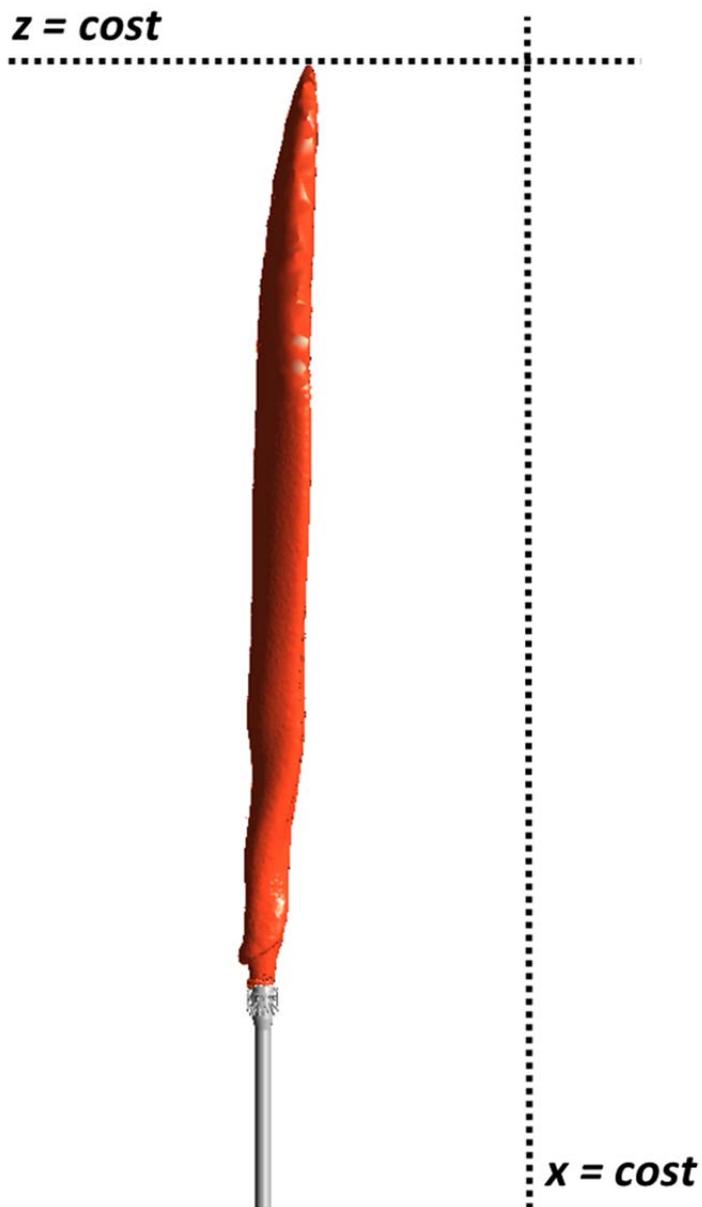


Fig. 10 – Piani di riferimento per il calcolo dell'efficienza di combustione: isoterperatura a $T = 1200\text{ K}$.

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 / www.fivesgroup.com / itas@fivesgroup.com

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. La Fig. 11 riporta le coordinate dei piani $z = \text{cost}$ e $x = \text{cost}$ per ogni caso analizzato. 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.

		z = cost [m]	x = cost [m]
TERMINALE RV-101-C	CASO 1: 183 t/h	83	5
	CASO 2: 139 t/h	70	9
	CASO 3 : 84 t/h	30	22

Fig. 11 – Coordinate dei piani di riferimento utilizzati per il calcolo dell'efficienza di combustione.

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 / www.fivesgroup.com / 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 isotermedia $T = 1200, 1400, 1600$ 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 nelle tabelle che riportano 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: 183 t/h

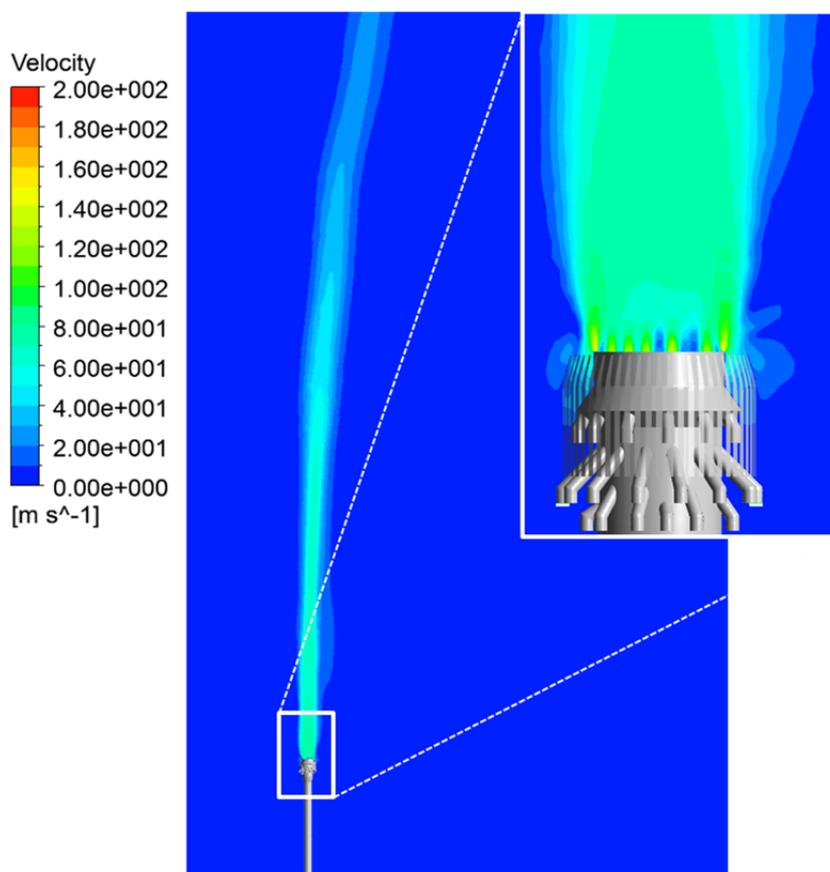


Fig. 12 – Mappa colorimetrica della velocità su un piano passante per l'asse del terminale; In alto a destra: zoom sul terminale.

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 / www.fivesgroup.com / itas@fivesgroup.com

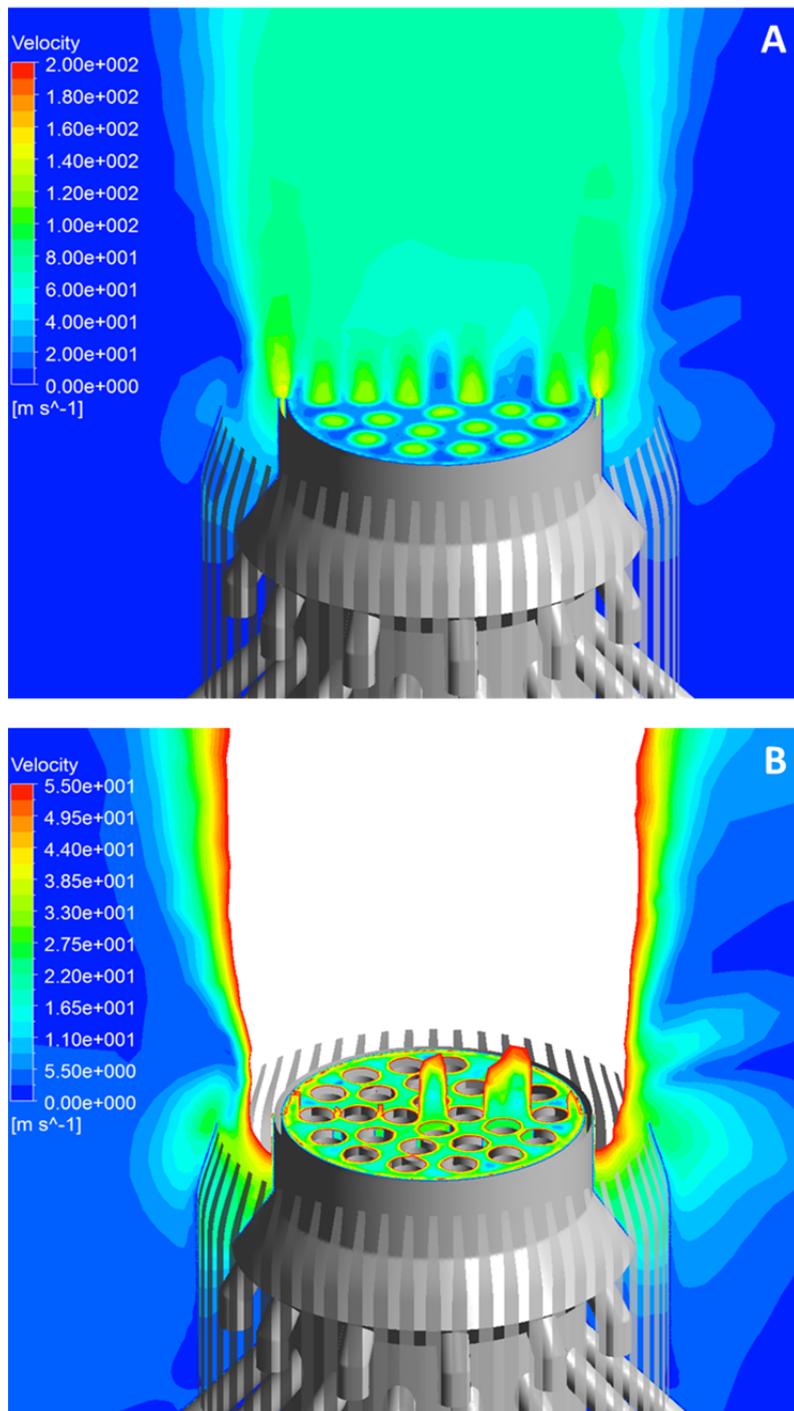


Fig. 13 – Mappa colorimetrica della velocità su un piano passante per l’asse del terminale e sul piano allo sbocco del terminale: (A) – range colorimetrico globale; (B) – range colorimetrico ridotto.

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 / www.fivesgroup.com / itas@fivesgroup.com

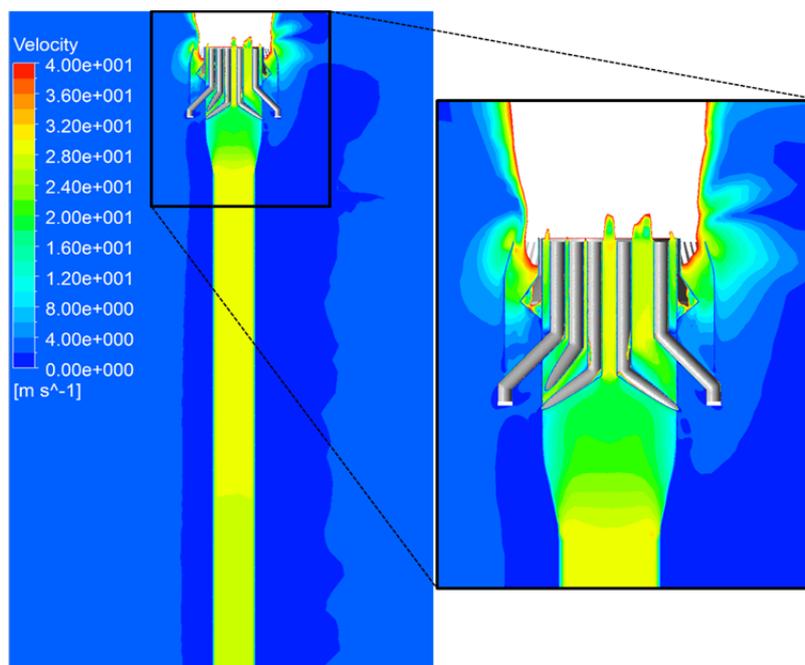


Fig. 14 – Mappa colorimetrica della velocità su un piano passante per l’asse del terminale; a destra: zoom della velocità all’interno del terminale.

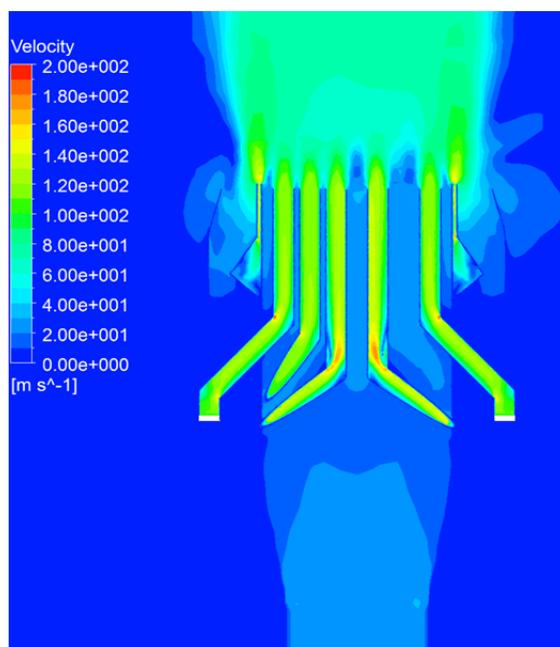


Fig. 15 – Mappa colorimetrica della velocità su un piano passante per l’asse del terminale, velocità all’interno degli eiettori vapore.

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 / www.fivesgroup.com / itas@fivesgroup.com

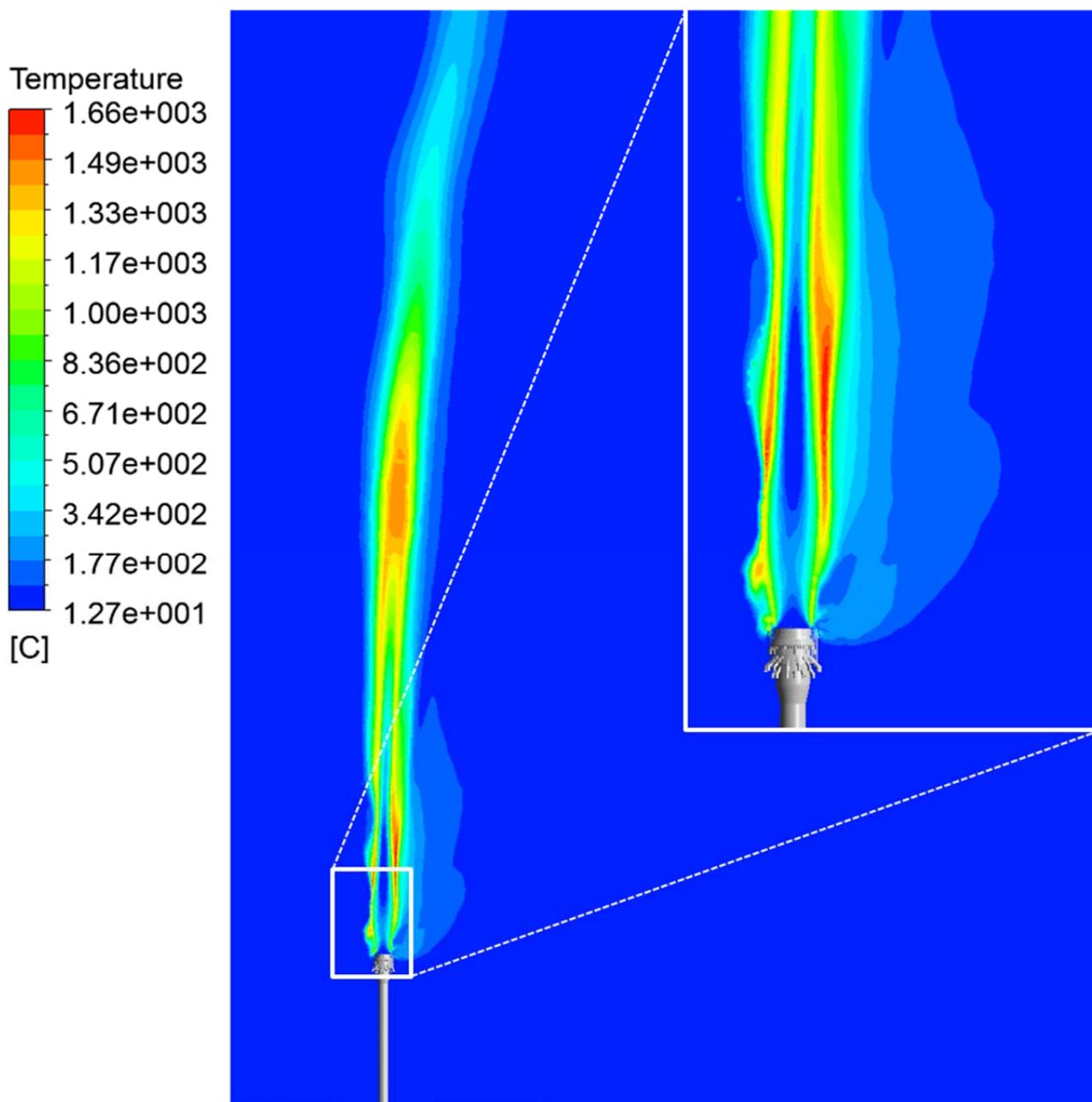


Fig. 16 – Mappa colorimetrica della temperatura su un piano passante per l'asse del terminale; in alto a destra: zoom della temperatura all'uscita del terminale.

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 / www.fivesgroup.com / itas@fivesgroup.com

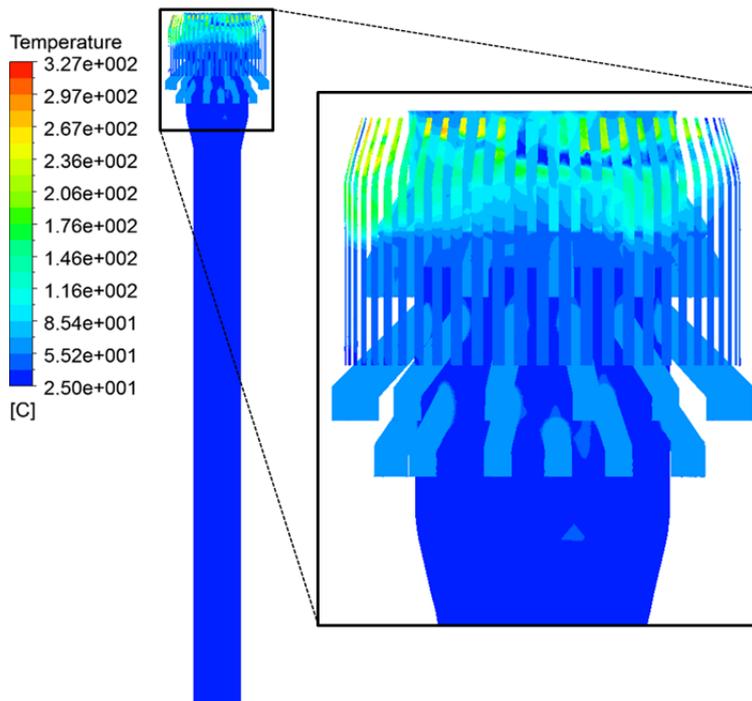


Fig. 17 – Mappa colorimetrica della temperatura sulle pareti della torcia fino a 20 m al di sotto dello sbocco.

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 / www.fivesgroup.com / itas@fivesgroup.com

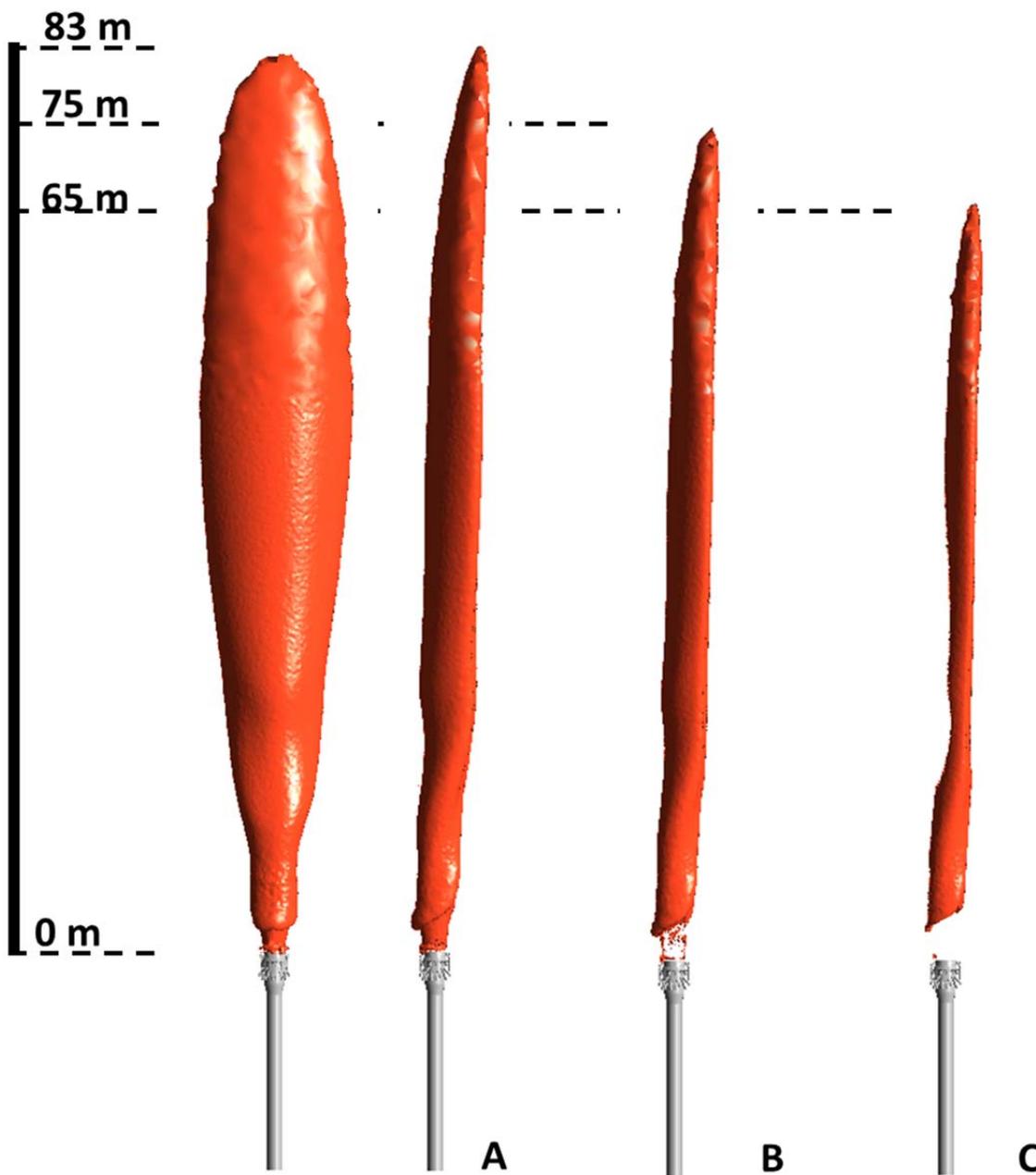


Fig. 18 – Superficie ad iso-temperatura: (A) – $T = 1200\text{ K}$, vista lato sottovento e laterale; (B) – $T = 1400\text{ K}$; (C) – $T = 1600\text{ K}$.

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 / www.fivesgroup.com / itas@fivesgroup.com

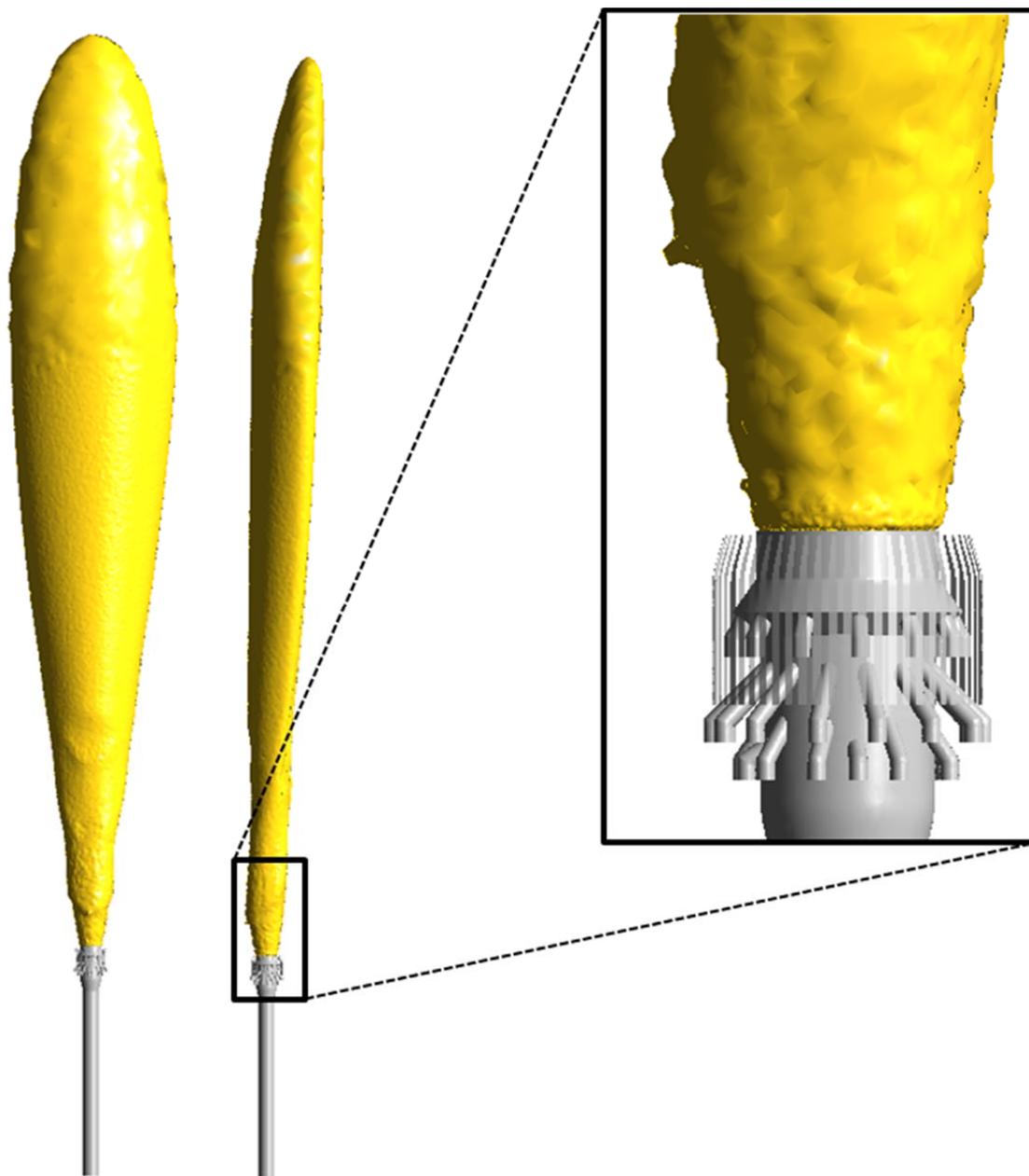


Fig. 19 – Superficie ad iso-concentrazione di CO: [CO] = 1000 ppm, vista lato sottovento e laterale.

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 / www.fivesgroup.com / itas@fivesgroup.com

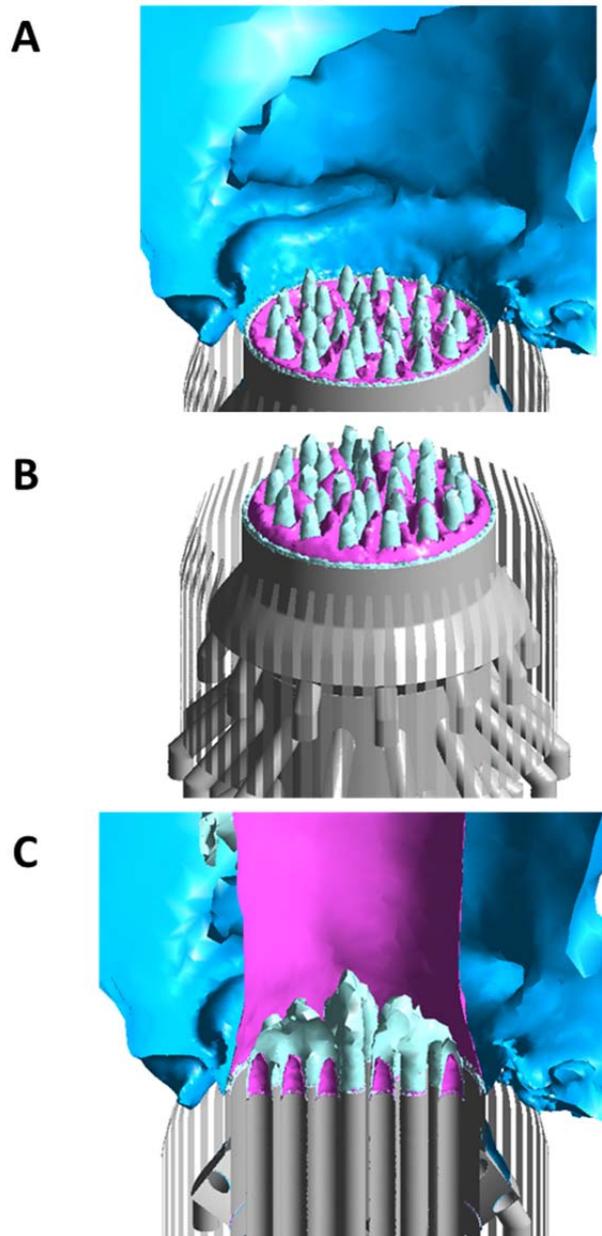


Fig. 20 – Superfici ad iso-concentrazione di CH_4 (fucsia); N_2 (azzurro); H_2O (verde acqua): (A) – frazione in massa $[CH_4] = 0,028$; $[N_2] = 0,75$; $[H_2O] = 0,2$; (B) – frazione in massa $[CH_4] = 0,02$; $[N_2] = 0$; $[H_2O] = 0,17$; (C) – frazione in massa $[CH_4] = 0,005$; $[N_2] = 0,75$; $[H_2O] = 0,15$.

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 / www.fivesgroup.com / itas@fivesgroup.com

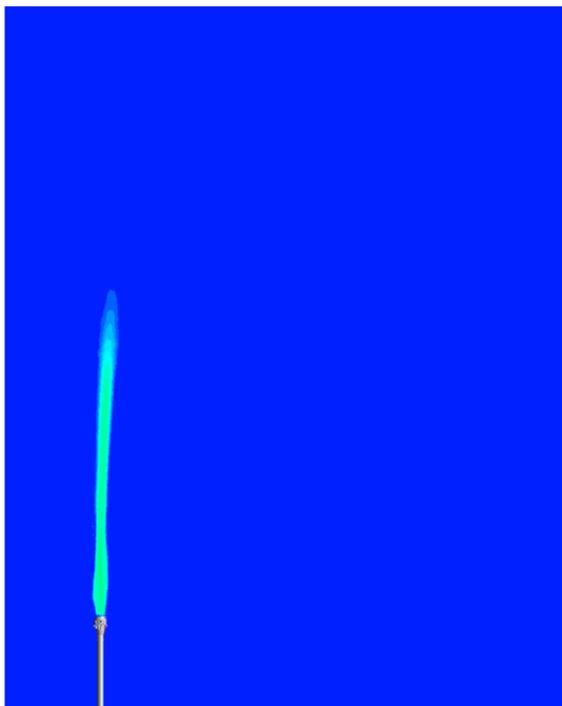
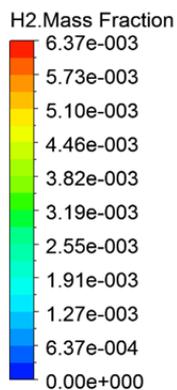


Fig. 21 – Mappa colorimetrica della concentrazione di H₂ su un piano passante per l'asse del terminale.

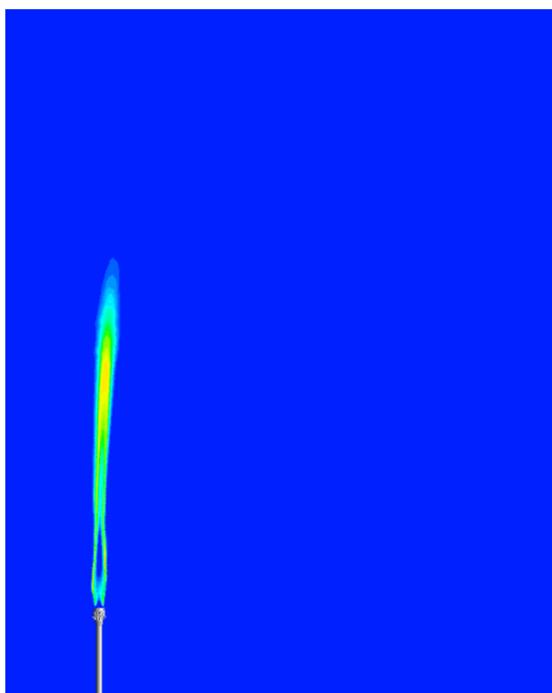
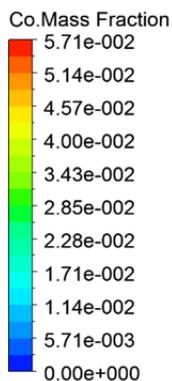


Fig. 22 – Mappa colorimetrica della concentrazione di CO su un piano passante per l'asse del terminale.

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 / www.fivesgroup.com / itas@fivesgroup.com

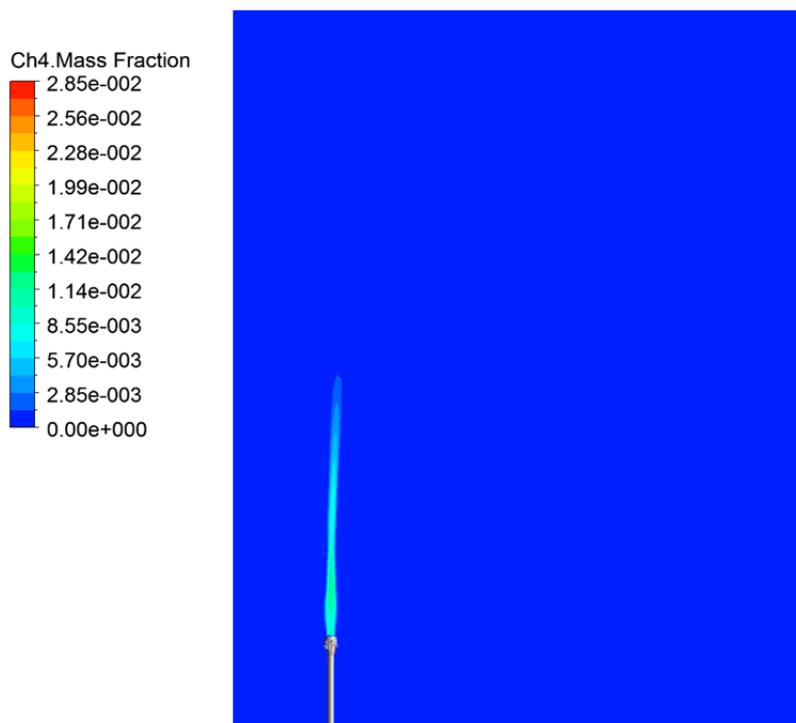


Fig. 23 – Mappa colorimetrica della concentrazione di CH_4 su un piano passante per l'asse del terminale.

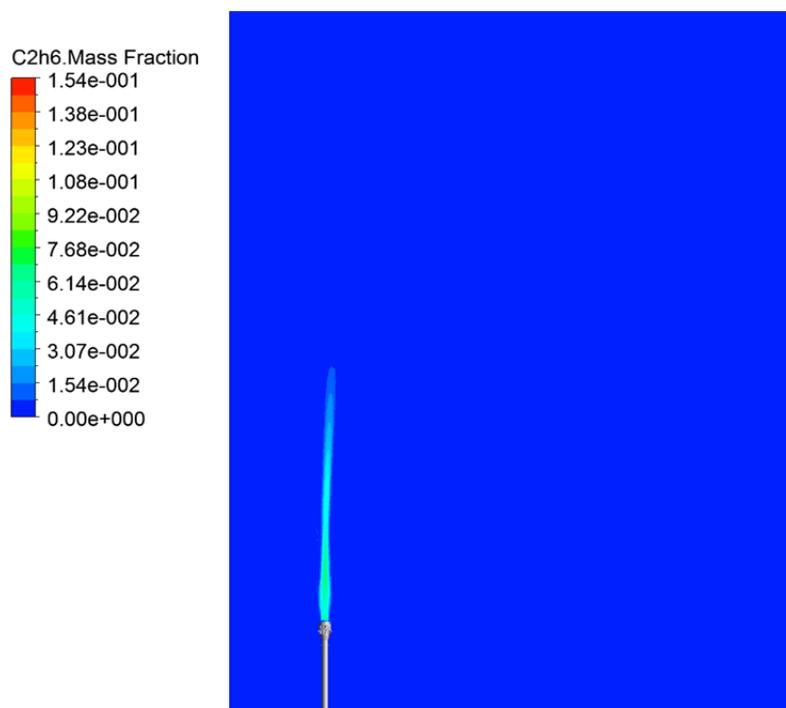


Fig. 24 – Mappa colorimetrica della concentrazione di C_2H_6 su un piano passante per l'asse del terminale.

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 / www.fivesgroup.com / itas@fivesgroup.com

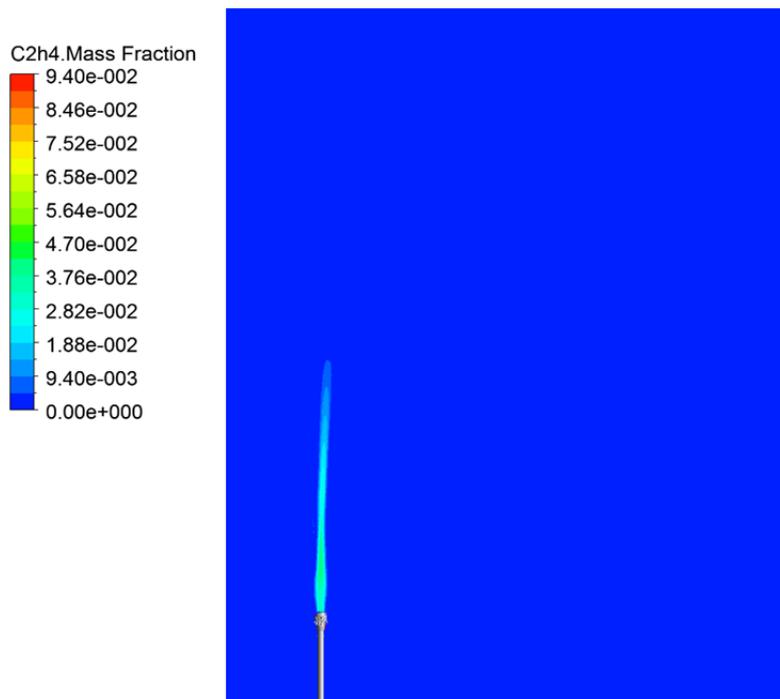


Fig. 25 – Mappa colorimetrica della concentrazione di C_2H_4 su un piano passante per l'asse del terminale.

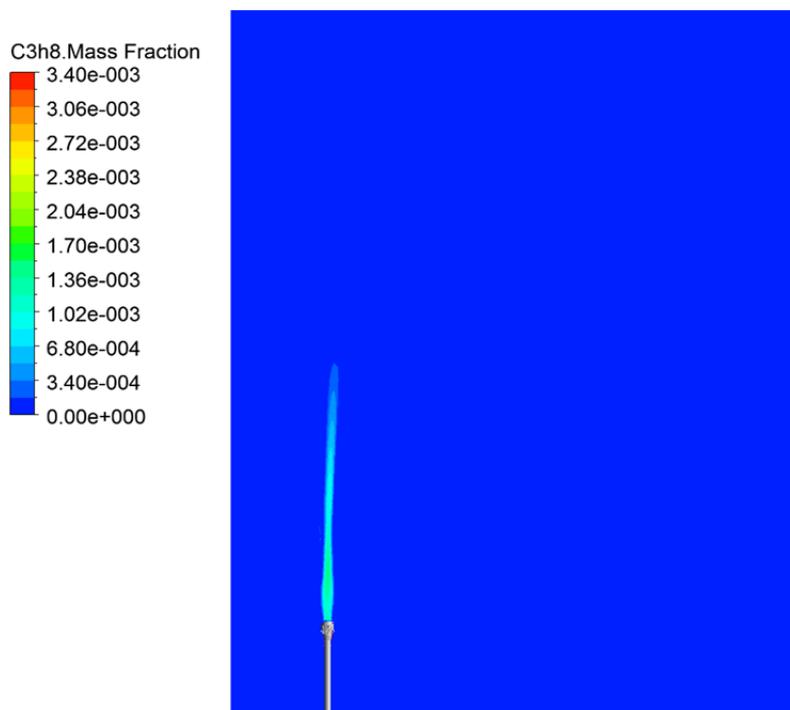


Fig. 26 – Mappa colorimetrica della concentrazione di C_3H_8 su un piano passante per l'asse del terminale.

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 / www.fivesgroup.com / itas@fivesgroup.com

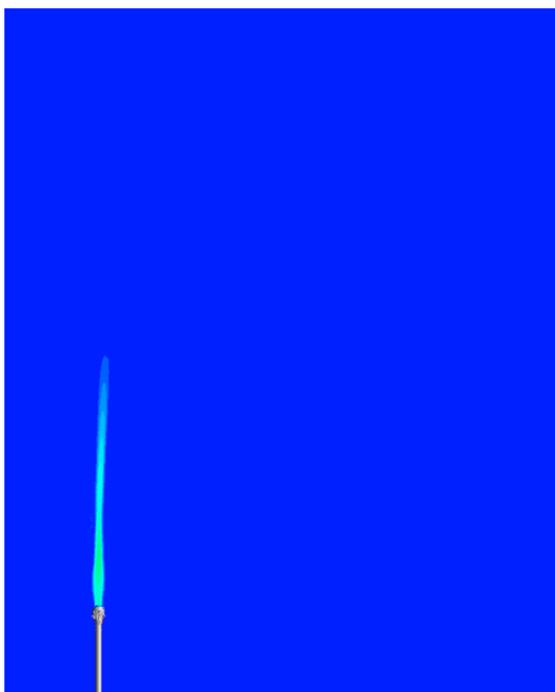
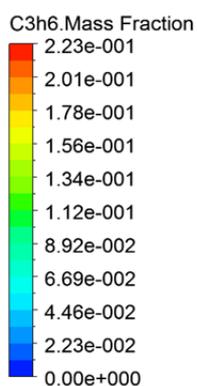


Fig. 27 – Mappa colorimetrica della concentrazione di C_3H_6 su un piano passante per l'asse del terminale.

