



Atti del XXII Convegno Nazionale di Agrometeorologia

Ricerca ed innovazione per la gestione del rischio meteo - climatico in agricoltura

Portici (NA) 11-12-13 giugno 2019

A cura di Francesca Ventura, Giovanni Maria Poggi

Dipartimento di Scienze e Tecnologie Agro-Alimentari

Università di Bologna



ISBN 978-88-5497-000-7

DOI <http://doi.org/10.6092/unibo/amsacta/6175>

Comitato scientifico

Francesca Ventura

Federica Rossi

Filiberto Altobelli

Miriam Carmen Beltrano

Anna Dalla Marta

Emanuele Scalcione

Federico Spanna

Domenico Ventrella

Comitato organizzatore

Giovanbattista Chirico

Giuliano Langella

Giovanni Maria Poggi

Flavia Tropiano

Segreteria organizzativa

Simone Falzoi

Tiziana La Iacona

Irene Vercellino

Foto di copertina: Università di Napoli

Bologna, 2019



Atti del XXII Convegno Nazionale di Agrometeorologia

Ricerca ed innovazione per la gestione del rischio meteo - climatico in agricoltura

Portici (NA) 11-12-13 giugno 2019

A cura di Francesca Ventura, Giovanni Maria Poggi

Dipartimento di Scienze e Tecnologie Agro-Alimentari

Università di Bologna



Ricerca ed innovazione per la gestione del rischio meteo - climatico in agricoltura

Sessione 1 - Il cambiamento climatico e i rischi per l'agricoltura

Il WMO sancisce l'importanza degli osservatori meteorologici storici

Beltrano M. C...... 9

La piattaforma CLIME per il supporto agli operatori agricoli nell'adattamento ai cambiamenti climatici

Barbato G., Villani V., Rianna G., Mercogliano P., Rizzo A...... 13

L'agricoltura italiana ha bisogno di una nuova struttura concettuale sulla gestione del rischio climatico. Il ruolo dell'agrometeorologia

Pontrandolfi A...... 18

Valutazione delle emissioni di CO₂ e CH₄ da tappeti erbosi: confronto fra festuca arundinacea e cynodon dactylon a differenti livelli di concimazione azotata

Verdi L., Brandani G., Baldi A., Mancini M., Dalla Marta A., Caturegli L., Orlandini S., Volterrani M...... 24

Analisi della produzione primaria lorda in un vigneto piemontese utilizzando tecniche di telerilevamento

Falzoi S., Spanna F., Borgogno Mondino E. C., Green S., Fratianni S...... 29

Danni da freddo su piante di olivo nelle Marche a seguito della gelata di febbraio 2018

Tognetti D., Alfei B., Nardi S., Pannelli G...... 33

L'influenza della gestione del suolo e del traffico agricolo sulla conservazione dell'acqua e del suolo: un caso studio in Piemonte

Capello G., Biddoccu M., Cavallo E...... 38

Valutazione del drenaggio idrico in area collinare vitivinicola per mezzo del modello

Criteria 3D per la caratterizzazione dell'acquifero superficiale e del rischio contaminazione da fitofarmaci e fertilizzanti azotati	
<i>Suciu N., Antolini G., Tomei F., Marcaccio M., Russo E., De Crema M., Peroncini E., Capri E., Zambito Marsala R., Farolfi C., Marletto V.</i>	44
Trend della siccità agricola in alcuni areali delle regioni Umbria e Abruzzo	
<i>Di Lena B., Vergni L., Chiaudani A.</i>	47
Carbon footprint della produzione di frumento Verna con metodo biologico e convenzionale, in Toscana	
<i>Mancini M., Verdi V., Leolini L., Orlandini S., Dalla Marta A.</i>	52
La interpolazione della bagnatura fogliare sulle Marche: tre modelli a confronto	
<i>Tognetti D., Leonesi S.</i>	56

