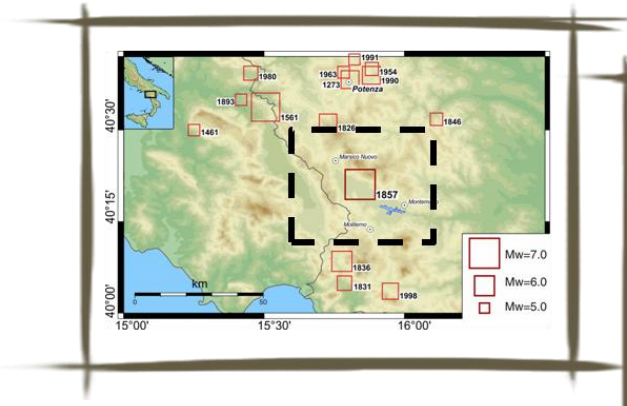
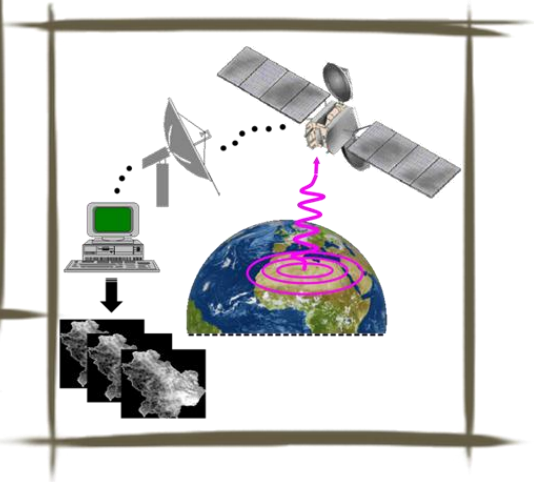
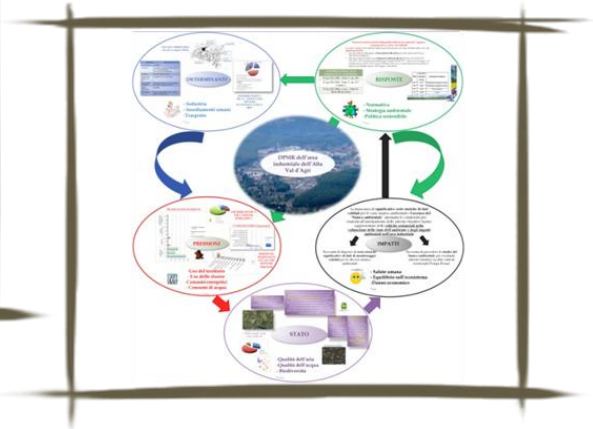
Consiglio Nazionale delle Ricerche

Istituto di Metodologie per l'Analisi Ambientale

Le attività di ricerca del CNR-IMAA nell'ambito dell'Osservatorio Ambientale della Val d'Agri







REGIONE BASILICATA

Osservatorio Ambientale "Val d'Agri"

Anni 2012-2014

La finalità del presente volume è quella di fornire un quadro sintetico dei risultati conseguiti dall'Istituto di Metodologie per l'Analisi Ambientale del CNR nell'ambito di un programma di ricerca previsto dall'Accordo Operativo stipulato con la Regione Basilicata - Osservatorio Ambientale della Val d'Agri.

Tale Accordo, siglato nel gennaio 2012 e che si concluderà nel dicembre 2014, ha consentito di affrontare tematiche ambientali di interesse per il territorio della Val d'Agri con un approccio scientifico innovativo e fortemente multidisciplinare.

I principali risultati conseguiti riguardano lo sviluppo e l'integrazione di metodologie ottiche e chimico-fisiche per lo studio della frazione fine del particolato atmosferico *(PM_1)* e della sua frazione carboniosa *(Black Carbon)*, l'integrazione di metodi geochimici e geo-mineralogici per l'analisi di fenomeni di inquinamento di suoli e falde, il monitoraggio del *gas flaring* mediante tecnologie satellitari, la modellistica a supporto delle strategie di riduzione delle emissioni in atmosfera e l'integrazione di metodologie geofisiche per l'analisi della microsismicità indotta da attività antropiche.

Una scelta strategica effettuata nell'ambito dell'Accordo Operativo è stata quella di puntare alla valorizzazione del capitale umano concretizzatasi con il conferimento di sette assegni di ricerca a giovani ricercatori che, ad oggi, hanno acquisito competenze scientifiche e *know-how* altamente specialistico su un ampio spettro di metodologie innovative per l'analisi dell'impatto ambientale derivante da attività di estrazione e pretrattamento di idrocarburi.

Un altro aspetto rilevante è l'estrema attenzione rivolta alla divulgazione ed alla disseminazione dei risultati conseguiti la cui pubblicazione è stata guidata da rigore scientifico e da criteri di trasparenza. Tutti i risultati ottenuti sono stati, infatti, preventivamente sottoposti alla valutazione di esperti internazionali e la qualità del lavoro svolto è testimoniata da 18 articoli scientifici pubblicati su alcune delle più prestigiose riviste internazionali nel settore ambientale e che applicano un sistema di valutazione *peer-review*. Di particolare rilievo è la pubblicazione di uno *Special Issue* della rivista *"Natural Hazards and Earth System Science"* interamente dedicato al territorio della Val d'Agri.

I dati ed i risultati presentati in tale volume, validati dalla comunità scientifica internazionale, sono stati messi a disposizione delle Istituzioni regionali impegnate in programmi per la gestione sostenibile delle risorse naturali in Val d'Agri.

Sono fermamente convinto che la promozione di progetti di ricerca, la valorizzazione del capitale umano, ed in particolare del ruolo di giovani ricercatori, il rigore scientifico e la trasparenza nella disseminazione dei risultati debbano rappresentare gli elementi chiave delle attività dell'Osservatorio Ambientale.

In ultimo, sento il dovere di ringraziare chi ha promosso e sostenuto questo progetto nella fase di *start-up*, ovvero l'On. Vito De Filippo (già Presidente della Giunta Regionale), la Dr.ssa Vilma Mazzocco (già Assessore all'Ambiente, Territorio, Politiche della Sostenibilità) ed il Dr. Donato Viggiano (già Dirigente Generale del Dipartimento Ambiente, Territorio, Politiche della Sostenibilità).

Ringrazio, inoltre, chi ha continuato a sostenere e promuovere il progetto ed ha contribuito a portarlo a conclusione. In particolare ringrazio il Presidente della Giunta Regionale, On. Marcello Pittella, l'Assessore all'Ambiente e Territorio, Infrastrutture, Opere Pubbliche e Trasporti, Prof. Aldo Berlinguer, ed il Dirigente Generale del Dipartimento Ambiente e Territorio, Infrastrutture, Opere Pubbliche e Trasporti, Dr.ssa Carmen Santoro.

Vorrei, infine, esprimere un sincero e vivo ringraziamento alla Dr.ssa Lucia Possidente ed all'Ing. Maria Felicia Marino per aver condiviso e collaborato con grande professionalità a tutte le fasi realizzative del progetto.

Vincenzo Lapenna

Direttore del CNR-IMAA

La vicenda complessiva della Val d'Agri è al centro delle politiche della Regione Basilicata – come è naturale che sia – e su di essa stiamo lavorando con impegno e sforzi economici, organizzativi e scientifici.

La vicenda del petrolio non può essere vista solo come un problema di *royalties*. Occorre farsi carico oltre che degli onori anche degli oneri che l'attività estrattiva comporta per le popolazioni e per il territorio.

Da qui la necessità che al tavolo delle interlocuzioni tra regioni, comuni e governo non ci sia solo il MISE (Ministero dello Sviluppo Economico) ma anche il Ministero dell'Ambiente e, possibilmente, quello della Sanità. Si deve guardare la vicenda del petrolio – non solo dalla periferia ma anche dal centro – nel suo insieme, comprendendone tutte le sfaccettature. Se al tavolo manca qualche interlocutore, questo restituisce un quadro parziale e di parzialità nell'approccio al tema che lascia fuori aspetti importanti.

La giornata di oggi ci offre l'opportunità di parlare del tema ricerca, dell'innovazione, di interpretare il tema anche come modello di sviluppo per tutto ciò che attiene alla proliferazione di attività, competenze, anche attività imprenditoriali che ruotano attorno all'estrazione. Non bastano i lavori edili che si commissionano ai lucani, perché essi sono sprovvisti di competenze ad es. sulle perforazioni o sulla gestione energetica dell'impianto. Dobbiamo riuscire a promuovere quella *capacity building* – e questa iniziativa è meritoria in questo senso – che consenta di sviluppare anche queste competenze, queste sensibilità, queste professionalità affinché intorno alla vicenda del petrolio non vi siano solo *royalties* da negoziare con il governo centrale ma fiorisca una organizzazione che capisca "cosa è l'estrazione, cosa è l'idrocarburo, come va trattato in maniera ottimale e dove va trattato"; capisca quali opportunità di sviluppo tecnologico e di sviluppo di impresa si possono generare da questa attività e come poter interloquire con le società petrolifere, perché o si hanno le competenze o si subiscono le scelte fatte da altri.

Ovvio che prima di parlare di nuove estrazioni è necessaria una analisi ed una revisione tecnologica degli impianti e questo tema è stato posto anche a Roma. Prima di parlare di aumento di produttività è necessario vedere a che punto sono gli impianti, se sono stati aggiornati e modernizzati, bisogna essere in grado di negoziare le migliori tecnologie, ottenere un impianto che sia più performante, più silenzioso, che abbia minori emissioni. In altre parole è necessaria una proliferazione di consapevolezza scientifica di tutto ciò che il processo estrattivo comporta. Quindi, non solo un dibattito sulle *royalties*, ma una fotografia ben più ampia della vicenda complessiva che tenga conto di tutte le sue implicazioni legate ai processi estrattivi. In questo senso vanno gli

approfondimenti fatti dai sette ricercatori del CNR-IMAA che hanno una competenza specifica sui problemi del petrolio, problemi molteplici: ad es. non solo la micro sismicità del lago Pertusillo, che è stata ampiamente indagata, ma anche quella indotta dai processi di re-iniezione dell'acqua di strato.

Sembra che siamo nella direzione giusta per creare *capacity building* ed è possibile utilizzare l'Osservatorio Ambientale anche su altri aspetti, economici, tecnici e giuridici dell'estrazione. Abbiamo bisogno di sviluppare intelligenze, competenze, attività di ricerca, attività di sviluppo tecnologico prima di tutto sul nostro territorio; dobbiamo essere non il vagone ma la locomotiva di questo sviluppo tecnologico, di questa consapevolezza scientifica anche del fenomeno estrazione, idrocarburi, sfruttamento della risorsa naturale, che tra l'altro non è rinnovabile.

Saluto ancora questa giornata positivamente. Il rischio è di non condividerla, di non condividere la ricerca, non diffonderla: spesso il ricercatore nella sua ricerca è solo, ma questa solitudine si deve mitigare in un dialogo a più voci, socializzando le informazioni per trarne un beneficio più diffuso. L'Osservatorio Ambientale deve servire anche a questa socializzazione, deve essere un luogo di coordinamento non solo della ricerca ma anche di tutti gli ulteriori aspetti connessi all'estrazione petrolifera.

L'aspetto della diffusione dell'informazione è molto importante: si deve mettere in campo un sistema di divulgazione delle cose che si sanno, dei dati acquisiti, che sia effettivamente accessibile ai cittadini. Questo è un altro tema importante: le attività di ricerca vanno sì socializzate tra i vari soggetti competenti ma poi devono essere anche diffuse al grande pubblico. Si deve colmare un "gap di trasparenza", di "capacità comunicativa" che col tempo si è accumulato. Questa è un'altra sfida che insieme ai ricercatori va affrontata.

E' necessario vivificare l'Osservatorio, renderlo non un semplice presidio sul territorio bastevole a se stesso ma un luogo in cui si coinvolgono le persone, si affrontano i temi in tutta trasparenza e si elaborano progetti, proposte e competenze: deve essere qualcosa di vivo e pulsante sul territorio. La Regione si sta orientando in questo senso con le riforme che si appresta a mettere in campo a breve termine: non solo la riforma dell'ARPAB, ma anche una riprogettazione in termini regolamentari e di *mission* dell'Osservatorio Ambientale della Val d'Agri.

Dobbiamo andare in questa direzione, ovvero dovremmo rendere l'Osservatorio Ambientale organico ad un sistema di controllo ambientale che eviti sovrapposizioni, dispersioni di energia ma

sia integrato ed efficiente; dovremo rendere l'Osservatorio Ambientale luogo di avanguardia, che sappia rispondere a tutte le domande ed esigenze del territorio nella elaborazione di proposte, approfondimenti non solo di carattere scientifico ma anche divulgativo.

Ancora grazie e complimenti per questa bella e proficua iniziativa.

Aldo Berlinguer

Assessore Dipartimento Ambiente, Territorio, Infrastrutture,
OO.PP. e Trasporti della Regione Basilicata
Workshop "Le attività di ricerca del CNR-IMAA nell'ambito
dell'Osservatorio Ambientale della Val d'Agri: presentazione dei
risultati ottenuti " (Marsico Nuovo - 24 settembre 2014)

INDICE

PREMESSA ---------- **2**

CAPITOLO I – OSSERVATORIO AMBIENTALE DELLA VAL D'AGRI ---------- **4**

I.1. LA STORIA DELL'OSSERVATORIO AMBIENTALE DELLA VAL D'AGRI ---------- 4

I.2. ACCORDO OPERATIVO REGIONE BASILICATA – OSSERVATORIO AMBIENTALE DELLA VAL D'AGRI – CNR-IMAA ---------- 10

CAPITOLO II – ATTIVITÀ DI RICERCA DEL CNR-IMAA NELL'AMBITO OAVDA ---------- **12**

II.1. MODELLO INTEGRATO DI MATRICI AMBIENTALI ---------- 12

II.1.1. INTEGRAZIONE DI TECNICHE CHIMICO-FISICHE IN SITU PER LA CARATTERIZZAZIONE DEGLI AEROSOL ATMOSFERICI IN AREE INTERESSATE DA ATTIVITÀ DI ESTRAZIONE PETROLIFERA IN BASILICATA ---------- 12

II.1.2. STUDIO SISTEMATICO DELLE PROPRIETÀ OTTICHE DI PARTICELLE CARBONIOSE IN BASILICATA --- 23

II.1.3. APPLICAZIONE DI METODI E TECNICHE GEOCHIMICHE E MINERO-PETROGRAFICHE FINALIZZATE AL MONITORAGGIO E ALLA VALUTAZIONE DEI RISCHI AMBIENTALI E ALLA TUTELA DELLA SALUTE UMANA 34

II.2. SISTEMA PER LO STUDIO DELLA SISMICITÀ LOCALE ---------- 50

II.2.1. METODI GEOFISICI INTEGRATI PER LO STUDIO DI STRUTTURE SISMOGENICHE IN VAL D'AGRI ------ 50

II.2.2. METODI E STRUMENTI INNOVATIVI PER L'ANALISI DELLA SISMICITÀ LOCALE E DEI FENOMENI DI DEFORMAZIONE SUPERFICIALE NELLA VAL D'AGRI ---------- 63

II.3.1.TECNICHE AVANZATE PER L'ANALISI DI SERIE TEMPORALI DI RADIANZE SATELLITARI OTTICHE PER IL MONITORAGGIO DI INDICATORI AMBIENTALI DI PARTICOLARE INTERESSE IN AREE NATURALI SOGGETTE AD ELEVATE PRESSIONI ANTROPICHE (E.G. VAL D'AGRI) ---------- 81

II.3.2. SVILUPPO DI UNA PIATTAFORMA MODELLISTICA INTEGRATA DI SUPPORTO ALLA DEFINIZIONE DI STRATEGIE DI RIDUZIONE DELLE EMISSIONI ATMOSFERICHE A SCALA LOCALE E GLOBALE ---------- 96

CAPITOLO III – PUBBLICAZIONI SCIENTIFICHE ---------- **107**

ALLEGATO I - LA GESTIONE DELLE PROBLEMATICHE AMBIENTALI DEL SETTORE OIL & GAS NELLO SCENARIO INTERNAZIONALE ---------- **113**

ALLEGATO II – BREVI CURRICULA DEGLI ASSEGNISTI DI RICERCA ---------- **117**

ALLEGATO III - ESTRATTI DI PUBBLICAZIONI SCIENTIFICHE REALIZZATE IN COLLABORAZIONE CON L'OAVDA ---------- **124**

PREMESSA

L'Osservatorio Ambientale della Val d'Agri (nel seguito indicato con l'acronimo OAVDA) è stato previsto nell'ambito del Protocollo di Intenti tra ENI S.p.A. e Regione Basilicata quale misura di compensazione ambientale in relazione al progetto di sviluppo petrolifero nell'area della Val d'Agri.

Dal 2011, anno della sua costituzione, l'OAVDA, perfettamente in linea con le strategie internazionali che promuovono un costante e attivo coinvolgimento di Istituti/Enti di Ricerca e Università in tutti gli ambiti caratteristici del settore *Oil & Gas*, ha avviato una serie di collaborazioni scientifiche attivando progetti di ricerca che lo caratterizzano come realtà ad elevato contenuto scientifico.

Tra gli aspetti oggetto di studio e ricerche nell'area della Val d'Agri, il settore ambientale riveste un ruolo fondamentale a causa delle numerose problematiche inerenti alle attività estrattive ed industriali, cui sono imputabili potenziali rischi ambientali. In particolare, nell'ambito dell'Accordo Operativo tra Regione Basilicata, OAVDA e Istituto di Metodologie per l'Analisi Ambientale del Consiglio Nazionale delle Ricerche (nel seguito indicato come CNR-IMAA), riconoscendo il *plus-valore* della ricerca scientifica per quanto attiene alla protezione ambientale, sono stati affidati a quest'ultimo tre progetti di ricerca. Tali progetti hanno riguardato lo studio delle matrici ambientali in Alta Val d'Agri, mediante un approccio scientifico multidisciplinare e lo sviluppo di metodologie innovative per la valutazione degli impatti ambientali derivanti dalle attività di estrazione e pretrattamento di idrocarburi presenti in Val d'Agri.

Ad oggi, le attività sviluppate da sette assegnisti di ricerca, con il supporto scientifico del CNR-IMAA, hanno già prodotto numerosi risultati riconosciuti dalla comunità scientifica internazionale individuando diverse criticità ambientali su cui focalizzare studi di più lungo periodo, utili a garantire uno sviluppo sostenibile delle comunità interessate da processi di estrazione, trattamento e produzione di idrocarburi. I risultati conseguiti sono stati presentati e discussi nell'ambito del *workshop* dal titolo "Le attività di ricerca del CNR-IMAA nell'ambito dell'Osservatorio Ambientale Val d'Agri", tenutosi presso la sede dell'OAVDA a Marsico Nuovo (PZ) il 24 settembre 2014. Tale *workshop*, come sottolineato dal Prof. Aldo Berlinguer - Assessore all'Ambiente, Territorio, Infrastrutture, OO.PP. e Trasporti della Regione Basilicata - all'apertura dei lavori, ha rappresentato una positiva opportunità di condivisione dei risultati della ricerca andando a *"vivificare l'Osservatorio, rendendolo non un semplice presidio sul territorio ma un luogo in cui si affrontano i temi in tutta trasparenza e si elaborano progetti, proposte e competenze*".

La finalità del presente volume, quindi, è principalmente quella di fornire un quadro complessivo delle attività svolte e dei risultati raggiunti dal CNR-IMAA nell'ambito dell'OAVDA, affinché esso possa costituire uno strumento utile ai diversi portatori di interesse (Istituzioni, operatori del territorio, popolazioni locali) per la valutazione dei rischi ambientali in Val d'Agri, la programmazione di una corretta gestione delle risorse ambientali e la predisposizione di provvedimenti finalizzati alla mitigazione del rischio.

CAPITOLO I – OSSERVATORIO AMBIENTALE DELLA VAL D'AGRI

I.1. LA STORIA DELL'OSSERVATORIO AMBIENTALE DELLA VAL D'AGRI

L'Osservatorio Ambientale della Val d'Agri è stato istituito in esecuzione del Protocollo di Intenti, di cui alla Delibera di Giunta Regionale (D.G.R.) n. 3550 del 18 novembre 1998, sottoscritto tra la Regione Basilicata e l'ENI S.p.A. al fine di *"poter adeguatamente garantire un'efficace azione di tutela e valorizzazione ambientale e promuovere lo sviluppo sostenibile nelle aree interessate dalle attività petrolifere e connesse"*.

L'OAVDA ha sede a Marsico Nuovo (PZ) - presso una struttura locata da ENI S.p.A. per 15 anni ed inaugurata il 3 marzo 2011 - e la sua ***governance*** (Figura 1) è costituita da:

- **Presidente e Comitato di Rappresentanza Territoriale** che, in qualità di organismo di coordinamento, ha il compito di fornire indirizzi di carattere generale per garantire il rapporto con le Istituzioni e la comunità ed indirizzi di carattere specifico per la programmazione delle attività dell'OAVDA, secondo principi di trasparenza e partecipazione;
- **Comitato Tecnico-Scientifico** a cui sono assegnati compiti di consulenza sulle tematiche scientifiche, tecniche, ambientali e sanitarie nonché la definizione di criteri di standardizzazione dei flussi informativi e di validazione dei dati e la formulazione di pareri e proposte sui programmi di lavoro;
- **Sezione Operativa** (attualmente non istituita).

Figura 1: *Governance dell'Osservatorio Ambientale della Val d'Agri.*

Di seguito è riportata la *timeline* dei principali provvedimenti amministrativi riguardanti l'OAVDA, mentre in Figura 2 sono schematizzate le fasi più significative che hanno contraddistinto la sua nascita ed il suo sviluppo.

DATA	PROVVEDIMENTO AMMINISTRATIVO
18 novembre 1998	D.G.R. n. 3530: la Regione Basilicata e l'ENI S.p.A. sottoscrivono un Protocollo di Intenti in relazione al progetto di sviluppo petrolifero del giacimento rinvenuto in Val d'Agri. Tale Protocollo definisce gli impegni di ENI S.p.A. per l'attuazione di azioni mirate alla compensazione ambientale e al sostegno dello sviluppo sostenibile.
2 giugno 1999	D.G.R. n. 1268: è approvato lo schema di accordo attuativo concernente l'*Osservatorio Ambientale della Val d'Agri.*
24 giugno 1999	E' sottoscritto l'accordo attuativo concernente l'Osservatorio Ambientale della Val d'Agri che, in particolare, all'art. 5, prevede una clausola sospensiva collegata all'avvenuta esecutività di *"tutti i provvedimenti amministrativi, autorizzazioni, pareri e nulla osta, di competenza regionale e non, che consentano all'ENI S.p.A., nelle forme e nei contenuti, di dar corso alla completa esecuzione dei lavori di ampliamento del Centro Olio Val d'Agri, di posa dell'oleodotto Viggiano - Taranto e di sviluppo dei giacimenti relativi al "TREND 1*" e che "*la data di avveramento della condizione sarà accertata dal Comitato Paritetico, di cui all'art. 7 del Protocollo, con verbale sottoscritto da tutti i componenti il Comitato stesso".*
29 dicembre 2006	D.G.R. n. 2029: è preso atto della decisione del Comitato Paritetico in ordine alla rimozione della condizione sospensiva sopra richiamata.
5 marzo 2007	D.G.R. n. 271: è approvato l'emendamento all'accordo attuativo per l'Osservatorio Ambientale della Val d'Agri sottoscritto dalla Regione Basilicata e dall'ENI S.p.A. in data 24 giugno 1998.
7 maggio 2007	Sottoscritto l'accordo attuativo emendato.
28 giugno 2010	D.G.R. n. 1062: è approvata la "*Proposta relativa alle attività e struttura organizzativa dell'Osservatorio Ambientale*". Con la deliberazione, tra l'altro, si rinvia al Comitato Paritetico il compito di reperire le ulteriori risorse finanziarie occorrenti per la gestione dell'Osservatorio Ambientale della Val d'Agri, non previste dalle intese attuative già stipulate, e si delega il Dirigente Generale del Dipartimento Ambiente, Territorio, Politiche della Sostenibilità della Regione Basilicata a dare esecuzione alla delibera, anche in relazione alla disponibilità di ulteriori risorse finanziarie che saranno approvate dal Comitato Paritetico Regione Basilicata - ENI S.p.A.
9 settembre 2010	D.D. n. 7502.2010/D.00955 del Dirigente Generale del Dipartimento Ambiente Territorio, Politiche della Sostenibilità: viene costituito un gruppo di lavoro per la definizione del

	programma di *start-up* dell'Osservatorio Ambientale della Val d'Agri e per l'elaborazione di un rapporto volto alla definizione di: a) programma di attività complessive dell'Osservatorio Ambientale della Val d'agri (quadro di riferimento, strategie, linee di attività, prodotti attesi); b) costi stimati; c) azioni di *networking* e individuazione del *network*; d) azioni di *start-up*.
8 ottobre 2010	D.G.R. n. 1638: si prende atto del verbale del Comitato Paritetico relativo alla seduta del 30 settembre 2010 nella quale, in ordine all'Osservatorio Ambientale della Val d'Agri, si concorda di attivare le procedure per il reale avvio e che lo stesso si inserirà nell'ambito delle attività di monitoraggio sulle estrazioni, per le quali "*si potranno utilizzare le apposite fonti di finanziamento previste nello specifico accordo attuativo".*
14 dicembre 2010	Riunione del Comitato Paritetico.
18 febbraio 2011	Nota prot. n. 402 con la quale la società ENI S.p.A. prende atto del Programma Operativo per il quale sono state previste le apposite fonti di finanziamento nell'ambito del Protocollo di intenti del 1998 e dello specifico Accordo Attuativo "*gestione del sistema di monitoraggio ambientale*".
1 marzo 2011	D.G.R. n. 272 - Determinazioni per l'istituzione, l'avvio ed il funzionamento dell'Osservatorio Ambientale della Val d'Agri.
3 marzo 2011	Inaugurazione della sede dell'Osservatorio Ambientale della Val d'Agri a Marsico Nuovo (PZ).
3 maggio 2011	ENI S.p.A. comunica la denuncia di accertamento della condizione sospensiva dell'accordo attuativo e l'avvenuto versamento dell'importo di € 3.098.741,39 inerente alla prima annualità per lo *start-up* dell'Osservatorio Ambientale della Val d'Agri.
30 giugno 2011	D.P.G.R. n. 172: Nomina del Comitato Tecnico-Scientifico dell'Osservatorio Ambientale della Val d'Agri.
30 giugno 2011	D.P.G.R. n. 173: Nomina del Comitato di Rappresentanza Territoriale dell'Osservatorio Ambientale della Val d'Agri.
4 luglio 2011	Insediamento organi dell'Osservatorio Ambientale della Val d'Agri.
22 novembre 2011	D.G.R. n. 1703: Accordo tra Regione Basilicata, Università, Istituti e Consorzi di ricerca per l'implementazione dei progetti operativi relativi alle fasi di avvio dell'Osservatorio Ambientale della Val d'Agri.
28 dicembre 2011	D.G.R. n. 1970: Accordo Operativo tra la Regione Basilicata - Osservatorio Ambientale della Val d'Agri e l'Istituto di Metodologie per l'Analisi Ambientale (IMAA) del CNR. Approvazione ed autorizzazione alla sottoscrizione.
17 gennaio 2012	Stipula dell'Accordo Operativo tra Regione Basilicata - Osservatorio Ambientale della Val d'Agri e l'Istituto di Metodologie per l'Analisi Ambientale (IMAA) del CNR.

18 gennaio 2012	Bando per il conferimento di 7 assegni di ricerca a giovani laureati per lo svolgimento di attività di ricerca presso l'Osservatorio Ambientale della Val d'Agri (scadenza bando 10 febbraio 2012).
23 gennaio 2012	Avvio del Progetto di Analisi Sociologica per il coinvolgimento partecipato della popolazione locale alle attività dell'Osservatorio Ambientale della Val d'Agri.
4 aprile 2012	Avvio attività di 7 ricercatori del CNR-IMAA presso l'Osservatorio Ambientale della Val d'Agri sulle seguenti tematiche: • Sistema per lo studio della sismicità locale: organizzazione di sistemi per la condivisione di dati provenienti da reti di acquisizione; integrazione delle misure dal suolo con misure da satellite e output modellistici; • Realizzazione del *cockpit* ambientale per il controllo predittivo degli impatti ambientali in Val d'Agri: fattibilità e realizzazione di un sistema innovativo per lo studio delle emissioni in Val d'Agri basato su tecniche di misura avanzate e di modelli di previsione degli impatti; • Modello integrato di matrici ambientali: studio integrato chimico-fisico, geomineralogico, idrogeofisico e biologico per l'osservazione delle matrici ambientali per la tutela dell'ambiente e della salute umana.
4 maggio 2012	Insediamento del Comitato Tecnico-Scientifico.
giugno 2012	Integrazione del Comitato Tecnico-Scientifico con rappresentante dell'Istituto Superiore della Sanità (ISS).
25 settembre 2012	Delibera approvazione Accordo con l'Università Commerciale Luigi Bocconi – Istituto di Economia e Politica dell'Energia e dell'Ambiente (IEFE).
25 settembre 2012	Delibera approvazione Accordo con Istituto Superiore della Sanità (ISS).
novembre 2012	Stipula Accordi con Università Bocconi - IEFE e Istituto Superiore della Sanità (ISS).
novembre 2012	Pubblicazione sito web: *www.osservatoriovaldagri.it*.
Nel corso del 2013 si sono svolte le attività connesse ai progetti avviati, con provvedimenti di carattere gestionale emanati dal Direttore Generale del Dipartimento Ambiente, Territorio, Politiche della Sostenibilità della Regione Basilicata. Sono, inoltre, in itinere: • protocolli attuativi con l'Università degli Studi della Basilicata su specifiche tematiche di ricerca e su progetti di *capacity building*; • attività di divulgazione (convegni e incontri) su temi di interesse ambientale; • attività di revisione del portale dell'Osservatorio Ambientale della Val d'Agri.	

Tabella 1: *Timeline dei principali provvedimenti amministrativi riguardanti l'Osservatorio Ambientale della Val d'Agri.*

Figura 2: *Principali fasi che hanno caratterizzato la nascita e lo sviluppo dell'OAVDA.*

In particolare, con D.G.R. n. 272 del 1 marzo 2011, il Dipartimento Ambiente, Territorio, Politiche della Sostenibilità viene incaricato di curare la fase di *start-up* dell'OAVDA. Tale fase, di durata triennale, ha previsto quattro linee di attività, descritte nella Tabella 2 di seguito riportata, da svolgersi anche in collaborazione e sinergia con le istituzioni scientifiche, le strutture di ricerca di base e applicata, gli enti di formazione operanti in Basilicata nei settori dell'ambiente, della geologia, del monitoraggio e dell'energia.

LINEE DI ATTIVITÀ	DESCRIZIONE ATTIVITÀ
Gestione del sistema informativo ambientale	• Progettazione, realizzazione e attivazione del sistema informativo dei dati ambientali • Piattaforma di diffusione, divulgazione e informazione ambientale al territorio
***Reporting*, elaborazione, scambio dati ed informazioni del monitoraggio ambientale**	Campagne di comunicazione, diffusione e informazione territoriale
Progetti di *Capacity Building* dell'Osservatorio Ambientale	• Studio e monitoraggio permanente delle agro biodiversità della Val d'Agri • Sistema integrato per lo studio della sismicità locale e delle strutture sismogenetiche in Val d'Agri • Sistema di *early-warning* per il monitoraggio in *real-time* di infrastrutture critiche • Realizzazione del *Cockpit* Ambientale per il controllo predittivo degli impatti ambientali in Val d'Agri • Studio integrato chimico-fisico, geomineralogico, idrogeofisico e biologico per le osservazioni delle matrici ambientali per la tutela dell'ambiente e della salute umana • Sviluppo e implementazione di modelli per la pianificazione energetica e la definizione di strategie di mitigazione delle emissioni di gas serra (PIANO CLIMA BASILICATA) • NEVA (Naso Elettronico Val d'Agri)
Realizzazione del *network* territoriale per la gestione ambientale della Val d'Agri	EMAS territorio Val d'Agri

Tabella 2: *Linee di attività previste per la fase di start-up dell'Osservatorio Ambientale della Val d'Agri.*

In coerenza con quanto previsto nell'ambito delle linee di attività "*Progetti di Capacity Building"* e, più in generale, con quanto emerso dall'analisi dello scenario internazionale (Allegato I), durante il corso del 2012, l'OAVDA ha stipulato, accordi di collaborazione con l'Istituto di Metodologie per l'Analisi Ambientale del Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR-IMAA), l'Istituto Superiore di Sanità (ISS) e l'Istituto di Economia e Politica dell'Energia e dell'Ambiente (IEFE) dell'Università Commerciale Luigi Bocconi.

I.2. Accordo Operativo Regione Basilicata – Osservatorio Ambientale della Val d'Agri – CNR-IMAA

In data 17 gennaio 2012, rep. n. 13201, la **Regione Basilicata** ha stipulato con il **CNR-IMAA** un **Accordo Operativo**, della durata di 18 mesi, in seguito prorogato per ulteriori 18 mesi con D.G.R. n. 491 del 9 maggio 2013, nell'ambito del quale sono stati affidati al predetto Istituto **tre progetti di ricerca** sui seguenti temi:

- **Modello integrato di matrici ambientali;**
- **Sistema per lo studio della sismicità locale;**
- **Realizzazione del *cockpit* ambientale per il controllo predittivo degli impatti ambientali in Val d'Agri.**

I summenzionati progetti sono stati sviluppati da **sette assegnisti di ricerca, selezionati con procedure ad evidenza pubblica**, che, a partire da **aprile 2012**, sotto il tutoraggio scientifico di altrettanti ricercatori del CNR-IMAA, hanno svolto, presso l'Osservatorio Ambientale della Val d'Agri, **attività di ricerca** e di **supporto alla Regione Basilicata** nella **fase di *start-up*** del predetto Osservatorio.

Nel dettaglio, i sette assegnisti di ricerca, di cui **tre ingegneri per l'ambiente e il territorio**, **due fisici** e **due geologi**, sei dei quali anche in possesso del **titolo di dottore di ricerca** (brevi *curricula* riportati in Allegato II), hanno condotto attività di ricerca sulle seguenti tematiche:

- Integrazione di tecniche chimico-fisiche in situ per la caratterizzazione degli aerosol atmosferici in aree interessate da attività di estrazione petrolifera in Basilicata (*Ing. Serena Trippetta* – responsabile scientifico: *Dr.ssa Rosa Caggiano*);
- Studio sistematico delle proprietà ottiche di particelle carboniose in Basilicata (*Dr.ssa Mariarosaria Calvello* – responsabile scientifico: *Dr.ssa Giulia Pavese*);
- Applicazione di metodi e tecniche geochimiche e minero-petrografiche finalizzate al monitoraggio e alla valutazione dei rischi ambientali e alla tutela della salute umana (*Dr. Salvatore Margiotta* – responsabile scientifico: *Dr. Vito Summa*);
- Metodi geofisici integrati per lo studio di strutture sismogeniche in Val d'Agri (*Dr. Alessandro Giocoli* – responsabile scientifico: *Dr. Sabatino Piscitelli*);
- Metodi e strumenti innovativi per l'analisi della sismicità locale e dei fenomeni di deformazione superficiale nella Val d'Agri (*Dr. Tony Alfredo Stabile* – responsabile scientifico: *Dr.ssa Angela Perrone*);
- Tecniche avanzate per l'analisi di serie temporali di radianze satellitari ottiche per il monitoraggio di indicatori ambientali di particolare interesse in aree naturali soggette ad

elevate pressioni antropiche (e.g. Val d'Agri) (*Ing. Mariapia Faruolo* – responsabile scientifico: *Dr.ssa Carolina Filizzola*);

- Sviluppo di una piattaforma modellistica integrata di supporto alla definizione di strategie di riduzione delle emissioni atmosferiche a scala locale e globale (*Ing. Simona Loperte* – responsabile scientifico: *Dr.ssa Carmelina Cosmi*).

Nel capitolo successivo sono descritte in dettaglio le singole attività di ricerca nonché i risultati conseguiti.

CAPITOLO II – ATTIVITÀ DI RICERCA DEL CNR-IMAA NELL'AMBITO OAVDA

II.1. MODELLO INTEGRATO DI MATRICI AMBIENTALI

II.1.1. INTEGRAZIONE DI TECNICHE CHIMICO-FISICHE IN SITU PER LA CARATTERIZZAZIONE DEGLI AEROSOL ATMOSFERICI IN AREE INTERESSATE DA ATTIVITÀ DI ESTRAZIONE PETROLIFERA IN BASILICATA

Ing. Serena Trippetta

Premessa

Nell'ambito del progetto "Modello integrato di matrici ambientali", ed in particolare della tematica "Integrazione di tecniche chimico-fisiche *in situ* per la caratterizzazione degli aerosol atmosferici in aree interessate da attività di estrazione petrolifera in Basilicata", le attività di ricerca svolte in collaborazione con l'Osservatorio Ambientale della Val d'Agri (OAVDA) sono state finalizzate alla **valutazione dell'impatto delle attività di pretrattamento di idrocarburi sullo stato di qualità dell'aria attraverso** l'integrazione di **misure puntuali della frazione sub-micrometrica del particolato atmosferico** (**PM_1**, ovvero particelle aerosoliche aventi diametro aerodinamico inferiore a 1.0 μm) e di **tecniche di biomonitoraggio** per la stima delle **distribuzioni spazio-temporali** delle **concentrazioni di elementi in traccia associati al particolato atmosferico** - inclusi diversi metalli pesanti - nell'area circostante il Centro Olio Val d'Agri (COVA).

Lo studio, infatti, delle concentrazioni e della composizione chimica del PM_1, nonché l'**individuazione delle possibili sorgenti di emissione** delle particelle che lo compongono, sono di fondamentale importanza soprattutto in aree, come quella in esame, caratterizzate da attività antropiche a potenziale rischio di impatto ambientale e sanitario e che vedono coinvolti processi di combustione. Questi ultimi, difatti, rappresentano una delle sorgenti principali di particolato atmosferico (generalmente indicato con l'acronimo PM, *Particulate Matter*), e in special modo della sua frazione sub-micrometrica. Attualmente si hanno ancora poche informazioni su tale frazione del PM (Deshmukh et al., 2011) sebbene sia ampiamente riconosciuto dalla comunità scientifica che essa è di grande interesse per studi di carattere ambientale e che è la più appropriata per studi di **impatto sanitario** (Sabbagh-Kupelwieser et al., 2010). Il PM_1 ha, infatti, rispetto alle altre frazioni dimensionali del particolato atmosferico, una maggiore capacità di penetrare nelle vie respiratorie più profonde e quindi di veicolare all'interno degli organismi viventi, essere umano compreso, sostanze tossiche. Tra queste, grande importanza è rivestita dagli elementi in traccia, tra cui numerosi metalli pesanti (Cd, Cr, Pb, ecc.), in quanto particolarmente pericolosi per la tendenza di parte di essi a bioaccumularsi in alcuni tessuti degli esseri viventi generando possibili effetti

negativi sugli esseri umani (cancerogenicità e mutagenicità) sia per esposizione diretta ma anche indirettamente, attraverso il loro ingresso nella catena alimentare. L'individuazione, pertanto, di *pattern* diffusionali di tali elementi e la conseguente identificazione di aree a maggiore rischio di contaminazione ambientale, unitamente a misure sistematiche e di lungo termine della frazione PM_1 del particolato atmosferico, risultano di significativo interesse per l'area dell'Alta Val d'Agri.

Di seguito si riporta una descrizione dettagliata di ciascuna delle attività svolte e dei relativi risultati finora raggiunti.

Attività di ricerca svolte

Misure sistematiche della frazione sub-micrometrica del particolato atmosferico nel centro abitato di Viggiano (PZ)

Considerata la notevole importanza rivestita dalla frazione sub-micrometrica del particolato atmosferico sia da un punto di vista **ambientale che sanitario**, è stata consolidata un'attività sperimentale, iniziata nel dicembre del 2011, volta alla **caratterizzazione chimico-fisica del PM_1** ed alla **individuazione delle principali sorgenti di emissione** dello stesso presso il **centro abitato di Viggiano** (Figura 1). Quest'ultimo è stato scelto in quanto è il centro urbano più vicino al COVA (circa 2.4 km in linea d'aria) nonché uno dei paesi più popolosi dell'Alta Val d'Agri (circa 3100 abitanti) e, pertanto, ritenuto di interesse per lo studio del PM_1 dati i possibili effetti ad esso associati.

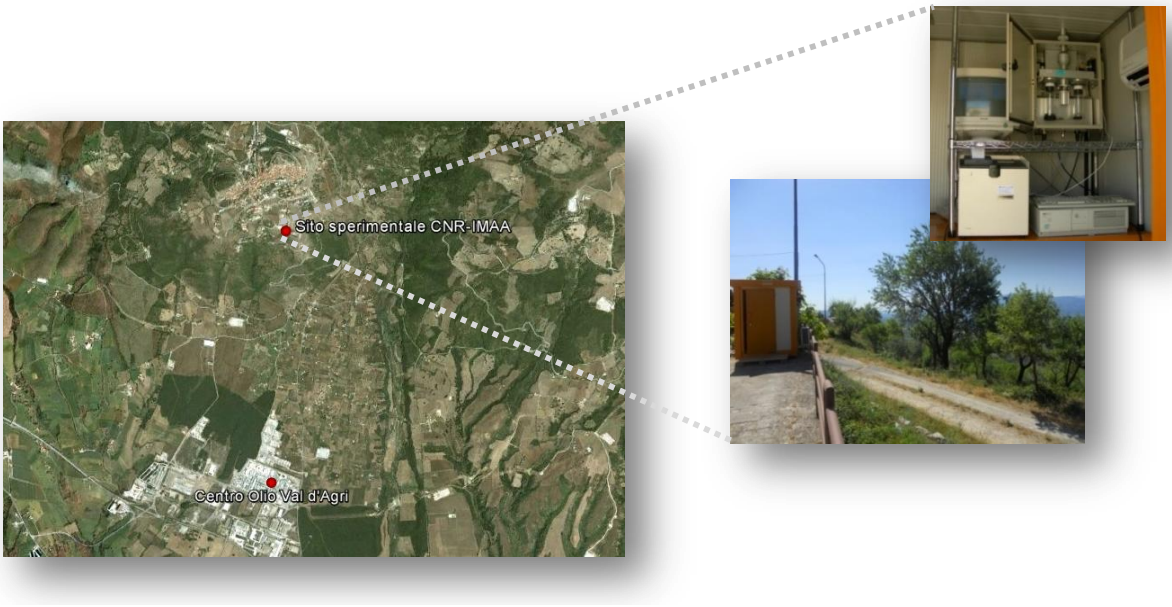


Figura 1: *Ubicazione del sito di monitoraggio del PM_1 allestito dal CNR-IMAA nel centro abitato di Viggiano. L'immagine satellitare è stata tratta da Google Earth.*

Il sito, ospitato presso la sede della Protezione Civile "Gruppo Lucano" di Viggiano, è stato attrezzato con un campionatore gravimetrico per la raccolta del PM_1 su filtro e la **campagna di misure è tutt'ora in corso.** Attualmente sono disponibili misure giornaliere di concentrazione di PM_1 per il periodo dicembre 2011 – ottobre 2012.

Riguardo alla composizione chimica del PM_1, la determinazione è stata eseguita presso il "Laboratorio di Monitoraggio Ambientale Integrato" del CNR-IMAA. Gli **elementi in traccia** misurati sono stati scelti tra quelli ritenuti ***marker* di possibili sorgenti del PM_1** presenti in Alta Val d'Agri e al momento sono disponibili misure relative al mese di settembre 2012.

Al fine di avere indicazioni preliminari circa i livelli di concentrazione di PM_1 e degli elementi in traccia ad esso associati, nonché delle possibili sorgenti di tale frazione dimensionale del PM nel centro abitato di Viggiano, si è proceduto ad analizzare i dati relativi al mese summenzionato.

Concentrazione e composizione chimica del PM_1

Nel periodo analizzato, i **valori di concentrazione giornaliera di PM_1** sono variati in un ***range*** compreso tra **1.2 e 8.4 μgm^{-3}** ed hanno presentato un **valore medio** pari **4.6 μgm^{-3}**. Confrontando il valore medio di concentrazione giornaliera di PM_1 misurato a Viggiano con analoghi valori disponibili per l'area dell'Alta Val d'Agri si è osservato come, nel periodo considerato, i livelli di PM_1 registrati a Viggiano siano stati **inferiori a quelli misurati in prossimità del COVA** ($m \pm sd = 11.0 \pm 5.1\ \mu gm^{-3}$) nella campagna di misure di tipo *spot* realizzata nel periodo luglio-novembre 2011 (maggiori dettagli sono disponibili in Trippetta et al., 2013). Quest'ultima differenza è stata imputata alla combinazione di due fattori: la posizione geografica di Viggiano rispetto all'area in cui è ubicato l'impianto di pretrattamento di idrocarburi e le caratteristiche di ventosità dell'area di studio. Infatti, sebbene Viggiano ed il COVA si trovino ad una distanza reciproca di soli 2.4 km, la differenza in quota tra i due siti è di circa 200 m. L'area di studio, inoltre, è tipicamente caratterizzata da valori di velocità del vento tali da poter favorire la dispersione degli inquinanti atmosferici e, di conseguenza, ridurre la loro concentrazione in aria.

Relativamente alla composizione chimica del PM_1, in Figura 2 si riportano i *box-plot* delle concentrazioni degli elementi in traccia determinati nel PM_1 campionato a Viggiano nel corso del mese di settembre 2012.

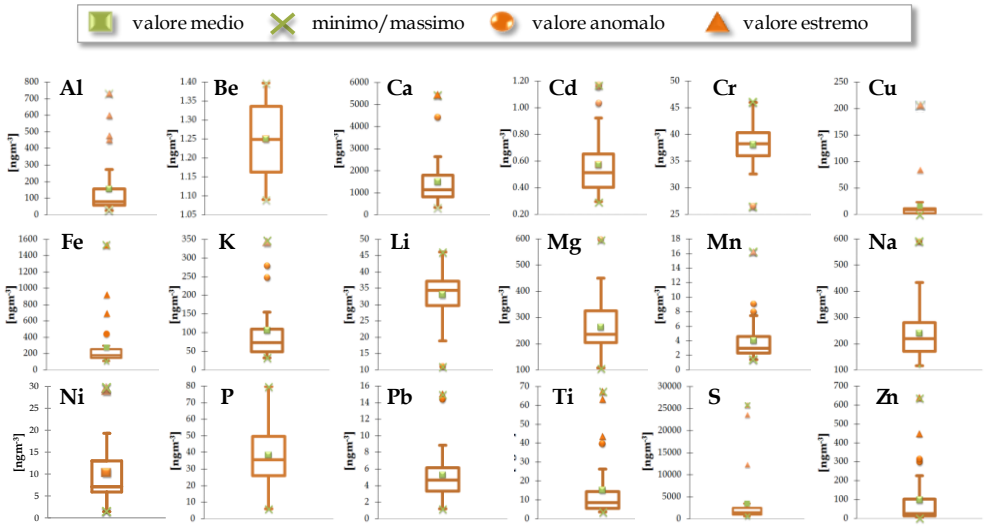


Figura 2: *Box-plot delle concentrazioni degli elementi in traccia misurati nel PM_1 campionato a Viggiano nel periodo 1-30 settembre 2012.*

In particolare, si è osservato che, tra gli elementi in traccia misurati, lo **zolfo** è risultato essere **quello più abbondante** indicando un possibile contributo del COVA. E' stata, inoltre, rilevata una presenza significativa di elementi di origine tipicamente crostale quali **calcio, ferro, magnesio, sodio, alluminio** e **potassio** in coerenza con le caratteristiche rurali dell'area circostante Viggiano.

Identificazione delle principali sorgenti di PM_1

L'uso di un approccio metodologico basato sull'applicazione combinata di tecniche di analisi statistica avanzata, quali la tecnica del fattore di arricchimento (*Enrichment Factor, EF)* e l'analisi delle componenti principali (*Principal Component Analysis, PCA*), e sullo studio della variabilità dei dati di concentrazione di PM_1 e degli elementi in traccia in funzione dei parametri meteorologici locali ed, in particolare, della direzione prevalente del vento (Figura 3), ha consentito di avere **indicazioni preliminari in merito alle principali tipologie di sorgente** che hanno contribuito alla presenza del **PM_1 nel centro abitato di Viggiano** durante il periodo esaminato.

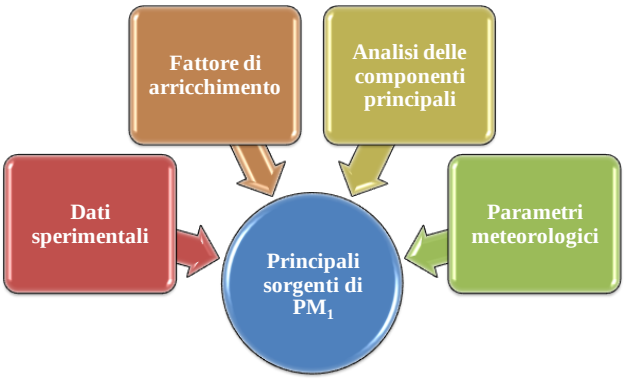


Figura 3: *Schema dell'approccio metodologico utilizzato per l'individuazione preliminare delle principali sorgenti di* PM_1.

Riguardo alla **tecnica del fattore di arricchimento**, essa è ampiamente applicata alle concentrazioni degli elementi chimici determinati nel particolato atmosferico al fine di ottenere informazioni relativamente a quale possa essere la loro origine prevalente (antropica e/o naturale). Nel presente studio, in accordo con Song et al. (2012), gli elementi in traccia sono stati classificati sulla base dei valori del fattore di arricchimento in tre tipologie: elementi crostali (EFs < 10), elementi misti (10 ≤ EFs ≤ 100) ed elementi di origine antropica (EFs > 100).

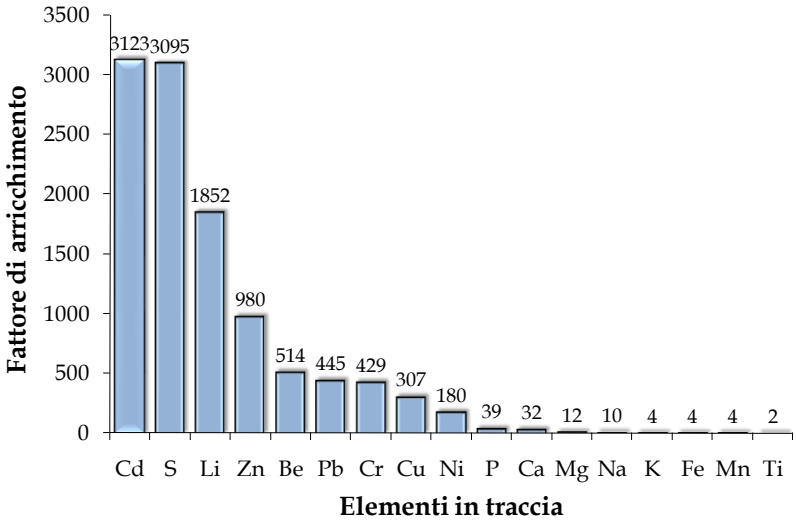


Figura 4: *Valori medi del fattore di arricchimento (EF) degli elementi in traccia misurati nel* PM_1. *I valori sono rappresentati in ordine decrescente.*

Dall'analisi dei valori medi del fattore di arricchimento calcolati per ciascuno degli elementi in traccia misurati nel PM_1 raccolto a Viggiano (Figura 4) è risultato che nell'area di studio:

- **Fe, K, Mn** e **Ti** sono di origine prevalentemente **crostale**;
- **Ca, Mg, Na** e **P** sono originati sia da **sorgenti naturali che antropiche**;
- **Be, Cd, Cr, Cu, Li, Ni, Pb, S** e **Zn** sono immessi in atmosfera per lo più da sorgenti di tipo **antropico**.

Relativamente all'**analisi delle componenti principali**, tale tecnica di analisi statistica multivariata è ampiamente utilizzata dalla comunità scientifica per identificare le principali tipologie di sorgente che possono dar luogo alla presenza di particolato atmosferico in un determinato sito.

PC_1		**PC_2**		**PC_3**		**PC_4**		**PC_5**		**PC_6**	
P% = 24		*P% = 14*		*P% = 12*		*P% = 11*		*P% = 11*		*P% = 8*	
Mn	0.93	S	0.81	Li	0.86	Cd	0.85	Be	0.84	Cu	0.75
Fe	0.85	Ca	0.79	Cr	0.68	Mg	0.59	Zn	0.61	Ni	0.70
Al	0.82	Ti	0.75			Pb	0.58				
Na	0.81	Mg	0.60								
K	0.74										
Zn	0.56										

Tabella 1: *Risultati dell'analisi delle componenti principali applicata alle concentrazioni degli elementi in traccia misurati nel PM_1. In tabella sono riportati i loading e la percentuale di varianza spiegata da ciascuna componente (P%). I loading<0.5 non sono stati riportati.*

Applicando la PCA alle concentrazioni degli elementi in traccia misurati nel PM_1 raccolto a Viggiano (Tabella 1) è risultato che le **principali tipologie di sorgente** che hanno contribuito alla presenza del PM_1 nell'atmosfera locale sono rappresentate da:

- **risospensione del suolo locale**;
- **reazioni atmosferiche secondarie** che danno luogo alla formazione di **particolato atmosferico di origine secondaria** a seguito di **reazioni** che avvengono in atmosfera **tra emissioni gassose del COVA** (per lo più SO_2) e **particelle di origine naturale**;
- **processi di combustione** (biomasse e legna);
- **traffico** sia in termini di emissioni dirette (scarichi di automobili, abrasione di parti dei veicoli quali gomme e freni) che indirette (risospensione di polveri costituenti la pavimentazione stradale);
- **emissioni industriali**.

La consistenza tra le sorgenti identificate attraverso l'uso della PCA e le caratteristiche dell'area di studio è stata valutata analizzando la **variabilità delle concentrazioni degli elementi in traccia in funzione della direzione del vento** (Figura 5).