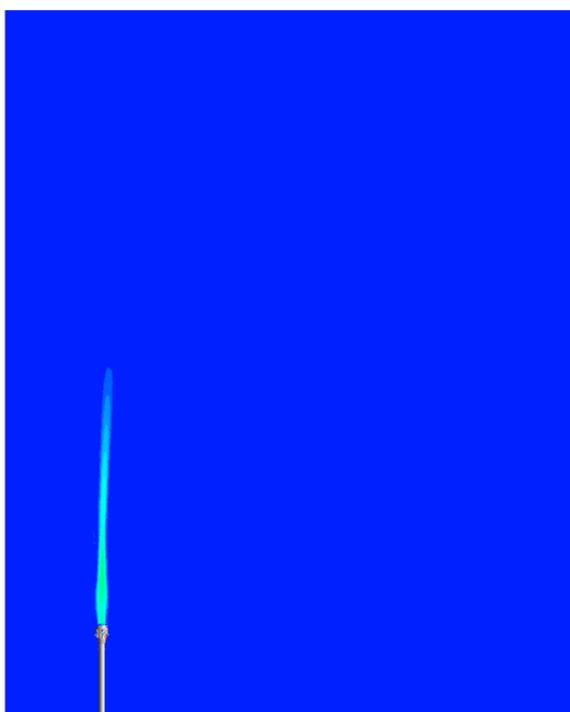
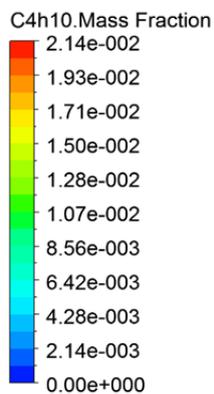


Fig. 28 – Mappa colorimetrica della concentrazione di C_4H_{10} su un piano passante per l'asse del terminale.

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 / www.fivesgroup.com / itas@fivesgroup.com

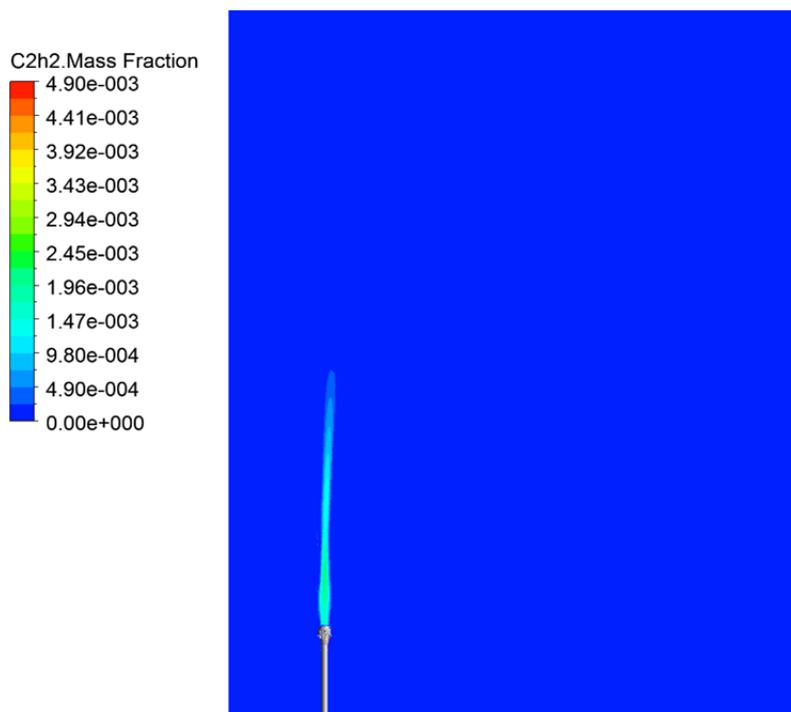


Fig. 29 – Mappa colorimetrica della concentrazione di C_2H_2 su un piano passante per l'asse del terminale.

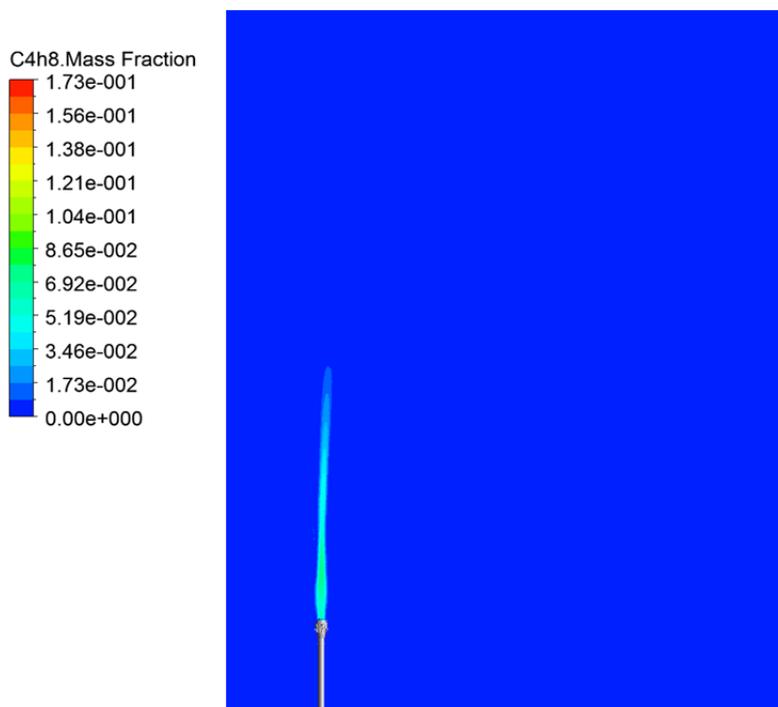


Fig. 30 – Mappa colorimetrica della concentrazione di C_4H_8 su un piano passante per l'asse del terminale.

Fives ITAS S.p.A.

Sede legale, amministrativa e stabilimento

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

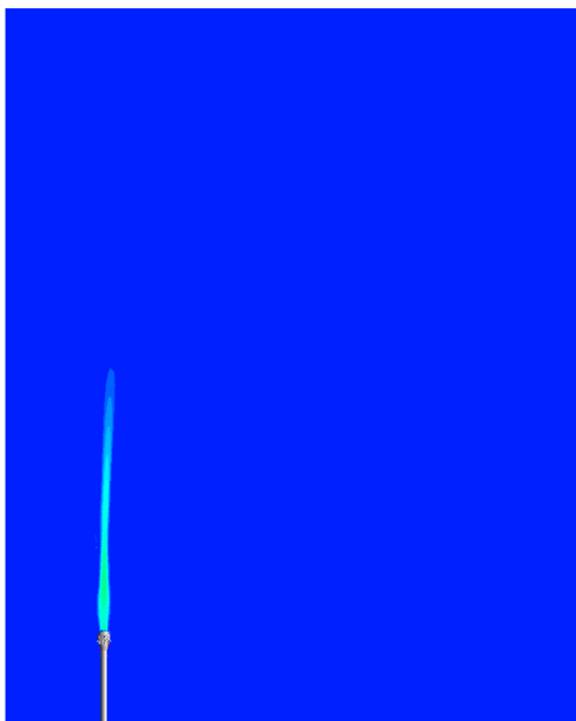
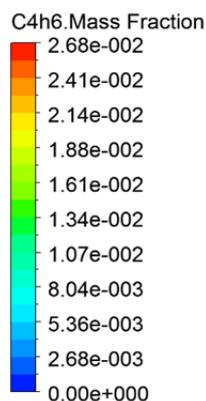
Telefono: + 39 039 2733 1 - Telefax: + 39 039 74 50 77

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 / www.fivesgroup.com / itas@fivesgroup.com



31

Fig. 31 – Mappa colorimetrica della concentrazione di C_4H_6 su un piano passante per l'asse del terminale.

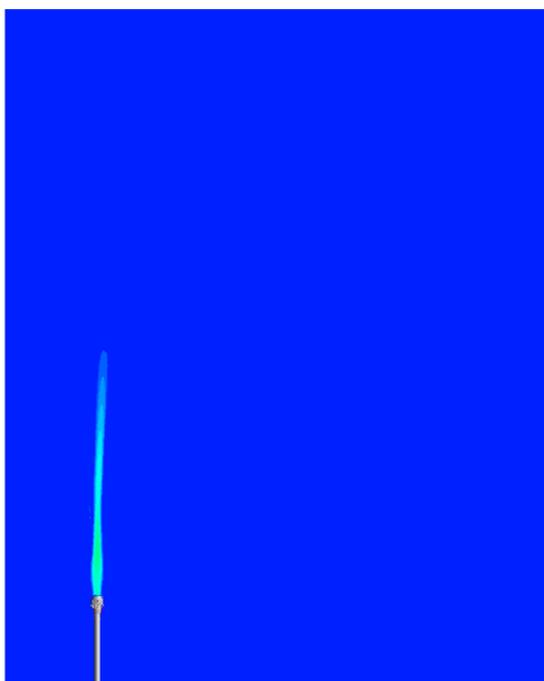
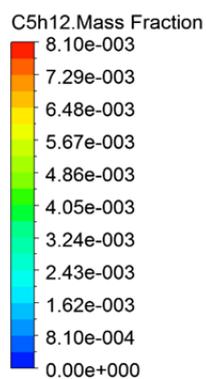


Fig. 32 – Mappa colorimetrica della concentrazione di C_5H_{12} su un piano passante per l'asse del terminale.

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 / www.fivesgroup.com / itas@fivesgroup.com

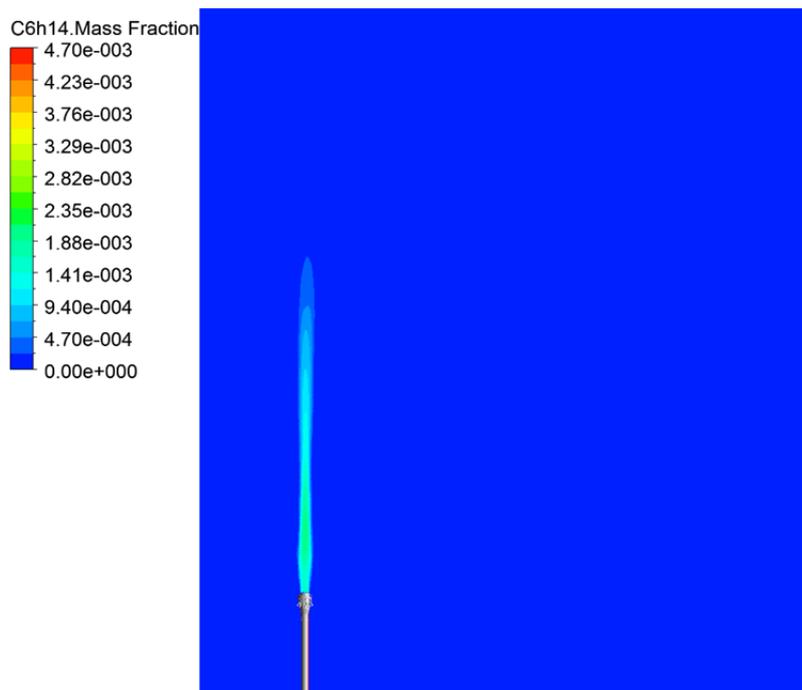


Fig. 33 – Mappa colorimetrica della concentrazione di C_6H_{14} su un piano passante per l'asse del terminale.

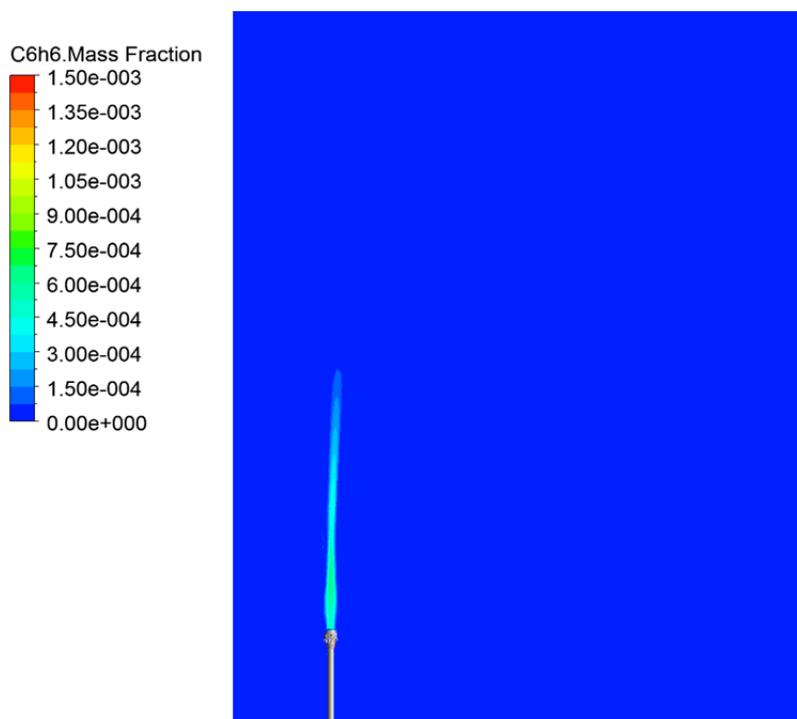


Fig. 34 – Mappa colorimetrica della concentrazione di C_6H_6 su un piano passante per l'asse del terminale.

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 / www.fivesgroup.com / itas@fivesgroup.com

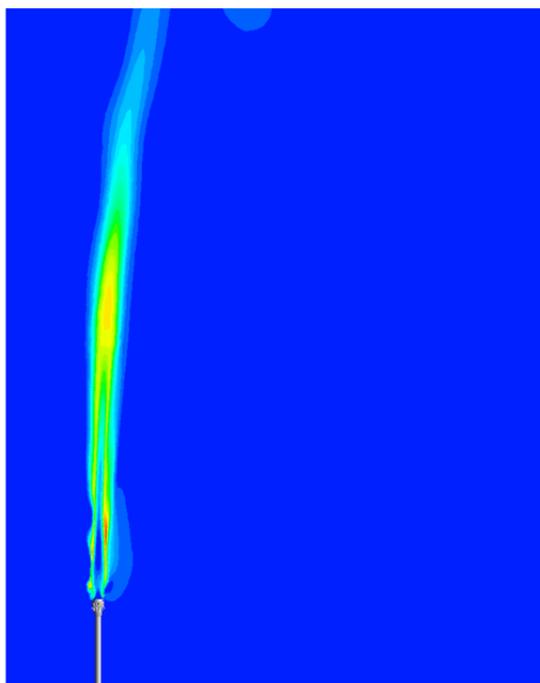
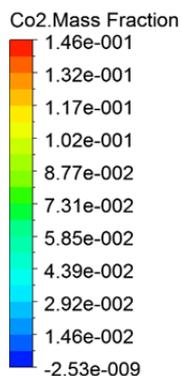


Fig. 35 – Mappa colorimetrica della concentrazione di CO₂ su un piano passante per l'asse del terminale.

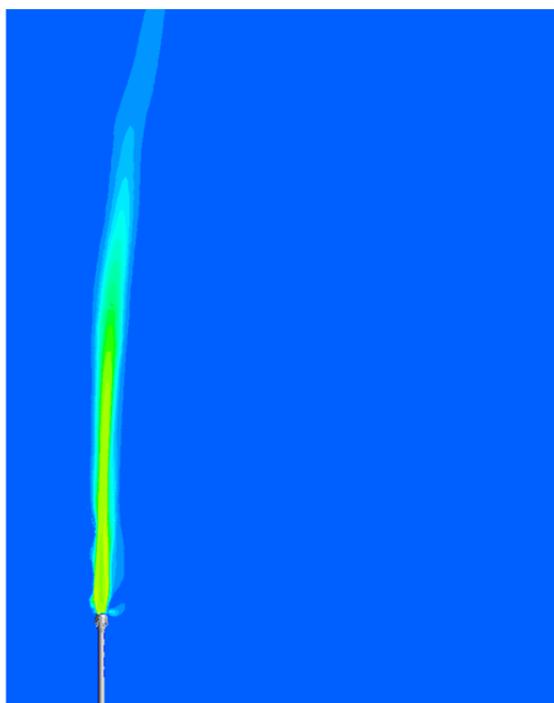
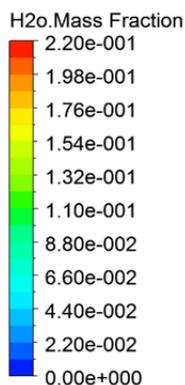


Fig. 36 – Mappa colorimetrica della concentrazione di H₂O su un piano passante per l'asse del terminale.

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 / www.fivesgroup.com / itas@fivesgroup.com

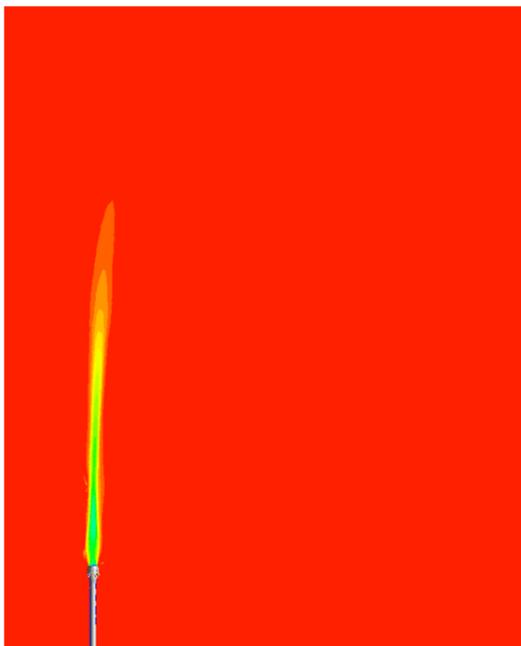
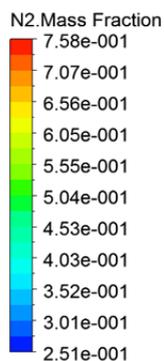


Fig. 37 – Mappa colorimetrica della concentrazione di N_2 su un piano passante per l'asse del terminale.

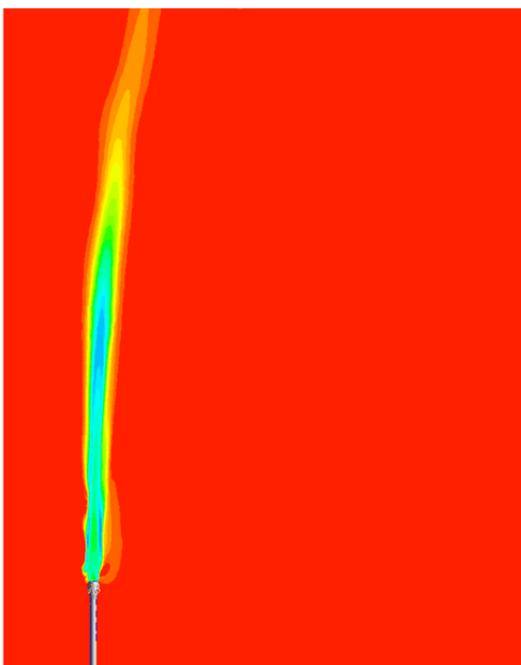
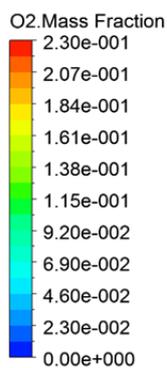


Fig. 38 – Mappa colorimetrica della concentrazione di O_2 su un piano passante per l'asse del terminale.

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 / www.fivesgroup.com / itas@fivesgroup.com

1.3.1.2 CASO 2: 139 t/h

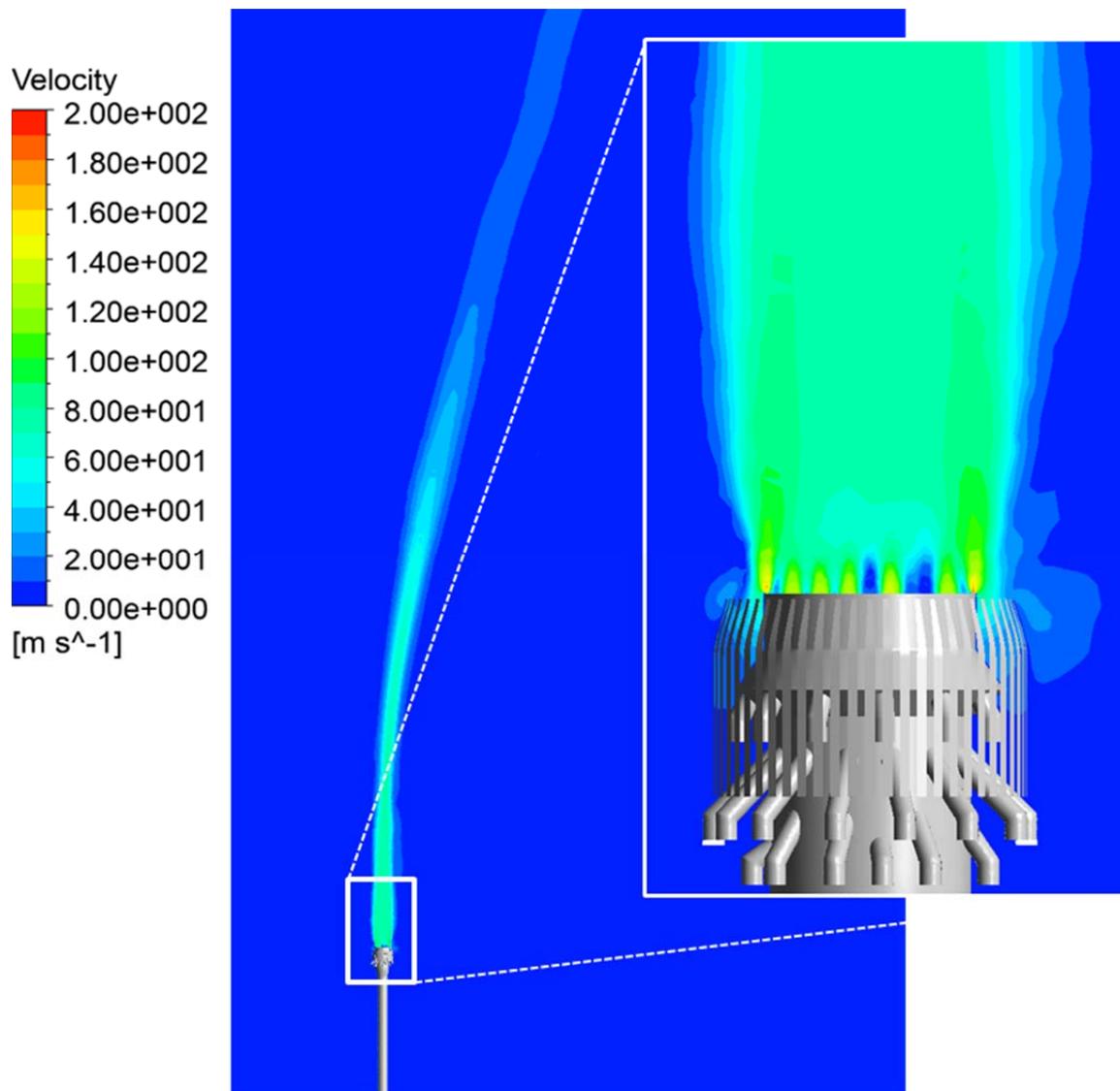


Fig. 39 – Mappa colorimetrica della velocità su un piano passante per l'asse del terminale; In alto a destra: zoom sul terminale.

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 / www.fivesgroup.com / itas@fivesgroup.com

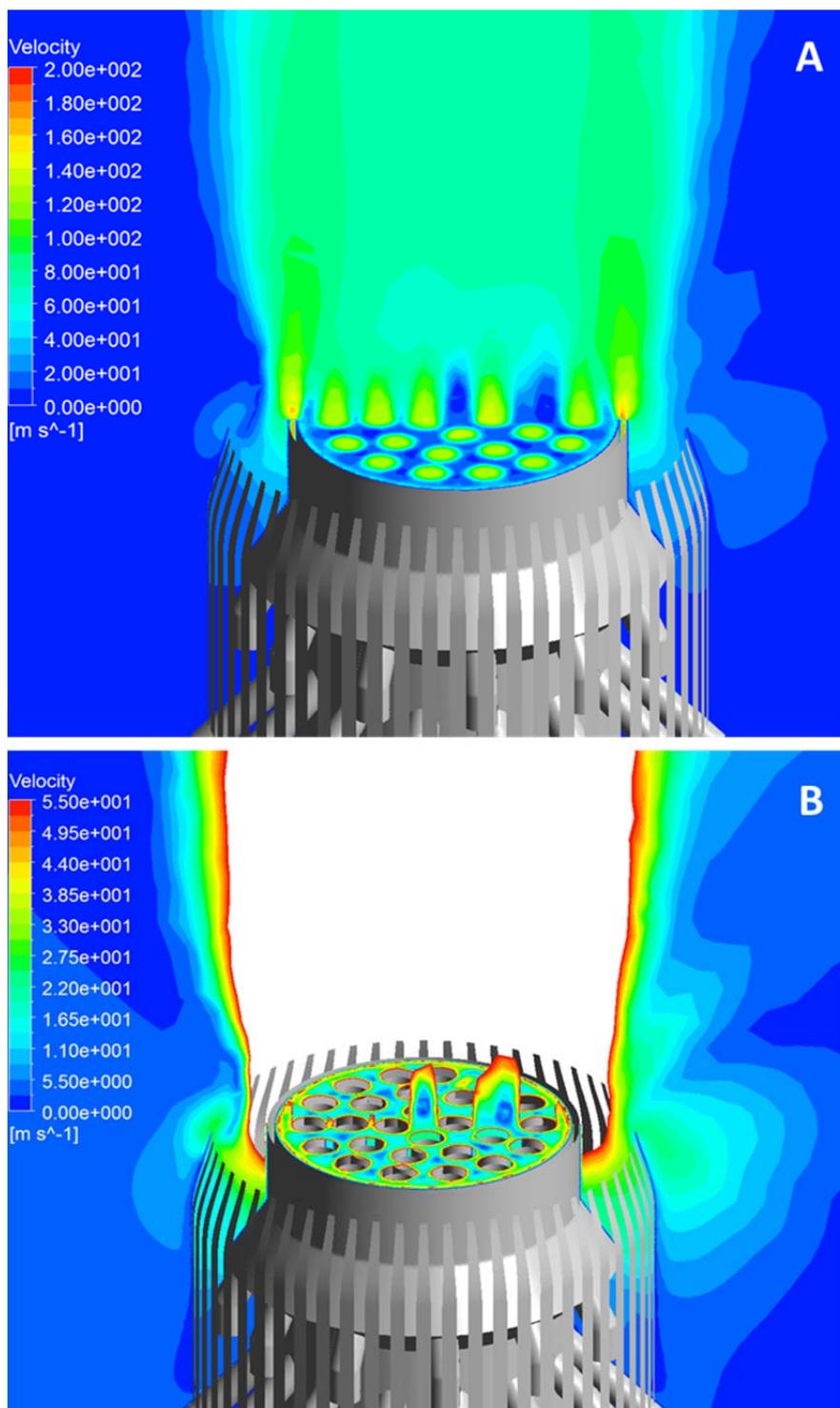


Fig. 40 – Mappa colorimetrica della velocità su un piano passante per l'asse del terminale e sul piano allo sbocco del terminale: (A) – range colorimetrico globale; (B) – range colorimetrico ridotto.

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 / www.fivesgroup.com / itas@fivesgroup.com

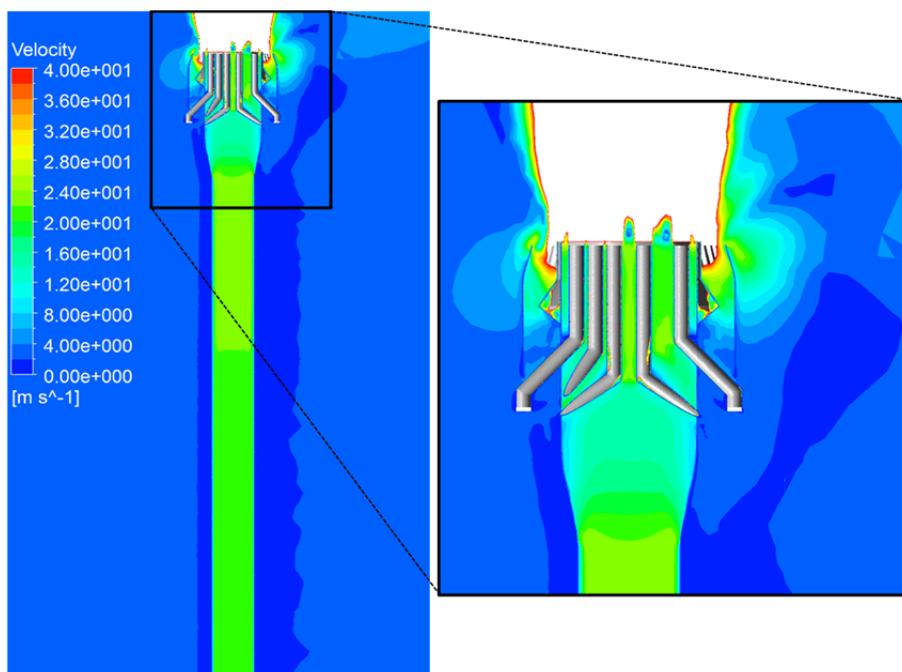


Fig. 41 – Mappa colorimetrica della velocità su un piano passante per l’asse del terminale; a destra: zoom della velocità all’interno del terminale.

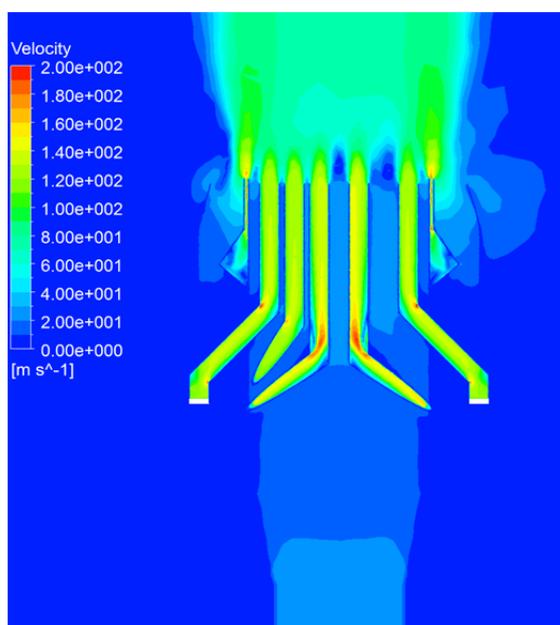


Fig. 42 – Mappa colorimetrica della velocità su un piano passante per l’asse del terminale, velocità all’interno degli eiettori vapore.

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 / www.fivesgroup.com / itas@fivesgroup.com

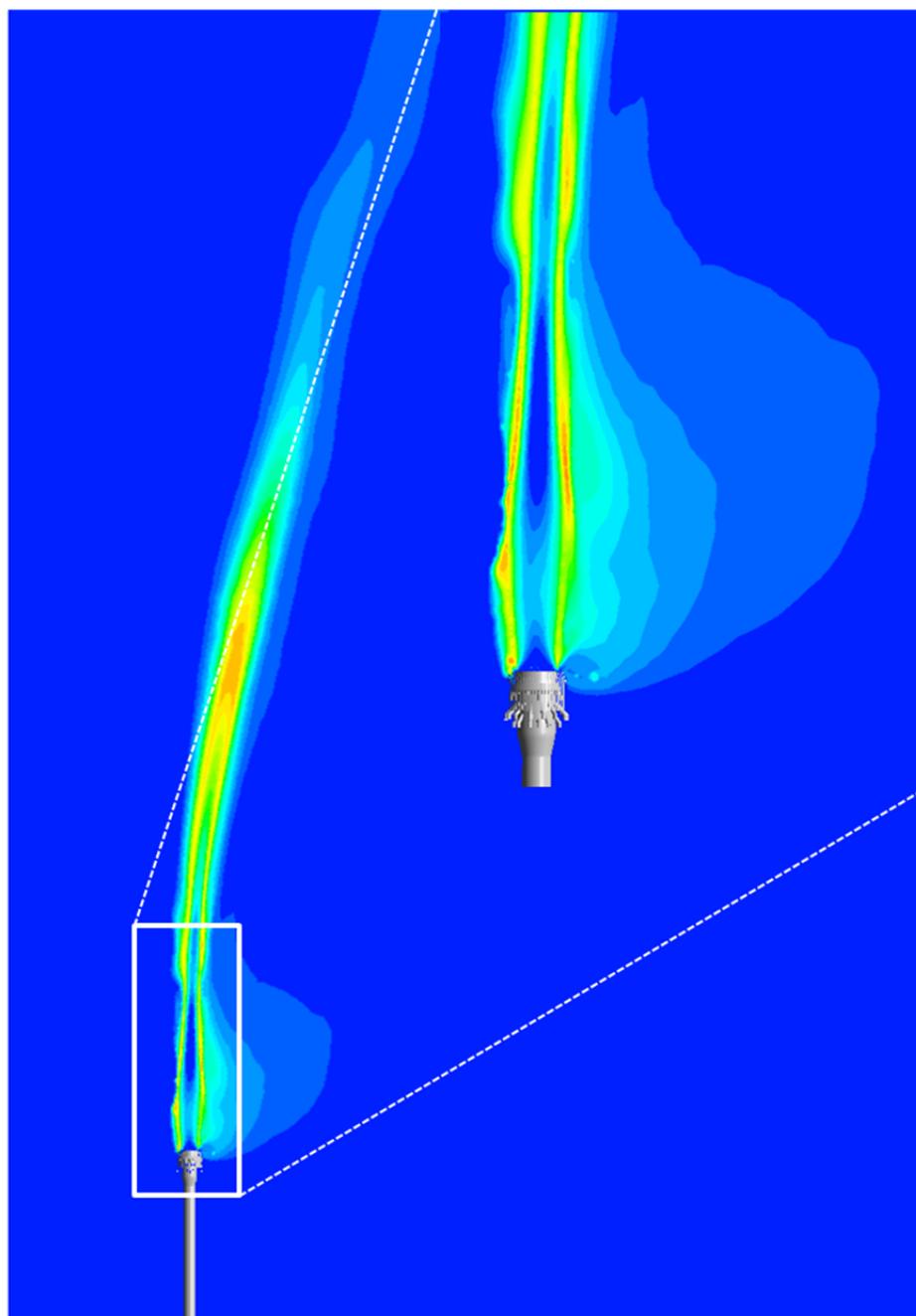
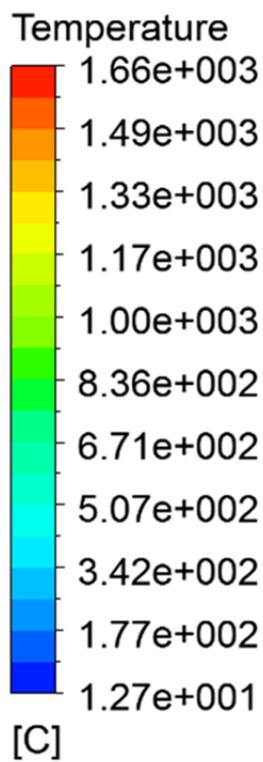


Fig. 43 – Mappa colorimetrica della temperatura su un piano passante per l’asse del terminale; in alto a destra: zoom della temperatura all’uscita del terminale.

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 / www.fivesgroup.com / itas@fivesgroup.com

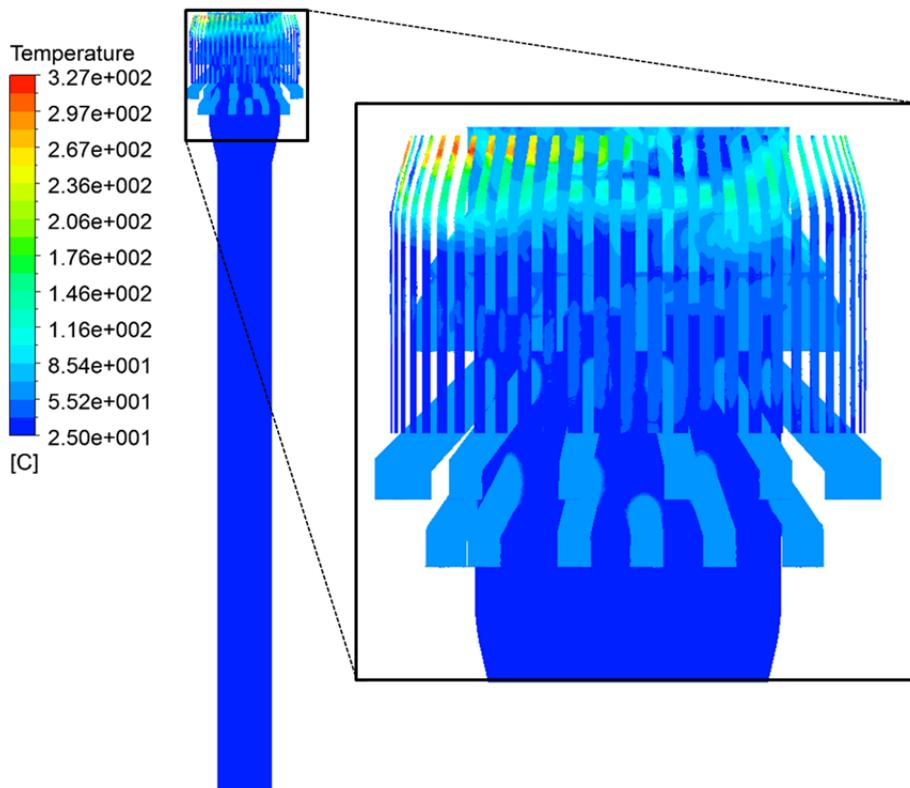


Fig. 44 – Mappa colorimetrica della temperatura sulle pareti della torcia fino a 20 m al di sotto dello sbocco.

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 / www.fivesgroup.com / itas@fivesgroup.com

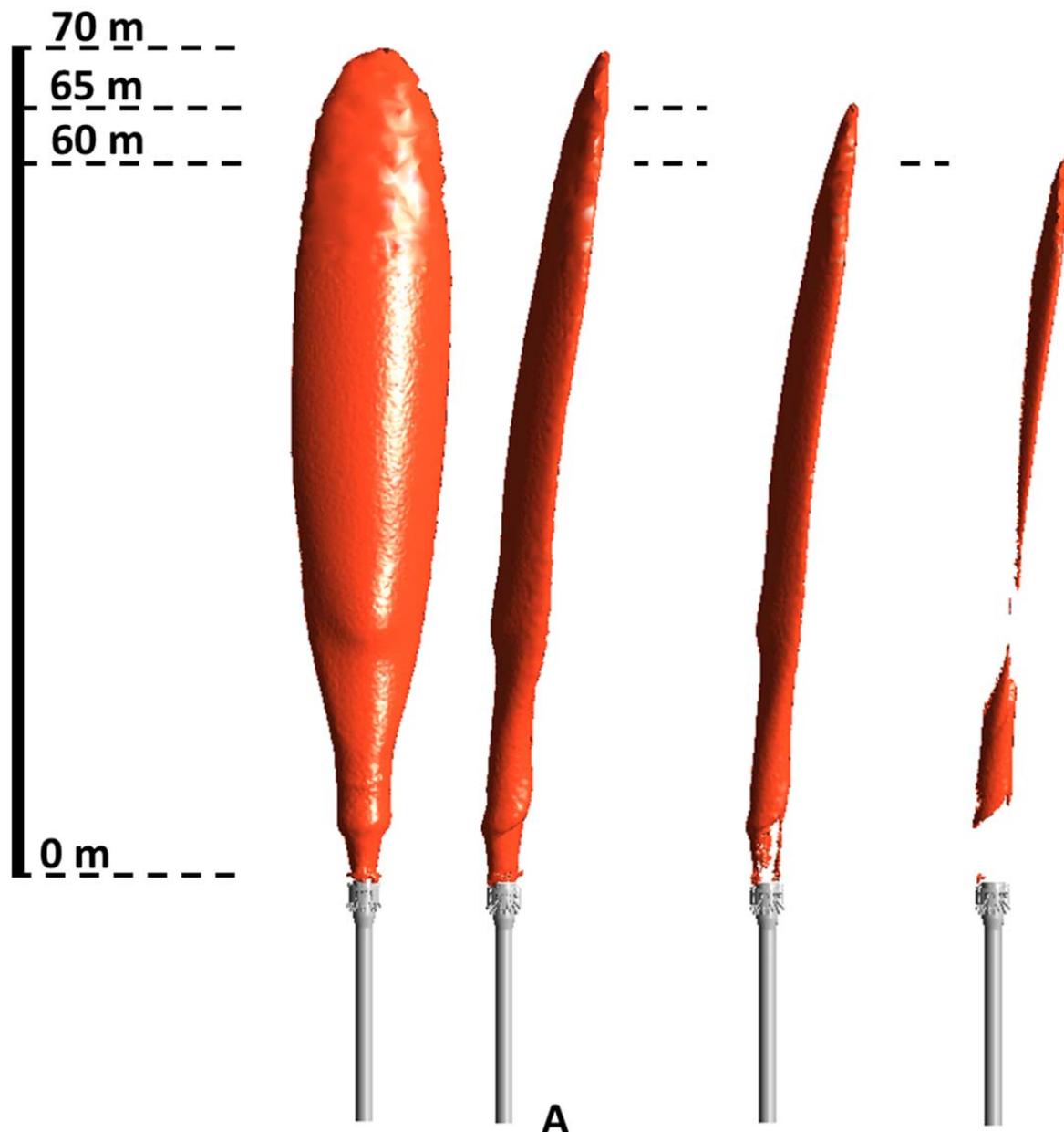


Fig. 45 – Superficie ad iso-temperatura: (A) – $T = 1200$ K, vista lato sottovento e laterale; (B) – $T = 1400$ K; (C) – $T = 1600$ K.

