



Istituto di Metodologie per l'Analisi Ambientale (IMAA)

Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR)

Programma di ricerca "Short Term Mobility 2015"

Relazione Scientifica

Periodo: 4 Giugno 2015 – 23 Giugno 2015

Titolo del programma:

Utilizzo di dati satellitari di nuova generazione (i.e. Suomi/NPP VIIRS) per la caratterizzazione e il monitoraggio del gas flaring

Dipartimento di afferenza:

Scienze del sistema Terra e tecnologie per l'ambiente

Istituto ospitante:

National Oceanic and Atmospheric Administration - National Geophysical Data Center (NOAA – NGDC), Boulder, Colorado (USA)

Dr. Mariapia Faruolo



Indice

Obiettivi della ricerca	1
Il problema affrontato	1
I dati satellitari utilizzati	6
Gli algoritmi utilizzati	8
Risultati	10
Analisi basate su dati MODIS	10
Analisi basate su dati VIIRS	12
Conclusioni	17
Referenze	18



Obiettivi della ricerca

L'attività di ricerca svolta presso il *National Geophysical Data Center* (NGDC) della *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA), situato nella città di Boulder (Colorado, USA) dal 4 al 23 Giugno 2015, è stata focalizzata sulla caratterizzazione e il monitoraggio del *gas flaring* tramite il sensore di nuova generazione *Visible Infrared Imaging Radiometer Suite* (VIIRS) a bordo del satellite *Suomi National Polar-orbiting Partnership* (SUOMI-NPP), operativo dal 28 Ottobre 2011. Obiettivo principale dell'attività di *Short Term Mobility* (STM) era quello di approfondire, attraverso l'interazione e la collaborazione con uno dei gruppi di ricerca *leader* nel mondo, la tematica dello studio del fenomeno del *gas flaring* con dati satellitari. Ulteriori obiettivi erano: i) approfondimento delle caratteristiche e delle proprietà del sensore VIIRS nonché dei *software* e dei *tools* di elaborazione utilizzati presso il NOAA-NGDC; ii) acquisizione di data-set NPP-VIIRS, presenti negli archivi dell'NGDC, su cui implementare la metodologia RST-FLARE sviluppata presso il CNR-IMAA; iii) confronto preliminare dei risultati ottenuti indipendentemente dagli algoritmi RST-FLARE (CNR-IMAA) e Nightfire (NOAA-NGDC) su casi test comuni.

Il problema affrontato

Il *gas flaring* è la pratica comunemente adottata dalle compagnie petrolifere per bruciare il gas naturale in eccesso associato all'estrazione e pre-trattamento di petrolio. La combustione di tale gas avviene attraverso una torcia che svetta, con una fiamma perenne, sulla sommità delle torri petrolifere. La combustione in torcia del gas naturale è prima di tutto una misura di sicurezza per garantire che eventuali fuoriuscite di gas vengano smaltite direttamente sul luogo di produzione, evitando incidenti o esplosioni di qualsiasi tipo (Ohio Epa, 2012). Tuttavia, al tempo stesso, il *flaring* del gas presenta un duplice svantaggio (Elvidge et al., 2007; Ismail and Umukoro, 2012):

1. rappresenta uno spreco enorme di una risorsa energetica naturale (che può essere riutilizzata per la produzione sul posto di energia elettrica o la distribuzione del metano alle adiacenti aree urbane),
2. contribuisce notevolmente all'inquinamento atmosferico del pianeta introducendo in atmosfera ingenti quantità di anidride carbonica, anidride solforosa e protossido di azoto.



La Banca Mondiale ha stimato che annualmente i Paesi produttori di petrolio e le compagnie petrolifere bruciano circa 150 miliardi di m³ di gas naturale che rappresentano il 27% del consumo di gas degli USA e il 30% di quello dell'Europa nonché il 5.5% della produzione mondiale, uno spreco enorme quantificabile in un valore di mercato di 40 miliardi di dollari e in un'immissione in atmosfera di 400 milioni di tonnellate di CO₂ (World Bank, 2012).

Ad oggi, le informazioni sul *gas flaring* si ottengono direttamente dalle compagnie petrolifere, ma la maggior parte di esse non controlla adeguatamente la quantità di gas bruciato in torcia, fornendo spesso misure inaffidabili e/o lacunose. Al fine, quindi, di avere stime indipendenti dei volumi di gas bruciati a scala locale e globale, nel 2002 la Banca Mondiale ha commissionato e finanziato la NOAA per investigare le potenzialità dell'uso di osservazioni satellitari nell'identificazione delle torce e nella stima del *gas flaring*, nell'ambito dell'iniziativa *Global Gas Flaring Reduction* (GGFR) (http://www.globalforum2015.admhmao.org/wps/portal/gf5en!/ut/p/b0/04_Sj9CPykssy0xPLMnMz0vMAfGjzOINzC18fS2DjU3MDYJNDRwD3b0NLIKDnczNjfQLsh0VAcAf3SY!/). Questa iniziativa, in essere da circa 15 anni e nata durante il Summit Mondiale per lo Sviluppo Sostenibile di Johannesburg con lo scopo di promuovere e supportare l'industria petrolifera e i governi produttori negli sforzi per ridurre l'uso del *flaring* del gas, oggi conta l'adesione di oltre 30 membri, divisi tra organizzazioni e agenzie governative e compagnie petrolifere internazionali e nazionali (tra cui TOTAL, ENI, Shell), oltre a vari partner industriali. Nell'Aprile 2015 il GGFR ha lanciato l'iniziativa "Zero Routine Flaring by 2030" (<http://www.worldbank.org/en/programs/zero-routine-flaring-by-2030>), approvata da diverse compagnie petrolifere e dai principali Paesi produttori di *gas flaring* (Figura 1) che, riconoscendo quanto la pratica del *gas flaring* sia insostenibile da un punto di vista della gestione delle risorse energetiche e dell'ambiente, si sono impegnati a collaborare per eliminare al più presto possibile e non oltre il 2030 le azioni attualmente in corso basate sul *flaring*.