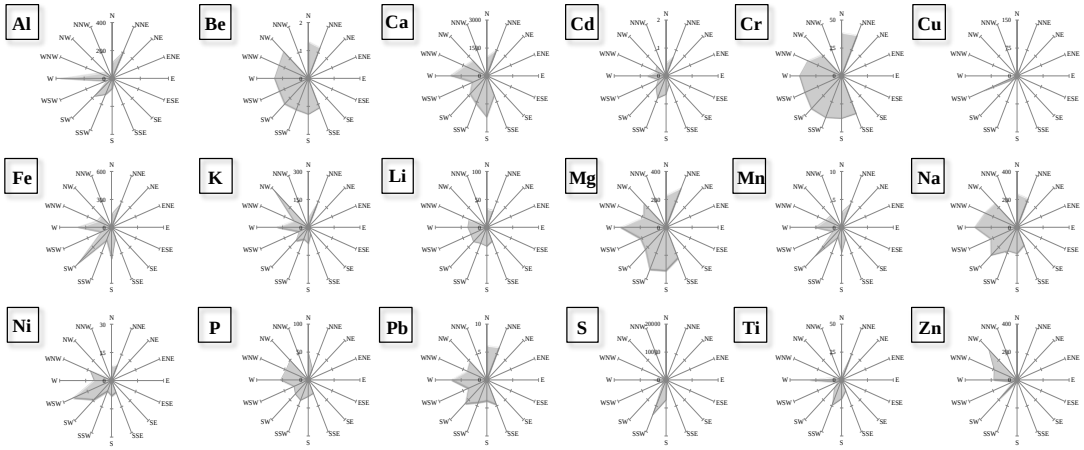


Figura 5: *Valori medi delle concentrazioni degli elementi in traccia (ngm^{-3}) in funzione della direzione del vento.*

Sulla base di quest'ultima, gli elementi in traccia sono stati suddivisi in quattro gruppi caratterizzati rispettivamente da:

1. **nessuna variabilità: Be, Cr** e **Li**;
2. **variabilità bassa: Ca, Cd, Mg, Na, P** e **Pb**;
3. **variabilità moderata; Al, Fe, K, Mn, Ni** e **Ti**;
4. **variabilità alta: Cu, S** e **Zn**.

La **variabilità** osservata per ciascun elemento chimico è risultata essere **consistente con l'ubicazione e le caratteristiche emissive delle rispettive sorgenti identificate nell'area di studio**. In particolare, tra i risultati ottenuti, è interessante notare come le **concentrazioni più alte di zolfo** siano state registrate in concomitanza a venti provenienti dalla **direzione Sud-Sud Ovest**. Considerato che, rispetto al sito di misura, il COVA si trova lungo tale direzione e che lo zolfo è noto essere un tracciante tipico delle operazioni che avvengono nei processi di trattamento degli idrocarburi e di residui di combustione del petrolio in tutte le frazioni di PM (Saffari et al., 2013), il COVA si conferma quale sorgente di emissione prevalente di composti dello zolfo nell'area investigata.

In conclusione, i risultati ottenuti, seppur preliminari, forniscono un **quadro realistico delle caratteristiche emissive dell'area** in cui attività antropiche, tipiche di piccoli insediamenti urbani e legate ad impianti industriali in cui avviene la stabilizzazione del greggio e il pretrattamento del gas associato, sono inserite in un contesto rurale.

Caratterizzazione dei livelli di elementi in traccia associati al particolato atmosferico attraverso tecniche di biomonitoraggio

Rete di biomonitoraggio "Alta Val d'Agri"

Data la notevole importanza rivestita dagli elementi in traccia, sia da un punto di vista ambientale che sanitario, e considerata l'impossibilità di coprire con strumentazione tradizionale un'area così ampia qual è quella di possibile impatto a scala locale delle emissioni del COVA, si è proceduto alla **progettazione ed installazione di una rete di biomonitoraggio** finalizzata all'ottenimento di dati di **concentrazione di elementi chimici associati al particolato atmosferico**, inclusi diversi metalli pesanti, **su un'area di circa 100 km^2**. Tale rete, costituita da **59 stazioni di biomonitoraggio**, è stata sviluppata in maniera tale da aver come punto centrale il sito del COVA e in modo da **includere tutti i centri abitati più prossimi a quest'ultimo** (Figura 6).

Figura 6: *Rete di biomonitoraggio predisposta dal CNR-IMAA in Alta Val d'Agri. In rosso sono indicate le stazioni di biomonitoraggio, in giallo il COVA e in verde i Comuni presenti nel suo intorno. L'immagine satellitare è stata tratta da Google Earth.*

Figura 7: *Fasi caratterizzanti le attività di biomonitoraggio condotte dal CNR-IMAA in Alta Val d'Agri.*

In Figura 7 sono schematizzate le fasi caratterizzanti le attività di biomonitoraggio condotte dal CNR-IMAA in Alta Val d'Agri.

I campioni, costituiti da licheni raccolti in un'area di *background* (bosco di Rifreddo - Potenza), sono stati collocati ad ottobre 2011 e sono stati raccolti dopo 6 e 12 mesi di esposizione all'aria ambiente per essere, poi, caratterizzati chimicamente in merito al contenuto di **18 elementi in traccia (Al, Be, Ca, Cd, Cr, Cu, Fe, K, Li, Mg, Mn, Na, Ni, P, Pb, S, Ti e Zn)** presso il "Laboratorio di Monitoraggio Ambientale Integrato" del CNR-IMAA. Ciò ha permesso di ottenere un ***database*** **di circa 2300 misure** di concentrazione di elementi in traccia associati al particolato atmosferico distribuite spazialmente su un'area di 100 km^2.

L'analisi preliminare dei predetti dati ha consentito di evidenziare come **la maggior parte degli elementi in traccia** considerati abbia mostrato un **incremento delle concentrazioni rispetto a quelle misurate nel campione di controllo** (ovvero campioni raccolti nell'area di *background* e non esposti) in entrambi i periodi di esposizione. **Ca, Al, Fe, K, Mg** e **S**, inoltre, sono risultati essere, tra gli elementi in traccia misurati, quelli **maggiormente presenti** nei campioni esposti sia per 6 che per 12 mesi. Attualmente si sta procedendo ad analizzare l'ampio *database* ottenuto mediante tecniche di analisi statistica avanzata al fine di ottenere informazioni relativamente alle **sorgenti di emissione** che maggiormente hanno impattato sullo stato di qualità dell'aria dell'intera area investigata. Tali analisi consentiranno, inoltre, di **individuare *pattern* diffusionali degli elementi in traccia** misurati e, di conseguenza, di **identificare le aree a maggiore rischio di contaminazione ambientale nell'area circostante il COVA**.

Rete di biomonitoraggio "Alta valle del Sauro – Tempa Rossa"

Dal momento che la regione Basilicata ospiterà nell'area dell'alta valle del Sauro un secondo centro olio per il trattamento degli idrocarburi provenienti dal giacimento **Tempa Rossa**, attualmente in fase di costruzione, è stata progettata ed installata ad ottobre 2013 una **rete di biomonitoraggio** (Figura 8).

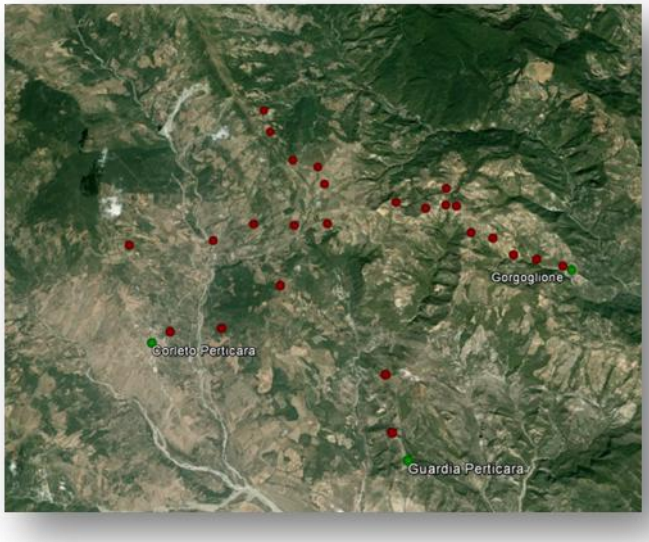


Figura 8: *Rete di biomonitoraggio predisposta dal CNR-IMAA in alta valle del Sauro – Progetto di sviluppo "Tempa Rossa". In rosso sono indicate le stazioni di biomonitoraggio e in verde i Comuni presenti in tale area. L'immagine satellitare è stata tratta da Google Earth.*

Tale rete, finalizzata alla stima della distribuzione **spazio-temporale delle concentrazioni di elementi in traccia** di particolare interesse **per l'area investigata** prima dell'entrata in esercizio del costruendo centro olio, è stata **sviluppata in maniera tale da includere**, anche in questo caso, **i principali centri abitati ricadenti nell'area di ingerenza del predetto impianto**. I campioni, costituiti da licheni raccolti in un'area di *background* (bosco di Rifreddo - Potenza), sono stati distribuiti su un'area di circa 70 km^2 e, successivamente ad un periodo di esposizione all'aria pari a 6 e 12 mesi, saranno caratterizzati chimicamente al fine di ottenere informazioni sullo **stato della qualità dell'aria precedentemente all'entrata in esercizio del costruendo centro olio.**

Sintesi dei risultati e sviluppi futuri

Le attività di ricerca svolte in collaborazione con l'OAVDA hanno consentito di **caratterizzare da un punto di vista chimico-fisico il PM_1** campionato presso il **centro abitato di Viggiano**. In particolare, l'attività di ricerca ha consentito di:

- **quantificare i livelli di concentrazione del PM_1**;
- **definire la composizione in elementi in traccia del PM_1**;
- **individuare le principali tipologie di sorgenti di emissione del PM_1**.

Inoltre, mediante l'utilizzo di **tecniche di biomonitoraggio** è stato possibile definire nell'intorno del COVA:

- le **distribuzioni spazio-temporali delle concentrazioni di elementi in traccia associati al particolato atmosferico**.

È stata, infine, installata una **rete di biomonitoraggio nell'area di Tempa Rossa**.

Il **prosieguo** di tali attività di ricerca consentirà di:

- **quantificare** i **contributi delle diverse sorgenti** (naturali e/o antropiche, locali e/o remote) al PM_1 misurato a Viggiano e/o presso altri centri abitati della valle;
- **individuare *marker* chimici** per la **stima dell'impatto delle attività estrattive e di pretrattamento di idrocarburi sul PM_1**;
- **identificare** i **processi di biodisponibilità** per la valutazione dell'**impatto delle attività estrattive e di pretrattamento di idrocarburi sulla vegetazione e/o su colture locali**;
- studiare le **caratteristiche chimico-fisiche degli aerosol atmosferici** nell'area di **Tempa Rossa** pre e post entrata in esercizio del costruendo Centro Olio;
- sviluppare un **indice di qualità dell'aria** multi-parametrico per aree interessate da attività di estrazione e pretrattamento di idrocarburi.

Riferimenti bibliografici

Deshmukh, D. K., Deb, M. K., Tsai, Y. I., and Mkoma, S. L.: Water soluble ions in $PM_{2.5}$ and PM_1 aerosols in Durg City, Chhattisgarh, India, Aerosol Air Qual. Res., 11, 696–708, 2011.

Sabbagh-Kupelwieser, N., Horvath, H., and Szymansk, W. W.: Urban aerosol studies of PM_1 size fraction with reference to ambient conditions and visibility, Aerosol Air Qual. Res., 10, 425–432, 2010.

Saffari, A., Daher, N., Shafer, M. M., Schauer, J. J., and Sioutas, C.: Seasonal and spatial variation of trace elements and metals in quasi-ultrafine ($PM_{0.25}$) particles in the Los Angeles metropolitan area and characterization of their sources, Environ. Pollut., 181, 14-23, 2013.

Song, S., Wu, Y., Jiang, J., Yang, L., Cheng, Y., and Ha, J.: Chemical characteristics of size-resolved $PM_{2.5}$ at a roadside environment in Beijing, China, Environ. Pollut., 161, 215-221, 2012.

Trippetta, S., Caggiano, R., and Telesca, L.: Analysis of particulate matter in anthropized areas characterized by the presence of crude oil pre-treatment plants: The case study of the Agri Valley (Southern Italy), Atmos. Environ., 77, 105-116, 2013.

II.1.2. STUDIO SISTEMATICO DELLE PROPRIETÀ OTTICHE DI PARTICELLE CARBONIOSE IN BASILICATA

Dr.ssa Mariarosaria Calvello

Premessa

L'**aerosol carbonioso** (***Black Carbon*-BC** e ***Organic Carbon*-OC**) è la componente dell'aerosol atmosferico emessa come **residuo di qualsiasi processo di combustione** (processi industriali, emissioni da traffico, incendi boschivi, riscaldamento domestico). Esso è contenuto principalmente nella frazione fine del particolato ($PM_{2.5}$, ovvero particelle aerosoliche aventi diametro aerodinamico inferiore a 2.5 μm)) e può per questo essere facilmente inalato con **effetti negativi sia sull'apparato respiratorio che su quello cardiovascolare** (World Health Organization, 2012). Questa componente riveste poi una grande importanza dal punto di vista del bilancio radiativo terrestre, dei **cambiamenti climatici globali** ma anche delle **modificazioni del microclima** delle aree interessate da tali emissioni (per esempio influenza sulla formazione delle nubi), specie per zone a vocazione agricola, come la Val d'Agri.

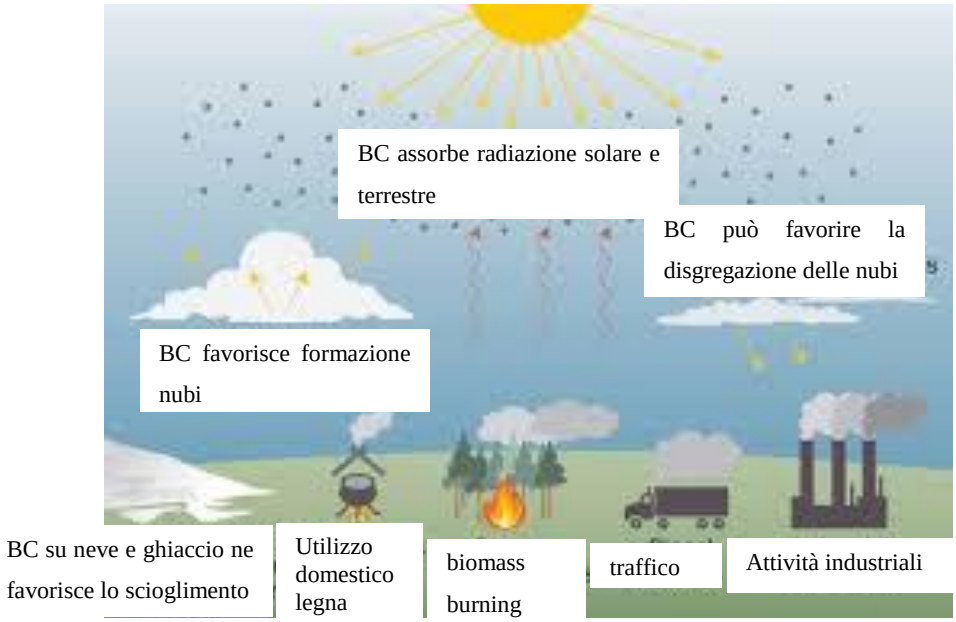


Figura 1: *Diagramma schematico delle possibili sorgenti di BC e dei suoi effetti sul clima.*

Recentemente è stato quantificato che il BC è secondo solo all'anidride carbonica (CO_2) nel contribuire al riscaldamento globale (Bond et al., 2013) ma, grazie al suo tempo di **vita media in atmosfera molto più breve di quello della CO_2**, gli **effetti delle politiche di mitigazione possono essere più efficaci e immediati**. Pertanto, benché il BC non sia un parametro atmosferico normato, ovvero non è uno di quei parametri che attualmente contribuiscono alla valutazione della qualità

dell'aria, i suoi effetti sull'ambiente e sulla salute non possono essere disconosciuti e, specie negli ultimi anni, la comunità scientifica internazionale sta concentrando l'attenzione sullo studio del BC al fine di indirizzare i decisori politici nell'adozione di specifiche politiche di riduzione delle emissioni.

Inoltre, se si considera in particolare la frazione organica dell'aerosol carbonioso, essa può contenere diversi composti tra cui gli Idrocarburi Policiclici Aromatici (IPA) che, una volta emessi in atmosfera, hanno alta probabilità, specie nel caso di alto peso molecolare, e quindi maggiore pericolosità per la salute umana, di essere adsorbiti sulla superficie del BC (Kim et al., 2009) e di aumentarne gli effetti negativi sulla salute.

Proprio perché **BC** ed **OC** sono principalmente degli indicatori di aerosol di origine antropica, si pensa possano costituire una **frazione non trascurabile delle emissioni derivanti dalle attività estrattive e di pretrattamento del petrolio**: la loro caratterizzazione risulta, quindi, necessaria per valutare l'impatto dei fenomeni di inquinamento tanto in un'area significativa come quella del **Centro Olio in Val d'Agri (COVA)**, quanto in aree che a breve saranno interessate da processi industriali simili (attività estrattiva petrolifera e Centro Olio a **Tempa Rossa**).

D'altra parte, un'analisi statistica preliminare dei dati a disposizione presso l'Osservatorio Ambientale della Val d'Agri (OAVDA) aveva consentito di rilevare l'**assenza di osservazioni e dati disponibili presso la rete di monitoraggio** dell'Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente (**ARPA Basilicata**) **per la componente carboniosa degli aerosol atmosferici.**

Per tutte le suddette ragioni, si è deciso di consolidare, attraverso il presente progetto di ricerca, un'attività già in atto che aveva previsto l'avvio in Val d'Agri, dal gennaio 2011, di misure continue di *Black Carbon* effettuate per mezzo di un etalometro *Magee Scientific AE31*.

Attività di ricerca svolte

Il presente progetto di ricerca ha previsto la realizzazione di misure continue di concentrazione **di BC** per mezzo di **un etalometro *Magee Scientific AE31*** a 7 lunghezze d'onda (λ= 370, 470, 520, 590, 660, 880, 950 nm).

Le misure sono state effettuate (e sono tutt'ora in corso) presso un **sito attiguo al COVA** con lo strumento posto all'interno della centralina di ARPA Basilicata denominata **Viggiano Zona Industriale (VZI)**. L'etalometro ha permesso di ottenere, a partire da misure di attenuazione ottica, un ***database* di lungo termine di concentrazioni al suolo di BC**. Inoltre, l'analisi dei coefficienti di assorbimento, corrispondenti ai diversi tipi di aerosol carbonioso, ha consentito di discriminare le sue varie componenti e di **rivelare**, anche se solo qualitativamente, **la componente organica**, aggiungendo, quindi, informazioni rispetto alle misure convenzionali di BC.

L'analisi dell'ampio *database* di misure ha reso possibile l'individuazione degli andamenti di BC e della sua componente organica su scale temporali differenti a partire da quella interannuale, quella stagionale, fino al calcolo del ciclo diurno medio su tutto il *database* al fine di caratterizzarne in modo completo le proprietà ottiche e verificare le peculiarità del sito. Ciò è stato ottenuto anche grazie allo studio delle relazioni tra aerosol carbonioso e parametri atmosferici su base stagionale.

Un altro elemento utile all'analisi è stato il **confronto con i dati relativi ai Composti Organici Volatili (COV) metanici e non metanici** ottenuti grazie alla rete di monitoraggio di ARPA Basilicata in Val d'Agri.

Metodologia e analisi dati

L'etalometro misura l'attenuazione ottica causata dall'aerosol raccolto su filtro in corrispondenza delle 7 lunghezze d'onda e, a partire dalla misura dell'attenuazione a 880 nm, fornisce le concentrazioni di BC espresse in $\mu g/m^3$ (Hansen, 2003). Inoltre, la misura in corrispondenza della lunghezza d'onda a 370 nm consente la rivelazione, seppure qualitativa, della frazione organica del BC associata alle attività estrattive e di pretrattamento del petrolio in Val d'Agri. Tale frazione verrà indicata nel seguito come *UV-absorbing particulate matter* (**UVPM**). Questa quantità è affetta, però, da errore quando tra le componenti del particolato carbonioso è presente anche il *Brown Carbon* (BrC) che ha delle caratteristiche spettrali differenti da quelle di BC e OC ed è prodotto o nelle fasi iniziali dei processi di combustione o durante la pirolisi di materiale organico (per esempio nella combustione di biomasse) o per la reazione di composti organici con acido solforico in presenza di bassa umidità (Andreae e Gelencsér, 2006). L'utilizzo di una **tecnica appositamente implementata**, che sfrutta la multispettralità dell'etalometro, ha permesso di ottenere una **stima più affidabile per l'UVPM** che possa tener conto della presenza di BrC (Esposito et al., 2012).

La tecnica ha come punto di partenza l'analisi dei valori del coefficiente di assorbimento dell'aerosol carbonioso in funzione della lunghezza d'onda ottenuti dalle misure di attenuazione ottica da etalometro e consente di migliorare la qualità del dato da etalometro aggiungendo informazioni rispetto alle misure convenzionali di BC.

La stessa tecnica ha consentito la stima dei valori dell'**esponente di assorbimento di Ångström α** attraverso la ben nota legge:

$$\tau_{aer} = \beta * \lambda^{-\alpha}$$

dove τ_{aer} è il coefficiente di assorbimento spettrale, λ è la lunghezza d'onda e β è il coefficiente di torbidità di Ångström, parametro strettamente correlato al contenuto di particelle in aria.

Il parametro α è molto importante perché permette di discriminare le diverse componenti dell'aerosol carbonioso: **α avrà infatti valori minori o uguali a 1 nel caso di solo BC (prevalenza di emissioni da traffico veicolare) mentre avrà valori maggiori di 1 nel caso di presenza di BrC e OC** (forte dipendenza spettrale del coefficiente di assorbimento) (Moosmüller et al., 2009).

Le misure sistematiche da etalometro sono state realizzate presso il sito di VZI la cui posizione rispetto al COVA è riportata in Figura 2.

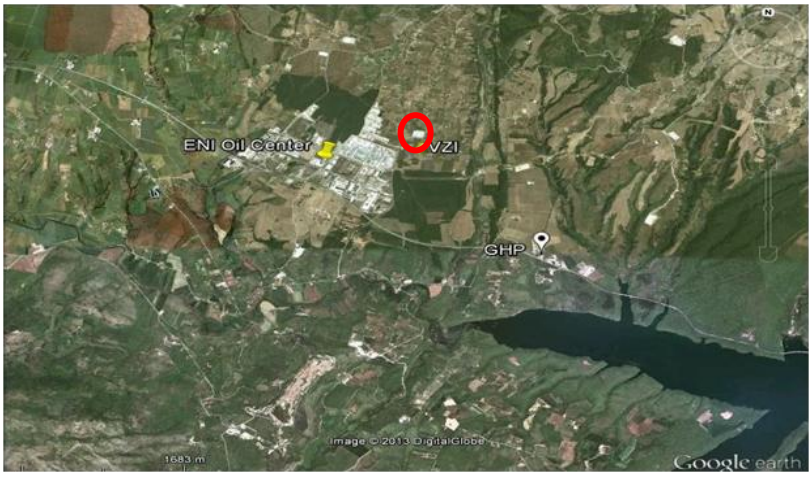
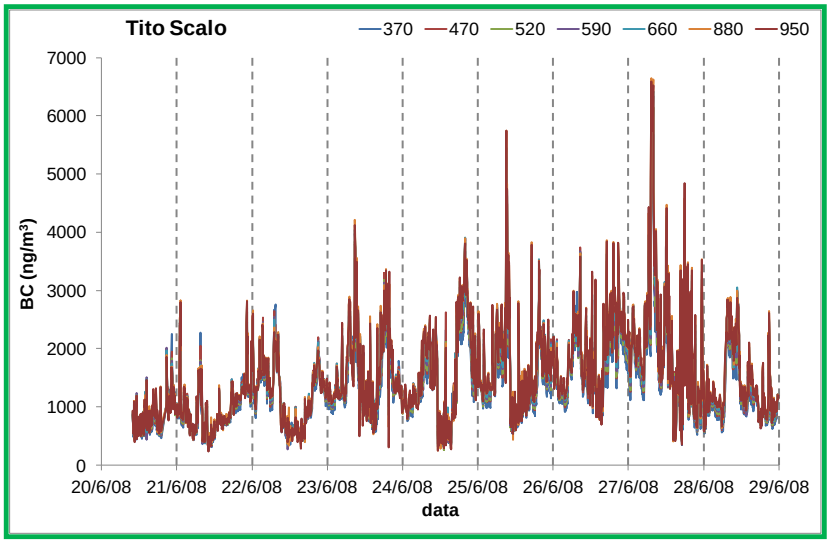


Figura 2: *Collocazione geografica del sito di misura denominato "Viggiano Zona Industriale-VZI" (40.18°N, 15.54°E, 565 m s.l.m.).*

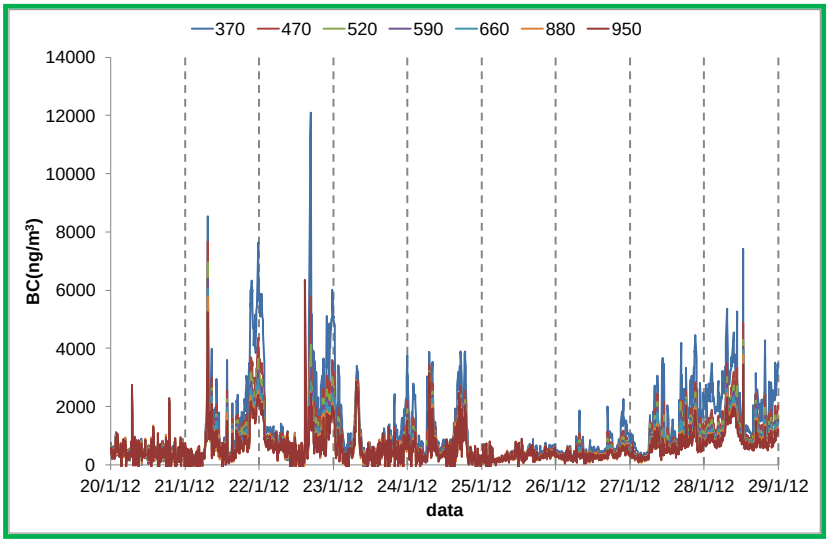
Presso lo stesso sito sono disponibili misure continue di tutti i parametri meteorologici effettuate da ARPA Basilicata. I dati sulle direzioni prevalenti dei venti sul lungo periodo e su base stagionale hanno permesso di verificare come l'**etalometro** fosse **posto** in modo da trovarsi **sottovento rispetto al COVA per la maggior parte del periodo analizzato**. I venti prevalenti sono risultati, infatti, quelli provenienti dal settore Ovest.

Un primo risultato dell'analisi dei dati da etalometro è stato ottenuto effettuando un **confronto tra i dati relativi al sito della Val d'Agri e quelli di un *database long-term* dello stesso tipo ottenuto durante il triennio 2008-2010 per il sito semi-rurale di Tito Scalo** (PZ) allo scopo di verificare l'influenza di diverse sorgenti e processi di produzione dell'aerosol carbonioso. I risultati ottenuti hanno permesso di individuare differenti **sorgenti prevalenti** che immettono BC in atmosfera per i due siti: il **traffico veicolare** del vicino Raccordo autostradale Sicignano - Potenza **per il sito di Tito Scalo**, i **processi di combustione che hanno luogo presso il COVA.** Per quest'ultimo sito, infatti, è stata rilevata quasi sempre una componente organica, rappresentata dalla quantità UVPM diversa da zero, a differenza di quanto osservato a Tito Scalo dove l'UVPM non era quasi mai presente (Calvello et al., 2012). La presenza della componente organica è dovuta a molecole organiche presenti nelle emissioni che possono aggregarsi per formare una particella o

possono "ricoprire" particelle pre-esistenti (Pavese et al., 2012). Come si può verificare dal grafico riportato in Figura 3b, tale componente organica, rilevata per il sito della Val d'Agri e associabile alle emissioni del COVA, non ha mostrato, inoltre, periodicità o *trend* ricorrenti come quelli tipici del traffico auto veicolare, individuati invece per il sito di Tito Scalo (Figura 3a), ma è caratterizzata da periodi brevi (da pochi giorni a poche settimane) di intensa emissione nel corso dell'anno.



a)

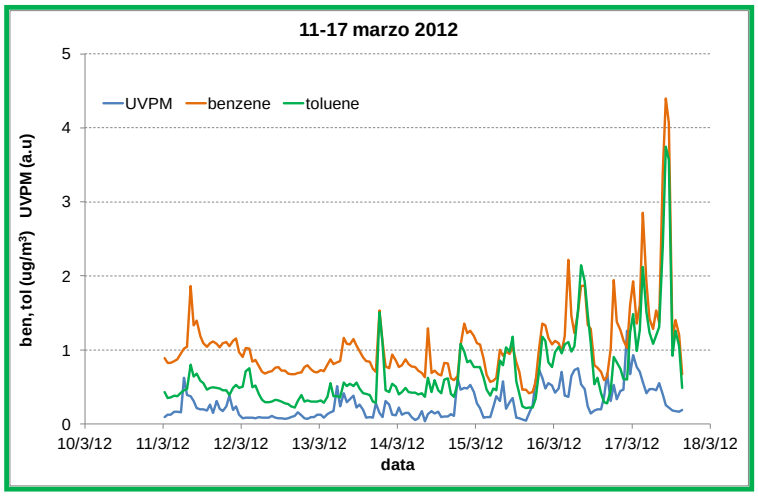


b)

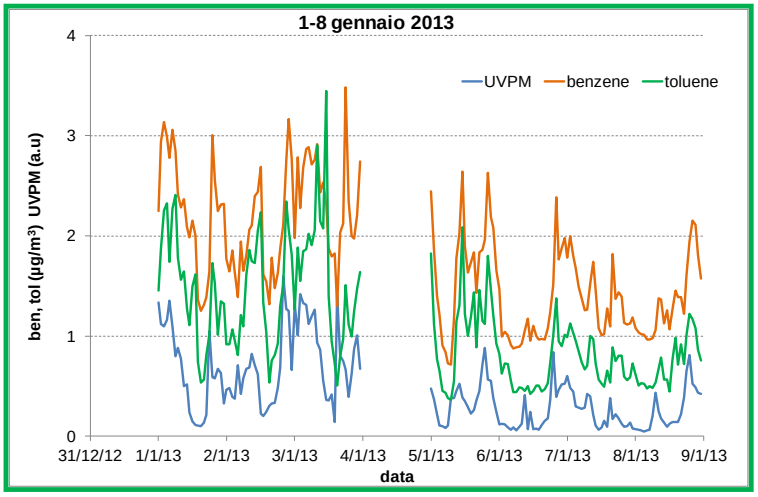
Figura 3: *Andamenti temporali di BC (a) per il sito di Tito Scalo per una settimana di giugno 2008 e (b) per il sito di VZI per una settimana di gennaio 2012.*

Durante tali periodi si è, inoltre, osservato un **buon accordo tra gli andamenti nel tempo dell'UVPM e quelli delle concentrazioni di COV e di metano** ottenuti nello stesso sito di misura dalla rete di ARPA Basilicata (Calvello et al., 2013). Ciò ha mostrato l'efficacia delle misure da etalometro nell'identificare almeno qualitativamente la componente organica dell'aerosol carbonioso. A titolo di esempio, i grafici in Figura 4 illustrano il buon accordo trovato tra UVPM e

le concentrazioni di benzene e toluene misurati presso la centralina di VZI per due settimane durante i mesi di marzo 2012 (Figura 4a) e gennaio 2013 (Figura 4b).



a)



b)

Figura 4:*Esempio di andamenti temporali di UVPM, benzene e toluene per il sito di VZI per una settimana di marzo 2012 (a) e di gennaio 2013 (b).*

Una verifica ulteriore di tale accordo è rappresentata dai risultati descritti in Calvello et al. (2014) dove sono stati analizzati e confrontati i dati di concentrazione degli inquinanti misurati dalla cinque centraline di ARPA Basilicata nell'intorno del COVA per il periodo di settembre-ottobre 2013 con i dati di BC misurati presso il sito di VZI e quelli di PM_1 (ovvero particelle aerosoliche aventi diametro aerodinamico inferiore a 1.0 µm) misurati presso il centro abitato di Viggiano. Anche in questo caso, infatti, è stata trovata una buona correlazione tra BC, UVPM e idrocarburi totali misurati presso il sito di VZI a conferma dell'interazione tra le particelle carboniose e le molecole organiche contenute nell'UVPM per le quali è nota in letteratura un'alta probabilità di essere adsorbite sulla superficie del BC. Ciò indica il **ruolo importante del BC come veicolo di composti organici in atmosfera**.

Una fase ulteriore dell'attività di ricerca ha previsto l'analisi dell'intero *database* di misure al fine di individuare gli **andamenti di BC e della sua componente organica su scale temporali differenti**.

Il grafico riassuntivo in Figura 5 mostra la **variabilità stagionale** di BC, UVPM e *α*.

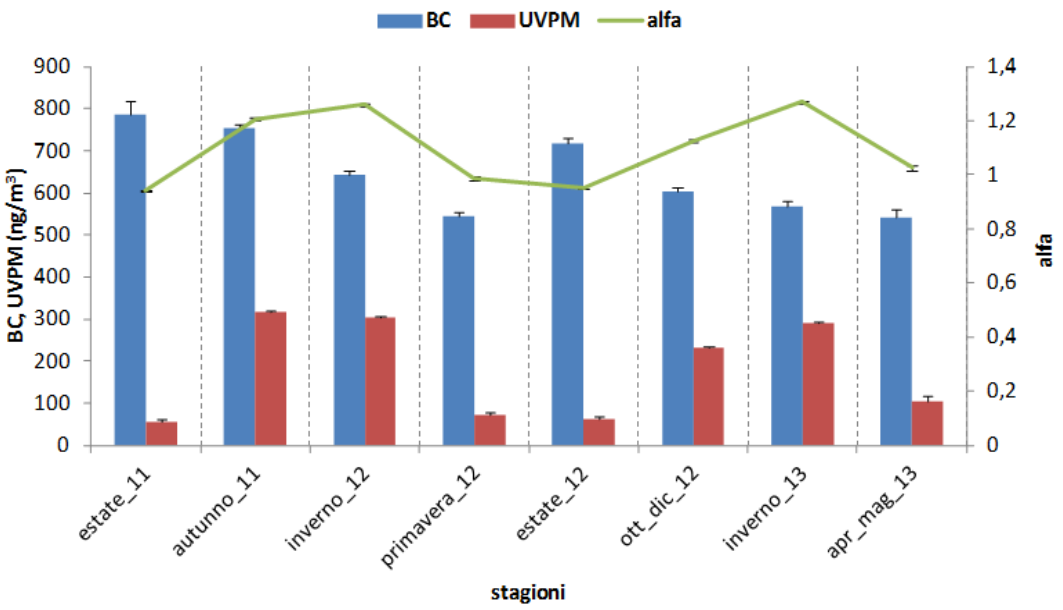


Figura 5: *Andamenti temporali dei valori medi stagionali di BC, UVPM e α per il periodo giugno 2011-maggio 2013.*

I valori medi dei tre parametri mostrati in Figura 5 sono inoltre riportati in Tabella 1 con i rispettivi errori standard (err) insieme ai valori medi annuali dal 2011 al 2013.

	BC(ng/m^3) ± err	**UVPM (a.u.) ± err**	***α* ± err**
estate 11	785 ± 11	55 ± 4	0.942 ± 0.005
autunno 11	752 ± 11	318 ± 6	1.208 ± 0.006
inverno 12	642 ± 14	302 ± 8	1.259 ± 0.007
primavera 12	544 ± 8	72 ± 3	0.987 ± 0.006
estate 12	718 ± 14	61 ± 3	0.954 ± 0.006
autunno 12	604 ± 17	230 ± 12	1.126 ± 0.010
inverno 13	568 ± 9	290 ± 7	1.269 ± 0.008
primavera 13	543 ± 10	106 ± 4	1.027 ± 0.007
anno 2011	749 ± 8	184 ± 4	1.102 ± 0.003
anno 2012	619 ± 6	162 ± 4	1.079 ± 0.004
anno 2013	558 ± 7	216 ± 4	1.172 ± 0.006

Tabella 1: *Valori medi stagionali e annuali di BC, UVPM e α, a.u. = arbitrary unit.*

Come si evince dalla Figura 5 e dalla Tabella 1, **non si sono trovate variazioni stagionali significative per il BC che mostra, però, valori più alti in estate** come comunemente si trova in letteratura **per siti di tipo rurale** (Otzürk et al., 2012; Querol et al., 2013). È, inoltre, evidente una

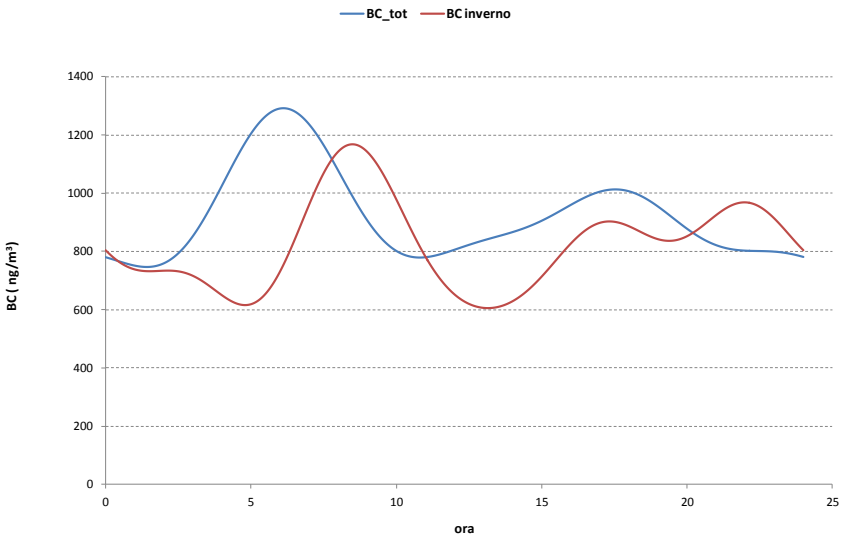
riduzione nei valori di concentrazione di BC dal 2011 al 2013. A proposito di tale risultato si deve, però, tenere conto di un numero inferiore di misure ottenute per l'anno 2013 per cui è necessario estendere ulteriormente il *database* per capire se tale riduzione è confermata, se può essere messa in relazione con differenti condizioni meteorologiche o se è relativa a cambiamenti nella sorgente di emissione.

Le **variazioni stagionali** sono, invece, risultate **rilevanti per la frazione organica** per la quale si sono stimati valori più alti per i parametri di riferimento (UVPM e α) sia nei periodi freddi (autunno e inverno) che in quelli caldi (primavera ed estate).

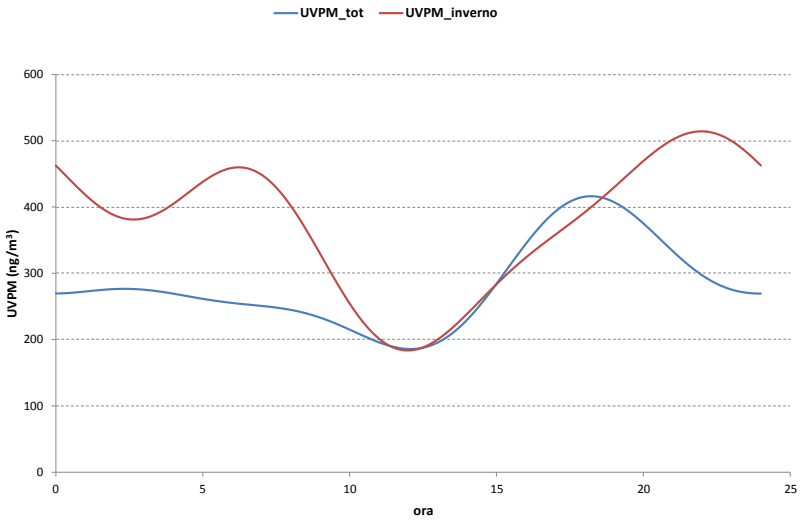
Allo stesso tempo si sono verificate significative correlazioni tra la frazione organica dell'aerosol carbonioso e parametri meteorologici quali la radiazione solare e la temperatura. Nessuna correlazione è stata, invece, trovata tra contenuto di BC e parametri meteorologici. Queste osservazioni suggeriscono che un contributo non trascurabile all'aerosol organico è dato da molecole organiche, tra le quali gli IPA, che possono essere emesse da processi che avvengono presso il COVA e per le quali le concentrazioni risultano ridotte durante periodi di maggiore insolazione a causa di reazioni di foto-dissociazione. Ciò ne riduce la probabilità di adsorbimento sul BC che è invece alta in condizioni di bassa insolazione e temperatura (Kim et al., 2009).

Il calcolo dei **giorni-tipo sia di BC che di UVPM** sul *database long-term* ha consentito di evidenziare ulteriormente le differenze tra queste due componenti come si può verificare a partire dai grafici in Figura 6. Infatti, nel caso del BC, i giorni-tipo hanno mostrato i due picchi relativi al traffico, anche se il secondo è di minore intensità rispetto al primo a causa probabilmente di condizioni differenti di strato di rimescolamento (Figura 6a). Nel caso dell'UVPM i due picchi non sono presenti ma è visibile un aumento dell'intensità nelle ore notturne (Figura 6b). Ciò conferma la presenza di una sorgente aggiuntiva rilevante della frazione organica dell'aerosol carbonioso rispetto a quella del traffico (Calvello et al., 2013).

Queste osservazioni suggeriscono che un contributo non trascurabile all'aerosol organico stimato tramite l'UVPM è dato da composti organici, come gli IPA, che possono essere emessi da processi che avvengono presso il COVA e per i quali le concentrazioni risultano ridotte durante periodi di maggiore insolazione a causa di reazioni di foto-dissociazione che ne riducono la probabilità di adsorbimento sul BC. In condizioni di minore insolazione tale probabilità è alta a causa della forte affinità chimica tra tali composti e la superficie delle particelle di BC.



a)



b)

Figura 6: *Giorno tipo calcolato (a) per BC e (b) UVPM per l'intero database (curve blu) e per il solo periodo invernale (curva rossa).*

Infine, allo scopo di ottenere una caratterizzazione più completa dell'aerosol emesso nei processi che avvengono presso il COVA, si sta procedendo all'analisi dei dati raccolti durante la **campagna di misura intensiva multi-strumentale (*Integrated Measurements for Aerosol in Agri Valley - IMAA*)** realizzata nel mese di luglio 2013. Tale campagna ha fatto uso del **L**aboratorio mobile di **I**nterferometria e **RA**diometria (**LIRA**) a bordo del quale sono stati allocati, oltre all'etalometro, due radiometri ad alta risoluzione spettrale, un contatore ottico di particelle e un campionatore gravimetrico per la misura di concentrazioni di $PM_{2.5}$. Tali misure integrate, per le quali si sta completando l'analisi dei dati raccolti, rappresentano un'opportunità di confronto tra le proprietà del particolato al suolo e quelle sulla colonna atmosferica, specie se ottenute su base stagionale.

Risulta, quindi, necessario proseguire nella direzione delineata dalle attività finora svolte anche allo scopo di ripetere queste campagne di misura in diverse stagioni dell'anno. Sarebbe, inoltre, auspicabile potere effettuare campagne sperimentali di questo tipo anche per il **sito di Tempa Rossa** al fine di ottenere misure di bianco indispensabili per una corretta valutazione dell'impatto sulla qualità dell'aria delle attività che verranno avviate nel prossimo futuro di tale area.

Sintesi dei risultati e sviluppi futuri

I **risultati principali** dell'attività di ricerca finora descritta possono così essere riassunti:

- **valori medi di BC misurati a VZI confrontabili con siti rurali**;
- **presenza frequente della componente organica dell'aerosol carbonioso per il sito di VZI**, rispetto a siti dove il traffico veicolare costituisce la maggiore fonte di BC;
- **componente organica associabile alle emissioni del COVA**, caratterizzata da periodi di durata variabile (da pochi giorni a poche settimane) di intensa emissione;
- **buon accordo tra gli andamenti della componente organica e alcune concentrazioni di COV e di metano** ottenuti nello stesso sito di misura dalla rete di ARPA Basilicata.

Sulla base dei risultati ottenuti si possono individuare i seguenti possibili **sviluppi futuri** dell'attività di ricerca descritta fin qui:

- **verifica dell'influenza delle variazioni meteorologiche su base stagionale sulle concentrazioni di BC**; per fare ciò è necessario un **ampliamento del *database*** allo scopo di determinare quanto la loro variazione su differenti scale temporali possa essere associata alla variazione dei processi produttivi che avvengono presso il COVA;
- **discriminazione tra le possibili sorgenti di BC** (COVA, traffico auto veicolare, attività agricole); anche in questo caso è indispensabile **l'ampliamento del *database*** di misure da etalometro;
- **studio del ruolo del BC in atmosfera come veicolo di molecole organiche** (IPA) che ne aumenta la disponibilità ad essere inalate e, quindi, la pericolosità per la salute umana; per fare ciò sono necessari il **confronto e l'integrazione sul lungo termine con i dati sulle emissioni di composti organici della rete di monitoraggio di ARPA Basilicata** presente nell'area della Val d'Agri;
- **avvio di misure di BC a Tempa Rossa per ottenere una misura di bianco**.

Riferimenti bibliografici

Andreae, M. O., and Gelencsér, A., Black Carbon or Brown Carbon? The nature of light-absorbing carbonaceous aerosols, Atm. Chem. Phys., 6, 3131-3148, doi:10.5194/acp-6-3131-2006, 2006.

Bond, T. C., Doherty, S. J., Fahey, D. W., Forster, P. M., Berntsen, T., De Angelo, B. J., Flanner, M. G., Ghan, S., Kärcher, B., Koch, D., Kinne, S., Kondo, Y., Quinn, P. K., Sarofim, M. C. M., Schultz, G., Schulz, M., Venkataraman, C., Zhang, H., Zhang, S., Bellouin, N., Guttikunda, S. K., Hopke, P. K., Jacobson, M. Z., Kaiser, J. W., Klimont, Z., Lohmann, U., Schwarz, J. P., Shindell, D., Storelvmo, T., Warren, S. G., and Zender, C. S., Bounding the role of black carbon in the climate system: A scientific assessment, J. Geophys. Res. Atmos., 118, 5380–5552, doi:10.1002/jgrd.50171, 2013.

Calvello, M., Esposito, F., Pavese, G., Lovallo, M., and Mangiamele, L., Organic carbon detection in crude-oil plant emissions in South Italy. Abstracts of EAC (European Aerosol Conference), Granada, 2-7 September 2012.

Calvello, M., Lovallo, M., Esposito, F., Mangiamele, L., and Pavese, G., Long-term observations of carbonaceous aerosols and related gaseous emissions near a crude-oil plant in South Italy. Abstracts of EAC (European Aerosol Conference), Praga, 1-6 September 2013.

Calvello, M., Esposito, F., and Trippetta, S., An integrated approach for the evaluation of technological hazard impacts on air quality: the case of the Val d'Agri oil/gas plant, Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 14, 2133-2144, doi:10.5194/nhess-14-2133-2014, 2014.

Esposito, F., Calvello, M., Gueguen, E., and Pavese, G., A New Algorithm for Brown and Black Carbon Identification and Organic Carbon Detection in Fine Atmospheric Aerosols by a Multi-Wavelength Aethalometer, Atmos. Meas. Tech. Discuss., 5, 1003–1027, 2012.

Hansen, A. D. A., The Aethalometer™ - Real-Time Aerosol Analysis for Carbonaceous Aerosol Species, Magee Scientific Company, Berkeley, CA, USA, 2003.

Kim, D., Kumfe, B. M., Anastasio, C., Kennedy, I. M., and Young, T. M., Environmental aging of polycyclic aromatic hydrocarbons on soot and its effect on source identification, Chemosphere, 76, 1075–1081, 2009.

Moosmuller, H., Chakrabarty, R. K., and Arnott, W.P., Aerosol Light Absorption and Its Measurement: A Review, J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer, 110, 844–878, 2009.

Öztürk, F., Zararsız, A., Dutkiewicz, V. A., Husain, L., Hopke, P. K., and Tuncel, G., Temporal variations and sources of Eastern Mediterranean aerosols based on a 9-year observation, Atmos. Env., 61, 463- 475, 2012.

Pavese, G., Calvello, M., and Esposito, F., Black carbon and Organic components in the atmosphere of Southern Italy: comparing emissions from different sources and production processes of carbonaceous particles, Aerosol Air Qual. Res., 12, 1146-1156, 2012.

Querol, X., Alastuey, A., Viana, M., Moreno, T., Reche, C., M. Minguillòn, C., Ripoll, A., Pandolfi, M., Amato, F., Karanasiou, A., Pérez, N., Pey, J., Cusack, M., Vàzquez, R., Plana, F., Dall' Osto, M., de la Rosa, J., Sànchez de la Campa, A., Fernàndez-Camacho, R., Rodrìguez, S., Pio, C., Alados-Arboledas, L., Titos, G., Artìñano, B., Salvador, P., Garcìa Dos Santos, S., and Fernàndez Patier, R., Variability of carbonaceous aerosols in remote, rural, urban and industrial environments in Spain: implications for air quality policy, Atmos. Chem. Phys., 13, 6185–6206, 2013.

World Health Organization (WHO), Health effects of black carbon (http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0004/162535/e96541.pdf), 2012.

II.1.3. APPLICAZIONE DI METODI E TECNICHE GEOCHIMICHE E MINERO-PETROGRAFICHE FINALIZZATE AL MONITORAGGIO E ALLA VALUTAZIONE DEI RISCHI AMBIENTALI E ALLA TUTELA DELLA SALUTE UMANA

Dr. Salvatore Margiotta

Premessa

Nella presente sezione vengono illustrati i risultati delle attività di ricerca condotte presso **l'Osservatorio Ambientale della Val d'Agri** (OAVDA) e il **Laboratorio di Geologia Medica e Ambientale** del **CNR-IMAA** di Tito Scalo nell'ambito della tematica di ricerca inerente all'applicazione di metodi e tecniche geochimiche e minero-petrografiche finalizzate al monitoraggio e alla valutazione dei rischi ambientali e alla tutela della salute umana.

Tale tematica, sviluppata in collaborazione con lo staff tecnico-scientifico del Laboratorio di Geologia Medica e Ambientale, si è articolata in tre distinte attività di ricerca, di seguito riportate:

A1. studio al microscopio elettronico a scansione della frazione **PM_1 del particolato atmosferico** (ovvero particelle aerosoliche aventi diametro aerodinamico inferiore a 1.0 μm) finalizzato alla differenziazione tra componente naturale e antropica;

A2. caratterizzazione geochimica ed idrogeochimica di **sedimenti e acque di falda**;

A3. studio dei **fenomeni franosi** con un approccio multidisciplinare, finalizzato alla individuazione di possibili fattori di rischio granulometrici, geochimici e minero-petrografici.

Per ciascuna attività sono state individuate uno o più aree pilota, come di seguito indicato.

Per l'**attività A1** si è individuata come area pilota quella del **Centro Olio Val d'Agri** (**COVA**), che può essere considerato, almeno potenzialmente, il centro di pericolo più rilevante dell'intera valle. L'area è comunque interessata anche da numerose attività produttive, da importanti strade di collegamento e da alcuni siti estrattivi. Inoltre, le zone rurali limitrofe, dalla notevole vocazione agricola, e le vicine aree naturalistiche ad elevata valenza ambientale, protette dal Parco Nazionale dell'Appennino Lucano – Val d'Agri – Lagonegrese, fanno della zona prescelta un'area pilota ideale per studi finalizzati alla **valutazione dell'impatto di attività antropiche (agricole, industriali ed estrattive) sugli ecosistemi, sulla qualità delle risorse ambientali e sulla salute umana**. La scelta del **PM_1** quale frazione da studiare è stata effettuata considerando i suoi effetti sulla salute umana in quanto **frazione respirabile** (ovvero in grado di raggiungere la regione alveolare), e tenendo conto che dalla letteratura scientifica in cui viene comunemente considerata come la frazione maggiormente **rappresentativa della componente antropogenica legata a processi combustivi e meno influenzata da fenomeni naturali**.

Lo studio delle matrici acque di falda e sedimenti (**attività A2**) si è anch'essa focalizzata sull'area del COVA, per motivi analoghi a quelli precedentemente descritti, oltre che in virtù della disponibilità dei dati derivanti dalle attività di monitoraggio condotte dall'Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente (ARPA) della Basilicata e da ENI S.p.A. sui piezometri ubicati lungo il perimetro esterno del COVA.

Un'ulteriore area pilota individuata è quella della **Valle del Cavolo**, in agro di Tramutola (PZ), data la presenza delle manifestazioni sorgentizie naturali di idrocarburi e dei crostoni di origine antropica nelle aree estrattive degli anni '50 ormai dismesse, che fanno di tale zona uno straordinario laboratorio naturale per studiare, in una stessa area, possibili **processi di contaminazione sia naturale che antropica, da idrocarburi o altre sostanze potenzialmente pericolose per gli ecosistemi e la salute umana**, e di valutare **l'evoluzione nel tempo dei processi di inquinamento legati alle vecchie attività di estrazione.**

Nell'**attività A3** è stata scelta come caso studio la frana di località Verdesca, nei pressi di **Montemurro (PZ)**, in quanto ritenuta rappresentativa della franosità dell'Alta e Media Val d'Agri, tipicamente impostata su terreni plio-pleistocenici analoghi a quelli affioranti nella zona di Montemurro. Tale fenomeno franoso è stato scelto anche alla luce dell'importante impatto avuto sulle infrastrutture dell'area, e in particolare sulla strada provinciale di collegamento tra il predetto centro abitato e la S.S. 598 di Fondo Valle dell'Agri, e per il fatto di essere stato oggetto di numerosi studi ed indagini pregresse che, tuttavia, non hanno chiarito del tutto i meccanismi di movimento e la profondità della zona di scorrimento. Gli studi effettuati sono andati ad integrare ulteriori attività condotte, sulla stessa frana, da vari Istituti del CNR (IMAA, IRPI, IREA) nell'ambito di un progetto di ricerca finanziato da ENI S.p.A. e finalizzato allo studio dell'area con un approccio di tipo multidisciplinare, comprensivo dell'applicazione di metodi e tecniche innovative di monitoraggio dei movimenti franosi.