POSTERS

Evento alluvionale del 27-30 ottobre 2018 in Veneto	
<i>Delillo I., Barbi A., Bonini Baraldi A., Checchetto F., Rech F.</i>	61
Areali di coltivazione del finocchio e cambiamento climatico in regione Basilicata	
<i>Lacertosa G., Quinto G. R., D'Angella F., Scalcione E.</i>	65
Water use efficiency in drought stressed Lettuce (<i>Lactuca sativa</i>) in the central dry zone of Myanmar	
<i>Orsini F., Michelon N., Pennisi G., Nang Ohn Myint, Gianquinto G.</i>	68
A European Project to enhance knowledge and awareness about viticulture suitability under climate change	
<i>Padovan G., Merante P., Leolini L., Bindi M., Moriondo M.</i>	71
Assessment of the climate change impacts on crops by adopting a set of crop performance indicators	
<i>Padovan G., Merante P., Leolini L., Costafreda-Aumedes S., Trombi G., Brilli L., Moriondo M.</i>	75

Il cambiamento climatico nell'appennino bolognese e conseguenze sulla produzione di energia eolica	
<i>Tomozeiu R., Meluzzi F., Monti R., Marletto V.</i>	80
Phenological development of hop (<i>humulus lupulus</i> L.) in the emilia-romagna region	
<i>Volta A., Carlino U., Pratizzoli W., Antolini G., Baldoni G., Marletto V.</i>	85

Sessione 2 - **Strumenti per la previsione e strategie per la prevenzione del rischio**

Exploring the use of weather time series from hobby meteorologists for crop modelling application in urban agriculture	
<i>Altobelli F., Lupia F., Cirone F., Gabrieli G., Vassallo M., Dalla Marta A.</i>	88
Monitoraggio della stabilità meccanica degli individui arborei tramite un sensore GNSS a basso costo	
<i>Coletta V., Mascitelli A., Bombi P., De Cinti B., Federico S., Matteucci G., Mazzoni A., Muzzini V.G., Petenko I., Crespi M., Dietrich S.</i>	91
Fulmini e agricoltura in tempi di cambiamento climatico	
<i>Dietrich S., Coletta V., D'Adderio L.P., Federico S., Paziienza L., Torcasio C.</i>	96
Comparison and validation of daily meteorological data from ERA5 reanalysis with observational surface data for the Emilia-Romagna region	
<i>Ben Hamouda G., Pavan V., Antolini G., Botarelli L., Ventura F.</i>	101
Valutazione e quantificazione degli impatti ambientali della produzione di olio d'oliva: tre sistemi di coltivazione a confronto	
<i>Brandani G., Baldi A., Fabbri C., Cecchi S., Mancini M.</i>	106
Studio preliminare per lo sviluppo di un DSS relativo all'utilizzo agronomico degli effluenti zootecnici e digestati	
<i>Cicogna A., Gallina V., Carnio A., Barbieri S., Volpe V.</i>	110

Le potenzialità dei Servizi Agrometeorologici Regionali nella difesa integrata delle colture agrarie. Risultati da una recente indagine

Epifani C., Alilla R., Dal Monte G., De Natale F., Esposito S., Parisse B., Pontrandolfi A...... 117

POSTERS

Simulations on different grapevine cultivars with the IVINE crop growth model

Andreoli V., Cassardo C., Cavalletto S., Spanna F...... 121

Near real time procedure for snow detection using satellite images

Spisni A., Baraldi A., D. Sapia L.D., Chatzidaki E...... 125

Sessione 3 - **Servizi agrometeorologici per l'applicazione della difesa integrata delle colture agrarie**

Analisi della riflettanza iperspettrale di due varietà antiche di frumento sottoposte a differenti trattamenti agronomici

Mancini M., Pieri M., Napoli M., Fabbri C., Brandani G., Vivoli R., Dalla Marta A., Orlandini S., Grassi C., Grifoni D...... 131

Stime di produttività dei pascoli a diverse scale

Cola G., Comolli R., Mariani L., Ferré C., Parisi S...... 136

Radiosondaggi di Udine: analisi dei trend delle temperature in quota (1982-2018), della quota dello zero termico (1992-2017) e confronto con dati a terra

Cicogna A., Pucillo A., Manzato A., Gallina V., Micheletti S...... 139

POSTERS

L'utilizzo di telegram nella diffusione dei servizi informativi agrometeo della regione
liguria

Pini S., Federici S., Ghironi M., Guardavila A., Sassi L..... 146

Midterm behaviour of surface layer and soil parameters in selected
Piedmontese vineyards