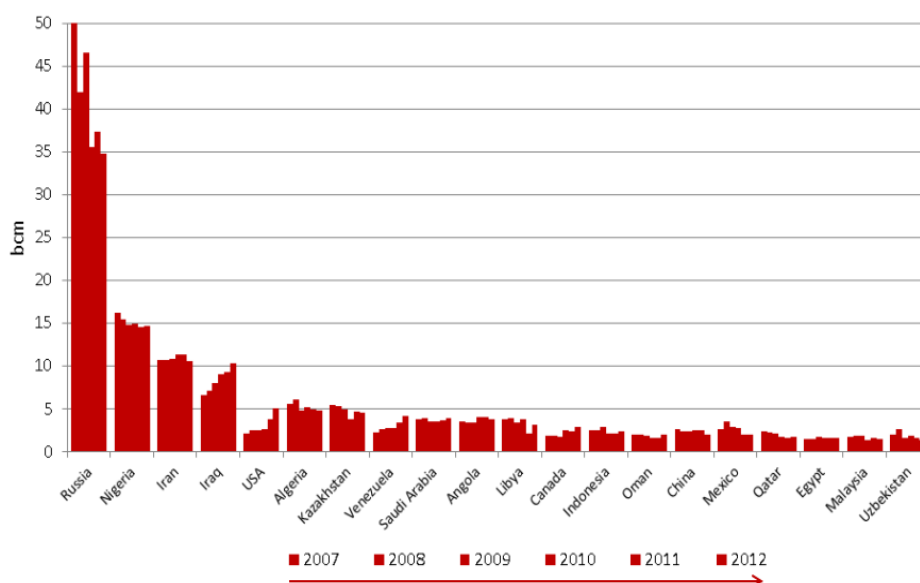


Figura 1. I 20 stati principali produttori di gas flaring a livello mondiale (adattato da <http://www.se4all.org/wp-content/uploads/2014/06/f1-presentation-hamso.pdf>).

Gli studi condotti dalla NOAA in tale ambito, dal 2002 ad oggi, sono stati focalizzati sull'identificazione e sul monitoraggio del *gas flaring* con tecnologie satellitari basate sull'uso combinato di dati nel visibile (VIS) ad alta sensibilità e nell'infrarosso (IR). Infatti, dal punto di vista fisico, le torce possono essere trattate come due oggetti differenti: come sorgenti ottiche attive, perciò osservabili alle lunghezze d'onda del visibile oppure come sorgenti termiche, in grado pertanto di emettere radiazioni elettromagnetiche con picchi energetici osservabili alle lunghezze d'onda dell'infrarosso. In entrambi i casi, comunque, si preferisce utilizzare osservazioni notturne, nelle quali il contributo della radiazione solare (che, in entrambi i casi, rappresenta una importante sorgente di "rumore") è assente.

Le prime ricerche condotte in tale contesto sono state realizzate presso l'NGDC della NOAA (Elvidge et al., 2007), proprio l'istituto presso cui si è svolto questo progetto di STM. Sfruttando serie storiche di dati satellitari, acquisiti dal 1995 al 2006 dal sensore *Operational Linescan System* (OLS), a bordo dei satelliti *Defense Meteorological Satellite Program* (DMSP) della *National Aeronautics and Space Administration* (NASA), sono state mappate le principali sorgenti di *flaring* e realizzate stime, a livello nazionale e globale, dei volumi di *gas flaring* per 60 paesi del mondo, mediante una correlazione tra i volumi noti di gas bruciati e le informazioni di luminosità estratte dai dati OLS. Questi primi studi hanno provato che il *gas flaring* può essere sorvegliato dallo spazio e che è possibile elaborare stime ragionevoli ed indipendenti dei volumi bruciati, permettendo ai governi così come alle compagnie petrolifere



non solo di seguire l'evoluzione temporale del *gas flaring*, ma anche e soprattutto di farsi un'idea migliore dei volumi di gas che bruciano veramente.

In studi successivi, gli stessi autori hanno investigato le potenzialità del sensore *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS), al fine di consentire il superamento di alcuni limiti connessi all'uso dei dati OLS, tra i quali la frequente saturazione del segnale, la mancanza di calibrazione dei dati nel visibile, la mancanza di bande per poter distinguere i *gas flares* dalle luci delle città ([Elvidge et al., 2009, 2011](#)). Nello specifico [Elvidge et al. \(2012\)](#) hanno proposto un nuovo algoritmo per la stima dei volumi di *gas flaring* (basato su un *fitting* della curva di Planck), in cui l'identificazione notturna delle torce si basa sulla differenza di segnale tra la banda 20 (MIR, *Medium InfraRed*, a 3.75 μm) e la banda 22 (MIR, a 3.96 μm) di MODIS. L'NGDC, ad oggi, sta riprocessando l'archivio di dati MODIS per poter sviluppare il suddetto algoritmo, il cui fine ultimo sarà quello di stimare, su base mensile ed annuale, i volumi di *gas flaring* e le emissioni di anidride carbonica (CO_2) delle torce petrolifere, a scala globale.

Parallelamente all'utilizzo di dati MODIS, un nuovo filone di ricerche presso la NOAA si sta indirizzando verso la possibilità di sfruttare in tale ambito le caratteristiche offerte da sensori di nuova generazione come il radiometro VIIRS, il primo di una serie di satelliti progettati per applicazioni meteorologiche, nato da una collaborazione tra la NASA e il *Joint Polar Satellite System* (JPSS) della NOAA. Questo strumento, che acquisisce il segnale in uno spettro di canali che va dal visibile all'infrarosso, estende e migliora una serie di osservazioni satellitari iniziate con i sensori polari *Advanced Very High Resolution Radiometer* (AVHRR) nel 1978 e MODIS nel 2000, in termini di caratteristiche spaziali (dai 375-750 m, contro i 2.7 km del canale visibile dell'OLS e 1 km di AVHRR e MODIS) e spettrali (il segnale viene digitalizzato in 13 o 14 bit al posto dei 6 bit del VIS OLS). Le caratteristiche migliorative di VIIRS rispetto ai suoi predecessori (e.g., DMSP-OLS, EOS-MODIS) potranno migliorare ulteriormente, in termini di qualità ed accuratezza, il contributo delle attuali metodologie nel fornire stime indipendenti dei volumi di *gas flaring*. Inoltre, la possibilità offerta da VIIRS di integrare le informazioni sulle sorgenti osservate sia in termini di luminosità (DNB, *Day Night Band*) che di emissività e temperatura, potrà consentire di definire indicatori più sensibili e/o più adatti per il riconoscimento di anomalie termiche legate ai processi produttivi degli impianti petroliferi. Sulla base di tali considerazioni, di recente [Elvidge et al. \(2013\)](#) hanno sviluppato l'algoritmo *Nightfire* basato sul processamento giornaliero di dati VIIRS acquisiti di notte. Ad oggi esistono tre diverse versioni dell'algoritmo: una generica, per la *detection* e caratterizzazione