Attività di ricerca svolte

A1. Studio al microscopio elettronico a scansione del particolato atmosferico PM_1, finalizzato alla differenziazione tra componente naturale e antropica.

Contestualmente alle attività relative alla caratterizzazione della frazione sub-micrometrica del particolato atmosferico (PM_1), descritte nel paragrafo II.1.1., è stato condotto uno **studio morfologico, geochimico e minero-petrografico** dello stesso particolato, mediante osservazione al microscopio elettronico a scansione **SEM-FEG** (*Scanning Electron Microscope - Field Emission Gun*) dei filtri in policarbonato prelevati dal campionatore gravimetrico ubicato nei pressi del centro abitato di Viggiano, focalizzando l'attenzione su un evento di ***flaring*** occorso presso il COVA in

data 28 settembre 2012. È stato preso in considerazione un periodo di osservazione compreso tra il 22 settembre e il 1 ottobre 2012 allo scopo di evidenziare eventuali anomalie geochimiche e mineralogiche del PM_1 ed effettuare una **discriminazione tra particelle di origine naturale e antropica.**

Le analisi effettuate hanno permesso di individuare otto principali tipologie di particelle: silice, allumo-silicati, carbonati, particelle biogeniche, particelle carboniose non biogeniche, particelle metalliche, particelle contenenti zolfo e particelle secondarie, distribuite in maniera differente tra la frazione ≥ 0.7µm e quella < 0.7µm.

Nella frazione più grossolana (≥ 0.7µm) la componente minerale è rappresentata da **allumosilicati, quarzo e carbonati**, in ordine decrescente di abbondanza. Le particelle di quarzo sono spesso arrotondate, a dimostrazione di un significativo trasporto eolico.

Le **particelle carboniose biogeniche** sono costituite da pollini, brocosomi e frammenti vegetali di vario genere, con morfologie fortemente variabili, mentre quelle **non biogeniche** sono costituite da particelle lineari o ramificate risultanti da processi di combustione incompleta di idrocarburi, indicate in letteratura come ***soot*** (Wolff, 1981; Han et al., 2010).

Le **particelle metalliche** sono poco frequenti e rappresentate prevalentemente da ossidi di ferro e titanio. Solo poche di queste particelle (circa il 16%) presentano una morfologia sferica in grado di indicare un'origine antropica legata a processi combustivi.

Le **particelle contenenti zolfo** sono costituite prevalentemente da **aggregati polimineralici** e **particelle miste**, composte da solfati di calcio secondari accresciuti direttamente sulla superficie di particelle carbonatiche o da composti dello zolfo in ricoprimento su particelle preesistenti. E' stato osservato anche gesso detritico e particelle secondarie di solfato di potassio, sodio e ammonio.

Nella frazione più fine (< 0.7µm) prevalgono particelle costituite da elementi come carbonio (C), azoto (N) e ossigeno (O), quali particelle vegetali, *soot* e **particelle secondarie** (prevalentemente amorfe o a forma di goccia) costituite in gran parte da solfati di ammonio, nitrati di sodio, solfati di sodio e nitrati di ammonio. Rispetto alla frazione grossolana precedentemente descritta, la componente crostale è molto meno abbondante e si osservano maggiori quantità di particelle fosfatiche.

Alla luce dei risultati esposti, è possibile evidenziare come la **componente antropica** del PM_1 analizzato, nella frazione ≥ 0.7µm, sia rappresentata prevalentemente da *soot*. La **componente naturale** è costituita in netta predominanza da particelle di **origine crostale**, con minori quantità di particelle biogeniche. Le particelle contenenti zolfo, infine, si presentano in prevalenza come **particelle miste di origine composita**, derivanti da processi di deposizione o nucleazione di solfati

secondari (rappresentativi della componente antropica) su *dust* minerale (che costituisce la componente naturale crostale).

Relativamente alle particelle secondarie, i solfati di ammonio possono essere il prodotto della reazione tra acido solforico e ammoniaca, molto comune in atmosfera (Korhonen et al., 1999; Kuhns et al., 2003; Baek et al., 2004; Almeida et al., 2005; Alastuey et al., 2004; Kandler et al., 2007; Vester et al., 2007), mentre i nitrati di sodio e i solfati di sodio potrebbero essere associati all'interazione di acido nitrico e acido solforico con particelle di sale marino contenute nel *dust* sahariano (Savoie and Prospero, 1982; Harrison and Pio, 1983; Harrison et al., 1994; Querol et al., 1998; Meszaros, 1999; Zhuang et al., 1999; Finlayson-Pitts and Hemminger, 2000; Laskin et al., 2002; Alastuey et al., 2004).

Per quanto riguarda i *trend* temporali delle concentrazioni delle diverse particelle rispetto all'evento di *flaring*, i quantitativi più elevati nella frazione $\geq 0.7\mu m$ sono stati osservati proprio in data 28 settembre e sono dovuti ad un significativo **incremento della componente crostale** (Figura 1 e Figura 2). Probabilmente tale aumento è da addebitare all'**evento di trasporto sahariano** in atto nel periodo oggetto di osservazione, che ha avuto uno dei suoi picchi di intensità, in termini di *dust surface concentration*, in coincidenza della giornata interessata dall'evento di *flaring*. Il giorno immediatamente successivo si caratterizza per concentrazioni ancora piuttosto elevate di particolato totale, contestualmente, però, ad una significativa diminuzione della componente crostale. Il **contributo antropogenico** diventa, quindi, predominante e risulta legato principalmente ad un incremento significativo di particelle di *soot*, che raggiungono il loro massimo il giorno successivo alla fiammata. Tale picco arriva peraltro al culmine di un *trend* crescente che comincia già alcuni giorni prima dell'evento di *flaring* (Figura 3). Questo porta ad ipotizzare, per tale incremento, un duplice possibile **contributo**, uno **autoctono**, legato alle attività antropiche in Val d'Agri, ed un altro **alloctono**, associato all'evento di trasporto sahariano che probabilmente ha favorito un apporto non solo di particolato geogenico, ma anche di particelle antropogeniche combustive di origine nordafricana. Nel giorno interessato dall'evento di *flaring* è stato osservato anche un aumento significativo delle particelle miste con zolfo, probabilmente favorito dalla maggiore abbondanza di particolato crostale in grado di fungere da substrato per i processi di deposizione o nucleazione dei solfati secondari (Figura 4).

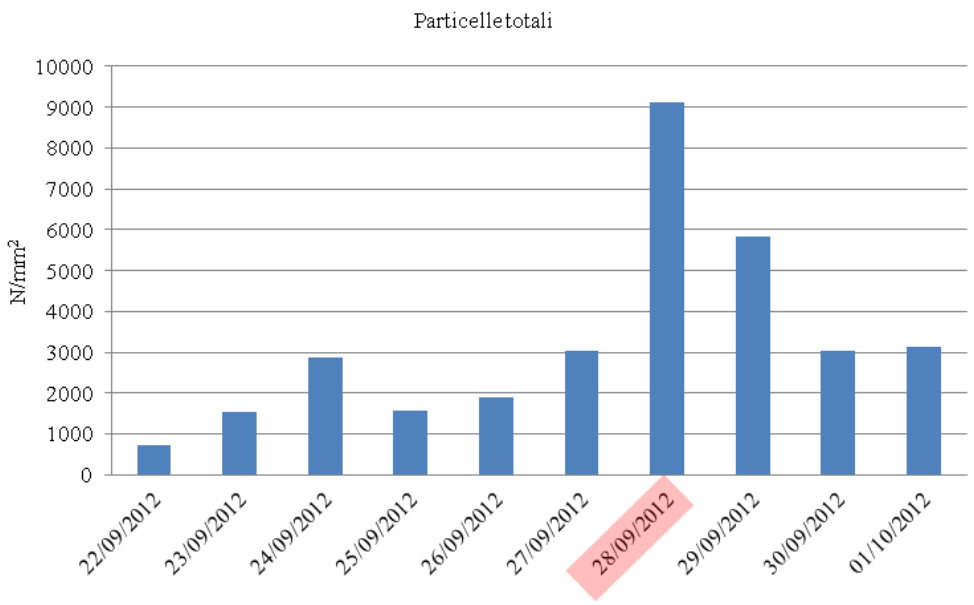


Figura 1: *Trend temporale dei quantitativi di particelle totali di diametro ≥ 0.7µm. Le quantità sono calcolate come rapporto tra il numero di particelle osservate e l'area della superficie di filtro scansionata al microscopio elettronico. In rosso è evidenziata la data dell'evento di flaring al COVA.*

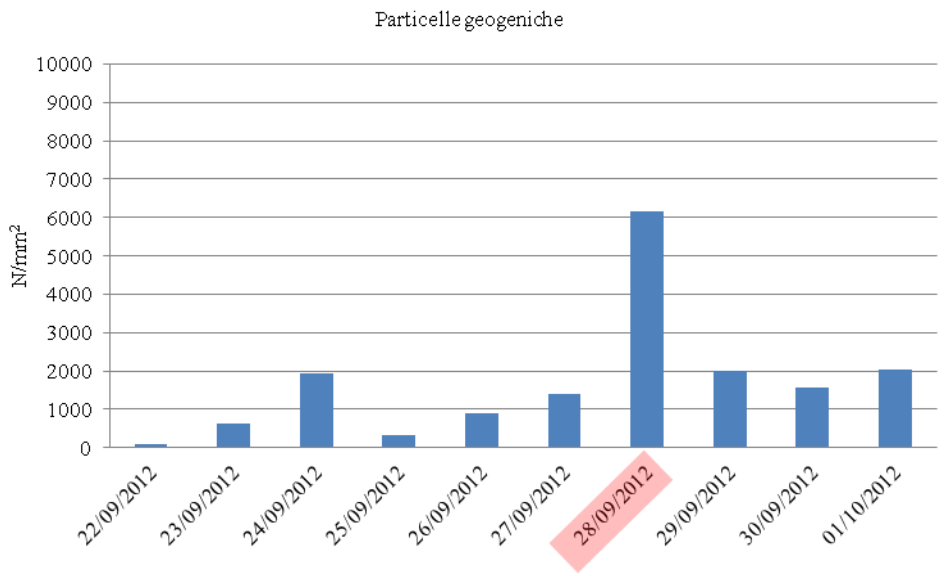


Figura 2: *Trend temporale dei quantitativi di particelle geogeniche di diametro ≥ 0.7µm. Le quantità sono calcolate come rapporto tra il numero di particelle osservate e l'area della superficie di filtro scansionata al microscopio elettronico. In rosso è evidenziata la data dell'evento di flaring al COVA.*

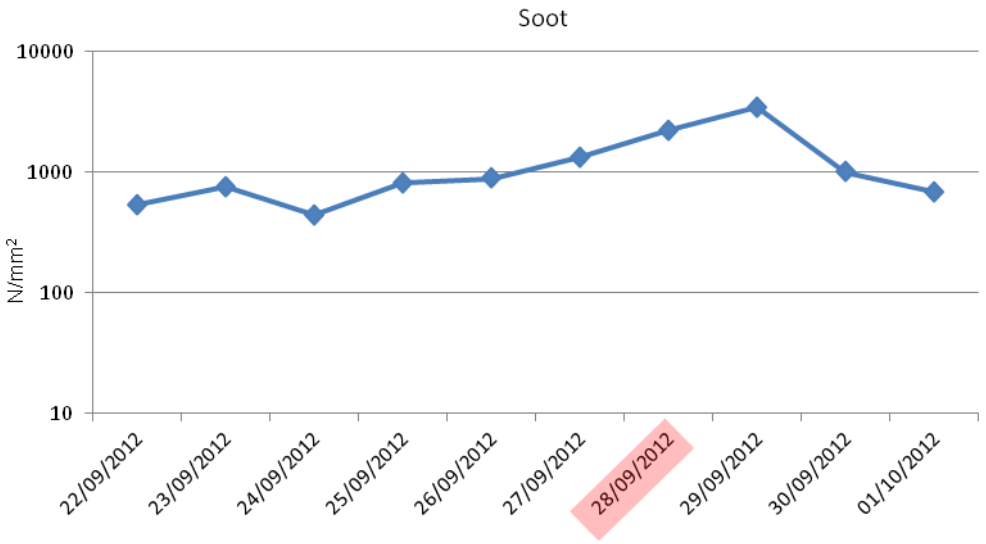


Figura 3: *Trend temporale dei quantitativi di soot nella frazione ≥ 0.7µm. Le quantità sono calcolate come rapporto tra il numero di particelle osservate e l'area della superficie di filtro scansionata al microscopio elettronico. In rosso è evidenziata la data dell'evento di flaring al COVA.*

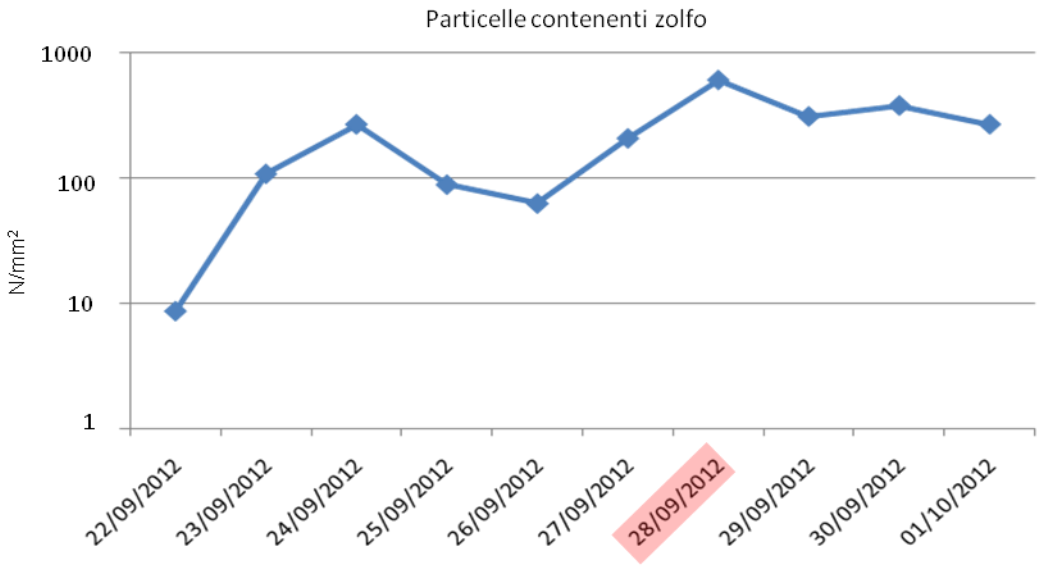


Figura 4: *Trend temporale dei quantitativi di particelle contenenti zolfo nella frazione ≥ 0.7µm. Le quantità sono calcolate come rapporto tra il numero di particelle osservate e l'area della superficie di filtro scansionata. In rosso è evidenziata la data dell'evento di flaring al COVA.*

L'evento di trasporto sahariano in atto nel periodo di osservazione sembra, quindi, giocare un ruolo importante non solo nell'incremento del particolato geogenico, ma anche nell'apporto di particelle antropiche alloctone e nella formazione delle particelle miste contenenti zolfo. Queste ultime rappresentano una componente non trascurabile del particolato osservato e sono indicative della presenza di zolfo in atmosfera.

A.2 Caratterizzazione geochimica ed idrogeochimica di sedimenti e acque di falda.

Per quanto riguarda le matrici sedimenti e acque di falda, le stratigrafie messe a disposizione da ENI S.p.A., relative ai sondaggi attrezzati a piezometro lungo il perimetro esterno del COVA (la cui ubicazione è indicata in Figura 5), hanno consentito una prima ricostruzione litostratigrafica dell'area e la definizione di un **modello preliminare dell'acquifero di fondovalle.**

Figura 5: *Ubicazione dei piezometri di monitoraggio ARPA Basilicata/ENI S.p.A. lungo il perimetro esterno del COVA. Immagine satellitare tratta da Google Earth.*

Da tali stratigrafie non si osservano significative variazioni litologiche tra i vari punti di monitoraggio e si evince come l'intera area interessata dal COVA sia caratterizzata da terreni ascrivibili a **depositi alluvionali** costituiti da limi sabbiosi, sabbie limose e ghiaie in matrice sabbiosa su argille consistenti o limi argillosi da poco a mediamente consistenti. I terreni prevalentemente sabbioso-ghiaiosi più permeabili fungono da acquifero e sono tamponati dai terreni argilloso-limosi meno permeabili (Figura 6).

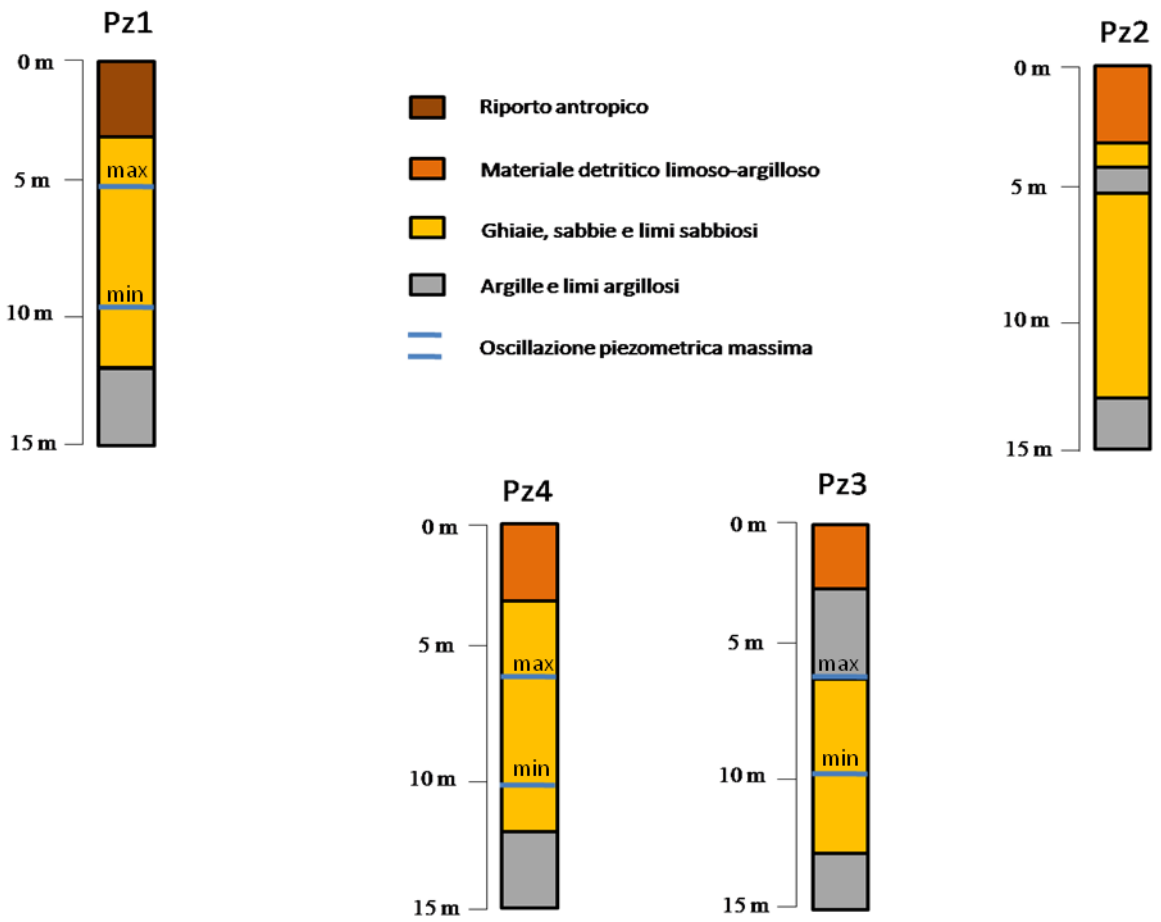


***Figura 6**: Colonne stratigrafiche schematiche ricavate dalle stratigrafie ENI S.p.A. dei sondaggi attrezzati con piezometro ubicati lungo il perimetro COVA. L'oscillazione piezometrica massima è desunta dai dati freatimetrici forniti da ENI S.p.A. e fa riferimento al periodo compreso tra giugno 2011 e settembre 2013.*

I dati idrogeochimici disponibili ed elaborati presso l'OAVDA, relativi alle analisi condotte da ARPA Basilicata sulle acque di falda prelevate in corrispondenza dei medesimi piezometri di monitoraggio, coprono un periodo compreso tra giugno 2011 e settembre 2013, con una lacuna intermedia di pochi mesi. Alcuni dati successivi al mese di settembre 2013 sono attualmente in fase di elaborazione. Lo studio di tale serie temporale ha messo in evidenza concentrazioni di **manganese** e **solfati** talora superiori alle **Concentrazioni Soglia di Contaminazione** ex D.Lgs. 152/2006 (a seguire CSC). Per questo motivo, si è deciso di soffermare l'attenzione su tali componenti. Relativamente ai solfati, le acque di falda hanno mostrato concentrazioni fortemente variabili, sia dal punto di vista spaziale che delle oscillazioni temporali (queste ultime molto marcate nel piezometro Pz4). L'andamento di tali concentrazioni è analogo a quello della **conducibilità elettrica**, misura indiretta della salinità delle acque. In particolare, si nota come, a partire dal mese di aprile 2012, le acque del piezometro Pz4 vengano interessate da un brusco incremento dei valori di solfati e di salinità, fino al raggiungimento di caratteristiche analoghe a quelle del piezometro Pz3, allineandosi a queste anche nel successivo *trend* temporale (Figura 7 e

Figura 8). Le serie temporali finora a disposizione, tuttavia, non hanno permesso di riconoscere una particolare stagionalità, né di fare ipotesi circa l'origine di queste elevate concentrazioni di solfati.

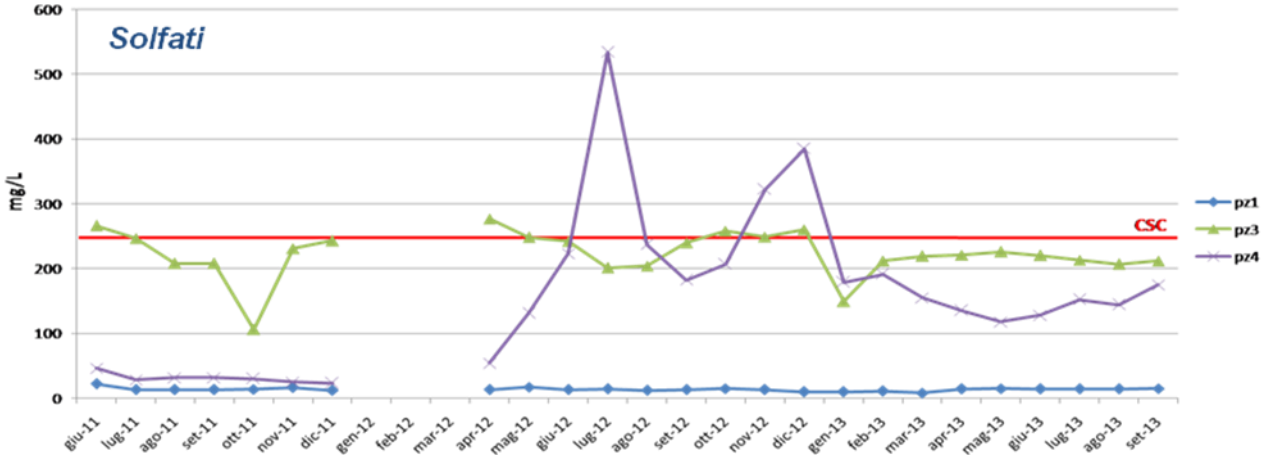


Figura 7: *Trend temporali delle concentrazioni di solfati nelle acque di falda dei diversi piezometri di monitoraggio. Fonte ARPA Basilicata, dati disponibili ed elaborati presso l'OAVDA.*

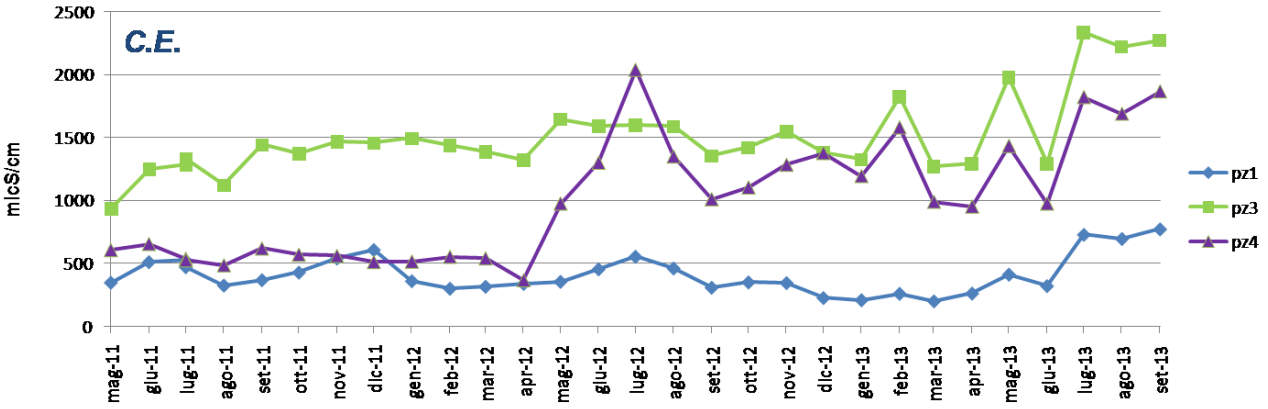


Figura 8: *Trend temporali della conducibilità elettrica (C.E.) nelle acque di falda dei diversi piezometri di monitoraggio. Fonte ENI S.p.A., dati elaborati presso l'OAVDA.*

Per quanto riguarda il manganese, le concentrazioni più elevate si osservano all'inizio del periodo di riferimento, contestualmente a valori prevalentemente negativi di **Eh** (Figura 9 e Figura 10), indicativi di condizioni riducenti potenzialmente in grado di favorire la mobilità del manganese in fase acquosa (Hem, 1978; Hem, 1981). Analogamente, la diminuzione di manganese disciolto, soprattutto a partire dall'estate 2012, si accompagna a valori di Eh nuovamente positivi. Allo stato attuale non è possibile, tuttavia, discriminare tra **componente antropogenica e geogenica** della contaminazione in manganese, né di fare delle ipotesi circa le cause che hanno potuto favorire l'instaurarsi delle suddette condizioni riducenti e su quanto esse possano aver influito sul rilascio del manganese stesso. L'esecuzione di ulteriori studi ed analisi, la disponibilità di un periodo di osservazione più prolungato e la predisposizione di attività sperimentali in grado di riprodurre in

laboratorio i processi di interazione acqua-roccia *in situ*, permetterebbero di approfondire tale problematica e di effettuare delle ipotesi in riferimento all'origine del manganese.

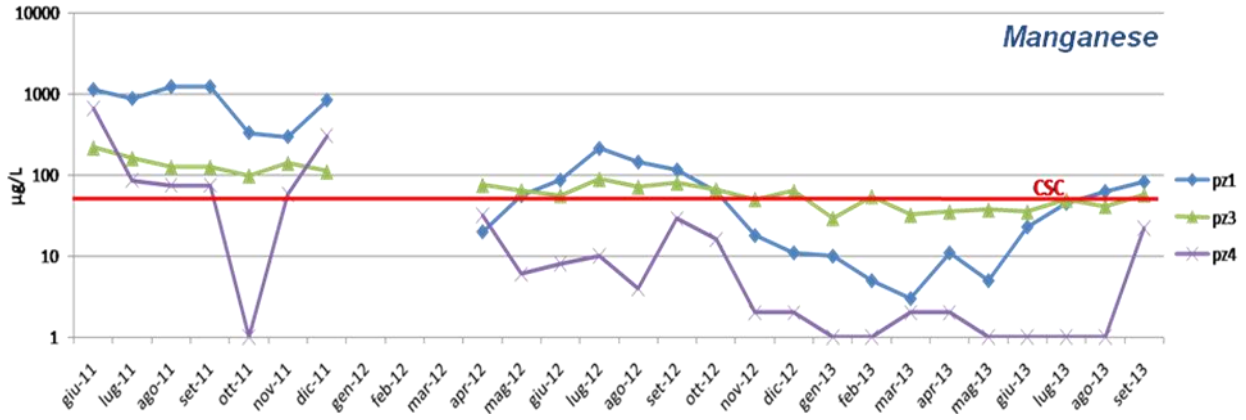


Figura 9: *Trend temporali delle concentrazioni di manganese nelle acque di falda dei diversi piezometri di monitoraggio. Fonte ARPA Basilicata, dati disponibili ed elaborati presso l'OAVDA.*

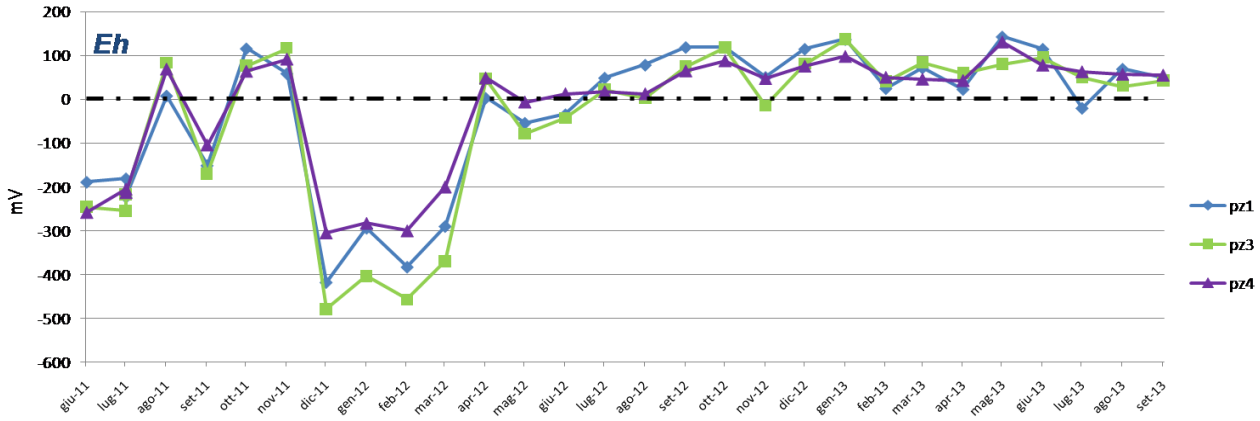


Figura 10 : *Trend temporali di Eh nelle acque di falda dei diversi piezometri di monitoraggio. Fonte ENI S.p.A., dati elaborati presso l'OAVDA.*

La Valle del Cavolo, in agro di Tramutola, è stata individuata quale ulteriore area di particolare rilevanza rispetto alle problematiche inerenti ai processi di potenziale **contaminazione naturale e antropica** delle matrici acqua e sedimenti. La valle, in destra orografica del fiume Agri, è nota, infatti, per la presenza di **sorgenti naturali d'acqua mista ad idrocarburi**. La presenza di queste sorgenti naturali ha fatto sì che già a partire dal 1933 l'AGIP (Azienda Generale Italiana Petroli) desse inizio ad una campagna di studi geologici che portarono al rinvenimento, nel 1937, del relativo giacimento di Tramutola e alle successive attività di ricerca e coltivazione durate fino agli anni '50. I rilievi di campagna effettuati sulla zona caratterizzata dalle manifestazioni petrolifere hanno messo in evidenza la presenza di pozze d'acqua e ruscelli che presentano segni inequivocabili di un significativo contenuto in idrocarburi e composti dello zolfo, che si manifesta

sia in termini odorigeni (marcato odore di zolfo) che visivi (es. iridescenze sulla superficie dell'acqua, precipitati e rivestimenti catramosi sul fondo e lungo le sponde). È, inoltre, da sottolineare come almeno una di queste emergenze sorgentizie presenti carattere perenne ed alimenti un ruscello di discreta portata che si riversa nel torrente Cavolo, a sua volta affluente del fiume Agri (Figura 11).

Figura 11: *Sorgente Acqua Zolfresca, in sinistra orografica del Torrente Cavolo.*

I rilievi eseguiti sulle aree interessate dalle attività estrattive dismesse degli anni'50, nei pressi dell'abitato di Tramutola, hanno invece evidenziato la presenza di siti con antiche opere di captazione di idrocarburi ancora accessibili e fanghi solidificati presumibilmente legati alle suddette attività, che si presentano nella forma di **"crostoni"**, costituenti un *top soil* di origine antropica (Figura 12). Spesso questi siti si caratterizzano anche per una evidente scarsità di copertura vegetazionale, rispetto alle aree immediatamente limitrofe, il che lascia ipotizzare una **modificazione delle caratteristiche geopedologiche** dei terreni in grado di svolgere anche un'**azione limitante rispetto alla crescita delle specie vegetali dell'area**.

Figura 12: *Crostoni in agro di Tramutola.*

A.3. Studio di fenomeni franosi con un approccio multidisciplinare finalizzato alla individuazione di possibili fattori di rischio granulometrici, geochimici e minero-petrografici.

L'area pilota prescelta, sita in località Verdesca, in prossimità dell'abitato di Montemurro, è interessata da una frana storica che ha mostrato, recentemente, evidenti segni di attività, come testimoniato dai danni strutturali a carico delle infrastrutture e dei manufatti antropici che insistono sull'area interessata dal dissesto e da evidenze geomorfologiche superficiali (Figura 13). Nonostante i numerosi studi e le indagini pregresse eseguite sull'area, i meccanismi e le cause di movimento non sono stati ancora del tutto chiariti e la profondità delle zone di scorrimento non individuata con certezza. Lo scopo delle attività svolte è quello di dare un contributo in tal senso, oltre che di individuare possibili fattori di rischio granulometrico, geochimico e mineralogico rispetto alla stabilità dei versanti, così come già riscontrato in studi precedenti condotti in altre aree pilota della Basilicata (Summa et al., 2007; 2008; 2010).

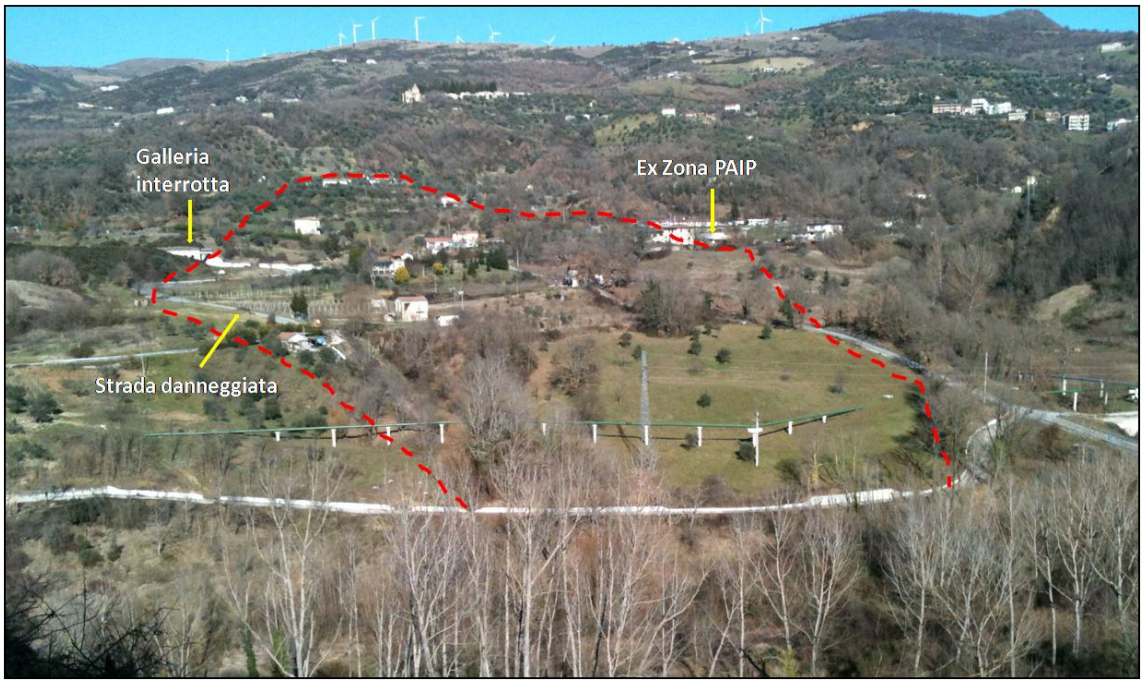


Figura 13: *Località Verdesca (Montemurro). La linea tratteggiata in rosso indica il perimetro dell'area in frana.*

Sono state redatte una carta geologica ed una carta geomorfologica dell'area, sulla base dei rilievi di campagna e delle osservazioni stereoscopiche di foto aeree e sono state effettuate misure termo-conduttivimetriche sulle acque circolanti e misure TDR (*Time Domain Reflectrometry*) in corrispondenza dei due sondaggi geognostici eseguiti. La rottura del tubo inclinometrico in un sondaggio preesistente eseguito dall'Amministrazione Provinciale di Potenza ha permesso di individuare una possibile zona di scorrimento ad una profondità di circa 14.5 m dal piano campagna. Le misure freatimetriche condotte in corrispondenza del periodo di minima e massima

ricarica della falda (rispettivamente settembre 2012 e maggio 2013) hanno evidenziato come le oscillazioni stagionali siano minime e il livello di falda si attesti spesso in prossimità del piano campagna, soprattutto in corrispondenza delle aree interessate dalle maggiori evidenze superficiali di instabilità. L'analisi chimica delle acque circolanti nei terreni in frana, prelevate in corrispondenza dei sondaggi geognostici e di una vicina sorgente, ha consentito di attribuire le stesse alla *facies* bicarbonato-calcica.

Si è proceduto ad una **caratterizzazione stratigrafica di dettaglio** dei terreni in frana, attraverso l'osservazione macroscopica delle carote geognostiche e sono state condotte, sui campioni prelevati, **analisi granulometriche, geochimiche e mineralogiche**. Tale caratterizzazione ha permesso di individuare importanti **anomalie composizionali** in corrispondenza della zona di scorrimento ipotizzata, sia in termini granulometrici che geochimico-mineralogici. In particolare, la **frazione limosa medio-fine**, la ***clay fraction***, gli ***sheet silicates***, la **sostanza organica** e la **capacità di scambio cationico** aumentano sensibilmente in corrispondenza della zona di scorrimento (Figura 14).

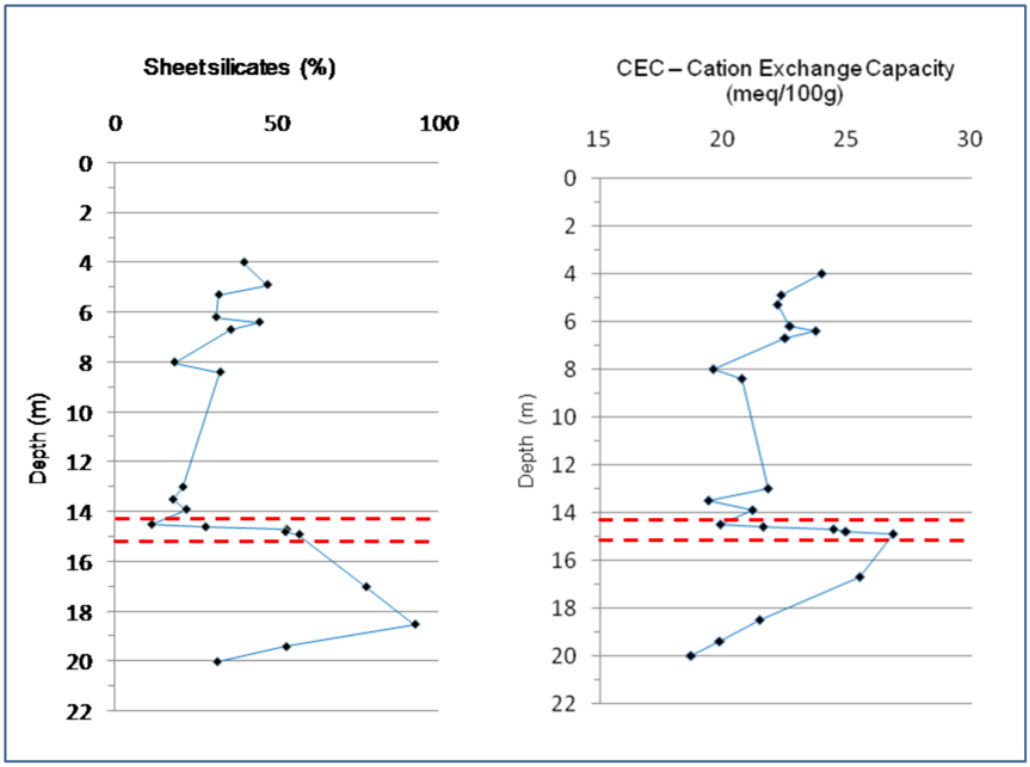


Figura 14: *Esempio di anomalie composizionali in corrispondenza della zona di scorrimento (da Summa et al., 2014, modificata).*

La sperimentazione di laboratorio in corso, finalizzata alla definizione dei caratteri fisico-meccanici dei terreni interessati dal movimento franoso, in termini di caratteristiche di plasticità e resistenza al taglio residua, ha consentito finora di individuare alcune correlazioni statisticamente

significative tra i medesimi caratteri granulometrici, geochimici e mineralogici e le corrispondenti proprietà fisico-meccaniche. Questo ha permesso di riconoscere in tali caratteri composizionali dei possibili fattori in grado di influenzare la franosità dell'area oggetto di studio.

Sviluppi futuri

Per quanto riguarda lo studio del particolato atmosferico, ulteriori osservazioni, più lunghe nel tempo e condotte in condizioni ambientali e climatiche differenti (contemporanea assenza di *flaring* e *dust* sahariano e presenza singola di uno dei due eventi), consentiranno di verificare molte delle ipotesi effettuate e di comprendere meglio quanto gli eventi di *flaring* siano in grado di influenzare lo stato di qualità ambientale nelle aree circostanti la sorgente di emissione, discriminando, sia per il **particolato misto** che per quello **antropogenico di origine combustiva**, il **contributo autoctono** (effettivamente legato alle attività antropiche in Val d'Agri) da quello **alloctono** (legato agli eventi sahariani). Tutto ciò potrà dare anche un contributo importante alla implementazione di un **indice di qualità dell'aria** che prenda in considerazione eventuali **fattori geochimico-mineralogici** specifici per la Val d'Agri.

Relativamente alla caratterizzazione geochimica ed idrogeochimica dei sedimenti e delle acque di falda dell'area del COVA, soprattutto rispetto alla problematica inerente alla contaminazione da manganese e solfati, sarà di fondamentale importanza la disponibilità di serie temporali più lunghe e di ulteriori campioni di acqua e sedimenti (prelevati anche a maggiore profondità), da sottoporre ad analisi composizionale e test di laboratorio. La realizzazione di nuovi sondaggi geognostici, in corrispondenza dei quali effettuare ulteriori prelievi della matrice solida e acquosa, e la predisposizione di modelli di simulazione in laboratorio, infatti, consentirebbero una più accurata valutazione dei **processi di migrazione idroveicolata degli agenti contaminanti** e, più in generale, dei **processi di interazione acqua-roccia**, nonché la definizione della **mobilità geochimica** degli elementi correlati alle fasi minerali ed organiche dei sedimenti, in grado di condizionare anche la qualità idrogeochimica della acque sotterranee.

Nella Valle del Cavolo, la realizzazione di uno o più profili litostratigrafici in corrispondenza dei siti estrattivi dismessi, con il prelievo di campioni di *top soil* ("crostoni") e sedimenti a differente profondità, la caratterizzazione chimica e mineralogica degli stessi e la predisposizione di test di laboratorio finalizzati a valutare la mobilità geochimica dei diversi elementi chimici, consentiranno una valutazione dei **processi di mobilizzazione** degli eventuali agenti contaminanti dall'orizzonte più superficiale a quelli più profondi.

In generale, sarebbe inoltre auspicabile un monitoraggio più ampio che permetta di ottenere un quadro esaustivo delle caratteristiche idrogeochimiche delle falde acquifere dell'Alta Val d'Agri,

con riferimento, quindi, non soltanto agli acquiferi alluvionali di fondovalle, ma anche a quelli prevalentemente carbonatici o arenacei dei rilievi adiacenti. Un monitoraggio idrogeochimico e idrometrico delle sorgenti disposte lungo la zona pedemontana e la dorsale montuosa sovrastante sarebbe di grande utilità nell'ottica di una valutazione della vulnerabilità degli acquiferi montani, in corrispondenza dei quali sono localizzati la maggior parte dei punti d'estrazione di idrocarburi.

Lo stesso approccio metodologico, in termini di caratterizzazione geochimica e minero-petrografica delle diverse matrici ambientali (acqua, sedimenti e particolato atmosferico), potrebbe essere applicato anche alle aree destinate, in un prossimo futuro, alla realizzazione di **nuovi siti estrattivi** o alla realizzazione del nuovo **centro di pretrattamento di Tempa Rossa**, al fine di realizzare un **bianco** ed avere, quindi, un punto zero rispetto al quale valutare l'evoluzione qualitativa delle caratteristiche composizionali di particolato atmosferico, acque e sedimenti durante la fase di attivazione ed entrata in regime delle suddette attività. Questo consentirà per tali aree una più facile ed immediata **discriminazione tra contributi antropici e naturali di eventuali fenomeni di contaminazione a carico delle matrici ambientali.**

Riferimenti bibliografici

Alastuey, A., Querol, X., Rodriguez, S., Plana, F., Lopez-Soler, A., Ruiz, C., and Mantilla, E.: Monitoring of atmospheric particulate matter around sources of secondary inorganic aerosol., Atmos. Environ., 38, 4979-4992, 2004.

Almeida, S. M., Pio, C. A., Freitas, M. C., Reis, M. A., and Trancoso, M. A.: Source apportionment of fine and coarse particulate matter in a sub-urban area at the Western European Coast, Atmos. Environ., 39, 3127–3138, 2005.

Baek, B. H., Aneja, V. P., and Tong, Q.: Chemical coupling between ammonia, acid gases, and fine particles, Environ. Pollut., 129, 89–98, 2004.

Finlayson-Pitts, B. J., and Hemminger, J. C.: Physical chemistry of airborne sea salt particles and their component, J. Phys. Chem. A, 104 (49), 11463-11477, 2000.

Han, Y. M., Cao, J. J., Lee, S. C., Ho, K. F., and An, Z. S.: Different characteristics of char and soot in the atmosphere and their ratio as an indicator for source identification in Xi'an, China, Atmos. Chem. Phys., 10, 595-607, 2010.

Harrison, R. M., Msibi, M. I., Kitto, A.-M. N., and Yamulki, S.: Atmospheric chemical transformations of nitrogen compounds measured in the North Sea experiment, September 1991, Atmos. Environ., 28, 1593–1599, 1994.

Harrison, R. M., and Pio, C.A.: Size-differentiated composition of inorganic atmosphere aerosols of both marine and polluted continental origin, Atmos. Environ., 17, 1733–1783, 1983.

Hem, J: Redox processes at surfaces of manganese oxide and their effects on aqueous metal ions, Chemical Geology, 21, 199-218, 1978.

Hem, J.: Rates of manganese oxidation in aqueous systems, Geochimica et Cosmochimica Acta, 45, 1369-1374, 1981.

Kandler, K., Benker, N., Bundke, U., Cuevas, E., Ebert M., Knippertz, P., Rodríguez, S., Schütz, L., and Weinbruch, S.: Chemical composition and complex refractive index of Saharan Mineral Dust at Izana, Tenerife (Spain) derived by electron microscopy, Atmos. Environ., 41, 8058-8074, 2007.

Korhonen, P., Kulmala, M., Laaksonen, A., Viisanen, Y., McGraw, R., and Seinfeld, J. H.: Ternary nucleation of H2SO4, NH3 e H2O in the atmosphere, J. Geophys. Research, 104, 26349-26353, 1999.

Kuhns, H., Bohdan, V., Chow, J. C., Etyemezian, V., Green, M. C., Herlocker, D., Kohl, S., Mc Gown, M., Ramsdell, J., Stockwell, W. R., Toole, M., and Watson, J.: The Treasure Valley secondary aerosol study I: measurements

and equilibrium modeling of inorganic secondary aerosols and precursors for southwestern Idaho, Atmos. Environ., 37, 511–524, 2003.

Laskin, A., Iedema, M. J., and Cowin, J. P.: Quantitative Time-Resolved Monitoring of Nitrate Formation in Sea Salt Particles Usinga CCSEM/EDX Single Particle Analysis, Environ. Sci. Technol., 36, 4948-4955, 2002.

Meszaros, E.: Fundamentals of Atmospheric Aerosol Chemistry, Akademiai Kiado, Budapest, 308 pp., 1999.

Querol, X., Alastuey, A., Lopez-Soler, A., Plana, F., Puicercus, J. A., Ruiz, C. R., Mantilla, E., and Juan, R.: Seasonal evolution of the atmospheric suspended particles around a coal fired power station: chemical characterization, Atmos. Environ., 32 (4), 719–731, 1988.

Savoie, D. L. and Prospero, J. M.: Particle size distribution of nitrate and sulfate in the marine atmosphere, Geophys. Res. Lett., 9, 1207–1210, 1982.

Summa, V., Colaiacovo, R., Giannossi, M. L., Margiotta, S.: Integrated Study of Landslides in the Southern Apennines (Val d'Agri, Basilicata Region) Using a Multidisciplinary Approach. Engineering Geology for Society and Territory – Volume 5, 401 - 404, G. Lollino et al. Eds., Springer International Publishing Switzerland, 2014.

Summa, V., Tateo, F., Bochicchio, A., De Santis, F., Giannossi, M. L., Margiotta, S., and Renna A.: Relazione finale di progetto. Monitoraggio e studio dei processi di alterazione dei terreni in frana presenti nei centri abitati di Grassano, Latronico e Tricarico, Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto di Metodologie per l'Analisi Ambientale, Tito Scalo (Potenza), Italy, 2008.

Summa, V., Tateo, F., Giannossi, M. L., and Bochicchio, A.: Relazione finale di progetto. Monitoraggio della frana di Costa della Gaveta del Comune di Potenza. Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto di Metodologie per l'Analisi Ambientale, Tito Scalo (Potenza), Italy, 2007.

Summa, V., Tateo, F., Giannossi, M. L., and Bonelli, C.G.: Influence of clay mineralogy on the stability of a landslide in Plio-Pleistocene clay sediments near Grassano (Southern Italy), Catena, 80, 75-85, 2010.

Vester, B. P., Ebert, M., Barnert, E., Schneider, J., Kandler, K, Schutz, L., Weinbruch, S.: Composition and mixing state of the urban background aerosol in the Rhein main area (Germany), Atmos. Environ., 41, 6102-6115, 2007.

Wolff, G. T.: Particulate elemental carbon in the atmosphere, Journal of the Air Pollution Control Association, 31, 935-938, 1981.

Zhuang, H., Chan, C. K., Fang, M., and Wexler, A. S.: Formation of nitrate and non sea-salt sulfate on coarse particles, Atmos. Environ., 33, 4223–4233, 1999.

II.2. SISTEMA PER LO STUDIO DELLA SISMICITÀ LOCALE

II.2.1. METODI GEOFISICI INTEGRATI PER LO STUDIO DI STRUTTURE SISMOGENICHE IN VAL D'AGRI

Dr. Alessandro Giocoli

Premessa

Il progetto "Sistema per lo studio della sismicità locale" è rivolto allo studio della sismicità naturale e indotta in Alta Val d'Agri. Il progetto ha avuto inizio il 2 aprile 2012 ed è stato articolato nelle due attività di ricerca di seguito riportate che sono complementari e nell'insieme consentono lo studio del complesso sistema di possibili relazioni tra sismicità, strutture sismogeniche ed attività antropiche:

- metodi geofisici integrati per lo studio di strutture sismogeniche in Val d'Agri;
- metodi e strumenti innovativi per l'analisi della sismicità locale e dei fenomeni di deformazione superficiale nella Val d'Agri.

Introduzione

È noto nella letteratura scientifica che la sismicità è distinguibile in "*naturale*" e "*indotta*". La **sismicità naturale** è generata da strutture geologiche dette sismogeniche o faglie attive o faglie capaci. L'intera penisola italiana è interessata da diverse strutture sismogeniche, prevalentemente concentrate lungo il settore assiale della catena appenninica, molte delle quali costituiscono sistemi di faglie capaci di generare terremoti la cui stima della magnitudo momento (Mw, Maw, MwM, ecc.) è superiore a M 6 (es. 1456, Molise M 7.2; 1638, Calabria M 7.0; 1703, Appennino umbro-reatino M 6.7; 1857, Basilicata M 7.0; 1887, Liguria occidentale M 6.9; ecc.). La **sismicità indotta**, invece, rappresenta l'insieme di eventi sismici "generati" o "innescati" da attività antropiche, quali, ad esempio: riempimento e variazione del livello d'acqua di grandi invasi; attività d'estrazione di idrocarburi; attività minerarie; estrazione e iniezione di fluidi nel sottosuolo; attività connesse allo sfruttamento dell'energia geotermica; costruzione di grandi infrastrutture; ecc. Ad oggi sono noti numerosi siti in cui è stato dimostrato che la sismicità è indotta da attività antropiche. Uno dei casi più drammatici di sismicità indotta è rappresentato dall'evento sismico di magnitudo M pari a 6.3, avvenuto il 10 dicembre 1967 nella regione di Koyna-Warna in India (Gupta, 1985), a seguito del riempimento di un grande invaso idrico. In numerose ricerche, come quelle condotte da Roeloffs (1988) o da Talwani (1997), sono stati studiati i possibili effetti della presenza di una diga in aree caratterizzate da un diverso assetto geologico-strutturale del sottosuolo. In particolare, lo studio svolto da Roeloffs (1988) ha mostrato come la variazione del livello d'acqua in un invaso di grandi

dimensioni possa essere destabilizzante, divenendo causa o concausa di eventi sismici, o stabilizzante (Figura 1) a seconda della sua ubicazione rispetto a varie tipologie di faglie.