Cassardo C., Andreoli V., Falzoi S., Laiacona T., Spanna F..... 149

FULMINI E AGRICOLTURA IN TEMPI DI CAMBIAMENTO CLIMATICO

LIGHTNING AND AGRICULTURE IN A CLIMATE CHANGE CONTEXT

Stefano Dietrich^{1,*}, Virginia Coletta¹, Leo Pio D'Adderio¹, Stefano Federico¹, Luigi Paziienza¹, Rosa Claudia Torcasio¹

¹ ISAC-CNR, via del Fosso del Cavaliere 100, 00133, Roma (RM)
*s.dietrich@isac.cnr.it

Abstract

Lightning meteorology investigates the dynamic and microphysical evolution of convective meteorological systems through the monitoring of lightning. The timely information provided by the distribution of electrical discharges in the atmosphere is closely related to atmospheric convection, which is often followed by the arrival of hailstorms. However, the distribution of electrical discharges in the atmosphere also provides information on the production of nitrogen compounds, natural soil fertilizers. Lightnings are already included in warning systems of a different nature and will be increasingly assimilated into Numerical Weather Prediction models, along with other observations to explain, monitor, and possibly mitigate the effects of extreme events and climatic variations. A general overview and some specific ideas will be presented to discuss the evolution of some possible applications to agriculture.

Parole chiave

Fulmini, RAMS@ISAC, Modelli, Agricoltura

Keywords

Lightning, RAMS@ISAC, Models Agriculture,

Introduzione

I fulmini avvengono quando in una nube il campo elettrico diventa sufficientemente intenso da vincere la resistività dell'aria. La principale causa dell'elettrificazione di una nube deriva dalla presenza, dal movimento e dallo scontro al suo interno di particelle di ghiaccio e graupel. Da tali scontri si generano idrometeorie cariche di segno differente che si separano principalmente per effetto gravitazionale. Fondamentale è quindi il ruolo della convezione atmosferica, che genera gli impetuosi movimenti verticali capaci di proiettare verso l'alto, e quindi verso temperature più fredde, goccioline di acqua che si solidificano e accrescono durante l'evoluzione della formazione della nube convettiva (Roberto et al., 2016).

Uno dei maggiori rischi per le coltivazioni agricole dipende proprio dalla presenza, consistenza, e dimensioni che possono assumere le particelle di ghiaccio. Infatti, gli effetti distruttivi della grandine (diametro > 5 mm) sulle colture sono stati fin da principio motivo di interesse verso lo studio, il monitoraggio, la previsione, e eventualmente il tentativo di soppressione delle grandinate.

I fulmini e la grandine sono pertanto strettamente connessi: il monitoraggio dei fulmini può quindi fornire attendibili indicazioni sull'evoluzione dinamica e microfisica dei sistemi convettivi (Formenton et al., 2013; Solomon et al., 2003) divenendo pertanto un utile e semplice strumento per evidenziare l'arrivo di tale pericolo.

I fulmini sono d'interesse in diversi ambiti scientifici: la loro occorrenza dipende dall'inquinamento atmosferico (Orville et al., 2001; Naccarato et al., 2003), dalla temperatura dei mari (Stephen et al., 2000; Bond et al., 2002), mentre possono essere usati in sistemi di monitoraggio delle precipitazioni (Dietrich et al., 2011)

all'interno di sistemi di previsione delle alluvioni (Price et al., 2011).

Ancora nel campo dell'agronomia i fulmini hanno una rilevante importanza essendo tra i maggiori responsabili della produzione di NO_x (ossido di azoto), fondamentale nella fertilizzazione dei terreni. Il rumore dei tuoni sembra inoltre influenzare il tempo di crescita delle specie fungine (Ibrahim et al., 2017), mentre essi possono essere anche causa di grossi incendi boschivi e di incidenti anche mortali, in particolare di contadini, soprattutto nei paesi in via di sviluppo.

Le scariche elettriche possono avvenire tra nube e suolo (cloud to ground, CG), oppure all'interno o tra nubi (inter, intra cloud, IC).