di sorgenti calde (i.e., *hotspots*) (http://ngdc.noaa.gov/eog/viirs/download_viirs_fire.html), una specifica inerente alle torce degli impianti petroliferi (http://ngdc.noaa.gov/eog/viirs/download_viirs_flares_only.html) ed una per l'identificazione dei pescherecci (http://ngdc.noaa.gov/eog/viirs/download_indo_boat.html). Come si evince dalla letteratura, benché il problema (economico ed ambientale) del *gas flaring* sia particolarmente sentito ed affrontato, a scala mondiale, da organismi sovranazionali, i pochi studi basati su dati satellitari realizzati finora sono estremamente recenti e, pertanto, ancora in pieno sviluppo. Tuttavia, da essi risulta chiaro che in questo ambito di ricerca, tanto nuovo quanto interessante a scala locale e globale, i dati satellitari assumono un ruolo chiave nella capacità di fornire informazioni sui *gas flaring* in maniera sistematica e indipendente.

I dati satellitari utilizzati

Nell'ambito del progetto sono stati utilizzati sia dati MODIS sia dati VIIRS, le cui specifiche sono sintetizzate nella tabella sottostante.

	VIIRS	MODIS
Orbit	824 km, sun-synchronous, near-polar	705 km, sun-synchronous, near-polar
Scan Rate	33.6 rpm, cross-track	20.3 rpm, cross-track
Swath Dimensions	3000 km across track by 13 km along track at nadir	2330 km across track by 10 km along track at nadir
Size	1.3 m x 1.4 m x 0.9 m	1.0 m x 1.6 m x 1.0 m
Weight	263 kg	250 kg
Power	154 W	225 W
Data Rate	10.4 Mbps (peak)	11 Mbps (peak)
Quantization	12 bits	12 bits
Design Life	7 years	5 years

a)

VIIRS Band	Spectral Range (μm)	Nadir HSR (m)	MODIS Band(s)	Range	HSR
DNB	0.500 - 0.900				
M1	0.402 - 0.422	750	8	0.405 - 0.420	1000
M2	0.436 - 0.454	750	9	0.438 - 0.448	1000
M3	0.478 - 0.498	750	3 10	0.459 - 0.479 0.483 - 0.493	500 1000
M4	0.545 - 0.565	750	4 or 12	0.545 - 0.565 0.546 - 0.556	500 1000
I1	0.600 - 0.680	375	1	0.620 - 0.670	250
M5	0.662 - 0.682	750	13 or 14	0.662 - 0.672 0.673 - 0.683	1000 1000
M6	0.739 - 0.754	750	15	0.743 - 0.753	1000
I2	0.846 - 0.885	375	2	0.841 - 0.876	250
M7	0.846 - 0.885	750	16 or 2	0.862 - 0.877 0.841 - 0.876	1000 250
M8	1.230 - 1.250	750	5	SAME	500
M9	1.371 - 1.386	750	26	1.360 - 1.390	1000
I3	1.580 - 1.640	375	6	1.628 - 1.652	500
M10	1.580 - 1.640	750	6	1.628 - 1.652	500
M11	2.225 - 2.275	750	7	2.105 - 2.155	500
I4	3.550 - 3.930	375	20	3.660 - 3.840	1000
M12	3.660 - 3.840	750	20	SAME	1000
M13	3.973 - 4.128	750	21 or 22	3.929 - 3.989 3.929 - 3.989	1000 1000
M14	8.400 - 8.700	750	29	SAME	1000
M15	10.263 - 11.263	750	31	10.780 - 11.280	1000
I5	10.500 - 12.400	375	31 or 32	10.780 - 11.280 11.770 - 12.270	1000 1000
M16	11.538 - 12.488	750	32	11.770 - 12.270	1000

● Dual-gain Band

b)

Tabella 1. Caratteristiche dei sensori utilizzati in termini di a) specifiche del sensore e b) bande spettrali.

Nel dettaglio, sono stati analizzati 15 anni di dati MODIS (Level 1B, formato hdf) disponibili presso gli archivi del CNR-IMAA per effettuare studi sul *gas flaring* in Nigeria, allo scopo di confrontare i risultati derivanti dall'implementazione dell'algoritmo RST-FLARE con i prodotti generati dalla NOAA-NGDC sulla stessa area geografica.

I dati VIIRS (formato SDR - *Sensor Data Record*, formato h5), invece, sono stati scaricati presso gli archivi della NOAA - NGDC. Il *download* di tali dati ha interessato in particolare il mese di Dicembre, dal 2012-al 2014. Nello specifico sono state studiate le caratteristiche delle bande *Moderate* (i.e., 16 bande da M1 a M16 acquisite ad una risoluzione di 750m al *nadir*, Tabella 2b) e della *Day Night Band* (DNB), nonché le modalità di applicazione delle stesse per lo studio del *gas flaring*. La porzione investigata (700P x 700L) è mostrata in Figura 2 in RGB - *False Color*, associando ai colori RED e GREEN la DNB (centrata a 0.7μm) e al colore BLUE l'M15 (centrata a 10.741μm) del sensore VIIRS, allo scopo di enfatizzare con i colori chiari (tendenti



al bianco) le aree interessate da sorgenti calde (e.g., le torce) e/o luminose (e.g., le città maggiori).

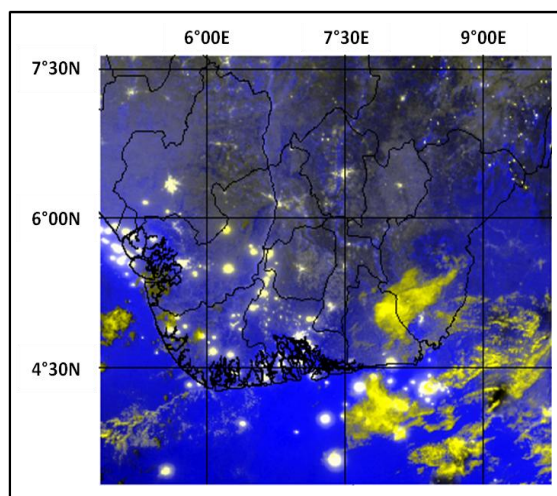


Figura 2. Area investigata: acquisizione VIIRS del 29 Dicembre 2012 a 00.28GMT mostrata in RGB – False Color.