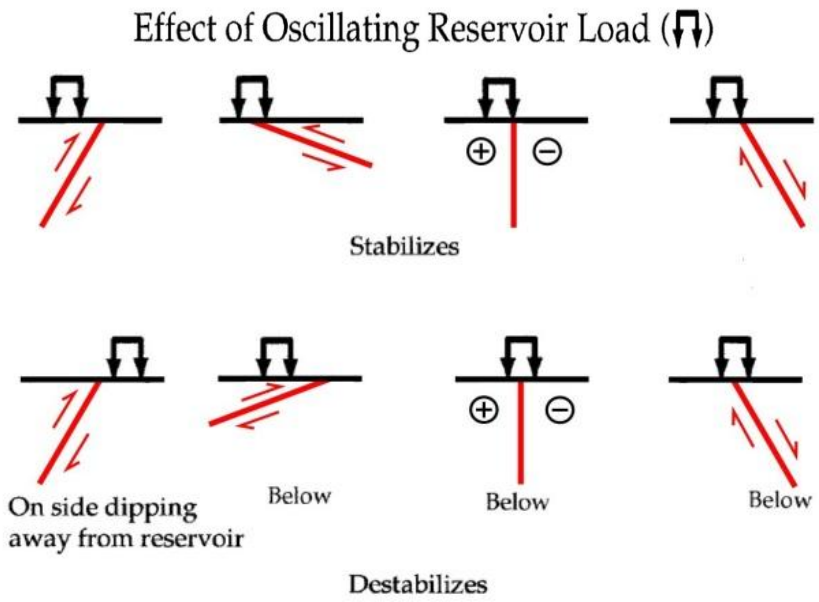


Figura 1: *Diversi effetti di una diga a seconda della sua ubicazione rispetto a varie tipologie di faglie attive. Modificato da Talwani (1997).*

Nei casi in cui le attività antropiche generano eventi sismici, tali eventi possono avere caratteristiche differenti rispetto alla sismicità naturale. In letteratura sono note alcune differenze tra sismicità indotta e naturale. Un esempio di possibile differenza è rappresentato dalla profondità ipocentrale. Rispetto alla sismicità naturale, quella indotta in alcuni casi è più superficiale e, pertanto, a parità di magnitudo può provocare maggiori danni nell'area epicentrale (Figura 2).

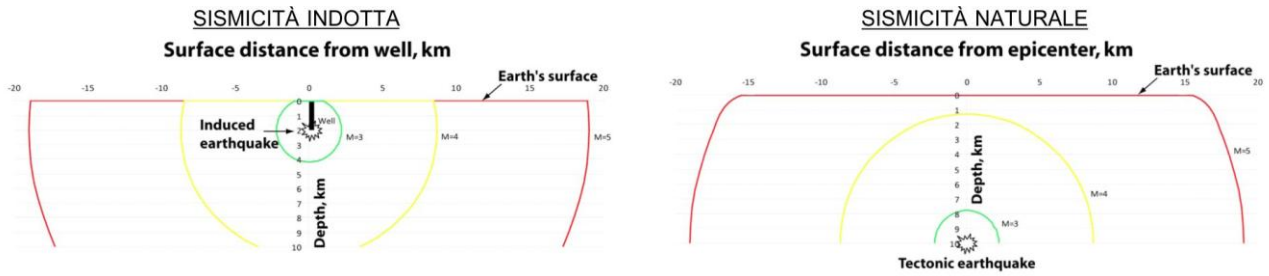


Figura 2: *Possibile differenza tra la profondità ipocentrale della sismicità indotta e naturale. Modificato da National Research Council (2013).*

Quanto sinteticamente premesso mostra la complessità della tematica trattata ed evidenzia, inoltre, l'importanza delle attività di ricerca rivolte allo sviluppo di metodologie integrate per lo studio della sismicità.

Metodologia di studio

Il progetto "Sistema per lo studio della sismicità locale" è rivolto allo studio della sismicità "naturale" e "indotta" in Alta Val d'Agri. Per lo svolgimento delle attività di progetto è stata adottata una metodologia di studio a carattere multidisciplinare che prevede l'analisi congiunta ed integrata di diversi "fattori" ritenuti significativi, quali: la sismicità storico-recente, le strutture sismogeniche e le attività antropiche potenzialmente in grado di generare o innescare eventi sismici. L'analisi congiunta e integrata di diversi dati (es. geologici, sismologici, ecc.) è stata, pertanto, pensata come lo "strumento" necessario per comprendere il complesso sistema di possibili relazioni tra sismicità, strutture sismogeniche ed attività antropiche (Figura 3).

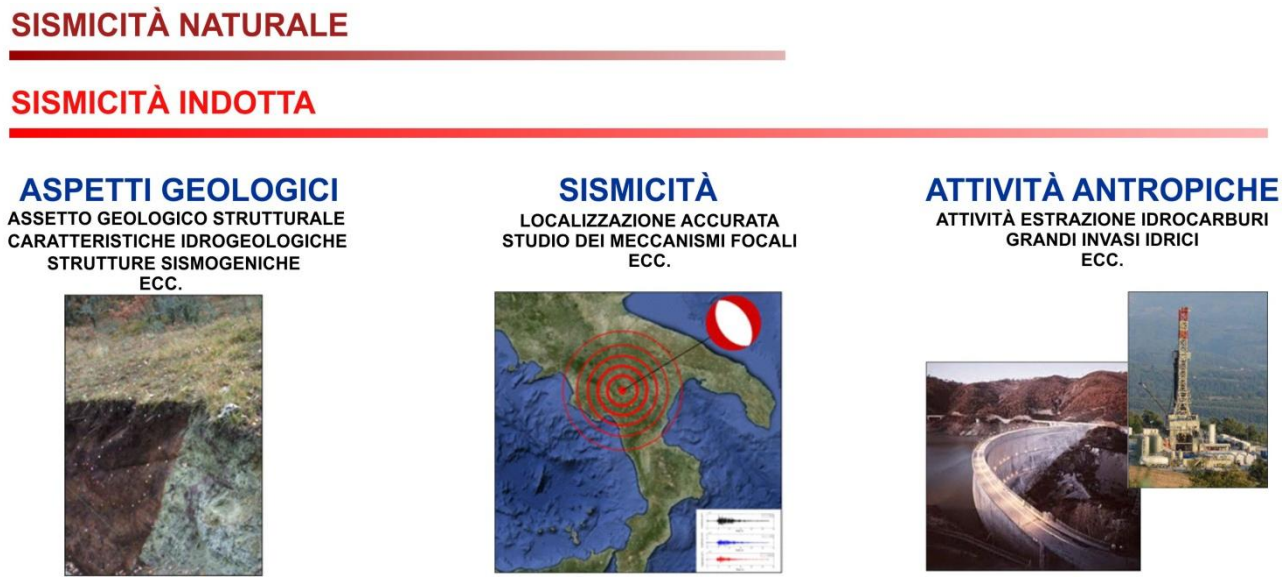


Figura 3: *Schema che riassume i fattori di interesse per lo studio della sismicità naturale e indotta.*

Fattori significativi per lo studio della sismicità naturale e indotta in Alta Val d'Agri

Sismicità storico-recente

È stato realizzato un *database* costituito dai dati: del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI04, Gasperini et al., 2004; CPTI11, Rovida et al., 2011), del Catalogo della Sismicità Italiana (CSI 1.1, http://csi.rm.ingv.it), del Bollettino Sismico Italiano (BSI, http://bollettinosismico.rm.ingv.it), del *database* della rete microsismica dell'ENI S.p.A. (Osservatorio Ambientale della Val d'Agri) e dell'*Italian Seismological Instrumental and parametric Data-base* (ISIDe, http://iside.rm.ingv.it/iside). Tale *database* mostra la sismicità storica e recente per il periodo dal 1759 ad oggi. Ulteriori dettagli del *database* sono riportati nel capitolo II.2.2.

Come riportato in Figura 4A, dal 1759 al 1980, si hanno solo informazioni sulla sismicità storica dell'Alta Val d'Agri, contenute nel catalogo CPTI04 e nella successiva revisione del 2011

(CPTI11). Le prime informazioni sulla sismicità di media e bassa magnitudo sono disponibili a partire dal 1981 con il catalogo CSI 1.1.

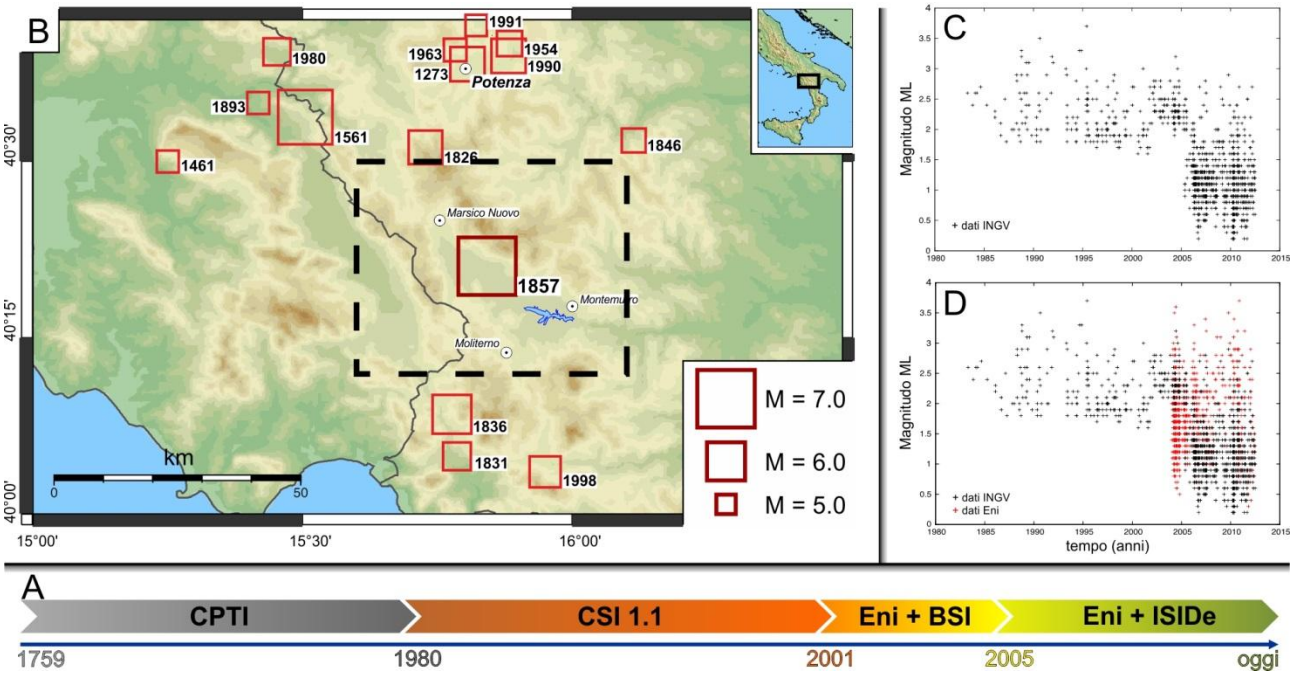


Figura 4: *A) Database della sismicità dell'Alta Val d'Agri (riquadro nero tratteggiato in figura 4B) dal 1759 ad oggi con indicazione cronologica delle fonti utilizzate. B) Sismicità storica. In particolare sono stati evidenziati solo gli eventi sismici di magnitudo M > 5. C) Dati sismici dei cataloghi CSI, BSI e ISIDe. D) Dati sismici dei cataloghi CSI, BSI, ISIDe ed ENI S.p.A.*

La sismicità più significativa, eventi di magnitudo M > 5, è rappresentata da un solo evento sismico noto avvenuto nel 1857 (Mallet, 1862) al quale è stata attribuita una magnitudo M pari a 7 (Figura 4B). I restanti eventi sismici noti, ed in particolare quelli più recenti (dal 1981 ad oggi), sono di bassa magnitudo. Infatti, considerando i dati dei cataloghi dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV), ed in particolare i dati CSI 1.1 (magnitudo locale Ml ≥ 1.7) a partire dal 1981 e ISIDe (Ml ≥ 0.2) dal 16 aprile 2005, si può osservare chiaramente che la sismicità dell'Alta Val d'Agri è rappresentata da eventi sismici di magnitudo Ml < 3.7 (Figura 4C). A partire da luglio 2001 sono disponibili anche i dati della rete dell'ENI S.p.A. (Ml ≥ 0.3) (Figura 4D).

Strutture sismogeniche

Nonostante i numerosi studi noti in letteratura, ancora oggi la struttura sismogenica dell'Alta Val d'Agri è oggetto di dibattito scientifico. Vi sono in letteratura diverse ipotesi. Alcuni autori (Benedetti et al., 1998; Cello et al., 2003; Giano et al., 2000; ecc.) localizzano la struttura sismogenica, con immersione verso SO, lungo il versante nordorientale dell'Alta Val d'Agri (***Eastern Agri Fault System*** **- EAFS** in Figura 5), altri (Pantosti e Valensise 1988; Morandi e

Ceragioli 2002; Maschio et al., 2005; ecc.) la localizzano lungo il versante sudoccidentale con immersione verso NE (**Monti della Maddalena *Fault System* - MMFS** in Figura 5).

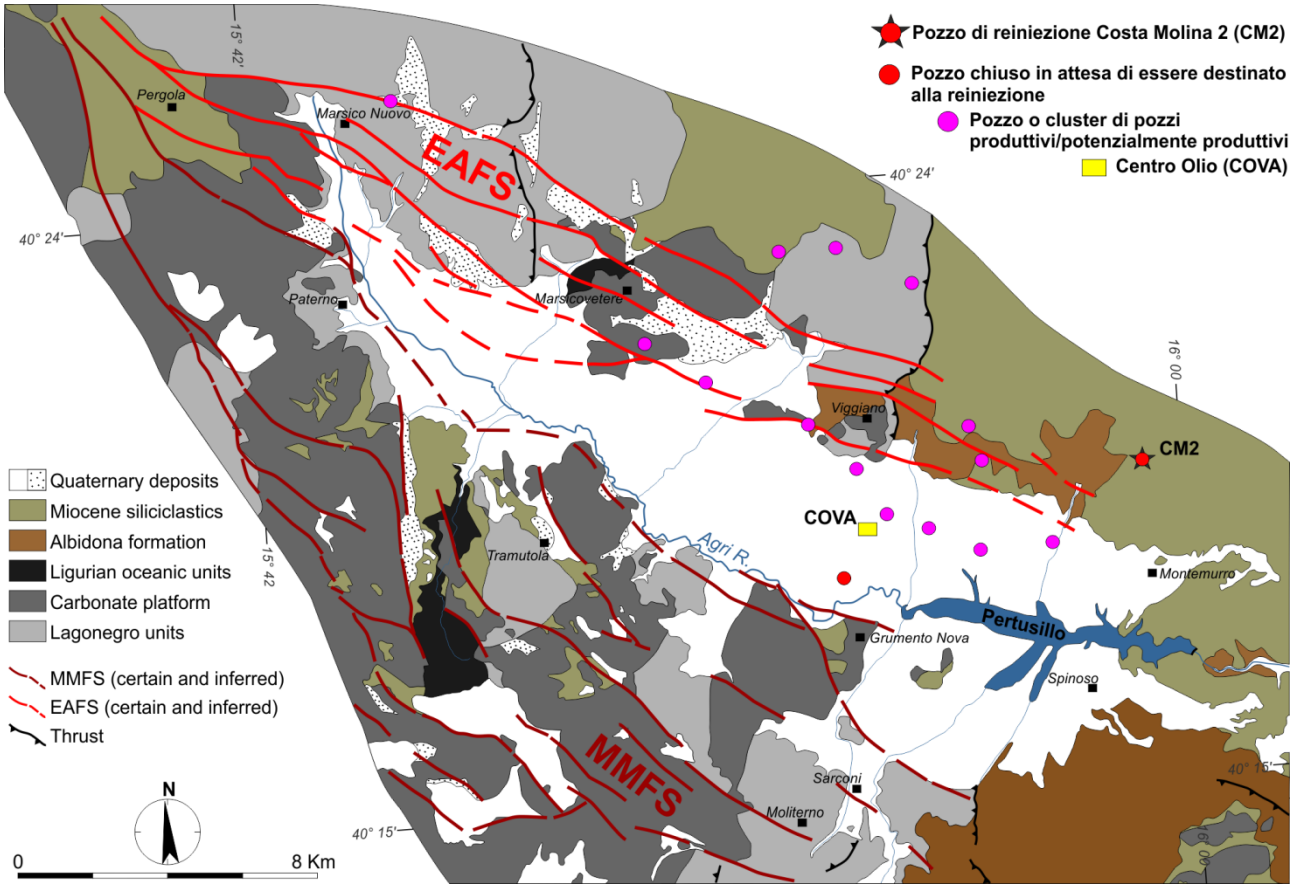


Figura 5: *Mappa dell'Alta Val d'Agri (riquadro nero tratteggiato in Figura 4B) con evidenziati i due sistemi di faglie, Monti della Maddalena Fault System (MMFS) e Eastern Agri Fault System (EAFS).*

Gli studi più recenti condotti sui due sistemi di faglie mettono in evidenza quanto di seguito riportato.

Il **sistema EAFS** è caratterizzato da diversi segmenti di faglia ad andamento appenninico con immersione verso SO. Ancora oggi non sono disponibili dati dettagliati sulla lunghezza complessiva del sistema EAFS. Le uniche informazioni disponibili, derivanti principalmente da studi basati su dati di superficie (es. studi morfostrutturali), hanno messo in evidenza che il sistema EAFS potrebbe avere una lunghezza pari a circa 25 km e si estende lungo il margine nordorientale dell'Alta Val d'Agri, nel settore compreso tra Pergola e Viggiano. In particolare, ci sono in letteratura delle incertezze sul sistema EAFS nel settore compreso tra Viggiano e Montemurro a causa delle poco chiare evidenze superficiali.

Il **sistema MMFS** è riportato nel *Database of Individual Seismogenic Sources* (DISS) *version 3* (http://diss.rm.ingv.it/diss). Esso è costituito da diversi segmenti di faglia ad andamento NO-SE con immersione a NE disposti lungo il margine sudoccidentale dell'Alta Val d'Agri, tra

Pergola e Moliterno, per una lunghezza complessiva pari a circa 25 km. Tra i diversi segmenti di faglia che costituiscono il sistema MMFS, solo un segmento denominato Faglia di Monte Aquila è stato sinora studiato accuratamente mediante l'ausilio di tecniche dirette (trincee e sondaggi) ed indirette (indagini geofisiche) (Improta et al., 2010).

Per comprendere il potenziale sismogenico dei due sistemi di faglie EAFS e MMFS, si possono considerare le note relazioni empiriche tra i parametri di sorgente (magnitudo, lunghezza della rottura, area della rottura, dislocazione in superficie, ecc.) proposte da Wells e Coppersmith (1994). In particolare, la relazione tra magnitudo e lunghezza in superficie di una struttura sismogenica mostra che entrambi i sistemi EAFS e MMFS (lunghezza in superficie 20 - 25 km) sarebbero in grado di generare eventi sismici di magnitudo M massima pari a circa 6.5, ovvero eventi di magnitudo inferiore all'evento sismico del 1857 (Figura 6).

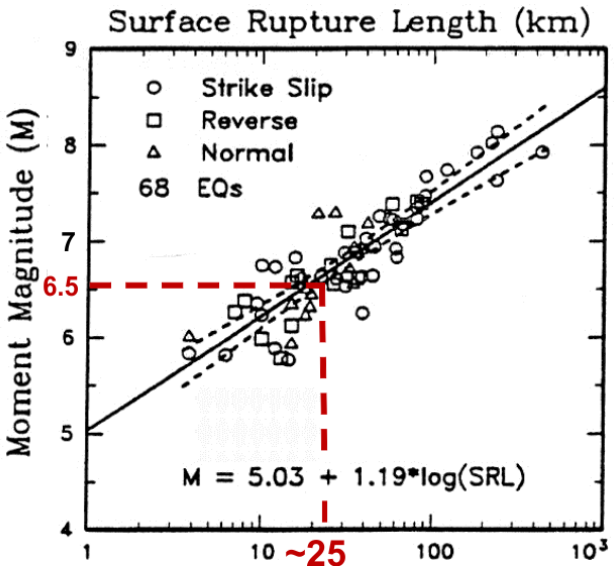


Figura 6: *Relazione tra magnitudo e lunghezza in superficie di una struttura sismogenica. Sistemi di faglie sismogeniche lunghi in superficie 25 km (es. i sistemi di faglia EAFS e MMFS) sono in grado di generare eventi sismici di magnitudo M massima pari a circa 6.5. Modificato da Wells e Coppersmith (1994).*

Attività antropiche potenzialmente in grado di generare o innescare eventi sismici

Nell'area dell'Alta Val d'Agri le attività antropiche potenzialmente in grado di generare eventi sismici sono quelle connesse alla diga del Pertusillo (variazione del livello d'acqua) e all'estrazione di idrocarburi (estrazione e re-iniezione di fluidi nel sottosuolo).

L'invaso del Pertusillo (Figura 7) è ubicato nei territori dei comuni di Grumento Nova, Spinoso e Montemurro. Esso occupa una superficie di 75 km^2 e ha una capacità massima di 155 x 10^6 m^3 di acqua. L'acqua è destinata ad uso irriguo, idroelettrico e potabile. Lo sbarramento, costruito sul corso del fiume Agri tra il 1957 e il 1963 nei pressi della località Pietra del Pertusillo (Comune di Montemurro), è in calcestruzzo di tipo ad arco-gravità con una lunghezza di

coronamento pari a 350 m, altezza di 95 m e una larghezza alla base pari a circa 40 m. I dati del bilancio idrologico giornaliero dell'invaso del Pertusillo sono stati resi disponibili dall'Ente per lo Sviluppo dell'Irrigazione e la Trasformazione Fondiaria.

Figura 7: *Diga del Pertusillo. Sbarramento ad arco-gravità costruito tra il 1957 ed il 1963 (immagine tratta da: http://www.eipli.it/dighe.htm).*

La concessione di coltivazione di idrocarburi liquidi e gassosi Val d'Agri, ha un'estensione di 660.15 km^2 ed interessa il territorio di circa 30 Comuni. La concessione, intestata alle società ENI S.p.A. e Shell Italia E&P, sfrutta il giacimento ad olio più importante d'Italia. Tale giacimento, scoperto nel 1987, è in produzione dal 1993, si trova alla profondità media di 2400 m sotto il livello del mare (piano campagna da 600 a 1300 m s.l.m.) e si estende arealmente per circa 300 km^2. La coltivazione del giacimento della Val d'Agri ha comportato la perforazione di pozzi di accertamento, di esplorazione e di sviluppo. Informazioni aggiornate sulle attività di estrazione di idrocarburi in Val d'Agri, comprese le principali caratteristiche dei pozzi (stato di esercizio, profondità, anno di perforazione, ecc.), sono riportate sul sito *web* dell'Osservatorio Ambientale della Val d'Agri (http://www.osservatoriovaldagri.it). Di particolare interesse per lo studio della sismicità indotta è l'attività di re-iniezione al pozzo Costa Molina 2 (Figura 8) delle acque di strato provenienti dal Centro Olio Val d'Agri.

Figura 8: *Pozzo di re-iniezione Costa Molina 2. Data di inizio dell'attività di re-iniezione delle acque di strato, 2 giugno 2006 (immagine tratta da report ENI S.p.A.).*

Nel mese di ottobre 2013 sono pervenuti alla sede dell'Osservatorio Ambientale della Val d'Agri, a seguito di una richiesta inviata ad ENI S.p.A., i registri di re-iniezione delle acque di strato al pozzo Costa Molina 2 che riportano i dati giornalieri dei volumi re-iniettati, delle ore di pompaggio e delle pressioni di re-iniezione a testa pozzo per il periodo compreso tra giugno 2006 (inizio re-iniezione) e agosto 2013.

Risultati

Sismicità recente e strutture sismogeniche

L'analisi dei dati sulla sismicità recente, ed in particolare quelli successivi all'inizio delle attività antropiche ritenute potenzialmente capaci di indurre o innescare sismicità in Alta Val d'Agri, mostra solo eventi sismici di bassa magnitudo (Ml < 3.7) (Figura 9).

Un'osservazione più accurata dei dati mostra che intorno all'invaso del Pertusillo, sin da luglio 2001 (anno in cui è diventata operativa la rete microsismica dell'ENI S.p.A. in Alta Val d'Agri), vi è una maggiore concentrazione della microsismicità classificabile come sismicità di bassa magnitudo percepibile solo a livello strumentale. In particolare, sono stati identificati due cluster di microsismicità.

Il primo *cluster* (CA in Figura 9B) di microsismicità (Ml ≤ 2.7) è localizzato a sud dell'invaso del Pertusillo e consiste in una sismicità continua indotta dalle variazioni stagionali del livello dell'invaso che sono mediamente pari a circa 10-15 m (Stabile et al., 2014a; Telesca et al., 2014). La profondità media degli eventi sismici è pari a 4-5 km, pertanto gli eventi avvengono principalmente all'interno delle unità alloctone. La Figura 9B mostra che la sismicità indotta interessa il settore terminale meridionale del sistema di faglie MMFS (Giocoli et al., 2012; Stabile et al., 2013; Stabile et al., 2014a) e si distribuisce all'interno di un volume di dimensioni pari a circa 9 km × 4 km × 5 km di profondità, dove il settore terminale del sistema MMFS interseca faglie ad andamento antiappenninico (NO-SE).

Il secondo *cluster* (CB in Figura 9B) di microsismicità (Ml ≤ 2.0) è invece localizzato a Nord dell'invaso del Pertusillo e consiste in una sismicità indotta dall'attività di re-iniezione al pozzo Costa Molina 2 delle acque di strato provenienti dal Centro Olio Val d'Agri. L'attività sismica è iniziata il 6 giugno 2006, quattro giorni dopo l'inizio dell'attività di re-iniezione, e si distribuisce lungo una faglia inedita (Figura 9C) nel territorio di Montemurro con ipocentri compresi tra 2 e 4 km. La struttura è stata denominata Faglia di Montemurro (Figure 9B e 9C) e rappresenta un segmento aggiuntivo terminale del sistema di faglie EAFS (Stabile et al., 2014b; Giocoli et al., 2014).

Maggiori dettagli sulle caratteristiche della sismicità indotta in Alta Val d'Agri e sulla sua evoluzione spazio-temporale sono riportati nel capitolo II.2.2.

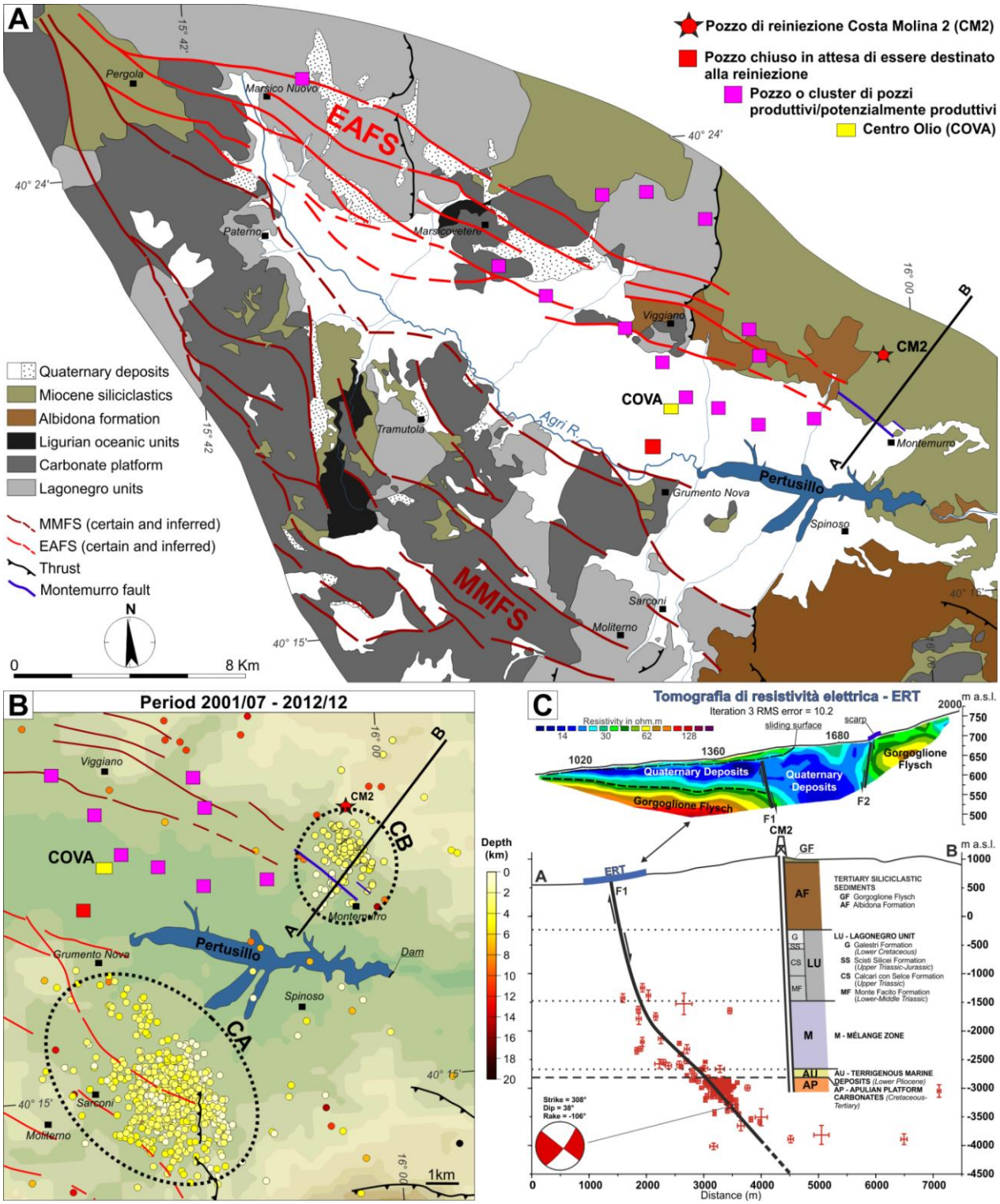


Figura 9: *A) Carta geologica semplificata dell'Alta Val d'Agri con evidenziati i due sistemi di faglie, Monti della Maddalena Fault System (MMFS) e Eastern Agri Fault System (EAFS). B) Microsismicità registrata nel periodo compreso tra luglio 2001 e dicembre 2012. C) In sezione (profilo AB di Figura 9A e 9B) gli eventi sismici (Ml ≤ 2.0) indotti dall'attività di re-iniezione delle acque di strato al pozzo Costa Molina 2 (CM2) si allineano lungo una faglia inedita (F1) investigata integrando indagini geologiche, geofisiche e simologiche. Il 90% degli eventi sismici indotti avviene all'interno del reservoir (unità AP in Figura 9C).*

Sismicità storica M > 5 e strutture sismogeniche

Un'analisi congiunta dei dati disponibili mostra che la sismicità più significativa, eventi di magnitudo M > 5, è avvenuta prima dell'inizio delle attività antropiche che causano sismicità indotta (invaso del Pertusillo e pozzo di re-iniezione Costa Molina 2). In particolare, l'unico evento sismico noto di magnitudo M > 5 è quello avvenuto nel 1857 (M 7) (Figura 10). Tale evento sismico è stato con certezza generato da strutture sismogeniche che interessano il territorio dell'Alta Val d'Agri.

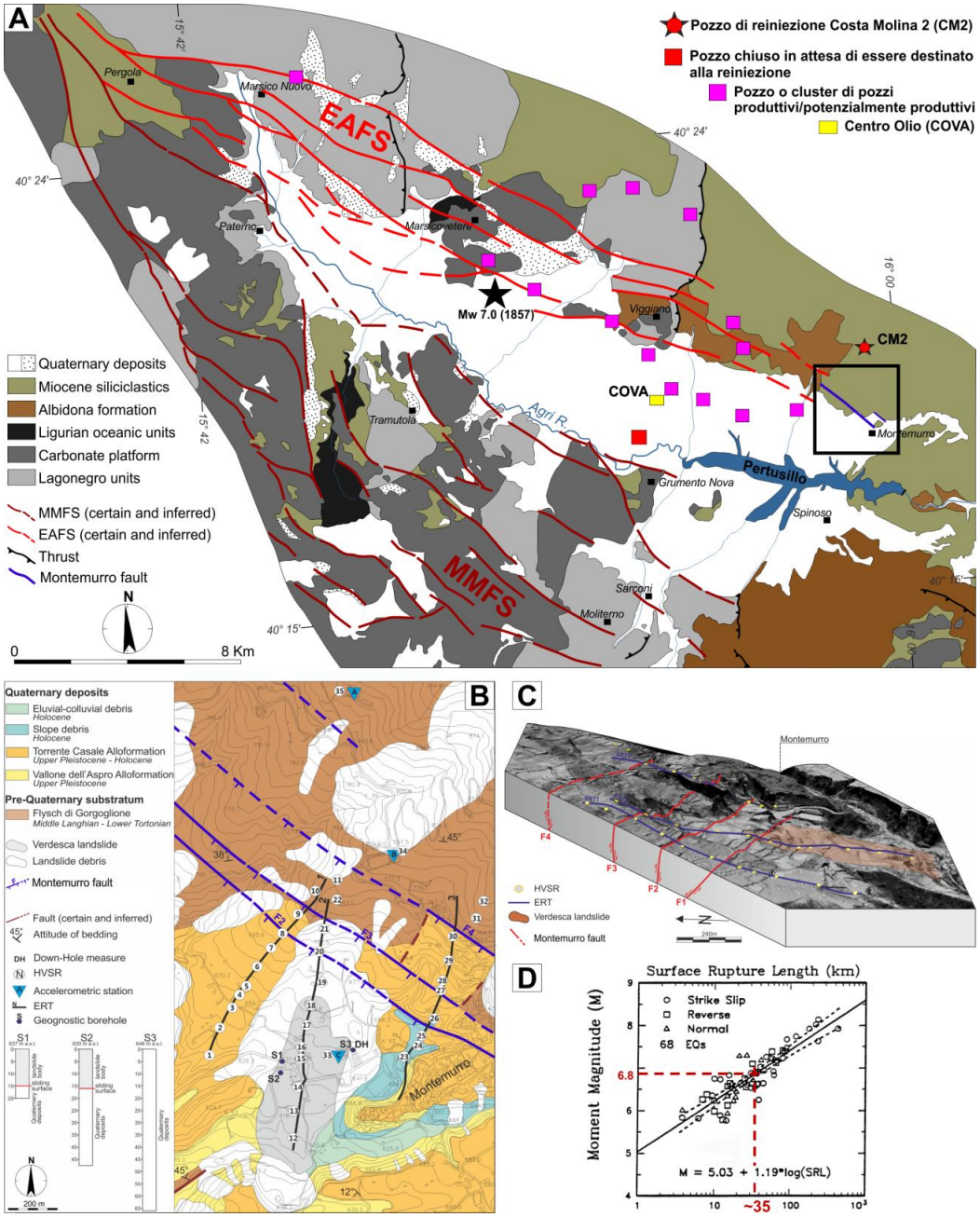


Figura 10: *A) Carta geologica semplificata dell'Alta Val d'Agri. B) Carta geologica dell'area di Montemurro (riquadro in nero in Figura 10A) con evidenziate le ubicazioni delle indagini svolte. ERT, tomografia di resistività elettrica. HVSR, rapporto spettrale delle componenti orizzontali e verticale del rumore sismico ambientale. C) DEM (Digital Elevation Model) dell'area di Montemurro con evidenziata la geometria e l'articolazione della Faglia di Montemurro. D) Relazione tra magnitudo e lunghezza in superficie di una struttura sismogenica.*

Nell'ambito delle attività di progetto è stato investigato il sistema di faglie EAFS. In particolare, sono state eseguite indagini geologiche, sismologiche e geofisiche nel territorio di Montemurro (Figura 10). I risultati ottenuti hanno consentito di localizzare e caratterizzare la Faglia di Montemurro. Tale struttura, a geometria complessa, si ramifica in diversi piani verso la superficie (Figura 10C). Tale faglia è un segmento aggiuntivo terminale del sistema EAFS (Giocoli et al., 2014). Questo risultato consente di estendere il sistema di faglie EAFS fino all'abitato di Montemurro. La lunghezza complessiva del sistema di faglie EAFS è quindi pari a circa 35 km. Nel caso in cui il sistema di faglie EAFS fosse il sistema sismogenico dell'Alta Val d'Agri, esso sarebbe in grado di generare eventi sismici di magnitudo M 6.8 (Figura 10D), ovvero eventi di magnitudo prossime a quella del terremoto del 1857 (M 7).

Sintesi dei risultati e sviluppi futuri

Le attività del progetto di ricerca "Sistema per lo studio della sismicità locale", svolte presso l'Osservatorio Ambientale della Val d'Agri, hanno messo in evidenza che:

1. la metodologia di studio proposta è adeguata per lo studio della sismicità indotta e naturale in Alta Val d'Agri;
2. l'Alta Val d'Agri è interessata sia da sismicità indotta che da sismicità naturale;
3. la sismicità indotta è una sismicità recente di bassa magnitudo (percepibile a livello strumentale) che solo a seguito della realizzazione della diga del Pertusillo (periodo 1957-1963) e dell'inizio dell'attività di re-iniezione al pozzo Costa Molina 2 (2 giugno 2006) ha cominciato ad interessare l'Alta Val d'Agri;
4. le variazioni stagionali del livello dell'invaso del Pertusillo inducono microsismicità (Ml ≤ 2.7) nel settore terminale del sistema di faglie MMFS;
5. l'attività di re-iniezione al pozzo Costa Molina 2 delle acque di strato provenienti dal Centro Olio Val d'Agri induce microsismicità (Ml ≤ 2.0) lungo una faglia inedita che interessa il territorio di Montemurro. La struttura è stata denominata Faglia di Montemurro e rappresenta un segmento aggiuntivo terminale del sistema di faglie EAFS;
6. la sismicità più significativa, eventi di magnitudo M > 5, è avvenuta prima della realizzazione della diga del Pertusillo e dell'inizio dell'attività di re-iniezione delle acque di strato al pozzo Costa Molina 2. Questo tipo di sismicità è generata dal sistema di faglie sismogenico dell'Alta Val d'Agri il cui quadro conoscitivo è ancora da investigare;
7. il sistema di faglie sismogenico dell'Alta Val d'Agri, indipendentemente dalla presenza di attività antropiche che inducono sismicità, è potenzialmente in grado di generare eventi sismici distruttivi come quello avvenuto del 1857 (M 7).

Sulla base dei risultati conseguiti è importante sviluppare le seguenti attività di ricerca:

1. accurato studio geologico, geofisico e paleosismologico per comprendere quale sistema di faglie tra MMFS e EAFS rappresenta quello sismogenico dell'Alta Val d'Agri (un'adeguata conoscenza del sistema di faglie sismogenico dell'Alta Val d'Agri rappresenta uno dei principali obiettivi da perseguire per poter comprendere, ad esempio, i processi sismogenici capaci di generare eventi sismici distruttivi come quello avvenuto nel 1857 e le possibili relazioni tra strutture sismogeniche, attività antropiche e sismicità);
2. studiare le possibili interazioni tra il sistema di faglie sismogenico dell'Alta Val d'Agri e quelli che interessano i settori contigui (es. Vallo di Diano);
3. studiare e caratterizzare tutte le strutture fragili (es. faglie) che assumono un ruolo fondamentale nei processi sismogenici;
4. approfondire le conoscenze geologico-strutturali e idrogeologiche dell'Alta Val d'Agri mediante l'impiego di tecniche e metodologie d'indagine che consentano di investigare il sottosuolo anche fino a profondità sismogeniche (es. indagine Magnetotellurica). In particolare, si devono eseguire studi accurati specie in quei settori per i quali le informazioni bibliografiche sono assenti, carenti e/o poco esaustive, come ad esempio:

   - nel settore terminale del sistema di faglie MMFS interessato dalla sismicità indotta dalle variazioni stagionali del livello dell'invaso del Pertusillo;
   - nel territorio di Pergola, dove i due sistemi di faglie MMFS e EAFS convergono e dove tali sistemi potrebbero interagire con quello contiguo che interessa il Vallo di Diano.

Riferimenti bibliografici

Benedetti L., Tapponnier P., King G.C.P., Piccardi L. (1998). Surface Rupture of the 1857 Southern Italian Earthquake. Terra Nova, 10, 206-210.

Cello G., Tondi E., Micarelli L., Mattioni L. (2003). Active tectonics and earthquake sources in the epicentral area of the 1857 Basilicata earthquake (Southern Italy). Journal of Geodynamics, 36, 37–50.

Gasperini P., Camassi R., Mirto C., Stucchi M. (2004). CPTI04, la versione 2004 del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani. INGV, Bologna, http://emidius.mi.ingv.it/CPTI04/.

Giano S.I., Maschio L., Alessio M., Ferranti L., Improta S., Schiattarella M. (2000). Radiocarbon dating of active faulting in the Agri high valley, southern Italy. Journal of Geodynamics, 29, 371–386.

Giocoli A., Stabile T.A., Perrone A., Piscitelli S., Telesca L., Lapenna V. (2012). Evidences of possible reservoir-induced seismicity by the Pertusillo artificial lake (Southern Italy): preliminary results and ongoing activities. AGU Fall Meeting, S43D-2488, San Francisco, 3 – 7 December 2012.

Giocoli A., Stabile T.A., Adurno I., Perrone A., Gallipoli M.R., Gueguen E., Norelli E., Piscitelli S. (2014). Geological and geophysical characterization of the south-eastern side of the High Agri Valley (southern Apennines, Italy). Nat. Hazards Earth Syst. Sci. Discuss., 14, 1–24, www.nat-hazards-earth-syst-sci-discuss.net/14/1/2014/, doi:10.5194/nhessd-14-1-2014.

Improta L., Ferranti L., De Martini P.M., Piscitelli S., Bruno P.P., Burrato P., Civico R., Giocoli A., Iorio M., D'Addezio G., Maschio L. (2010). Detecting young, slow-slipping active faults by geologic and

multidisciplinary high-resolution geophysical investigations: A case study from the Apennine seismic belt, Italy. Journal of Geophysical Research, 115 (B11307), doi:10.1029/2010JB000871.

Gupta H. K. (1985). The present status of reservoir induced seismicity investigations with special emphasis on Koyna earthquakes. Tectonophysics, 118, 257–279.

Mallet R. (1862). The Great Neapolitan Earthquake of 1857. The First Principles of Observational Seismology. London, vol. I, pp. 431, vol. II, pp. 399.

Maschio L., Ferranti L., Burrato P. (2005). Active extension in Val d'Agri area, Southern Apennines, Italy: implications for the geometry of the seismogenic belt. Geophysical Journal International, 162(2), 591–609, doi:10.1111/j.1365-246X.2005.02597.x.

Morandi S., Ceragioli E. (2002). Integrated interpretation of seismic and resistivity images across the «Val d'Agri» graben (Italy). Annals of Geophysics, 45(2), 259–271.

National Research Council (2013). Induced Seismicity Potential in Energy Technologies, 262 pp., The National Academies Press, Washington, D. C., ISBN 978-0-309-25367-3.

Pantosti D., Valensise G. (1988). La faglia sud-appenninica: identificazione oggettiva di un lineamento sismogenetico nell'Appennino meridionale. Proc. VII Meeting Gruppo Nazionale di Geofisica della Terra Solida, Rome, 205–220.

Roeloffs E.A. (1988). Fault Stability Changes Induced Beneath a Reservoir with Cyclic Variations in Water Level. Journal of Geophysical Research, 93, 2107–2124.

Rovida A., Camassi R., Gasperini P., Stucchi M. (2011). CPTI11, la versione 2011 del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani. Milano, Bologna, http://emidius.mi.ingv.it/CPTI.

Stabile T.A., Giocoli A., Lapenna V., Perrone A., Piscitelli S., Telesca L. (2013). Relationship between seismicity and water level of the Pertusillo reservoir (southern Italy). FIST Geoitalia 2013, IX Forum Italiano di Scienze della Terra, Sessione 17 - Natural Hazards - Induced seismicity, Pisa, Italia, 16-18 settembre 2013.

Stabile T.A., Giocoli A., Lapenna V., Perrone A., Piscitelli S., Telesca L. (2014a). Evidences of low-magnitude continued reservoir-induced seismicity associated with the Pertusillo artificial lake (southern Italy). Bull. Seismol. Soc. Am., 104(4), 1820-1828, doi:10.1785/0120130333.

Stabile T.A., Giocoli A., Perrone A., Piscitelli S., Lapenna V. (2014b). Fluid injection induced seismicity reveals a NE dipping fault in the southeastern sector of the High Agri Valley (southern Italy). Geophysical Research Letters, 41(16), 1820-1828, doi:10.1002/2014GL060948.

Talwani P. (1997). On the Nature of Reservoir-induced Seismicity. Pure and Applied Geophysics, 150, 473-492.

Telesca L., Giocoli A., Lapenna V., Stabile T.A. (2014). Robust identification of periodic behavior in the time dynamics of short seismic series: the case of seismicity induced by Pertusillo Lake, southern Italy. Stochastic Environmental Research and Risk Assessment, doi:10.1007/s00477-014-0980-6.

Wells D., Coppersmith K.J. (1994). New empirical relationships among magnitude, rupture, length, rupture area, and surface displacement. Seismological Society of America Bulletin, 84, 974-1002.

II.2.2. METODI E STRUMENTI INNOVATIVI PER L'ANALISI DELLA SISMICITÀ LOCALE E DEI FENOMENI DI DEFORMAZIONE SUPERFICIALE NELLA VAL D'AGRI

Dr. Tony Alfredo Stabile

Premessa

L'Alta Val d'Agri è situata lungo la zona assiale della catena appenninica meridionale ed è una delle aree del territorio nazionale a più elevato potenziale sismogenico. Si ricordi, a tal proposito, il **terremoto della Basilicata** di magnitudo 7 generato nel 1857 dal sistema di faglie normali della valle che ancora è oggetto di dibattito scientifico (Cello et al., 2003; Burrato e Valensise, 2008). Si rimanda per approfondimenti al capitolo II.2.1. Secondo la classificazione sismica nazionale, la pericolosità sismica dell'area è molto rilevante con un'accelerazione massima attesa compresa tra 0.25 e 0.275 g per una probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni. L'Alta Val d'Agri è interessata da importanti attività antropiche sono rappresentate da **tecnologie energetiche** potenzialmente capaci di indurre sismicità:

1. la **produzione di idrocarburi** dell'ENI S.p.A., il più grande giacimento petrolifero continentale dell'Europa Occidentale con una produzione media annuale di circa 3.6×10^9 kg di petrolio e 9.6×10^8 m^3 di gas (fonte UNMIG, http://unmig.sviluppoeconomico.gov.it);
2. l'**invaso del Pertusillo** con una capacità di 1.55×10^8 m^3 di acqua, realizzato attraverso uno sbarramento del fiume Agri di altezza pari a 95 m.

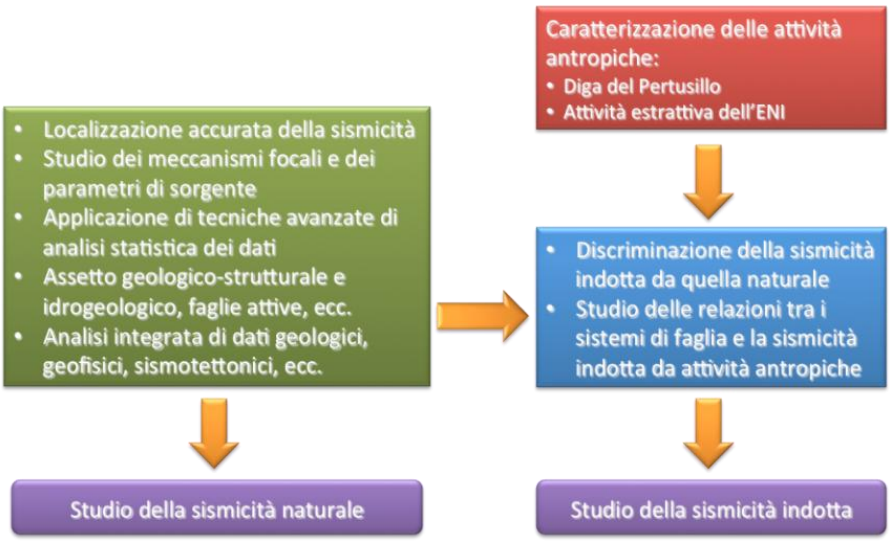


Figura 1: *Schema a blocchi dell'approccio metodologico proposto per la realizzazione dello studio multi-parametrico ed integrato della sismicità locale.*

In virtù della complessità e pericolosità del sistema di faglie e dell'interconnessione tra sismicità e attività antropiche, l'Alta Val d'Agri si candida ad essere un "laboratorio naturale" dove sperimentare metodologie integrate per analisi della **sismicità naturale** e **indotta** dall'uomo e rendere operative strategie innovative per l'analisi, il monitoraggio e il controllo della sismicità e la mitigazione del rischio sismico dell'area, come schematicamente riportato in Figura 1.

Attività di progetto svolte

Le attività di ricerca sono state rivolte alla realizzazione di un ***database*** della sismicità storica e recente dell'Alta Val d'Agri e alla **rilocalizzazione** e allo **studio** della sismicità dell'area, con particolare riferimento a quella concentrata intorno all'area del Pertusillo. Tale attività ha richiesto l'analisi di una elevata mole di dati messi a disposizione dalla Regione Basilicata. Infatti, a valle di una riunione operativa organizzata con i referenti regionali e i tecnici dell'ENI S.p.A., ad aprile 2013 sono stati consegnati all'Osservatorio Ambientale della Val d'Agri su supporto digitale tutti i dati delle registrazioni sismiche della rete ENI S.p.A. dal 2001 al 2012 (nonché il *software* per la lettura degli stessi dati) ed è stato attivato un *account* per l'accesso giornaliero alle registrazioni sismiche di recente acquisizione. Il *dataset* sismico della rete dell'ENI S.p.A. è stato, inoltre, integrato con le registrazioni delle stazioni sismiche in Alta Val d'Agri della rete dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) disponibili sul sito *web* ISIDe (http://iside.rm.ingv.it) a partire dal 16 aprile 2005.

Allo scopo di studiare le relazioni tra sismicità ed attività antropiche, il CNR-IMAA ha ottenuto dall'Ente per lo Sviluppo dell'Irrigazione e la Trasformazione Fondiaria tutti i dati del bilancio idrologico giornaliero del lago artificiale del **Pertusillo**. A seguito di una richiesta inviata ad ENI S.p.A., sono pervenuti nel mese di ottobre 2013 presso la sede dell'Osservatorio Ambientale della Val d'Agri (OAVDA), i registri di re-iniezione delle acque di strato al pozzo **Costa Molina 2** (CM2) che riportano i dati giornalieri dei volumi iniettati, delle ore di pompaggio e delle pressioni di iniezione a testa pozzo per il periodo compreso tra giugno 2006 (inizio **re-iniezione**) e agosto 2013.

Analisi bibliografica e realizzazione del *database* della sismicità

I primi quattro mesi del progetto di ricerca sono stati dedicati all'analisi bibliografica finalizzata alla comprensione dello stato dell'arte sulle attuali conoscenze sismologiche e sismotettoniche dell'area e alla raccolta di dati provenienti da reti di monitoraggio sismico e da cataloghi della sismicità storica e recente in Appennino Meridionale. Di seguito sono riportati i nomi dei cataloghi sismici e dei *database* utilizzati con le relative fonti:

CPTI – **C**atalogo **P**arametrico dei **T**erremoti **I**taliani
(CPTI04, Gasperini et al., 2004; CPTI11, Rovida et al., 2011)
CSI – **C**atalogo della **S**ismicità **I**taliana
(CSI 1.1, http://csi.rm.ingv.it/)
BSI – **B**ollettino **S**ismico **I**taliano
(http://bollettinosismico.rm.ingv.it/)
Eni – *Database* rete microsismica dell'**Eni** S.p.A.
(Osservatorio Ambientale della Val d'Agri)
ISIDe – **I**talian **S**eismological **I**nstrumental and parametric **D**ata-bas**e**
(http://iside.rm.ingv.it/iside/)

Figura 2: *Database della sismicità dell'Alta Val d'Agri dal 1759 ad oggi con indicazione cronologica delle fonti utilizzate.*

Come riportato in Figura 2, dal 1759 al 1980 si hanno solo informazioni sulla sismicità storica dell'Alta Val d'Agri, contenute nel catalogo CPTI04 e nella successiva revisione del 2011 (CPTI11). Le prime informazioni sulla sismicità di media e bassa magnitudo sono invece disponibili a partire dal 1981 con il catalogo CSI 1.1.

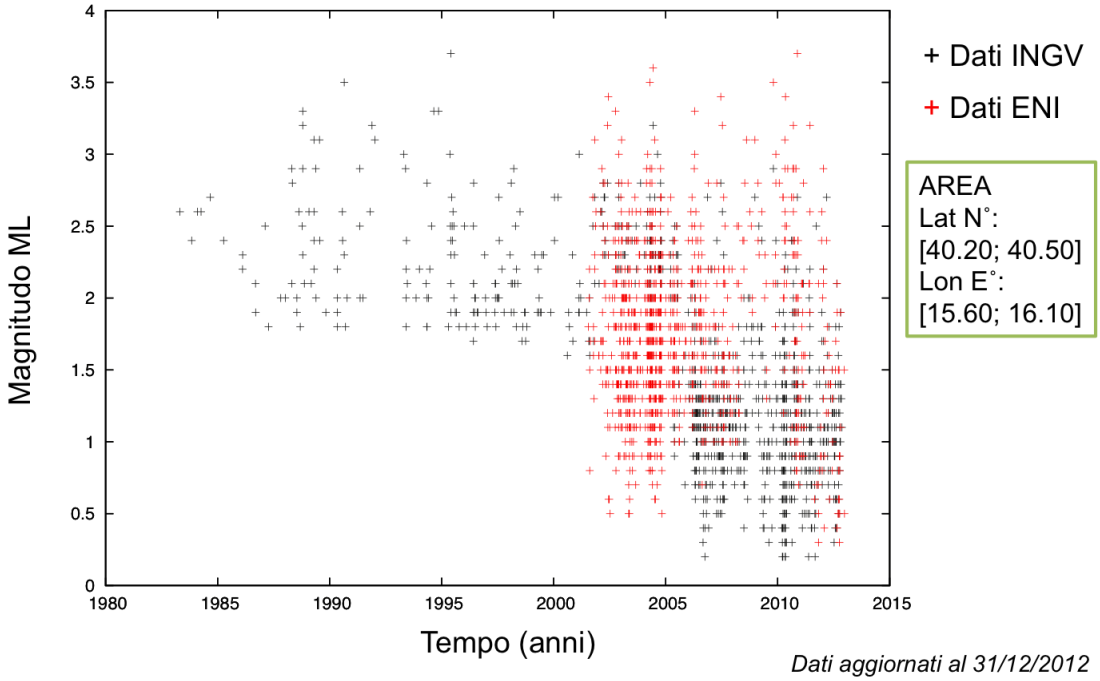


Figura 3: *Dati sismici dei cataloghi INGV (croce di colore nero) e del catalogo ENI S.p.A. (croce di colore rosso) rappresentati in funzione del tempo e della magnitudo locale (Ml).*

Dalla Figura 3, che mostra il numero di eventi sismici riportati nei cataloghi INGV ed ENI dal 1981 ad oggi in funzione della magnitudo locale (Ml), si nota che la magnitudo minima degli eventi sismici è stata pari a Ml = 1.7 fino a luglio 2001, mese in cui è disponibile il dato sismico della rete dell'ENI S.p.A. il cui catalogo contiene eventi sismici fino a Ml = 0.3. Dal 16 aprile 2005 è disponibile anche il *database* ISIDe dell'INGV che riporta eventi sismici fino ad una magnitudo Ml = 0.2.