Le differenti componenti spettrali delle scariche elettromagnetiche associate con l'occorrenza dei fulmini sono utilizzate da differenti tipi di reti di sensori al suolo, che stimano la posizione, la corrente di picco, e l'esatto istante della singola scarica. In particolare, la rete LINET, i cui dati sono usati nell'articolo, ha caratteristiche che la fanno preferire alle altre: riesce a osservare sia i fulmini CG (praticamente nella loro totalità) che la maggior parte degli IC, poiché sfrutta sia le tecniche in VLF (very low frequency), sia un algoritmo pseudo 3-D (Betz et al., 2004; Betz et al., 2007) che le dà la possibilità di differenziare gli eventi IC dai CG con un'elevata sensibilità, riuscendo a valutare l'altezza della scarica degli IC. Inoltre ha un'ottima accuratezza nel rilevarne la posizione.

Negli ultimi anni, a seguito del successo delle osservazioni ottiche del Lightning Imaging Sensor (LIS) a bordo della Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM), anche i satelliti geostazionari si stanno attrezzando per monitorare

con continuità i fulmini dallo spazio. Ha già iniziato il Geostationary Lightning Mapper (GLM) sul GOES-R, mentre ancora qualche anno (2021) si deve attendere per il Lightning Imager (LI) sul Meteosat Third Generation (MTG). Ciò permetterà, anche sull'Italia, di migliorare lo studio e il riconoscimento degli IC (ancora difficili da rilevare con osservazioni dal suolo). Questo è il motivo per cui i fulmini cominciano a essere inclusi in sistemi di allarme di differente natura e saranno sempre più assimilati in modelli di previsione meteorologica. Questo tipo di utilizzo sarà meglio spiegato nel seguito.

Materiali e Metodi

I fulmini possono essere utilizzati per migliorare le previsioni a breve termine dei modelli meteorologici. Negli anni sono state sviluppate diverse tecniche di assimilazione di dati di attività elettrica per questo scopo. Le prime tecniche convertivano il tasso di fulmini registrati su una data area in intensità di precipitazione ed assimilavano nei modelli il calore latente che poteva essere calcolato dall'intensità di precipitazione (Alexander et al., 1999; Chang et al., 2001). Successivamente l'assimilazione dei fulmini è stata svolta perturbando lo schema convettivo dei modelli meteorologici, ovvero forzando l'attivazione di questo schema laddove sono osservati fulmini (Giannaros et al., 2016). Questi schemi sono correntemente utilizzati a risoluzioni orizzontali medie dei modelli meteorologici (5-20 km).

Recentemente, soprattutto grazie alle elevate risoluzioni spaziali orizzontali (< 5 km) dei modelli meteorologici, si utilizzano i dati di attività elettrica per modificare il contenuto delle idrometeorie o del vapore acqueo. Il fine è quello di aumentare l'instabilità dell'atmosfera laddove sono osservati dei fulmini ed il modello non prevede lo sviluppo di convezione, quantificata dalla presenza o meno di graupel nella colonna verticale del modello in corrispondenza dei punti in cui sono osservati i fulmini (Fierro et al., 2012).

In questa direzione, presso l'ISAC-CNR di Roma, è stato sviluppato un algoritmo per l'assimilazione dei dati di attività elettrica nel modello RAMS@ISAC. Quest'ultimo rappresenta un'evoluzione del modello meteorologico RAMS (Regional Atmospheric Modeling System; Cotton et al., 2003) con tre principali novità: la possibilità di utilizzare nuovi schemi di microfisica a singolo momento (in questo lavoro è utilizzato lo schema WSM6; Hong e Lim, 2006) oltre a quello del modello nella sua versione originale; la possibilità di prevedere l'attività elettrica; la possibilità di assimilare alcune tipologie di dati a scala locale per il miglioramento della previsione. I dati che possono essere assimilati nel modello sono di vario tipo: fulmini, riflettività radar, ritardo dei ricevitori GPS valutato allo zenit, tasso di precipitazione da satellite.

Il problema specifico dell'assimilazione dei dati di fulminazione nel modello RAMS@ISAC (4 km di risoluzione spaziale orizzontale su tutta Italia) è affrontato perturbando il contenuto di vapore acqueo simulato tra le

isoterme di 0°C e -25°C poiché i meccanismi di separazione delle cariche responsabili della generazione di scariche elettriche agiscono principalmente in questo strato di atmosfera. La perturbazione al campo di umidità dipende da due fattori: a) il numero di fulmini che occorrono in una box di griglia centrato in ogni punto di griglia del modello; b) il valore del graupel simulato in un punto di griglia. La Figura 1 mostra l'andamento del vapore acqueo assimilato nel modello in funzione del tasso di fulminazione osservato e del contenuto di graupel simulato dal modello.