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 / www.fivesgroup.com / itas@fivesgroup.com

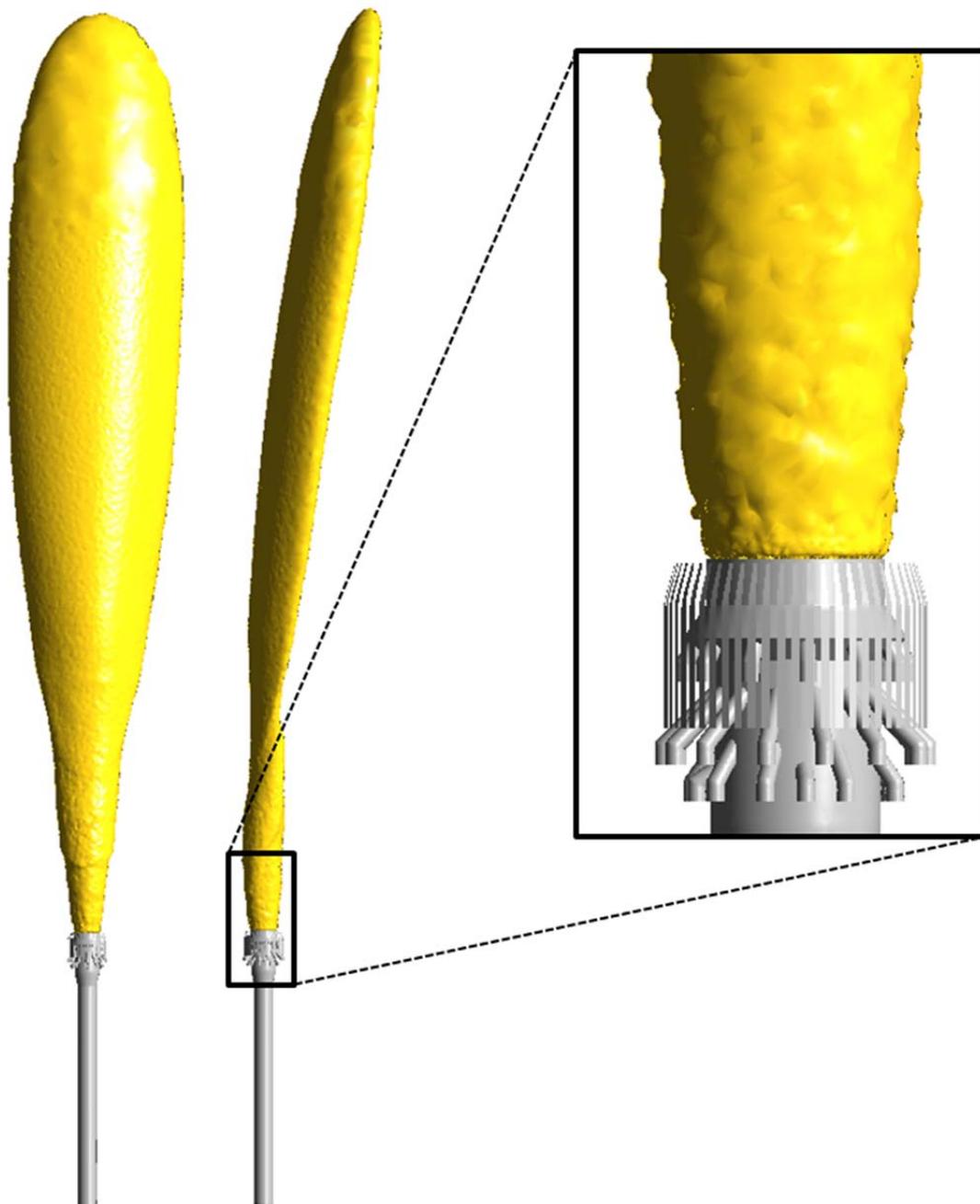


Fig. 46 – Superficie ad iso-concentrazione di CO: [CO] = 1000 pp, vista lato sottovento e laterale..

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 / www.fivesgroup.com / itas@fivesgroup.com

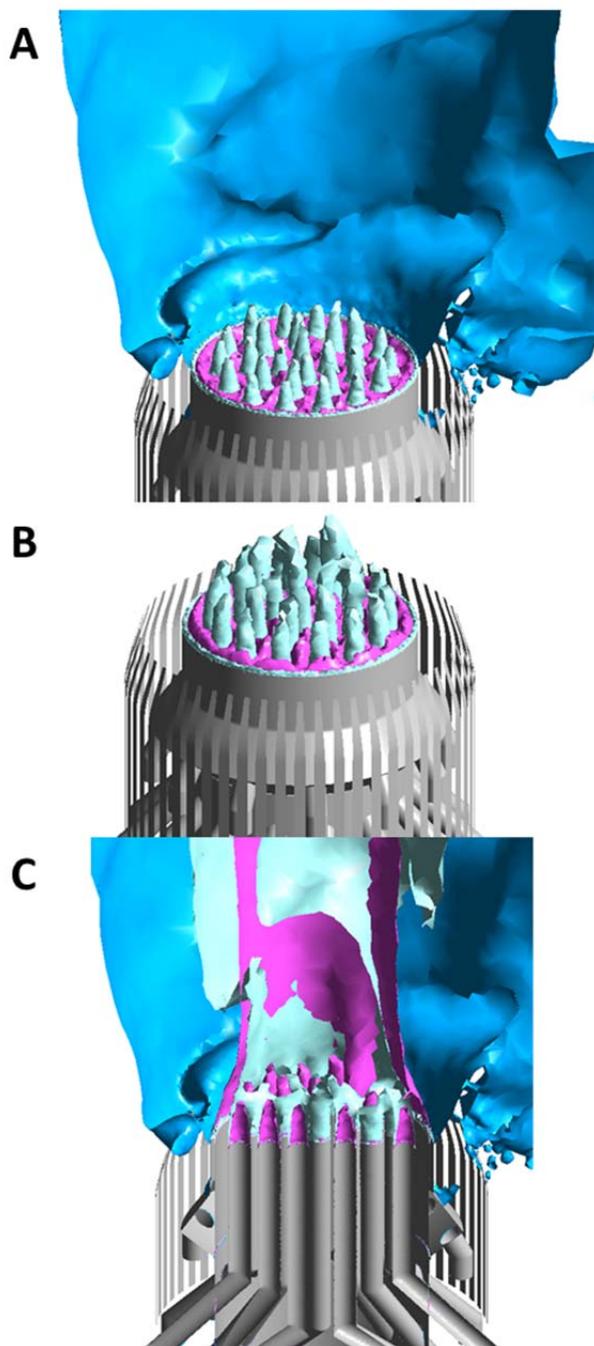


Fig. 47 – Superfici ad iso-concentrazione di CH_4 (fucsia); N_2 (azzurro); H_2O (verde acqua): (A) – frazione in massa $[CH_4] = 0,028$; $[N_2] = 0,75$; $[H_2O] = 0,2$; (B) – frazione in massa $[CH_4] = 0,02$; $[N_2] = 0$; $[H_2O] = 0,17$; (C) – frazione in massa $[CH_4] = 0,005$; $[N_2] = 0,75$; $[H_2O] = 0,15$.

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 / www.fivesgroup.com / itas@fivesgroup.com

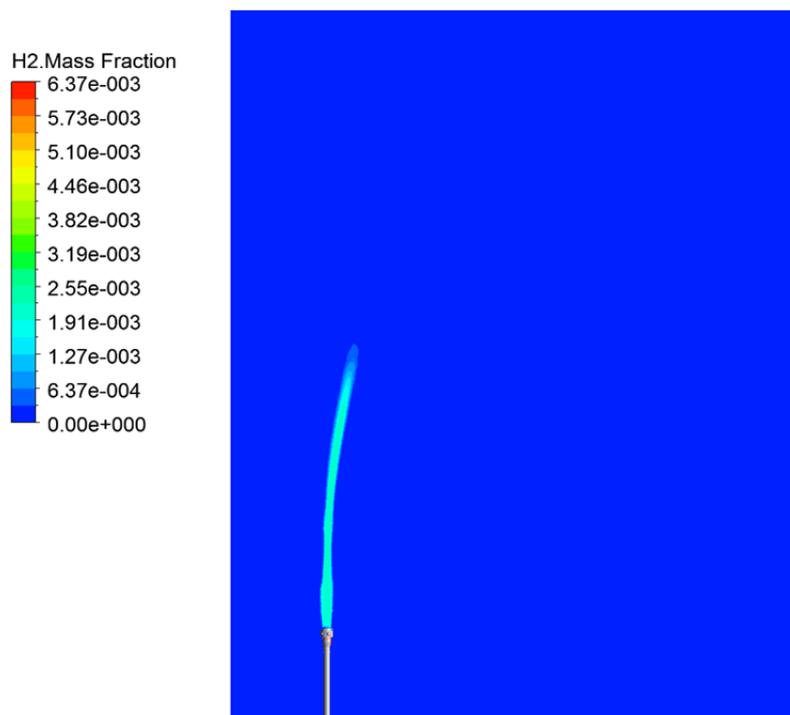


Fig. 48 – Mappa colorimetrica della concentrazione di H_2 su un piano passante per l'asse del terminale.

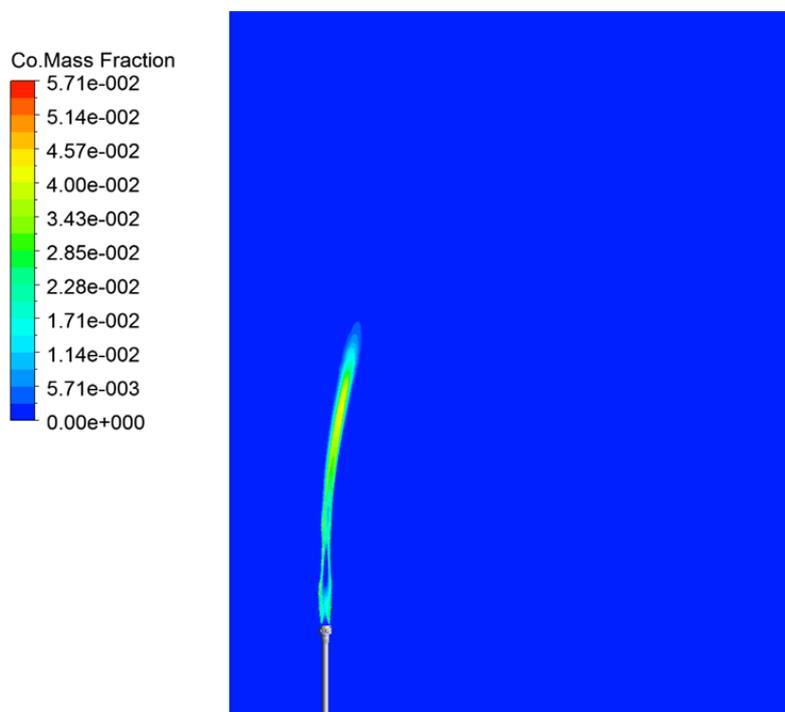


Fig. 49 – Mappa colorimetrica della concentrazione di CO su un piano passante per l'asse del terminale.

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 / www.fivesgroup.com / itas@fivesgroup.com

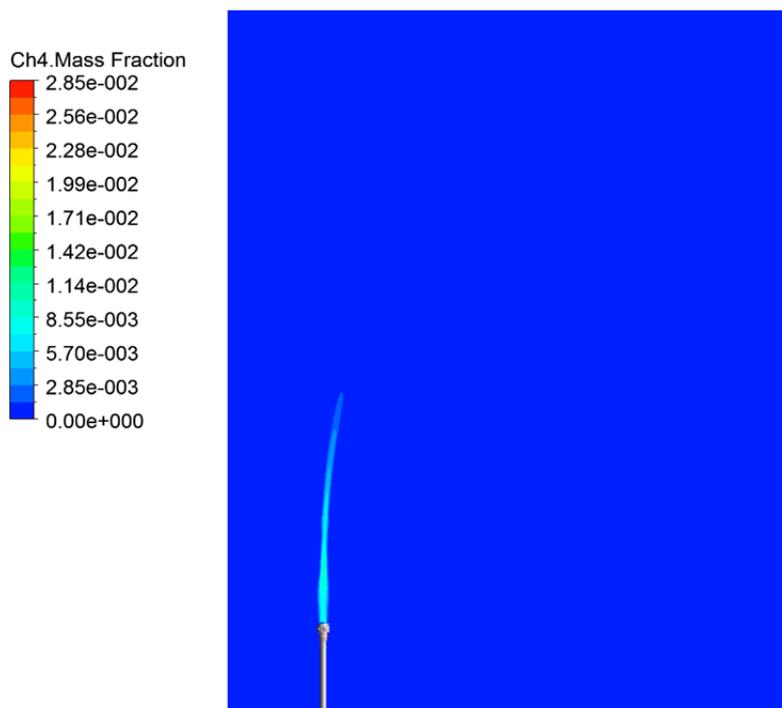


Fig. 50 – Mappa colorimetrica della concentrazione di CH_4 su un piano passante per l'asse del terminale.

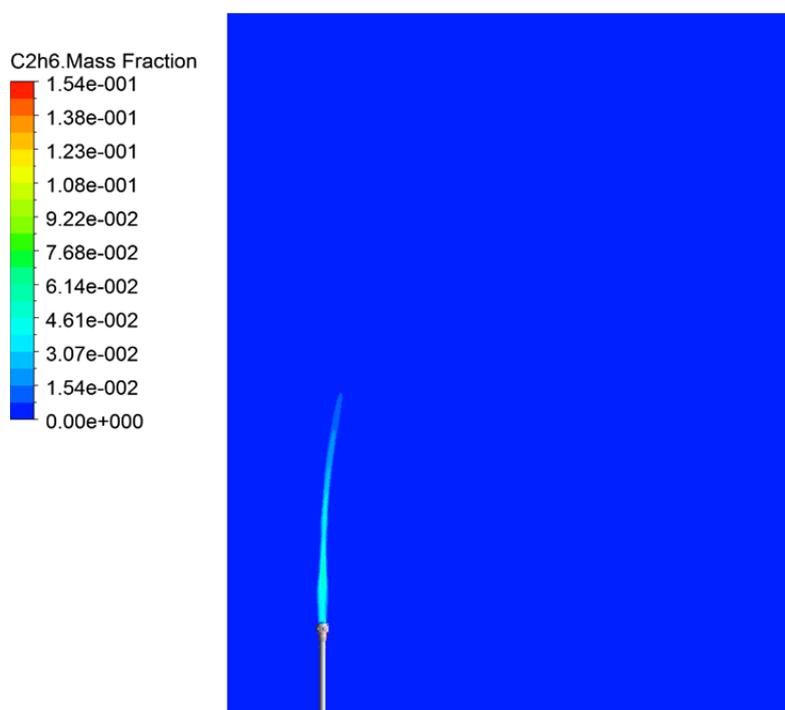


Fig. 51 – Mappa colorimetrica della concentrazione di C_2H_6 su un piano passante per l'asse del terminale.

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 / www.fivesgroup.com / itas@fivesgroup.com

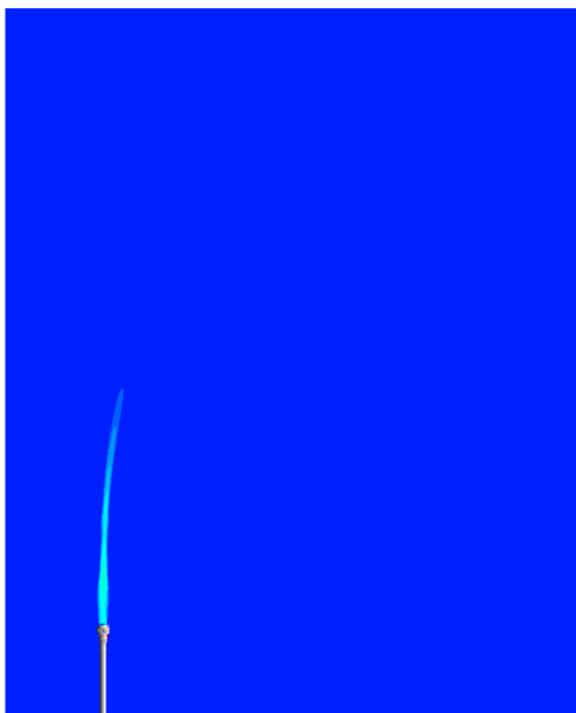
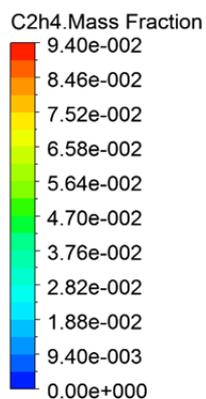


Fig. 52 – Mappa colorimetrica della concentrazione di C_2H_4 su un piano passante per l'asse del terminale.

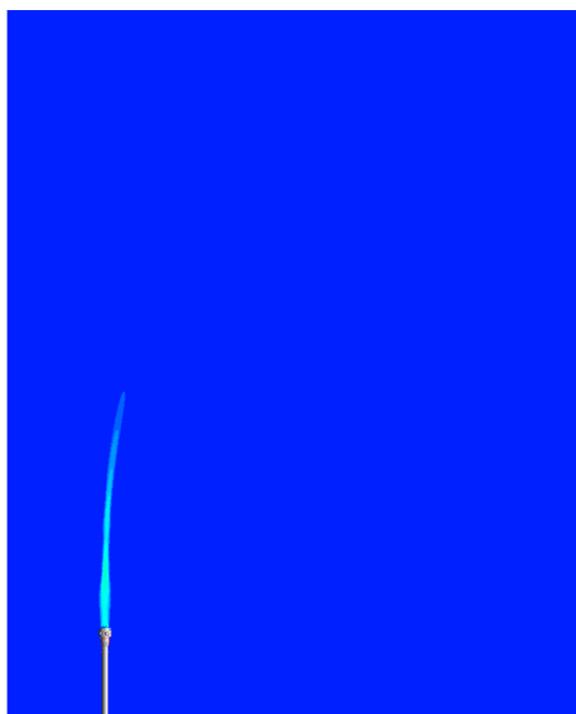
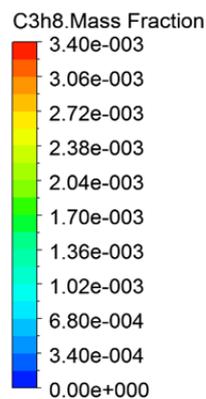


Fig. 53 – Mappa colorimetrica della concentrazione di C_3H_8 su un piano passante per l'asse del terminale.

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 / www.fivesgroup.com / itas@fivesgroup.com

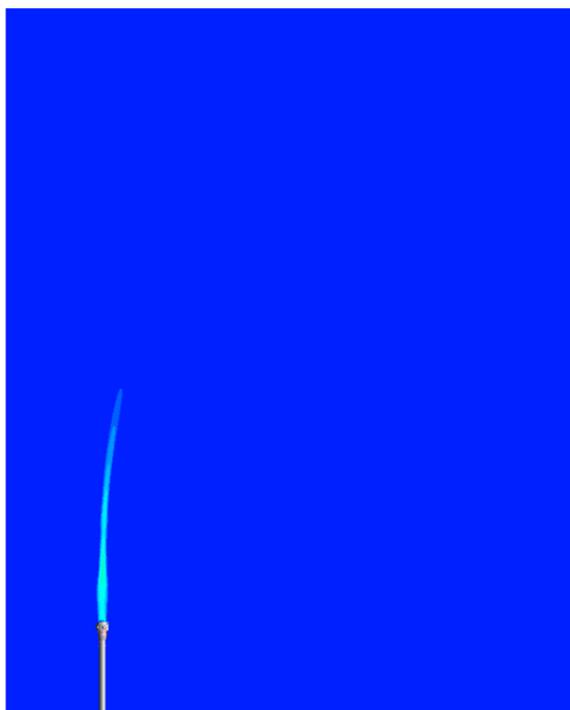
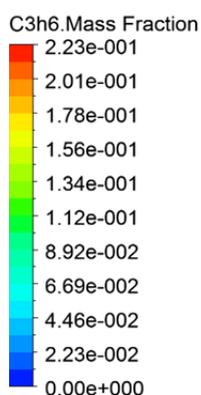


Fig. 54 – Mappa colorimetrica della concentrazione di C_3H_6 su un piano passante per l'asse del terminale.

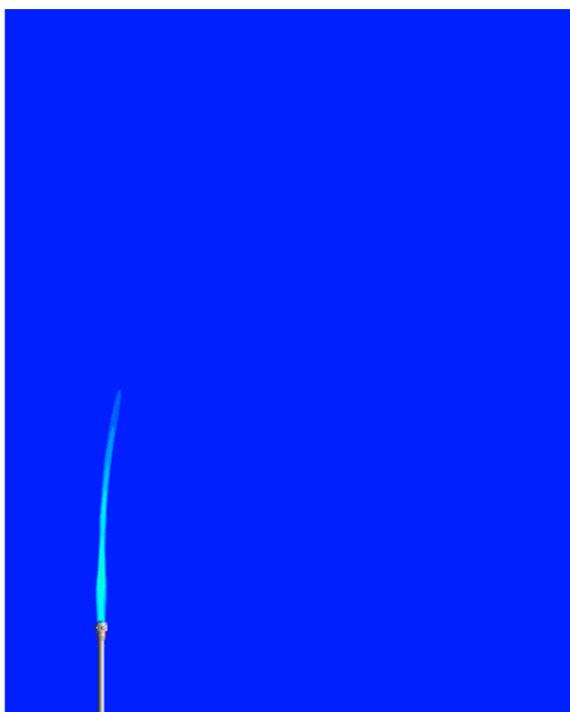
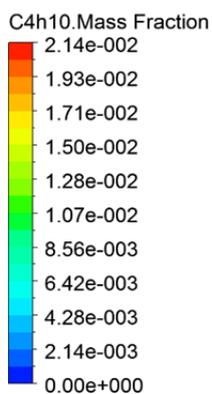


Fig. 55 – Mappa colorimetrica della concentrazione di C_4H_{10} su un piano passante per l'asse del terminale.

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 / www.fivesgroup.com / itas@fivesgroup.com

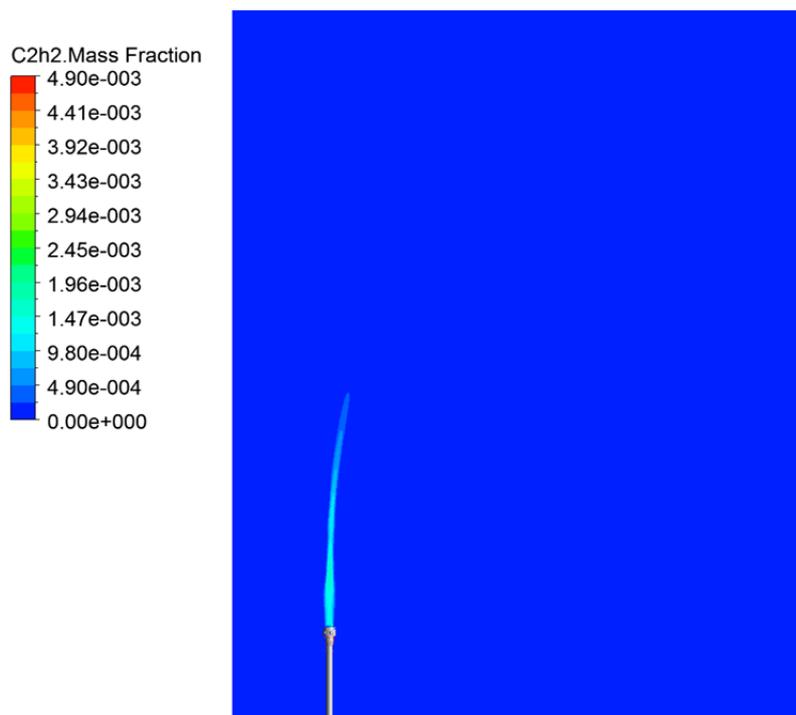


Fig. 56 – Mappa colorimetrica della concentrazione di C_2H_2 su un piano passante per l'asse del terminale.

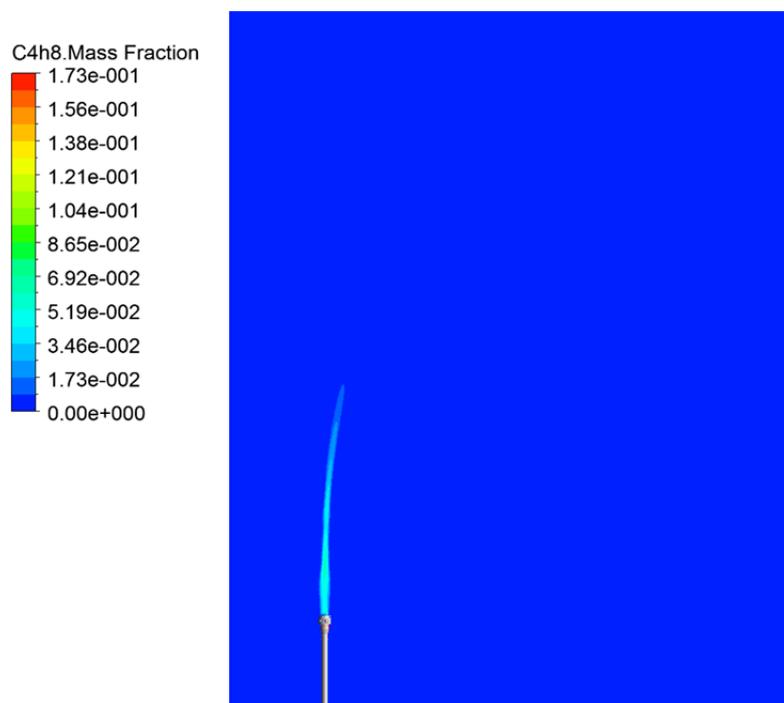


Fig. 57 – Mappa colorimetrica della concentrazione di C_4H_8 su un piano passante per l'asse del terminale.

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 / www.fivesgroup.com / itas@fivesgroup.com

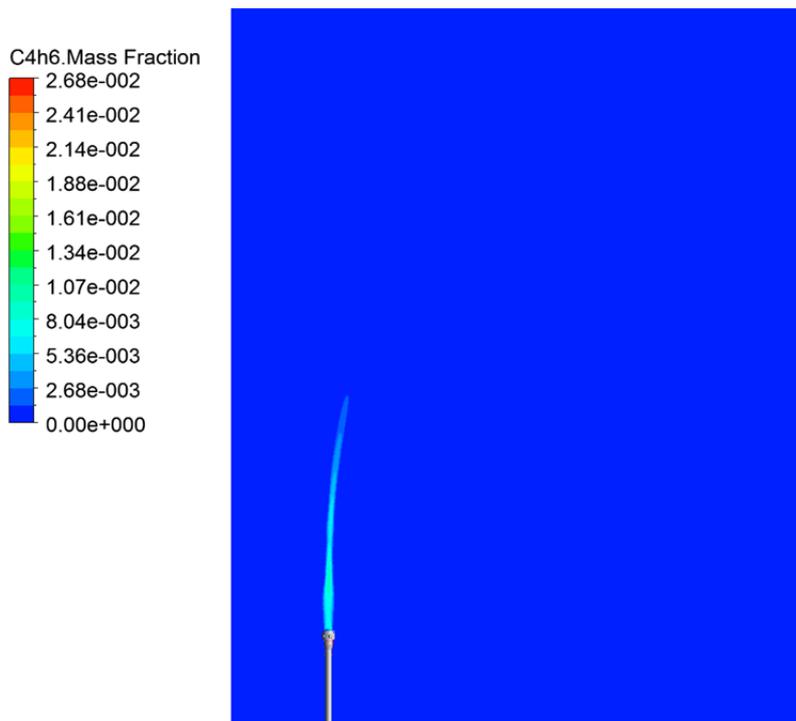


Fig. 58 – Mappa colorimetrica della concentrazione di C_4H_6 su un piano passante per l'asse del terminale.

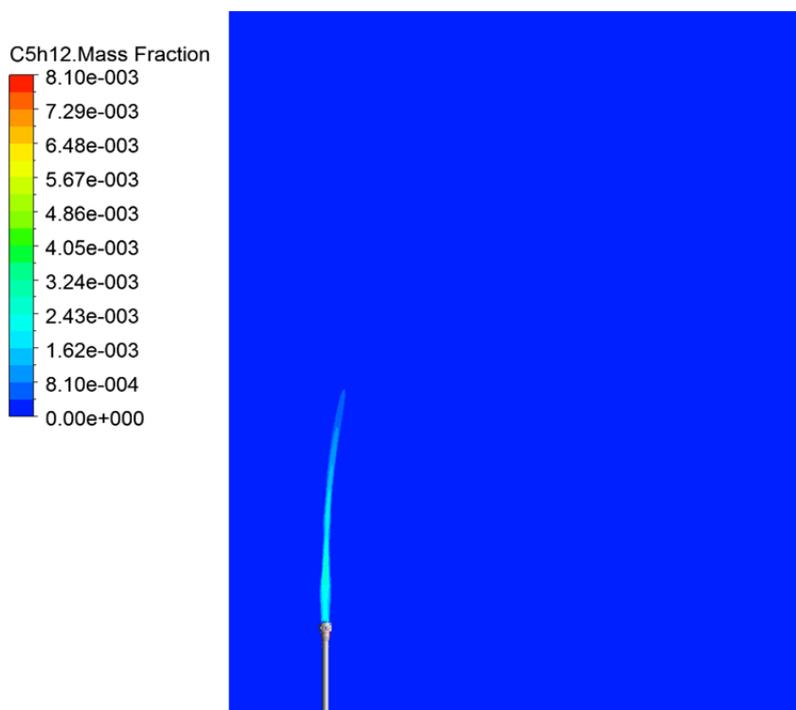


Fig. 59 – Mappa colorimetrica della concentrazione di C_5H_{12} su un piano passante per l'asse del terminale.

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 / www.fivesgroup.com / itas@fivesgroup.com

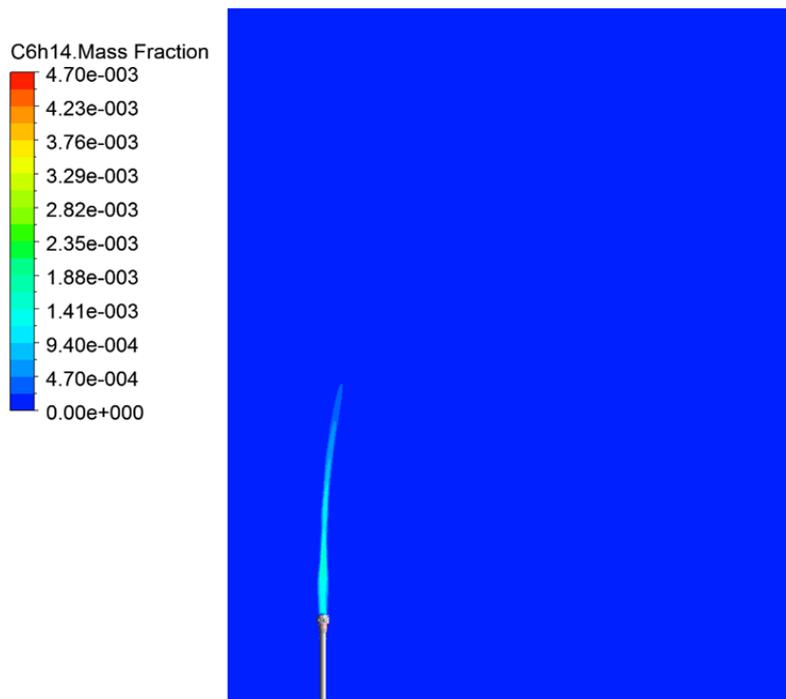


Fig. 60 – Mappa colorimetrica della concentrazione di C_6H_{14} su un piano passante per l'asse del terminale.

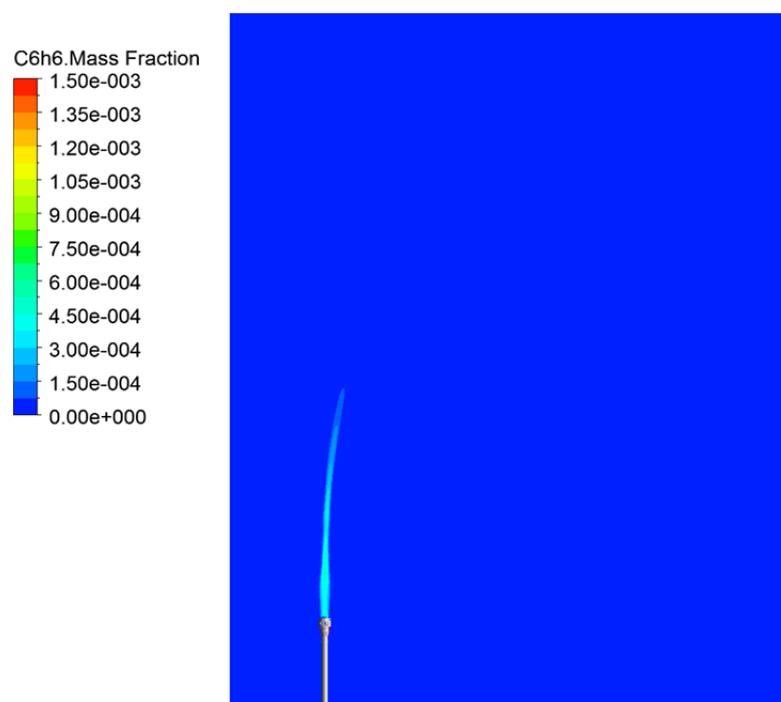


Fig. 61 – Mappa colorimetrica della concentrazione di C_6H_6 su un piano passante per l'asse del terminale.

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 / www.fivesgroup.com / itas@fivesgroup.com

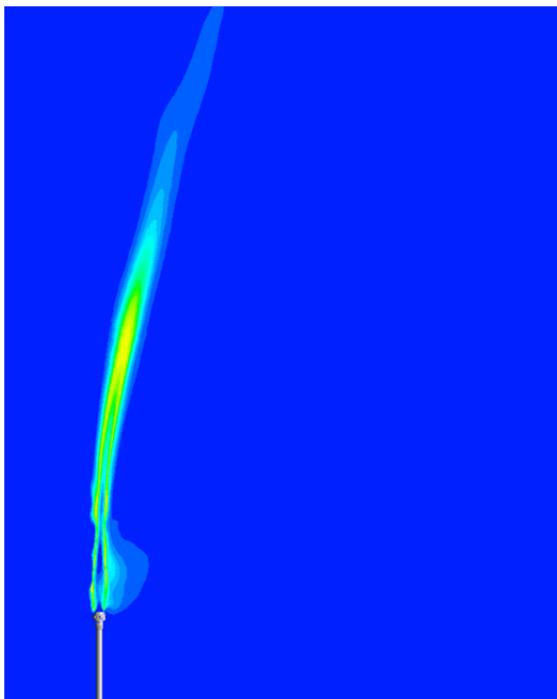
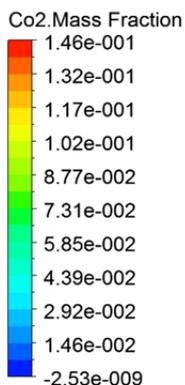


Fig. 62 – Mappa colorimetrica della concentrazione di CO₂ su un piano passante per l’asse del terminale.

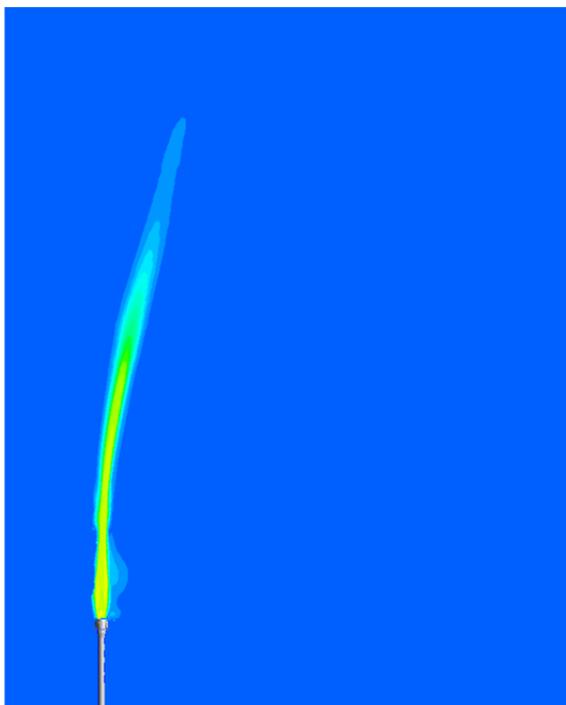
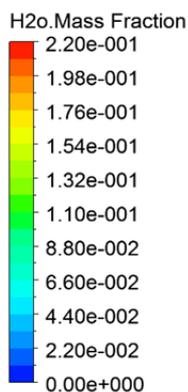


Fig. 63 – Mappa colorimetrica della concentrazione di H₂O su un piano passante per l’asse del terminale.

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 / www.fivesgroup.com / itas@fivesgroup.com

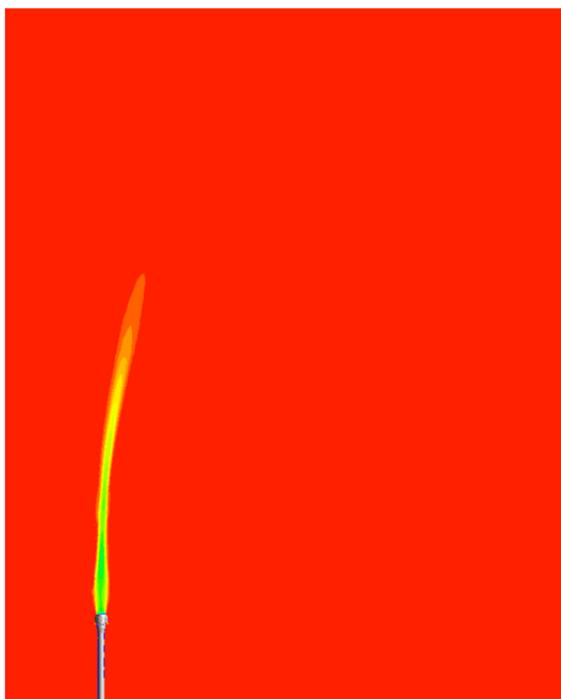
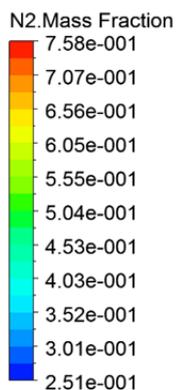


Fig. 64 – Mappa colorimetrica della concentrazione di N_2 su un piano passante per l'asse del terminale.

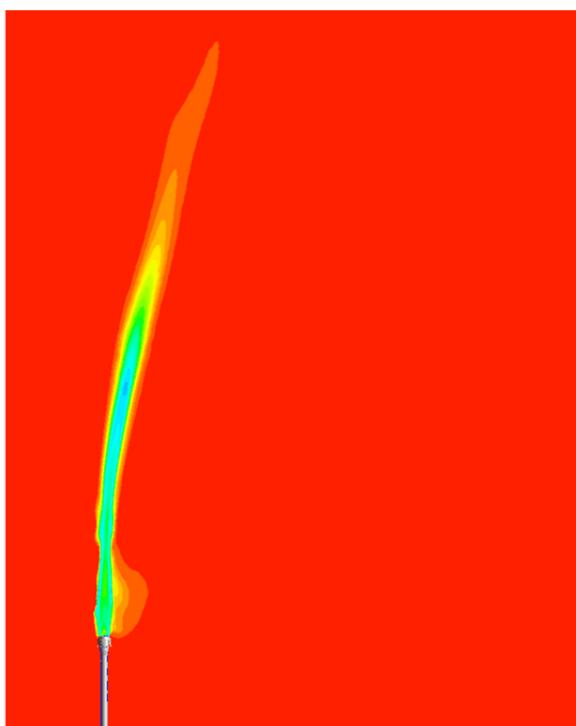
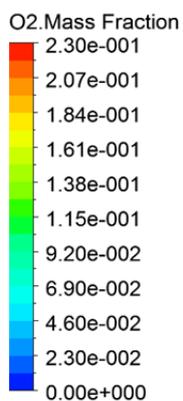


Fig. 65 – Mappa colorimetrica della concentrazione di O_2 su un piano passante per l'asse del terminale.

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 / www.fivesgroup.com / itas@fivesgroup.com

1.3.1.3 CASO 3: 84 t/h

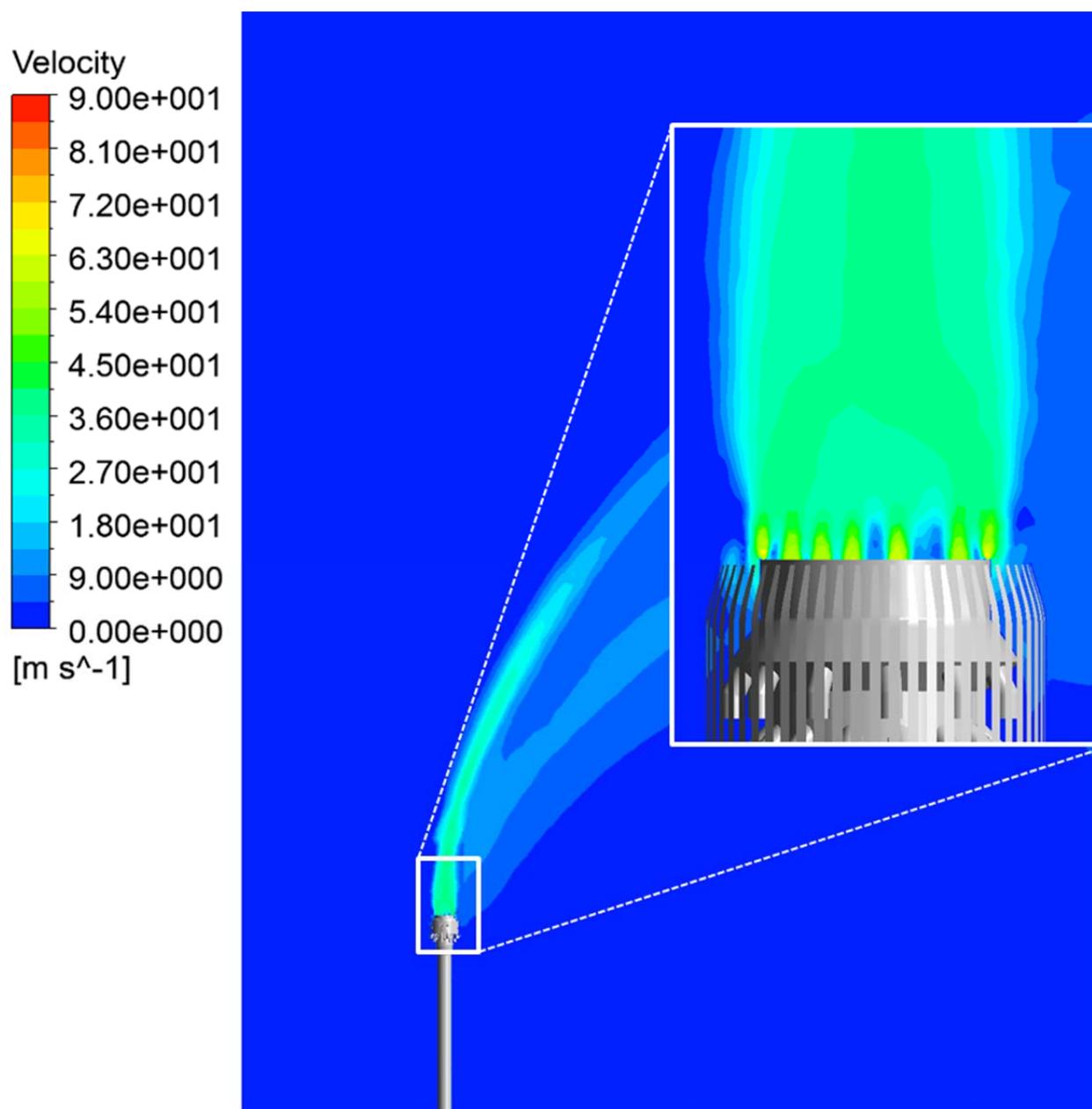


Fig. 66 – Mappa colorimetrica della velocità su un piano passante per l’asse del terminale; In alto a destra: zoom sul terminale.