Stato dell'arte della rete microsismica dell'ENI S.p.A.

La **rete microsismica dell'ENI S.p.A.** in Alta Val d'Agri è una rete composta da 15 stazioni sismiche (Figura 4), ognuna delle quali è equipaggiata con geofono triassiale LE-3D a 1 Hz, un acquisitore Lennartz MARS-88/MC e un sistema di alimentazione con pannelli solari. Le stazioni sono sincronizzate con il segnale radio DCF77.

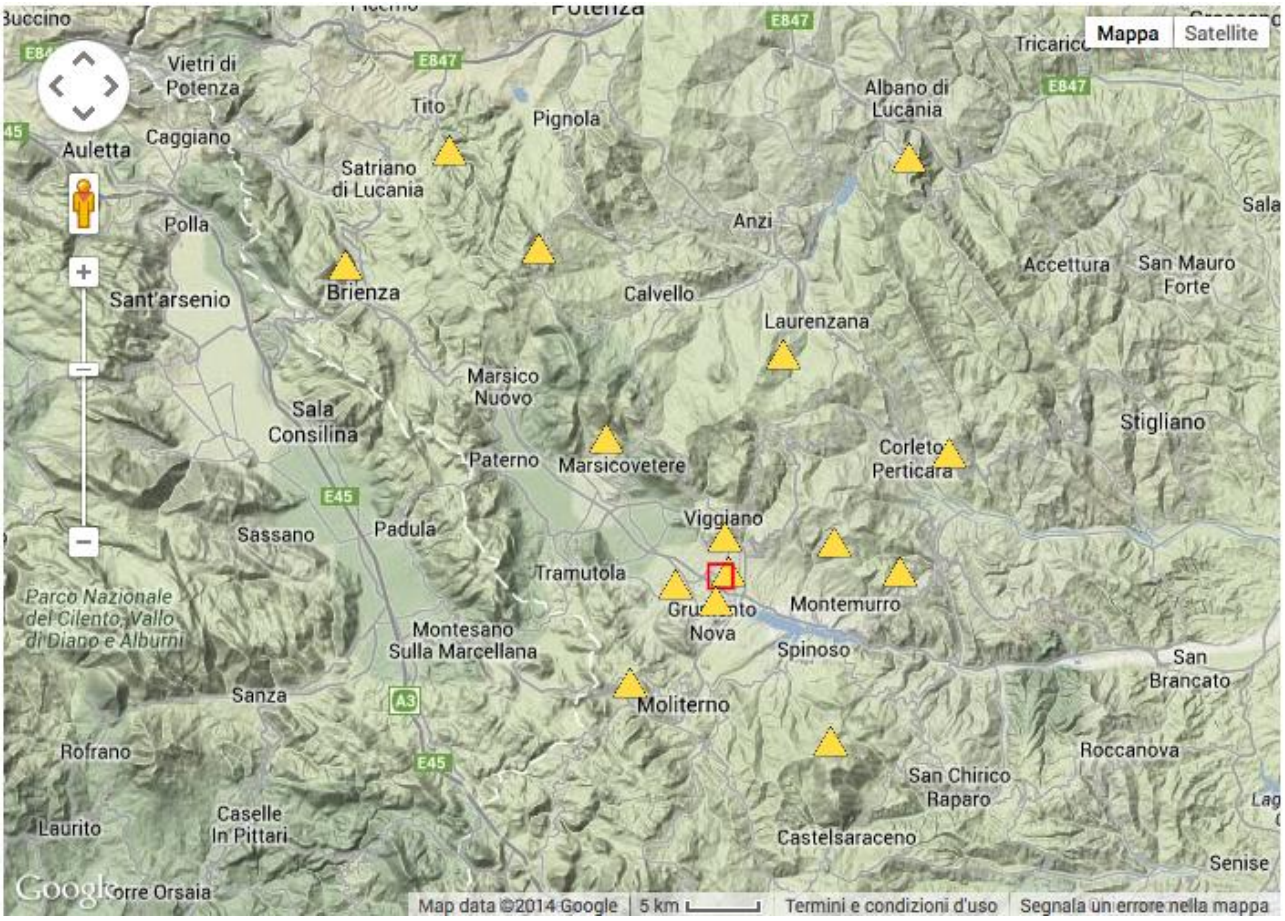


Figura 4: *La rete microsismica dell'ENI S.p.A. in Alta Val d'Agri. I triangoli gialli rappresentano l'ubicazione delle stazioni sismiche mentre il rettangolo rosso è il Centro Olio Val d'Agri. L'immagine è stata realizzata con Google Maps.*

La registrazione dei dati sismici è basata su un sistema a *trigger* e il dato acquisito è trasmesso agli uffici dell'ENI S.p.A. a San Donato Milanese (MI) attraverso il sistema GSM.

Eccezion fatta per la stazione PADE installata al Centro Olio Val d'Agri (COVA), i dati sismici acquisiti dalle stazioni dell'ENI S.p.A. sono caricati su un server a cui l'OAVDA può accedere per il *download* giornaliero dei dati.

I dati sono stati campionati a 62.5 Hz da luglio 2001 a ottobre 2012, mese in cui il campionamento dei dati è stato portato a 125 Hz (Bollettini microsismici, anni 2001-2013, disponibili presso l'OAVDA).

NOME	LAT °N	LON °E	QUOTA (m)	Data Instal.	Data Disinstal.
ABRE	40,5008	15,7600	1542	2002	-
ARME	40,3164	16,0319	989	2001	-
BRIE	40,4969	15,6147	1002	2001	2009
BRIN	40,4914	15,6150	878	2012	-
CASE	40,5533	16,0397	703	2001	-
COPE	40,3839	16,0700	805	2001	-
FORE	40,3083	15,8636	570	2011	-
GRUE	40,2994	15,8944	550	2011	-
LAUE	40,4406	15,9442	1090	2002	-
MARE	40,3928	15,8111	1061	2001	-
MOLE	40,2517	15,8292	1153	2001	-
MOME	40,3331	15,9836	1152	2002	-
PADE	40,3158	15,9033	610	2005	-
SPIE	40,2189	15,9797	1319	2001	-
TITE	40,5578	15,6931	676	2001	-
VIGE	40,3356	15,9011	816	2001	-

Tabella 1: *Le 15 stazioni della rete microsismica dell'ENI S.p.A. in Alta Val d'Agri.*

La Tabella 1 riporta le 15 stazioni della rete, con l'indicazione delle coordinate geografiche, la quota e la data di installazione e disinstallazione. Il resoconto temporale dettagliato della realizzazione della rete è di seguito descritto. Nei giorni 27-29 giugno 2001 sono state installate in Alta Val d'Agri 8 stazioni sismologiche nei paesi di Armento (ARME), Brienza (BRIE), Corleto Perticara (COPE), Moliterno (MOLE), Tito (TITE), Viggiano (VIGE), Marsicovetere (MARE) e Spinoso (SPIE). In seguito sono state installate tre nuove stazioni: a Castelmezzano (CASE) il 13 dicembre 2001, a Laurenzana (LAUE) e Abriola (ABRE) il 29 e il 30 luglio 2002, rispettivamente. Un'ulteriore stazione è stata installata il 17 dicembre 2002 a Montemurro (MOME) per monitorare la re-iniezione delle acque di strato provenienti dal processo di estrazione e separazione degli idrocarburi. Il giorno 16 novembre 2005 è stata installata una nuova stazione, denominata PADE, per monitorare con continuità le vibrazioni prodotte dalle attività che si svolgono presso il Centro Olio Val d'Agri. I dati della stazione PADE sono gli unici non disponibili tramite l'*account*

abilitato per l'accesso giornaliero ai dati della rete dell'ENI S.p.A. perché il sistema di acquisizione e trasmissione dei dati è diverso da quello utilizzato per le altre stazioni sismiche. Il giorno 25 ottobre 2011 sono state installate 2 nuove stazioni nel territorio comunale di Grumento Nova (FORE e GRUE). Il 20 giugno 2012 è stata installata nel territorio comunale di Brienza la stazione BRIN in sostituzione di BRIE (Tabella 1).

Analisi della sismicità storica e recente (fino al 2001)

L'Alta Val d'Agri è classificata dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia tra le aree a più **alta pericolosità sismica** dell'Appennino, con sistemi di faglia in grado di generare terremoti di magnitudo 7. Storicamente, tra gli eventi più distruttivi, si ricorda il terremoto della Basilicata del 1857 (Figura 5) avente una magnitudo pari a 7 che provocò frane, numerosi crolli di edifici e circa 11000 vittime (Mallet, 1862). Se si considerano, inoltre, tutti gli eventi di magnitudo momento Mw ≥ 4.5 nell'area tratteggiata in Figura 5, è possibile notare (Figura 6) che in circa 170 anni sono avvenuti altri 10 terremoti di magnitudo moderata (4.5 ≤ Mw ≤ 4.9).

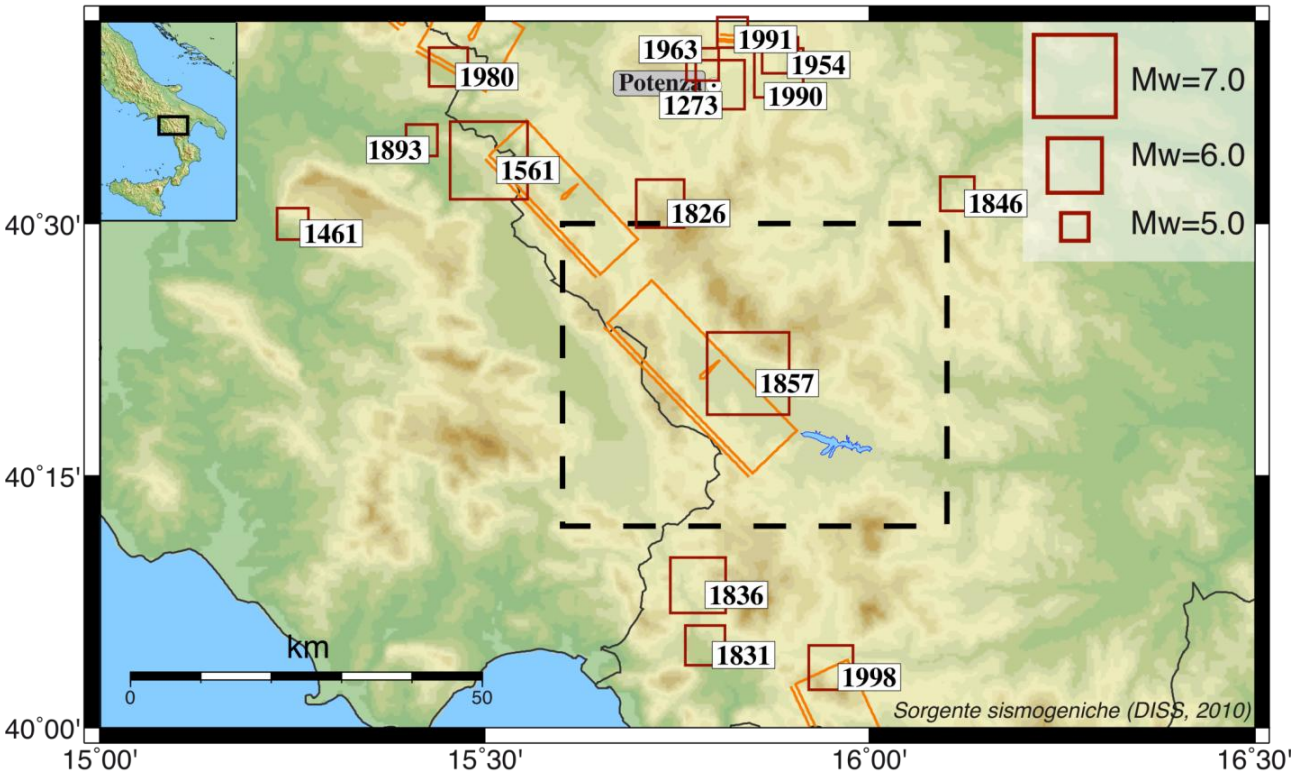


Figura 5: *Sismicità storica in Alta Val d'Agri e nelle aree contigue. Sono riportati i terremoti con magnitudo Mw ≥ 5.0. Il rettangolo tratteggiato indica approssimativamente l'Alta Val d'Agri.*

Più di recente, tra il 3 aprile e il 12 giugno 1996, nell'Alta Val d'Agri è avvenuta una sequenza sismica di 50 piccoli terremoti con magnitudo durata (Md) compresa nell'intervallo 1.8 ≤ Md ≤ 3.4 (Cucci et al., 2004) localizzata lungo i Monti della Maddalena, principalmente tra gli

abitati di Tramutola e Grumento Nova. Cucci et al. (2004) affermano di aver ottenuto per tale sequenza sismica errori di localizzazione compresi tra 0.5 e 2.0 km per le coordinate orizzontali e tra 1.0 e 2.5 km per la profondità.

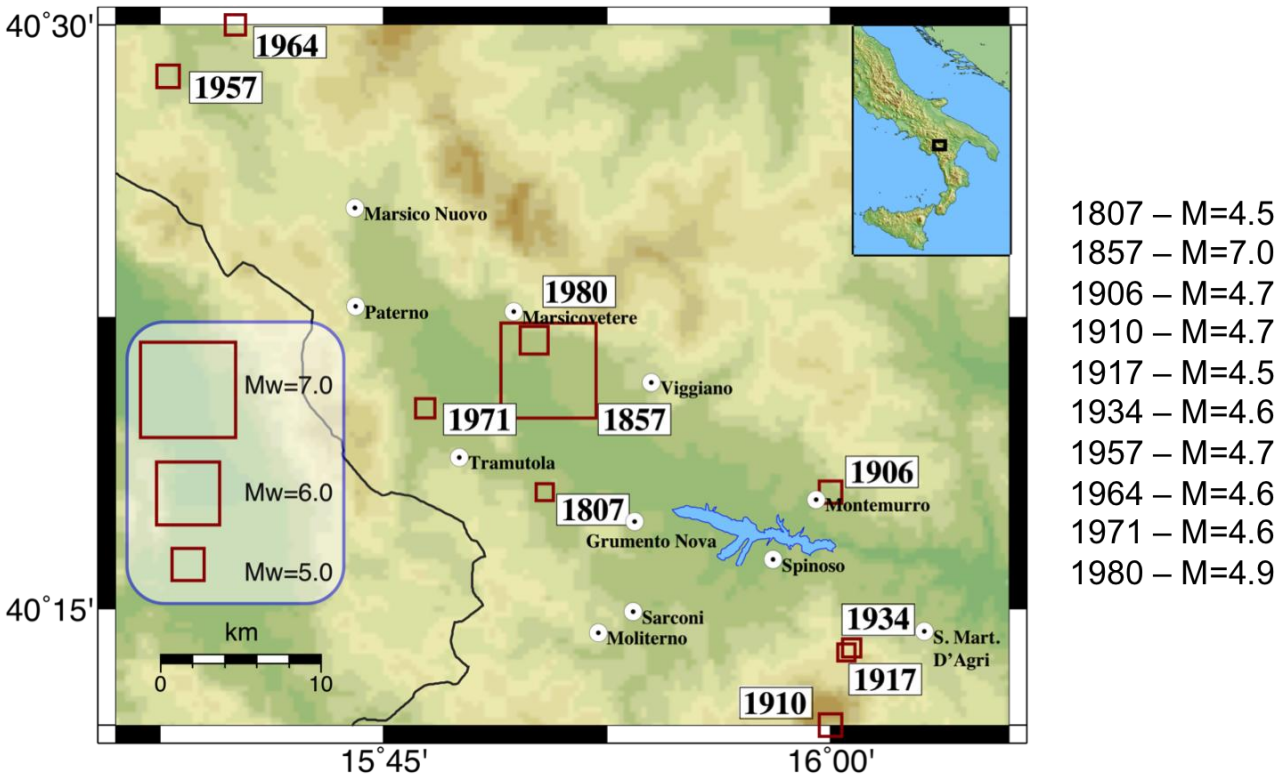


Figura 6: *Sismicità storica di magnitudo Mw ≥ 4.5 nell'area tratteggiata indicata in Figura 5.*

La distribuzione spaziale della sismicità durante la sequenza del 1996 mostra un allineamento appenninico (NO-SE), concorde al sistema MMFS (Monti della Maddalena Fault System) proposto da Pantosti e Valensise (1988), riportato anche nel *Database of Individual Seismogenic Sources* (DISS, 2010). La maggior parte degli eventi sono localizzati entro una distanza relativa di 5 km.

Analisi dei dati sismici della rete dell'ENI S.p.A. da luglio 2001 a dicembre 2012

Dopo l'installazione della rete dell'ENI S.p.A. nell'Alta Val d'Agri, è stato possibile avere informazioni ancora più di dettaglio in termini di magnitudo minima rilevabile consentendo la realizzazione di uno studio accurato sulla sismicità e **microsismicità** dell'area.

Attraverso metodi avanzati di localizzazione non lineare dei terremoti (NonLinLoc, Lomax et al., 2000), sono stati rilocalizzati circa 1000 eventi sismici di piccola magnitudo (Ml ≤ 3.7) accaduti in Alta Val d'Agri da luglio 2001 a dicembre 2012 utilizzando il modello di velocità

proposto da Valoroso et al. (2009), individuando ***cluster* di sismicità** concentrati in specifiche aree (Figura 7).

Nel 2004, tra i mesi di settembre e ottobre, si è verificata una sequenza sismica a Marsicovetere composta da circa 90 eventi di magnitudo inferiore a Ml = 2.9 con profondità degli ipocentri comprese tra 5 e 8 km. Tale sismicità non sembra essere correlabile ad alcuna attività antropica e, quindi, rientrerebbe tra l'attività sismica di fondo naturale dell'area.

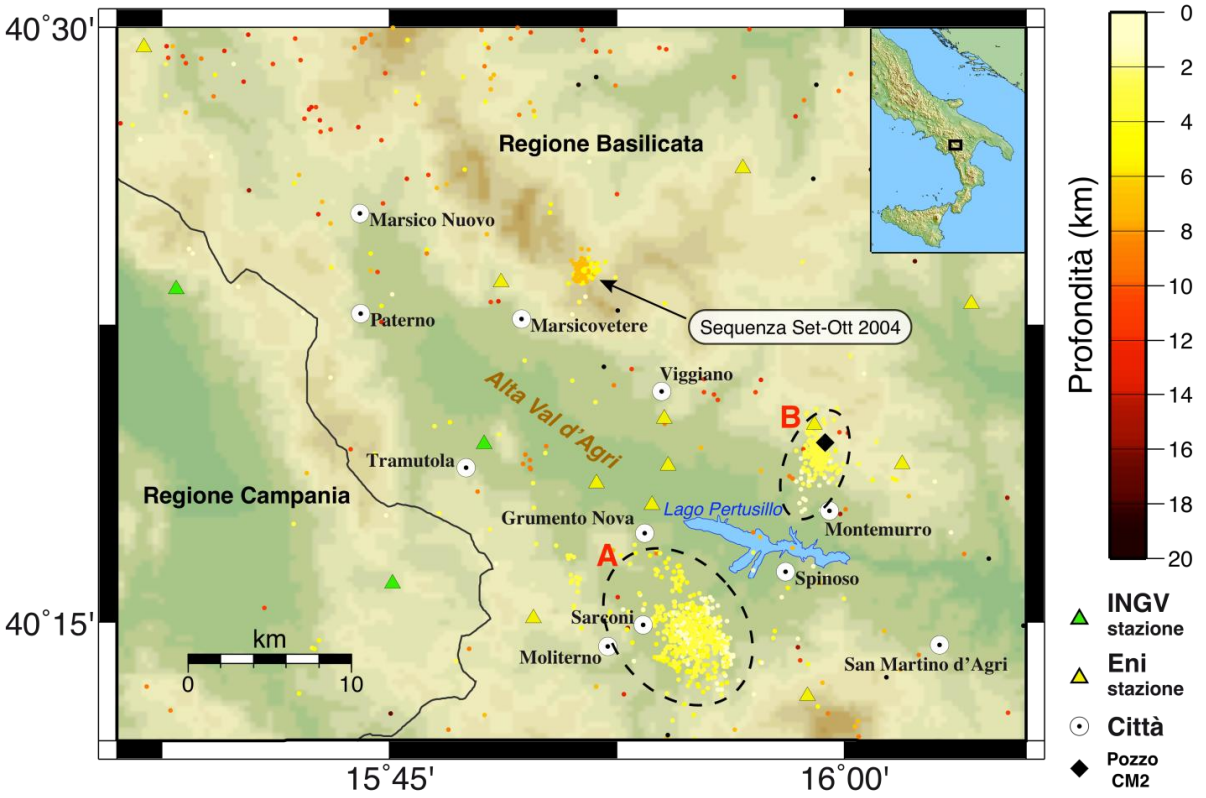


Figura 7: *Rilocalizzazione degli eventi sismici accaduti in Alta Val d'Agri da luglio 2001 a dicembre 2012. La sequenza sismica di Marsicovetere del 2004 sembra essere di origine naturale, mentre la sismicità localizzata intorno al Lago Pertusillo (riquadro tratteggiato in figura) è di origine antropica. In figura sono riportate anche le stazioni delle reti sismiche dell'ENI S.p.A. (triangoli gialli) e dell'INGV (triangoli verdi) e l'ubicazione del pozzo di re-iniezione Costa Molina 2 (CM2, rombo nero).*

Di particolare interesse sono, invece, i due *cluster* di eventi sismici localizzati rispettivamente a **Nord e a Sud dell'invaso del Pertusillo** (riquadro tratteggiato in Figura 3), già oggetto di uno studio preliminare avviato nel primo anno del progetto di ricerca sulla base delle sole informazioni contenute nei cataloghi sismici INGV ed ENI. Infatti, a Sud dell'invaso del Pertusillo è possibile notare una microsismicità continua che, nel solo 2004, è stata caratterizzata dalla registrazione di ben 265 eventi, mentre la caratteristica della sismicità a Nord dell'invaso è che ha avuto inizio soltanto dopo il 6 giugno 2006. La disponibilità delle registrazioni sismiche ha consentito di comprendere importanti caratteristiche di tali *cluster*: si tratta di sciami sismici per i quali non esiste evidenza di un evento principale; la distribuzione frequenza-magnitudo della

sismicità presenta un *b-value* pari a 1.40, molto alto rispetto a quello osservato in Appennino Meridionale (pari a 0.96, Giulia e Meletti, 2008); la profondità media degli eventi sismici è di circa 3-5 km e si tratta, quindi, di sismicità superficiale. Tutti questi elementi sono tipici della sismicità indotta da attività antropiche, pertanto si è proceduto a valutare eventuali correlazioni con le attività antropiche agenti in Alta Val d'Agri.

Sul *cluster* di sismicità a Sud del Pertusillo, l'ipotesi di una possibile sismicità indotta dai cicli di carico-scarico dell'invaso è ulteriormente avvalorata da uno studio condotto da alcuni ricercatori dell'INGV (Valoroso et al., 2009) su dati raccolti da una densa rete temporanea installata in Alta Val d'Agri tra maggio 2005 e giugno 2006.

Risultati ottenuti dallo studio della sismicità indotta a sud dell'invaso del Pertusillo

Lo studio del *cluster* di sismicità a Sud dell'invaso del Pertusillo è stato condotto sul periodo compreso tra gennaio 2005 e luglio 2012, per il quale è stato possibile integrare il *dataset* della rete dell'ENI S.p.A. con quello della rete dell'INGV (area evidenziata in verde in Figura 8).

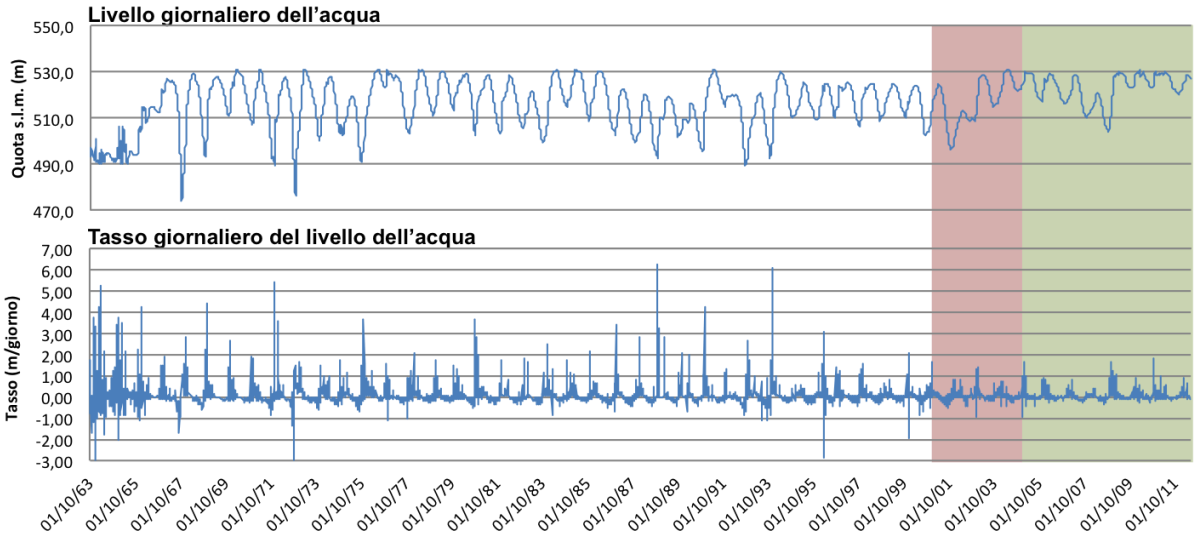


Figura 8: *Serie storiche del livello giornaliero dell'acqua e della variazione giornaliera del livello dell'acqua dell'invaso del Pertusillo. Il periodo evidenziato in verde è quello in cui è stato possibile integrare il dataset della rete dell'ENI S.p.A. con quello della rete dell'INGV, mentre per l'intervallo temporale evidenziato in rosso è disponibile soltanto il dato ENI S.p.A.*

La Figura 8 riporta, inoltre, le serie temporali del livello giornaliero e della variazione giornaliera (tasso giornaliero) del livello dell'invaso del Pertusillo, sin dall'inizio del suo riempimento avvenuto nell'ottobre del 1963. La capacità dell'invaso è di 155 milioni di metri cubi. Il massimo livello dell'invaso, pari a 531 m s.l.m., è stato raggiunto il 16 marzo 1970. Il massimo tasso giornaliero si è verificato il 22 novembre 1988 ed è stato di 6.21 m/giorno, con un incremento volumetrico di 6.7 milioni di metri cubi.

Tale lavoro scientifico, già stato presentato al convegno *Fist-Geoitalia 2013* (Stabile et al., 2013), è stato pubblicato sulla rivista scientifica internazionale "*Bulletin of the Seismological Society of America*" (Stabile et al., 2014a), dimostrando che la sismicità a Sud dell'invaso del Pertusillo è significativamente correlata con le variazioni stagionali del livello dell'invaso, come riportato in Figura 9. La magnitudo di completezza (Mc) delle registrazioni sismiche, calcolata già nel primo anno di attività, è Mc = 1.2. Per le analisi statistiche sono stati, quindi, considerati solo gli eventi sismici aventi una magnitudo superiore alla magnitudo di completezza Mc ed è stato scelto un campionamento mensile. Di conseguenza, la cross-correlazione è stata applicata tra il numero di eventi sismici registrati ogni mese (con Ml ≥ Mc) ed il livello massimo mensile dell'invaso. La significatività della funzione di cross-correlazione è stata valutata seguendo l'approccio proposto da Telesca (2010) per un livello di confidenza del 99%. In sintesi, se per un certo ritardo la funzione di cross-correlazione è al di sopra della curva di confidenza del 99%, la cross-correlazione è significativa in corrispondenza di tale ritardo con un livello di confidenza del 99% (vedi Figura 9). Viceversa, la cross-correlazione non è significativa.

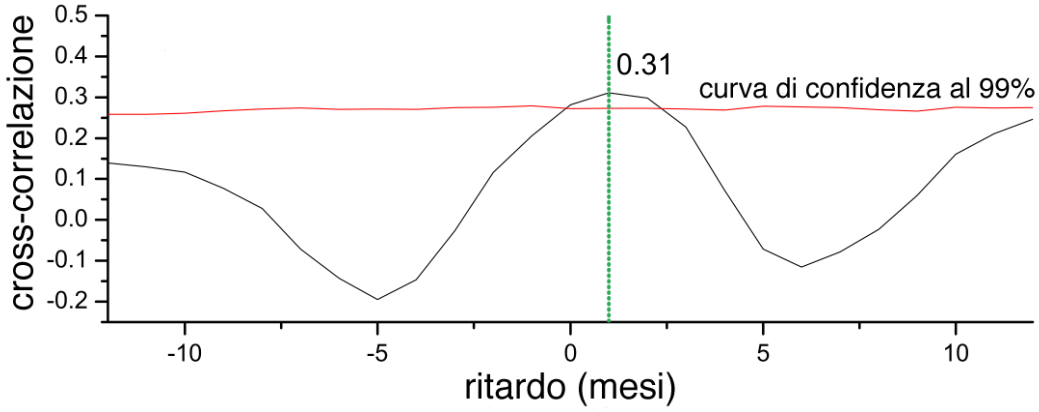


Figura 9: *Risultato della cross-correlazione tra la sismicità a sud del Pertusillo e le variazioni del livello dell'invaso (curva di colore nero). Il livello di confidenza al 99% è rappresentato in figura con la curva di colore rosso. La linea verticale tratteggiata di colore verde indica il ritardo a cui corrisponde una cross-correlazione significativa (ovvero supera il livello di confidenza del 99%).*

L'analisi statistica conferma, quindi, che la sismicità a Sud del Pertusillo è una **sismicità continua indotta dall'invaso**, in quanto si genera con **ciclicità annuale** con un **ritardo di circa un mese** (linea verticale verde in Figura 9) rispetto alle variazioni cicliche dell'invaso.

L'errore sulla stima del ritardo Δt della sismicità rispetto alla variazione dell'invaso è pari a 0.5 mesi, essendo le serie campionate con un passo di campionamento di un mese. La Figura 10 mostra, inoltre, il numero di eventi sismici che si registrano ogni mese nel periodo compreso tra il 2005 e il 2011. Da questa analisi è stato escluso il 2012 in quanto non è completo essendo stato analizzato solo fino al mese di luglio. È possibile notare che la maggior parte della sismicità (ben il

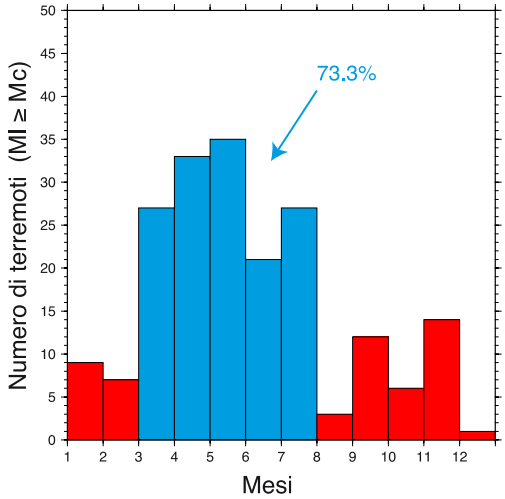


Figura 10: *Distribuzione mensile dei terremoti a sud dell'invaso del Pertusillo tra il 2005 e il 2011.*

73.3% del totale) si concentra principalmente tra i mesi di marzo e luglio di ogni anno, ad ulteriore dimostrazione di una periodicità della sismicità.

La localizzazione degli eventi sismici registrati a Sud dell'invaso è stata ulteriormente perfezionata applicando la tecnica delle doppie differenze con il codice HypoDD (Waldhauser e Ellsworth, 2000), risolvendo le equazioni delle doppie differenze nel modello di velocità 1D proposto da Valoroso et al. (2009) e utilizzando 16.580 tempi di arrivo differenziali delle fasi sismiche P e S.

La tecnica delle doppie differenze consente, infatti, la minimizzazione degli errori dovuti alle eterogeneità 3D non modellate da modelli di velocità 1D. Dopo il processo di rilocalizzazione degli eventi con le doppie differenze (130 eventi), il centroide del *cluster* (Lat = 40.2645 ˚N; Lon = 15.9063 ˚E; Profondità = 3.1 km) è a circa 9 km di distanza ipocentrale dalla parte più profonda dell'invaso (quella adiacente alla diga). Circa l'85% dei terremoti rilocalizzati hanno errori di localizzazione (orizzontale e verticale) inferiori a 500 m e il massimo errore di localizzazione è pari a 1.2 km.

Sono stati determinati i meccanismi focali con il codice FPFIT (Reasenberg e Oppenheimer, 1985) degli eventi sismici per i quali sono disponibili almeno 6 letture della polarità del primo arrivo della fase sismica P e con almeno 2 compressioni e 2 dilatazioni.

La Figura 11 mostra il risultato finale delle localizzazioni sia in pianta sia in proiezione lungo le sezioni verticali AA' e BB', dove gli eventi di magnitudo Ml ≥ 2 sono rappresentati con le stelle, mentre quelli con magnitudo Ml ≤ 2 sono rappresentati con i cerchi. Le sezioni verticali AA' e BB' sono ortogonali tra loro e si intersecano in corrispondenza del centroide del *cluster*. La sismicità si estende a Sud del territorio comunale di Grumento Nova, in corrispondenza dell'intersezione tra la parte terminale meridionale del sistema di faglie dei Monti della Maddalena (MMFS) e le strutture con orientazione NE-SO che collegano il sistema MMFS con l'invaso del Pertusillo. La sismicità è caratterizzata da microterremoti poco profondi, quindi di bassa magnitudo. In questa zona i meccanismi focali degli eventi sismici evidenziano una cinematica della rottura prevalentemente di tipo normale con variabilità dello *strike*, *dip* e *rake* dei piani focali. Un meccanismo focale di tipo *strike-slip* (trascorrente) è osservato per il terremoto di magnitudo Ml = 2.7 occorso nei pressi della diga (Figura 11), per il quale una delle due soluzioni del piano di faglia è in accordo con lo *strike* delle strutture NE-SO che collegano l'invaso con il sistema MMFS.

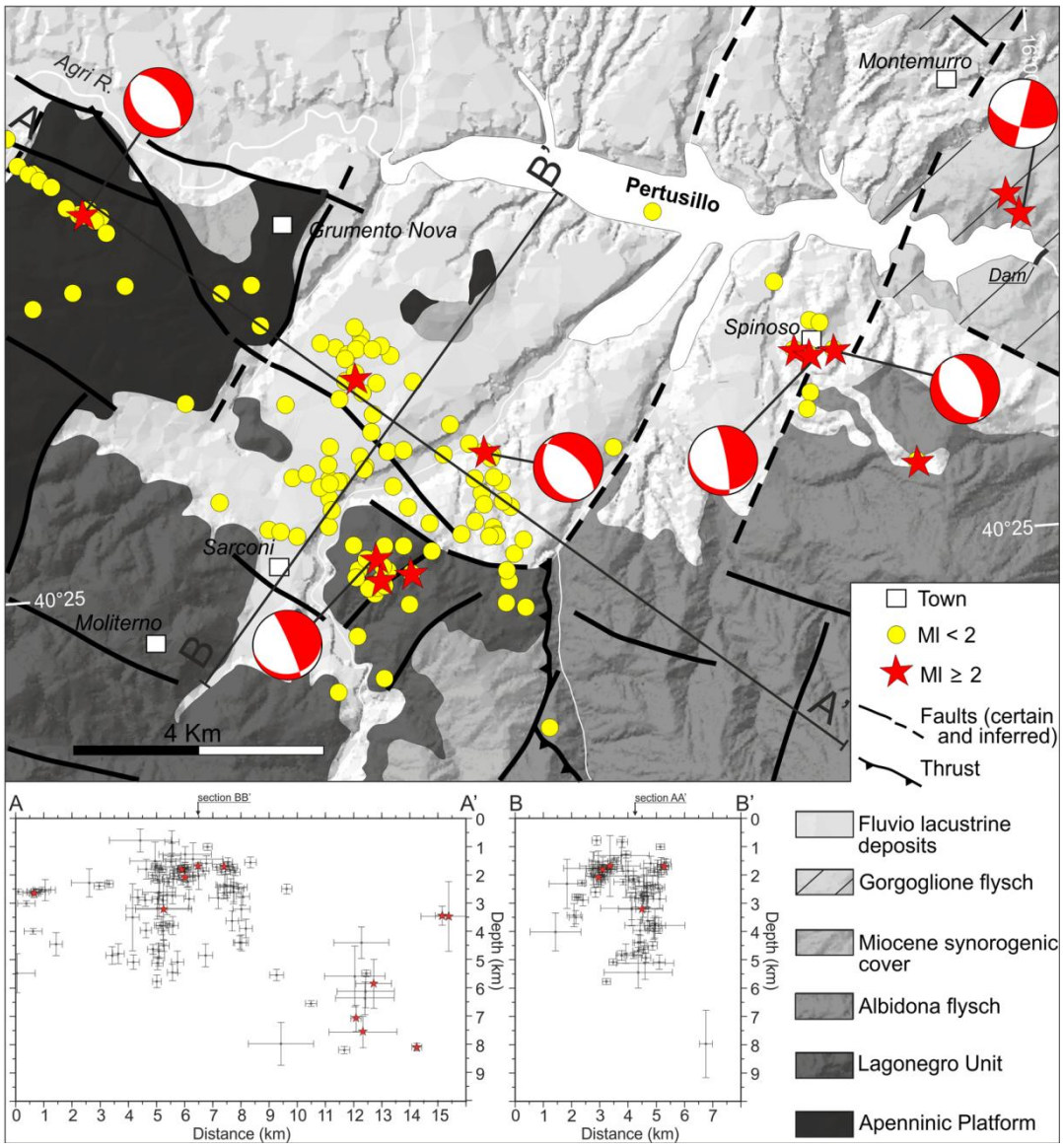


Figura 11: *Mappa geologica dell'area interessata dalla sismicità indotta dall'invaso del Pertusillo. I meccanismi focali sono stati calcolati per la maggior parte degli eventi con Ml ≥ 2 (stelle rosse). Gli ipocentri degli eventi sismici sono proiettati anche lungo le sezioni verticali AA' e BB'.*

Tutti questi dati suggeriscono che la deformazione sismica avviene su diverse strutture piccole e poco profonde, piuttosto che su un unico piano. In particolare, è possibile osservare che, con l'eccezione di alcuni eventi più profondi situati vicino all'abitato di Spinoso, la sismicità è diffusa in un piccolo volume (circa 9 km x 4 km e fino a 5 km di profondità, sezioni verticali AA' e BB' di Figura 11) in corrispondenza della parte terminale del MMFS e, prevalentemente, all'interno delle unità alloctone aventi uno spessore di circa 4 km (Dell'Aversana, 2003).

Secondo Bell e Nur (1978) e Talwani et al. (2007), l'effetto non drenato immediato del lago del Pertusillo deve essere contenuto entro una distanza orizzontale *Rh-max* di circa 3.2 km (3-4 volte *W*) e una distanza verticale *Rz-max* di circa 5.6 km (6-7 volte *W*) dal fondo del lago, dove *W* ~ 800 m è la larghezza massima del lago. Siccome la distanza tra l'invaso e il *cluster* è maggiore di

Rh-max (Figura 11), il *cluster* di sismicità a Sud del lago è al di fuori del volume entro il quale si verifica una risposta sismica istantanea e non drenata dovuta all'aumento di carico dell'invaso e, pertanto, tale sismicità può essere generata solo da una risposta ritardata a causa della diffusione della pressione di poro del fluido dall'invaso lungo zone di faglia sature (Talwani et al., 1999). Poiché le oscillazioni annuali della colonna d'acqua sono mediamente comprese tra circa 10 e 15 m, sul fondo del lago è applicata una variazione di pressione compresa fra 0.10 e 0.15 MPa. La presenza di strutture con orientazione NE-SO favorisce la diffusione della pressione di poro 1D del fluido dall'invaso alla parte terminale meridionale del sistema MMFS, causando sismicità indotta anche 50 anni dopo il riempimento iniziale del lago.

Analisi della sismicità indotta a nord dell'invaso del Pertusillo

Seguendo lo stesso procedimento descritto nel paragrafo precedente, è stato verificato se anche il *cluster* di sismicità a Nord del lago del Pertusillo fosse significativamente correlato alle fluttuazioni del livello dell'acqua dell'invaso. La Figura 12 mostra che, a differenza della sismicità localizzata a Sud del lago del Pertusillo, quella localizzata a Nord non è significativamente correlata alle variazioni stagionali del livello dell'invaso, in quanto la funzione di cross-correlazione è sempre abbondantemente inferiore al livello di confidenza del 99%.

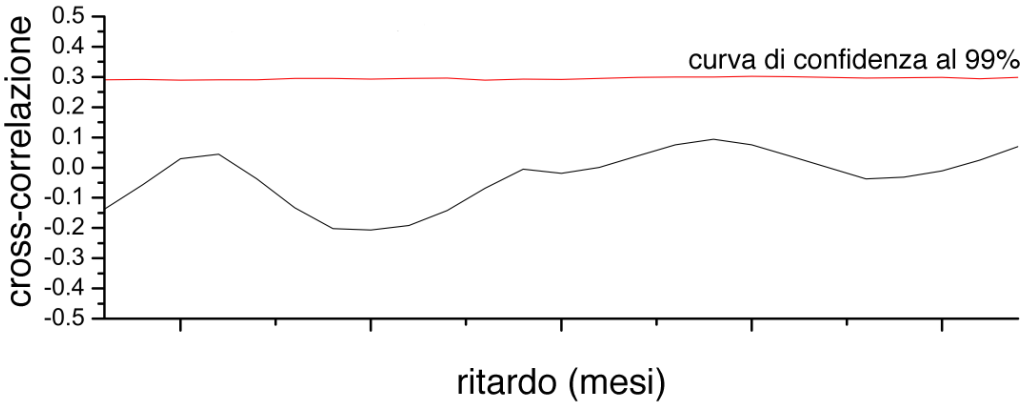


Figura 12: *Risultato della cross-correlazione tra la sismicità localizzata a nord del Pertusillo e le variazioni del livello dell'invaso (curva di colore nero). Il livello di confidenza al 99% è rappresentato in figura con la curva di colore rosso.*

Questo ultimo risultato ha portato alla formulazione di una diversa tesi sul meccanismo di attivazione della sismicità a Nord del Pertusillo: la sismicità è indotta dalla re-iniezione nel pozzo Costa Molina 2 delle acque di strato risultanti dall'estrazione e separazione degli idrocarburi nella concessione ENI S.p.A. in Val d'Agri. Infatti, la sismicità a Nord dell'invaso del Pertusillo è concentrata nei pressi del pozzo su indicato ed è **iniziata il 6 giugno 2006**, esattamente quattro giorni dopo l'inizio delle attività di re-iniezione delle acque di strato prodotte dal processo di estrazione e separazione degli idrocarburi (**avviate il 2 giugno 2006**).

Nel periodo compreso tra il 6 giugno 2006 e il 30 giugno 2012 sono stati registrati 206 terremoti di bassa magnitudo (Ml ≤ 2.0) appartenenti a tale *cluster* di sismicità. In particolare, analizzando le forme d'onda degli eventi sismici registrati in quest'area, è stato possibile osservare un'elevata similitudine delle tracce sismiche. La Figura 13 riporta le sezioni sismiche di tutti gli eventi del *cluster* registrati alla stazione ARME (installata nel territorio comunale di Armento) della rete dell'ENI S.p.A., allineati rispetto al primo arrivo dell'onda sismica P. La Figura 13 mostra, inoltre, le registrazioni degli eventi sismici lungo le tre componenti assiali del sensore: SHN (componente Nord), SHE (componente Est), SHZ (componente verticale). In alto ad ogni sezione sismica della Figura 13 è riportata anche la traccia *stack*, ovvero la traccia ottenuta dalla somma delle registrazioni di tutti gli eventi della sezione sismica.

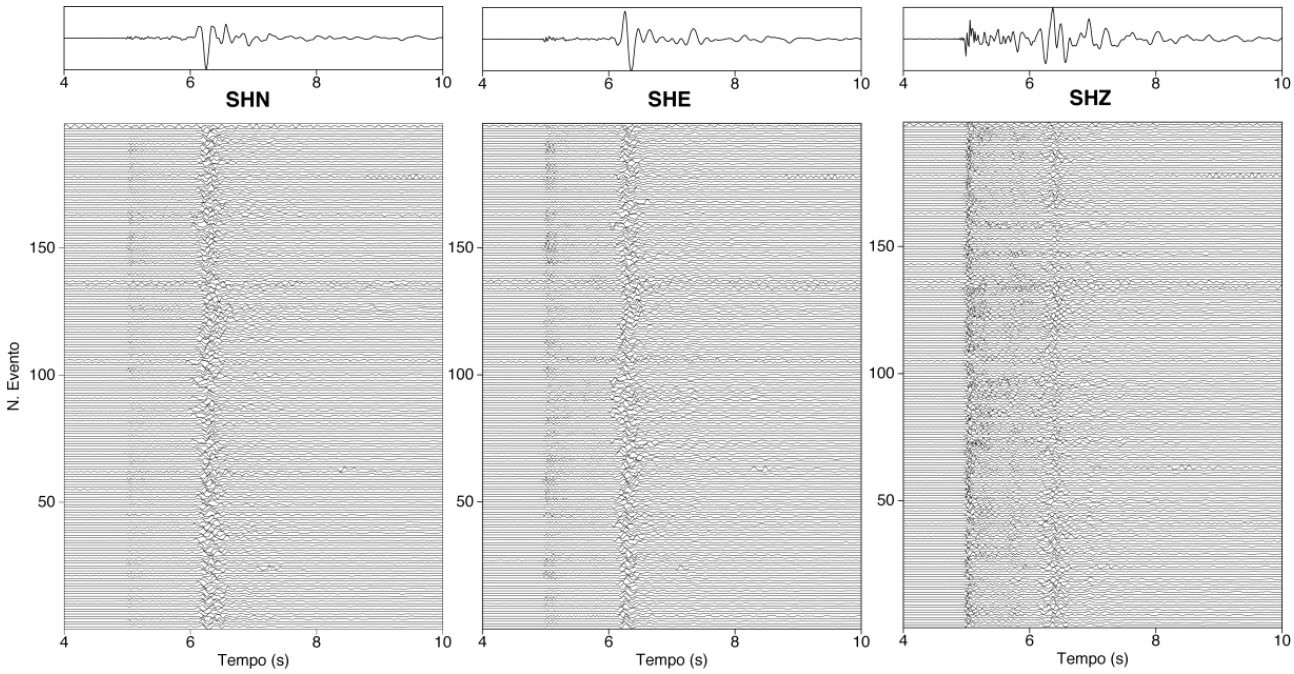


Figura 13: *Registrazioni sismiche dei 206 eventi (sezioni sismiche) localizzati nei pressi del pozzo Costa Molina 2, a nord del lago del Pertusillo lungo le tre componenti assiali SHN (componente Nord), SHE (componente Est), SHZ (componente verticale) del geofono della stazione sismica ARME installata nel territorio comune di Armento. In alto ad ogni sezione sismica è riportata anche la corrispondente traccia stack.*

La similitudine delle forme d'onda ad ogni stazione di registrazione ha consentito di raffinare il *picking* (la lettura del tempo di arrivo) delle fasi sismiche P e S grazie all'utilizzo di una tecnica basata sulla cross-correlazione delle forme d'onda nel dominio della frequenza (codice CCHAR sviluppato da Rowe et al. (2002). I tempi di arrivo differenziali di altissima qualità provenienti dal processo di cross-correlazione delle forme d'onda sono stati utilizzati per la localizzazione relativa degli eventi sismici con la tecnica delle doppie differenze (codice HypoDD

sviluppato da Waldhauser e Ellsworth, 2000), ottenendo errori di localizzazione mediamente di 50 m e comunque inferiori a 200 m.

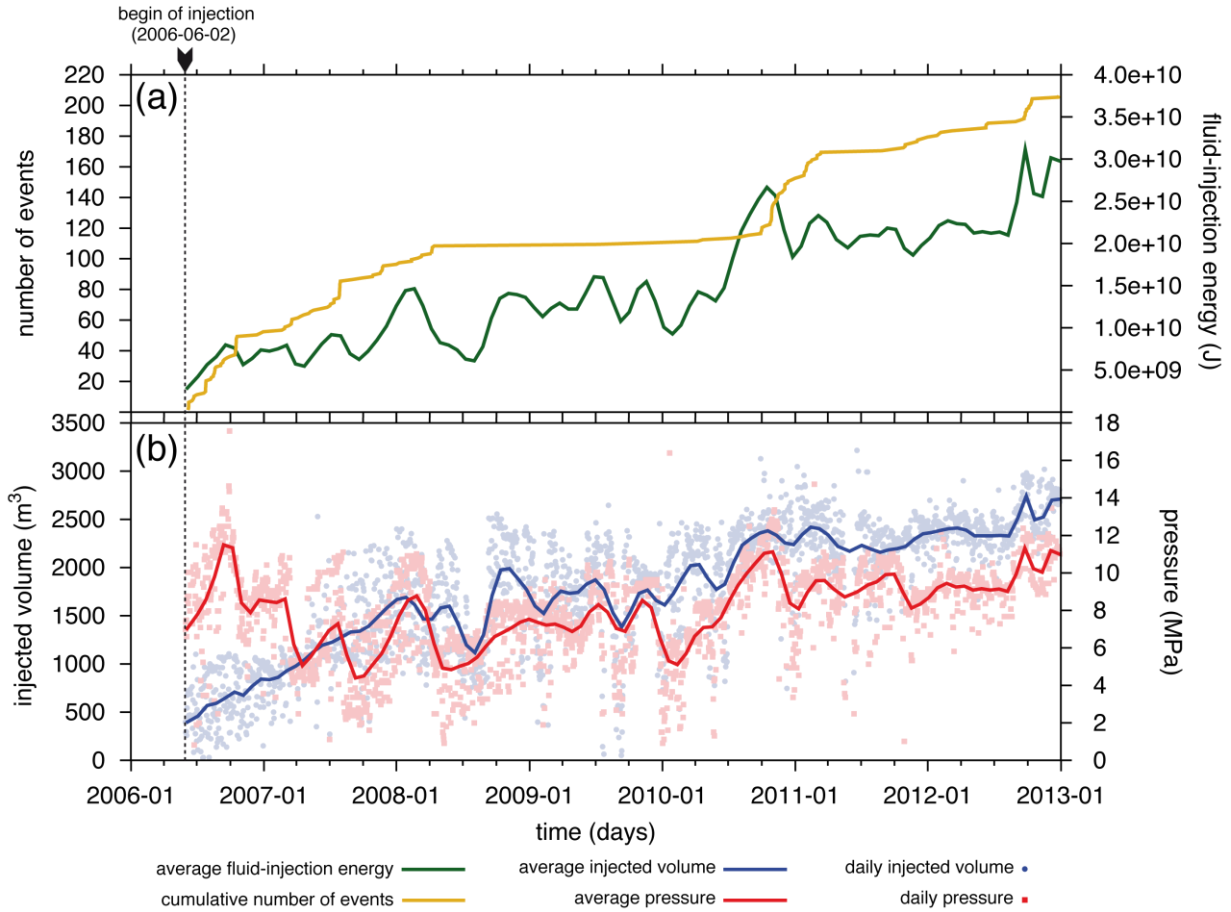


Figura 14: *(a) Numero cumulativo degli eventi sismici localizzati nei pressi del pozzo di iniezione Costa Molina 2 (linea gialla) confrontato con la media dell'energia di iniezione* E_{inj} *= PV (linea verde). (b) Curve medie (linee) e dati giornalieri (punti) dei volumi di acque di strato iniettate V (colore blu) e delle pressioni di iniezione P (colore rosso). Le attività di re-iniezione sono iniziate il 2 giugno 2006 (linea verticale tratteggiata).*

Al fine di analizzare la correlazione degli eventi sismici all'attività di re-iniezione delle acque di strato al pozzo Costa Molina 2, è stato confrontato (Figura 14) il numero cumulativo di tale sismicità con le pressioni giornaliere di iniezione *(P)* e i volumi giornalieri iniettati *(V)* delle acque di strato. Il confronto è stato esteso anche rispetto alla stima dell'energia di iniezione *(*E_{inj}*)* data dal prodotto $E_{inj} = PV$ (Figura 14).

Il confronto riportato in Figura 14, supportato dall'analisi dell'evoluzione spazio-temporale della sismicità e dal modello di diffusione della pressione di poro dal fondo del pozzo Costa Molina 2 al *cluster* di sismicità, **conferma che la sismicità è indotta dalle attività di re-iniezione** delle acque di strato (Stabile et al., 2014b).