La formulazione analitica delle curve di Figura 1 può essere trovata in (Fierro et al., 2012 e Federico et al., 2017).

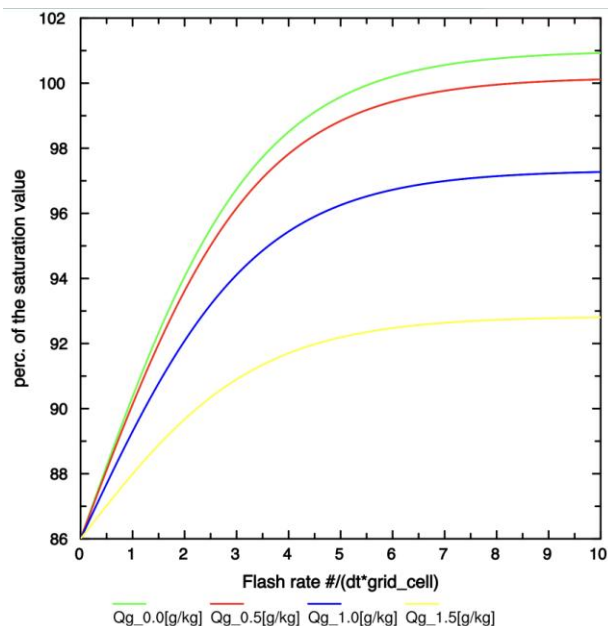


Fig.1 – Andamento del vapore acqueo, espresso in percentuale del valore alla saturazione, in funzione del tasso di fulminazione osservato, riportato sull'asse x, e del rapporto di mescolamento di graupel simulato dal modello.

Fig.1- Behaviour of the water vapour assimilated in RAMS@ISAC as a function of the flash-rate observed and of the modelled graupel mixing ratio.

Come si può notare dalla Figura 1, il vapore acqueo assimilato nel modello cresce con il numero di fulmini osservati in un box di griglia centrato attorno al punto di griglia considerato per l'assimilazione, e decresce con il quantitativo di graupel simulato dal modello.

Risultati e Discussione

Lo schema di assimilazione di dati di attività elettrica è stato applicato a 20 casi studio occorsi nel periodo 6 Settembre-5 Novembre 2012 (HyMeX-SOP1, Hydrological Cycle in Mediterranean Experiment -Special Observing Period 1, Ferretti et al., 2014). Il periodo è stato caratterizzato da un certo numero di eventi convettivi, anche di notevole intensità, occorsi in Italia.

La Figura 2 mostra il diagramma di Taylor ottenuto per i 20 casi studio per tre diverse configurazioni del modello

RAMS@ISAC: N è il modello di riferimento senza assimilazione alcuna di dati; F rappresenta la previsione del modello con assimilazione di dati di attività elettrica; A è una simulazione in cui i fulmini sono assimilati continuamente e non può essere utilizzata per svolgere le previsioni proprio perché ha bisogno di dati di attività elettrica di continuo.

Il diagramma di Taylor è stato calcolato considerando le precipitazioni osservate su tutta la rete di pluviometri nazionale, che consta di più di 2500 pluviometri. Di conseguenza la statistica presentata è robusta.

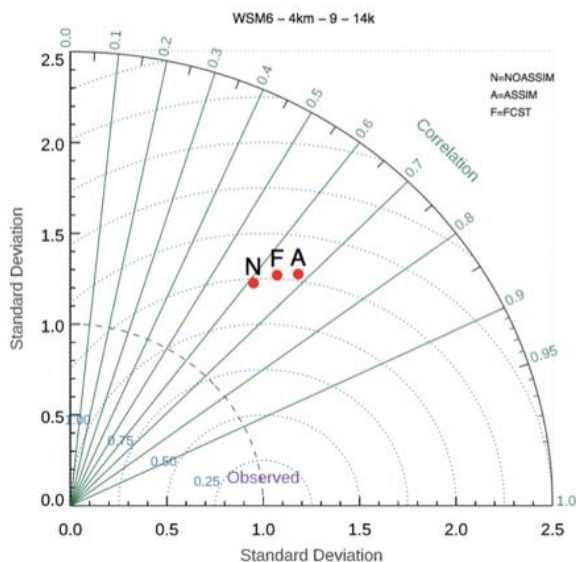


Fig.2 – Diagramma di Taylor ottenuto per i 20 casi studio di HyMeX-SOPI.

