

STAR
Solare Termodinamico ad Alto Rendimento

Relazione attività progetto STAR
Periodo: Gennaio 2009 – Giugno 2009



Consiglio Nazionale delle Ricerche

F. P. Vaccari, S. Taddei, G. Brugnoli

IBIMET - CNR
Istituto di Biometeorologia - Consiglio Nazionale delle Ricerche
Via Caproni, 8 50144 Firenze
Tel 055-3033711 Fax 055-308910 Web www.ibimet.cnr.it

Indice

Introduzione	3
Attività IBIMET nel progetto STAR	3
Riferimenti.....	4
Creazione di un database di dati di radiazione	5
Dati di radiazione da terra.....	5
Dati derivati da misure satellitari	6
Validazione dei dati di radiazione misurati da satellite.....	9
Considerazioni finali sui dati di radiazione solare.....	13
Analisi dell'energia di impatto della grandine e sua caratterizzazione	14
Messa a punto di un sistema di allerta meteo.....	18
Schema di allerta meteo	20

Introduzione

La seguente relazione ha l'obiettivo di riassumere le attività svolte nel secondo semestre (Gennaio – Giugno 2009) del progetto STAR ed elencare i risultati maturati nelle riunioni di progetto.

Attività IBIMET nel progetto STAR

Le attività del progetto STAR che vedono direttamente coinvolto l'IBIMET sono riassunte nella seguente lista di work package (WP) :

WP.Task (%)

- 1.4 (40 %) Protocollo trasferimento ed archiviazione dati, Data handling
- 2.1 (100%) Studio sulle potenzialità di utilizzo delle tecnologie implementate (WP2) in relazione ai regimi radiativi della Toscana, Mappa radiazione Toscana, Mappa nuvolosità Toscana
- 4.1 (50%) Rapporto su scelta sito
- 4.2 (40%) DB dati acquisiti durante sperimentazione
- 5.3 (15%) Rapporto sulle misure di caratterizzazione dei collettori solari

Oltre a queste attività “ufficiali” nelle riunioni di progetto è stata evidenziata la necessità di valutare i danni potenziali che una tempesta di grandine può causare al sistema di specchi del collettore solare. Questi possono dipendere, generalmente, dalla dimensione del chicco e dalla velocità di caduta. La caratterizzazione richiesta è relativa all'energia di impatto in funzione delle caratteristiche dei chicchi di grandine, ed i dati forniti, descritti in uno dei capitoli che seguono, risultano necessari per meglio fissare parametri necessari in fase di progettazione del sistema stesso. Un'altra richiesta del gruppo di lavoro è stata la necessità di sviluppare e coordinare un sistema di allerta meteo, che permetta la messa in sicurezza del prototipo sviluppato in caso di eventi meteorologici particolarmente intensi.

In breve le attività principali che ci ha visti coinvolti si possono riassumere in:

- Creazione di un database di dati di radiazione.
- Validazione dei dati di radiazione misurati da satellite.
- Analisi dell'energia di impatto della grandine e sua caratterizzazione in base alle diverse tipologie.
- Messa a punto di un sistema di allerta meteo.

Tali attività sono più in dettaglio descritte ed analizzate nelle sezioni che seguono.

Riferimenti

RA1	Relazione attività progetto STAR - <i>Periodo: Luglio 2008 – Dicembre 2008, DOC: STAR-RP1208</i>
Cano 1986	Cano D, Monget J M, Albuisson M, Guillard H, Regas N and Wald L 1986 A method for the determination of the global solar radiation from meteorological satellite data. <i>Solar Energy</i> 37: 31-9
Rigollier 2001	Rigollier Ch, Lefèvre M and Wald L 2001 Heliosat version 2, Integration and Exploitation of Networked Solar Radiation Databases for Environment Monitoring (SoDa), European Commission Project No. IST-1999-122245, report, http://www.soda-is.com/
Hammer 2003	Hammer , A., Heinemann, D., Hoyer , C., Kuhlemann, R., Lorenz, E., Müller, R., Beyer, H.G., 2003 . Solar energy assessment using remote sensing technologies, <i>Remote Sensing of Environment</i> 86, 423-432
Perez 2002	Perez R, Ineichen P, Moore K, Kmiecik M, Chain C, George R and Vignola F (2002.) A new operational model for satellite-derived irradiances: description and validation. <i>Solar-Energy</i> 73: 307-317
Brisson 1999	Brisson A., LeBorgne P., Marsouin A., 1999, Development of Algorithms for Surface Solar Irradiance retrieval at O&SI SAF low and Mid Latitude, Météo-France/CMS, Lannion.
OSI SAF 2002	Ocean & Sea Ice SAF, 2002, Surface Solar Irradiance Product Manual, Version 1.2
Zelenka 99	Effective Accuracy of Satellite-Derived Hourly Irradiances Zelenka, A. ; Perez, R. ; Seals, R. ; Renné, D. <i>Theoretical and Applied Climatology, Volume 62, Issue 3/4, pp. 199-207 (1999).</i>
Perez 2001	Perez R., A., A. Zelenka, M. Kmiecik, R. George and D. Renné (2001): Determination of the Effective Accuracy of Satellite-Derived Global, Direct and Diffuse irradiance in the Central United States. <i>Proc. ASES Annual Meeting, Forum 2001, Washington, DC.</i>

Creazione di un database di dati di radiazione

Lo scopo di questa attività è la caratterizzazione climatica della Regione Toscana, con particolare riferimento ai regimi radiativi, volta ad identificare le zone dove potrebbero esserci le condizioni ambientali di irraggiamento ottimali per l'installazione di sistemi di produzione di energia, utilizzando la radiazione solare.

In questo paragrafo viene fornita una descrizione di tutti i dati presi in esame al fine di definire un database di valori di radiazione solare. Dati che saranno analizzati per verificarne la validità allo scopo di ottenere un data-set di riferimento per il progetto.

Due sono le principali fonti da cui vengono estratti i dati di radiazione solare: stazioni meteorologiche a terra e dati satellitari. Le stazioni meteorologiche considerate devono includere ovviamente dei radiometri, ovvero strumenti che permettono di misurare la radiazione solare globale (diretta + diffusa).