Le analisi condotte sia con dati MODIS che dati VIIRS fanno riferimento a condizioni di osservazione notturne, favorite, come già detto in premessa, negli studi sul *gas flaring*, in quanto è assente il contributo della radiazione solare.



Gli algoritmi utilizzati

Durante il progetto sono stati implementati e messi a confronto due algoritmi: RST-FLARE, implementato presso il CNR-IMAA per lo studio e il monitoraggio del *gas flaring* e Nightfire, sviluppato presso la NOAA-NGDC nella sua versione per la *detection* di sorgenti calde a scala globale.

RST-FLARE (Faruolo et al., 2014) si basa sulla metodologia generale RST (*Robust Satellite Techniques*, Tramutoli, 1998, 2005, 2007), una tecnica consolidata per il processamento e l'analisi multi-temporale di serie pluriennali di immagini satellitari. RST si configura come un algoritmo di *change-detection*, basato sullo studio, a livello di pixel, di serie storiche lunghe di dati satellitari, acquisiti in condizioni di osservazione omogenee nel dominio spazio-temporale (l'omogeneità nel dominio temporale si consegue selezionando tutte le immagini acquisite da uno specifico sensore nello stesso mese dell'anno e alla stessa ora del giorno, quella nel dominio spaziale si ottiene selezionando una determinata porzione della superficie terrestre), per l'identificazione delle condizioni attese del segnale misurato. Rispetto a tali condizioni, un'eventuale anomalia del segnale investigato viene identificata attraverso l'implementazione di un indice normalizzato chiamato ALICE (*Absolutely Local Index of Change of the Environment*) che, in maniera affidabile, è in grado di riconoscere in automatico come anomalo solo quel segnale in un dato pixel per il quale la deviazione tra il suo valore e quello di riferimento, che definisce lo stato imperturbato (ossia quello caratterizzato dall'assenza di eventi in grado di alterare le condizioni normali), sia maggiore della variabilità storica del segnale stesso. Tale indicatore associa a ciascuna "anomalia" una intensità relativa (i.e., livello di confidenza) e permette di valutarne la significatività statistica. L'approccio è stato ampiamente utilizzato in passato per studiare diversi fenomeni ambientali e, in particolare, per investigare sorgenti ad alta temperatura, caratterizzate da una elevata variabilità sia nel dominio temporale, come i vulcani, che in quello spazio-temporale, come gli incendi (Baldassarre et al., 2009; Filizzola et al., 2010; Marchese et al., 2011, 2012). Di recente è stato applicato, per la prima volta, allo studio del fenomeno del *gas flaring* inerente al Centro Olio della Val d'Agri in Basilicata (Faruolo et al., 2014), rivelando ottime potenzialità. RST-FLARE utilizza dati MODIS notturni e nello specifico il segnale di riferimento utilizzato per l'identificazione di anomalie termiche relative al fenomeno del *gas flaring* è dato dalla differenza di temperatura di brillantezza nel MIR (canale 20, 3.660 - 3.840 μm) e TIR (canale 31, 10.780 - 11.280 μm) di MODIS.



Nightfire (Elvidge et al., 2013) si configura come un algoritmo multi banda per la *detection* di sorgenti calde a livello di sub-pixel; esso combina le informazioni acquisite di notte dal sensore VIIRS a 6 diverse lunghezze d'onda (dal vicino infrarosso – NIR, al MIR) per identificare e poi caratterizzare gli *hotspot* in termini di area (m²), temperatura (K) e intensità radiante (MW). Gli output generati da Nightfire sono accessibili a http://www.ngdc.noaa.gov/eog/data/viirs_fire/viirs_html/download_viirs_fire.html.

Durante la STM è stato possibile studiare ed approfondire il funzionamento di tale algoritmo quando implementato per lo studio del *gas flaring*. Inoltre, si è partecipato alle attività di ottimizzazione e *fine tuning* dell'algoritmo in quanto, ad oggi, il gruppo *Earth Observation Group* (EOG) della NOAA-NGDC sta continuando a lavorare per migliorare le *performances* di *nightfire* in termini di affidabilità e sensibilità.

Risultati

Relativamente all'area geografica della Nigeria (Figura 2) dove, come detto, esistevano studi precedenti condotti dalla NOAA-NGDC, sono state effettuate due tipologie di analisi: le prime basate su dati MODIS, le seconde su dati VIIRS.

Di seguito si descrivono nel dettaglio le analisi condotte ed i risultati conseguiti.

Analisi basate su dati MODIS

Sulle serie storiche a disposizione (i.e., 15 anni di dati MODIS acquisiti nel periodo 2000 – 2014) relativamente all'area della Nigeria (Figura 2) è stata implementata la tecnica RST-FLARE ([Faruolo et al., 2014](#)), calibrata *ad hoc* sull'area in oggetto. Nel dettaglio, rispetto agli studi precedenti inerenti all'utilizzo di RST per lo studio del *gas flaring* in Italia ([Faruolo et al., 2014](#)) è stato necessario definire una nuova *routine* per l'identificazione automatica delle torce, sia *onshore* che *offshore*, presenti sul territorio in oggetto. Tale *routine* si basa sull'utilizzo dell'ALICE basato sul segnale acquisito nel MIR per la *detection* delle torce: la mappa globale delle torce si ottiene applicando un criterio di ricorrenza basato sull'ALICE MIR su base annuale poi aggregato sui 15 anni analizzati. La mappa così ottenuta (Figura 3) è stata confrontata con l'analogo prodotto generato dal gruppo EOG della NOAA-NGDC. Il risultato di tale confronto si è quantificato in un *match* superiore all'80% tra i due prodotti relativamente alle torce sia *onshore* che *offshore*, come mostrato in Figura 3 e Tabella 2, dove sono riportati i dettagli delle elaborazioni effettuate. Le false *detection* sono state identificate mediante ispezione visuale su Google Earth.