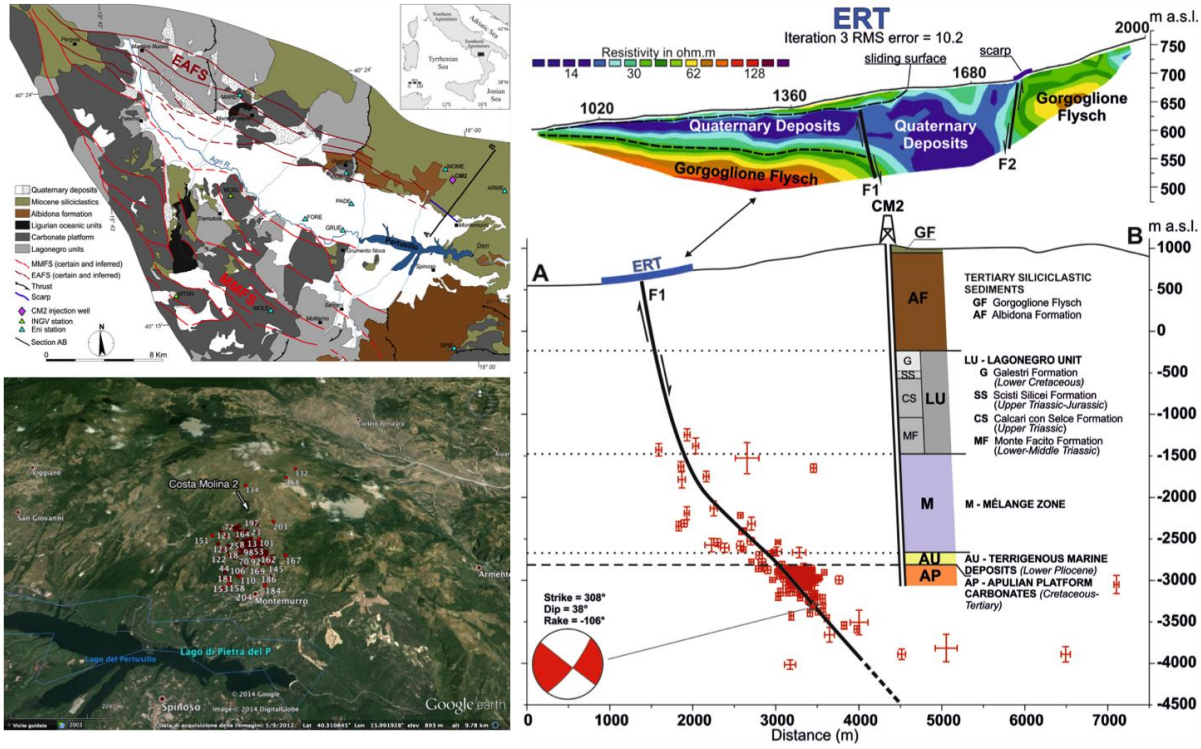


Figura 15: *(in alto a sinistra) Mappa geologica dell'Alta Val d'Agri con l'indicazione della sezione verticale AB e del pozzo di re-iniezione Costa Molina 2 (CM2). (in basso a sinistra) Localizzazione epicentrale degli eventi sismici indotti; l'immagine è stata realizzata con Google Earth. (a destra) Sezione verticale che mostra la faglia inedita F1 illuminata dagli eventi sismici indotti, il log stratigrafico del pozzo CM2 e le indagini geofisiche (tomografia di resistività elettrica, ERT) e geologiche condotte nell'area di studio.*

La Figura 15 mostra la mappa geologica dell'Alta Val d'Agri (in alto a sinistra) con l'indicazione del pozzo Costa Molina 2 e la sezione verticale AB lungo la quale sono proiettati gli ipocentri degli eventi sismici indotti (figura a destra). Le localizzazioni epicentrali degli eventi su mappa *Google* sono invece riportati sulla mappa in basso a sinistra di Figura 15. È possibile notare che gli epicentri (Figura 15 in basso a sinistra) sono concentrati in un'area di diametro pari a circa 2-3 km e il *cluster* di sismicità (Figura 15 a destra) è localizzato a circa 1.2 km di distanza dal pozzo di re-iniezione Costa Molina 2 e si distribuisce su una **faglia inedita** (F1) con immersione Nord-Est ed orientazione N310˚. Le profondità ipocentrali sono comprese tra 2 e 4 km, quindi, anche in questo caso, gli eventi sismici sono molto superficiali. Sulla base dei dati sismici, geologici e di re-iniezione delle acque di strato è possibile affermare che il 90% degli eventi sismici indotti dalla re-iniezione delle acque di strato al pozzo Costa Molina 2 avviene all'interno del *reservoir* (Unità Apula, AP) e che con l'evento del 25 luglio 2006 (Ml = 1.4), occorso 51 giorni dopo l'inizio della sismicità, anche le unità sovrastanti l'interfaccia AP-AU (linea tratteggiata in Figura 15) sono state interessate da eventi sismici. Quest'ultima informazione implica che i **fluidi sono migrati** all'interno di tali unità più superficiali attraverso la faglia F1. I risultati di questo studio sono stati pubblicati sulla rivista scientifica internazionale *"Geophysical Research Letters"* (Stabile et al., 2014b). Infine, è importante evidenziare che la struttura F1 appartiene ad un segmento aggiuntivo

terminale del sistema di faglie EAFS (*Eastern Agri Fault System*) riportato nella mappa geologica di Figura 15.

Sintesi dei risultati e sviluppi futuri

Le attività di ricerca svolte presso l'OAVDA nell'ambito del progetto "Sistema per lo studio della sismicità locale" hanno messo in evidenza che in Val d'Agri esiste una sismicità di fondo naturale e una sismicità indotta da tecnologie energetiche, quali l'invaso del Pertusillo (Stabile et al., 2013; Stabile et al., 2014a) e il pozzo di re-iniezione Costa Molina 2 (Stabile et al., 2014b), nel territorio comunale di Montemurro (PZ), gestito dalla compagnia petrolifera ENI S.p.A.

Le attività di ricerca futura, di seguito riportate sinteticamente, possono svilupparsi su tre differenti aspetti della sismologia:

1. *Sismicità naturale*
    a. studio della variabilità a piccola scala del meccanismo di rottura, dello sforzo agente e della resistenza offerta dalle rocce;
    b. comprensione dei processi associati all'innesco e all'eventuale migrazione dei terremoti in Alta Val d'Agri;
    c. studio multi-parametrico per determinare la geometria e le caratteristiche delle faglie interessate dai processi sismici in Alta Val d'Agri.
2. *Sismicità indotta*
    a. analisi statistiche quantitative per la caratterizzazione della sismicità indotta e la sua correlazione con le attività antropiche;
    b. ricerca di *pattern* che possano caratterizzare le diverse tipologie di sismicità indotta e che consentano di discriminarle dalla sismicità naturale;
    c. modello geomeccanico dell'area investigata che tiene conto delle perturbazioni antropiche.
3. *Rischio sismico*
    a. studi di vulnerabilità del costruito;
    b. analisi dell'influenza dell'occorrenza di eventi sismici con ipocentri poco profondi sulle stime di pericolosità, vulnerabilità e rischio sismico dell'Alta Val d'Agri;
    c. eventuale rivalutazione della pericolosità sismica.

Riferimenti bibliografici

Bell, M. L., and A. Nur (1978). Strength changes due to reservoir-induced pore pressure and stresses and application to Lake Oroville, J. Geophys. Res, 83, 4469–4483, doi 10.1029/JB083iB09p04469.

Burrato, P., and G. Valensise (2008). Rise and fall of a hypothesized seismic gap: Source complexity in the 16 December 1857, Southern Italy earthquake (Mw 7.0), Bull. Seismol. Soc. Am., 98(1), 139–148.

Cello, G., E. Tondi, L.Micarelli, and L. Mattioni (2003). Active tectonics and earthquake sources in the epicentral area of the 1857 Basilicata earthquake (Southern Italy), Journal of Geodynamics, 36, 37–50.

Cucci, L., S. Pondrelli, A. Frepoli, M. T. Mariucci, and M. Moro (2004). Local pattern of stress field and seismogenic sources in the Pergola–Melandro basin and the Agri valley (Southern Italy), Geophys. J. Int., 156, 575–583.

Dell'Aversana, P. (2003). Integration loop of 'global offset' seismic, continuous profiling magnetotelluric and gravity data, First Break, 21(11), 32-41, doi 10.3997/1365-2397.2003019.

DISS Working Group (2010). Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), Version 3.1.1: A compilation of potential sources for earthquakes larger than M 5.5 in Italy and surrounding areas: available from the Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia at http://diss.rm.ingv.it/dissNet/.

Gasperini, P., R. Camassi, C. Mirto, and M. Stucchi (a cura di) (2004). Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani, versione 2004 (CPTI04), INGV, Bologna, http://emidius.mi.ingv.it/CPTI04/.

Giulia, L., and C. Meletti (2008). Testing the b-value variability in Italy and its influence on Italian PSHA, Bollettino di Geofisica Teorica e Applicata, 49(1), 59-76.

Lomax, A., J. Virieux, P. Volant, and C. Berge (2000). Probabilistic earthquake location in 3D and layered models: Introduction of a Metropolis-Gibbs method and comparison with linear locations, in Advances in Seismic Event Location, Thurber, C. H. & Rabinowitz, N. (eds.), Kluwer, Amsterdam, pp. 101–134.

Mallet, R. (1862). The Great Neapolitan Earthquake of 1857. The First Principles of Observational Seismology. London, vol. I, pp. 431, vol. II, pp. 399.

Pantosti, D., and G. Valensise (1988). La faglia sud-appenninica: identificazione oggettiva di un lineamento sismogenetico nell'Appennino meridionale, in Proc. VII Meeting Gruppo Nazionale di Geofisica della Terra Solida, Rome, 205–220.

Rovida, A., R. Camassi, P. Gasperini, and M. Stucchi (a cura di) (2011). CPTI11, la versione 2011 del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani, Milano, Bologna, http://emidius.mi.ingv.it/CPTI.

Reasenberg, P., and D. Oppenheimer (1985). FPFIT, FPPLOT and FPPAGE: Fortran computer programs for calculating and displaying earthquake fault plane solutions, U.S. Geol. Surv., Open File Report n. 85–739, Menlo Park, 262 pp, http://pubs.usgs.gov/of/1985/0739/report.pdf.

Rowe, C. A., R. C. Aster, B. Borchers, and C. J. Young (2002). An automatic, adaptive algorithm for refining phase picks in large seismic data sets, Bull. Seismol. Soc. Am., 92(5), 1660–1674.

Stabile, T. A., A. Giocoli, V. Lapenna, A. Perrone, S. Piscitelli, and L. Telesca (2013). Relationship between seismicity and water level of the Pertusillo reservoir (Southern Italy), FIST Geoitalia 2013, IX Forum Italiano di Scienze della Terra, Sessione 17 - Natural Hazards - Induced seismicity, Pisa, Italia, 16-18 settembre 2013.

Stabile, T. A., A. Giocoli, V. Lapenna, A. Perrone, S. Piscitelli, and L. Telesca (2014a). Evidences of low-magnitude continued reservoir-induced seismicity associated with the Pertusillo artificial lake (Southern Italy), Bull. Seismol. Soc. Am., 104(4), 1820-1828, doi 10.1785/0120130333.

Stabile, T. A., A. Giocoli, A. Perrone, S. Piscitelli, and V. Lapenna (2014b). Fluid injection induced seismicity reveals a NE dipping fault in the southeastern sector of the High Agri Valley (southern Italy), Geophysical Research Letters, 41(16), 5847-5854, doi 10.1002/2014GL060948.

Talwani, P., J. S. Cobb, and M. F. Schaeffer (1999). In situ measurements of hydraulic properties of a shear zone in northwestern South Carolina, J. Geophys. Res., 104(B7), 14993–15003, doi 10.1029/1999JB900059.

Talwani, P., L. Chen, and K. Gahalaut (2007). Seismogenic permeability, ks, J. Geophys. Res., 112, B07039, doi 10.1029/2006JB004665.

Telesca, L. (2010). Analysis of the cross-correlation between seismicity and water level in the Koyna area of India, Bull. Seismol. Soc. Am., 100(5A), 2317-2321, doi 10.1785/0120090392.

Valoroso, L., L. Improta, L. Chiaraluce, R. Di Stefano, L. Ferranti, A. Govoni, and C. Chiarabba (2009). Active faults and induced seismicity in the Val d'Agri region (southern Apennines, Italy), Geophys. J. Int., 178, 488–502, doi 10.1111/j.1365-246X.2009.04166.x.

Waldhauser, F., and W. L. Ellsworth (2000). A double-difference earthquake location algorithm: Method and application to the northern Hayward Fault, California, Bull. Seismol. Soc. Am., 90(6), 1353–1368, doi 10.1785/0120000006.

II.3. REALIZZAZIONE DEL COCKPIT AMBIENTALE PER IL CONTROLLO PREDITTIVO DEGLI IMPATTI AMBIENTALI IN VAL D'AGRI

II.3.1. TECNICHE AVANZATE PER L'ANALISI DI SERIE TEMPORALI DI RADIANZE SATELLITARI OTTICHE PER IL MONITORAGGIO DI INDICATORI AMBIENTALI DI PARTICOLARE INTERESSE IN AREE NATURALI SOGGETTE AD ELEVATE PRESSIONI ANTROPICHE (E.G. VAL D'AGRI)

Ing. Mariapia Faruolo

Premessa

Il ***gas flaring*** è la **pratica comunemente adottata dalle compagnie petrolifere per bruciare il gas naturale in eccesso associato all'estrazione 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 una misura di sicurezza adottata allo scopo di garantire che eventuali fuoriuscite dello stesso vengano smaltite direttamente sul luogo di produzione, evitando incidenti o esplosioni di qualsiasi tipo. Nel contempo, il *flaring* del gas presenta un duplice svantaggio: i) 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), ii) contribuisce all'inquinamento atmosferico del pianeta introducendo in atmosfera ingenti quantità di anidride carbonica, anidride solforosa e protossido di azoto. Per tali motivi il problema sia economico sia ambientale del *gas flaring* è particolarmente sentito ed affrontato, a scala mondiale, da organismi nazionali e sovra-nazionali, impegnati a ridurne l'impatto sull'ambiente.

Ad oggi, le informazioni su tale fenomeno 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 di avere stime indipendenti dei volumi di gas bruciati a scala locale e globale, nel 2002 la Banca Mondiale ha finanziato la NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*) per investigare le potenzialità dell'uso di osservazioni satellitari nell'identificazione delle torce e nella stima dei *gas flaring*, nell'ambito dell'iniziativa GGFR (*Global Gas Flaring Reduction*).

Dal 2002 ad oggi la **NOAA ha intrapreso diversi studi finalizzati all'identificazione e al 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 o come sorgenti termiche, in grado, pertanto, di emettere radiazioni elettromagnetiche alle lunghezze d'onda dell'infrarosso. In entrambi i casi, si preferisce utilizzare osservazioni notturne, nelle quali il contributo della radiazione solare è assente.

Sebbene gli studi basati su dati satellitari realizzati per lo studio di tale fenomeno siano estremamente recenti e in pieno sviluppo, 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 sul *gas flaring* in maniera sistematica e indipendente**.

In questo contesto si è inserita l'attività di ricerca messa in campo presso l'Osservatorio Ambientale della Val d'Agri (OAVDA) nel biennio 2012-2014, attività del tutto innovativa anche **per l'area in esame**, per la quale **non esistono affatto studi pregressi che sfruttano i soli dati satellitari per ottenere informazioni indipendenti sulle emissioni del Centro Olio Val d'Agri (COVA) conseguenti al fenomeno del *gas flaring***.

Le caratteristiche del COVA, inoltre, risultano peculiari, per intensità ed entità dei volumi dei gas bruciati in torcia, rispetto alla maggior parte delle altre realtà simili presenti nel mondo. Pertanto, scopo principale della ricerca è stato non solo lo sviluppo e la sperimentazione di tecniche satellitari ed indicatori utili al monitoraggio del fenomeno del *gas flaring*, ma anche la "esportabilità" (e, quindi, la verifica della piena applicabilità) delle metodologie messe a punto su un sito particolare come è quello del COVA.

A partire da una dettagliata ricerca bibliografica, in cui sono stati messi a sistema tutti gli studi sviluppati intorno al tema in oggetto e sulla base dei lavori di letteratura, l'obiettivo specifico di quest'attività di ricerca è consistito nella **definizione di un modello di regressione lineare che, partendo dal dato satellitare, fosse in grado di stimare, in maniera affidabile ed indipendente da misure *in situ* (i.e. dato fornito da ENI S.p.A.), il volume di gas bruciato in torcia, su base annuale**.

A valle di una serie di analisi di dettaglio inerenti alla identificazione del segnale satellitare più adatto a caratterizzare e descrivere il *gas flaring* e della implementazione di diverse metodologie di analisi basate su approcci proposti in letteratura, si è giunti alla definizione di una metodologia *ad hoc* basata sull'analisi di serie pluriennali di dati satellitari per la stima, su base annuale, dei volumi di *gas flaring* emessi dal COVA (Figura 1). A tale proposito va detto che quest'ultimo è un impianto di pretrattamento di gas e olio, unico in Italia per tipologia e ubicazione, caratterizzato da un *flaring* di processo e da un *flaring* d'emergenza (il cosiddetto *waste flaring*). Nello specifico, grazie alla stringente normativa tecnica regionale che regola il processo produttivo del COVA (i.e. l'Autorizzazione Integrata Ambientale, AIA), il 60%-80% del *flaring* avviene in condizioni di emergenza per depressurizzare il gas in eccesso convogliato alle torce (Figura 1) e mantenere in sicurezza l'impianto. Tenendo presente ciò, le analisi sono state sviluppate per definire un modello di regressione lineare in grado di quantificare, su base annuale, i volumi di *flaring* del COVA, rappresentativi delle emissioni in condizioni di emergenza.

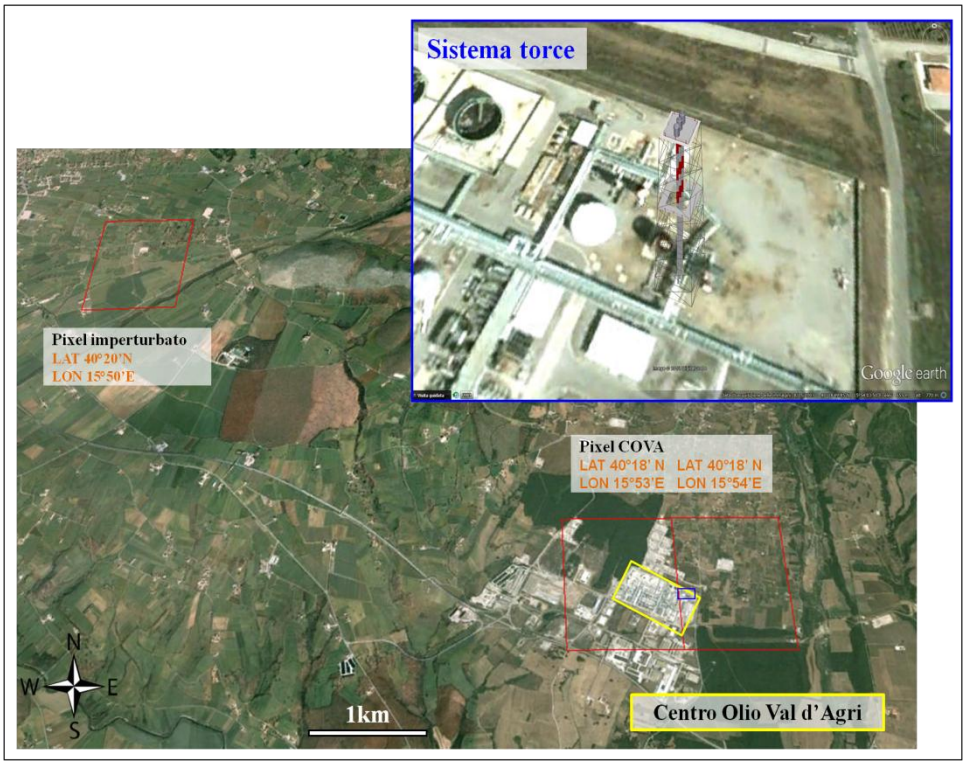


Figura 1: *Posizione del COVA, evidenziato dal riquadro giallo, su un'immagine Google Earth; i box rossi rappresentano le celle al suolo MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) relativamente al COVA e all'area imperturbata utilizzate nelle analisi; nel box blu in alto a destra un dettaglio del sistema torce COVA.*

Dati utilizzati nelle analisi

I due paragrafi seguenti descrivono brevemente i dati utilizzati nelle analisi: dati forniti da ENI S.p.A. e dati satellitari.

Dati ENI S.p.A.

A supporto dell'attività di ricerca, ENI S.p.A. ha fornito i seguenti dati: i) **produzione di gas (Sm^3) e** ii) **olio (m^3 e barili) dal 2000 al 2012 (valori giornalieri)**, iii) **volumi di gas bruciati dalle torce (i.e. *flaring*)** nel periodo **2003 - 2009 (valori mensili in Sm^3)**. Per gli scopi delle analisi di ricerca condotte, i dati suddetti sono stati aggregati su base annuale. In particolare, con riferimento al *flaring* del COVA (Local Report ENI, 2012), il cui sistema torce è costituito da tre torce elevate e una a terra (box in alto a destra di Figura 1), come già detto il 60%-80% dei volumi di gas bruciato dalle torce è relativo agli scarichi d'emergenza. Durante i cosiddetti sfiaccolamenti, causati da malfunzionamenti sulle linee dell'impianto, è necessario depressurizzare il gas in eccesso inviato alle torce al fine di mettere l'impianto in completa sicurezza. I dati forniti da ENI S.p.A. fanno riferimento proprio ai principali sfiaccolamenti occorsi presso il COVA dal 2003 al 2009.

Dati MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer)

La misura satellitare viene espressa in termini di Temperatura di Brillanza (TB) e quantifica la radiazione elettromagnetica emessa dal corpo in oggetto alla lunghezza d'onda considerata. Ogni oggetto con temperatura superiore allo zero assoluto (0 K, -273°C), in pratica qualsiasi oggetto reale, emette spontaneamente radiazione in tutto lo spettro elettromagnetico. In particolare, all'aumentare della temperatura del corpo aumenta la quantità totale di radiazione elettromagnetica emessa mentre diminuisce la lunghezza d'onda relativa al picco di massima emissione; per tali motivi si analizza la porzione del medio infrarosso (intorno a 4μm) in quanto è quella di massima emissione per una sorgente che si trovi ad una temperatura intorno a 1000°C.

Sulla base dei lavori presenti in letteratura, **l'emissione termica del COVA è stata quantificata, da satellite, sfruttando la differenza di temperature di brillanza nel medio infrarosso** (MIR, intorno a 4 μm) **e nell'infrarosso termico** (TIR, intorno a 11 μm). Questo perché **un effetto locale e naturale di riscaldamento provocherà un aumento di temperatura simile sia nel MIR che nel TIR mentre sorgenti effettivamente più calde produrranno chiaramente valori di TB maggiori nel MIR di quelli misurabili del TIR** (Figura 2). Pertanto, l'uso della combinazione permetterà un abbattimento di eventuali false identificazioni (Elvidge et al., 2011). La Figura 2 mostra un esempio di quanto appena detto: essa è relativa all'acquisizione del sensore MODIS dell'11 luglio 2012, alle 22.52 ora locale (LT, *Local Time*) sulla regione Basilicata ed evidenzia, in corrispondenza del COVA, la presenza di una sorgente calda (i.e. *hotspot*, pixel di colore chiaro) nel canale 20 (centrato intorno 3.75 μm), avente una TB di ben 8K superiore a quella misurata nel TIR (TB_{31}).

Per implementare l'algoritmo sviluppato, **sono stati analizzati 13 anni di dati satellitari** (circa 10.000 immagini) **acquisiti da MODIS, a bordo dei satelliti Terra ed Aqua della missione EOS (*Earth Observing System*) della NASA (*National Aeronautics and Space Administration*)**. Nel dettaglio, sono state processate le bande del MIR e TIR di MODIS, ovvero i canali 20 (3.660 - 3.840 μm) e 31 (10.780 - 11.280 μm), nel periodo 2000-2012 e nella fascia oraria notturna 20-01 *Greenwich Mean Time* (GMT). Sono state **estratte** per ciascun giorno dell'anno le **temperature di brillanza relative al COVA e ad un'area imperturbata** (ovvero non caratterizzata dalla presenza di attività industriali - Figura 1), filtrando, in una seconda fase, per la creazione dei *dataset* di riferimento, solo le immagini non nuvolose e con angolo zenitale minore di 40°. La Figura 1 mostra la posizione dei suddetti pixel su un'immagine satellitare Google Earth da cui si evince che l'area interessata dal pixel imperturbato è un'area prevalentemente vegetata posta a 6 km circa in direzione N-O rispetto al COVA stesso. Le analisi condotte sul pixel imperturbato hanno permesso di valutare l'entità dell'eventuale errore commesso durante l'identificazione delle anomalie

termiche (falsi positivi, ovvero identificazioni dovute ad effetti di riscaldamento locale non attribuibili a processi antropici). Tale errore è stato calcolato come la percentuale di anomalie termiche identificate per il pixel imperturbato a uno specifico livello di intensità del segnale considerato.

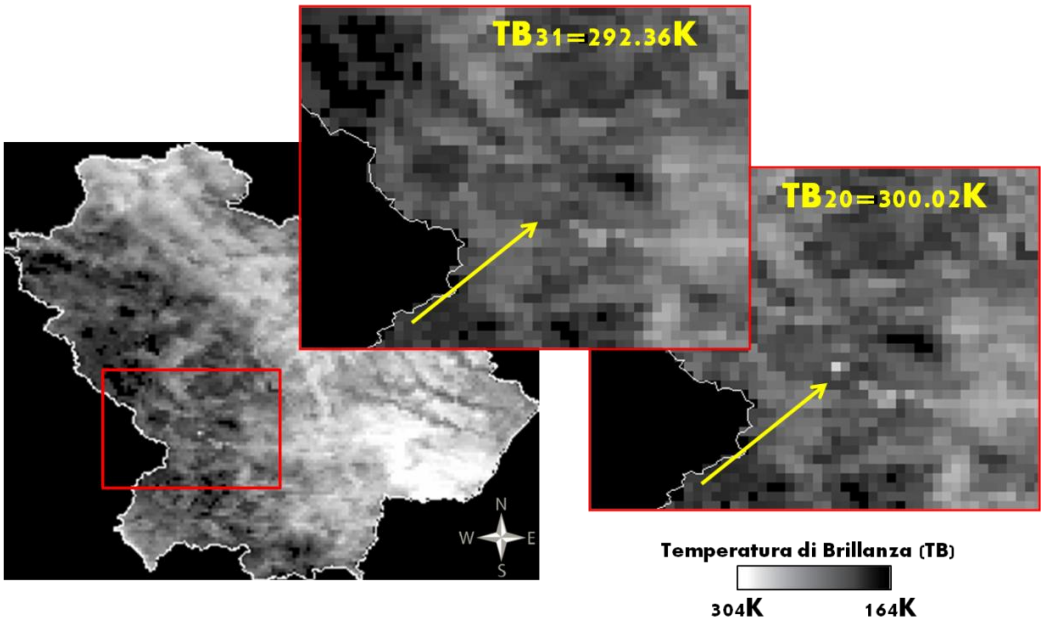


Figura 2: *Immagine satellitare MODIS dell'11 luglio 2012 alle 22.52 LT rappresentata in toni di grigio (valori più chiari corrispondono a temperature di brillanza più alte): il COVA appare come un hotspot nel canale 20 (pixel evidenziato dalla freccia gialla), essendo una sorgente molto calda rispetto al background.*

Metodologia di analisi sviluppata

La **metodologia di analisi sviluppata** *ad hoc* per la stima da satellite dei volumi di *gas flaring* connessi al COVA si articola nei seguenti passi:

- **identificazione delle anomalie termiche, su base annuale, attraverso l'implementazione della tecnica RST (*Robust Satellite Techniques*);**
- **stima del potere emissivo del COVA attraverso il calcolo dell'FRP (*Fire Radiative Power*);**
- **definizione del modello di regressione lineare e stima dei volumi di *gas flaring* a partire dalle stime di FRP.**

L'**approccio RST** (Tramutoli, 1998; 2005; 2007) 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). Per la prima volta è stato applicato al fenomeno del *flaring* durante l'attività di ricerca in oggetto. Tale tecnica si configura come un algoritmo di *change detection* ed è

basato sull'analisi di serie temporali pluriennali di immagini satellitari, acquisite 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 come anomalo solo il pixel per il quale la deviazione tra il segnale misurato e quello di riferimento, che definisce lo stato imperturbato (ossia quello caratterizzato dall'assenza di eventi in grado di alterare le condizioni normali), sia statisticamente maggiore della variabilità storica del segnale stesso. Tale indicatore associa a ciascuna "anomalia termica" una intensità relativa (i.e. livello di confidenza) e permette di valutarne la significatività statistica.

In base a quanto detto, per l'identificazione di anomalie termiche relative al fenomeno del *gas flaring*, il segnale di riferimento è dato dalla differenza di temperatura di brillanza nel MIR e TIR (i.e. TB_{MIR}-TB_{TIR}) di MODIS. Ovviamente, in presenza di segnali anomali relativi al *flaring* del COVA sono attesi valori positivi dell'indice $ALICE_{20\text{-}31}$. A questo proposito occorre fare una precisazione: considerando che il COVA è una sorgente termica stabile, persistente nello spazio e nel tempo, l'indice così definito non dovrebbe mostrare valori molti elevati in condizioni di normale esercizio (i.e. *flaring* di processo). D'altro canto, valori più alti dovrebbero invece misurarsi in concomitanza del verificarsi di variazioni nelle operazioni di combustione e/o malfunzionamenti nei processi di impianto che determinano l'insorgere di sfiaccolamenti, ovvero in presenza di maggiore emissione termica in corrispondenza del sistema torce. Quindi, da questo punto di vista, il COVA rappresenta un *hotspot* sostanzialmente diverso da quelli precedentemente analizzati in ambito RST. Per tali motivi, al fine di investigare meglio le potenzialità di RST nel descrivere il fenomeno del *gas flaring* del COVA nonché di studiare il comportamento dell'$ALICE_{20\text{-}31}$ per tale tipologia di sorgente, sono stati analizzati diversi livelli di confidenza dell'indice in oggetto. Sulla base del potenziale errore commesso nell'identificazione dell'anomalia termica associato al livello di confidenza scelto, attraverso lo studio del suo comportamento per l'area imperturbata, sono stati definiti come livelli più affidabili e al tempo stesso sensibili alla presenza di eventi anomali quelli variabili tra 1.5 a 2.0 (errore del 3% e 1% rispettivamente).

Identificate le anomalie termiche per i due livelli di intensità dell'$ALICE_{20\text{-}31}$, una verifica del reale legame tra il segnale così definito e il fenomeno del *gas flaring* è consistita nel correlare la produzione di gas (istogramma in Figura 3) con la somma dei valori di $ALICE_{20\text{-}31}$ maggiori di 1.5 e

2.0, calcolata su base annuale nel periodo 2000 – 2012 (linea verde e linea gialla, rispettivamente, in Figura 3).

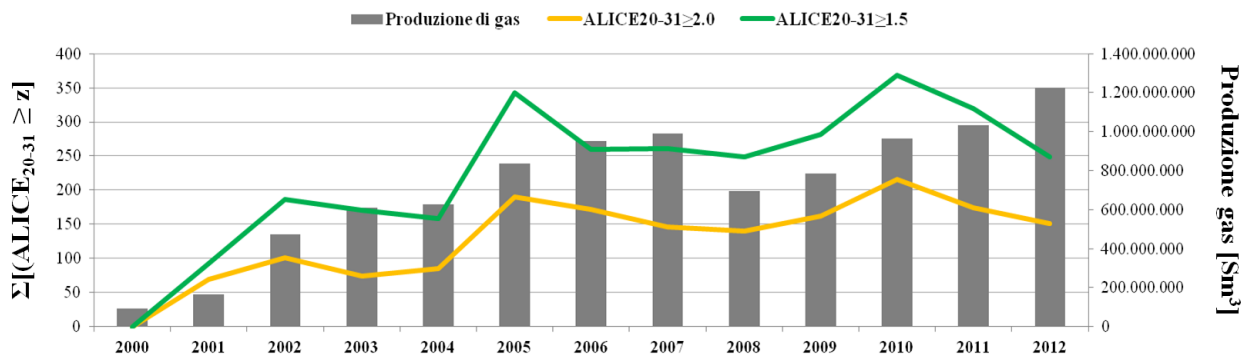


Figura 3: *Andamento temporale della produzione di gas e segnale investigato (i.e. ALICE$_{20\text{-}31}$) a diversi livelli di confidenza.*

In Tabella 1 si riportano i coefficienti di correlazione lineare (*R*) stimati per i suddetti dati.

R	Σ[ALICE$_{20\text{-}31}$ ≥ 1.5]	Σ[ALICE$_{20\text{-}31}$ ≥ 2.0]
Produzione gas [Sm^3]	84%	84%

Tabella 1: *Coefficienti di correlazione (R) tra l'eccesso di radianza misurato da satellite per il COVA e la produzione di gas nel periodo 2000-2012.*

I valori di *R* mostrano chiaramente l'alta correlazione tra il dato ENI S.p.A. e quello satellitare, anche in questa configurazione *RST-based*, a conferma che il segnale investigato è fortemente dipendente dal processo di combustione in oggetto.

Appurato che l'indicatore utilizzato è indicativo del fenomeno investigato, si è introdotto il concetto di ***Fire Radiative Power*** **(FRP)** per quantificare l'energia radiante emessa dal COVA durante il *flaring*, essendo questa una misura fisica ampiamente utilizzata per quantificare il potere radiante degli *hotspot* (i.e. incendi). A tale scopo, è stata usata la formula proposta da Kaufman et al. (1998). L'FRP, il cui andamento temporale è mostrato in Figura 4, è stato calcolato solo per le anomalie termiche identificate precedentemente dall'ALICE$_{20\text{-}31}$ ≥ 1.5 (linea rossa in Figura 4) e ≥ 2.0 (linea verde in Figura 4). La correlazione tra i valori ottenuti in questo modo e i volumi di *gas flaring* emessi è estremamente significativa essendo superiore al 90%, a conferma della qualità delle scelte effettuate.

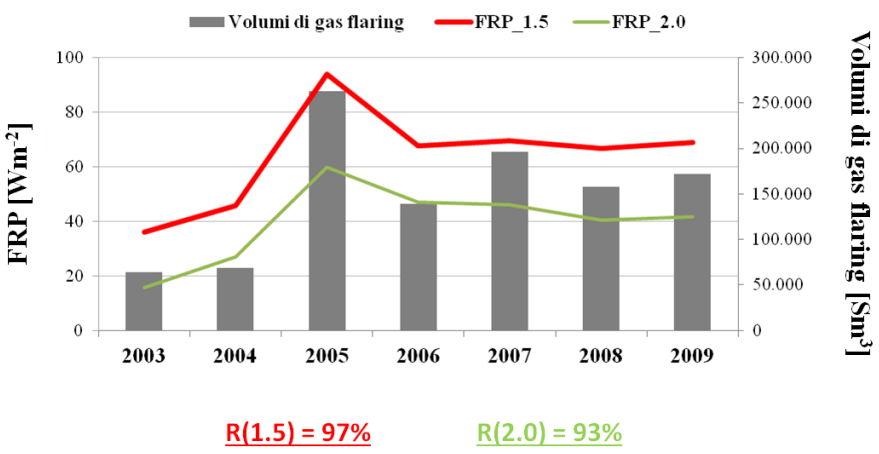
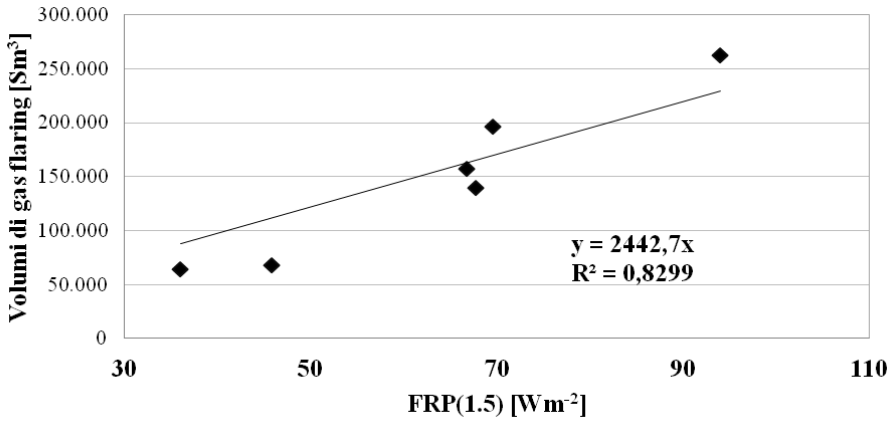
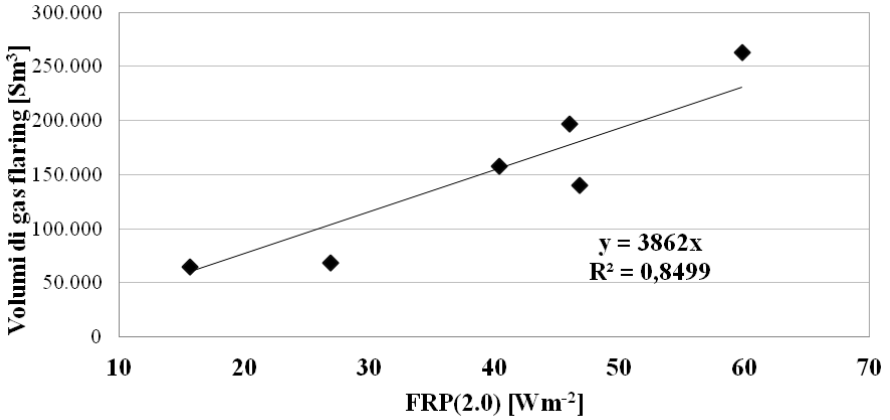


Figura 4: *Andamento temporale dell'FRP calcolato per ALICE$_{20\text{-}31}$ ≥ 1.5 (linea rossa) e ALICE$_{20\text{-}31}$ ≥ 2.0 (linea verde). I valori di R sotto riportati sono riferiti alla correlazione tra i volumi di gas flaring (istogramma) e i poteri emissivi stimati per ALICE$_{20\text{-}31}$ ≥ 1.5 (rosso) e ≥ 2.0 (verde).*

Come ultimo *step*, sono stati definiti i **modelli di regressione lineare** per i due livelli di intensità dell'ALICE$_{20\text{-}31}$, in cui il volume di *gas flaring* viene stimato a partire dall'FRP (Figura 4). Le equazioni ottenute, differenziate a seconda della soglia utilizzata, sono riportate in Figura 5:



a)



b)

Figura 5: *Modelli di regressione lineare ottenuti utilizzando l'FRP calcolato per valori dell'ALICE$_{20\text{-}31}$ a) ≥ 1.5 e b) ≥ 2.0.*

Partendo dai valori del potere emissivo, in termini di FRP, di 69 Wm^{-2} e 42 Wm^{-2}, ottenuti per il COVA per l'anno 2009 a 1.5 e 2.0, rispettivamente, dai modelli di regressione lineare suddetti sono stati stimati per lo stesso anno i volumi di gas bruciati pari a 167.854 Sm^3 e 161.095 Sm^3 (Tabella 2). Considerando che il dato ENI S.p.A. per il 2009 è pari a 171.759 Sm^3, i due modelli sottostimano del 2% e 6%, rispettivamente, la misura reale.

Potere emissivo COVA	***FRP_Σ(ALICE$_{20\text{-}31}$ ≥ 1.5) = 69 Wm^{-2}***	***FRP_Σ(ALICE$_{20\text{-}31}$ ≥ 2.0) = 42 Wm^{-2}***
Stima da satellite [Sm^3]	167.854	161.095
Misura ENI [Sm^3]	171.759	

Tabella 2: *Risultati derivanti dai modelli di regressione per l'anno 2009.*

I risultati ottenuti implementando la suddetta metodologia sono più che soddisfacenti (R^2 ~ 84%): **l'utilizzo di RST per l'identificazione delle anomalie termiche e il calcolo dell'FRP per la stima del potere emissivo del COVA hanno permesso di definire un modello di regressione lineare con un R^2 pari a 0.83 che sottostima solo del 2% i volumi di *gas flaring* nel 2009**.

Analisi di fattibilità circa le potenzialità dei dati geostazionari

Negli ultimi mesi di lavoro presso l'OAVDA, è stato condotto **uno studio di fattibilità circa le potenzialità dei dati satellitari geostazionari, acquisiti, con una frequenza di 15 minuti, dal sensore SEVIRI** (*Spinning Enhanced Visible and InfraRed Imager*), **a bordo del satellite geostazionario MSG** (*Meteosat Second Generation*)**, per il monitoraggio in tempo reale del segnale termico misurato sull'area del COVA**. La **versione preliminare** di questo algoritmo, finalizzato all'individuazione tempestiva di eventuali anomalie termiche connesse a variazioni e/o malfunzionamenti dell'impianto che determinano l'insorgere delle cosiddette fiammate, è stato **testato, per la prima volta, in occorrenza dell'evento incidentale verificatosi in data 13 gennaio 2014 presso il COVA**, **rivelando buone potenzialità**. Tenendo conto di quanto detto nel paragrafo "Dati MODIS", il sistema in oggetto monitora la radiazione emessa dal COVA nel medio infrarosso, in quanto è quella di massima emissione per una sorgente che si trovi ad una temperatura sensibilmente superiore ai 1000°C. Quest'energia viene espressa in termini di Temperatura di Brillanza (TB).

La fiammata, che, come riportato in una nota da ENI S.p.A., si è verificata intorno alle 11.30 LT, è stata registrata come anomalia termica dal sistema di monitoraggio satellitare sviluppato presso il CNR-IMAA. Per il COVA, il suddetto sistema ha misurato in data 13 gennaio 2014 i valori di temperatura di brillanza (TB) nel medio infrarosso riportati in Figura 6 (linea rossa), tra le 9.00 e le 16.00 LT. **Il *trend* in oggetto è caratterizzato dalla presenza di un picco, registrato alle**

11.26 LT ed identificativo di un aumento significativo ed anomalo della radiazione termica emessa dal COVA. La temperatura di brillanza misurata, integrata su tutta l'area investigata (pari a circa 12 km^2), è risultata pari a 292.21 K, cioè circa 11 K in più rispetto a quanto misurato, sulla stessa area, appena 15 minuti prima (281.50 K). Il **rapido gradiente termico osservato, insieme all'intensità del segnale misurato** (anche per confronto con il valore atteso per il posto ed il periodo, cfr. Figura 6, linea blu) **dimostrano che la portata dell'evento è stata notevole** e che si è trattato di un fenomeno di indubbia e rara intensità.

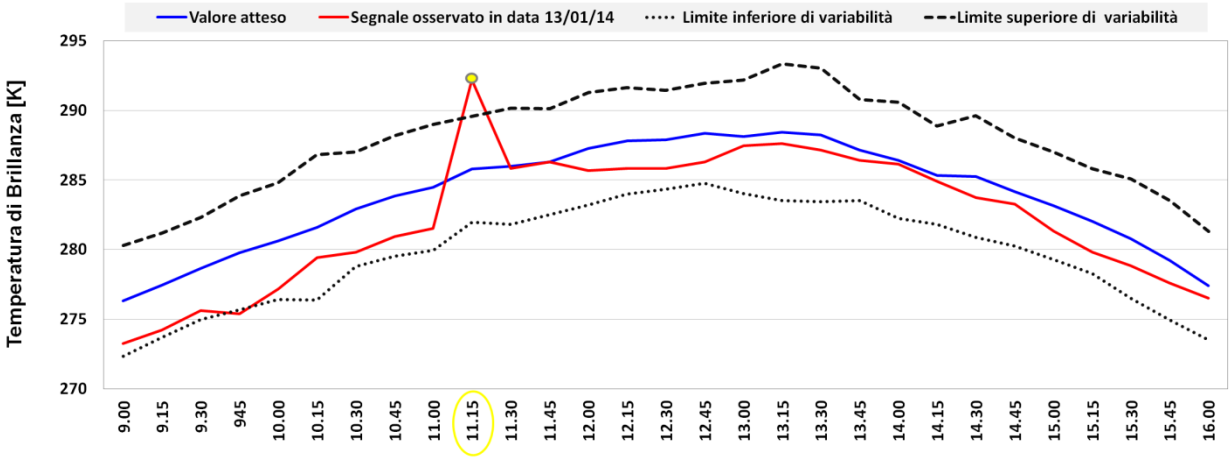


Figura 6: *Andamento temporale del segnale osservato da satellite nel medio infrarosso per il COVA (linea rossa) nella giornata del 13 gennaio 2014 (fascia oraria 9.00-16.00 LT).*

In Figura 7 si riporta l'immagine satellitare acquisita sull'Italia (Figura 7a) alle 11.00 LT dal sistema di cui sopra in data 13 gennaio 2014, con un dettaglio sull'area circostante il COVA relativamente ai passaggi delle 11.00 LT (Figura 7b) e 11.15 LT (Figura 7c), cioè nei minuti precedenti il verificarsi dell'evento e in quelli immediatamente successivi. Le immagini sono rappresentate in toni di grigio, dove a valori crescenti della temperatura di brillanza corrispondono colori più chiari. L'analisi della Figura 7 mette chiaramente in evidenza la presenza di un'anomalia termica nell'area del COVA.

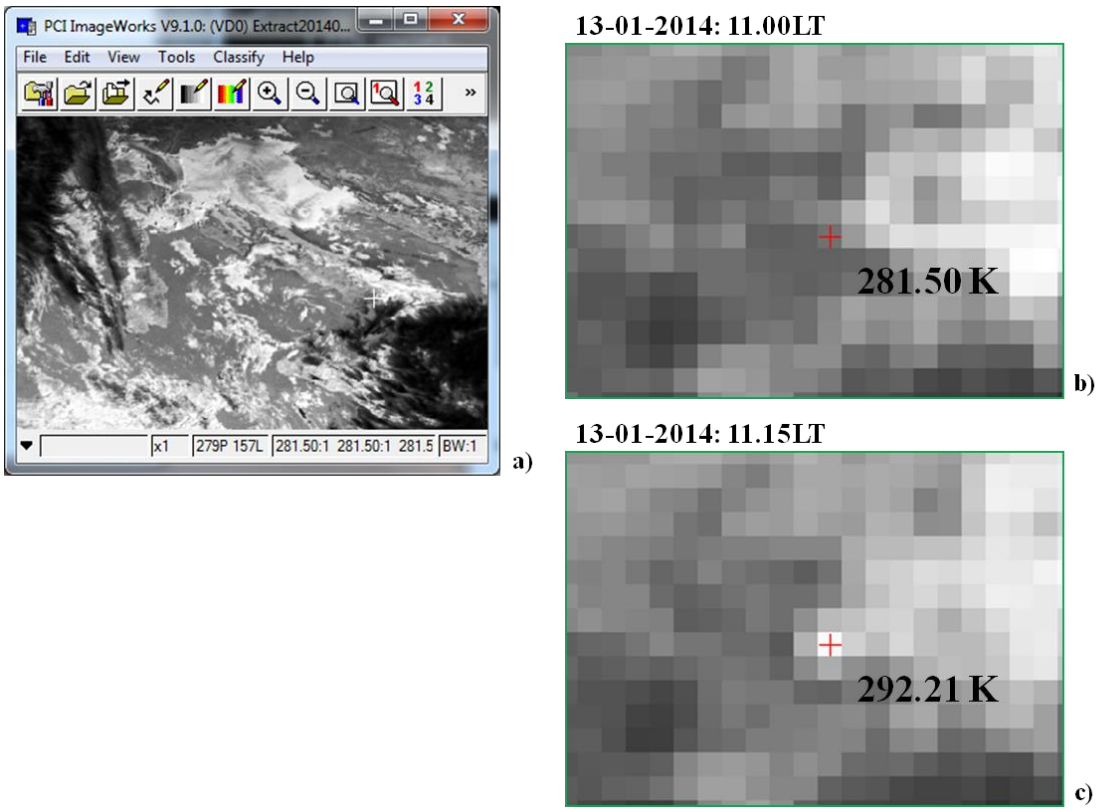


Figura 7: a) *Immagine satellitare acquisita sull'Italia in data 13/01/2014 alle 11.00 LT, con zoom sul COVA (evidenziato in rosso) per il passaggio delle* ***b)*** *11.00 LT (antecedente l'evento) e* ***c)*** *11.15 LT (a cavallo dell'evento).*

A partire dalle misure di TB, l'algoritmo implementato presso il CNR-IMAA, che ingloba e processa in tempo reale serie pluriennali di immagini satellitari disponibili per il luogo di osservazione in esame, definisce i seguenti parametri:

- valore atteso del segnale (linea blu in Figura 6), rappresentativo del comportamento del segnale in condizioni imperturbate, ossia in assenza di eventi in grado di alterare le condizioni normali; nel caso in esame, corrisponde alla temperatura di brillanza media osservata per ciascuna fascia oraria e per il medesimo luogo di osservazione (i.e. il COVA),
- i limiti, superiore ed inferiore (linee nere tratteggiate in Figura 6), della variabilità del segnale, che, invece, definiscono il *range* di variazione entro cui quel segnale può variare rimanendo nella sua naturale variabilità, non risultando cioè associabile al verificarsi di un evento anomalo.

L'analisi del solo segnale termico misurato nella giornata del 13 gennaio 2014 (linea rossa in Figura 6) permette, in una prima fase, di identificare la presenza di un'anomalia termica, durante l'acquisizione tra le 11.15 e le 11.30 LT, connessa ad una modifica nel processo di combustione in atto, essendo tale valore nettamente superiore al suo valore medio atteso (285.77 K) e fuori dal suo *range* di variabilità normale. In un secondo *step*, l'algoritmo di cui sopra passa all'**implementazione di un indice normalizzato, per una più rigorosa caratterizzazione di tipo**

statistico del fenomeno investigato e per una sua più corretta interpretazione. Tale indicatore associa a ciascuna "anomalia termica" una intensità relativa e permette di valutarne la significatività statistica. Assumendo una distribuzione di tipo normale dell'indice satellitare utilizzato, valori maggiori di 2.5 possono ritenersi statisticamente significativi, in quanto associati ad una probabilità di occorrenza dell'evento inferiore all'1%. La Figura 8 mostra come **il suddetto indicatore** (linea verde) vari, nell'intero intervallo temporale analizzato, sempre intorno a valori per lo più compresi tra -1 e +1 (come da attendersi per osservazioni nella norma) ma **presenta un picco significativo (valore dell'indicatore uguale a 3.40) in concomitanza dell'evento di alta visibilità in torcia avvenuto presso il COVA**. **La probabilità di occorrenza casuale di un tale segnale è minore dello 0.05%, il che conferma l'eccezionalità dell'evento**.

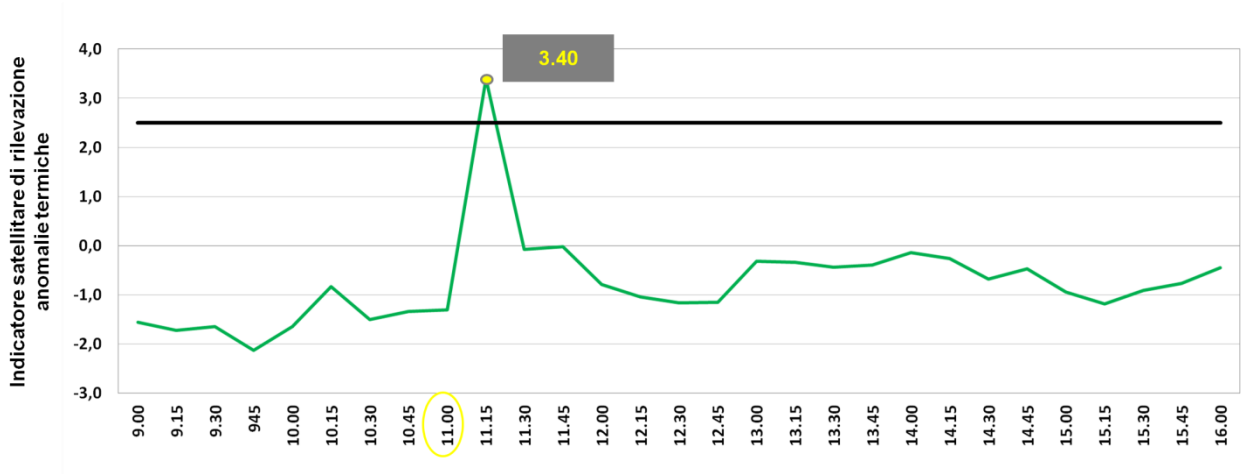


Figura 8: *Andamento temporale dell'indicatore satellitare basato sul segnale termico acquisito per il COVA nel medio infrarosso per rilevare anomalie termiche connesse al processo produttivo del COVA stesso.*

Sintesi dei risultati e sviluppi futuri

Il COVA è un impianto di pretrattamento di gas e olio, il più grande del suo genere in Italia, l'unico ubicato in un'area largamente antropizzata, caratterizzata da un'ampia complessità ambientale che merita strumenti di monitoraggio e metodologie di analisi dati adeguati. Relativamente alle emissioni in atmosfera, un'ulteriore **peculiarità del COVA è che, rispetto agli impianti già studiati in letteratura**, presso i quali tutto il gas associato al greggio estratto viene bruciato in torcia, **il *flaring* avviene nel 60%-80% dei casi in condizioni d'emergenza (il cosiddetto *waste flaring*), limitando fortemente l'impatto visivo delle torce e le emissioni in atmosfera**.

Durante l'attività di ricerca in oggetto, si è verificata appunto la potenzialità delle osservazioni satellitari per quantificare le emissioni del COVA dovute al *flaring* di emergenza. Con riferimento a queste condizioni operative e tenendo conto delle specifiche caratteristiche

dell'impianto, il COVA è stato dapprima caratterizzato da un punto di vista termico, attraverso la stima del suo potere emissivo (i.e. inteso come la quantità di energia termica emessa dal COVA durante il *waste flaring*). A tal fine sono stati processati 13 anni di dati MODIS acquisiti alle lunghezze d'onda del medio infrarosso ed infrarosso termico. Allo scopo, è stata sviluppata una strategia *ad hoc* partendo dall'implementazione di una tecnica consolidata di analisi dati satellitari (RST). Successivamente, a partire dai risultati conseguiti, si è costruito un modello di regressione lineare atto a stimare i volumi di *gas flaring*.