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 / www.fivesgroup.com / itas@fivesgroup.com

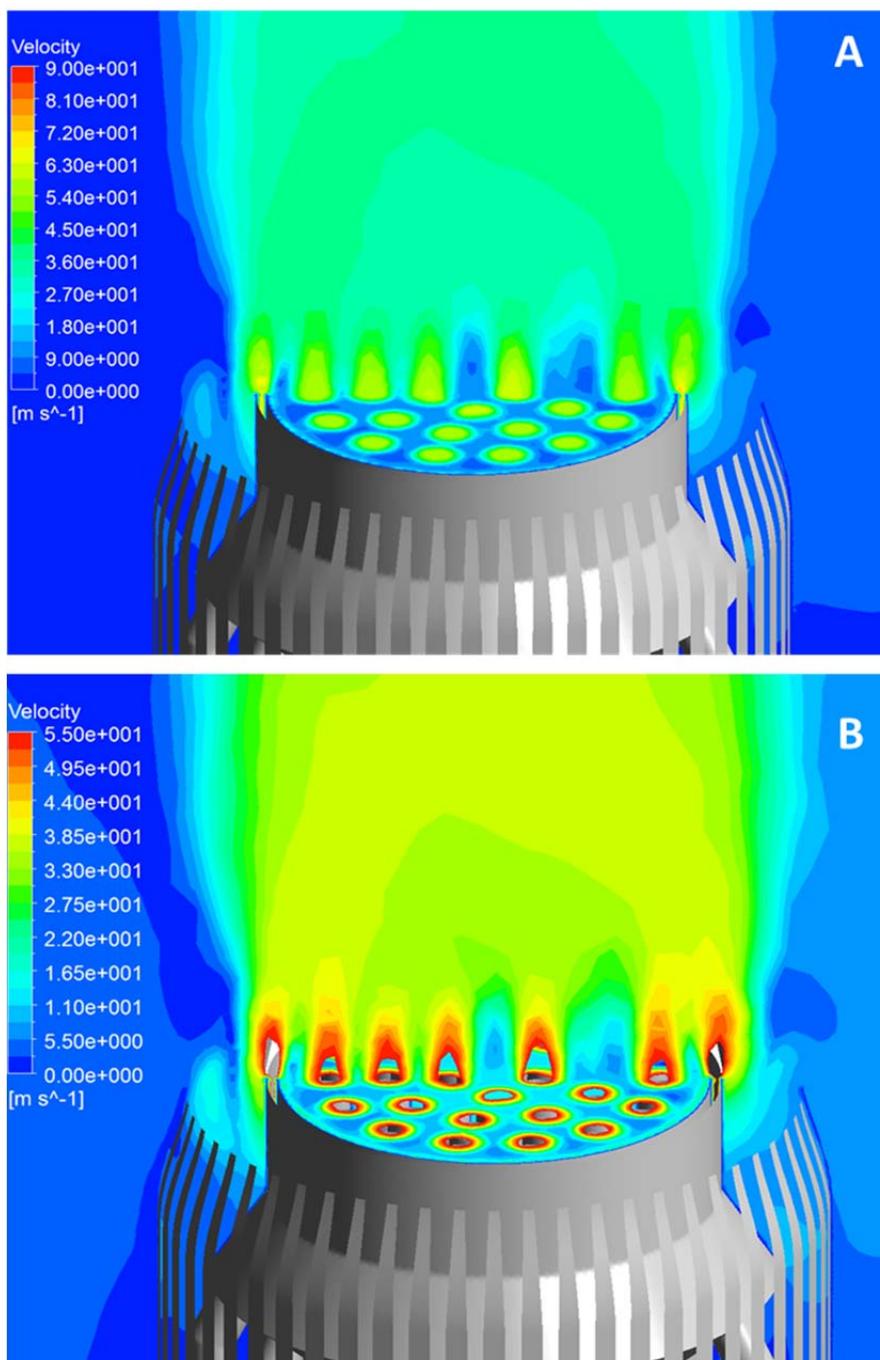


Fig. 67 – Mappa colorimetrica della velocità su un piano passante per l'asse del terminale e sul piano allo sbocco del terminale: (A) – range colorimetrico globale; (B) – range colorimetrico ridotto.

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 / www.fivesgroup.com / itas@fivesgroup.com

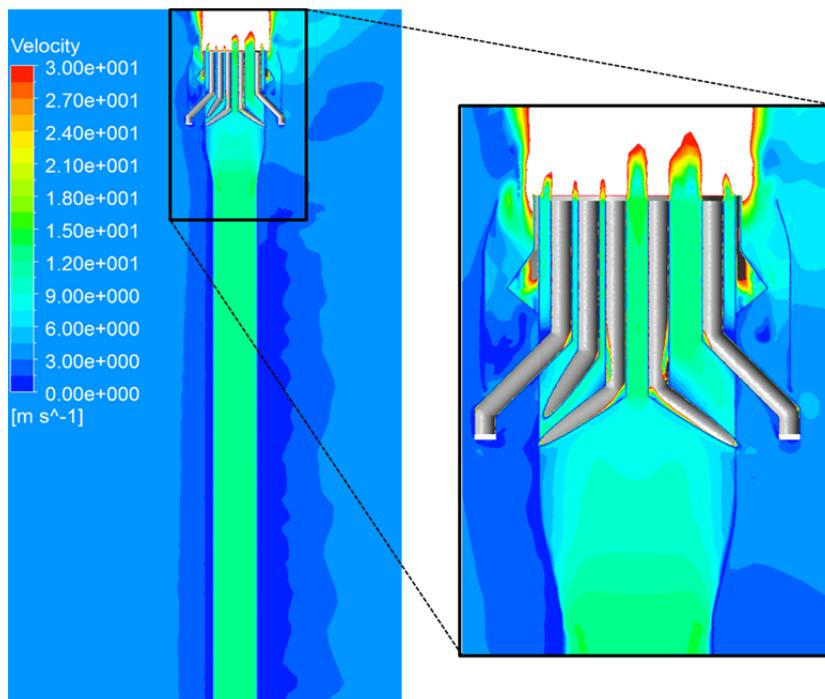


Fig. 68 – Mappa colorimetrica della velocità su un piano passante per l’asse del terminale; a destra: zoom della velocità all’interno del terminale.

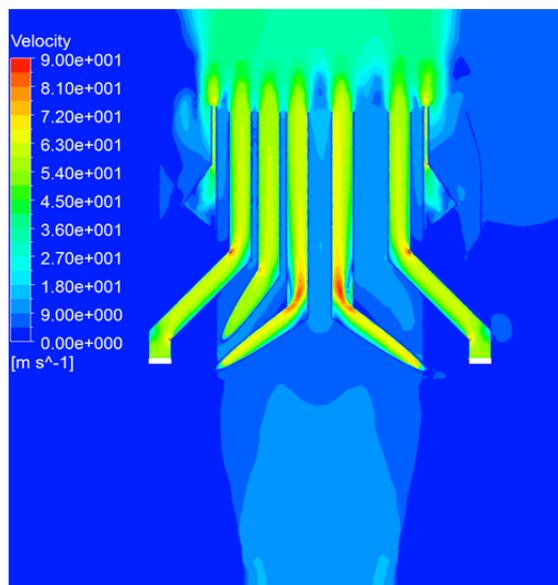


Fig. 69 – Mappa colorimetrica della velocità su un piano passante per l’asse del terminale, velocità all’interno degli eiettori vapore.

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 / www.fivesgroup.com / itas@fivesgroup.com

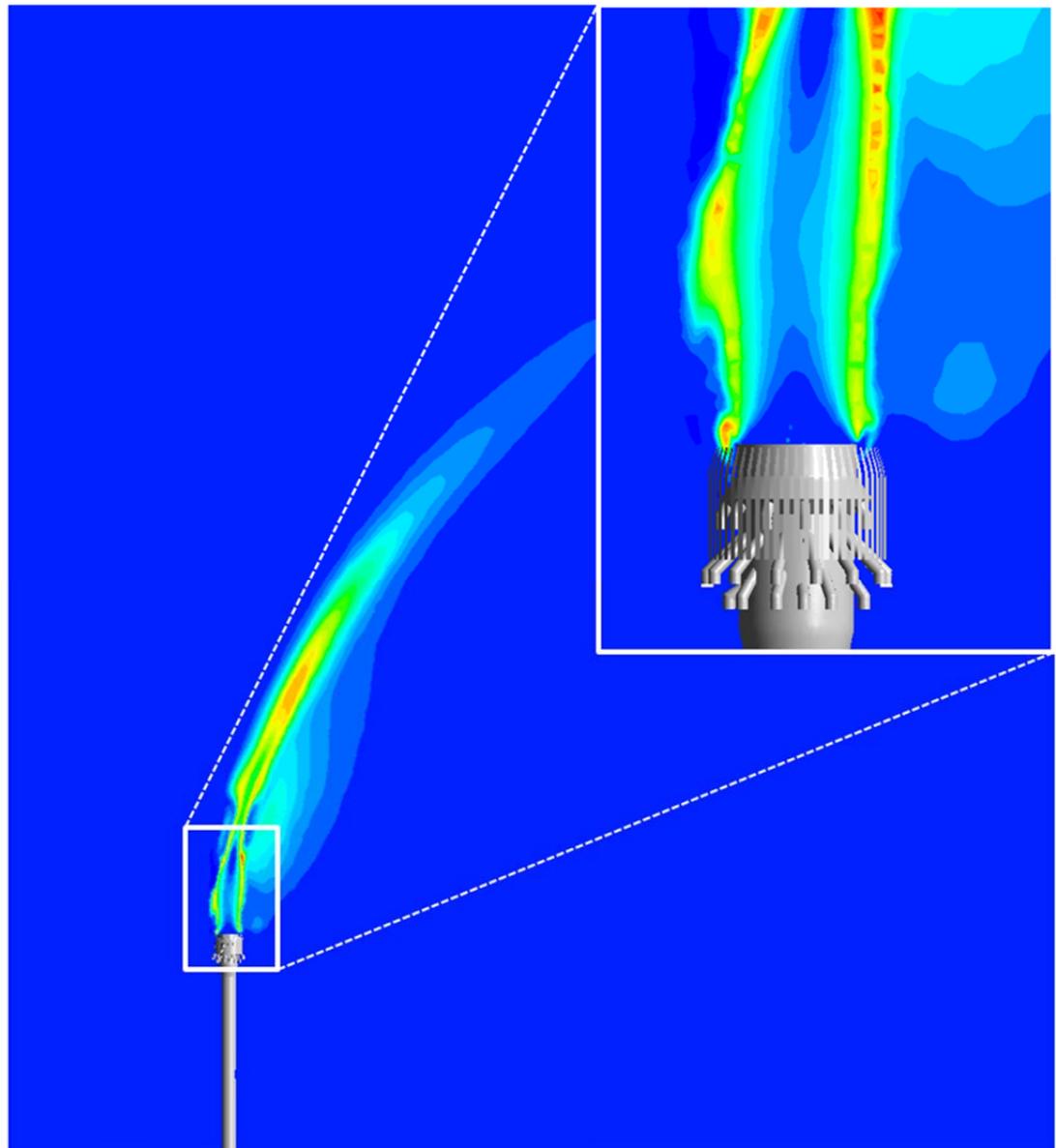
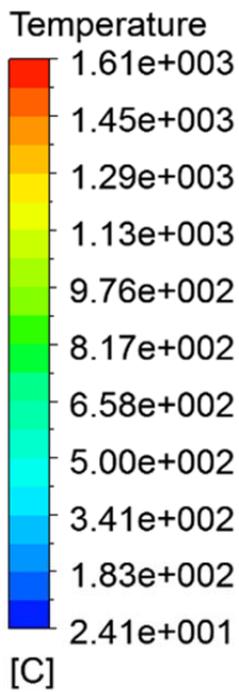


Fig. 70 – Mappa colorimetrica della temperatura su un piano passante per l’asse del terminale; in alto a destra: zoom della temperatura all’uscita del terminale.

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 / www.fivesgroup.com / itas@fivesgroup.com

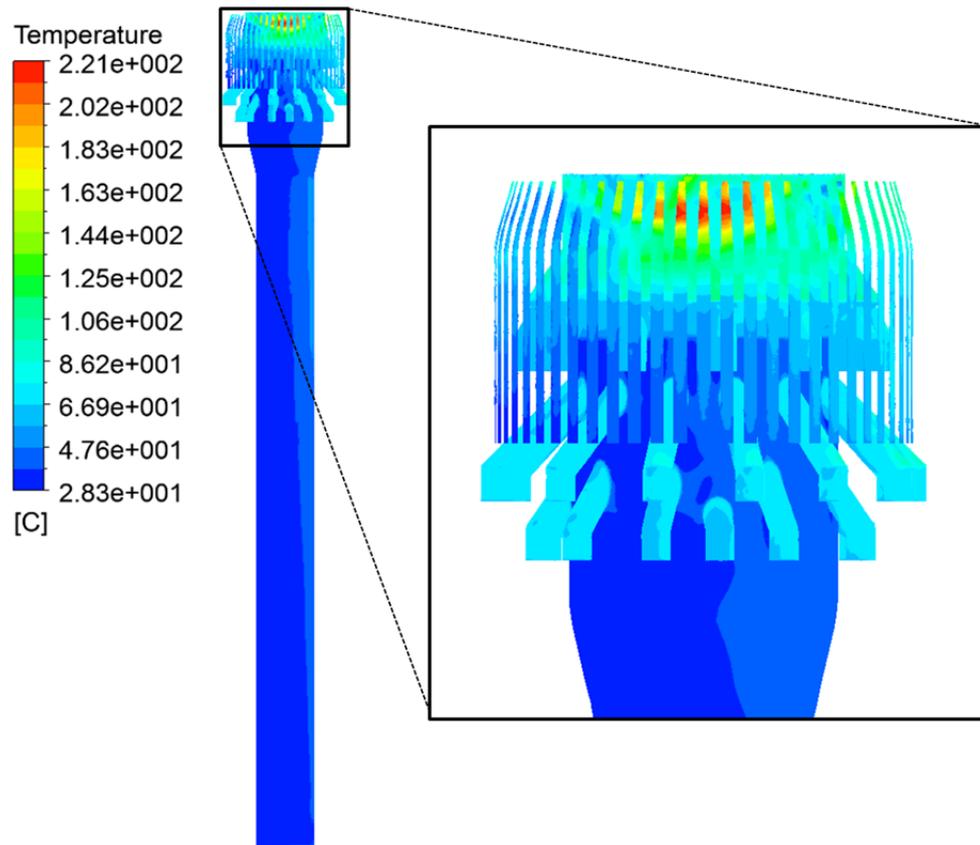


Fig. 71 – Mappa colorimetrica della temperatura sulle pareti della torcia fino a 20 m al di sotto dello sbocco.

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 / www.fivesgroup.com / itas@fivesgroup.com

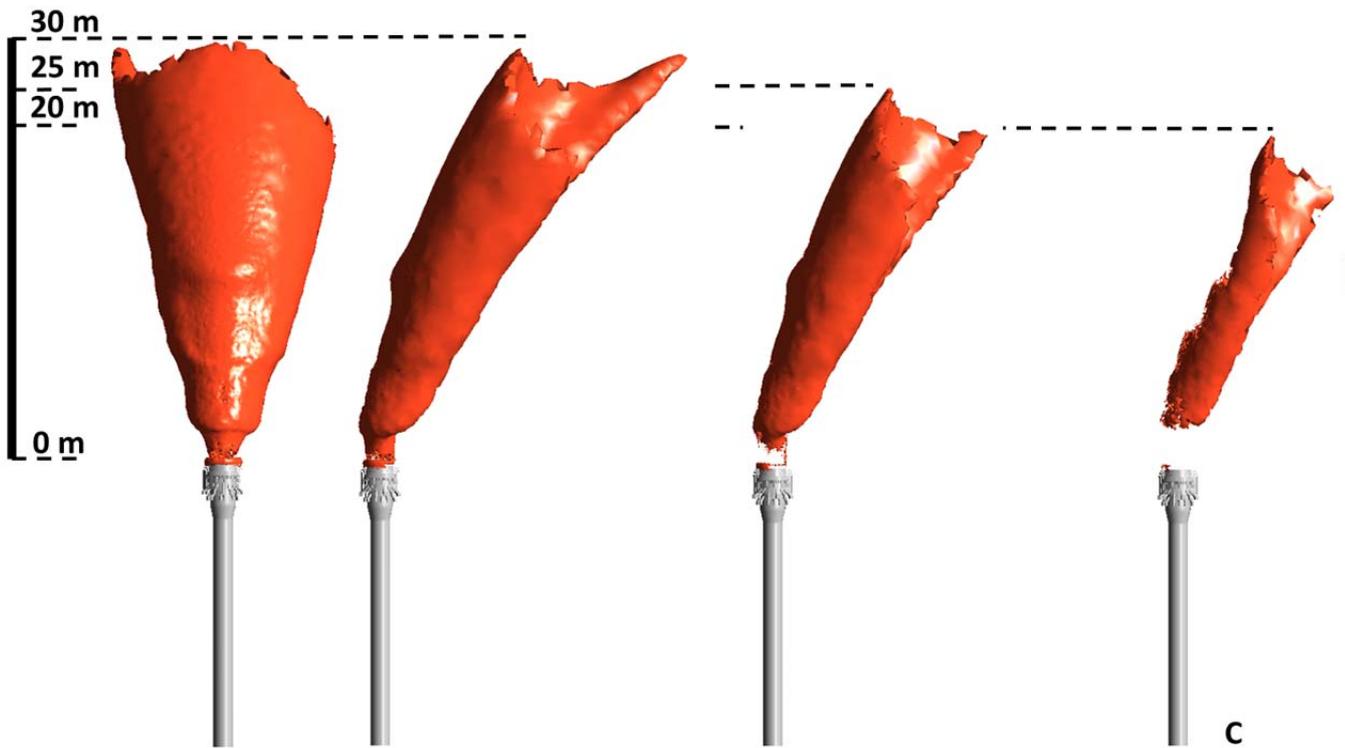


Fig. 72 – Superficie ad iso-temperatura: (A) – $T = 1200\text{ K}$, vista lato sottovento e laterale; (B) – $T = 1400\text{ K}$; (C) – $T = 1600\text{ K}$.

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 / www.fivesgroup.com / itas@fivesgroup.com

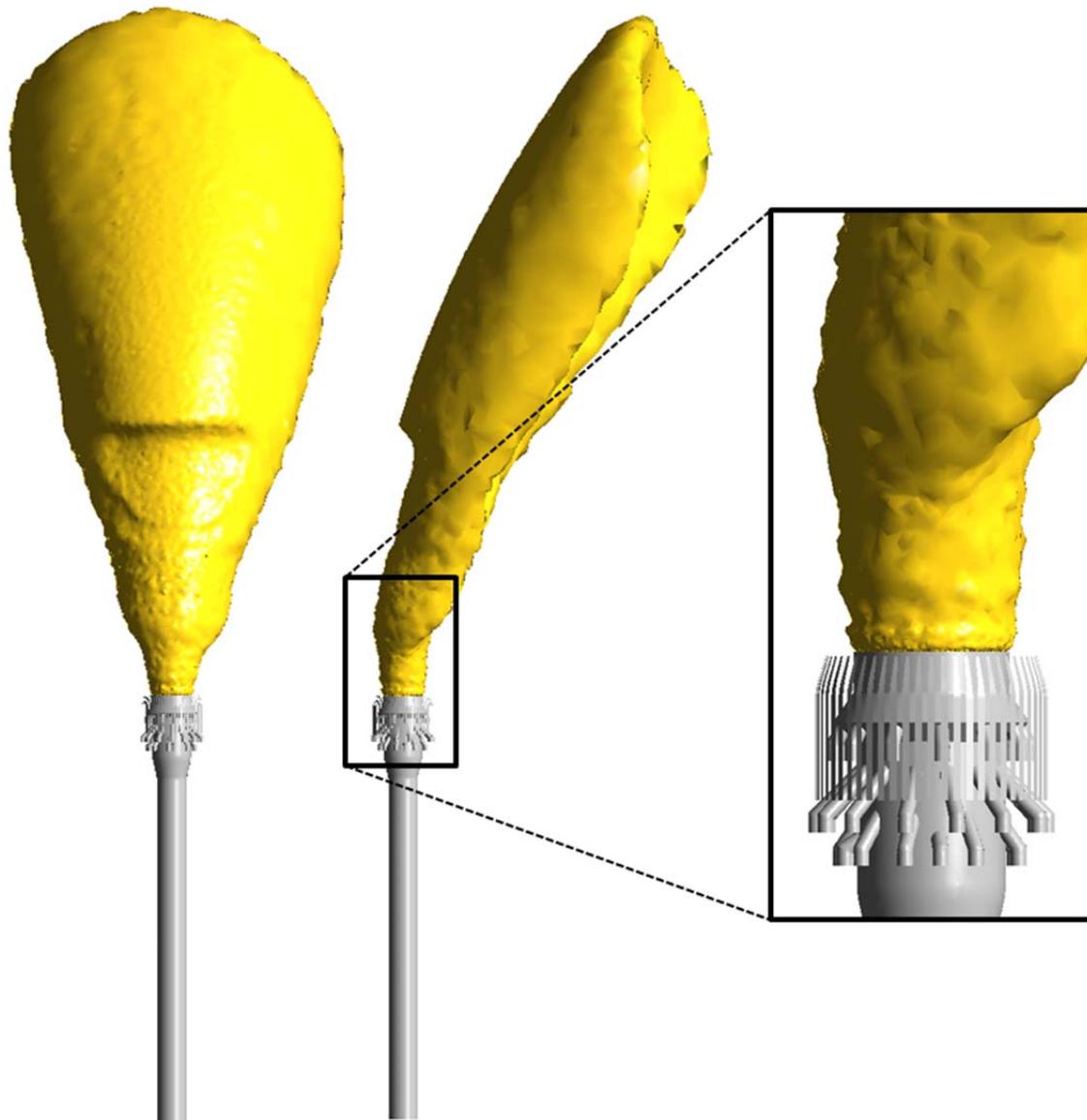


Fig. 73 – Superficie ad iso-concentrazione di CO: [CO] = 1000 ppm, vista lato sottovento e laterale.

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 / www.fivesgroup.com / itas@fivesgroup.com

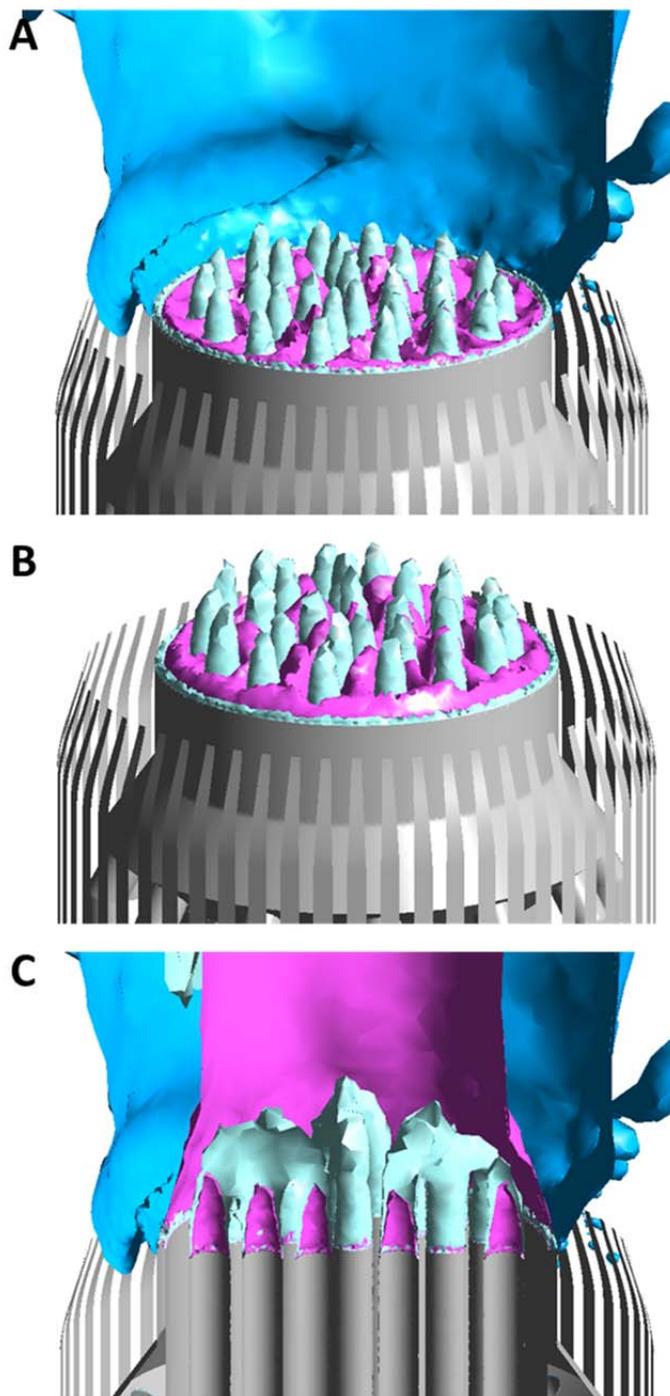


Fig. 74 – Superfici ad iso-concentrazione di CH_4 (fucsia); N_2 (azzurro); H_2O (verde acqua): (A) – frazione in massa $[CH_4] = 0,028$; $[N_2] = 0,75$; $[H_2O] = 0,2$; (B) – frazione in massa $[CH_4] = 0,02$; $[N_2] = 0$; $[H_2O] = 0,17$; (C) – frazione in massa $[CH_4] = 0,005$; $[N_2] = 0,75$; $[H_2O] = 0,15$.

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 / www.fivesgroup.com / itas@fivesgroup.com

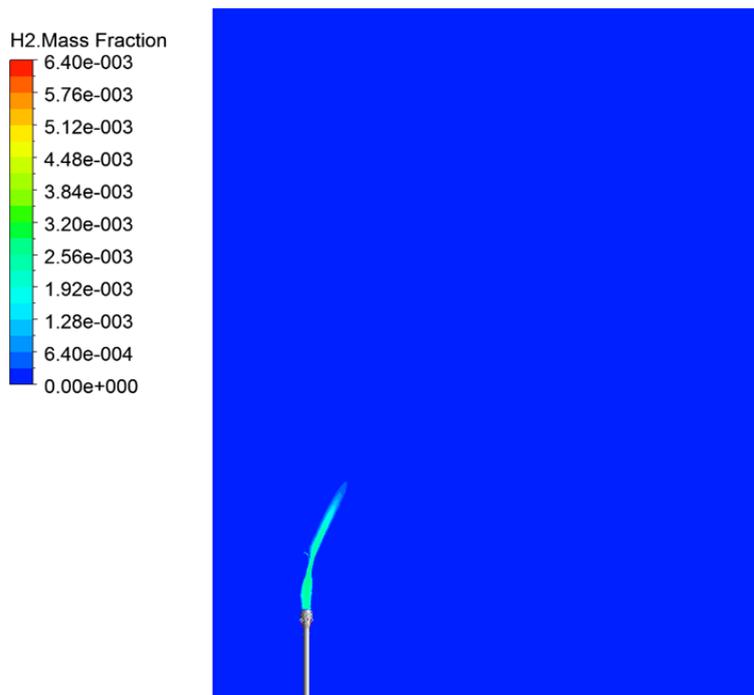


Fig. 75 – Mappa colorimetrica della concentrazione di H_2 su un piano passante per l'asse del terminale.

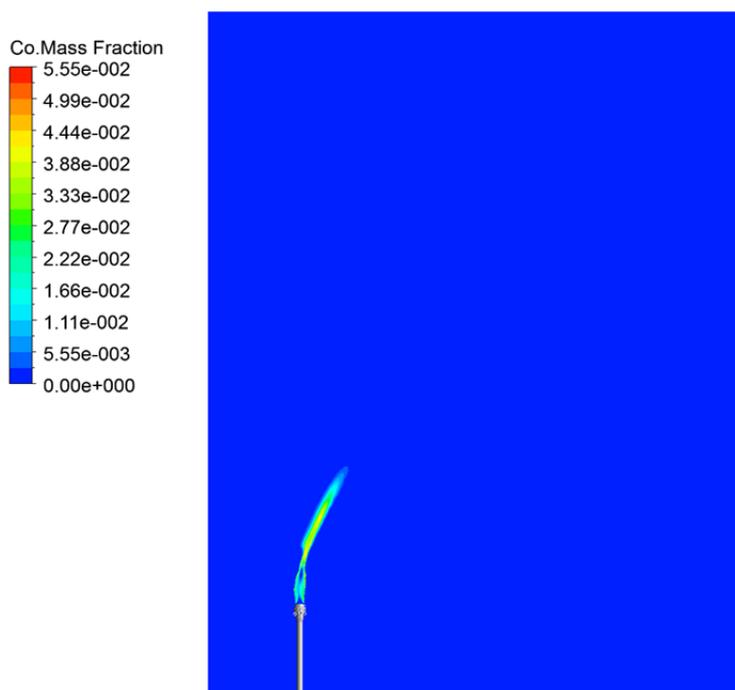


Fig. 76 – Mappa colorimetrica della concentrazione di CO su un piano passante per l'asse del terminale.

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 / www.fivesgroup.com / itas@fivesgroup.com

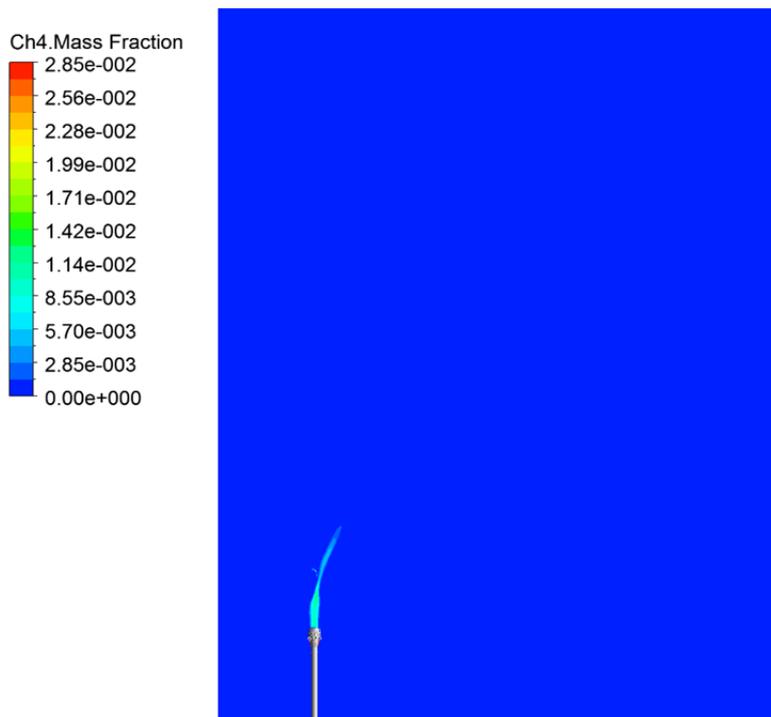


Fig. 77 – Mappa colorimetrica della concentrazione di CH_4 su un piano passante per l'asse del terminale.

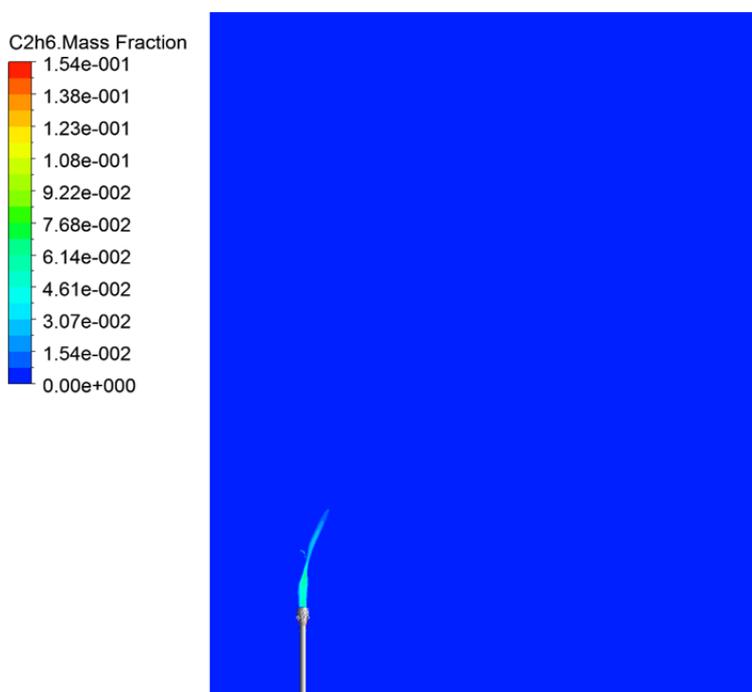


Fig. 78 – Mappa colorimetrica della concentrazione di C_2H_6 su un piano passante per l'asse del terminale.

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 / www.fivesgroup.com / itas@fivesgroup.com

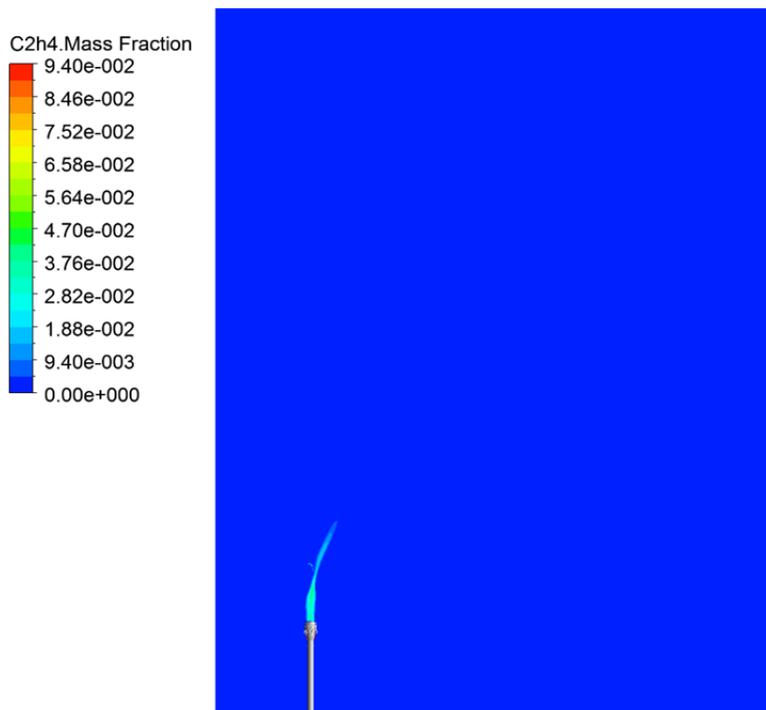


Fig. 79 – Mappa colorimetrica della concentrazione di C_2H_4 su un piano passante per l'asse del terminale.

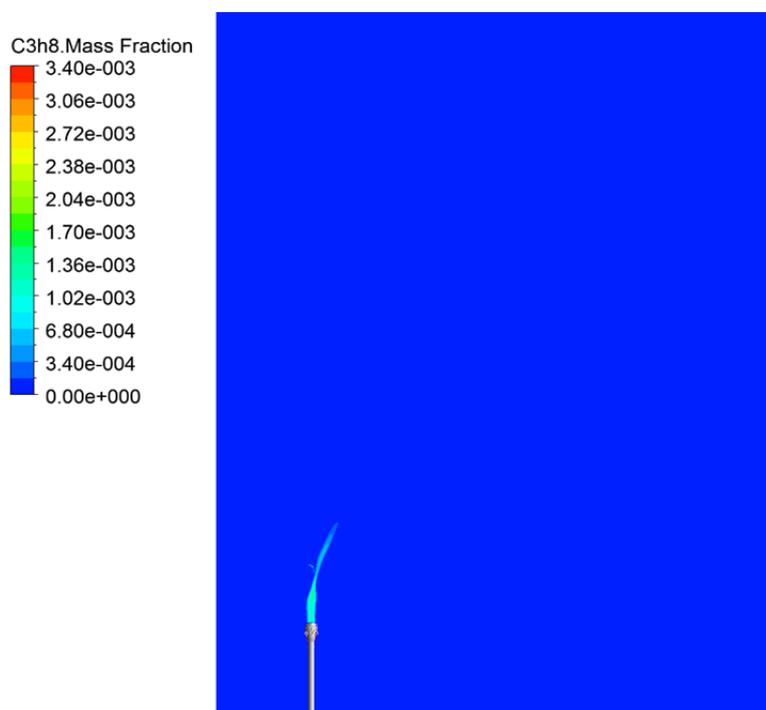


Fig. 80 – Mappa colorimetrica della concentrazione di C_3H_8 su un piano passante per l'asse del terminale.

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 / www.fivesgroup.com / itas@fivesgroup.com

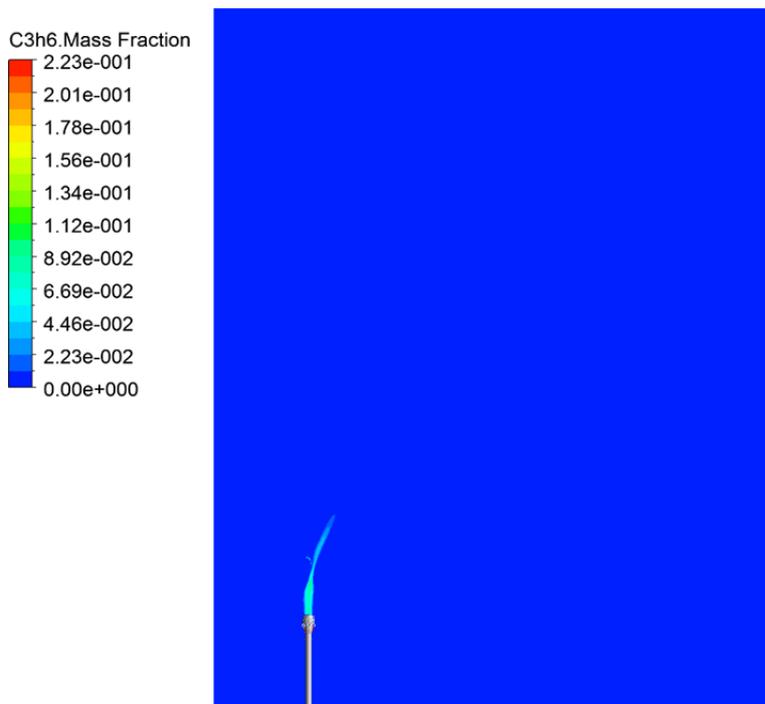


Fig. 81 – Mappa colorimetrica della concentrazione di C_3H_6 su un piano passante per l'asse del terminale.

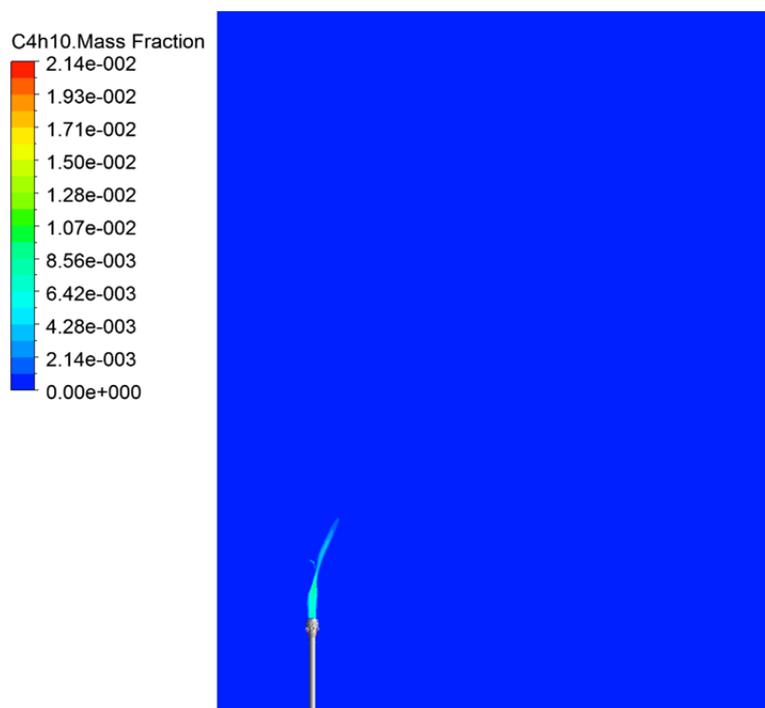


Fig. 82 – Mappa colorimetrica della concentrazione di C_4H_{10} su un piano passante per l'asse del terminale.

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 / www.fivesgroup.com / itas@fivesgroup.com

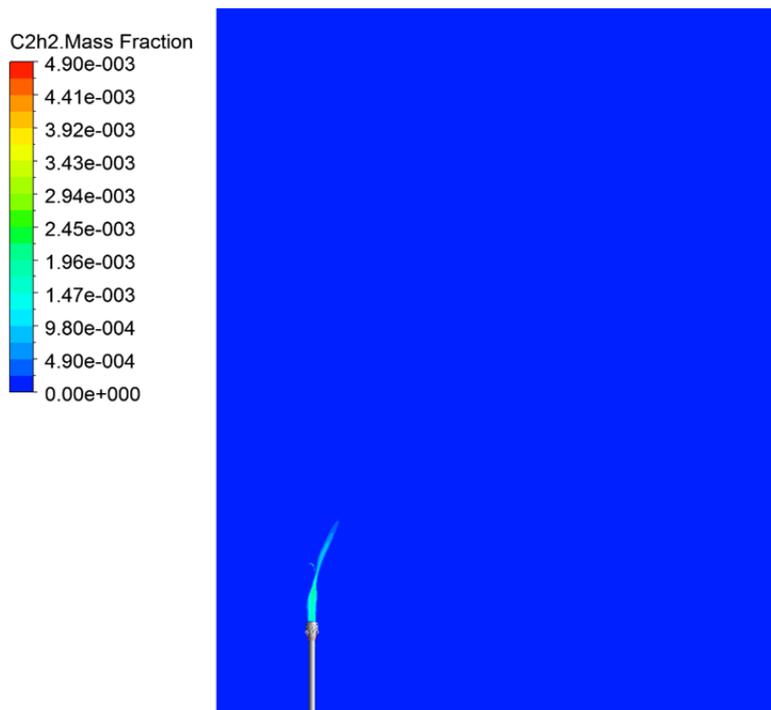


Fig. 83 – Mappa colorimetrica della concentrazione di C_2H_2 su un piano passante per l'asse del terminale.