Il principale problema dei dati di radiazione misurati a terra, quando si considerino vaste aree di superficie su cui si vuol conoscere la radiazione, è legato alla loro densità spaziale. Le stazioni a terra non permettono infatti di avere la stessa copertura e risoluzione spaziale che si può ottenere processando dati da satellite.

La validità dei dati derivati da satelliti è ormai assodata e diverse pubblicazioni scientifiche seguite al lavoro di Zelenka et al. [Zelenka 99] mostrano come il valore di RMSE (Root Mean Squared Error) sia mediamente inferiore al 20-25%.

Dati di radiazione da terra

Diverse sono le stazioni a terra che possono essere utilizzate per l'estrazione di dati di radiazione. In particolare, facendo riferimento all'area di interesse del progetto, la Toscana, utilizzeremo i dati misurati a terra da alcune stazioni installate e gestite dall'IBIMET e dal LaMMA.

I dati misurati a terra possono essere classificati in due diverse tipologie: le misure fatte mediante sensori di stazioni meteorologiche e quelle fatte tramite radiometri di elevata precisione installati su torri Eddy-Covariance per lo studio dei flussi di materia ed energia tra suolo e atmosfera.

I dati ottenuti da torri Eddy-Covariance rappresentano le misure più accurate a disposizione e saranno utilizzati per la validazione delle altre tipologie di dati: sia dati da stazioni meteorologiche che dati satellitari.

Torri Eddy-Covariance

Nell'ambito del progetto "Pianosa LAB", l'IBIMET, come già menzionato nella precedente relazione [RA1], ha installato a Pianosa alcune stazioni di misura. Tra di esse vi sono delle torri Eddy-Covariance.

Come esempio della tipologia di queste torri, ne descriviamo qui brevemente una di esse. Tale torre è stata attiva fino al 2006, successivamente è stata sostituita con una torre simile alta 8 metri. La torre era alta 12 metri; in cima ad essa erano stati collocati un anemometro sonico tridimensionale (mod. USA-1, Metek) e un analizzatore di CO₂ a cammino aperto (mod LI-7500, LI-COR) che attraverso la tecnica di eddy-correlation permettono la stima diretta dei flussi di calore, acqua e

anidride carbonica. I dati con frequenza di campionamento di 20 Hz venivano acquisiti da un PC. Al fine dello studio del bilancio energetico superficiale erano stati installati anche 2 radiometri netti (Q-7, REBS) e un radiometro globale di alta qualità (Kipp and Zonen) a circa 12 m di altezza e nel terreno due piastre di flusso a 5 cm di profondità, varie termocoppie a diverse profondità e due TDR probe (Delta-T) per la misura dell'umidità del terreno. Questi dati venivano acquisiti direttamente attraverso un data logger (CR-7, Campbell) con medie effettuate sulla mezz'ora.

Altre due torri Eddy-Covariance con caratteristiche simili sono installate nel bosco di Lecceto (Siena) e nella tenuta di S. Rossore (Pisa).

Stazioni meteorologiche

Il LaMMA (Laboratorio di Meteorologia Modellistica Ambientale costituitosi in Consorzio tra Regione Toscana, CNR e la Fondazione per il Clima e la Sostenibilità dal 20 dicembre 2007), specializzato principalmente in meteorologia, climatologia, sistemi informativi geografici (GIS) e geologia, nella ambito dei suoi progetti ha installato diverse stazioni meteorologiche sul territorio toscano.

Una delle sedi del LaMMA è il CoMMA-Med (Centro di Meteorologia Marina e Monitoraggio Ambientale del Mediterraneo) che negli ultimi anni ha installato e riceve i dati da alcune stazioni meteorologiche dislocate lungo la costa toscana.

Le stazioni CoMMA includono un solarimetro a fotocella (per maggiori informazioni riguardo alle stazioni CoMMA vedere http://www.lammamed.rete.toscana.it/osservazioni/dati_stazioni.html) che permette di misurare i dati di radiazione globale.

Le stazioni meteorologiche prese in considerazione per lo studio della radiazione solare sul territorio della toscana sono: Pianosa, Carrara, Firenze, Livorno, Piombino.

Dati derivati da misure satellitari

Come già introdotto nella relazione delle attività del progetto STAR del precedente semestre [RA1], vi sono diverse tecniche per estrarre dati di radiazione da misure fatte mediante strumenti a bordo di satelliti.

La radiazione solare che attraversa l'atmosfera interagisce con i costituenti atmosferici prima di raggiungere la superficie. Una parte di questa radiazione viene riflessa verso lo spazio, una parte assorbita, e il resto raggiunge il suolo. Il suolo assorbe una parte della radiazione che lo raggiunge, mentre il resto viene riflesso verso lo spazio. Dunque la radiazione che emerge dall'atmosfera è composta dalla radiazione solare riflessa dall'atmosfera stessa e da quella riflessa dal suolo. Questa è l'informazione misurata dai sensori dei satelliti che osservano la Terra.

Le tecniche per estrarre dati di radiazione da queste misure sono basate su modelli e algoritmi che vengono raggruppati in due grandi famiglie: modelli fisici e modelli empirico/statistici.

I modelli statistici sono molto semplici e si basano su regressioni tra dati misurati da satellite e dati a terra. Questo implica la necessità di avere a disposizione entrambi i tipi di dati. Inoltre, dato che tali modelli sono "calibrati" su siti specifici, l'estrapolazione dei dati su altri siti introduce grosse incertezze.

I modelli fisici invece tengono conto anche delle caratteristiche dell'atmosfera al fine di calcolare l'attenuazione da parte di quest'ultima rispetto alla radiazione emessa dal sole.

I satelliti che hanno a bordo strumenti per la misura della radiazione solare (radiometri) sono sia geostazionari che orbitanti intorno ai poli. Grazie alla loro posizione "stabile" i satelliti geostazionari forniscono una elevata copertura temporale a scapito di una minore risoluzione spaziale (e.g. Meteosat 8 fornisce una immagine ogni 15 minuti ed ha una risoluzione spaziale che alle nostre latitudini è di circa 5 km) rispetto ai satelliti ad orbita polare (circa 1km).