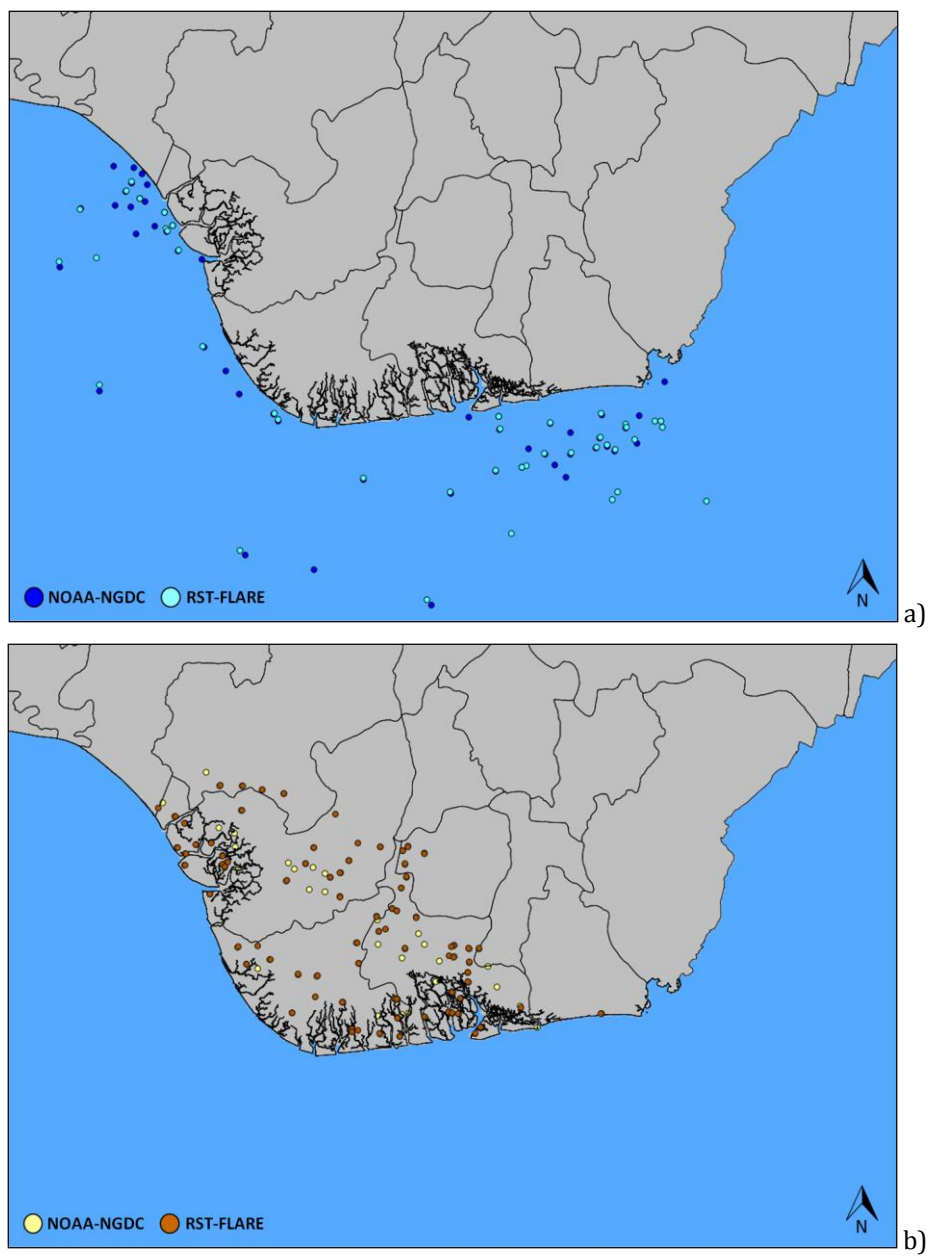


Figura 3. Mappa delle torce a) offshore e b) onshore identificate dai due algoritmi sull'area della Nigeria.

OFFSHORE	RST-FLARE
Torce identificate da algoritmo	49
False detection	0 (0%)
Aggiuntive rispetto a NOAA-NGDC	9 (18%)
In comune con NOAA-NGDC	40 (82%)

ONSHORE	RST-FLARE
Torce identificate da algoritmo	77
False detection	3 (4%)
Aggiuntive rispetto a NOAA-NGDC	9 (12%)
In comune con NOAA-NGDC	65 (84%)

Tabella 2. Dati relativi alle elaborazioni effettuate sulla detection delle torce della Nigeria.

Questo primo risultato ha confermato l'affidabilità dell'algoritmo RST-FLARE sviluppato dal gruppo di lavoro cui afferisco presso il CNR-IMAA.

Analisi in corso sono dedicate alla definizione e alla validazione di un modello per la stima dei volumi di gas emessi dalle torce.

Analisi basate su dati VIIRS

Per quanto riguarda i dati VIIRS, in quest'analisi preliminare, come detto, con il supporto dell'EOG della NOAA-NGDC, sono state scaricate ed analizzate le sole immagini inerenti al mese di Dicembre nell'intervallo temporale 2012 – 2014, essendo questo il mese meno affetto da nuvole sull'area di interesse.

Sono state estratte per l'area della Nigeria (Figura 2) le bande DNB (0.7 μ m), M12 (MIR: 3.7 μ m) e M15 (TIR: 10.7 μ m), per un'analisi preliminare del segnale in corrispondenza delle torce e per una prima implementazione dei dati in oggetto nell'algoritmo RST-FLARE. Un esempio è riportato in Figura 4 per l'acquisizione VIIRS del 29 dicembre 2012 a 00.28 GMT.

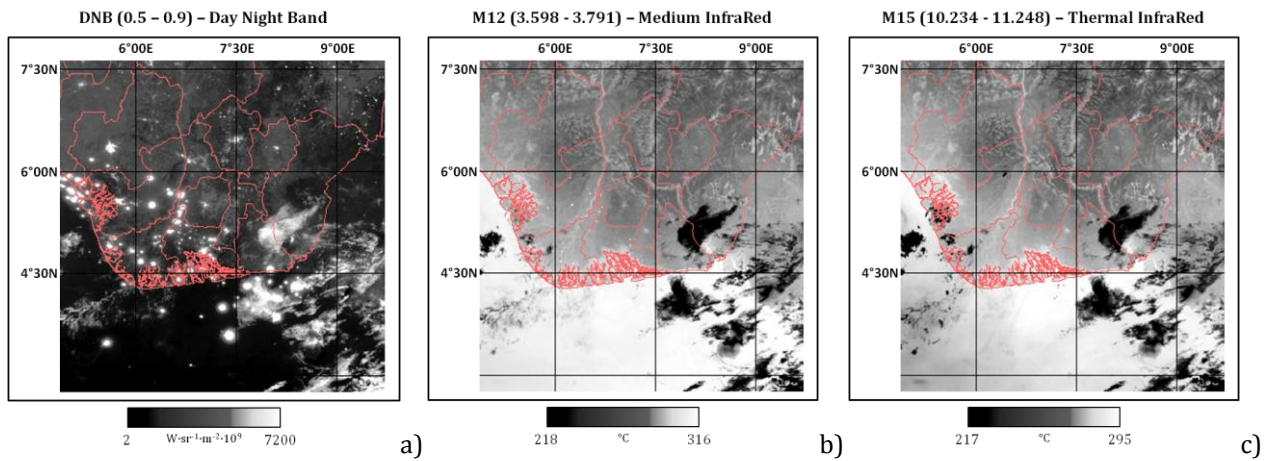


Figura 4. Acquisizione VIIRS del 29 dicembre 2012 a 00.28 GMT: a) DNB; b) M12; c) M15.