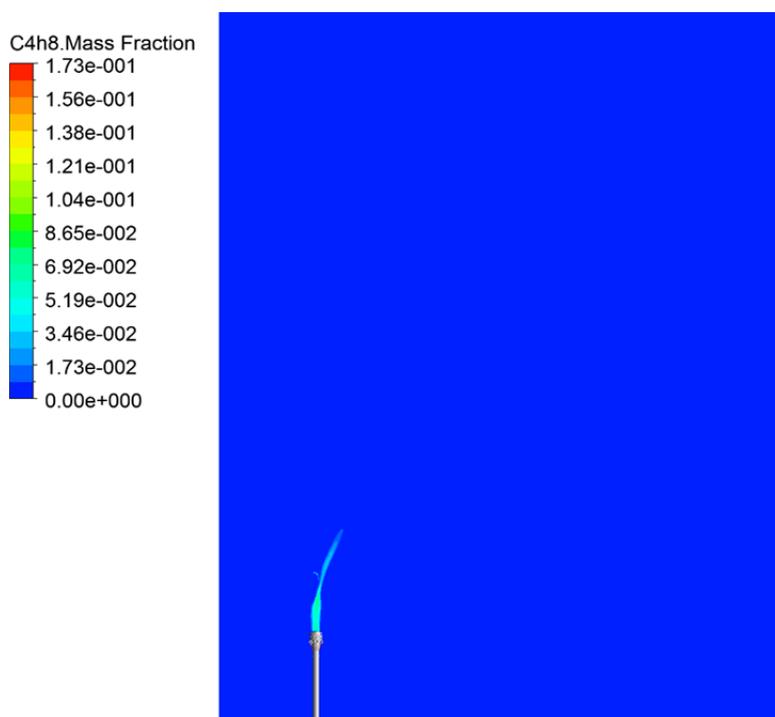


Fig. 84 – Mappa colorimetrica della concentrazione di C_4H_8 su un piano passante per l'asse del terminale.

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 / www.fivesgroup.com / itas@fivesgroup.com

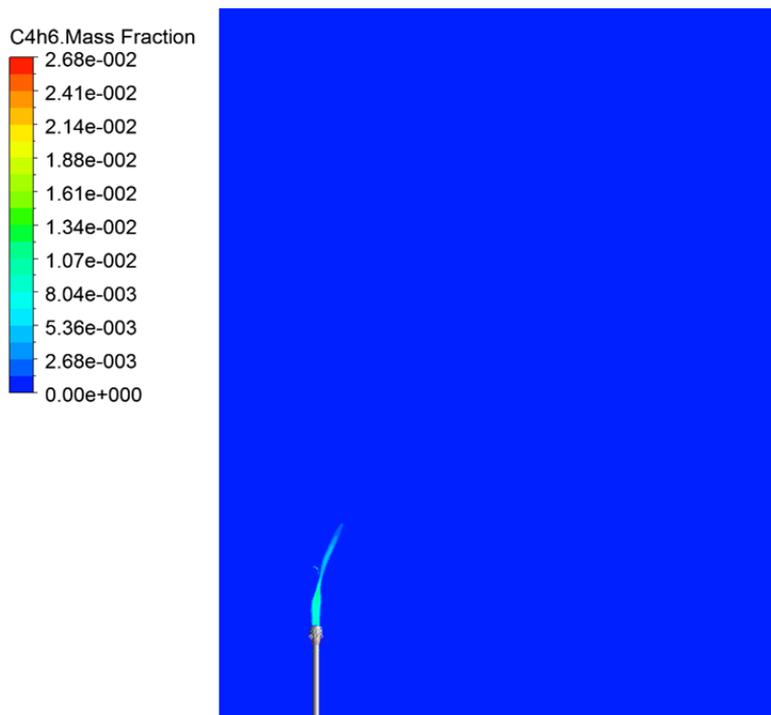


Fig. 85 – Mappa colorimetrica della concentrazione di C_4H_6 su un piano passante per l'asse del terminale.

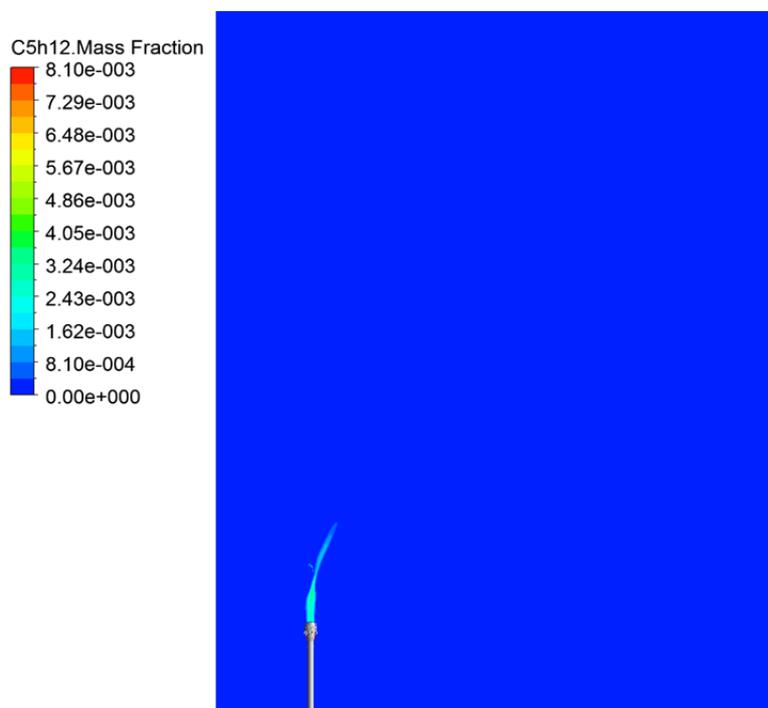


Fig. 86 – Mappa colorimetrica della concentrazione di C_5H_{12} su un piano passante per l'asse del terminale.

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 / www.fivesgroup.com / itas@fivesgroup.com

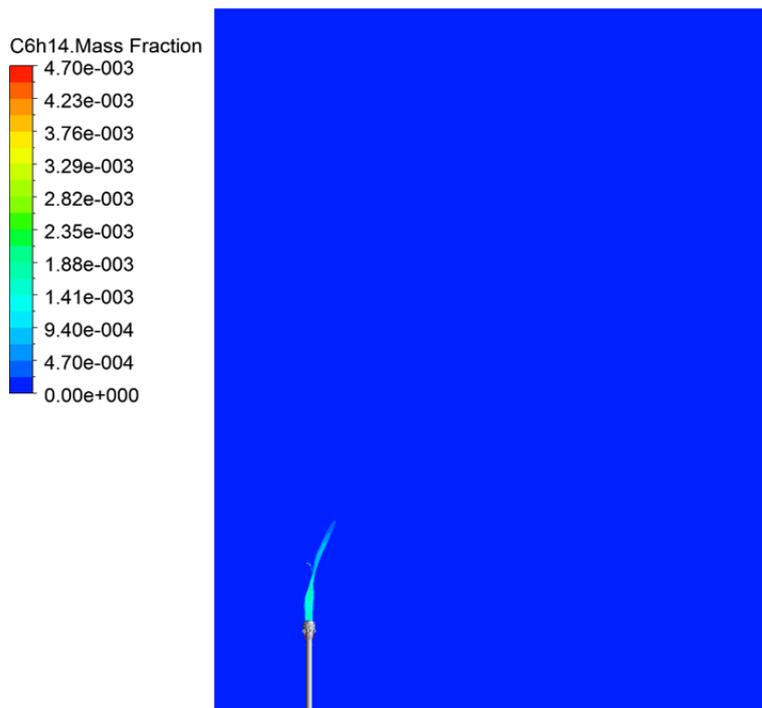


Fig. 87 – Mappa colorimetrica della concentrazione di C_6H_{14} su un piano passante per l'asse del terminale.

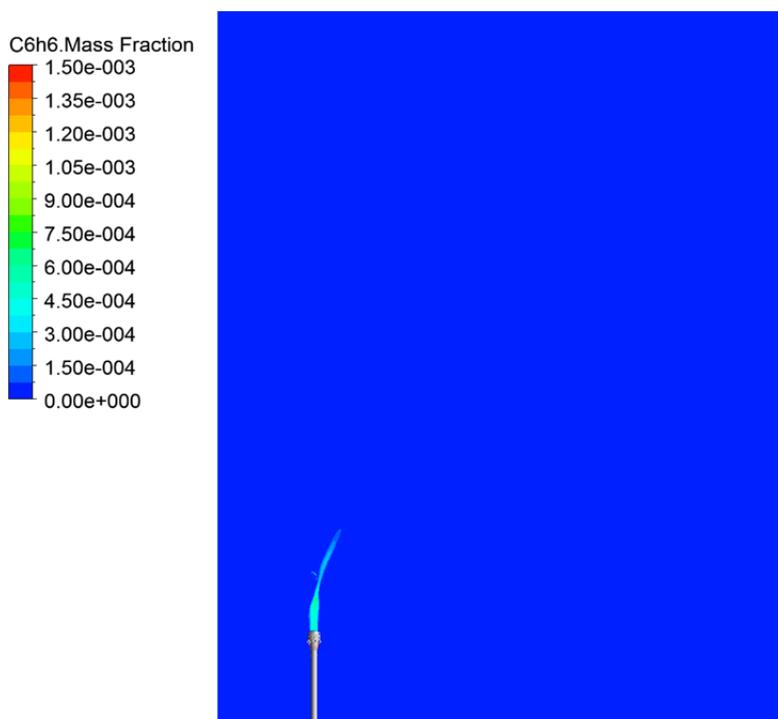


Fig. 88 – Mappa colorimetrica della concentrazione di C_6H_6 su un piano passante per l'asse del terminale.

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 / www.fivesgroup.com / itas@fivesgroup.com

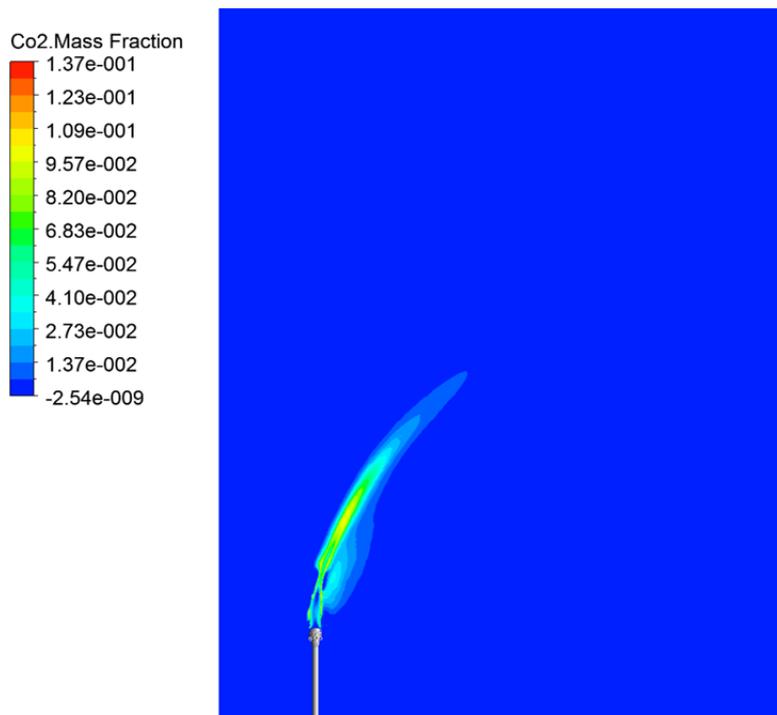


Fig. 89 – Mappa colorimetrica della concentrazione di CO₂ su un piano passante per l’asse del terminale.

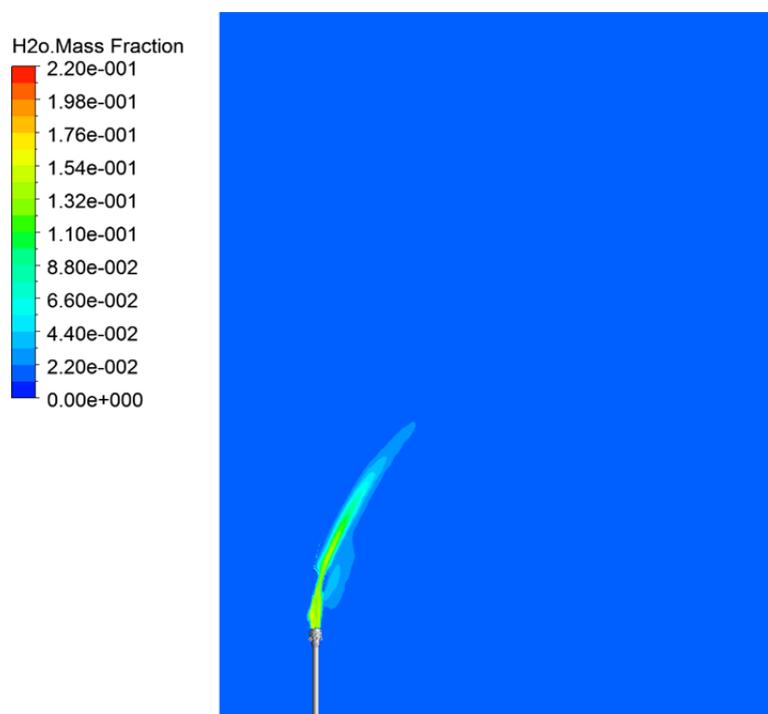


Fig. 90 – Mappa colorimetrica della concentrazione di H₂O su un piano passante per l’asse del terminale.

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 / www.fivesgroup.com / itas@fivesgroup.com

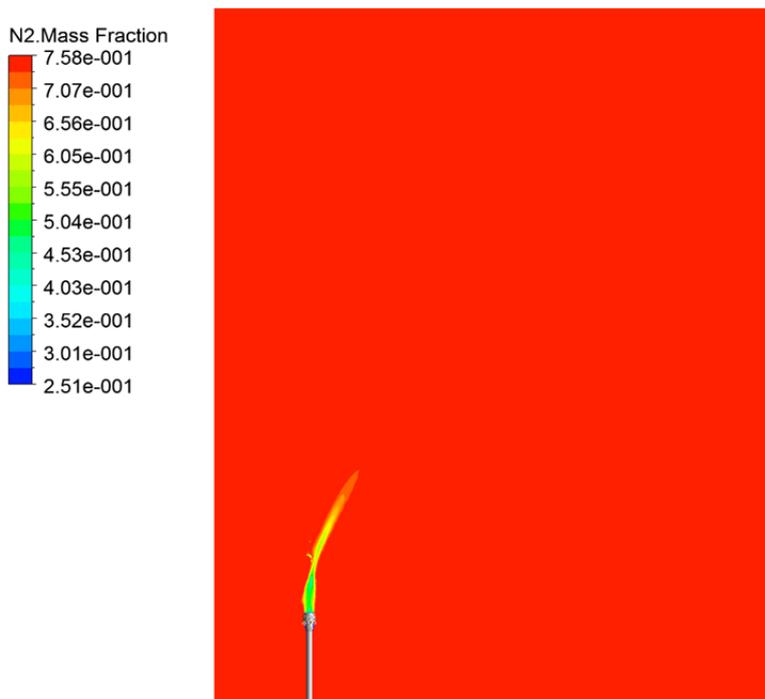


Fig. 91 – Mappa colorimetrica della concentrazione di N_2 su un piano passante per l'asse del terminale.

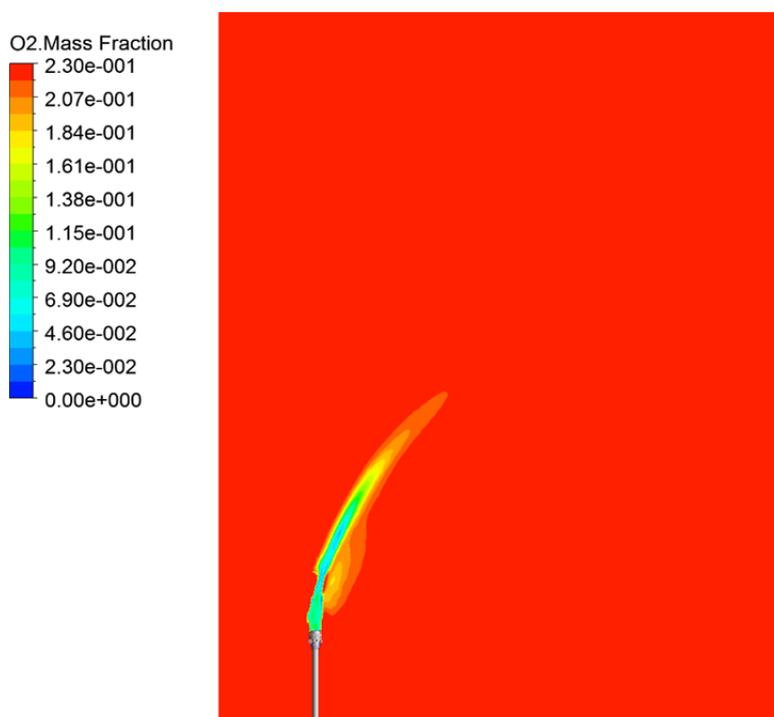


Fig. 92 – Mappa colorimetrica della concentrazione di O_2 su un piano passante per l'asse del terminale.

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 / www.fivesgroup.com / 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 ogni caso analizzato, per entrambe le torce.

1.3.2.1 CASO 1: 183 t/h

La valutazione numerica dell'efficienza di combustione, così come definita precedentemente, è riportata nella seguente Fig. 93:

	TERMINALE RV-101-C – CASO 1: 183 t/h	
	INGRESSO [kg/h]	PIANI TANGENTI ALLA ISO-T = 1200 K [g/s]
IDROGENO	1153	2,97
MONOSSIDO DI CARBONIO	18	103,77
METANO	5215	0,79
ETANO	28111	4,28
ETILENE	17203	2,62
PROPANO	622	0,09
PROPILENE	40830	6,21
BUTANO	3916	0,60
ACETILENE	896	0,14
BUTENE	31661	4,82
BUTADIENE	4904	0,75
PENTANO	1482	0,23
ESANO	860	0,13
BENZENE	274	0,04

Fig. 93 – Portata in massa delle specie chimiche di interesse per il CASO 1: 183 t/h.

L'efficienza di combustione risulta pertanto:

$$CE\% = 99,67\%.$$

Dalla Fig. 93 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 / www.fivesgroup.com / itas@fivesgroup.com

1.3.2.2 CASO 2: 139 t/h

La valutazione numerica dell'efficienza di combustione, così come definita precedentemente, è riportata nella seguente Fig. 94:

TERMINALE RV-101-C – CASO 2: 139 t/h		
	INGRESSO [kg/h]	PIANI TANGENTI ALLA ISO-T = 1200 K [g/s]
IDROGENO	881	5,71
MONOSSIDO DI CARBONIO	14	167,45
METANO	3984	4,67
ETANO	21472	25,17
ETILENE	13141	15,40
PROPANO	475	0,56
PROPILENE	31188	36,55
BUTANO	2992	3,51
ACETILENE	685	0,80
BUTENE	24184	28,34
BUTADIENE	3746	4,39
PENTANO	1132	1,33
ESANO	657	0,77
BENZENE	210	0,25

Fig. 94 – Portata in massa delle specie chimiche di interesse per il CASO 2: 139 t/h.

L'efficienza di combustione risulta pertanto:

$$CE\% = 99,0\%.$$

Dalla Fig. 94 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 / www.fivesgroup.com / itas@fivesgroup.com

1.3.2.3 CASO 3: 84 t/h

La valutazione numerica dell'efficienza di combustione, così come definita precedentemente, è riportata nella seguente Fig. 95:

TERMINALE RV-101-C – CASO 3: 84 t/h		
	INGRESSO [kg/h]	PIANI TANGENTI ALLA ISO-T = 1200 K [g/s]
IDROGENO	530	5,56
MONOSSIDO DI CARBONIO	8	178,26
METANO	2395	0,87
ETANO	12910	4,66
ETILENE	7901	2,85
PROPANO	286	0,10
PROPILENE	18751	6,77
BUTANO	1799	0,65
ACETILENE	412	0,15
BUTENE	14540	5,25
BUTADIENE	2253	0,81
PENTANO	681	0,25
ESANO	395	0,14
BENZENE	126	0,05

Fig. 95 – Portata in massa delle specie chimiche di interesse per il CASO 3: 84 t/h.

L'efficienza di combustione risulta pertanto:

$$CE\% = 99,02\%.$$

Dalla Fig. 95 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 / www.fivesgroup.com / itas@fivesgroup.com

1.4 CONCLUSIONI

Le simulazioni fluidodinamiche hanno evidenziato quanto segue:

- Il terminale di torcia RV-101-C è in grado di elaborare le portate analizzate mantenendo un'efficienza di combustione uguale o superiore al 99%, per tutti i casi analizzati;
- In tutti i casi oggetto dello studio la velocità di uscita del flare gas è molto maggiore rispetto alla velocità del vento, come mostrato dai profili di velocità; questo fa sì che la fiamma risulti di poco deflessa, estendendosi maggiormente in direzione verticale. Il CASO 3, riferendosi ad una minore portata di flare gas e una maggiore velocità del vento, risulta quello con una maggiore deflessione di fiamma;
- La velocità di efflusso del flare gas è maggiore nei CASI 1 e 2 rispetto al CASO 3 a causa della relazione che intercorre tra la portata del flare gas e il diametro del terminale. Tuttavia 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 per tutti i casi analizzati;
- La composizione del flare gas (il cui LHV è pari a circa 1200 Btu/Scf) è adatta a sostenere una buona efficienza di combustione senza gas di supporto ausiliario;
- L'efficienza di combustione nei casi analizzati è proporzionale alla temperatura di fiamma; quest'ultima dipende a sua volta dal rapporto portata vapore/flare gas;
- 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 / www.fivesgroup.com / 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 / www.fivesgroup.com / itas@fivesgroup.com



versalis

**Studio modellistico per la
valutazione degli effetti sulla qualità
dell'aria dell'evento di torcia
RV101C del 2-3 luglio 2015**

URS Job # 46324906

Preparato per:

Versalis S.p.A. – Stabilimento di Brindisi

INDICE

Sezione	N° di Pag.
1. PREMESSA	3
2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE E PUNTO DI EMISSIONE	4
2.1. Impianto Versalis di Brindisi.....	4
2.1. Torcia RV-101C (punto di emissione E53).....	4
3. STIMA EMISSIONI E VALUTAZIONE IMPATTO SULLA QUALITA' DELL'ARIA	6
3.1. Catena modellistica adottata	6
3.2. Ricostruzione input meteorologico	7
3.2.1. Il modello Weather Research and Forecasting (WRF)	7
3.2.2. Il modello CALMET	9
3.2.3. Validazione del campo meteorologico tridimensionale	13
3.2.1. Condizioni meteorologiche del 2-3 luglio	16
3.2.2. Rosa dei venti presso l'impianto durante il funzionamento della torcia	18
3.3. Dispersione degli inquinanti in atmosfera	20
3.3.1. Il modello CALPUFF	20
3.3.2. Input emissivo (torcia RV-101C)	21
3.3.3. Dominio di simulazione e griglia dei recettori.....	24
3.3.4. Stima impatto sulla qualità dell'aria	24
4. CONCLUSIONI	28
BIBLIOGRAFIA.....	29
ALLEGATO 1: RAPPORTO DI PROVA N. 399/15	31

1. PREMESSA

In data 2 luglio 2015, alle ore 18.48 circa, si verificava il blocco del compressore di processo K-2001 A/B dell'impianto Steam Cracking P1CR per l'attivazione della relativa logica di blocco di sicurezza. L'impianto è stato quindi posto in sicurezza nelle previste condizioni di fermata di emergenza, in conformità alle procedure ed ai manuali operativi, con conseguente attivazione della torcia di emergenza RV-101C.

Il presente studio riporta la valutazione della ricadute degli inquinanti associate a tale evento di torcia e recepisce le osservazioni presentate dall'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA) con Nota nr. 48112 del 28 ottobre 2015:

- il modello di dispersione adottato è non stazionario a puff,
- l'emissione massica degli incombusti è ipotizzata pari al 2% del quantitativo inviato in torcia,
- sono stati utilizzati i fattori di emissione coerenti con uno sfiaccolamento in modalità "non smokeless".

E' stato considerato, inoltre, un secondo scenario che utilizza come input emissivi i risultati di un modello CFD (Computational Fluid Dynamics), costruito sulla base delle caratteristiche dell'evento del 2 luglio. Per maggiori informazioni si rimanda allo studio: "Analisi CFD: Calcolo dell'efficienza di combustione del terminale di torcia RV-101C".

2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE E PUNTO DI EMISSIONE

2.1. Impianto Versalis di Brindisi

L'impianto Versalis Spa 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 km², di cui l'impianto in oggetto ricopre una superficie di circa 3 km².

Figura 2-1: Localizzazione dell'impianto Versalis Spa (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...).

2.1. 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 H₂O, 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).

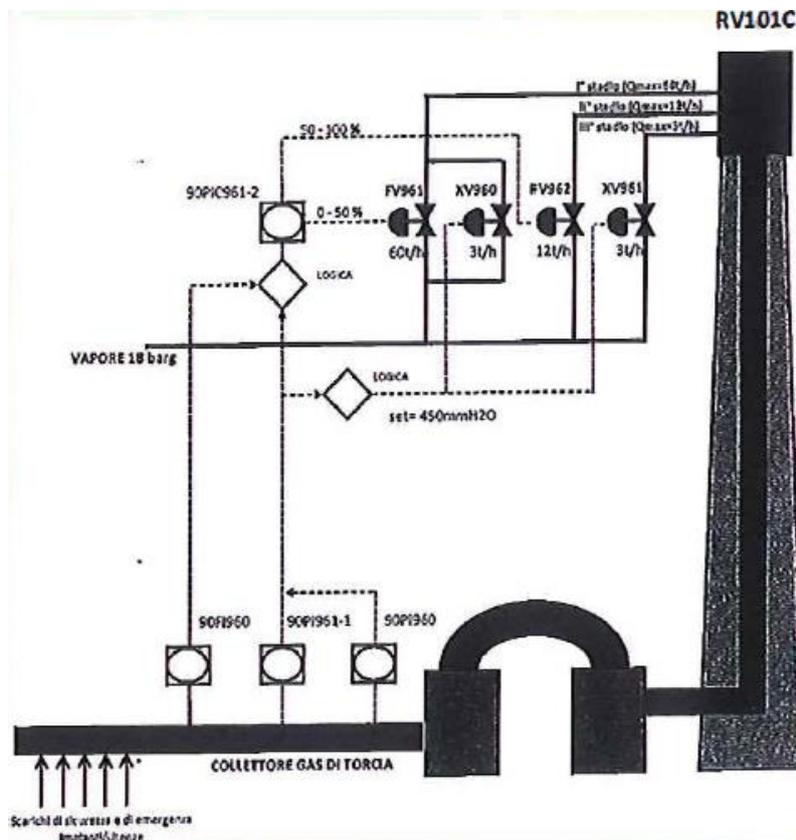
L'affidabilità del sistema di accensione della torcia RV 101/C è garantita dall'installazione di 4 piloti alimentati da Fuel Gas di Stabilimento o in alternativa da gas Metano (rete Snam). I piloti sono allarmati per mancanza fiamma.

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.



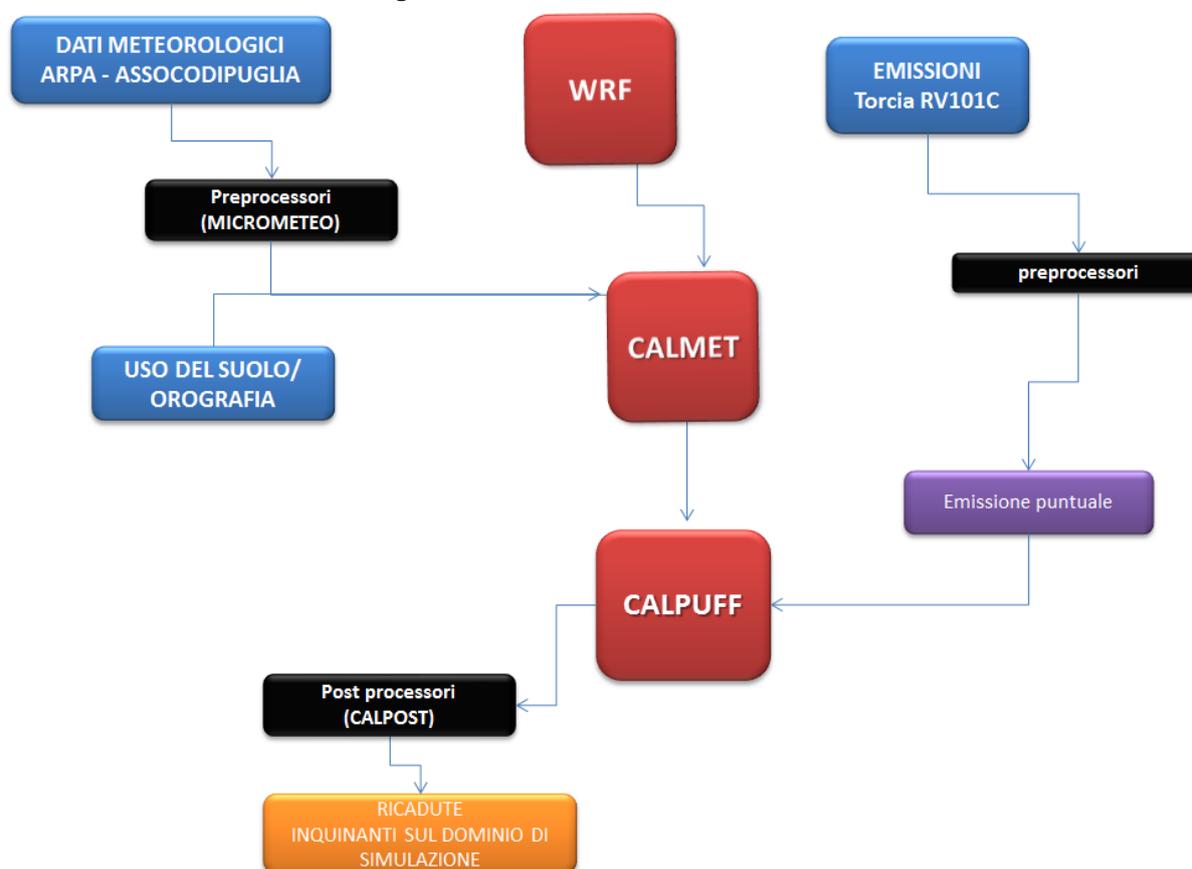
3. STIMA EMISSIONI E VALUTAZIONE IMPATTO SULLA QUALITA' DELL'ARIA

3.1. Catena modellistica adottata

L'obiettivo di valutare l'impatto ambientale, in termini di inquinamento prodotto dall'evento di torcia del 2-3 luglio 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.

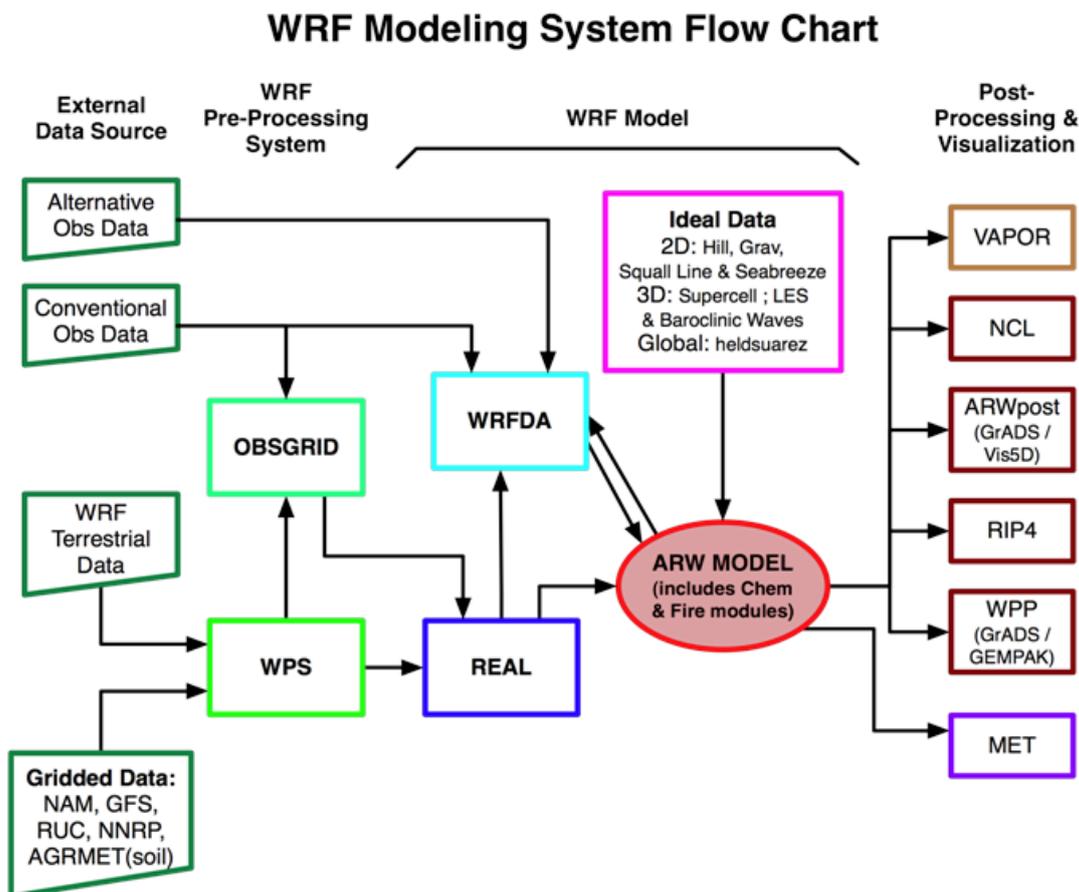
Il modello WRF (Weather Research and Forecasting) è un sistema di previsioni meteorologiche numeriche su mesoscala di nuova generazione, progettato per soddisfare ricerche operative sia meteorologiche che atmosferiche.

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 ricercatori¹.

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.

¹ Per maggiori informazioni sul modello WRF consultare il sito: 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 Spa di Brindisi (Figura 3-3). I valori iniziali e al contorno sono stati estrapolati da vari modelli meteorologici globali. In Tabella 3-1 è riportata una descrizione dettagliata di questi dati.

Tabella 3-1: Modelli meteorologici globali utilizzati nella simulazione WRF.

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

3.2.2. 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)

e 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.

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 3-2: 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 ²]	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'NGA, 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 geoide 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 CALPUFF² 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, e di Mesagne Moccari, della rete Agrometeo, sono state impiegate per la calibrazione del modello CALMET. Sono state analizzate tali stazioni, in quanto localizzate nei pressi dell'impianto oggetto di studio e rappresentative del campo anemologico dell'area. Per la validazione del campo meteorologico è stata utilizzata la stazione di Torre Mozza, 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 utilizzata è riportata nelle 2 figure seguenti.

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

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

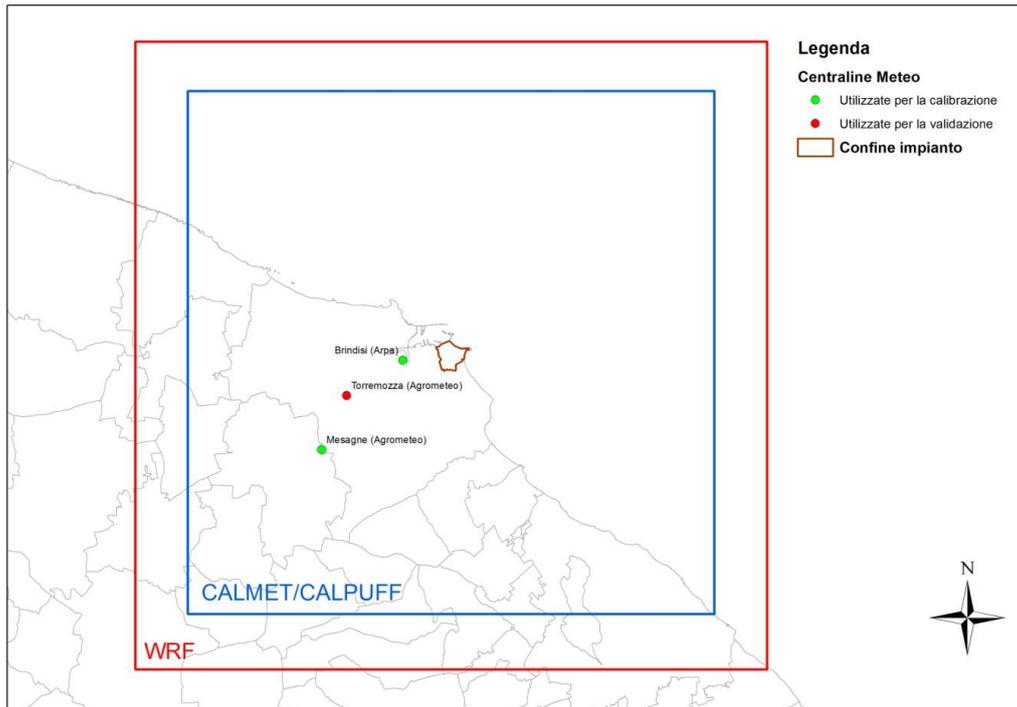
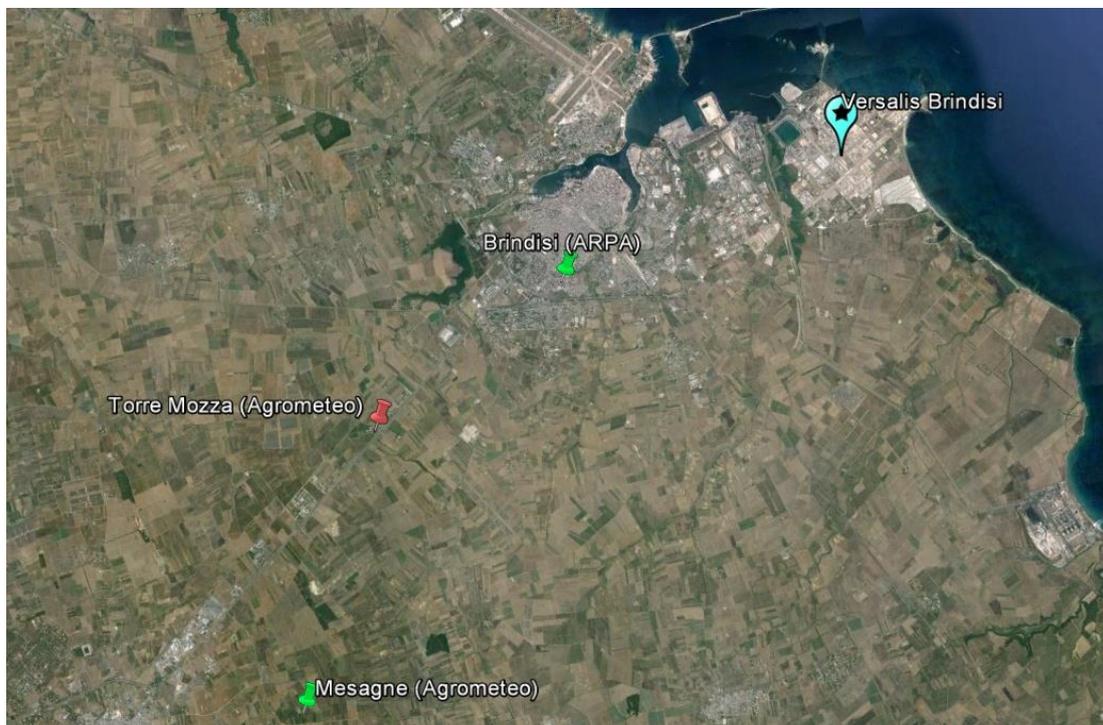


Figura 3-4: Localizzazione della centralina impiegata per la validazione del modello CALMET (Torre Mozza, in rosso) rispetto alle stazioni utilizzate nella fase di calibrazione (Brindisi ARPA e Mesagne Moccari, in verde); in azzurro è evidenziata l'ubicazione dell'impianto Versalis.

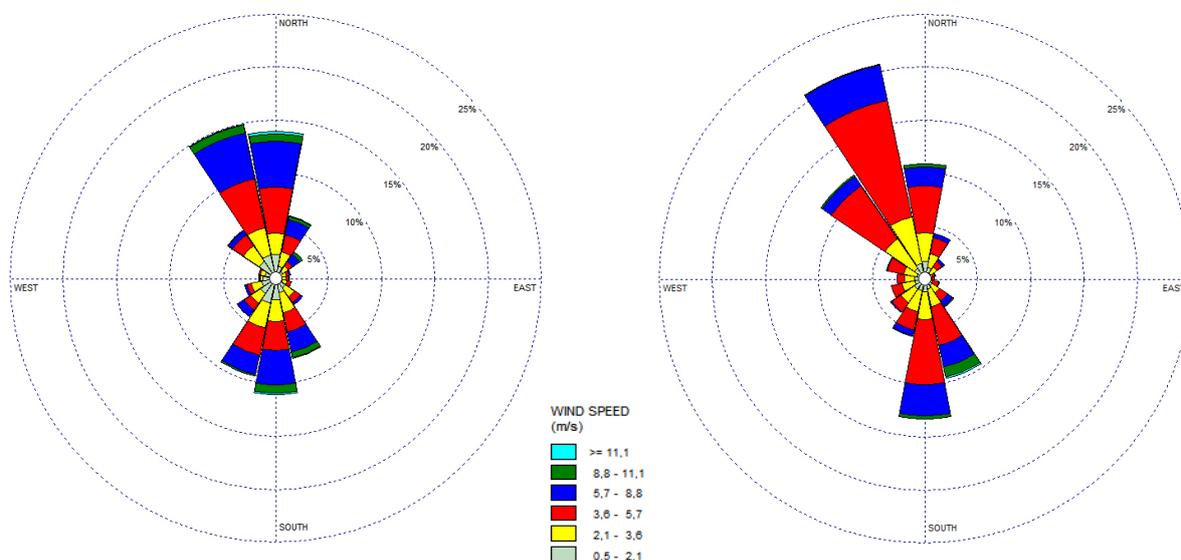


3.2.3. Validazione del campo meteorologico tridimensionale

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 Brindisi Torre Mozza (vedi Figura 3-4) e quella stimata dal modello in corrispondenza della medesima posizione per il periodo compreso tra l'1 gennaio 2014 e il 3 luglio 2015. La stazione di Brindisi Torre Mozza è stata utilizzata per la fase di validazione in quanto, oltre ad essere vicina all'impianto oggetto dello studio, si trova tra le due stazioni impiegate nella calibrazione (Brindisi ARPA e Mesagne Moccari).