Questi ultimi orbitando a circa 800 km da terra (rispetto ai 2000 circa km di Meteosat) hanno sicuramente una elevata risoluzione spaziale a scapito però di una minore copertura temporale (es. il passaggio sulla stessa area è una volta al giorno) .

Come conseguenza delle considerazioni appena enunciate, il maggior numero di metodi di derivazione di valori di radiazione solare da dati satellitari utilizza immagini provenienti da satelliti geostazionari.

I principali modelli fisici utilizzati per la generazione di database di radiazione solare (già citati nella relazione [RA1]) sono:

- Modello Heliosat. Modello proposto da Cano [Cano 1986] e poi aggiornato in diverse versioni. Questo modello è stato particolarmente usato con i dati Meteosat. Le versioni più recenti sono Helisat-2 [Rigollier 2000] e Heliosat-3 [Hammer 2003]
- Modello Perez [Perez 2002] sviluppato presso l'Università di Albany ed applicato ai dati del satellite GEOS

Uno dei modelli più recenti ed interessanti è quello derivato dal lavoro fatto da Météo-France nell'ambito del progetto Ocean & Sea-Ice [Brisson 1999; OSI SAF 2002] e poi migliorato ed implementato presso LSA SAF (Land Surface Analysis Satellite Applications Facility, Portogallo).

L'implementazione del modello da parte del LSA SAF, che ha permesso la generazione di un prodotto che va sotto il nome di DSSF (down-welling surface short-wave radiation flux), prende in considerazione i seguenti dati:

- Dati a 30 minuti inviati a terra dal satellite Meteosat e misurati dal radiometro MSG/SEVIRI . Di questi dati vengono presi in considerazione tre canali: VIS 0.6 μ m, NIR 0.8 μ m, SWIR 1.6 μ m.
- Dati di copertura nuvolosa ottenuti dall'output del software Nowcasting and Very Short Range Forecasting Satellite Application Facility (NWC SAF)
- Informazioni dinamiche sul contenuto del vapore acqueo in atmosfera ottenute dal modello previsionale di ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, Inghilterra).
- Dati climatologici quali: concentrazione di ozono, proprietà dell'aerosol e albedo di superficie.

In questo modello sono stati implementati due distinti algoritmi: uno per le condizioni di cielo chiaro ed uno per quelle di cielo nuvoloso.

Nel primo caso il calcolo della radiazione a terra viene fatto tenendo conto dell'effettiva trasmissività dell'atmosfera, calcolata tenendo conto dei diversi costituenti l'atmosfera stessa.

Nel secondo caso la questione è più complicata. In presenza di nuvole la radiazione che raggiunge la terra viene notevolmente ridotta e quanto più risultano "riflettenti" le nuvole all'occhio del satellite tanto meno sarà la quantità di radiazione che raggiunge la terra. In questo caso l'albedo

della “superficie” dell’atmosfera viene calcolato e rappresenta il principale parametro utilizzato nella parametrizzazione fisica del sistema di trasferimento della radiazione in un sistema nuvole-atmosfera.

Il prodotto risultante da tali algoritmi rappresenta la quantità di energia radiativa nella lunghezza d’onda che ricade all’interno del range 0.3 μ m-4.0 μ m in un certo intervallo di tempo e su una data superficie.

I valori di questo prodotto sono stati validati con dei dati misurati a terra e facenti parte del database BSRN (vedi [RA1]), e su alcune stazioni di misura in Africa.

I risultati della validazione indicano che:

- Nel caso di cielo chiaro il BIAS mensile risulta circa $\pm 10\%$.
- Nel caso di cielo coperto/nuvoloso il BIAS mensile rimane all’interno del $\pm 15\%$ nella maggior parte dei casi.

Validazione dei dati di radiazione misurati da satellite

Come visto nel paragrafo precedente i dati derivati da satellite sono stati analizzati e validati rispetto a varie stazioni di misura a terra da parte degli istituti che li hanno prodotti.

Allo scopo di verificare la validità di tali dati sulle zone di interesse per il progetto STAR, un procedimento analogo è stato eseguito prendendo i dati DSSF e confrontandoli con quelli delle stazioni IBIMET, LaMMA e CoMMA-Med precedentemente descritte. Il risultato di questo confronto viene fornito di seguito in termini sia di grafici comparativi che di parametri statistici come MAE (Mean Absolute Error), RMSE (Root Mean Squared Error) e MBE (Mean Bias Error).

L'MAE, RMSE e l'MBE normalizzati sono definiti da:

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |y_i - \tilde{y}_i| \bigg/ \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \tilde{y}_i \right)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i - \tilde{y}_i)^2} \bigg/ \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \tilde{y}_i \right)$$

$$MBE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i - \tilde{y}_i) \bigg/ \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \tilde{y}_i \right)$$

Dove N è il numero di dati, mentre y_i e $\tilde{y}_i$ sono i valori misurati da satellite e a terra rispettivamente.

L'MAE misura la grandezza media degli scostamenti tra i dati che si stanno confrontando, senza considerare la direzione di tali scostamenti, inoltre pesa tutti gli scostamenti allo stesso modo. L'MAE fornisce quindi informazioni sulla correttezza di un modello: più piccolo è il valore ottenuto, migliori sono i dati ricavati. L'MAE non differenzia tra sovra- e sotto-stima.

L'RMSE misura la grandezza media degli scostamenti tra i dati che si stanno confrontando, senza considerare la direzione di tali scostamenti. Poiché tali scostamenti vengono elevati al quadrato prima di essere mediati, l'RMSE pesa maggiormente i grandi scostamenti. L'MAE e l'RMSE possono essere usati insieme per valutare la varianza tra gli scostamenti individuali tra i dati: maggiore è la loro differenza, maggiore è la varianza. L'RMSE è sempre maggiore o uguale all'MAE; se sono uguali, gli scostamenti hanno tutti la stessa ampiezza. Anche l'RMSE non differenzia tra sovra- e sotto-stima.