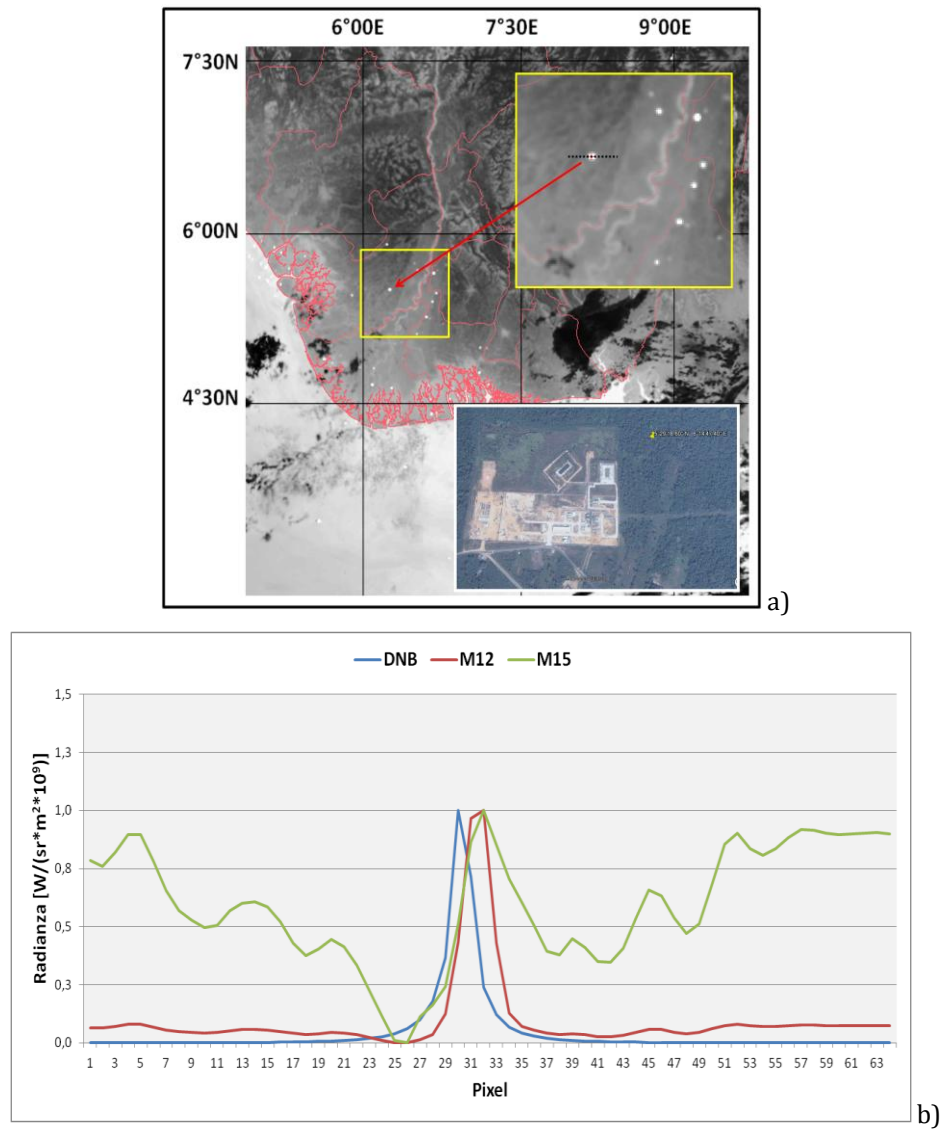


Figura 5. a) Acquisizione VIIRS del 29 dicembre 2012 a 00.28 GMT: nel box giallo è presente il pixel contenente la torcia (croce rossa, dettaglio di Google Earth in basso a destra) lungo cui è stato tracciato il transetto (linea nera tratteggiata); b) andamento spaziale della radianza misurata in DNB, M12 ed M15.



Ragionando in termini di radianza per le tre bande considerate, e tracciando un transetto (linea nera tratteggiata nel box giallo in Figura 5a) che attraversa una torcia (posizione 200P x 305L, Figura 5a) si evince come il segnale misurato nel TIR (M15) (linea verde in Figura 5b) è quello che presenta il minore contrasto tra la torcia e l'ambiente circostante e, pertanto, tale banda risulta essere la meno idonea a discriminare sorgenti calde. Infatti, seppure si possa osservare la presenza di un picco in corrispondenza della torcia, sono presenti comunque delle fluttuazioni a intensità quasi comparabile nell'intorno della stessa, circostanza che invece non si osserva nel segnale sia della DNB sia della banda M12 (linee blu e rossa, rispettivamente, in Figura 5b).

Sulla base di tali risultati, sono state investigate le bande DNB e M12 ed analizzate secondo le prescrizioni dell'algoritmo RST. Gli output generati, ovvero mappe di anomalie termiche associate alla presenza di torce, sono stati confrontati con quelli derivanti dall'implementazione di Nightfire sulla stessa area geografica.

In questa fase preliminare si riportano gli output generati per la DNB. Le analisi riferite all'implementazione dei dati M12 nell'algoritmo RST-FLARE sono tuttora in corso e necessitano di ulteriori approfondimenti in quanto applicando RST nella sua configurazione originale ([Tramutoli et al., 2005](#)) non si riesce a discriminare sulla scena la presenza delle sole torce utilizzando la singola banda.

Nel dettaglio, al fine di effettuare un confronto tra le due metodologie, sono stati analizzati i dati riferiti al mese di Dicembre per gli anni 2012 e 2013, in quanto la NOAA-NGDC sta ancora riprocessando i dati relativi al 2014.