In Figura 3-5 sono riportate le rose dei venti relative a Brindisi Torre Mozza; la rosa dei venti rilevata a sinistra, e la stima ottenuta con il modello CALMET a destra.

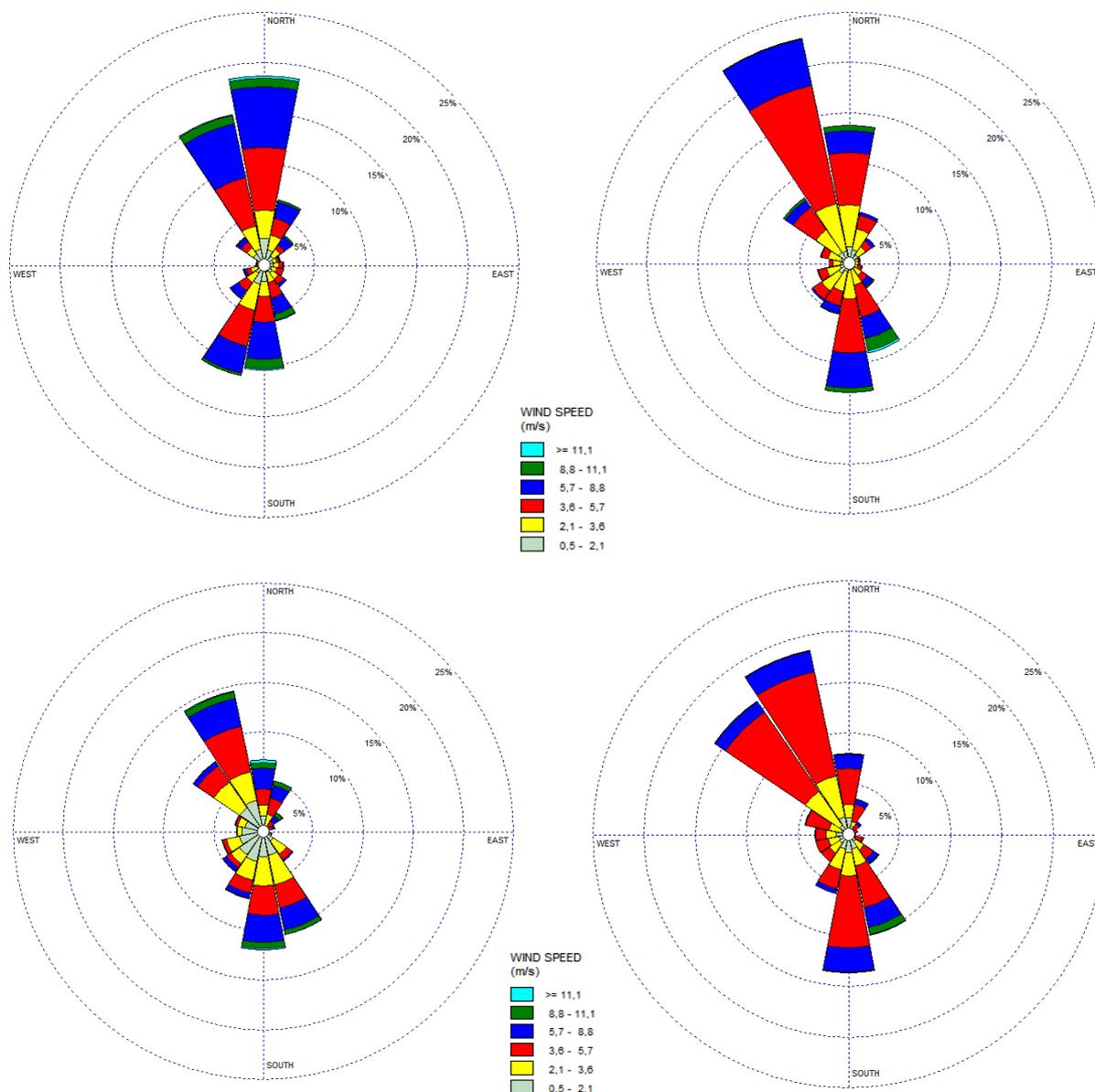
Figura 3-5: Rosa dei venti a Brindisi Torre Mozza relativa al periodo gennaio 2014 – luglio 2015; a sinistra la rosa misurata, a destra la stima del modello.



In termini di direzione prevalente di provenienza del vento, entrambe le rose individuano principalmente il Nord-Nord-Ovest, Nord e Sud.

È stato, inoltre, effettuato il confronto tra la rosa dei venti stimata e quella misurata nella centralina per le ore diurne (dalle 8 alle 20) e quelle notturne (dalle 20 alle 8), sempre con riferimento a Torre Mozza (Figura 3-6).

Figura 3-6: Rose dei venti per le ore diurne (sopra) e notturne (sotto) a Torre Mozza, misurate (sinistra) e stimate dal modello (destra).



Anche in questo caso il modello e la misura individuano globalmente le stesse caratteristiche anemologiche.

Per completezza, si riportano di seguito i confronti tra le rose dei venti rilevate e stimate dal modello anche per le stazioni di Brindisi ARPA e Mesagne Moccari utilizzate per la calibrazione del modello CALMET. Come si può osservare dalle figure, le rose dei venti stimate dal modello individuano le stesse direzioni di provenienza del vento e velocità rispetto a quelle rilevate nelle centraline.

Figura 3-7: Rosa dei venti a Brindisi ARPA relativa al periodo gennaio 2014 – luglio 2015; a sinistra la rosa misurata, a destra la stima del modello.

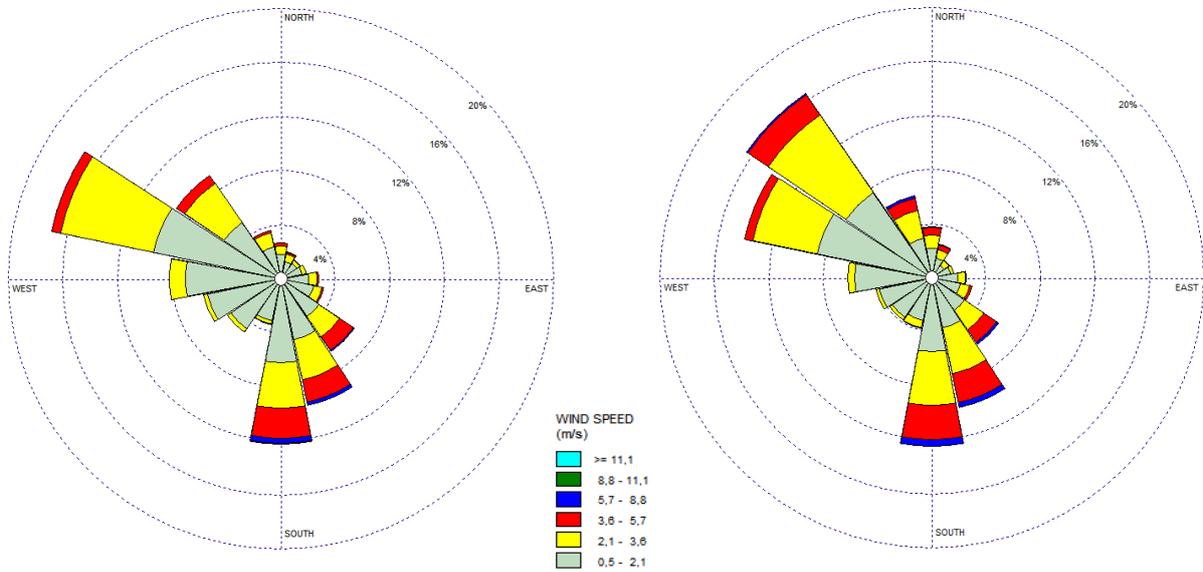
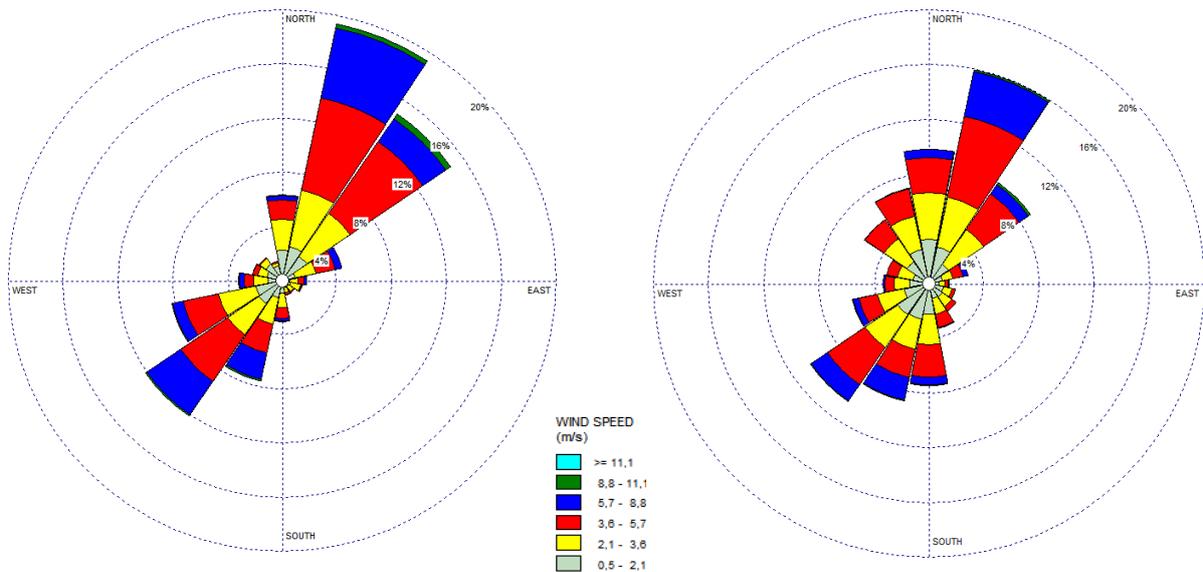


Figura 3-8: Rosa dei venti a Mesagne Moccari relativa al periodo gennaio 2014 – luglio 2015; a sinistra la rosa misurata, a destra la stima del modello.



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

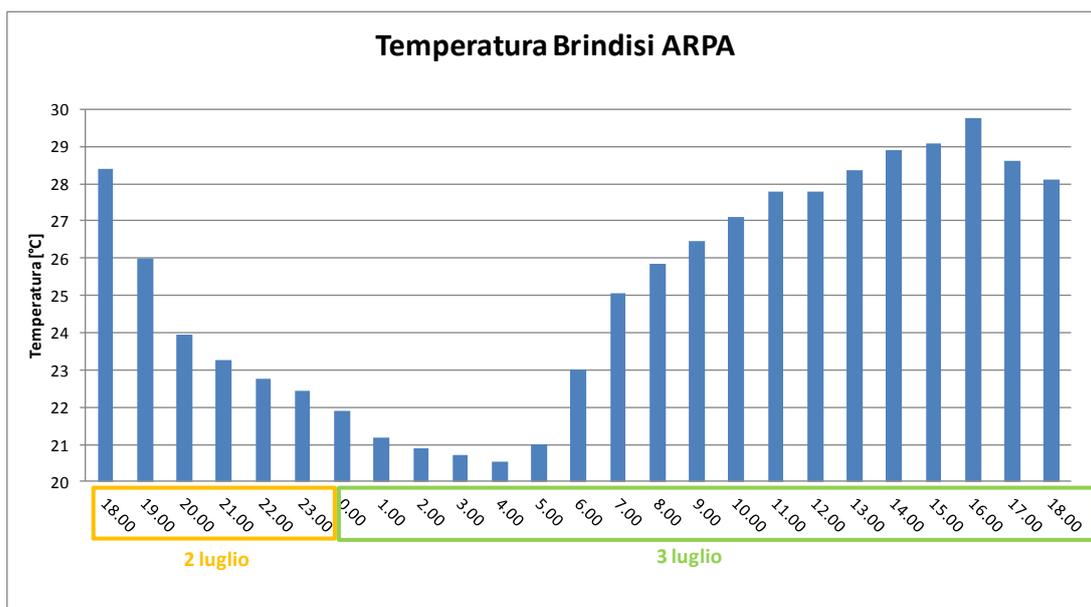
3.2.1. Condizioni meteorologiche del 2-3 luglio

Sono stati analizzati i dati meteorologici disponibili, relativi al periodo di simulazione compreso tra le ore 18:00 del 2 luglio e le ore 19:00 del 3 luglio 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 3-9, la temperatura si mantiene approssimativamente nell'intervallo 20-30°C, con una media di 25 °C, in linea con le condizioni medie stagionali.

Figura 3-9: Temperatura registrata tra le ore 18 del 2 luglio e le ore 19 del 3 luglio 2015 alla stazione di Brindisi della rete ARPA Puglia.



Per quanto concerne la precipitazione, i dati relativi alla stazione Brindisi ARPA mostrano l'assenza di pioggia nel periodo considerato.

In termini di radiazione solare globale nella stazione Brindisi ARPA, in Figura 3-10, si può osservare un andamento a campana con picco nelle ore centrali della giornata, quando si raggiungono circa 750 W/m².

Figura 3-10: Andamento della radiazione registrata tra le ore 18 del 2 luglio e le ore 19 del 3 luglio 2015 alla stazione di Brindisi della rete ARPA Puglia.

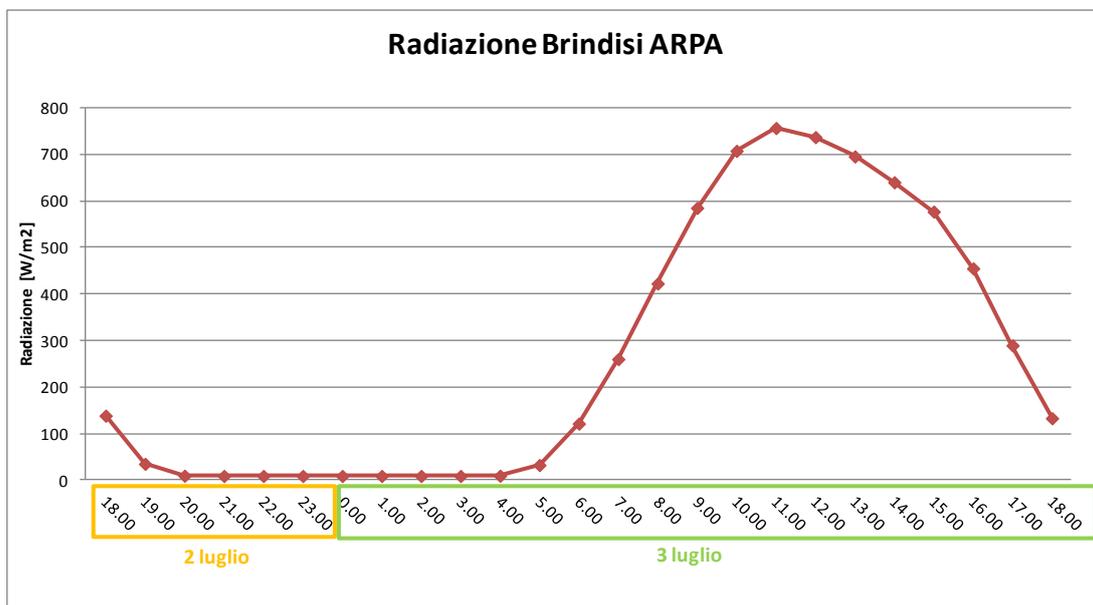
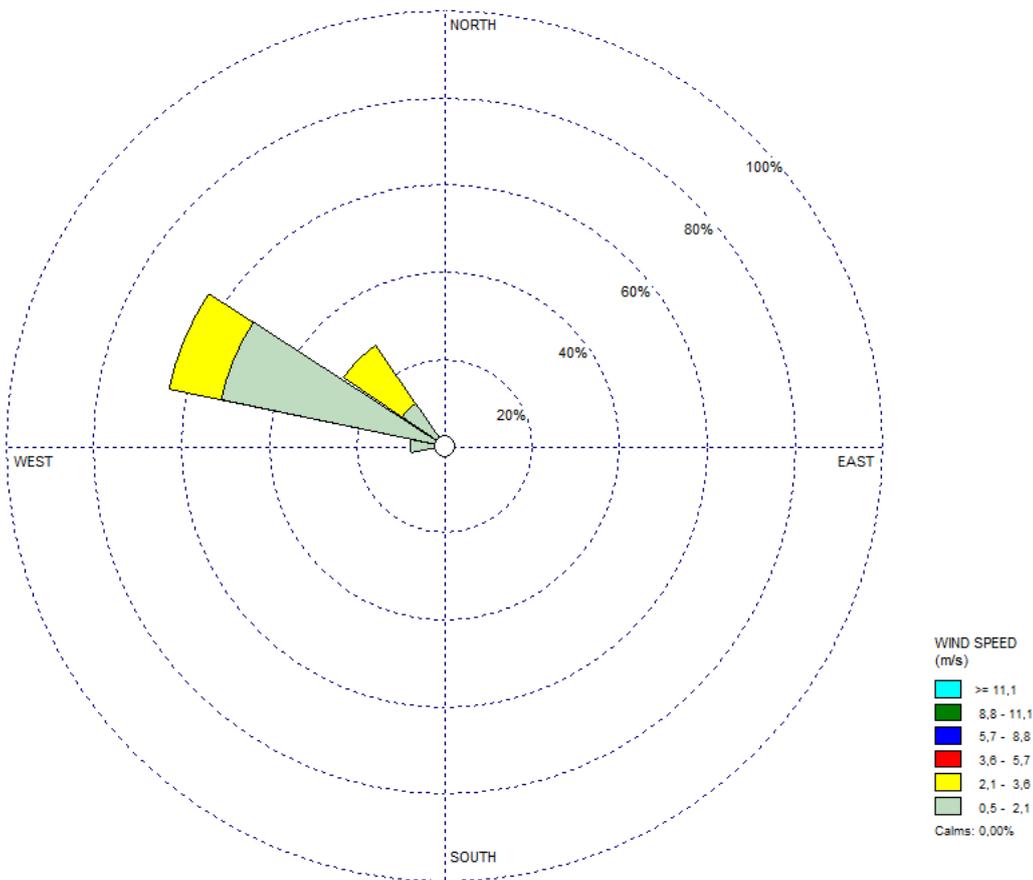


Figura 3-11: Rose dei venti rilevate nella stazione Brindisi – ARPA tra le ore 18 del 2 luglio e le ore 19 del 3 luglio 2015.

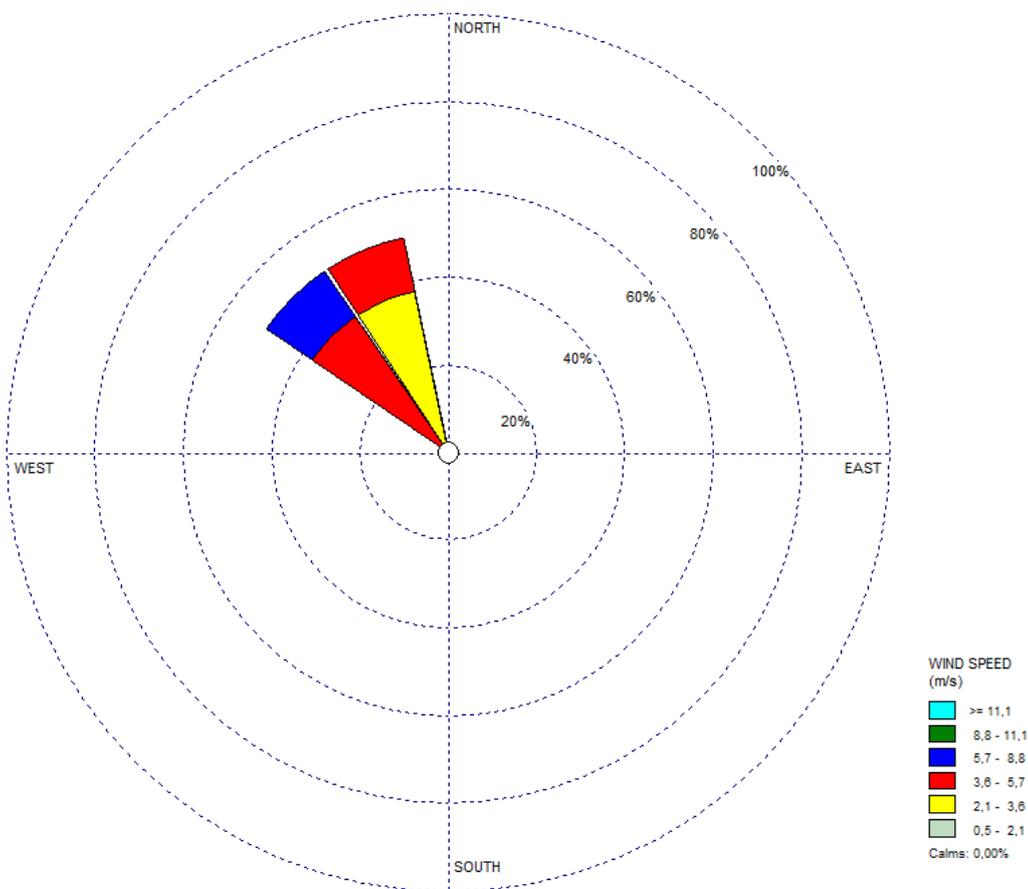


Come si può osservare dalla figura precedente, nelle 24 ore analizzate, la direzione di provenienza del vento è principalmente dal settore, Ovest-Nord-Ovest e, secondariamente, da Nord-Ovest.

3.2.2. Rosa dei venti presso l’impianto durante il funzionamento della torcia

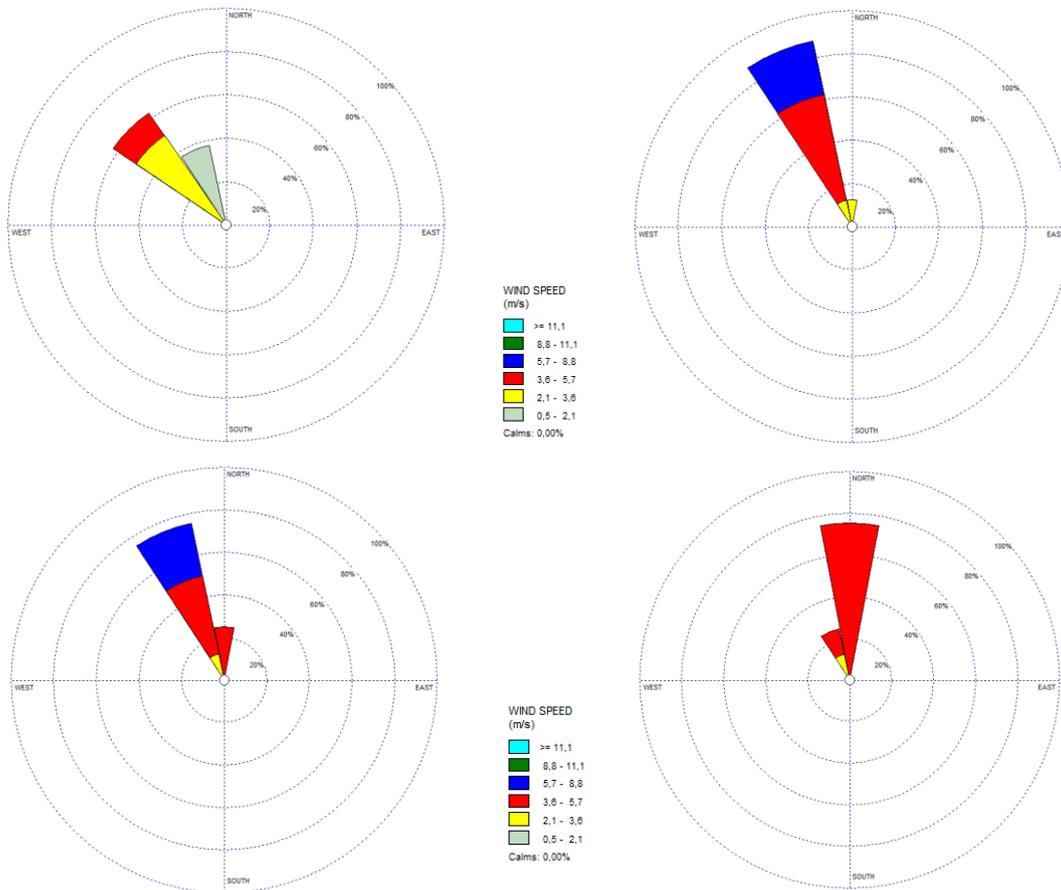
In Figura è riportata la rosa stimata dal modello CALMET in corrispondenza dell’impianto Versalis Spa di Brindisi tra le ore 18:00 del 2 luglio e le ore 2:00 del 3 luglio 2015, alla quota di 100 m, che mostra una prevalenza globale dei venti provenienti da Nord-Nord-Ovest durante l’attivazione della torcia.

Figura 3-12: Rosa dei venti stimata in corrispondenza dell’impianto Versalis Spa 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 la direzione principale del vento è Nord-Nord-Ovest e, per la quota di 1000 m, dove è Nord.

Figura 3-13: Rosa dei venti stimata in corrispondenza dell'impianto Versalis Spa di Brindisi alla quota 10 (in alto a sinistra), 250 (in alto a destra), 500 (in basso a sinistra) e 1000 metri (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.

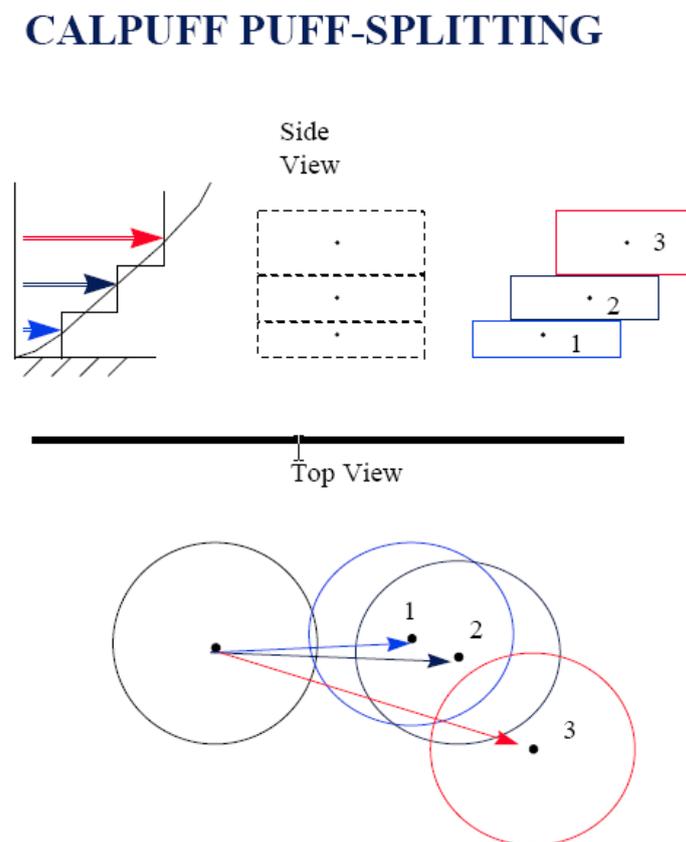
3.3. Dispersione degli inquinanti in atmosfera

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 3-14).

Figura 3-14: Schema di funzionamento del modello CALPUFF.



Le caratteristiche di maggior interesse del modello sono:

- 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 3-15: Localizzazione delle torce dell'impianto Versalis.

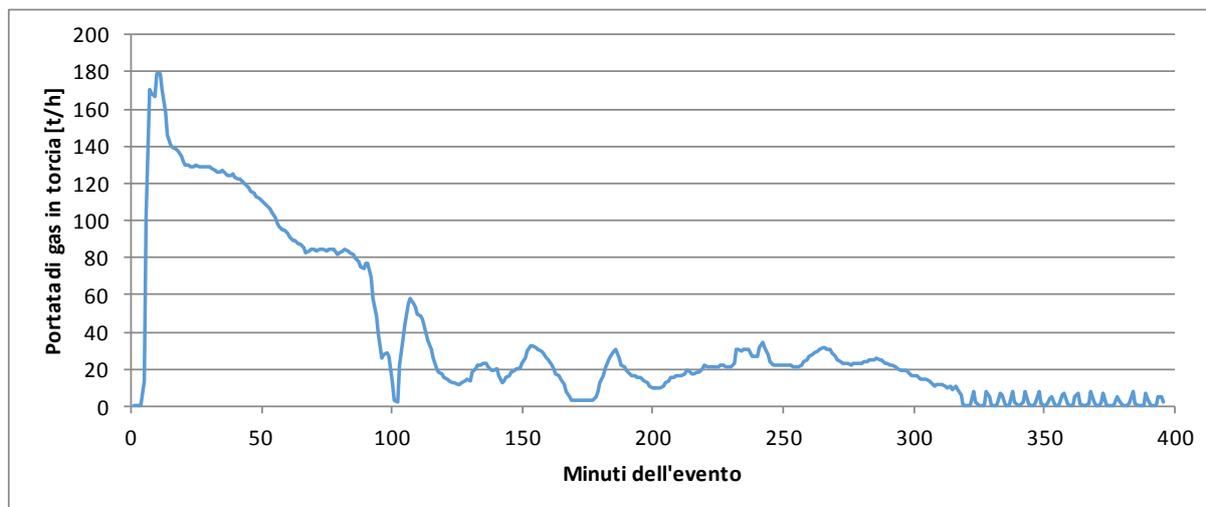


Le caratteristiche geometriche della torcia RV-101C sono indicate nella seguente tabella, mentre nella Figura 3-16 è rappresentata la portata dei gas inviati in torcia.

Tabella 3-3: Geometria della torcia RV-101C

Torcia	Geometrie					Coordinate Gauss - Boaga (Fuso Est)	
	Camino	Altezza [m]	Sezione [m ²]	Diametro [m]	Tipologia	N	E
RV101C	E53	95	1,77	1,50	smokeless	4'503'294	2'775'326

Figura 3-16: andamento della portata oraria dell'evento di torcia del 2-3 luglio 2015



L'evento ha avuto inizio alle 18.48 circa del 2 luglio 2015 ed è terminato il 3 luglio 2015 alle ore 1.20 ma al fine di valutare le ricadute al suolo anche al termine del periodo di attivazione della torcia, è stata effettuata cautelativamente una simulazione per 24 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 differenti:

- Scenario "Ispra" che recepisce le osservazioni presentate dall'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA),
- Scenario "Reale" ottenuto mediante un modello di calcolo CFD³.

Scenario "Ispra"

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

Inquinante	Valore	U.d.M.	Fonte
CO	0,31	lb/10 ⁶ Btu	U.S.EPA: AP-42 Chapter 13: Miscellaneous Sources Section 13.5 Industrial Flares (April 2015)
NOx	0,068	lb/10 ⁶ Btu	
PTS*	274	µg/l	
UHC**	4,871	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

³ Si veda lo studio "Analisi CFD: Calcolo dell'efficienza di combustione del terminale di torcia RV101C" redatto da Fives ITAS SpA – dicembre 2015

243,555 t, le emissioni di incombusti risulterebbero quindi pari a 4,871 t. Utilizzando l'efficienza della torcia dichiarata dal costruttore (99%) si otterrebbe un'emissione di incombusti pari a 2,03 t.

Per poter caratterizzare la presenza di ciascun inquinante nella miscela è stata utilizzata la composizione rilevata alle ore 19 del 2 luglio 2015. Si riportano nella Tabella seguente i valori ottenuti aggregando per i principali componenti mentre in Allegato è presente il Rapporto di prova completo.

Tabella 3-4: Composizione principali componenti inviati in torcia

Inquinante	Composizione [%]
Idrogeno	9,7%
Azoto	28,0%
CO	0,0%
Metano	5,5%
Etano	16,0%
Etilene	10,5%
Propano	0,2%
Propilene	16,7%
Butano	1,2%
Acetilene	0,6%
Butene	9,6%
Butadiene	1,6%
Pentano	0,4%
Esano	0,2%

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 3-5: Fattori emissivi EPA per le polveri.

Tipologia di torcia	Fattore di emissione polveri [µg/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 3-6: Parametri emissivi.

Parametro	Valore	Unità di misura
Densità	1,25	kg/m ³
Potere calorifico	35,2	MJ/kg
Flusso di calore	107'292,5	kcal/s

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 1273 K. Le emissioni sono poi state modulate per ciascun minuto sulla base della portata di gas effettivamente inviata in torcia.

Scenario "Reale"

I quantitativi emessi dalla torcia sono stati stimati attraverso le simulazioni del modello di fluidodinamica computazionale (Computational Fluid Dynamics, CFD). In particolare sono stati utilizzati i rate emissivi del Case Study 1 per caratterizzare le emissioni della prima ora di sfiaccolamento e i rate del Case Study 2 (più gravosi rispetto al Case Study 3) per le successive ore.

Tabella 3-7: Emissioni per lo scenario "reale"

	Emissione [g/s]	
	Case study 1	Case study 2
CO	103,77	167,45
Benzene	0,04	0,25
Etilene	2,62	15,4
Pentano	0,23	1,33
Esano	0,13	0,77
Butadiene	0,75	4,39
Butene	4,82	28,34
Butano	0,6	3,51
Acetilene	0,14	0,8
Propilene	6,21	36,55
Propano	0,09	0,56
Etano	4,28	25,17
Metano	0,79	4,67

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 3-8: Ricadute massime orarie scenario "Ispra" (U.S.EPA: AP-42 e nota ISPRA)

Inquinante	Ricadute massime sul dominio [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
CO	3,96
NO _x	0,87
PTS	0,19
UHC	16,9

Tabella 3-9: Ricadute massime orarie incombusti nei 2 scenari analizzati

Inquinante	Ricadute massime [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	
	Scenario Ispra (rapporto di prova 399/15)	Scenario Reale (secondo modello CFD)
CO	0,002	6,32
Benzene	0,03	0,01
Etilene	1,8	0,6
Pentano	0,16	0,05
Esano	0,09	0,03
Butadiene	0,52	0,17
Butene	3,3	1,1
Butano	0,4	0,1
Acetilene	0,1	0,03
Propilene	4,3	1,4
Propano	0,07	0,02
Etano	2,97	0,95
Metano	0,55	0,18

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 $3,96 \mu\text{g}/\text{m}^3$ nello scenario Ispra e $6,32 \mu\text{g}/\text{m}^3$ nello scenario Reale.

Nello scenario Ispra sono stati considerati anche gli 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 PM₁₀ e di confrontare la concentrazione massima oraria stimata dal modello (pari a $0,19 \mu\text{g}/\text{m}^3$) con il valore limite giornaliero (pari a $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$) 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 NO_2 , il limite orario previsto dal D.Lgs 155/2010 è ampiamente rispettato: il valore ottenuto è pari a $0,87 \mu\text{g}/\text{m}^3$ rispetto ad un valore limite di $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Nello scenario "Ispra" la ricaduta massima oraria di idrocarburi incombusti ottenuta con Calpuff risulta pari a $16,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e la massima media giornaliera pari a $1,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$: 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 $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$) 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 "Reale", tutti gli idrocarburi simulati (Benzene, Etilene, Pentano, Esano, Butadiene, Butene, Butano, Acetilene, Propilene, Propano, Etano) 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 $4,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Il Benzene, l'unico inquinante sottoposto ad un limite per la qualità dell'aria, presenta un valore massimo orario pari a $0,01 \mu\text{g}/\text{m}^3$ molto inferiore al limite di legge, pari a $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, imposto sulla media annua.

Al presente studio sono allegate 29 tavole che rappresentano le ricadute massime orarie degli inquinanti sopracitati.

Tabella 3-10: Elenco delle tavole allegate.

N° Tavola	Inquinante	Fattori emissivi	Scenario
1	CO	U.S. EPA AP42 e nota ISPRA nr. 48112 del 28/10/2015	Ispra
2	NO _x		
3	PTS		
4	UHC		
5	Benzene	Ipotesi composizione come da Rapporto di prova n.399/15	
6	Etilene		
7	Pentano		
8	Esano		
9	Butadiene		
10	Butene		
11	Butano		
12	Acetilene		
13	Propilene		
14	Propano		
15	Etano		
16	Metano		
17	CO	Emissioni stimate attraverso modello CFD	Reale
18	Benzene		
19	Etilene		
20	Pentano		
21	Esano		
22	Butadiene		
23	Butene		
24	Butano		
25	Acetilene		
26	Propilene		
27	Propano		
28	Etano		
29	Metano		

In tutte le tavole si evince come la distribuzione spaziale delle ricadute dell'evento di torcia del 2-3 luglio 2015 sia nell'area posta a Sud-Est dell'impianto e lungo la linea di costa 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 15 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.).