L'MBE misura la grandezza media degli scostamenti tra i dati che si stanno confrontando, tenendo conto della direzione di tali scostamenti. Anche l'MBE fornisce informazioni sulla correttezza di un modello. Un valore positivo vuol dire che i dati da validare rappresentano una sovrastima, viceversa nel caso di un valore negativo. Inoltre, più piccolo è il valore ottenuto, migliori sono i dati ricavati.

Gli indicatori normalizzati definiti sopra possono anche essere espressi in percentuale. Il calcolo e l'analisi combinata di questi indicatori permette una valutazione della correttezza dei dati studiati.

Di seguito alcuni grafici ottenuti dal confronto tra diverse stazioni ed i dati derivati da dati satellitari DSSF.

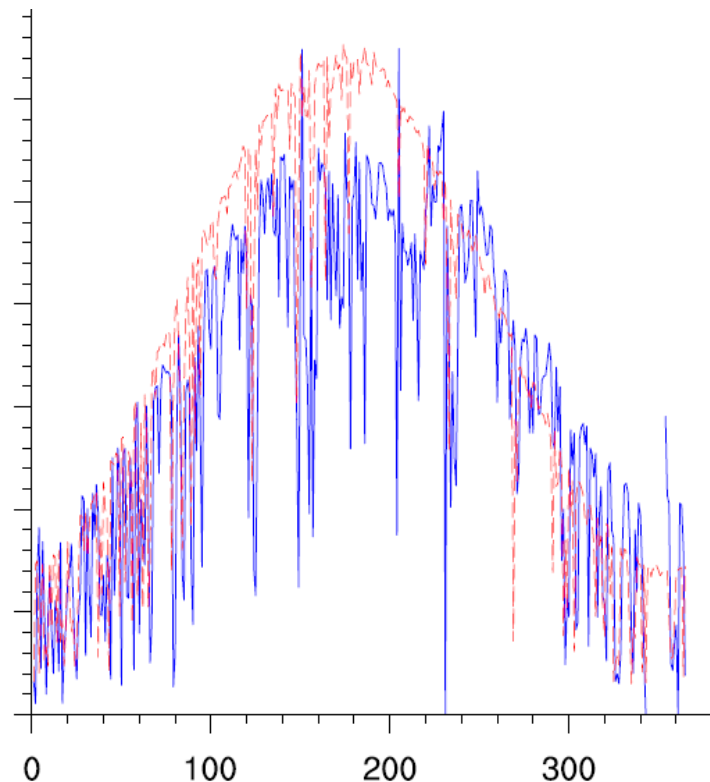


Figura 1: Media giornaliera della radiazione globale in W/m^2 sull'asse delle ordinate e giorno dell'anno sull'asse delle ascisse. Blu: dati stazione CoMMA-Med di Carrara; rosso: DSSF orari sulle stesse coordinate.

Questo grafico viene mostrato per porre in evidenza alcuni elementi:

1. E' abbastanza evidente nei primi giorni dell'anno la sovrastima dei dati satellitari rispetto ad una misurazione a terra
2. E' altrettanto evidente come intorno al 220-mo giorno dell'anno sia stata fatta una taratura del radiometro con probabile errore di taratura per i valori massimi

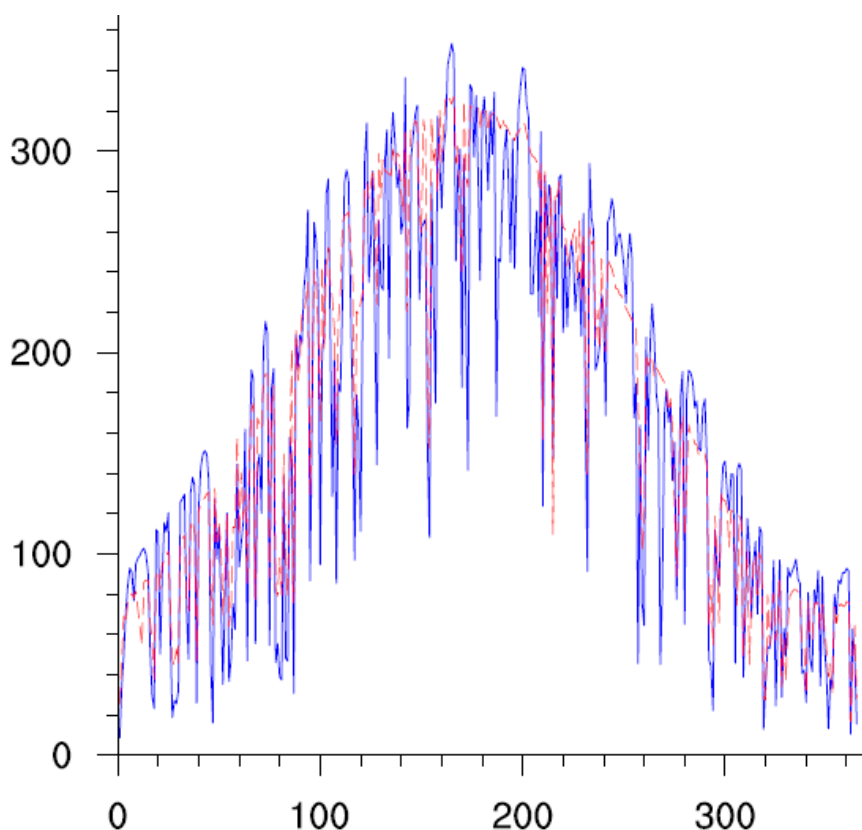


Figura 2: Media giornaliera della radiazione globale in W/m^2 sull'asse delle ordinate e giorno dell'anno sull'asse delle ascisse (anno 2006). Blu: dati torre Eddy-Covariance IBIMET di Pianosa; rosso: DSSF orari sulle stesse coordinate.