Entrando nel dettaglio della ricerca, in una fase preliminare, **analisi specifiche sul comportamento delle bande MODIS MIR e TIR hanno portato all'identificazione del segnale MIR_{20}-TIR_{31} quale combinazione più adatta per descrivere il processo di combustione del COVA, essendo quella caratterizzata dal miglior compromesso tra affidabilità e sensibilità**.

Proprio nell'ottica di migliorare le performance del suddetto modello, si è deciso di utilizzare una **metodologia generale di analisi dati satellitari, quale RST, per filtrare in maniera statisticamente più significativa quei segnali effettivamente associabili al *flaring* di emergenza**, nonché di **stimare il potere emissivo del COVA attraverso il calcolo del *Fire Radiative Power*, misura fisicamente basata per quantificare l'energia radiante emessa dalla sorgente investigata**. La **metodologia così strutturata ha portato alla definizione di un modello di regressione lineare in grado di fornire informazioni sui volumi di *flaring* emessi con un alto grado di affidabilità (R^2 intorno all'85%)**.

I risultati più che soddisfacenti ottenuti in questi due anni rappresentano il punto di partenza per studi futuri che si possono riassumere nei seguenti punti:

- **verifica dell'affidabilità dell'algoritmo implementato su dati MODIS su un intervallo temporale più esteso rispetto a quello considerato** durante l'attività svolta nel biennio 2012-2014 (i.e. 2003-2009 – Faruolo et al., 2014);
- verifica della fattibilità e delle eventuali potenzialità di un'analisi condotta su base mensile, semestrale e stagionale, piuttosto che annuale;
- **valutazione delle performance dei dati termici acquisiti dal sensore AVHRR (*Advanced Very High Resolution Radiometer*)** in relazione allo sviluppo di un modello di regressione quale quello implementato su MODIS; essendo tali dati disponibili anche prima dell'insediamento del COVA (e.g. 1996) essi dovrebbero permettere di **definire il "bianco"**, cioè la situazione termica pre-esistente all'insediamento del COVA e di **meglio ricostruire la storia termica del sito in oggetto**;
- **studio di fattibilità di dati di nuova generazione, quali quelli forniti dal sensore VIIRS (*Visible Infrared Imaging Radiometer Suite*)**, operante a bordo della piattaforma

Suomi/NPP (*Suomi/NPOESS Preparatory Project*) dal novembre del 2012, aventi migliori caratteristiche in termini di risoluzione spaziale e spettrale rispetto ad AVHRR e MODIS, **con il fine di migliorare ulteriormente, in termini di qualità e accuratezza, il contributo della suddetta metodologia** nel determinare 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 che di emissività, potrebbe consentire di definire indicatori più sensibili o più adatti per il riconoscimento di anomalie termiche legate ai processi produttivi del COVA, da inserire in un algoritmo automatico per la caratterizzazione h24 (sia di notte che di giorno) della sorgente di combustione e la *detection* in tempo quasi reale delle stesse;

- **verifica delle potenzialità di un sensore ad altissima risoluzione temporale, quale MSG/SEVIRI**, in grado di osservare uno stesso punto della superficie terrestre ogni 15 minuti (ma, in configurazione *Rapid Scan* il tempo di *refreshing* può arrivare a 5 minuti), per avere una *detection* in tempo reale del segnale termico misurato per il COVA; nello specifico, si vuole **implementare un algoritmo che sia in grado di fornire informazioni affidabili, rapide e tempestive circa la presenza di eventuali anomalie termiche (e.g. sfiaccolamenti) sul COVA**. Una volta individuate, tali anomalie possono essere caratterizzate quantitativamente ad esempio in termini di potenza radiante (*Radiative Power*) al fine di seguirne la dinamica evolutiva.

Riferimenti bibliografici

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., Kimberly E. Baugh, Daniel Ziskin, Sharolyn Anderson, Tilottoma Ghosh (2011): Estimation of Gas Flaring Volumes Using NASA MODIS Fire Detection Products.

Faruolo, M., Coviello, I., Filizzola, C., Lacava, T. Pergola, N., Tramutoli, V.: "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.

Local Report Ente Nazionale Idrocarburi (ENI) in Basilicata, 2012 (on line at http://www.eni.com/it_IT/attachments/sostenibilita/impegno-sostenibilita/eni-in-basilicata.pdf).

Kaufman, Y. J., Justice, C. O., Flynn, L. P., Kendall, J. D., Prins, E. M., Giglio, L.,Ward, D. E., Menzel, W. P., & Setzer, A. W.: Potential global fire monitoring from EOS-MODIS. Journal of Geophysical Research, 103, 32215– 32238, 1998.

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.

Rapporto Istruttorio Regione Basilicata, Dipartimento Ambiente, Territorio, Politiche della Sostenibilità "ALLEGATO 3" – artt. 29 quater e 29 sexies del Decreto Legislativo 3 aprile 2006 n° 152, Aggiornamento dell'A.I.A. relativa all'impianto denominato "Centro Olio Val D'Agri", 2011.

Tramutoli, V. (1998). 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.

Tramutoli, V. (2005). 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.

Tramutoli, V. (2007). 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.

II.3.2. SVILUPPO DI UNA PIATTAFORMA MODELLISTICA INTEGRATA DI SUPPORTO ALLA DEFINIZIONE DI STRATEGIE DI RIDUZIONE DELLE EMISSIONI ATMOSFERICHE A SCALA LOCALE E GLOBALE

Ing. Simona Loperte

Premessa

La Val d'Agri è da diversi decenni interessata da significativi processi esplorativi e di coltivazione degli idrocarburi, cui sono imputabili potenziali rischi ambientali che hanno indotto a strutturare diversi progetti di monitoraggio della qualità delle principali matrici ambientali. Per disporre di un **quadro conoscitivo esaustivo delle pressioni sul territorio e dei conseguenti impatti ambientali** è necessario, però, implementare delle metodologie avanzate di ricerca volte alla creazione del *cockpit* ambientale per il controllo predittivo degli stessi. In tale contesto, si inserisce l'attività di ricerca finalizzata allo "Sviluppo di una piattaforma modellistica integrata di supporto alla definizione di strategie di riduzione delle emissioni atmosferiche a scala locale e globale".

L'efficacia di tali strategie è sicuramente legata alla conoscenza del sistema in analisi che è resa possibile grazie alla raccolta e alla successiva elaborazione dei dati sulle attività antropiche che insistono sull'area e sui relativi impatti, nonché dei dati di monitoraggio delle matrici ambientali. Ciò per implementare il bilancio ambientale dell'area in esame, attraverso la **metodologia DPSIR** (*Driving Pressure State Impact Response*) per **la valutazione delle prestazioni ambientali delle attività di produzione e di servizio e per orientare le scelte gestionali e di controllo verso un miglioramento dell'efficienza e dell'efficacia ambientale.**

Attività di progetto svolte

La metodologia DPSIR

Il **bilancio ambientale** è uno strumento contabile in grado di descrivere le relazioni intercorrenti fra l'ambiente e le attività antropiche. La sua applicazione risulta particolarmente utile per **valutare le prestazioni ambientali degli insediamenti industriali nonché per stimare le pressioni ambientali delle attività produttive in aree vulnerabili**. Il bilancio ambientale rappresenta uno strumento volontario attraverso il quale ogni impresa o Ente può orientare le scelte gestionali e di controllo verso un miglioramento dell'efficienza e dell'efficacia sia ambientale che economica.

Esso fornisce una **rappresentazione statica del sistema analizzato in un dato periodo temporale**, che dipende dalla disponibilità dei dati, allo scopo di valutare le variazioni dello stato dell'ambiente.

L'efficacia di questo strumento consiste nella possibilità di **supportare la pianificazione strategica indirizzando le politiche nazionali e locali verso uno sviluppo sostenibile, di valutare l'efficacia di strategie ambientali e il contestuale raggiungimento di target**.

In sintesi, il bilancio ambientale è un documento informativo, periodicamente aggiornabile, relativo al rapporto tra l'impresa e l'ambiente, sulla base del quale l'impresa ha la possibilità di misurare il proprio impatto sull'ambiente, favorendo una gestione sostenibile delle proprie attività orientata alla diminuzione dei costi ambientali, soprattutto nel settore del consumo energetico, della gestione dei rifiuti e degli imballaggi, degli usi idrici e della depurazione delle acque.

Uno fra i modelli più utilizzati è il DPSIR, implementato dall'Agenzia Europea per l'Ambiente (EEA, 1999) a partire dall'originario modello PSR (Pressione Stato Risposta) elaborato dall'OCSE, l'Organizzazione per la Cooperazione e lo Sviluppo Economico (OCSE, 1994).

Secondo questo modello, per valutare l'impatto ambientale, occorre selezionare ed analizzare cinque tipi di indicatori (EEA, 2003):

- indicatori di **CAUSE PRIMARIE (*Drivers*, D)**: sono le cause determinanti, quali la presenza di stabilimenti industriali, i trasporti, l'agricoltura, gli agglomerati urbani, ecc.;
- indicatori di **PRESSIONE (*Pressure*, P)**: misurano le pressioni esercitate sull'ambiente dalle attività antropiche (emissioni atmosferiche, produzione di rifiuti, scarichi industriali, consumo di risorse, ecc.);
- indicatori di **STATO (*State*, S)**: misurano la qualità e il degrado ambientale (concentrazione di inquinanti in aria e acqua, contaminazione del suolo, ecc.);
- indicatori di **IMPATTO (*Impact*, I)**: misurano gli effetti sugli ecosistemi e sulla salute umana;
- indicatori di **RISPOSTA (*Response*, R)**: sono le politiche e gli interventi adottati dalle istituzioni e dai privati per migliorare lo stato dell'ambiente.

Significativa è l'applicazione di tale metodologia alle aree industriali. Un esempio di applicazione all'area industriale di Potenza è riportato in (Cosmi et al., 2006). In particolare, l'implementazione del modello DPSIR di un'area industriale necessita di una fase di reperimento dei dati per la caratterizzazione degli indicatori selezionati, che può risultare molto complessa a causa del cospicuo numero di informazioni e delle diverse tipologie di dati da archiviare ed elaborare.

Sintesi dei risultati e sviluppi futuri

In questi due anni di attività di ricerca, è stato implementato un bilancio ambientale preliminare dell'area industriale dell'Alta Val d'Agri mediante la **metodologia DPSIR**. In accordo con tale metodologia e seguendo le linee guida dell'Agenzia Europea dell'Ambiente (EEA) e dell'Istituto Superiore per la Protezione Ambientale (ISPRA), sono stati **selezionati degli specifici indicatori** sulla base della loro rappresentatività rispetto al caso studio e della disponibilità dei dati. Per il reperimento di questi ultimi, si è data priorità agli Enti istituzionalmente deputati riscontrando, però, non poche criticità legate in generale alla mancanza di dati e/o di dati aggiornati, soprattutto di natura ambientale.

Per ovviare a ciò, è stata implementata una **metodologia di indagine** per l'archiviazione e l'integrazione delle informazioni disponibili. I dati sono stati organizzati in un ***database*** **tematico gestito da Excel** allo scopo di garantirne una gestione trasparente, facilmente aggiornabile e maggiormente fruibile. In tal modo, è stato possibile caratterizzare le attività produttive insediate nell'area (D- Determinanti), ossia i settori economici e produttivi che inducono alterazioni negli equilibri ambientali e che originano pressioni sull'ambiente. In tal modo è stata costruita la **matrice economica** per la caratterizzazione delle **pressioni ambientali in termini di uso del territorio, uso di risorse naturali, produzione e consumo di energia (ricostruzione del bilancio energetico), produzione di rifiuti (con un focus su quelli speciali pericolosi) ed emissioni**.

L'area di studio ha interessato l'area industriale dell'Alta Val d'Agri (PZ), il cui insediamento industriale interessa il territorio dei comuni di Viggiano e Grumento Nova, essendo collocato sul confine tra essi: a Sud del centro urbano di Viggiano ed a Nord di quello di Grumento Nova. Si è proceduto in particolare alla **caratterizzazione socio-economica del distretto industriale**, allo scopo di individuare le diverse tipologie di attività produttive, ottenendo un quadro completo degli insediamenti commerciali ed industriali presenti nell'area.

La caratterizzazione delle **forze determinanti** ha riguardato, poi, lo stato delle infrastrutture e dei servizi dell'area industriale in analisi riportato in Tabella 1, da cui sono emerse anche significative criticità ambientali come la metanizzazione incompleta, che non consente alla maggior parte delle aziende insediate di soddisfare i propri fabbisogni energetici ricorrendo al gas naturale, di cui l'area è ricca.

SERVIZI	ALTA VAL D'AGRI
Energia Elettrica	Disponibile
Gas Metano	Rete SNAM con copertura limitata all'area ex 219 (Sud Est dell'area) Rete Area di Sviluppo Industriale (ASI) in fase di realizzazione (allacci non ancora realizzati)
Oleodotto	Oleodotto Viggiano-Taranto
Elettrodotti di potenza maggiore o uguale a 15 kW	Disponibile (circa 1.5 km a Nord)
Acqua potabile e industriale	Esistenti entrambe le reti, ma erogazione discontinua soprattutto d'estate
Pubblica Illuminazione	Disponibile
Rete fognaria	Rete per le acque bianche e acque nere e relativo impianto di depurazione
Opere stradali	Strade interne asfaltate ma non manutenute adeguatamente prive totalmente di segnaletica orizzontale e con segnaletica verticale insufficiente
Infrastrutture di grande comunicazione	S.S. 598
Opere ferroviarie	Non presenti
Toponomastica	Inesistente
Linea telefonica	Disponibile
Internet (ADSL, fibre ottiche, ecc.)	Realizzazione del cavidotto ad anello in fibra ottica che serve solo gli uffici ENI S.p.A.
Scuole/Ospedali	Non presenti
Impianti sportivi e/o ricreativi	Non presenti

Tabella 1: *Infrastrutture di servizio nell'area industriale ASI dell'Alta Val d'Agri - comuni di Viggiano (PZ) e Grumento Nova (PZ).*

Inoltre, è stata condotta l'analisi dei vincoli ambientali e territoriali, con una disamina dettagliata di tutte le **aree naturali** soggette a tutela, quali i siti Rete Natura 2000, i S.I.C. (Siti di Interesse Comunitario), le Z.P.S. (Zone a Protezione Speciale) ed i Parchi, da cui non sono emerse particolari emergenze né di carattere paesaggistico né di carattere architettonico/archeologico. La **ricostruzione dell'anagrafica delle imprese presenti**, caratterizzate sia per numero di addetti sia

per le diverse tipologie produttive ha portato all'implementazione della matrice economica, con la distribuzione degli addetti per settore produttivo. Da questa si evince la specificità dell'area industriale dell'Alta Val d'Agri che, fatta eccezione per l'industria petrolifera, risulta caratterizzata da una forte concentrazione nei settori tradizionali e dalla prevalenza di microimprese. Le attività industriali si concentrano prevalentemente nell'edilizia e nel suo indotto (lavorazione della pietra, produzione di calce e calcestruzzo, carpenteria metallica e in legno) ed in piccole attività manifatturiere a carattere artigianale e nelle attività professionali, scientifiche e tecniche.

Per monitorare l'obiettivo del consumo e della produzione sostenibile, uno degli indicatori principali è dato dalla **produttività delle risorse** che svolge un ruolo cruciale nella generazione di pressioni ambientali, direttamente ascrivibili ad attività primarie e condizione necessaria delle pressioni consistenti nella restituzione all'ambiente naturale di inquinanti atmosferici e delle acque, nella generazione di rifiuti da gestire, nel consumo di suolo per la costruzione di edifici e infrastrutture (Eurostat, 2011).

È stato possibile determinare l'uso del territorio mediante la ricostruzione dei lotti effettivamente occupati e dei nuovi insediamenti, di cui non vi era alcuna traccia nei diversi strumenti di pianificazione di cui il più recente risale al 2005. Ciò ha consentito lo sviluppo di una planimetria aggiornata sulla quale sono state evidenziate le pressioni antropiche maggiormente significative (Figura 1).

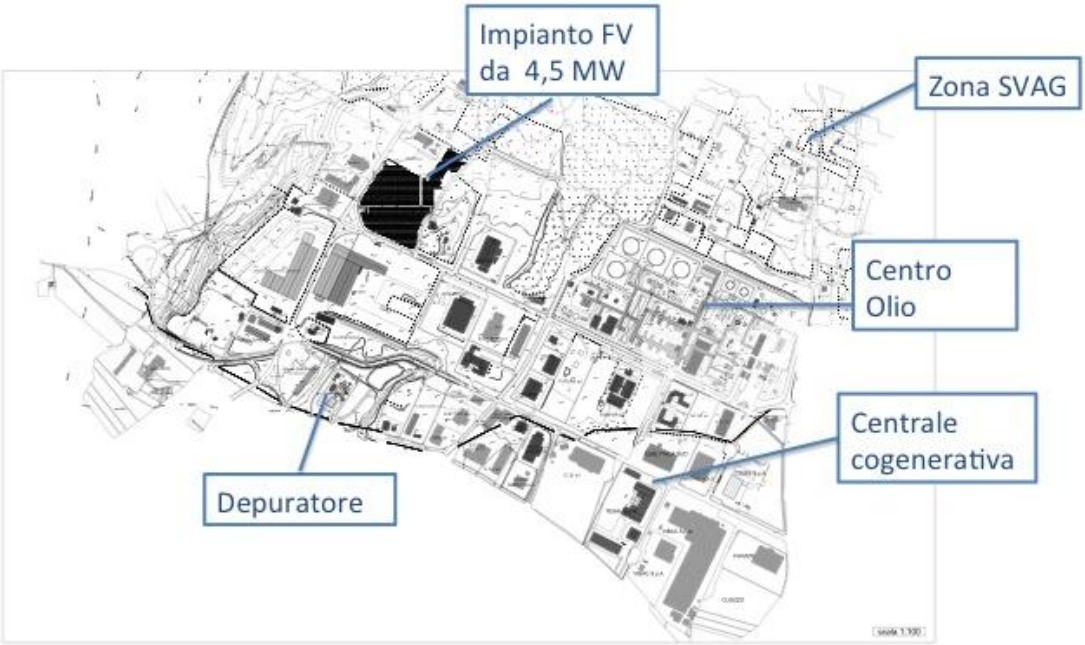


Figura 1: *Principali attività presenti nell'area industriale dell'Alta Val d'Agri.*

Si è provveduto, inoltre, a caratterizzare i **principali flussi di materiale** quantificandone le diverse componenti per macrosettore economico, riscontrando alcune incongruenze nella quantificazione delle materie prime e dei prodotti finiti.

Un dettaglio molto più accurato è stato raggiunto invece nella caratterizzazione dei **consumi idrici** sia ad uso civile sia ad uso industriale, attraverso i dati forniti dalle Aziende Riunite Gestione Aree Industriali Potentine (ARGAIP), società consortile dell'Area di Sviluppo Industriale (ASI) della Provincia di Potenza.

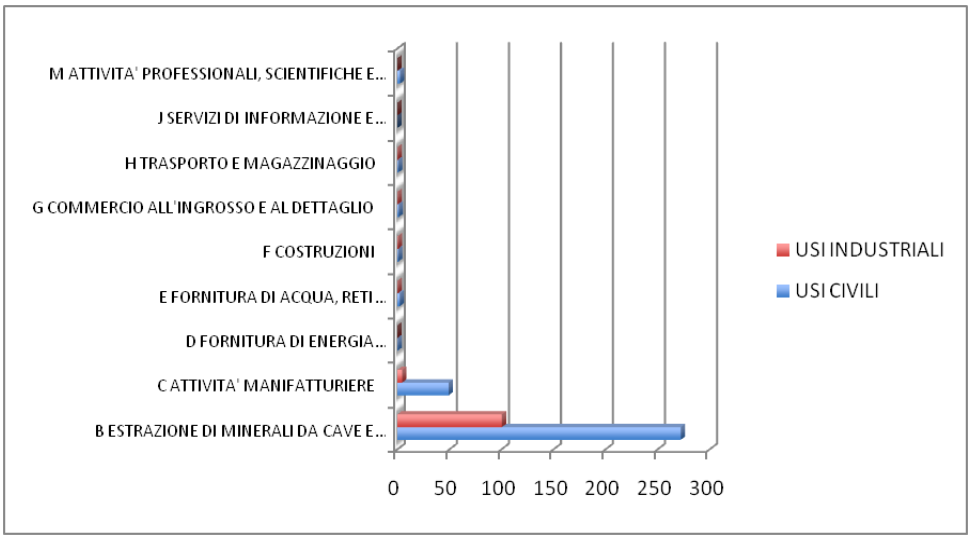


Figura 2: *Consumi idrici delle aziende insediate nell'area industriale dell'Alta Val d'Agri (Fonte: ARGAIP).*

Le pressioni ambientali sono state caratterizzate anche mediante i **dati di produzione dei rifiuti speciali** per i quali sono stati considerati i dati statistici aggregati e bonificati dall'Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente - ARPA Basilicata, al fine di ridurre gli errori legati alle presentazioni dei **Modelli Unici di Dichiarazione (MUD)** tal quali effettuate dalle ditte produttrici. È stato così possibile individuare i macro settori economici che maggiormente contribuiscono alla produzione di rifiuti speciali, con un distinguo ulteriore tra **rifiuti pericolosi e non pericolosi**, come riportato in Figura 3.

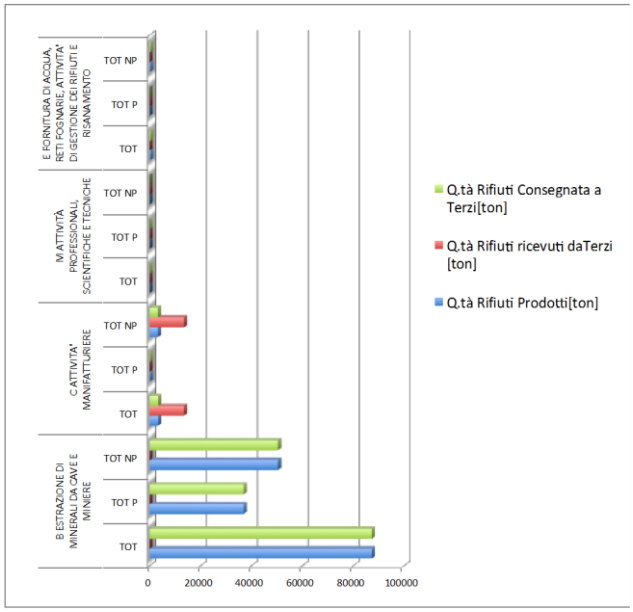


Figura 3: *Quantitativi di rifiuti prodotti, ricevuti da Terzi e consegnati a Terzi suddivisi per settore produttivo e per tipologia di rifiuto Non Pericolosi (NP) e Pericolosi (P) (Fonte: ARPA Basilicata).*

Si è ritenuto, inoltre, opportuno fare un focus sulla prima tipologia di rifiuti, andando ad esaminare i settori che maggiormente contribuiscono alla produzione e la loro distribuzione percentuale per i diversi codici definiti secondo il Catalogo Europeo dei Rifiuti (CER).

In Figura 4 si riporta la composizione percentuale della produzione di rifiuti dichiarati nelle schede MUD, accorpati nei diversi capitoli CER.

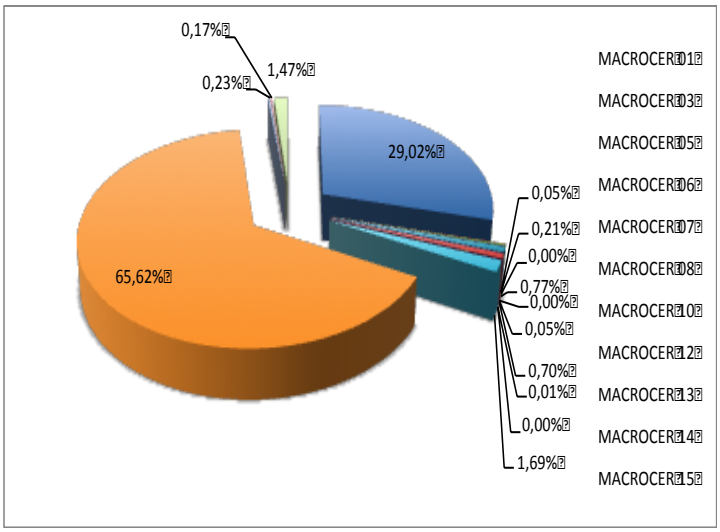


Figura 4: *Composizione percentuale della produzione di rifiuti per macrocer nell'area industriale dell'Alta Val d'Agri.*

Per costruire il **bilancio energetico** i consumi energetici settoriali sono stati calcolati a partire dalle percentuali di utilizzo dei diversi vettori energetici, stimate mediante indagine diretta. A partire dai consumi energetici, ricorrendo alla metodologia CORINAIR (EMEP/EEA, 2009) ed

utilizzando i fattori di emissione dell'Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente (ANPA, 2002), è stato possibile stimare le emissioni settoriali da processi energetici. Sono state, inoltre, stimate le emissioni da processo, utilizzando quale variabile *proxy* l'uso di solventi per ciascuna attività produttiva.

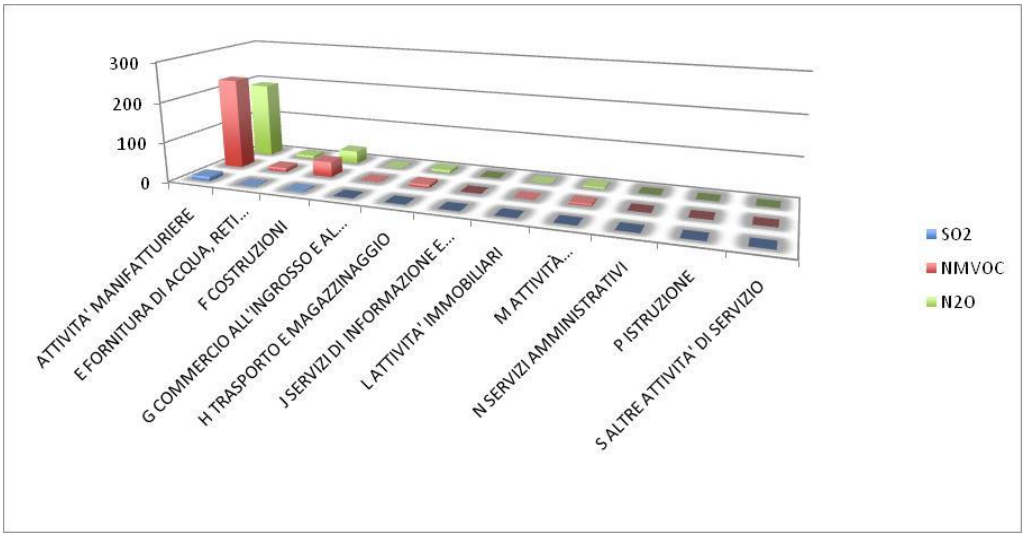


Figure 5: *Stima delle emissioni di inquinanti locali da processi energetici per settore [kg/anno].*

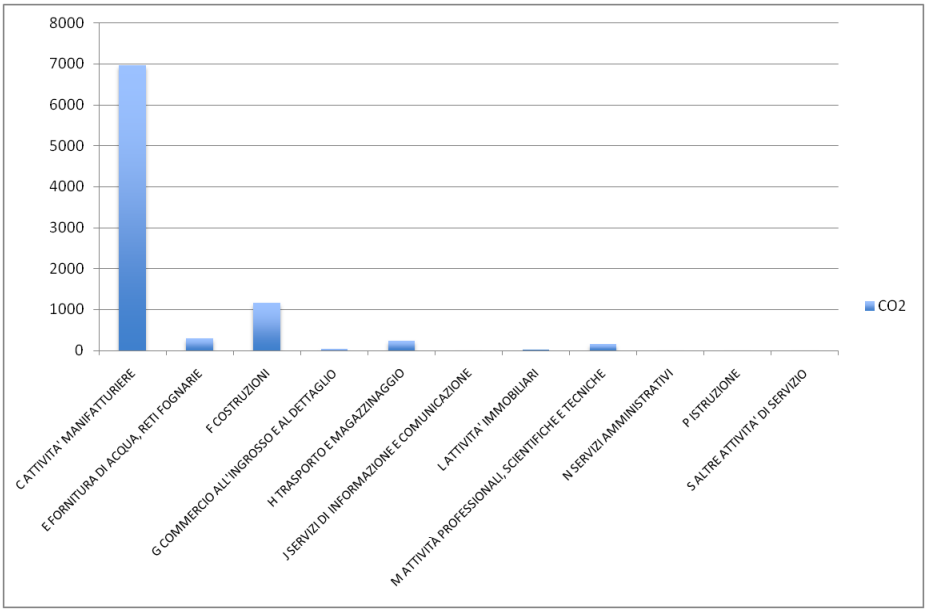


Figura 6: *Emissioni di CO_2 da processi energetici per settore [ton].*

Al fine, inoltre, di individuare le aziende i cui processi produttivi impattano maggiormente sulla qualità dell'aria, si è effettuato un **censimento di tutte le autorizzazioni alle emissioni in atmosfera** rilasciate dall'Ufficio Compatibilità Ambientale della Regione Basilicata alle attività ubicate nei Comuni rientranti nell'area industriale esaminata. Allo scopo, è stato consultato l'archivio cartaceo in possesso del suddetto Ufficio e classificate tutte le autorizzazioni in essere in

base alle diverse tipologie (D.Lgs 152/2006 – parte V, art. 269, D.Lgs 152/2006 – Parte V, art. 272 comma 2, D.Lgs 152/2006 e s.m.i. – parte II, Titolo III-bis (Autorizzazione Integrata Ambientale - AIA)).

Per la caratterizzazione dello Stato dell'Ambiente, sono stati utilizzati dati provenienti prevalentemente dal **Progetto di Monitoraggio Ambientale**, le cui modalità di attuazione sono state stabilite nell'ambito del "Protocollo Operativo per la verifica dello stato della qualità ambientale della Val d'Agri", sottoscritto nel 2011 tra l'ARPA Basilicata e l'ENI S.p.A. in conformità con le DD.GG.RR. 313/2011 e 627/2011. Queste ultime relative alla Valutazione di Impatto Ambientale (VIA) e all'AIA sul "Progetto di ammodernamento e miglioramento delle performance produttive del Centro Olio Val d'Agri", individuano, infatti, un processo integrato di monitoraggio ambientale finalizzato a valutare l'andamento temporale degli impatti indotti dall'estrazione petrolifera. La disponibilità dei dati ad oggi ha consentito la discussione dei risultati preliminari inerenti alla **qualità dell'aria e dell'acqua**, sia superficiale sia di re-iniezione. Per quanto riguarda, invece, la qualità delle acque sotterranee, l'Osservatorio Ambientale della Val d'Agri (OAVDA) ha ottenuto solo negli ultimi mesi del presente studio i dati inerenti a due anni idrologici completi, che consentiranno a breve l'analisi e la definizione dei limiti per la caratterizzazione della qualità delle acque.

Per ciò che attiene alla qualità dell'aria è stato possibile condurre un'analisi preliminare a partire dalle prime serie storiche di dati validati di II livello per il periodo dal 28 febbraio al 13 giugno 2013, oggetto di un report interno OAVDA (Calvello et al., 2013). Per le acque superficiali e sotterranee si è fatto riferimento a due report dell'ARPA Basilicata (2013 a; 2013 b).

Quale indicatore di Stato, sono state inoltre considerate anche il **numero di imprese certificate** per verificare la sensibilità da parte delle aziende nei confronti delle tematiche ambientali. **La mancanza di significative serie storiche di dati ambientali e l'assenza del bianco ambientale,** attestante le condizioni pre-esistenti all'insediamento delle attività estrattive, hanno rappresentato, inoltre, dei **fattori limitanti e oltremodo critici nella definizione sia dello stato dell'ambiente sia degli impatti**, ossia delle modifiche riscontrabili allo stato dell'ambiente rispetto alle condizioni iniziali.

A completamento del modello DPSIR, infine, sono state valutate attentamente anche le **Risposte**, ossia le **strategie, i provvedimenti e le politiche messi in atto o programmati da soggetti pubblici, a favore del miglioramento, controllo e gestione dell'ambiente**, tenendo conto che l'area ricade nel comprensorio del Parco Nazionale dell'Appennino Lucano Val d'Agri Lagonegrese.

A tal proposito sono state individuate le "**Norme tecniche ed azioni per la tutela della qualità dell'aria nei Comuni di Viggiano e Grumento Nova**", adottate dalla Regione Basilicata con Delibera di Giunta n°983 del 2013, il cui iter autorizzativo non è però ancora concluso. Per ottenere un quadro esaustivo delle Risposte è stata anche effettuata un'attenta disamina dei piani, bandi e incentivazioni da parte degli Enti regionali, provinciali e comunali finalizzati ad uno sviluppo eco-sostenibile delle attività produttive presenti sul territorio oltre che al miglioramento dell'ambiente.

Quali indicatori di risposta, sono stati anche censiti tutti gli **impianti a Fonte Energetica Rinnovabile (FER)** installati nella zona.

Tale lavoro è stato oggetto di un report tecnico e di un articolo sottomesso allo *Special Issue*: *New observing strategies for monitoring natural and technological hazards: the case-study of the Agri valley, Southern Italy*.

In sintesi, dunque, il lavoro svolto sinora ha permesso di:

1. costituire un solido quadro di riferimento delle **caratteristiche socio-economiche ed energetico-ambientali** delle attività antropiche che insistono sull'area e di avviare una **raccolta sistematica dei dati** di grande utilità per successive elaborazioni. In particolare, sono state caratterizzate le principali pressioni ambientali in termini di uso delle risorse, arrivando a definire il bilancio energetico dell'area e stimando le emissioni dei principali inquinanti sia associate agli usi energetici sia derivanti da altri processi;
2. effettuare **un'analisi preliminare delle matrici aria ed acqua** facendo riferimento ai dati di monitoraggio dell'ARPA Basilicata;
3. analizzare dettagliatamente **le strategie e le politiche messe in atto o programmate** da soggetti pubblici volte al miglioramento, controllo e gestione dell'ambiente.

Gli sviluppi futuri riguarderanno una caratterizzazione più approfondita dell'area oggetto di studio e degli impatti delle attività industriali presenti, anche in termini di costi ambientali. In particolare, ci si propone di effettuare:

1. una valutazione più approfondita dello **Stato dell'Ambiente** e degli **impatti** con una opportuna integrazione dei dati di monitoraggio;
2. l'individuazione delle ***Best Available Technologies* - BAT** e dei **potenziali di risparmio energetico** per i processi esistenti;
3. **l'integrazione metodologica (*Life Cycle Analysis* – LCA, *Strenghts Weaknesses Opportunities Threats* – SWOT, Analisi Quantitativa – Politica Economica Sociale tecnologica PEST, *Supply Chain*)** per la definizione di indici aggregati e per la caratterizzazione dei punti di forza e delle criticità del sistema.

I principali output in relazione alle attività previste saranno i seguenti:

1. *core set* di indicatori e indici aggregati per la valutazione dello stato dell'ambiente e delle performance ambientali delle attività produttive;
2. *database* tematico per la caratterizzazione delle varie componenti secondo il modello DPSIR;
3. bilanci ambientali (a diverse scale spaziali e temporali);
4. tabelle SWOT e PEST per l'identificazione di punti di forza e criticità del sistema produttivo;
5. linee guida per lo sviluppo sostenibile locale.

Riferimenti bibliografici

ANPA CTN-ACE , Manuale dei fattori di emissione nazionali, 2002

ARPA Basilicata, Campionamento acque superficiali del 19/09/2013 Comune di Montemurro – C/da La Rossa, Fonte dati: Ufficio Risorse Idriche Dipartimento di Potenza - 21 ottobre 2013, 2013 a

ARPA Basilicata, Risultati dell'attività di controllo delle acque sotterranee relativa a 8 piezometri e 2 sorgenti nel territorio interessato dal passaggio della condotta di re-iniezione delle acque derivanti dall'estrazione e separazione degli idrocarburi del Centro Olio Val d'Agri, ARPA Basilicata Fonte dati: Ufficio Suolo e Rifiuti Dipartimento di Potenza - 21 ottobre 2013, 2013 b

Calvello M., Faruolo M., Loperte S., Trippetta S., Report sintetico sul monitoraggio della qualità dell'aria nell'intorno del Centro Olio Val d'Agri (COVA), periodo di osservazione: 26 settembre 2012- 13 giugno 2013, 2013

Cosmi C., Loperte S., Macchiato M., Pietrapertosa F., Proto M., Salvia M. The environmental balance: an application to an industrial district of southern Italy for supporting strategic sustainable planning. Fresenius Environmental Bulletin Vol. 15- n. 8a, pp 782-790, 2006.

EEA (European Environment Agency), Environment in the European Union at the turn of the Century, 1999.

EEA (European Environment Agency), Environmental Indicators: Typology and use in reporting, internal working paper. Copenhagen, 2003.

EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook — 2009, disponibile a http://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-emission-inventory-guidebook-2009

Eurostat Statistical Books, Sustainable development in the European Union, 2011 monitoring report of the EU sustainable development strategy, Luxembourg 2011

OCSE (OECD – Organization for Economic Co-operation and Developmente), Environmental indicators - OECD Core Set, OECD, Paris, 1994.

CAPITOLO III – PUBBLICAZIONI SCIENTIFICHE

Le attività condotte nell'ambito delle tematiche di ricerca affidate al CNR-IMAA hanno prodotto **numerosi risultati** che sono stati già **oggetto di pubblicazioni su riviste scientifiche internazionali**. In particolare, tali attività hanno contribuito ad incrementare il livello di conoscenza delle diverse matrici ambientali in Val d'Agri. Infatti, su una stima approssimativa di circa **un centinaio di pubblicazioni scientifiche** prodotte tra il **1979 e il 2014** e aventi come oggetto studi di carattere ambientale condotti in Val d'Agri, **45 sono state prodotte dal CNR-IMAA** e **18** di queste sono state realizzate **in collaborazione con l'Osservatorio Ambientale della Val d'Agri** nel biennio **2012-2014**. E' stato, inoltre, realizzato il **primo *Special Issue*** pubblicato dalla rivista internazionale *Natural Hazards and Earth System Sciences dell'European Geosciences Union* (http://www.natural-hazards-and-earth-system-sciences.net) **dedicato alla Val d'Agri**, dal titolo "*New observing strategies for monitoring natural and technological hazards: the case-study of the Agri valley, Southern Italy"*. I risultati delle attività scientifiche svolte sono stati altresì oggetto di un numero significativo di **comunicazioni a convegni internazionali e nazionali** ed hanno consentito di valorizzare le attività di ricerca condotte in collaborazione con l'OAVDA.

In Allegato III sono consultabili gli estratti di alcuni lavori già pubblicati e nel seguito si riporta l'elenco dei prodotti di ricerca ottenuti nell'ambito delle attività svolte dagli assegnisti del CNR-IMAA (i cui nomi sono riportati in grassetto) in collaborazione con l'OAVDA divise per tipologia di prodotto (pubblicazioni su riviste scientifiche internazionali, comunicazioni a convegni nazionali ed internazionali e attività di reportistica).

Pubblicazioni su riviste scientifiche internazionali

1. **Trippetta, S.**, Caggiano, R., Sabia, S., PM_1 measurements at a site close to an oil/gas pre-treatment plant (Agri Valley – southern Italy): a preliminary study. Natural Hazards and Earth System Sciences, 14, 2337–2346, 2014, doi:10.5194/nhess-14-2337-2014.

2. **Calvello, M., Trippetta, S.**, Esposito, F., An integrated approach for the evaluation of technological hazard impacts on air quality: the case of the Val d'Agri oil/gas plant. Natural Hazards and Earth System Sciences, 14, 2133-2144, 2014, doi:10.5194/nhess-14-2133-2014.

3. **Trippetta, S.**, Caggiano, R., Telesca, L., Analysis of particulate matter in anthropized areas characterized by the presence of crude oil pre-treatment plants: The case study of the Agri Valley (Southern Italy). Atmospheric Environment, 77, 105-116, 2013.

4. Pavese, G., **Calvello, M.**, Esposito, F., Black carbon and Organic components in the atmosphere of Southern Italy: comparing emissions from different sources and production processes of carbonaceous particles. Aerosol and Air Quality Research, 12, 1146-1156, 2012.

5. Summa, V., Colaiacovo, R., Giannossi, M. L., **Margiotta, S.**, Integrated Study of Landslides in the Southern Apennines (Val d'Agri, Basilicata Region) Using a Multidisciplinary Approach. Engineering Geology for Society and Territory – Volume 5, 401 - 404, G. Lollino, A. Manconi, F. Guzzetti, M. Culshaw, P. Bobrowsky, F. Luino Editors, Springer International Publishing Switzerland, 2014.

6. **Stabile, T. A.**, **Giocoli, A.**, Perrone, A., Piscitelli, S., Lapenna, V., Fluid injection induced seismicity reveals a NE dipping fault in the southeastern sector of the High Agri Valley (southern Italy). Geophysical Research Letters, 41(16), 5847- 5854, 2014, doi:10.1002/2014GL060948.

7. Speranza, A., Caggiano, R, **Margiotta, S.**, **Trippetta, S.**, A novel approach to compare simultaneous size-segregated particulate matter (PM) concentration ratios by means of a dedicated triangular diagram using the Agri Valley PM measurements as an example. Natural Hazards and Earth System Sciences, 14, 2727-2733, 2014, doi:10.5194/nhess-14-2727-201.

8. **Stabile, T. A.**, **Giocoli, A.**, Lapenna, V., Perrone, A., Piscitelli, S., Telesca, L., Evidences of low-magnitude continued reservoir-induced seismicity associated with the Pertusillo artificial lake (Southern Italy). Bulletin of the Seismological Society of America, 104(4), 1820-1828, 2014, doi:10.1785/0120130333.

9. **Faruolo, M**., Coviello, I., Filizzola, C., Lacava, T. Pergola, N., Tramutoli, V., 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.

10. Summa, V., **Margiotta, S.**, Colaiacovo, R., Giannossi, M. L., The influence of the grain-size, mineralogical and geo-chemical composition on the Verdesca landslide. Natural Hazards and Earth System Sciences Discussion, 2, 5047–5077, doi:10.5194/nhessd-2-5047-2014.

11. Speranza, A., **Margiotta, S.**, **Trippetta, S.**, Caggiano, R., Summa, V., Seasonal variability of size segregated particulate matter ratios: the use of a novel approach to its representation and study. ProScience, 1, pp. 6, 2014 (in press).

12. Caggiano, R., **Trippetta, S.**, Sabia, S., Assessment of atmospheric trace element concentrations by lichen-bag near an oil/gas pre-treatment plant in the Agri Valley (Southern Italy). Natural Hazards and Earth System Sciences Discussion, 2, 6531-6553, doi:10.5194/nhessd-2-6531-2014.

13. Telesca, L., **Giocoli, A.**, Lapenna, V., **Stabile, T. A.**, Robust identification of periodic behavior in the time dynamics of short seismic series: the case of seismicity induced by Pertusillo Lake, southern Italy. Stochastic Environmental Research and Risk Assessment, 2014, doi:10.1007/s00477-014-0980-6.

14. **Giocoli, A.**, **Stabile, T. A.**, Adurno, I., Perrone, A., Gallipoli, M. R., Gueguen, E., Norelli, E., Piscitelli, S., Geological and geophysical characterization of the south-eastern side of the High Agri Valley (southern Apennines, Italy). Natural Hazards and Earth System Sciences (under revision).

15. **Loperte, S**., Cosmi, C., The environmental balance of the Agri Valley industrial area: a contribution to the evaluation of industrial risks and strategic sustainable development. Natural Hazards and Earth System Sciences, Special Issue "New observing strategies for monitoring natural and technological hazards: the case-study of the Agri valley, Southern Italy" (submitted).

16. Balasco, M., **Giocoli, A.**, Piscitelli, S., Romano, G., Siniscalchi, A., **Stabile, T. A.**, Magnetotelluric investigation in the High Agri Valley (southern Apennine, Italy). Natural Hazards and Earth System Sciences (submitted).

17. **Margiotta, S.**, Lettino, A., Speranza, A., Summa, V., PM_1 geochemical and mineralogical characterization using SEM-EDX to identify particle origin. Agri Valley pilot area (Basilicata, Southern Italy). Natural Hazards and Earth System Sciences, Special Issue "New observing strategies for monitoring natural and technological hazards: the case-study of the Agri valley, Southern Italy" (submitted).

18. Gueguen, E., Bentivenga, M., Colaiacovo, R., **Margiotta, S.**, Summa, V., Adurno, I., The Verdesca landslide in the Agri Valley (Basilicata, Southern Italy): a new geological and

geomorphological framework. “Natural Hazards and Earth System Sciences, Special Issue “New observing strategies for monitoring natural and technological hazards: the case-study of the Agri valley, Southern Italy” (submitted).

Comunicazioni a convegni nazionali ed internazionali

1. **Faruolo, M.**, Coviello, I., Filizzola, C., Lacava, T., Pergola, N., Tramutoli, V., A MODIS-based analysis of the Val d’Agri Oil Center (South of Italy) thermal emission: an independent gas flaring estimation strategy. EGU General Assembly 2014, Vienna, Austria, 27 April – 02 May 2014.

2. **Trippetta, S.**, Caggiano, R., Sabia, S., Telesca, L., Particulate matter and crude oil pre-treatment plants: the case study of the Agri Valley (southern Italy). International Conference on Atmospheric Dust, Castellaneta Marina - Italy, June 1-6, 2014.

3. **Trippetta, S.**, Caggiano, R., Sabia, S., Characterization of the origin of sub-micrometric particles (PM_1) in Agri Valley (southern Italy). International Conference on Atmospheric Dust, Castellaneta Marina - Italy, June 1-6, 2014.

4. Lettino, A., **Margiotta, S.**, Speranza, A., Summa, V., Study of PM_1 by SEM/EDX near the oil pre-treatement plant of Agri Valley (Basilicata Region – Southern Italy). International Conference on Atmospheric Dust, Castellaneta Marina – Italy, June 1-6, 2014.

5. Speranza, A., **Margiotta, S.**, **Trippetta, S.**, Caggiano, R., Summa, V., Seasonal variability of size segregated particulate matter ratios: the use of a novel approach to its representation and study. International Conference on Atmospheric Dust, Castellaneta Marina - Italy, June 1-6, 2014.

6. **Faruolo, M.**, Coviello, I., Filizzola, C., Lacava, T., Pergola, N., Tramutoli, V., A satellite-based regression model for the Val d’Agri oil center (South of Italy) gas flaring emissions estimation. IEEE Geoscience and Remote Sensing Society, Québec, Canada, July 13-18, 2014.

7. Summa, V., Colaiacovo, R., Giannossi, M. L., **Margiotta, S.**, Integrated study of landslides in the Southern Apennines (Val d'Agri - Basilicata Region) using a multidisciplinary approach. IAEG XII Congress, Torino, September 2014.

8. **Stabile, T. A.**, **Giocoli, A.**, Perrone, A., Piscitelli, S., Telesca, L., Lapenna, V., Seismicity induced by energy technologies in High Agri Valley (southern Italy)", Second European Conference on Earthquake Engineering and Seismology (2ECEES), Abstract n. 2823, Istanbul, Turkey, 2014, August 24-29.

9. **Trippetta S.**, Caggiano R., Sabia S., Misure di PM_1 e sua caratterizzazione chimica in un'area ad alto rischio di impatto antropico: Val d'Agri (Basilicata). XXXII Giornata dell'Ambiente, Convegno "Evoluzione e controllo della qualità dell'aria sul territorio italiano" – Accademia Nazionale dei Lincei, Roma - Italia, 17 ottobre 2014.

10. Caggiano R., **Trippetta S.,** Sabia S.,Caratterizzazione dell'origine del PM_1 in Val d'Agri (Basilicata) Atti del 6° Convegno Nazionale sul Particolato Atmosferico - PM2014, p. 172, Genova - Italia, 20-23 maggio 2014.

11. **Faruolo, M.**, Coviello, I., Filizzola, C., Lacava, T., Pergola, N., Tramutoli, V., A new MODIS based approach for gas flared volumes estimation: the case of the Val d'Agri Oil Center (Southern Italy), AGU Fall Meeting, San Francisco, 15-19 December 2014.

12. **Trippetta, S.**, Caggiano, R., **Margiotta, S.**, Sabia, S., Speranza, A., Summa, V., PM_1 chemical and mineralogical characterization near a crude oil pre-treatment plant (Agri Valley) during an emergency procedure. European Aerosol Conference - EAC 2013, Prague – Czech Republic, 1-6 September 2013.

13. **Calvello, M.**, Lovallo, M., Esposito, F., Mangiamele, L., Pavese, G., Long-term observations of carbonaceous aerosols and related gaseous emissions near a crude-oil plant in South Italy. European Aerosol Conference - EAC 2013, Prague – Czech Republic, 1-6 September 2013.

14. Colaiacovo, R., Giannossi, M. L., **Margiotta, S.**, Summa, V., Multidisciplinary study of a landslide in the Southern Apennines (Val d'Agri - Basilicata Region). Geoitalia 2013, IX Forum Italiano di Scienze della Terra, Pisa, settembre 2013.

15. **Stabile, T. A.**, **Giocoli, A.,** Lapenna, V., Perrone, A., Piscitelli, S., Telesca, L., Relationship between seismicity and water level of the Pertusillo reservoir (Southern Italy). FIST Geoitalia 2013, IX Forum Italiano di Scienze della Terra, Sessione 17 - Natural Hazards - Induced seismicity, Pisa, Italia, 16-18 settembre 2013.

16. **Giocoli, A., Stabile, T. A.**, Perrone, A., Piscitelli, S., Telesca, L., Possidente, L., Marino, M. F., Lapenna, V., Sistema per lo studio della sismicità locale – Sismicità naturale e indotta. Primi risultati e prospettive per il caso di studio dell'Alta Val d'Agri, Basilicata. In ATTI del 1° Congresso dei Geologi di Basilicata, pp. 287-297, Potenza, Italy, 2013, November 30 – December 02. ISBN: 978-88-904973-5-3.

17. **Calvello, M.**, Esposito, F., Pavese, G., Lovallo, M., Mangiamele, L., Organic carbon detection in crude-oil plant emissions in South Italy. European Aerosol Conference - EAC 2012, Granada - Spain, 2-7 September 2012.

18. **Giocoli, A., Stabile, T. A.,** Perrone, A., Piscitelli, S., Telesca, L., Lapenna, V., Evidences of possible reservoir-induced seismicity by the Pertusillo artificial lake (Southern Italy): preliminary results and ongoing activities. AGU Fall Meeting, S43D-2488, San Francisco, California, USA, 2012, December 3-7.

Report

1. **Calvello, M.**, **Faruolo, M.**, **Loperte, S.**, **Stabile, T. A.**, **Trippetta, S.,** Studio degli impatti derivanti dall'evento del 13 gennaio 2014 del Centro Olio Val d'Agri, CNR-IMAA Technical Report n°01/2014. (http://www.osservatoriovaldagri.it/FOCUS/13gen14_ENI_torcia_COVA/Studio_evento_13gen_2014.pdf).

ALLEGATO I - LA GESTIONE DELLE PROBLEMATICHE AMBIENTALI DEL SETTORE OIL & GAS NELLO SCENARIO INTERNAZIONALE

Al fine di fornire un quadro conoscitivo delle modalità e degli approcci metodologici con cui vengono affrontate in ambito internazionale le problematiche ambientali di interesse anche per il territorio della Val d'Agri, si riporta di seguito una panoramica su alcuni Paesi industrializzati.

L'analisi dello scenario internazionale è stata condotta focalizzando l'attenzione sugli aspetti metodologici dell'approccio con il quale, in altri Paesi industrializzati del mondo, vengono affrontate le suddette problematiche, soffermandosi, laddove possibile, su alcuni esempi di *best practice* sia in termini di *policy* sia dal punto di vista della gestione e del controllo del patrimonio ambientale delle zone interessate da estrazione/produzione di idrocarburi.

Nella presente *overview* sono state prese in considerazione le aree geografiche degli Stati Uniti e del Nord Europa, in quanto realtà che, in termini di *know-how*, *expertise* e innovazione tecnologica e in virtù delle notevoli dimensioni delle attività estrattive in essere e della significativa sensibilità ambientale, si configurano ad oggi quali esempi significativi di *best practice* nel settore considerato.

L'analisi di tale scenario, sebbene preliminare e non esaustiva, ha consentito di evidenziare come dal punto di vista della *policy* esista un fattore comune nei casi analizzati che si esplicita in un costante e attivo coinvolgimento di Istituti/Enti di Ricerca e Università in tutti gli ambiti caratteristici del settore *Oil & Gas* e, in particolar modo sul tema della protezione ambientale, attraverso una programmazione strutturata e di lungo periodo che vede impegnati, oltre alle predette istituzioni, anche Enti governativi, Compagnie Petrolifere e singoli portatori di interesse (organizzazioni ambientaliste, cittadini, ecc.).

In generale, le attività di ricerca e di protezione ambientale sono condotte focalizzando l'attenzione su tutte le possibili problematiche fisiche, geologiche, chimiche, geochimiche e ambientali legate all'impatto, sulle diverse matrici (aria, acqua, suolo e sottosuolo) e sulla sismicità locale, delle attività di estrazione e trattamento di petrolio e gas, nonché di smaltimento in pozzi profondi delle acque risultanti dall'estrazione e dalla separazione degli idrocarburi. La singola matrice è investigata contestualmente mediante diversi approcci con metodologie e tecniche frutto dell'*expertise* degli Istituti di ricerca coinvolti, e grazie al contributo delle realtà imprenditoriali che mettono a disposizione il *know-how* e tutti i dati in loro possesso.

A tale riguardo, si riportano, a titolo esemplificativo, degli esempi rilevanti relativi alle summenzionate aree.