4. CONCLUSIONI

In questo studio a partire dai dati di input geometrici ed emissivi dell'evento di torcia del 2-3 luglio 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 osservazioni presentate dall'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA) con nota nr. 48112 del 28 ottobre 2015,
- scenario "Reale" 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

- [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*, 2nd 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 1: Rapporto di prova n. 399/15

versalis Stabilimento di Brindisi Via E. Fermi, 4 LABORATORIO		Rapporto di prova n° 399/15	
REPARTO:		SAU	DATA RICEV.: 02/07/2016
RICHIEDENTE: (nominativa)		ore 19,00	
Denominazione Campione: COLLETTORE TORCIA RV101C			
Analisi ANALYSIS	Valore VALUE	Unita' di misura MEASURE UNIT	Metodo METHOD
H2	9,69	% V	ASTM D2504
AZOTO	27,95	% V	ASTM D2504
OSSIGENO	<0,01	% V	ASTM D2504
CO	0,01	% V	ASTM D2504
METANO	5,54	% V	ASTM D6159
ETANO	15,95	% V	ASTM D6159
ETILENE	10,46	% V	ASTM D6159
PROPANO	0,24	% V	ASTM D6159
CICLOPROPANO	<0,01	% V	ASTM D6159
PROPILENE	16,56	% V	ASTM D6159
ISOBUTANO	0,13	% V	ASTM D6159
ALLENE	0,10	% V	ASTM D6159
N-BUTANO	1,02	% V	ASTM D6159
ACETILENE	0,04	% V	ASTM D6159
2 BUTENE TRANS	0,86	% V	ASTM D6159
1 BUTENE	3,13	% V	ASTM D6159
ISOBUTENE	5,16	% V	ASTM D6159
2 BUTENE CIS	0,48	% V	ASTM D6159
1,2 BUTADIENE	0,02	% V	ASTM D6159
METIL ACETILENE	0,50	% V	ASTM D6159
1,3 BUTADIENE	1,53	% V	ASTM D6159
VINIL ACETILENE	0,04	% V	ASTM D6159
ETIL ACETILENE	<0,01	% V	ASTM D6159
2BUTINO	<0,01	% V	ASTM D6159
CYCLOPENTANO	0,01	% V	ASTM D6159
ISOPENTANO	0,18	% V	ASTM D6159
N PENTANO	0,07	% V	ASTM D6159
CYCLOPENTENE	<0,01	% V	ASTM D6159
3METIL1BUTENE	0,01	% V	ASTM D6159
2 PENTENE TRANS	0,01	% V	ASTM D6159
2METIL2BUTENE	0,02	% V	ASTM D6159
1-PENTENE	0,03	% V	ASTM D6159
2 METIL,1-BUTENE	<0,01	% V	ASTM D6159
2 PENTENE CIS	<0,01	% V	ASTM D6159
1,4PENTADIENE	<0,01	% V	ASTM D6159
1,3CPD	0,08	% V	ASTM D6159
ISOPRENE(C4013M2)	<0,01	% V	ASTM D6159
1,3PENTADIENE CIS	0,01	% V	ASTM D6159
1,3PENTADIENE TRANS	0,02	% V	ASTM D6159
METILCYCLOPENTANO	<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	0,05	% V	ASTM D6159
ALTRI C6	<0,01	% V	ASTM D6159
N-EPTANO	<0,01	% V	ASTM D6159
ALTRI C7	<0,01	% V	ASTM D6159
BENZENE	0,06	% V	ASTM D6159
TOLUENE	<0,01	% V	ASTM D6159
ETILBENZENE	<0,01	% V	ASTM D5154
STIRENE	<0,01	% V	ASTM D5154
XILENI	<0,01	% V	ASTM D5154
NOTE - VARIAZIONI			
FIRMA RESPONSABILE 	DATA DI EMISSIONE 02-lug-15	ALLEGATI N° 0	PAGINA 1 di 1

DOC. 1026

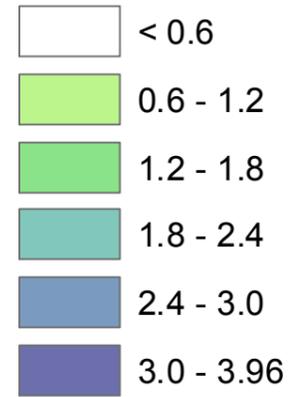


Legenda

 Confine dell'impianto

 Torcia RV101C

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



ENI – Stabilimento Versalis di Brindisi

URS



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 trasciata di 8h

Periodo di mediazione:
evento 2 luglio 2015

Statistica:
massimo orario

Tavola_01

_Dicembre 2015



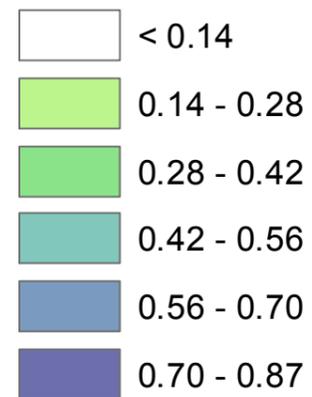


Legenda

 Confine dell'impianto

 Torcia RV101C

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



ENI – Stabilimento Versalis di Brindisi

URS



ENI – Stabilimento Versalis di Brindisi

Stima degli impatti delle emissioni in atmosfera

Inquinante: NO₂	Valore limite: 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Periodo di mediazione: evento 2 luglio 2015	Statistica: massimo orario

Tavola_02

_Dicembre 2015



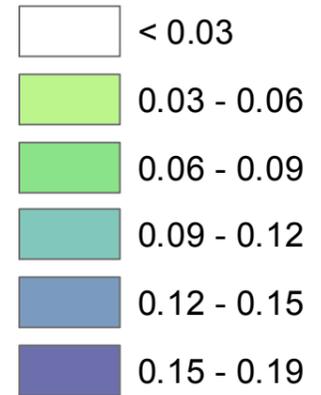


Legenda

 Confine dell'impianto

 Torcia RV101C

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



ENI – Stabilimento Versalis di Brindisi

URS



ENI – Stabilimento Versalis di Brindisi

Stima degli impatti delle emissioni in atmosfera

Inquinante: PM₁₀	Valore limite: 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ <small>imposto sulla media giornaliera</small>
------------------------------------	--

Periodo di mediazione: evento 2 luglio 2015	Statistica: massimo orario
---	--------------------------------------

Tavola_03

_Dicembre 2015



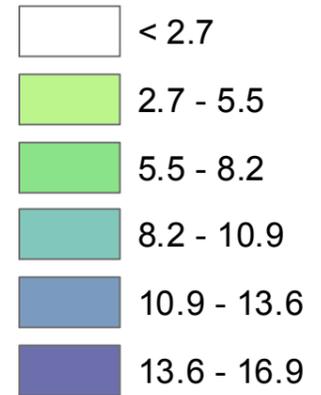


Legenda

 Confine dell'impianto

 Torcia RV101C

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



ENI – Stabilimento Versalis di Brindisi

URS



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

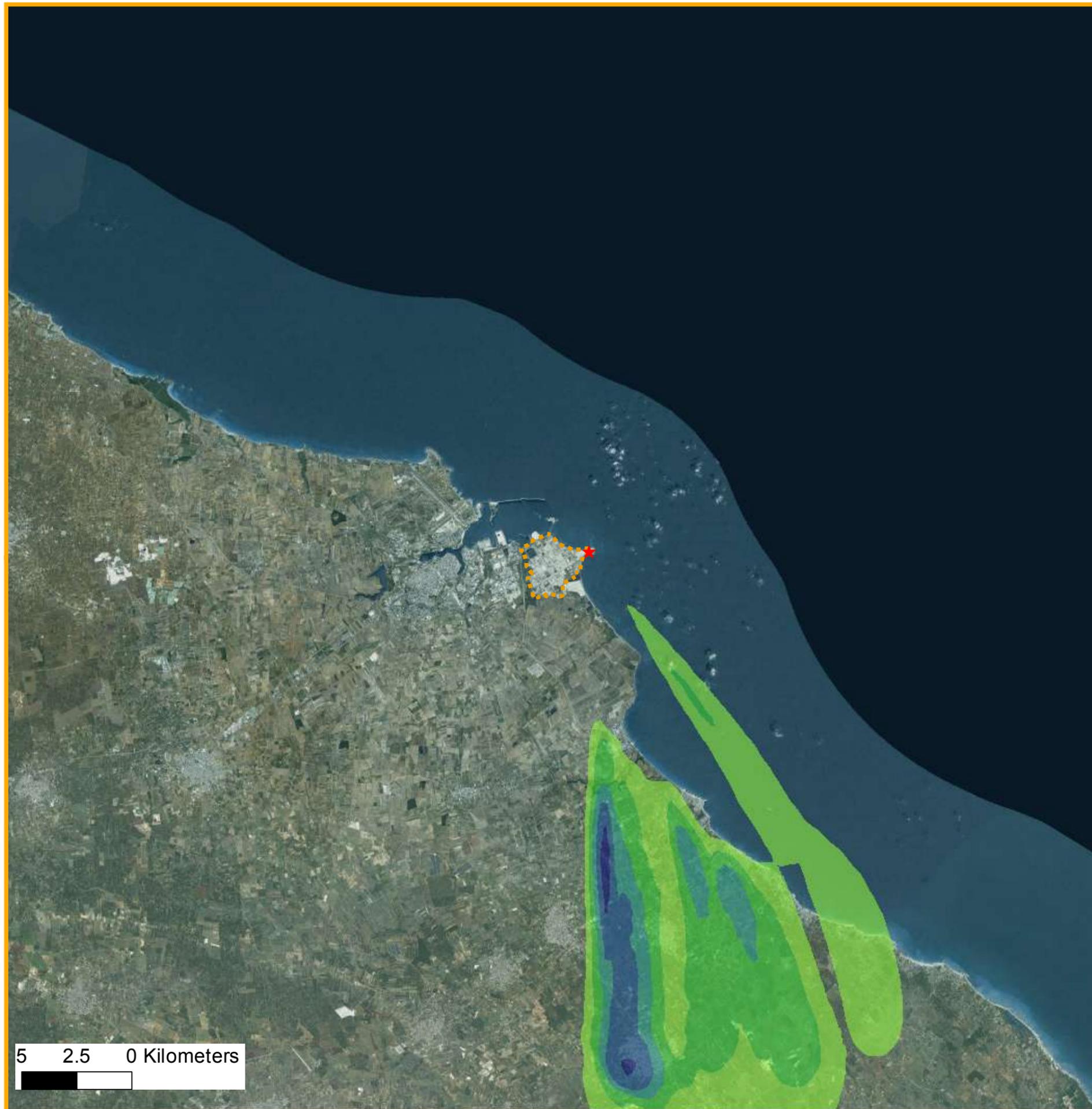
Periodo di mediazione:
evento 2 luglio 2015

Statistica:
massimo orario

Tavola_04

_Dicembre 2015





Legenda

 Confine dell'impianto

 Torcia RV101C

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

 < 0.005

 0.005 - 0.01

 0.010 - 0.015

 0.015 - 0.020

 0.020 - 0.025

 0.025 - 0.03



ENI – Stabilimento Versalis di Brindisi

URS



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:
evento 2 luglio 2015

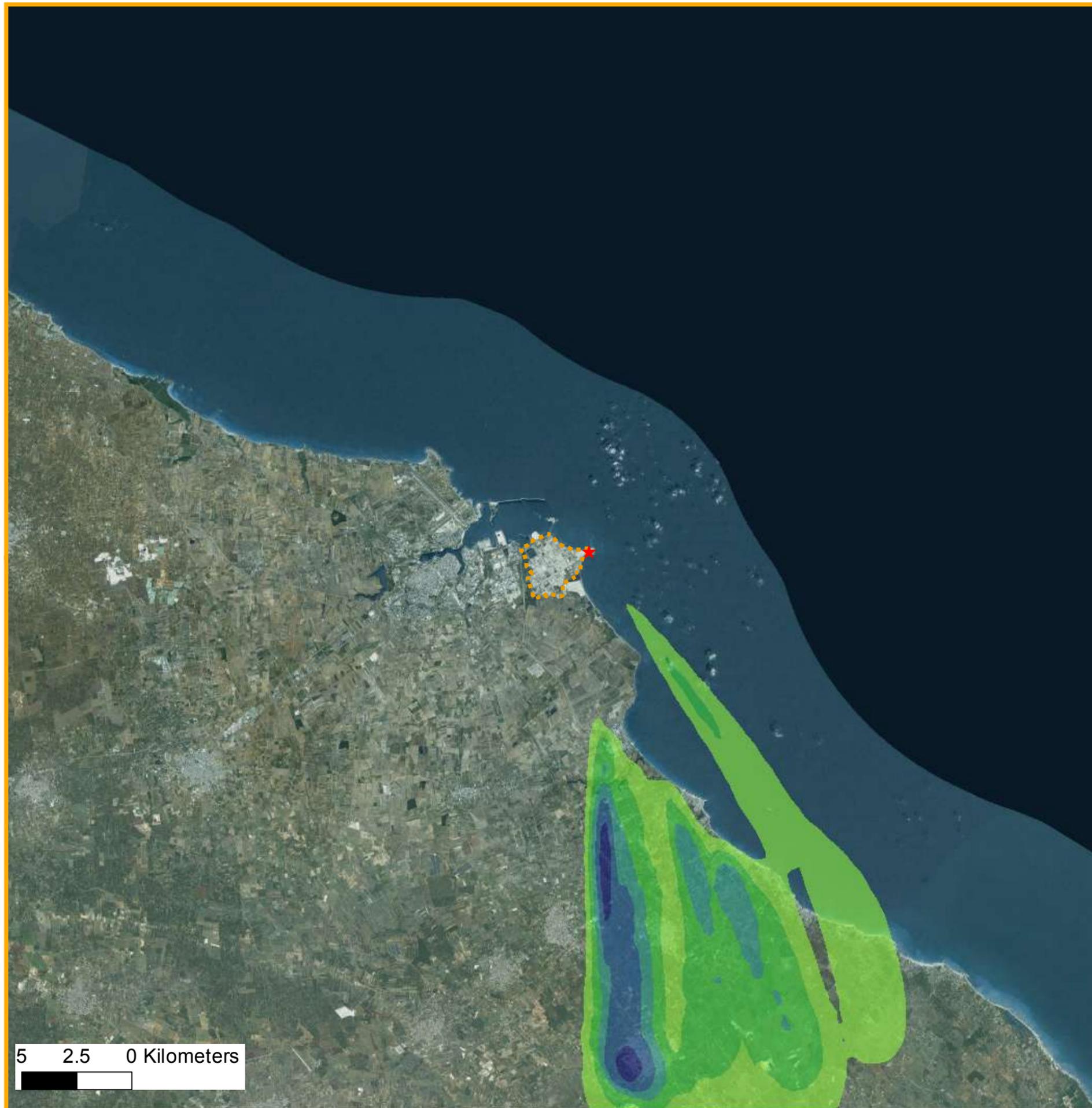
Statistica:
massimo orario

Tavola_05

_Dicembre 2015



5 2.5 0 Kilometers

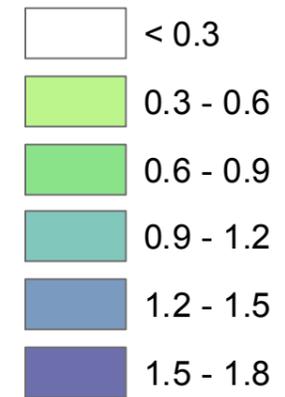


Legenda

 Confine dell'impianto

 Torcia RV101C

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



ENI – Stabilimento Versalis di Brindisi

URS



ENI – Stabilimento Versalis di Brindisi

Stima degli impatti delle emissioni in atmosfera

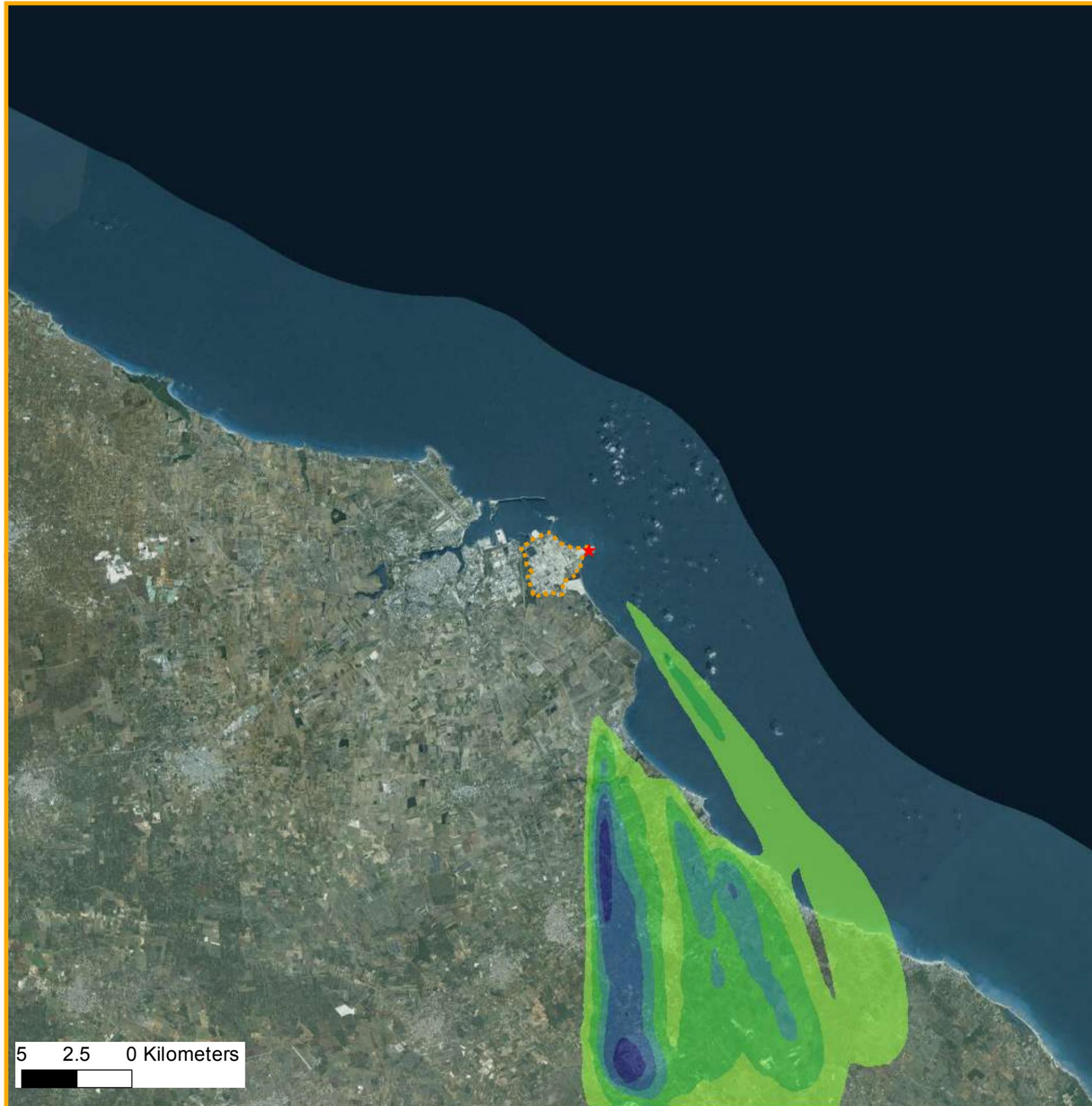
Inquinante: Etilene	Valore limite: 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ <small>imposto sul Benzene e calcolato sulla media annua</small>
----------------------------	---

Periodo di mediazione: evento 2 luglio 2015	Statistica: massimo orario
---	--------------------------------------

Tavola_06

_Dicembre 2015



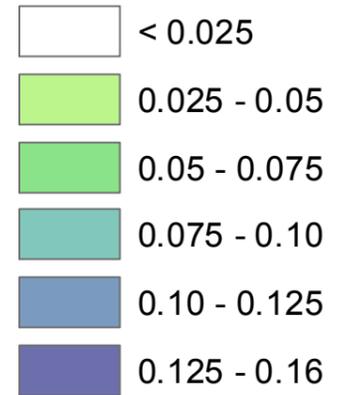


Legenda

 Confine dell'impianto

 Torcia RV101C

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



ENI – Stabilimento Versalis di Brindisi

URS



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:
evento 2 luglio 2015

Statistica:
massimo orario

Tavola_07

_Dicembre 2015





Legenda

 Confine dell'impianto

 Torcia RV101C

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

 <math>< 0.014</math>

 0.014 - 0.028

 0.028 - 0.042

 0.042 - 0.056

 0.056 - 0.070

 0.070 - 0.09



ENI – Stabilimento Versalis di Brindisi

URS


versalis

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:
evento 2 luglio 2015

Statistica:
massimo orario

Tavola_08

_Dicembre 2015

 TerrAria s.r.l.

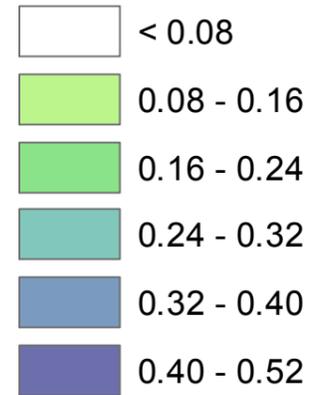


Legenda

 Confine dell'impianto

 Torcia RV101C

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



ENI – Stabilimento Versalis di Brindisi

URS



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

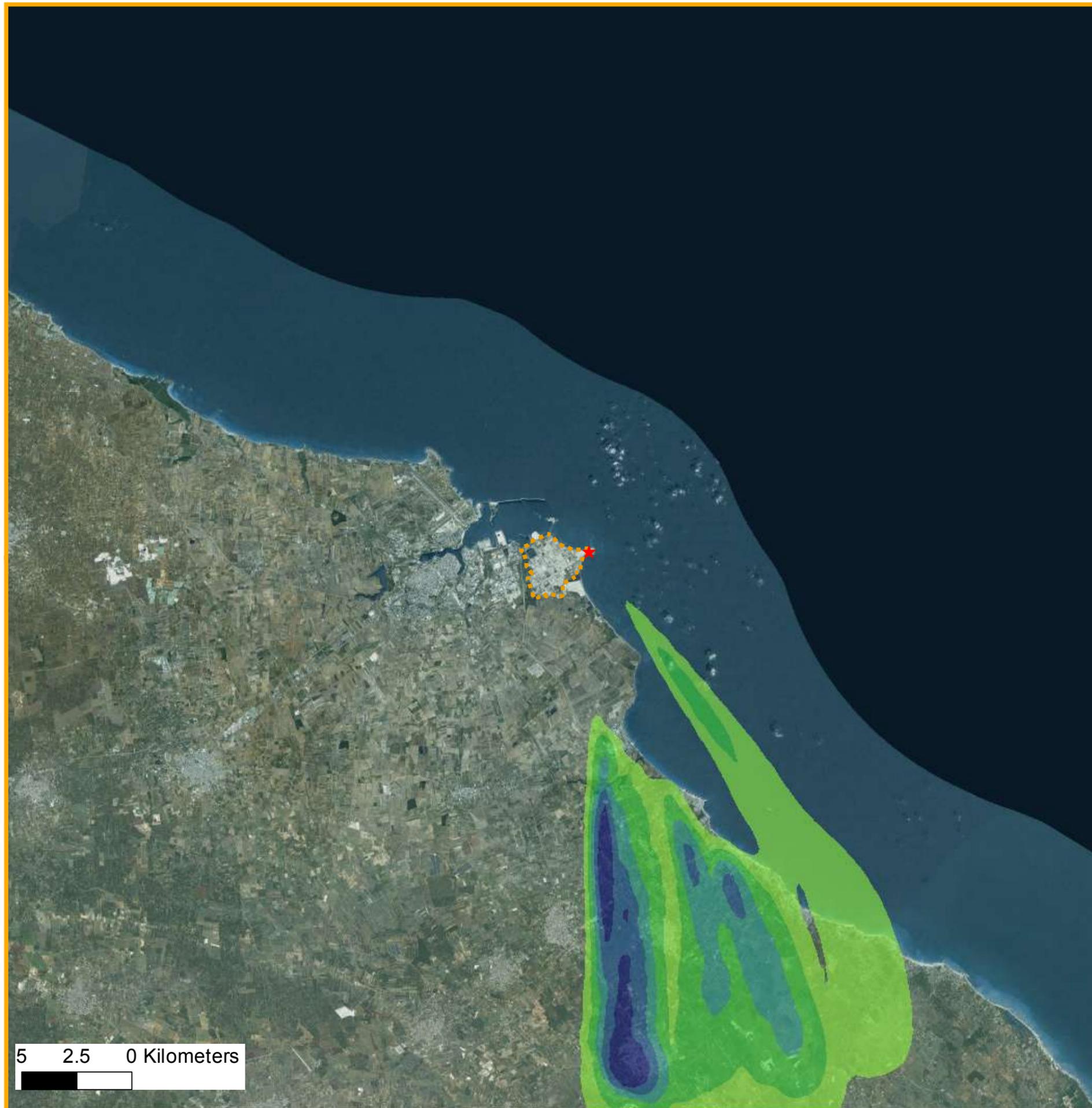
Periodo di mediazione:
evento 2 luglio 2015

Statistica:
massimo orario

Tavola_09

_Dicembre 2015



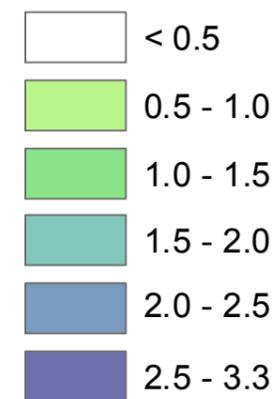


Legenda

 Confine dell'impianto

 Torcia RV101C

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



ENI – Stabilimento Versalis di Brindisi

URS



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:
evento 2 luglio 2015

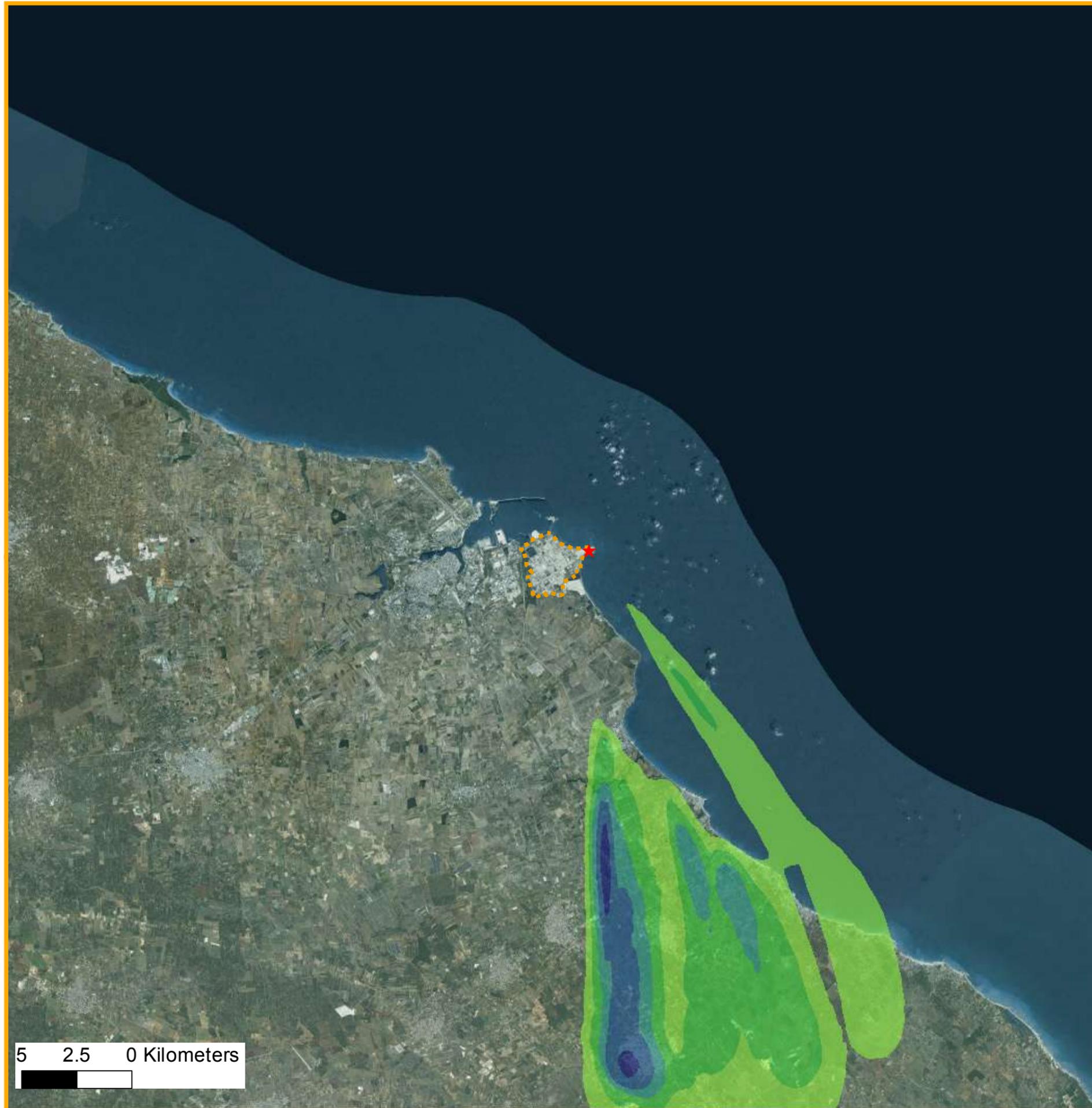
Statistica:
massimo orario

Tavola_10

_Dicembre 2015



5 2.5 0 Kilometers



Legenda

 Confine dell'impianto

 Torcia RV101C

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

 < 0.07

 0.07 - 0.14

 0.14 - 0.21

 0.21 - 0.28

 0.28 - 0.35

 0.35 - 0.40



ENI – Stabilimento Versalis di Brindisi

URS



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:
evento 2 luglio 2015

Statistica:
massimo orario

Tavola_11

_Dicembre 2015



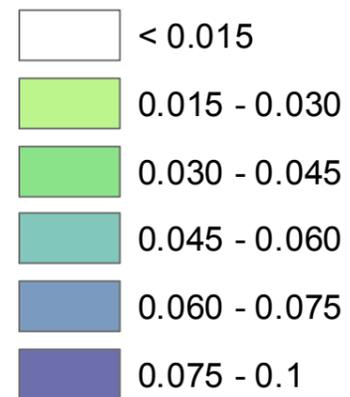


Legenda

 Confine dell'impianto

 Torcia RV101C

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



ENI – Stabilimento Versalis di Brindisi

URS



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:
evento 2 luglio 2015

Statistica:
massimo orario

Tavola_12

_Dicembre 2015



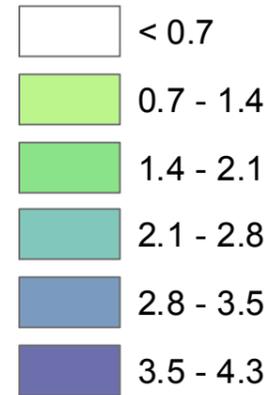


Legenda

 Confine dell'impianto

 Torcia RV101C

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



ENI – Stabilimento Versalis di Brindisi

URS



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:
evento 2 luglio 2015

Statistica:
massimo orario

Tavola_13

_Dicembre 2015



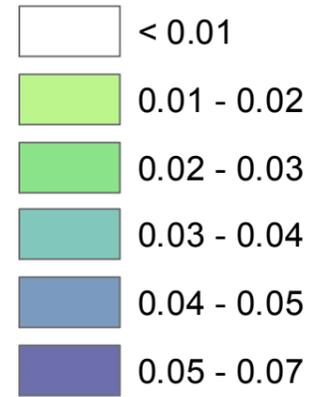


Legenda

 Confine dell'impianto

 Torcia RV101C

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



ENI – Stabilimento Versalis di Brindisi

URS



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:
evento 2 luglio 2015

Statistica:
massimo orario

Tavola_14

_Dicembre 2015



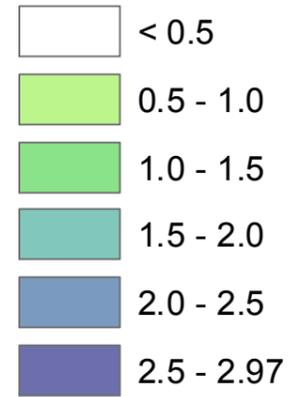


Legenda

 Confine dell'impianto

 Torcia RV101C

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



ENI – Stabilimento Versalis di Brindisi

URS



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:
evento 2 luglio 2015

Statistica:
massimo orario

Tavola_15

_Dicembre 2015



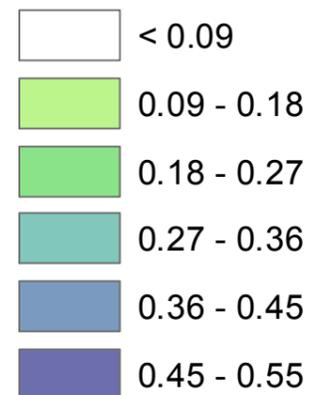


Legenda

 Confine dell'impianto

 Torcia RV101C

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



ENI – Stabilimento Versalis di Brindisi

URS



ENI – Stabilimento Versalis di Brindisi

Stima degli impatti delle emissioni in atmosfera

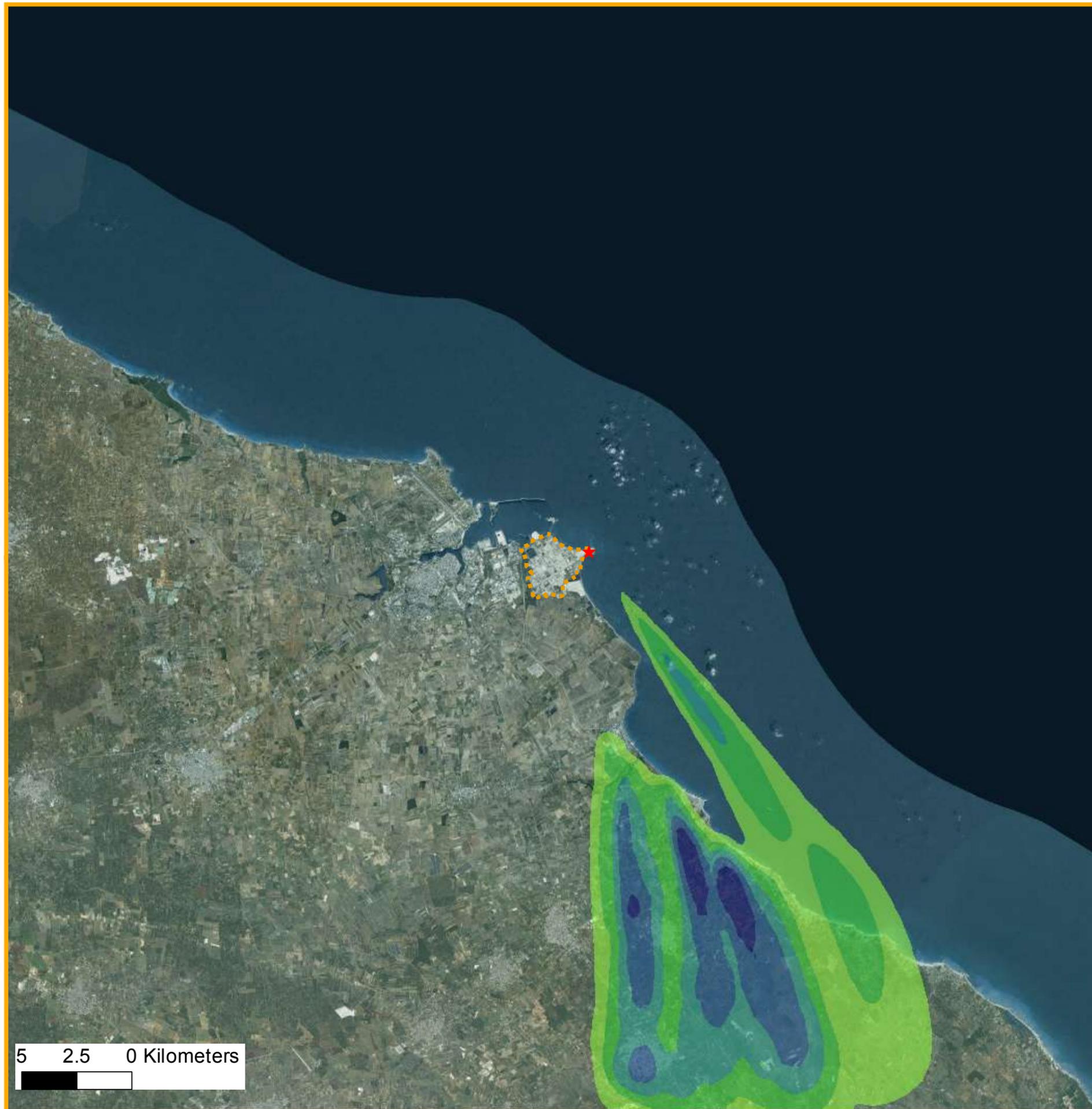
Inquinante: Metano	Valore limite: 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ <small>imposto sul Benzene e calcolato sulla media annua</small>
---------------------------	---

Periodo di mediazione: evento 2 luglio 2015	Statistica: massimo orario
---	--------------------------------------

Tavola_16

_Dicembre 2015





Legenda

 Confine dell'impianto

 Torcia RV101C

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

 <math>< 1</math>

 1 - 2

 2 - 3

 3 - 4

 4 - 5

 5 - 6.32



ENI – Stabilimento Versalis di Brindisi

URS



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 trasciata di 8h

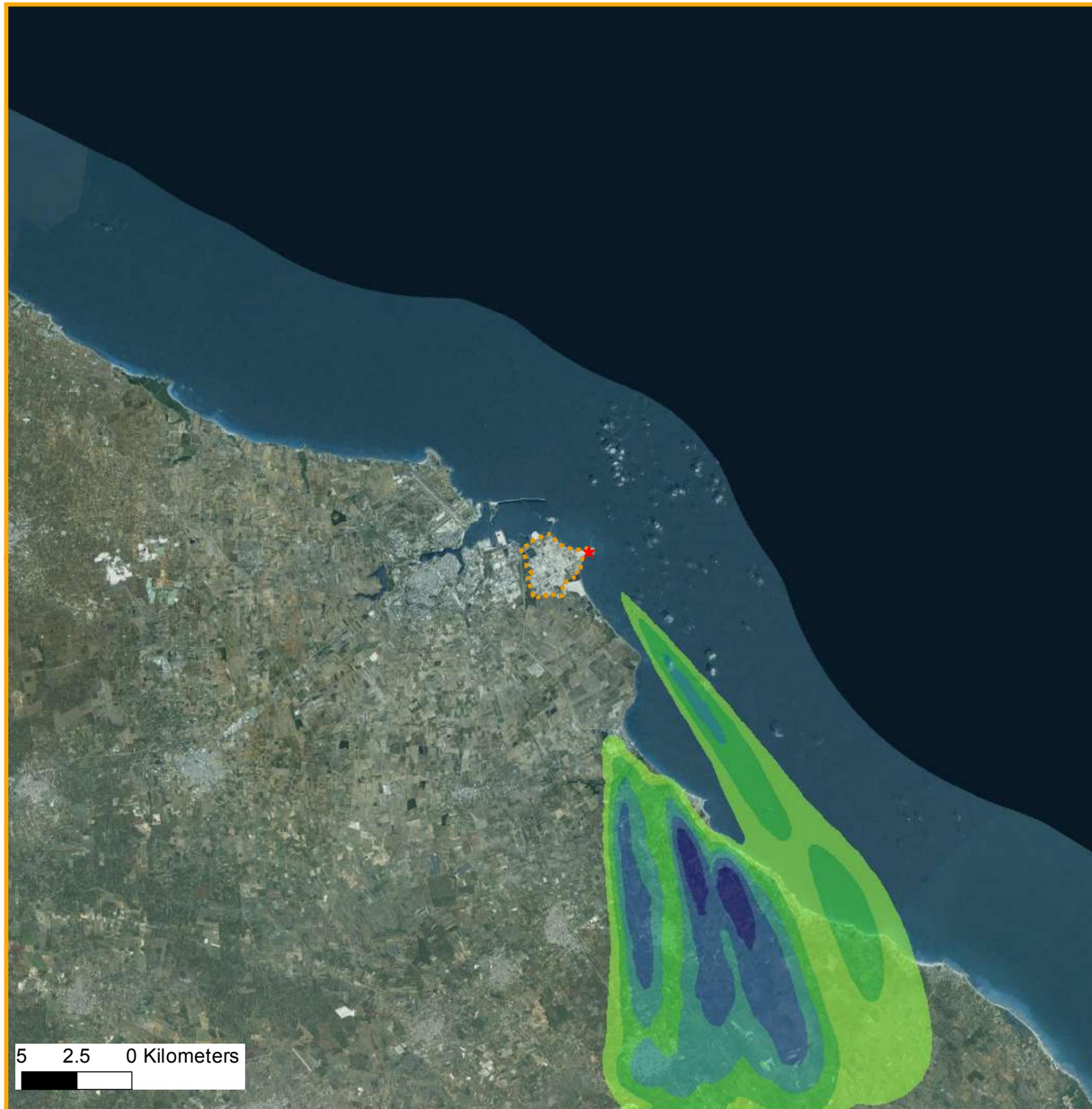
Periodo di mediazione:
evento 2 luglio 2015

Statistica:
massimo orario

Tavola_17

_Dicembre 2015





Legenda

 Confine dell'impianto

 Torcia RV101C

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

 < 0.0015

 0.0015 - 0.0030

 0.0030 - 0.0045

 0.0045 - 0.0060

 0.0060 - 0.0075

 0.0075 - 0.01



ENI – Stabilimento Versalis di Brindisi

URS


versalis

ENI – Stabilimento Versalis di Brindisi

Stima degli impatti delle emissioni in atmosfera

Inquinante: **Benzene**

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

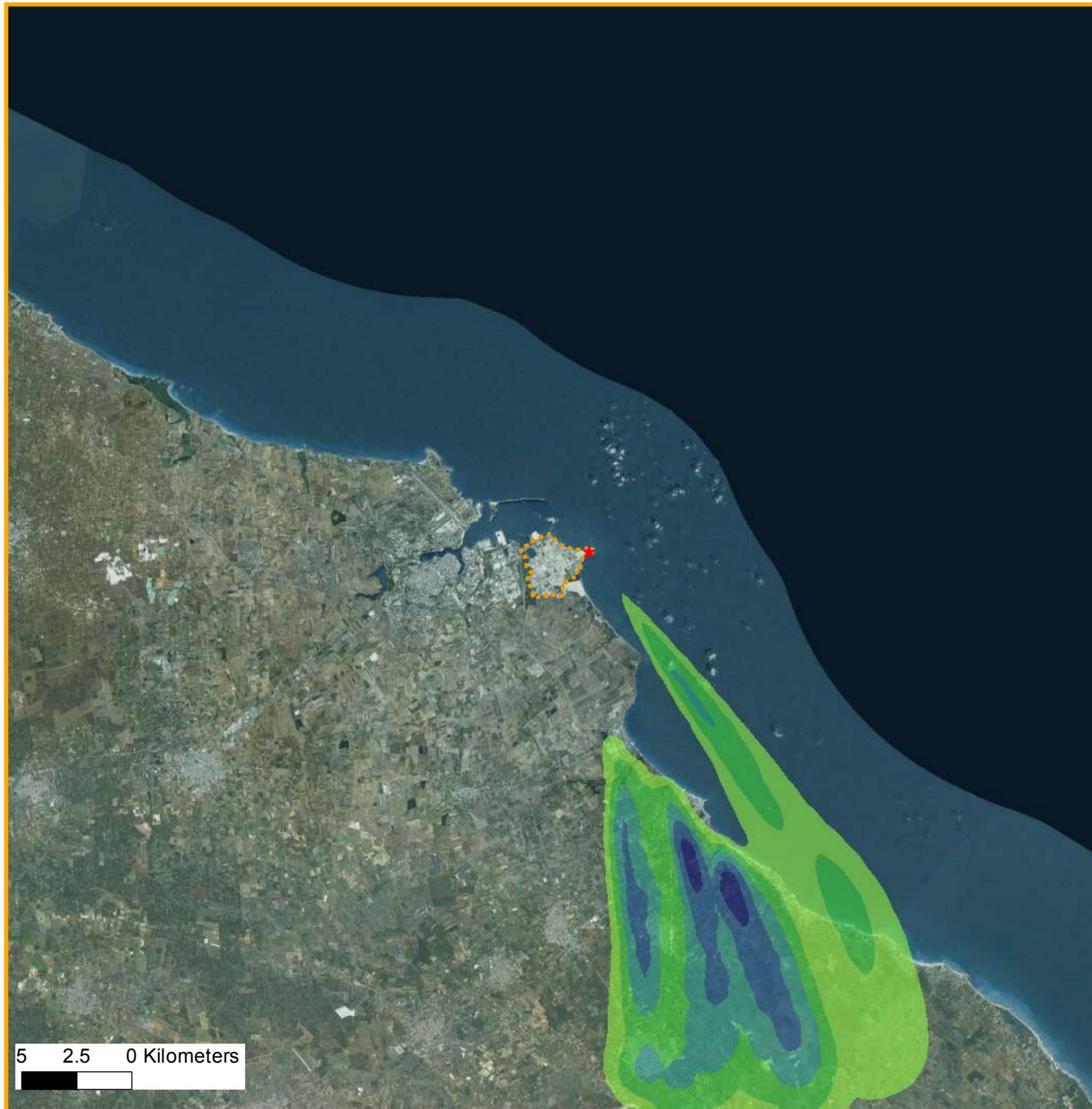
Periodo di mediazione:
evento 2 luglio 2015

Statistica:
massimo orario

Tavola_18

_Dicembre 2015

 TerrAria s.r.l.