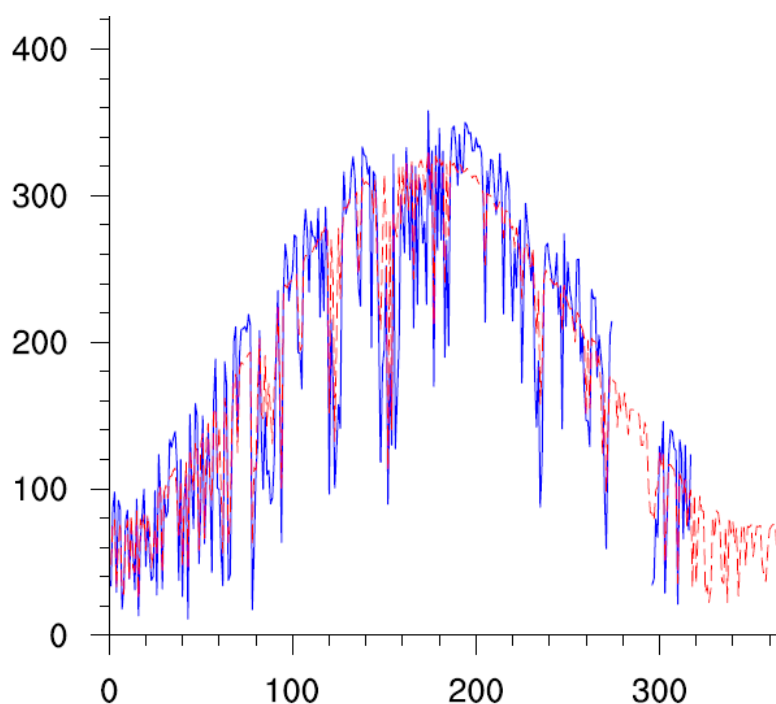


Figura 3: Media giornaliera della radiazione globale in W/m^2 sull'asse delle ordinate e giorno dell'anno sull'asse delle ascisse (anno 2007). Blu: dati torre Eddy-Covariance IBIMET di Lecce; rosso: DSSF orari sulle stesse coordinate.

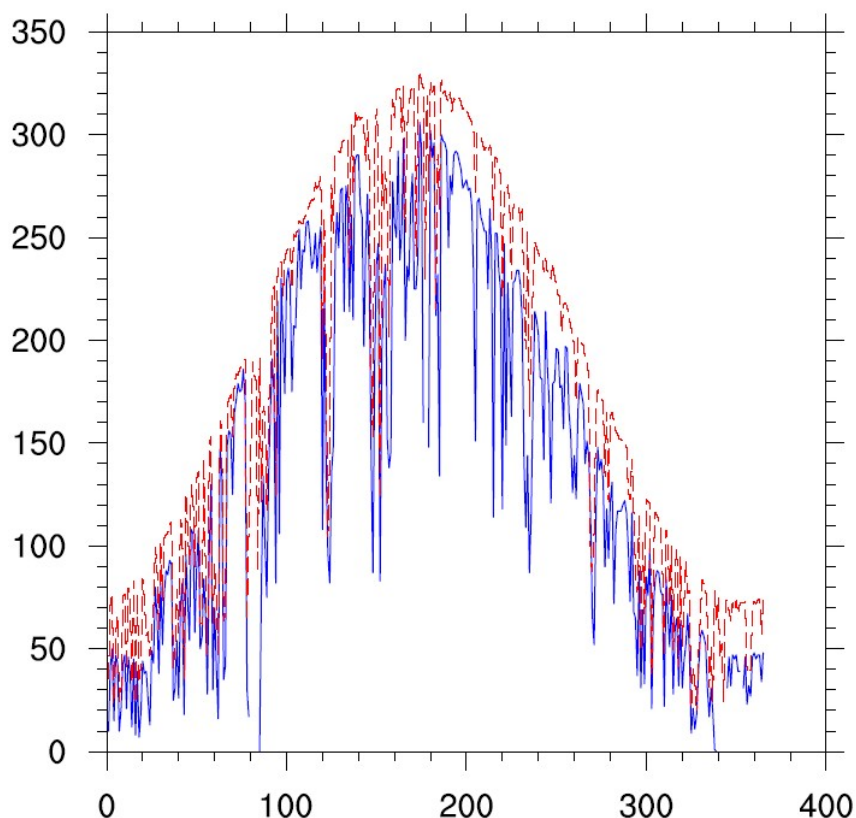


Figura 4: Media giornaliera della radiazione globale in W/m^2 sull'asse delle ordinate e giorno dell'anno sull'asse delle ascisse (anno 2007). Blu: dati stazione meteorologica Ximeniano Firenze; rosso: DSSF orari sulle stesse coordinate.

Alcuni risultati ottenuti nel processamento dei dati sono i seguenti:

Dati da Satellite DSSF comparati con:	MBE%	MAE %	RMSE %	Misure
TVO 06	2.1	14.2	18.6	186
TNM 07	1.2	16.6	16.6	223
Stazione 06	-5.7	14.4	17.6	306
Stazione 07	8.6	15.3	20.2	365
Lecceto 06	5.1	15.6	21.2	365
Lecceto 07	4	14.8	20.4	299
S. Rossore 06	1.1	14.3	18.8	358
S. Rossore 07	-0.4	14.0	17.9	357
Ximeniano 07	26.5	26.6	32.3	351

TVO 06 = Dati della stazione Eddy di Pianosa denominata Torre vecchia orto

TNM 07 = Dati della stazione Eddy di Pianosa denominata Torre nuova macchia

Stazione 06 / 07 = Dati della stazione di misura di Pianosa rispettivamente negli anni 2006 e 2007

S. Rossore 06 / 07 = Dati della stazione di misura di S. Rossore rispettivamente negli anni 2006 e 2007

Lecceto 06 / 07 = Dati della stazione di misura di Lecceto rispettivamente negli anni 2006 e 2007

Ximeniano 07 = Dati della stazione di misura dello Ximeniano anno 2007

Per i diversi dati vengono riportate anche le misure fatte, dato che fornisce un'indicazione dei giorni completi di misura considerati nei calcoli.

Considerazioni finali sui dati di radiazione solare

I dati da satellite su località specifiche sono stati confrontati con dati da torri Eddy-Covariance e da stazioni meteorologiche allo scopo di verificarne l'accuratezza nell'area di nostro interesse, relativa alla Regione Toscana.