Fig.2- Taylor diagram for the 20 case studies of HyMeX-SOPI.

Dal diagramma di Taylor emerge un aumento della correlazione per le simulazioni che assimilano i fulmini, sia in fase predittiva (F), che in fase di analisi (A). Questo aumento di correlazione corrisponde a una migliore previsione del campo di precipitazione. Il POD (Probability of Detection) della simulazione con assimilazione di fulmini, infatti, ha un miglioramento del 5-10% a seconda della soglia di precipitazione per le simulazioni in configurazione di previsione (F), e del 7-15% per le simulazioni con assimilazione continua dei fulmini (A). Sempre dal diagramma di Taylor è possibile notare una leggera crescita dell'errore nelle simulazioni con assimilazione di fulmini. Questa crescita dell'errore è dovuta ad un aumento dei falsi allarmi delle simulazioni che assimilano dati di attività elettrica.

Un esempio evidente dell'impatto dell'assimilazione dei dati di attività elettrica è quello mostrato nelle Figure 3 e 4 per un caso studio di precipitazione intensa occorso nel pomeriggio del 5 Novembre 2017 a Roma. La Figura 3 mostra il numero di scariche osservate dalla rete di rilevamento da terra LINET (Betz et al., 2009) tra le 11 e le 12 UTC del 5 Novembre. In quest'ora sono state osservate

più di 260.000 scariche, principalmente sul Lazio e sul Mar Tirreno di fronte a Roma e sulla Toscana.



Fig.3 – Numero di scariche registrate dalla rete LINET tra le 11 e le 12 UTC del 5 Novembre 2017.

Fig.3- Number of strokes recorded by LINET between 11 and 12 UTC on 5 November 2017.

L'assimilazione dei fulmini nel modello RAMS@ISAC è in grado di forzare la nascita di una cella convettiva sul Mar Tirreno di fronte a Roma che si propaga nell'ora successiva sulla città. Questa situazione è ben rappresentata in Figura 4, che mostra la pioggia prevista tra le 12 e le 13 UTC del 5 Novembre 2017. Si può notare come siano previsti fino a 40 mm in un'ora sulla città, ovvero un temporale di notevole intensità. E' importante sottolineare come questo temporale non sarebbe stato previsto dal modello senza l'assimilazione di fulmini. Inoltre, la reale occorrenza del temporale su Roma (oltre 100 mm in 4 h) è stata verificata dalle osservazioni della rete nazionale dei pluviometri.

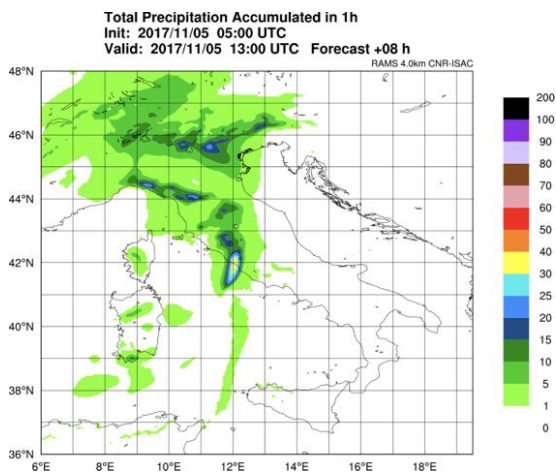


Fig.4 – Precipitazione prevista tra le 12 e le 13 UTC del 5 Novembre 2017.

Fig.4- Number of strokes recorded by LINET between 11 and 12 UTC on 5 November 2017.