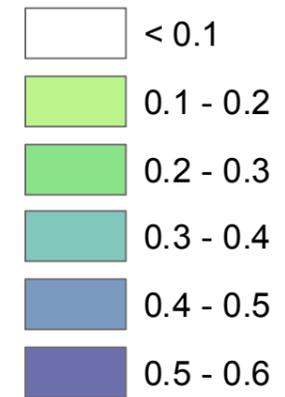


Legenda

 Confine dell'impianto

 Torcia RV101C

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



ENI – Stabilimento Versalis di Brindisi

URS



ENI – Stabilimento Versalis di Brindisi

Stima degli impatti delle emissioni in atmosfera

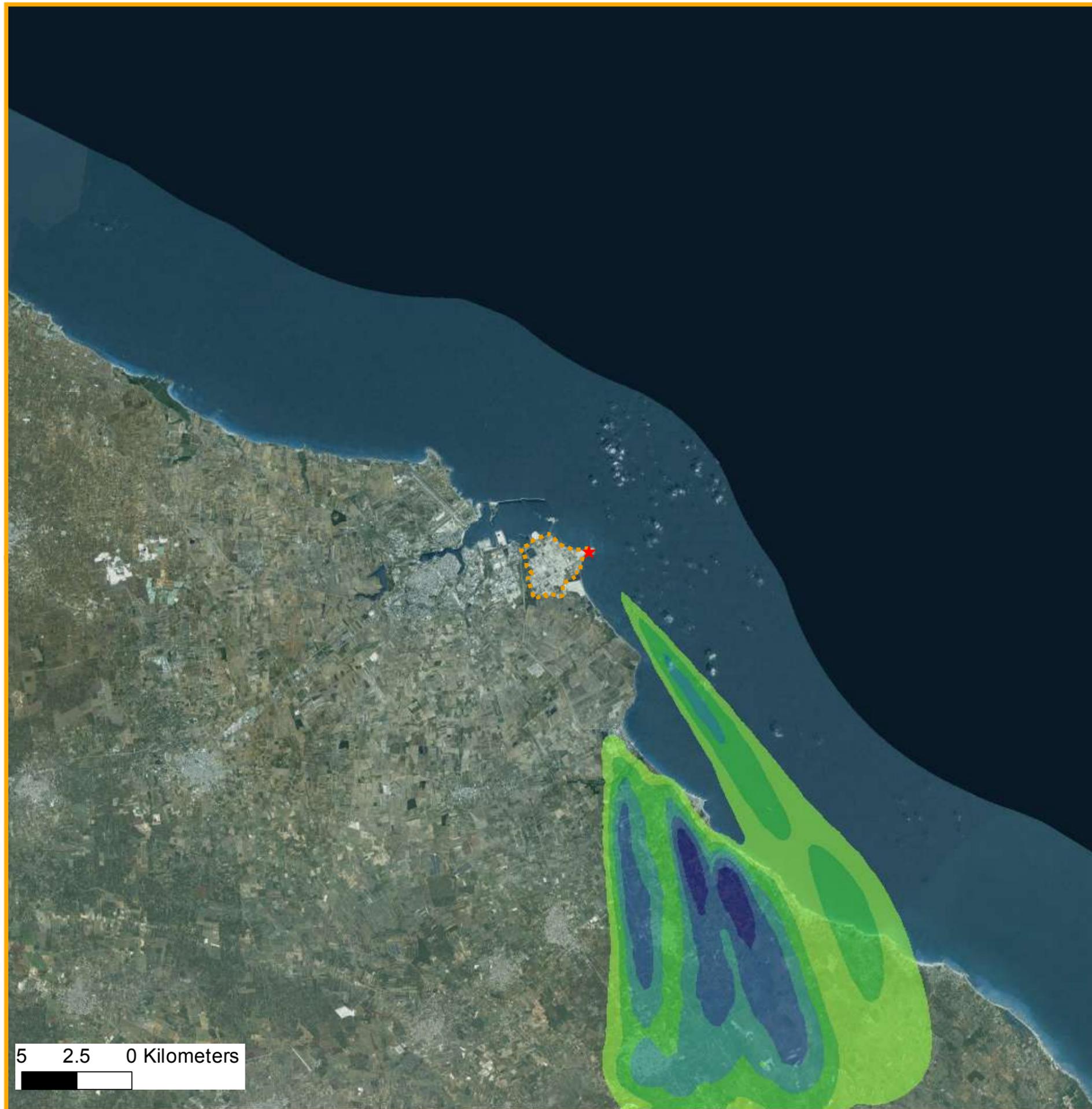
Inquinante: Etilene	Valore limite: $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ <small>imposto sul Benzene e calcolato sulla media annua</small>
----------------------------	---

Periodo di mediazione: evento 2 luglio 2015	Statistica: massimo orario
---	--------------------------------------

Tavola_19

_Dicembre 2015





Legenda

 Confine dell'impianto

 Torcia RV101C

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

 <math>< 0.008</math>

 0.008 - 0.016

 0.016 - 0.024

 0.024 - 0.032

 0.032 - 0.040

 0.040 - 0.05



ENI – Stabilimento Versalis di Brindisi

URS


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

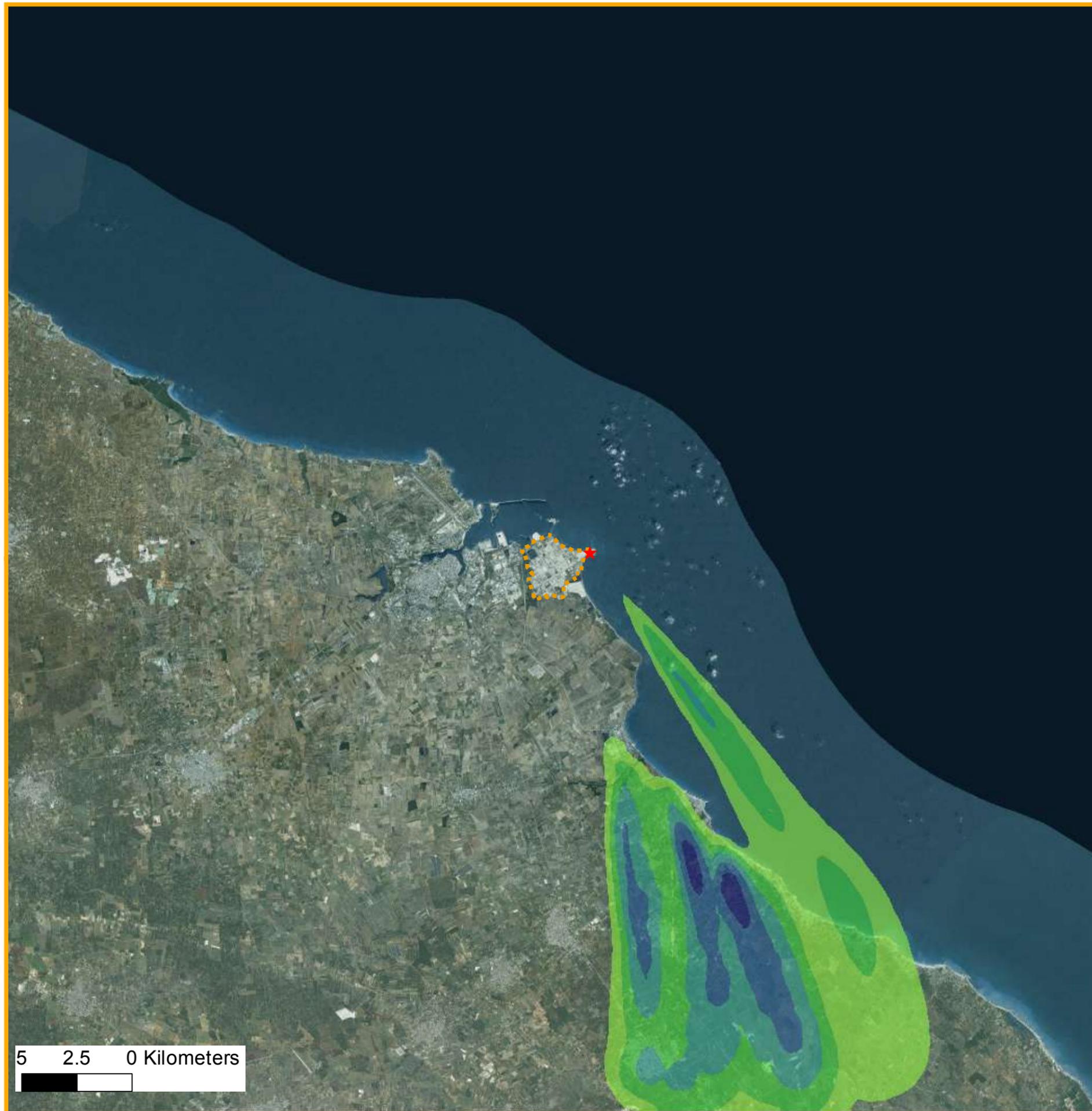
Periodo di mediazione:
evento 2 luglio 2015

Statistica:
massimo orario

Tavola_20

_Dicembre 2015

 TerrAria s.r.l.



Legenda

 Confine dell'impianto

 Torcia RV101C

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

 <math>< 0.005</math>

 0.005 - 0.01

 0.01 - 0.015

 0.015 - 0.020

 0.020 - 0.025

 0.025 - 0.03



ENI – Stabilimento Versalis di Brindisi

URS



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

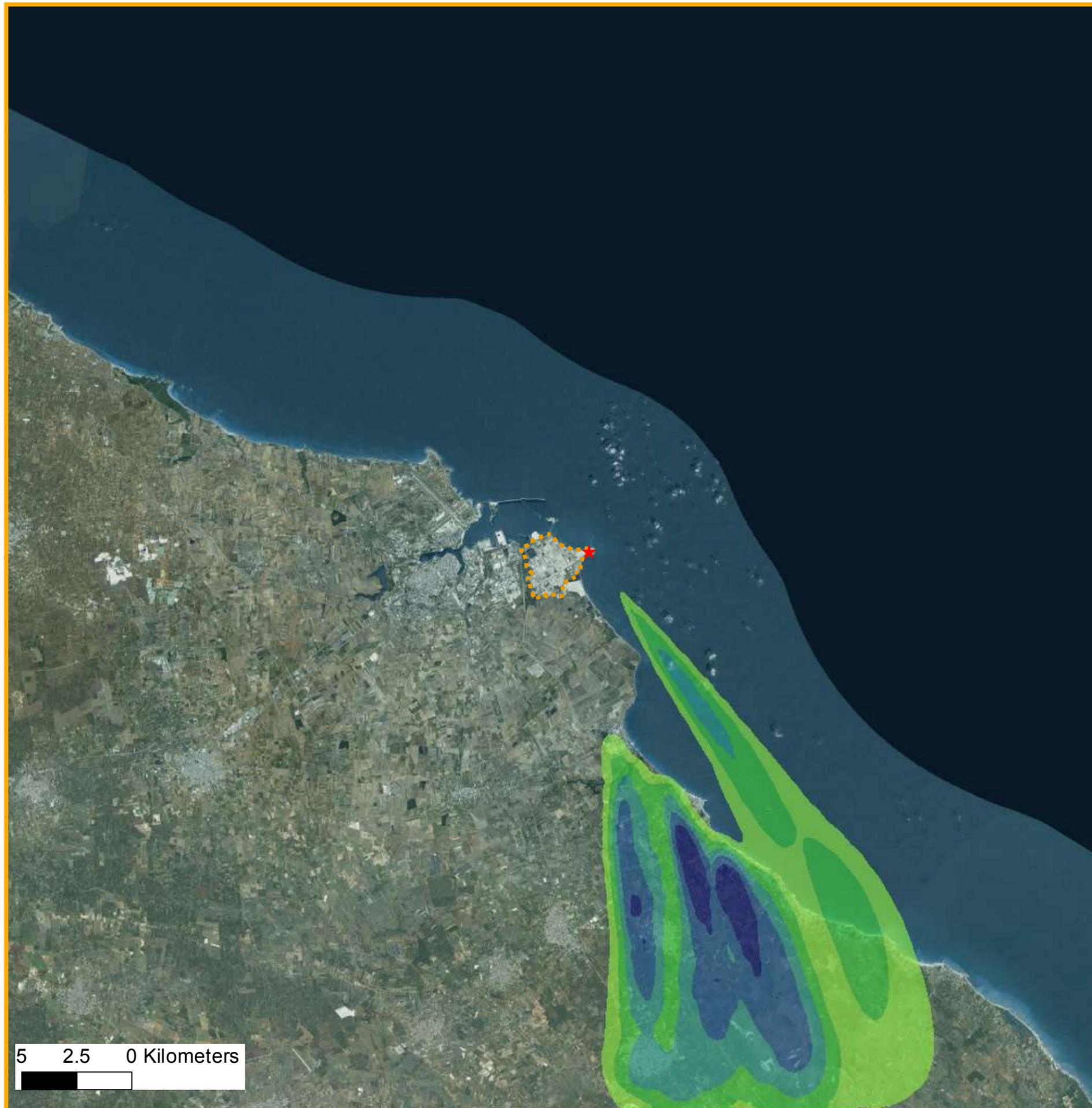
Periodo di mediazione:
evento 2 luglio 2015

Statistica:
massimo orario

Tavola_21

_Dicembre 2015





Legenda

 Confine dell'impianto

 Torcia RV101C

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

 < 0.025

 0.025 - 0.05

 0.05 - 0.075

 0.075 - 0.1

 0.1 - 0.125

 0.125 - 0.17



ENI – Stabilimento Versalis di Brindisi

URS



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

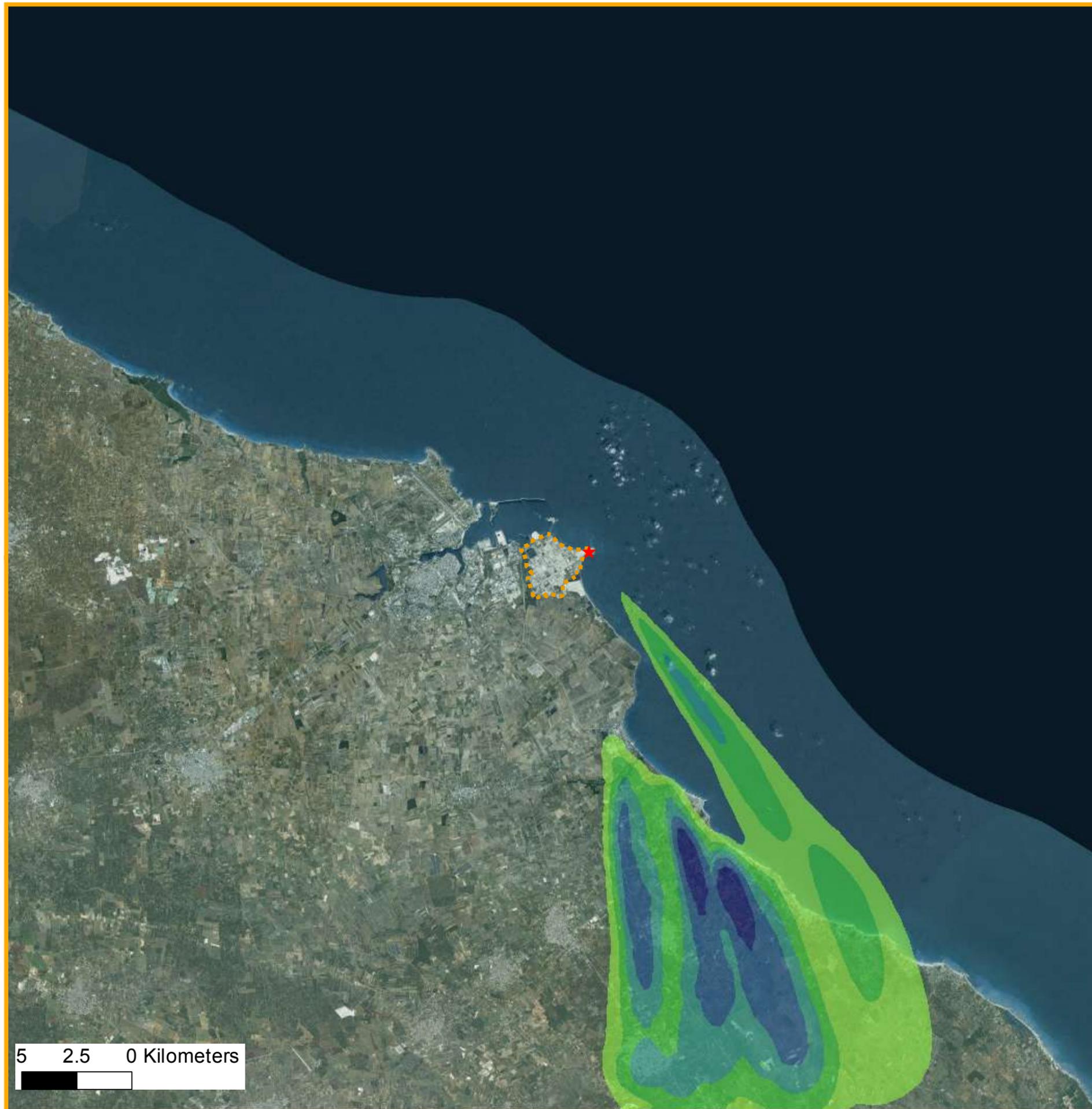
Periodo di mediazione:
evento 2 luglio 2015

Statistica:
massimo orario

Tavola_22

_Dicembre 2015



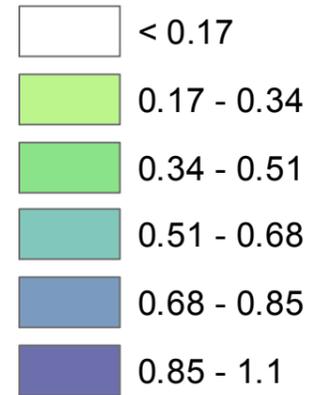


Legenda

 Confine dell'impianto

 Torcia RV101C

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



ENI – Stabilimento Versalis di Brindisi

URS



ENI – Stabilimento Versalis di Brindisi

Stima degli impatti delle emissioni in atmosfera

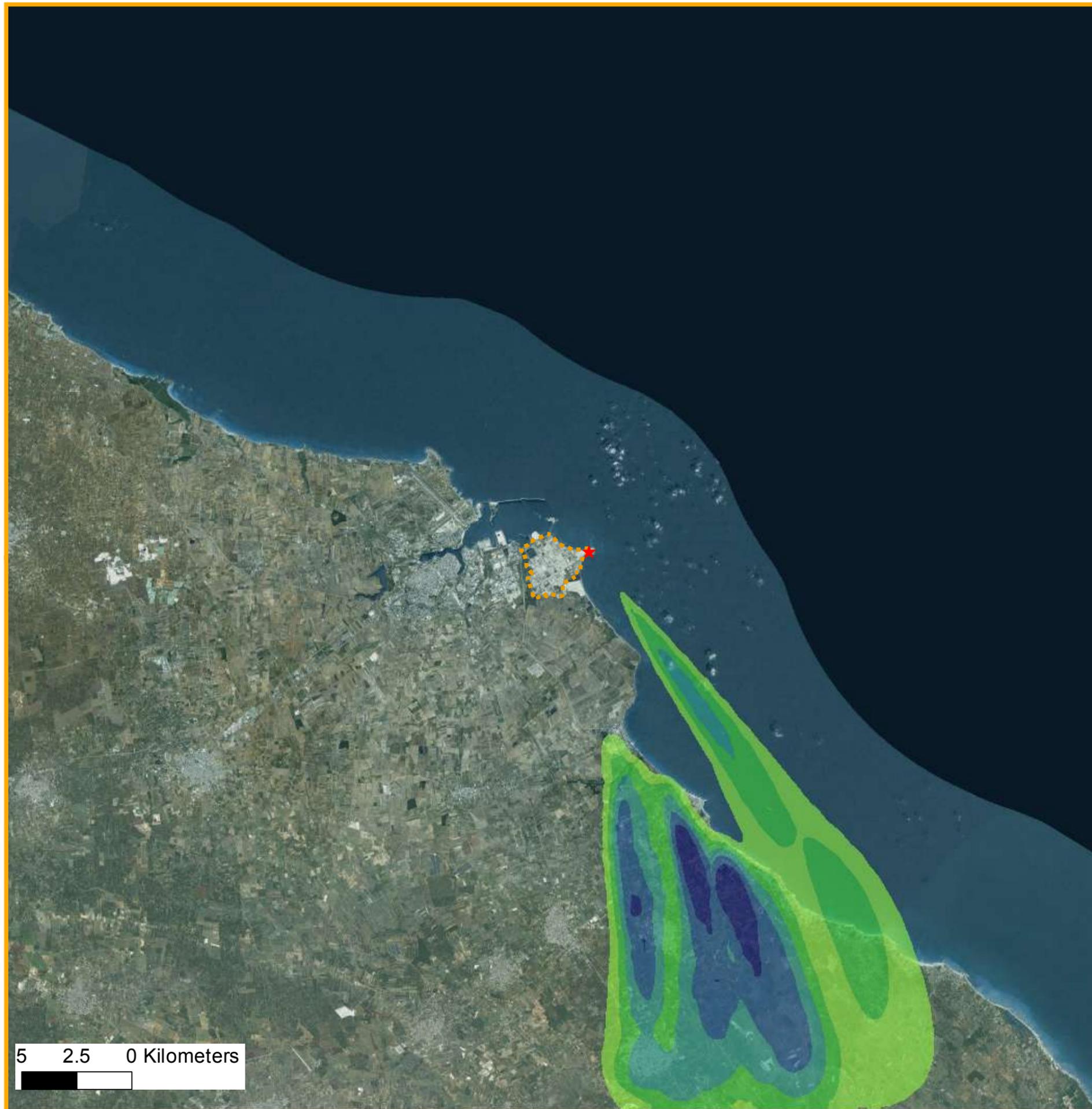
Inquinante: Butene	Valore limite: 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ <small>imposto sul Benzene e calcolato sulla media annua</small>
---------------------------	---

Periodo di mediazione: evento 2 luglio 2015	Statistica: massimo orario
---	--------------------------------------

Tavola_23

_Dicembre 2015



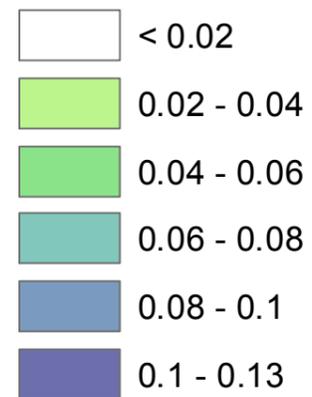


Legenda

 Confine dell'impianto

 Torcia RV101C

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



ENI – Stabilimento Versalis di Brindisi

URS



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

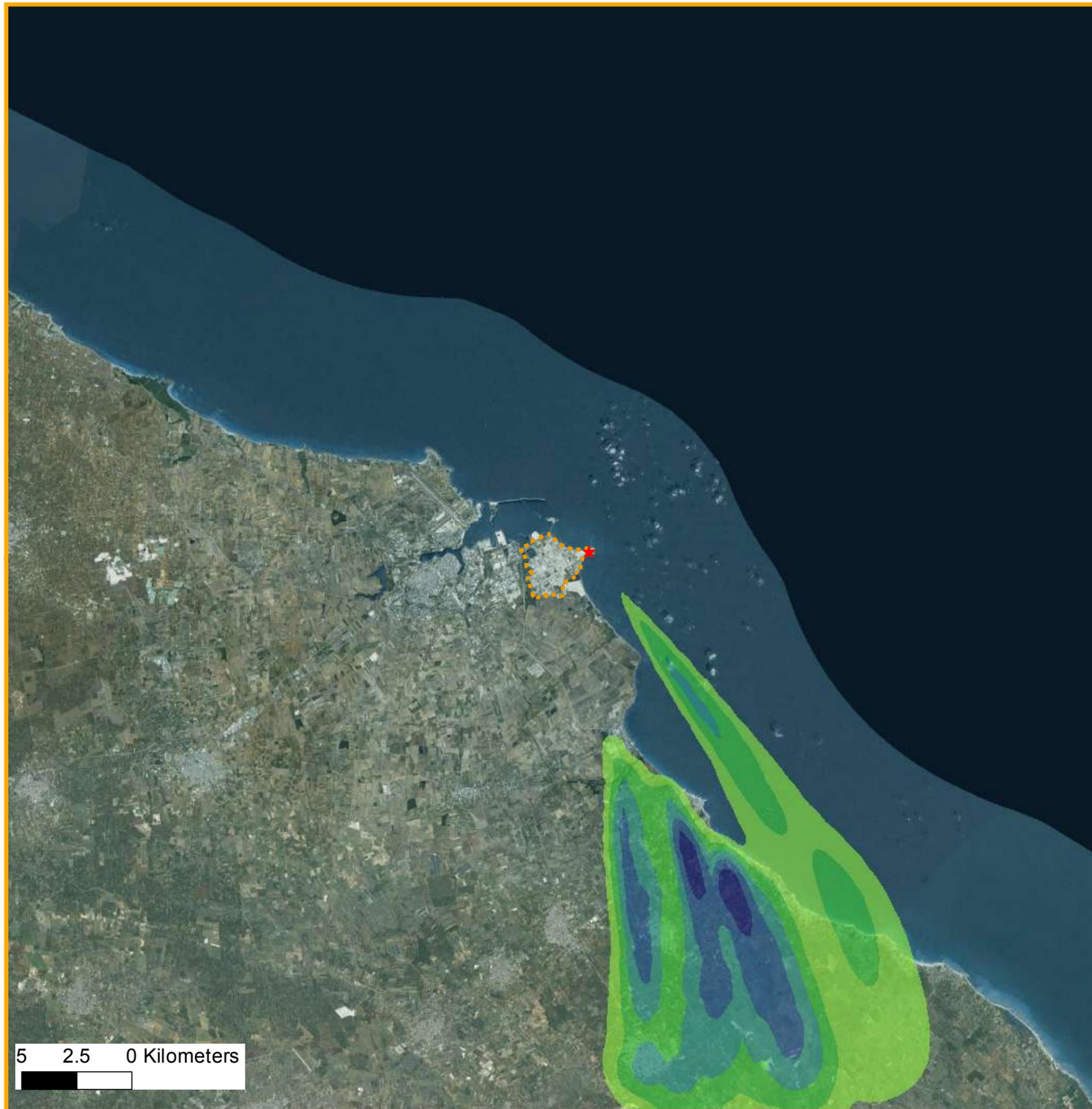
Periodo di mediazione:
evento 2 luglio 2015

Statistica:
massimo orario

Tavola_24

_Dicembre 2015



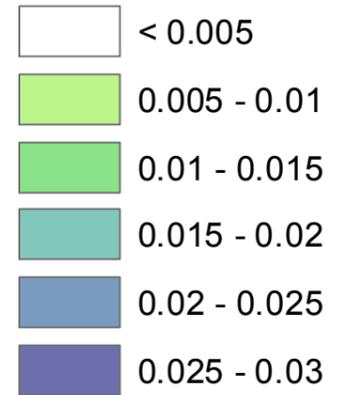


Legenda

 Confine dell'impianto

 Torcia RV101C

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



ENI – Stabilimento Versalis di Brindisi

URS



ENI – Stabilimento Versalis di Brindisi

Stima degli impatti delle emissioni in atmosfera

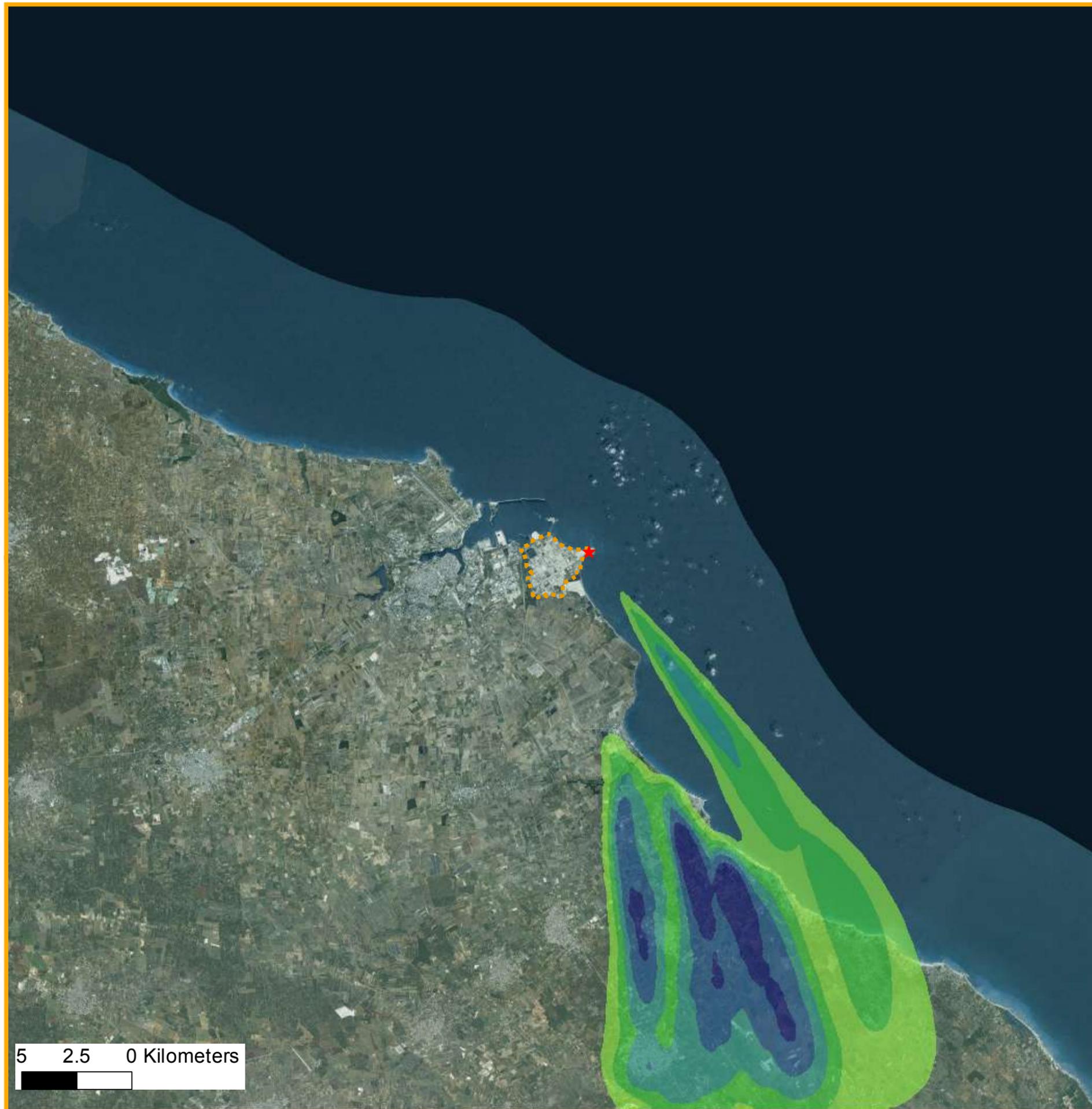
Inquinante: Acetilene	Valore limite: 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ <small>imposto sul Benzene e calcolato sulla media annua</small>
------------------------------	---

Periodo di mediazione: evento 2 luglio 2015	Statistica: massimo orario
---	--------------------------------------

Tavola_25

_Dicembre 2015



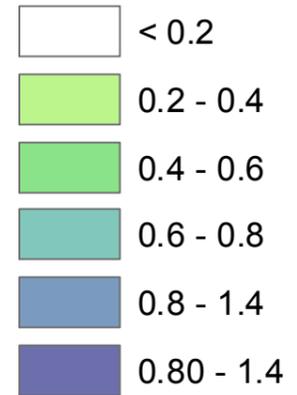


Legenda

 Confine dell'impianto

 Torcia RV101C

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



ENI – Stabilimento Versalis di Brindisi

URS



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

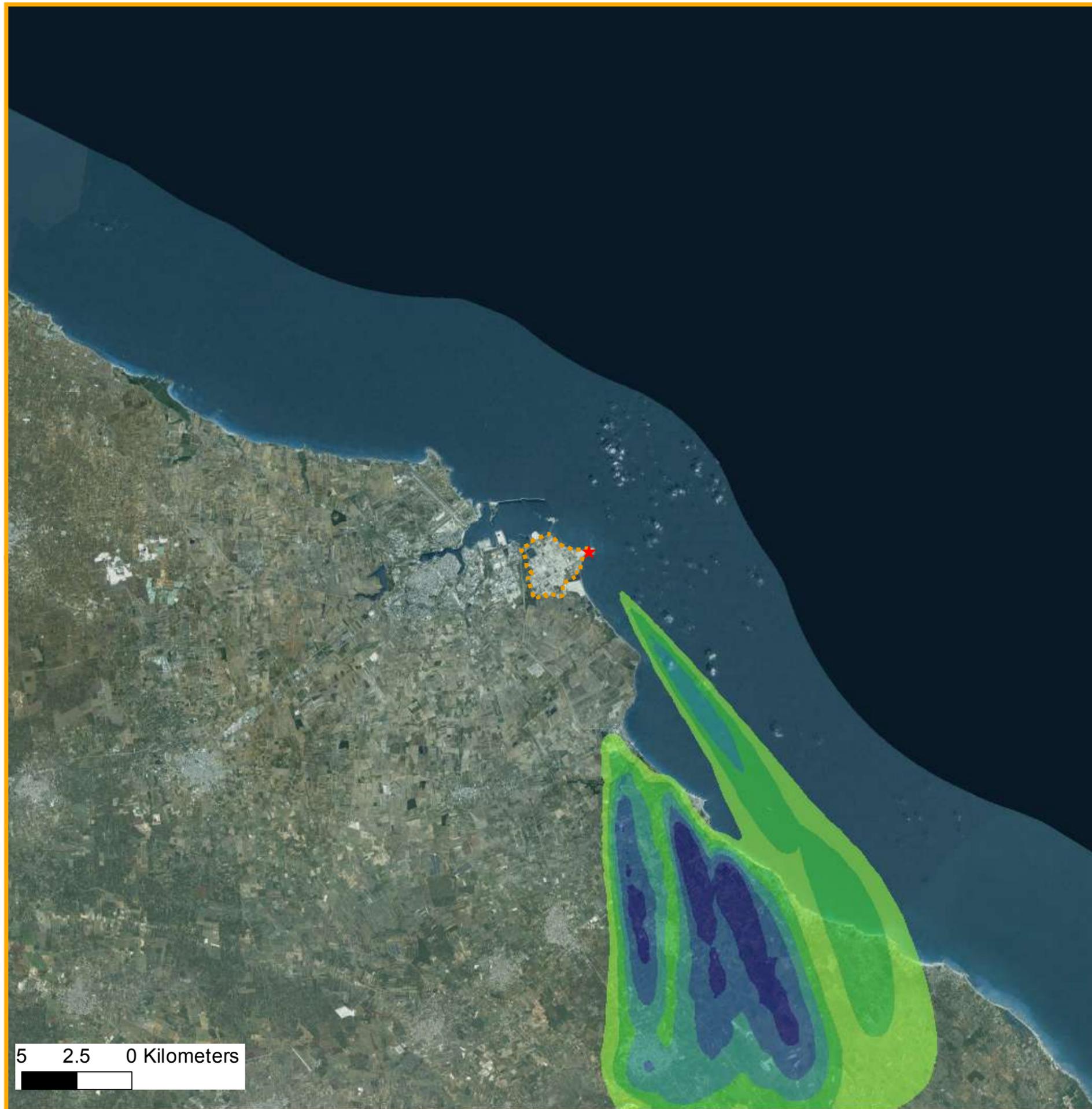
Periodo di mediazione:
evento 2 luglio 2015

Statistica:
massimo orario

Tavola_26

_Dicembre 2015





Legenda

 Confine dell'impianto

 Torcia RV101C

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

 < 0.003

 0.003 - 0.006

 0.006 - 0.009

 0.009 - 0.012

 0.012 - 0.015

 0.015 - 0.02



ENI – Stabilimento Versalis di Brindisi

URS



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

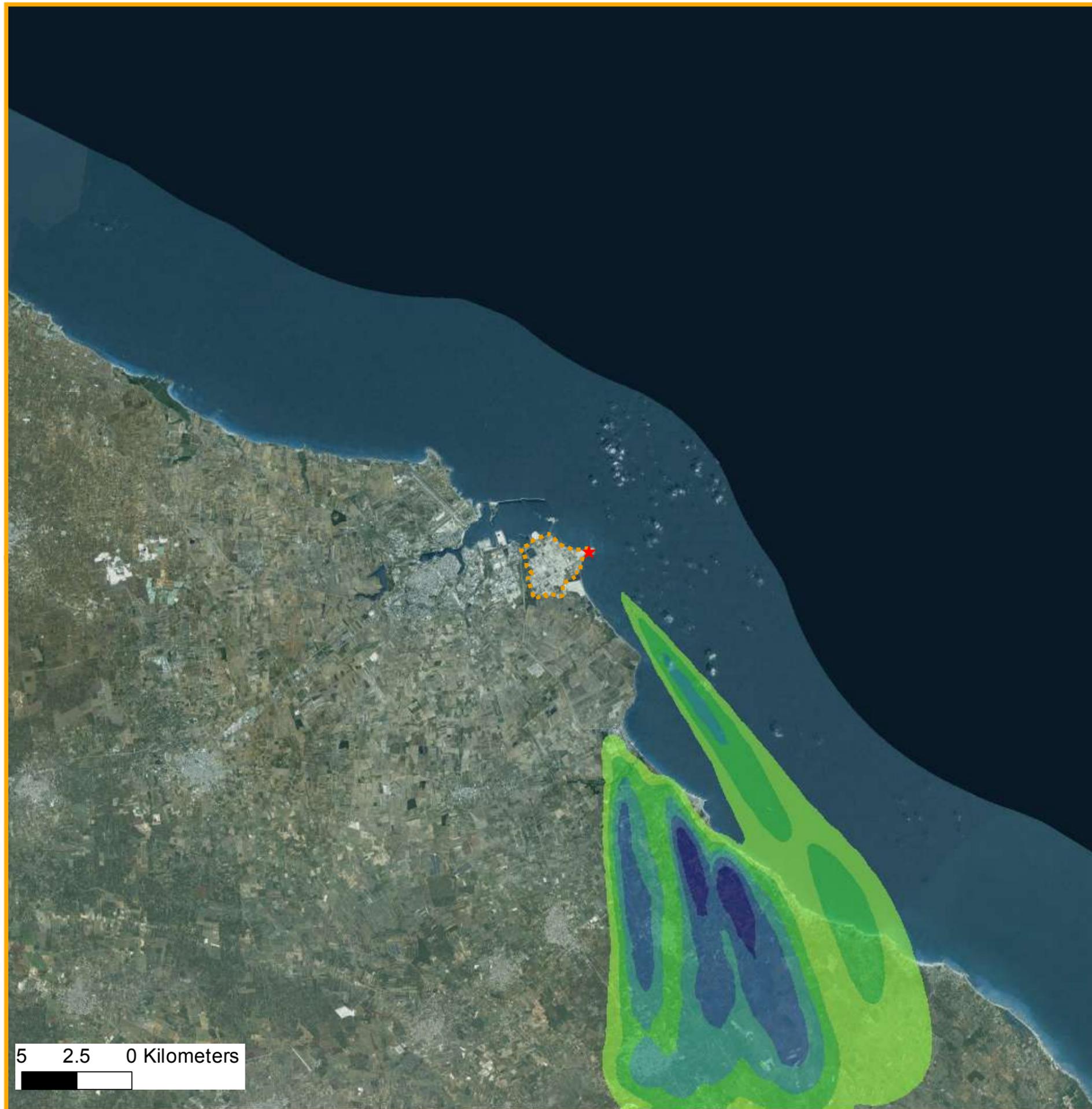
Periodo di mediazione:
evento 2 luglio 2015

Statistica:
massimo orario

Tavola_27

_Dicembre 2015



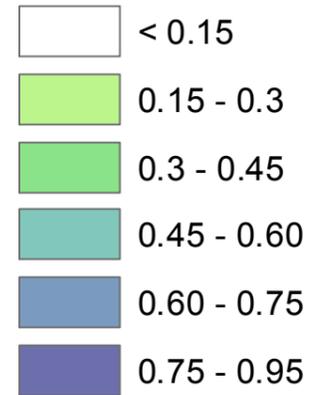


Legenda

 Confine dell'impianto

 Torcia RV101C

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



ENI – Stabilimento Versalis di Brindisi

URS



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

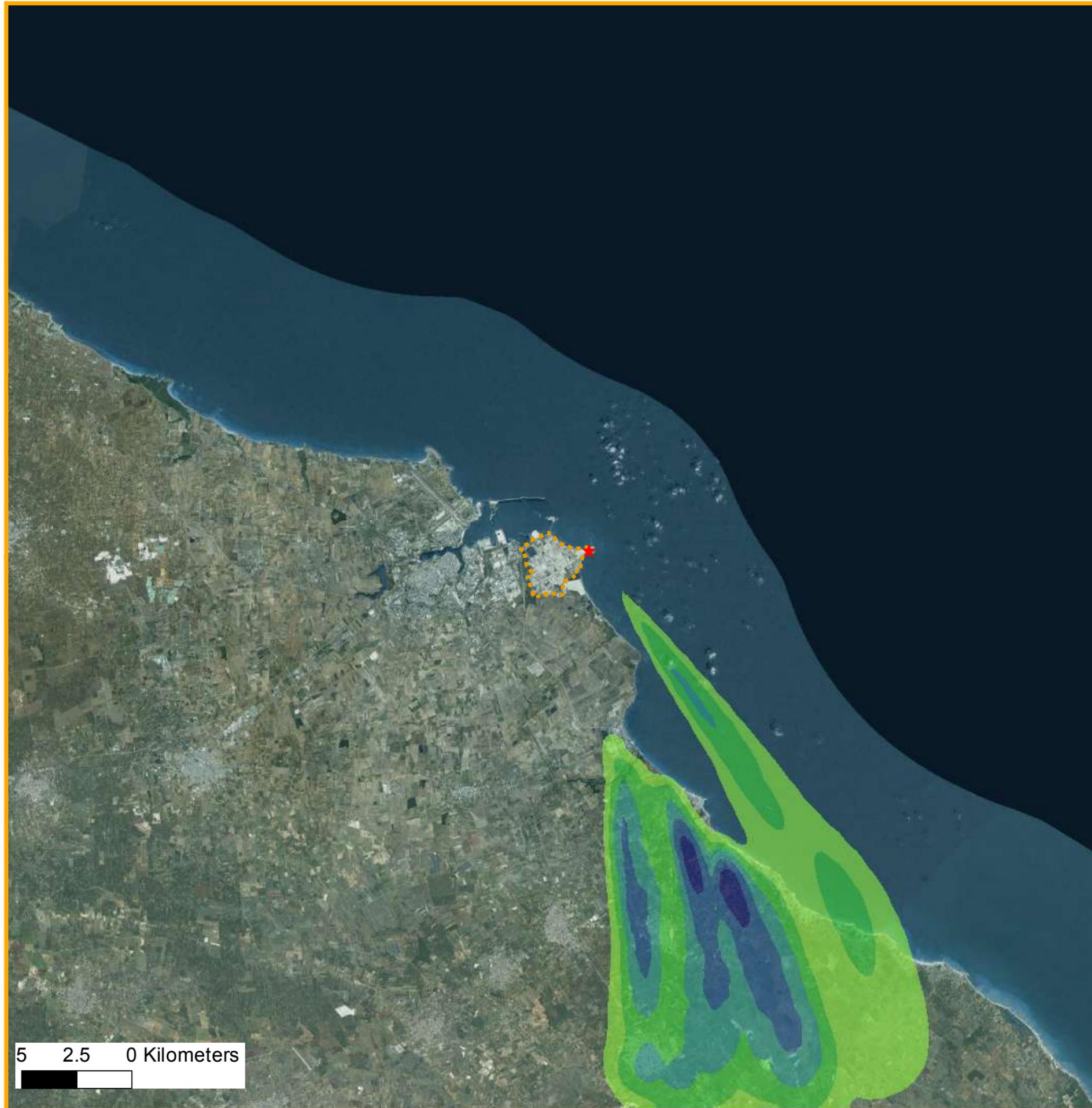
Periodo di mediazione:
evento 2 luglio 2015

Statistica:
massimo orario

Tavola_28

_Dicembre 2015



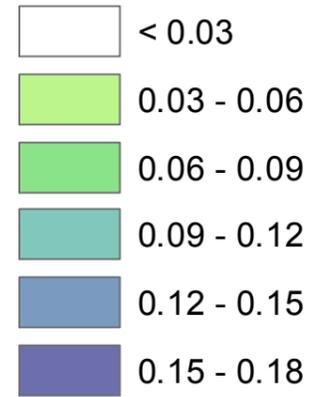


Legenda

 Confine dell'impianto

 Torcia RV101C

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



ENI – Stabilimento Versalis di Brindisi

URS



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:
evento 2 luglio 2015

Statistica:
massimo orario

Tavola_29

_Dicembre 2015