I risultati ottenuti mostrano che i valori di RMSE, nel confronto tra i dati da satellite e quelli da torri Eddy-Covariance (considerati i più attendibili), variano mediamente tra circa il 16% e il 21%. Questi valori sono nell'ordine di precisione ottenibile in letteratura. Si osservi che l'accordo migliore si ha con i sensori delle torri Eddy-Covariance; questo fa supporre che il fatto di avere un maggior disaccordo con i dati delle stazioni meteorologiche è probabilmente dovuto ad una minore affidabilità del sensore di radiazione.

I dati ottenuti dalla stazione meteorologica di Pianosa, per quanto in miglior accordo con i dati da torre Eddy-Covariance rispetto a quelli da satellite, presentano anch'essi valori di RMSE significativi: tra il 5% e il 9%. Si devono però considerare due ulteriori fattori:

- 1) Molto spesso i record delle stazioni meteorologiche presentano delle interruzioni di campionamento, che rendono incompleta la sequenza dei dati acquisiti; sono quindi necessarie tecniche di ricostruzione del dato che consentono di generare dati negli intervalli di tempo mancanti con un certo grado di approssimazione.
- 2) Ancora più importante, generalmente si verifica che il numero delle stazioni meteorologiche sia insufficiente per una adeguata caratterizzazione territoriale. Valori di radiazione distribuiti spazialmente devono essere allora calcolati con metodi numerici di spazializzazione che possono comportare elevate perdite di precisione.

In particolare, il lavoro di Zelenka et al. [Zelenka 99] evidenzia un valore di "soglia" per la distanza dalla stazione di riferimento, oltre la quale la stima da satellite risulta una migliore approssimazione rispetto al valore misurato presso la stazione a terra. Più precisamente, i lavori di Zelenka et al. e di Perez et al. [Perez 2001] mostrano che, se il punto in cui si vuole conoscere la radiazione solare globale oraria è distante più di 25 km dalla stazione di misura, allora è preferibile utilizzare il valore derivato da dati satellitari. Nel caso in cui si è interessati a dati in un intervallo di tempo di un minuto, la distanza si riduce a qualche km, mentre per dati giornalieri la distanza risulta essere tra 50 ed i 70 km.

Quindi, anche se i dati da satellite hanno un'accuratezza inferiore, paragonata alle misure puntuali di terra delle stazioni, essi riescono a coprire aree molto estese con dati a risoluzione sufficientemente elevata sia temporalmente che spazialmente. La spazializzazione dei dati da stazioni meteorologiche darebbe con molta probabilità risultati con lo stesso livello di accuratezza, se non addirittura inferiore in aree con scarsa presenza di stazioni.

Alla luce di queste considerazioni prevediamo di realizzare una cartografia tematica sui diversi regimi radiativi della Regione Toscana, sulla base dei dati da satellite sopra considerati.

Analisi dell'energia di impatto della grandine e sua caratterizzazione

I danni che una tempesta di grandine può causare sono generalmente legati alla dimensione del chicco, anche se andrebbero considerate altre componenti. E' possibile, per esempio, che chicchi di grandine grandi causino danni minori perchè frenati da forti venti contrari rispetto ad altri più piccoli. Inoltre anche la forma dei chicchi può essere importante, per esempio per definire il diametro effettivo dei chicchi stessi. La taglia dei chicchi di grandine è quindi insufficiente a caratterizzare i danni potenziali di una grandinata, soprattutto per chicchi relativamente piccoli. Per chiarire l'intensità di un evento sarebbero necessarie informazioni aggiuntive come la direzione e velocità del vento, la durezza e la forma. Detto questo, si è comunque evidenziato che il parametro più importante per prevedere i possibili danni strutturali, resta la taglia dei chicchi.

Per meglio classificare gli eventi sono state allora definite delle categorie sulla base dei vari tipi di danni. In particolare, la scala Torro fu introdotta nel 1986 da Jonathan Webb di Oxford, in riferimento a categorie di questo tipo. La scala varia dal grado H0 a quello H10. L'intensità di una grandinata può essere più facilmente determinata se questa avviene su aree piene di oggetti che hanno la capacità di mantenere evidenti i danni. L'intensità è determinata in riferimento al danno maggiore che ha causato. Se i danni non possono essere misurati, l'intensità del fenomeno viene messa in relazione alla grandezza del chicco di grandine e non più al danno che potenzialmente avrebbe causato.

La scala Torro è rappresentata nella Tabella 1. Nell'ultima colonna viene riportato il *size code* che servirà nella Tabella 2 per identificare il fenomeno in base alla dimensione del chicco.

TABELLA 1: Scala Torro, classificazione della grandinata in relazione ai danni causati.

Intensità	Descrizione dei danni	Size code
H0	Nessun danno.	1
H1	Cadono le foglie ed i petali vengono asportati dai fiori	1 - 3
H2	Foglie strappate, frutta e verdura in genere graffiata o con piccoli fori.	1 - 4
H3	Alcuni segni sui vetri delle case, lampioni danneggiati, il legno degli alberi inciso. Vernice dei bordi delle finestre graffiata, piccoli segni sulla carrozzeria delle auto e piccoli buchi sulle tegole più leggere.	2 - 5
H4	Vetri rotti (case e veicoli) pezzi di tegole cadute, vernice asportata dai muri e dai veicoli, carrozzeria leggera visibilmente danneggiata, piccoli rami tagliati, piccoli uccelli uccisi, suolo segnato.	3 - 6
H5	Tetti danneggiati, tegole rotte, finestre divelte, lastre di vetro rotte, carrozzeria visibilmente danneggiata, lo stesso per la carrozzeria di aerei leggeri. Ferite mortali a piccoli animali. Danni ingenti ai tronchi degli alberi ed ai lavori in legno.	4 - 7
H6	Molti tetti danneggiati, tegole rotte, mattonelle non di cemento seriamente danneggiate. Metalli leggeri scalfiti o bucati, mattoni di pietra dura leggermente incisi ed infissi di finestre di legno divelte.	5 - 8
H7	Tutti i tipi di tetti, eccetto quelli in cemento, divelti o danneggiati. Coperture in metallo segnate come anche mattoni e pietre murali. Infissi divelti, carrozzerie di automobili e di aerei leggeri irreparabilmente danneggiate.	6 - 9
H8	Mattoni di cemento anche spaccati. Lastre di metallo irreparabilmente danneggiate. Pavimenti segnati. Aerei commerciali seriamente danneggiati. Piccoli alberi abbattuti. Rischio di seri danni alle persone.	7 - 10
H9	Muri di cemento segnati. Tegole di cemento rotte. Le mura di legno delle case bucate. Grandi alberi spezzati e ferite mortali alle persone.	8 - 10
H10	Casa di legno distrutte. Case di mattoni seriamente danneggiate ed ancora ferite mortali per le persone.	9 - 10

TABELLA 2: Scala Torro inversa, parte dal Size Code per arrivare all'intensità.