Negli USA la collaborazione tra i *partner* e la fruibilità del dato sono gli elementi cardine delle attività di ricerca. In genere, per ciascun progetto, sono stanziati importanti finanziamenti,

grazie anche alla rilevanza del fenomeno naturale e/o antropico da analizzare (giacimenti petroliferi, impianti industriali per la produzione di energia, elevata quantità di fluidi iniettati nel sottosuolo, fenomeni di subsidenza da attività estrattiva ad elevato impatto ambientale, ecc.).

In Texas, la *Texas Commission on Environmental Quality* (http://www.tceq.texas.gov/about/) si occupa delle tematiche ambientali, compreso lo studio degli impatti sull'ambiente derivanti dalle attività di ricerca di petrolio e gas presenti sul territorio locale e investe significativamente nella ricerca scientifica, affidando ad Enti e Università programmi di ricerca strutturati per lo studio delle diverse matrici ambientali. A titolo di esempio, si cita il *Texas Air Quality Research Program* (http://aqrp.ceer.utexas.edu/), finanziato dalla *Texas Commission on Environmental Quality* e coordinato dall'Università del Texas – Austin, per supportare la ricerca scientifica e sviluppare conoscenza sul tema della qualità dell'aria, della chimica dell'atmosfera, della meteorologia e della modellistica correlata allo studio dei fenomeni di inquinamento. Nell'ambito di tale programma vengono selezionati e finanziati progetti di ricerca su temi individuati annualmente come prioritari tra cui anche quello inerente al settore *Oil & Gas*.

La città di Fort Worth in Texas, sede di attività intensive di esplorazione e produzione di gas naturale, ha finanziato all'*Eastern Research Group, Inc.* uno studio relativo all'impatto di tali attività sulla qualità dell'aria con particolare riferimento ai Composti Organici Volatili (COV) (http://fortworthtexas.gov/gaswells/default.aspx?id=79548).

La *South Coast Air Quality Management District* (http://www.aqmd.gov/), una delle agenzie per il controllo della qualità dell'aria in California, ha finanziato l'Università del Sud della California e l'Università del Wisconsin per condurre uno studio sulla variazione spazio-temporale delle concentrazioni degli elementi in traccia nella frazione fine del particolato atmosferico nell'area metropolitana di Los Angeles interessata, tra l'altro, dalla presenza di un vasto *oil field* e da attività connesse all'estrazione e al trattamento del petrolio estratto.

Sempre negli USA, ci sono programmi di ricerca dedicati allo studio del *gas flaring* da satellite, finanziati dalla Banca Mondiale. A supporto dell'*Environmental Protection Agency* (EPA), infatti, il settore *Earth Observation* della *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) affronta, dal 1995, il problema del *gas flaring*, a livello globale e nazionale per 60 Paesi, mediante l'utilizzo di dati satellitari per la *detection* delle sorgenti di *gas flaring* nonché per la misura ed il monitoraggio delle relative emissioni (http://ngdc.noaa.gov/eog/).

L'*U.S. Bureau of Reclamation* del Dipartimento degli Interni degli USA si occupa della gestione della risorsa acqua di tutti gli stati dell'Ovest degli USA. In particolare, nella *Paradox Valley*, nel sud-ovest del Colorado, è stata installata una rete finalizzata al monitoraggio della sismicità indotta dalle attività di re-iniezione in pozzi profondi di acqua salina. Tra gli studi inerenti

alla matrice acqua, e gli effetti diretti o indiretti delle attività estrattive sulle caratteristiche idrogeochimiche della stessa, è possibile fare riferimento, a titolo esemplificativo, al progetto *Colorado River Basin Salinity Control* (http://www.usbr.gov/projects) che si è occupato della problematica del carico salino indotto nelle acque del *Colorado River System* da attività connesse ad un sito petrolifero dismesso (*Meeker Dome*).

Il *Lamont–Doherty Earth Observatory* (https://www.ldeo.columbia.edu/research) è un centro di ricerca della *Columbia University* che si occupa di studiare l'ambiente in tutti i suoi aspetti: processi atmosferici, cambiamenti climatici, ecosistema, sfruttamento del sottosuolo, sismologia, oceanografia, ecc. La rete sismica *Lamont-Doherty Cooperative Seismographic Network – LCSN* (http://www.ldeo.columbia.edu/LCSN/index.php), distribuita su numerosi stati dell'Est degli USA, monitora la sismicità indotta da processi di iniezione di fluidi in pozzi profondi (Ohio). Dal punto di vista della geochimica delle acque, il centro promuove e conduce anche progetti di ricerca finalizzati allo studio della circolazione delle acque nei diversi serbatoi naturali, anche attraverso analisi isotopiche, e alla definizione dell'origine dei fenomeni di contaminazione a carico delle matrici ambientali e dei processi di migrazione degli agenti contaminanti. Particolare attenzione viene anche focalizzata sulle problematiche inerenti alla *geological sequestration*.

Nel Nord Europa, ad ulteriore titolo esemplificativo, si cita il caso del *Norwegian Petroleoum Directorate (NPD)*, un Ente pubblico norvegese che afferisce al Ministero del Petrolio e dell'Energia. Tale Ente contribuisce a fare in modo che, tramite una gestione oculata basata sulla sicurezza e la salvaguardia dell'ambiente, lo sfruttamento delle risorse petrolifere porti i maggiori vantaggi possibili alla società tutta, nel rispetto delle comunità locali delle aree interessare dalle attività. A tal fine, l'NPD coordina, partecipa e collabora a diversi progetti di ricerca affidati principalmente al *Research Council of Norway*, in collaborazione però anche con altri enti come la *Norwegian Pollution Control Authority*, la *Safety Authority Norway* e la *Climate and Pollution Agency*. Fra i diversi progetti, si cita ad esempio il programma *Large Scale Programme for Petroleum Research* (Petromaks 2) (http://www.forskningsradet.no/prognett-petromaks2/Programme_description/1253980921389) che promuove la creazione di conoscenza e lo sviluppo industriale per assicurare una gestione ottimale delle risorse petrolifere norvegesi in un contesto ambientalmente sostenibile. Il programma sosterrà la ricerca e lo sviluppo tecnologico per migliorare il recupero dai campi di produzione, l'aumento dell'efficienza energetica anche attraverso l'individuazione delle migliori tecnologie disponibili ed implementando strategie di riduzione delle emissioni.

L'interesse per la salvaguardia ambientale dell'area estrattiva in esame risulta trasversale sia ai paesi dell'area artica che a quelli dell'area nord-atlantica. Per questo motivo, all'interno del

Consiglio Artico (di cui sono membri Canada, Finlandia, Russia, Norvegia, Islanda, Stati Uniti, Svezia e Danimarca) uno dei *working group* di esperti ha attivato il programma di ricerca strutturale AMAP (*Artic Monitoring and Assessment Program*) allo scopo di monitorare e studiare lo stato della regione artica anche in relazione agli impatti ambientali delle attività petrolifere, tra cui il *gas flaring* e le emissioni di *Black Carbon* ad esso associate.

Dal punto di vista ambientale, quindi, la sinergia tra le diverse istituzioni si traduce nell'attuazione di programmi di ricerca strutturati, inerenti allo studio delle matrici aria, acqua, suolo e sottosuolo, e dei possibili impatti delle attività estrattive.

Da tali esempi, tenendo conto della complessità dei problemi affrontati, emerge quindi che la ricerca scientifica svolge un ruolo chiave per lo studio e l'analisi dei possibili impatti ambientali delle attività in ambito *Oil & Gas*, fornendo indicazioni ed informazioni utili a garantire uno sviluppo sostenibile delle comunità interessate da estrazione, trattamento e produzione di idrocarburi.

Dott.ssa Mariarosaria Calvello

Nel 2004 si è laureata in Fisica della materia condensata (V.O) presso l'Università di Roma "La Sapienza" e nel 2009 ha conseguito il titolo di dottore di ricerca in "Ingegneria dell'Ambiente" presso il Dipartimento di Ingegneria e Fisica dell'Ambiente dell'Università degli Studi di Basilicata. Dal 2005 collabora con l'Istituto di Metodologie per l'Analisi Ambientale (IMAA) del Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR) di Tito Scalo (Potenza) e con l'Università degli Studi della Basilicata a diversi progetti di ricerca che riguardano lo studio delle proprietà ottiche e fisiche degli aerosol atmosferici e la loro la caratterizzazione tramite l'utilizzo di radiometri ad alta risoluzione e l'utilizzo di tecniche di campionamento del particolato atmosferico, in particolare di impattore multistadio per la misura della distribuzione in massa degli aerosol atmosferici e di etalometro per la misura di *Black Carbon*. Negli ultimi anni l'attività di ricerca si è concentrata sullo studio della componente carboniosa dell'aerosol atmosferico (*Black Carbon* e *Organic Carbon*). In questo ambito si sono effettuate e sono tutt'ora in corso misure continue di concentrazione di *Black Carbon* al suolo tramite un etalometro *Magee Scientific* a 7 lunghezze d'onda in Val d'agri ed in siti caratterizzati da processi emissivi differenti. Attualmente è dipendente a tempo determinato del CNR-IMAA.

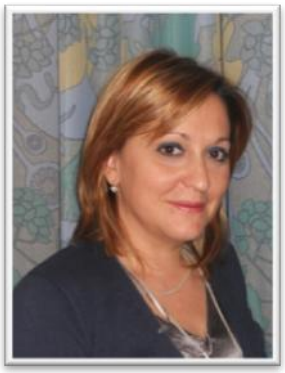
Ing. Mariapia Faruolo

Nel 2006 si è laureata con lode in Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio (Indirizzo Gestione dei Rischi Naturali) presso l'Università degli Studi della Basilicata e nel 2012 ha conseguito il titolo di dottore di ricerca in "Ingegneria dell'ambiente" presso l'Università degli Studi della Basilicata. Dal 2007 collabora con l'Istituto di Metodologie per l'Analisi Ambientale (IMAA) del CNR di Tito Scalo (Potenza) e l'Università degli Studi della Basilicata, occupandosi di sviluppo e sperimentazione di metodologie avanzate di analisi dati satellitari ad alta frequenza di rivisita per il monitoraggio, la previsione e la mitigazione dei principali rischi naturali, ambientali e tecnologici. Nel biennio 2012-2014 è stata assegnista di ricerca del CNR-IMAA presso l'Osservatorio Ambientale della Val d'Agri, dove, nell'ambito del progetto "Realizzazione del *cockpit* ambientale per il controllo predittivo degli impatti ambientali in Val d'Agri", ha svolto la seguente attività: "Tecniche avanzate per l'analisi di serie temporali di radianze satellitari ottiche per il monitoraggio di indicatori ambientali di particolare interesse in aree naturali soggette ad elevate pressioni antropiche (e.g. Val d'Agri)". Attualmente è assegnista di ricerca presso il CNR-IMAA, dove si occupa dell'analisi di dati/prodotti satellitari per lo studio e il monitoraggio di parametri ambientali nell'ambito del progetto MOMEDAS (MOnitoraggio delle acque del mar MEditerraneo mediante DAti satellitari) -Programma Operativo FSE Basilicata 2007-2013.

Dr. Alessandro Giocoli

Nel 2004 si è laureato con lode in Scienze Geologiche presso l'Università degli Studi della Basilicata e nel 2008 ha conseguito il titolo di dottore di ricerca in "Metodi e Tecnologie per il Monitoraggio Ambientale". Tra il 2005 e il 2012 ha svolto attività di ricerca presso l'Istituto di Metodologie per l'Analisi Ambientale (IMAA) del Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR) di Tito Scalo (Potenza) occupandosi dello studio di strutture sismogeniche mediante l'impiego integrato di tecniche geologiche e geofisiche. Attualmente è ricercatore confermato presso l'Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile (ENEA).

Ing. Simona Loperte



Nel 2003 si è laureata con lode in Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio presso l'Università degli Studi della Basilicata e nel 2007 ha conseguito il titolo di dottore di ricerca in "Metodi e Tecnologie per il Monitoraggio Ambientale". Dal 2003 ha collaborato prima con l'Istituto Nazionale di Fisica della Materia (INFM) di Napoli e poi con l'Istituto di Metodologie per l'Analisi Ambientale (IMAA) del Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR) dell'area di ricerca di Tito Scalo (Potenza). In questi anni, ha acquisito una significativa esperienza nell'ambito della modellistica e pianificazione energetico-ambientale, applicando le principali metodologie per l'analisi dei sistemi energetici (Analisi Comprehensive, LCA, ExternE), la caratterizzazione degli impatti delle attività antropiche e la definizione di strategie di uso sostenibile delle risorse. Fra le esperienze professionali recenti, nel biennio 2012-2014 ha svolto presso l'Osservatorio Ambientale della Val d'Agri attività di ricerca sul tema "Sviluppo di una piattaforma modellistica integrata di supporto alla definizione di strategie di riduzione delle emissioni atmosferiche a scala locale e globale", nell'ambito del Progetto "Realizzazione del *cockpit* ambientale per il controllo predittivo degli impatti ambientali in Val d'Agri". Tale attività di ricerca è stata anche valorizzata nell'ambito del progetto "Azioni Transregionali per il Riposizionamento Strategico delle Aree Industriali" (finanziato dal Programma Operativo FESR 2007-2013 della Regione Veneto e della Regione Basilicata) in cui il CNR-IMAA ha fornito un supporto tecnico-scientifico alla Regione Basilicata nello svolgimento delle attività. Attualmente è assegnista di ricerca presso il CNR-IMAA dove sta svolgendo attività di ricerca sul tema "Implementazione di una piattaforma metodologica per la definizione di strategie energetiche sostenibili a scala locale volte alla promozione dell'autosufficienza energetica e dell'innovazione tecnologica" nell'ambito del Progetto SECOL2020 "Sostenibilità Energetica delle COmunità Locali" - Programma Operativo FSE Basilicata 2007-2013.

Dott. Salvatore Margiotta

Nel 2006 si è laureato con lode ed encomio in Scienze Geologiche presso l'Università degli Studi della Basilicata. Dal 2006 collabora a vario titolo con l'Istituto di Metodologie per l'Analisi Ambientale (IMAA) del Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR) di Tito Scalo (Potenza) nell'ambito di diversi progetti di ricerca che riguardano la caratterizzazione geochimica e minero-petrografica delle matrici geoambientali, finalizzata al monitoraggio e alla valutazione e mitigazione dei rischi, con particolare riferimento ai fenomeni di *land degradation*, ai processi di contaminazione naturale e/o antropica delle matrici ambientali e alla qualità delle risorse naturali. Attualmente è assegnista di ricerca del CNR-IMAA presso l'Osservatorio Ambientale Val d'Agri dove, nell'ambito del progetto "Modello integrato di matrici ambientali", svolge attività di ricerca aventi come oggetto l'applicazione di metodi e tecniche geochimiche e minero-petrografiche finalizzate al monitoraggio e alla valutazione dei rischi ambientali e alla tutela della salute umana. Tali attività consistono nella caratterizzazione geochimica e minero-petrografica del particolato atmosferico, nello studio dei processi di interazione acqua-suolo-roccia per la valutazione dei rischi ambientali e nella caratterizzazione composizionale di terreni e acque circolanti in aree interessate da fenomeni di *land degradation*, per l'individuazione di fattori di rischio geochimico-mineralogico predisponenti l'innesco e l'evoluzione di tali processi.

Dott. Tony Alfredo Stabile

Nel 2004 si è laureato in Fisica con lode presso l'Università di Napoli "Federico II" e nel 2008 ha conseguito il dottorato di ricerca in "Geofisica" presso l'Università di Bologna "Alma Mater Studiorum". Nel 2008 ha avuto contratti di collaborazione con l'Università di Napoli "Federico II", svolgendo attività di ricerca nel campo della sismologia e dell'acustica subacquea. Nel 2008 e nel 2010 ha avuto contratti presso l'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV, sezione di Napoli). Da ottobre 2008 a giugno 2011, è stato un contrattista a progetto di AMRA scarl (Napoli), maturando esperienza in sismologia, rischio sismico ed *early-warning* sismico. Da luglio 2011 è assegnista di ricerca dell'Istituto di Metodologie per l'Analisi Ambientale (IMAA) del Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR) di Tito Scalo (Potenza).

Si occupa dello studio della sismicità indotta da invasi idrici e da iniezione di fluidi nel sottosuolo, di tecniche per la localizzazione dei terremoti e l'analisi della sorgente sismica, di modellazione del campo d'onda sismico in mezzi eterogenei, di tecniche interferometriche radar da terra e di progettazione di reti di monitoraggio sismico. È, inoltre, *referee* delle riviste scientifiche internazionali *Journal of Seismology*, *Journal of Geophysics and Engineering*, *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, *Acta Geophysica*, *Geomatics*, *Natural Hazards and Risk*. È membro permanente del Comitato Scientifico sulla sismicità indotta costituito dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (MATTM) presso ISPRA (12/11/2013, prot. Nr. 0045349).

Attualmente svolge la sua attività di ricerca presso l'Osservatorio Ambientale della Val d'Agri nell'ambito del progetto "Sistema per lo studio della sismicità locale" sul tema "Metodi e strumenti innovativi per l'analisi della sismicità locale e dei fenomeni di deformazione superficiale nella Val d'Agri".

Ing. Serena Trippetta

Nel 2004 si è laureata in Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio (indirizzo Ambiente) presso l'Università degli Studi della Basilicata e nel 2008 ha conseguito il titolo di dottore di ricerca in "Metodi e Tecnologie per il Monitoraggio Ambientale" presso la predetta Università. Dal 2005 collabora con l'Istituto di Metodologie per l'Analisi Ambientale (IMAA) del Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR) di Tito Scalo (Potenza) dove ha acquisito notevole esperienza nello studio degli *aerosol* atmosferici ed, in particolare, nell'integrazione di tecniche di misura *in situ* ed in *remote sensing* per la stima dell'impatto di sorgenti locali e del trasporto a lungo raggio sulle concentrazioni e sulla composizione chimica del particolato atmosferico misurato al suolo e nell'uso di tecniche di analisi statistica avanzata per la definizione di profili di sorgente degli inquinanti atmosferici. Nel periodo compreso tra aprile 2012 e maggio 2014, è stata assegnista di ricerca del CNR-IMAA presso l'Osservatorio Ambientale della Val d'Agri dove, nell'ambito del Progetto "Modello integrato di matrici ambientali", ha svolto attività di ricerca sul tema "Integrazione di tecniche chimico-fisiche in situ per la caratterizzazione degli aerosol atmosferici in aree interessate da attività di estrazione petrolifera in Basilicata". Nel giugno del 2014 è stata *co-chair* della sessione "*Particulate matter: monitoring and source identification"* nell'ambito dell'*International Conference of Atmospheric Dust – DUST2014* ed è *reviewer* per diverse riviste internazionali che trattano temi inerenti agli aerosol atmosferici e, più in generale, all'inquinamento ambientale. Attualmente è assegnista di ricerca presso il CNR-IMAA dove sta svolgendo attività di ricerca sul tema "Integrazione di dati raccolti al suolo e mediante tecniche di *remote-sensing* per lo studio della qualità dell'aria" nell'ambito del Progetto LOCAL AIR "*Local Aerosol Monitoring* mediante osservazioni *in situ* e *Remote Sensing*" - Programma Operativo FSE Basilicata 2007-2013.

ALLEGATO III - ESTRATTI DI PUBBLICAZIONI SCIENTIFICHE REALIZZATE IN COLLABORAZIONE CON L'OAVDA

Aerosol and Air Quality Research, 12: 1146–1156, 2012
Copyright © Taiwan Association for Aerosol Research
ISSN: 1680-8584 print / 2071-1409 online
doi: 10.4209/aaqr.2011.12.0236

Black Carbon and Organic Components in the Atmosphere of Southern Italy: Comparing Emissions from Different Sources and Production Processes of Carbonaceous Particles

Giulia Pavese[1], Mariarosaria Calvello[1], Francesco Esposito[2*]

[1] *IMAA-National Council of Researches, Tito Scalo, PZ 85050, Italy*
[2] *DIFA-Università della Basilicata, Potenza, PZ 85100, Italy*

ABSTRACT

Initial measurements of black carbon (BC) content at both 880 and 370 nm, obtained in two sites in southern Italy by an aethalometer, have been analyzed. The sites are located in the same region (Basilicata), but are affected by different emission sources. In one case the main source of BC is related to vehicular traffic from a nearby freeway. Data were collected, although not continuously, during 2008, 2009 and 2010. In the second case, a fresh crude-oil pre-treatment plant continuously burns petroleum-derived products, thus contributing to emissions of both carbonaceous matter and its organic component. The corresponding data-set was collected in the period January–April 2011. At the first site, two daily peaks were found for the BC content, typical of vehicles emissions, with maximum values ranging from 2000 ng/m^3 to 4700 ng/m^3 found during weekdays. This behavior disappears at the weekend or when polluted air-masses from north-east Europe are transported over the measurement site. At the second site, two daily peaks were never found, suggesting that crude oil chemical processes were the main source of the emissions. In this case, the maximum BC values ranged between 1000–8000 ng/m^3, depending on the processes occurring at the fresh crude-oil pre-treatment plant. Moreover, the estimated level of BC at 370 nm was higher than that of BC at 880 nm in all months, expect for April, indicating a clear organic component in atmospheric aerosols. Finally, based on a best-fit procedure applied to the seven wavelengths' absorption coefficients, aerosols with different spectroscopic properties have been detected at these two sites.

Keywords: Black carbon; Organic fraction; Aethalometer; Atmospheric aerosol.

INTRODUCTION

Black Carbon (hereafter BC) or dark soot is a carbonaceous aerosol emitted in the atmosphere as the residual of incomplete combustion processes in industrial flames, car combustion engine, domestic heating systems, natural fires.

The term "Black Carbon" is commonly used to indicate light-absorbing aerosols being BC defined by the optical method used to measure it. Elemental carbon is another frequently used term to identify almost the same fraction of carbonaceous aerosols but operationally defined by the thermo-optical methods which are TOR (Thermal Optical Reflectance) or TOT (Thermal Optical Transmittance), as in Chow *et al.* (2009). BC is characterized to be the main absorber of visible light in the atmosphere. In some cases, carbonaceous particles show a strong absorption at UV wavelengths which is characteristic of many organic compounds, such as Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs). In these cases the organic fraction of BC is a part of Organic Carbon (OC).

During last years interest on BC and OC role in atmospheric aerosols has been strongly increasing due to several reasons.

First of all the fine-submicrometer nature of BC particles make them able to be inhalated into human respiratory system causing adverse health effects as in Laden *et al.* (2006). At the same time, as a result of some combustion processes such as residential wood burning or biomass burning, other organic compounds considered toxic and carcinogenic for human health as such as PAHs, furans, Polychlorinated Biphenyl (PCBs), Polybrominated Diphenyl Ethers (PBDEs) and dioxins (Shresta *et al.*, 2010) can be produced. They can be sorbed to BC surface or can undergo a gas-to-particle conversion process and thus easily carried into the lungs.

Secondly, BC has been recognized by IPCC (2007) to be one of the main responsible of global warming due to light absorption. This is still a relevant aspect because, being BC an indicator of anthropogenic activities, the understanding of its role in positive radiative forcing can be directly related to anthropogenic influence on climate change.

* Corresponding author. Tel.: +39 0971 427 205;
Fax: +39 0971 427271
E-mail address: pavese@imaa.cnr.it

Author's personal copy

Atmospheric Environment 77 (2013) 105–116

Contents lists available at SciVerse ScienceDirect

Atmospheric Environment

journal homepage: www.elsevier.com/locate/atmosenv

Analysis of particulate matter in anthropized areas characterized by the presence of crude oil pre-treatment plants: The case study of the Agri Valley (Southern Italy)

Serena Trippetta*, Rosa Caggiano, Luciano Telesca

IMAA, Istituto di Metodologie per l'Analisi Ambientale, CNR, C.da S. Loja, Z.I., 85050 Tito Scalo, PZ, Italy

HIGHLIGHTS

- Novel integrated approaches are used to analyze PM data in Agri Valley (Italy).
- Most of the PM collected is made up of fine and sub-micrometric particles.
- $PM_{2.5}$ and PM_1 are characterized by a slightly increasing trend.
- Combustion processes could influence the observed $PM_{2.5}$ exceedances.

ARTICLE INFO

Article history:
Received 18 March 2013
Received in revised form
3 May 2013
Accepted 6 May 2013

Keywords:
Particulate matter
Crude oil
SSA
Long-range transport
AQI

ABSTRACT

Simultaneous measurements of PM_{10}, $PM_{2.5}$ and PM_1 (i.e., aerosol particles with aerodynamic diameter less than 10, 2.5 and 1 μm, respectively) daily mass concentrations and daily particle number concentration were performed for the first time in Agri Valley (Basilicata Region – Southern Italy) from July to November 2011. This area is characterized by anthropogenic activities having high potential environmental and human health impacts. In fact, the Agri Valley houses the largest European on-shore reservoir and the largest crude oil pre-treatment plant within an anthropized area. The PM measurements were analyzed combining an innovative statistical methodology, the Singular Spectral Analysis, with forecast models and remote sensing observations. Our findings show that most of the PM collected was made up of particles in the fine and sub-micrometric fractions (i.e., $PM_{2.5}$ and PM_1, respectively) very likely originated by common anthropogenic sources. Moreover, $PM_{2.5}$ and PM_1 daily mass concentrations were characterized by a slightly increasing trend that could be related to the contribution of local sources, such as the crude oil pre-treatment plant, whose combustion processes also produce the emission of particles mainly in the fine and sub-micrometric size ranges. The integrated use of model forecasts, satellite observations and in-situ measurements shows that the only PM_{10} exceedance was affected by the contribution of Saharan dust, while the three $PM_{2.5}$ exceedances were mainly due to local anthropogenic sources. Finally, the analysis of the PM_{10} and $PM_{2.5}$ Air Quality Index (AQI) values shows that air quality was always "good" with respect to PM_{10} and "moderate" with respect to $PM_{2.5}$ suggesting that fine particles, if they will be not kept under control, should represent a real problem also posing health risks to the population living close to the crude oil pre-treatment plant.

© 2013 Elsevier Ltd. All rights reserved.

1. Introduction

Atmospheric particulate matter (PM) is a significant worldwide environmental issue due to several adverse impacts on human health (Franck et al., 2011; Pope and Dockery, 2006; Pope et al., 2002), visibility (Yuan et al., 2006), ecosystems (Yatkin and Bayram, 2007; Rajamani and Yadav, 2006), global climate and atmospheric chemistry (Gugamsetty et al., 2012; IPCC, 2007). It is widely recognized that PM concentrations are highly variable in space and time due to many factors such as type, quantity and location of emission sources (both local and long-range transport related), background concentrations, chemical transformations, meteorological conditions, geographical and topographical characteristics of the considered area. All this makes the PM atmospheric dynamics very complex; therefore, an integrated approach combining an innovative statistical

* Corresponding author. Tel.: +39 971 427269; fax: +39 971 427271.
E-mail addresses: serena.trippetta@imaa.cnr.it (S. Trippetta), rosa.caggiano@imaa.cnr.it (R. Caggiano), luciano.telesca@imaa.cnr.it (L. Telesca).

1352-2310/$ – see front matter © 2013 Elsevier Ltd. All rights reserved.
http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2013.05.013

Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 14, 2133–2144, 2014
www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/14/2133/2014/
doi:10.5194/nhess-14-2133-2014
© Author(s) 2014. CC Attribution 3.0 License.

Natural Hazards and Earth System Sciences
Open Access

An integrated approach for the evaluation of technological hazard impacts on air quality: the case of the Val d'Agri oil/gas plant

M. Calvello[1,2], **F. Esposito**[3], **and S. Trippetta**[1,2]

[1]IMAA, Istituto di Metodologie per l'Analisi Ambientale, CNR, C.da S. Loja, Z.I., 85050 Tito Scalo (PZ), Italy
[2]Osservatorio Ambientale Val d'Agri, Via Vittorio Emanuele II, 3, 85052 Marsico Nuovo (PZ), Italy
[3]Scuola di Ingegneria, Università degli Studi della Basilicata, Viale dell'Ateneo Lucano 10, 85100 Potenza, Italy

Correspondence to: M. Calvello (mariarosaria.calvello@imaa.cnr.it)

Received: 27 February 2014 – Published in Nat. Hazards Earth Syst. Sci. Discuss.: 8 April 2014
Revised: 17 June 2014 – Accepted: 22 June 2014 – Published: 21 August 2014

Abstract. The Val d'Agri area (southern Italy) hosts one of the biggest onshore European reservoir and the largest oil/gas pre-treatment plant, named Centro Olio Val d'Agri (COVA), located in a rural/anthropized context. Several hazards are associated with this plant. These are mainly represented by possible impacts of the COVA atmospheric emissions on the local air quality and human health. This work uses a novel approach based on the integration of air quality measurements from the regional monitoring network, additional experimental measurements (i.e. sub-micrometre particulate matter (PM_1) and black carbon (BC)) and advanced statistical analyses to provide a preliminary evaluation of the Val d'Agri air quality state and give some indication of specific areas potentially affected by COVA hazards. Results show that the COVA plant emissions have a particular impact on the air quality of the area closest to it. In this area several pollutants specifically related to the COVA combustion processes (i.e. nitrogen oxides, benzene and toluene) show the highest concentration values and significant correlations. The proposed approach represents a first step in the assessment of the risks associated with oil/gas exploration and pre-treatment activities and a starting point for the development of effective and exportable air quality monitoring strategies.

1 Introduction

The Val d'Agri area (Basilicata region – southern Italy) is characterized by the peculiar coexistence of natural features (woods and natural parks), large biodiversity, agricultural activities (cultivated and grazing areas) and several small towns alongside anthropogenic activities with potential environmental and health impacts. In fact, the Val d'Agri area houses one of the biggest onshore European reservoir (crude oil and gas) and the largest existing oil/gas pre-treatment plant (identified as Centro Olio Val d'Agri – COVA) in a populated area. In this plant, the fluid extracted from the 25 currently productive wells is transported and separated into three phases: crude oil, natural gas and water. The crude oil is stabilized and conveyed to the Taranto refinery (Puglia region – southern Italy) through a 136 km long oil pipeline. The natural gas, on the contrary, is treated and delivered to the Italian gas distribution network (Snam Rete Gas S.p.A.). COVA has a nominal treatment capacity of 16 500 m^3 day^{-1} of crude oil and 3.1 million sm^3 day^{-1} of associated gas and represents one of the main sources of atmospheric pollution in the entire area. In fact, the combustion processes occurring in the COVA plant during normal operating conditions originate both gaseous and particulate emissions, giving rise to possible impacts on the local air quality and also posing health risks to the population living close to this plant (Trippetta et al., 2013). Moreover, the activation of emergency operating procedures deriving from plant malfunctions and anomalies represents a further risk for the environment and human health due to additional and possibly enhanced emissions of atmospheric pollutants. Finally, the COVA plant is also classified as subject to considerable risk of industrial injury associated with accidental release of crude oil, methane, propane or other toxic products, or with accidental fires from methane and crude oil (COVA plant External Emergency Plan, which can be found (in Italian) at http://www.osservatoriovaldagri.it/).

Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 14, 2337–2346, 2014
www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/14/2337/2014/
doi:10.5194/nhess-14-2337-2014
© Author(s) 2014. CC Attribution 3.0 License.

Natural Hazards and Earth System Sciences
Open Access

PM_1 measurements at a site close to an oil/gas pre-treatment plant (Agri Valley – southern Italy): a preliminary study

S. Trippetta[1,2], R. Caggiano[1], and S. Sabia[1]

[1]IMAA, Istituto di Metodologie per l'Analisi Ambientale, CNR, C.da S. Loja, Z.I., 85050, Tito Scalo (PZ), Italy
[2]Osservatorio Ambientale Val d'Agri, Via Vittorio Emanuele II, 3, 85052, Marsico Nuovo (PZ), Italy

Correspondence to: S. Trippetta (serena.trippetta@imaa.cnr.it)

Received: 28 February 2014 – Published in Nat. Hazards Earth Syst. Sci. Discuss.: 8 April 2014
Revised: – – Accepted: 30 July 2014 – Published: 3 September 2014

Abstract. A PM_1 (i.e. particulate matter with an aerodynamic diameter less than 1.0 µm) short-term monitoring campaign was carried out in the Agri Valley (southern Italy) in September 2012. This area is of international concern, since it houses one of the largest European on-shore reservoirs and the largest oil/gas pre-treatment plant (i.e. the Centro Olio Val d'Agri – COVA) within an anthropised context. PM_1 measurements were performed in Viggiano, the nearest town to the COVA plant and one of the most populated towns of the Agri Valley. During the study period, the PM_1 daily concentrations ranged from 1.2 to 8.4 µg m^{-3}, with a mean value of 4.6 µg m^{-3}. Regarding the PM_1 chemical composition, it can be observed that S and typical crustal elements were the most abundant constituents of the PM_1 collected. By applying principal component analysis (PCA), it was pointed out that crustal soil, biomass and wood burning, secondary atmospheric reactions involving COVA plant emissions and local soil particles, and traffic were the main sources contributing to the PM_1 measured in the area under study. Moreover, a possible contribution of the long-range transport of African dust was observed.

1 Introduction

Atmospheric aerosols, also referred to as particulate matter (PM), are one of the most challenging environmental issues due to their well-established impact on global climate change, air quality and human health (Pateraki et al., 2014). Atmospheric aerosols affect the natural energy balance of the Earth mainly by reflecting/absorbing solar radiation and by influencing the reflective and absorbing properties of clouds (Boucher et al., 2013; Kaufman and Koren, 2006; Yu et al., 2006). Moreover, they can have an impact on visibility (Deng et al., 2008; Chang et al., 2009), agricultural and natural ecosystems (Grantz et al., 2003), and material and cultural heritages (Ghedini et al., 2011), and can pose a risk to human health because of their adverse effects on both the respiratory and cardiovascular systems (Pope and Dockery, 2006). All these impacts are related both to particle dimension and concentrations and to their chemical composition, which includes trace elements, inorganic ions and carbonaceous species (Almeida et al., 2006). Therefore, a continuous improvement in the knowledge of the PM concentrations as well as their physicochemical properties and origin is required to assess and quantify the above-mentioned impacts better. Up to now, there have been many studies dealing with coarse and fine PM fractions (i.e. PM_{10} and $PM_{2.5}$, aerosol particles with aerodynamic diameters less than 10 and 2.5 µm, respectively), but much less is known and even less has been done about the PM sub-micrometric fraction (referred to as PM_1, aerosol particles with aerodynamic diameters less than 1.0 µm). As a consequence, in recent years, a growing number of studies have focused on the assessment of PM_1 levels and chemical composition, and on the identification of its sources, especially in urban areas (e.g. Garcia et al., 2014; Shi et al., 2014; Titos et al., 2014; Valotto et al., 2014), due to the more adverse effects of PM_1 on human health than PM_{10} and $PM_{2.5}$ (e.g. Wang et al., 2014; Galindo et al., 2013). In fact, these areas exhibit the largest targets of impact and a large concentration of emission sources of anthropogenic type (e.g. industrial activities, road traffic, residential heating) which are expected to produce particles mainly in the sub-micrometric size range containing a broad range of

Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 104, No. 4, pp. 1820–1828, August 2014, doi: 10.1785/0120130333

Ⓔ

Evidence of Low-Magnitude Continued Reservoir-Induced Seismicity Associated with the Pertusillo Artificial Lake (Southern Italy)

by Tony Alfredo Stabile, Alessandro Giocoli,* Vincenzo Lapenna, Angela Perrone, Sabatino Piscitelli, and Luciano Telesca

Abstract The most common observations of reservoir-induced seismicity (RIS) by filling artificial lakes are generally associated with the initial impoundment of the lake or the lake level increase above a previous maximum. Rarely, RIS persists for many years without a decrease in frequency or magnitude; if this occurs, it is called "protracted" or "continued" seismicity. Pertusillo artificial lake in high Agri Valley (southern Italy) is a small reservoir with a water column that fluctuates yearly by about 10–15 m (on average), corresponding to a pressure perturbation at the bottom of the lake of 0.10–0.15 MPa. Although the reservoir was filled in 1963, the microearthquake activity still occurring around the lake allows the categorization of such RIS as continued seismicity. We collected all microearthquakes ($M_L \leq 2.7$) recorded near the reservoir by two different seismic networks from January 2005 to June 2012 and analyzed their frequency–magnitude distribution, which showed a b value ($b = 1.40$) much higher than that expected for the investigated area. Even though the spatial seismicity pattern shows two distinct clusters to the northeast and southwest of the lake, we found that only the southwest seismicity is significantly correlated with the water level. The findings suggest that the physical driving mechanism is the 1D pore fluid pressure diffusion along the northeast–southwest fault zones, connecting the reservoir to the southern termination of the Monti della Maddalena fault system, with an average hydraulic diffusivity of ~7.8 m^2/s.

Online Material: Figures of magnitude comparisons between catalogs, temporal occurrence of events, rainfall versus number of earthquakes, and number of events versus water level, and animated 3D views of seismicity and reservoir.

Introduction

To date, more than a hundred cases of reservoir-induced seismicity (RIS) associated with water-level changes in artificial lakes have been observed in the world. Most of those that concerned large magnitude events such as the 10 December 1967 M_w 6.3 Koyna-Warna earthquake (Gupta and Rastogi, 1976) occurred after the impoundment of a large water reservoir.

Lower-magnitude events can be also induced by water reservoirs (Gupta, 2002), but they could be recorded only by local, dense, and technologically advanced seismic networks.

Several large artificial lakes did not exhibit RIS, whereas many relatively small reservoirs (e.g., the Açu reservoir in Brazil) have induced rather intense seismicity (El Hariri *et al.*, 2010, and references therein). Overall, the occurrence of RIS depends on the geologic and tectonic settings of the site, as well as the reservoir characteristics (Gupta, 2002). Baecher and Keeney (1982) showed that the occurrence of RIS depends strongly on the depth of the water column and the volume of the reservoir. In addition, a report of the United States Committee on Large Dams (USCOLD) (1997) concluded that RIS should be taken into account for every reservoir deeper than 80–100 m.

As emphasized by Bell and Nur (1978), the mechanisms associated with RIS are twofold: (1) the instantaneous undrained elastic response to the reservoir load (rapid response), and (2) the diffusion of pore fluid pressures from the reservoir that decreases the effective strength of the rocks around the reservoir (delayed response; Simpson *et al.*, 1988). The oscillation of reservoir load can also affect the fault stability that depends on (a) the location of the reservoir with respect to the fault, (b) the fault orientation, and (c) the stress field (Roeloffs, 1988; Talwani, 1997). For small-size

*Now at Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile (ENEA), Centro Ricerche Casaccia, 301, Via Anguillarese, 00123 Rome, Italy.

AGU PUBLICATIONS

Geophysical Research Letters

RESEARCH LETTER

10.1002/2014GL060948

Key Points:
- The onset of seismicity is observed in High Agri Valley near an injection well
- Fluid injection induced seismicity caused by wastewater disposal is examined
- The space-time evolution of events reveals a NE dipping fault

Supporting Information:
- Readme
- Figure S1
- Movie S1
- Movie S2

Correspondence to:
T. A. Stabile,
tony.stabile@imaa.cnr.it

Citation:
Stabile, T. A., A. Giocoli, A. Perrone, S. Piscitelli, and V. Lapenna (2014), Fluid injection induced seismicity reveals a NE dipping fault in the southeastern sector of the High Agri Valley (southern Italy), *Geophys. Res. Lett.*, *41*, 5847–5854, doi:10.1002/2014GL060948.

Received 18 JUN 2014
Accepted 3 AUG 2014
Accepted article online 11 AUG 2014
Published online 25 AUG 2014

Fluid injection induced seismicity reveals a NE dipping fault in the southeastern sector of the High Agri Valley (southern Italy)

T. A. Stabile[1], A. Giocoli[1,2], A. Perrone[1], S. Piscitelli[1], and V. Lapenna[1]

[1]Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto di Metodologie per l'Analisi Ambientale, Tito, Italy, [2]Now at Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile, Rome, Italy

Abstract On 2 June 2006 the wastewater produced during the oil and gas field exploitation in High Agri Valley (southern Italy) started to be managed by disposal through pumping the fluids back into the subsurface at the Costa Molina 2 (CM2) injection well, located in the southeastern sector of the valley. The onset of microearthquakes ($Ml \leq 2$) after 4 days at about 1.3 km SW of CM2 well suggests fluid injection induced seismicity by the diffusion of pore pressure. Moreover, the space-time evolution of 196 high-resolution relocated events reveals a previously unmapped NE dipping fault. We investigate the physical processes related to the fluid injection induced seismicity and delineate the previously unmapped fault by jointly analyzing seismicity data, geological observations, fluid injection data, the stratigraphic log of the CM2 well, and the electrical resistivity tomography survey carried out in the study area.

1. Introduction

Seismicity induced by the human activity has been observed and documented since at least the 1920s [*Pratt and Johnson*, 1926]. It is attributed to a range of energy technologies including the following: impoundment of reservoirs behind dams, mining activity, underground nuclear tests, enhanced geothermal systems, injection/withdrawal of fluids into/from the ground associated with the gas storage, the CO_2 sequestration, and the exploitation of oil and gas [see *National Research Council*, 2013, and references therein].

Recently, great attention has been paid to injection-induced earthquakes in the USA [*Ellsworth*, 2013; *Kim*, 2013], where the largest event in the world (i.e., the 2011 M_w 5.7 Prague, Oklahoma, earthquake) induced by wastewater injection occurred [*Keranen et al*., 2013; *Sumy et al*., 2014]. Furthermore, political discussions and debates within the scientific community started in Italy after the publication of the report written by the International Commission on Hydrocarbon Exploration and Seismicity in the Emilia Region commission [*International Commission on Hydrocarbon Exploration and Seismicity in the Emilia Region*, 2014], which stated that it cannot be excluded a possible link between the May 2012 Emilia quakes [*Galli et al*., 2012; *Gallipoli et al*., 2014] and human activities in the area.

It is recognized worldwide that identifying whether a particular earthquake was caused by one of the energy technologies or occurred naturally is often very difficult. For this aim, efforts have been undertaken to understand and quantify the role of fluids in the triggering processes of both natural earthquakes [e.g., *Lucente et al*., 2010; *Faulkner et al*., 2010] and human-induced seismicity [e.g., *Zoback and Harjes*, 1997; *Shapiro et al*., 2002; *Bachmann et al*., 2012]. It is also interesting to distinguish whether the external perturbation produced by one of the energy technologies is sufficiently large as to produce a seismic event (induced earthquake) or if it is only capable of moving the stress state from quasi-critically stable to unstable (triggered earthquake) [*Simpson*, 1986]. In this second case, triggered seismicity could reveal faults and then it could be used to understand their characteristics (e.g., the continental fault studied by *Shapiro et al*. [2006] at the German Deep Drilling Site, The German Continental Deep Drilling Program).

In this paper we analyze the space-time evolution of the seismicity located near the Costa Molina 2 (CM2) injection well in the High Agri Valley (HAV) that reveals a previously unmapped NE dipping fault. The joint analysis of seismicity data, geological observations, fluid injection data, electrical resistivity tomography (ERT), and the stratigraphic log of the CM2 well allows the understanding of physical processes related to the fluid injection induced seismicity and yields compelling constraints to trace from the near surface to 4 km depth below sea level the NE dipping fault with a high level of confidence.

©2014. American Geophysical Union. All Rights Reserved.

Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 14, 2727–2733, 2014
www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/14/2727/2014/
doi:10.5194/nhess-14-2727-2014
© Author(s) 2014. CC Attribution 3.0 License.

Natural Hazards and Earth System Sciences
Open Access

A novel approach to comparing simultaneous size-segregated particulate matter (PM) concentration ratios by means of a dedicated triangular diagram using the Agri Valley PM measurements as an example

A. Speranza[1], R. Caggiano[1], S. Margiotta[1,2], and S. Trippetta[1,2]

[1]IMAA, Istituto di Metodologie per l'Analisi Ambientale, CNR, 85050 Tito Scalo, PZ, Italy
[2]Osservatorio Ambientale Val d'Agri, Via Vittorio Emanuele II, 3, 85052 Marsico Nuovo, PZ, Italy

Correspondence to: A. Speranza (antonio.speranza@imaa.cnr.it)

Received: 28 February 2014 – Published in Nat. Hazards Earth Syst. Sci. Discuss.: 3 June 2014
Revised: 7 August 2014 – Accepted: 12 August 2014 – Published: 8 October 2014

Abstract. This work presents a novel approach to comparing and graphically representing simultaneous concentration measurements of PM_{10}, $PM_{2.5}$ and PM_1 (i.e., aerosol particles with aerodynamic diameters less than 10, 2.5 and 1 µm, respectively) with similar data reported in the literature using $PM_{2.5}/PM_{10}$ and PM_1/PM_{10} concentration ratios. With this aim, a dedicated triangular diagram was used. The proposed approach was applied to size-segregated particulate matter (PM) concentrations recorded in the Agri Valley (Basilicata region – southern Italy). Results show that the PM_{10}, $PM_{2.5}$ and PM_1 concentrations recorded in the Agri Valley are comparable both in terms of PM concentration ratios and PM levels to an urban site.

1 Introduction

The growing interest aroused by aerosol particles (also referred to as particulate matter, PM) is due to their impact on human health, air quality and global climate change (Colette et al., 2008; IPCC, 2007; WHO, 2006). These particles can differ in size, shape and chemical composition, and can be generated both from natural and/or anthropic sources. The particle size fraction is an important physical parameter, since it can provide information relating to the particle origin, its formation process and its effects on human health. In fact, the PM coarse fraction (i.e., PM_{10}, aerosol particles with aerodynamic diameters less than 10 µm) mainly originates from natural sources such as re-suspension of local soil by winds, desert dust, forest fire, volcanic eruptions (Aleksandropoulou and Lazaridis, 2013; Campos-Ramos et al., 2011), as well as anthropogenic sources such as re-suspension of road dust, material grinding and crushing (Colbeck, 2008; Van Dingenen et al., 2004). Regarding fine and ultrafine fractions (i.e., $PM_{2.5}$ and PM_1, aerosol particles with aerodynamic diameters less than 2.5 and 1 µm, respectively), they mainly originate from anthropic sources such as industrial activities, traffic, and domestic heating (Caggiano et al., 2010; Lin and Lee, 2004). According to the particle size, PM can pose risks to human health because of its adverse effects on both the respiratory and cardiovascular systems (Pope III and Dockery, 2006). In fact, coarse particles are likely to be deposited in the extra-thoracic and upper bronchial regions. Instead, fine and ultrafine particles may travel deeply into the lungs and may be deposited in the lower bronchial and alveolar regions.

In the light of this, several efforts have been made in order to obtain simultaneous concentration measurements of different PM fractions (Massey et al., 2012; Cabada et al., 2004), and their ratios have been used to obtain preliminary indications of the sources contributing to the presence of the PM in the local atmosphere (Pérez et al., 2010; Cheng et al., 2006; Vecchi et al., 2004), and/or to compare the PM levels between different sites (Shahsavani et al., 2012; Gomišček et al., 2004; Li and Lin, 2002; Claiborn et al., 2000).

This work presents a novel approach to comparing and graphically representing simultaneous measurements of PM_{10}, $PM_{2.5}$ and PM_1 concentrations with similar data

Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 14, 2783–2793, 2014
www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/14/2783/2014/
doi:10.5194/nhess-14-2783-2014
© Author(s) 2014. CC Attribution 3.0 License.

Natural Hazards and Earth System Sciences
Open Access

A satellite-based analysis of the Val d'Agri Oil Center (southern Italy) gas flaring emissions

M. Faruolo[1], I. Coviello[1], C. Filizzola[1], T. Lacava[1], N. Pergola[1], and V. Tramutoli[2,1]

[1]Institute of Methodologies for Environmental Analysis, National Research Council, Tito Scalo, Italy
[2]School of Engineering, University of Basilicata, Potenza, Italy

Correspondence to: M. Faruolo (mariapia.faruolo@imaa.cnr.it)

Received: 28 February 2014 – Published in Nat. Hazards Earth Syst. Sci. Discuss.: 6 June 2014
Revised: 9 September 2014 – Accepted: 10 September 2014 – Published: 17 October 2014

Abstract. In this paper, the robust satellite techniques (RST), a multi-temporal scheme of satellite data analysis, was implemented to analyze the flaring activity of the Val d'Agri Oil Center (COVA), the largest Italian gas and oil pre-treatment plant, owned by Ente Nazionale Idrocarburi (ENI). For this site, located in an anthropized area characterized by a large environmental complexity, flaring emissions are mainly related to emergency conditions (i.e., waste flaring), as industrial processes are regulated by strict regional laws. While regarding the peculiar characteristics of COVA flaring, the main aim of this work was to assess the performances of RST in terms of sensitivity and reliability in providing independent estimations of gas flaring volumes in such conditions. In detail, RST was implemented for 13 years of Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) medium and thermal infrared data in order to identify the highly radiant records associated with the COVA flare emergency discharges. Then, using data provided by ENI about gas flaring volumes in the period 2003–2009, a MODIS-based regression model was developed and tested. The results achieved indicate that the such a model is able to estimate, with a good level of accuracy (R^2 of 0.83), emitted gas flaring volumes at COVA.

1 Introduction

Gas flaring is a high-temperature oxidation process used to burn combustible components, mostly hydrocarbons, of waste gases deriving from oil and gas production operations (EPA, 2012). In all industrial plants, the primary purpose of a flare is to act as a safety device to protect vessels or pipes from over-pressuring due to unplanned upsets, particularly at gas processing plants. In an emergency situation where equipment becomes over-pressured, special safety systems automatically release gas to flare stacks, to avoid fires and explosions of the plant (Ohio Epa, 2012).

Gas flaring is recognized as a waste of a valuable non-renewable source of clean energy and an added load of carbon emissions to the atmosphere (Elvidge et al., 2007; Ismail and Umukoro, 2012), contributing to global warming, causing climate change and affecting the environmental quality and human health in the areas close to the flares. This happens especially in countries lacking pipelines and other gas transportation infrastructure as well as processing plants to handle natural gas and where no efficient and effective regulations on flaring are applied (Cholakov, 2009; Ohio Epa, 2012; Ismail and Umukoro, 2012). The World Bank has estimated that 150 billion cubic meters of natural gas are being flared annually, equivalent to 30 % of the European Union's gas consumption. Through gas flaring, about 400 million tons of CO_2 (representing about 1.2 % of global CO_2 emissions) are added annually into the atmosphere (World Bank, 2012).

Considering the environmental impact of gas flaring both at the global and local scale, a global effort to track progress on flaring monitoring, also using independent tools able to provide continuous and systematic information on this phenomenon (Ismail and Umukoro, 2012), is required.

Recently, satellite observations have been widely employed to investigate this phenomenon, demonstrating the potential of providing independent estimates of gas flaring volumes injected into the atmosphere. Pioneering works on this topic date back to the 1970s (Croft, 1978, Muirhead and Cracknell, 1984). They were focused on nighttime gas flare

Stoch Environ Res Risk Assess
DOI 10.1007/s00477-014-0980-6

ORIGINAL PAPER

Robust identification of periodic behavior in the time dynamics of short seismic series: the case of seismicity induced by Pertusillo Lake, southern Italy

Luciano Telesca · Alessandro Giocoli · Vincenzo Lapenna · Tony Alfredo Stabile

© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2014

Abstract In this paper, we investigate the time dynamics of the seismicity of the area of the artificial Pertusillo Lake (southern Italy) by using two advanced statistical techniques: the robust periodogram and the singular spectrum analysis. Such methodologies are well suited to unveil the main characteristics (periodicities and long-term trend) of short time series, for which the application of standard statistical techniques fail. Our findings are that the monthly number of earthquakes occurred in the investigated area from 2002 to 2012 reveals the presence of the annual periodicity, which is reasonably linked with the yearly loading/unloading operational cycle of the lake. This indicates that the seismicity of the Pertusillo Lake area is effectively induced by the time-varying water level of the artificial lake. This result from one side sheds light on the nature of the earthquakes occurring in the investigated area as reservoir-induced, but, more generally, from another side suggests a robust manner to investigate the time dynamics of short seismic series.

Keywords Reservoir-induced seismicity · Singular spectrum analysis · Robust periodogram

1 Introduction

When time series is short, the application of suitable statistical methodologies is mandatory in order to get reliable information about the underlying dynamical system. This is, often, the case of seismicity of areas where earthquakes do not occur very frequently and for which the instrumental seismicity has been recorded for the most recent years: in fact, in this case, constructing the time series of monthly or even yearly, instead of daily or hourly, number of events, from one side permits to deal with time series with few null values (this preventing from altering the results because of the presence of many zeros), but from the other side produces short time series (this preventing from using many methods whose statistical accuracy depends on the length of the series). This is the case of the seismicity analysed in the present paper: the monthly number of earthquakes occurred around the artificial Pertusillo Lake (southern Italy) in the period 2002–2012. This seismicity has been considered to be of reservoir-induced type on the base of few observational evidences, but has not been statistically demonstrated yet. The assessment of such seismicity as reservoir-induced type is of crucial importance in terms of seismic hazard of the area, which, moreover, hosts the largest productive on-shore oil field in West Europe.

Although water reservoirs are being investigated in terms of their considerable influence on hydrological processes at the regional and even global scale (Zhou et al. 2014) and in terms of reservoir-induced hydrological alterations negatively affecting ecological hydrological requirements (Zhang et al. 2014), important relationships have been found between the variation of the level of water reservoirs and seismicity induced by such variation. Recently, it was even studied the seismic response of elevated water tank (Hacıefendioğlu et al. 2013).

Reservoir-induced seismicity was firstly observed in the Koyna area (India), which in 1967 was struck by an earthquake ($M = 6.3$) that was the strongest event occurred in the area (Gupta 2002), and, also, the most extensively

L. Telesca (✉) · A. Giocoli · V. Lapenna · T. A. Stabile
CNR, Istituto di Metodologie per l'Analisi Ambientale, Tito, PZ, Italy
e-mail: luciano.telesca@imaa.cnr.it

A. Giocoli
ENEA, Centro Ricerche Casaccia, Roma, RM, Italy

Published online: 02 November 2014

Marsico Nuovo (PZ), 24 settembre 2014

Il presente volume rappresenta un report sintetico per la disseminazione dei principali risultati ottenuti nell'ambito delle attività di ricerca previste dall'Accordo Operativo stipulato tra l'IMAA – CNR e la Regione Basilicata – Osservatorio Ambientale della Val d'Agri in data 17 gennaio 2012.