In Figura 6 e Figura 7, si riportano, rispettivamente, i risultati ottenuti implementando l'algoritmo RST-FLARE su dati DNB e i prodotti Nightfire relativi al mese di Dicembre 2012 e 2013.

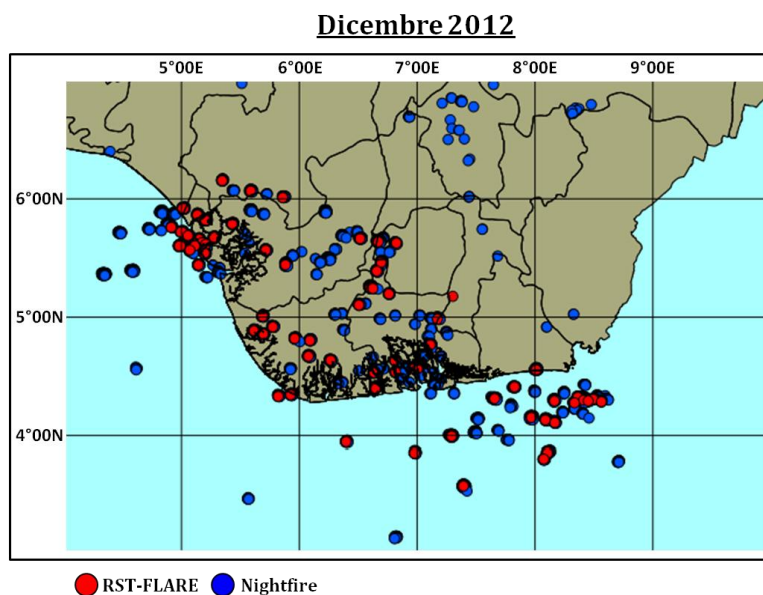


Figura 6. Torce identificate sull'area della Nigeria per il mese di Dicembre 2012 utilizzando RST-FLARE basato su dati DNB (in rosso) e Nightfire (in blu).

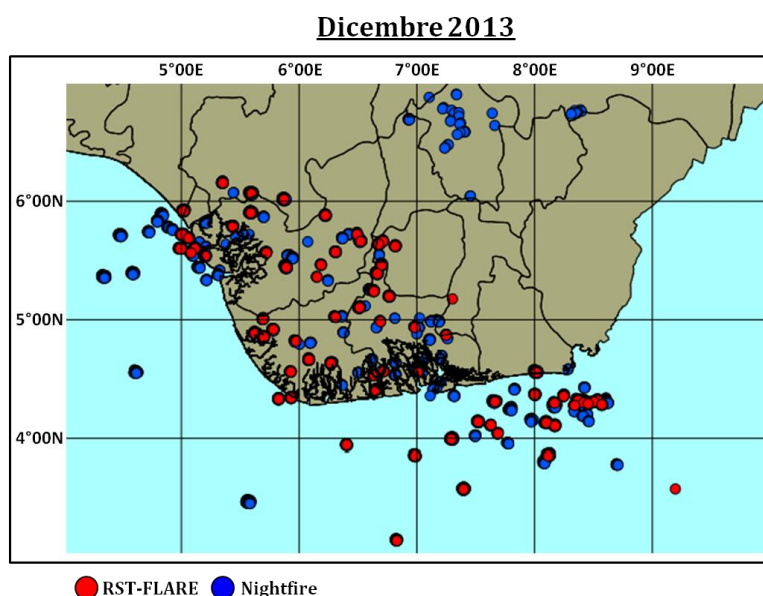


Figura 7. Torce identificate sull'area della Nigeria per il mese di Dicembre 2013 utilizzando RST-FLARE basato su dati DNB (in rosso) e Nightfire (in blu).

Un'analisi qualitativa dei risultati mostrati in Figura 6 e Figura 7 ha evidenziato un buon accordo tra i due algoritmi, anche se sono presenti delle differenze con una generale maggiore robustezza di RST-FLARE rispetto a Nightfire, soprattutto per la *detection onshore*. Tali informazioni necessitano di essere validate: analisi in corso sono infatti mirate al riconoscimento di eventuali false identificazioni per quantificare l'affidabilità dei risultati conseguiti. Ad esempio, da una preliminare ispezione visuale su Google Earth è emerso che le



torce localizzate nell'area in alto a destra di Figura 6 e Figura 7 (cluster di torce, cerchi blu nelle figure suddette) individuate come tali da Nightfire sono in realtà false identificazioni. Ulteriori analisi saranno condotte, anche in collaborazione con la NOAA-NGDC, per meglio valutare le *performances* dei due algoritmi indipendenti ed, eventualmente, trarne spunti per una loro successiva ottimizzazione.

Conclusioni

L'NGDC della NOAA ed in particolare il dr. C. Elvidge rappresentano una delle eccellenze a livello mondiale relativamente allo studio del problema del *gas flaring* tramite l'utilizzo di tecnologie satellitari. Pertanto, l'attività di ricerca svolta durante i 21 giorni trascorsi presso tale istituto ha consentito di approfondire ed ampliare, confrontandosi con gli esperti del settore, le conoscenze sul problema in oggetto e sulle tecnologie satellitari di ultima generazione usate, e di testare in condizioni di osservazioni diverse l'algoritmo RST-FLARE nonché di valutarne le prestazioni anche per confronto con un algoritmo indipendente (i.e., Nightfire) che rappresenta un *benchmark* mondiale.

Nello specifico, il lavoro è stato suddiviso in due parti.

Nella prima, è stato calibrato l'algoritmo RST-FLARE, sviluppato, nella sua versione originale, presso il CNR-IMAA per lo studio del *gas flaring* del Centro Olio Val d'Agri, un impianto di pre-trattamento gas e olio localizzato nel Sud Italia. L'algoritmo, implementato su dati MODIS, permette di caratterizzare su base annuale i volumi emessi per *gas flaring* dalle torce. Durante il progetto, è stata calibrata una versione *ad hoc* dello stesso per l'area della Nigeria, già precedentemente studiata dal gruppo EOG della NOAA-NGDC. Il confronto tra i due prodotti ha evidenziato un'ottima corrispondenza tra i due algoritmi, qualificando RST-FLARE come un algoritmo *state-of-art*.