Size Code	Diametro	Riferimento	Intensità
1	5 – 10 mm	Piselli	H0 – H2
2	11 – 15 mm	Fagioli, nocciole	H0 – H3
3	16 – 20 mm	Piccoli acini d'uva, ciliegie e piccole biglie	H1 – H4
4	21 – 30 mm	Grossi acini d'uva, grosse biglie e noci	H2 – H5
5	31 – 45 mm	Castagne, piccole uova, palla da golf, palla da ping-pong, a da squash	H3 – H6
6	46 – 60 mm	Uova di gallina, piccole pesche, piccole mele e palle da biliardo	H4 – H7
7	61 – 80 mm	Grosse pesche, grosse mele, uova di struzzo, piccole e medie arance, palle da tennis, da cricket e da baseball	H5 – H8
8	81 – 100 mm	Grosse arance, pompelmi e palle da softball	H6 – H9
9	101 – 125 mm	Meloni	H7 – H10
10	Sopra i 125 mm	Noci di cocco e simili	H8 – H10

Talvolta nelle tabelle della scala Torro viene inserito anche un indicatore di energia cinetica della grandine in Joule per metro quadro (Tabella 3).

TABELLA 3: Scala Torro con la stima dell'energia cinetica media.

TORRO Hailstorm Intensity Scale				
	Intensity Category	Typical Hail Diameter (mm)*	Probable Kinetic Energy, J-m ²	Typical Damage Impacts
H0	Hard Hail	5	0-20	No damage
H1	Potentially Damaging	5-15	>20	Slight general damage to plants, crops
H2	Significant	10-20	>100	Significant damage to fruit, crops, vegetation
H3	Severe	20-30	>300	Severe damage to fruit and crops, damage to glass and plastic structures, paint and wood scored
H4	Severe	25-40	>500	Widespread glass damage, vehicle bodywork damage
H5	Destructive	30-50	>800	Wholesale destruction of glass, damage to tiled roofs, significant risk of injuries
H6	Destructive	40-60		Bodywork of grounded aircraft dented, brick walls pitted
H7	Destructive	50-75		Severe roof damage, risk of serious injuries
H8	Destructive	60-90		(Severest recorded in the British Isles) Severe damage to aircraft bodywork
H9	Super Hailstorms	75-100		Extensive structural damage. Risk of severe or even fatal injuries to persons caught in the open
H10	Super Hailstorms	>100		Extensive structural damage. Risk of severe or even fatal injuries to persons caught in the open

Questi valori possono essere stimati sfruttando immagini radar o mediante l'utilizzo di grelimetri (Figura 5).

I grelimetri sono pannelli di polistirolo o poliuretano, ricoperti di solito da un foglio di alluminio, che, colpiti dalla grandine, consentono una misura del numero e della dimensione dei chicchi. Tale strumento viene montato su un supporto che lo espone all'impatto con i chicchi di grandine su un piano orizzontale; questi lasciano sul pannello una serie di impronte. Alla fine di ogni giornata, il

pannello viene sostituito con uno nuovo. I dati sono normalmente accompagnati da: località di osservazione, data, ora e durata dell'evento.

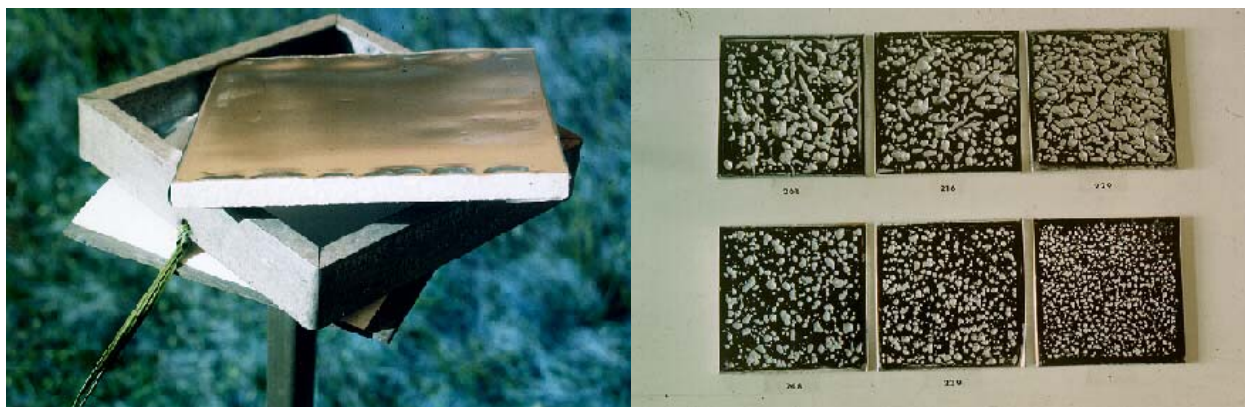


Figura 5: Il grelimetro è un pannello di polistirolo alto abbastanza da non essere bucato completamente in caso di forte grandine; a volte viene ricoperto da un foglio di alluminio. Permette di evidenziare la densità e la grandezza massima dei vari chicchi.

In Italia le grandinate medie, hanno una dimensione che varia da 5 a 10 mm, ma in alcuni casi i chicchi possono essere maggiori e raggiungere le dimensioni tra la 4 e la 6 della scala Torro.

Purtroppo non esistono molti studi e misure inerenti all'intensità delle grandinate, se non su limitate aree geografiche e per applicazioni specifiche, per esempio in Emilia Romagna, in Friuli e in Trentino Alto Adige, dove sono presenti reti di grelimetri. I dati raccolti sono comunque pochi per poter arrivare alla redazione di una carta delle frequenze in Italia e non esiste un sistema nazionale omogeneo e coordinato per la conoscenza del fenomeno.