Conclusioni

Il miglioramento delle capacità osservative delle reti di fulminazione al suolo e l'avvento dei nuovi sensori ottici satellitari rende disponibili un maggior numero di dati di alta qualità utilizzabili in molti contesti scientifici. Questo è oltremodo utile dal momento che il numero e l'intensità di violenti fenomeni convettivi è in chiaro aumento a causa dei cambiamenti climatici. Ad esempio, proprio nella zona del golfo di Napoli il 5 Settembre 2015 furono registrati 38,556 fulmini dalla rete LINET (Figura 5). Tale evento generò la caduta di sfere ghiacciate che raggiungevano il diametro di 7-10 cm (Marra et al., 2017).

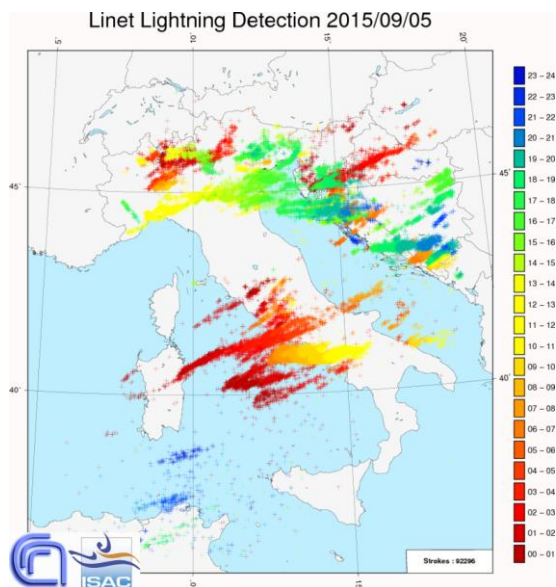


Fig.5 – Numero di scariche registrate dalla rete LINET il 5 Settembre 2015.

Fig.5- Number of strokes recorded by LINET on 5 September 2015.

Interessante è quindi la possibilità di usare i dati LINET nell'analisi di eventi meteorologici, ma anche all'interno di studi di varia natura. La disponibilità ormai di 7 anni di dati LINET ad alta qualità (15 sensori) sul territorio nazionale permette anche di organizzare studi climatologici. In particolare, l'assimilazione dei fulmini nei modelli numerici di previsione meteorologica rappresenta un notevole sviluppo nella previsione del campo di precipitazione a breve termine, come mostrato negli esempi precedenti. Ricerche future si occuperanno della possibilità di diminuire il numero di falsi allarmi, considerando l'attività convettiva simulata dal modello ad un certo istante di tempo e confrontando questo dato con le osservazioni di scariche elettriche. Tutto ciò aggiungerà preziose informazioni e previsioni a supporto delle applicazioni agricole.

Bibliografia

- Alexander G. D., Weinman J. A., Karyampoudi V. M., Olson W. S., and Lee A. C. L., 1999. The effect of assimilating rain rates derived from satellites and lightning on forecasts of the 1993 superstorm, *Mon. Weather Rev.*, 127: 1433–1457.
- Betz H. D., Schmidt K., Oettinger P., Wirz M., 2004. Lightning detection with 3D- discrimination of intracloud and cloud-to-ground discharges. *J.Geophys. Res. Lett.* 31, L11108.
- Betz H. D., Schmidt K., Fuchs B., Oettinger W.P., Höller H., 2007. Cloud lightning: detection and utilization for total lightning measured in the VLF/LF regime. *J. Light. Rese.* 2:1–17.
- Betz H. D., Schmidt K., Laroche P., Blanchet P., Oettinger P., Defer E., Dziewit Z., and Konarski J., 2009. LINET-an international lightning detection network in Europe, *Atmos. Res.*, 91: 564– 573.
- Bond D.W., Steiger S., Zhang R., Tie X., Orville R.E., 2002. The importance of NOx production by lightning in the tropics. *Atmospheric Environment* 36: 1509–1519.
- Chang D. E., Weinman J. A., Morales C. A., and Olson W. S., 2001. The effect of spaceborn microwave and ground-based continuous lightning measurements on forecasts of the 1998 Groundhog Day storm, *Mon. Weather Rev.*, 129: 1809–1833.
- Cotton W. R., Pielke S. R. A., Walko R. L., Liston G. E., Tremback C. J., Jiang H., McAnelly R. L., Harrington J. Y., Nicholls M. E., Carrio C. G., and McFadden J. P., 2003. RAMS 2001: Current status and future directions, *Meteorol. Atmos. Phys.*, 82: 5–29.
- Dietrich S., Casella D., Di Paola F., Formenton M., Mugnai A., and Sanò P., 2011. Lightning-based propagation of