Nella seconda parte del lavoro, la fase iniziale ha riguardato un approfondimento sulle specifiche tecniche e sulle caratteristiche spettrali del sensore VIIRS; successivamente ne sono state investigate le potenzialità nell'ottica dello studio del *gas flaring*. In tale contesto, si è inoltre studiato ed approfondito Nightfire, l'algoritmo multi spettrale basato su dati VIIRS sviluppato presso la NOAA-NGDC per il monitoraggio a scala globale del *gas flaring*. Sulla base delle informazioni acquisite durante lo studio suddetto, è stata sviluppata una versione preliminare di RST-FLARE implementata su dati VIIRS, per una *detection*, su base mensile, delle torce, *onshore* e *offshore*, presenti in Nigeria. Sfruttando le serie storiche di dati VIIRS disponibili presso l'istituto ospitante, relativamente al periodo Dicembre 2012 - Dicembre 2014, sono state condotte delle analisi preliminari su un'area geografica (Nigeria), già precedentemente studiata dal gruppo della NOAA-NGDC, per un primo confronto tra i due algoritmi indipendenti. Gli output generati da RST-FLARE risultano essere ben correlati con quelli prodotti da Nightfire, confermando la piena esportabilità di RST-FLARE sia su dati (VIIRS) sia su aree geografiche (Nigeria) diverse.



Referenze

- Baldassarre, G., Benigno, G., Corrado, R., Coviello, I., Filizzola, C., Lacava, T., Marchese, F., Mazzeo, G., Paciello, R., Pergola, N., Sannazzaro, F., Serio, S. and Tramutoli, V.: Assessment of the Robust Satellite Technique (RST) in real time detection of summer fires, Fifth International Workshop on the Analysis of Multitemporal Remote Sensing Images (MultiTemp), pp.216-223, 2009.
- Elvidge, C.D., Baugh, K.E., Tuttle, B.T., Howard, A.T., Pack, D.W., Milesi, C., and Erwin, E.H.: A twelve year record of national and global gas flaring volumes estimated using satellite data. Final report to the World Bank, 2007 (on line at http://siteresources.worldbank.org/INTGGFR/Resources/DMSP_flares_20070530_b-sm.pdf).
- Elvidge, C. D., Ziskin, D., Baugh, K. E., Tuttle, B. T., Ghosh, T., Pack, D. W., Erwin, E. H. and Zhizhin, M.: A fifteen year record of global natural gas flaring derived from satellite data, *Energies* 2, 595-622, 2009.
- Elvidge, C. D., Baugh, K. E., Anderson, S., Ghosh, T., and Ziskin, D.: Estimation of gas flaring volumes using NASA MODIS fire detection products, NOAA National Geophysical Data Center (NGDC), annual report, February 8, 2011.
- Elvidge, C.D., Baugh, K. E. Hsu, F. C, Zhizhin, M., Ghosh, T.: Improving Global Observations of Gas Flares With Data From the Suomi NPP Visible Infrared Imaging Radiometer Suite (VIIRS), GGFR GLOBAL FORUM London, October 24 & 25, 2012.
- Elvidge, C. D, Zhizhin, M., Hsu, F. C Baugh K. E.: VIIRS Nightfire: Satellite Pyrometry at Night, *Remote Sens.* 2013, 5, 4423-4449; doi:10.3390/rs5094423.
- Faruolo, M., I. Coviello, C. Filizzola, T. Lacava, N. Pergola, V. Tramutoli: "A satellite-based analysis of the Val d'Agri Oil Center (southern Italy) gas flaring emissions", *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 14, 2783-2793, doi:10.5194/nhess-14-2783-2014, 2014.
- Filizzola, C., Baldassarre, G., Benigno, G., Corrado, R., Coviello, I., Lacava, T., Marchese, F., Mazzeo, G., Paciello, R., Pergola, N., Sannazzaro, F., Serio, S., Tramutoli, V.: Automatic RST-based system for a rapid detection of fires," *Proceedings of the VI International Conference on Forest Fire Research (ICFFR)*, D.X. Viegas, ed., p. 43 (proceeding of 15 pages), 2010.
- Ismail, O. S. and Umukoro, G. E.: Global Impact of Gas Flaring, *Energy and Power Engineering*, 2012, 4, 290-302, doi:10.4236/epe.2012.44039, 2012, Published Online July 2012 (<http://www.SciRP.org/journal/epe>).
- Marchese, F., Filizzola, C., Genzano, N., Mazzeo, G., Pergola, N., Tramutoli, V.: Assessment and improvement of a Robust Satellite Technique (RST) for thermal monitoring of volcanoes, *Remote Sens. Environ.*, 115, 6, 1556-1563, 2011.
- Marchese, F., Lacava, T., Pergola, N., Hattori, K., Miraglia, E. and Tramutoli, V.: Inferring phases of thermal unrest at Mt. Asama (Japan) from infrared satellite observations, *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, vol. 237-238, pp. 10-18, 2012.
- Ohio Environmental Protection Agency (EPA): "Exploration, Production and Processing of Oil and Natural Gas from the Marcellus and Utica Shales in Ohio", May 2012 (<http://www.epa.state.oh.us/portals/0/General%20pdfs/gas%20flaring.pdf>).
- Tramutoli, V.: Robust AVHRR Techniques (RAT) for Environmental Monitoring: theory and applications. *Earth Surface Remote Sensing II*, Giovanna Cecchi, Eugenio Zilioli, Editors, *Proceedings of SPIE*, Vol. 3496, 101-113, 1998.
- Tramutoli, V.: Robust Satellite Techniques (RST) for natural and environmental hazards monitoring and mitigation: ten years of successful applications, *The 9th International Symposium on Physical Measurements and Signatures in Remote Sensing*, S. Liang, J. Liu, X.n Li, R. Liu, M. Schaepman Editors, Beijing (China), ISPRS, Vol. XXXVI (7/W20), 792-795. ISSN 1682-1750, 2005.
- Tramutoli, V.: Robust Satellite Techniques (RST) for Natural and Environmental Hazards Monitoring and Mitigation: Theory and Applications, *Fourth International Workshop on the Analysis of Multitemporal Remote Sensing Images*. 18-20 July, 2007, Louven, Belgium, doi: 10.1109/MULTITEMP.2007.4293057, 2007.
- World Bank, Global Gas Flaring Reduction, 2012, <http://web.worldbank.org/WBSITE/EXTERNAL/TOPICS/EXTOGMC/EXTGGFR/0,,contentMDK:21023030~menuPK:2856589~pagePK:64168445~piPK:64168309~theSitePK:578069,00.html>.