Tra le reti di osservazione presenti sul territorio italiano, quella dell'Istituto agrometeorologico di San Michele dell'Adige, in Trentino ha raccolto dati relativi al periodo da maggio a settembre, che è quello di maggior interesse per le colture orto-frutticole, a partire dal 1974.

Per quanto riguarda i valori medi sul territorio italiano, la grandine della scala 1 Torro è frequente nel periodo che va dal tardo autunno all'inizio della primavera, successivamente le dimensioni dei chicchi prodotti dai temporali aumentano di dimensione e la percentuale di grandinate della scala 2 e 3 aumenta considerevolmente, con non rari eventi della scala 4. Gli eventi di 5 sono diverse decine ogni estate, mentre quelli sopra la scala 5 sono piuttosto rari, anche se vi è un certo incremento rispetto al passato.

Le medie disponibili in letteratura indicano che, per esempio, a Firenze si ha una media di 4.4 giorni con grandine, a Genova circa 4.6, ad Arezzo 4, a Perugia 2.7, e a Roma 2 giorni.

Data la scarsità di studi ad ampio raggio dell'intensità della grandine, spesso non può essere stimata l'energia cinetica media di una grandinata. Si può comunque fare una stima dell'energia del singolo chicco di grandine.

Assumendo che i chicchi siano approssimativamente sferici e cadano in caduta libera in un fluido viscoso, si ha che la velocità limite di una sfera di ghiaccio di raggio r in aria è data approssimativamente da:

$$\sqrt{2 * (m_{ice} g - m_{air} g) / (\rho_{air} \pi r^2 C_d)}$$

dove:

$$C_d \approx 0.45$$

$$\rho_{air} \approx 1.3 [\text{kg/m}^3]$$

$$\rho_{ice} \approx 917 [\text{kg/m}^3]$$

$$g \approx 9.8 [\text{m/s}^2]$$

$$m = 4 / 3 \pi r^3 \rho$$

Calcolando questa espressione per vari valori del diametro del chicco, si ottiene la Tabella 4.

TABELLA 4: Stima dell'energia cinetica di un chicco di grandine in funzione della dimensione.

Diametro (mm)	Velocità limite in aria (m/s)	Massa chicco di grandine (g)	Energia cinetica (J)
5	10,1	0,1	0,003
10	14,3	0,5	0,05
15	17,5	1,6	0,2
20	20,2	4	0,8
25	22,6	7	1,9
32	25,6	16	5,1
38	27,9	26	10,2
45	30,3	44	20,1
51	32,3	64	33,2
64	36,2	126	82,3
70	37,8	165	117,8

Messa a punto di un sistema di allerta meteo

Il LaMMA tra i vari servizi, fornisce un servizio di allerta alla protezione civile. Questo servizio richiede la segnalazione di eventi meteorologici particolari e viene gestito dal gruppo di previsori che operano al LaMMA.

Al fine di ottenere informazioni che permettano di proteggere gli specchi e la struttura del prototipo STAR, il LaMMA ha aggiunto alle proprie attività, la generazione di un breve “bollettino di allerta” in cui vengono fornite le previsioni per Firenze di:

- Temporale
- Grandine
- Vento forte (secondola scala Beaufort > 50 km/h)

Per il giorno attuale e per il giorno successivo.

Un esempio del codice xml generato è il seguente:

```
<?xml version="1.0" encoding="iso-8859-1" ?>
<bollettino name="alert_firenze">
  <data>2009-06-22</data>
  <previsione name="oggi">
    <temporale>SI</temporale>
    <grandine_vento>NO</grandine_vento>
    <vento_forte>NO</vento_forte>
  </previsione>
  <previsione name="domani">
    <temporale>NO</temporale>
    <grandine_vento>NO</grandine_vento>
    <vento_forte>NO</vento_forte>
  </previsione>
</bollettino>
```

Questi dati vengono emessi giornalmente in due orari diversi: la mattina entro le 10 ed il pomeriggio viene fornito un aggiornamento entro le 16.

Accanto a questo servizio previsionale, si prevede l’installazione di una stazione meteo in prossimità del concentratore solare. I dati provenienti dalla stazione meteo saranno elaborati in tempo reale. La stazione meteo verrà configurata in modo da segnalare il superamento di valori di vento sopra definiti.

La stazione meteo installata sarà una stazione Davis Vantage PRO 2 (Figure 6 e 7)



Figura 6: Stazione meteorologica Davis.

La stazione meteo permette di misurare: pressione temperatura, umidità, pioggia e vento (direzione e intensità) ed è dotata di un trasmettitore wireless che in assenza di “ostacoli fisici” e’ in grado di trasferire i dati al pannello di controllo (o console) fino ad una distanza di 300 metri.

Inoltre il modulo data logger presente nella stazione permette di collegare la console ad un PC , via porta seriale, in modo da acquisire e memorizzare sul PC stesso i dati misurati.



Figura 7: Centralina della stazione meteorologica Davis.

Questa stazione meteo può anche essere dotata di un radiometro per la misura della radiazione solare globale.

Schema di allerta meteo

Come introdotto in precedenza, due saranno le fonti di possibili allerta meteo:

1. Il dato previsionale
2. Il dato meteo misurato

Nel primo caso, i dati di previsione prodotti vengono elaborati e nel caso di previsione di temporali e/o vento forte verrà composto ed inviato un SMS ad una o più persone che avranno la possibilità di recarsi sul luogo dell'installazione del sistema di test (test site) del concentratore solare ed eseguire le operazioni di "messa in sicurezza".

Nel secondo caso i dati misurati dalla stazione meteo installata presso il test site e la relativa configurazione della stazione con soglie di allerta genereranno dei segnali automatici. Questi segnali saranno visibili sia sulla console che sul computer che legge i dati direttamente dalla console.

Per entrambe le soluzioni sono in fase di studio una automatizzazione dell'invio di messaggi SMS di allerta alle persone inserite in una tabella di reperibilità. Alla ricezione di tale messaggio, il personale allertato organizzerà la messa in sicurezza del concentratore solare.