- convective rain fields, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 11:1571-1581.
- Federico S., Petracca M., Panegrossi G., and Dietrich S., 2017. Improvement of RAMS precipitation forecast at the short-range through lightning data assimilation, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 17: 61–76.
- Ferretti R., Pichelli E., Gentile S., Maiello I., Cimini D., Davolio S., Miglietta M. M., Panegrossi G., Baldini L., Pasi F., Marzano F. S., Zinzi A., Mariani S., Casaioli M., Bartolini G., Loglisci N., Montani A., Marsigli C., Manzato A., Pucillo A., Ferrario M. E., Colaiuda V., and Rotunno R., 2014. Overview of the first HyMeX Special Observation Period over Italy: observations and model results, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 18: 1953–1977.
- Fierro A. O., Mansell E., Ziegler C., and MacGorman D., 2012. Application of a lightning data assimilation technique in the WRFARW model at cloud-resolving scales for the tornado outbreak of 24 May 2011, *Mon. Weather Rev.*, 140: 2609–2627.
- Formenton M., Panegrossi G., Casella D., Dietrich S., Mugnai A., San, P., Paola F.D., Betz H.D., Price C. and Yair Y., 2013. Using a cloud electrification model to study relationships between lightning activity and cloud microphysical structure. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 13(4):1085-1104.
- Giannaros T. M., Kotroni V., and Lagouvardos K., 2016. WRFLTNGDA: A lightning data assimilation technique implemented in the WRF model for improving precipitation forecasts, *Environ. Model. Softw.*, 76: 54–68.
- Hong S. Y. and Lim J. J. O., 2006. The WRF single-moment 6-class microphysics scheme (WSM6), *J. Korean Meteorol. Soc.*, 42: 129–151.
- Ibrahim R., Jamil A. A. I. M., Hasan S. M. Z., Arshad A.M. and Zakaria Z., 2017. Enhancing Growth and Yield of Grey Oyster Mushroom (*Pleurotus sajorajaju*) Using Different Acoustic Sound Treatments. In *MATEC Web of Conferences*, 97: 01054.
- Marra A. C., Porcù F., Baldini L., Petracca M., Casella D., Dietrich S., Mugnai A., Sanò P., Vulpiani G. and Panegrossi G., 2017. Observational analysis of an exceptionally intense hailstorm over the Mediterranean area: Role of the GPM Core Observatory. *Atmospheric research*, 192:72-90.
- Naccarato K. P., Pinto O. and Pinto I. R. C. A., 2003. Evidence of thermal and aerosol effects on the cloud-to-ground lightning density and polarity over large urban areas of Southeastern Brazil. *Geophysical Research Letters* 30.
- Orville R. E., Huffines G., Gammon J. N., Zhang R., Ely B., Steiger S., Phillips S., Allen S., and Read W, 2001. Enhancement of cloud-to-ground lightning over Houston, Texas, *Geophys. Res. Lett.*, 28(13): 2597–2600.
- Price C., Yair Y., Mugnai A., Lagouvardos K., Llasat M.C., Michaelides S., Dayan U., Dietrich S., Di Paola F., Galanti E. and Garrote L., 2011. Using lightning data to better understand and predict flash floods in the Mediterranean. *Surveys in geophysics*, 32(6):733.
- Roberto N., Adirosi E., Baldini L., Casella D., Dietrich S., Gatlin P., Panegrossi G., Petracca M., Sanò P. and Tokay A., 2016. Multi-sensor analysis of convective activity in central Italy during the HyMeX SOP 1.1. *Atmospheric Measurement Techniques*, 9(2):535-552.
- Solomon R., Medaglia C. M., Adamo C., Dietrich S. and Mugnai A., 2003. Relating cloud microphysical properties and lightning: Model analysis of an extreme hailstorm. In *Proceedings of the 5th EGS Plinius Conference on Mediterranean Storms*, Ajaccio, Corsica, France (pp. 1-3).
- Stephen W., Nesbitt W., Zhang R., Orville R., 2000. Seasonal and global NO_x production by lightning estimated from the Optical Transient Detector (OTD). *Tellus 52B*: 1206–1215.